第 8 回　土木学会西部支部沖縄会

技術研究発表会

琉球大学　研究者交流会館・50 周年記念会館

2019 年 **1** 月 **9** 日

発表プログラム・概要集

土木学会西部支部沖縄会

会場案内



琉球大学西原口を入り、構内の信号を左に曲がり、左手すぐ。

○ 土木学会継続教育（CPD），CPDS 認定プログラム

発表会プログラム

2019年1月9日

Time Table

Start	End	プログラム	
8:00	8:30	受　付・登　録	
8:30	8:45	開会式　〈多目的室〉 開会の挨拶：矢吹 哲哉（沖縄会会長・琉球大学名誉教授） 実施要項の説明：田井 政行（沖縄会幹事：琉球大学助教）	
8:45	9:00	Break	
9:00	10:30	Session 1〈Room：A〉8編 （材料・塩害） 座長：望月 拓郎 (沖縄総合事務局)	Session 2〈Room：B〉9編 （維持管理(診断・補修・補強)） 座長：垣花 寿 (川田建設)
10:30	10:45	Break	
10:45	12:15	Session 3〈Room：A〉9編 （交通・計画） 座長：小橋川 透 (沖縄県)	Session 4〈Room：B〉9編 （環境・防災） 座長： 山中 亮 (中央建設コンサルタント)
12:15	13:15	Lunch	
13:15	14:45	Session 5〈Room：A〉9編 （維持管理(点検・一般)） 座長: 日和 裕介 (首都高技術)	Session 6〈Room：B〉9編 （建設・整備） 座長: 神谷 大介 (琉球大学)
14:45	15:00	Break	
15:00	16:30	技術研究討論会　〈多目的室〉 「社会インフラ構造物の点検・診断技術者育成の課題と将来展望」 コーディネーター：琉球大学　下里 哲弘	
16:30	16:45	Break	
16:45	17:00	閉会式　〈多目的室〉 優秀発表者賞の表彰：矢吹 哲哉（沖縄会会長・琉球大名誉教授） 閉会の挨拶：松島 良成（沖縄県）	

Presentation Schedule

Titles and Authors

〇発表時間：7分、質疑応答：3分

〇概要集：2頁～6頁（原則、偶数頁）

〇注意事項

・発表者は、各発表セッション開始前に発表パワーポイントを会場パソコンにインストールし、動作状態を確認すること。
・発表者および聴講者は、土木学会西部支部沖縄会の会員登録をしてください。なお、土木学会正規会員または学生は登録の必要はありません。

Time	Room A
9:00 ∫ 10:30	**Session1：材料・塩害**　　座長：望月 拓郎（沖縄総合事務局） 1. 環境作用を受けたセメント硬化体の物質移動性状に関する基礎的検討 ―― 10 琉球大学　長嶺 剛　須田 裕哉　藍檀 オメル　富山 潤 2. セメント硬化体の炭酸化収縮と相組成変化に関する基礎的検討 ―― 12 琉球大学　豊里 剛人　須田 裕哉　富山 潤　藍檀 オメル 3. 沖縄県における塩害環境の定量評価に関する基礎研究 ―― 14 琉球大学　木村 文哉　富山 潤　須田 裕哉　藍檀 オメル 4. 亜熱帯島嶼地域における大型台風襲来時の飛来塩分特性 ―― 16 琉球大学　金城 樹　下里 哲弘　田井 政行　淵脇 秀晃 5. アルミ合金製の多機能防食デッキ内部の腐食環境調査 ―― 18 (株)横河ブリッジ　中野 麻衣子　井口 進，琉球大学　下里 哲弘　田井 政行　澤田 知幸 6. 塩化物系凍結防止剤に防錆剤を添加して散布した実橋に生じる腐食生成物の組成分析 ―― 20 興栄コンサルタント　畑佐 陽祐，岐阜大学　木下 幸治，岐阜大学大学院　蓮池 里菜　矢野 義知 7. 琉球石灰岩層を杭基礎の支持層として採用するための基礎的研究 ―― 24 琉球大学　荒木 悠太郎　藍檀 オメル　渡嘉敷 直彦　堀内 浩貴 8. 衝撃荷重下における岩石の動的変形・破壊特性に関する実験的研究 ―― 26 琉球大学　神立 晋弥　藍檀 オメル　富山 潤　須田 裕哉
	Room B
	Session2：維持管理（診断・補修・補強)　　座長：垣花 寿　（川田建設） 1. 再生盛土材料を使用した鋼製帯状補強土壁の摩擦特性評価 ―― 30 ヒロセ補強土㈱　佐原 邦朋，日本地研㈱　井手 貴晴，山口大学大学院　鈴木 素之　藤田 義成 2. プレテンションPC桁のプレストレス導入時の端部水平ひび割れ抑制に関する研究 ―― 32 琉球大学　内田 凌太　富山 潤　須田 裕哉　藍檀 オメル 3. コンクリート構造物の表面ひび割れ画像を入力データとした均質化法による材料劣化予測に関する研究 ―― 34 琉球大学　古田 泰祐　富山 潤　須田 裕哉　藍檀 オメル，大成建設(株)　堀口 賢一　本澤 昌美 4. コンクリート橋梁の部位・部材毎の劣化違いを考慮したLCC評価に対する基礎的検討 ―― 36 琉球大学　有澤 希　富山 潤　須田 裕哉　藍檀 オメル 5. 既設Ｆ型情報板支柱に関する疲労耐久性向上研究の現況報告 ―― 38 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)　小塚 正博， 岐阜大学　小原 健司　村瀬 紘貴　木下 幸治 6. 腐食減肉が生じたトルシア型高力ボルトの残存軸力評価に関する解析的検討 ―― 44 琉球大学　川添 優人　下里 哲弘　田井 政行　有住 康則，金秀鉄工(株)　長嶺 由智 7. 腐食損傷した鋼桁端部に対する当て板ボルト補修法によるせん断耐荷力の回復効果の解析的研究 ―― 46 琉球大学　冨永 泰志　下里 哲弘　田井 政行　有住 康則　長坂 康史 8. 腐食凹凸面に対する当て板ボルト工法のすべり耐力評価に関する研究 ―― 48 琉球大学　坂本 健太　下里 哲弘　田井 政行　長坂 康史　有住 康則 9. 長スパン化したバルブリブ鋼床版の疲労強度改善に関する研究 ―― 50 琉球大学　有馬 安倫　田井 政行　下里 哲弘，日本橋梁建設協会　片野 俊一　井口 進

Time	Room A
10:45 ｜ 12:15	**Session3：交通・計画**　　座長：小橋川　透（沖縄県） 1. パーキング・チケットの手数料支払・未払い行動に関する調査研究 ―― 54 北海学園大学　堂柿 栄輔，東海大学　梶田 佳孝 2. 官庁施設における案内・誘導手法の検証～建物内外部で のサイン計画～ ―― 58 沖縄総合事務局 営繕課　玉城　裕之　長浜 政明 3. ビッグデータを用いたヒヤリハット分析について ―― 64 沖縄総合事務局 南部国道事務所　下地　涼大　伊藝 誠一郎 4. 一人ひとりの少しの工夫で渋滞をなくそう「わった～バス大実験」 ―― 70 沖縄総合事務局 道路建設課　當山 和季　大城 照彦 5. 沖縄におけるクルーズ振興について ―― 74 沖縄総合事務局 港湾計画課　髙島 稔　與儀 成也 6. 平良港におけるクルーズ振興による「みなとまちづくり」の取り組みについて ―― 78 沖縄総合事務局 平良港湾事務所　坂下 拓朗　長田 淳 7. 石垣港大型旅客船ターミナル整備における岸壁部の景観 検討について ―― 84 沖縄総合事務局 石垣港湾事務所　濱川 充典　伊是名 興治 8. 訪日外国人レンタカー利用者の急制動箇所に関する基礎分析 ―― 90 琉球大学　比嘉 健人　神谷 大介，中央建設コンサルタント　山中 亮，長大　澤部 純浩， 沖縄総合事務局　新垣 康明 9. ETC2.0とWi-Fiパケットセンサーを用いた周遊観光把握の可能性の検討 ―― 96 琉球大学　佐藤 祐太　神谷 大介　田中 謙大，中央建設コンサルタト　山中 亮， 地域未来研究所　菅 芳樹，東京工業大学　福田 大輔
	Room B
	Session4：環境・防災　　座長：山中亮 (中央建設コンサルタント) 1. 平成２９年度啓開訓練の実施結果について ―― 100 沖縄総合事務局 南部国道事務所　吉田 靖　新城 喜弘 2. 那覇空港滑走路増設事業におけるサンゴの移植について ―― 104 沖縄総合事務局 空港整備課　江﨑 荘太　知念 直 3. ダム湖内魚類の生息状況に関する簡易モニタリング方法の検討 ―― 108 沖縄総合事務局 河川課　津嘉山 力哉　内里 清一郎 4. 那覇港におけるサンゴ移植モニタリングについて ―― 112 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所　富田 和之　仲村 進一 5. 中城湾港泡瀬地区における環境保全対策について ―― 116 沖縄県中部土木事務所　竹市 浩二　安里 隆行 6. 津波石の発生メカニズムに関する基礎的研究 ―― 122 琉球大学　下平 一太　藍檀 オメル　渡嘉敷 直彦 7. 超高齢社会水害時避難に関する基礎的考察 ―― 124 琉球大学　高橋 拓也　神谷 大介，宮崎県　田中 正輝 8. 過疎集落における防災WSの効果に関する分析 ―― 126 琉球大学　城間 聖　神谷 大介 9. 除草作業における除草剤の活用について（報告） ―― 132 沖縄総合事務局 南部国道事務所　漢那 清彦　知念 弘

Time	Room A
13:15 ∫ 14:45	**Session5： 維持管理(点検・一般)**　　座長：日和裕介 (首都高技術) 1. 北部ダム群調整水路の長寿命化に向けた取り組み ―― 138 沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所　金城 美貴　比嘉 浩 2. 地域住民等による植栽管理の取り組みについて ―― 142 沖縄総合事務局 北部国道事務所　照屋 淳　川間 重一 3. 地方中小橋梁の簡易的たわみモニタリングに関する検討 ―― 146 株式会社TTES　菅沼 久忠　梅川 雄太郎，岐阜大学　木下 幸治 4. 複数加速度センサを用いた橋梁のたわみ算出方法に関する検討 ―― 148 株式会社TTES　梅川 雄太郎　菅沼 久忠，岐阜大学　木下 幸治 5. 磁気を利用した非破壊検査機器によるプレテンI桁のPC鋼材破断位置判定 ―― 150 川田建設(株)　垣花 寿，コニカミノルタ(株)　森田 博　丸山 一直　阿部 真之介， コニカミノルタビジネスアソシエイツ(株)　橋本好之， 沖縄しまたて協会　玉城 喜章，琉球大学　下里 哲弘 6. 磁気ストリーム法によるPC橋の内部鋼材破断を検知する非破壊検査ソリューション ―― 152 コニカミノルタ(株)　森田 博　丸山 一直　阿部 真之介， コニカミノルタビジネスアソシエイツ (株)　橋本 好之 7. 機械学習を用いた音伝播特性による疲労き裂の検出性能の評価 ―― 158 琉球大学　櫻井 絵里加，東京工科大学　天野 直紀， 琉球大学　田井 政行　下里 哲弘，南伸(株)　久米 仁司 8. 音伝播特性に着目した照明柱のき裂検出手法についての特性評価 ―― 160 東京工科大学　小林 誠治　天野 直紀 9. 電気抵抗法によるアンカーボルトの腐食減肉量の測定方法に関する研究 ―― 164 琉球大学　平山 勇太朗　淵脇 秀晃　田井 政行　下里 哲弘　有住 康則，首都高技術(株)　日和 裕介
	Room B
	Session6： 建設・整備　　座長：神谷大介 (琉球大学) 1. 地域高規格道路南部東道路におけるICT試行工事の事例紹介 ―― 168 沖縄県 南部土木事務所　座安 広朗　山入端 雅也 2. モノレール延長事業における駅舎建設工事について ―― 174 沖縄県 都市モノレール建設事務所　中本 吉平 3. 大型クルーズ船寄港に向けた岸壁改良工事について ―― 180 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所　堂坂 康二　名城 整 4. 与那原BP３号橋計画におけるBIM／CIM活用検討について ―― 184 沖縄総合事務局 南部国道事務所　上原 達也　松川 剛 5. 那覇北道路橋梁詳細設計におけるBIM／CIM活用事例について ―― 190 沖縄総合事務局 南部国道事務所　城間 和樹　知名 広道 6. 那覇空港滑走路埋立工事におけるボックスカルバートの吸い出し防止対策について ―― 194 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所　金城 和希　大城 直 7. 鋼管杭高止まりにおける検討 ―― 200 沖縄県 中部土木事務所　小橋川 直哉　小島 健太郎 8. ＰＩ手法を活用した道路事業の合意形成 ―― 206 沖縄県 北部土木事務所　照屋 将司　阿波根 庸夫　福地 保宗 9. 牧港大橋における新技術の活用状況について ―― 212 沖縄総合事務局 南部国道事務所　山城 慶　新垣 敏一

「社会インフラ構造物の点検・診断技術者育成の課題と将来展望」

会場：多目的室　（15:00～16:30）90分

共催：・土木学会西部支部沖縄会
・SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術
「亜熱帯島嶼に適した橋梁維持管理技術の実装と診断ドクターの育成（琉球大学）」

コーディネーター：琉球大学工学部附属地域創生研究センター　副センター長　下里哲弘
討論メンバー　：長崎大学大学院工学研究科インフラ長寿命化センター
副センター長　中村聖三
：山口大学工学部附属社会基盤マネジメント教育研究センター
センター長　麻生稔彦
：岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センター
准教授　木下幸治
：阪神高速道路株式会社技術部　部長　加賀山泰一
：琉球大学工学部附属地域創生研究センター

【プログラム】
１、研究討論の主題　：琉球大学　下里哲弘
：議題①：各機関の点検・診断技術者育成の取組み状況
議題②：要求される技術者レベルと社会的課題
議題③：新技術の活用促進について

２、各期間の取り組みと今後の課題（各パネラーからのプレゼン）

１）「長崎大学　道守養成ユニット」　：長崎大学　中村　聖三
２）「山口大学　社会基盤メンテナンスエキスパート」　：山口大学　麻生　稔彦
３）「岐阜大学　社会基盤メンテナンスエキスパート」　：岐阜大学　木下　幸治
４）「阪神高速道路　人材育成制度」　：阪神高速　加賀山泰一
５）「琉球大学　ブリッジインスペクター」　：琉球大学

★討論　30分程度
議題①：現行の点検・診断技術者育成の課題
議題②：必要な技術者レベルと社会的課題
議題③：新技術の活用促進について

３、まとめ
2030年型定期点検への提言

発　表　概　要　集

Session 1： 材料・塩害

環境作用を受けたセメント硬化体の物質移動性状に関する基礎的検討

琉球大学 ○長嶺剛，須田裕哉，藍檀オメル，富山潤

1. 背景および目的

鉄筋コンクリートへの塩化物イオンや二酸化炭素などの外来因子の浸入は塩害や中性化の要因となる．これら劣化因子の浸入はコンクリートの空隙構造によって支配されており，コンクリート構造物の劣化予測をする上で，これらの関係を明らかにすることは重要である．

コンクリート内部の空隙構造は温度や湿度などのコンクリートが曝露された環境の違いによって変化する事が明らかになっている．また，任意の湿度で乾燥を受けたセメント硬化体の塩化物イオンの移動性状は乾燥時の湿度の違いによって異なることが報告されている[1)]．

一方で，実環境下の作用がセメント硬化体の物質移動性状の変化に及ぼす影響は明確ではない．そこで，本研究では曝露期間を変化させたセメント硬化体の物質移動性状や組織構造を調査し，実環境作用の影響を評価することを目的とした．

2. 実験方法

2.1 材料・配合および暴露条件

材料は普通ポルトランドセメントを使用し，水セメント比は 50%とした．供試体は 4×3×0.5cm のセメントペーストを作製した．養生条件は水和反応を十分進行させるため， 40℃で 60 日間水中養生とし，その後, 供試体を曝露した. 曝露地域は沖縄県で, 1, 3，6 ヶ月間，日射の当たる環境で曝露した．

2.2 酸素拡散試験

所定の曝露期間経過後に回収した供試体を 50℃で 6 時間乾燥させ，測定試料とした．その後，拡散試験装置を用いて試験を行った．供試体を挟んだ両側のセルに酸素ガスと窒素ガスを等圧等流量で流し，窒素ガス側セルの酸素濃度変化が一定値に収束した時点の濃度より，酸素の拡散係数を求めた．

2.3 塩化物イオンの拡散試験

供試体をイオン交換水に 24 時間浸せきさせ，吸水処理を行った. その後, 拡散セルを用いて試験を行った．セル容器内にはイオン交換水と 0.5mol/L の NaCl 水溶液をそれぞれ 200ml ずつ満たした．経時的にイオン交換水側の溶液を採取し，塩化物イオンの濃度勾配から拡散係数を求めた．

2.4 熱重量分析による水和物の定量

炭酸カルシウム量，水酸化カルシウム量は熱重量分析によって測定した．90μm 以下に粉砕した供試体を 1000℃まで強熱し, 450℃付近の減量値から水酸化カルシウム(CH)を，550-800℃の減量値から炭酸カルシウム($CaCO_3$)を，それぞれ定量した．

2.5 空隙率の測定

直径約 5mm に粗砕した供試体を 2g 程度採取し表乾質量，水中質量を測定後，50℃および 110℃で 24 時間乾燥させ，空隙率を求めた．

2.6 窒素吸着試験

供試体を 2.5-5.0mm に粗砕し 110℃で 1 時間真空脱気した後, 窒素吸着試験を行った. 試験より得られた相対圧と吸着量の関係からミクロ孔(直径 2nm 以下)，メソ孔(2-50nm)，マクロ孔(50nm 以上)の細孔径を分類し各細孔径での空隙率を求めた．

3. 実験結果および考察

3.1 酸素および塩化物イオンの拡散係数

図1に酸素および塩化物イオンの拡散係数を示す．図より暴露期間が進行するほど酸素の拡散係数が増加する傾向にある. 一方で, 塩化物イオンの拡散係数は低下する傾向を示した．既往の研究より乾燥作用を受けると酸素と塩化物イオンの拡散係数は増加する[1)2)]．一方で，炭酸化を受けると酸素と塩化物イオンの拡散係数は低下する[3)4)]．本研究の曝露条件では乾燥と炭酸化の両者が影響しており，物質移動性状

キーワード：環境作用,塩化物イオン拡散係数，酸素拡散係数，炭酸化
連絡先：〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 建設材料学研究室
E-mail：e155331@eve.u-ryukyu.ac.jp

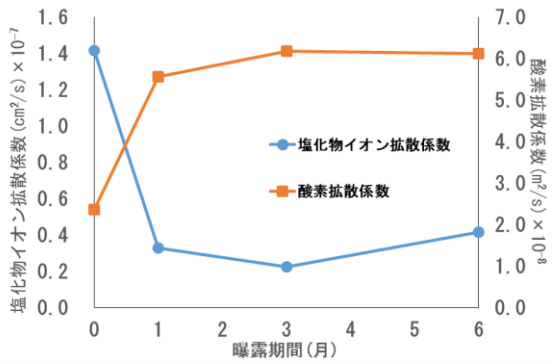


図 1. 曝露期間と酸素および塩化物イオンの拡散係数

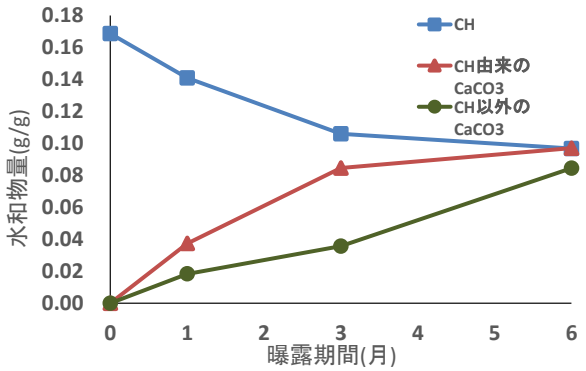


図 2. CH の量と各水和物の炭酸化の状況

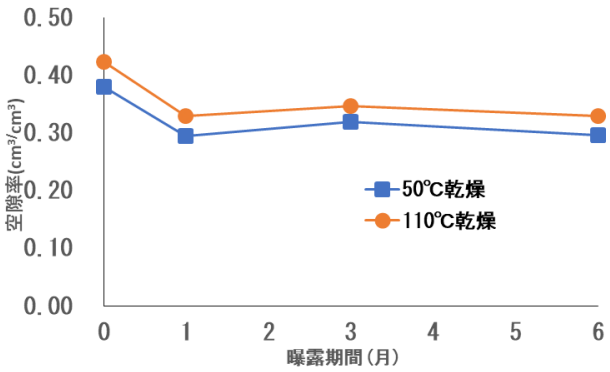


図 3. 曝露期間と空隙率の変化

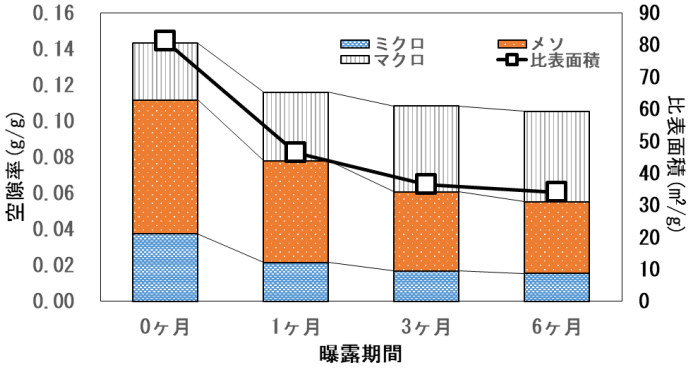


図 4. 曝露期間の違いによる
ミクロ，メソ，マクロ孔と比表面積の変化

に対してそれぞれが及ぼす影響を確認するため，水和物および空隙構造を調査した．

3. 2 各水和物の炭酸化および空隙率の変化

図 2 に水酸化カルシウム量と炭酸カルシウム量の経時変化を示す．曝露期間の進行により CH 量が減り，CH 由来の炭酸カルシウムが，CH 以外の水和物由来の炭酸カルシウムよりも多く生成した．水酸化カルシウムから炭酸カルシウムへ変化することで 11.7%程度体積が増加するため，空隙を充填する．図 3 に曝露期間による空隙率の変化を示す．図より空隙率は減少しており，炭酸化の進行によって空隙率が減少したと考えられる．

3. 3 窒素吸着試験の結果

図 4 に窒素吸着試験で得られたミクロ，メソ，マクロ孔の空隙率と比表面積の変化を示す．図より曝露期間の経過とともにミクロ，メソ孔が減少し，径の大きいマクロ孔が増加した．　また，比表面積は減少しており，水和物が凝集し，粗大な水和物を生成した結果，空隙が粗大になったと考えられる．

ここで，空隙率が減少した結果より，塩化物イオンの拡散は炭酸化による空隙率の減少が大きく影響していると考えられる．一方で，空隙径は，曝露期間とともに粗大化しており，酸素の拡散には，空隙構造の変化が影響していると推察される．したがって，実環境の作用により，酸素や塩化物イオンの移動性状は，乾燥や炭酸化が相互に影響し，異なるメカニズムによって変化すると考えられる．

4 まとめ

本研究では実環境作用を受けたセメント硬化体への物質移動性状を明らかにするため検討を行った．その結果，塩化物イオンの移動性状の変化は乾燥作用よりも炭酸化の影響が大きく，酸素の移動性状の変化は炭酸化や乾燥による空隙の粗大化の影響が大きいことが示唆された．

参考文献

1) 須田裕哉 他：湿度変化による乾燥作用を受けたセメントペーストの空隙構造と塩化物イオンの拡散性状の関係に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol40，No.1，pp.742-752，2018
2) 須田裕哉他：乾燥を受けた高炉セメント硬化体の気体の移動性状とミクロ,メソ,マクロの空隙構造の関係に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.469-473，2017
3) 白川敏夫：モルタル・コンクリートの気体有効拡散係数への炭酸化の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.617-622，2006
4) 品田健太 他：混和材を用いたモルタルの塩化物イオン拡散性状と内部組織，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.697-702，2005

セメント硬化体の炭酸化収縮と相組成変化に関する基礎的検討

琉球大学　○豊里剛人，須田裕哉，富山潤，藍檀オメル

1. 研究背景および目的

コンクリートの収縮によるひび割れは構造物の耐久性低下の要因となるため，コンクリートの収縮挙動を把握することは重要である．収縮によるひび割れは，乾燥収縮や自己収縮だけでなく炭酸化によっても生じ，この現象は炭酸化収縮と呼ばれている．既往の研究では，炭酸化による収縮は，乾燥収縮と同程度かそれ以上と報告されており[1)]，コンクリートの耐久性確保の観点からも炭酸化収縮は軽視することができない現象と位置付けられる．

炭酸化収縮は，炭酸化に伴う水和物の変化と空隙構造が関係していると報告されている[2)]．しかし，個々の水和物の炭酸化挙動や材料・配合の影響などは明らかではない．そこで本研究では，混和材として高炉スラグ微粉末を用い，混和材の有無が炭酸化収縮挙動に及ぼす影響について相組成の変化に着目し，各水和物の炭酸化挙動を検討した．

2. 実験および解析概要

2. 1 使用材料および配合

使用材料は普通ポルトランドセメント（以下, NC）および普通ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末に置換した試料（以下，NB）とした．供試体はセメントペーストとし，水結合材比は 55%，混和材の置換率は 50%とした．80×20×4mm のアクリル型枠へ打設後，材齢 1 日で脱型し飽和水酸化カルシウム溶液中で材齢 28 日まで 20℃水中養生を行った．

2. 2 供試体の乾燥・炭酸化条件

水中養生終了後，20℃-相対湿度 43%環境下のデシケーター内にて 5 ヶ月間供試体を静置し乾燥させた．乾燥期間中は炭酸化防止のためデシケーター内に水酸化ナトリウム溶液を入れた．乾燥時と同様の温湿度環境で CO_2 濃度 3%の混合ガスを流量 100ml/sec．で 4h/day 流通させ供試体を炭酸化させた．

2. 3 炭酸化収縮ひずみの測定

供試体を所定の期間でデシケーターから取り出し，接触型変位計を用いて供試体の長手方向の長さを測定し，炭酸化収縮ひずみを求めた．

2. 4 炭酸カルシウム量の測定

所定期間，炭酸化を行った供試体を 90μm 以下に粉砕し熱重量分析装置を用いて炭酸カルシウム量を測定した．昇温速度 10℃/min で試料を 1000℃まで強熱後，550～800℃の重量減少量を CO_2 脱離によるものと仮定し炭酸カルシウム量を定量した．

2. 4 熱力学的相平衡計算による解析

水和物の炭酸化挙動について検討するため，熱力学的相平衡計算を行った．解析ソフトは PHREEQ C (USGS)を用いた．解析において，材齢 28 日のセメントクリンカー鉱物および混和材の反応率は，既往の研究[3)]で報告されている結果を用い，相平衡計算より生成する水和物相を求めた．炭酸化による相変化は CO_2 を 1step・0.5mol で水和物相と反応させる計算を実行し，水和物の炭酸化挙動を評価した．

3. 実験結果および考察

3. 1 炭酸化収縮の経時変化

図 1 に，実験より得られた炭酸カルシウム量と収縮率の関係を示す．炭酸化環境を与えることで炭酸カルシウム量の増加とともに収縮率が増加した．ま

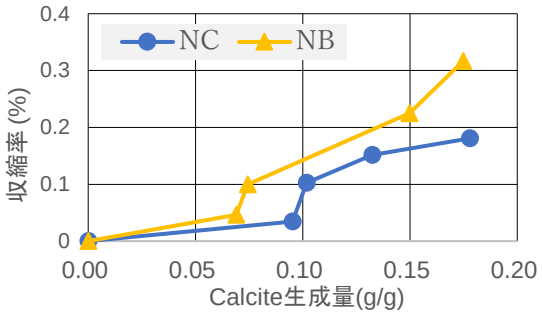


図 1　炭酸カルシウム量と収縮率の関係

キーワード：炭酸化収縮，　熱力学的相平衡計算，　C-S-H，　水酸化カルシウム，　潜在水硬性
連絡先：〒903-0213 西原町千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科　建設材料学研究室
E-mail：e155313@eve.u-ryukyu.ac.jp

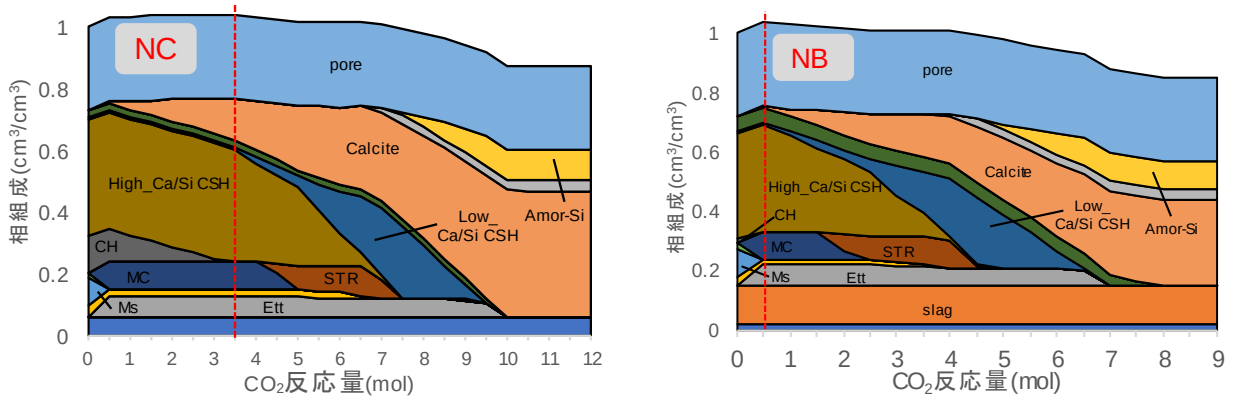


図 2　平衡計算による体積変化量（左：NC，右：NB）

た NB は炭酸カルシウム量が同程度であっても NC に比べ収縮率が増加した．

3．2 炭酸化による水和物相の変化

図 2 に平衡計算より得られた NC および NB の CO_2 反応量に伴う相組成の変化を示す．炭酸化初期では水酸化カルシウム（CH）やモノサルフェート（Ms）から炭酸カルシウム（Calcite）やモノカーボネート（Mc）が生成された．CH 消費後は，主要な水和物の High Ca/Si CSH の炭酸化により Calcite や Low Ca/Si CSH の割合が増加し，さらに炭酸化が進むと Low Ca/Si CSH から Calcite とシリカゲル（Amor-Si）が生成された．また NC と NB の水和物量を比較すると CO_2 反応量 0mol 時の CH 量において大きな差を示した（NC：0.119cm³/cm³, NB：0.017cm³/cm³）．NB は高炉スラグの潜在水硬性により CH が消費されるため，その結果を反映したものと考えられる．

3．3 水和物相の変化と収縮の関係

図 3 に平衡計算より得られた NC および NB の体積変化量を示す．NC では CO_2 反応量 7mol 以降，NB では 4mol 以降で大きな体積変化量を示した．図 2 より，CSH の炭酸化領域において体積の減少が確認される．CSH の炭酸化反応前後のモル体積から Low Ca/Si CSH の炭酸化では Calcite と Amor-Si への分解で約 26%の体積減少が生じる．

また，NB の方が NC に比べ炭酸化初期に体積変化量が減少している．体積減少が開始されたのは NC：3.5mol 以降，NB：0.5mol 以降で，CH の炭酸化終了付近である．したがって，CSH より先行して炭酸化する CH が消費されないと，大きな収縮をもたらす CSH が炭酸化しないため，CH 量が少ない NB

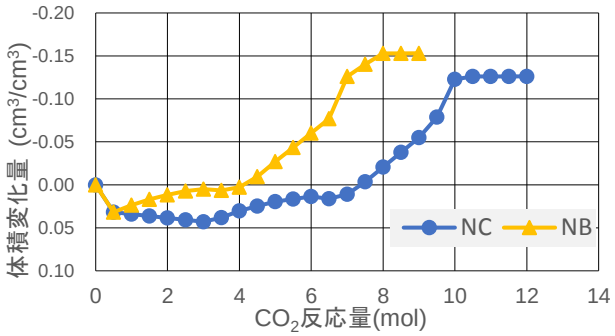


図 3　平衡計算による体積変化量

は炭酸化初期に収縮量が増加したと考えられる．図 1 の実測の NB の収縮量が NC に比べ増加した結果も CH 量の違いが関係しており，炭酸化収縮に CSH の炭酸化が大きく影響するものと考えられる．

4．まとめ

以下に本研究から得られた結果を示す．

(1) 熱力学的相平衡計算より CSH の炭酸化挙動が硬化体全体の炭酸化収縮に大きな影響を及ぼすことが示唆された．

(2) 混和材の潜在水硬性による CH の消費が，NB の炭酸化初期における収縮率の増加に起因すると考えられる．

参考文献

1) 中田清史，野口貴文：セメント硬化体の炭酸化過程における体積変化に関する考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.40, No.1，pp.459-464，2018

2) 日本コンクリート工学協会：炭酸化研究委員会報告書（1993）

3) 須田裕哉，斎藤豪，佐伯竜彦：各種セメント硬化体の相組成と圧縮強度に関する研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.66, pp.159-166，2012

沖縄県における塩害環境の定量評価に関する基礎研究

琉球大学　○木村文哉，富山潤，須田裕哉，藍檀オメル

1.はじめに

沖縄県は四方を海に囲まれた島嶼環境であり，年間を通じて海から飛来する塩分(外来塩)が他の都道府県に比べ多く，外来塩による塩害がコンクリート構造物の腐食・劣化の原因となり，深刻な問題となっている．そのため，塩害環境を定量的に評価することは重要な課題である．

現在，コンクリート標準示方書[1]より，コンクリート表面における表面塩化物イオン濃度を地域と海岸からの距離の 2 つのパラメータから推定してよいとされている．しかし，実際には海岸からの距離が同程度の地点においても表面塩化物イオン濃度の差異が見られ，地域や海岸からの距離のみで表面塩化物イオン濃度を推定することは困難である．

そこで本研究では，海岸からの距離以外に，高さ，海岸の種類，遮蔽物の影響，気象などをパラメータとした塩害環境の定量評価法の検討を行った．

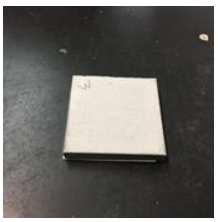
2.塩害環境調査方法

図−1 (a) に示す 4cm×4cm×0.5cm の薄板モルタル供試体を**図−1** (b) に示す地域に暴露し，浸透塩化物イオン濃度を測定した．薄板モルタル供試体は，所定の期間貼り付け回収し，**図−1** (c) に示す電位差滴定装置により浸透塩分分析を行った．

本島沿岸部を中心に 9 地域（3 暴露試験場，18 橋梁）に設置して暴露試験を行った．気象条件を考慮するため，暴露期間は一定とせず，それぞれの暴露期間に得られた値を日平均として整理した．

3.暴露試験結果

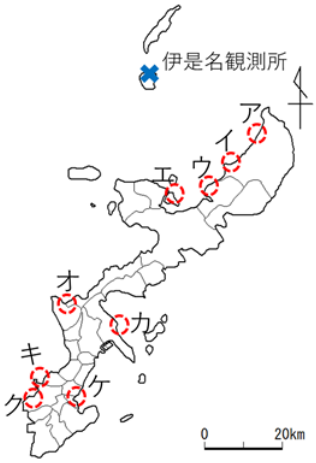
図−2 に海岸からの距離のみで整理した結果を示す．その結果，海岸からの距離が同程度の地点であっても塩分量にばらつきがあり，海岸からの距離だけでは整理できないことがわかる．そこで以降に示す海風，海岸種類，高さ，遮蔽物の影響を考慮した塩害環境定量評価式の検討を行う．



(a)　薄板モルタル供試体



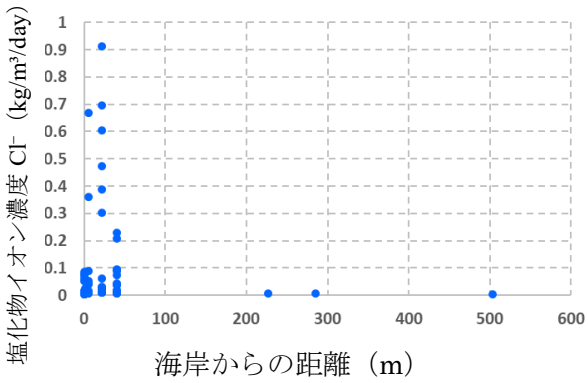
(c)電位差滴定装置



(b)測定位置（暴露位置）

記号	暴露地点名
ア	辺野喜暴露試験場
イ	辺土名暴露試験場，A橋
ウ	B橋
エ	古宇利大橋暴露試験
オ	C橋，D橋，E橋，K橋，L橋
カ	M橋，N橋，O橋，P橋，Q橋，天願川河口
キ	R橋
ク	S橋
ケ	F橋，G橋，H橋，I橋

図−1　薄板モルタル供試体と暴露地点の詳細



図−2　塩化物イオン濃度と海岸からの距離の関係

4.評価方法の検討

ここでは，海風，海岸種類，高さ，海岸からの距離を考慮した評価方法を検討した．

4.1　海風の影響範囲[2]

海風とは一般に海上から陸部へ吹く風のことである．本研究では，海風は薄板モルタル供試体に直交

キーワード：飛来塩分，薄板モルタル供試体，表面塩化物イオン濃度，海岸からの距離，塩害環決定係数
連絡先：〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 建設材料学研究室
E-mail：e155314@eve.u-ryukyu.ac.jp

する面を基準方位とし，図-3 に示すように対象範囲を海風の基準方位に対して±67.5°とした．ここで，海風は気象庁の風況データの 16 方位に対応させるため刻み幅 22.5°とした．なお，対象範囲内においてある時刻に吹いた海風Vは図-4 に示すように式(4.1)を用いて薄板モルタル供試体に直交する方向 i の海風V_iに換算した．換算した海風V_iは式(4.2)を用いて，回数の重み付き平均風速V_aに変換した．

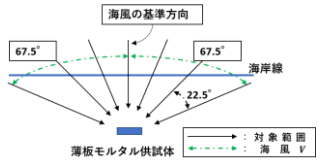


図-3　海風の定義

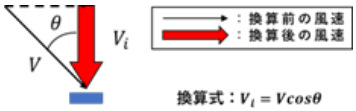


図-4　海風の換算

$$V_i = V\cos\theta \tag{4.1}$$

$$V_a = \frac{\sum_i^N (V_i \cdot n_i)}{N} \tag{4.2}$$

ここで，V_iは薄板モルタル供試体に直交する方向に換算した各時刻における i 方向の風速，n_iは暴露期間中に吹いた対象方位の風の回数(時間)，N は i 方向の対象範囲内に吹いた卓越風速の回数である．

4.2　海岸の種類の影響度

沿岸部付近の各地点において，飛来塩分量にばらつきがあり，一定の傾向が見られない．これは消波ブロックや階段式護岸は激しく砕波し，多くの塩分が供給され，砂浜海岸では穏やかに砕波し，供給される塩分量が他と比べ少ないと考えられる．そのため，飛来塩分発生量に影響する係数として海岸係数を表-1 のように設定した．

表-1　海岸係数

海岸種類	対応する地点名	海岸係数
消波ブロック	辺野喜暴露試験場，辺土名暴露試験場	37.3
階段	古宇利大橋暴露試験	26.5
護岸	M橋，R橋，天願川河口	-
サンゴ	A橋，B橋，C橋，F橋，K橋，L橋	6.3
砂浜	D橋，E橋，S橋	10.3
堤防（河川内）	G橋，H橋，I橋，K橋，L橋，M橋，N橋，O橋，P橋，Q橋	1

4.3　遮蔽物の影響

飛来塩分は植生や建物などの遮蔽物に付着・浸透する．塩害環境の定量評価をする上で飛来塩分量に影響を及ぼす．そのため，飛来塩分発生量に影響する係数として遮蔽物係数を表-2 のように設定した．

表-2　遮蔽物係数

遮蔽物の影響	なし	小	中	大
遮蔽物係数	1	0.8	0.5	0.1

4.4　標高の影響

本研究では，Google Earth[4]の値を用い，各地点の標高とした．橋の標高は両端部の標高を平均した値とした．補正は，高さ 1m に対し海岸からの距離 25m を乗じた[5]．

4.5　塩害環境決定係数

ここでは，海岸からの距離に加え，前節までの影響因子を考慮した塩害環境を定量的に評価する式として，塩害環境決定係数を式(4.3)のように定義し，実測値との相関を確認した．

$$X = (D + 25H)\left(\frac{1}{\alpha}\right)\left(\frac{1}{\beta}\right)\left(\frac{1}{V_a}\right) \tag{4.3}$$

X: 塩害環境決定係数　　D:海岸からの距離（m）
H:高さ（m）　　α:海岸係数
β: 遮蔽物係数　　V_a:補正風速（m/s）

4.6　評価結果および考察

図-5 に塩害環境決定係数と浸透塩化物イオン濃度との関係を示す．本研究では，塩化物イオン濃度が 0.1（kg/m³/day）以下に集中しているため，図-5 ではこれに対応する領域を示した．この結果から本提案式は，図-2 に比較し塩害環境を定量的に評価可能であることがわかる．

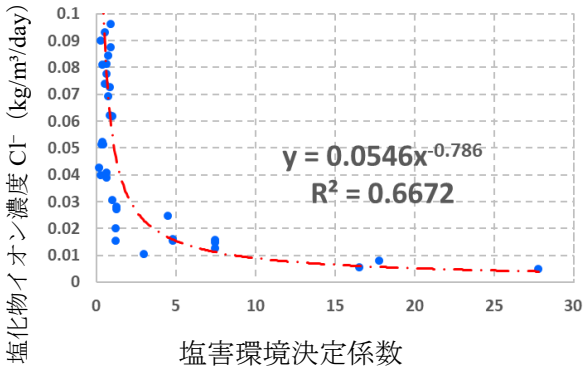


図-5　塩害環境決定係数と塩化物イオン濃度

5.まとめ

本研究で提案した海岸条件や気象条件を考慮した塩害環境決定係数を用いることで，塩害環境の定量的な評価が可能であることが示唆された．

参考文献

1)　土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，丸善出版，pp.148-157，2012
2)　比嘉孝之：鉄筋コンクリート構造物の外来塩害ハザードMapシステムの開発－飛来塩分輸送量の推定およびコンクリート中への塩化物イオン浸透予測の検討－，琉球大学大学院理工学研究科環境建設専攻設計工学講座修士学位論文，2014
3)　秋山広太朗、鈴木志朗、佐伯竜彦、斎藤豪：海岸条件を考慮した飛来塩分環境の定量評価に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅴ，pp95-96，2018
4)　Google Earth: https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/
5)　土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，丸善出版，p.113，2007

亜熱帯島嶼地域における大型台風襲来時の飛来塩分特性

琉球大学　○金城樹　下里哲弘　田井政行　淵脇秀晃

1. はじめに

鋼材の飛来塩分による腐食減肉が以前から問題視されているが，それらには相関があるということが既往研究により明らかになっている．沖縄県は亜熱帯島嶼地域であるため他県に比べて飛来塩分が多く鋼材が腐食しやすい環境下に置かれている．また，台風時には平常時に比べさらに多くの飛来塩分が予想され，鋼材の腐食を促進させると考えられるが，台風時の定量的な飛来塩分量は明らかになっていない．

本研究では，エアサンプラーや土研式タンク法，ドライガーゼ法，風向風速計測から得られた台風時のデータを平常時のデータと比較し，台風時の飛来塩分特性の評価を行うことを目的とする．

2. 試験概要

2.1 試験場所及び捕集期間

試験は琉球大学校内の暴露場で行った（写真 2.1）（※離岸距離：約 2.5km）．試験（捕集）期間は 2018 年 9 月 28 日～2018 年 10 月 1 日（台風 24 号），2018 年 10 月 4 日～2018 年 10 月 5 日（台風 25 号）である．計測を行った台風の基本情報を（表 2.1，図 2.1）に示す．

2.3 試験方法

試験方法はエアサンプラー，土研式タンク法，ドライガーゼ法，風向風速計測を行った（写真 2.2，2.3）．

風向風速計測は 10 分間隔で計測を行い，10 分間毎の平均風速（m/s），最大風速（m/ｓ），計測期間全体の風向頻度（%）をグラフ化し，注意報，警報ごとに色分けを行った（図 2.2，2.3）．また，エアサンプラー，土研式タンク法，ドライガーゼ法で捕集した飛来塩分からそれぞれ粒径分布，飛来塩分量を算出した．土研式タンク法の捕集口とドライガーゼ法の木枠の面積はともに（100㎜×100㎜）である．土研式タンク法とドライガーゼ法の塩分の検出方法には硝酸銀滴定法を採用した．硝酸銀滴定法とは次式の反応を利用して水溶液中の塩分濃度を検出する方法である．

$$NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl + NaNO_3$$

3. 試験結果

3.1 台風時の飛来塩分の粒径分布特性

図 3.1 は台風 24 号，25 号の粒径分布と平常時の辺野喜，琉球大学の飛来塩分の粒径分布を表したグラフである．図から分かるように台風時の粒径分布は平常時の琉球大学の粒径分布と概ね同じ傾向を示しているが，11 ㎛以上の塩分は平常時の約 2 倍である．しかし，離岸距離約 50m の暴露場（辺野喜）と比べると辺野喜の方が高い値を示していることから海に近い方が飛来塩分が多く鋼材が腐食しやすい環境にあると言える．

台風 24 号　　台風 25 号

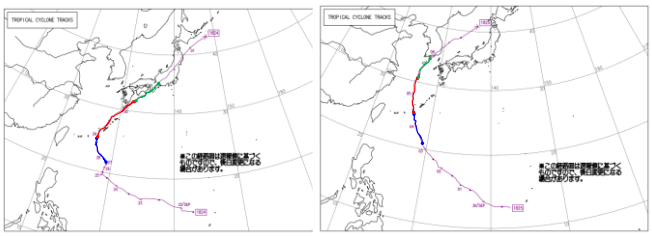


図 2.1 台風 24 号，25 号経路図（出典：気象庁）

表 2.1 台風 24 号，25 号最大風速，最大瞬間風速，中心気圧

	台風24号	台風25号
最大風速	45 (m/s)	35 (m/s)
最大瞬間風速	60 (m/s)	50 (m/s)
中心気圧	950 hPa	975 hPa



写真 2.1 琉球大学校内暴露場



写真 2.2 風向風速計



写真 2.3 設置状況（左からエアサンプラー，土研式タンク法，ドライガーゼ法（捕集面は南北））

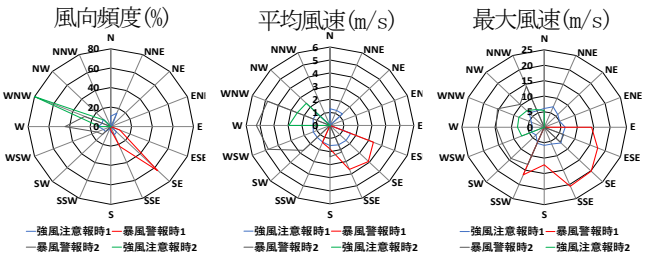


図 2.2 台風 24 号 風向風速

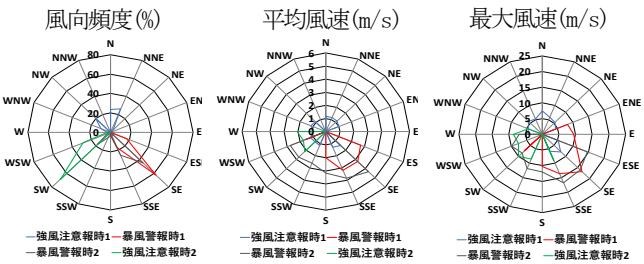


図 2.3 台風 25 号 風向風速

キーワード：腐食減耗量，飛来塩分量，台風，粒径分布

連　絡　先：〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地　琉球大学工学部　環境建設工学科

3.2 台風時の飛来塩分量と腐食減耗量

図 3.2 及び図 3.3 はそれぞれ土研式タンク法とドライガーゼ法で得られた飛来塩分量を 2009 年の年間塩分量(2009 年は台風が沖縄県を通過しなかった年．なお，台風通過の定義は台風が那覇市から半径 150km を通過したか否かとする)と比較したグラフである．

(1) 土研式タンク法

図 3.2 より台風 24 号では最大で平常時の約 29.6 倍，最少でも約 4.6 倍の塩分が捕集された．また，台風 24 号と 25 号を比較すると最大で約 4.5 倍の差があることから，台風の規模によって飛来塩分量は大きく異なると言える．また，図 2.2，2.3 から今回の台風時には南方からの風が強く吹いていることが分かるので土研式との結果と照らし合わせると相関が取れていることが分かる．

(2) ドライガーゼ法

図 3.3 より台風 24 号は 3 日間の捕集期間で 2009 年の年間捕集量の約 1/2 の塩分が捕集された．また，図 3.4 は既往研究により得られた鋼材の腐食減耗量と飛来塩分量の相関図から近似直線を求め，今回ドライガーゼ法で得られたデータをプロットしたものである．これにより 2009 年の腐食減耗量と 2009 年+台風 24 号の腐食減耗量を比較すると約 22%の減耗量の増大が予想される．

4. 結論と今後の展望

本研究では台風時の飛来塩分特性評価を行うことを目的に試験を行った．本研究の結論を以下に示す．

(1) 台風時は平常時に比べて大粒の塩分が飛んできやすく，海に近いほど大量の塩分が飛んでくる．
(2) 台風の規模によって飛来塩分量は大きく異なる(24 号と 25 号では最大で約 4.5 倍の差がある)．
(3) 台風時は平常時に比べ大量の飛来塩分が捕集される(土研式では最大で 29.6 倍，最少で 4.6 倍)．
(4) 台風 24 号 1 回の襲来で予想される腐食減耗量の増加は約 22%である．

今後の展望としては，今回得られた結果をもとに台風時の飛来塩分が鋼材にどのような影響を及ぼすのかの検討，評価を進めていく．

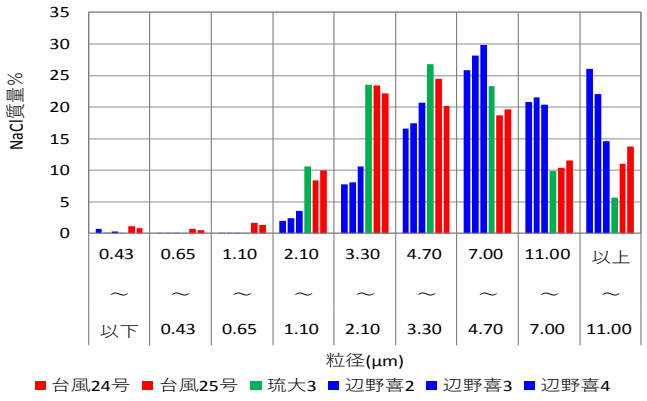


図 3.1 粒径分布比較

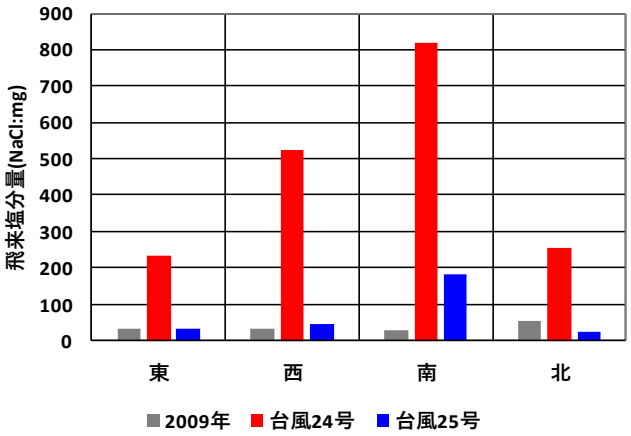


図 3.2 飛来塩分量比較(土研式タンク法)

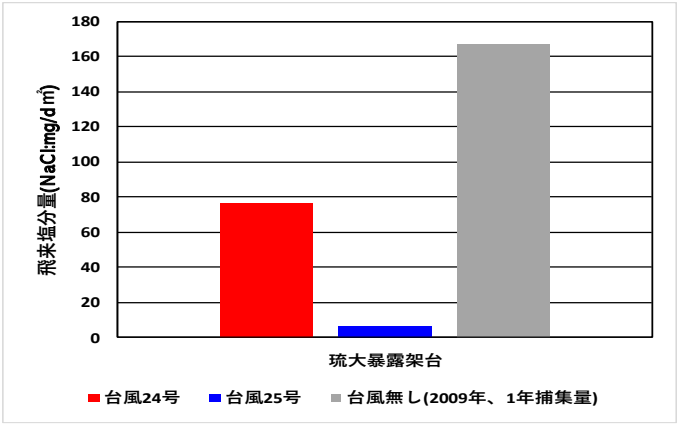
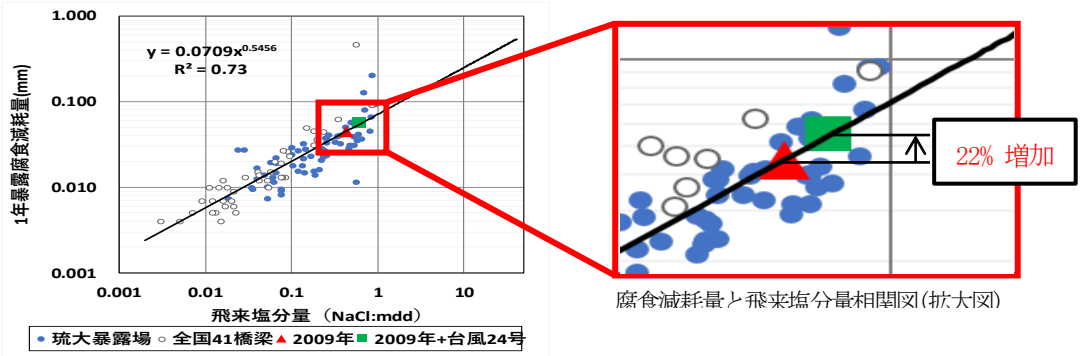


図 3.3 飛来塩分量比較(ドライガーゼ法)



腐食減耗量と飛来塩分量相関図(拡大図)

図 3.4 腐食減耗量と飛来塩分量相関図

参考文献

(1) 宇座　徳人，下里　哲弘，有住　康則，淵脇　秀晃；暴露鋼板の設置環境別の鋼材腐食特性に関する研究，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，Vol. 59，I-11，2015

アルミ合金製の多機能防食デッキ内部の腐食環境調査

○正会員　（株）横河ブリッジ　中野麻衣子　井口　進
正会員　琉球大学　下里哲弘　田井政行　澤田知幸

1．概　要

道路橋では5年に1度の近接目視による定期点検が基本[1]となり，点検しやすい構造や設備が求められている．従来の検査路に替わる点検設備のひとつとして，常設されるアルミ合金製の多機能防食デッキ[2]（以降，アルミデッキ）が挙げられる．ここでは，アルミデッキの概要と防食性の確認のため実施した腐食環境調査の結果を報告する．

2．アルミ合金製の多機能防食デッキ

アルミデッキはアルミ合金製のパネル材であり，橋梁点検用や補修等作業用の足場として使用できる．橋梁への設置方法は桁間に敷設する方法と，桁から支持材でパネルを吊り下げ，桁全体を覆う方法があり，鋼橋だけでなくコンクリート橋への適用も可能である（**図-2**）．アルミデッキの特徴を以下に挙げる．

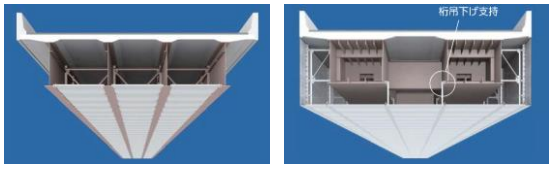
1)　高い防食性：気密性の高い端部構造となっており，橋梁劣化因子の侵入防止の効果も期待できる．例えば，桁本体外面の塗装系を内面塗装系とすることで，LCCの大幅な改善が期待できる．また，使用するアルミ合金材は，塩害地域の高欄や防護柵等で実績のある材料であり，アルミデッキ本体の長期的な防食性も確保している．

2)　軽量：パネル材は**図-3**に示すように中空断面となっており，軽量かつ高剛性を有する構造としている．設置時には桁内部から人力による送り出し施工を行うことができ，交通規制の低減や仮設足場を必要としない省施工な工法が可能となる．

3)　常設足場としての機能：アルミデッキの歩廊面はフラットなため，点検員の通行性に優れ，また台車による資機材運搬も可能である．アルミデッキの強度は，静的載荷試験および疲労試験によって確認している．

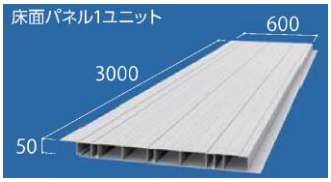


図－1　アルミ合金製の多機能防食デッキ



a）桁間タイプ　　b）桁吊下げタイプ

図－2　アルミデッキの設置方法



図－3　パネル材の構造



写真－1　アルミデッキ（桁間タイプ）が設置されたＨ橋

4)　橋梁外の第三者被害の防止：アルミデッキを設置することにより，床版コンクリートの剥落片等が桁下へ落下することを防ぎ第三者被害を防止できる．アルミデッキの安全性は，実物大のコンクリート片落下衝撃試験（重量：最大300kg）によって確認している．

3．アルミデッキ内部の腐食環境調査

1）概　要

沖縄県本部町にあるH橋に設置されている桁間タイプのアルミデッキ（**写真-1**）において，防食性能を検証することを目的とした環境調査を実施し

キーワード　　アルミ合金，常設足場
連絡先　〒541-0048　大阪市中央区瓦町 4-3-7　VORT 御堂筋本町 4F　（株）横河ブリッジ　営業本部　大阪営業第二部　第三課　E-mail：m.nakano@yokogawa-bridge.co.jp

た．H橋は海岸線までの距離が約1.2km・1.8km（図-4）に位置する単純合成2主箱桁橋である．調査内容としては，USB型温湿度データロガーおよびワッペン鋼板を桁内外へ設置し，1年間（2017年10月～2018年11月）の暴露試験を実施した．ワッペン鋼板の観察は暴露開始から3・6・9・12ヶ月目とした．

2）設置場所

USB型温湿度データロガーおよびワッペン鋼板の設置位置は，図-5に示すアルミデッキ内・箱桁内・橋台・支間中央欄干の4か所とした．

3）測定結果

ワッペン鋼板の外観観察12ヶ月目の状況を写真-2に，温度・湿度の経時変化を図-6に示す．

ワッペン鋼板の外観観察より，アルミデッキ内・箱桁内においては，わずかな点錆程度であるのに対し，橋台では黒く均一な錆，支間中央では赤く凹凸のある錆が生じていた．これより，アルミデッキ内部の腐食の進行は外部と比べて非常に遅いことが確認できた．腐食減耗量としては橋台で0.03mm，支間中央で0.02mmであった．これより推測される飛来塩分量を図-7に示す．これは，海岸線までの距離が50mである沖縄・牧港暴露試験場と同程度で，腐食環境が比較的厳しい地域であることが分かる．

また，温度・湿度の経時変化より，桁内外の絶対温度・湿度が連動していること，アルミデッキ内・箱桁内の変動幅が外部に比べて小さいことが確認できた．これより，沖縄県のような腐食環境が厳しい地域においても，アルミデッキ内部は桁内環境に近い状態となっていることが確認できた．

参考文献

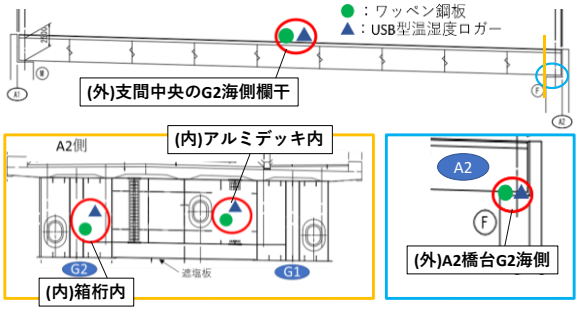
1) 国土交通省：道路法施工規則の一部を改正する省令（平成26年3月31日公布，7月1日施工）

2) 井口進，中東剛彦：アルミニウム製飛来塩分遮断板「アルミパネル」の開発，YBHDグループ技報，No.43，pp.92-95，2014.1

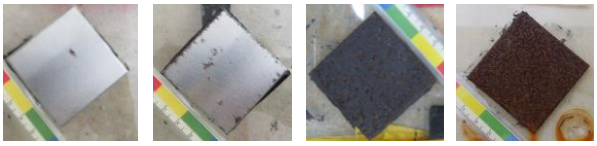
謝　辞：本調査の実施にご協力を頂きました本部町役場の関係各位に感謝致します．



図－4　H橋 位置図

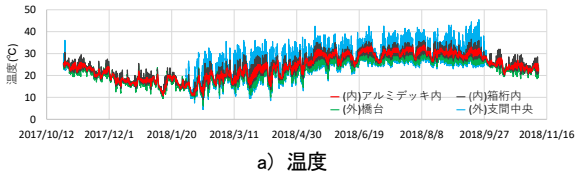


図－5　設置場所

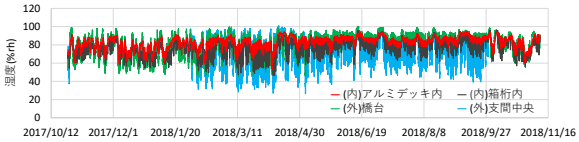


a）アルミデッキ内　b）箱桁内　c）橋台　d）支間中央

写真－2　ワッペン鋼板の外観観察結果（12ヶ月）

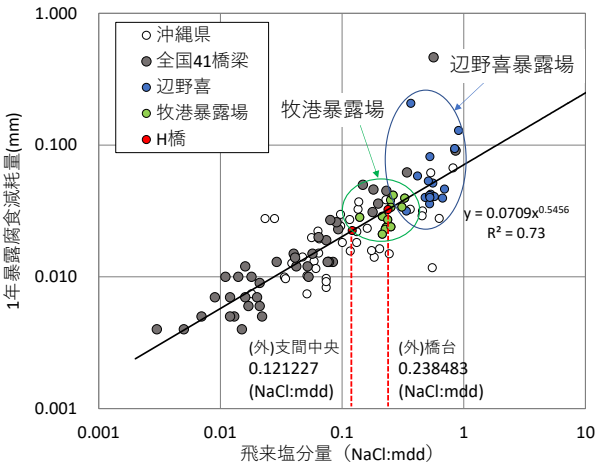


a）温度



b）湿度

図－6　各設置場所の温度･湿度の経時変化



図－7　ワッペン鋼板の腐食減耗量から推測される飛来塩分量

塩化物系凍結防止剤に防錆剤を添加して散布した実橋に生じる腐食生成物の組成分析

○正会員　興栄コンサルタント　畑佐陽祐，正会員　岐阜大学　木下幸治
学生会員　岐阜大学大学院　蓮池里菜，学生会員　岐阜大学大学院　矢野義知

1. 背景・目的

従来我が国では，冬季の道路凍結防止のために，塩化ナトリウム等の塩化物系凍結防止剤が多く散布されている．しかし，橋梁点検の結果[1)]をみても，凍結防止剤散布量が多いほど健全度が低いことは明らかである．このような凍結防止剤による腐食を抑制することを目的に，非塩化物系凍結防止剤や塩化物系凍結防止剤に添加して使用する防錆剤の開発が行われている[2)]．しかし，これらを実道路に適用しているのは，ごく一部に限られており，十分に普及しているとは言いがたい．この要因として，非塩化物系凍結防止剤や防錆剤を、実道路に適用した事例の調査研究等が十分になされていないことが挙げられる．これは，凍結防止剤の変更による影響を把握することが困難であるためだと考える．例えば，漏水の状況は橋梁や部位によって大きく異なるため，ワッペン試験などで腐食減少量を定量的に把握するような調査は難しい．他方筆者らは，非塩化物系凍結防止剤に関しての研究を進める中で，非塩化物系凍結防止剤を塩化物系凍結防止剤に混合することで，生成されるさびの組成が変化することを確認している[3)]．これを実橋の調査に適用することで，非塩化物系凍結防止剤や防錆剤の効果を検証できると考えた．

そこで本研究では，塩化系凍結防止剤に防錆剤を添加して散布した実橋に生じた腐食生成物の組成分析を行い，防錆剤の効果を明らかにすることを目的とした．

2. 調査手法の検討

2.1 組成分析の手法

実橋梁での調査に先立ち，調査手法の検討を実施した．さびの組成分析にあたっては，FT-IR（フーリエ変換赤外分光法）を行うこととした．FT-IR は，赤外線を利用した振動分光法の一つであり，分子の固有振動に由来する赤外線吸収帯である赤外吸収スペクトル（以下，IR スペクトル）を得，既知データとの照合によって，物質を同定することが可能である[4)]．FT-IR 分析の手法は，主に非破壊で分析可能な正反射法や ATR 法[4)]と，さびを部分的に削り取り粉末状にし，KBr 等で希釈して錠剤を成形して分析を行う錠剤法[4)]とが存在するため，分析手法を検討した．正反射法や ATR 法はハンドヘルド型の測定器を用いることで現地での適用が可能であるが，測定で得られるのはさび表面のデータであり，さび内部のデータを得ることができない．そのため，さびの厚さ方向で組成が変化しているかどうかを確認する必要があった．そこで，室内での腐食試験を行った試験体[3)]を用いて，厚さ方向の組成の変化を錠剤法によって確認した．分析には，日本分光(株)製 FT-IR-460 Plus/IRT-30-16 フーリエ変換型顕微赤外分光システムを使用し，測定範囲を 400～4000cm^{-1}，分解能を 4cm^{-1}，積算回数を 40 回とした．錠剤の作成には KBr を使用した．大気腐食環境において生成される鋼材のさび層は，α-FeOOH，β-FeOOH，γ-FeOOH，Fe3O4 等の組成のさびにより構成されている[5)]．本研究では，塩化物の存在下での活性さび[5)]であるβ-FeOOH，活性さび[5)]であるγ-FeOOH，Fe3O4，熟成さび[5)]であるα-FeOOH を計測対象とした．

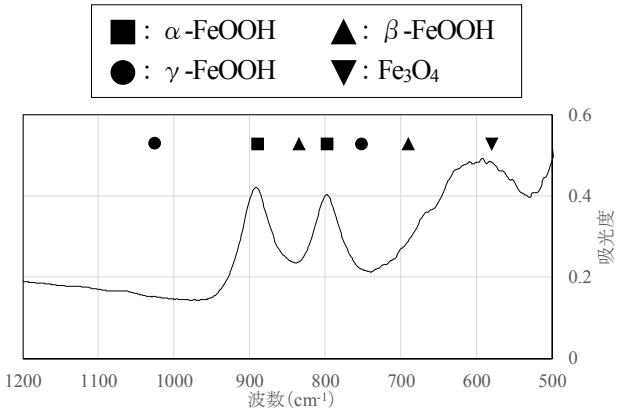
測定結果を図 1 に示す．なお，図には各さびの吸収帯を記載している．これらの吸収帯において，縦軸である吸光度が大きくなった場合に，その吸収帯を持つ組成のさびが検出されていると判断する．なお，β-FeOOH においては，ピークがブロードとなる傾向にあり，また，835 付近のピークではα-FeOOH のピークと重なり，同定が難しいことから，690 付近において，波形がショルダーとなっている場合にβ-FeOOH が存在していると判断する．図 1(a)より，表層付近ではα-FeOOH，Fe_3O_4 の吸収帯で吸光度が大きくなって

キーワード　凍結防止剤，防錆剤，腐食，実橋，FT-IR
連絡先　〒500-8288　岐阜県岐阜市中鶉 4 丁目 11 番地　株式会社興栄コンサルタント TEL058-274-2697

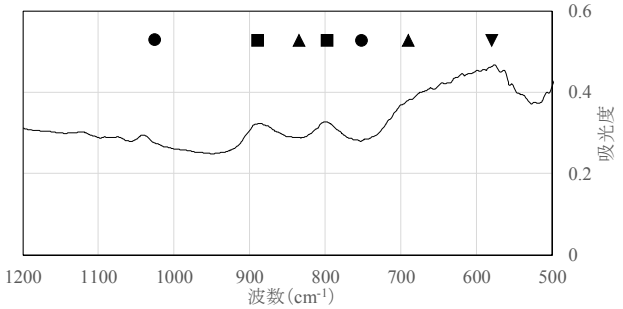
いることが分かる．地鉄に近付いている図 1(b)では，β-FeOOH の吸収帯での吸光度が大きくなっており，地鉄付近の図 1 (c)ではより明確となっている．このように，さびの厚さ方向の位置によって検出されるさびが異なっていることが分かった．このため，さび表面のみを計測する正反射法ではなく，さびの採取位置をコントロールすることで，任意の箇所のさび組成が確認できる錠剤法にて分析を行うこととした．

2.2 さびの採取から分析までの時間経過の影響

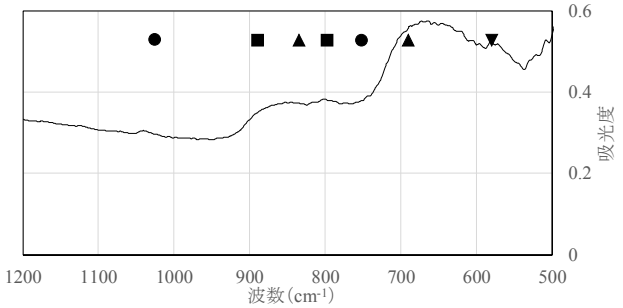
さびの採取は現場で行い分析は研究室で実施するため，さび採取から分析までに時間が経過することにより，さび組成が変化してしまうことが懸念された．



(a)　地鉄より 3765～4515μm



(b) 地鉄より 484～695μm

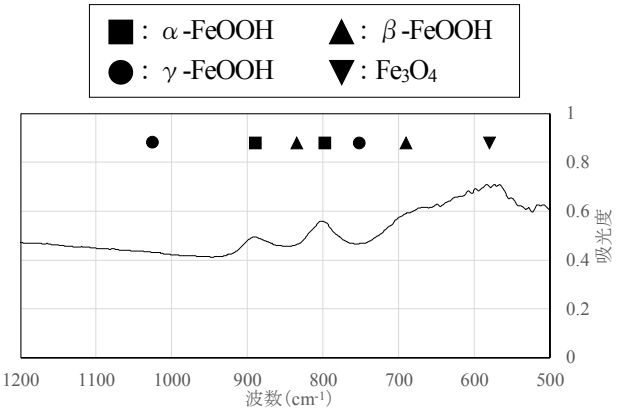


(c) 地鉄より 0～195μm

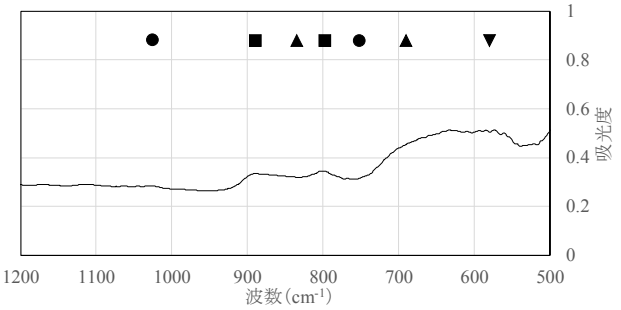
図-1　さびの採取位置による組成の違い

そのため，室内での腐食試験を行った試験体 [3]の同一サンプルから採取したさびを，採取直後 (10 分以内)，採取後 27 日経過後にそれぞれ分析した. 測定結果を図 2 に示す．採取直後と 27 日経過後とでは，ピークの大きさには多少の変化があるものの，前述した判断基準で判断した場合に同定されるさびの組成はいずれもα-FeOOH，β-FeOOH，Fe_3O_4 で同じであった．これより，さびの採取後 1 ヶ月程度経過しても大きな変化は無いと考え，採取後数日程度で分析を行う事とした．

3. 実橋調査



(a)　採取直後



(b) 採取後 27 日経過後

図-2　時間経過による組成の変化



写真-1　さびの採取状況

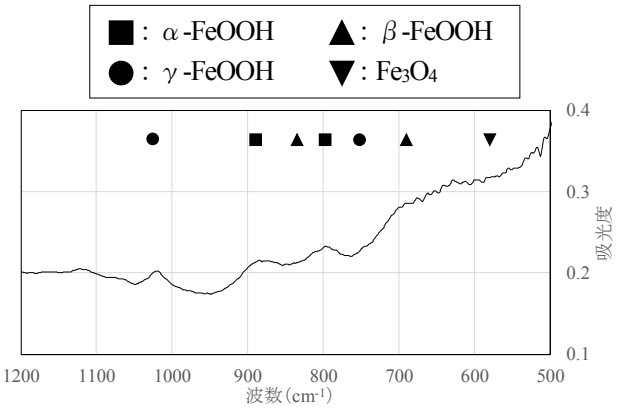
3.1 対象橋梁および調査手法

本橋は，中部地方の海岸から約 3km の場所に位置していることから，飛来塩分の影響は小さいものと考えられる．調査日は 2018 年 6 月 28 日であり，冬期の凍結防止剤散布が終了して 4 ヶ月程度経過した状態で調査を行っている．本橋では，従来は凍結防止剤として塩化ナトリウムを散布していたが，2015 年度より塩化ナトリウムに防錆剤を添加した物を散布している．

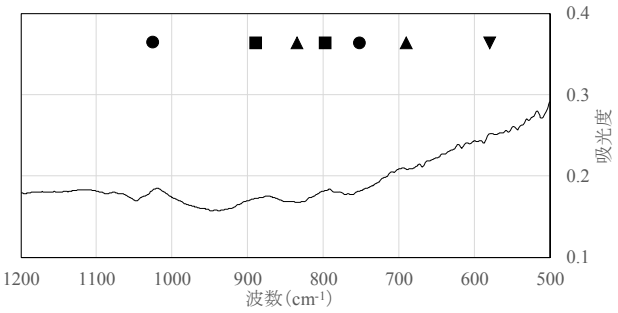
さびは，電動工具を用いて採取した．前述のとおり，採取するさびの厚さ方向の位置によって，さびの組成が異なる可能性があるため，ダイヤルゲージにて厚さを計測し，さびの採取位置が分かるように採取を行った．採取状況を写真 1 に示す．採取位置は，漏水によって腐食が生じている位置とした．5 箇所では電動工具を使用してさびを採取しており，さらに 4 箇所で浮きさびを採取した．



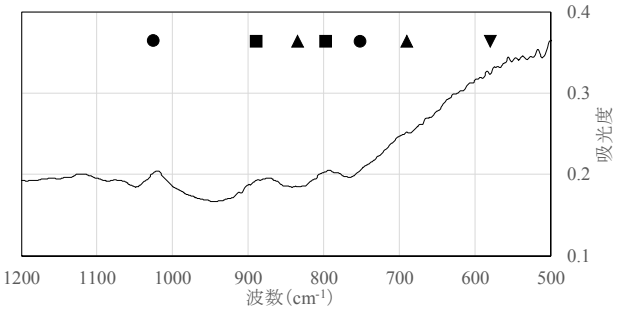
写真-1　さび採取位置



(a) 地鉄より 340～440μm（表層）

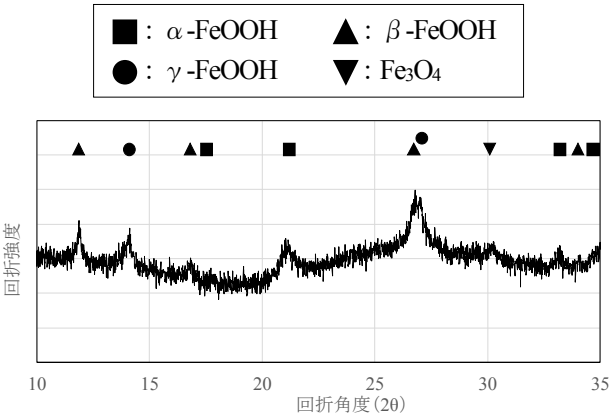


(b) 地鉄より 130～340μm（中層）

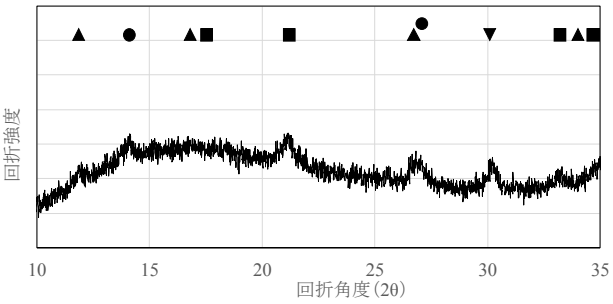


(c) 地鉄より 0～130μm（地鉄付近）

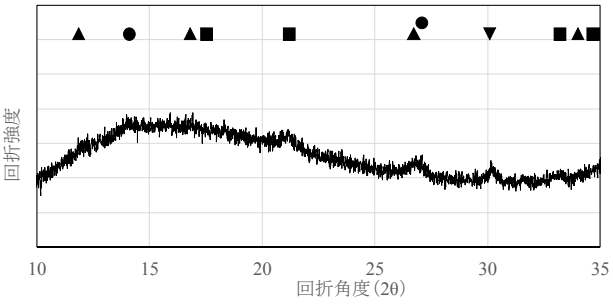
図-3　実橋梁の FT-IR 分析結果



(a) 地鉄より 340～440μm（表層）



(b) 地鉄より 130～340μm（中層）



(c) 地鉄より 0～130μm（地鉄付近）

図-4　実橋梁の XRD 分析結果

3.2 調査結果

ここでは，分析結果のサンプルを示す．測定位置を写真 2 に示し，測定結果を図 3 に示す．表層ではα-FeOOH，β-FeOOH，γ-FeOOH が存在しており，中層ではα-FeOOH，β-FeOOH，γ-FeOOH が、地鉄付近ではα-FeOOH，γ-FeOOH がそれぞれ存在している事が分かる．したがって，塩化ナトリウムに防錆剤を添加する以前に生成されたと考えられるさび表層付近では，β-FeOOH が生成されていたが，防錆剤の添加後に生成されたと考えられる地鉄付近ではβ-FeOOH が生成されていないこととなる．これより，防錆剤の添加によって塩化物の影響が軽減されていると考えられる．その他の計測地点においても，地鉄付近ではβ-FeOOH は確認されなかったことから，橋梁全体において，防錆剤によって塩化物の影響が軽減されている考える．

4. XRD による補足調査

さびの組成分析に対しては，FT-IR よりも XRD（X 線回折）の方が多く用いられているため，XRD でも同様の分析を行い，検出精度および作業性を検証した．測定には，リガク smartlab を用い，45kV-200mA で Cu ターゲットからの特性 X 線を利用した．測定結果を図 4 に示す．図の縦軸は解析強度を示しているが，バックグラウンド補正を行ったため，数値は示していない．図より，表層ではα-FeOOH，β-FeOOH，γ-FeOOH が，中層ではα-FeOOH，β-FeOOH，γ-FeOOH，Fe_3O_4 が，地鉄付近ではα-FeOOH，Fe_3O_4 が検出された．なお，地鉄付近の 27 付近でピークが存在しているが，β-FeOOH とγ-FeOOH のいずれによるピークかが判断できないため，ここでは未検出扱いとした．FT-IR の測定結果と比較すると，Fe_3O_4 の検出以外はほぼ同様の結果となった．本研究のように，散布する凍結防止剤を変更した現場での計測において重要となる塩化物環境下で生成されるβ-FeOOH はほぼ同様の検出精度であったことから，FT-IR による測定でも問題は無いと考える．さらに、錠剤法を用いて FT-IR を実施する際に必要なさびの量は数 mg であるが，XRD を精度良く実施するためには，20～100mg 程度のさびが必要となる．そのため，現地での作業条件などを考慮すると，FT-IR による測定が有効となる場合があると考える．

5. 結論

・塩化物に防錆剤を添加した凍結防止剤を散布している実橋梁の調査を行い、防錆剤によって塩化物の影響が低減されている事を、さび組成の観点から明らかとした。

・FT-IR と XRD の比較を行った結果，さびの検出精度はほぼ同等であった．また，現地での作業条件などを考慮すると，本研究のような凍結防止剤の変更後の経過観察を実施する際には，XRD よりも FT-IR を用いる方が有効となる場合があると考える．

謝辞

本研究の実施にあたり，名古屋高速道路公社の皆様には多大なるご協力をいただいた．ここに示して感謝の意を表する．

参考文献

1) 独立行政法人土木研究所:非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書， pp.43-45，2003.8.
国土交通省 道路局:道路メンテナンス年報（平成 29 年度），p40，2018.8
2) 独立行政法人土木研究所:非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書，pp.4-80，2003.
3) 蓮池里菜，木下幸治，畑佐陽祐：塩化・非塩化混合凍結防止剤による腐食生成物の組成に基づく検討，鋼構造年次論文報告集，pp.762-767，2018.11
4) 大西 晃宏：フーリエ変換赤外分光法，ネットワークポリマー，Vol.32，No.1，pp.50-57，2011.
5) 三木千壽, 市川篤司:現代の橋梁工学, 数理工学社, pp.44-54，2004.12.

琉球石灰岩層を杭基礎の支持層として採用するための基礎的研究

琉球大学　○荒木悠太郎，藍檀オメル，渡嘉敷直彦，堀内浩貴

1. 研究背景及び目的

沖縄県では，琉球石灰岩と下部の島尻層群からなる地盤に杭基礎を設置する際に，杭を石灰岩層に貫き，下部の島尻層を支持層とする先端支持杭の採用が一般的である．

石灰岩を支持層としない理由は，石灰岩層内の空洞・空隙の有無と，岩盤としての物性値や杭基礎の支持力特性を十分に把握することができず，設計上のリスクを回避していることにある．**図-1** に示したように，構造物の基礎を琉球石灰岩層で支持する合理的な設計・施工法が確立することができれば，島尻層泥岩まで杭を打ち込む必要がなくなるため，基礎工の工費や工期の短縮に繋がることが期待できる．

本研究では，琉球石灰岩層を杭基礎の支持層として採用するための基礎的検討を行う．

2. 杭基礎の基礎式

まず Aydan[1)]が**図-2** を基に杭の基礎式，構成則を紹介する．

1)　杭の静的基礎式は次のようになる。

$$\frac{d\sigma_z}{dz}+\frac{2}{r_b}\tau_b=0 \tag{1}$$

$$\tau_b=K_r w_b \tag{2}$$

ここに

$$K_r=\frac{G_r}{r_b\ln(r_0/r_b)} \tag{3}$$

2)　杭が弾性体であると構成則は下記のように与えられる。

$$\sigma_z=E_b\varepsilon_z=-E_b\frac{dw_b}{dz}, \tag{4}$$

式(1)に式(2)および式(4)を導入すると次式が得られる．

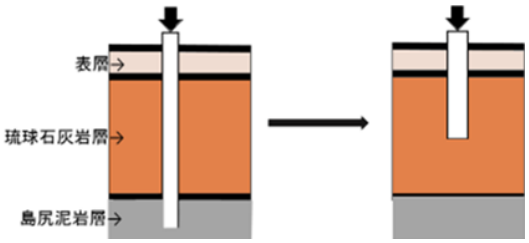


図-1 従来と今回提案する杭基礎の概念

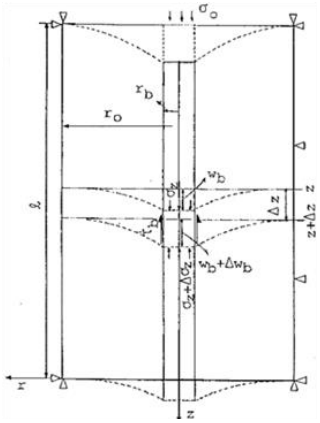
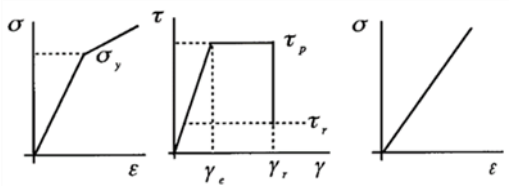


図-2 力学的モデル化



(a)鋼管杭（スチール）　(b)岩石と杭の境界面　(c)岩盤

図-3　鋼管杭，境界面，岩盤の構成則

$$\frac{d^2w_b}{dz^2}-\frac{2}{E_b r_b}\tau_b=\frac{d^2w_b}{dz^2}-\alpha^2 w_b=0 \tag{5}$$

ここに

$$\alpha=\sqrt{\frac{2K_g}{E_b r_b}}. \tag{6}$$

3)　**杭，境界面，岩盤の構成則の定義**

杭の基礎式を解くための構成則を**図-3** のように定義する．

キーワード　　杭基礎，岩盤物性値，支持力特性，FEM 解析
連絡先　〒903-0213　西原町千原 1 番地　琉球大学工学部　E-mail：e155320@eve.u-ryukyu.ac.jp

表-1　境界面の傾斜試験における摩擦角の結果

材料条件	実験結果				平均値
鉄筋に腐食有	19	26	23	24	23.5
鉄筋に凹凸有	21	16	22	19	19.78

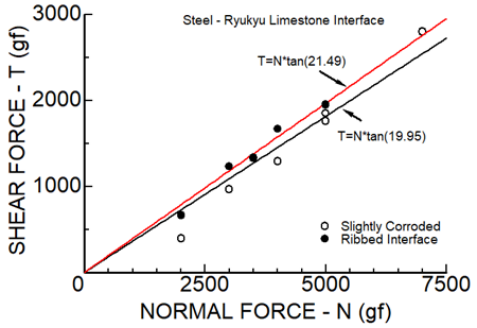


図-4 垂直荷重とせん断荷重の関係

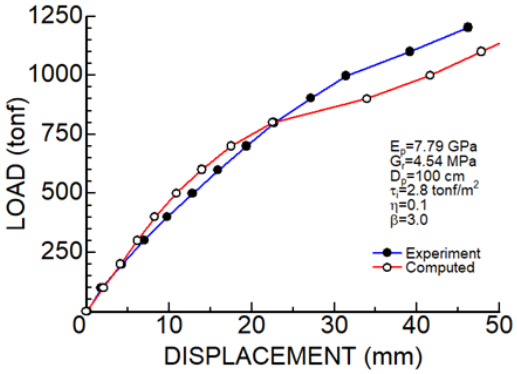


図-5　境界面のせん断試験の様子

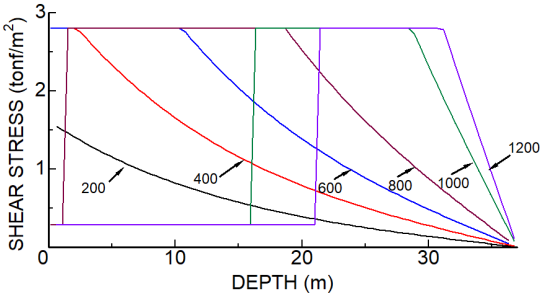


図-6　深さ方向におけるせん断応力の分布

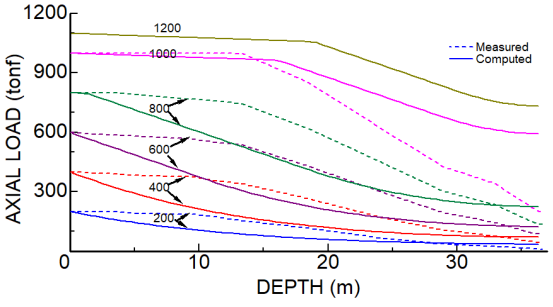


図-7　深さ方向の軸力分布と実測値との比較

3．スチールと岩石境界面せん断試験

構成則のパラメータを決定するため，せん断試験を行った．Mohr-Coulomb 破壊基準を表した**図**-4 と**表**-1 からせん断試験と傾斜実験の摩擦角の結果は，ほぼ同様であることがわかる．

4．琉球石灰岩を基礎とした設計事例の解析

杭の載荷実験の数値シミュレーションを行い，古宇利島大橋の載荷試験の計測結果[2)]と比較した．解析手法として Updated–Lagrangian 型の非線形有限要素法を利用し，**図**-3 で示した構成則を用いて解析を行った．解析より荷重と変位の関係を**図**-5 に示す．また杭の深さ方向のせん断応力分布と軸力分布を**図**-6 および**図**-7 に示す．計測結果と数値解析による結果を比較すると類似した結果が得られた．**図**-7 の実測値と解析値の若干の違いは、現場の物性値特性は N 値のみで判断され、ばらつきのある実測値から算出し，それを解析に用いたためである．

5．まとめ

本研究では，琉球石灰岩層を杭基礎の支持層として提案をするため，現場計測のデータと数値解析の結果を比較した．解析より，計測結果と数値解析の結果に一定の類似性が見受けられた．今後は，杭の支持力を把握するため，動的試験を行い，現場計測の結果と解析の結果から比較する必要がある．

参考文献．

1) Aydan, Ö. (2018). Rock Reinforcement and Rock Support. CRC Press, Taylor and Francis Group, 486p, ISRM Book Series, No.6

2)沖縄県土木建築部　北部土木事務所　古宇利大橋載荷試験結果，1999，3 月

衝撃荷重下における岩石の動的変形・破壊特性に関する実験的研究

琉球大学　○神立晋弥，藍檀オメル，富山潤，須田裕哉

1.　はじめに

土木･建築構造物に作用する動的荷重として，衝撃荷重がある．この代表例を**表-1** に示す．衝撃荷重は自然的要因または人為的要因によって発生する現象(以下，衝撃現象と呼ぶ)に伴い発生し，構造物へ被害を与える．このため，構造物の設計にあたり，衝撃荷重を考慮した構造物の挙動や耐衝撃性の検討ならびに安定性の評価が求められている．

安定性の評価をするにあたり，構造物の材料基盤となる岩盤，およびそれを構成する岩石の動的力学特性を把握する必要がある．ここで述べる岩石の動的力学特性とは，**表-1** に示す衝撃現象に伴い発生した衝撃荷重が岩石に対して作用した時，その力と作用時間との関係を示す力学的性質である．

岩石の動的力学特性を調べる実験方法として SHPB(Split Hopkinson Pressure Bar)法 [1)2)] がある．SHPB 法は材料の動的諸量(応力，ひずみ，ひずみ速度)を計測するにあたり広く認知されている高速衝突実験法である．ひずみゲージにより計測される工具応力と，一軸応力状態の一次元弾性波理論を適用して定める試料端の圧縮荷重と粒子速度から動的諸量が計測される．しかし，従来の研究では SHPB 法の計測方法に関して様々な問題点が報告されている [2)3)]．一次元弾性波理論の適用は必要とある精度で妥当であるのか，供試体は一様な応力状態にあるのか，などである．また，供試体の破壊あるいは変形に至る際のひずみ速度の調整が実験者の希望するように指定できるか，などが挙げられている．

2.　研究目的

本研究では，SHPB 法に挙がる問題点を考慮し，衝撃荷重下における岩石の動的力学特性を調べるため，Sakamoto & Aydan[4)] の落下衝撃試験機を再開発し室内衝撃実験を行った．この方法は重錘自由落下式衝突試験法として確立され認知されている方法である [5)]．岩石の圧縮・引張強度，ひずみ速度ならびに岩石の供試体の破壊時の挙動を調べることが本研究の目的である．静的物性値がある岩石については動的物性値との比較を行い，どのような相違があるのか調べた．

表-1　衝撃現象の種類と主な対象構造物の例

区分	衝撃現象	対象構造物
自然的	落石	落石覆工，道路，トンネル
	岩石崩落，土石流	砂防ダム，擁壁，道路，家屋
	波浪，津波	防波堤，湾岸施設，原子力発電所
	地震，断層運動	構造物全般
	竜巻，台風	家屋，ビル建物
	隕石の衝突	構造物全般
人為的	航空機の衝突	ビル建物，原子力発電所
	岩石掘削，発破	建設現場，トンネル
	重量物の落下	建設現場，道路
	船舶の衝突	橋脚，防波堤，護岸構造物
	ミサイルの衝突	原子力発電所

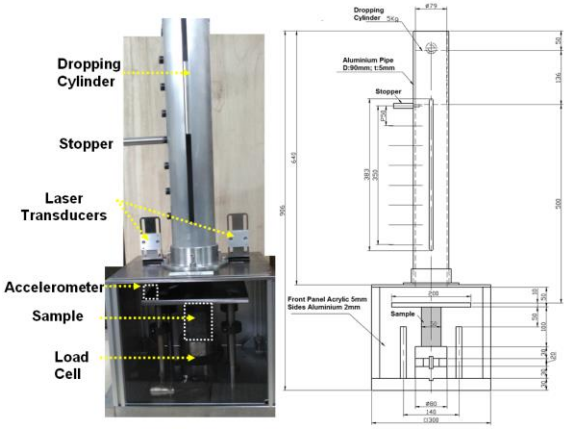


図-1　落下衝撃試験機(OA-STD500X)の概要

3.　実験概要

(1)試験機概要

図-1 に落下衝撃試験機の概要を示す．試験機は重さ 5kg，10kg のスチール製分銅，ロードセル，非接触型レーザー変位計，加速度計で構成されている．分銅の落下高さは 50mm 間隔で 150mm から 500mm まで変化させることにより供試体への衝突速度を調整することが可能である．またデジタルカメラによる実験の動画撮影を行い，供試体の破壊に至る前後の挙動を観察した．

キーワード:Shock test，drop-weight technique，rock fracture，Mechanical behavior，SHPB method
連絡先:〒903-2213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科　建設材料学研究室
E-mail：e155311@eve.u-ryukyu.ac.jp

⑵ 実験値の算出方法

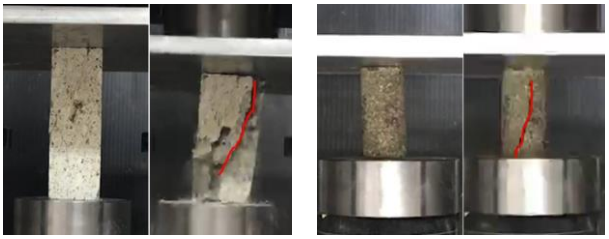
岩石供試体が破壊した際の最大速度V_{max}及び最大ひずみ速度$\dot{\varepsilon}_{max}$の各計算式を以下に示す．

$$V_{max} = \sqrt{2gH_d} \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}_{max} = \frac{V_{max}}{H} \quad or \quad \dot{\varepsilon}_{max} = \frac{V_{max}}{D} \quad (2)$$

表-2　凝灰岩(大谷石)と砂岩の実験値

	H(m)	A_{max}(G)	σ_t(MPa)	V_{max}(cm/s)	$d\varepsilon_{max}(s^{-1})$
大谷石	100.0	12.5	5.6	280.0	28.0
砂岩	50.6	12.4	3.3	313.1	61.9



0.00(s)　0.08(s)　0.00(s)　0.08(s)

図-2　供試体の時間ごとの挙動(右:大谷石，左:砂岩)



図-3　供試体の破壊前後の様子(左:大谷石，右:砂岩)

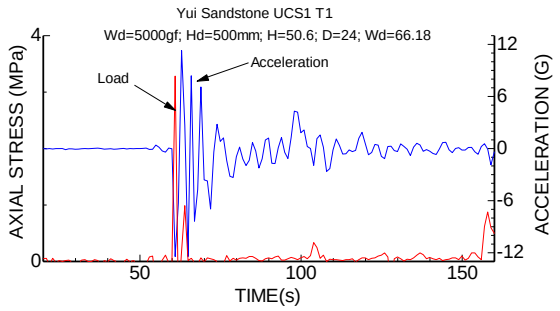


図-4　由比地区の砂岩の荷重-加速度応答

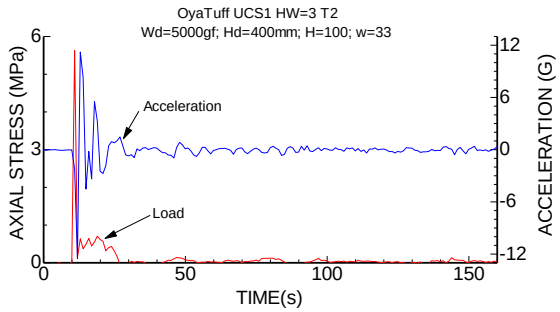


図-5　栃木県大谷地区の凝灰岩(大谷石)の荷重-加速度応答

g，H_d，H，D はそれぞれ重力加速度，分銅の落下高さ，供試体の高さ，供試体の直径である．

4.　実験結果(大谷石，由比地区の砂岩)

本研究の一部の結果である，栃木県の大谷地区の凝灰岩(大谷石)，静岡県の由比地区の砂岩の一軸圧縮試験の実験結果を示し考察を述べる．

本実験で使用した大谷石，砂岩の各実験値，荷重-加速度応答と，破壊前後の様子を**表-2**，**図-2**-5に示す．荷重-加速度応答において，どちらの岩石も最大加速度に到達する前に最大荷重が表れている．また、単一的な割れ目を生じて破壊したことが動画記録から観察できる．最大荷重は岩石自体の固有強度，形状，破壊状態ならびに分銅の落下高さに依存すると考える．

5.　本研究のまとめ及び今後の課題

本研究では，落下衝撃試験機と岩石を使用して，動的条件下で一軸圧縮試験，圧裂引張試験を行った．以下に得られた知見と考察及び今後の課題を述べる．

1) 岩石の動的圧縮･引張強度は，静的強度と比較して顕著な差異が見られなかった．
2) 動画記録から破壊時の挙動は静的条件下より動的条件下の方が比較的大きいことが示された．これは動的条件下では荷重の載荷時に岩石にかかる位置エネルギーが，岩石の破壊を及ぼす運動エネルギーあるいは慣性力となり消散するためと考える．
3) 供試体は試験機の落下分銅が接触した段階で圧縮され，破壊に至らなければ跳ね返りが生じていることが示された．破壊に至っても部分的な跳ね返りを生じることが確認できた．この跳ね返りの現象が加速度，荷重の応答の結果に作用している場合，今後の課題として，試料寸法の見直しや載荷版と試料の設置位置を見直す必要があると考える．

参考文献

1) Kolsky, H.; Stress waves in solids. Clarendon Press, Oxford, 1953.
2) Aydan, Ö; Rock Dynamics. CRC Press, Taylor and Francis Group, 462p, ISRM Book Series No. 3, ISBN 9781138032286, 2017
3) 佐藤裕久，山下実；SHPB 圧縮実験法標準化案の提示とその問題点-数値計算による分割ホプキンソン棒圧縮法の標準化に関する研究 3-，日本塑性加工学，Vol.50, No.584, pp842-845, 2009
4) Sakamoto, I. Aydan, Ö; Shock test rounded rock fragments in Suruga Bay sediments and implications on the past mega-earthquakes, 2019 (投稿中)
5) 大野友則；土木・建築工学分野における衝撃実験・計測法の現状と問題点，実験力学，Vol2, No4, pp235-242, 2002

Session　2：維持管理(診断・補修・補強)

再生盛土材料を使用した鋼製帯状補強土壁の摩擦特性評価

ヒロセ補強土㈱　正会員　○佐原　邦朋
日本地研㈱　井手　貴晴
山口大学大学院　正会員　鈴木　素之
山口大学大学院　学生会員　藤田　義成

１．はじめに

近年の建設工事において使用される盛土材料の傾向は，現地発生土の有効活用に加えて不足土量に再生土質材料を使用する例が増えている．鋼製帯状補強材を用いる補強土壁工法[1)]の裏込め盛土材料としても再生材料を使用するニーズが増えている．一般にその使用可否の判断は細粒分の含有率で行っているが，再生材料に対してはそれだけで判断することは難しい．そのため，構造原理である補強材と盛土材料の摩擦特性を評価するために現場引抜き試験と小型引抜き試験機[2)]による確認試験を実施した．

２．使用した再生盛土材料

今回使用した再生盛土材料は，火力発電所から発生する石炭灰を固化処理した後に破砕した礫質材料である．物理特性は表－1 に示す通り，細粒分含有率は 40.9%（＞25%），せん断抵抗角 φ＝34.6°（＞30°）と，細粒分含有率は 25%以下の規定を外れているが，せん断抵抗角は問題無い評価である．よって，人工固化された土粒子の高拘束圧状態での摩擦特性を確認しておくことが必要と考えた．

３．摩擦特性評価の方法

現場引抜き試験は，施工途中の盛土中に試験片を設置し，所定の土被り状態で油圧ジャッキを用いて引抜き抵抗力を計測することで，みかけの摩擦係数の評価を行う（**図**-1）．試験片は，2 本設置して引抜き試験を行った（**写真**-1）．小型引抜き試験は，試験機（**図**-2，**写真**-2）の中に盛土材料を投入し，ストリップの下部と上部を 2 層ずつ専用のランマーで締固めた後，所定の土被りに相当する載荷重を作用させた状態で補強材を引き抜く．引抜きは人力によるネジの回転力で 20mm まで引抜きを行い，引抜き時のピーク値と引抜きを止めた状態で計測される残留値を計測する．その後，所定の土被り荷重まで載荷重を除荷した状態で残留抵抗値を計測する．計測項目は，上載荷重・引抜き力・引抜き変位・底面の土圧力である．計測結果は，換算された見かけの摩擦係数とともに専用データロガーに表示される．

表-1　再生土質材料の物理特性

土粒子の比重Gs			2.317
自然含水比（%）			53.7
粒度試験（%）	礫分（2～75㎜）		46.8
	砂分（0.075～2㎜）		12.3
	細粒分	シルト分（5～75μm）	40.9
		粘土分（5μm未満）	
三軸圧縮試験(CD)	せん断抵抗角（°）		34.6
	粘着力（kN/㎡）		11.1
締固め試験	最大乾燥密度（g/cm^3）		0.964
	最適含水比（%）		54.1

（参考）再生土質材料カタログ値
せん断抵抗角（一面せん断試験）：30° 以上
粘着力（一面せん断試験）　：30kN/㎡以上

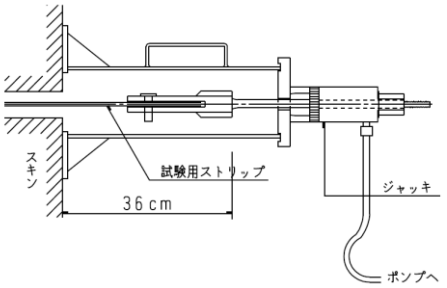
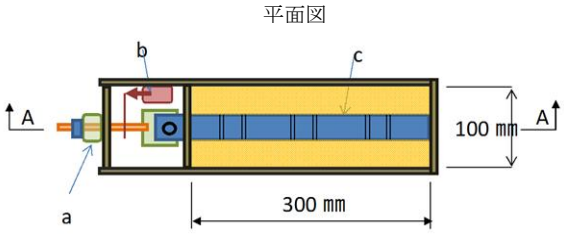
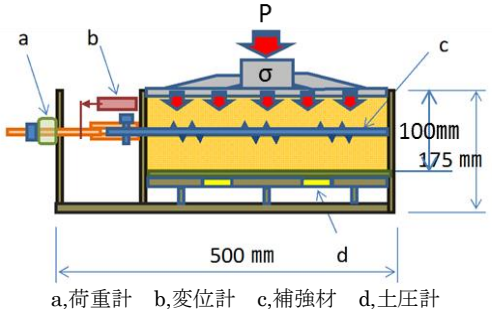


図-1　現場引抜き試験の模式図





a,荷重計　b,変位計　c,補強材　d,土圧計

図-2　小型試験機の形状・寸法

キーワード　再生材料，補強土壁，摩擦特性，引抜き試験
連絡先　〒901-1204　沖縄県南城市大里稲嶺 1462 番地　ヒロセ補強土株式会社　E-mail:k-sahara@hirose-net.co.jp

想定土被りは，6m 相当と 3m 相当の 2 種類で実施した．

４．試験結果

現場引抜き試験の結果を**図**-3 に示す．1 回目と 2 回目の最大引抜き荷重に差は見られるが，目標引抜き荷重は満足している．

小型引抜き試験機による摩擦係数確認試験結果を**図**-4 に示す．いずれもリブ付きストリップの設計値を超えているが，H=6m 相当の結果に対して H=3m 相当の結果は 2 倍近く大きくなっている．また，現場引抜き試験の結果をみかけの摩擦係数に換算したものとの相関を見ると，現場引抜き試験の 1 本目と小型引抜き試験の土被り 3m 相当の残留値が同等の整合を示し，現場引抜き試験の 2 本目と小型引抜き試験の土被り 6m 相当から除荷した 3m 相当が近い値を示していた．

５．考察

(1) 現場引抜き試験の結果は，1 回目と 2 回目の差が大きい．この理由は，再生材料の土粒子破砕状態のバラつきが考えられる．

(2) 現場引抜き試験の引抜き量において，引抜き力が 30kN を超えた辺りで数値が伸びている理由は，目標値が確認できた時点での写真記録等に時間を要したための影響と考えられる．

(3) 小型引抜き試験の H＝6m と 3m の差が大きい理由として，拘束圧の違いが土粒子のせん断抵抗に影響していると考えられる．拘束圧が低い 3m 相当では土粒子の破砕が少なく，引抜きに伴う補強材突起リブの抵抗によるダイレイタンシー効果が大きく発揮されたと考えられる．一方，拘束圧の高い 6m 相当では引抜きに伴う土粒子抵抗が少なく，ダイレイタンシー効果が小さかったと考えられる．

６．まとめ

石炭灰固化破砕材の摩擦特性について，現場引抜き試験と小型引抜き試験機による検証を行い，鋼製帯状補強土壁の設計値を満足する結果が得られた．また，現場引抜き試験の結果において差が大きい理由としては，固化土粒子の破砕状況の違いによる影響が考えられる．

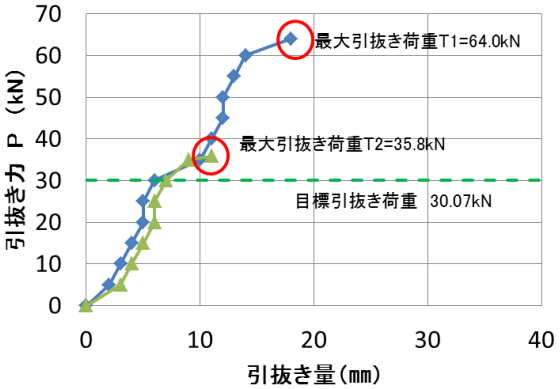


図-3　現場引抜き試験結果



写真-1　現場引抜き試験片設置状況

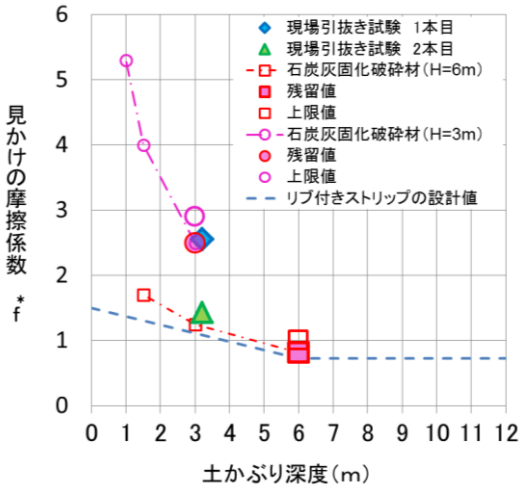


図-4　小型引抜き試験と現場引抜き試験の結果



写真-2　小型引抜き試験の試験片設置状況

参考文献

1)　（一財）土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法　設計・施工マニュアル　第 4 回改訂版　2014.8.

2)　佐原邦朋，鈴木素之：現場使用を想定した小型簡易引抜き試験機の開発および特性評価，地盤と建設，Vol35，No1，pp17-26，2017.

プレテンションPC桁のプレストレス導入時の端部水平ひび割れ抑制に関する研究

琉球大学　○内田凌太，富山潤，須田裕哉，藍檀オメル

1. 研究の背景および目的

プレテンション方式のPC部材では，プレストレス導入直後，PC桁端部断面に水平ひび割れが生じる場合がある（**写真1**）．これは，断面上下に配置したPC鋼線に過度なプレストレスが導入され，端部断面に曲げが生じることが原因と考えられる．また，PC部材の断面高さが高くなるにつれ，PC鋼材の本数も多くなるため，端部水平ひび割れが発生しやすくなる．既往の研究では，B活荷重スラブ桁2種（BS12，BS22）[1]に関してプレストレス導入試験を実験および数値解析的検討で行い[2]，良好な結果を得ている．しかし，プレストレス導入段階ごとの最大主応力の変化の調査など，解析的検討が不十分であった．そこで本研究では，既往の実験結果の再現解析に加え，検討桁断面を増やし，端部水平ひび割れ抑制に関する検討を行った．

2. 研究概要

本研究では，スパン長，断面の異なるJIS桁として，BS12，BS18，BS20，BS22の4桁を対象に端部水平ひび割れ抑制について検討を行った．これはスパン長や断面高さの違いで水平ひび割れ発生状況が異なることが予想されるためである．本稿では，BS22について，実験および解析的検討を示す．

(1)　試験体概要

BS22のスパン長は従来22mであるが，本試験ではプレストレス導入試験のため，プレストレスを十分に導入できる4mの桁を作製し，実験を行った．**表1**に試験体製作に用いた材料諸元を示す．また，**図1**に試験桁の断面図および側面図を示す．なお，A-A断面には後述するひび割れ抑制補強筋を設置したケースを示している．また，試験体は2体製作し，両端部でそれぞれ異なる条件でプレストレスを導入した。**表2**に端部条件の異なる試験ケースを示す．



写真 1　PC桁端部断面の水平ひび割れ事例

表1 材料諸元

圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	導入プレストレス(N)
35	2.46	29,500	187,200

表2 試験ケース

ケース	条件
1	PC鋼線すべてにプレストレスを導入
2	ボンドコントロール
3	ケース1+桁端部に補強鉄筋を追加
4	ケース2+桁端部に補強鉄筋を追加

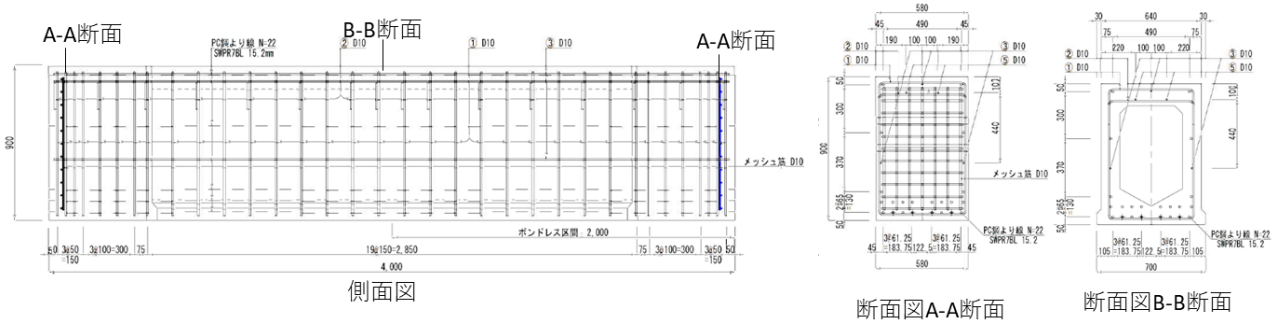


図1　BS22(4m)　試験桁　側面図および断面図

キーワード：有限要素法，midas FEA，プレテンションPC桁，ボンドコントロール，端部水平ひび割れ
連絡先　〒903-0123 西原町千原1番地　琉球大学工学部環境建設工学科　建設材料学研究室
E-mail：e155307@eve.u-ryukyu.ac.jp

(2)　数値解析概要

プレストレス導入時のひび割れ発生を数値解析的に再現するため，本研究では有限要素法を用いた非線形解析を行った．数値解析で使用した要素モデルおよび境界条件を**図 2** に示す．なお，PC 鋼線は 3 次元トラス要素を用いた．

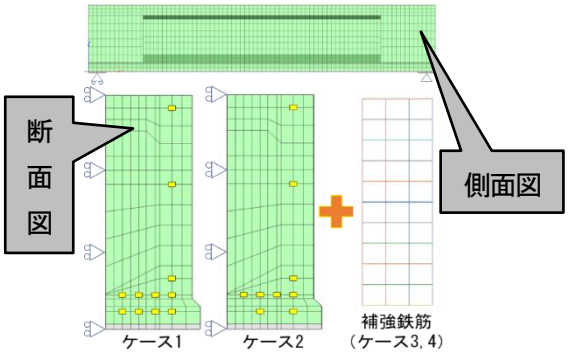


図 2　有限要素解析モデルおよび境界条件

3.　試験結果および解析結果

図 3 にプレストレス導入直後の導入応力を示す．実験および解析から得られた導入応力は設計値をほぼ満たしている．**図 4** に実験による各ケースの桁端部断面のひび割れと解析による断面の最大主応力の経時変化を示す．実験ではケース 1 で最大 0.35mm のひび割れが発生したが，ケース 4 では 0.04mm までに抑制できている．解析では，ひび割れの発生した高さで最大主応力が卓越していることが確認できた．**図 5** に最もひび割れが抑制できたケース 4 の桁端部断面の側線における桁高さ 100～900mm における最大主応力の経時変化を示す．この結果より，最大主応力は，底面から高さ 30～40cm 程度の位置で引張応力が卓越し，導入時には引張強度を超えひび割れが発生している．このことから，ボンドコントロールと補強鉄筋でのひび割れ抑制対策は不十分であることがわかる．

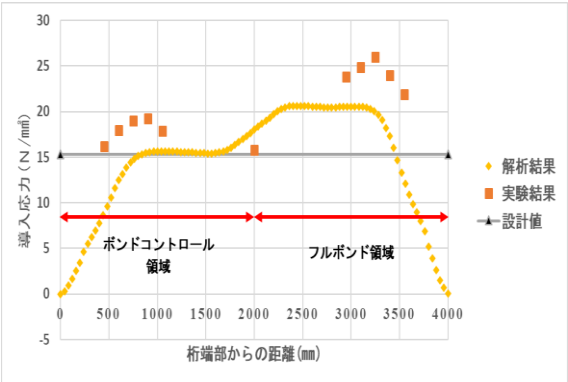


図 3　プレストレス導入応力の変化

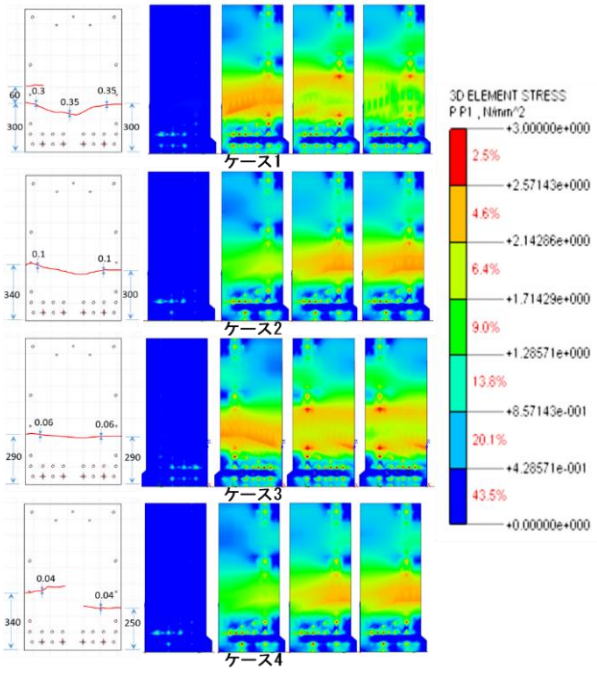


図 4　桁端部における実験のひび割れ図（左）および解析における最大主応力の経時変化（右）

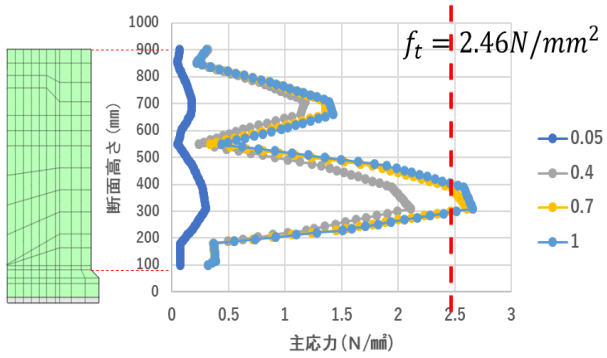


図 5　端部断面の最大主応力の変化（ケース 4）

4.　まとめおよび今後の展望

今回の結果より解析的検討で実験をほぼ再現できることが分かった．端部水平ひび割れ対策として，ボンドコントロールおよび補強鉄筋ではひび割れ抑制が不十分である．今後はこれまでのデータを踏まえて新たな対策を提案することを目的に研究を進める予定である．

参考文献

1）Abdul Khaliq Karimi: A Numerical study on the control of horizontal cracking at the end of pretensioned PC girders, Master's Thesis of Engineering, March 2007
2）金田一男、富山潤、宮野伸介、崎原盛伍：CFRP 仕様の高性能プレテンション PC 桁に関する研究、有明工業高等専門学校　紀要　第 53 号，pp.19-29 ,2018.1
3）崎原盛伍：高耐久プレテンション PC 桁の耐荷性能に関する研究、琉球大学修士（工学）学位論文
4）（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会：道路橋用橋げた設計・製造便覧、2004.6

コンクリート構造物の表面ひび割れ画像を入力データとした均質化法による材料劣化予測に関する研究

琉球大学　○古田泰祐，富山潤，須田裕哉，藍檀オメル 大成建設（株）　堀口賢一，本澤昌美

1. はじめに

日本の社会資本の多くが高度経済成長期に整備されてきた. そのため, これから社会資本の老朽化が進行し，維持管理が必要な施設とその費用が急激に増加してくることが懸念される.

コンクリート構造物の定期点検[1)]では, 目視点検や打診を行い, 健全度が評価され, 健全度が低い場合, 詳細点検として, 構造物からコアサンプルを採取し, 劣化原因を診断する. 構造物からコア採取することは, 微破壊試験と定義されているが, 採取する場所によっては, 構造物にダメージを与える可能性もある. そこで, 本研究では, 定期点検の際に撮影するコンクリート表面のひび割れ画像から，材料劣化を予測する方法を検討する.

具体的には, 撮影したひび割れ画像を「ひび割れデジタル画像解析（大成建設技術)」[2)]によりひび割れの幅, 長さ, 分布などを求め, その情報を入力データとした均質化法[3)]により，ひび割れの幅，長さ，分布を考慮した均質化弾性係数を求め，健全時から弾性係数の低下を推定する.

2. ひび割れデジタル画像解析概要および精度検証

(1) ひび割れデジタル画像解析

デジタル画像にガボールフィルタに基づいたウェーブレット変換を適用し，画像データの濃淡情報に関するウェーブレット係数を求めてひび割れ判定を行い，ひび割れを検出するものである[2)]. ひび割れ画像解析の手順を**図-1** と併せて以下に示す.

1) デジタルカメラにて，調査対象を撮影する.
2) 撮影画像をあおり補正, 画像合成などの前処理をし，入力画像を作成する.
3) 入力画像のひび割れ解析範囲を指定し, ウェーブレット変換する.
4-1～2)ひび割れ画像およびひび割れ幅毎のひび割れ長さ分布図を出力する.

(2) 精度検証

ここでは，**図-2** に示すひび割れの生じた試験体を対象にひび割れ画像解析を行い，クラックスケールのより測定したひび割れ幅と比較を10ヵ所で行った. その結果を**図-3** に示す. この結果より，ひび割れ画像解析の解析値と実測値に大きな誤差はなく十分な精度を持っているといえる.



図-2　ひび割れの生じた試験体

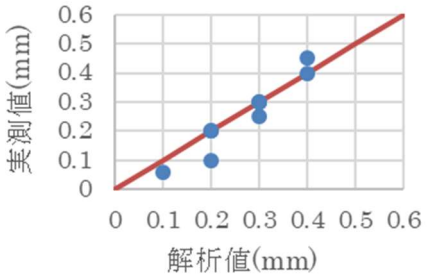


図-3　ひび割れ画像解析と実測値の比較

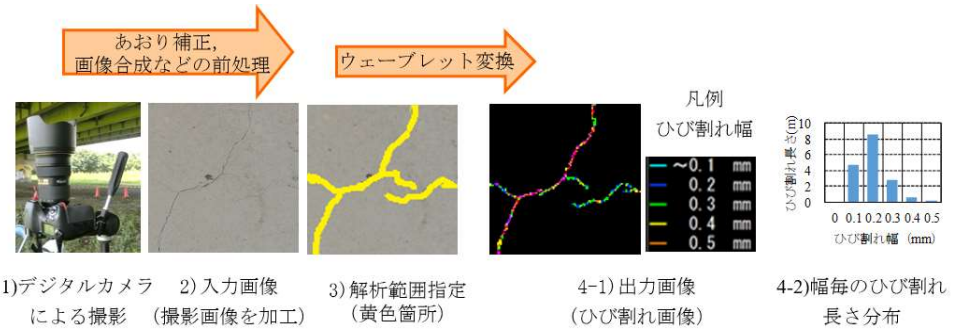


図-1 ひび割れ画像解析の解析手順

キーワード：材料劣化予測，均質化法，ひび割れ画像解析，ユニットセル
連絡先：〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 建設材料学研究室
E-mail：e155322@eve.u-ryukyu.ac.jp

3. 均質化法による材料劣化予測方法

(1) 均質化法

均質化法は**図-4(左)**に示すような周期性を持った非均質なミクロ構造からなる構造物を，それと等価な均質な構造物として数学的に置き換えることで，ミクロ構造を考慮したマクロ構造の解析を行うことができる．この周期的なミクロ構造をユニットセルと呼ぶ（**図-4(右)**参照）．

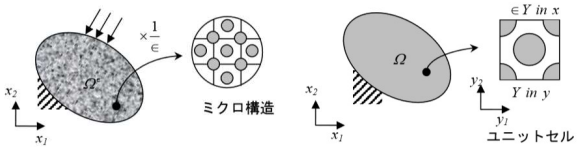


図-4　均質化法概略図

(2) 入力データ

本研究では，２章に示したコンクリート表面に生じたひび割れ画像解析の結果（幅，長さ，分布など）を均質化法のユニットセルとし，ひび割れを考慮した均質化弾性係数を求める方法を提案する．均質化弾性係数は，式(1)に示す均質化弾性行列D^Hから求めることができる．

$$D^H = \langle \mathrm{D}(\mathrm{I} - \mathrm{BX}) \rangle \qquad (1)$$

ここで，D は，材料ごとの弾性行列，I は単位行列，BX は，特性変位 X から求まるマクロひずみである．

4. 劣化予測

ここでは，本手法の妥当性を検討するため，同配合で，非反応性骨材を用いた健全試験体（15×15×53cm）と反応性骨材を用いた ASR 試験体（15×15×53cm）を用いた劣化予測を行なった．**図-5** に ASR 試験体のひび割れ状況を示す．両試験体の弾性係数は，弾性波速度(P 波)から求めた[4]．なお，測定は**図-5** に示すように試験体を 15cm×15cm×15cm の 3 つの領域（①，②，③）に分け弾性係数を測定した．健全試験体の平均弾性係数は，44.0kN/mm^2 であった．

均質化法では，ユニットセルの健全部分の弾性係数は健全試験体から求めた．ひび割れ部分はひび割れ幅 1 ㎜で弾性係数 0(kN/㎟)を基準にひび割れ幅が 0.1 ㎜小さくなるごとに弾性係数を 1 (kN/㎟)大きくした．これらの値については今後検討する．

また，ASR 劣化試験体の表面すべてに対して均質化法を用いた解析を行うことは計算負荷が大きいことから，**図-5** で赤枠に示す箇所で解析を行い平均値を求めた．

図-6 にひび割れ試験体の３つの領域の実測および解析から得られた弾性係数を健全試験体の弾性係数で除した値（低下率）を示す．この結果より本手法は劣化した領域の材料劣化の推定が可能であることがわかった．しかし，解析箇所により値にばらつきが生じるため，面全体での解析が必要である．

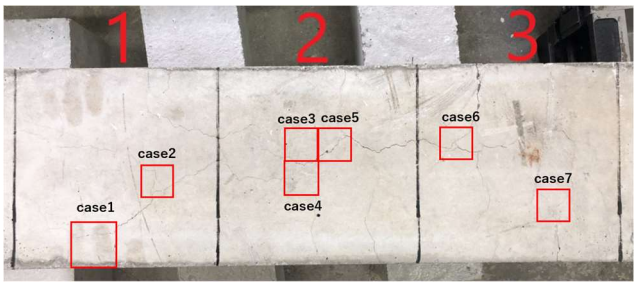


図-5　材料劣化予測に用いた試験体

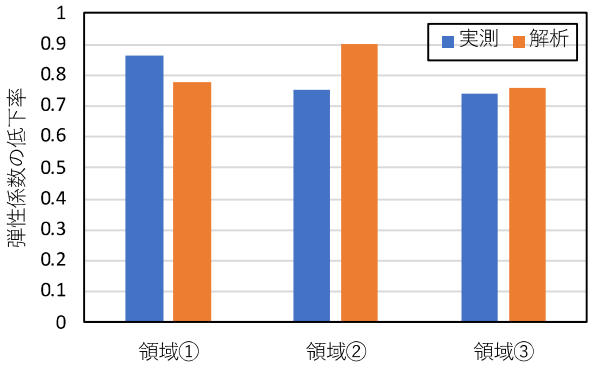


図-6 ひび割れ試験体の弾性係数の低下率

5. 総論

本研究より得られた知見を以下に示す．

1) ひび割れ画像解析は入力データとするのに十分な精度であった．
2) ひび割れ画像解析結果を入力として均質化法から材料劣化の推定が可能なことが示された．

今後の課題として ASR 劣化試験体全面に対する解析を可能にし，より精度検証を行い，ASR 劣化以外の表面ひび割れ対して本手法の適用性を検証する．

謝辞：本研究の一部は SIP の補助を受けた．ここに記して感謝の意を表す．

参考文献

1) 国土交通省 HP，道路定期点検要領：http://http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html（閲覧日：2018 年 7 月 25 日）
2) 小山哲，丸屋剛，堀口賢一，澤健男：ガボールウェーブレット変換を用いたコンクリートのひび割れ画像解析技術の開発，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.3，pp.178-194，2012.
3) 寺田賢二郎，菊池昇：計算力学レクチャーシ リーズ① 均質化法入門，丸善，2003.
4) 鎌田敏郎，内田慎哉：コンクリートの非破壊試験の理論と実際，③弾性波法（超音波法・衝撃弾性波法）の理論と実際，コンクリート工学，Vol.51，No.4，pp.340-347，2013.4

コンクリート橋梁の部位・部材毎の劣化の違いを考慮したLCC評価に対する基礎的検討

琉球大学　○有澤希，富山潤，須田裕哉，藍檀オメル

1. はじめに

我が国の社会資本の多くは高度経済成長期に建設された．建設後 50 年を経過する橋梁は今後急増することからライフサイクルコスト (LCC) の削減が求められる [1]．LCC を適切に評価するためには，コンクリート橋梁の適切な補修方法と補修時期を求めることが重要である．しかし，従来はコンクリート橋梁の部位・部材毎の劣化の違いを適切に考慮することなく，補修方法と補修時期を大まかに決定していた．そのため，LCC の適切な評価を行うためには，コンクリート橋梁の部位・部材毎の劣化の違いを考慮する必要がある．そこで，本研究では，コンクリート構想物長期性能シミュレーションソフト (LECCA2-Std, LECCA2-RW) [2]を組み合わせ，部位・部材毎の塩害劣化の違いを評価可能か検討した．

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は，1979 年に竣工された沖縄県本島北部の海岸沿いに建設されたPCT桁橋で，塩害による劣化が認められ，平成 20 年に補修のための詳細調査が実施され，コアの採取によって塩害調査が行われた．**図 1** に対象橋梁の断面図を示す．本研究では，**図 1** に示す G2 桁と G5 桁それぞれの海側，陸側の側面を対象に，鉄筋位置 (かぶり 45mm) での塩化物イオン濃度について，調査結果および解析結果を比較する．

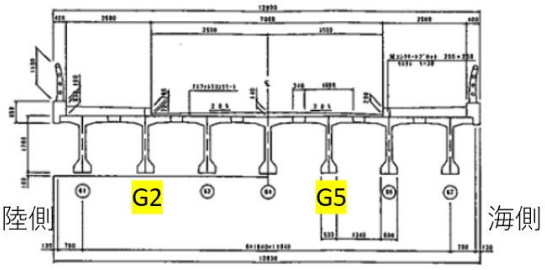


図 1　対象橋梁の断面図

3. LECCA2-Std と LECCA2-RW の概要 [2]

LECCA2-Std (以下, Std) は，コンクリート構造物の各種劣化現象を考慮し，長期性能をシミュレーションすることが可能なソフトウェアである．さらに，LECCA2-RW (以下, RW) を組み合わせることで，部位・部材毎の劣化評価が理論的には可能である．**図 2** に Std と RW の概要を示す．

塩害に対して，Std のみを用いる場合，宇多モデル [3] により構造物までの飛来塩分量を解き，飛来塩分量と非定常拡散方程式の境界条件 (流束) となる浸透塩化物イオン量は，山田モデル [4] を用い，塩化物イオンの浸透による鉄筋腐食を評価する．評価は，構造物のいずれの部位・部材でも同じ値となる．それに対して，RW では，宇多モデルで求めた構造物 (最も海側の地覆) に到達した飛来塩

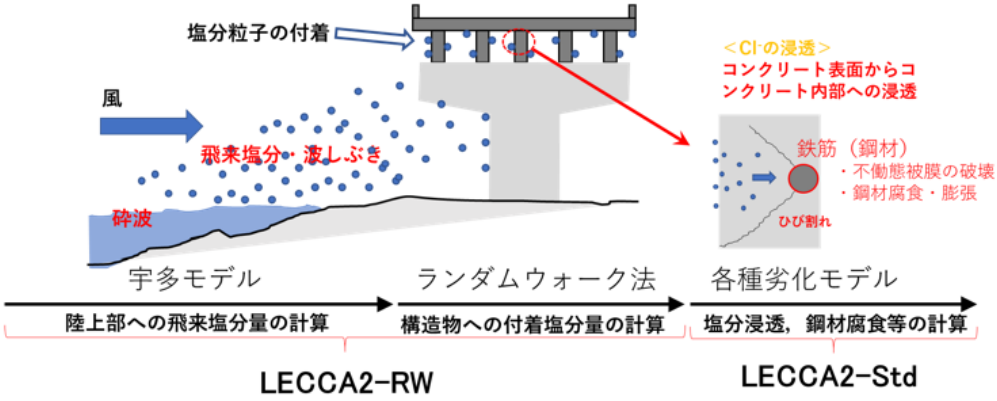


図 2　LECCA2-Std と LECCA2-RW の概要

キーワード：LECCA2-Std, LECCA2-RW, 劣化, 塩害
連絡先〒903-0123 西原町千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科　TEL098-895-8649

表 1　解析ケース

分類		条件
LECCA2-Stdのみ	ケース1	海岸からの距離を考慮した場合
	ケース2	風速を日別の環境データ(平均風速3.05 m/s)とした場合
	ケース3	RWで風速4.6m/sとした時の面番号1の位置での飛来塩分量を用いた場合
LECCA2-Std+RW	ケース4	風速を日別の環境データとした場合
	ケース5	風速を4.6m/sとした場合

表 2　鉄筋位置での塩化物イオン濃度 (kg/m^3) (29 年度)

		G5		G2	
		海側	山側	海側	山側
実測値 (平成20年度調査結果)		3.200	2.200	2.600	0.800
LECCA2-Stdのみ	ケース1	2.495	2.495	2.495	2.495
	ケース2	4.45	4.45	4.45	4.45
	ケース3	6.084	6.084	6.084	6.084
LECCA2-Std+RW	ケース4	1.315	1.13	1.053	0.9704
	ケース5	2.513	2.275	2.119	2.025

分を粒子拡散手法[5]により計算した，部位・部材毎の値に比率分配し，評価したい部位・部材における非定常拡散方程式の入力条件を適切に設定することができる．このため，Std+RW の組み合わせにより，部位・部材毎に異なる塩害劣化を評価することが可能である．

4.　解析結果と考察

解析は，表面塩化物イオン濃度の考え方を変えた**表 1** に示す 5 ケースとした．ケース 1~3 は Std のみ，ケース 4, 5 は Std と RW の組み合わせである．ケース 1 については土木学会式[6]を採用し，その他のケースについては宇多モデルを採用した．なお，すべての解析ケースにおいて，拡散係数は，物性値から推定した $0.25cm^2/$年 を用いた．

表 2 に竣工から 29 年後の鉄筋位置での塩化物イオン濃度の実測値および各解析ケースから得られた値を示す．これより，G2 の海側以外の場所については，Std と RW を組み合わせることで，Std のみの結果よりも実測値に近い値となることがわかった．G2 において Std のみで解析した値が実測値に近くなった．その原因は，中性化の影響が大きかったことが原因として考えられる．また，風速が速くなるほど塩化物イオン濃度が大きくなることがわかった．

また，**図 3** に G5 海側における塩化物イオン濃度分布の比較の一例として実測値と Std+RW の結果を示す．実測値は，表面よりも内部の塩化物イオン濃度が高い結果であり，これは中性化の影響と考える．表面から 35mm 以降については，実測値と Std+RW は同様の傾向を示していることがわかる．

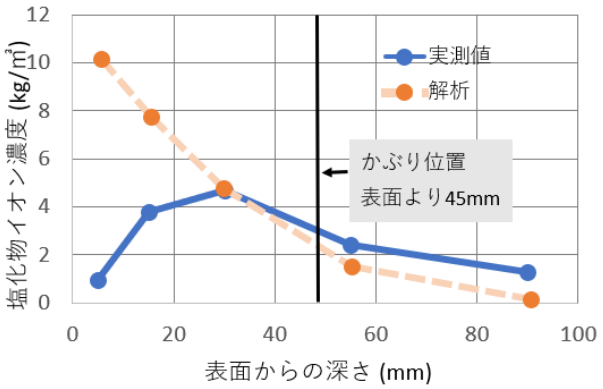


図 3　塩化物イオン濃度分布

5.　まとめ

本研究で得られた知見および今後の課題を以下に示す．

(1) Std と RW を組み合わせて解析を行うことで，実測値に近い値となることがわかった．よって，Std と RW を組み合わせて解析を行うことで部位・部材毎の劣化評価が可能となり，適切な LCC 評価につながると考えられる．

(2) 本研究では塩害についてのみ劣化の影響に考慮したが，中性化なども考慮した解析を行うことで，より正確な部位・部材毎の劣化評価が可能になると考えられ，今後の課題である．

参考文献

1) 国土交通省 (2013) http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
2) コンクリート構造物の長期性能シミュレーションソフト作成委員会 ：コンクリート構造物の長期性能評価 -環境外力の評価手法-，コンクリート工学, Vol50, No.10, pp946-950, 2012
3) 宇多高明，小俣篤，小西正純 ：海岸からの飛来塩分計算モデル，海岸工学論文集，第 39 巻, pp1051-1055, 1992.
4) 山田義智，大城武，桝田佳寛 ：塩害環境下におけるコンクリート中への塩化物イオンの浸透に関する解析的研究，日本建築学会構造系論文集, 501, pp13-18, 1997.11
5) コンクリート構造物の長期性能シミュレーションソフト作成委員会 ：コンクリート構造物の長期性能シミュレーションプログラム -LECCA2-RW　理論解説書-
6) 土木学会 ：コンクリート標準示方書 【設計編】，2012

既設Ｆ型情報板支柱に関する疲労耐久性向上研究の現況報告

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)　小塚　正博
岐阜大学　小原　健司，村瀬　紘貴，木下　幸治

１．はじめに

道路に設置される情報板は，交通渋滞や気象などの道路状況に関する情報を通行中のドライバーに素早く確実に伝えることにより，道路の効率的運用，交通混雑の緩和，事故防止に寄与している．このような情報板支柱は写真-1 のように約 1.5t の情報板を支持し道路路肩部に設置されている．このような情報板支柱が倒壊し通行車輌に重大な被害を与えるような事態として、情報板支柱の疲労損傷が考えらえる．

情報板支柱の形式のひとつであるＦ型情報板支柱における疲労損傷は，情報板支柱に設けられた支柱開口部及び支柱基部リブプレート上端（以下，リブ上端）からの発生が報告されている．そのため，当該箇所の疲労損傷に対する疲労耐久性の検討及び疲労耐久性向上対策が必要である．

本報告では，支柱開口部の疲労耐久性向上対策としての ICR 処理（Impact Crack Closure Retrofit Treatment）の情報板支柱への適応の検討と、実物情報板支柱の疲労耐久性向上対策検討のための疲労試験システムの試みを紹介する．

２．支柱開口部の疲労損傷

鋼管支柱には角部を R 加工した長方形の開口部が設けられる.開口部は補強のために曲げ加工した幅 50mm 程度の帯状の鋼板（以下，カラープレート）を挿入し，これを片側から溶接する．疲労損傷発生箇所としては，そのカラープレート溶接の止端部とルート部が考えられる．

３．支柱開口部の疲労耐久性向上対策

カラープレート溶接止端部の疲労耐久性向上対策として ICR 処理の適用を検討した．しかし，施工面に対して垂直に母材を打撃する必要がある ICR 処理は，曲面である情報板支柱表面への施工が難しいと考えられる．また，カラープレートのフランジが溶接止端部の直上まで張り出しているため，溶接止端部近傍の母材を垂直に打撃することが困難である．

そこで本研究では，ICR 処理効果の確認を，カラープレート溶接止端部と同じく，曲面を有するリブ上端回し溶接部への ICR 処理時に導入される圧縮残留応力と平面な母材への打撃により導入される圧縮残留応力との比較により行った．さらに，カラープレート溶接止端部の ICR 処理方法



写真-1　情報板支柱

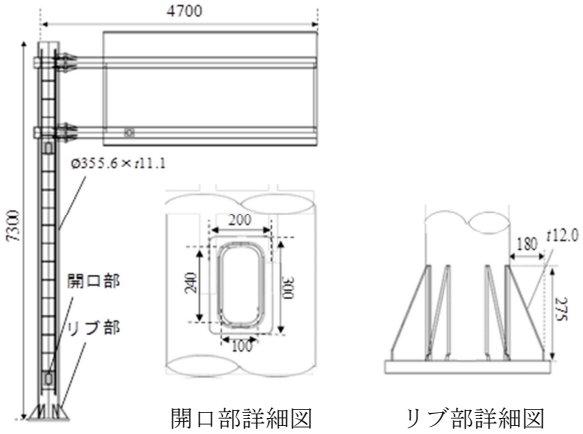


図-1　情報板支柱の寸法(単位:mm)

キーワード　情報板支柱，ICR 処理，疲労強度向上，固有周期，疲労試験
連絡先　〒460-0003　名古屋市中区錦 1-8-11　中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋㈱
E-mail:m.kozuka.a@c-nexco-hen.jp

として，チゼル形状を改良した ICR 処理（以下，改良型 ICR 処理）を提案し，その改良型 ICR 処理効果を X 線残留応力測定，打撃痕形状及び面外ガセット溶接試験体を用いた板曲げ疲労試験により検討した．

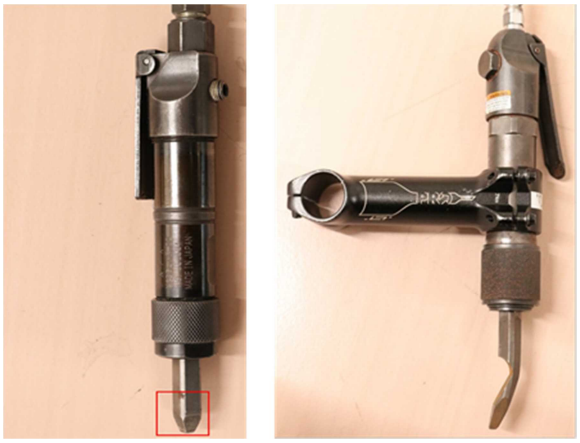
３．１．支柱開口部溶接止端部への改良型 ICR 処理

図-1 に本研究で対象としたＦ型情報板支柱の詳細を示す．支柱鋼管は外径 355.6mm，板厚 11.1mm，材質 STK400，カラープレート及びカラープレートのフランジは SS400 が用いられている．また，改良型 ICR 処理はカラープレート溶接止端部への垂直な打撃が可能となるように，写真-2 のようにカラープレートのフランジを避けるチゼル形状とした．チゼル先端は圧縮残留応力の導入効率を高めるために打撃面と平行となる形状とした[1]．この改良により，従来型 ICR 処理ではフランジに干渉し 7.1mm であったカラープレート溶接止端部から打撃痕端部までの距離を 1.1mm とすることが可能となった．施工条件は既往の研究[2)3)4)]と同様に，エアーツールの振動数は 90Hz 程度，空気圧は 0.63Mpa とし，チゼル先端部を溶接止端近傍の母材へ可能な限り垂直に押し当てながら打撃を実施した．パス数に関しては 3～5 パスの実施とした．

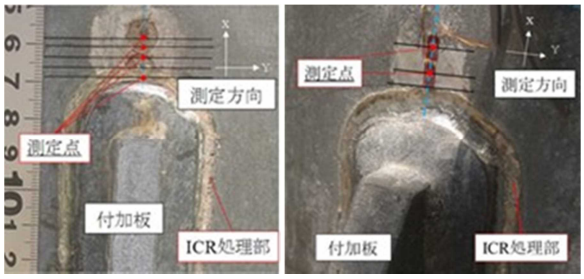
３．２．リブ上端への ICR 処理効果確認

曲面を有する母材への ICR 処理による圧縮残留応力導入効果を検証するため，リブ上端回し溶接部へ従来型 ICR 処理を施し，処理部近傍に導入される残留応力を測定した．写真-3 に計測箇所を示す．

本計測ではポータブル型 X 線残留応力計測装置とひずみゲージを使用した．計測箇所は写真-3 に示すように，X 線では回し溶接部先端から支柱長手方向に 4 箇所，ひずみゲージは 2 箇所計測を実施した．図-2 に計測結果を示す．図-2 には，平面な母材に対してピーニング処理を実施した松本ら[5)]中西ら[2)]の解析結果を併記する．本計測結果は，既往の研究で得られている残留応力分布と比較して処理部近傍において，概ね同程度の分布



（a）従来型 ICR 処理　（b）改良型 ICR 処理
写真-2　ICR 処理用エアーツール



（a）X 線　　（b）ひずみゲージ
写真-3　リブ部残留応力計測箇所

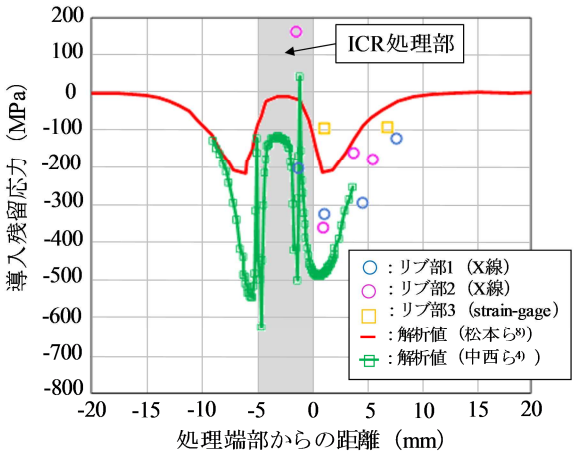


図-2　残留応力計測結果（リブ部）

形状を示していることが確認できる．このことより，曲面を有する母材への ICR 処理により導入される圧縮残留応力は平面な母材にピーニング処理により導入される圧縮残留応力と同程度であると判断できる．リブ部 2 の ICR 処理部における計測値が 170MPa 程度と解析値と乖離している箇所があるが，この位置は ICR 処理時に打撃を受けた位置であり表面の凹凸により計測誤差が大きくなったため，このようになった可能性があると考える．

3．3．カラープレートへの ICR 処理効果確認

写真-4 に開口部への改良型 ICR 処理状況を示す．カラープレート溶接部における従来型，改良型 ICR 処理の X 線残留応力測定装置による残留応力測定結果を図-3 に示す．図-2 と同様に松本ら[5]中西ら[2]の解析結果を併記する．図-3 に示す通り，改良型 ICR 処理と従来型 ICR 処理の計測値を比較した結果，従来型 ICR の施工可能範囲内での圧縮残留応力導入量は同程度であった．さらに、改良型 ICR 処理の結果は、既往の研究で得られている残留応力分布と比較して概ね同程度の分布形状を示していることが確認た．これにより，改良型 ICR 処理により導入される圧縮残留応力は従来型 ICR 処理と同程度であると判断できる．

中西ら[2]により，ICR 処理による打撃痕形状の窪み幅と窪み深さの積で示される窪み面積と導入される圧縮残留応力はおおむね相関関係にあることが示唆されている．本研究で実施したカラープレート溶接部における従来型，改良型 ICR 処理の打撃痕形状の窪み面積計測結果を図-4 に示す．図-4 より，改良型 ICR 処理による窪み面積は従来型 ICR 処理による窪み面積と比べ，同程度以上であった．これにより，改良型 ICR 処理と従来型 ICR 処理は同程度の圧縮残留応力を処理部近傍に導入できることが確認できた．

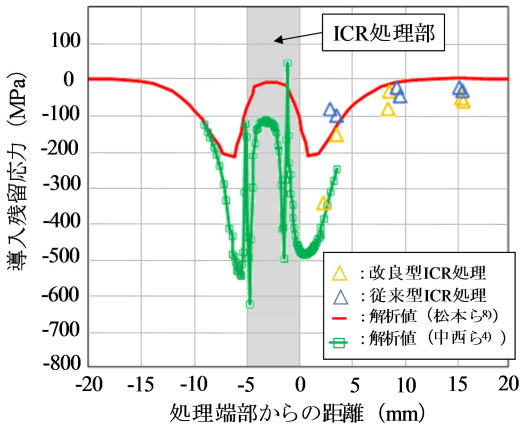
以上の結果より，カラープレートのフランジが張り出しているカラープレート溶接止端部への改良型 ICR による圧縮残留応力の導入は可能になると言える．

3．4．板曲げ疲労試験

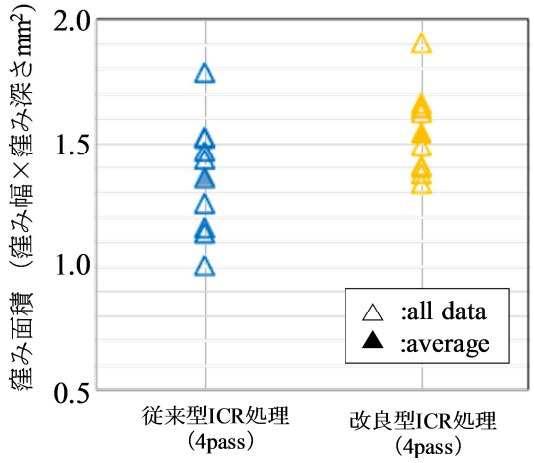
本研究では，改良型 ICR 処理の適用により開口部の溶接止端部に導入された圧縮残留応力による疲労強度向上効果を明らかにするため，面外ガセット試験体を用いて板曲げ疲労試験を実施した．図-5 に試験体寸法およびひずみゲージ貼付位置を示す．本試験で用いた試験体は主板厚 12mm，板幅 300mm の鋼材に板厚 12mm，高さ 100mm の付加板が上向ですみ肉溶接された面外ガセット試験体を使用した．試験体の材質は主板，付加板とも SM490A とし，回し溶接部に改良型 ICR



写真−4　改良型 ICR 施工状況（開口部）



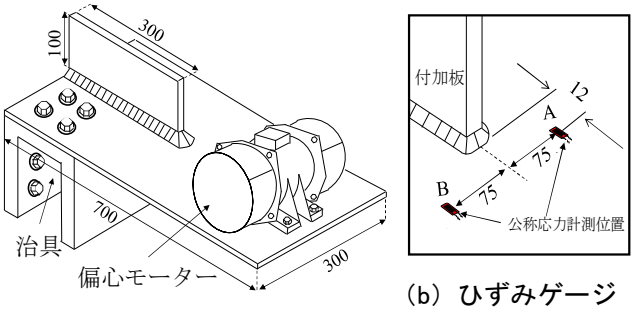
図−3　残留応力測定結果（開口部）



図−4　窪み面積計測結果

処理を施した試験体 2 体を対象とした．本試験では，図-5 山田ら[6]により開発された板曲げ疲労試験機を用い，応力範囲 80MPa，応力比 R=-1 の条件にて試験を実施した．

改良型 ICR 処理は，図-6 に示すようにカラープレートのフランジを模擬したじゃま板の設置と，付加板側溶接止端部への PPP 処理による疲労き裂発生防止措置を施した．溶接止端部から打撃痕端部までの距離の目標は 1．1mm として，回



(a)試験体寸法　　(b) ひずみゲージ貼付位置

図-5　板曲げ疲労試験機

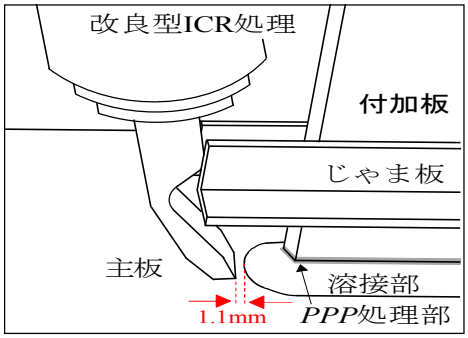


図-6　改良型 ICR 施工状況

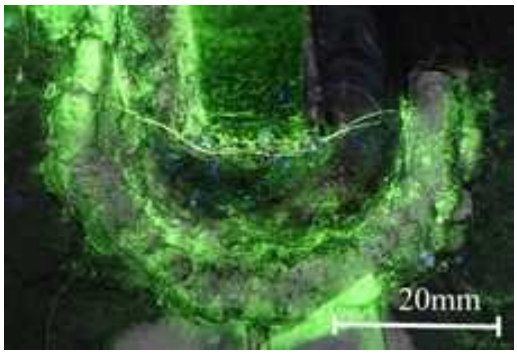


写真-5　き裂発生状況

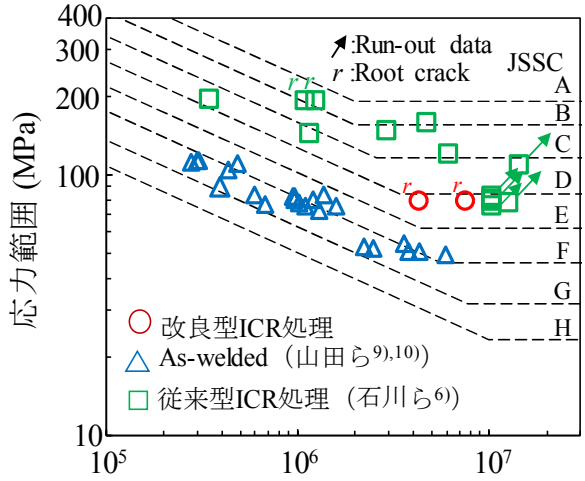


図-7　疲労試験結果

し溶接部に沿って 4 パス施工を実施した．

本試験では，写真-5 に示すようにき裂は 2 体の試験体ともに溶接ルート部から発生した．そのため、試験の終了は，き裂が溶接ビード表面から母材まで達した時点とした．図-7 に疲労試験の結果を示す．なお，同図には，石川ら [4]および山田ら [7)8)]による As-welded 試験体及び As-welded の回し溶接部に従来型 ICR 処理を施した試験体の疲労強度を併記する．本試験の結果より，改良型 ICR の疲労強度は D 等級程度であり従来型 ICR と同程度の疲労強度向上効果が得られることを確認した．

4．実物情報板疲労試験システム計画

実物の情報板支柱の応力状態および疲労耐久性を解明するために，現在準備を進めている実物情報板支柱に対する疲労試験システムに関して報告する．試験体は図-1 に示した一般街路の土工部設置の実物の高速道路用情報板支柱を用いた．支柱鋼管は外径 355.6mm，板厚 11.1mm，材質 STK400，カラープレート及びフランジの材質は SS400 であり，1.5t 程度の情報板を支持するために使用されていた．

本試験では，写真-6 に示すように村井ら [9)]の研究で実施された鋼管の曲げ疲労試験を参考に，コンクリート製反力壁に対して，水平方向に支柱のベースプレートを PC 鋼棒にて固定し，加振機として支柱頂部近傍に板曲げ疲労試験にて使用した偏心モーターを設置した．



写真-6　情報板支柱設置状況

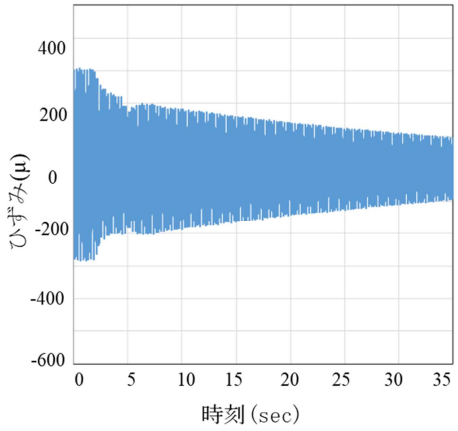


図-8　ひずみ時刻歴波形

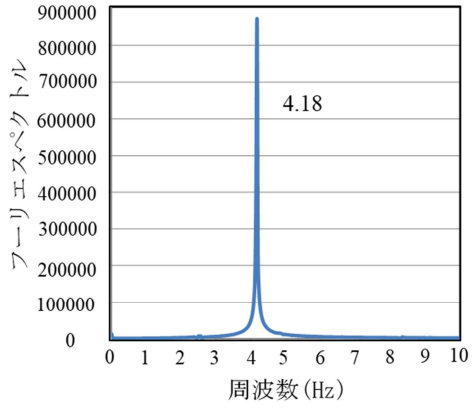


図-9　フーリエスペクトル

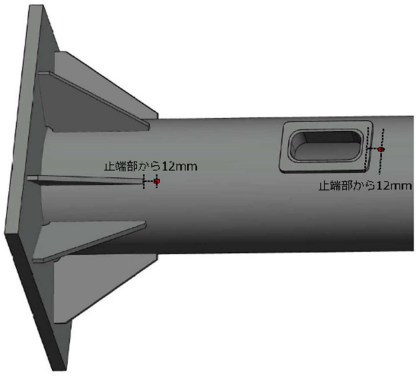


図-10　ひずみゲージ位置

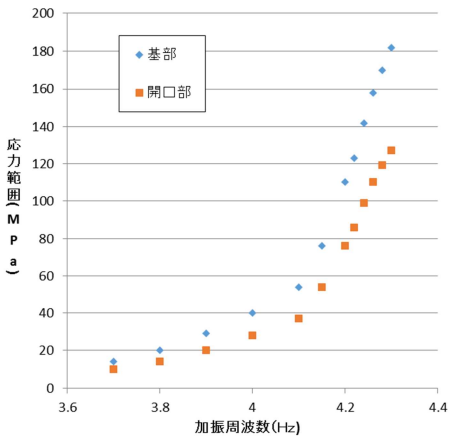


図-11　加振速度-応力グラフ

今回の試験では，試験体の固有振動数と加振速度を近接させることで必要な応力振幅を得ることとした．そこで，試験体の固有振動数を把握するため，加振機を用いて試験体を加振した際のひずみデータの高速フーリエ解析（以下，FFTH）を実施した．図-8，図-9 に示した解析結果では固有振動数は 4.18Hz となった．

加振速度が固有振動数前後における時の応力振幅を確認するために，加振機の載荷速度を 3.7Hz～4.30Hz にて載荷した際の応力範囲を計測した結果、図-10 に示す基部リブ部溶接止端から 12mm の位置と開口部溶接止端部から 12mm の位置の応力範囲は，図-11 に示すように基部リブ部で 14MPa～182MPa，開口部で 10MPa～127MPa となり疲労試験に必要な応力振幅を得ることが可能なことが確認できた．しかし、FFTH で求めた固有振動数 4.18Hz を超えても，応力範囲が増加している結果となった．これは、高速フーリエ解析の条件が適切でないことや，試験システムに設置されている横方向拘束治具の影響，または加振機の加振速度が速くなることに伴う加振力の増加によることが考えられるため，今後の試験時に検証を行う予定である．

5．まとめ

本研究では，支柱開口部の疲労耐久性向上対策及び実物情報板疲労試験システムに関して検討を行った．本研究で得られた結果を以下に示す．

1) 曲面を有する母材への ICR 処理により導入される圧縮残留応力は，平面な母材への ICR 処理により導入される圧縮残留応力と概ね同程度であった．
2) 改良型 ICR 処理により，情報板支柱の開口部の溶接止端部に対しても，従来通りの圧縮残留応力が導入されることが確認できた．
3) 情報板支柱の開口部への改良型 ICR 処理の適用により，平面な母材への従来型 ICR 処理と同程度の疲労強度向上効果が得られることを確認した．
4) 加振機を用いた疲労試験機の載荷速度を試験体の固有振動数付近に設定することで，

疲労試験に必要な応力振幅が得られることが確認できた.

【参考文献】

1) 加藤健三：金属塑性加工学，pp．74-76，丸善，1971.
2) 中西克彦，森影康，川畑篤敬，鞆一：母材打撃ハンマーピーニングによる溶接継手の疲労強度向上方法に関する研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol．63A，pp．517-526，2017．3
3) 舘石和夫，判治剛，石川敏之，清水優：引張または曲げ荷重を受ける溶接継手に対する ICR 処理の効果，構造工学論文集，Vol．61A，pp．627-637，2015．3
4) 石川敏之，山田健太郎，柿市拓巳，李蕾：ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果，土木学会論文集 A，Vol．66，No．2，pp．264-272，2010.
5) 松本理佐，粟津裕太，石川敏之，服部篤史，河野広隆，中野隆：ピーニング処理された溶接継手の疲労強度に圧縮の過荷重が及ぼす影響，構造工学論文集，Vol．61A，pp．638-649，2015．3
6) 山田聡，片桐英喜，前野裕文，山田健太郎：門型標識柱の基部に発生した疲労き裂の補修効果の検討，鋼構造論文集，第 16 巻，第 61 号，pp．11-22，2009
7) 山田健太郎，小薗江朋尭，小塩達也：垂直補剛材と鋼床板デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験，鋼構造論文集，第 14 巻，第 55 号，pp．1-8，2007．9
8) 山田健太郎，小塩達也，鳥居詳，白彬，佐々木裕，山田聡：面外ガセット溶接継手の曲げ疲労強度に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol．54A，pp．522-529，2008.
9) 村井啓太，山田健太郎，石川敏之，藤嶋裕太，小塩達也：鋼管のリブ溶接部の疲労強度，鋼構造年次論文報告集，第 17 巻 pp．281-288，2009．11.

腐食減肉が生じたトルシア型高力ボルトの残存軸力評価に関する解析的検討

琉球大学　○川添優人　田井政行　下里哲弘　有住康則
金秀鉄工㈱　長嶺由智

1.はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトは，腐食劣化が著しい部位の一つである [1]．腐食減肉した高力ボルトは，軸力の低下を引き起こすため，残存軸力評価は橋梁の安全性を確保するために重要である．腐食減肉が生じた高力ボルトの残存軸力評価については，六角高力ボルトについての検討事例がいくつかあるが，写真 1 に示すようなトルシア型高力ボルトに関する検討はほとんど行われていない [1]．

そこで本研究では，トルシア型高力ボルトの腐食減肉と残存軸力の関係を明らかにすることを目的に，FEM 解析を行った．解析の実施にあたっては，既往研究で行われたナット部との比較を行い，トルシア型高力ボルトの頭部減肉に伴う残存軸力低下特性を検討した．



写真 1　トルシアボルトの減肉例

2.解析モデル

解析モデルを図 1 に示す．対象は M22 のトルシア型高力ボルトとナット，座金，添接板及び母材とし，全てソリッド要素を用い，対称性を考慮して 1/4 モデルとした．ただし，添接板と母材のモデル化領域は，ボルト軸部より約 30mm までとしている．弾性係数は 206GPa，ポアソン比は 0.3 とし，降伏応力は高力ボルト，ナット及び座金では 900MPa，添接板及び母材は 250MPa とし，構成則は完全弾塑性体とした．なお，解析には MSC.Nastran2012 を用いた．

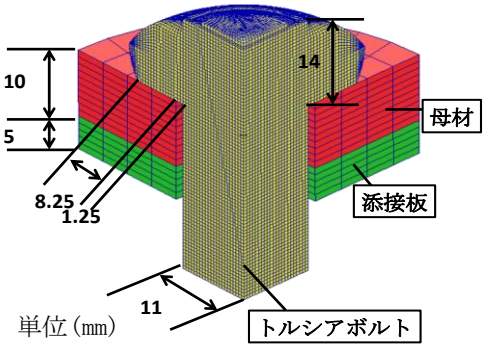


図 1　解析モデル

境界条件は図 2 に示すように母材及び添接板の側面を鉛直方向に支持し，ボルト軸部中心を半径方向に固定，母材，添接板，座金，ナット，ボルト軸部の対称面を円周方向に固定とした．各部材の境界を接触面として定義し，ボルトの軸力は，ボルト軸部に強制変位を与えることで導入した．本解析モデルを用いることで，減肉に伴う残存軸力の変化を概ね評価できることは六角高力ボルトに対する予備解析により確認している [1]．

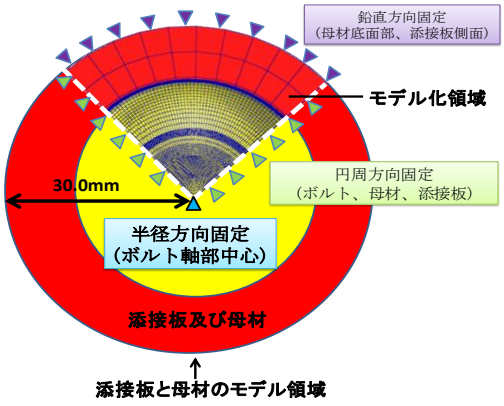


図 2　解析モデル

3.トルシア型高力ボルト頭部の減肉による残存軸力低下特性の検討

ボルト頭部の減肉が残存軸力に及ぼす影響の検討するために，ボルト頭部の減肉量をパラメータとして，FEM 解析を行った．

解析パラメータを図 3 に示す．ボルト頭部の側面減肉量と高さ減肉量をそれぞれ 0-8mm，(1mm ピッチ)，0-4mm（0.5mm ピッチ）で変化させ，合計 81 ケースの解析を行った．

3.1 ボルト頭部減肉による残存軸力低下特性

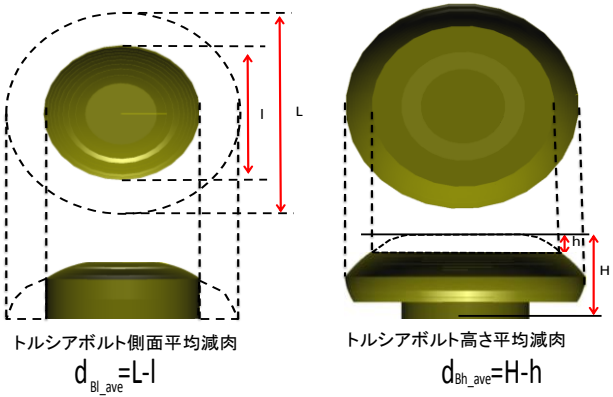


図 3　減肉量の定義

キーワード　トルシア型ボルト，残存軸力，有限要素解析
連絡先　琉球大学工学部環境建設工学科土木コース（〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地）

ボルト頭部の減肉量をパラメータとした解析結果を図 4 に示す．図の横軸は側面減肉量，縦軸は健全時の軸力を 100%としたときの各ケースの軸力の割合を示している．図中には既往研究で行われたナット部の側面減肉量をパラメータとした解析結果も併せて示す．

図より，ボルト頭部高さ及び側面減肉量が大きくなるほど，残存軸力割合が低下していることがわかる．また，側面減肉量が 4mm 程度までは，残存軸力が 3%程度低下するのみであったが，頭部高さ減肉量が 4mm 低下すると 10%以上の低下がみられ，側面減肉量が小さい場合は高さ減肉量がボルト軸力低下に対して支配的であると考えられる．一方，側面減肉量が 8mm となると，高さ減肉量が 4mm 低下した場合と同じ軸力低下が見られた．また，ナット部の解析結果と比較すると，ボルト頭部の側面減肉量はナット部と比較して，残存軸力に及ぼす影響は小さいといえる．

3.2 ボルト頭部減肉による残存軸力低下メカニズム

ボルト頭部の減肉に伴う残存軸力の低下メカニズムを検討するために，減肉に伴うボルト頭部の変形挙動の比較を行った．図 5 に各ケースの変形図と塑性ひずみコンター図を示す．図 5-b より側面減肉により添接板に局所変形が生じていることがわかる．これは減肉に伴い添接板での接触面積が減少したため，ボルト頭部の局所的な力の伝達が増加したためであると考えられる．一方，図 5-c よりボルト頭部高さが減肉した場合，ボルト頭部において変形が増大するといえる．これは減肉によるボルト頭部の剛性が低下したためであるといえる．

既有研究により、ナット部に減肉が生じた場合，図 6-a に示すようにナット部では減肉に伴うナット部での局所変形に加えて，図 6-b に示すように座金が回転変形する挙動が生じる [1]ため，ナット部の減肉と比較してボルト頭部側面の減肉による残存軸力低下が小さくなったと推察される．

4.まとめ

1) トルシア型高力ボルトのボルト頭部の減肉では，側面減肉量が 4mm 程度までは，高さ減肉量がボルト軸力低下に対して支配的であると考えられる．一方，側面減肉量が 4mm 以降では著しく軸力が低下すると考えられる．

2) ボルト頭部の側面減肉量はナット部と比較して，残存軸力に及ぼす影響は小さい．

3) ボルト頭部側面が減肉した場合，添接板に局所変形が生じ，残存軸力が低下する．一方，頭部高さが減少した場合，頭部の剛性低下により頭部に変形が生じ，残存軸力が低下すると考えられる．

謝辞：本研究は，JSPS 科研費 18K13822 及び 18H01525 の補助を受けて行った．ここに記して深謝いたします．

参考文献

1) 下里哲弘，田井政行，有住康則，矢吹哲哉，長嶺由智：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究，構造工学論文集，Vol.59A，pp.725-735，2013.

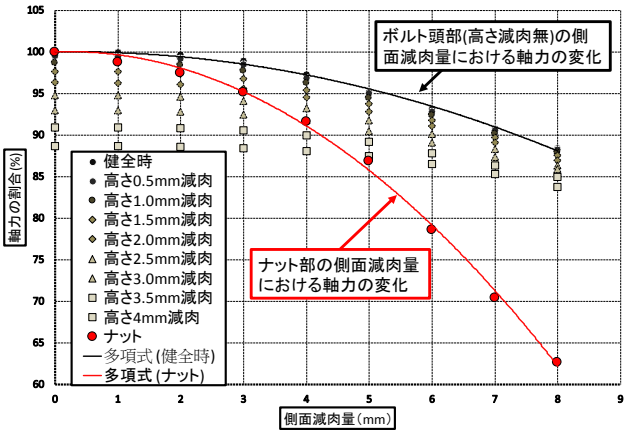


図 4　ボルト頭部減肉量をパラメーターとした解析結果

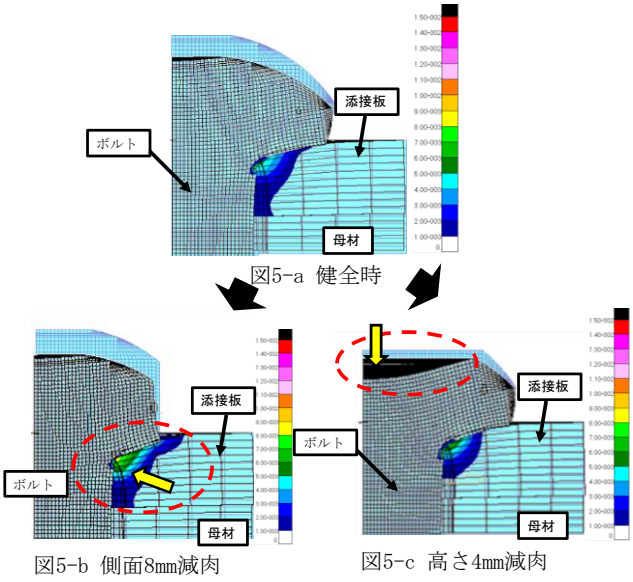


図5-a 健全時

図5-b 側面8mm減肉

図5-c 高さ4mm減肉

図 5　ボルト頭部における変形挙動図

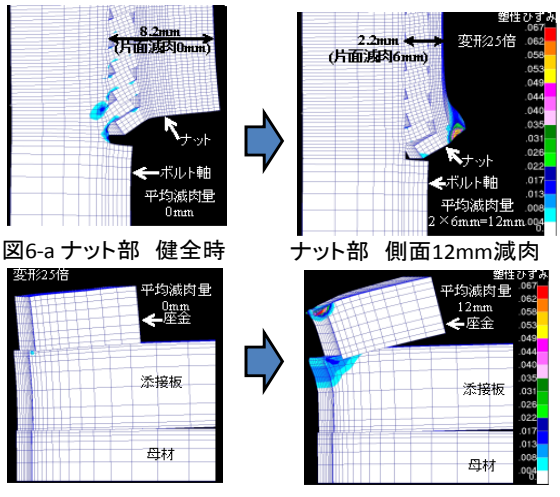


図6-a ナット部　健全時

ナット部　側面12mm減肉

図6-b 座金　健全時

座金　側面12mm減肉

図6　ナット部、座金の変形挙動

腐食損傷した鋼桁端部に対する当て板ボルト補修法によるせん断耐荷力回復効果の解析的研究

琉球大学　○冨永泰志　下里哲弘　田井政行　有住康則　長坂康史

1.はじめに

鋼橋の問題の一つとして腐食による損傷が挙げられる．特に，鋼桁端部は写真 1 に示すように著しく腐食が進行した事例が報告されている．このような損傷に対する補修法として当て板ボルト補修法が挙げられる．当て板ボルト補修法では，当て板の板厚やボルトの本数がせん断耐荷力の回復効果にどのように影響を及ぼすのか明らかとされていない．

そこで，当て板の板厚やボルトの本数の変更時，せん断耐荷力にどのような影響を及ぼすのかの評価を目的とし，端部パネルの当て板ボルト補修を模擬した FEM 解析を行うことで，せん断耐荷力の回復効果の評価を行った．

2.当て板ボルト補修法の解析モデルの妥当性と検討

2.1 解析モデルの概要

実験と解析の妥当性の検討のため，写真 2-1 に示す試験体で行われた実験結果と shell 要素によって作成した図 2-1 の FEM 解析モデルの解析結果との比較検証を行った．

実験で使用された試験体の寸法が写真 2-1 であり，ウェブ面の着目パネルの板厚 3.2mm, 当て板のウェブ面の板厚 4.5mm,フランジ面の板厚 9mm, ボルト本数が 5 本である．本解析モデルのヤング率 200kN/mm^2，ポアソン比 0.3, 降伏応力 330N/mm^2 とした．

また，当て板ボルト補修法を使用する着目パネルの腐食損傷モデルは写真 2-2 のウェブ面の下フランジ側の損傷とその両端の損傷を模擬した下部損傷切上モデルを採用する．腐食損傷に対する当て板ボルト補修を模擬した解析モデルは図 2-2 のように作成した．

当て板ボルト補修で利用するボルトのすべり挙動をばね要素によって作成した．利用するばね要素は摩擦接合継ぎ手の引張試験により，ボルト 1 本分のすべり荷重の挙動を再現した(図 2-3)．また，ばね要素の作用する方向として，当て板が作用する面と平行になるように設定した．

以上の条件から解析モデルの妥当性の検証を行った．

2.2 解析モデルの解析法と妥当性

当て板ボルト補修モデルの実験結果と本研究モデルの解析結果であるせん断力ー鉛直変位の関係を示した図 2-5 より，せん断力の線形は概ね同じ傾向にあるといえる．せん断座屈の形状を示した図 2-6 より，当て板上に同等な，斜め張力場の形成が見られる．以上の条件から本解析モデルは妥当といえる．

3.当て板のボルト本数，板厚の変更時に及ぼす影響

3.1 解析パラメータ

本研究モデルでは，実験結果であるウェブ面の板厚 4.5mm，当て板のウェブ面 4.5mm，フランジ面 9mm，ボルト本数 5 本を基準値とし，解析ケースを



写真 1　鋼桁端部の腐食事例

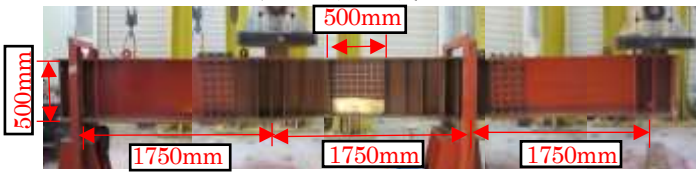


写真 2-1　せん断耐荷力試験体

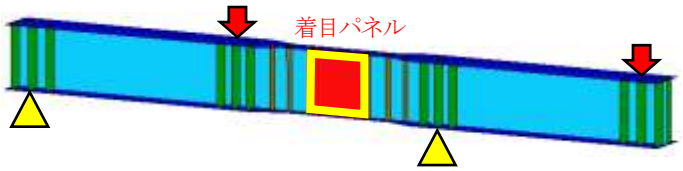


図 2-1　せん断耐荷力試験体の FEM 解析モデル

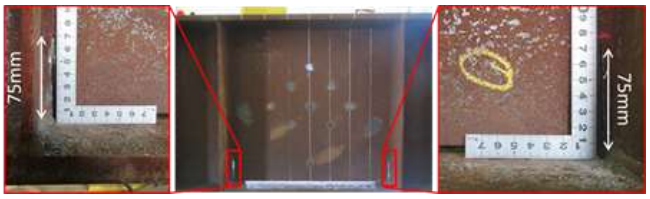


写真 2-2　下部損傷両切上モデル

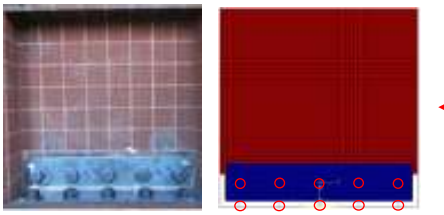


図 2-2　当て板ボルト補修モデル

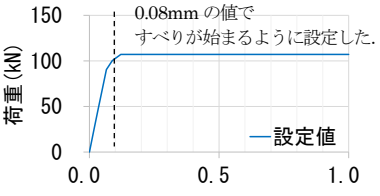


図 2-3　ボルト 1 本分のすべり荷重の挙動

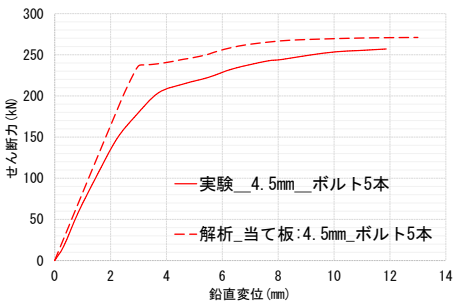


図 2-5　せん断力ー鉛直変位グラフ

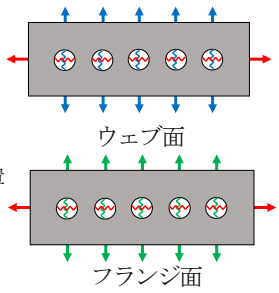


図 2-4 ばね方向の概略図

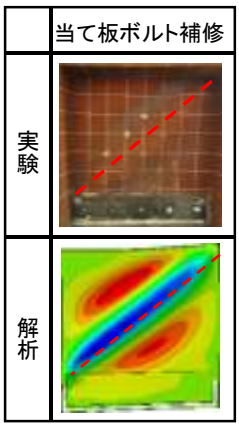


図 2-6　せん断座屈の形状

キーワード：FEM 解析，ばね要素，せん断耐荷力試験，当て板ボルト補修

連　絡　先：〒903－0213　沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科

表 3-1　当て板の解析ケース

	基準値	ボルト本数減少	板厚減少	板厚増加
ウェブ面 当て板の板厚(mm)	4.5	4.5	2.0	9.0
ボルト本数(本)	5	3	5	5
フランジ面 当て板の板厚(mm)	9.0			

表 3-1，相対変位，面外変形の計測位置，ボルトの位置を図 3-1 に示す．また，図 3-2 のせん断力ー鉛直変位の関係において，せん断耐荷力は剛性が急激に変化した点で判定する．図 3-3 のせん断力―相対変位の関係において，当て板のすべりの判定をする．図 3-4 のせん断力ー面外変形 2 乗の関係ではせん断座屈の判定を示す．

3.2 ボルトを 5 本から 3 本に変更時の結果

図 3-2 よりせん断力は基準値と殆ど変化が見られなかった．よって，せん断耐荷力に影響がほとんど見られない．図 3-3 より当て板の相対変位が基準値より大きく変化しており，ボルト本数を減少させた時，相対変位に影響することが見られるが，すべりに影響は見られない．図 3-4 より 183kN の位置でせん断座屈が発生しており，基準値より 20kN 程度早く座屈の発生が見られた．

3.3 板厚を 4.5mm から 9mm に変更時の結果

図 3-2 よりせん断力が 10kN 程度，基準値より増加したことが見られた．よって，板厚を増加させた時せん断耐荷力に影響を及ぼすことが分かる．図 3-3 より相対変位は基準値と殆ど変化が見られなかった．図 3-4 より基準値と殆どせん断座屈の発生位置が変わらないため，おおよそ，影響がないとされる．

3.4 板厚を 4.5mm から 2mm に変更時の結果

図 3-2 よりせん断力が 14kN 程度，基準値より低下したことが見られた．よって板厚を減少させた時せん断耐荷力に影響を及ぼすことが分かる．図 3-3 より基準値と殆ど変化が見られなかった．図 3-4 より，基準値と殆どせん断座屈の発生位置が変わらないため，おおよそ，影響がないとされる．

4.まとめと今後の展望

本研究では，摩擦接合継ぎ手の引張試験により求めたばね要素を用いて，せん断耐荷力試験の当て板ボルト補修法の解析を行った．本解析モデルにおいて，せん断耐荷力は図 4-1 より，板厚の変更時に影響が見られる．すべりの影響として，ボルト本数の減少によりすべり耐荷力に影響があるとされるが，本解析モデルにおいて当て板のすべりは発生していないことが見られる．せん断座屈は板厚がある一定の値からせん断座屈が発生するせん断力の値が変更すると予想される．

今後はパラメトリック解析により当て板のパラメータを算出し，解析パラメータに沿った実験を行い，解実験と解析の整合性を確認し，本研究の評価を行う．

参考文献
1)国土技術政策総合研究所：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究，ISSN 1346-7328，国総研資料　第 294 号，2006
2)下里哲弘　有住康則　小野秀一：腐食処理技術を応用した腐食鋼桁端部の性能お回復技術に関する研究，No. 26-4

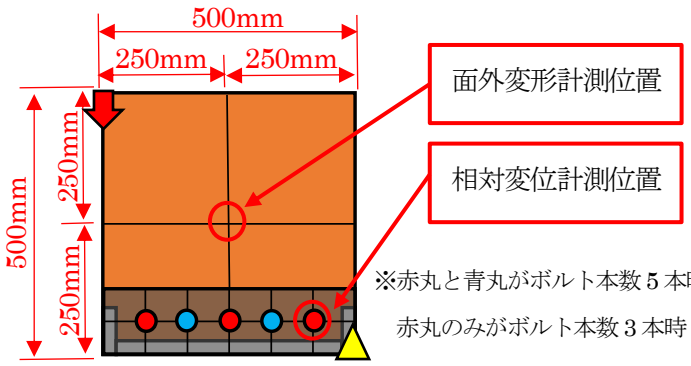


図 3-1　面外変形，相対変位計測位置，ボルト位置

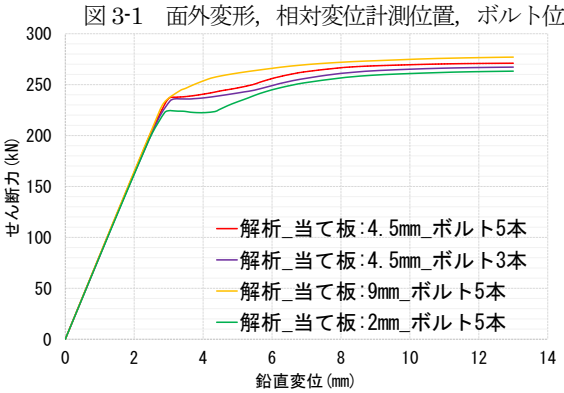


図 3-2　せん断力ー鉛直変位グラフ

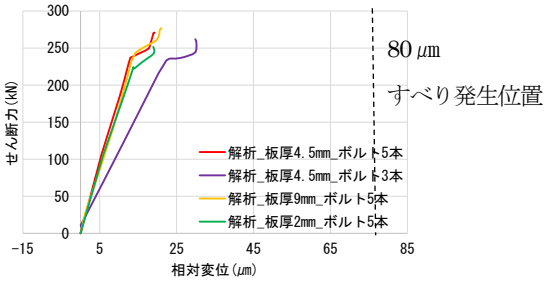


図 3-3　せん断力ー相対変位グラフ

図 3-3　せん断力ー相対変位グラフ

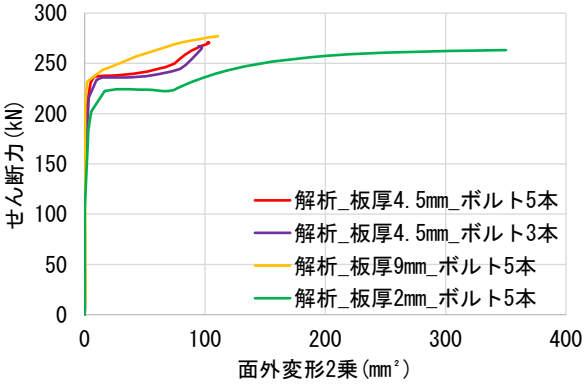


図 3-4　せん断座屈判定図

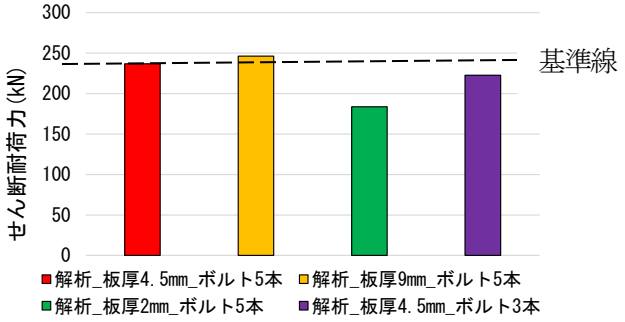


図 4-1　せん断耐荷力判定図

腐食凹凸面に対する当て板ボルト工法のすべり耐力評価に関する研究

琉球大学　○坂本健太　下里哲弘　田井政行　長坂康史　有住康則

1.はじめに

一般的に，鋼橋における劣化現象として腐食損傷が挙げられる．腐食損傷は写真 1 のように桁端部での発生が多く，損傷の状況に応じて，断面欠損や破断が生じ，鋼橋の耐荷力が低下することが懸念されている．腐食損傷への補修法として，パテにより表面を平滑化し，当て板補修を用いる場合もあるが，効率的な方法として，腐食凹凸面での当て板補修法が挙げられる．しかしながら，後者による補修法では当て板と腐食面間のすべり係数の低下が懸念されており，腐食凹凸面に対するすべり係数の定量的な評価は十分行われていない．

本研究では，腐食凹凸度の違いによるすべり耐力の関係を明らかにすることを目的に，実橋梁より採取した腐食鋼板を用いた当て板継手のすべり耐力試験を実施した．



写真 1 腐食損傷が生じた桁端

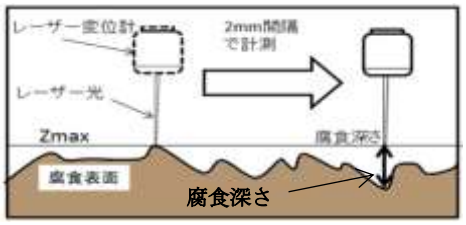


図 1 腐食深さの算出方法

2.鋼板の腐食凹凸度の評価方法

試験体に使用した腐食材は，実橋梁から採取した鋼材(SMA490 公称板厚 9mm)である．腐食材表面の凹凸度を評価するためにレーザー変位計を用いて腐食表面を 2mm 間隔 [1]で計測を実施した．　なお，腐食深さについては図 1 のように計測値の最大値から腐食表面までの距離の差と定義した．使用したレーザー変位計を写真 2，性能を表 1 に示す．図 2 に本研究で用いた腐食材の腐食深さ-腐食深さの標準偏差 [1]のグラフを示す．このグラフより平均腐食深さが大きくなるに従い，腐食深さの標準偏差が大きくなることが確認できる．これは，腐食凹凸度合いを示しており，右上にいくほど，凹凸が激しくなる．例として，腐食凹凸が異なる試験体のコンタ図を示す．そのため，本研究の腐食凹凸は腐食深さの標準偏差で評価する．

なお，腐食凹凸度については，

・腐食小：腐食深さの標準偏差 0.28～0.44
・腐食中：腐食深さの標準偏差 0.44～0.54
・腐食大：腐食深さの標準偏差 0.56～0.78 とする．



写真 2 レーザー変位計

表 1 レーザー変位計の性能

型式	LK-G80(KEYENCE)
使用光線	赤色半導体レーザー 波長655nm
測定精度	0.2μm
測定範囲	±15mm
最小表示単位	0.01μm

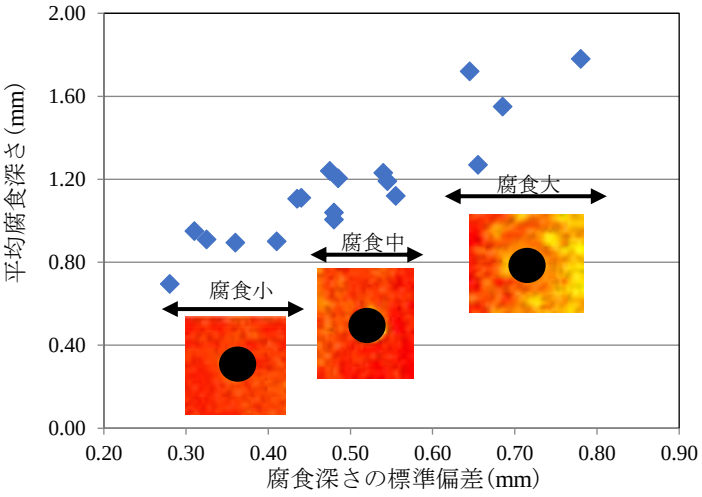


図 2 腐食鋼板の凹凸度

3.当て板ボルト補修法のすべり耐力特性

3-1.試験パラメータと試験方法

腐食材を用いて作成した試験体形状を図 3 に示す．なお，使用した高力ボルトは F10TM20 のボルトを使用し，固定側のボルトの締め付けには高力 TC ボルトを用いた．腐食側のボルトでは高力六角ボルトを用いた．すべり側のボルトにはボルト軸部にひず

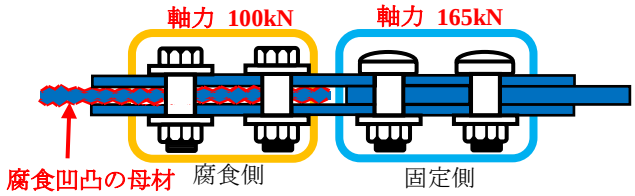


図 3 すべり試験体形状

キーワード　当て板補修，腐食凹凸，レーザー計測，すべり耐力
連絡先　〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学大学院理工学研究科環境建設工学専攻

みゲージを貼り付け，ひずみゲージの導入軸力が道路橋示方書[2]を参考に 100kN となるように締め付けを実施した．なお，本試験では写真 3 にあるように，2000kN アムスラー型万能試験機を用いて，試験を実施した．

試験ケースとして，表面処理をブラスト，無機ジンクと変化させたパラメータを設定し，すべり耐力試験を実施した．表 2 に試験体のパラメータを示す．

表 2 引張試験パラメータ

試験体名	使用鋼材	試験対象母材		試験対象添接板		試験体数
		板厚	材質	板厚	材質	
Ne1-B	新材	9mm	SM490Y	9mm	SS400	3
Ne2-Zn	新材	9mm	SM490Y	9mm	SS400	3
Co1-B	腐食材	9mm	SM490Y	9mm	SS400	18
Co2-Zn	腐食材	9mm	SM490Y	9mm	SS400	9

※B:ブラスト，Zn;無機ジンク

3-2.すべり耐力評価と試験結果

本研究では，下式に示すように，すべり試験より得られたすべり荷重を試験時軸力で除したすべり係数で評価を行った．なお，本試験では，母材の開口部で相対変位を計測し，図 4 で示すような荷重−変位関係図より，最大荷重をすべり荷重と定義した．結果から腐食の凹凸度によってすべり荷重に変化が見られた．

$$\mu = \frac{P}{N \times m \times n}$$

μ:すべり係数，P:すべり荷重(最大荷重)
m;接触面数，n:ボルト本数，N:試験時ボルト軸力

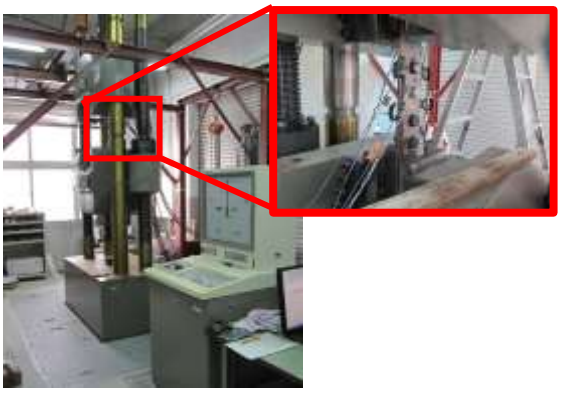


写真 3 試験時の様子

図 5 はすべり係数-腐食深さの標準偏差のグラフを示す．

新材では，共にすべり係数 0.6 以上を満たしており，差異が見られるが，バラつきの範囲内であると考えられる．

腐食材では，表面処理の違いにより，若干，ブラストでのすべり係数が高い結果となった．しかし，両者の相間係数を比較すると，同程度の数値となり，これもバラつきの範囲内であると考えられる．また，ブラストと無機ジンク共に，標準偏差の増加に伴い，右肩下がりの傾向が示された．この理由としては，腐食凹凸度が大きくなるに従い，腐食面と当て板の接触箇所が減少しているため，このような結果になったのではないかと考えられる．

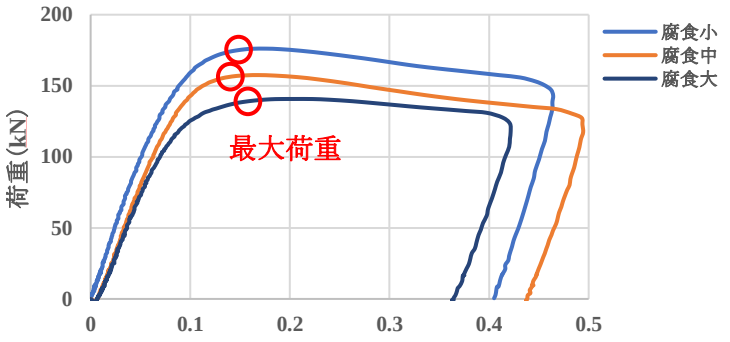


図 4 荷重−変位関係図

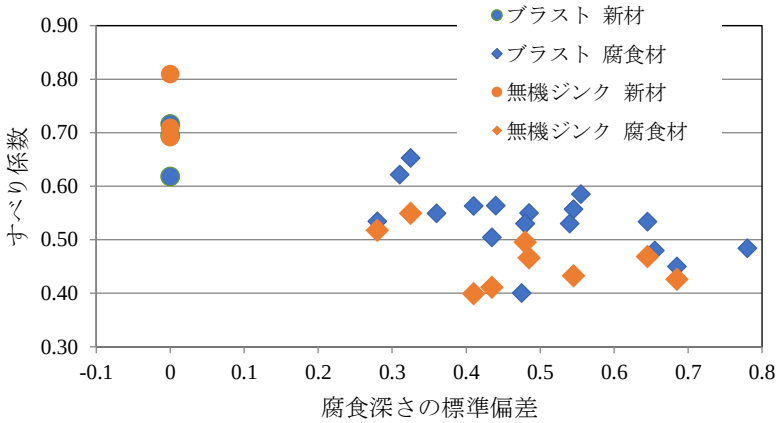


図 5 すべり係数−標準偏差

4.まとめ

(1)腐食凹凸面に対し，表面処理をブラスト，無機ジンクを施した結果から，新材よりも腐食材のすべり係数が低くなることが確認できた．

(2)腐食凹凸の違いで，すべり耐力の関係は腐食凹凸が激しくなると，右下がりの傾向がある．また，今回の腐食凹凸程度において，すべり係数の規定値[3]0.4 を下回るような大幅なすべり係数の減少は見られなかった．

参考文献

(1) 土木学会西部支部沖縄会：腐食・維持管理関連 pp112-113,2017.1
(2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II鋼橋編，2002.3
(3) 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)

長スパン化したバルブリブ鋼床版の疲労強度改善に関する研究

琉球大学院　○有馬安倫，田井政行，下里哲弘
日本橋梁建設協会　片野俊一，井口進

１．はじめに

縦リブにバルブリブを用いた鋼床版では，U リブの横リブ間隔より短いことが一般的である．既用研究[1)]によると，横リブ間隔 2500mm(U リブと同等の長さ)で大型のリブを用いた場合，たわみと応力値は許容値を満たすため横リブ長スパン化は可能であることが報告されている．しかし，縦リブ・横リブ交差部（以下，交差部）の溶接止端部の応力範囲が大きくなることも報告されている．そのため溶接止端部の疲労強度が懸念される．なので，溶接止端部の疲労強度改善することによって疲労に優れたバルブリブ鋼床版と考えられる．

交差部の溶接止端部の疲労強度改善として，既往研究において交差部の構造ディテールを改良することが検討されてきた[2)]．長スパン化したバルブリブ鋼床版のさらなる疲労強度改善を目的に，交差部の構造ディテールについて，解析的に検討を行った．

２．構造ディテール案と解析手法

２．１交差部の構造ディテール改良案

既往研究[2)]を参考にデッキプレートの変形を拘束している横リブの溶接止端部近傍に半径 40mm の円孔を設けることで局所変形を緩和させることを構造ディテール改善の基本とし，図-2 及び以下に示す 5 つのモデルについて検討を行った．

(A1)1250mm 従来モデル：一般的なスリット形状，横リブ間隔 1250mm

(A2)2500mm 従来モデル：一般的なスリット形状，横リブ間隔 2500mm

(B)R40 モデル:溶接止端より 15mm の位置に円孔を設置した構造ディテール，横リブ間隔 2500mm.

(C)円孔+15mm モデル：R40 モデルに対して横リブ軸方向に 15mm の直線区間を設けた構造ディテール，横リブ間隔 2500mm.

(D)円孔+25mm モデル：R40 モデルに対して横リブ軸方向に 25mm の直線区間を設けた構造ディテール，横リブ間隔 2500mm

２．２解析モデル及び載荷条件

(1) 解析モデル

本研究の解析モデルを図-3 に示す．着目位置は，パネル中央部の縦リブ・横リブ交差部のスリット上端部とし，ホットスポット応力で評価を行うために溶接止端部の最小要素サイズは，図-4 のように横リブ側 1mm，デッキ側 1.2mm とした．なお，モデルは全てソリッド要素を用いた．また，デッキプレート板厚は 12mm，横リブ板厚は 9mm，溶接脚長は 6mm とした．汎用有限要素解析ソフトウェア ABAQUS6.14 を用いて線形弾性解析を行った．

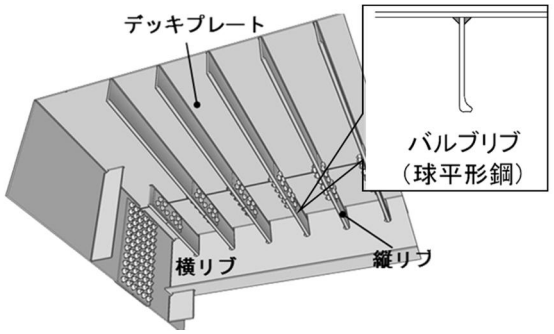


図-1 バルブリブ鋼床版

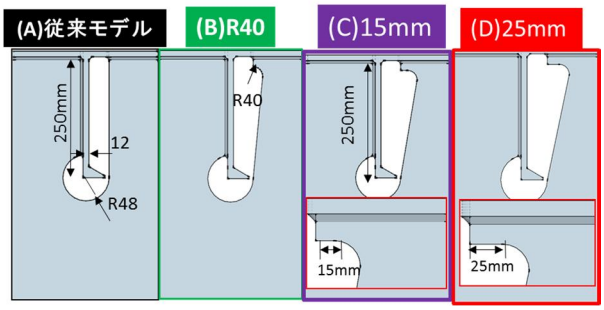


図-2 スリット構造ディテールの改良案

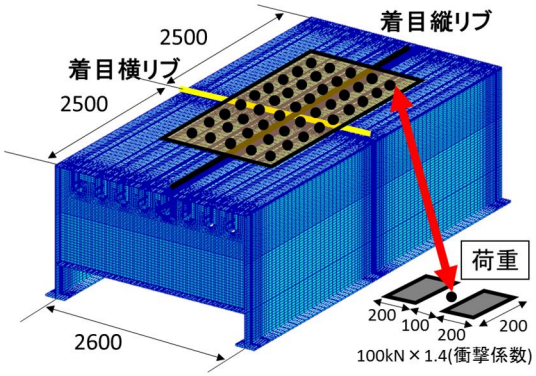


図-3 モデルと載荷方法

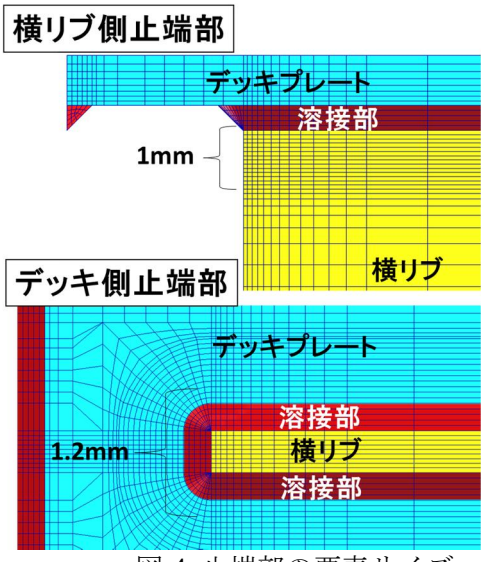


図-4 止端部の要素サイズ

キーワード　疲労強度改善，バルブリブ，鋼床版，スリット形状
連絡先：〒903－0213中頭郡西原町字千原1 番地 琉球大学大学院 理工学研究科 Email:k188489@eve.u-ryukyu.ac.jp

(2) 載荷条件

バルブリブ鋼床版において，縦リブ･横リブ交差部のスリット上端の溶接継手部では交差部近傍での載荷条件が最も厳しい条件となることから，図-3 に示すように着目交差部近傍(橋軸方向:注目横リブから±500,橋軸直角方向:注目縦リブから±500)領域に，ダブルタイヤ 1 輪を模擬した 200mm×200mm の載荷面積に 140kN を 100mm 間隔で移動載荷を行った．

3．構造ディテール改良による疲労強度改善効果

図-5 のように鋼床版の変形挙動を再現した．図から分かるようにデッキプレートが局所変形している．また，デッキプレートが局所変形することによって溶接止端部に応力が集中する事が分かった．

図-6 に各モデルの横リブ側止端部のホットスポット応力最小時の変形図と応力の最小主応力のコンター図を示す．従来モデルはデッキプレートが局所変形することによって，止端部に応力が集中しホットスポット応力が-287.7MPa と高い応力値となった．R40 モデルではデッキプレートの局所変形が概ね抑制され止端部の応力集中がやや緩和し，ホットスポット応力-169.5MPa と従来モデルに比べ約 40%低減した．さらに，25mm モデルでは，デッキプレートの局所変形が抑制され止端部の応力集中が緩和し，応力値も-86.8MPa と従来モデルに比べ約 70%低減する結果となった．要因は，スリットの円孔部で変形が起こるため，デッキプレートの局所変形が抑制されたと考えられる．また，円孔部で応力が集中することも分かった．

図-7 に各モデルにおける輪荷重移動載荷時の交差部の止端部におけるホットスポット応力のピーク値を示す．横リブ間隔を長くすることによって，交差部の止端部における応力値が高くなり疲労強度が低下することが分かった．しかし，円孔部を設け，直線区間を設けることによって，交差部における止端部の応力値が低減することが分かった．しかし，直線区間を 25mm まで長くすると，横リブ側よりデッキ側の止端部の応力値が高くなることが分かった．そのため，デッキ側に疲労き裂が発生する可能性が高くなる構造ディテールといえる．

4．まとめ

・輪荷重載荷シミュレーションを行い，鋼床版変形挙動を再現し，デッキプレートの局所変形によって交差部における止端部の応力が集中する．

・スリット形状を円孔部に，さらに直線区間を設けることによって疲労強度が向上すると考えられる．

・横リブ間隔を長くすることで交差部の止端部における疲労強度が低下すると考えられる．円孔を設け直線区間を 25mm にするとデッキ側の止端部の応力が横リブ側より高くなり，デッキ側から疲労き裂が発生する可能性が高くなる

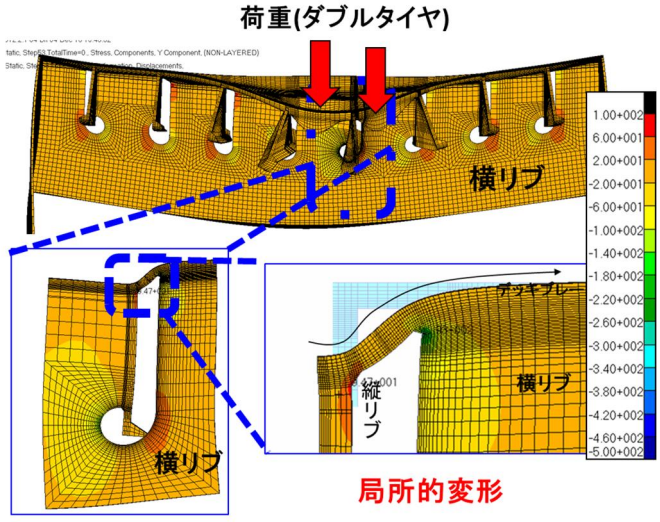


図-5 1250mm 従来モデル変形図(Hot spot 応力最小時)

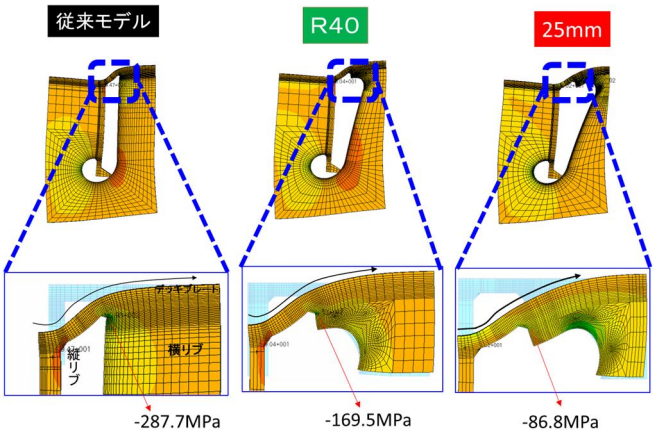


図-6 各モデルの変形図(Hot spot 応力最小時)

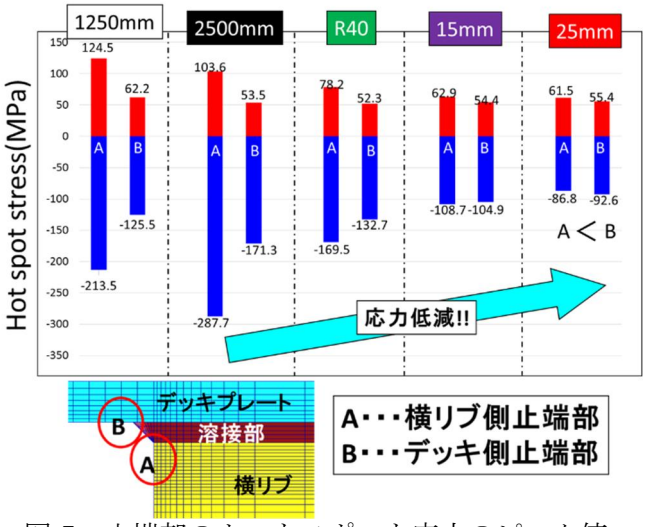


図-7　止端部のホットスポット応力のピーク値

参考文献

1)鈴木元啓，田井政行，石井建樹，下里哲弘，木下幸治: 鋼床版バルブリブの横リブ長スパン化に関する解析的研究，鋼構造年次論文報告集，2016

2)田畑晶子，杉山裕樹，金治英貞，石井博典，山本幸司，坂野昌弘:バルブリブ鋼床版の横リブ交差部の構造改良，土木学第 67 回年次学術講演会，I-290，2012

Session 3 : 交通・計画

パーキング・チケットの手数料支払・未払い行動に関する調査研究

北海学園大学　○堂柿栄輔
東海大学　梶田佳孝

1. 研究の目的

本研究では，パーキング・チケット利用における手数料支払い率について，駐車場所と発給設備の距離の違いによる差を統計的に検証した．

道路交通法による時間制限駐車区間（第四十九条）では，駐車の適正を確保するため，パーキング・メーター又はパーキング・チケットの発給設備（道路交通法第四十九条第一項）が設置される．この時，パーキング・メーターでは各々の標示線（枠）に1つのメーターが設置され，駐車時間の計測と違反行為に対する警報（道路交通法施行規則第六条の四）が行われる．一方パーキング・チケットの発給設備は数カ所の標示線（枠）に対し1つの設置となっており，駐車場所からの距離は最大で 50m ～ 90m 程度の場合もある．従って発給設備から遠い場所での駐車では手数料の支払い率が低下することが想定されるが，これは好ましいことではない．またパーキング・チケットによる駐車の管理ではその構造上パーキング・メーターのような警報を行うことはできず，違法行為に対する警告も十分なものではない．手数料支払い率の向上には啓発活動や取り締まりの強化等も重要であるが，非接触料金収受システムが一般的となった昨今の技術社会への対応も必要であろう．

2. 研究の内容

研究の手順を以下に示す．調査方法はプレート式連続調査，分析手法は基礎的統計分析による．

(1)調査

個々のドライバーの手数料支払の有無は観測調査により記録した．調査では手数料支払いの有無以外にも，駐車目的や車種，駐車時間等の属性も記録し，これらの属性と手数料支払い行動との関係も調べた．調査場所は札幌市都心部のパーキング・チケット発給設備設置の2地区で行った．発給設備との距離の違いによる手数料支払い率の変化の観測では，幾つかの異なる距離帯でのデータ取得が望ましいが，札幌では時間制限駐車区間は少なく，制約された条件下でのデータ取得となった．

(2)分析

手数料支払い率は，手数料を支払った割合であるが，手数料の支払い行動は，「支払い」，「未払い」の二者択一ではなく，駐車限度時間を何度か更新する繰り返しの支払い行動や，駐車を開始したしばらく後での手数料支払い等もあり，それらの考慮が必要である．さらに標示線（枠）の不規則な占有もあり，手数料支払いとの関係でこれらの駐車形態も考慮する必要がある．また基礎的分析として，調査で観測された駐車の属性と手数料支払い行動との関連も調べた．

(3)考察

研究の結論は，発給設備直近と遠距離の手数料支払率の違いを統計的に検証することであるが，手数料支払い行動と駐車属性の関連も調べ，地域特性も考慮した運用の改善策についても言及した．

3. 調査

(1)調査概要

札幌市都心部での調査概要を**表-1**に示す．東京での調査はパーキング・チケットであるが，手数料支払率の比較のため行った．

(2)パーキング・チケット発給設備の位置

札幌市の調査区間での標示線（枠）と発給設備（**写真-1**）との位置関係を**図-1**に示す．図中「P」が標示線（枠）の位置である．調査は箇所 A 及び箇所 B の 2 カ所の道路区間で行った．

キーワード　パーキング・チケット，手数料支払い，観察調査
連絡先　〒 064-0926　札幌市中央区南 26 条西 11 丁目　北海学園大学工学部
E-mail　dohgaki@cvl.hokkai-s-u.ac.jp

表-1　調査の概要

項　目	内　　容
調査方法	プレート式連続調査
調査台数	札幌　200台／東京　492台
調査日	平成29年　札幌10月／東京5月
時間帯	平日　10時～16時
調査地区	札幌市都心部／東京新橋二丁目

箇所 A では 8 つの標示線(枠)が設置され，内 4 つは発給設備の直近であり距離抵抗は 0 とする．これらを「直近 G (グループ)」とする．「a.距離抵抗 G」は発給設備から 36.6m の距離に 2 カ所，「ｂ.距離抵抗 G」は発給設備から 45.7m の距離に 2 カ所ある．箇所 B では6つの標示線(枠)があり，「直近G」に 2 カ所，38.1m の距離に「c.距離抵抗 G」2 カ所，37.5m の距離に「d.距離抵抗 G」2 カ所がある．

箇所 A，箇所 B 地区共に，隣接する他の時間制限駐車区間はない．

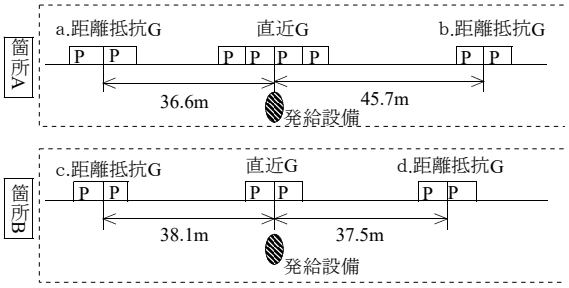


図-1　パーキング･チケット設置区間



写真-1　発給設備

4. 基礎分析

(1)パーキング･メーター等の設置状況

平成 25 年度の札幌と東京の時間制限駐車区間の設置数を**表-2**に示す．時間制限駐車区間(パーキング･メーター)は昭和 46 年の法改正で導入されたものであり，後の昭和 61 年にはパーキング･チケット制度が導入されている．道路交通法の解説では，「パーキング･チケットはパーキング･メーターの簡易型」とされており，時間制限駐車規制の一層の拡大を図る目的で導入されたものである．札幌を含め北海道にパーキング･メーターは設置されていないが，東京都には全国の約 70.0%のパーキング･メーターが設置されている．東京及び北海道共にパーキング･チケットの発給設備は，駐車可能台数 7.1 台～ 7.3 台に 1 カ所となっており，全国平均は，発給設備 1 台/標示線(枠) 6.6 カ所である．

表-2　パーキング･メーター等設置状況

地域	ﾊﾟｰｷﾝｸﾞ・ﾒｰﾀｰ	ﾊﾟｰｷﾝｸﾞ・ﾁｹｯﾄ		
		発券機設置台数　A	駐車可能台数　B	B/A
北海道	0	32	232	7.3
東京都	14,541	451	3,182	7.1
全国	20,772	1,431	9,459	6.6

(2)駐車属性と手数料支払い行動

a)駐車行動の分類

表頭(駐車場所)と表側(手数料の支払い行動)による駐車行動の 4 分類(①～④)を**表-3**に示す．ここで表頭 3 カテゴリーのうち「枠外」は標示線(枠)の設定されていない場所での駐停車，「枠内」は標示線(枠)内の駐車，「枠内外」は枠をはみ出す不規則駐車である．また，表側 4 カテゴリーの「支払」は手数料を支払ったもの，「未払」は支払わなかったもの，「繰返し」は一度の駐車で何度も支払ったもの，「途中～」はある程度時間が経過した途中から手数料を支払ったものである．基本的には表頭 3 カテゴリーと表側 4 カテゴリーによる 12 通りの駐車行動があり得るが，実際には例えば「枠外」×「支払い」等のケースは希であり統計的に比較可能な①～④の集計を分

表-3　標示線(枠)の占有と手数料支払い

分類		駐車場所		
		枠外	枠内	枠内外
手数料	支払		②	
	未払	①	③	
	繰返し		④	
	途中～			

析の対象とした.

b)駐車時間長と手数料支払い行動

枠内駐車での「支払い」と「未払い」駐車の駐車時間長分布を「台」単位の集計で**図-2**に示す.

①駐車時間の平均値 m は「支払い」58.9 分,「未払い」57.9 分であり差は僅かである. また標準偏差 σ は「未払い」が 69.4 ,「支払い」が 40.4 であり,「未払い」の σ は「支払い」の 1.73 倍とばらつきは大きい.

②「支払い」,「未払い」共に 90 分を超える駐車の割合が最も多く各々 28.3%及び 27.9%である. パーキング･チケットの利用では管理者に委託された組織が 1 回～ 2 回/日程度の確認作業を行っているが秩序の維持は十分なものではない.

③ 5 分以下の停車を除くと,「支払い」,「未払い」共に 30 分～ 60 分の駐車が次に多く, 各々 26.7%, 14.0 %である.「支払い」行動では 60 分以下の駐車が合法であり, この割合は 56.7%であるが, 残約 4 割は違法行為であり遵守割合は高いとはいえない. また「未払い」での「 30 分～ 60 分」の駐車利用が多いことは, 当該区間では手数料の支払いの有無にかかわらず 60 分までの駐車が許容されていることの漠然とした理解であろう.

図-3に駐車時間長分布の「台分」単位での集計結果を累積構成比で示す. これより,

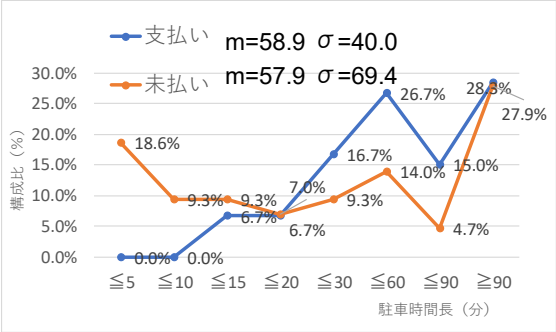


図-2　支払い・未払い駐車時間長分布

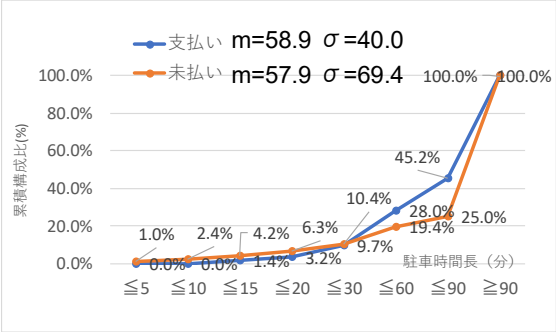


図-3　支払い・未払い累積駐車時間長分布

④**図-2**の集計値の比較も含め,「支払い」行動では 90 分を超える 28.3%の駐車が 54.8% (=100-45.2)の時空間を占有していること,「未払い」行動では 27.9%の駐車が 75%(=100-25)の時空間を占有していることが分かる. 時間制限駐車区間の設置が短時間の駐車による路側の効率的な利用を意図することを考えると, 少数の長時間駐車の規制は特に効果的である.

c)目的による手数料支払い行動

図-4に主要 3 目的の「枠外」,「支払」,「未払」の実台数を示す. また**図-5**は各目的の構成比である.

① 3 目的の「枠外」,「支払」,「未払」の割合は,「業務(荷無)」と「私事」では同様の傾向であるが,「配達」では異なる. この目的では 80.6%が「枠外」で用務がなされており, 手数料支払いに対する抵抗が大きい.

②「枠外」を除くと,「業務」と「私事」の手数料支払率は 68.3%(=41/(19+41)), 66.7%(=14/(14+7))であり, 支払率はほぼ 2/3 程度である. 観測台数は少ないが, 配達の支払率も 66.6%(=4/(4+2))であり, 実台数の多少に関わらず, 支払率はほぼ 2/3 程度である.

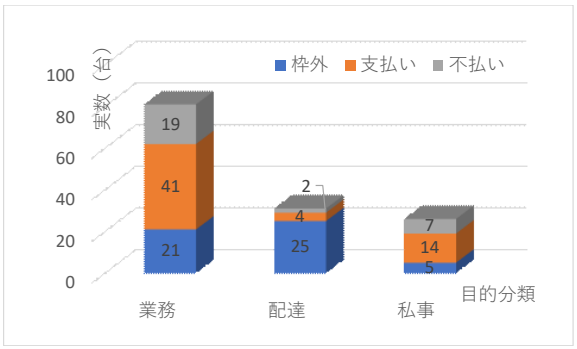


図-4　目的別支払い台数等

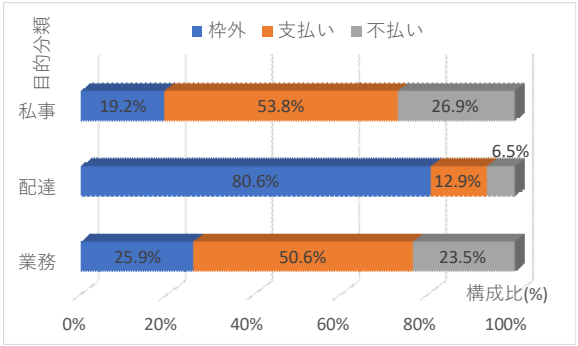


図-5　目的別支払い割合等

5. 距離抵抗による支払い率の低下

(1)箇所別支払い･未払い数等の集計

図-1の条件での調査結果を**表-4**に示す．例えば箇所 A「直近 G」の「支払い」は 15 台，「未払い」は 8 台，「繰り返し」は 1 台，「途中から」は 1 台であり，計 25 台である．箇所 A の「距離抵抗 G 計」は「a36.6m」及び「b45.7m」の合計である．また箇所 A の「a.36.6m」は「a 距離抵抗 G」(**図-1**)と発給設備との距離が 36.6m であることを示す．

表-4 調査結果

箇所	G分類	支払い		未払い		繰り返し		途中から		計	
箇所A	直近G	15	60.0%	8	32.0%	1	4.0%	1	4.0%	25	100%
	a.36.6m	7	46.7%	8	53.3%	0	0.0%	0	0.0%	15	100%
	b.45.7m	6	42.9%	8	57.1%	0	0.0%	0	0.0%	14	100%
	距離抵抗G計	13	44.8%	16	55.2%	0	0.0%	0	0.0%	29	100%
	計	28	51.9%	24	44.4%	1	1.9%	1	1.9%	54	100%
箇所B	直近G	17	73.9%	6	26.1%	0	0.0%	0	0.0%	23	100%
	c.38.1m	3	27.3%	5	45.5%	2	18.2%	1	9.1%	11	100%
	d.37.5m	9	56.3%	7	43.8%	0	0.0%	0	0.0%	16	100%
	距離抵抗G計	12	44.4%	12	44.4%	2	7.4%	1	3.7%	27	100%
	計	29	58.0%	18	36.0%	2	4.0%	1	2.0%	50	100%
合計	直近G	32	66.7%	14	29.2%	1	2.1%	1	2.1%	48	100%
	距離抵抗G	25	44.6%	28	50.0%	2	3.6%	1	1.8%	56	100%
	計	57	54.8%	42	40.4%	3	2.9%	2	1.9%	104	100%

(2)発給設備との距離と未払い率の関係

この調査では発給設備と標示線(枠)の距離が限定された条件下での観測となったが，未払い率とこれらの関係を**図-6**に示す．

①図より距離の増加による未払い率の増加は，箇所 a：0.580(=(53.3-32)/36.6)，箇所 b：0.549(=(57.1-32)/45.7)，箇所 c：0.509(=(45.5-26.1)/38.1)，箇所 d：0.472(=(43.8-26.1)/37.5)であり，0.472%/m ～ 0.580%/m の範囲となった．特に箇所 A の「b 距離抵抗 G」は発給設備からの距離が 45.7mであり，他の 3 カ所の 1.2 倍程度であったが，未払い率の大きさ 57.1%はこれらとの関係で矛盾無く理解できる．

②初期値即ち距離抵抗無しでの支払い抵抗(未払い率)は箇所 A が 32.0%，箇所 B が 26.1%である．この違いの要因は計量化していないが，1)箇所 B では発給設備直近の標示線(枠)は 2 カ所であり，4 カ所である箇所 A よりもより接近性が強いこと，2)箇所 A は道路区間の両端が信号制御されていない中通であり公開性が低いこと，3)また箇所 A は歩道上の専有物が多く見通しが悪いこと等の違いはある．

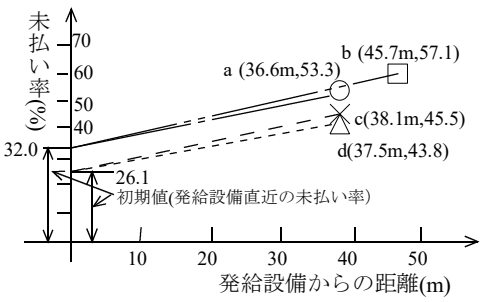


図-6 発給設備からの距離と未払い率

(3)支払率の差の統計的検証

「繰り返し」及び「途中から」の支払い行動を「支払い」に含め，**表-5**を**表-4**から作成し，駐車場所の違い(直近←→離れている)による支払率の差を統計的に検証した．帰無仮説は「H0：直近 G 支払率 70.8%と距離抵抗 G 支払率 50%に差は無い」である．この仮説が正しいときその確率 p は，0.03<p<0.04 であり，有意水準 5%で仮説は否定される．

表-5 検定適用集計表

分類	支払い	未払い	計
直近G	34=32+1+1	14	48
	70.8%	29.2%	100%
距離抵抗G	28=25+2+1	28	56
	50.0%	50.0%	100%
計	62	42	104
	59.6%	40.4%	100%

6. まとめと課題

時間制限駐車区間での発給設備と標示線(枠)との距離が手数料の支払い行動に与える影響を統計的に確認したが，支払率の向上施策が課題である．パーキング･チケットがより費用を抑えた駐車時間の規制施策であるため，発給設備の増加策は難しい面がある．一方利用の確認作業は交通管理者から委託された民間組織が行っており，少数の長時間駐車に対するより厳格な対応は可能であろう．

官庁施設における案内・誘導手法の検証
～建物内外部でのサイン計画～

長浜　政明・玉城　裕之

沖縄総合事務局　開発建設部　営繕課　（900－0006 沖縄県那覇市おもろまち 2－1－1）

案内サイン計画は、施設利用者にとってその施設の親しみやすさ、使いやすさ、安全性に大きな影響を与えるものであり、「官公庁施設の建設等に関する法律（昭和二十六年六月一日法律第百八十一号）」の第４条（建築方針）に定められている「庁舎は、国民の公共施設として、親しみやすく、便利で、且つ、安全なものでなければならない。」にも直接的に繋がる重要な要素である。そこで、本研究では那覇第２地方合同庁舎３号館の整備を間近にひかえた中、既存の１号館及び２号館の案内サイン計画の現状を施設利用者の目線から検証し、ユニバーサルデザイン（ＵＤ）を意識したサイン計画のあり方をあらためて考察し、今後の施設整備に反映するものである。

キーワード　案内サイン計画　ユニバーサルデザイン

１．はじめに

私たちの身の回りは日頃から様々なサインであふれている。案内サインは施設の利用者にとって、必要な情報を提供し、案内・誘導する役割を持つ。求められるサインの水準も時代とともに変化し、ますます重要視されてきている。那覇第２地方合同庁舎（以下「那覇第２合同」という。）３号館の整備を間近にひかえた中、建築後 10 年以上経過した既存の１号館及び２号館の案内・誘導サインの現状について、施設利用者の目線から具体的なニーズを踏まえた検証を行い、得られた意見や課題等から課題解決に向けた今後のサイン計画の方向性について考えていく。



図１　那覇第２地方合同庁舎

２．那覇第２合同１号館、２号館の現状分析

現状分析の手法としては次の 1)、2) によるものとし、その調査結果を 3) にまとめる。

1)　施設管理者および警備員からのヒアリング調査

施設管理者である庁舎管理官室の職員の方と、日頃から来庁者を直接案内・誘導している警備員からヒアリングを行った。



図２　ヒアリング状況

2）庁舎内のウォークスルー調査

（敷地外から目的の部屋まで案内サインに従って）

庁舎の外部から駐車場、１号館内部、２号館内部と３つの範囲に分けてウォークスルーを実施した。

3）調査により確認された課題

(1) 外部空間（駐車場など）

・駐車場入口の表示及び庁名看板（高さ約１m）の文字が目に入りづらい。

・病院やハローワークと間違って来庁する方がいる。

・駐車場側からは１号館の入り口が分かりづらい。



看板の劣化が見られる 修繕がされていない	デザイン性重視のため、 サインが目立っていない

図３　庁名看板

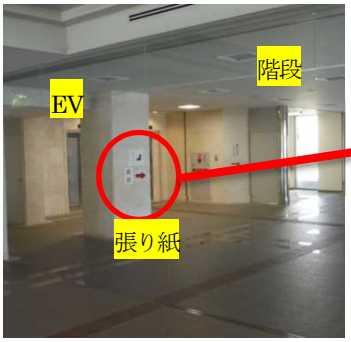
図3の駐車場側看板は雨の日には設置された石が濡れ、石材と同化してしまうため、より見えづらくなり来庁者に看板として認識されない状況である。

(2) １号館

・正面入り口から見ると、エレベーター（以下「ＥＶ」という。）と階段が柱で隠れて見つけにくくなっている。

・サインを設置している場が暗く目立たない。

・トイレや自販機設置場所、喫煙スペースがエントランスホールから視認しづらい。





張り紙を用いて
補足説明

図４　１号館案内サイン①

図４でEVと階段については運用上張り紙によるサインの補足を行っている。また、図5では壁に設置された各階の案内板は周りの掲示物の影響もあり目立っていなかった。



図５　１号館案内サイン②

(3) ２号館

・案内板の図と背景が同系色なため文字が見えづらい。

・図と文字が小さく、認識できない。

・１号館への誘導する案内が記載されていない。

・組織改編等があった場合、変更するのに時間とコストがかかる。



部署名の更新に追いついていない



図と背景が同系色であり、見えづらい
文字や図が小さく認識できない

図６　２号館案内板

２号館では全体的に文字が小さくまた、背景とのコントラストが悪く見えづらいと感じた。また、新しい部署等の更新が追いついておらず、テープで補修を行っていた。

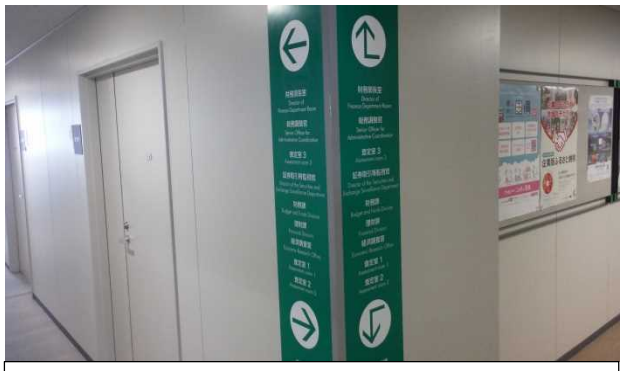
これまでは、庁舎サインの課題についてあげてきたが、３号館建築に向けて庁舎内での参考となった良い事例を紹介する。

4）参考となるサインの事例

・曲がり角の壁を利用して大きく表示させており、どの方向から来た人でも見える工夫がされている。

・各階 EV 前の案内板が大きく、わかりやすい。

・1 号館､2 号館でそれぞれサインの色に統一性があった。



曲がり角を利用したサイン



1 号館を青、2 号館を緑で統一しており、見やすい

図 7　参考となる事例

建設当時の 1 号館及び 2 号館のサイン計画は、どちらも 1 階エントランスに警備員を配置することが前提となっており、警備員の案内業務の補助として案内板設置を行っていた。

5）小括

現状の課題をまとめると、分かりづらい、見づらいとの意見が多く得られた。ヒアリング調査の結果では、普段使い慣れている職員にとっては気にならないが、初めて来られる方は迷ってしまい、案内板が十分に利用されていないことが把握できた。また、実際に案内サインに従ってのウォークスルー調査を行ったところ、私自身も業務上普段、係わることのない 1 号館で、目的の部屋にたどり着くまでに時間がかかってしまった。

しかしながら、庁舎内サインには今後の 3 号館や他庁舎等の施設整備に活かせる事例も多く見られた。事例の一つとして、サインの色に統一感を持たせ、表示させたことが非常に見栄えが良く見られた。3 号館の建築においては、建物単体としてではなく、1 号館、2 号館と総合したサイン計画を立て、より良い庁舎を目指していくべきだと考える。

4．他施設におけるサイン事例

那覇第 2 合同のサイン計画の課題解決に向け参考となる事例収集を行うべく那覇市内にある 3 つの施設でウォークスルー調査を実施した。対象施設の選定については、同じ庁舎として利用される那覇市役所、用途が異なる公共施設として沖縄県立博物館・美術館、民間の大型商業施設とした。

(1) 那覇市役所

・案内サインへのスポット照明により、目立たせることで見やすい工夫が施されている。

・西側、東側で色を使い分けることで現在地や目的の場所がすぐにわかる。

・正面の入り口床に案内誘導サインが設置されており、非常に目立っていてわかりやすい。



スポット照明を当てることで案内板が目立っている



統一性が有り、見やすい

図 8　那覇市役所ー案内サイン①

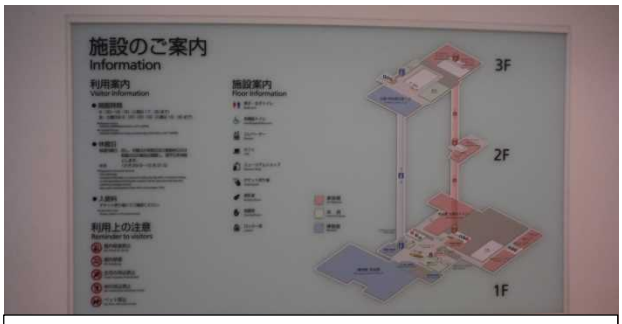


図 9　那覇市役所－案内サイン②

案内板は、更新性に優れた工夫が施されており、取り外しが容易なものが使用されていた。東西の色分けに加え、文字の大きさやコントラストがとても見やすいサインとなっていた。施設全体としてサインに統一感があり、どのサインもとてもわかりやすかった。また、サインに加えトイレなども使用者の利便性を十分に考慮した工夫が感じられ,非常に良い事例であった。

(2)　沖縄県立博物館・美術館

・階ごとの位置関係が立体的に表示され、EV の場所などがわかりやすい。
・建物内部の案内サインはどれも大きく、見やすくわかりやすいものとなっている。
・駐車場看板が大きく作られており、遠くからでも入り口を確認できる。



各階を立体的に表示している



図 10　博物館・美術館－案内サイン①



一見しても目立っており、わかりやすい

図 11　博物館・美術館－案内サイン②

文字や標識が大きいため、とてもわかりやすかった。博物館・美術館でも案内板の配色に工夫が施されている部分が見られ、来館者への配慮を感じた。また、建築設計において身障者の補助犬用トイレが設置されており、ユニバーサルデザインに関する取り組みが感じられた。

(3)　大型商業施設

・多言語表記を使用している。
・トイレ等への誘導として一定間隔でサインが設置されていた。
・身障者駐車スペースは着色され舗装色に比べ目立っており、また、大きく表記していた。



一定間隔で天井つりサインを設置し確実な誘導を行う



身障者スペースに色付けで目立たせている

図 12　商業施設－案内サイン

公共施設ではないが、多くの市民が利用する商業施設では、子供から大人まで幅広い層の人々に向けたサインの工夫が施されていた。

それぞれの施設でのウォークスルー調査を通して気づいたことは、どの施設でも見る人にわかりやすいようにサインの工夫が施されていた点である。那覇第２合同との大きな違いは、文字の大きさやコントラスト等により一見して認識できる、わかりやすさではないかと感じた。

５．サイン計画に関する基準等

サインに関する基準はこれまでに見直しや改善がなされてきた。グローバル社会となった現在、サインへ求められる水準は、より変化していくものと思われる。ここで、サイン計画に関する法律や関連した基準について以下にいくつか整理する。

① 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（平成 18 年）：国土交通省、警察庁、総務省

ハートビル法と交通バリアフリー法が統合されてできた法律で、いわゆるバリアフリー法である。高齢者、障害者などすべての人を対象とした施設利用の利便性や安全性の向上を促進するためにつくられた法律。建物建設においても案内板設置に関する基準等を取り決めている。

② 官庁施設のユニバーサルデザイン（UD）に関する基準（平成 18 年版）：国土交通省

ユニバーサルに関する性能について、官庁施設に求められる水準及びこれを確保するために必要な技術的事項を定め、高齢者、障害者等を含むすべての人に利用しやすい官庁施設の整備を推進することを目的としている。

施設の特性に応じたUDレビューにより、施設利用者の視点から総合的に評価及び検証を行うことを規定し、サインの有無に限らずすべての施設利用者が、できる限り、円滑かつ快適に利用できるように、「移動空間」「行為空間」「情報」「環境」「安全」の５つの視点で技術的事項を定めている。

ユニバーサルデザインの視点に立ったニーズの把握、解決策の検討、評価、フィードバックといった一連の作業を各段階（企画・設計・施工・維持管理段階）で繰り返し行うことで、より良い施設整備を図る取り組みも紹介している。ここで②のUDレビューについてサインや施設整備の流れを図に示す。

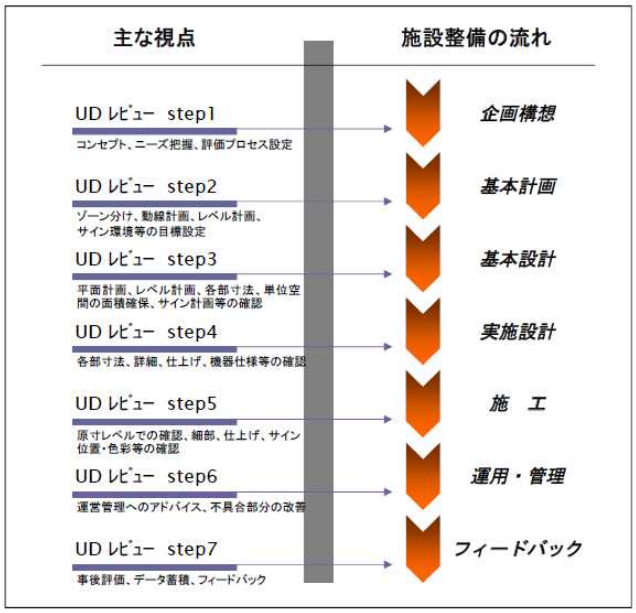


図 13　施設整備の流れ

③ 建築設計基準（平成 26 年改訂）：国土交通省

庁舎の建築設計を行うにあたり、基本的性能の水準を満たすための標準的な手法及びその他の技術的事項を定めた基準であり、建物に関するサインの守るべき基準等が定められている。

④ 建築設計基準の資料（平成 27 年）：国土交通省

建築設計基準を円滑かつ適切に運用するために必要な事項をとりまとめた資料であり、サインについても壁への設置高さや大きさなど具体的な数値規定が詳細に取り決められている。

その他にも、オリンピック・パラリンピックを見据えた案内・誘導の検討や地方自治体におけるまちづくり条例・ガイドラインの作成等、サイン計画に係る各種基準類が取り決められている。

これらのサイン計画に関連した法律や設計基準には、那覇第２合同１号館及び２号館が完成以降に改正されたものもある。そのため、現状の課題については、当時の基準が現在必要となる水準に追いついておらず、現状のサインが当時のまま見直されていないことも要因の一つだと考えられる。

６．今後のサイン計画の方向性

今回の現状分析として、改めて１号館及び２号館のサインについて課題抽出を行った。また、近隣の施設で参考となるサイン事例の収集を行った。これらを比較し、とりまとめた結果、サインに必要となる設計上のポイントが整理できたため、それについて以下に示す。

～見えてきた設計上の５つのポイント～

『統一性』･･･施設全体を通して表現が統一されているか

サインの色や形を統一し表現することや、各階の同じ場所に設置することでサインの認知度をあげ、より多くの人に容易に認識できるものとする。

『連続性』･･･目的地まで切れ目なく誘導できるか

誘導サインの優先すべきことは目的地までスムーズに誘導することであるため、必要に応じて天井吊りや床へサインを表示する等、一定間隔でサインを連続的に設置し確実な誘導を行う。

『単純性』･･･情報過多にならずシンプルな表現であるか

部署や課ごとに番号をつけたり色わけをしたりして誰が見ても容易に理解し、そのサインで何を一番伝えたいのかを意識する必要がある。

『可読性』･･･文字や図は見やすいものとなっているか

背景と同系色でないもの、天候や明るさに影響されずに見やすく簡単に理解できるものとすることが基本であり、デザイン重視よりもわかりやすさを重視する必要がある。

『更新性』･･･名称等の変更で臨機に対応できるか

サイン本体は耐久性の高いものとしつつ、入居官署の入れ替えや部署、室の変更に素早く対応可能なものとする必要がある。

その他、エントランスに電子掲示板を設置することで多くの人が閲覧でき、伝えたい多くの情報から必要な情報を絞り込み、迅速な案内・誘導につながるほか、音声案内、触知案内との補完によりすべての人が使いやすいサイン計画を実現することが望まれる。

庁舎の３号館が完成した際には、現在よりも多くの官署が入居し、来庁の方にとって、案内・誘導がより複雑になり混乱が生じることが予想される。庁舎としての規則性と入居官署の特性とのバランスをとりつつ様々な課題解決に向けた案を意識して取り組んでいく必要がある。

７．より良いサイン計画を目指して

今後の施設整備にあたっては、本研究を足がかりにした取組みを継続していくこととする。営繕は、国家機関の施設整備を担う立場であり、整備にあたっては施設利用者にとっての利便性向上に向けた取り組みが重要となってくる。まず、上記にあげたサインに必要となる設計上のポイントを実際に活かすべく「サイン計画のチェックリスト」を作成する。これを設計・施工段階で活用することでより良い施設整備を実現していきたい。また、このチェックリストについては、同じく公共建築の整備を行う地方公共団体へ展開することで、サイン計画における認識の共有を図るツールとしても活用できることが期待できる。ただし、地域のニーズや官署の特性に合わせた外国語表記の項目を追加する等、必要に応じ適時ブラッシュアップを行うことが重要である。これらをふまえると、例えば、公共サインとしてまちづくりに広げることができるのではないかと感じた。サイン計画に係るこれらの取組みがより具体的に実行できれば、ゆくゆくは観光立県である沖縄において観光業の発展につながる一助となれば幸いである。

参考文献

1) 官庁施設のユニバーサルに関する基準及び同解説：国土交通省大臣官房官庁営繕部
2) 建築設計基準：国土交通省大臣官房官庁営繕部
3) 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律：国土交通省、警察庁、総務省

別紙２（論文）

ビッグデータを用いたヒヤリハット分析について

伊藝　誠一郎[1]・下地　涼大[2]

[1]南部国道事務所　交通対策課　課長　（〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14）

[2]南部国道事務所　交通対策課　係員　（〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14）

沖縄県内の直轄国道を対象として、事故件数としてはまだ顕在化していないが、急ブレーキが多く、将来的に事故危険性の高い箇所（ヒヤリハット箇所）の抽出、分析、対策立案を実施した。急ブレーキデータとしては、プローブデータを用い、ヒヤリハット箇所の抽出手法や詳細な分析手法、現地踏査を踏まえた原因の特定と対策立案までの流れについて紹介する。

キーワード　プローブデータ、予防保全対策、ヒヤリハット分析

1. はじめに

(1) これまでの交通事故対策の進め方と本検討の着眼点

これまでの交通事故対策は、人身事故が発生した箇所を対象として、その原因を取り除き、同様の事故を減少させることを目的としており、『事故が発生するまで対策を実施しない』状態であった。

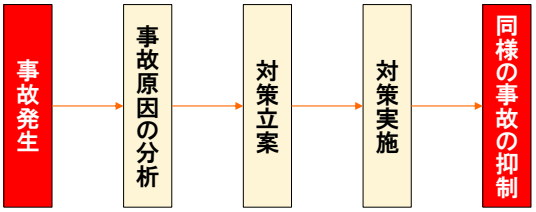


図-1　これまでの事故対策の流れ

本検討では、事故件数としてはまだ顕在化していないが、急ブレーキが多く、将来的に事故危険性の高い箇所（潜在的危険個所）に対して、『事故を未然に防ぐ（予防保全）』ための対策を実施したものである。

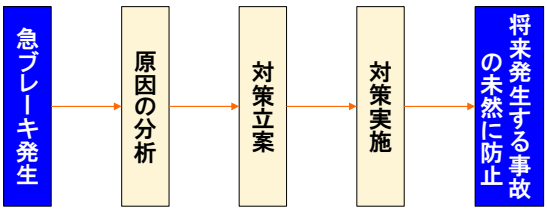


図-2　予防保全による事故対策の流れ

2. 潜在的危険個所の抽出

(1) 潜在的危険個所の抽出手法

任意の区間にて、事故データ及び急ブレーキデータを集計し、各発生確率を比較することにより、事故発生確率が低く、急ブレーキ発生確率の高い箇所を抽出することとした。

具体的なフローを図-3に示す。

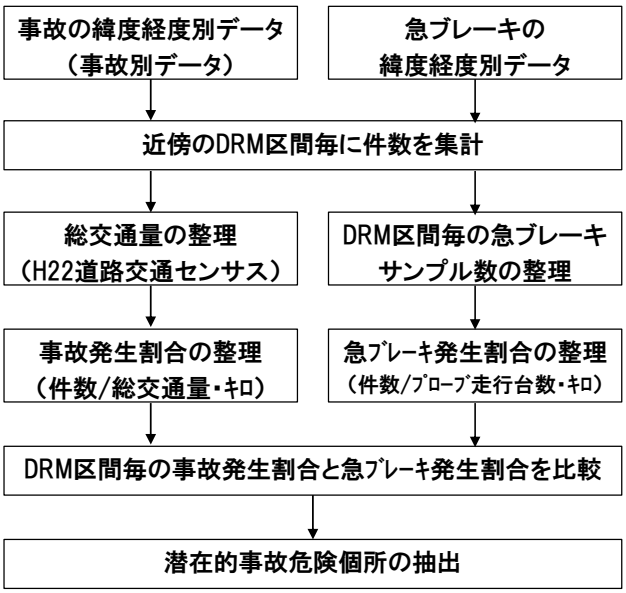


図-3　潜在的危険個所の抽出フロー

(2) 使用データ

任意の区間としては、カーナビやプローブデータ集計等に広く使用されているDRM（Digital Road Map）区間を用いることとし、その他各データについては表-1に示すデータを用いて抽出を行った。

表-1　使用データ一覧

	データ名称
事故データ	ITARDA事故統合データ事故別(H23-H26)
急ブレーキデータ	民間プローブ急減速データ(H27.9-H28.3)
総交通量	H22道路交通センサス
ﾌﾟﾛｰﾌﾞ走行台数	民間ﾌﾟﾛｰﾌﾞDRMﾘﾝｸ集計値(H27.9-H28.3)
区間延長	DRM区間長(ver.2603)

(3) DRM区間別発生確率の算出

下記計算式より、DRM区間それぞれの事故発生確率、急ブレーキ発生確率を算出した。

事故発生確率
＝事故件数÷道路交通ｾﾝｻｽ日交通量÷DRMﾘﾝｸ長
急ブレーキ発生確率
＝急ﾌﾞﾚｰｷ件数÷プローブ走行台数÷DRMﾘﾝｸ長
以下に沖縄県内の集計結果を図化したものを示す。

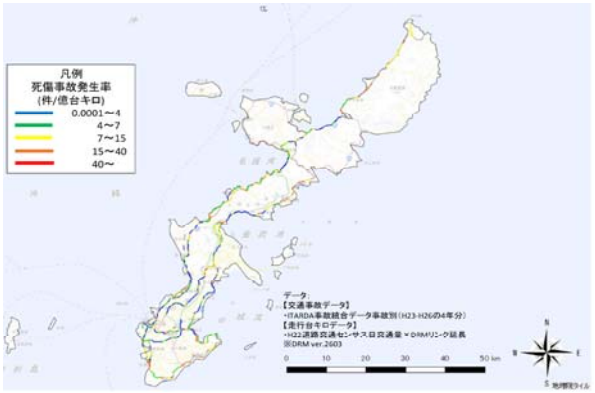


図-4　事故発生確率反映図

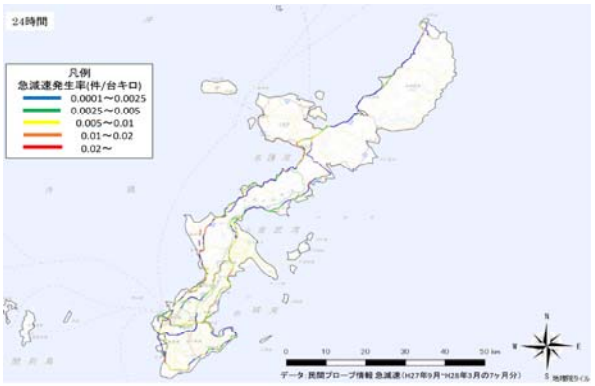


図-5　急ブレーキ発生確率反映図

(4) 潜在的危険個所の抽出

DRM区間別の事故発生確率と急ブレーキ発生確率を整理し、下記基準のもと潜在的危険個所の抽出を行った。

潜在的危険箇所抽出の閾値

事故発生確率：100[件/億台キロ]以下（全国平均相当） かつ、急ブレーキ発生確率上位10位程度



図-6　DRM区間別死傷事故率曲線図、危険個所抽出

抽出の結果選定された上位11か所のうち、すでに対策検討が予定されている箇所（事故ゼロプラン選定箇所等）を除いた４箇所について、詳細な分析、現地確認、対策立案を実施した。

表-2　抽出結果及び検討個所選定結果表

No	交差点名	死傷事故率（件/億台キロ）	0.3G以上急減速発生割合（件/千台キロ）	事故ゼロプランでの選定箇所との重複対策状況
①	伊良皆(北)	85.5	56.0	
②	比屋根	76.9	129.9	重複
③	嘉手納町ﾛｰﾀﾘｰﾌﾟﾗｻﾞ前	56.6	84.1	要望有、対策実施
④	城一丁目	33.3	77.7	
⑤	国体道路入口	24.6	49.9	
⑥	太平	24.5	53.8	重複
⑦	浦添バイパス西原IC前	23.1	47.6	重複
⑧	浦添バイパス西原IC前	19.0	64.2	重複
⑨	牧港	15.5	50.4	重複
⑩	太平	6.9	64.9	重複
⑪	名嘉地	5.8	52.6	

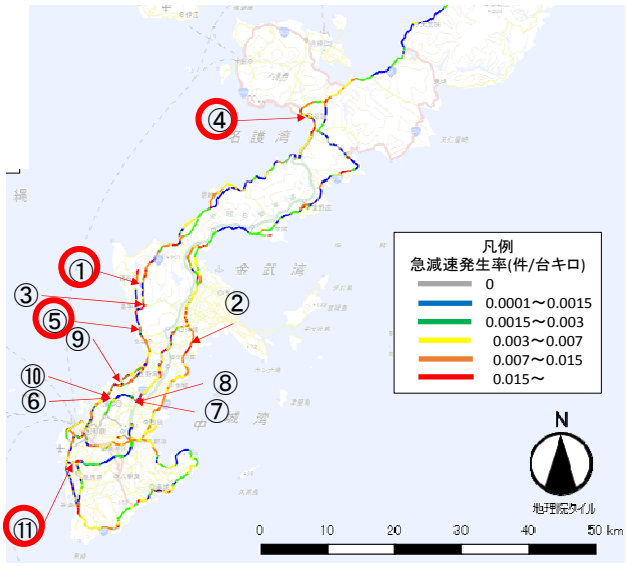


図-7　潜在的危険個所の抽出箇所位置図

本論文では、そのうち『名嘉地地区』について記載する。

3. 潜在的危険個所の詳細分析

民間プローブデータを用いて、潜在的危険個所の詳細分析を行った。分析項目としては、急ブレーキ発生位置分析（10mピッチでの集計分析）、発生時間帯分析（ピーク時、昼夜の割合分析）を行っている。

(1) 急ブレーキ発生位置分析

箇所抽出の際に、分析を行ったDRM区間毎の急ブレーキ発生割合、事故発生割合は図-8のようになっており、区間全体としての傾向を把握することは可能であるが、対策を実施すべき箇所の特定を行うためにはより詳細な位置の把握が求められる。

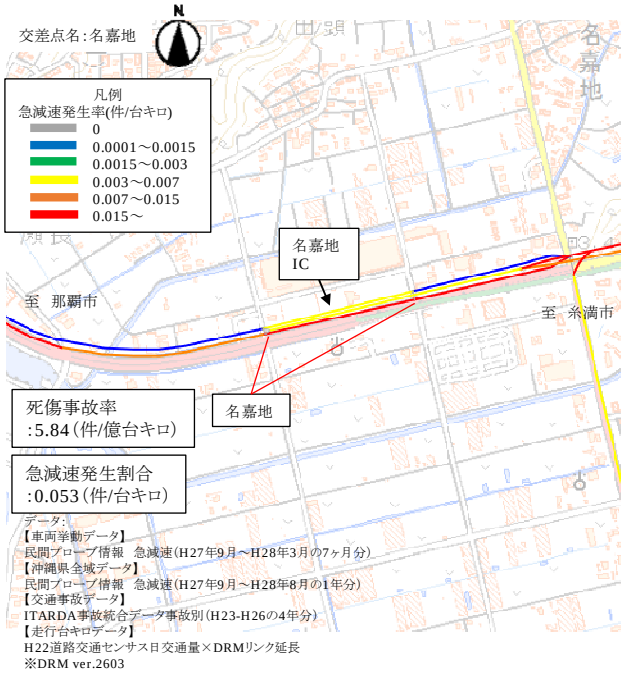


図-8　DRM区間別の分析結果

本検討では、道路延長線上で10m毎に区間を分割し、急ブレーキの数を集計することで、急ブレーキが集中している箇所の特定を行うこととした。分析結果を図-9に示す。

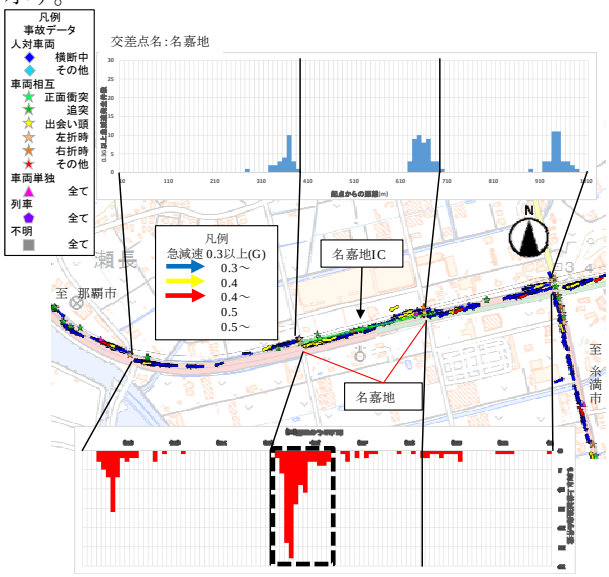


図-9　10mピッチでの分析結果

名嘉地地区では、名嘉地IC合流部付近から交差点までの区間に急ブレーキが集中している状態であることが確認できた。

(2) 発生時間帯分析

急ブレーキが集中している時間帯等、時間軸での特徴を把握するために、発生時間帯毎の割合を算出し、沖縄県全域平均値と比較を行った。

分析対象時間としては、ピーク時分析（朝、夕、OFF）、昼夜分析を行っている。詳細な時間帯については下記に示す。

【ピーク時分析】
朝ピーク時：7～9時
夕ピーク時：17～19時
OFFピーク時：0時～7時、9時～17時、19時～24時
【昼夜分析】
昼：7～19時
夜：0～7時、19時～24時

分析結果を図-10、図-11に示す。

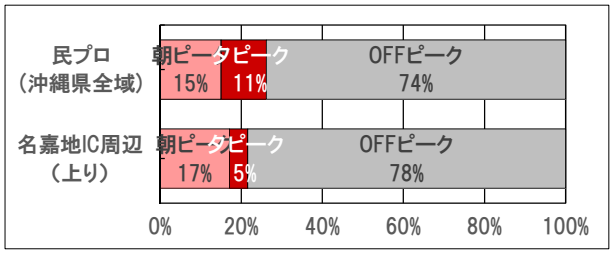


図-10　ピーク時分析結果

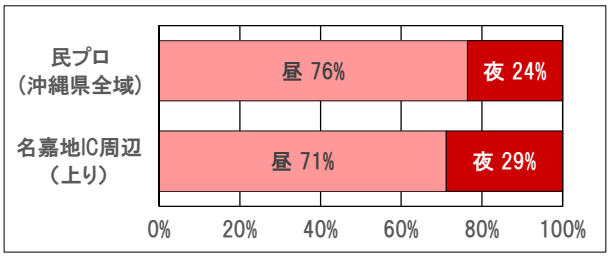


図-11　昼夜分析結果

名嘉地地区では、朝ピーク時に全体の17%が集中していることが分かった。また、昼夜では県内平均と比較し、夜に多い傾向にあることが分かった。

4. 現地確認による原因分析

詳細分析の結果を踏まえ、IC合流部付近から交差点までの区間に着目し、朝ピーク時に現地確認を実施した。

現地確認の結果、交差点滞留時の強引な合流（図-12）や、名嘉地ICからの2車線に跨る合流（図-13）が見られた。



図-12　強引な合流写真



図-13　名嘉地ICからの2車線に跨る合流写真

現地確認の結果を踏まえ、急ブレーキが多い原因としては、『IC合流車線から早期かつ強引な合流』及び『IC合流時の2車線に跨る合流』が原因であると考えられる。

5. 対策立案

現地踏査にて把握した原因を解消する対策について、検討を実施した。

『IC合流車線から早期かつ強引な合流』に対しては、『カラー舗装による誘導対策』を立案した。カラー舗装を目標に滑らかな合流を促すことを狙いとしている。

『IC合流時の2車線に跨る合流』に対しては、『ポストコーン設置による車線変更の抑止対策』を立案した。物理的デバイスにて、車線変更自体を規制することを狙いとしている。

対策図について図-14に示す。

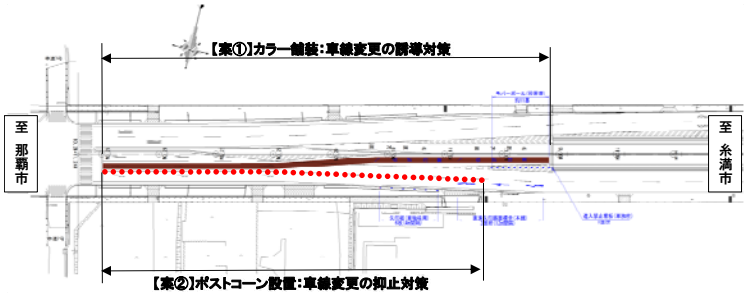


図-14　名嘉地地区の対策図

6.整備効果

対策実施箇所における整備効果を、対策前後の急減速の変化により把握した。

『⑪名嘉地地区』 に加え、対策後の効果が顕著であった『④城一丁目地区』について本論文にて記載する。

(1)名嘉地地区

整備備考効果の把握については、急ブレーキの発生回数では、サンプル数の差が影響し、比較が困難であることから、発生確率（急ブレーキ発生回数÷サンプル数）にて評価を行った。また、時間別の評価をおこなうため、ピーク時の分割、昼夜の分割を行い、対策前後の比較を行った。

整備前後の比較の結果、対策後急ブレーキ発生確率が減少し、朝ピーク時、昼間の急ブレーキ割合も減少した。

対策内容がカラー舗装であり、昼間の視認性が向上し、昼間の効果がより発揮されたと考えられる。

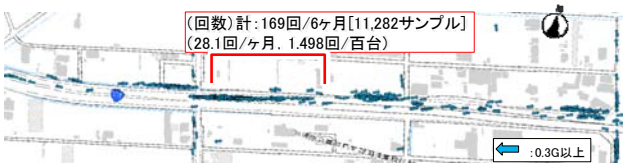


図-15　対策前急ブレーキ発生位置図
（2017年7月～2017年12月 （6ヶ月））

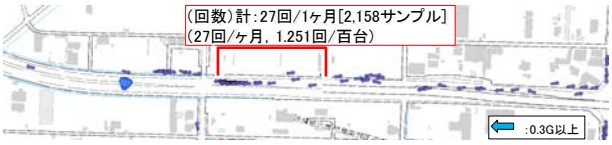


図-16　対策後急ブレーキ発生位置図
（2018年3月 （1ヶ月））

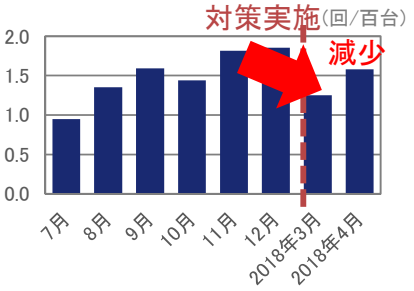


図-17　対策前後の急減速発生回数（月別）

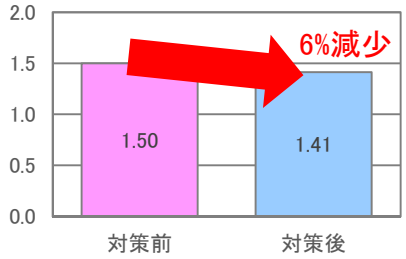


図-18　対策前後の急減速発生回数

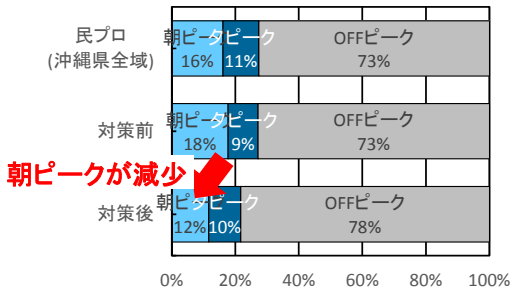


図-19　各ピークごとの発生割合

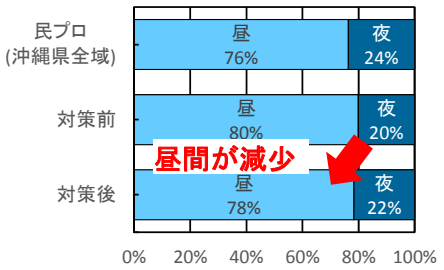


図-20　昼夜の発生割合



図-21　事前事後の現地写真

(2)城1丁目地区（①整備前の状況）

城１丁目地区については、名嘉地地区同様に整備前の状況、原因分析及び対策立案、そして整備効果について記載する。

a) 整備前の状況

整備前の急ブレーキ発生状況について詳細分析を行った。時間別では『朝ピーク時』に急ブレーキが多発しており、箇所としては、『交差点直近の区間』に急ブレーキが集中していた。

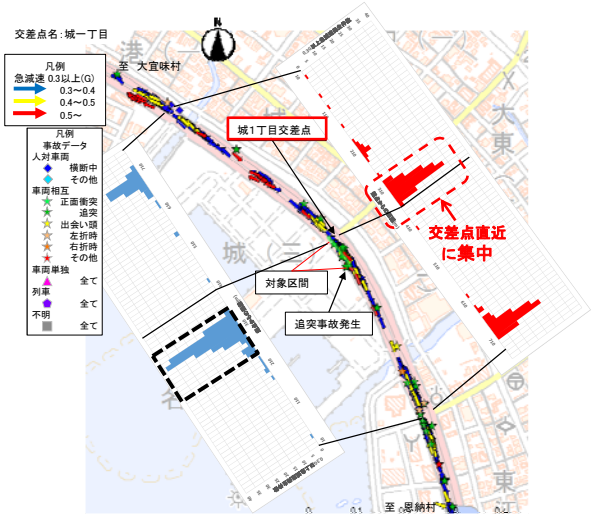


図-22　10mピッチでの急ブレーキ発生箇所分析

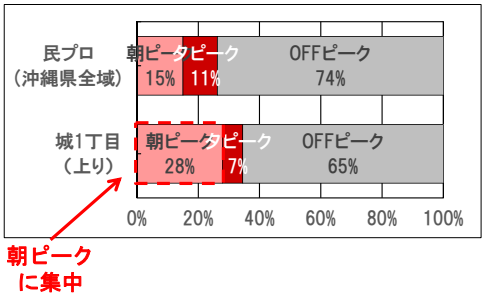


図-23　ピーク時間毎の急ブレーキ発生割合分析

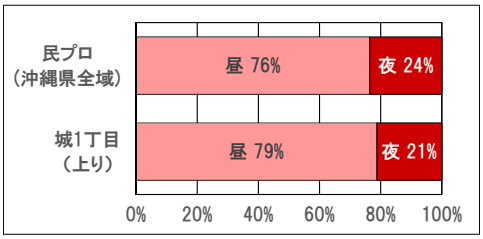


図-24　昼夜別の急ブレーキ発生割合分析

b) 原因分析

詳細分析の結果を踏まえ、交差点直近に着目し、朝ピーク時に現地確認を実施した。

現地確認の結果、対向車線側に設置された補助信号の見落とし（図-25）や、植栽による信号交差点の視認性低下（図-26）が原因であると考えられる。



図-25　補助信号の設置位置



図-26　植栽帯の視認阻害

c) 対策立案

現地踏査にて把握した原因を解消する対策について、検討を実施した。

『対向車線側に設置された補助信号の見落とし』に対しては、『走行車線の上部への補助信号の移設』を立案した。走行車線上に信号を移設することで視認性が向上することを狙いとしている。

『植栽による信号交差点の視認性低下』に対しては、『植栽の撤去』を立案した。植栽を撤去することで交差点自体の視認性を向上し、より早期にブレーキ行動に移れる状況を作ることを狙いとしている。



図-27　信号移設対策のイメージ



図-28　植栽撤去のイメージ

c) 整備効果

名嘉地地区と同様に急ブレーキ発生確率、時間帯別分析を行い、比較することで整備効果分析を行った

整備前後の比較の結果、対策後急ブレーキ発生確率が減少傾向となり、発生確率は約20%減少した。

ピーク割合や昼夜率等には大きな変化は見られないことから、視認性向上により全時間帯に効果が見られたと考えられる。

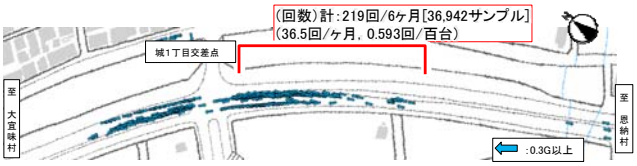


図-29　対策前急ブレーキ発生位置図
（2017年7月～2017年12月　（6ヶ月））

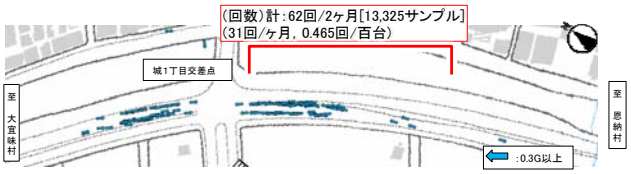


図-30　対策後急ブレーキ発生位置図
（2018年3月～4月　（2ヶ月））

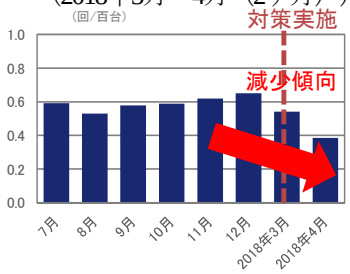


図-31　対策前後の急減速発生回数（月別）

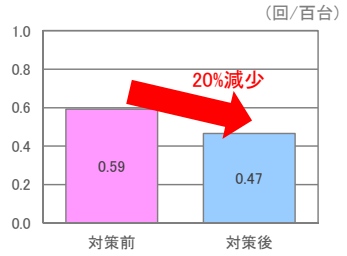


図-32　対策前後の急減速発生回数

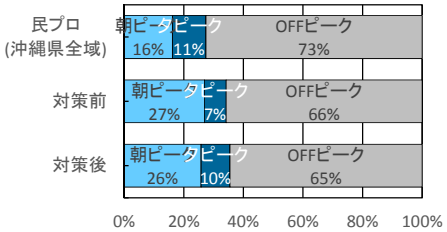


図-33　各ピークごとの発生割合

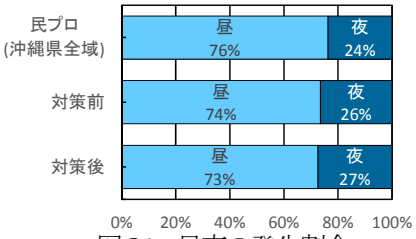


図-34　昼夜の発生割合

7. 終わりに

(1)　プローブデータを用いた潜在的危険個所の抽出の可能性

今回、プローブデータを用いた潜在的危険個所の抽出を実施し、地元要望がすでに上がっている箇所や、現地確認の結果危険性の高い箇所が抽出されており、抽出の妥当性の高さが確認できた。

今までの交通事故対策は、事故データに依存していたため、事故が発生してからの対策しか行えず、どうしても後手に回っていたが、新たにプローブデータの活用の可能性が見えてきた。

今後の交通事故削減に向けた取り組みとして、事故が発生する前に先行して対策を実施する予防保全対策を推進することで、発生する事故を未然に防ぎ、事故件数の削減を図ることが期待できる。

(2)　対策実施個所の整備効果把握

プローブデータの強みの一つとして、データ取得の迅速さがあげられ、早期に整備効果の把握が可能である。

H29.2に対策実施を行ったことから、今後定量的なデータ取得を行い、急ブレーキの発生件数の減少などから、整備効果把握を実施する必要がある。

なお、先行して、周辺商業施設へヒアリングを実施し、以下のような回答を得ている。

・安全になったと感じている
・カラー舗装により走りやすくなった。
・色の通りに走るので、安全性が増した。

別紙２（論文）

一人ひとりの少しの工夫で渋滞をなくそう「わった～バス大実験」

大城　照彦[1]・當山　和季[2]

[1]沖縄総合事務局　開発建設部　道路建設課　（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2丁目1番1号）

[2]沖縄総合事務局　開発建設部　道路建設課　（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2丁目1番1号）

全国ワーストともいえる那覇市を中心とした沖縄中南部都市圏における渋滞。
その渋滞問題を改善するため「沖縄の新たな交通環境創造会議」を開催し、新たな交通環境を創造するためのテーマやプロジェクト、早期に実現すべきである課題を整理し、位置づけた。
「わった～バス大実験」は、早期に実現すべき課題の一つである「県民意識への効果的な働きかけ」の一環としてノーマイカー通勤や時差出勤に取組んだものである。
その結果、主要幹線道路で交通量が１～２割減少し、渋滞長も１～４割削減という効果を得ることができ、さらには実験参加者が通勤時の交通手段について振り返る機会となった。

キーワード　渋滞緩和，モビリティマネジメント，TDM

１.はじめに

那覇市を中心とする沖縄県中南部（沖縄中南部都市圏）は、三大都市圏の大都市に匹敵する激しい渋滞が生じる地域であり、那覇市のピーク時の平均旅行速度は全国ワーストとも言われている（図-1）。

島嶼県である沖縄県は、その地理的制約から中心都市である那覇市の人口密度は約8,000人/ｋ㎡と地方都市としては比類ない水準（横浜市と同程度）にある一方で、低密度な交通手段である自動車の分担率も全国的にみて高い水準にある。

この人口密度と交通手段のミスマッチが沖縄中南部都市圏の渋滞の根本的な要因と考えられることから、一般的な地方都市以上に公共交通を有効に活用した「賢い道路の使い方」が求められる地域であるといえる。

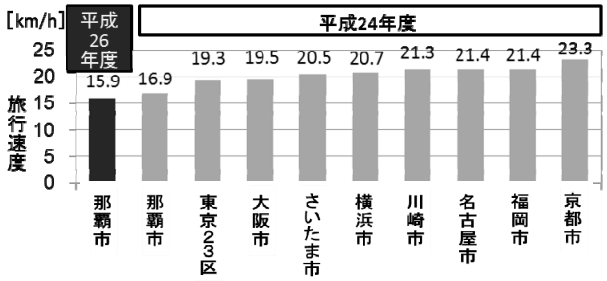


図-1　主要都市のピーク時旅行速度

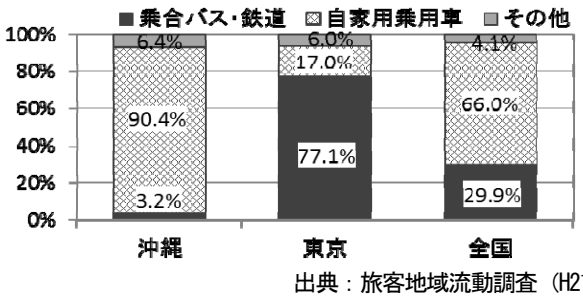
内閣府沖縄総合事務局では、これらの実態を踏まえ、「沖縄の新たな交通環境創造会議」を開催し、沖縄における新たな交通環境を創造するための18テーマ33主要プロジェクトを選定した。また、このうち6テーマを早期に実現すべき課題として位置づけ、その1つに「県民意識への効果的な働きかけ」を挙げた。

２.わった～バス大実験の概要

（１）沖縄中南部都市圏の道路交通の実態

沖縄県は、旅客輸送の約90%を自動車が占めており、これは全国平均66%に比べ高い水準にある（図-2）。

一方で、乗合バス等の公共交通の分担率は極めて低く、全国平均の約30%に比べ、25ポイント以上少ないことから、沖縄県は全国的にみても自動車利用に偏った交通体系であるといえる。



出典：旅客地域流動調査（H21）

図-2　沖縄県の交通手段分担率

那覇市を中心に朝夕のピーク時間帯には激しい渋滞が生じており、都心部に向かう幹線道路では、通常時に比べ3倍以上の所要時間を要する区間も存在する。

一方で、通勤時間帯のピークは非常に短く、ピーク時間帯から30分程度ずれると交通状況は大幅に改善される（図-3）。

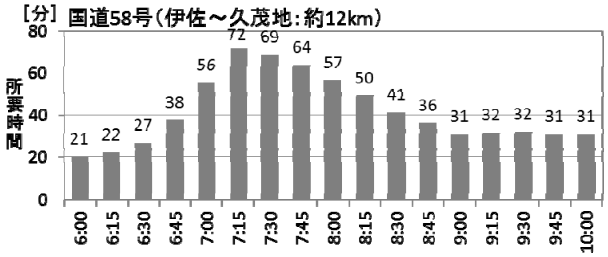


図-3　主要路線の代表区間の所要時間

主要な幹線道路の平日朝のピークは、6～7時台であり（国道58号牧港トラカンの場合）、8時台にはピークを過ぎ安定した交通量となる。ピークとオフピークの交通量の差は約1割である（図-4）。

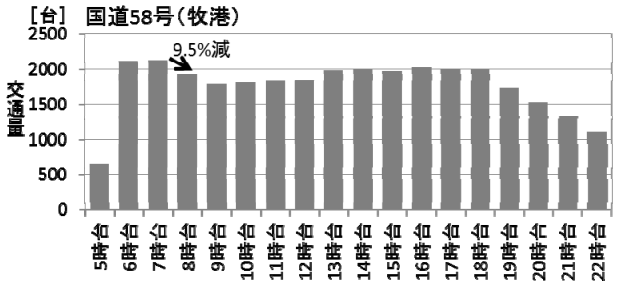


図-4　主要路線の交通量（国道58号　牧港）

（2）沖縄県におけるバス利用の実態

先に示した（図-2）通り、沖縄県の公共交通分担率は全国的にみても非常に低く、県民に対して実施したバス利用に関するweb調査では、県民の約3分の2は、路線バスをほとんど利用したことがないことが明らかとなった（図-5）。

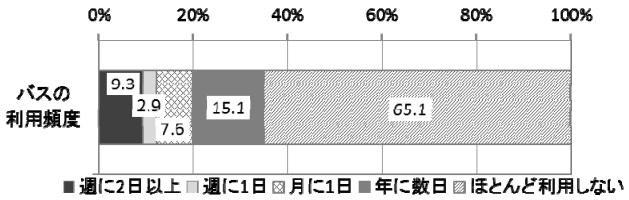


図-5　沖縄県民のバスの利用頻度の割合

また、バスの利用頻度別に、自宅付近の路線バスの「バス停の認知度」、「行き先の認知度」、「時刻表の認知度」を聞いたところ、バスをほとんど利用しない人は、バスを利用する機会のある人に比べ、路線バスに関する知識が乏しいことが確認された。

沖縄県のバス輸送人員は、近年は横ばいで推移しているものの、昭和60年以降の30年間でみると約3分の1にまで減少している（**図-6**）。

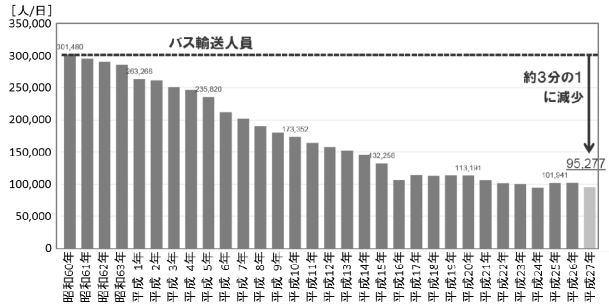


図-6　沖縄県のバス輸送人員の推移

沖縄県も全国の例に漏れず、利用者のバス離れによる輸送人員の低下がバスのサービスレベル低下に繋がり、それがさらなるバス離れの原因になるという負のスパイラルに陥っている。

「賢い道路の使い方」が求められる沖縄県においては、効率的な輸送機関である公共交通の有効利用が課題であり、バスのことを良く知らない人にバスを利用してもらう機会を創出し、負のスパイラルから脱却することが重要であるといえる。

（3）わった～バス大実験の概要

「わった～バス大実験」は、2017年9月16日～9月22日の1週間を対象に、路線バスや自転車、徒歩等によるノーマイカー通勤や時差出勤を試行する実験的な取組みであり、その目的は、ピーク時の自動車交通量減少による道路渋滞の緩和を実証し、「自分達の行動で渋滞は改善できる」ことを県民意識に働きかけるものである。

本実験では、主要幹線道路の交通量データ（図-4）を基に「朝ピーク時の交通量を1割程度削減する」ことを目標に掲げ、「1割の協力（例えば、10人に1人、10日に1日）で渋滞が緩和するはず」を合い言葉に取組みを行った。具体的には、経営者協会や各種業界団体を通じて本実験の意図を説明し、賛同頂けた企業に対して実験期間中のオフピーク通勤・時差出勤を依頼した。（図-7）。

実験には多くの企業が参加し、延べ160社、1,917人が自身の都合に合わせて、ノーマイカー通勤や時差出勤等の取組みを実施した（図-8）



図-7　わった～バス大実験の参加者募集チラシ

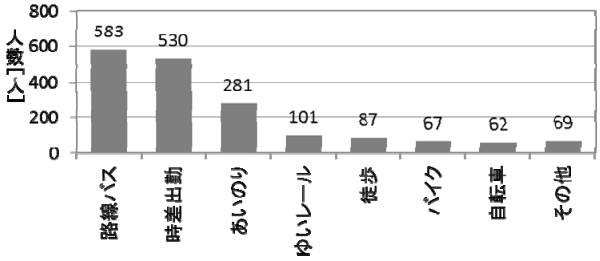


図-8　実験参加者の手段別取組人数

3.わった～バス大実験の取組の効果

(1)ビッグデータを用いた効果分析

わった～バス大実験による渋滞緩和の効果を把握するため、ビッグデータを用いて実験前と実験中の交通状況を比較した（図-9・表-1）。

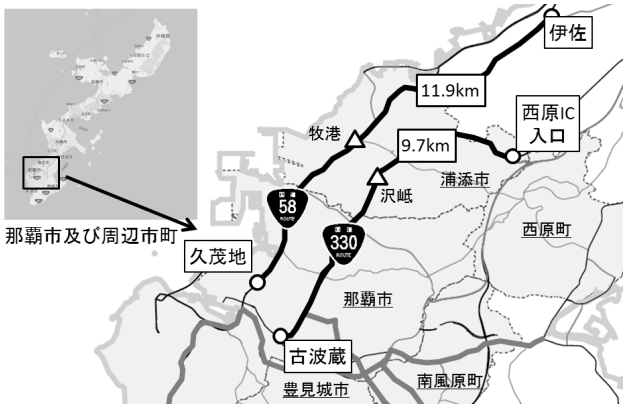


図-9　分析対象範囲

表-1　ビッグデータを用いた効果分析の概要

使用データ	自動車のカーナビデータ
対象期間	実験前：H29.9.7～9.15の平日 実験中：H29.9.16～9.26の平日
対象範囲	①主要幹線道路の代表区間 国道58号（伊佐～久茂地：約12km） 国道330号 （西原IC入口～古波蔵：約10km） ②那覇市及び周辺市町 ・那覇市、浦添市、豊見城市、南風原町、西原町
分析項目	①渋滞長（10km/h未満の道路延長） ②平均旅行速度

多くの参加者のノーマイカー通勤・時差出勤の実施により、主要な幹線道路（国道58号、国道330号）では、1～2割の交通量が削減し、それに伴い、ピーク時間帯（7時台）の渋滞長も1～4割程度減少していることが明らかとなった（図-10）。

さらに、那覇市及び周辺市町の面的な渋滞長や平均旅行速度も改善傾向にあり、わった～バス大実験を実施した期間は、実験前に比べて渋滞が緩和していることも確認された（図-11）。

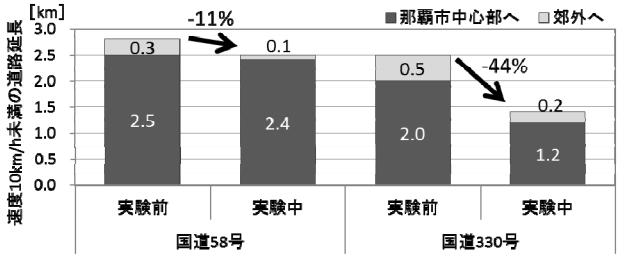


図-10　主要幹線道路の代表区間の渋滞長

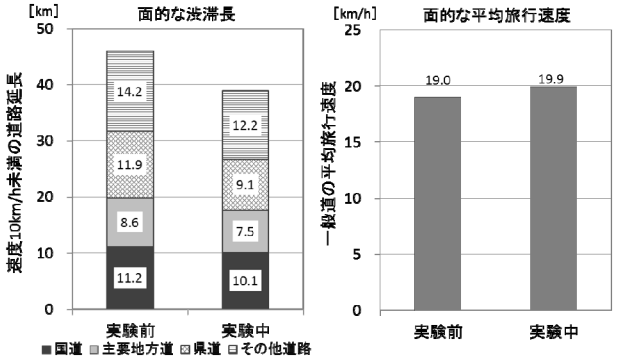


図-11　面的な道路交通状況の変化

(2)実験参加者へのアンケート調査

わった～バス大実験の参加者へのアンケート調査で実施した取組みの継続意向を確認したところ、約3割の参加者が継続を希望し、「検討したい」を含めると約6割の参加者が継続に前向きな意向を持っていることが確認

できた（図-12）。

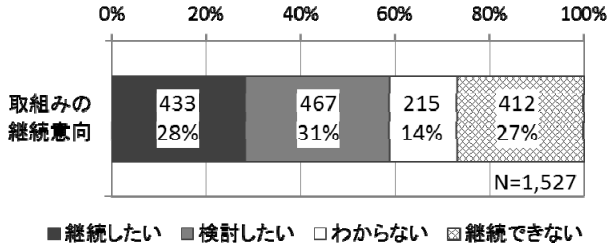


図-12 実験参加者の継続希望

また、取組み手段別の所要時間変化を聞いたところ、公共交通への転換者は通常の自動車での通勤に比べ所要時間が長くなる割合が高いのに対し、時差出勤に取組んだ場合、約7割の人の所要時間が短縮したことが確認できた（図-13）。

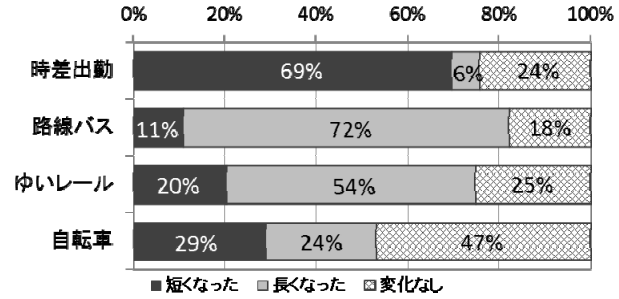


図-13 実験中の取組み手段別所要時間変化の割合

公共交通への転換は、自動車利用に比べ所要時間の増加に繋がる可能性もあるが、「アフター5にお酒が飲める」、「健康に良い」、「駐車場の心配がない」等のメリットを感じた参加者は、所要時間が増加していても公共交通利用を継続する意向を持つ傾向にあるようである。

加えて、路線バスへの転換者に対してヒアリングを実施したところ、「今回の実験が路線バスを利用するきっかけとなった」との意見も聞かれ、路線バスを利用したことがない人が大半を占める沖縄県において、今後、路線バス利用を促進するための、きっかけづくりとしても貢献していたことが確認できた。

4. おわりに

沖縄県のバス利用促進の応援団として活動する「わった～バス党」から、今回の実験に積極的に取組んだ企業に対して「ThanksAward2017」の表彰が贈られた。受賞した企業からは、ノーマイカー通勤・時差出勤の継続的な実施への前向きな声が聞かれている。

今回の実験では、通常ある程度の期間が必要な効果分析を、ビッグデータを活用することで短期間（実験終了後1ヶ月後）で効果を発表することが可能となり、速やかなフィードバックと効果的な啓蒙ができたとともに、次回に向けた対応案を検討することができた。過半数の参加者が今回の取組みを「継続したい」、「検討したい」という前向きな意向を持っており、企業や住民への働きかけを強化しながら、取組みの輪を広げていきたい。

沖縄におけるクルーズ振興について

髙島　稔・與儀　成也[1]

[1]沖縄総合事務局　開発建設部　港湾計画課　（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）

近年、沖縄圏域における観光需要の伸びは顕著であり、特にクルーズ船については寄港数及び旅客数ともに急増し、昨年は過去最高の515回、約95万人がクルーズ船で沖縄に訪れた．アジアにおけるクルーズ需要、特に中国や台湾については今後も高い成長率で推移していくことが予測されており、そういった需要を確実に取り込むことが求められている．一方、現状の沖縄においては、ハード・ソフト両面において十分な受入環境が整っておらず課題が山積している．沖縄総合事務局としてのこれら課題への対応及び関係機関との連携等、今後の取組について報告をする．

キーワード　クルーズ

1. クルーズ船の寄港動向

(1) 日本における訪日外国人の動向

近年の日本への訪日外国人の伸びは顕著である．ビジットジャパン事業が開始して以降、600～800万人前後で推移していたものが、2016年には2000万人を突破．2017年は3000万人に迫る2869万人を記録し、今年も昨年を上回るペースで増加している（図-1）[1)]．

この3000万人弱の訪日外国人のうち約250万人は港から、クルーズ船での入国である．クルーズ船での訪日外国人数については、2013年と比較すると2017年は約15倍となっており[2)]、今後も更なる増加が見込まれている．明日の日本を支える観光ビジョンにおいて掲げている2020年の訪日クルーズ旅客500万人という政府目標に向けて、受入体制整備のため全国を上げて取り組んでいるところである．

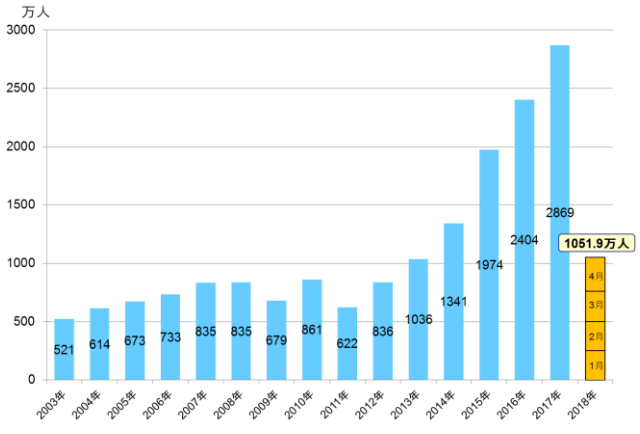


図-1　訪日外国人旅行者数の推移

(2) 沖縄におけるクルーズ船の寄港動向

沖縄における観光需要は、社会情勢等による一時的な落ち込みはあるものの、直近では右肩上がりで伸びており、特に外国人旅客については増加の一途を辿っている．昨年の観光客数は939万6200人となり（図-2）、これまで目標としてきたハワイの年間観光客数（938万2986人）を初めて上回った[3)]．

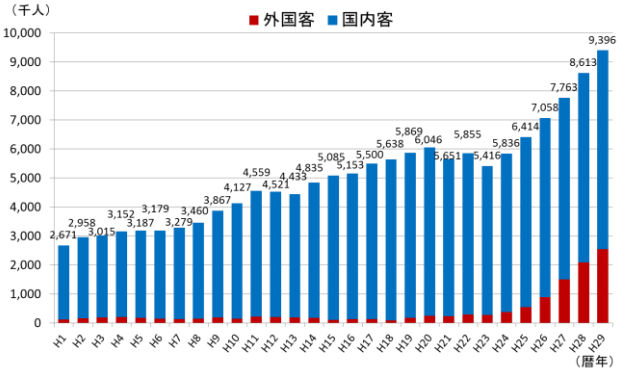


図-2　入域観光客数の推移

外国人旅客の内訳として、全国同様クルーズによる入域も増加しており、2017年は515隻が寄港、約95万人がクルーズ船で沖縄県に訪れた（図-3）．港別でみると那覇港224回、石垣港132回、平良港130回、その他29回となっているが、都道府県別でみると沖縄県への寄港回数は全国1位となっている（図-4）．背景としてはアジアに近いという地理的な優位性があり、上海以南の港（深圳、厦門、台湾等）を発着するクルーズ船は半日～1日程度で沖縄へ来ることが可能であるため、3泊4日を軸としたクルーズ商品（ツアー）を組みやすいことが一因と

なっている．クルーズ船の出発港を見てみても、中国・台湾・香港の港で9割を占めている．

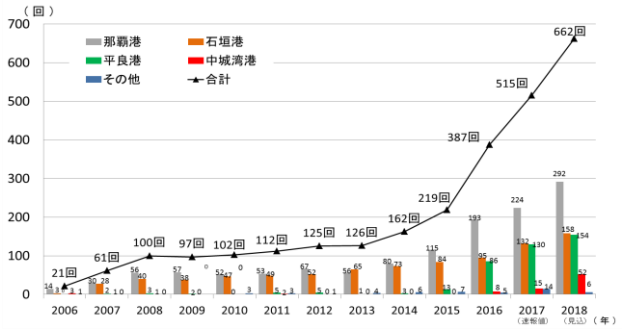


図-3　沖縄県内港湾のクルーズ船寄港回数の推移

順位	港湾名	寄港回数
1	博多	326
2	長崎	267
3	那覇	224
4	横浜	178
5	石垣	132
6	平良	130
7	神戸	116
8	鹿児島	108
9	佐世保	84
10	八代	66

図-4　2017年港湾別のクルーズ船の寄港回数

(3) クルーズ船寄港による経済効果

クルーズ船は一度に数千人規模の旅客を運んでおり、寄港地での旅客の消費による経済効果は非常に大きなものになる．県の調査によると、2017年7月に平良港に寄港したゲンティン・ドリーム号（図-5）は一人当たり約3.8万円を消費し[4]、乗客全員に換算すると約1.3億円の経済効果があったと推計される．また地元の大型スーパー等ではクルーズ船寄港時は売上が大きく伸びるという報告もある．こうした消費は乗客だけでなく、大型船では1000人以上になる乗員に因るものも大きい．乗客等の直接消費だけでなく、クルーズ旅客による消費を見込んで店舗へ食材を卸す量を増やすなど、間接的な経済効果も全国では確認されており、如何に寄港需要を取り逃がさないかが地域振興において重要となっている．



図-5　平良港に沖泊寄港するゲンティン・ドリーム号
総トン数：150,695万トン　客室数：1674室
全長：335m　乗客定員数：3352人

2.　沖縄におけるクルーズ船受入の課題

前述の通り沖縄県内港湾において2017年には515回のクルーズ船寄港があり、2018年は更に上回る662回の寄港が見込まれている．このように県内各港湾で右肩上がりで寄港回数が伸びていく中、クルーズ船受入に当たって様々な課題が顕在化してきている．

そもそも現在の沖縄県内において、クルーズ船専用の岸壁は那覇港の泊ふ頭8号岸壁と石垣港の新港地区クルーズ岸壁のみであり、大型船舶の寄港時や複数隻が同時に寄港する際には、やむを得ずRORO船やコンテナ船等が使用する貨物岸壁に接岸し旅客の乗降を行っている．沖縄県内では、那覇港の新港ふ頭地区9・10号岸壁、中城湾港新港地区西ふ頭、平良港下崎地区、石垣港浜崎町地区F岸壁等を利用している．那覇港ではドルフィンやケーソンを設けて大型貨物船との同時接岸ができるよう整備をしており、中城湾港では岸壁本体の改良や航行安全検討を行い入港できる船舶を大型化するなど、各港で既存の岸壁を活用して対応を行っている．しかし、その際以下のような課題が発生している．

a)旅客ターミナルがないため、入国する際に必要なCIQ手続きを船内でやらざるを得ない．また下船後に旅客が雨風や炎天下に晒されるため、悪天候時や夏季の昼間は旅客に負担を強いている．

b)船内のCIQ手続きはスペースの関係上十分な検査を行うことができないため、近年クルーズ旅客による金塊や麻薬の密輸が多発していることもあり全国的な課題となっている．沖縄においても台湾人や中国人による摘発事例が多い．

c)通常は貨物船用として使用している岸壁のため、コンテナ等の移動動線が旅客動線と輻輳しており、安全性に問題がある（図-6）．またスクラップ置場が近い箇所もあり、クルーズ船の寄港地としての見栄えが悪い．



図-6　貨物と旅客が輻輳する様子（石垣港）

d)外貿貨物を扱う岸壁はSOLAS区域となっているため、タクシー等の入構が容易でない．また那覇港や平良港の場合、貨物岸壁が市街地から離れている．そのためオプショナルツアーを購入していない個人客は、シャトルバス等で岸壁から移動する必要がある．

e)貨物岸壁に貨物船が係留している場合、あるいは岸壁

のスペック以上の大型クルーズ船が寄港する場合、検疫錨地で沖泊をして陸地までテンダーボートで旅客の輸送を行っている（図-7）．CIQが狭い船内での検査となることもあり、旅客が降船するのに非常に時間を要してしまう（3000人の旅客で2～3時間程度）．クルーズ船の寄港時間は通常10時間程度であるため、寄港地での旅客の滞在時間の一部が制限されてしまう．



図-7　テンダーボートで上陸する様子（平良港）

3.　沖縄におけるクルーズ船受入体制の強化

このような状況を踏まえ、沖縄県内の主要港湾では以下の通りクルーズ船受入環境改善・強化に取り組んでいる．

(1) クルーズバースの新規整備

a)那覇港

近年のクルーズ需要増に対応するため、2016年に港湾管理者（那覇港管理組合）により、港湾計画において新港地区の12～14号岸壁に第2クルーズバースの位置づけを行ったところ．今後の早急な整備が求められている．

b) 石垣港

新港地区にクルーズ船専用岸壁の整備を進めており、2018年4月の暫定供用で7万トン級の船舶までが接岸可能となった．今後更に岸壁を延長し、2021年春には20万トン級まで受入可能になるとともに、将来的にはクルーズ船2隻が同時接岸できるよう港湾計画に位置づけられている．

c) 平良港

官民連携による国際クルーズ拠点を形成する港湾（後述）として指定されており、漲水地区北防波堤上に連携船社が優先的に利用できる400m（-10m）の岸壁を整備し、2020年までに14万トン級までのクルーズ船が接岸可能となる（図-8）．また漲水地区では複合一貫輸送ターミナルの整備も行っており、2017年12月の暫定供用で5万トン級までのクルーズ船が受入可能となった．今後の本格供用によって11万トン級まで受入可能となる．



図-8　平良港漲水地区北防波堤岸壁完成予想図

(2) ソフト施策

二次交通対策については、自治体や交通事業者などの関係者からなる協議会や港湾管理者が主体となって、シャトルバス等の待機場の確保や、案内板や警備員を配置し、クルーズ旅客の円滑かつ安全な誘導に努めている．那覇港においては今年4月よりタクシーを一時的にSOLAS区域内に入構できるようにし、構外へ旅客がスムーズに移動できるよう運用しているところである（図-9）．CIQ手続きについては、前述の密輸入対策や旅客の快適な移動の実現のため、2019年度中に全てのファーストポートで船外でのCIQ手続きを可能とする施設を整備するよう求められている．沖縄県においても、岸壁上に仮設テント等を設置しCIQ手続きが行えるよう、補助金等も活用し対応を行っていく予定である．



図-9　SOLAS区域内で客待ちをするタクシー（那覇港）

(3) 官民連携による国際クルーズ拠点の形成

近年の全国的なクルーズ需要の高まりへの対応や、観光ビジョンにおける2020年の訪日クルーズ旅客500万人という目標に向けた施策の一環として、国土交通省は2016年に港湾法を改正し、国際旅客船拠点形成港湾として国が指定した港湾において民間による受入施設整備を

促す協定制度を創設した.

本制度では、港湾管理者とクルーズ船社が一体として応募し、岸壁の整備状況、クルーズ船社との連携度合い、クルーズ旅客の見込み数等を勘案し、受入拠点の形成を図る港湾を国が指定する. 当該港湾において、港湾管理者とクルーズ船社との間で以下の内容の協定を締結することができる.

・港湾管理者はクルーズ船社に岸壁の優先的な使用を認める.
・船社は旅客施設などの受入促進施設を整備し、他船社の使用も認める.

本制度により、港湾管理者にとっては、クルーズ船社による効率的・効果的な投資により国際クルーズ拠点に必要な施設の整備を短期間で行うことができる. またクルーズ船社にとっては、長期間にわたり安定的な岸壁利用が確保されるとともに、自らの寄港により投資の回収が容易となる.

現在全国で7港がクルーズ拠点として選定されている（図-10）. 沖縄県内では本部港と平良港の2箇所が選定されており、今後予定されている第3次応募において県内3港目となる那覇港の選定に向けて、管理者である那覇港管理組合にて選定委員会を開催したところである.

港湾名（港湾管理者） / 船社名	第1次募集分 横浜港（横浜市）	清水港（静岡県）	佐世保港（佐世保市）	八代港（熊本県）	本部港（沖縄県）	平良港（宮古島市）	第2次募集分 鹿児島港（鹿児島県）
カーニバル・コーポレーション&plc	○		○			○	
ロイヤル・カリビアン・クルーズ				○			○
ゲンティン香港		○			○		
郵船クルーズ	○						



図-10　官民連携による国際クルーズ拠点を形成する港湾

県内2港の計画概要は以下の通りである.

a)平良港

応　　募　　者：宮古島市・Carnival Corporation & plc Asia Pte. Ltd.
拠点形成の目標：運用開始年には東アジアの主要な寄港地を目標とし、運用開始後10年以内にフライ＆クルーズの拠点港を目標とする.
寄港回数の目標：運用開始年（2020年）250回
　　目標年（2026年）310 回
岸　壁　諸　元：水深10m、延長370m（対象船舶：マジェスティック・プリンセス（14万トン級））
岸壁利用の考え方：連携船社は他社に先立ち、年間300日まで岸壁を優先的に予約することができ、優先的な利用の存続期間は最大20年間.

b)本部港

応　　募　　者：沖縄県・Genting Hong Kong Limited
拠点形成の目標：魅力的な観光施設や豊かな自然が立地している沖縄県北部地域の振興を図り、観光拠点としての確立を目指す.
寄港回数の目標：運用開始年（2020年）88回
　　目標年（2030年）104回
岸　壁　諸　元：水深10.5m、延長420m（対象船舶：ゲンティングローバル（20万トン級））
岸壁利用の考え方：連携船社は他社に先立ち、年間150日まで岸壁を優先的に予約することができ、優先的な利用の存続期間は最大15年間.

現在、平良港・本部港の両港において、2020年4月の供用開始を目指し国土交通省とも連携しながら鋭意協議を進めているところである.

4.　今後の取組

沖縄は世界的にも著名なリゾート地であり、クルーズ船の寄港地やツアーの拠点として非常に高いポテンシャルを持っている. 沖縄県の「東洋のカリブ構想」にもあるように、東アジアのクルーズ拠点という将来ビジョンに向けて、港湾管理者や地元事業者等と協力しクルーズ振興及び受入体制の充実を図る必要がある. また離島県のライフラインである貨物もまた重要であり、物流環境の向上も望まれているところである. 人流・物流の共存、あるいは相乗効果により、今後の沖縄振興が更に加速することが期待される.

参考文献

1) 統計データ（訪日外国人・出国日本人）：日本政府観光局,2018年6月
2) 出入国管理統計表：法務省,2018年6月
3) 入域観光客数概況：沖縄県,2018年6月
4) 「外国人クルーズ客アンケート 平均消費額2万4661円」：宮古毎日新聞,2017年8月26日朝刊1面

別紙２（論文）

平良港におけるクルーズ振興による「みなとまちづくり」の取り組みについて

長田　淳[1]・坂下　拓朗[1]

[1]沖縄総合事務局　平良港湾事務所　工務課　（〒906-0012 沖縄県宮古島市平良字西里7-21）

平良港は、2015年の定期寄港再開を皮切りに2015年13回、2016年86回、2017年130回と急激に寄港回数が増えた。これまで、宮古島市、バス会社、タクシー協会等と連携した「宮古島クルーズ客船誘致・受入環境整備連絡協議会」の枠組みの中で受入れ環境整備に取り組んできた。このような中、宮古島市とカーニバル・コーポレーション＆PLCとの官民連携「平良港国際クルーズ拠点形成事業」がスタートした。これにより、事業が開始される2020年度には250回の寄港が見込まれ、これまで以上に迅速で効果的な受入れ環境の構築が求められている。平良港でのクルーズ振興をきっかけとした「みなとまちづくり」プロジェクトの状況を報告する。

キーワード　クルーズ振興、地域振興、受入れ環境、みなとまちづくり、官民連携

1. 平良港におけるクルーズ振興について

(1) 沖縄県へのクルーズ寄港回数

近年の東アジアを中心とした好調なクルーズ需要を背景として沖縄県内へのクルーズ船の寄港回数は2014年までは年々増加し順調に推移していた。しかしながら、2015年から寄港回数が急激に増加し、2015年は219回、2016年は387回、2017年は515回となり、毎年過去最多を更新している。2018年も661回（前年比28%増）の寄港となる見込みである。

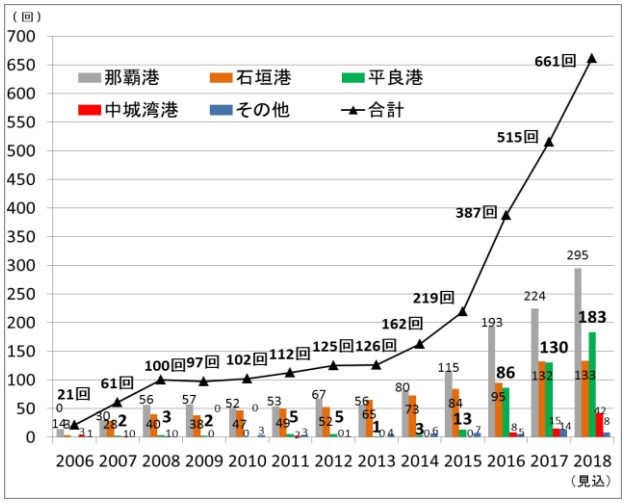


図1.　沖縄県へのクルーズ船の寄港回数の推移
(2018年6月30日時点、沖縄総合事務局作成)

一方、平良港では、2006年から定期クルーズ船の寄港は無く、毎年5隻以下の寄港となっており、取り残されてきた。この状況を変えるべく2008年から官民連携で誘致活動を実施し、2015年に13回の定期化となり、2016年86回、2017年130回と飛躍的に増加した。2018年も183回の寄港を見込んでおり、これまでの誘致に向けた取り組みに加えて、今後も平良港が寄港地として選択されるよう受入れ環境整備を行うことが急務となった。

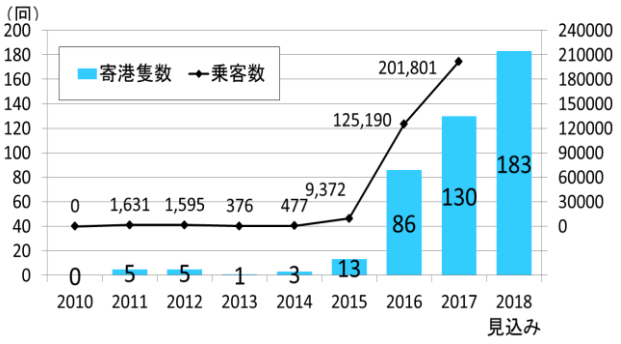


図2.　平良港クルーズ船寄港回数

(2) クルーズ船誘致と受入れ環境整備に向けた取り組み

宮古島市は、「宮古島クルーズ客船誘致連絡協議会」を2008年に設立し、誘致に向けて取り組んできた。同協議会は、宮古島市観光商工局観光課が事務局となり、宮古島市、沖縄県および国の出先機関、宮古島商工会議所、宮古島観光協会、陸上交通関連等の民間事業者の官民で構成されている。先に述べたようなクルーズ需要を取り込み、宮古島市の振興および活性化に繋げるために、2016年10月に名称を「宮古島クルーズ客船誘致・受入環境整備連絡協議会」（以下、クルーズ協議会）に改正し、これまでの誘致活動に加えて受入れ環境整備に取り組ん

できた。これまでの連絡協議会、幹事会の下に作業部会として、主に二次交通対策を検討する陸上交通部会、入管・税関・植物防疫対策を検討するCIQ等部会を新設し、受入れ環境整備の検討を行なった。協議会の開催についても、より即応性実効性を高めるために定例のランチミーティング（2017年度からは隔週クルーズミーティング）形式の協議会を開催し、幹事会メンバーによる検討を行なった。ランチミーティングでは、オブザーバーとして船舶代理店（沖縄シップスエージェンシー）、旅行代理店（JTB）にも参加してもらい、クルーズ船社からの要望や二次交通に求める要件などの意見をもらい対応方針についてより具体的な方策の検討・実施を行なった。ランチミーティング形式の導入により、オブザーバーの船舶代理店と旅行代理店から、課題に対して非常に迅速な対応をしていると評価されている。そのことが、互いの信頼関係につながり、受入れ環境整備に良い効果をもたらしている。



図3.　クルーズミーティング(2018年2月7日)

2. 平良港国際クルーズ拠点整備事業について

(1) カーニバルコーポレーション&PLCとの連携について

2016年3月にとりまとめられた「明日の日本を支える観光ビジョン」において、「訪日クルーズ旅客を2020年に500万人」という新たな政府目標が設定された。国土交通省では、この目標を達成するため「官民連携による国際クルーズ拠点形成計画書（目論見）」の募集を行なった。これに対して宮古島市は、世界最大のクルーズ船社グループであるカーニバルコーポレーション＆PLC（以下、カーニバル社）と連携して応募し、2017年1月31日に「官民連携による国際クルーズ拠点」を形成する港湾に選定された。そして、2017年7月26日には国土交通大臣から「国際旅客船拠点形成港湾」に指定され、平良港国際クルーズ拠点整備事業がスタートした。

(2) 整備内容について

平良港国際クルーズ拠点整備事業では、国は14万トン級のクルーズ船が接岸可能なクルーズ専用岸壁を整備し、カーニバル社はCIQを行なう旅客ターミナルビルの整備運営を行なう。この投資によりカーニバル社は、クルーズ専用岸壁の優先権を年間最大300回を20年間にわたり取得することが可能となる。また、宮古島市は、CIQ手続を終えたクルーズ客をスムーズに島内観光へ誘導するための交通ターミナル機能を提供する施設を独自に整備する予定となっている。



図4.　平良港国際クルーズ拠点整備事業概要図



図5.　平良港国際クルーズ岸壁完成予想図

3.受入れ環境整備と周辺環境変化について

(1) 受入れ環境整備の課題

クルーズ船寄港回数が急増する中、受入れ環境整備の課題も顕著に現れている。まず、2次交通の不足である。貸切バスの台数は、2015年42台、2016年69台、2017年90台と増加している。タクシーの台数も、2015年166台から2017年189台に増加している。しかし、クルーズ船の大型化による旅客数の増加に加え、2015年1月の伊良部大橋開通を機に空路の観光客も増加しており、慢性的な不足状態が続いている。車両などハードの整備はできても、運行する運転手（人材）の確保ができない。島外の人材を連れてこようとしても住居が手配できないなどの問題も起きている。

次に、通訳の不足である。県内の沖縄特例通訳案内士の登録者数は毎年増加しているが、宮古島在住の通訳は不足しており、観光案内所案内員やツアーバスガイドの確保に苦慮している。ツアーバスガイドは、クルーズ船

の寄港に合わせて島外（主に沖縄本島）から応援を派遣して対応している。

(2) 周辺社会環境の変化

近年、クルーズ船の寄港以外も、大きな社会環境の変化が宮古島で起きている。2015年1月の伊良部大橋開通である。無料で渡れる日本一長い橋（3,540m）として全国に向けてPRされたおかげで、空路での入域観光客数が、2014年度43万人、2015年度50万人、2016年度57万人、2017年度62万人と増加している。今後も、使用機材の大型化や東京、名古屋、関西、福岡直行便などの路線の増便、通年運行化などによる増加を見込んでいる。さらに、2019年3月に下地島空港国際線等旅客施設の開業が予定されている。施設整備・運用を行なう三菱地所によると、LCC、チャーター機、プライベートジェットの受入空港として、2019年2.7万人、2021年15万人、2025年28万人の年間利用者を目標にしている。このように、空路においても入域観光客数の増加が見込まれている。

入域観光客数の増加を見越して市内各地で大型リゾートホテル開発が進んでいる。シギラリゾートは2017年7月に72室の「インギャーコーラルヴィレッジ」、同年11月に170室の「シーブリーズカジュアル」を開業、現在も新たな施設を建築中である。森トラストは2018年11月に58室の「イラフSUI」ホテルの開業を予定している。三菱地所は2020年代初頭に平良港トゥリバー地区で250室規模の開業を予定している。その他、島内各地でリゾートホテルが建設又は計画されている。

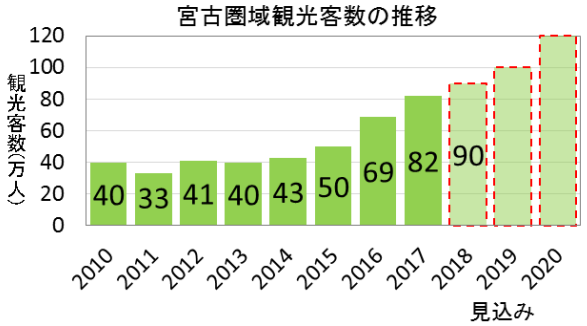


図6. 宮古圏域観光客数の推移
（出典：宮古島HPを基に平良港湾事務所作成）

(3) みなとまちづくりの必要性

近年入域観光客が急増している宮古島において受入れ体制の構築が急務となっている。将来予測として宮古島にどれだけの観光客が訪れるのか、海路（クルーズ船）は、2020年のクルーズ専用岸壁完成により60万人、2026年には100万人、2019年3月開業する下地島空港国際線等旅客施設は、2021年に15万人、2025年28万人、既存の宮古空港は、2017年度に62万人、となっており、入域観光客150万～200万人時代が到来するといっても過言では無くなっている。

クルーズ船観光客は、一隻当たり1000人～4600人が朝入港して、夕方出港する。滞在時間は約10時間、ツアー客とフリー客で、ニーズが異なる。クルーズ船観光客の特徴を捉えた対応が求められている。観光客を各交通チャネルへと誘導し円滑に目的地に送り出すための機能としての交通ターミナル機能、観光客と地元住民がふれあい地元の文化や特産品等が楽しめる賑わい空間の創出、さらに、観光客を背後市街地まで誘導し、地元への経済効果を最大限波及させる仕組みづくり、また、宮古島最大の「売り」である海が楽しめる海洋レジャーの提供など多岐にわたる持続可能な施策やその仕組み作りが必要となっている。また、不足する住環境や生活インフラに対応するため、「空き家」などの既存ストックの活用が求められている。

4. みなとまち宮古再生プロジェクト

宮古島では、クルーズ船を対象とした平良港及び観光地の受入れ環境整備を行なってきた。しかしながら、入域観光客数の急増と、今後の観光需要を見込んだ観光施設の建設、大型公共事業の実施に伴う人材不足など、多岐にわたる問題に対応する必要が出てきた。そこで、宮古島市はこれらの問題を解決するため、平良港を中心とした街づくり、クルーズ振興から地域振興への展開を目指し、「みなとまち宮古再生プロジェクト」を立ち上げることとなった。「みなとまち宮古再生プロジェクト」は、市と地元民間事業者の連携が必須であり、これまでクルーズ船受入れで成果を上げてきた地元の官民連携の組織であるクルーズ協議会の仕組みを利用することとなった。当事務所も、クルーズ協議会からの構成員として引き続き協力した。

(1) みなとまち宮古再生プロジェクト検討委員会

2018年6月7日「クルーズ協議会」と「第1回　みなとまち宮古再生プロジェクト検討委員会」（以下、みなとまち検討委員会）が開催された。クルーズ協議会では、協議会の発展的解消とみなとまち検討委員会の立上げが審議され満場一致で可決、みなとまち検討委員会が発足した。みなとまち検討委員会では現状の課題と目標が説明され、今後の検討内容、スケジュールの確認が行なわれた。宮古島市長から、「「誰かがやるでは無く、我々がやる」との気持ちで意見して、活発に議論していただくことを期待します。」との要望が出された。下地委員（宮古タクシー事業協同組合会長）からは、「島民がクルーズの経済効果を実感できるような計画にしたい。博多のような状況にはならないように皆に協力して欲しい。」との意見があった。

(2) みなとまち検討委員会の構成

みなとまち検討委員会は、3つのブロックから構成さ

れている。テーマ別の検討課題について協議を行い、具体的な対応策や施策を検討する「作業部会」、作業部会の調整、取りまとめを協議する「幹事会」、最後に、総合的に審議・決定する「委員会」となっている。当面は、交通機能整備作業部会、交流拠点形成作業部会、陸上交通作業部会、CIQ等作業部会等の開催を予定している。

委員会等の構成

■委員会
・役割：合意形成、助言、情報共有の場
・構成員：宮古島市、宮古島商工会議所、観光協会、沖縄県、沖総局等

■幹事会
・役割：各作業部会の調整、取りまとめ、委員会への報告
・構成員：各作業部会の長等（旧クルーズ協議会幹事会が主体）（開発主体の参加（三菱地所））

①交通機能整備作業部会
・役割：交通ネットワーク、交通ターミナル等機能の整備、利用方策
・構成員：市港湾課、クルーズ協議会陸上交通部会メンバ等

②交流拠点形成作業部会
・役割：導入機能、施設及び整備、利用方策
・構成員：宮古島市建設部、商工会議所、JC、漁業組合、その他関係者等

③陸上交通作業部会
・役割：二次交通対策
・構成員：クルーズ協議会陸上交通部会等

④CIQ作業部会
・役割：CIQ等機能の整備
・構成員：沖縄地区税関、福岡入国管理局、那覇植物防疫事務所等

⑤企業支援育成作業部会
・役割：商業機能、民間支援方策
・構成員：市観光商工課、商工会議所、金融機関等

⑥海洋レジャー作業部会
・役割：海洋レジャーの可能性検討
・構成員：市港湾課、観光協会、三菱地所、漁協等

図7. みなとまち検討委員会構成

(3) まちづくりのゾーニングと導入機能

みなとまち検討委員会では、平良港を中心とする市街地を3つの拠点に分けて検討する。拠点Ⅰは、平良港国際クルーズ拠点整備事業の実施地区、拠点Ⅱは、リゾート計画のあるトゥリバー地区、拠点Ⅲは、市役所周辺の中心市街地。このまちづくりの中核となる３つの拠点について、それぞれ関連する作業部会で検討する。島内の民間事業者等からのアイディアを募りながら、官民一体で取り組む。そのため、民間の活動が重要な役割を担うものと考えている。

拠点Ⅰ（交通ターミナル地区）	拠点Ⅱ（トゥリバー地区）	拠点Ⅲ（中心市街地）
【構成員】 ・交通機能整備作業部会 ・交流拠点形成等作業部会 ・陸上交通作業部会 ※CIQ等作業部会（随時） 【主な内容】 ・交通ターミナルの機能・規模 ・交通拠点形成との調整	【構成員】 ・海洋レジャー作業部会 ・三菱地所 ・宮古島市港湾課 【主な内容】 ・トゥリバー地区施設等の利用、管理、運営 ・周辺水域の活用	【構成員】 ・交流拠点形成作業部会 ・陸上交通作業部会 【主な内容】 ・市庁舎、市街地（空き家・空地）の活用方策 ・再開発の方針 ・循環バス停の配置

図8. みなとまち検討委員会の検討課題



図9. みなとまち検討委員会の様子

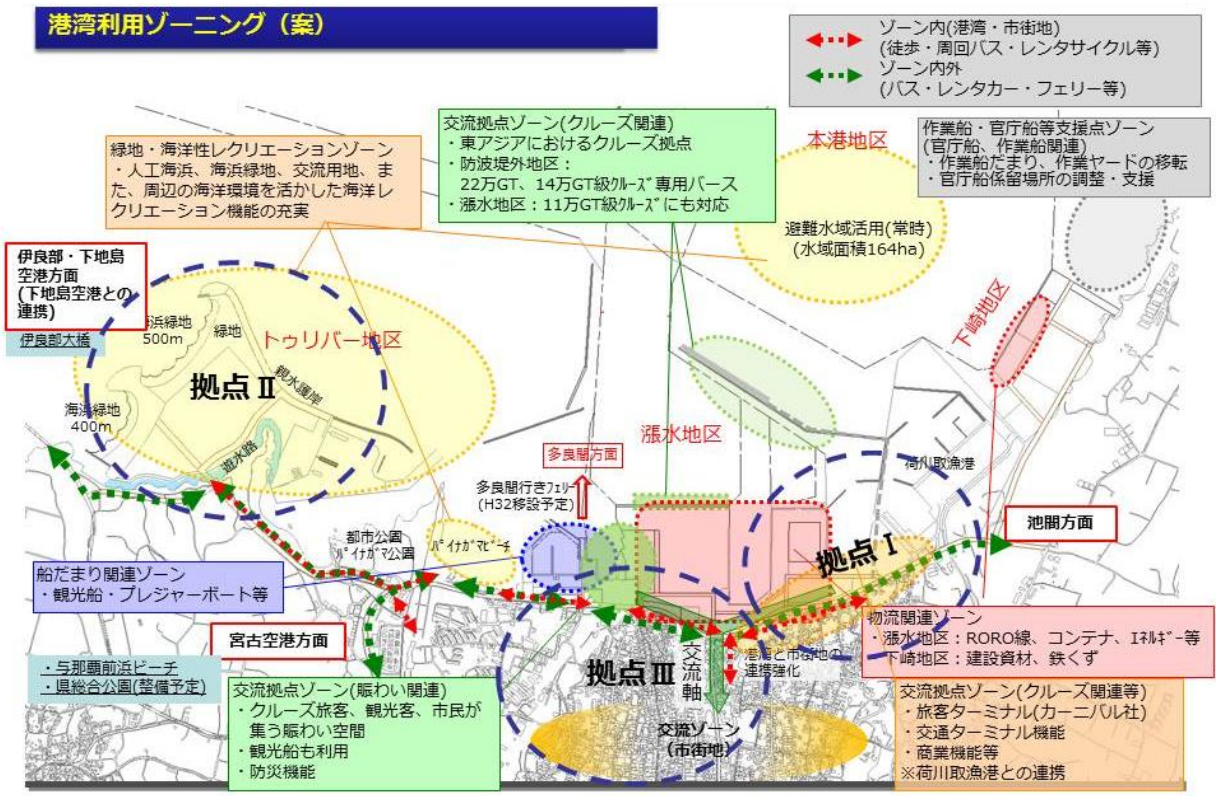


図10. まちづくりのゾーニング（平良港長期構想より）

5.　今後のスケジュールと課題

(1) 検討スケジュール

みなとまち検討委員会の計画期間は、5年～10年を目途とし、年２回の定例委員会を実施予定としている。今年度は、10月に第2回委員会を開催予定としている。今後は、設置した作業部会で、具体的な対応策や施策の検討を行う。当面の課題として、2020年のクルーズ岸壁の供用開始に向けた交通ターミナル機能の整備について検討するとしてる。

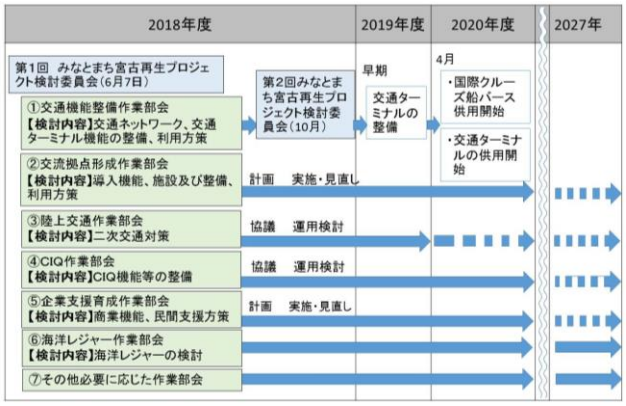


図11.　委員会検討事項とスケジュール

(2) 交通ターミナル機能の整備

2020年の国際クルーズ船岸壁供用までに、観光客を各交通チャネルへと誘導し円滑に目的地に送り出す「交通ターミナル機能」の整備が必要であるが、今後のクルーズの発展も考慮に入れた拡張性の高い施設を整備するとしている。

(3) まちづくりに向けた環境整備

交流用地や道路・遊歩道等の整備などみまとまちづくりに向けた環境整備が必要である。市街地の道路が狭隘で、空き家、空地が目立ってきており、2021年4月には市庁舎も移転する予定となっていることから、今後、これらの既存ストックを有効に活用する取り組みが重要となる。観光客と地元住民がふれあい、地元の文化や特産品等が楽しめる賑わい空間の創出、商業機能や海洋レクリエーション機能の強化の取組を行なうとしている。

(4) 地元の官民連携の取り組み

クルーズ協議会で培ってきた官民連携での取組を今後更に発展させていく必要がある。地元民間業者でクルーズ船受入れ環境を整備できれば、クルーズの経済効果はほぼ全て島内に落ちることになり、地域振興、地方創生へとつながる。そのためには、地元企業の育成、資金面での支援体制を地元金融機関と協力して構築する必要がある。企業支援育成作業部会にて地元企業や起業家に必要な支援方法を検討するとしている。

(5) クルーズ船受入れ環境整備への取り組み

インバウンドの受入れ環境整備について、クルーズ船の大型化の進展から、１隻あたりの乗客数は増加傾向であり、現在の二次交通や通訳等の整備状況では賄えないほどの人数と予想される。現時点で、バスは約90台、タクシーは約190台あり、輸送人数は約5,000名程度であるが、空路観光客の対応、乗務員の不足等により、最大4,000名程度の対応が限界と考えられる。20万トンクラスのクルーズ船が寄港した場合を想定し、バスの増車計画やホップオンバスの活用等の対応策の検討が急務となってきている。また、バス・タクシー増車に向けた乗務員確保のための施策、長期的に見た通訳の育成等検討するとしている。

6.　まとめ

平良港では、宮古島クルーズ船誘致・受入環境整備連絡協議会、幹事会、ランチミーティングの枠組みを活用し、官民連携して受入れ環境の整備を行ってきた。平良港湾事務所も、ハード面の整備だけでなく、ソフト面においても積極的に関わり、助言や提案、また要望の調査を行い、クルーズ振興に取り組んできた。その結果、船社・乗客ともに宮古島を高く評価しており、カーニバル社との官民連携による平良港国際クルーズ拠点整備事業の開始や、寄港回数激増に繋がったと考えられ、引き続き官民連携を継続していくことが必要である。一方、クルーズ船の寄港は宮古島市にも大きな経済効果をもたらしているが、これまでのクルーズ船受入れ環境整備の取組だけでは十分な対応ができないことが明確になってきた。宮古島クルーズ船誘致・受入環境整備連絡協議会は発展的に解消し、「みなとまち宮古再生プロジェクト検討委員会」として、クルーズ振興を核とした「みなとまちづくり」を行なう地元の官民連携の委員会として再出発することとなった。宮古圏域の活性化を図るまちづくりを行いながら、離島のデメリットを離島ならではの可能性と捉え、沖縄の離島としての宮古島では無い「宮古島」というブランドの構築に向けて活動していくことが重要である。今後も検討委員会構成員である当事務所として本事業の目的であるクルーズ振興による地方創生に向け積極的に関わっていく。

今度の取組状況については、進捗をみて報告を行なうこととしたい。

石垣港大型旅客船ターミナル整備における岸壁部の景観検討について

伊是名 興治[1]・濱川 充典[1]

[1]沖縄総合事務局 石垣港湾事務所 工務課　（〒907-0012 沖縄県石垣市美崎町1-10）

近年、我が国における国際クルーズ船の寄港船舶数は増加傾向にあり、沖縄地域の観光行政においてもその重要度が高まっている。本検討で対象とする岸壁は、国際クルーズ船の発着目的で整備され、豊富な自然・文化観光資源を有する八重山圏域において新石垣空港と並び圏域最大の観光玄関口となる場所である。外国人が最初に立ち寄る港として、沖縄・日本に対する興味や好意的な印象を持ってもらえる景観形成という課題に対し、新港地区全体で「地域らしさを感じる一体的な連続景観」を検討して地元・有識者等と共有し、その一部をなす岸壁景観として検討整理した。なお、港湾管理者事業となる緑地整備との連携や合意形成ツールとしてVRを活用した。

キーワード　　クルーズ船、旅客船バース、景観設計、緑地計画、合意形成

1. はじめに

八重山圏域は、独自の伝統文化がはぐくまれ、豊かな自然環境や歴史的・文化的特性を有する魅力的な観光リゾート地域であり、近年では、東アジアはもとより世界各地から石垣港への大型旅客船（クルーズ船）の寄港が著しく増加している。

石垣港湾事務所では、こうした背景のもと、船体の大型化や需要増大に対応したターミナル機能強化や観光客と市民の交流機会の形成のための観光レクリエーション機能拡充などを目的として石垣港新港地区の整備を港湾管理者である石垣市と共に進めており、その一環として大型旅客船岸壁の整備を行っているものである。

この大型旅客船岸壁は新港地区の最西端に位置し、観光客は新港地区を横断して市内・八重山圏域内へと足を進める位置関係にある。まさに観光客が八重山圏域、沖縄地方、ひいては日本への最初の一歩を踏み入れる表玄関となる場所であり、この岸壁において、街への移動動線となる新港地区を一帯とする連続的な景観を形成することにより、訪日観光客に我が国の良好な第一印象を持ってもらい、圏域内・沖縄地方の旅への興味・期待・高揚感を抱いてもらえるようにすることが、本景観検討のねらいとするところである。

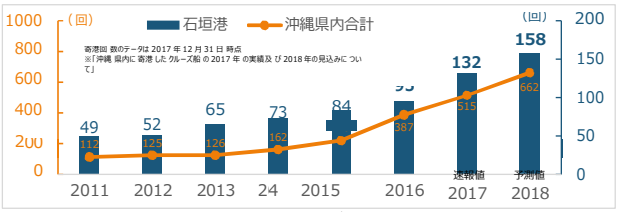


図 1　沖縄県内クルーズ船寄港回数の推移

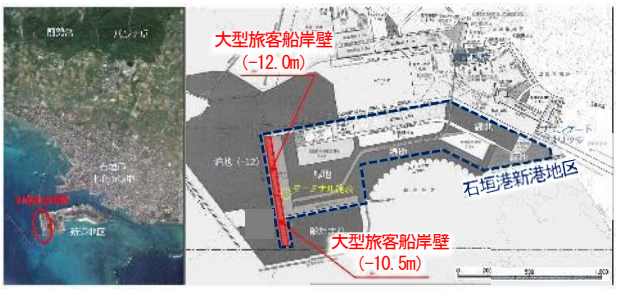


図 2　検討対象位置図

(1)　主な景観検討事項

- 新港地区全体と岸壁部の景観の方向性の検討
- 観光客目線を重視した岸壁部の詳細景観の検討

(2)　景観検討上の主な工夫点

- 地元・有識者との合意形成ツール（VR）の活用
- 利用者への印象を重視した費用対効果の視点

2. 検討の流れ

実施した景観検討の流れを図 3 に示す。検討経緯において重視した点は、新港地区全体に求められる役割を整理し、その結果を港湾管理者である石垣市港湾課や石垣市景観審議会等の場を通じて地域と共有し、岸壁と後背の新港地区の緑地等と一体性、連携をもって岸壁部の景観形成を進めたことである。そのため上位・関連計画や現地調査及び既往の景観計画を基に検討を行い、検討にあたって、双方の認識の共有や円滑な意見交換を行うためのツールとして VR や景観カルテ [1] 等を活用した。

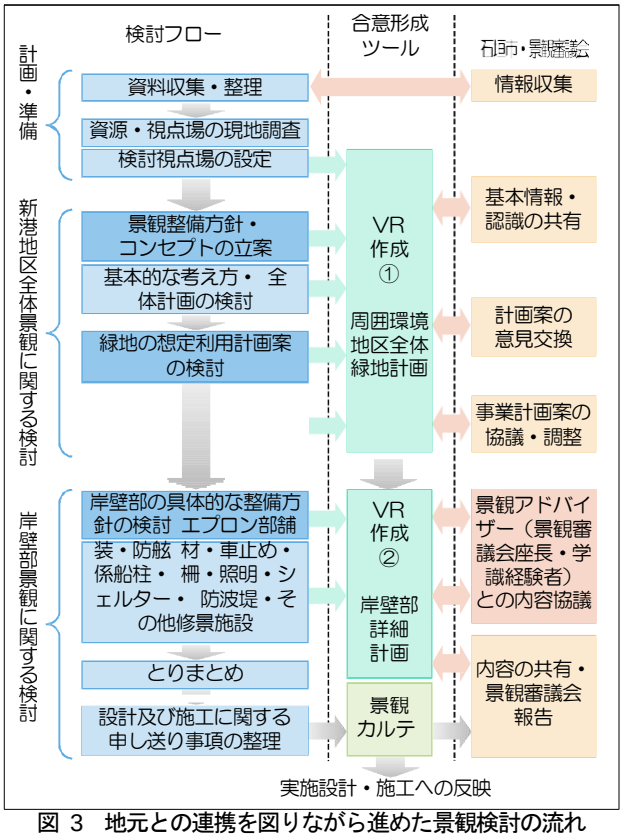


図 3　地元との連携を図りながら進めた景観検討の流れ

表 1　景観形成で考慮した主な上位・関連計画の概要

港湾関連計画	石垣港景観計画調査（H17.3）	・石垣港全体の景観形成方針「八重山の自然と島々文化が交わる玄関口」 ・岸壁はターミナル・緑地とともに「大型旅客船をもてなす玄関口ゾーン」とし、海山の眺めを確保し、ゲート景観や市街地とを結ぶ幹線軸景観を積極的に創出する
	石垣港港湾計画（H25.12）	・交流拠点ゾーンとして東アジアにおけるクルーズ寄港地として交流拠点を形成 ・新港地区として水辺の雰囲気・緑地等を活かし、観光客と市民との交流機能を形成
	石垣港ターミナル基本計画（H26.3）	・島の豊かな自然を取り入れた、新たな海の玄関口となる緑豊かなターミナル ・クルーズ船を見に来る人やイベント開催など、市民の利用に対応したターミナル
地域関連計画	第4次石垣市総合計画（H24.3）	・将来像「島の魅力と人々の活力が奏でる海洋・文化交流都市　石垣」 ・来訪客を惹きつけ、もてなす豊かな生活文化の創造、ホスピタリティー
	石垣市都市計画マスタープラン（H23.3）	・伝統を守り格調高い文化都市、美しい海やサンゴ礁と共生する港 ・市街地地区「石垣の伝統が息づき活気にみちたまちづくり」赤瓦・石垣・屋敷林など伝統的集落要素の保全活用により来訪者にも石垣らしさを感じてもらう
	石垣市風景計画（H19.4）	・自然が作る「静の景観」人間が作る「動の景観」、情景としての「心の景観」 ・玄関口に相応しい、わくわくした気分を味わえる、開放感と南国情緒に溢れた空間
	石垣市観光基本計画（H22.8）	・島ぬ美しゃ心美しゃ　自然や景観の魅力・人やその暮らしと伝統文化の魅力 ・観光ニーズと市民ニーズの融合による固有の魅力ある観光文化の創造
	その他関連計画	石垣市海洋基本計画（H25.3）、石垣市エコアイランド構想（H25.6）
沖縄県	沖縄県景観形成ガイドライン（H22.3）、沖縄県景観形成基本計画（H23.1）、沖縄県観光まちづくり指針（H20.3）、沖縄県観光振興基本計画（H24.3）、等	
国	美ら島おきなわ風景づくりのためのガイドライン（H19.3）、沖縄を事例とした景観の見方集（H22.1）	

3. 新港地区全体の景観の方向性

(1)　地区全体の位置づけ

岸壁部を含む新港地区全体の景観の方向性を検討するにあたり、新港地区全体や大型旅客船岸壁に求められる役割を次の 2 項目に整理した。

- 海と山の眺め、島の文化を伝える景観を柱とし、「石垣らしさ」で観光客を迎える場所であること。
- 受け継がれる文化が感じられる風格を備えるとともに、市民の憩いの空間と融合した、わくわくする雰囲気を創出すること

(2)　周辺環境の現状

上位・関連計画の裏付けや景観資源の把握とともに 景観検討にあたり評価対象とする視点場を設定するため、 現地及び周辺（圏域内）における現況把握調査をおこな った。

調査の結果、新港地区の規模が大きく市街地とは一線を画す独立した空間として認識されること、整備済みの人工ビーチや緑地を中心として市民の憩いの空間が形成されつつあること等が把握された。また、石垣島内や離島桟橋から周辺離島への移動は新港地区内を横断することになるため、岸壁部から地区全体を通過して観光に出向くという連動したストーリーが必要であることが明らかになった。

(3)　大型旅客船ターミナル岸壁部に求められる景観

上記(1)・(2)について一方的な整理とならないよう、港湾管理者である石垣市と認識の共有を図った上で、岸壁を含む新港地区全体の求められる景観を以下のように整理した。

- 【風格】八重山圏域外（特に国外）からの来訪客の玄関口として、良好な第一印象を持ってもらう場とすること。
- 【興味・高揚・誘導】船から降り立った来訪客が、島内及び離島を観光したくなる雰囲気を作ること。
- 【地域性】島の全景と調和し、八重山らしさがちりばめられた、地域住民が誇れる景観とすること。

⇒ 新港地区全体として八重山の玄関として風格を持って乗客を迎え、圏域へと誘う、もてなしの空間を創出する。

(4)　新港地区全体と岸壁部の見え方及び視点場の設定

現地調査で把握した視点場については、地区全体が把 握できる中景・遠景の視点場は「市街地内の高層ホテル」「前勢岳・バンナ岳の展望台」「離島航路船上」であり、岸壁部は島内からほとんど認識されないことがわかった。一方、岸壁部からは市街地全景や山並み、海とともに点 在する圏域の島並みが一望できた。このことから、岸壁 自体の景観検討の視点場は「クルーズ船上」「岸壁上の

歩行者や車両」からの視点場に絞り、来訪客が眺める風景との調和を重視し、島内からの岸壁の景観は色彩を主として新港地区や緑地との調和を主題とすることとした。

(5) 新港地区全体における景観整備方針

過年度に実施した「石垣港景観計画調査」[2]において、石垣港全域を対象とした景観基礎調査を基に景観形成マスタープランが作成されており、この考え方に基づき現行の港湾計画や港湾管理者等の整備が進められていることから、本検討では、これらを踏まえ前述の(1)～(4)に示す調査・確認内容について、港湾管理者との共有情報を加味し、地区全体の景観整備方針と大型旅客船岸壁における目標像を図4・図5に示すように整理した。



図 4　新港地区全体における景観整備方針の整理[2]

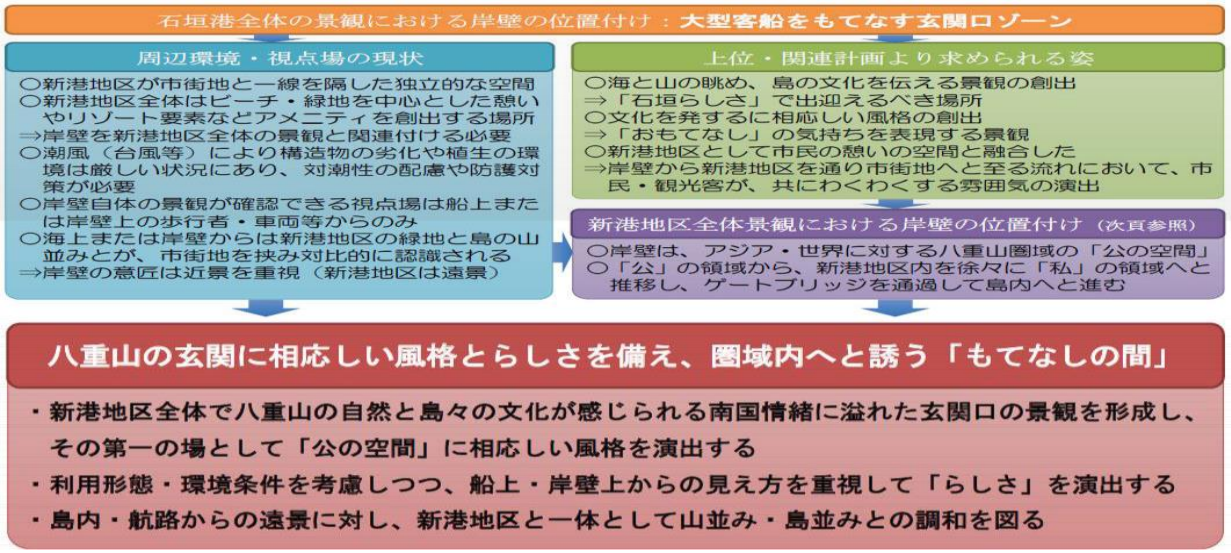


図 5　大型旅客船岸壁における景観整備方針

4.　観光客の目線を重視した岸壁部の詳細景観の検討

岸壁部の詳細検討を進めるにあたり、ここまで整理した内容を踏まえ、以下に示す景観方針に基づき、八重山圏域を代表する「もてなしの間」にふさわしい地域性・らしさを兼ね備えた岸壁景観を検討した。

- 新港地区全体の計画の一連のなかで、岸壁としての機能や岸壁上の利用形態に対して、必然性や整合性と経済性の調和のとれたデザインを検討する。
- 厳しい塩害環境に対し、整備当初の景観形成の意図を将来に渡り維持できることを念頭に置くとともに、一定の劣化補修や設備交換などの維持管理の合理性などを考慮したデザインを検討する。
- 岸壁利用者の視線（見え方）に注目し、八重山圏域に最初に降り立つ場として、来訪者の興味を誘発するための仕掛け（らしさ）や、おもてなしの心情を表現する仕掛け（風格）などを、心地よさと両立させるデザインを検討する。

(1)　景観整備方針を実現するためのポイント

3 章に示す景観形成方針を実現するための視点と実現するためのポイントを表 2 のように設定し、設計に反映する対象として、以下の施設を抽出した

- 舗装工：エプロン部舗装
- 係留付帯工：防舷材、車止め、係船柱
- 上部付帯工：柵・手すり、照明、シェルター
- その他：防波堤

表 2　景観整備方針を実現するためのポイント

景観形成の目標像		考え方の視点	実現するためのポイント
八重山の玄関に相応しい風格とらしさを備え、圏域内へと誘う「もてなしの間」	新港地区全体で八重山の自然と島々の文化が感じられる南国情緒に溢れた玄関口の景観を形成し、その第一の場として「公の空間」に相応しい風格を演出する	八重山の自然と島々の文化が感じられる南国情緒の考え方	○色彩等について、美しい海・空との調和を図る ○目印となる稜線や山頂・岬・島々への見通しを確保し、開放的な岸壁空間を形成する
		風格の演出に関する考え方	○メリハリを持って伝統のモチーフを活用する（図となる景観） ○デザインの展開に意味性を持たせる ○市民が公の場として誇れる景観として、整然さ、端整さを考慮する
	利用形態・環境条件を考慮しつつ、船上・岸壁上からの見え方を重視して「らしさ」を演出する	地域性の表現に対する考え方	○地域の自然素材（陶土やサンゴ石灰岩等）を活用する（アクセント色） ○市民がお出迎え（歓迎）イベントを行う際の地域性豊かな衣装・小物などの背景となることを考慮する（基調色） ○岸壁の背景となる築山・植栽・ターミナル施設での地域性表現を引き立てる（地となる景観）
		利用形態・環境条件に対する考え方	○岸壁着岸前の船上または岸壁上の目線で捉えるスケール感を考慮する ○大型車両の通行、緊急時等の荷卸などの利用に対する耐久性・景観の維持を考慮する ○厳しい塩害環境に対する耐久性・景観の維持を考慮する
	島内・航路からの遠景に対し、新港地区と一体として山並み・島並みとの調和を図る	山なみ・島なみとの調和の考え方	○岸壁の背景となる築山・植栽・ターミナル施設の「緑」が山なみ・島なみと連動して計画されていることに対し、遠景から望む際の岸壁の主たる色彩の調和を図る

(2)　岸壁部の景観形成の考え方

具体的なデザインに先立ち、より合理的に景観形成の効果を得られるよう移動シーン毎に視界に入る景観要素（施設等）の見え方の度合いについてVRを用いて確認し、前項で整理した実現のためのポイントと照合しながら配慮すべき施設等の重要度合いや設計のレベルを、景観形成の考え方として整理した。

(3)　景観アドバイザーからの指摘

具体的なデザインを進める過程において、事務所景観アドバイザーかつ石垣市景観審議会委員より以下の指摘を得た。この指摘を踏まえ、全体及び各施設の具体的な整備方針を取りまとめた。

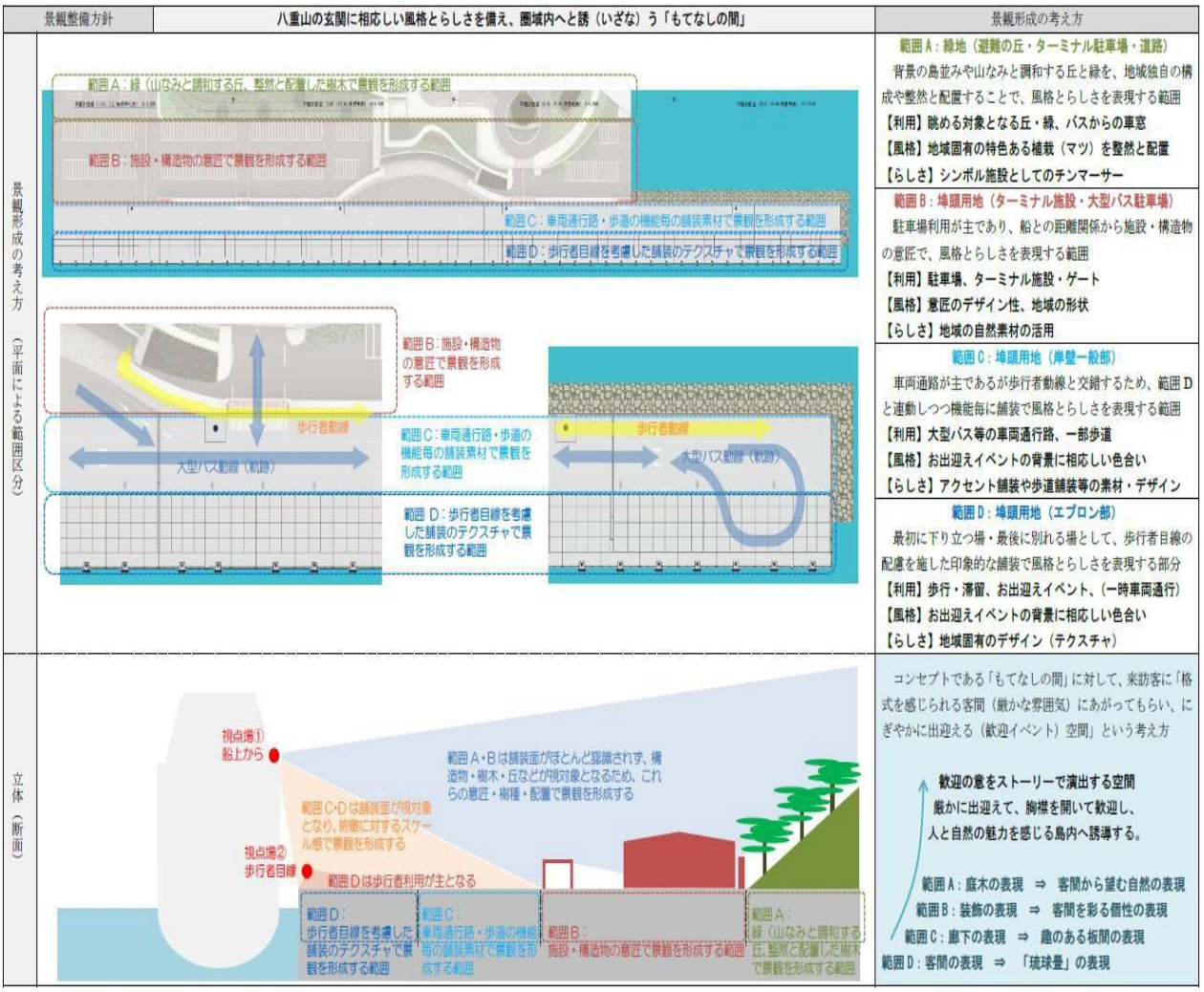
- クルーズ船からの眺望に対し明確に地域性が伝わるシンプルでわかりやすいデザインが必要である。
- 外国からの来訪者が主であるため、地域を代表する模様などを大胆に配置してもよい。
- 広く沖縄の玄関口という意味性も大きく、那覇港などと共通点のある景観としてもよい。（八重山に限定せず沖縄を代表する素材や色いう考え方。）

(4)　岸壁部全体のデザイン

前項までの検討や指摘を踏まえ、全体で表現するデザ インを次のように計画した。

- 公の場としての風格を演出する黒色舗装を基本とし、八重山ミンサーの5つまたは4つの大型模様付けによる岸壁全体の織物感（那覇港等との共通概念化）
- 陰影で琉球畳をイメージする表面溝加工（滑り止め兼）と赤瓦・琉球石灰岩舗装による歩行者誘導
- 船上からの不思議な印象と地域文化への興味を抱かせるカイダー文字の舗装アクセント
- 島内の風景を想起させる緑による地域性演出（岸 壁の領域を示す小丘と地域固有の低木や草花、囲 われ感と凛とした空間を演出する岸壁後背の築山 とリュウキュウマツによるお出迎えの空間の演出）

表 3　岸壁部の利用を踏まえた空間の役割と景観形成の考え方



(5)　設計対象施設の具体的な景観設計の内容

a)　エプロン部舗装工

エプロン部舗装はクルーズ船上からの見え方を第一とするため、大型車両等の乗り入れに対する耐久性や経済性を考慮した一般的なコンクリート舗装を主体とした上で、混和材による着色により黒色・白色・ベンガラ色を使い分けて大型のミンサー模様を表現した。一方、歩行通路については歩行者目線や歩行感を重視し、赤レンガ・琉球石灰岩による地域性あふれる舗装とした。また、最初に足を踏み入れる岸壁の海際の部分は帯状の装飾舗装として地域を代表する色である藍色のインターロッキングブロック舗装とした。

b)　防舷材

防舷材は、エプロン部舗装のデザインを阻害しないよう通常の目立たない黒色タイプとした。

c)　車止め・係船柱

来訪者が最初に足を踏み入れる岸壁の海際の部分であるため、舗装同様に地域を表す色である藍色をアクセントカラーとして採用した。

d)　柵・手すり

岸壁部の景観形成上大きな影響を与える要素にはならないため、一般的な二次製品のタイプとて経済性を重視した選定とした。

e)　照明

岸壁のスケールに対して微小な存在となるため、それ自体をデザインするのではなく緑化や舗装等のデザインを阻害しない形状・色彩とした。

f)　シェルター（屋根付き歩道）

遠景からの眺望に対して舗装などのデザインに 影響を与えないシンプルな形状とするが、歩行者 の手に触れる支柱については素材感や地域性の感 じられる琉球石灰岩を感じられるものとした。

g)　その他

岸壁部上で通行の用に供さない範囲については、舗装等よりも初期投資が抑えられ、かつ背景として地域性の表現に優れる緑地帯を配置した。

5.　まとめ及び今後の課題

本検討は、整備までの経緯や地域性の把握、対象施設と連続する地区全体での景観のあるべき姿を踏まえ、地元との合意形成を軸に置き、検討を進めた。その結果、戦略的に景観整備の効果と経済性とのバランスのとれた成果をとりまとめられたと考える。今後は、沖縄総合事務局の景観検討の基本方針（景観カルテの維持管理段階までの継承）に則り、本検討の意図を汲んだ実施設計・施工管理が重要であると考える。同時に、ターミナル施設や新港地区全体の緑地等の市の整備においても、本検討結果の継承や、連携した景観形成の取り組みが進められ、八重山、沖縄の固有の景観に配慮された、質の高い施設整備が実現していくことを期待する。

参考文献

1)「沖縄総合事務局・景観検討の基本方針 ～国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針（案）の沖縄総合事務局における実施要領～」（平成 25 年 4 月）
2)「石垣港景観計画調査」（平成 17 年 3 月 石垣港湾事務所）

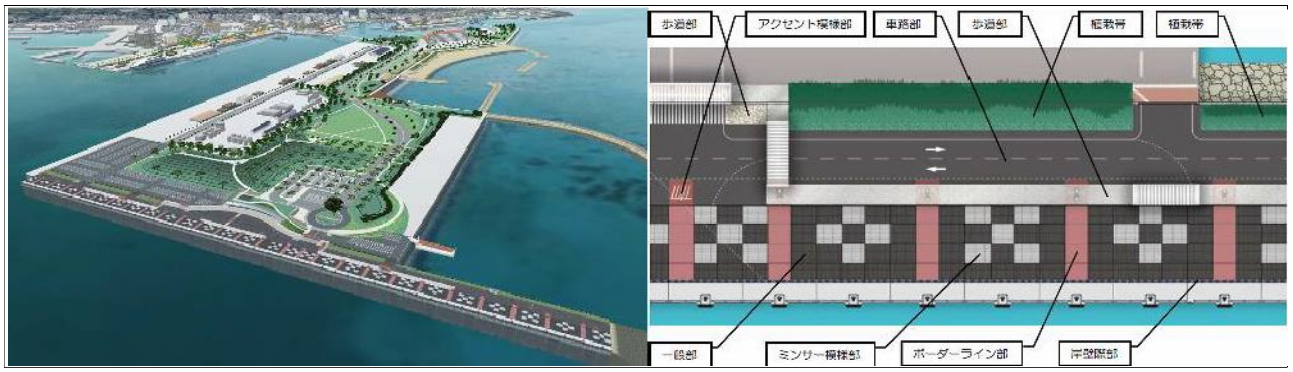


図 6　完成予想パース及び岸壁部の施設配置及び舗装デザイン（上）・平成 30 年 4 月に暫定供用した大型旅客船ターミナル（下）



訪日外国人レンタカー利用者の急制動箇所に関する基礎分析

琉球大学　○比嘉 健人　　正会員　神谷 大介
中央建設コンサルタント　正会員　山中 亮
長大　正会員　澤部 純浩
沖縄総合事務局　新垣 康明

1. はじめに

近年，訪日外国人が急増し，それに伴いレンタカーを利用した観光地周遊も増加している．その結果，日本の交通ルールに不慣れな外国人によるレンタカー事故も増加し社会問題となっている．

図-1 に示すように，那覇空港はレンタカーの利用割合が 21%と高い．これにより，国土交通省は那覇空港を含めた 5 地域を訪日外国人観光客レンタカー事故ピンポイント対策実験地域に指定し，多言語注意看板などの対策に着手している．

沖縄県では，2021 年までに観光客 1200 万人を目標としており，そのうち 400 万人を外国人と定めていることから，今後訪日外国人のレンタカー事故の増加が懸念される．

以上の認識の下，本研究では沖縄本島を対象として，交通事故件数，県民ドライバー，日本人ドライバー及び訪日外国人ドライバーの急制動箇所の比較を行う．その結果から，訪日外国人ドライバーにとって危険な区間を明らかにする．

2. 分析の方法と考え方

急制動と交通事故との関係については，1 件の大きな交通事故の背景には，29 の軽微な交通事故が存在し，さらにその背景に 300 件のヒヤリハット（急制動）が存在しているというハインリッヒの法則に基づく．また，ETC2.0 プローブ情報の挙動履歴より，前後加速度が-0.25G 以下を急制動と考えることとする．

本研究では，ETC2.0 プローブデータと 2016 年度に沖縄県内で発生した道路区間別事故件数を用

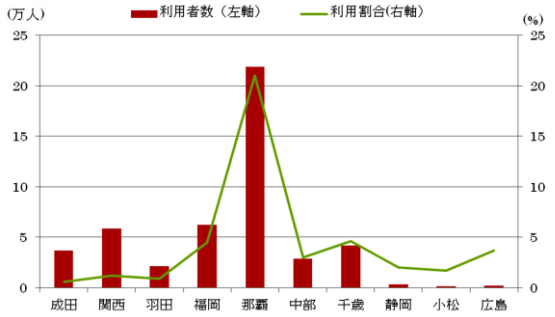


図-1 訪日外国人空港別レンタカー利用状況 [1)]

表-1 ETC2.0 プローブデータ

		使用データ	サンプル数（日・台）	データ取得期間
県民		一般プローブ	-	2017年4月～2018年8月
日本人		特定プローブ	387	2017年4月～2018年9月
訪日外国人	台湾	特定プローブ	1562	
	香港		712	
	韓国		1287	

いて分析を行う．**表-1** に示すように，県民ドライバーの急制動箇所については同データの 2017 年 4 月～2018 年 8 月に取得された一般プローブ，日本人ドライバー及び訪日外国人ドライバーについては 2017 年 4 月～2018 年 9 月に取得された，事前に利用者からの同意を得て収集した特定プローブを用いることとする．レンタカー貸し渡し前に記入してもらったアンケートにより国籍の特定ができることから，訪日外国人ドライバーのうち，台湾，香港，韓国に分け，国籍の違いによる比較を行う．

分析を行うにあたり，一部の制動が多いドライバーによる影響を考慮し，貸出しレンタカーグループ別の急制動件数を比較する．貸出しレンタカーごとに単位距離あたりの急制動件数を算出し，+2σ を超えるグループを急制動が極めて多いとして，分析から除外する．

キーワード：レンタカー，外国人ドライバー，急制動，交通事故
連絡先　〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科
Tell:090-6869-5075　E-mail:e155341@eve.u-ryukyu.ac.jp

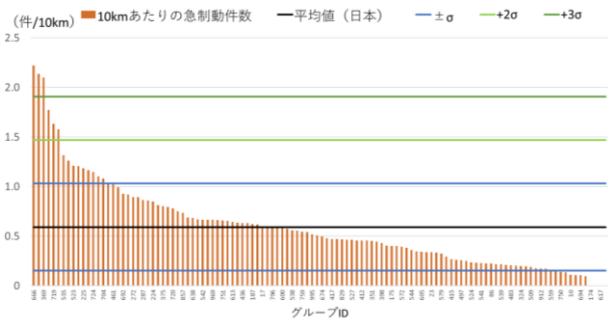


図-2 10km あたりの急制動件数（日本 116 グループ）

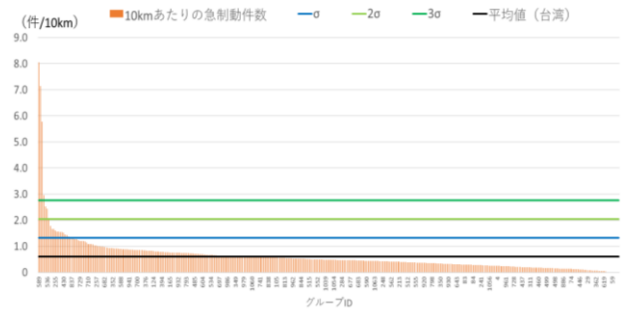


図-3 10km あたりの急制動件数（台湾 355 グループ）

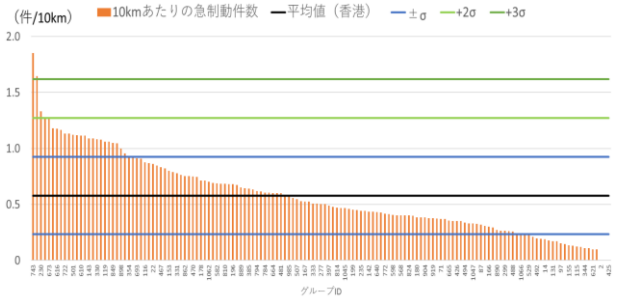


図-4 10km あたりの急制動件数（香港 145 グループ）

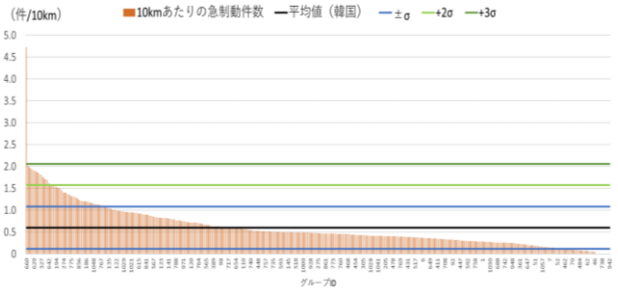


図-5 10km あたりの急制動件数（韓国 316 グループ）

その結果を図-2～5 に示す．これにより，日本の 6 グループ，台湾の 7 グループ，香港の 4 グループ，韓国の 15 グループを除外し，以下の分析を行う．

3. 事故及び急制動箇所の比較

路線区間別事故件数を図-6 に示す．事故件数は国道 58 号浦添市が最も多く，次いで国道 329 号

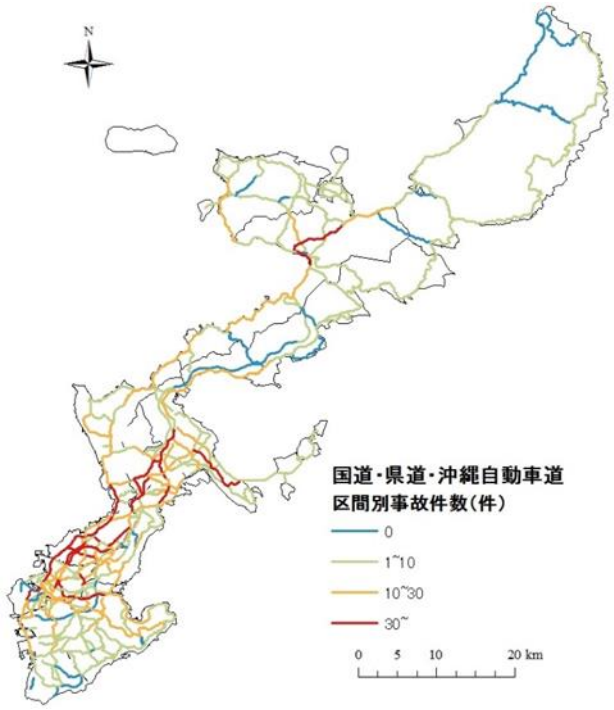


図-6 区間別事故件数 [2)]

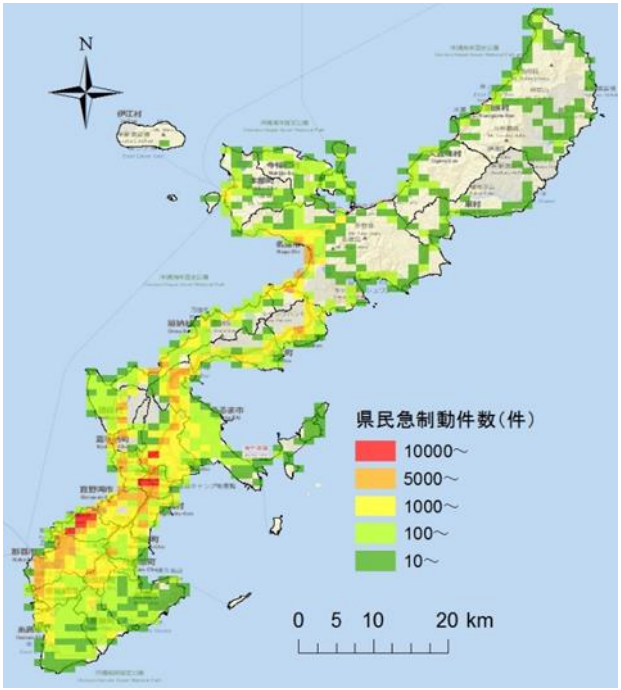


図-7 県民急制動箇所（1km メッシュ）

南風原町，国道 330 号浦添市・宜野湾市となっている．このことから，那覇市への主要幹線道路で事故が多発していることが分かる．

県民の急制動箇所を図-7 に示す．事故と同様に国道 58 号浦添市が最も多くなっているが，これに加え，国道 330 号北中城村においても急制動が多発している．この区間は左右が基地に囲まれており，区間中央にある信号交差点が隅角部に位置している．それにより，上り下り共に約 1km の

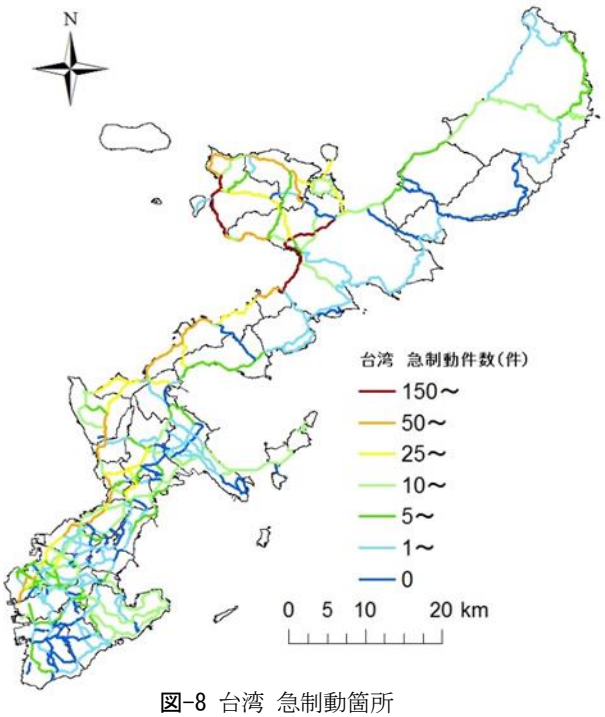


図-8 台湾 急制動箇所

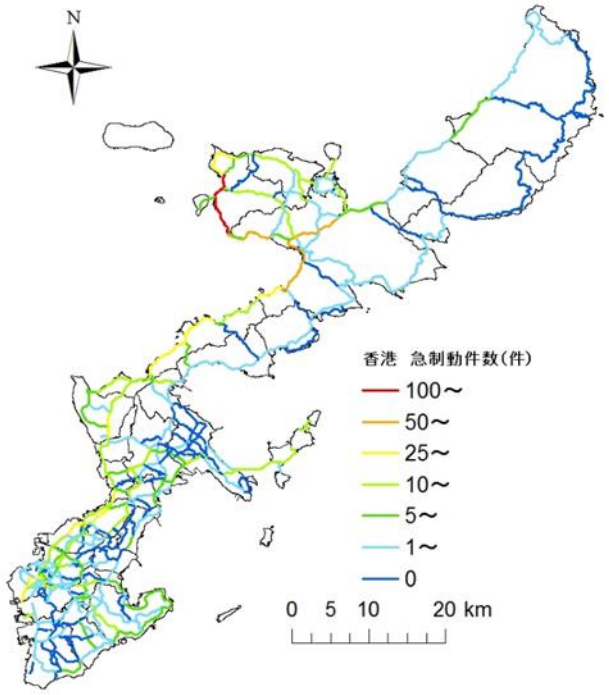


図-9 香港 急制動箇所

区間で沿道の出入り交通や信号交差点が存在しない下り坂であるため，走行速度が高くなりやすい環境にある．その状況下で，突如信号交差点が出現することにより，急制動が多くなっているものと考えられる．

訪日外国人の急制動箇所を図-8～10 に示す．県民同様に国道 58 号那覇市から名護市までの区間において急制動が多く見られるが，他と明らかに異なるのが本部半島である．本部半島には美ら海

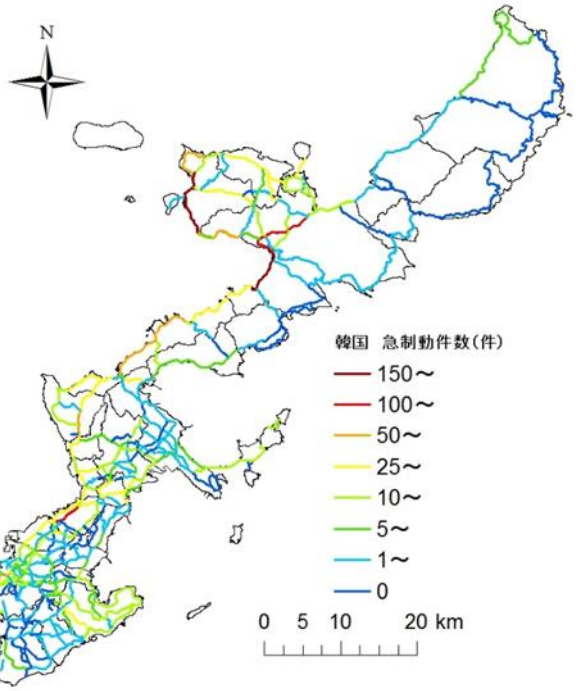


図-10 韓国 急制動箇所

水族館や古宇利島など人気の観光スポットが存在しているが，ここへは公共交通での移動が不便であり，レンタカーでの移動が主な移動手段となっているため，訪日外国人の交通量及び急制動が多くなったものと考えられる．

また，図-10 に示すように，韓国人のみ国道 58 号宜野湾市の区間において，107 件と多くの急制動が発生している．

4. 分析結果と考察

一般に事故件数や急制動件数は交通量の影響を受けると考えられる．このため，事故件数と交通量の関係を図-11 に示す．なお，ここでの交通量は，平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査データ[3]を用いる．これらより交通量の増加に伴い，事故件数が多くなっていることが分かる．標準偏差の 3 倍値より事故件数が上回っている区間を，事故が極めて多い区間とする．この結果，図-12 に示すように，国道 329 号南風原町，国道 330 号北中城村，県道 38 号浦添市，県道 82 号那覇市，県道 251 号浦添市，県道 85 号沖縄市において事故が極めて多い区間となる．

レンタカー利用者の急制動と交通量の関係を，国籍で比較した結果を図-13 に示す．訪日外国人ドライバーに共通して急制動が極めて多い区間

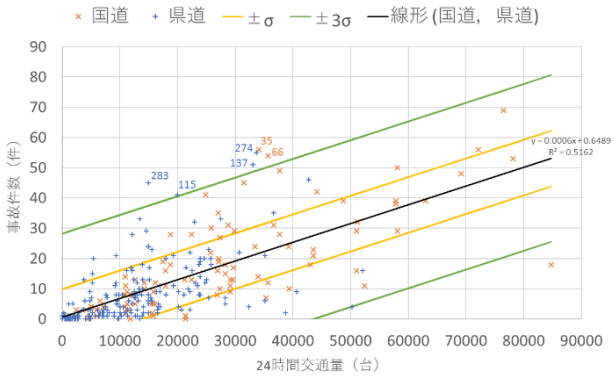


図-11 事故件数と交通量の関係

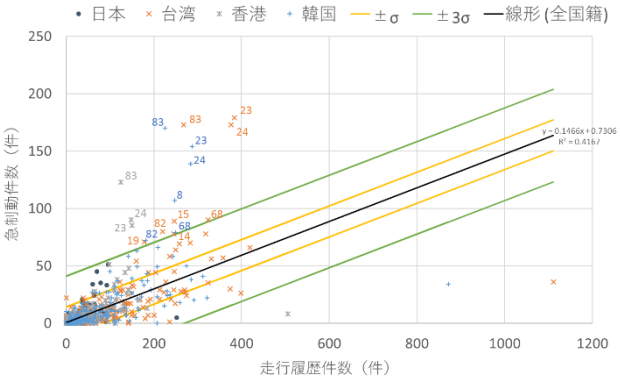


図-13 急制動数と交通量の関係



図-12 事故件数と交通量の位置図

は，国道 58 号・449 号名護市内となり，台湾人及び韓国人は国道 331 号那覇市の区間で急制動が極めて多い．また，台湾人の場合，国道 58 号嘉手納町・読谷村，国道 58 号恩納村，韓国人の場合は国道 58 号宜野湾市となる．

図-11・13 において，±σ内を平均とし，+σを上回っている区間を多い，-σを下回っている区間を少ないとし，今回対象とした 287 区間を整理すると表-2 となる．これにより，急制動の多い区間数が左側通行の国と地域である日本と香港，右側通行の国である台湾と韓国で近似の値となった．

また，路線区間ごとに比較した結果が**表-3** となる．事故件数は平均だが訪日外国人の急制動が多い区間は 18 区間あり，そのうち日本人の急制動も多い区間は 5 区間ある．これらの区間はレンタカー利用者にとって危険な区間であると考えられる．

日本人の急制動が平均以下の区間は 13 区間あり，うち訪日外国人に共通している 2 区間を**図-14** の赤字で示す．この区間は訪日外国人にとって特に危険性の高い区間であると考えられる．

また台湾人及び韓国人の急制動が多い区間が 5 区間あり，**図-14** の緑字で示す．事故件数は少ないにもかかわらず，台湾人・韓国人の急制動が多い区間が 1 つあり，この区間は普段右側通行を行

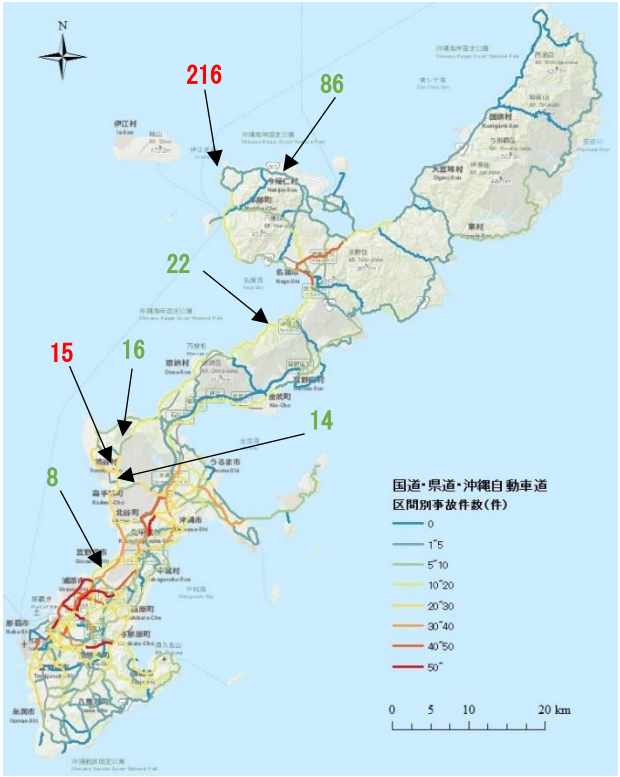


図-14 訪日外国人危険区間

表-2 事故件数とレンタカー急制動の比較

		台湾			香港			韓国			日本		
		多	平均	少	多	平均	少	多	平均	少	多	平均	少
事故	多	3	28	3	2	32	0	4	29	1	2	32	0
	平均	15	214	7	7	227	2	15	214	7	5	231	0
	少	1	15	1	0	16	1	1	14	2	0	17	0
計		19	257	11	9	275	3	20	257	10	7	280	0

表-3 各路線区間の比較

		台湾		香港		韓国		日本
		多	少	多	少	多	少	多
事故	多	7,24,68	56,243,284	24,68	-	7,24,42,68	284	24,68
	平均	8,14,15,18,19,22,23,45,82,83,86,145,183,216,285	13,60,105,143,198,250,270	15,18,19,23,82,83,216	0,60	8,14,15,18,19,21,22,23,82,83,86,135,152,205,216	9,55,60,113,143,199,282	18,19,23,82,83
	少	16	62	-	62	16	62,114	-

※青字はレンタカー利用者共通，赤字は訪日外国人共通，緑字は右側通行国共通

っている台湾人及び韓国人にとって特に危険な区間であると考えられる．

5. 訪日外国人ドライバーにとって危険な区間

4. で示したように，訪日外国人共通の危険区間は 2 区間，台湾人及び韓国人にとって危険だと考えられる区間は 5 区間ある．訪日外国人の危険区間である No.15 国道 58 号嘉手納町境界～読谷村喜名，No.216 県道 114 号本部町浦崎～新里を**図-15・16** に示す．

No.15 の区間は西側に観光地である残波岬があり，信号交差点での右左折が必要である．この区間の法定速度は時速 60km であるため，南向き車両の右折時に対向車の走行速度が高いことから，急制動が多発していると考えられる．

また，No.216 の区間は美ら海水族館に隣接しており，駐車場を探す車や進入時の右左折で急制動が発生していると考えられる．

また，台湾人及び韓国人にとって危険な区間である 4 区間のうち No.8 浦添市境界～宜野湾市大山の区間を**図-17** に示す．この区間は片側 3 車線であり，伊佐交差点という大規模な交差点が存在する．普段右側通行をしている韓国人にとって

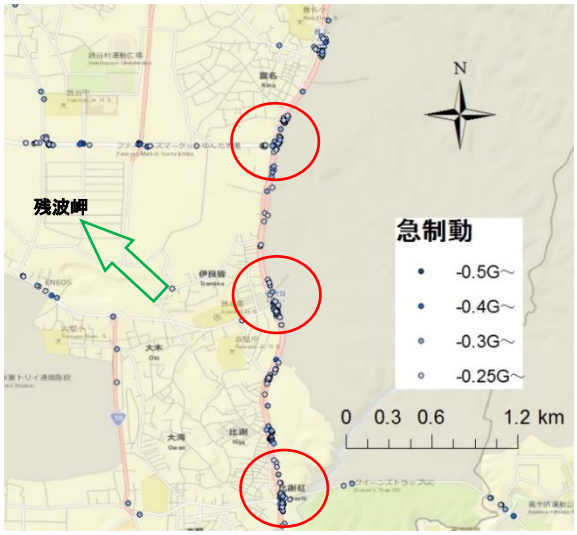


図-15 No.15 伊良皆交差点周辺

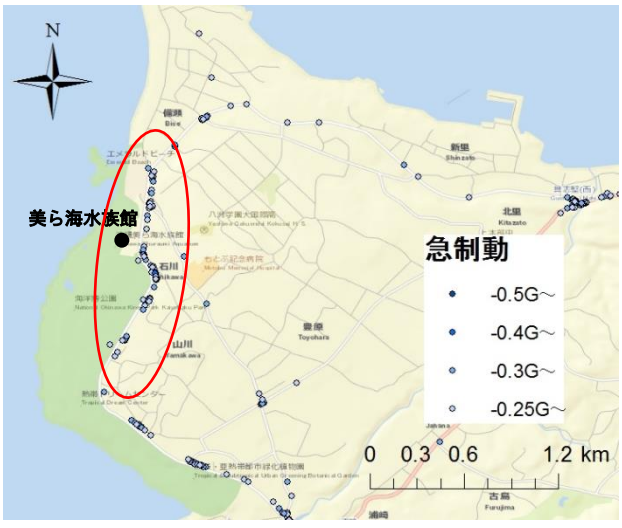


図-16 No.216 美ら海水族館周辺



図-17 No.8 伊佐交差点周辺

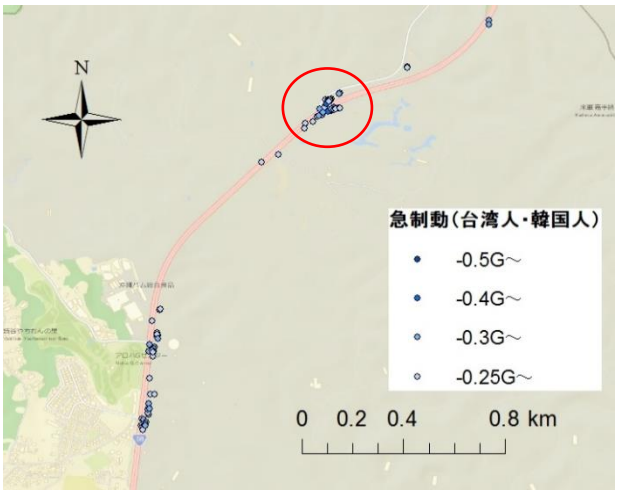


図-18 No.16 親志交差点周辺

は，右折時に対向車を視認しづらいことが要因と考えられる．

また，4.で台湾人及び韓国人にとって特に危険としたNo.16 喜名～恩納村境界の区間を図-18に示す．ここには右折が認識しづらい線形の親志交差点があり，左側通行に慣れていない台湾人・韓国人による急制動が多いと考えられる．

6. おわりに

本研究ではETC2.0一般プローブ，特定プローブ及び事故統計を用いて訪日外国人ドライバーにとって危険な区間を明らかにした．また，国籍の違いから，右側通行の国民にとって危険な区間を特定した．事故ゼロプランなどでは実際に事故が多発してから対応を行うことが多いが，主要観光地へのアクセス道路などにおいても注意が必要であることが示された．

なお，今後の課題として道路交通環境等を考慮した分析や急制動多発地点における対応策の社会実験を行う必要がある．

本研究は地域道路経済戦略研究会沖縄研究会の協力を得た．

参考文献

1) 国土交通省航空局：平成27年度 国際航空旅客動態調査，P.140，2017.
2) 沖縄県警察本部交通部：平成27年版交通白書，pp.33-46，2016.
3) 国土交通省：平成27年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査，2017.

ETC2.0 と Wi-Fi パケットセンサーを用いた周遊観光把握の可能性の検討

琉球大学　○佐藤祐太　神谷大介　田中謙大　中央建設コンサルタント　山中亮
地域未来研究所　菅芳樹　東京工業大学　福田大輔

1. はじめに

沖縄県を訪れる観光客は 950 万人を超え、観光客は今後も増え続けると予測されている。この増加する観光客に効果的な観光施策や集客施策を講じるためには詳細な観光流動実態を知る必要がある。これまでの観光流動調査ではアンケートや対象者に GPS 機器を携帯してもらうことでデータを取得する方法が用いられてきた。しかし、従来の調査手法では調査員及び観光客に対して負担をかけることに加え調査期間が限られていることなどによりサンプル数を十分に取得できないという課題がある。そこで本論では自動的なデータ取得が可能である ETC2.0 車載器搭載レンタカーから得られるデータ及び Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査から得られたデータを組み合わせて活用することで調査地域である沖縄島内の観光流動の実態を把握することが可能であるかを検討する。

2. 調査手法

1) Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査

Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査は携帯情報端末の Wi-Fi 設定が ON になっている際に発するプローブリクエストを受信する機器を設置し、受信した時刻と端末 ID（以下: ユニーク ID）を記録するものである。これを複数施設に設置し、各施設で取得されたユニーク ID の動きを追うことで施設間での周遊把握が可能なデータである。本論では Wi-Fi パケットセンサーを図-1 で示す沖縄島 51 か所に設置し、2017 年 8 月 6 日～9 月 18 日の期間中に行った調査でのデータを用いる。

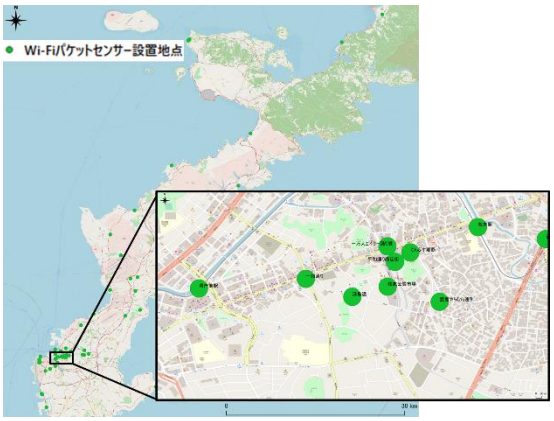


図-1　Wi-Fi パケットセンサー設置地点

期間中に取得できたユニーク ID 数は約 56 万である。この調査で得られたデータの 1 例を紹介及び精度検証も兼ねて沖縄県本部町にある海洋博公園内美ら海水族館入口にパケットセンサーを設置して得たユニーク ID と入館者数との比較結果を図-2 に示す。

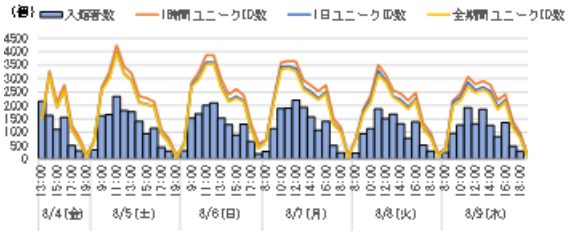


図-2　美ら海水族館入館者数とユニーク ID の比較

これよりユニーク ID のオーダー感が一致し

キーワード　Wi-Fi，ETC2.0，マッチング
連絡先　〒903-0213　西原町千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科
E-mail：e155348@u-ryukyu.ac.jp

ていることが見て取れる。また、拡大係数（入館者数/1 時間ユニーク ID 数）は 0.44、この標準偏差は 0.05 であり安定して取得されていることがわかる。

2）ETC2.0 車載器搭載レンタカープローブデータ

これは ETC2.0 車載器を特定のレンタカーに設置し、当該車両が国道や高速道路に設置されている経路収集装置下を通過した際に緯度経度情報を蓄積する。蓄積されたレンタカーの緯度経度情報を分析することで**図-3 のような**走行経路の把握が可能となる。また、レンタカー貸出前に簡単なアンケートを実施することで国籍や来沖回数などの利用者属性を得ている。

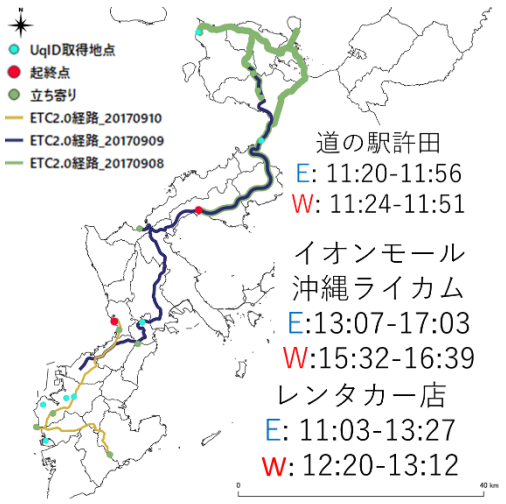


図-3　ETC2.0 走行経路及びユニーク ID 取得地点

3. Wi-Fi と ETC2.0 のデータマッチング

まず本研究で Wi-Fi と ETC2.0 のマッチングを行うにあたり Wi-Fi パケットセンサーを設置した施設に ETC2.0 搭載車が立ち寄ったと判断するための基準を作成した。ETC2.0 での「立ち寄り」の判定は ETC2.0 の位置情報取得が直前の物から 15 分以上離れておりなおかつ距離差が 400m 未満のものとした。そして、Wi-Fi パケットセンサー設置施設の敷地及び関連する駐車場とその境界から 200m 外側の部分に車両が「立ち寄った」場合に当該施設に「立ち寄った」と判定することとした。この判定に則りレンタカー利用者が「立ち寄った」複数の Wi-Fi パケットセンサー設置施設の「立ち寄り」時間内に取得したユニーク ID をマッチングすることで全 92 レンタカー利用者中 19 利用者にて有力とみられるユニーク ID を絞り込めた。マッチング結果の 1 例として韓国人利用者の取得例を図-3 にて地図上での「立ち寄り」と Wi-Fi での取得を示す。この図より ETC2.0 と Wi-Fi データのマッチングに矛盾なく出来ていることが確認された。

4. おわりに

本論では解析を進めやすいように匿名化処理が施されていないレンタカー特定プローブデータを用いてマッチングを行うことで一連の周遊行動をより深く把握できることを示せた。、同様の手法を用いることで匿名化処理が施されている ETC2.0 プローブデータへの適用も可能であると考えられる。匿名化処理が施されているプローブデータと Wi-Fi パケットセンサーを組み合わせて用いることでより安価かつ恒常的なデータ取得により継続的な周遊観光把握が可能であると考えられる。

Session 4：環境・防災

別紙２（論文）

平成２９年度啓開訓練の実施結果について

新城　喜弘[1]・吉田　靖[2]

[1]沖縄総合事務局　南部国道事務所　嘉手納国道出張所長（〒904-0111 沖縄県中頭郡北谷町砂辺 282-1）

[2]沖縄総合事務局　南部国道事務所　嘉手納国道出張所技術係長（〒904-0111 沖縄県中頭郡北谷町砂辺 282-1）

東日本大震災では、三陸地域をはじめ、太平洋沿岸に最大高さ 10m に及ぶ津波が押し寄せ甚大な被害が生じ、道路をはじめ各機関の交通機能が失われ、災害初期における道路啓開の重要性が大きく認識されました。

地震・津波による甚大な被害が想定される沖縄県においても、地震発生後、救援・救護活動、緊急物資の輸送等を迅速に行うことは重要であり、そのためには、被災後の道路の機能の確認、被災した箇所の応急復旧を行い、車両が通行できるよう、道路機能を回復することは道路管理者として重要な役割となっております。

大規模な地震・津波の発生に備え、放置車両、倒壊電柱、瓦礫等の道路啓開時に想定される具体の道路の状況を想定して啓開訓練を実施し、現場対応能力の向上を図ると共に、関係者に実践的な訓練への参加、見学を頂き、道路啓開に必要な各種対応手順の確認及び道路啓開作業がどの様に行われるかについて、理解促進を図ることを目的としています。訓練の内容、実施結果について報告します。

大規模地震、啓開訓練

１．はじめに

道路啓開とは、１車線（約 4.5m）でも緊急車両等が通れるように早急に最低限の瓦礫処理等を行い、簡易な段差修正を行い、救援ルートを開けることをいいます。

大規模災害では応急・緊急復旧を実施し、救援ルートを確保するための啓開が必要である。

大規模地震時には、道路のひび割れ・陥没、斜面の崩落、電柱の倒壊等が起こり、津波が発生し大規模な浸水があった場合には、瓦礫等が道路に体積し、道路機能を損なう恐れがあります。また放置車両や立ち往生となった車両により通行ができなくなる可能性もあります。

災害対策基本法等の一部を改正する法律が施行され、大規模な災害発生時には手続きを経て道路管理者が放置車両・立ち往生車両の移動・撤去を行うことが可能となりました。

救援活動や緊急物資の輸送等を行うためには早急に道路機能を確保する必要があります。現場対応能力の向上及び関係者への理解促進を図ることを目的に道路啓開作業の訓練を実施しました。

２．訓練内容

想定する災害は沖縄本島南東沖地震 3 連動の地震(マグニチュード 9.0、最大震度 6.0 強)としています(図-1)。想定する被害は、国道 58 号読谷村地内に路上車両、電柱等が障害となる状況を想定し、下記の 4 項目について訓練を行いました(図-2)。

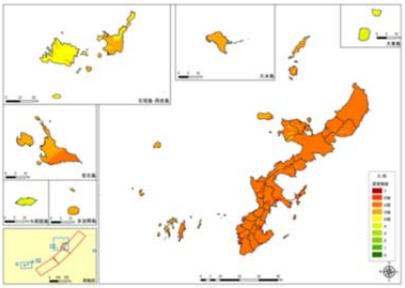


図-1　沖縄本島南東沖地震 3 連動の震度分布図



図-2 訓練場所

(1)災害対策基本法に基づく区間指定、通知、周知訓練

道路啓開時に道路上にある車両等を移動する場合は交安委員会に道路啓開の指定の通知(図-3)、指定箇所を周知する看板を設置する必要がある。訓練では、車両等の移動前の手続きの確認も含め、災害対策基本法第 76 の 6 第 1 項、第 2 項に基づいた「道路管理者による道路区間の指定」(図-3 の②)、「道路管理者による区間指定を表す立て看板の設置」を行いました。



図-3 道路区間指定の要請と通知の流れ（公安委員会への通知）

(2) Ku-sat(写真-1)、公共 BB による現地映像・音声伝達及び k-λ(移動通信システム)による情報伝達訓練

災害対策本部等へ被災状況を伝達し、現場状況の情報共有、対応策検討を行うためにも現地映像を配信することは重要です。訓練では災害対策本部、災害対策支部へ映像、音声を伝達し、応急復旧状況の伝達訓練を行いました。

また被災時には携帯電話等の電波不具合により通話できない可能性が大きいため、被災状況等を災害対策本部へ伝達、また災害対策本部は被災状況の情報収集及び情報提供を行うことは、応急復旧対応を行うためにも迅速に行う必要があります。これらに対応するため k-λ(デジタル陸上移動通信システム)を使用して、災害状況、現場への指示等の情報伝達訓練を行いました。

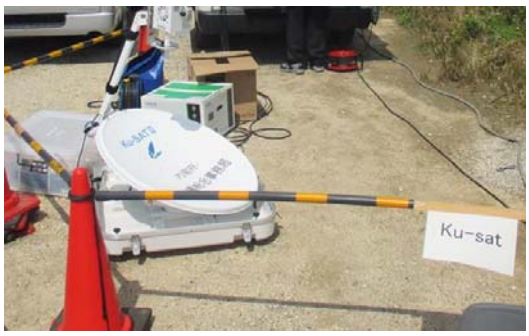


写真-1 Ku-sat

(3) 放置車両の移動訓練

被災時には、車両の通行が困難になり、立ち往生する車両や放置車両が発生する可能性があります。道路啓開を行うには、この放置車両等を移動させることが必要となるため、道路上に放置された車両の移動を行い道路啓開で必要な幅員確保の訓練を行いました(写真-2)。移動はフォークリフトを使用して沖縄建設業協会が車両の移動を行いました。また JAF によるレッカー車を使用しての移動訓練も行いました。



写真-2 通行障害となっている放置車両

(4) 倒壊電柱の移動訓練・道路段差の復旧訓練

地震等により電柱が倒壊し、道路上に横たわり、車両の通行を妨げる可能性があります。その場合、道路啓開で倒壊電柱の移動を行うが、電柱には電力線や通信線が共架されており、電柱を移動する前に通電や通信の断線確認を行う必要があります。これに対し沖縄電力、通信会社に訓練に参加頂き通電等の確認、ケーブル切断の訓練を合わせて行いました。その後、倒壊した電柱を移動し道路啓開に必要な道路幅員を確保する訓練を行いました(写真-3)。また道路に段差ができ車両通行が不能となる場合もあり、段差復旧訓練も行いました。



写真-3 倒壊電柱・車両

３．訓練状況

(1) 災害対策基本法に基づく区間指定、通知、周知訓練

被災状況の報告、災害対策本部による啓開ルートの決定・災害対策基本法等の一部を改正する法律に基づく区間指定、災害対策支部への啓開指示、周知看板の設置等被災状況の確認から通行止め実施までの手続き及び現場作業の訓練を行いました(写真-4)。災害対策本部・支部等沖縄総合事務局間の報告・指示等はk-λを使用して実施しました。



写真-4 通行止め作業訓練状況

(2) Ku-sat、公共BBによる現地映像・音声伝達及びk-λ(移動通信システム)による情報伝達訓練

Ku-sat、公共BBを現場に設置し、被災現場の映像配信訓練を行い、現場から映像を映しながら被災状況の報告、啓開状況の映像を災害対策本部へ配信しました(写真-5)。



写真-5 映像配信訓練状況

(3) 放置車両の移動訓練

道路上にある放置車両を建設業者、JAFにてそれぞれフォークリフト、レッカー車を使用して、道路端等への移動訓練を実施しました(写真-6)(写真-7)。車両の移動前に道路管理者による放置車両の写真撮影、記録表作成、移動通知書の貼り付けを行い作業に取りかかります。



写真-6 フォークリフトでの車両移動訓練状況



写真-7 レッカー車での車両移動訓練状況

(4) 倒壊電柱の移動訓練・道路段差の復旧訓練

今回の訓練では車両の上に倒壊した電柱が載った状態で行いました。建設業者、電力会社、通信会社にて、通電等の確認、ケーブル切断、バックホウを使用して電柱の撤去(写真-8)、車両の移動訓練を実施しました。



写真-8 電柱撤去訓練状況

段差を復旧するために土嚢を作成し、現場に敷き詰めて鉄板を設置して通行可能な状態まで復旧する訓練を実施しました(写真-10)。



写真-10 段差復旧訓練状況

現場での復旧作業の状況は逐次災害対策本部へ報告し、作業状況の情報共有を図りました。

４．まとめ

今回の訓練で、道路啓開に必要な各種対応の手順の確認や関係者への道路啓開作業について、理解促進が図れたと考えます。

今後も継続して訓練を実施し、道路啓開作業の把握、関係者への理解促進を図っていく必要があります。被災時は迅速な情報伝達がとても重要なため、通信伝達機器を訓練時以外でも活用していく必要があると考えます。また訓練内容も適宜変更・見直しを図り、現況にあった訓練を実施し続けることが重要であると考えます。

道路啓開関係者の皆様におかれましては、訓練に参加頂き感謝申し上げるとともに、道路啓開へのご理解と訓練へのご協力を今後もお願い申し上げます。

参考文献

・沖縄県「平成 25 年度 沖縄県地震被害想定調査（概要版）」（平成 26 年 3 月）
・災害対策基本法に基づく車両移動に関する運用の手引き

那覇空港滑走路増設事業における サンゴの移植について

知念　直[1]・江﨑　荘太[1]

[1]沖縄総合事務局　開発建設部　空港整備課（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）

那覇空港滑走路増設事業実施区域では，リーフエッジを中心にサンゴ類が生息しており，これらの環境保全措置の一環として，無性生殖移植法によるサンゴ移植を実施した．本報では，希少性が高く，沖縄本島で生息数が減少しているショウガサンゴの移植およびその後のモニタリング結果を報告する．

キーワード　ショウガサンゴ，希少性，サンゴ移植，無性生殖移植法

1. はじめに

那覇空港滑走路増設事業は，現在の滑走路から 1310m 離れた沖合を埋め立て，延長 2700m の 2 本目の滑走路の整備をするものである．平成 25 年度に新規事業化となり，公有水面埋立等の諸手続を経て，平成 26 年 1 月から工事契約に着手し，平成 32 年 3 月には供用開始を予定している（図-1）．

本事業実施区域では，リーフエッジを中心にサンゴ類が生息しており，これらの環境保全措置の一環として，無性生殖移植法によるサンゴ移植を実施した．

この移植では，改変区域内でサンゴの被度が 10%以上と集中して分布するサンゴ類や，直径１メートル以上の成長に時間を要する大型サンゴ類，希少性の高いサンゴ類として環境監視委員会の委員から指摘のあったショウガサンゴを対象とした．

本報では，希少性の高いサンゴとして移植したショウガサンゴの移植と移植後のモニタリング結果について報告する．

2.　希少サンゴの移植

（1）ショウガサンゴの分布状況の整理

ショウガサンゴ *Stylophora pistillata* は，八重山から土佐清水まで分布し，礁池や礁斜面に生息する固着性の樹枝状群体である（西平ら，1995）．

これまでの調査結果から，事業実施区域におけるショウガサンゴの分布状況は，北側および南側のリーフエッジから礁斜面でみられ，水深 3～5mの岩礁に点在してみられた．これらの確認箇所を中心にショウガサンゴを探索し，採取することとした．

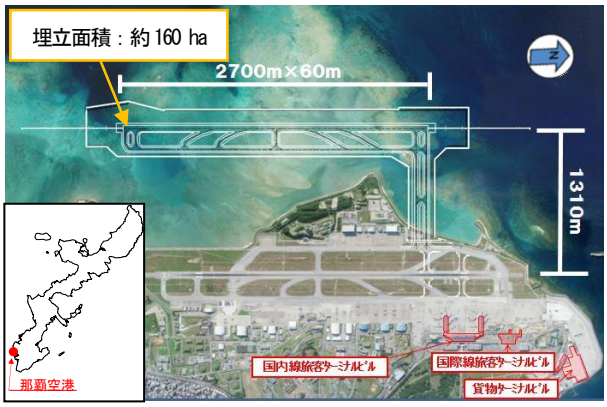


図-1　那覇空港滑走路増設事業概要

（2）移植先の波の上緑地について

波の上緑地は那覇港内にあり，那覇港管理組合からの指定管理者によって管理されている．地域住民や観光客等の多くの人に利用されており，平成 25 年にはダイビング・シュノーケリング専用ビーチが開設され，マリンアクティビティーやビーチパーティーが行える施設も整備された．本移植は，波の上緑地のダイビングエリアで実施した．

当該海域は，護岸に囲まれ波浪の影響が少なく，移植用の裸地が存在し，オニヒトデ等の食害生物が少ない．また，移植対象と同科のサンゴ類が分布しており，比較的多種のサンゴが生息できる環境が整っていることを考慮して当該海域を移植先として選定した（図-2，3）．

（3）ショウガサンゴの移植

ショウガサンゴは，岩盤に固着する小型のサンゴ群体であることから，水中ボンドで固定する移植を行い，基盤

となる岩盤に一つ一つ丁寧に固定した（図-5）.

移植元で確認されたショウガサンゴは 191 群体でこれらすべてを採取し, 波の上緑地に運搬して移植した（図-2, 4, 5）

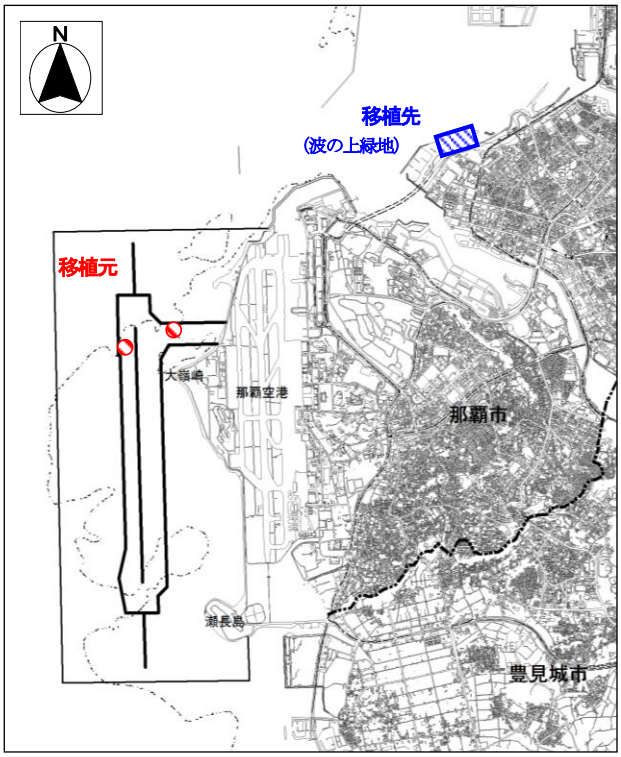


図-2　事業実施区域および移植元, 移植先位置



図-3　ショウガサンゴの移植候補地の概要



図-4　ショウガサンゴの移植先



図-5　サンゴ移植の流れ

3.　移植後のモニタリング結果

（1）サンゴ生残状況

移植されたショウガサンゴは, 移植後 39 ヵ月を経過し, 生残率は 96%であり, 僅かに破損や死亡, 流失した群体は確認されたものの, 台風等による大きな影響はみられなかった. また, 移植サンゴの成長が各地点でみられ, 移植直後と比較して被度が 5%増加していることから（図-6, 7）, 移植サンゴは健全な状態で維持されていると考えられる. 移植 39 ヵ月後のショウガサンゴの約 50%が長径 25cm を越えており, ほぼ本種の最大サイズまで成長していると考えられる（Hoeksema, 2018）.

生物による撹乱として, シロレイシガイダマシ類による食害が散見されており, 群体全部が死亡した群体はなかったものの, 根元部を中心に食害を受けた群体が多くみられた（図-8）. シロレイシガイダマシ類の食害は一時的であり, 駆除後は大きな影響はみられなかった.

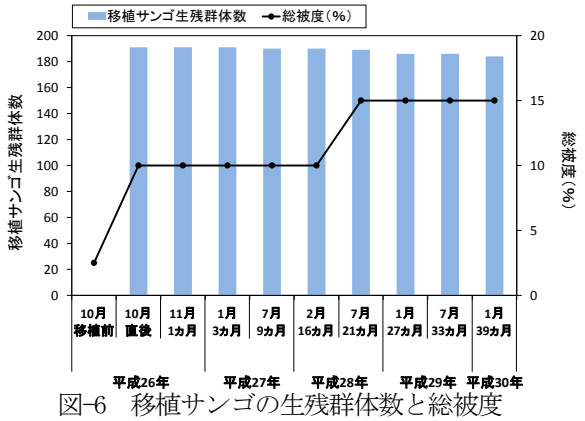


図-6　移植サンゴの生残群体数と総被度

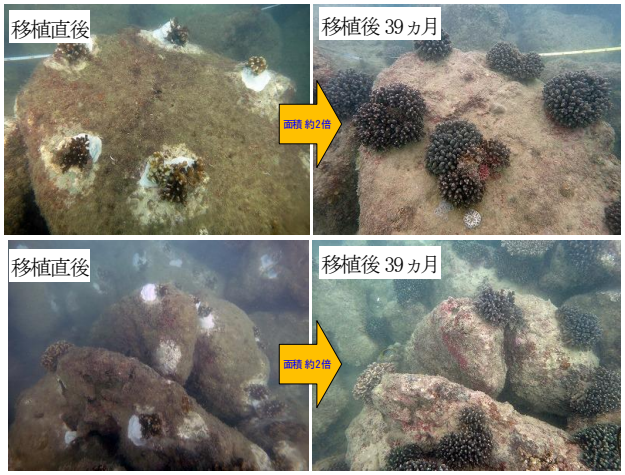


図-7　移植サンゴの成長



図-8　シロレイシガイダマシ類による食害状況（左）と駆除状況（右）（移植 33 ヵ月後　平成 29 年 7 月）

（2）再生産

移植 39 ヵ月後には，ショウガサンゴの稚サンゴが調査枠内で初めて確認された（図-9）．ショウガサンゴはプラヌラ幼生を放出する幼生保育型の繁殖様式であり，放出した幼生は親群体近傍に加入する（野島，2006）．調査枠周辺には，移植したサンゴ以外にショウガサンゴがないことから，確認された稚サンゴは移植したサンゴから供給されたものと考えられる．

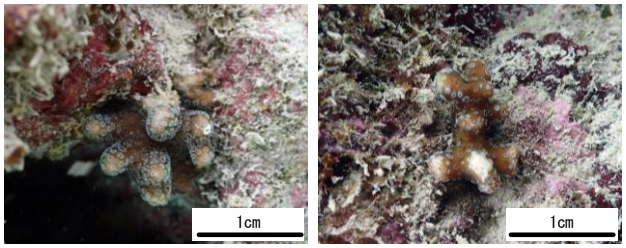


図-9　ショウガサンゴの稚サンゴ確認状況（移植 39 ヵ月後　平成 30 年 1 月）

（3）蝟集生物

移植されたショウガサンゴ周辺では，蝟集する生物が種類数・個体数ともに移植前と比較して増加しており（図-10～12），移植サンゴは魚類や大型底生動物等の新たな生息環境となっていると考えられる．

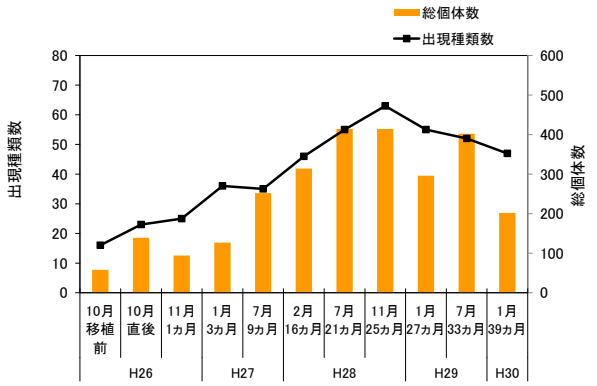


図-10　魚類の出現状況

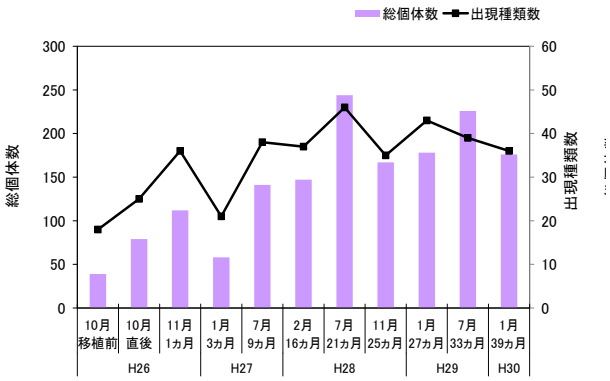


図-11　大型底生動物の出現状況

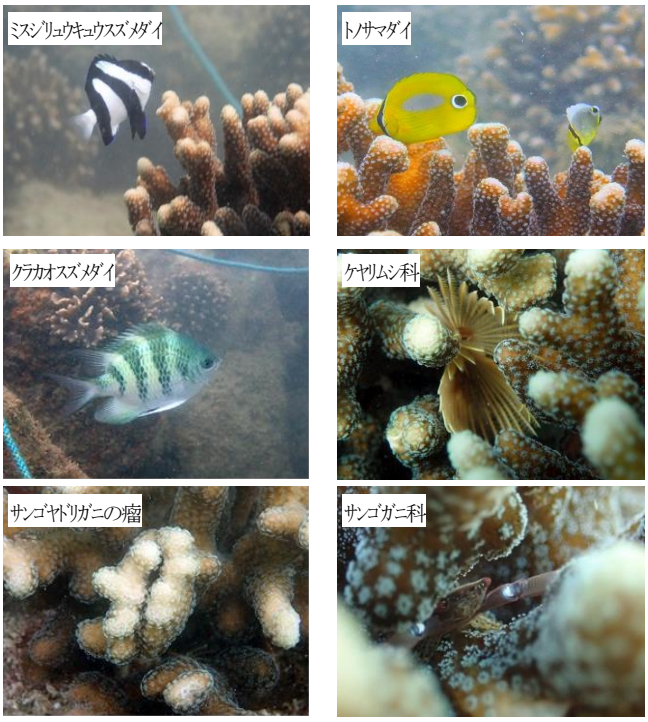


図-12　移植サンゴ周辺で確認された魚類・大型底生動物

表-1　月平均水温と日平均水温が 30℃以上の日数（2016, 2017 年）

調査地点		年	月平均水温				30℃以上の日数				
			6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	計
事業実施区域	北側	2016	26.4	29.1	29.2	28.7	0	0	0	0	0
		2017	26.0	28.0	29.3	29.1	0	2	4	2	8
	南側	2016	27.0	29.5	29.6	28.9	0	2	5	0	7
		2017	26.3	28.5	29.8	29.5	0	3	12	12	27
波の上		2016	26.6	29.4	29.6	28.8	0	4	3	0	7
		2017	26.3	28.4	29.7	29.1	0	1	8	6	15

注）1.水温観測は1回/10分。
2.「日平均水温」は10分毎144回の観測値の平均を、「月平均水温」は日平均水温の月間の平均を示す。
3.水温計は水深3m帯に設置。

（4）平成 28 年・平成 29 年のサンゴの白化現象

平成 28 年, 平成 29 年には, 那覇空港前面海域（前里ら, 2017）や沖縄本島および宮古島, 石垣島等広範囲において白化が報告されているが（環境省, 2018）, 移植されたショウガサンゴにおいては 2 年とも白化は確認されなかった（図-13）. 波の上緑地における水温は, 白化が広範囲で確認された那覇空港前面海域と大きな違いはみられなかった（表-1）. 一方, ショウガサンゴ属は赤土汚染に比較的強いものの, 高水温には弱い種類であることが報告されている（大見謝ら, 2000）. サンゴの白化を引き起こす要因として高水温と強光の複合的作用が知られている（Lesser et al. 1990）. 当海域で透明度が低いことによる強光ストレスの低減等が影響している可能性が考えられる.



図-13　白化状況（左：那覇空港前面海域の天然のミドリイシ属, 右：波の上緑地に移植されたショウガサンゴ）

4. まとめ

波の上緑地に移植されたショウガサンゴは, 移植後に大きな死亡や流失もなく, 群体の成長による被度の増加や再生産, 生物の蝟集効果が確認されていることから, 移植したショウガサンゴは当該海域のサンゴ礁の復元に寄与していると考えられ, 無性生殖移植法による一定の成果を得た.

参考文献

・Hoeksema, B.W., Rogers, A. & Quibilan, M.C. 2014. Stylophora pistillata. The IUCN Red List of Threatened Species 2014. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20141.RLTS.T133685A54306217.en. on 2018-06-21
・Lesser MP, Stochaj WR, Tapley DW, Shick JM ,1990. Bleaching in coral reef anthozoans: effects of irradiance, ultraviolet radiation and temperature, on the activities of protective enzymes against active oxygen. Coral Reefs 8:225-232
・大見謝辰夫・仲宗根一哉・満本裕彰・上原睦男・大城哲, 2000. サンゴの赤土汚染耐性と白化耐性の比較. 沖縄県衛生環境研究所報, 34：69-76.
・環境省, 2018. モニタリングサイト 1000 サンゴ礁調査の平成 29 年度調査結果（速報）について. http://www.env.go.jp/press/105015-print.html
・西平守孝・Veron, J. E. N.,1995. 日本の造座礁サンゴ類. 海遊舎, 東京, 439pp.
・野島哲, 2006. 造礁サンゴの個体群生態. 天草の渚浅海性ベントスの生態学, 菊池泰ニ編, 東海大学出版. 237-271.
・前里尚, 平野年洋, 毛塚大輔, 新宅航平, 中西喜栄, 岡田亘, 岩村俊平, 2017. 那覇空港周辺海域におけるサンゴの白化状況(2016 年), 第 20 回日本サンゴ礁学会講演要旨集：145.

別紙２（論文）

ダム湖内魚類の生息状況に関する簡易モニタリング方法の検討

内里　清一郎[1]・津嘉山　力哉[2]

[1]沖縄総合事務局　開発建設部　河川課　（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）

[2]沖縄総合事務局　開発建設部　河川課　（〒900-0006沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）.

全国の直轄管理ダムでは、ダム湖およびその周辺を生物環境という観点からとらえ、基礎情報を収集整備するために、河川水辺の国勢調査を行い、魚介類、底生動物等の7項目の調査を行っている。水国調査の調査頻度は、水域の生物で1回/5年となっており、間隔が長いこともあって、必ずしも生物相の変動を適切に把握できていない。ダム湖内魚類の生息状況を適切に把握する観点から、水国調査の調査期間を補完する簡易で経済的なモニタリング方法として、環境DNA調査によるモニタリングを検討した。

キーワード　ダム，環境DNA，モニタリング，外来種, 固有種

1.　はじめに

沖縄北部地域は、固有の生態系をもち、固有種も多いことで知られる。このため、平成 28 年にやんばる国立公園が設置され、さらに現在、世界自然遺産登録を目指している状況である。この様な地域に存在する、沖縄の直轄ダムでは、外来生物や重要種のモニタリングは河川水辺の国勢調査により定期的にモニタリングされているが、調査頻度が水域の生物で 1 回/5 年、陸域の生物では 1 回/10 年と間隔が長く、必ずしも生物相の変動を適切に評価できていない。また、流域内に米軍基地があるダムについては、調査立ち入りが日米合同委員会の合議事項となっているため、臨機の調査が実施できない等の状況が続いている（流入河川の地点）。以上のことから、水国調査の調査期間を補完する簡易なモニタリング方法、あるいは立ち入れない場所でのモニタリング方法として環境 DNA 調査によるモニタリングを実施し、外来種の侵入や重要種の状況をよりきめ細かく把握することは、ダムの環境の管理の観点から重要な取り組みと考えられる。

2.　調査内容

(1)環境DNAとは

生物から出る、皮膚・うろこ・粘液・ふん等にはDNAが含まれており、生物が生息する環境から採取するDNAの総称を環境DNAという。ダム湖の環境DNAを調査する事で、生息している生物の種類等を特定する事が出来る。

(2)調査対象

調査対象は、沖縄総合事務局管理の9ダムのうち、外来種の記録の多い６ダム（安波ダム、福地ダム、大保ダム、羽地ダム、漢那ダム、金武ダム）とした。

図１（1）安波ダム調査地点



図１（2）福地ダム調査地点



図１（3）大保ダム調査地点



図１（4）羽地ダム調査地点



図１（5）漢那ダム調査地点



図１（6）金武ダム調査地点



(3)現地調査

各調査地点において、1L 程度の河川水を採取した。地点周辺に、魚類の生息する環境として植生帯や浅場など複数の環境がある場合は、各環境で新品の紙コップを用いて採水、新品のビニールを敷いたバケツで混合し、このうち 1L をサンプルとした。

(4)室内試験

持ち帰った検体は、ろ過及び種の同定に必要な DNA の領域を増幅する作業に障害となる水中の溶存物質の除去を行い、遺伝子断片の配列を解読した。

(5)データ解析

解析により4つの塩基（AGTC）の配列が明らかになった遺伝子断片について、その配列が類似しているもの毎にとりまとめ、魚類ミトコンドリアゲノムデータベースの配列と比較し魚種を同定した。

(6) 調査実施時の状況

a) 調査実施日

調査は平成30年1月24～30日に実施した。

b) 調査実施時の状況

環境DNAの調査時は、どのダムも貯水位が大幅に低下していた。このため、湖岸の環境は土や礫が露出し、植生帯のような場所はみられなかった。また、調査時は安波ダム、大保ダムの調査を実施した26日には時間最大1㎜、日雨量にして1～9㎜の降雨があった。また、羽地ダム漢那ダムの調査を実施した前日の晩に、時間最大7㎜、日雨量20～30㎜のまとまった降雨があった。

(7)調査結果

a) 確認魚種

環境DNA調査により確認された魚種を表1に示す。全部

で54種の魚種が確認された。このうち、各ダムに実際に生息していると考えられるのは36種であった。残りの18種のうち、8種はイワシやカンモンハタなどの水産重要種、ハダカイワシなど肥料に用いられる種であり、これらは家庭排水や道路排水に由来すると考えられた。10種については、オイカワやアグラハヤなど沖縄には生息しない、あるいはミスジチョウチョウウオの様な海水魚がダム湖内において確認されており、現地調査又は室内試験のいずれかの段階で、調査箇所で採種された以外のDNAが混入したものと考えられた。

表１　環境 DNA 調査で検出された魚類

No.	由来（推定）	目	科	学名	和名	重要種	外来種	ダム名 1安波	2福地	3大保	4羽地	5漢那	6金武
1	生息種	ウナギ目	ウナギ科	Anguilla japonica	ニホンウナギ	●	-	○	○	○	○		○
2				Anguilla marmorata	オオウナギ	-	-	●	●	●	●	●	●
3		コイ目	コイ科	Cyprinus carpio	コイ	-	●	●	●	●	●	●	●
4				Carassius sp.	フナ属	●	-	●	●	●	●	●	●
5				Danio rerio	ゼブラダニオ	-	●			●			
6		ドジョウ科		Misgurnus anguillicaudatus	ドジョウ	●	-	●	●				●
7		ナマズ目	ロリカリア科	Pterygoplichthys disjunctivus	マダラロリカリア	-	●						●
8		サケ目	アユ科	Plecoglossus altivelis	アユ	●	●	○	●				
9		カダヤシ目	カダヤシ科	Gambusia affinis	カダヤシ	-	●					●	●
10				Poecilia reticulata	グッピー	-	●				○	○	●
11				Xiphophorus helleri	グリーンソードテール	-	●				●		●
12		ダツ目	メダカ科	Oryzias latipes	ミナミメダカ	●	-						●
13		スズキ目	ユゴイ科	Kuhlia marginata	ユゴイ	-	-	●			●		○
14				Kuhlia rupestris	オオクチユゴイ	-	-		●	●	●	●	●
15			サンフィッシュ科	Lepomis macrochirus macrochirus	ブルーギル	-	●						●
16				Micropterus salmoides	オオクチバス	-	●				●	○	
17			クロサギ科	Gerres filamentosus	イトヒキサギ	-	-						○
18				Gerres shima	シマクロサギ	-	-						○
19			タイ科	Acanthopagrus sivicolus	ミナミクロダイ	-	-						●
20			クロホシマンジュウ	Scatophagus argus	クロホシマンジュウダイ	-	-						●
21			カワスズメ科	Oreochromis niloticus	ナイルティラピア	-	●	●	●	●	●	●	●
22				Oreochromis sp. 'red tilapia'	レッドティラピア	-	●		○	○	○		●
23			ボラ科	Mugil cephalus cephalus	ボラ	-	-		●	●	●	●	●
24				Chelon affinis	セスジボラ	-	-						●
25				Chelon macrolepis	コボラ	-	-					●	●
26			カワアナゴ科	Electris acanthopoma	チチブモドキ	-	-			●			●
27				Electris fusca	テンジクカワアナゴ	-	-	●	●	●	●		●
28			ハゼ科	Periophthalmus argentilineatus	ミナトヒバキ	-	-					●	
29				Sicyopterus japonicus	ボウズハゼ	-	-	●	●		●		
30				Awaous melanocephalus	クロミナミハゼ	-	-		●				
31				Rhinogobius brunneus	クロヨシノボリ	-	-	●	●	●	●	●	●
32				Rhinogobius giurinus	ゴクラクハゼ	-	-	●	●	●		●	●
33				Rhinogobius nagoyae	シマヨシノボリ	-	-		●	○	○		
34				Tridentiger kuroiwae	ナガノゴリ	-	-		●	●		●	
35			ゴクラクギョ科	Macropodus opercularis	タイワンキンギョ	●	●					●	
36		フグ目	フグ科	Chelonodon patoca	オキナフグ	-	-						●
37	排水	ニシン目	ニシン科	Sardinops melanostictus	マイワシ	-	-			●		○	
38		サケ目	サケ科	Oncorhynchus nerka	ベニザケ(ヒメマス)	-	-		●				●
39		スズキ目	ハタ科	Epinephelus merra	カンモンハタ	-	-						●
40			イカナゴ科	Ammodytes personatus	イカナゴ	-	-		●	●			
41			サバ科	Euthynnus affinis	スマ	-	-			○			●
42				Thunnus obesus	メバチ	-	-			●			
43		ハダカイワシ目	ハダカイワシ科	Diaphus chrysorhynchus	サガミハダカ	-	-				●		
44				Diaphus watasei	ハダカイワシ	-	-				●		
45	コンタミ	コイ目	コイ科	Opsariichthys platypus	オイカワ	-	-	○	○		●		
46				Phoxinus lagowskii steindachneri	アブラハヤ	-	-		●	●			
47				Tribolodon hakonensis	ウグイ	-	-		●	●		○	
48				Gnathopogon elongatus elongatus	タモロコ	-	-		○	●			
49		ドジョウ科		Cobitis sp. BIWAE type C	ヒガシシマドジョウ	-	-	●					
50				Nemacheilus toni	フクドジョウ	-	-		●				
51		ナマズ目	ギギ科	Tachysurus tokiensis	ギバチ	●	-			●			
52		カサゴ目	カジカ科	Cottus pollux	カジカ	●	-	●	●	●			
53		スズキ目	チョウチョウウオ科	Chaetodon trifasciatus	ミスジチョウチョウウオ	-	-					●	
-			ボラ科	Mugil cephalus cephalus	ボラ+	-	-						
54			ハゼ科	Rhinogobius sp.OR	旧トウヨシノボリ類	-	-	●	○	○	○		
					種数合計			8	12	16	28	26	18	18	31
					生息種のみ			6	12	12	17	16	16	17	27

3.直近の河川水辺の国勢調査との比較

(1)出現種の比較

平成29年秋から平成30年春にかけて、沖縄北部9ダムの全てで水国調査（魚類調査）が実施されている。このため、平成29年秋に実施された調査結果と環境DNAの結果を比較し、課題の検討を行った。

(2)環境DNAで確認された種、されなかった種

表2にダム別の確認状況を示す。環境DNAで確認できなかった種は、小型のハゼ類及び汽水・海水魚が多かった。逆に、体サイズの大きいオオウナギ、ニホンウナギ、コイなどは水国調査では確認されないが、環境DNAでは確認される場合が見られた。

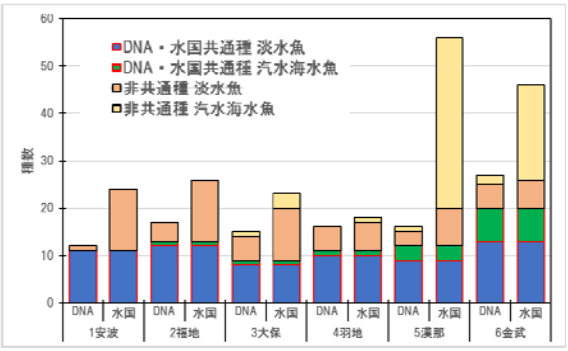
外来種では、環境DNAで確認されなかった種はパールダニオ1種であった。本種はこれまでに、安波ダム、福地ダムの水国調査で確認されているが、環境DNAではどちらのダムでも確認できなかった。また、リュウキュウアユについては、今回はアユもしくは本土産亜種として検出された。

表２　水国調査と環境 DNA 結果の比較（ダム別）

青文字：汽水海水魚

No.	目	科	和名	重要種	外来種	1安波 水国	1安波 DNA	2福地 水国	2福地 DNA	3大保 水国	3大保 DNA	4羽地 水国	4羽地 DNA	5漢那 水国	5漢那 DNA	6金武 水国	6金武 DNA	水国 合計	DNA 合計
1	カライワシ目	イセゴイ科	イセゴイ	-	-							■						◆	
2	ウナギ目	ウナギ科	ニホンウナギ	●	-	1	○			○		○				○		◆	◆
3			オオウナギ	-	-	1	●	6	●	■	●	■	●		●	1	●	◆	◆
4	ニシン目	ニシン科	リュウキュウドロイ	-	-									11				◆	
5	コイ目	コイ科	コイ	-	●	3	●			●	■	●	■	2	●	12	●	◆	◆
6			フナ属	●	-	65	●	38	●		●	■	●		●	73	●	◆	◆
7			パールダニオ	-	●	528		84										◆	
8			ゼブラダニオ	-	●	5		3			●							◆	◆
9		ドジョウ科	ドジョウ	●	-	2	●	6	●							8	●	◆	◆
10	ナマズ目	ロリカリア科	マダラロリカリア	-	●											32	●	◆	◆
11	サケ目	アユ科	アユ	●	●	24	○	589	●									◆	◆
12	カダヤシ目	カダヤシ科	カダヤシ	-	●									1617	●	250	●	◆	◆
13			グッピー	-	●					■		■	○	858	○	107	●	◆	◆
14			グリーンソードテール	-	●					■		■	●			327	●	◆	◆
15	ダツ目	メダカ科	ミナミメダカ	●	-			349						1		232	●	◆	◆
16	ヨウジウオ目	ヨウジウオ科	カワヨウジ	-	-									1				◆	
17			イッセンヨウジ	-	-											1		◆	
18	タウナギ目	タウナギ科	タウナギ(外来由)	●	-							■		7		3		◆	
19	スズキ目	シマイサキ科	コトヒキ	-	-											2		◆	
20		ユゴイ科	ユゴイ	-	-	105	●	41		■			●				○	◆	◆
21			オオクチユゴイ	-	-	40		71	●	■	●	■	●	2	●		●	◆	◆
22		サンフィッシュ科	ブルーギル	-	●											375	●	◆	◆
23			オオクチバス	-	●							■	●	2	○			◆	◆
24		テンジクダイ科	アマミハゼモチ	-	-									84		20		◆	
25		アジ科	ロウニンアジ	-	-											7		◆	
26			カスミアジ	-	-									1				◆	
27			ダンダメアジ	-	-					■						10		◆	
28		ヒイラギ科	セイタカヒイラギ	-	-									1				◆	
29		フエダイ科	ゴマフエダイ	-	-									6		6		◆	
30			ニセクロホシフエダイ	-	-									3				◆	
31			オキフエダイ	-	-									4				◆	
32			クロホシフエダイ	-	-									3				◆	
33		クロサギ科	イトヒキサギ	-	-					■				14			○	◆	◆
34			ミナミクロサギ	-	-											2		◆	
35			シマクロサギ	-	-											17	○	◆	
36		タイ科	ミナミクロダイ	-	-					■				1		13	●	◆	◆
37		ヒメジバリウオ科	ヒメジバリウオ	-	-									11		10		◆	
38		クロホシマンジュウ	クロホシマンジュウダイ	-	-										●	38	●	◆	◆
39		カワスズメ科	ナイルティラピア	-	●		●		●		●		●		●		●		◆
40			レッドティラピア	-	●				○				○				●		◆
-			カワスズメ属	-	●	1784		1588		■		■		190		802		◆	
41		スズメダイ科	リボンスズメダイ	-	-									1				◆	
42			スミツメスズメダイ	-	-									5				◆	
43		ボラ科	ボラ	-	-			10	●	■	●	■	●	1	●	17	●	◆	◆
44			セスジボラ	-	-									1			●	◆	◆
45			コボラ	-	-									1	●	17	●	◆	◆
46		カワアナゴ科	チチブモドキ	-	-						●			17		40	●	◆	◆
47			テンジクカワアナゴ	-	-	6	●	3	●	■	●		●	1		2	●	◆	◆
48			オカハゼ	-	-									13		20		◆	
49		ハゼ科	シャノメハゼ	●	-									1				◆	
50			ホシマダラハゼ	●	-									2		1		◆	
51			ミナミヒバキ	-	-									30	●	92		◆	◆
52			ヒゲワラスボ	●	-									17				◆	
53			ヨロイボウズハゼ	●	-	16		1				■						◆	
54			アカボウズハゼ	●	-	1												◆	
55			ボウズハゼ	-	-	332	●	84	●	■		■	●	1				◆	◆
56			ムリボウズハゼ	●	-	5		5				■						◆	
57			コンテリボウズハゼ	●	-			3										◆	
58			ナンヨウボウズハゼ	-	-	113		51										◆	
59			ミナミヒメミズハゼ	●	-					■								◆	
60			タネハゼ	-	-											2		◆	
61			ミナミサルハゼ	-	-									1				◆	
62			タネカワハゼ	-	-			1										◆	
63			クロヨナミハゼ	-	-	1		13	●	■								◆	◆
64			ミナミハゼ	●	-					■								◆	
65			トトハゼ	-	-									5				◆	
66			スナゴハゼ	-	-									23		95		◆	
67			インコハゼ	-	-									18		6		◆	
68			クモハゼ	-	-									1				◆	
69			ミナミヒバキ	-	-									1		5		◆	
70			ノボリハゼ	-	-									8				◆	
71			ヒナハゼ	-	-					■				16		54		◆	
72			ナミハゼ	-	-									11		9		◆	
73			イズミハゼ	-	-									4		19		◆	
74	スズキ目	ハゼ科	マングローブオマハゼ	●	-									2				◆	
75			ミツボシマハゼ	-	-									48		72		◆	
76			クロヨシノボリ	-	-	270	●	208	●	■	●	■	●	128	●	277	●	◆	◆
77			ゴクラクハゼ	-	-	2835	●	1024	●	■	●			1347	●	849	●	◆	◆
78			シマヨシノボリ	-	-	38		239	●	■	○	■	○					◆	◆
79			アオバラヨシノボリ	●	-			42		■								◆	
80			ヒラヨシノボリ	●	-	17		2										◆	
81			アヤヨシノボリ	-	-	148		524		■		■				3		◆	
82			キバラヨシノボリ	●	-									89				◆	
83			クボタハゼ	-	-									3				◆	
84			ナガノゴリ	-	-	7		1949	●	■	●	■		894	●			◆	◆
85		クロユリハゼ科	サツキハゼ	-	-											3		◆	
86		アイゴ科	ゴマアイゴ	-	-									10		1		◆	
87		ダツ科	オニホソス	-	-									3		14		◆	
88		ゴクラクギョ科	タイワンキンギョ	●	●									33	●	11		◆	◆
89	フグ目	フグ科	オキナフグ	-	-									1		22	●	◆	◆
90			サザナミフグ	-	-									1				◆	
91			スジモヨウフグ	-	-									1				◆	
			種数合計			20	14	24	12	20	17	23	15	18	18	50	16	40	27	60	38

表３　ダム別の出現種比較



(3)調査結果の比較

水国調査と環境 DNA の結果を比較してみたところ、以下のような傾向がみられた。

●環境 DNA 調査は水国調査と比べると、個体数が少なくてもオオウナギのような大型の魚種は確認がしやすく、小型魚種の確認がしにくい。しかし、大保ダムにおけるゼブラダニオの初確認のように、水国調査で確認できなかった小型魚種が確認されることもあり、一概に小型魚種が検出できないわけではない。

●人が入りにくいような、植生がうっそうとした場所では、捕獲効率が下がるため水国調査より環境DNAの方で確認種数が多かった。

(4)作業期間の比較

現地調査にかかる作業時間の比較を表4 に示す。

環境 DNA 調査は、福地ダムを除いて、３名１組で動き、全地点を半日で作業が終了した。水国調査の場合は、水国調査の場合は、1 日あたり 2～3 地点、1 ダムあたり 2～3 日程度が必要であった。

表 4　環境 DNA 調査と水国調査の作業日数の比較

ダム名	環境 DNA 調査	水国調査
安波ダム	5 地点　　半日	5 地点　2 日
福地ダム	11 地点　　1 日	11 地点　4 日
大保ダム 羽地ダム	8 地点　　半日 7 地点　　半日	8 地点　２ダムで 5 日間 8 地点
漢那ダム	6 地点　　半日	6 地点　5 日
金武ダム	8 地点　　半日	3 地点　3 日

(5)コストの比較

コストの比較では、表5に示すとおり、1ダムあたり環境DNA調査費は水国調査費の約1/3の費用となっている。

表5　1ダム当たり概算調査費用（単位：万円）

	直接人件費	直接経費及び間接原価	一般管理費	分析費	合計
水国調査	58	31	48	―	137
環境DNA	5	―	6	33	44

4. 今後の課題

(1)環境DNAによる魚類の外来種モニタリングの課題

水国調査で確認され環境DNAで確認されなかった外来種はパールダニオ1種であった。環境DNAは小型魚種が確認されにくい特徴があり、陸水域が小規模で小型魚種が多い沖縄地方においては大きな課題である。この課題の解決策としては、採水量を増やすことや、魚類の生息場所である植生帯などで採水することが想定されるが、採水量を増やすと、同時にDNAの判定を阻害する植物の腐食物質の量も増やすことになり、注意が必要である。また植生帯については、貯水率が100%に近い梅雨明け時期に調査を実施することも考えられるが、急激に水位を増やした状態では。魚類のDNA濃度が希釈されることにもなり、タイミングを十分計る必要がある。

(2)ゲノムデータベースに登録がない

今回、水国調査で確認されているが環境 DNA で確認されなかったアオバラヨシノボリ、コンテリボウズハゼ、タナゴモドキ等が検出できなかったのは、データベースに登録がないことが第 1 要因と考えられる。このため、個体サンプルから DNA を抽出し、配列を解読する必要がある。又、ゲノムデータベースに登録があったとしても、検出した DNA に種間差がないと検出できない。アオバラヨシノボリ等が含まれるヨシノボリ類について、今回の結果をみると、シマヨシノボリ、クロヨシノボリ、その他ヨシノボリ類が区別できない事例がみられた。

このため、ヨシノボリ類については、種毎に特徴のある部位を探索し、ヨシノボリ類に特化した手法をを開発することが望まれる。

(3)地域個体群と外来個体群の区別

沖縄の場合は、同じ種であっても沖縄在来の系統であるかどうかは保全上重要な問題である。今回の結果では、ギンブナ・ドジョウ・ミナミメダカについては、概ね環境 DNA で検出されてはいるが、地域個体群か外来個体群かを判断が可能かどうかは現段階では研究されていない。

5.まとめ

環境DNA調査は、作業の効率化やコストの面では優れているが、採取箇所以外からのDNA混入による測定ミスやデータベースに登録がなく、魚種の検出が出来ない場合がある。しかし、外来種の検出率は高いので、外来種の侵入には適正な判断が可能。今後、DNAデータベースの登録数が増えていくと水国調査を補完するモニタリング方法になると考えられる。

参考文献

1) Multiplex PCRを用いた琉球列島在来フナと移殖　フナの簡易判別法、水産育種39（高田　他）

2) 沖縄県名護市におけるドジョウとタウナギの高密度生息地とその遺伝的特性、Fauna Ryukyuana（宮本　他）

3) Matsuda,M.,H.Yonekawa, S.Hamaguchi, M.Sakaizumi, 1997. Geographic variation and diversity in the mitochondrial DNA of the Medaka, Orizias latipes, as determined by restriction endonuclease analysis. Zoological Science, 14:517-526.

那覇港における
サンゴ移植モニタリングについて

仲村　進一[1]・富田　和之[1]

[1]内閣府沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所　企画調整課（〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2-6-11）

那覇港において，観光産業を積極的に支援するとともに国際交流拠点の形成に必要な交通アクセスの拡充を図るため，大型旅客船バースが整備された．その際，事業に影響を受けるサンゴを避難させるため，2007 年に移植元近傍の護岸に移植した．全移植サンゴを対象として，移植直後，1 ヶ月後，6 ヶ月後，2 年後～5 年後は 1 回／年の頻度でモニタリングを行い，少なくとも 3 年間程度は移植直後と同等のサンゴ面積が維持されたことから，港奥部でも本移植技術が適用できることが実証された．

その後，2017 年に，移植 10 年後のモニタリングを行うことによって，移植サンゴの生残状況等の得られた成果を報告する．

キーワード :サンゴ移植，移植基盤，モニタリング，港奥部，10 年後

１．背景・目的

「サンゴ移植」は，サンゴの保全・再生技術の一つであり，港湾整備事業等の影響を受けるサンゴを保全（避難）する技術である．沖縄総合事務局では，サンゴ礁と共生する港湾整備を推進しており，1980 年代半ばからサンゴ移植技術の開発を行い，これまでに様々な事業で試験研究を実施してきた．

このような背景のもと，那覇港では，観光産業を積極的に支援するとともに国際交流拠点の形成に必要な交通アクセスの拡充を図るため，大型旅客船バース（岸壁延長 340m，エプロン幅 20m）が整備された．2017 年の那覇港へのクルーズ船の寄港は 224 回となっており、2018 年も寄港数の増加が見込まれている．大型旅客船バースの整備事業の影響を受けるサンゴを避難させるため，2007 年に移植元近傍の護岸に移植した．移植後には，全移植サンゴを対象としてモニタリングを行った．その結果，少なくとも 3 年間程度は移植直後と同等のサンゴ面積が維持されたことから，港奥部でも本移植技術が適用できることが実証された．その後，2017 年に移植 10 年後のモニタリングを行うことによって，種々の知見が得られた．

本稿は，都市部に近い港奥部でのサンゴ移植の取り組み事例および長期間のモニタリングデータが少ないことに鑑み，今後の参考となることを目的として，主要な成果を報告するものである．

２．調査方法

(1) サンゴ移植方法

図-1 にサンゴの移植元と移植先 (那覇港泊ふ頭地区), **表-1** に水質調査結果示す．以下に移植先の主な設定理由を示す．

・移植元に近く (約 800m) 運搬時間も約 0.5h と短いため，移植によるサンゴへのストレスを小さくできる．
・構造物に着生している自然サンゴが少なく，移植サンゴを固定する余地がある．
・表 1 より移植元，移植先の水質環境は同程度であるため，護岸周辺は適切である．



図-1　サンゴの移植元と移植先（那覇港泊ふ頭地区）

表-1　水質調査結果

場所・調査日	移植元 2007.7.24	移植先 2007.7.31
水深 D.L.（m）	-5～-9	-4～-5（護岸法先）
水温（℃）	28.7～29.9	29.2～30.1
塩分（psu）	33.9～34.4	34.2～34.4
透明度（m）	2.2～3.6	3.8～着底

a) 移植対象サンゴ

本移植では，120 群体のサンゴを対象とした．群集性のミドリイシ属やハマサンゴ属については，適宜分割することによって，見掛け上は合計 172 群体となった．

図-2 に移植元での代表的なサンゴを示す．群体性のサンゴは主に岩盤に固着していた．群集性サンゴの多くは，岩盤などに固着せずに海底面上に転在しており，容易に持ち上げられる状態であった．なお，移植サンゴの選定においては，移植先の環境への適応性を考慮して，移植先にも見られる種類としたこと，環境保全の視点によりできるだけ移植元のサンゴの種類を多く選定した．

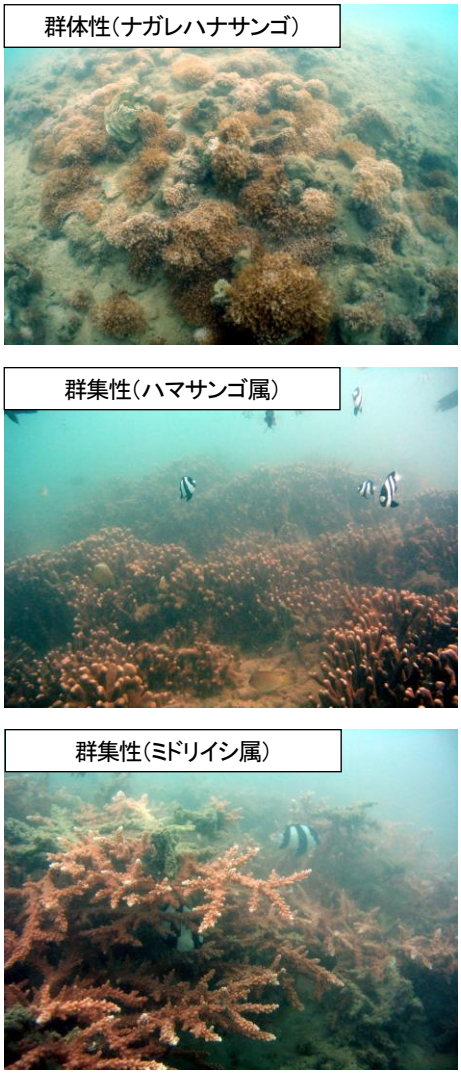


図-2　移植元の代表的なサンゴ

b) 採取・運搬・固定

既往技術の知見を踏まえ，移植サンゴを採取・運搬・固定した（図-3）．

群体性サンゴは，水中ボンド法により護岸のブロック(以下，護岸) に固定した．さらに，海底面上に分布する枝状の群集性サンゴを移植する新技術として，移植基盤（B 1.5m×L 3.0m×H 0.15m／1 基）を開発し，護岸沖の海底面に 3 基敷設した．この基盤は，浮泥の堆積や再懸濁によるサンゴへの影響を低減するため，鋼製・亜鉛メッキのワイヤーメッシュをブロックで嵩上げしたものである．対象サンゴの自然分布様式と同様に，サンゴを基盤に固定せずに敷き並べ，サンゴの成長に伴い基盤に付着・安定することを期待した．なお，モニタリングの都合上，基盤上の 0.5×0.5m の範囲を 1 群体と見なした．

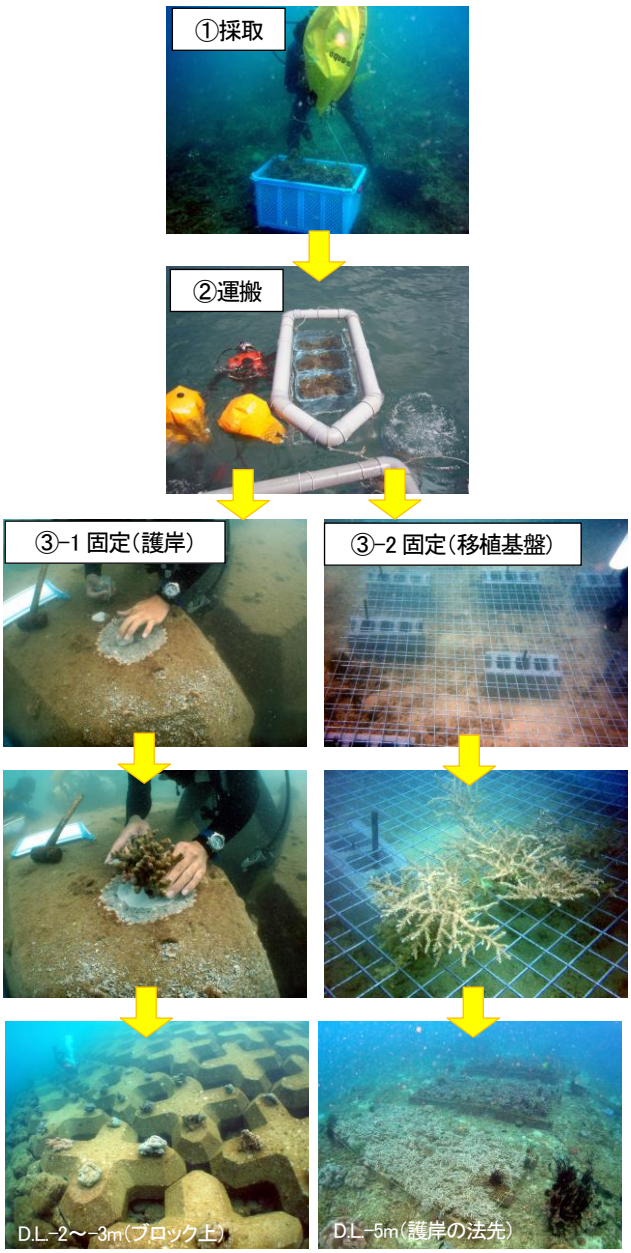


図-3　サンゴの採取運搬・固定の状況

(2) モニタリング方法

表-2 にモニタリング方法および内容を示す．本調査では，沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き（沖縄総合事務局，2009）に基づいて，モニタリングを行った．

表-2　モニタリング方法および内容

方法	内容
対象	群体性サンゴ 142 群体，群集性サンゴ 30 群体
頻度	直後，1，6 ヵ月後，5 年目までは 1 回/年，10 年後
項目	水中写真，生存・死亡状況，生存部分の活性状況，浮泥の堆積状況，造礁サンゴ（種類数,群体毎の長径・短径・高さの計測），サンゴ捕食生物の状況（オニヒトデやレイシガイダマシ類など），海藻類の繁茂状況，水温の連続観測，特記事項（台風被害等）

3．モニタリング結果

図-4 に移植サンゴの群体数，生残率の経年変化，**図-5** に護岸ブロックに移植したサンゴ(10～30cm サイズ)の面積変化を示す．また，**図-6** に移植基盤に移植した群集性 (ハマサンゴ属) の高さの変化量を示す．

図-4 より，3 年後までは 75%以上の生残率であったものの，4 年後には 35%程度まで低下した。その後は概ね横ばいであり，10 年後には 25%程度であった．

群体性では，　1～3 年後に釣り糸の絡みや錘の衝突などの影響で破損・消失したサンゴが散見された．4 年後には，2011 年に沖縄地方で停滞した台風に伴う波浪等の影響で消失したサンゴが目立った．10 年後の生残サンゴの種類は，キクメイシ科，リュウモンサンゴ属，シコロサンゴ属，ハマサンゴ属 (塊状，被覆状)，ハナガササンゴ属であった．群集性 (ハマサンゴ属) を個別の群体に分割して 53 群体移植したハマサンゴ属の生残は無かった．

群集性 (ミドリイシ属) は，2 年後以降にオニヒトデの捕食で死滅した．群集性 (ハマサンゴ属) は，部分死亡部はあるものの 10 年間 100%の生残率であった．

図-5 より，護岸ブロックに移植したサンゴ(10～30cm サイズ)の面積は，3 年後まで概ね横ばいであった．しかし，台風の影響で脱落・死亡が多数発生し，4 年後に急減して当初の 4 分の 1 程度まで低下した．その後、台風の影響を受けたものの，10 年後まで横ばいとなっている．10 年後は，ハマサンゴ属（塊状），シコロサンゴ属，ハナガサンゴ属，キクメイシ科が面積の大半を占めている．

また，サンゴの成長量の指標の一つである高さは，移植基盤に移植した群集性 (ハマサンゴ属)において，**図-6** より 10 年間で平均 10cm 程度増加し，**図-7** のように魚類等の生息場となっている．

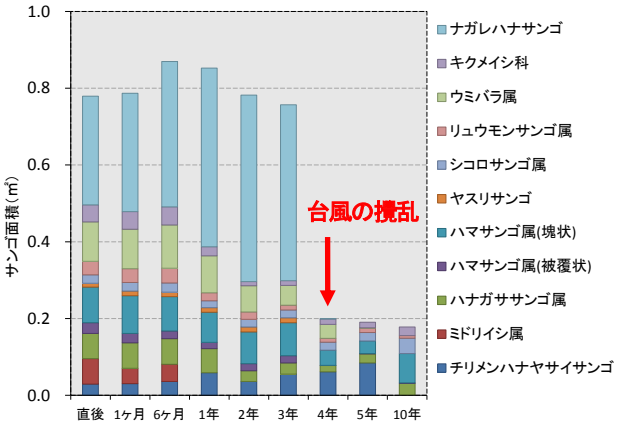


図-5　護岸ブロックに移植したサンゴ（10～30cm サイズ）の面積変化

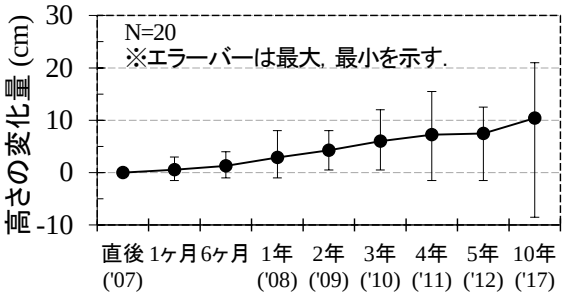


図-6　群集性（ハマサンゴ属）の高さの変化量（移植基盤）

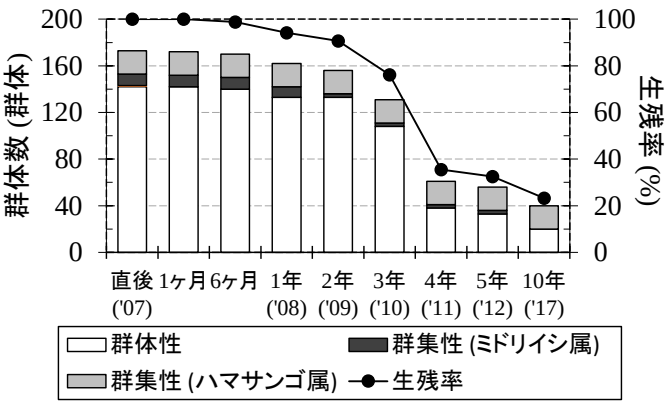


図-4　群体数，生残率の経年変化

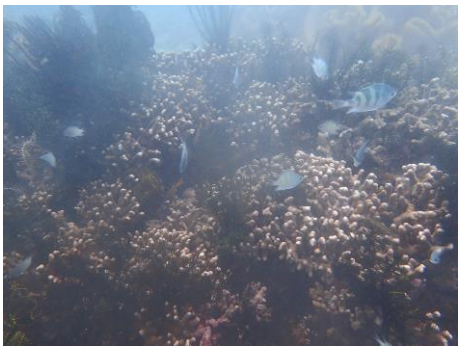


図-7　群集性（ハマサンゴ属）の状況（10 年後）

４．考察

(1) 移植場所や方法の違いによる生残率の差

群集性 (ハマサンゴ属) を個別の群体に分割して護岸に移植した群体性のハマサンゴ属の生残率は 0%であった．これに対して，移植基盤を用いて護岸の沖に移植した群集性 (ハマサンゴ属) の生残率は 100%であった．**図-6** で示したとおり，サンゴの成長量の指標の一つである高さは，10 年間で平均 10cm 程度増加し，**図-7** のように魚類等の生息場として機能していると考えられた．護岸に移植した群体性サンゴの生残率が低い理由としては，護岸では釣りの影響を受けやすかったこと，砕波帯のため台風による物理的攪乱を受けやすかったことが考えられた．移植基盤の敷設場所は護岸から沖に十数 m 離れており，護岸に比べて釣り糸の絡まった群体は少なかった．また，サンゴは隣どうしの群体と絡み合うように成長・安定したため，外力の影響を受けにくかったと考えられた．一方，護岸であっても，塊状のサンゴはほとんど破損・消失しておらず，枝状のサンゴに比べて外力の影響が小さかったと考えられた．したがって，護岸では塊状サンゴを中心に移植すれば，長期間高い生残率が保たれると考えられる．水中景観上等の配慮から護岸に塊状サンゴ以外を移植する場合には，移植サンゴの情報を看板等で周知して関係者に協力を得るとともに，固定方法も強化することが重要である．

(2) 移植基盤の有用性

図-4 に示したように，群集性 (ミドリイシ属) はオニヒトデに捕食されて死滅した．しかし，10 年後の調査では，波浪等によって移植床上からサンゴの残骸が消滅して裸地となった箇所に**図-8** のようなハナヤサイサンゴ等の自然加入が確認された．一般に港奥部では，サンゴの成育を妨げる浮泥の影響が懸念されるため，サンゴの成育に不利な場合が多い．これに対して，移植基盤のワイヤーメッシュには浮泥が堆積しにくいため，サンゴの加入と成育を助長することができると考えられる．なお，移植基盤に目立った腐食は見られず，鋼製・亜鉛メッキのワイヤーメッシュが 10 年間は海中で維持されることも分かった．

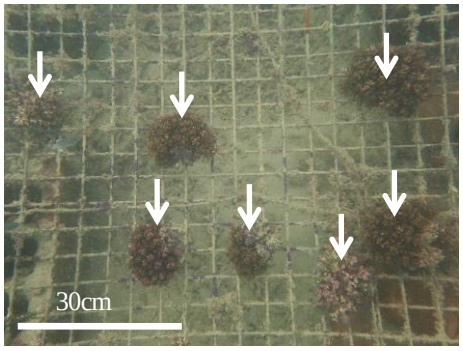


図-8　移植基盤に加入した天然サンゴ（10 年後）

５．まとめ

長期間サンゴ移植のモニタリングを行った結果を公開した文献はほとんど見当たらない．したがって，本業務によって 10 年後に 25%程度の生残率が確認されたことや生残したサンゴの種類が把握できたことなどは大きな成果であるとともに，今後の移植関連の研究等において有用な参考事例になると期待される．

また，鋼製・亜鉛メッキのワイヤーメッシュをブロックで嵩上げした移植基盤は，サンゴの加入と成育を助長することができると考えられ，10 年間は海中で維持されたため，港奥部など内湾域でのサンゴ移植の取り組みの参考になると期待される．

一方で，サンゴ移植技術は未だ確立されたとは言い難く，現状では各地で実験的な取り組みが行われているところである．本業務の成果が，他の取組みの参考になれば幸いである．

参考文献

1) 與那嶺和史・林桂克・岩村俊平（2012）：港湾奥部におけるサンゴ移植の取り組み, 日本サンゴ礁学会第 15 回大会講演要旨集，p.73.
2) 沖縄総合事務局開発建設部：サンゴ群体の移植・移築技術を利用した港湾整備におけるサンゴ礁との共生指針, 13p, 2010.
3) 沖縄総合事務局開発建設部：沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き，143p，2007.

中城湾港泡瀬地区における環境保全対策について

中部土木事務所　中城湾港建設現場事務所　　○技　　師　竹市　浩二
主任技師　安里　隆行

１．はじめに

沖縄市泡瀬地区に在る泡瀬干潟は、希少な生物が数多く生息し、沖縄の多種多様な生態系を支える上で非常に重要な地域となっている。我々は、この地域において地域振興や発展のため、港湾施設整備事業を進めているが、この重要な干潟に隣接して工事を実施するため、最大限に環境に配慮し、これまでにない環境保全対策を実施している。

本稿では、我々が独自に検討し、実施してきた環境保全対策について報告する。

２．事業概要及び周辺環境

中城湾港泡瀬地区は、東部海浜開発事業としてスポーツコンベンション拠点の形成を図るものとし、国及び県が港湾施設整備を進めている。そのうち、沖縄県の事業として、人工島南側の人工海浜及び南東側の海浜緑地、並びに人工島へのアクセス橋梁の整備工事を実施している（図１）。

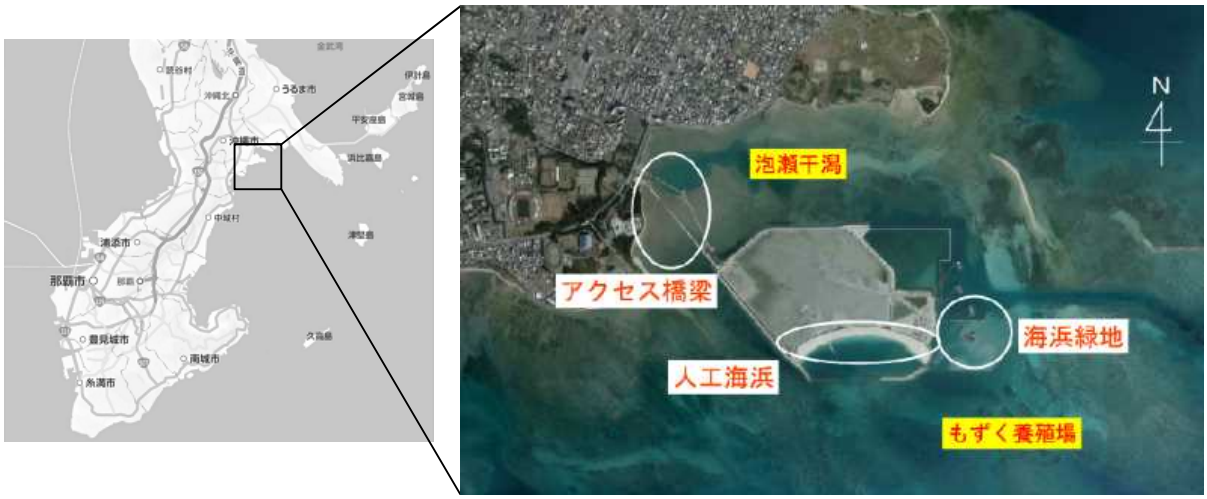


図１　事業箇所及び周辺環境

人工島の北側に隣接する泡瀬干潟には、トカゲハゼ、クビレミドロ、アワセイソタナグモといった複数の絶滅危惧種が生息しており、平成７年に県は「トカゲハゼ保全計画」を策定し、トカゲハゼの個体数減少への対策を講じている。その対策の１つとして、トカゲハゼの稚魚の接岸・着底期である４～７月は海域での作業を行わないこととしている。

また、泡瀬地区全体の環境保全を図るため、平成１５年より「中城湾港泡瀬地区環境監視委員会（以下、環境監視委員会という）」が設置されており、事業が及ぼす環境

キーワード　　人工島、環境保全、海水濁度、汚濁防止膜、浮泥処理
連絡先　〒904-2162　沖縄市海邦町 3-45　　E-mail：takeicko@pref.okinawa.lg.jp

影響について評価を行うとともに、異常な状態が発生した際には、原因究明及び所要の措置・対策について検討を行い、事業者である国及び県に対して指導及び助言を行っている。その中で、当該海域に生息する水生生物への影響を抑えるため、海水の濁り監視基準値を一般部ではＳＳ換算値＝11.0mg/L 以下、クビレミドロ生息域では7.0mg/L 以下という厳しい数値基準が課せられている。

さらに、人工島の南東沖にモズクの養殖場が在り、その生育の阻害要因として海水汚濁が挙げられることから、工事から発生する濁りに対し、漁業者からも厳しい目が向けられている。

３．これまでの環境保全対策

３．１ 自立型汚濁防止膜の採用

海浜緑地整備箇所は､沖合約 1.5km に位置しており、地形的な条件等から潮流が速い。そのため垂下型の汚濁防止膜ではアンカー部のチェーンが潮流に耐えきれずに煽られ、濁水が流出する恐れがあることから、アンカー部にH形鋼を配置した自立型の汚濁防止膜を採用している（図２）。

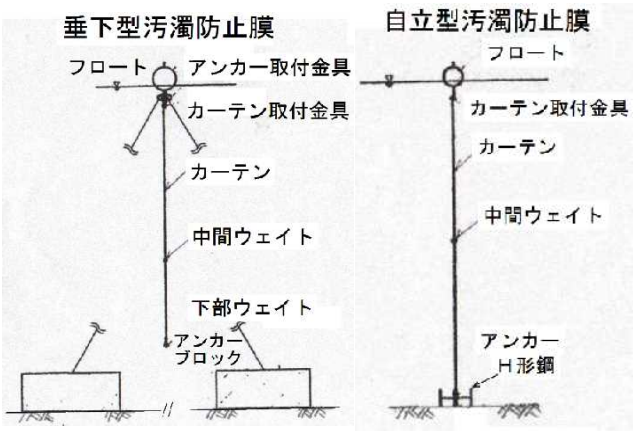


図２　汚濁防止膜の構造

３．２ 高分子マイクロフィルター濾過装置の採用

一般的な凝集剤を用いる濁水処理機では、薬剤の添加量管理が課題であり、処理不足による濁水流出や、過剰添加による薬剤流出等が懸念される。

そこで、当現場では凝集剤を使用せず、高分子マイクロフィルターによる物理的な濾過方式により濁水処理を行っており、その効果として、下部工床堀り時ＳＳ換算値約 160.0～330.0 mg/L の濁水を、1.0～3.0 mg/L 程度まで低減し、放流することが可能である。

３．３ 工事前の生物の移動及び環境の復元

全ての工事の着手直前に環境調査業務にて貴重生物の調査及び生息適地への移動を行っている。また、橋梁下部工においては、仮締切後から床堀りの着手前までに、施工箇所の生物を回収し施工範囲外へ移動させ（写真１）、さらに、表土 15cm を剥ぎ取り大型土のうに一時保存・仮置きを行い、埋戻しの際に表土を戻すことで、生物生息環境の復元に努めている（写真２）。



写真１　生物回収状況



写真２　表土一時保存状況

４ 新たな問題

４．１ 汚濁防止膜撤去時の濁り拡散

これまで海浜緑地整備箇所では、自立型汚濁防止膜を使用することにより十分な濁水流出防止効果を上げてきた。しかしながら、近隣の沖縄市漁業協同組（以下、漁組という）より、汚濁防止膜内に沈降した浮泥のことを指摘され、また、過去に汚濁防止膜撤去後にその浮泥が近海に拡散し、モズク養殖へ影響が出ることがあったため、モズクの生育が安定する７月頃まで汚濁防止膜を存置し続けてほしいとの要請があった。

しかしながら、前述のように４～７月は海上作業を行えず、汚濁防止膜の管理が出来ないため、汚濁防止膜の存置は不可能である。そのため、モズク養殖場に影響を与えないよう、別途対策を行う必要が生じた。

４．２ 原因不明の濁度超過と工事中止

平成２８年度の８月､海上作業が解禁となり､各工事が一斉に現場着手したところ、海域の複数の監視基準地点において濁度超過が確認された。このため、環境監視委員会の定めた監視フローに基づき、工事を即時に中止することとなった。その後、数日経過しても濁りは収まらず、工事再開の目処が立たない状況が続いたため、国及び県は追加の環境調査や分析を進め原因究明を試みた。しかし、その要因を特定するに至らず、工事再開が出来ない状態となった。

５ 解決策の検討及び実施

５．１ 汚濁防止膜内の浮泥処理

５．１．１ 水中ポンプによる浮泥除去

調査により不陸対策シート上（幅約２．５ｍ）に沈降した浮泥の堆積が確認され、これを除去するため、水中ポンプにて吸い上げる手法を検討した（図３）。さらに、その揚水を濁水処理機によって濾過し、浮泥と海水を分離する計画を立て実施に移

した。

実施状況は、期待していた効果が概ね得られ､所定の範囲における浮泥の処理は完了し、漁組からも同意を得た上で汚濁防止膜の撤去を行うことができた。

このことを踏まえ、今後も漁組から同様の要望があることが想定されることから、更なる対策を検討することとした。

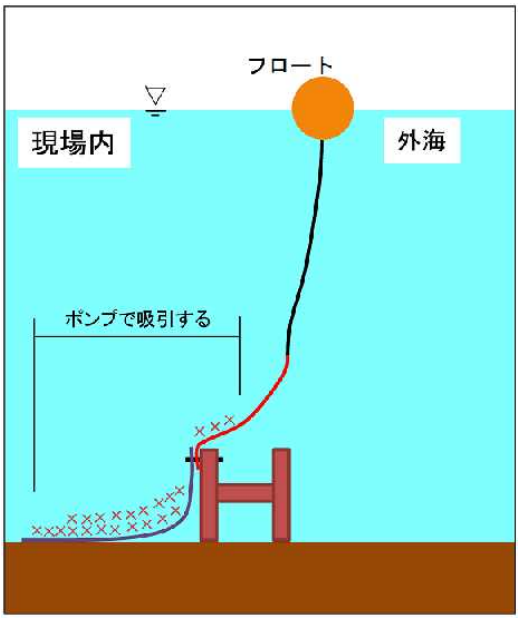


図３　浮泥処理イメージ

５．１．２ 浚渫工事におけるサブマリンクリーナー工法の採用

平成２９年度に浚渫工事を発注する際に、計画段階から濁りの発生が少ない浚渫工法を検討した。当該工事は現地盤の浚渫ではなく、サンドコンパクションパイル施工後の盛り上がり土を掘削する、所謂２次浚渫であったため、揚土される土質は主に砂であると想定され、吸引式の掘削方法の適用が可能かどうか模索した。そこで採用したのが､サブマリンクリーナー工法であった（図４）。

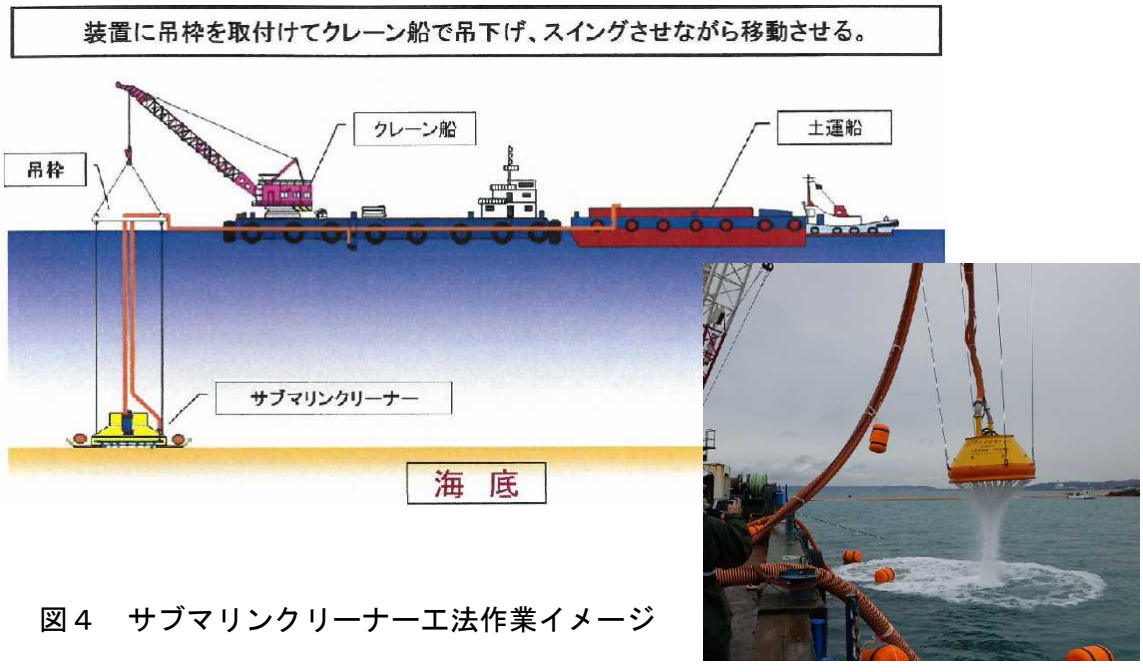


図４　サブマリンクリーナー工法作業イメージ

原理としては、密閉した空間内にてジェットで堆積物を舞い上がらせつつ中央に集め、ポンプで吸い上げるものである。

５．１．３ 効果

当該工事の掘削中の膜内における SS の平均値は 3.4mg/L で、これに対し過年度浚渫工事は 6.0mg/L であった。SS＝7.0mg/L の基準を満足しなければならない当現場においては大きな効果があったと考えられる（データ省略)。

５．２ 原因不明の濁度超過への対策

５．２．１ 課題の整理

工事を再開するために、以下のように課題を整理した。

ア） 汚濁防止膜の効果を定量的に証明する。

イ）汚濁防止膜外に濁りが流出した場合でも、自然発生的な濁りと工事による濁りを別々に管理する手法を確立する。

５．２．２ 汚濁防止膜２重展張の効果再検証

ア）を証明するため、当現場にて試験施工を実施した。工事再開の承認が得られない中、試験施工を行うに当たり、念のために汚濁防止膜を２重に展張し試験を実施することとした。試験は、膜内を強制的に濁らせ、監視地点①、②、③（以下それぞれ、膜内、中間層、膜外という）の濁度の推移を観測した（図５)。

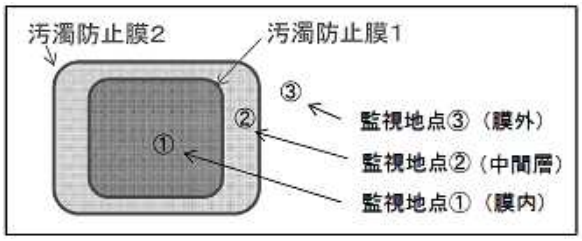


図５ 汚濁防止膜２重展張時の濁度監視

結果として、試験開始直後では、膜内で濁度 530 度を記録し、２時間経過後は濁度 214 度となった。膜内からどれほどの濁りが流出したか確認するため、中間層で濁度を測定し、その結果は、最大で濁度 4.2 度という低い値であったため、汚濁防止膜の効果が確認できた（表１)。

表１ 試験施工結果

調査日：平成28年8月16日			試験施工箇所：P-15															備考
時間	全水深(m)	項目	地点															
			膜外			膜中間			施工箇所			膜中間			膜外			
6:00	1.5	測定水深(m)	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	
		濁度(度)	－	2.8	2.5	－	2.8	2.8	－	3.3	3.4	－	3.1	3.6	－	3.0	3.2	
7:00	1.4	測定水深(m)	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	中層	0.5	1.0m	
		濁度(度)	－	2.6	2.5	－	2.9	2.9	－	3.3	3.5	－	2.8	2.8	－	2.5	2.6	
8:00	1.0	測定水深(m)	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	試験施工開始
		濁度(度)	－	4.5	4.9	－	3.0	3.0	530	530	－	－	2.7	2.7	－	4.2	4.1	H鋼杭打込
9:00	0.7	測定水深(m)	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	
		濁度(度)	8.5	－	－	3.3	－	－	112.2	－	－	4.2	－	－	5.7	－	－	
10:00	0.5	測定水深(m)	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	中層	0.5	底上0.2m	
		濁度(度)	8.8	－	－	3.8	－	－	214.0	－	－	4.0	－	－	6.6	－	－	

さらに、この試験結果で着目した点は、中間層の値が膜外よりも低い値を示していたことであり、これは膜内からの濁りだけでなく、膜外からの濁りの影響を遮断できるということではないかと推察した。つまり、常に濁度の高い状態の海水と、工事の濁りを分けることができ、工事箇所からの濁りの流出をより正確に測定でき

る手法として応用できると考えた。

５．２．３　新たな濁度管理手法の確立

イ）の課題を解決するため、汚濁防止膜は２重展張とし、これを実施に移すため、独自の濁度監視対応フローを策定した（図６）。これに基づき監視を行うことにより、工事から濁りが流出していないことを客観的に示すことが可能になるだけでなく、濁り流出の早期発見が可能となった。

６．まとめ

今回実施したサブマリンクリーナー工法による浚渫工事においては、工事の目的と環境保全対策が同時に達成され、モズク養殖場への影響を防ぐことができた。また、汚濁防止膜２重展張により、濁りの流出を防ぐとともに、管理フローに基づき管理を行うことで工事請負業者の環境保全に対する意識向上も図られ、２次的な効果が得られた。

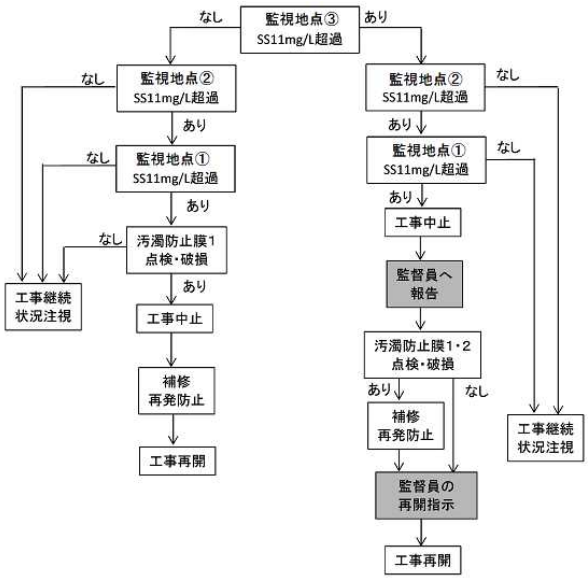


図６　濁度監視対応フロー

しかし、今後も２次浚渫以外の多くの工事が残されており、これらの工事で発生する汚濁防止膜内の浮泥の処理対策が課題である。我々は、それらにもサブマリンクリーナー工法を活用し、海底の浮泥の吸引処理を計画しているところであり、必要性やその効果を対外的に説明できるよう検討を行っている。

我々は、これからも慢心することなく、常に最善の手法を探り、沖縄の魅力ある環境を守りながら同時に地域の発展を目指して技術を磨いていく所存である。



図７　アクセス橋梁完成イメージ



図８　人工島完成イメージ

津波石の発生メカニズムに関する基礎的研究

琉球大学　下平一太，藍檀オメル，渡嘉敷直彦

1. はじめに

世界中で発見されている津波石や津波によってできた堆積物の変動，そのメカニズムについては未だに議論が続いている．しかし，津波石のような巨大堆積物の要因となり得る原因は､巨大地震から引き起こされるような巨大津波が原因であることはもはや疑いようもない．また，津波石の変動およびそれに関連する情報は，過去の巨大地震と将来起こりうる巨大地震の関係性を理解するうえで大変重要なことであり，将来の災害軽減にも繋がるものである．

2. 研究の目的

本研究では，津波再現装置を用いて津波石の発生を実験的に再現し，その発生メカニズムを明らかにすることを目的とする．また，海中の堆積物が波によってどのような移動プロセスを示すのかを考察するものである．

3. 琉球諸島の津波石の観測

現時点で，沖縄で観測されている津波石は過去の巨大津波によって発生したものである．過去に発生した津波によってできた，石垣島や宮古島，下地島の津波石は，1771 年の推定マグニチュード 7.4 の明和地震によってできたものであると信じられていたが，最近の Aydan and Tokashiki[1)]の研究では，その時代より以前にできたものであることが判明した(図-1)．表-1 では，各津波石のサイズとそれが位置する標高，周辺の崖との距離を示している．



図-1　石垣島の津波石

表-1　各津波石のデータ

Location	El [m]	H [m]	L [m]	W [m]	D to C {m}
Hennazaki	20	4	6.8	4.5	21
Obiiwa	12.5	9	16	14	43
Kasakanja	12	3	7.5	5	34
Ohama	8	5.9	12	11	96

El:Elevation　H:Height　L:Length　W:Width
DtoC:Distance to cliff

4. 津波再現装置 OA-TGD2000X

津波再現装置の概要は，幅 2000mm､奥行 300mm､高さ 400mm のアクリル製の長方体である(図-2)．アクリル内の底には調整可能な傾斜板があり，今回の実験では傾斜角を 10%とした．

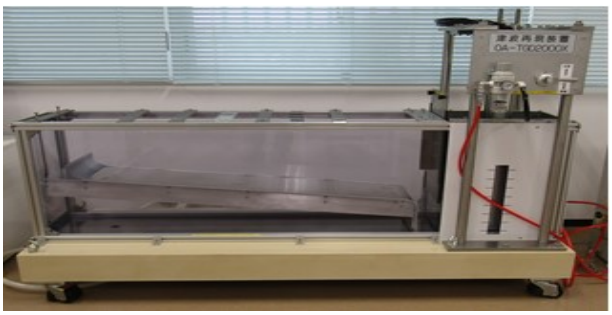


図-2　津波再現装置 OA-TGD2000X

キーワード　津波石，津波再現装置，津波堆積物，琉球石灰岩，石膏
連絡先　〒903-0213　西原町千原１番地　琉球大学工学部環境建設工学科　TEL:098-895-8663

5.　実験結果と考察

5.1 琉球石灰岩の三角柱モデル

まず，三角柱ブロックの長辺部を下に向けて設置し実験を行ったが，ブロックの移動は確認できなかった．次に，上向きに設置し，試験を行ったところ，波によってブロックが後方へ押し出されたことが確認できた．これら 2 つの挙動に関する大きな違いは，波を作用させた時，波がブロックを上方に押し上げる方向に作用したことが要因の一つといえる．

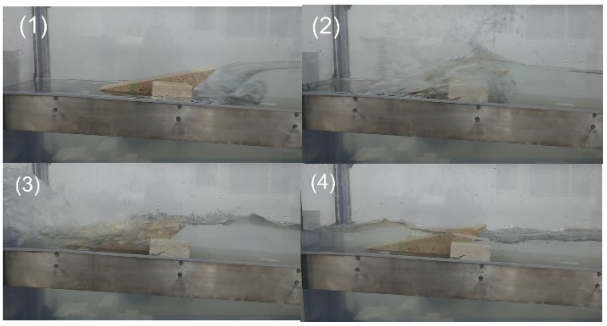


図-3　三角柱ブロック（長辺上向き）での実験

5.2 石膏ブロック

2 つの石膏ブロックを琉球石灰岩ブロックの上に横向けに設置した(図-4)．石膏ブロックの密度は，琉球石灰岩ブロックのほぼ半分である．図-4 の(2),(3)より，石膏ブロックは上方へ投げ出されるような形で変位した．また，波の入射角を 0°の場合と 10°の場合でそれぞれ検証した．その結果，角度を付けた時の方がより大きな崩壊を示した．以上のことより，波によって崩壊するブロックの条件は，密度と法尻部の角度が重要であることがわかった．



図-4　崖モデル（石膏）の実験の様子

5.3 崩壊可能な崖モデル

次の試験では破壊可能な崖についての実験を行う．今回使用した材料は，自然界のものと比べて密度がかなり小さいが，研究の主な目的であった津波石の発生メカニズムを再現，観測することについて極めて有効であった．波の力を，迫り出した箇所の下部分から上方向に向けて隆起するように作用させる．その結果，迫り出した部分は上方に変形し始め，一定量の変位後に破壊された．すなわち，迫り出した崖の崩壊は，片持ち梁の崩壊と非常に近いものであることがいえる．迫り出したブロックの崩壊は重力に反するものであったが，壊れた部分のブロックは越波した波によって引っ張られていった．この実験では､迫り出したブロックの下部分の傾きが 10°～20°の間であれば，崩壊する可能性が非常に高いことを示している．

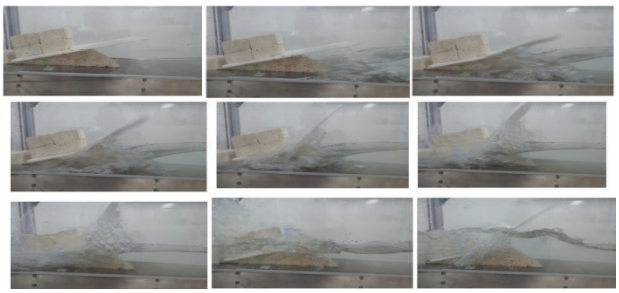


図-5　崖モデルの実験の様子

6.まとめと今後の展望

津波石の発生においては波が作用する方向，角度が非常に重要な要因といえることが明らかとなった．また，発生の元となる崖の形状および密度も重要な要因となる．今後は，実際の海食崖の密度及び形状と波圧がどのような関係性を示すのかを計測，解析によって明らかにしていくことを課題とする．

参考文献

(1) Aydan, Ö. and Kawamoto, T. 1992. The stability of slopes and underground openings against flexural toppling and their stabilization. Rock Mechanics and Rock Engineering 25(3) (1992), pp.143-165

超高齢社会水害時避難に関する基礎的考察

琉球大学　○高橋拓也　正会員　神谷大介
宮崎県　田中正輝

1.　はじめに

近年，短時間強雨を原因とした水害が多発している．2018 年 7 月の平成 30 年 7 月豪雨では局所的な大雨を記録し，各所の河川で氾濫が観測された．

また，災害が発生する度に災害弱者が問題となっている．これについては東日本大震災での年齢が判明している死者の約 65%[1]が 60 歳以上の高齢者であることが指摘されている．

しかし，高齢者に対する避難準備・高齢者等避難開始発令のタイミングや発令の決定方法が適切であるかは定かではない．

本研究では，水害時の年齢による避難完了時間の違いに焦点を当て，地域ごとに避難準備発令から避難指示発令までに必要な時間を明らかにすることを目的とする．

2.　避難完了時間算出のためのモデル構築

1）評価手法

避難する際の経路は，各家から最も近い避難所に向かって最短経路を通るものとする．その避難時間を算出することで，避難準備・高齢者等避難開始発令までの時間をどれほど要するのかを評価する．

2）シナリオ指定

本研究では，主に 2 つのシナリオで分析を行う．1 つ目は全員が自力で避難所に向かう状況，2 つ目は要支援者と支援可能者のマッチングを行い，要支援者と支援可能者が共に避難所に向かう状況である．また，各シナリオを「休日・平日夜間」と「平日昼間」の 2 つのケースで考える．「休日・平日夜間」は，全員が町(地区)内にいる状況，「平日昼間」は通勤通学などで町(地区)外へと出ていく人がいる状況である．

3.　モデルの適用

1）研究対象地域の概要

本研究の対象地域は安芸太田町である．この町は総人口 6268 人，高齢化率 49%（2018 年 11 月末現在）の高齢化社会が進んだ町である．将来推計人口と高齢化率を**図-1**[2]に示す．これより，安芸太田町は更なる人口減少と高齢化が進むと予想されている．これより，日本全体が近い将来迎えると考えられる社会を表していると考えられる．

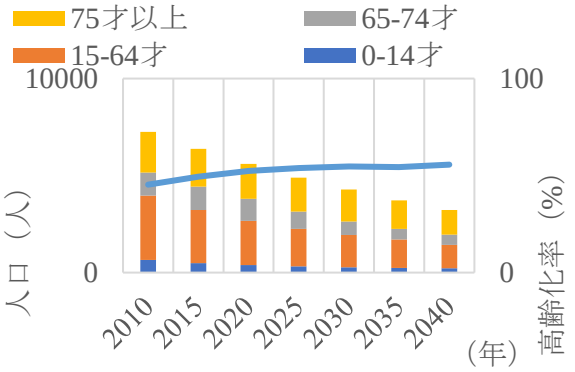


図-1 安芸太田町の将来推計人口と高齢化率

2）避難者設定

シミュレーションを行うにあたり，年代別に

キーワード　水害　支援　避難
連絡先　〒　903-0123　西原町千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科
E-mail:e155349@eve.u-ryukyu.ac.jp

避難者の割り振りを行った．休日・平日夜間，平日昼間で使用する結果をそれぞれ**表-1**，**表-2**に示す．なお，避難者の割り振りは 2010 年度の国勢調査[3]を基に設定した．

表-1 休日・平日夜間の避難者割り振り

年齢／地区名	0-14	15-64	65-74	75-	計
土居	49	166	33	101	349

表-2 平日昼間の避難者割り振り

年齢／地区名	0-14	15-64	65-74	75-	計
土居	17	30	20	89	156

3) 避難者の歩行速度

避難者の歩行速度は「津波避難対策推進マニュアル検討会報告書，2013」[4]を基に，年代別に設定した．**表-3** に避難者の歩行速度を示しておく．

表-3 避難者の歩行速度

年代	歩行速度(m/sec)
0-14 才	0．9
15-64 才	1．3
65-74 才	1．1
75 才以上	1．0

4) 避難者の行動設定

避難者は避難所を事前に正しく認知している条件下で，最短経路を移動する設定とした．最短距離と経路はワ―シャルフロイド法により求める．ワ―シャルフロイド法の式を下記に表す．

$$i,j,k = \text{頂点} \quad d = \text{経路の長さ}$$

$$d[i-j] = min(d[i][k] + d[k][j], d[i][j])$$

5) 土居地区での結果と考察

図-2 に全員が自力で避難する場合の土居地区での結果を示す．

避難時間に着目すると，高齢者の割合が増加する平日昼間が休日・平日夜間よりも避難完了時間が短い．これは避難者の数に違いがあるためである．健常者のみの場合と比較すると，高齢者の割合が大きくなると避難時間が長くなることが明らかになる．

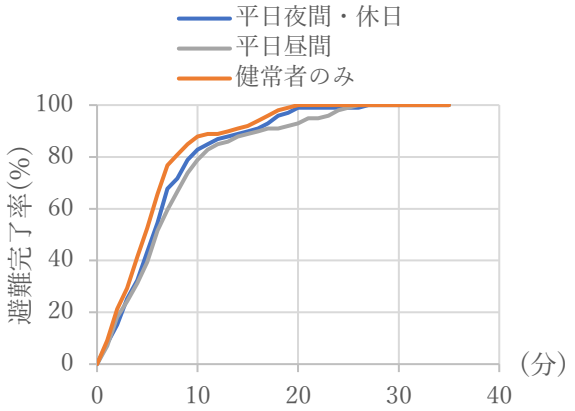


図-2 土居地区の結果

また，図-1 に示したように，安芸太田町ではさらなる過疎高齢社会になることが予測されている．高齢者の割合が増加するということは，避難に時間がかかる人の割合が増加することになる．将来的に避難勧告を出すタイミングを早めるなどの対策が必要であるといえる．

4. おわりに

今回のシミュレーションでは全員が自分で動けるという前提のもとに行っている．高齢化が進むと，自力では避難することが難しい要支援者を想定しなければならない．今後は要支援者を考慮し，さらに過疎高齢化が進んだ社会でのシミュレーションを行う予定である．

結果の詳細は発表時にゆずる．

参考文献

1) 警視庁：平成 23 年　回顧と展望　東日本大震災と警察，第 281 号，2012.
2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口, 2013
3) 総務省統計局：平成 22 年国勢調査, 2013.
4) 津波対策推進マニュアル検討委員会：津波対策マニュアル検討報告書，pp23-25，2013.

過疎集落における防災 WS の効果に関する分析

琉球大学　土木計画学研究室　城間聖　神谷大介

1. はじめに

日本では，地震・津波により 1995 年の阪神淡路大震災に 6,434 人，2011 年の東日本大震災に 15,859 人の多くの尊い人命が奪われた [1]．被災経験から，ハード的防災や公助の限界が認識され，地域住民らによる自助・公助の重要性が再確認された．本研究では，過疎高齢化が進み，災害時に外部から支援を受けにくい地域である沖縄県国頭村 11 地区を対象に防災ワークショップ（以下 WS と示す）を実施する．各地区に適した集落防災の方向性を明確にすることを目標とし，国頭村全 20 地区でアンケート調査を行い，防災 WS の発言録による発話分析結果から地区の共通性・独自性を明らかにすることを目的とする．

2. 防災 WS と対象地域の概要

国頭村は，過疎高齢化が進んだ村内 20 地区で構成されており，面積は 19480ha と沖縄県で 5 番目に広い村である [2]. 2017 年度までに安田, 与那, 伊地，辺野喜，鏡地，桃原，宇嘉，安波，浜，佐手, 楚洲の 11 地区で WS が行われた. 今年度は，謝敷，半地，辺戸の 3 地区を対象に防災 WS を実施している．防災 WS では，一般的な災害に対する知識・経験等（専門知）を持つ専門家と地区の状況・課題等の知識（地域知）を持つ地区住民が参加し，地区防災力向上の検討を実施する．本研究では，全 20 地区を対象にアンケート調査を行い，防災 WS が実施された 11 地区の発言録を用いて発話分析を行う．

3. 国頭村アンケート調査

国頭村住民の災害に対する意識や対策等を考察するため，防災に関する世論調査 [3]の結果と国頭村防災アンケート調査の結果を比較考察する．質問項目は，防災に関する世論調査が全 18 項目 [4]，国頭村アンケート調査が全 22 項目あり，そのうち共通する項目として，災害に備えている対策から自助意識について考察する．国頭村と全国で片側検定を行い，有意水準 1%で有意差が認められた結果を**表-2** に示し，全国より国頭村が備えている項目は黄色で示す（$Z_{(0.01)}=2.33, T>0.01$）．その結果，家具類の転倒防止対策について国頭村は，全国より対策が進んでいないことが分かる．災害被害の具体的イメージについて国頭村は，地震より土砂・津波災害の意識が大きいため家具類の転倒防止対策の意識が小さいことが考えられる．

次に各地区の避難場所の確認について**図-2** に示す．日常の生活で培われた伝統的な習慣や行事を通して形成される地域のつながりなどは，その地域に存在する地域力であり，災害時にスムーズな対応を可能とする要素を含んでいる [4]ことが言われている．防災ＷＳ実施地区の行事内容として，祭祀（舞踊）やレクレーション行事（スポーツ大会）等があるが，区内で行われている祭祀（礼拝）と学校行事を**表-3** に示す．祭祀では，集落内の巡回により，区内の状況・課題把握に資することが考えられる．**図-2** の避難場所の確認について，佐手では，低い値となっていることが示され，**図-3** の行事への参加頻度についても低くなっている．また，区内の要支援者の把握についても低い値を示している（**図-4**）．宇嘉では，行事への参加頻

キーワード　過疎集落，防災 WS，アンケート調査，発話分析，
連絡先　〒903-0213　西原町千原 1 番地　琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail：e155332@eve.u-ryukyu.ac.jp

度が高く，避難場所の確認や要支援者を把握している人が多いことが分かる．佐手では祭祀と学校行事が存在するが行事参加頻度は低く，宇嘉は行事参加頻度が高いという特徴があることが分かった．祭祀は，地区内の状況・課題把握につながることが考えられるため，トピックモデルによる話題分析で宇嘉と佐手を比較考察する．

表-2　防災に対する備えについての片側検定

	備えている		Z 値
	全国（N=1839）	国頭村（N=516）	
備蓄	840	278	3.2865
電灯	796	466	18.9221
避難場所	714	392	14.9501
安否連絡	414	186	6.2413
転倒防止	747	72	-11.2321
防災訓練	294	174	8.9126

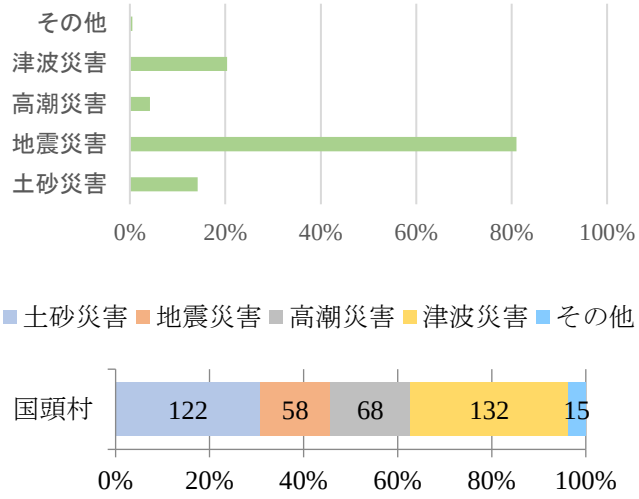


図-1　災害被害の具体的イメージ

表-3　WS 実施地区の行事

	神行事	学校	学校行事
浜	15 種類		
鏡地			
桃原	15 種類		
伊地	10 種類		
与那	19 種類		
佐手	12 種類	佐手小学校	地域行事に参加，保護者の読み聞かせ
辺野喜	15 種類		
宇嘉	13 種類		
楚洲	8 種類		
安田	12 種類	安田小学校	田植え・稲刈り，安田太鼓の継承，給餌活動，魚裁き体験，など
安波	17 種類	安波小学校	浜ウリー，魚裁き体験，カヌー体験，農業体験，野外料理体験，星空観測会，など

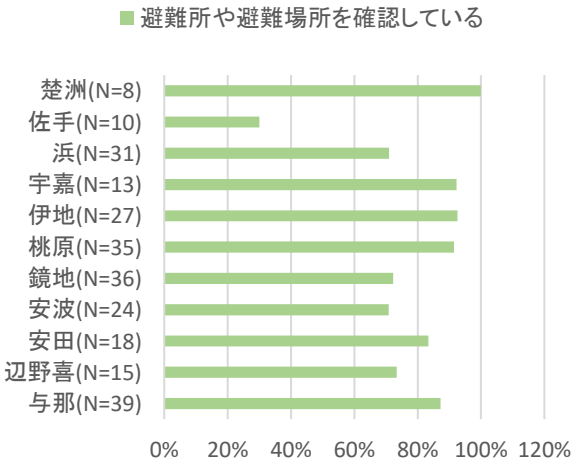


図-2　災害に対する備えについて

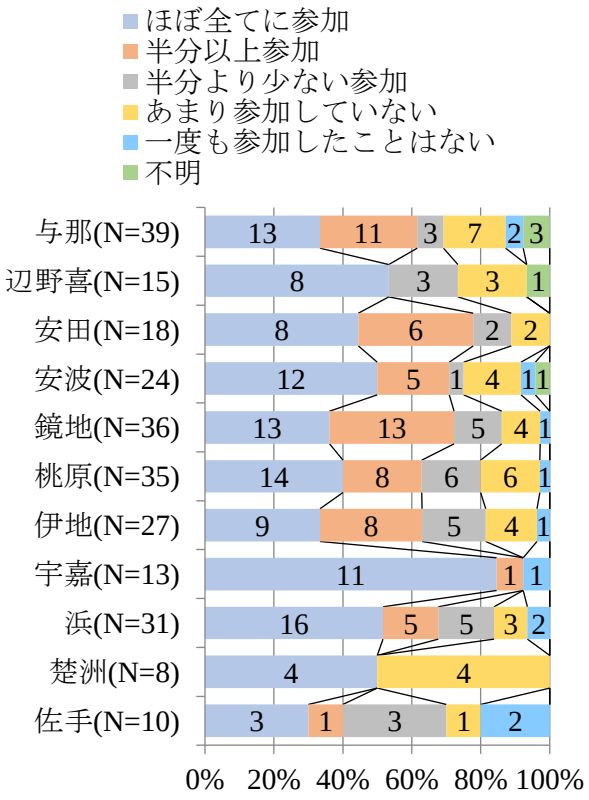


図-3　地区行事の参加頻度

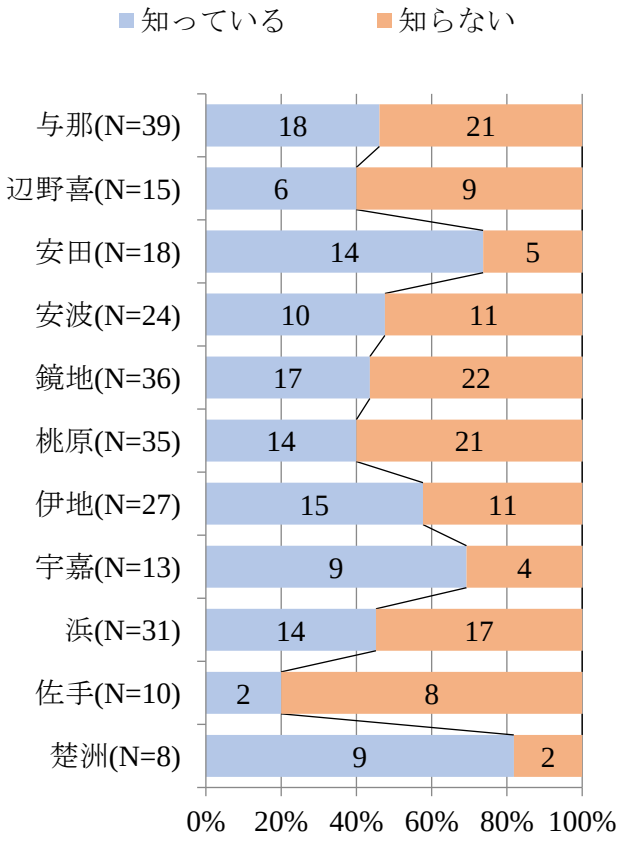


図-4　区内の要支援者の把握

4.　頻度分析とトピックモデルによる分析

4.1　頻度分析

初めに，WS の全発言を文字に起こしたデータを形態素解析システムで Chasen を用いて品詞分析を行った．Chasen を用いることで 1 つの文章を品詞ごとに分解することができる．ここから，単独で意味を成す自立語（名詞，動詞，形容詞，形容動詞）を抽出し，さらにその中から人名や意味を成さないカタカナなど不要な語を削除した結果，単語数は 102474 語，語彙数は 1147 語となり，これらの語数でトピックモデルの分析を行う．

4.2　トピックモデルによる分析

トピックモデルとは，文書が生成される過程を，確率を用いてグラフ化した確率モデルである．岩田(2015)に即して，**図-5** にトピックモデルの構造を示す．**図-5** より，文書 1 は世帯情報のトピックの重みが大きく，世帯情報のトピックは主に，夫婦・若い・子供の語彙の重みが大きいということが分かる．トピックモデルは各トピックの語彙分布と各文書のトピックの分布の 2 つのデータを出力する．分析結果から話題を設定し，各地区のそれぞれの話題の大きさを比較し，地区の共通性や独自性を明確にする．

トピックモデルを実行するにあたり，トピック数（K）と文書当たり語数（U）の 2 つの数値を設定した．K と U の組み合わせについてグリッドリサーチを行った結果を**表-4** に示す．**表-4** は対数尤度を示している．尤度が最大の値をとるトピック数 K と文書あたり語数 U の組み合わせはそれぞれ K=30，U=80 であった．30 個のトピックを抽出し，それぞれの話題を設定する．**図-6** では 30 個の話題のうち 1 つの話題を示す．また，地区ごとに実施された WS 時の話題の比率について**図-7** に示す．

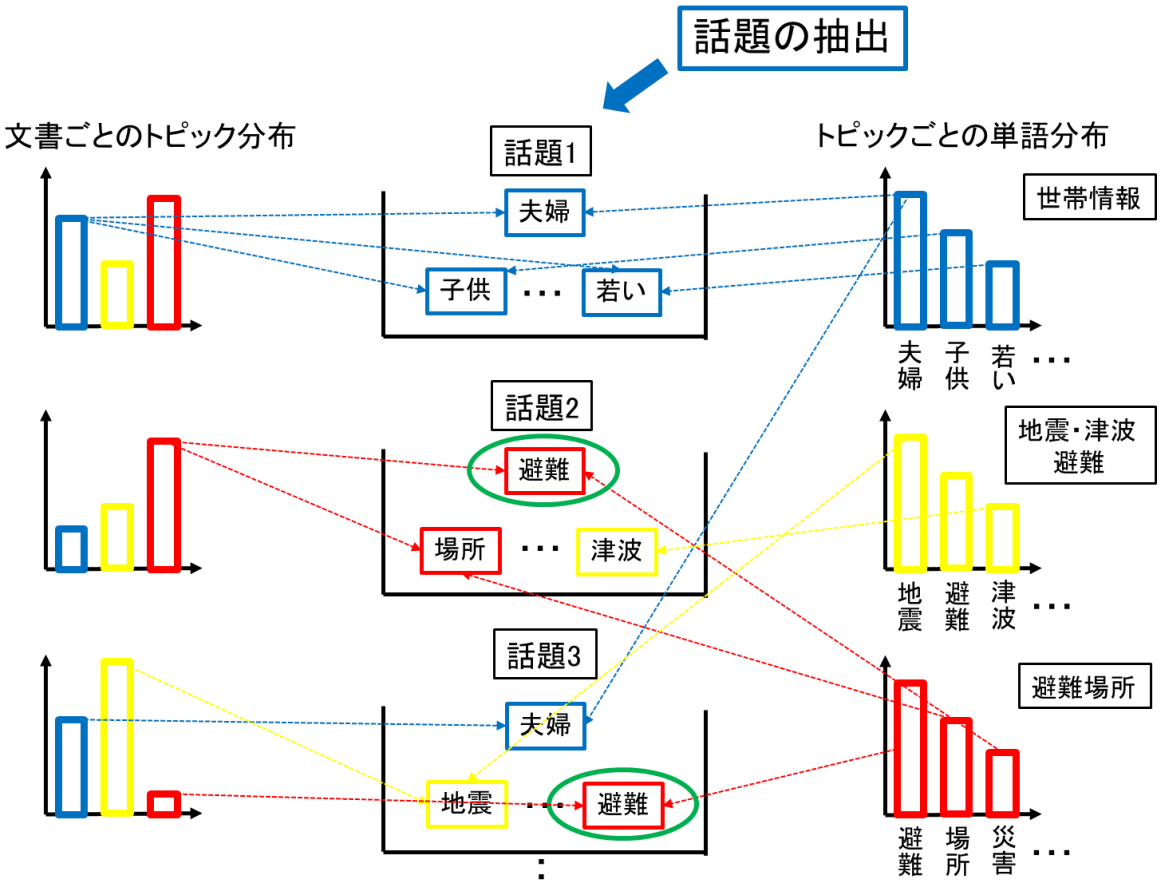


図-5　トピックモデルの構造 [5)]



図-6　避難場所（話題 21）

表-4　K と U の組み合わせ探索

	K=25	K=30	K=35
U=70	-542138	-547157	-606296
U=80	-545230	-541506	-582386
U=90	-547121	-542645	-550387

条件 K=60 以下、50≦U≦1000

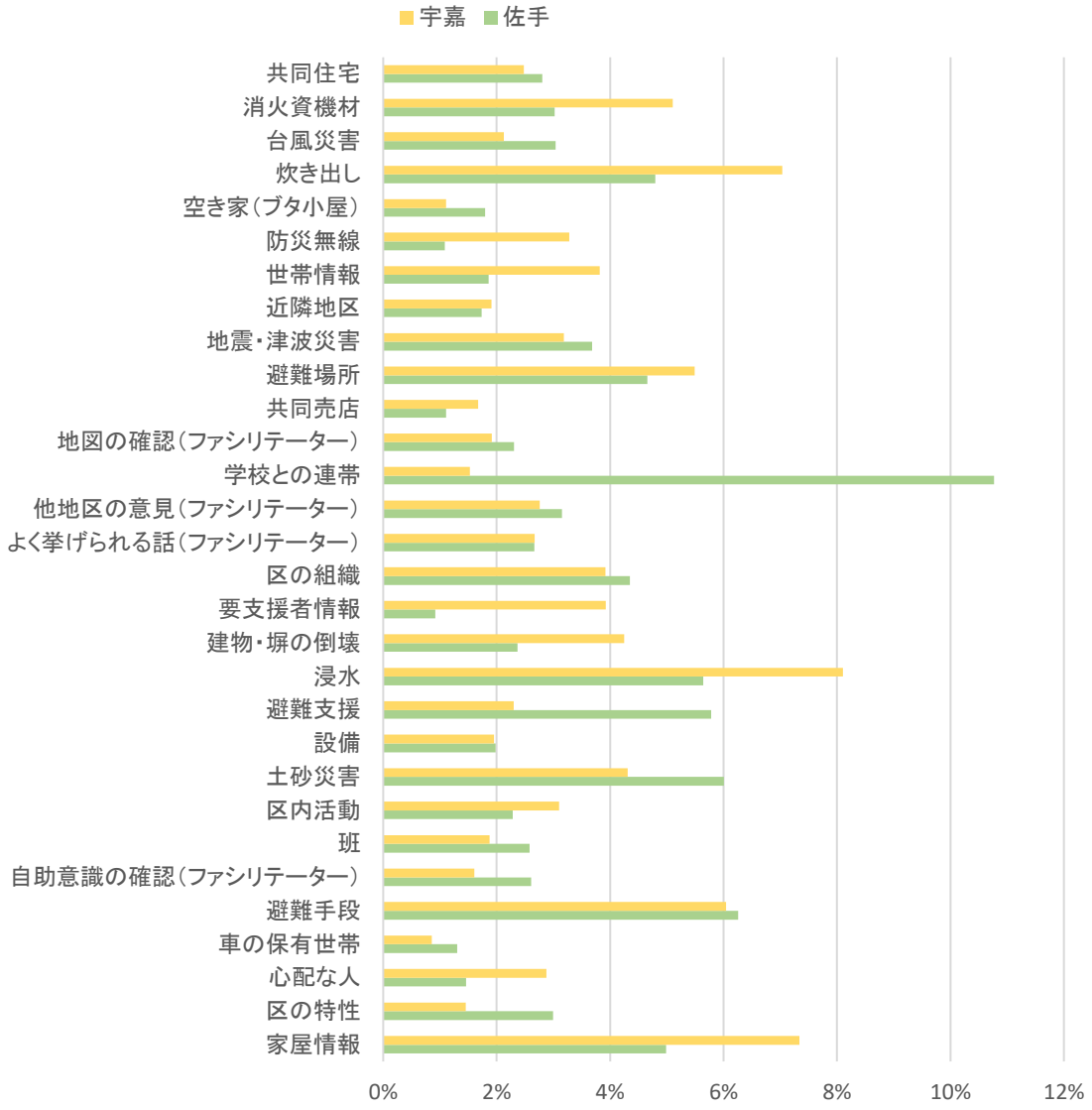


図-7　防災 WS で話された話題（宇嘉，佐手）

5.　発話分析結果とアンケート結果の比較

図-7 より宇嘉と佐手で比べた結果，宇嘉では要心配な人についての話題と避難場所についての話題が大きく，祭祀による区内の旋回が効果要素として含まれることが考えられる．また，佐手では，区の特性，避難支援に関する話題が大きい結果となり，学校との連帯に関する話題は最も大きいことが分かった．これらより，宇嘉では，行事に参加する人は多いが，区の特性や避難支援に関する話題が少ない特徴が確認できた．また，佐手は，行事への参加頻度は低いが，区の特性，避難支援に関する話題が多い特徴がある．

6.　おわりに

全国アンケート結果と国頭村アンケート結果を比較し，国頭村の自助意識の現状示し，ＷＳ実施地区の行事から区内の避難場所の認知や要支援者の把握について考察した．結果，宇嘉では，区内行事によく参加し，避難場所を確認していることが多く，要支援者についても把握している傾向がみられた．行事参加頻度の低い佐手区では，

区の特性や避難支援の話題性が大きく，学校に関する話題が大きいことが分かった．WS 時で得られた発話による言語分析を行うことで，各地区の共通性・独自性が確認することができる．

参考文献

1) 気象庁ホームページ：地震・津波，火山の過去の災害 https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html, （最終観覧日 2018.12.17）
2) 国頭村：国頭村ホームページ, http://www.vill.kunigami.okinawa.jp/, （最終観覧日 2018.12.20）
3) 内閣府大臣官房政府広情室：防災に関する世論調査，2017
4) 落合知帆, 原口統, 小林正美 : 自然災害に対する“地域力”に関する一考察-和歌山県田辺市の沿岸部集落を事例として-, （社）日本都市計画学会　都市計画報告書 No.8, 2009 年 5 月
5) 岩田具治：トピックモデル，講談社，2015

別紙２（論文）

除草作業における除草剤の活用について（報告）

知念　弘[1]・漢那　清彦[2]

[1]南部国道事務所　与那原維持出張所　出張所長（〒901-1302 沖縄県島尻郡与那原町字上与那原346-1）

[2]南部国道事務所　与那原維持出張所　管理係長（〒901-1302 沖縄県島尻郡与那原町字上与那原346-1）

主要幹線道路である国道は、県民の生活・経済・産業・観光・災害時緊急輸送などを行う上で不可欠な公物であり常日頃から安全・安心が保たれる維持管理が望まれる。
しかし、年々必要とされる管理費は増加の一途を辿っている。
そこで、道路維持管理の一つである除草に着目した管理費縮減策として除草剤散布による雑草の生育を抑制し除草回数を減らす管理方法を試みた。

キーワード　維持管理、除草、コスト縮減

1. はじめに

沖縄県は、国内唯一の亜熱帯性気候で台風の常襲地という気象条件から道路構造物は厳しい環境下にさらされ、1972年の日本復帰から1975年の海洋博覧会にかけて急ピッチに建設が進められた道路構造物も高齢化を迎えようとしており、このような現状の中で、道路橋や函渠等に塩害等による劣化・損傷が一部、顕在化してきている。

また、道路維持管理については、行政刷新会議による「事業仕分け」の評価における管理水準・基準の見直しや、全国知事会からの国・県との維持管理水準の違いなどの指摘を受けており、道路維持管理予算の縮減や国民の道路行政に対する多様なニーズなど、道路維持管理を取り巻く環境は大きく変化している。

そのような事を踏まえ、国民の安全・安心な生活を守るために、限られた道路維持管理予算の状況においても、今ある道路施設を継続的に使用できるよう維持管理していくことが重要である。

しかし、大量の道路施設の高齢化や法面などの老朽化に伴い、補修・更新に要する費用はますます増大することが予想され、さらに厳しい予算状況となることが考えられる。

そこで、道路維持管理の一つである除草に着目した管理費縮減策として除草剤散布による雑草の生育を抑制し除草回数を減らす管理方法を試みたので報告する。

2. 除草剤を使用した除草の管理方法

管理方法は以下の3つの段階で行った。

(1)　道路巡回による道路管理施設全体の状況を把握。（除草及び除草剤散布の必要箇所の特定も含まれる。）

(2)　除草計画（除草剤散布）の検討・作成。

(3)　除草（除草剤散布）の実施。

3. 管理路線（除草対象箇所）

与那原維持出張所の管理路線は以下のとおりである。（図-1参照）

国道58号（那覇市安謝から南）

国道329号（西原町から南）

国道331号・332号

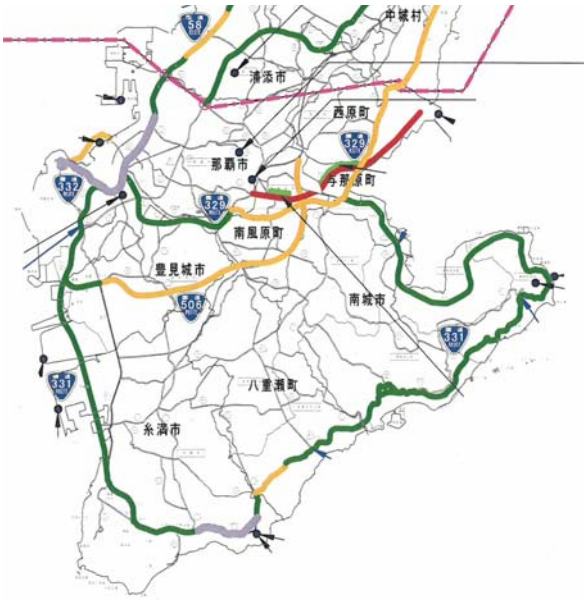


図-1 与那原維持出張所の管理路線図

4. 除草剤の定義及び安全性

除草剤の定義及び安全性を以下に述べる。

(1)　除草剤と農薬

農薬とは、農作物の生育を阻害する病害虫・菌・雑草等の防除や生育を促進・抑制する薬剤の事であり除草剤・殺虫剤・殺菌剤・殺鼠剤・植物生長調整剤等の総称を指している。（表-1参照）

表-1 農薬に用いられる薬剤

用途	説明
殺虫剤	農作物を加害する害虫を防除する薬剤
殺菌剤	農作物を加害する病気を防除する薬剤
殺虫殺菌剤	農作物の害虫、病気を同時に防除する薬剤
除草剤	**雑草を防除する薬剤**
殺鼠剤	農作物を加害するノネズミなどを防除する薬剤
植物成長調整剤	農作物の生育を促進したり、抑制する薬剤
その他	害虫をにおいなどで誘き寄せる誘引剤、ほかの農薬と混合して用いることにより農薬の付着性を高める展着剤、農作物を加害する害虫の天敵、微生物を用いて農作物を加害する害虫病気等を防除する剤など

(2) 除草剤の作用・種類

除草剤は、殺虫剤・殺菌剤とは異なり植物だけが有する光合成・必須アミノ酸の生合成等を阻害することにより植物を枯らすもので、通常の使用では「人・動物」への影響はなく、又、植物に吸収されなかった薬剤は紫外線等で分解される。（表-2参照）

表-2 除草剤の殺草作用

阻害部位	おもな除草剤
光合成阻害	トリアジン、尿素、ウラシル　他
色素形成阻害	アミゾール、ピラゾレート、ベンゾフェナップ
細胞破壊（光活性）	ジフェニルエーテル他
呼吸阻害	PCP、アクチノール、プリマージ
生長抑制	
細胞分裂阻害	カーバメート、ジニトロアニリン
芽部伸長阻害	チオカーバメート
発根阻害	ベンスライド、ナプロパミド、ジフェナミド
発芽発根阻害	クロロアセトアミド
アミノ酸合成阻害	
PAL 阻害	グリホサート
ALS 阻害	スルホニルウレア、イミダゾリノン
グルタミン合成阻害	ビアラホス、グルホシネート
オーキシン錯乱	フェノキシ、ベンゾイック
オーキシン移行阻害	ナプタラム
過酸化物生成	パラコート、ジクワット

(3) 除草剤の処理方法

除草剤の処理方法には土壌及び茎葉処理の二種類がある。

土壌処理剤は土壌に処理し殺草する。薬剤は発芽前や生育初期の雑草の芽・根から吸収される。

茎葉処理剤は発芽後の雑草の茎葉に処理し殺草する薬剤は植物の茎・葉から吸収される。（図-2参照）

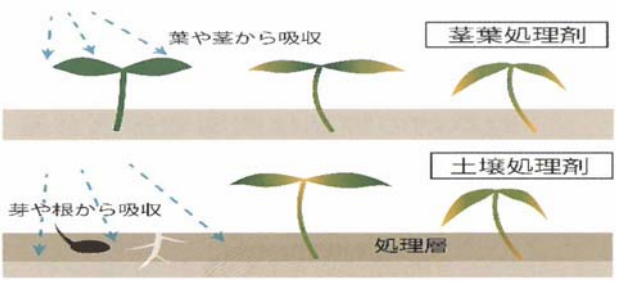


図-2 茎葉及土壌処理剤のしくみ

(4) 除草剤の安全性

除草剤の製品は、農薬取締法に基づき様々な試験を実施し、枯らす効果や人や動物・植物・環境等に対する影響・安全性を調査し安全に使用できることが確認できたものが農薬として認可され販売ができる。

その農薬の効果・毒性等を農林水産省に提出し検査等の手続きを経て許可されたものが農薬登録される。

農薬の毒性について、主要な除草剤の経口毒性LD50（毒性を示す指標）値を身近な食品等と比較すると下図のようになる。近年の除草剤の安全性は高まり農薬登録されている除草剤の99%が普通物（毒物・劇物以外のもの）となっている。

近年一般に使用されている除草剤は、日頃身近に摂取している食品と比較しても低い毒性である（図-3参照）

今回の試行で使用した除草剤も毒性が弱い（食塩よりも弱い）除草剤Aを使用した。

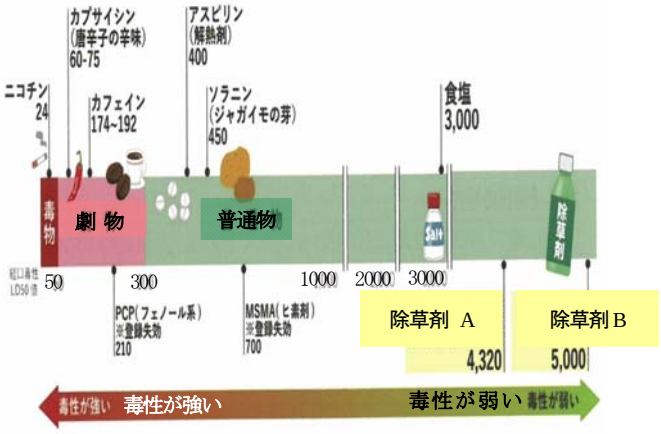


図-3 除草剤と食品等の毒性比較

5. 除草剤の使用手順及び実施状況

除草剤の使用手順は以下とおり行った。

実施状況は添付写真のとおり散布後3ヶ月経過後も除草不要な状況を維持できた。（写真は9月散布の12月の状況である。）（図-4～9参照）

(1)　散布対象箇所の選定

散布対象箇所は、人の立ち入りの少ない中央分離帯及び歩道部の植栽帯や舗装等の隙間の雑草生殖箇所を中心に選定。

学校や住宅地等に近接する歩道や農地で農作物に影響が及ぶ可能性がある箇所は対象外とした。

(2) 除草剤散布の予告周知

除草剤散布作業の前に散布予告書の掲示を行い道路使用者にあらかじめ周知する。

(3) 除草の実施。

繁茂している雑草の除草を行う。

○除草する事で除草剤散布後の枯草撤去が軽減される。

○除草剤散布を行うことで2回目以降の除草が軽減される。

(4) 除草剤散布の実施。

除草剤散布の時期は、雑草の除草後3～5日経過した後（草丈5～10cm程度）として噴霧器と飛散防止用噴霧器ノズルフードを設けて、無風若しくは微風時で散布当日に降雨が無いと予想される日を選定して散布を行う。

(5) 目地部の除草

材料の異なる近接する構造（アスファルトと縁石等）の接続部分（目地）の除草にも効果的があった。



図-4 除草剤散布前（歩道）



図-5 除草剤散布後3ヶ月経過（歩道）



図-6 除草剤散布中（車道中央分離帯）



図-7 除草剤散布後10日経過（車道中央分離帯）



図-8 除草剤散布前（目地）



図-9 除草剤散布後3ヶ月経過（目地）

6. 結果

除草剤散布による雑草の生育を抑制し除草回数を減らす管理方法を試みた結果、除草回数が１／２～２／３に軽減できた。

除草工の管理費が約２０％の縮減ができた。（図-10参照）

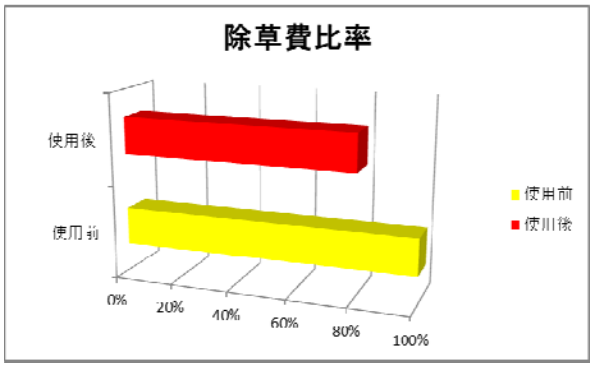


図-10 除草剤使用前後の費用比率

7. 今後の課題

今回の試行を行った事で以下の課題が抽出できた。

(1) 雑草の種類による効果の違い（希釈量・散布回数）

雑草の種類に対する除草剤散布の効果は多様であり種類毎の適切な散布量（希釈量）の確立が必要。

(2) 散布箇所の選定方法

景観・立地等を考慮した有効的な散布箇所の選定方法の確立が必要。

(3) 周知方法（通行者・地域住民等）

対象箇所に掲示する意外の必要な周知方法の確立が必要。

(4) 散布を行わない箇所のコスト縮減方法

除草剤散布以外のコスト縮減方法の確立が必要。

参考文献

1) 沖縄県沿道警官向上技術ガイドライン：沖縄県土木建築部.
2)道路維持管理計画：内閣府沖縄総合事務局開発建設部

Session 5： 維持管理(点検・一般)

別紙２（論文）

北部ダム群調整水路の長寿命化に向けた取り組み

比嘉　浩[1]・金城　美貴[2]

[1]沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 管理課　課長　(〒905-0019 沖縄県名護市大北3-19-8)

[2]沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 管理課　管理係員 (〒905-0019 沖縄県名護市大北3-19-8)

沖縄本島北部の5ダムを連結する北部ダム群調整水路は、ダム間での導水を行う統合運用により、効率的な水資源開発を行う重要な施設である。調整水路は完成後30年以上が経過しており、老朽化が進んでいることから、長期的な経年変化の状況や構造物内部の状態等に着目して総合的な調査及び健全度評価を実施し、維持管理マニュアル（案）及び長寿命化計画（案）の策定を行った。

キーワード　北部ダム群調整水路、長寿命化、維持管理、総合点検

1. はじめに

北部ダム群調整水路（以下「調整水路」という）は、福地ダム・新川ダム・安波ダム・普久川ダム・辺野喜ダムの北部5ダムを連結する総延長14.7kmの水路トンネルで、取水ダムから貯留ダムへ導水を行い、大雨時にダムから溢れる水を極力少なくする統合運用を行うことで効率的な水資源開発を行う重要な施設として昭和60年に完成した（図-1）。

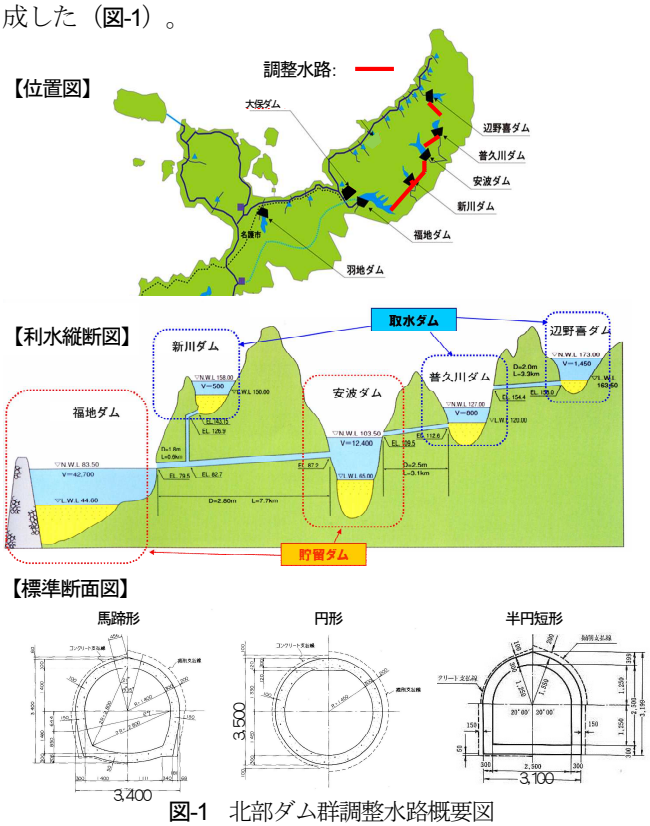


図-1　北部ダム群調整水路概要図

2. 調整水路の維持管理と課題

(1)維持管理状況

調整水路は年1回の定期点検を実施し、点検結果をリスト化・カルテ化して記録を行うとともに、ひび割れ、劣化、湧水、はく離等の劣化箇所は「北部ダム群調整水路点検マニュアル（案）」に従って健全度を判定している。判定の結果、要対策となった場合は補修工事など適切な対応を実施しているが、これまでは事後保全的な補修での対策であり、劣化部の発生原因の調査・検討までは実施されていなかった。

(2)総合点検の実施

調整水路は完成から30年以上が経過しており、老朽化が進んでいる。沖縄の水資源開発においてダムに付随する重要な構造物としての位置づけから、施設の長寿命化を図るため、これまでの日常管理に加え、長期的な視野に着目したダムの総合点検と同様の点検を実施することとした。総合点検では、基本調査として既存資料の収集・整理、現地状況の概査を実施し、専門家の意見・助言を受けた上で、抽出された課題に対して原因究明、対応策の検討のための追加調査を行い、その結果をもとに健全度評価を実施した。

(3) 点検結果による主要課題の抽出

調整水路点検結果により、主要な劣化内容として、コンクリート表面のあばた状に侵食した骨材溶解及びインバート部及び側壁下部での背面側まで貫通した劣化穴が挙げられた（図-2）。

また、課題として、①骨材溶解・劣化穴の発生原因・メカニズムが分かっていない、②骨材溶解・劣化穴に特化した点検や監視方法、劣化に対する判定基準が定まっていない、③インバート背面側の状況が把握できておらず、背面側の空隙の拡がりや地山の洗掘へ進展した場合には、構造安定性に影響を及ぼす可能性があることが挙げられた。



図-2　骨材溶解・劣化穴写真

3.　劣化部の発生原因・メカニズム調査

骨材溶解・劣化穴は水接触部（側壁下部及びインバート）のみで発生しており、側壁上部では側壁下部ほど侵食していないため、水による侵食が大きく影響していると考えられた。

そこで、水による侵食の他、コンクリートの材質不良についても想定し（図-3）、影響範囲の確認も含めた発生原因・メカニズム特定のための追加調査を行った。

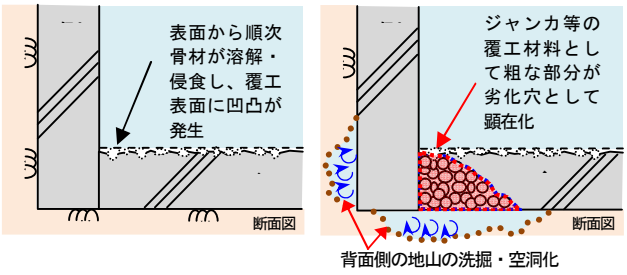


図-3　追加調査前の想定

(1) 水質調査

基本調査時点での流水の水質はpH6程度であり、pH4以下の強酸性ではないが、水の腐食性を分析するため、ランゲリア指数と遊離炭酸濃度に着目し、調整水路トンネル内の導水及び調整水路トンネル背面の湧水に対して追加の水質調査を行った。水道施設設計指針（日本水道協会）およびユーロコード（EN206－1：2000）の基準から、ランゲリア指数は負の値で絶対値が大きいほど腐食性が高く、また、遊離炭酸濃度は値が大きいほど侵食性が高く評価される。調査の結果、導水は、ランゲリア指数が-3程度と腐食性の高い水質と判定、湧水は遊離炭酸濃度が70mg/L程度と中度の侵食性を示す水質と判定された（図-4）。

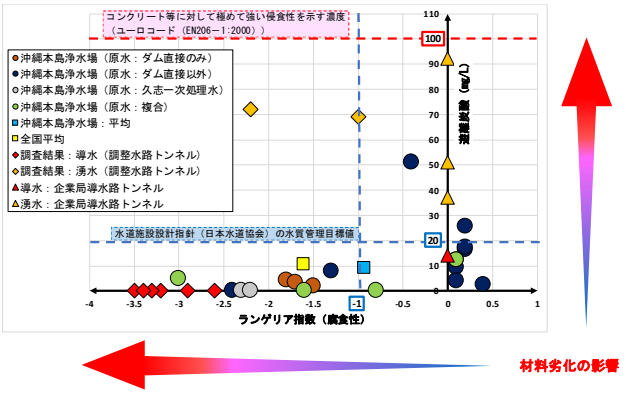


図-4　水質調査結果

(2)流況観測調査

骨材溶解の進行にはコンクリート表面の水接触頻度、流量・流速の増加、乱流の発生に伴う新たなCO2供給により遊離炭酸濃度を上昇させる可能性が考えられることから、これらの状況の観察のため、トンネル内でカメラ画像観測を実施した（図-5）。観測の結果、流量・流況の変化に伴う乱流の発生や、それに伴い発生する、気泡の混入により新たなCO2の供給を促すような状況は確認されず、流況を原因とした材料劣化（骨材溶解）に対しての影響は確認されなかった。

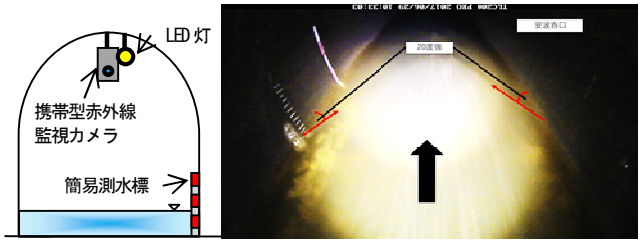


図-5　導水表面の流況観測状況

(3)コンクリート材質調査

劣化穴の発生要因として、使用材料に起因する劣化の進行が可能性として考えられることから、コンクリートの品質状態を把握するため、コンクリート材質調査を行った。

a) 使用骨材

調整水路トンネル施工の使用骨材について顕微鏡観察を行った（図-6）。観察の結果、粗骨材は硬質石灰岩砕石、細骨材は海砂であり、沖縄県で標準的に用いられている骨材であった。また、劣化穴の有無箇所で骨材の品質に差は無く、骨材の材質不良は確認できなかったため、劣化穴に至る要因として使用骨材が影響した可能性はないと考えられた。

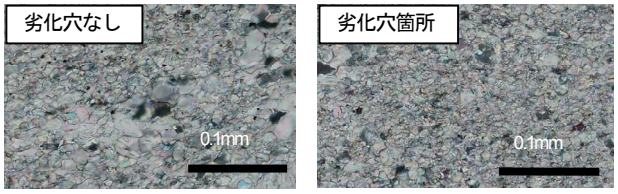


図-6　骨材不良有無の確認写真

b)コンクリート強度

劣化穴の要因としてコンクリート強度不足を想定し、劣化穴近傍と、劣化穴から2m離れた位置で採取したコアの一軸圧縮試験の結果を比較すると、劣化穴近傍で採取したコアのコンクリート圧縮強度は9.14N/mm2と低強度で、コアの破壊形状から、内部に微細な脆弱部があると推定された。一方で、劣化穴から2m離れた位置で採取したコアは22.1N/mm2と設計強度の15.7N/mm2を上回り、コアの破壊形状からも内部は密実であると考えられた（図-7）。この結果から、コンクリートの低強度な箇所が局所的に分布していると推定され、低強度箇所が劣化穴に至る弱部になった可能性があると考えられた。

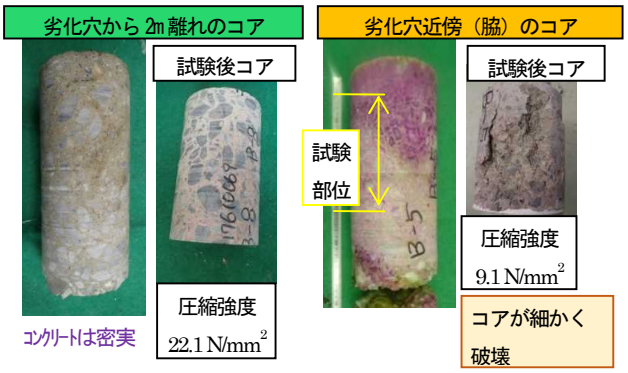


図-7　一軸圧縮試験後の状態写真

(4)施工不良

一軸圧縮試験の結果より、コンクリートの低強度な箇所は局所的に分布していると推定されるため、コンクリート打設時の品質のばらつきを考慮し、劣化穴周辺のコアを観察した。劣化穴から2m離れた位置で採取したコアは良好な状態であったが、劣化穴近傍で採取したコアはジャンカ部が内在しており、顕微鏡観察を行うと、セメント濃度が低い脆弱部、打設時にセメントと分離し滞留した水に由来すると推定される空隙やひび割れが骨材周辺に形成され、水が浸透する可能性がある（図-8）。このジャンカ部の存在及びセメント分の不良箇所への水の浸透による内部からの骨材溶解が劣化穴に影響を及ぼしている可能性があると考えられた。

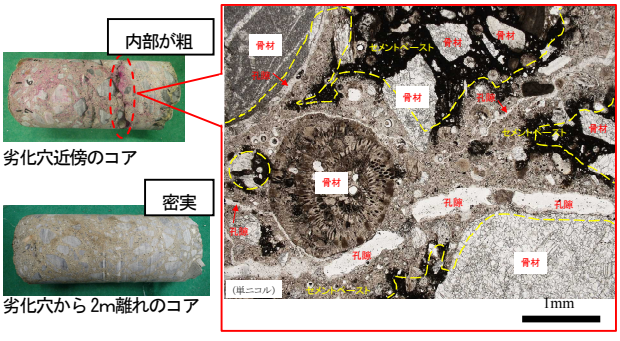


図-8　劣化穴箇所の微細な品質不良状況

(5) 劣化穴影響範囲調査

劣化穴が調整水路の構造安定性に及ぼす影響の範囲を確認するため、コア削孔によりインバートコンクリートの材料劣化の進行・拡がり、背面側の地山状況等について調査を行った。劣化穴が分布するスパン内を50cm間隔のメッシュ状に分割したうえで、それをもとに削孔箇所を決定し、劣化穴の影響範囲を把握していく方法とした（図-9）。

採取したコアを確認したところ、劣化穴が点在している状況で、その周辺のインバート表面へ材料劣化が拡がっている状況はなかった。また、劣化穴の発生箇所のインバートの背面側に材料劣化の進行は見られたものの、劣化穴から50cm離れた箇所のインバート背面には、材料劣化の発生は確認されなかった。

劣化穴を含む形で採取したコアを確認したところ、インバートコンクリート内部で劣化穴が進展・拡大している状況はなかった。

地山状況についても、空隙（水で充満）や砂礫が堆積している箇所もあるが、岩着している箇所もあり、面的に空洞が連続している状況にはない。地山をピンポールなどで突くと固い岩であることが確認でき、侵食を受けて吸出しが生じるようなルーズな状況は確認されなかった。

このように、劣化穴がコンクリート内部で広がっている状況やインバート背面側に材料劣化の発生やジャンカ部の内在はなかったことから、劣化穴の影響範囲は部分的であり、構造安定性に加速的に影響を及ぼすような状況はないと考えられた。

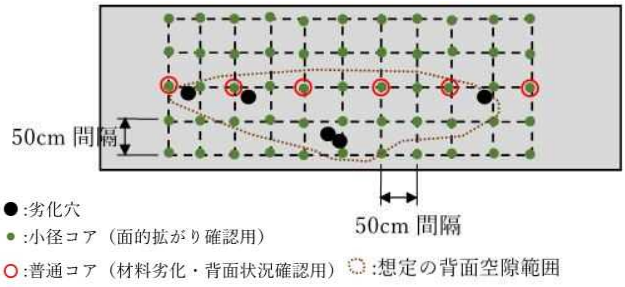


図-9　劣化穴周辺のコア採取イメージ

以上(1) ～(5)の調査結果より、骨材溶解はコンクリート材質の不良によるものではなく、調整水路導水の腐食性が高いという水質が主因となり、劣化が促進された可能性があると推定された。また、劣化穴に至る箇所は、コンクリート背面側に材料劣化の発生が見られないことも勘案すると、調整水路湧水の水質等の影響は一因ではあるが劣化を促進したとは考えられず、当初の局所的な施工不良箇所（ジャンカ部）が弱部となり、覆工表面からの面的な骨材溶解が進行し、二次変状として劣化穴の発生に至ったと推定された。

4.　健全度評価及び今後の維持管理方針

(1)健全度評価及び今後の維持管理方針

現段階での評価として、主要な劣化である劣化穴の影響範囲は部分的であり、構造安定性に加速的な影響を及ぼす状況はないと考えられる。但し、中長期的には、骨材溶解・劣化穴の長期的な進行に伴い有効巻圧が減少し、かつ覆工背面に導水が回り背面地山を侵食・洗掘するような状態になると、トンネルの力学的バランスを損ねる恐れも想定される。そのため、今後の維持管理方針として、劣化状況の重点状態監視および予防保全的補修に取り組むため、当面5年程度のモニタリングにより材料劣化の傾向を定量的に把握することとした。

(2)モニタリング調査による劣化の定量把握

今後の維持管理方針より、インバート部表面の侵食速度、石灰岩骨材の導水の影響を受ける側及び湧水の影響を受ける側の溶解速度・劣化の状態（空隙・溶解等）についてデータを蓄積し、継続的な分析・評価を行い、劣化メカニズムの解明と今後の中長期的な劣化の進展状況の予測可能性（図-10）について検討を行うことを目的に以下に示す2つのモニタリング調査を実施予定である。

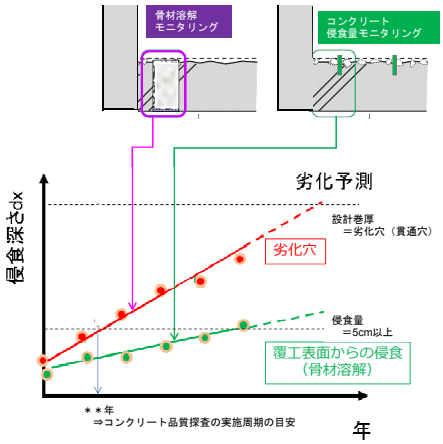


図-10　劣化穴予測イメージ

a)コンクリート侵食量モニタリング調査

骨材溶解の進行に伴いコンクリート表面が侵食して有効巻厚が減少する速度を把握し、補修時期等の劣化予測に反映させることを目的として、インバート部にモニタリング用標点を試験的に設置する（図-11）。今後、年1回、設置箇所の凹み状況を型どりゲージを用いて計測し、覆工表面の侵食量を記録する。

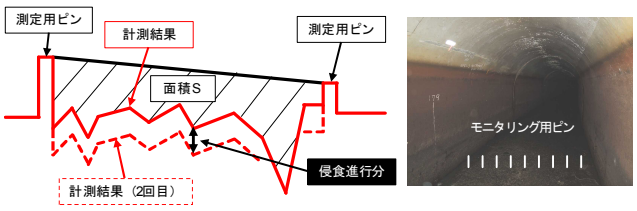


図-11　コンクリート侵食量モニタリング設置イメージ

b)骨材溶解モニタリング調査

コンクリート背面・内部に伏在していると推定されるジャンカ部の骨材溶解が進行して劣化穴の形成に至る期間を把握し、補修時期等の劣化予測に反映させることを目的として、円柱状の石灰石のモニタリング用供試体をインバート部に設置する（図-12）。導水側と背面側の影響をモニタリングするため、計測面を上向き・下向きそれぞれをセットする。今後、年1回、モニタリング用供試体を引き上げて、表面の凹凸状況を観察・撮影記録をするとともに、供試体の重量・侵食深さを測定する。

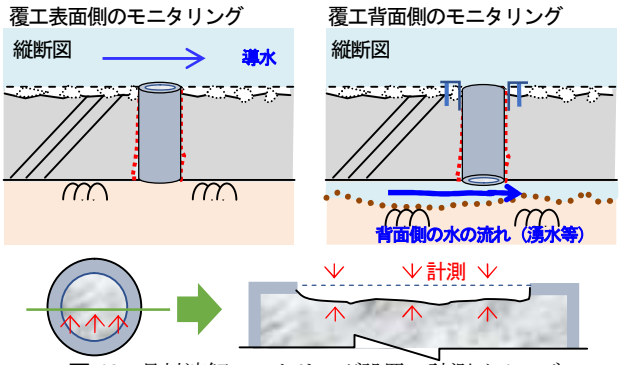


図-12　骨材溶解モニタリング設置・計測イメージ

(3)マニュアルの改訂

調整水路の材料劣化について、現行基準での判定は、「インバート部の剥離・剥落」として評価されていたが、前章までの調査結果より、主要劣化である骨材溶解・劣化穴に特化した点検方法及び劣化判定基準を設定する必要があると考えられた。そのため、既存マニュアルの見直しを行い、「北部ダム群調整水路等維持管理マニュアル（案）」を改訂し、骨材溶解・劣化穴に着目した健全度評価のとりまとめを行った。特に、改訂したマニュアルでは、劣化穴の測定記録方法や、劣化のサイズ、湧水の有無等から判定を行い、その重要度から補修の時期を含めた判定基準を設定する流れに見直しを図った他、今後進めていくモニタリング調査を特別点検として位置づけた。

5.　まとめ

今回、これまで整理されていなかった調整水路の材料劣化の発生原因や長期的な経年変化の状況、構造物内部の状態等について調査・点検を実施した。また、その結果をもとに調整水路の健全度評価基準を設定した「北部ダム群調整水路等維持管理マニュアル（案）」及び中長期的な維持管理方針等を定めた「調整水路トンネルの長寿命化計画（案）」を策定した。今後はこれらのマニュアル等に沿って計測・観察を継続を実施し、データの蓄積・分析を行い、新たに得られる知見をマニュアルに反映させ、計画的かつ効率的な維持管理と北部ダム群調整水路の長寿命化を図っていく。

地域住民等による植栽管理の取り組みについて

照屋　淳・川間重一

沖縄総合事務局　北部国道事務所　名護維持出張所　（〒905-0012 沖縄県名護市名護4618-34）

北部国道事務所管内の多くは、広範囲に亘る観光地を抱え、我々道路管理に関わる職員は、その観光地を訪れる観光客や県民等、道路利用者に対して、移動中も良好な道路空間を提供することが要求される。名護維持出張所では、更なる維持管理の工夫を提案するために、現行の各道路維持作業の内容を洗い出し、どのような工夫を行えばよいか議論を行った。本論では、地域住民による道路維持事業への関与、特に既存植栽や残地管理のあり方を見直すことにより、道路維持管理の効率化がある程度期待できることを述べるものである。

キーワード　維持管理、植栽、植栽撤去、地域住民、残地

１．道路維持に関する現状

（１）道路維持管理の現状

図-1に北部国道事務所の最近の実施計画時の維持予算及び道路延長を年度ごとに示す。図より、道路維持管理に関する内容が見直された2010年度以降、道路維持予算は、概ね横ばいの状態であることが分かる。この予算の減額に伴う影響は、図-2に示すような行政相談の件数が増えたことからも、道路への維持管理に支障を来しつつあることが伺える。従って、現状の予算水準で、本土復帰以降に集中的に整備された道路を同時に適切な状態で維持するには十分ではないことが予想される。

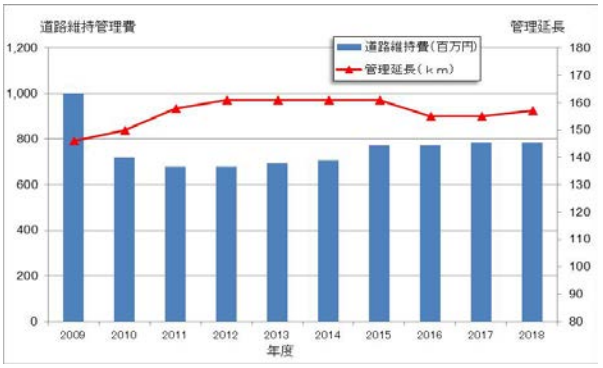


図-１　道路維持管理費と管理延長の推移

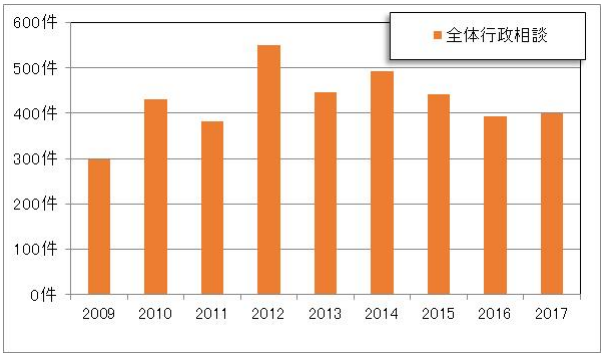


図-2　最近の行政相談件数

本論においては、道路維持に関する各工種の内容を吟味し、これまで以上に維持管理コストを低減できる手法がないか、所内で議論を行った。議論にあたって、図-3に示す昨年度の行政相談のデータを用い、維持工種の見直しのヒントとなる工種を整理した。図より、行政相談で最も多く寄せられた情報は、落下物に関するものであり、これは維持業者への回収指示により解決する。他の多くの行政相談も維持業者対応や窓口対応で解決するものの、「除草・せん定」は、実際に当該現場に行っても、維持管理基準[1)]を満たしていることもあり、情報を寄せる地域住民や道路利用者の主観に左右されることが分かった。そこで、出張所では「除草・せん定」について、課題を明らかにし、その解決策を検討することとした。

（２）雑草・植栽に関する現状

「除草・せん定」は、道路雑草の繁茂と植栽の不具合に関するものであり、具体的にどのような問題があるか、所内で議論を行った。まず、雑草や植栽に関する維持管理行為の実態を沿道区分や場所に応じて、整理したところ、概ね表-1に示すように、維持工事での対応と地域住民等による除草等作業を整理することができた。表より、

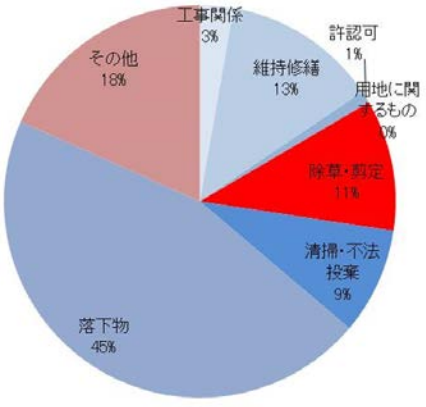


図-3　2017 年度行政相談内訳

表−１　除草等の対応状況

沿道区分	集落等 （市街地、住宅地）	集落間 （山林区間、海岸線）
中央分離帯	維持工事対応	維持工事対応
植栽帯 （歩車道）	維持工事対応 地域住民等	維持工事対応
法面	維持工事対応	維持工事対応
残地・交通島	維持工事対応 地域住民等	維持工事対応



写真−１　地域住民による植栽帯作業（名護市久志）



写真−2 地域住民による交通島での作業（宜野座村）

走行車両に近接するような中央分離帯や傾斜のある法面は、道路管理者の維持工事での対応となる。地域住民等の除草等への参画は、道路管理者に対しての道路美化活動の届け出が前提であり、写真-1及び写真-2に示すような沿道区分が「集落等」の植栽帯や残地等に限定される。一方で、人家がまばらな沿道区分が「集落間」の植栽帯や残地等では、地域住民等による除草作業等の協力を得られにくい。しかしながら、北部国道管内の場合、「集落間」の延長が長いことから、「集落間」における雑草や植栽管理のあり方を見直し、効率的な道路維持が実現できればその効果は大きいと考えられる。

２．維持業者らとの「集落間」の事例整理

（１）事例収集

「集落間」の植栽帯や残地等における除草等の維持管理行為を検討するにあたり、現在、維持工事においてどのような対応をおこなっているか事例を収集した。特に出張所に寄せられた行政相談で、不具合等をどのように対応しているかの確認を行った。事例収集にあたり、週



写真−3　維持工事担当者工程会議

間工程確認の際に、写真-3 に示すような雰囲気で、維持工事担当者らが写真を持ち寄り、過去の維持工事や自ら思っていることなど、幅広かつ自由に意見を出してもらった。結果、今後改善の余地があると思われるものを有用と考えられる項目を以下の通り抽出した。

・既存植栽の撤去可能な区間を増やすこと
・プロがやるべきところを明確にすること
・残地や交通島の植栽の維持管理を考えること
・植栽が地域の風景に寄与すること

以降、具体的な事例を主に写真を使用し、述べる

（２）既存植栽帯の撤去事例

写真-４に示すような歩道が山林に隣接している区間の歩車道の植栽帯からの雑草を何とかしてほしい旨の要望がある。除草を行ってもしばらくすると再度雑草が繁



写真−4　植栽帯の除草要望箇所



写真−5　植栽帯の撤去後

茂することから、その都度除草していかなければならない。しかしながら、除草の目的が、車道から歩道が見えるようにして欲しいという要望であったため、植栽帯を撤去すれば見通しが改善する旨の提案を行い、写真-5 に示すような部分的な区間で植栽撤去の試験施工を行った。その結果、地元区長からは、見通しのよい区間をもっと伸ばして欲しい旨コメントを得た。本事例は、植栽帯の雑草をその都度刈り込むだけの対応でなく、地元の要望を踏まえて提案した代替案であり、今後、同様の措置がしやすくなった事例である。ただし、このような措置の場合、地域住民等とのコミュニケーションが不可欠であり、従来とおりの除草の要望である場合は、維持管理基準に従った回数で、除草スケジュールの提示したり、地域住民等への除草作業を促すことも必要である。

（３）プロがやるべき区間の明確化

「集落間」の植栽帯等において、地域住民等に任せてはいけない区間の提案があった。例えば、写真-6 及び写真-7 にあるようなヤシ類の場合、特に観光地にアクセスする区間に多く、地域の景観に馴染んでいるため、適切な維持管理が要求される。写真に示すように、ヤシ類は大きな葉であり、これらが落下すると道路利用者に被害を及ぼしかねないことから、葉の生長具合を見極めたせん定作業が求められる。また、写真-8 及び写真-9 に示すような害虫等がヤシ類の成長を阻害するため、これらの対策も含めて手がかかる。このような樹種の区間は、ある意味、植栽維持業者として、腕を見せるところであり、専門的なことは任せて欲しいとの彼らの要望でもある。



写真-6　海側歩道のココヤシ（名護市喜瀬）



写真-7　海側歩道のビロウ（恩納村名嘉真）



写真-8 キムネクロナガハムシ（ココヤシ）



写真-8 タイワンカブトムシ（ビロウ）黒いもの全て

（４）残地や交通島の植栽の維持管理

北部国道管内の「集落間」に、広大な残地が存在し、これらの維持管理が大きな課題として残っている。特に残地に山林が隣接している場合、除草等の維持管理行為の現状は必要最小限のため、雑草が繁茂すると荒れた状態になる。現状の残地の活用は、道路改良工事等で発生した既存植栽の移動先になるため、写真-9 のように広大なまとまりのない植栽スペースになりつつある。さらに、先に示したヤシ類の不具合に対する措置も行われないため、生育状態も悪い。植栽維持業者としても、道路植栽であったものが、特に手を入れることもなく、放置されていることが正しい選択なのかとの疑問をぶつけられた。最近、残地の植栽スペースが飽和状態になりつつあり、今後は、移植するだけではなく、成長の見込みがないもの、費用対効果の面で撤去が優位なものは、伐採も選択



写真-9　残地に寄せられたヤシ（名護市許田）

肢として検討してよいと考えられる。一方で写真-10 から写真-12 のような国道 58 号に見られる植栽は、地域のシンボルとなっているものもある。これらは、維持管理にさほど負担もかからないため、数ある道路植栽を同様に管理するよりも、見栄えの良い少数の道路植栽を重点的に管理する手法が優位となる可能性があることを示している。手がかからない維持管理は、地域住民等の協力も得られやすいことから、今後検討したい。



写真–10　交通島のリュウキュウマツ（国頭村奥間）



写真–11　ミフクラギとフクギ（大宜味村喜如嘉）



写真–12　フクギの寄せ植え（国頭村謝敷）

３．植栽が地域の風景に寄与する可能性

これまでの事例を踏まえて、所内において広大な残地を改善できないか検討を行った。そこで、モデル的に名護市数久田において、維持業者らと踏査を行ったところ、生育のよいリュウキュウマツが多数あることが分かった。



写真–13　残地の手つかずの植栽



写真–14　除草及びせん定・伐採を実施後の残地

一方で、周辺にデイゴが多数あるものの、最近、その生育を悪化させるデイゴヒメコバチの被害を受け、伐採もやむを得ないレベルに至っていることを確認した。そこで、試験的に写真-13 に示す残地の一部分のリュウキュウマツを重点的に手入れし、それ以外の植栽は伐採を行った。その結果、写真-14 のように、残地の見通しが改善され、リュウキュウマツが際立つことが確認された。残地であることから、今後もこの状態を維持するには、除草は「粗刈り」でよく、走行車両や歩行者のある沿道に必要な保安施設や誘導員も不要なため、単価も押さえることができる。しかしながら、道路維持管理基準では、残地等の除草やせん定に関して、今後も継続することができないため、道路管理者でなく、地域住民等の協力を得ることにより事業を継続することが考えられる。地域住民等の協力が得られない場合でも、残地を一つの地域の風景として維持するために必要なコストをオープンにし、例えば、「リュウキュウマツの風景を再現する」などの NPO の設立を促し、クラウドファンディングにより資金調達する手法も考えられる。いずれにしても、道路空間の余剰スペースを活かすことを考えれば、維持管理コストの低減だけでなく、地域住民等の利活用の可能性があることから、今後も所内で闊達な議論を続けて、アイデアを出していきたいと考えている。

参考文献

1)沖縄総合事務局：道路維持管理基準
（http://www.ogb.go.jp/kaiken/michi/005297.html）

地方中小橋梁の簡易的たわみモニタリングに関する検討

株式会社 TTES　　正会員　　梅川　雄太郎，　○菅沼　久忠
岐阜大学　　正会員　　木下　幸治

１．はじめに

迫りくる急速な人口減少社会のなかで，地方自治体では財源・人材・技術力不足の課題に対応すべく，最小限の費用・人員で多数の橋梁の性能を確認できる簡易な技術が必要とされている．

橋梁の耐荷力調査において，たわみは重要な指標であるが，周辺環境によっては計測が困難な指標とされてきた．

そのような中，加速度を利用することで活荷重たわみを計測できる技術 [1)]が進歩してきた．本論では，橋梁でたわみの計測精度検証を行うと共に，たわみに着目した継続的なモニタリングに関する検討についてまとめる．なお，本計測では，加速度データよりたわみを作業者依存なしで全自動算出 [1)]する㈱TTES の INTEGRAL を利用した．

２．対象橋梁概要および計測・走行試験概要

対象橋梁の概要および計測機器の設置位置を**図 1** に示す．対象橋梁は，１車線であり，支間長 L=24[m]，有効幅員 4.9[m]の鋼単純 H 桁橋である．

地覆上には加速度センサを橋軸方向に 7 ヶ所に設置し，さらに，断面 A-A’の主桁上には加速度センサと変位計 CDP-25 を設置した．各加速度センサと変位計は同じデータロガーKEYENCE NR-600 に接続し，時刻同期した状態でデータを計測した．なお，データのサンプリングは 200[Hz]とした．

試験車輌による走行試験では，全重量 7.8[ton]の 2 軸トラック，3.5[ton]のマイクロバスおよび 1.6[ton]のミニバンの計 3 台を試験車輌として，橋面上にて走行させ，その際の加速度およびたわみを計測した．

３．加速度によるたわみ計測の精度検証

走行試験では各車輌で 3 回ずつ往復走行を実施し，計 18 回の走行試験を実施した．**図 2** に示すように，各試験データから変位計と加速度を用いたたわみ算出法 INTEGRAL の結果を比較し，最大誤差とばらつきを，3σ 法を用いて評価した．

各ケースの算出結果を整理すると，最大誤差は平均で 2.35%，誤差 3σ は平均で 0.05[mm]であった．以上の結果より高精度で活荷重たわみを計測することが可能であることを確認した．

４．計測位置の影響

地覆上と主桁上でのたわみ計測について，地覆上と主桁上のたわみ算出結果を比較し，橋面上からの計測作業可能性について検討する．

図 3 に示すように，地覆上と主桁上のたわみは同等の値を示しており，最大値で 0.004[mm]の誤差であった．本対象橋梁では，簡易な計測のため，今後は橋面からの作業で問題ない．幅員が広い橋等では，走行試験時の橋軸直角方向走行位置のズ

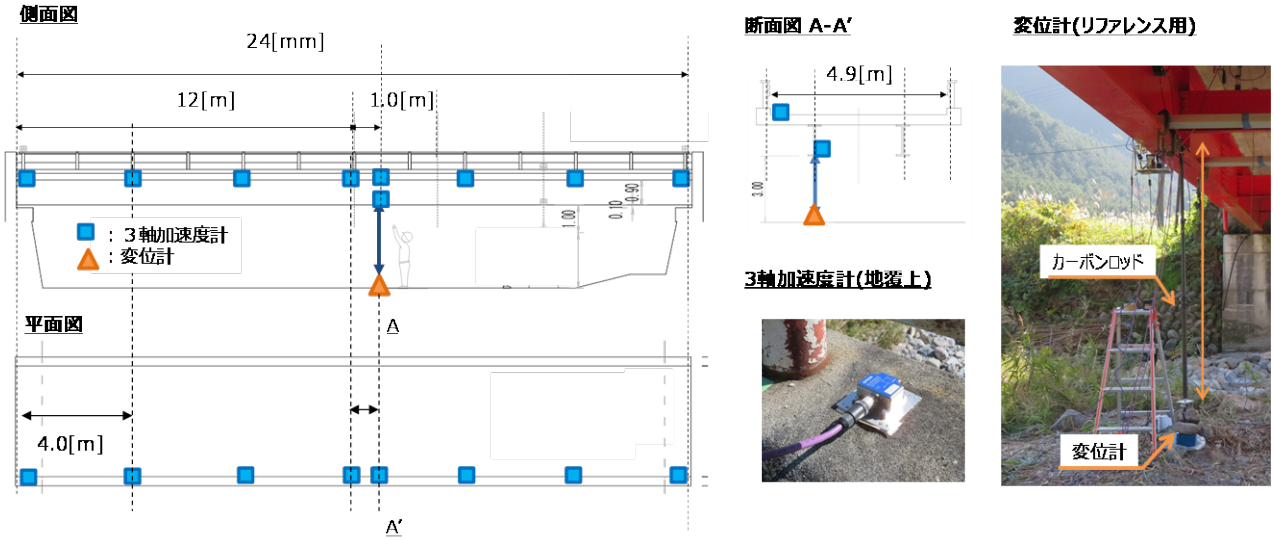


図 1　対象橋梁および計測機器設置位置概要

キーワード　モニタリング，たわみ，加速度計，地方自治体，中小橋梁
連絡先　　〒153-0051　東京都目黒区上目黒 3-30-8 S2　(株)ＴＴＥＳ　TEL:03-5724-4011

レの影響が大きくなるため，両側の地覆で計測することが望ましい[2].

5．過年度との計測結果の比較

a） 橋軸方向の計測位置の違い

たわみの変化を確認する上で，過年度 2016 年と今年度 2018 年では計測位置が異なる．

橋軸方向の複数点におけるたわみの同時刻の値を抽出することで，対象橋梁のたわみの形状を算出し，この形状関数より補正した値を過年度と今年度の比較に利用することとした．結果を**図 4** に示す．

b） 荷重車に対する応答の関係

過年度と今年度の結果より，荷重車とたわみの関係を**図 5** に示す．各試験車輌における荷重とたわみの関係より，荷重とたわみが高い相関性で線形の関係にあることが確認された．

c） たわみの経年変化

前項より過年度と今年度が線形の関係にあると仮定し，試験車輌を 10[ton]として換算した値を比較した．

図 6 に示すように，過年度と今年度との計測結果の平均値はそれぞれ 2.92[mm]と 2.96[mm]となり，+1%(0.04[mm])の変化であった．これは計測誤差 0.05[mm]以下の範囲内であり，評価が難しい小さい変化であることから，今年度までたわみの値は変化していないことが確認できた．

6．まとめおよび今後の展望

橋梁の性能をモニタリングする試みとして，継続的なたわみ計測を実施した結果について整理する．

1). 加速度計を用いて，3 σ =0.05[mm]の精度で活荷重たわみを算出できることが確認された．
2). 対象橋梁の継続的な計測により，たわみは変化していないことを確認した．
3). 対象橋梁では橋面上からの計測で主桁たわみと同等のたわみが評価可能である．また，設置位置の違いをたわみの形状関数を利用することで補正可能であることを確認した．

今後はたわみの変化や値で，橋梁の損傷･劣化状態との判断を行うためのデータを実験や現場で収集していきたい．

また，そのためにも，WEB アプリケーションや IoT デバイスの開発と合わせてより効率的にデータを収集することが重要である[3].

【謝辞】この研究は岐阜県山県市様に現場提供いただき実施された．

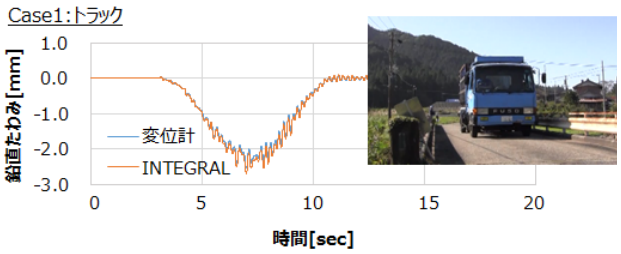


図 2　試験車輌の走行試験結果例（トラック）

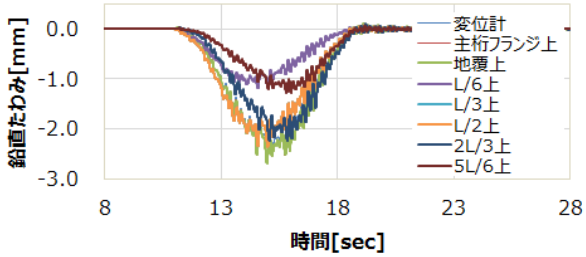


図 3　橋軸方向の各計測点の活荷重たわみの例

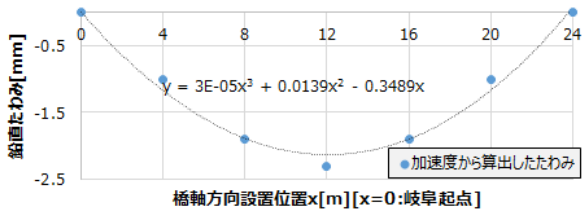


図 4　橋軸方向のたわみ形状関数

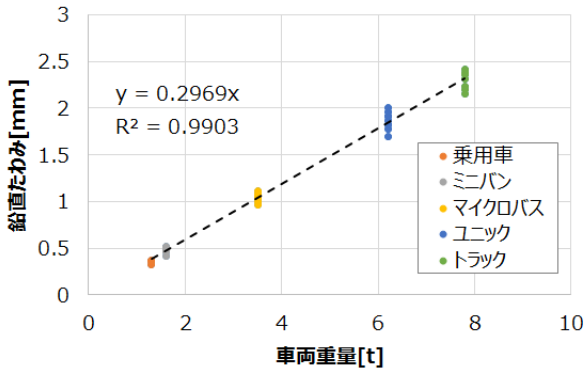


図 5　試験車輌重量と最大鉛直たわみの関係

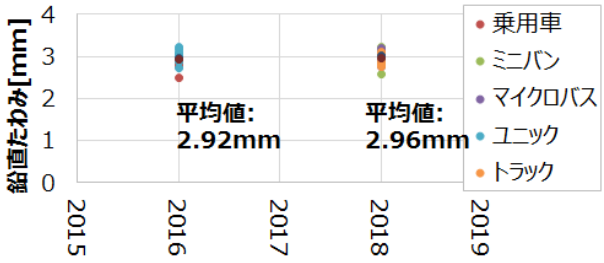


図 6　たわみの経年変化確認

参考文献

1) 梅川ら:"車両通行に伴う加速度データを用いた橋梁の変位モニタリングに関する検討", 第72 回土木学会年次学術講演会
2) 比山ら："TWM システムを用いた橋梁のたわみ計測"土木学会西武支部沖縄会, 第 7 回技術研究発表会, 2018.
3) Infra Studio：http://infra-studio.com/

複数加速度センサを用いた橋梁のたわみ算出方法に関する検討

株式会社 TTES　　正会員　○梅川　雄太郎，　菅沼　久忠
岐阜大学　　正会員　　木下　幸治

１．はじめに

橋梁の維持管理の重要性が叫ばれている中，近接目視点検の性状評価だけでなく，橋梁の性能を評価できる技術が必要とされている．

橋梁の耐荷力調査において，たわみは重要な指標であり，連続桁や大型橋梁において，耐荷力の評価や初期状態の把握の観点からたわみの評価が期待されている．

しかしながら，画像やレーザーを用いた非接触たわみ計測では周辺環境の問題で困難なことも多い．加速度の 2 階積分を活用した活荷重たわみ計測[1),2)]は橋面から計測可能である．しかし，車輌通過時間の増加に伴う積分誤差の増幅が問題であり，山間部や T 字路などの狭隘部，道路交通法の制限により，通常速度の走行試験が難しい橋梁や支間が長い大型橋梁には適用が困難である．

本稿では，前述の理由により従来の加速度を用いた活荷重たわみ計測の適用が難しい橋梁を対象とした手法を検討する．支間が長い橋梁，低速走行や一時停止が必要な橋梁，でも適用可能な手法として，複数の加速度センサを用いたたわみ算出方法について検討する．

２．対象橋梁概要および計測・走行試験概要

対象橋梁の概要および計測機器の設置位置を**図 1** に示す．対象橋梁は，１車線であり，支間長 L=24[m]，有効幅員 4.9[m]の鋼単純 H 桁橋である．

地覆上には加速度センサを橋軸方向に 7 ヶ所設置し，さらに，断面 A-A’の位置には加速度センサと変位計を設置した．各加速度センサと変位計は同じデータロガーで時刻同期しながら計測した．データのサンプリングは 200[Hz]とした．

試験車輌による走行試験では，全重量 7.8[ton]，の 2 軸トラックを試験車輌として，橋面上を通常走行させ，その際の加速度およびたわみを計測した．さらに，通常の走行試験が困難な状況を想定し，低速走行および一時停止を想定した試験を実施した．

３．複数の加速度センサを用いたたわみ算出アルゴリズムの検討

橋梁のたわみは**図 2** に示すように，時刻tにおける橋軸方向xのたわみ関数$\delta(x)$は橋軸方向の曲率関数$\varphi(x)$の積分で表される．

$$\delta(x) = \int \varphi(x)\,dx \qquad 3.1$$

桁全体の曲率を多項式関数として定義すると次の式で表される．

$$\varphi(x) = a_1 x^n + a_2 x^{n-1} + a_3 x^{n-2} + \cdots + a_{n+1} \qquad 3.2$$

式3.1, 3.2 より，たわみ関数は次の式で定義される．

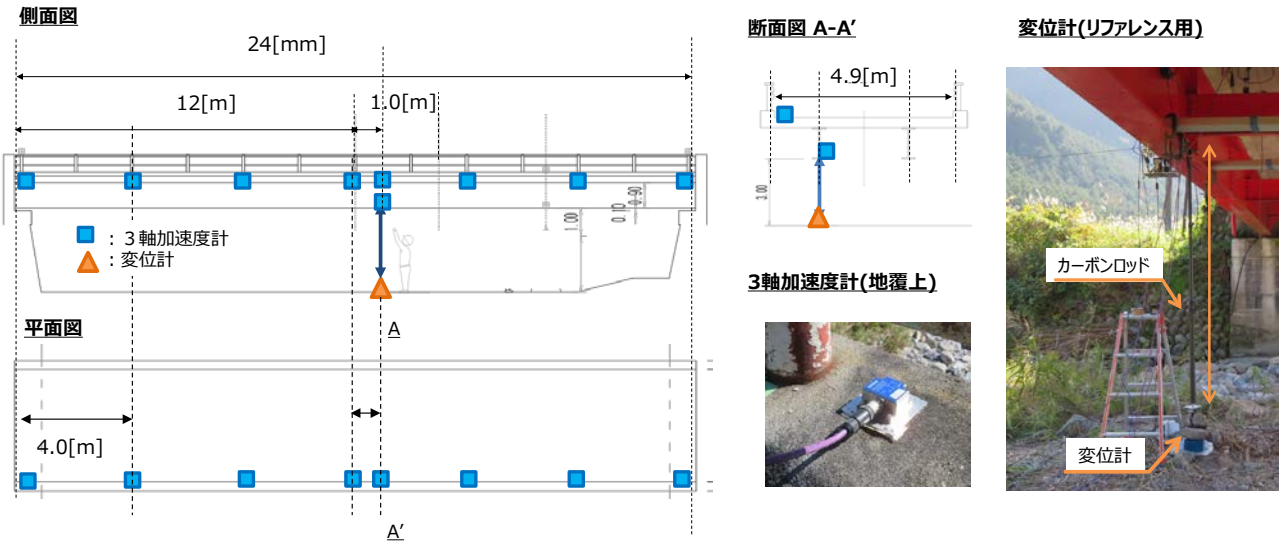


図１　対象橋梁および計測機器設置位置概要

キーワード　モニタリング，たわみ，加速度計，傾斜，耐荷力，性能照査

連絡先　　〒153-0051　東京都目黒区上目黒 3-30-8 S2　(株)ＴＴＥＳ　TEL:03-5724-4011

$$\delta(x) = \frac{a_1}{n+1}x^{n+1} + \frac{a_2}{n}x^{n} + \frac{a_3}{n-1}x^{n-1} + \cdots + a_{n+1}x + a_{n+2} \quad 3.3$$

a_nはn次関数の係数である．

時刻tにおいて，計測位置x_{φ_i}における計測データの傾斜$\varphi_i(t)$を用いて，上記の式関係より最小二乗法を用いて，各次数の係数を求め，各時刻tにおけるたわみ$\delta(t)$を算出する[3]．

4．傾斜角の算出

各計測点における橋軸方向の傾斜角は加速度を用いて，次の式より算出した．

$$\varphi_i(x) = \sin^{-1}\frac{A_x}{G} \quad 4.1$$

$\varphi_i(x)$，A_xは計測位置xにおける橋軸方向の傾斜角および橋軸方向加速度である．Gは重力加速度である．

既存手法では，橋梁の固有振動や試験車輌からの加振により曲率関数の推定精度が下がる．本稿ではローパスフィルターを用いて余分な振動成分を除外し，また，低周波でのノイズによるドリフトを補正した傾斜データを用いてたわみ算出方法を提案する．たわみ算出に利用した各計測点の傾斜データを**図 3** に示す．

5．たわみ算出結果の比較・評価

傾斜データを用いて，低速走行のたわみを算出した結果を**図 4** に示す．車輌が通過時間 25 秒程度通過している場合でも，3σ=0.13[mm]の精度で算出された．

また，**図 5** に示すように，一時停止でも3σ=0.15[mm]の精度でたわみを算出された．

各試験の算出結果の評価を**図 6** に示す．

6．まとめおよび今後の展望

従来のたわみ計測が難しい連続桁や大型橋梁等に対しても適用可能な手法として，複数の加速度を用いた活荷重たわみ算出方法の実測データでの適用性検討と処理改善を試みた．

1). 複数の加速度計を用いて，3σ=0.15[mm]の精度で活荷重たわみを算出できることが確認された．
2). 低速走行や一時停止の走行試験でもたわみを算出することができ，適用対象の車輌通過時間が 25 秒以上であってもたわみを算出できる可能性が確認された．

今後，センサの設置位置の最適化や処理の自動化について検討し，さらに，連続桁や長大橋の実橋梁での適用性検討を進めていきたい．

【謝辞】この研究は岐阜県山県市様に現場提供いただき実施された．

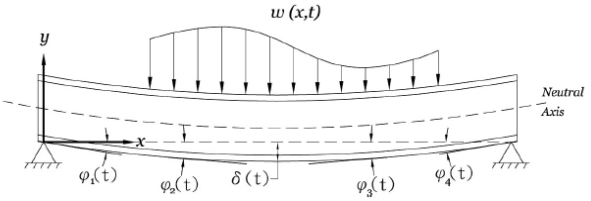


図 2　橋梁のたわみと曲率関数の概念図

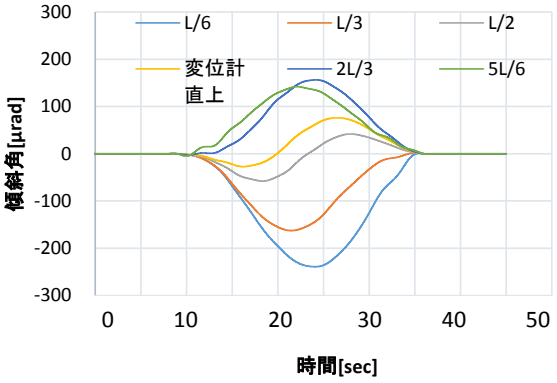


図 3　各計測点の傾斜データ（低速走行）

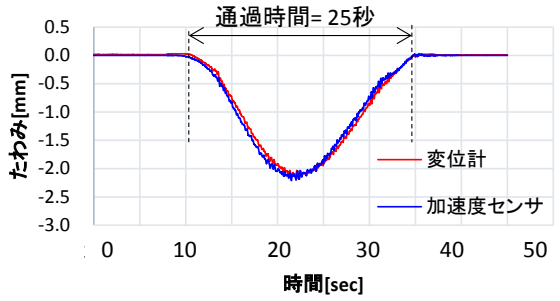


図 4　たわみ算出結果（低速走行）

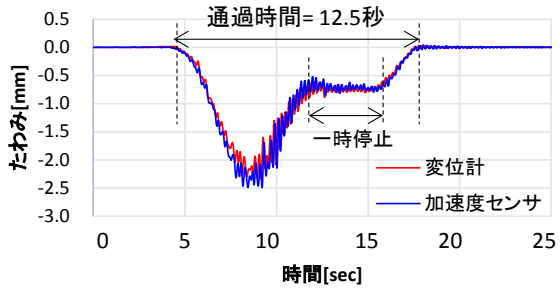


図 5　たわみ算出結果（一時停止）

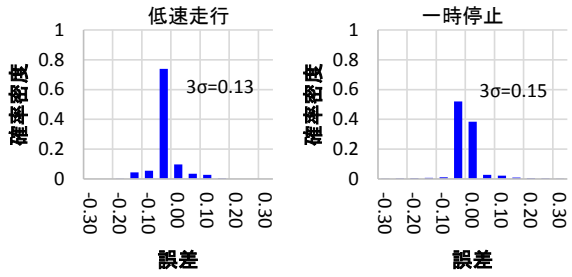


図 6　たわみ算出結果の誤差評価結果

参考文献

1）梅川ら：″車両通行に伴う加速度データを用いた橋梁の変位モニタリングに関する検討″，第72 回土木学会年次学術講演会
2）梅川ら：″加速度応答を用いた変位応答モニタリングに関する検討″，土木学会西部支部沖縄会，第8回技術研究発表会，2019.
3）Helmiら：″Reference free method for real time monitoring of bridge deflections″，Engineering Structures, 103, 116-124, 2015.

磁気を利用した非破壊検査機器によるプレテンＩ桁のＰＣ鋼材破断位置判定

川田建設(株)　正会員　○垣花　　寿　コニカミノルタ(株)　正会員　森田　　博
(一社)沖縄しまたて協会　正会員　　玉城　喜章　コニカミノルタ(株)　　丸山　一直
琉球大学工学部　正会員　　下里　哲弘　コニカミノルタ(株)　　阿部真之介
コニカミノルタビジネスアソシエイツ(株)　橋本　好之

１．はじめに

プレストレストコンクリート橋（以下，ＰＣ橋と記述）は，塩害などの劣化要因によりＰＣ鋼材が腐食・破断し，耐力が低下することがある．ＰＣ橋にひび割れが生じた場合，そのひび割れ箇所におけるＰＣ鋼材の腐食状況や破断位置が検知できれば，今より簡単に残存性能が診断できるようになると考えられる．

劣化したＰＣ橋の残存性能を診断するには，ＰＣ鋼材の腐食状況や破断位置の把握が不可欠であるが，ＰＣ鋼材はコンクリート内に位置するため，腐食状況や破断位置の目視確認が困難であることから，これらを調査する非破壊検査技術の開発が進められている．

現在，開発中である磁気を利用した非破壊検査機器による実橋プレテンＩ桁のＰＣ鋼材破断位置を計測した結果を述べる．

２．磁気を利用した非破壊検査機器の概要とＰＣ鋼材の着磁方法

磁気を利用した非破壊検査機器は，鋼材を着磁すると破断位置において磁極の入れ替わりによる磁束の変化を捉えることで，鋼材の破断位置を特定する装置である．3 軸磁気センサが一直線上に 5cm 間隔で 20 箇所に配置されている磁気計測装置とタブレットの携帯通信を利用したクラウド解析プラットフォームから構成される．現在，使用される漏洩磁束法は，1 つのＰＣ鋼材に合わせて（1 測線と表現）計測するが，本装置では磁気計測装置を 10cm 間隔で 5 箇所に固定できる測定フレーム（写真-1 参照）を使用し，一度に 5 測線を計測する．3 軸磁気センサによるＸ軸，Ｙ軸，Ｚ軸の磁束密度－測定位置図（以下，磁束－位置図と記述）と 5 つの測線の磁束－位置図の鋼材状況に応じた波形変化を確認できるため，ＰＣ鋼材破断位置とスターラップ位置を精度良く判定できる．

計測するプレテンＩ桁は，斫り検査によりＰＣ鋼材が SWPR2N φ2.9mm であることが確認されているため，着磁したＰＣ鋼材の磁束密度が大きくなりすぎないように，着磁用磁石を用いて着目した任意の一直線上に沿ってゆっくり一定方向に動かして着磁（着磁法）する方法とした（写真-2 参照）．



写真-1　検査装置による測定作業状況


写真-2　着磁作業状況

３．プレテン桁計測結果の評価

実橋プレテンＩ桁における測定結果を代表し，ＰＣ鋼材が破断した場合（図-1 参照）と破断していない場合（図-2 参照）の磁束－位置図とその判定結果を示す．磁束－位置図のうち，Ｘ軸は桁軸直角方向，Ｙ軸は

キーワード　ＰＣ橋，ＰＣ鋼材の破断，ひび割れ，非破壊検査，磁気，センサ
連絡先　〒900-0015　沖縄県那覇市久茂地 3 丁目 22-1 日高ビル 5F-B　川田建設(株)沖縄営業所　TEL 098-864-0048

桁軸方向，Ｚ軸はプレテンＩ桁底面に対して桁高方向の磁束密度を計測した結果となる．

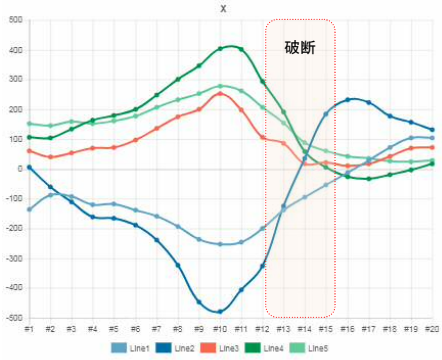


図-1-1　磁束-位置図(X軸)

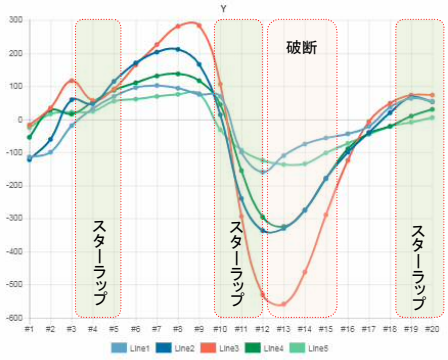


図-1-2　磁束-位置図(Y軸)

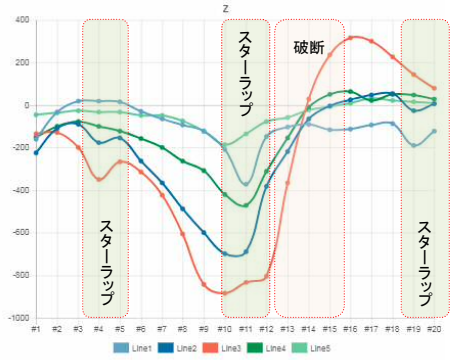


図-1-3　磁束-位置図(Z軸)

図-1 のＸ軸グラフでは，＃13～15 の範囲において正から負に変化するグラフと負から正に変化するグラフが交差する（以後，交差波形と記述）ことが分かる．Ｙ軸グラフでは，＃13～15 の範囲において谷型の波形（凹波形）となる．Ｚ軸グラフでは，＃13～15 の範囲において負から正へのＳ字カーブの波形（Ｓ字波形）となる．これらから，＃13～15 の範囲においてＰＣ鋼材が破断していると判定した．＃13～15 以外では，Ｘ軸グラフは交差波形がなく，＃3～5，＃9～11，＃18～20 付近でＹ軸グラフでは逆Ｓ字波形，Ｚ軸グラフでは凹波形であるため，スターラップがあると判定した．

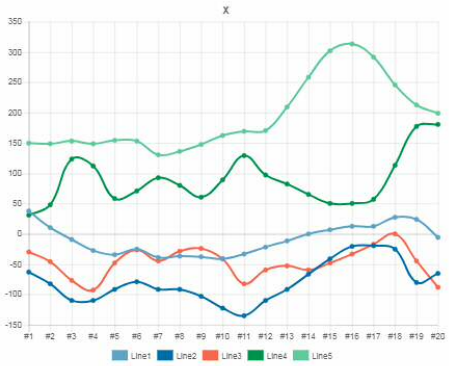


図-2-1　磁束-位置図(X軸)

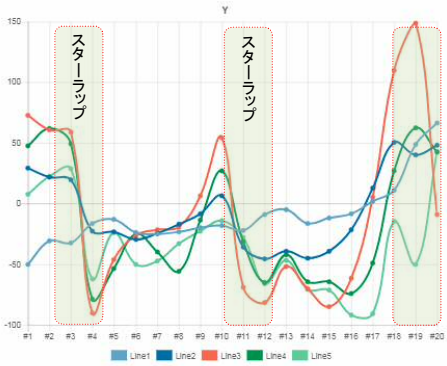


図-2-2　磁束-位置図(Y軸)

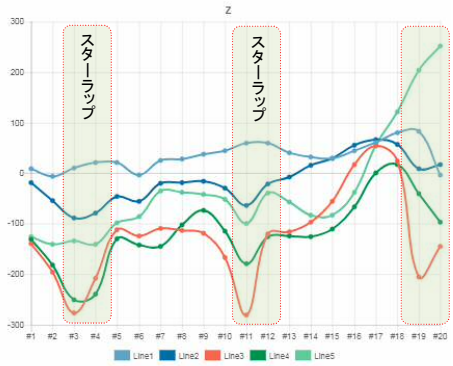


図-2-3　磁束-位置図(Z軸)

図-2 のＸ軸グラフは交差波形がないため，ＰＣ鋼材の破断なしと判定し，＃2～4，＃10～12，＃18～20 付近で，Ｙ軸グラフでは逆Ｓ字波形，Ｚ軸グラフでは凹波形であるため，スターラップと判定した．このように，Ｘ，Ｙ，Ｚ軸のグラフと 5 つの測線における磁束 - 位置図のグラフにより，3 軸グラフの特徴を確認することで，ＰＣ鋼材の破断位置やスターラップ位置の判定が可能であることが分かる．

４．おわりに

本論文では，磁気を利用した非破壊検査機器により，大まかにＰＣ鋼材の破断位置やスターラップ位置が計測できることを示した．過去の JIS 資料から計測したプレテンＩ桁は，細径ＰＣ鋼材が 30～50㎜ 間隔で配置されていると考えられるため，次に示す点に留意し，計測機器や着磁方法を改善して計測精度を向上する必要があると考えられる．1）本検査機器は 10cm 間隔で計測するため，測線間にあるＰＣ鋼材の磁束密度を精度よく計測できるようにする．2）3 軸磁気センサが 5cm 間隔であるため，ＰＣ鋼材破断位置の判定範囲が 5～10cm と大きいことから，特定精度を向上する．3）着目直線のみ着磁すると，着磁位置から離れているＰＣ鋼材ほど磁束密度が小さくなり，ＰＣ鋼材破断位置の判定が難しくなるため，桁底面を一様に着磁する．

今後は，着磁方法や計測方法を改良した非破壊検査装置を用いてプレテンＩ桁を計測するとともに，斫り検査を行って，磁気を利用した非破壊検査機器の計測精度を確認する予定である．

最後に，本論文は土木学会西部支部沖縄会　技術小委員会「インフラの劣化予測と残存性能の診断に関する小委員会」が行った研究の一環で作成したものである．本計測にご協力頂きました，内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所の皆様に，深く感謝を申し上げます．

磁気ストリーム法によるＰＣ橋の内部鋼材破断を検知する非破壊検査ソリューション

コニカミノルタ(株)　正会員　○森田　博　　コニカミノルタ(株)　丸山　一直
コニカミノルタ(株)　正会員　阿部真之介　コニカミノルタビジネスアソシエイツ(株)　橋本　好之

１．はじめに

日本ではインフラの老朽化が進んでいる。非常に多くの橋梁が高度成長期に建設された為、一般的な耐用年数 50 年を超える橋梁の割合が 2025 年頃から急増し、過半数を超えると言われている。

プレストレストコンクリート橋（以下，ＰＣ橋と記述）を例にすると，高度成長期に建設されたＰＣ橋の中には、グラウト充填不足や塩害などにより、コンクリート内部にあるＰＣ鋼材の劣化が進んでいるものが存在しているが、外観の確認を中心とした近接目点検では、橋梁の内部の状況を把握するのは困難である。

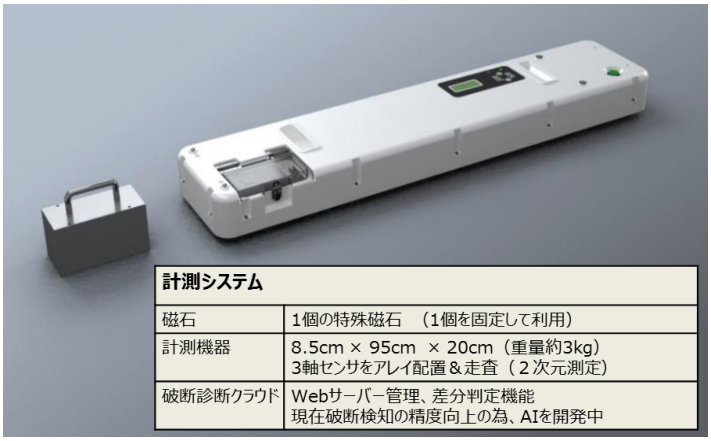
特にポストテンションのＰＣ橋（以下、ポステンＰＣ橋と記述）では、外観に異常が発生しても内部にあるＰＣ鋼材の劣化状況は把握しにくい。そこで我々のグループでは、ＰＣ橋の劣化状況を把握する手段の一つとして、内部ＰＣ鋼材の破断位置を検知・可視化できる非破壊検査技術の開発を進めてきた。非破壊により簡便に内部鋼材破断を検知・可視化する事で、ＰＣ橋における健全度調査の質を向上させる事が可能となり、残存性能の診断、そして具体的な補修補強の策定に繋げる事ができると考える。

２．　ＰＣ鋼材の内部鋼材破断検知ソリューション（以下 SenrigaN と記述）の概要

SenrigaN は、内部鋼材破断の検知・可視化をするソリューション（図-1）であり、磁気センシングと IoT によるデータ解析で破断箇所を特定する。計測原理は、我々が開発した磁気ストリーム法を利用している。

主な特長は、以下の３点。

・計測後すぐに破断検知の確認が可能。計測データは即時に鋼材診断クラウドにアップされ、タブレット端末等ですぐに結果を確認ができる。
・２人で計測できる利便性。（１回の計測面 16cm×70cm。計測時間 約 30 秒 ）
・独自のアルゴリズムによるデータ解析で、深かぶり部位の破断検知を可能とする。（開発中）



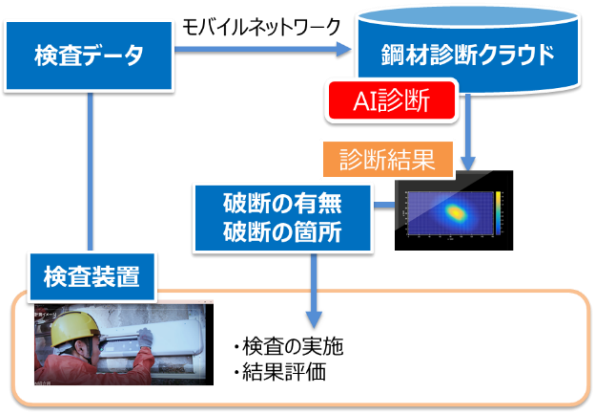


図-1　ソリューション概要（計測機器　及び　破断診断クラウド）

キーワード　ＰＣ橋，ＰＣ鋼材の破断，非破壊検査，磁気，センサ
連絡先〒108-0075　東京都港区港南 1-2-70 品川シーズンテラス 25F　コニカミノルタ(株)BIC-Japan　森田　博
TEL 080-6861-5849　E-MAIL hiroshi.morita@konicaminolta.com

３．計測原理（磁気ストリーム法）

磁気ストリーム法は、コンクリートの外側から内部鋼材に対して特殊な磁石をあてがい、一方向から磁場をかける事で、破断による磁場の急減衰現象を捉える方式である。（図-3：磁気ストリーム法の原理）

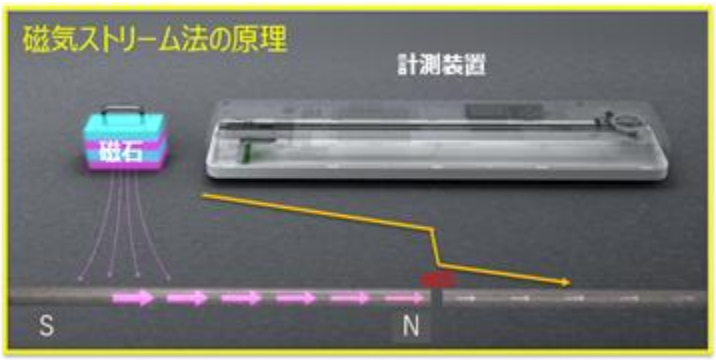


図-3　磁気ストリーム法の原理

内部鋼材に破断がない健全波形の場合、磁力は距離と比例して徐々に弱まりながら一定方向に流れる為、センサで検知した磁力は一定方向に下がっていくが、破断箇所がある場合、磁力の流れが途中で分断されるため、分断されたところを境にして磁力が急激に下がる。

このような磁力の変化により鋼材の破断を検知することが可能である。（図-4）

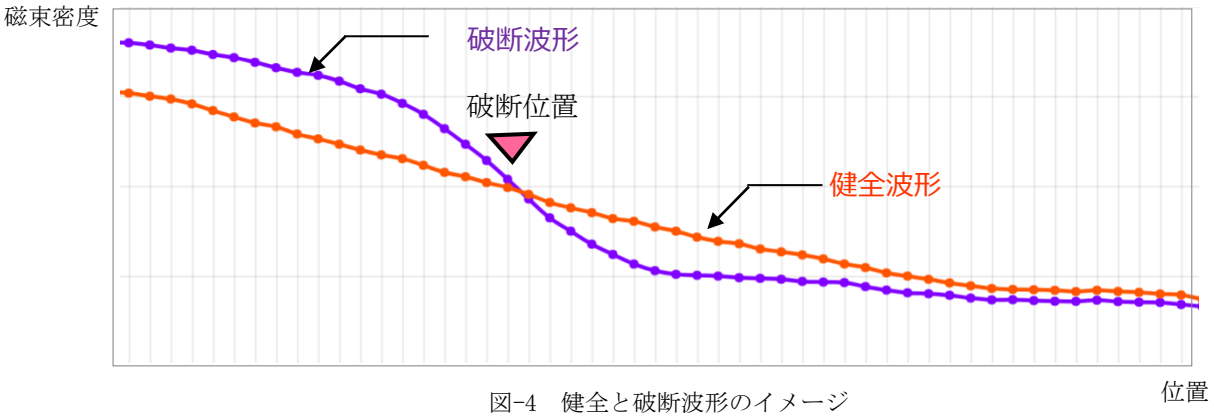


図-4　健全と破断波形のイメージ

４．実験結果

実験室に設置したポステンＰＣ橋桁モデルを使った計測結果例を紹介する。
計測対象の鋼材は直径 28.6 ㎜の 19 本撚り線からなる PC 鋼材(1S28.6)を内径 45 ㎜、厚さ 0.27 ㎜の標準タイプシース管に挿入したもの。グラウトは未充填。（写真-1）



写真-1　PC 鋼材を標準タイプシース管に挿入したもの

◆計測モデルは２種類。

健全 PC と破断 PC を 20 ㎝離して配置した 2 本構成モデル（写真-2）と破断 PC の両側に健全 PC を 10㎝離して配置した 3 本構成モデル。（写真-3）

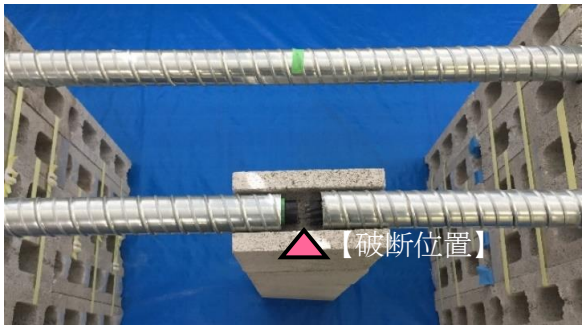


写真-2　2 本構成モデル

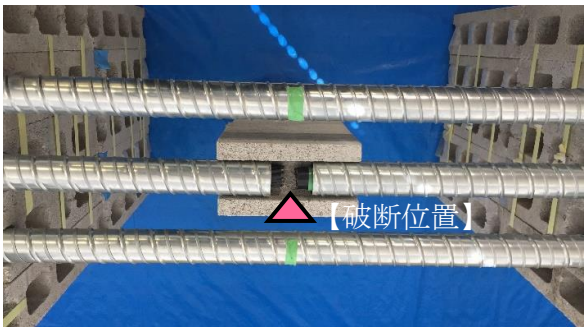


写真-3　3 本構成モデル

計測手順は、磁石を利用する場合と利用しない場合の２ステップとなる。

・第１ステップでは、磁石を設置して磁気ストリームを鋼材に発生させた状態で計測。（写真-4）

・第２ステップでは、計測装置を同じ位置で動かさずに、磁石を外した状態で計測。（写真-5）



写真-4　計測手順　第 1 ステップ



写真-5　計測手順　第 2 ステップ

第 1 ステップの計測データから第２ステップの計測データを減算。

磁石設置で計測したデータには磁石による磁気ストリーム成分のほか、計測対象が予め帯磁している自発成分や地磁気などの環境磁気が含まれるため、環境磁場である磁石なしの計測データを減じることで、純粋な磁気ストリーム成分のみを取り出すことができる。

磁石ありとなしの２回の計測データは計測装置からすぐにクラウド上の鋼材診断サーバに送信され、サーバ上で２回の計測データと減算処理された差分演算結果を確認することができる。

ここで計測装置は幅 16 ㎝方向には 4 ㎝間隔で 5 個の 3 軸センサが 2 段構成で備わっており、長さ方向は走査しながら 1 ㎝毎に計測を行うため、幅 16 ㎝、長さ 70 ㎝の矩形領域に対して、5 x 71 個の 3 軸 2 次元磁場データが 2 面得られる。

2 本構成モデルの差分演算結果を全体図（図-5）とセンサ０と４の拡大図（図-6）を示す。

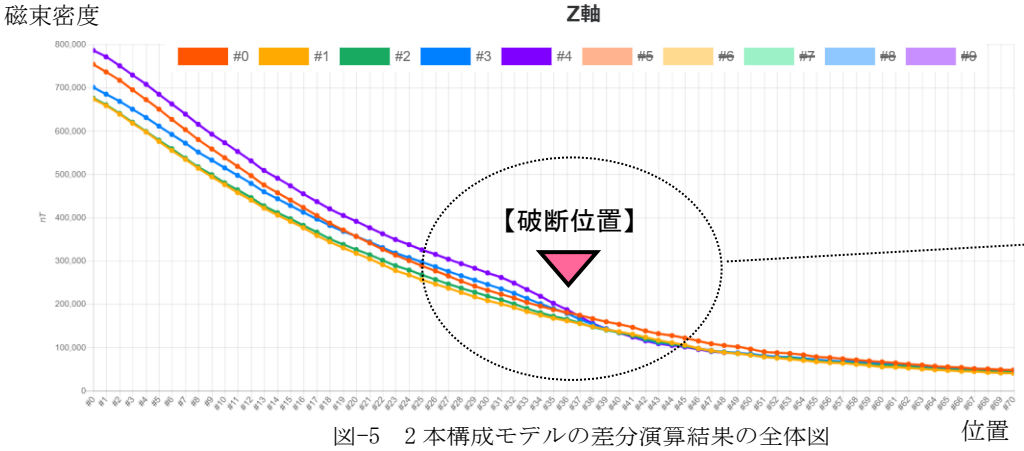


図-5　2 本構成モデルの差分演算結果の全体図

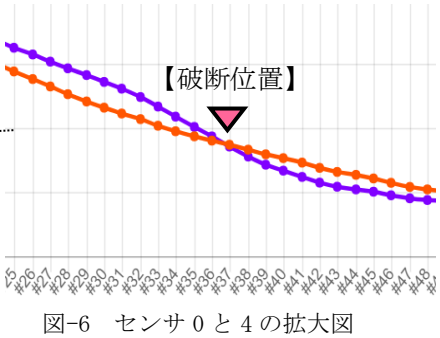


図-6　センサ 0 と 4 の拡大図

センサ０は健全なＰＣ鋼材上、センサ４は破断したＰＣ鋼材上に配置されており、それぞれ同時に走査計測される。計測結果を見ると、健全側のセンサ０が磁石からの距離に応じて一定割合で徐々に減衰するのに対し、破断側のセンサ４は破断位置の#３５付近で明らかな急減衰が発生することが確認できる。

同様に３本構成モデルの計測結果を全体図（図-7）とセンサ０，２，４の拡大図（図-8）を示す。計測結果をみると、両側に配置された健全ＰＣを捉えたセンサ０とセンサ４が、磁石からの距離に応じて一定割合で徐々に減衰するのに対し、破断ＰＣを捉えたセンサ２は破断位置の#３５付近で明らかな急減衰が発生することが確認できる。

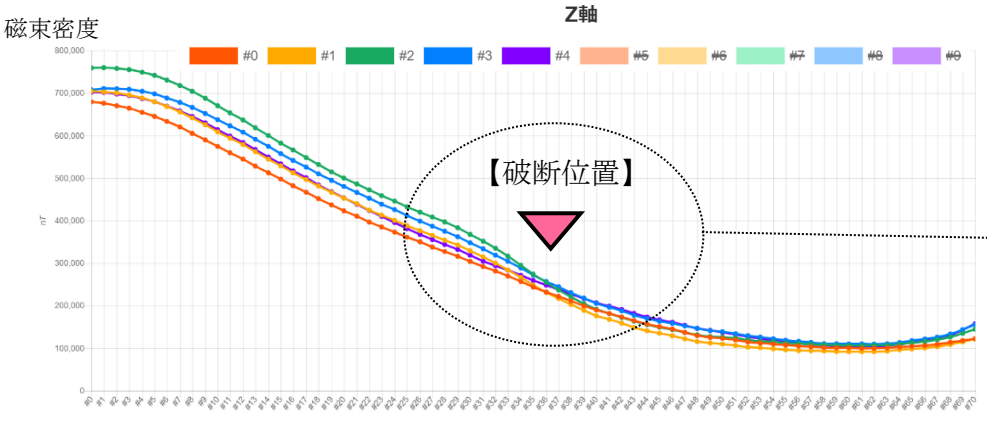


図-7　３本構成モデルの計測結果を全体図

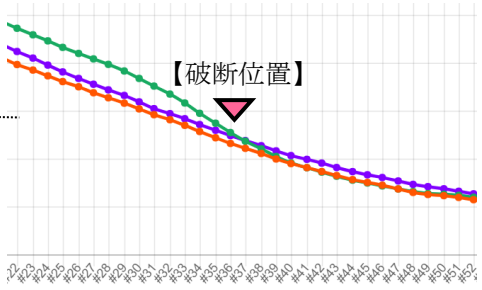


図-8　センサ０，２，４の拡大図

この実測結果は磁気シミュレーション解析結果とも一致する。本稿ではＺ軸波形の紹介にとどめるが、Ｘ軸成分、Ｙ軸成分にも破断の特徴波形が得られ、３軸の波形を総合的に分析することで検出精度は向上する。また、交差スターラップが存在すると破断減衰カーブに似た波形変化をもたらすことが分かっている。（図-9 参照）

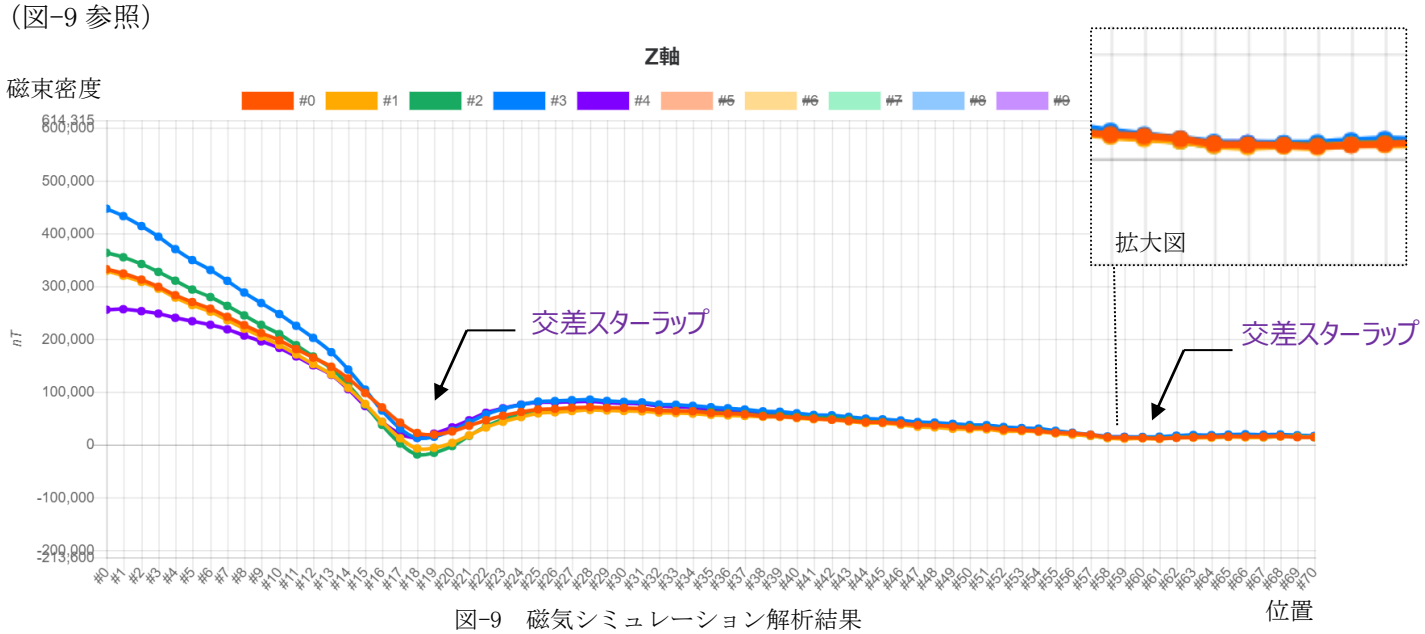


図-9　磁気シミュレーション解析結果

ＰＣ鋼材破断の場合、破断直上の特定センサのみが変化するが、交差スターラップは計測装置を直線的に横切るように配置されるため、交差するセンサ０～４全てに同様の変化が生じる。交差スターラップにはＳ極とＮ極が発生するため、図 5-5 の様にスターラップ手前で一旦値が下降した後、スターラップ直後に値が上昇することも、急減衰のみの破断波形とは異なる特徴を持っている。図-9 では#18 付近と#58 付近にスターラップによる波形変化を捉えており、これらの特徴差をスターラップとＰＣ鋼材破断の切り分け判定に活用することができる。

５．適用事例と効果

我々は、顧客起点からの事業開発というアプローチの元、プロトタイプでお客様と実証実験を進める中で、常に顧客価値と利用シーンを確認しながら開発を進めている。現在では、新幹線で利用されるポステン PC 橋の実証実験も開始している。



写真６　橋桁試験体（ポステンＰＣ橋）における計測

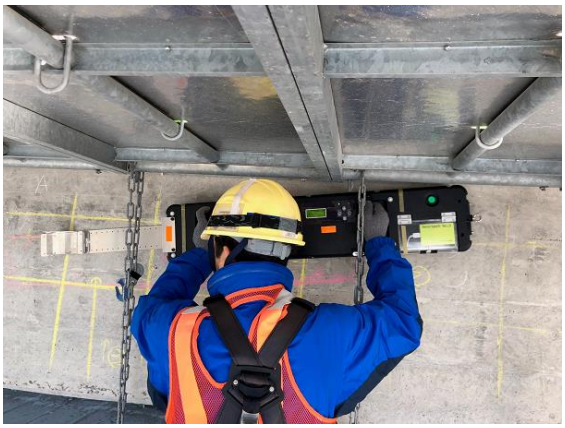


写真７　実橋桁（ポステンＰＣ橋）における計測

インフラ老朽化問題に対する効果としては、内部鋼材破断がわかると、簡便な残存性能の診断に繋がり、どの橋を優先的に補修すれば良いか、また、破断箇所がわかればどのように補修・補強すれば良いか等具体的な補修・補強の策定に繋がると考えている。

また更なる展開として、インフラの老朽化はグローバル共通であり、例えば US や欧州は、過去の事故から、インフラ維持管理は先行しており、橋梁数も多い為、当然非破壊検査のニーズが存在する。新興国でも、シンガポールやベトナムなどは、既にアセットマネジメントに取り組んでおり、日本と同様に沿岸部では塩害などの問題もあり、内部鋼材の劣化・破断は、橋梁の劣化要因として重要な問題になると考える。

さらに内部鋼材破断の検知は、他の構造物にも展開が可能である。吊り橋をささえるメインケーブルや、橋梁と同じように内部に PC 鋼材がある PC タンク、電柱も同様であり、さらには、鉱石を運ぶ役目のコンベヤベルトもゴムの内部に鋼材が存在する為、本技術は展開可能と考える。



写真８ ミャンマーの吊り橋（Shwelaung Bridge）



写真９ ミャンマーの吊り橋メインケーブル計測

６．おわりに

現在様々な関係者の協力を得て、実橋で実用化に向けたデータを取得している段階である。その結果コンクリート橋の内部には鋼材､スターラップ以外にもイレギュラーなデータの原因となる異物が埋め込まれていることがわかってきている。このような鋼材以外の原因をデータ解析やAIにより取り除き鋼材の健全性、鋼材の破断の有無を判断する性能の向上に取り組んでいる。

この開発に成功すれば、専門的な知識を持たない検査員が計測を行っても、精度よく鋼材位置の特定が可能となる。また将来的には、検査人員不足などに対応するべく、ロボットアーム等と融合した遠隔からの作業や自動化も視野にいれた技術開発も進めていきたいと考えている

機械学習を用いた音伝播特性による疲労き裂の検出性能の評価

琉球大学　○櫻井絵里加　東京工科大学　天野直紀
琉球大学　田井政行　下里哲弘　南伸（株）久米仁司

１．はじめに

鋼構造物の溶接継手の止端部には，図 1 に示すような疲労き裂が発生しやすい．疲労き裂が進展することにより，構造物の耐久性や耐荷力に大きな影響を与えるため，早期発見が重要となる．一般的に，疲労き裂の検出には磁粉探傷試験が用いられるが，実際の鋼構造物の多くは塗装が施されており，塗膜下の疲労き裂の検出には塗膜の除去が必要となる．また，目視での塗膜割れと疲労き裂の違いの判断は困難と言える．そのため，新たな疲労き裂検出技術の開発が求められている．



図 1　溶接継手部の疲労き裂例

２．音伝播特性を用いたき裂検出方法

疲労き裂の検出手法として，塗膜の上からでも伝達すると考えられる，音の伝播特性に着目した．例えば，図 2 に示すようなき裂 0mm とき裂 4.7mm のデータのわずかな違いを機械学習により学習させ，判定を行うことで疲労き裂の検出性能の評価を行った．

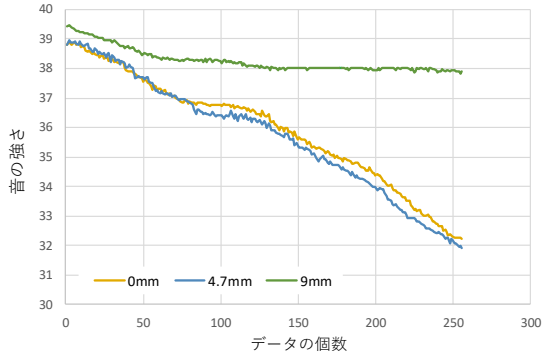


図 2　収集データの例

本研究では，溶接止端部の疲労き裂検出において，音の伝播特性に着目し，機械学習を用いることで，疲労き裂の有無やき裂長さの識別が可能か基礎的検討を行った．

３．疲労試験による機械学習用データの収集法

機械学習を用いた音伝播特性の変化による疲労き裂検出の可能性を検討するために, 疲労試験を実施した. 試験体を図 3 に示す. 面外ガセット溶接継手を使用し，繰返引張荷重を載荷させることで疲労き裂を発生，進展させた．疲労試験は，定期的に試験機を停止し，き裂の発生･進展時の音伝播特性の変化の計測を行った．

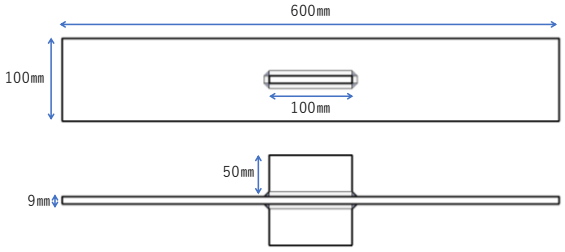


図 3　面外ガセット溶接継手

図 4 に計測機器を示す．計測には圧電スピーカー(SPT15)と MEMS マイク(SPU0414HR5H-SB)を及び PC を使用した．スピーカーから可聴音である ド(262Hz)，ミ(339Hz)，シ(494Hz)の 3 音を発信し，発信前，発信中，発信後にマイクで各データを収集した．

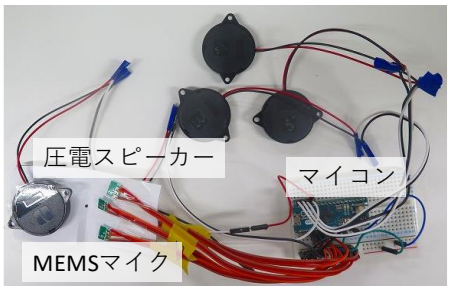
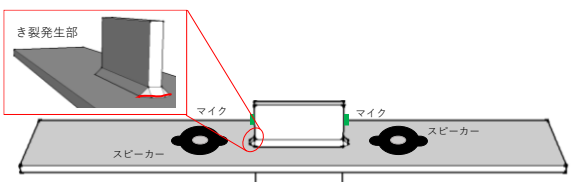


図 4　計測機器

計測機器の設置位置を図 5 に示す．き裂発生予想部



キーワード：機械学習，音伝播特性，疲労き裂検出，Neural Network
連絡先：〒901-0213　沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地　琉球大学工学部　環境建設工学科

（溶接止端部）を挟む形で，スピーカーとマイクを対応させ設置し，疲労試験を実施した．[1]破断後，き裂長さの計測を行うため，各き裂長さにおいてビーチマーク載荷を行った．破面に残されたビーチマークを図 6 に示す．

4．疲労き裂検出法の適用性の評価

疲労試験により収集したデータの評価については Microsoft Azure Machine Learning Studio を利用し，アルゴリズムには Neural Network を使用した．収集したデータの 50%を評価用，50%を学習用とし，中間層を 3 層，重みを 0.1 として機械学習を行った．

表 1 にき裂の有無の判定結果を示す．これより，き裂の有無の判定はできる可能性が示唆された．

表 2 にビーチマークより測定した実際のき裂深さと，機械学習による判定の正答率を示す．表 2(a)にき裂なしの状態と，わずかなき裂である 1.4mm，2.0mm のき裂深さの判定結果を示す．これより，き裂の有無はもちろんのこと，き裂深さ 1.4mm，2.0mm の 0.6mm の差についても高い精度で判定が可能と考えられる．全てのき裂深さのデータを用いた判定結果を，表 2(b)に示す．表 2(b)より，データ数が増えた場合についても，深さの判定は可能と考えられる．

表 3 に，き裂深さ 3.1mm 以外のデータを学習させ評価用データとし，3.1mm のデータを評価させた正答率を示す．結果として，60%が 1.4mm と判定しており，3.1mm に近い 2.0mm と 4.7mm と判定したのは 5.0%，10.0%という結果となったため，多項分類では実際のき裂深さの判定は難しいことが示された．

5．まとめと今後の展望

本研究では，機械学習を用いた音伝搬特性による疲労き裂の検出性能について，基礎的な検討を行った．面外ガセット溶接継手の疲労試験により発生したき裂進展時の計測結果により，き裂の有無だけでなくき裂長さを推定できる可能性が示された．今後は，同様の試験体で塗装を施したものを使用し，塗膜割れと疲労き裂の違いの判定を行うとともに，機械学習を用いたき裂深さの推定，適切な評価用データの設定を行う予定である．

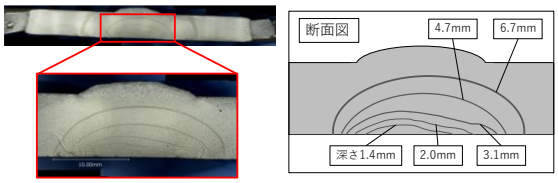


図 6　ビーチマーク

表 1　き裂の有無の正答率

		機械学習により判定したき裂の有無	
		なし	あり
実際のき裂の有無	なし	100%	
	あり		100%

表 2　き裂深さの判定結果

(a) わずかなき裂深さの正答率

		機械学習により判定したき裂深さ(mm)		
		0	1.4	2.0
実際のき裂深さ(mm)	0	100%		
	1.4		95.8%	4.2%
	2.0			100.0%

(b) 全てのき裂深さの正答率

		機械学習により判定したき裂深さ(mm)						
		0	1.4	2.0	3.1	4.7	6.7	9
ビーチマークにより計測したき裂深さ(mm)	0	100%						
	1.4		89.5%	10.5%				
	2.0			100%				
	3.1			5.5%	83.3%	11.1%		
	4.7					100%		
	6.7					5.3%	84.2%	10.5%
	9						5.6%	94.4%

表 3　き裂深さの推定結果

		機械学習により判定したき裂深さ(mm)					
		1.4	2.0	3.1	4.7	6.7	9
ビーチマークにより計測したき裂深さ(mm)	1.4						
	2.0						
	3.1	60.0%	5.0%		10.0%	6.7%	10.0%
	4.7						
	6.7						
	9						

参考文献

[1]　櫻井絵里加，天野直紀，田井政行，下里哲弘，久米仁司：音伝搬特性の機械学習を利用した疲労き裂検出の試み，土木学科　西部支部沖縄会，2018.1

音伝播特性に着目した照明柱のき裂検出手法についての特性評価

東京工科大学　○小林誠治
東京工科大学　　天野直紀

1. はじめに

今日では社会インフラの老朽化の問題が社会問題となっているが、照明柱もその例外ではない。全国には約 600 万基という非常に多くの道路標識や照明柱が設置されている[1]。国土交通省の調査によると 6,886 基中損傷が確認された照明柱と標識は約 5 割にも及び、倒壊や落下の恐れがある大きな損傷は 1 割程度あることが確認されている[2]。このことから倒壊する恐れがある照明柱の補強や撤去、交換を行う必要がある。

交換等を合理的に実施するためには倒壊の前兆となるき裂の計測を行う必要がある。既存の点検手法は目視と磁粉探傷試験が主流である。しかし、目視の場合は人的コストが、磁粉探傷試験の場合にはさらに金銭的コストとその試験の性質上塗装の除去、復元するためのコストが必要になる。このため安価で簡易的な装置かつ、常設可能な装置でき裂を検出することが必要である。

2. 音伝播特性に基づいたき裂検出手法

先行研究[3] [4] において、試験体に対して加振試験を行ってき裂を発生させ、その前後の計測データからき裂の検出およびき裂長さの推定が一定の精度で可能であることを示した。具体的には圧電スピーカーにより可聴音（262, 330, 494Hz）の信号を発信し、MEMS マイクを用いて 55kHz, 256 サンプリングのデータとして受信した。計測は Arduino Micro マイコンを用いて行った。機械学習には Azure Machine Learning Studio 上の Multiclass Neural Network Model および Neural Network Regression Model を適用した。このときのき裂検出の精度は正答率が 95.4%であった。また、き裂長さの推定は 2～24mm の間でほぼ線形であった。

3. サンプリングの影響による計測精度への影響評価

前述の先行研究ではサンプリングレートの安定性に若干の疑問があることと、マイコンの性能上の理由からサンプリング数を増やすことができなかった。本研究ではサンプリングをより安定した状態とし、サンプリング数を増加させることとした。その上で、ダウンサンプリングを行い、サンプリングレートによってき裂の検出精度がどのような影響を受けるのかを評価した。

キーワード　照明柱, き裂, 推定, 音伝播特性, 機械学習
連絡先　〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1 東京工科大学工学部電気電子工学科
Email : amano@stf.teu.ac.jp

この実験では使用マイコンをソニーセミコンダクタソリューションズ社製のSPRESENSE に変更した。このマイコンには標準でオーディオ録音機能があるので、この機能を用いて、サンプリング周波数 48kHz,量子化ビット数 16bit で測定を行った。圧電スピーカーと MEMS マイクは先行研究と同一のものを用いた。この実験での擬似的な試験体として 4 本の同一の鋼管を用意し、傷なし、傷あり 3 段階（1mm,10mm,20mm）の状態を再現し、繰り返し実験ができるようにした。

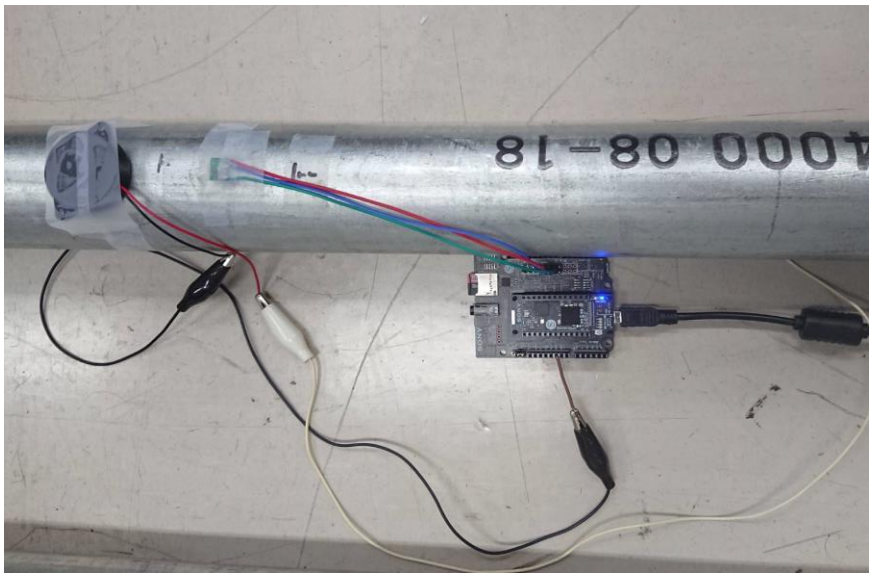


図　1　計測装置

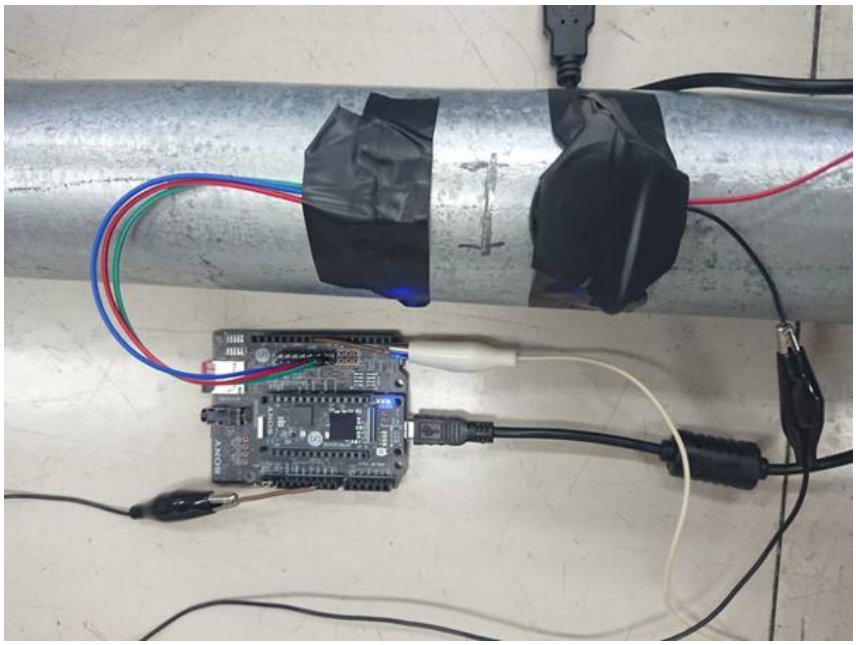


図　2　試験体

比較のため、総サンプリング数を 4,096 点とし、これをダウンサンプリングしたデータを、隠し層を 3 層(2,048 2,048 2,048)、iteration(試行回数)を 1000 回、データ件数を 360

と固定した機械学習で推定（計測データの半数を学習用、残り半数を評価用）を行い、そのときの正答率を求めた。その結果を表 1 に示す。

表 1　サンプリングレートと正答率

サンプリングレート［kHz］	正答率［%］
24kHz	99.4%
12kHz	98.9%
6.0kHz	99.4%
3.0kHz	98.9%
1.5kHz	98.9%
0.75kHz	96.7%
0.38kHz	97.2%
0.19kHz	93.9%

サンプリングレートが高いほど正答率が高く、サンプリングレートを 1.5kHz まで低下させても正答率は 98.9%と高く維持できていることから、実用化に際してはこのような手法で基準を明らかにすることができると考えた。

4. おわりに

音伝播特性に着目した照明柱のき裂検出手法の検出精度について、サンプリングの特性という面から評価を行った。比較のためにダウンサンプリングを行い、機械学習を用いたき裂検出精度の評価を行い、この事例では 1.5kHz までサンプリングレートを低下させても高い正答率を維持できることを確認した。サンプリングレートを低下させることで必要ハードウェアや消費電力を軽減することができるため、ここで得られた知見を元にした設計が可能となると考えられる。

今後はき裂長さの推定への影響についても評価を行い、より実用的な検出・推定手法としての実現要件を明らかにする予定である。

参考文献

[1] 玉越隆史,白戸真大,増田安弘,道路標識・照明施設の定期点検, http://www.pwrc.or.jp/thesis_shouroku/thesis_pdf/1508-P022-025_tamakoshi.pdf
[2] 玉越隆史,星野誠,市川明弘,国土技術政策総合研究所資料 - 国土交通省 国土技術政策総合研究所, http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0685pdf/ks0685.pdf
[3] 櫻井絵里加，天野直紀，田井政行，下里哲弘，久米仁司，音伝搬特性の機械学習を利用した疲労き裂検出の試み，土木学会，土木学会西部支部沖縄会，2018 年 1 月
[4] 天野直紀，田井政行，下里哲弘，櫻井絵里加，久米仁司，音伝播特性に対する機械学習

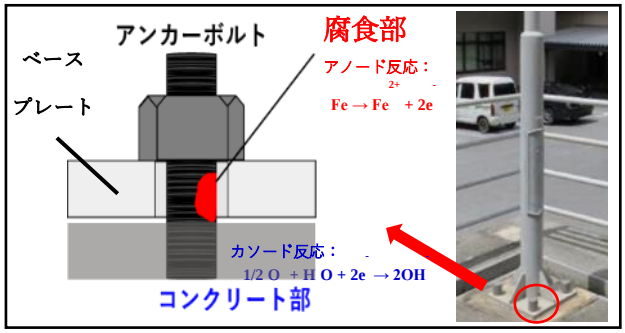
を用いた照明柱の疲労き裂検出, 土木学会, 平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会予稿集, 2018 年 8 月

電気抵抗法によるアンカーボルトの腐食減肉量の測定方法に関する研究

琉球大学　○平山勇太朗，淵脇秀晃，田井政行，下里哲弘，有住康則
首都高技術（株）日和裕介

1.はじめに

照明柱や標識柱等をコンクリート上に固定する方法として，図－1 に示すようにコンクリート中に埋設されたアンカーボルトにより固定する方法がある．鋼材がコンクリート中に埋設される場合，鋼材とベースプレートの境界部において，マクロセル腐食による著しい腐食損傷が発生すると考えられている．その腐食により，構造物の倒壊の危険性が高まっているため定期的にアンカーボルトの腐食量点検を行う必要がある．アンカーボルトの腐食部はナットとベースプレートで目視での確認が困難な部位である．路上等でのアンカーボルトの腐食部点検のためにベースプレートの取り外しや，通行止め等により時間と労力を費やす．そのためにコンクリート中に埋設されたアンカーボルトの腐食量を効率的に計測する方法を検討する必要がある．以上のことを踏まえて本研究では，腐食量計測方法として，アンカーボルトの電気抵抗値の変化量から腐食量を算出する電気抵抗法の適用性を検証することを目的とする．また，現場でアンカーボルトの抵抗値測定実施の際、より適用性のある測定端子の選定も行い，同様の電気抵抗法による減肉量測定の検証を行った．



図－1:コンクリート中に埋設されたアンカーボルト

2.抵抗値計測を行った上での腐食量測定の検証

2.1.断続抵抗計測での電気抵抗法の適用性の検証

アンカーボルトの定電流電解試験を行い，電気抵抗法による腐食量推定の検証を行った．

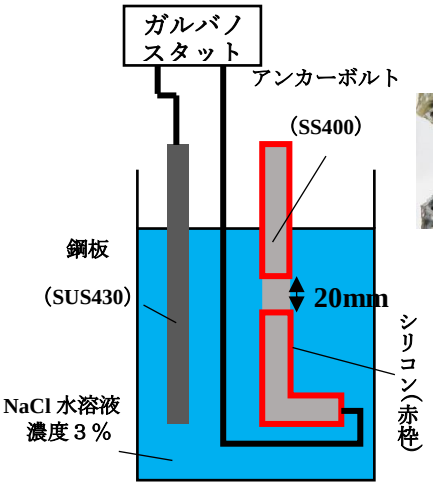
現場での実用性を想定して電気抵抗法(四端子法)による腐食量を断続して計測し，腐食部のノギス計測による腐食量も計測し，理論値との比較を行い，断続での電気抵抗法の適用性の検証を目的としている．

2.2.試験体と実験器具

試験体:φ24 ㎜アンカーボルト
実験器具:鋼板(SS430)，抵抗測定器，
ガルバノスタット，電極

2.3.試験方法

図－2 の簡易図のように試験を行う．試験体の減肉部(腐食範囲:20 ㎜)以外をシリコンコーティングして溶解防止し，NaCl 水溶液(3%)に試験体を入れて 0.1A の電流を流し，減肉過程での定期的な計測時に電流を停め，抵抗測定端子 A(写真－2)を着脱して抵抗測定及びノギス計測をする．



図－2:定電流電解試験の簡易図



写真－1:アンカーボルト

$$C_t = r_0 - \left[\frac{1}{\pi}\left(S_0 - \frac{ItM_{Fe}}{2F\rho_{Fe}}\right)\right]^{1/2}$$

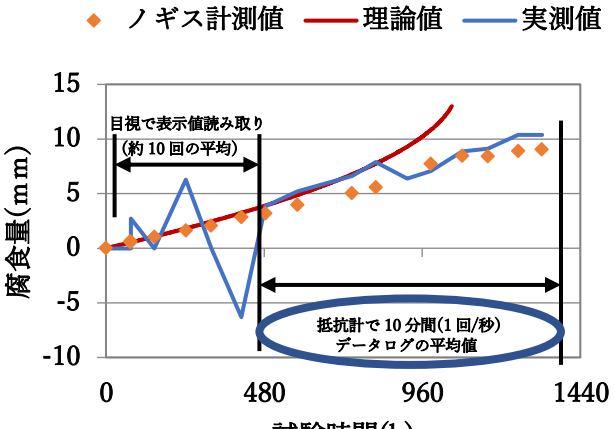
S_0：初期断面積　r_0：初期断面半径　ρ：電気抵抗率

M：モル質量　F：ファラデー定数

理論式(1):経時変化－腐食量

2.4.結果と考察

結果は，図－3 に示す．理論値は、理論式(1)を用いる．実測値は前半でデータがバラつき，後半から腐食範囲拡大のため理論値と離れた．前半のバラつきの原因として，抵抗測定器に表示される抵抗値推移の極小値や極大値のみを目視で読み取り，その平均値も信頼性のある値ではなかったことが考えられる．後半から抵抗測定頻度 1 回/秒で 10 分間測定し，その平均値を減肉後の抵抗値とすると，ノギスで計測し算出した腐食量と近似している．以上より，断続測定で腐食量は計測でき，電気抵抗法は、現場で適用の可能性があると考えられる．



図－3:断続抵抗計測およびノギス計測結果

キーワード　マクロセル腐食　アンカーボルト　定電流電解　電気抵抗法

連絡先　〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町字千原　1　番地
国立大学法人　琉球大学　工学部　環境建設工学科　　:098-895-8666　　FAX:098-895-8677

3.現場での適用性の検討

現在，現場にてコンクリートに埋設されたφ24 ㎜アンカーボルトの抵抗値を測定するための測定方法と腐食量算出のための電気抵抗法の適用性を検討している．

3.1.測定端子の選定

現場でのコンクリートにボルトが埋設されている状況に近づけるため，円柱状(φ150 ㎜)のコンクリート中のアンカーボルト表面とアンカーボルト上部の区間で抵抗測定(図－4)できるような測定端子が必要である．写真－の 6 種類の端子を表－1 にあるように考慮すると端子 F(クリップと長針)が最適となった．

3.2.人工減肉したアンカーボルトの測定

2.1 と同様に下記の表－2 に示す 4 つの試験体パラメータを用いて定電流電解試験を行い，3.1 で最適となった端子のクリップを外した状態での端子 F′ (図－5)をアンカーボルト上部とそこから 250 ㎜下部それぞれにあて，断続的抵抗計測を行った．

試験体パラメータ	
①腐食範囲 10 ㎜:減肉率 25%	②腐食範囲 10 ㎜:減肉率 50%
③腐食範囲 20 ㎜:減肉率 25%	④腐食範囲 20 ㎜:減肉率 50%

表－2:　人工減肉アンカーボルト試験体パラメータ

3.3.結果と考察

結果は全 4 つの試験体パラメータのうち最も顕著な一例を図－6 に示す．理論値は、下記の理論式(2)を用いる．　図より，ノギスで計測し算出した腐食量よりも最も減肉した部分の直径から算出した腐食量の方が大きく，理論値に近似するという結果が得られた．このことから，理論値の腐食量は，最減肉部のノギス計測より算出される値に近いということが考えられる．また，抵抗変化量が理論値よりも少々大きくなっていることが見られるため，減肉後の抵抗値が大きくなる原因を究明する必要がある．

$$C = r_0 - \left(\frac{\rho L}{\pi \left(\frac{\rho L}{A_0} + \Delta R_t \right)} \right)^{1/2}$$

r_0：初期断面半径　ρ：電気抵抗率　L：腐食範囲

A_0：初期断面積　ΔRt：抵抗変化量

理論式(2):抵抗変化－腐食量

4.まとめ

・電気抵抗法によるアンカーボルトの腐食量測定を目的に，定電流電解試験を行い，断続的に抵抗値計測をした．得られた結果より，電気抵抗法が現場で適用できる可能性があることを確認した．

・現場でのアンカーボルトの抵抗値測定の際のより適用性のある測定端子は，表－1 に示す 4 つの検討項目より図－5 に示す端子が適当となった．

3.3 で得られた結果より，減肉後の抵抗値が理論値よりも大きくなる原因を究明する必要がある．

また，最適な腐食量測定方法の確立を最終目標とし，アンカーボルトのねじ部の腐食範囲の全面および片面を今までと同様に定電流電解試験を行う．抵抗測定時に端子をボルト上部とそこから腐食範囲の中間点にあてて結果を得る電気抵抗法を現在実施中である．



A：クリップ型　B：クリップと針型　C：針型



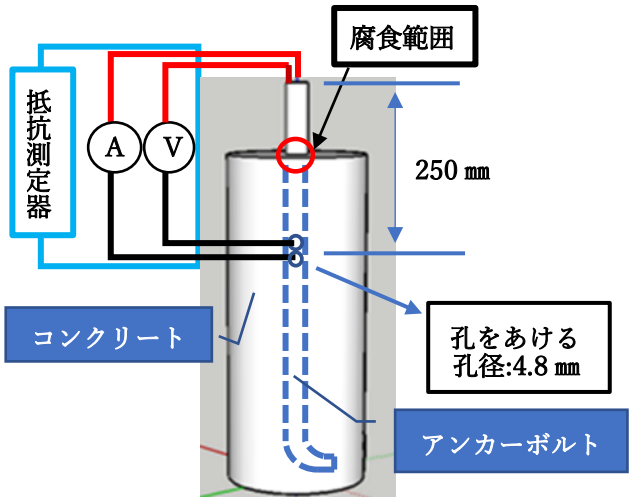
D：クリップと針型　E：クリップと極細針型　F：クリップと長針型

写真－2:測定端子一覧

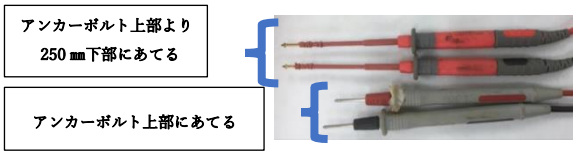
	0アジャスト可能	どの点でも測定可能	コンクリート中の測定可能（孔深さ:75㎜程度、孔径:5㎜程度）	一定した値の測定可能（安定計測の容易さ）
A	○	×（要スタッド）	×	×
B	○	○	×	○
C	×	○	△（要孔径:20㎜程度）	×
D	○	○	△（要孔径:20㎜程度）	○
E	×	○	○	△（安定まで時間がかかる）
F	○	○	○	○

○…可能　△…やや可能　×…困難

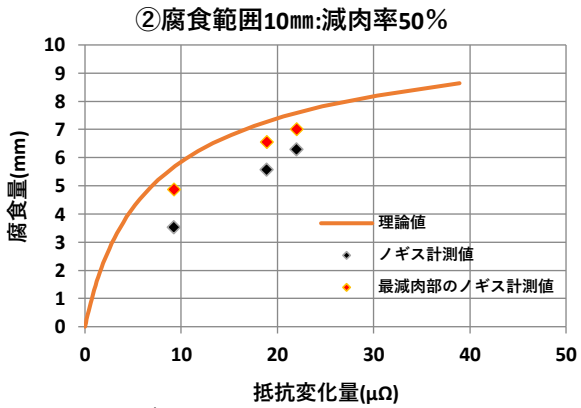
表－1:測定端子選定にあたっての検討項目



図－4:φ150 ㎜の円柱型コンクリート中の
アンカーボルト抵抗測定時の簡易図



図－5:端子 F のクリップを外した状態の端子 F′



図－6: F′を用いての抵抗測定及びノギス計測結果

Session 6：建設・整備

地域高規格道路南部東道路における ICT 試行工事の事例紹介

沖縄県　南部土木事務所　　○主　任　座安広朗
主任技師　山入端雅也

１．はじめに

南部東道路は、沖縄県南城市の知念・玉城の島尻地区から大里を経由して南風原町内の那覇空港自動車道に連結する地域高規格道路である。定時・定速を確保し、那覇市まで 30 分で移動できる範囲の拡大を図り、地域住民に都市的サービスを提供するとともに南部圏域の振興を支援する道路である。

当該地域は、那覇市から半径 15km 圏内という便利な地理的条件にもかかわらず、急峻な地域等による幹線道路の整備の遅れで、車の移動にも時間がかかる上、既存の県道南風原知念線においては、斜面崩壊により迂回を余儀なくされるなど不便な地域とされている。

そのため、世界遺産の斎場御嶽やあざまサンサンビーチ等、多くの観光資源を有する当該地域の観光振興や地場産業の発展にも影響を及ぼしており、早急な幹線道路の整備は、当該地域や南部圏域全体にとって極めて重要な課題となっている。



図-1　南部東道路位置図

本稿では、平成 29 年度に南部東道路にて行った ICT 試行工事の概要について紹介する。

２．ICT 試行工事の概要

２．１　「i-Construction」について

今後の少子化等に伴う労働力不足、建設業の賃金水準の向上や休日の拡大等による働き方改革等をふまえ、建設業の生産性向上が不可欠であることから、国土交通省は ICT（情報通信技術(Information and Communication Technology)）を全面的に活用した「i-Construction」を推進し、調査・設計・施工・維持管理・修繕の一連の建設生産システムにおいて、効率化・高度化による生産性向上を図り、2025 年度までに建設現場の生産性を 2 割向上させることを目指している。

キーワード　　i-Construction,　ICT 土工,　3 次元測量
連絡先　〒901-1206 南城市大里字仲間 1112-2　南部土木事務所　zayasuhi@pref.okinawa.lg.jp

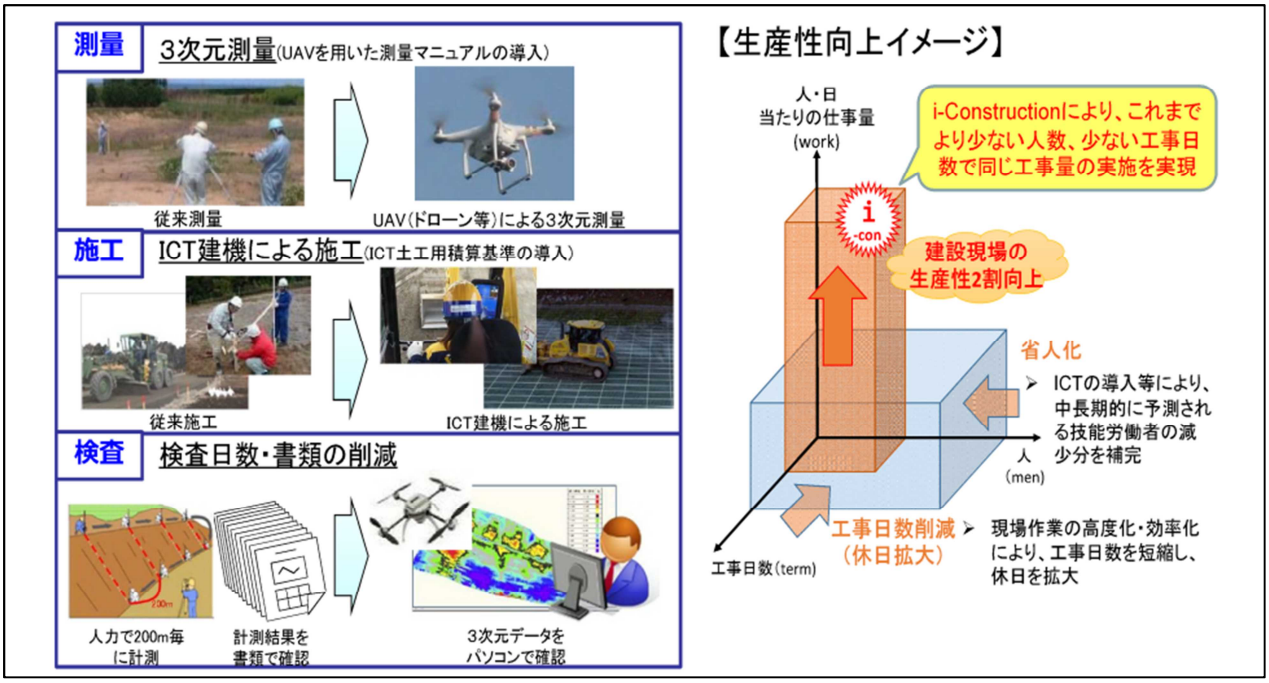


図-2　生産性向上イメージ(国土交通省 HP より)

２．２　ICT 試行工事

ICT 活用工事を地方自治体工事に広めるため、自治体発注工事を対象とした現場支援モデル事業を実施しており、国はこれを支援するための支援業務を発注している。平成 29 年度の現場支援モデル事業である南部東道路の改良工事の施工の際にも、支援業務による専門家の派遣や助言をしていただいた。

また、試行工事の実施にあたっては、技術・建設業課を事務局とする支援協議会を立ち上げ、その中で課題や対応策、事業効果の検証等を行っている。

３．　工事の実施

３．１　発注・積算にあたって

ICT 試行工事の選定にあたっては、土工（掘削）が主たる工種である「H29 南部東道路改良工事(4 工区-1)」を対象工事とし、掘削及び法面整形（切土部）を ICT 対象工種とした。

また、積算にあたっては平成 29 年度の土木工事標準積算基準書より ICT に係る積算基準が掲載されており、国土交通省の HP には「ICT 活用工事（土工）積算要領」が公表されている。

なお、対象となる工種の単価歩掛りとは別に共通仮設費の技術管

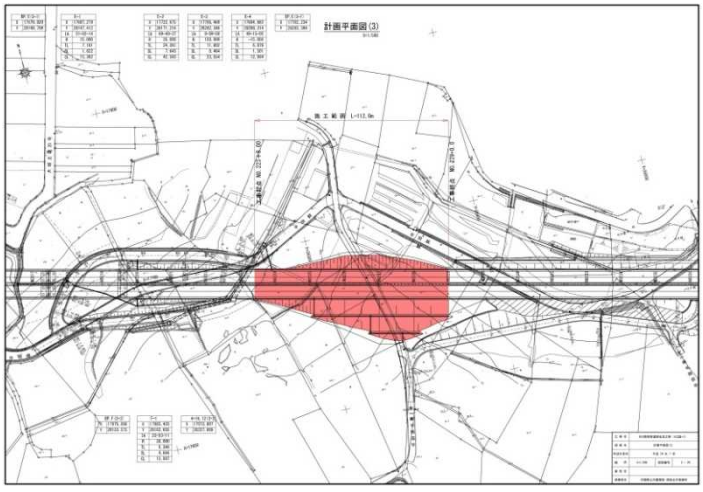


図-3　H29 南部東道路改良工事(4 工区-1)大城工区

理費において次の ICT 施工に要する費用の積み上げ計上を行う必要があるが、③の測量方法については、空中写真測量（無人航空機）やレーザースキャナーを用いた測量等、いくつかの手法があることから、発注時には特定の手法についての指定はせず、受注後に 3 次元設計データの作成指示とともに見積り積算を行っている。

①保守管理費：ICT 建設機械の保守点検に要する費用

②システム初期費：ICT 施工用機器の賃貸業者が施工業者への取り扱い説明に要する費用、システムの初期費用等、貸出しに要する全ての費用

③3 次元起工測量・3 次元設計データの作成：作成を必要とする場合に必要額を計上

３．２　現場着手前

今回の受注業者は空中写真測量（無人航空機）を行うこととしたため、「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来型管理要領（土工編）（案）」（平成 29 年 3 月　国土交通省）に基づき施工を行うものとし、発注者側は「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来型管理要領（土工編）（案）」（〃）に基づき確認等を行った。

施工計画書段階においては、使用する機器・ソフトウェアが定められた精度や機能を有しているか、計測方法は安全で確実に計測できる計画となっているか等を確認し、基準点の指示、設計図書の 3 次元化の指示を行った。

なお、無人航空機を使用する場合、場所によっては航空法に基づく許可・承認が必要となる場合があるので、制限を受ける空域ではないかの確認が必要である。

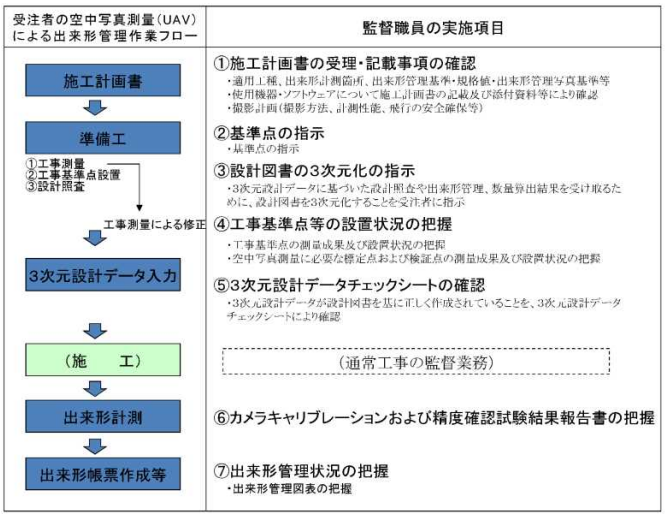


図-4　監督職員の実施項目

３．３　現場着手

起工測量から検査までの概略を以下に示す。

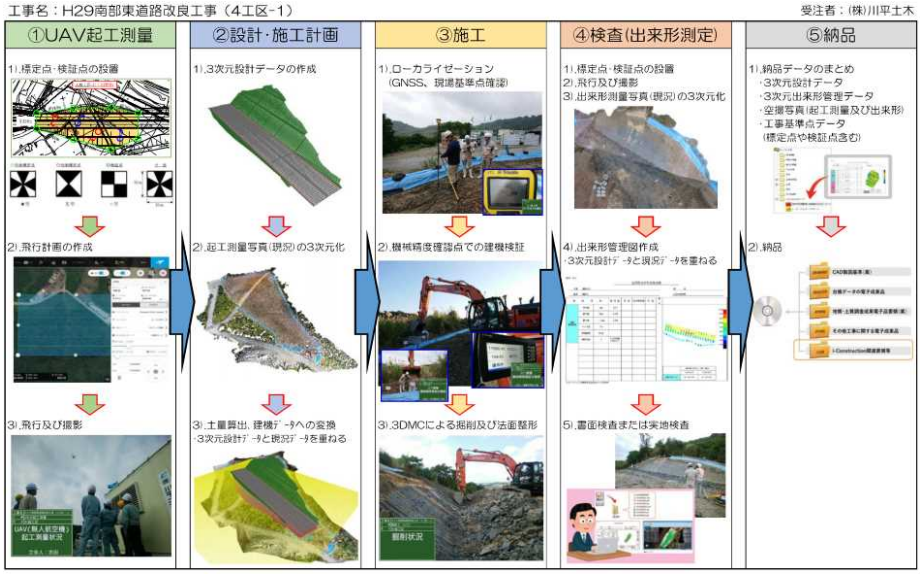


図-5　施工フロー

① 人航空機（UAV）起工測量

・現場を伐開し、通常の現地測量により評定点及び検証点を設置する。（評定点が基本となる基準点であり、検証点はこれを補うため適当な間隔で配置する。）

・次に無人航空機により、起工測量として空中写真を撮影し、3 次元化する。

② 計・施工計画

・設計図を 3 次元データ化し、起工測量の 3 次元データと重ねる。

・ICT 建機用データを作成する。



写真-1　航空写真（大城工区）

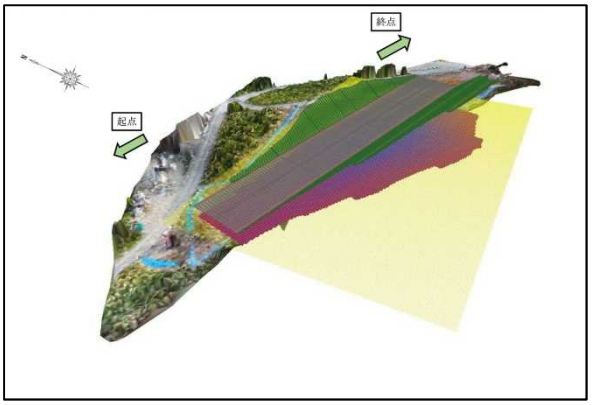


図-6　3 次元設計データ（大城工区）

③施工

・現場に衛星基準局を設置する。（ICT 建機はこれにより位置情報等を受信する）

・機械精度確認点を設置し、ICT 建機の精度確認を日々行う必要がある。

・3DMC（3 次元重機制御）システムを搭載したバックホウにより掘削及び法面整形を行う。

④検査

・評定点及び検証点を再度設置し、無人航空機により撮影したデータを用いて最終的な測量を行い出来形管理を行う。

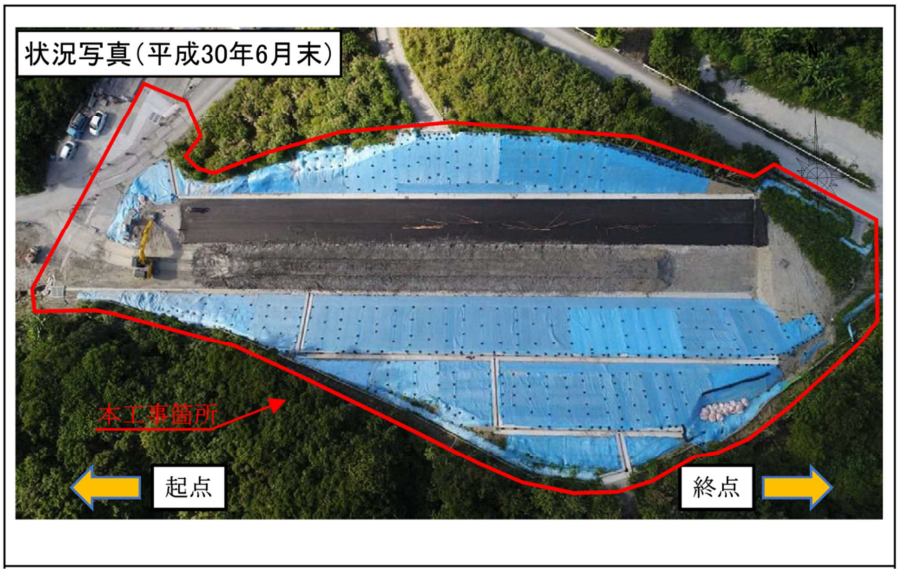


写真-2　大城工区完成時

４．　ICT 活用工事の効果と留意点等

４．１　効果

起工測量においては、無人航空機（UAV）を使用しているが、約 10,000m2 程度の測量を 1 時間程度で完了している。従来の縦横断測量を行った場合は、3 日程度を要したと考えられることから、大幅な時間短縮が図られたといえる。

設計図書の照査及び数量算出についても、横断図を利用した平均断面法で数量を算出する必要がなく、従来 2 日程度要していた作業が半日程度で完了したとのことであった。



写真-3　ICT 機械（3DMC）による施工

また、施工に際しては、設計面を侵すことがない 3DMC（3 次元重機制御）システムを搭載したバックホウを採用しているため、法面丁張等の設置がほとんど必要無い。これは特に曲線部において、非常に有効である。通常、切土箇所においては、磁気探査を行うが、設定した掘削面を侵すことがないため、円滑な施工が可能であり、施工性、安全性において、有効なものであった。

出来形管理においては、ソフトウェア内で最大、最小値やばらつき等が処理され、出力されることから、測点毎の出来形管理図表を作成する必要もなく、時間の短縮が図られた。

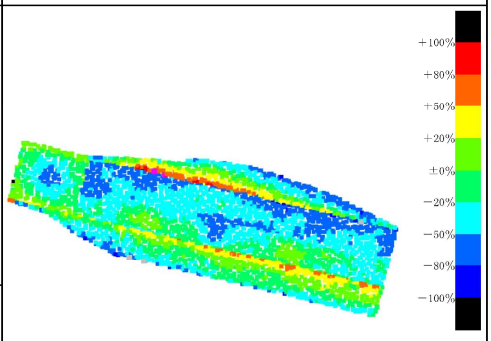
様式－31-2

出来形合否判定総括表

工種　道路土工　　測点　NO.223～NO.229

種別　掘削工（ICT）大城工区（１段目法面及び平場）　　合否判定結果　異常値無

測定項目			規格値	判定	社内規格値	判定	測点
平場標高較差	平均値	－46mm	±50				
	最大値	144mm	±150				
	最小値	－134mm	±150				
	データ数	2218	1点／m2以上（1974点以上）				
	評価面積	1974㎡					
	棄却点数	1	0.3%未満（6点以下）				
法面標高較差	平均値	－10mm	±70				
	最大値	151mm	±160				
	最小値	－149mm	±160				
	データ数	1439	1点／m2以上（1187点以上）				
	評価面積	1187㎡					
	棄却点数	1	0.3%未満（4点以下）				



	規格値以内のデータ数（割合）	
	±80%以内	±50%以内
平場のばらつき	2200（99.2%）	1648（74.3%）
法面のばらつき	1417（98.5%）	1198（83.3%）

図-7　出来型合否判定総括表

４．２　留意点

起工測量前には現場を裸地にする必要があるため、十分な赤土等流出防止対策を講じる必要がある。また、無人航空機（UAV）を使用する場合には、風や日差し等、天候の影響を受けやすいことから、留意して予定を立てる必要がある。

施工時においては、設計面を侵すことがないため、施工性が良く、土砂運搬を計画的に行わないと作業の手待ちが生じる場合があることから、運搬計画を入念にたてる必要がある。

また､ICT 建機での作業にあたっては、機械始動時や ICT 機器のバッテリー交換時などに測量誤差が生じる可能性があることから、その都度、精度確認作業を行う必要がある。

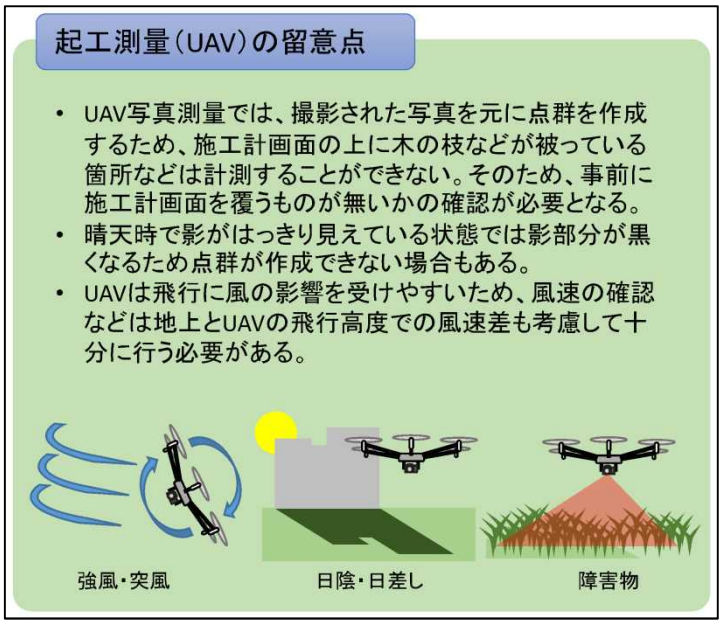


図-8　起工測量（UAV）の留意点

５．　まとめ

今回工事において、ICT 活用工事の対象とした工種は掘削及び法面整形（切土部）としたが、前述したとおり、起工測量や丁張作業の時間的削減が図られ、施工に際しても、こまめに丁張通り掘削面が仕上がっているか確認する必要が無い等、効率的な施工の実施や、数量の算出、出来形管理についても作業の軽減が図られた。

しかしながら、まだ ICT 建機賃料は割高であり、受注者からは積算基準との乖離があるとの声も聞かれたため、磁気探査等により手待ちが生じないよう、入念な工程計画を策定し、効率的な施工を図る必要がある。

なお、本工事発注時の標準積算基準では、ほぼ全ての掘削に ICT 建機を使用していても施工パッケージ上、ICT 建機 25%、通常建機 75%の歩掛りとなっていたが、H30 年 2 月以降、ICT 建機（100%）と通常建機の歩掛りが分けられたため、実態に沿った積算が可能となっている。

最後に、今後、各現場において積極的に ICT 活用工事を採用していただくことで、県内の ICT 建機が普及が図られ、工事の工期短縮や受注者の業務軽減につながっていくことを期待する。

モノレール延長事業における駅舎建設工事について

沖縄県土木建築部都市モノレール建設事務所　中本吉平

1．モノレール延長事業の概要

沖縄都市モノレール整備事業は、昭和 56 年の沖縄県総合交通体系基本計画において、「那覇空港から西原入口間にわたり整備を図る。」と位置づけられ、施工にあたっては那覇空港から首里駅間の第 1 期工事、首里駅からてだこ浦西駅間の第 2 期工事と段階施工の手法がとられた。延長事業の実施にあたっては、平成 23 年度に軌道法に基づく特許取得及び都市計画決定を行い、平成 25 年度に着工、平成 31 年度の開業に向けて、取り組んでいるところである。

【延長整備の概要】

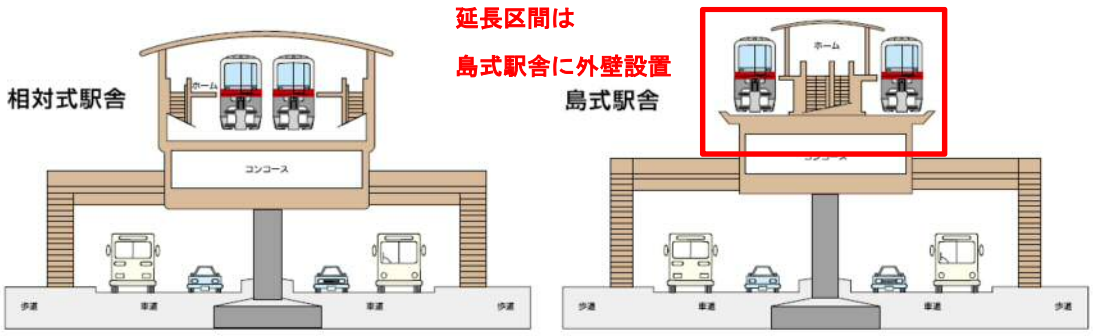
○建設区間　　首里駅～てだこ浦西駅　約 4.1km

○駅数　　4 駅（石嶺駅、経塚駅、浦添前田駅、てだこ浦西駅）

２．駅舎建設の概要

（１）駅舎ホームの形式

既存駅舎ホームの形式は、相対式（壺川駅、おもろまち駅など 5 駅）と島式（那覇空港駅、県庁前駅など 10 駅）がある。相対式は駅舎の外壁があるため近隣住民へのプライバシーを確保しやすいが、島式の駅に比べ構造物が大きくなるため、建設コストが高くなる。延長事業 4 駅は、既存駅からのデザインの統一性などを踏まえ、近隣住民のプライバシー確保と経済性の観点から、島式駅舎に外壁を設置する形式を採用した。



（２）駅舎と建築基準法

モノレール駅舎で、建築基準法が適用されるのは、トイレ、駅務室、清掃員控え室などとなっており、建築基準法第 18 条に基づく計画通知（法第 44 条も含む。）を行っている。通信室、階段、昇降機、道路と駅舎をつなぐ自由通路は計画通知の対象外である。

キーワード　モノレール，駅舎，建設工事，

連絡先：〒901-2102 浦添市前田 565-2　沖縄県土木建築部都市モノレール建設事務所
e-mail:nkmotokp@pref.okinawa.lg.jp

（3）駅舎における土木工事と建築工事の取り合い

駅舎は、桁及び支柱などモノレールが駆動するために必要な構造物は土木工事、ホーム階の上屋、転落防止柵など駅舎の機能上必要な構造物は建築工事と区分されている。設計にあたっては駅舎の形状を決定後、建築でプラットホームの上屋の構造検討を行い、上屋、車輌、桁の荷重を土木のラケット支柱に死荷重として計上し、構造体を決定した。積算にあたっては適用した各々の構造基準に応じて積み上げた。施工は、土木で基礎工、下部工、上部工を実施後、建築で床、外壁、屋根設置等の工事を実施し、駅舎建設にかかった工期は土木工事で約 1 年 10 ヶ月、建築工事で約 1 年であった。


（浦添前田駅・土木工事完成時）


（浦添前田駅・駅舎完成時）

3．駅舎の景観検討

（1）景観検討のプロセス

モノレールの駅舎の景観形成にあたっては、平成 24 年度から平成 26 年度にかけて、学識経験者等で構成する「沖縄都市モノレール景観検討委員会」を設立し、那覇市、浦添市の景観審議会からの助言を受けながら検討した。検討項目は「視点場の設定」「日光反射の近接建物への影響」「日射・通風」「地域景観との調和」「デザインコンセプトの設定」「建築素材の適正検討」「プライバシーへの配慮」「照明デザイン」「駅舎内部のイメージ」などとなっており、駅舎の外観だけではなく多岐にわたって検討された。

検討事項	平成 24 年度			平成 25 年度				平成 26 年度	
	第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 4 回	第 1 回	第 2 回
	10/19	12/19	3/22	7/18	9/6	1/30	3/20	8/22	1/26
①景観形成指針	←	—	→						
②既存駅の評価				←	→				
③石嶺駅							←	—	→
④経塚駅							←	—	→
⑤浦添前田駅				←	—	→			
⑥てだこ浦西駅				←	—	—	→		

（2）各駅舎のデザイン

①石嶺駅

石嶺駅周辺は元々約 2,000 人の農村であったが、県内外の多くの人が移り住み、現在は約 23,000 人が住む住宅地となっており、まちの発展に対し互いに助け合い、支え合っている地域である。石嶺駅では、地域の支え合いをイメージし、多くの部材で屋根を支える立体トラス工法を採用することで地域性を表現するとともに、駅が軽やかなイメージとなるようなデザインとした。また、ホーム階は大きなガラススクリーンを設けることで明るく開放的な空間とし、西側は透明ガラスで交通広場のにぎわいを演出するとともに、首里の街並み、空の広がりなどへの眺望を確保した。



（石嶺駅西側・完成予想パース）



（石嶺駅西側・平成 30 年 9 月末時点）

②経塚駅

経塚駅は、組踊りの始祖である玉城朝薫の墓を始め、経塚公園、公園墓地と緑に囲まれた駅であることから、地域のランドマークでは無く、周辺の緑に調和するようなデザインとした。経塚駅のデザインコンセプトを「周辺の緑との調和」とし、屋根を支えるフレームは木々をイメージしたデザイン、エレベーター棟は木目調のコンクリートを採用した。また、ホーム階は大きな開口部を設けることで、周辺の緑や東シナ海を眺望できるよう配慮した。



（経塚駅・完成予想パース）



（経塚駅・平成 30 年 9 月末時点）

③浦添前田駅

浦添前田駅は浦添グスクに近接していることから、浦添の玄関口として、乗客へのおもてなしをテーマとし、浦添グスクをイメージさせるデザインとした。屋根及び外壁は城壁の石積みを想起させる菱目（ひしめ）、妻側の破風板（はふいた）は石門に見立て、ホーム階のガラス面はグスクの稜線のイメージを施し、浦添の地域性を表現した。また、浦添市は浦添グスクの世界遺産登録に向けて、浦添前田駅周辺の景観まちづくりを進めており、デザイン決定にあたっては、駅舎と周辺街並みが調和するよう配慮した。


（浦添前田駅・完成予想パース）


（浦添前田駅・平成 30 年 9 月末時点）

④てだこ浦西駅

てだこ浦西駅は、沖縄自動車道と浦添西原線、モノレールの交通結節点となっており、近隣では土地区画整理事業も実施されることから、モノレールと新しいまちづくりを先導する景観を表現するよう、ランドマーク性やゲート性の高いデザインとした。沖縄都市モノレール唯一の地上駅の特性を生かした大屋根形状とし、ホーム階はガラスや有孔折板を多用することで、ホーム内に自然光が差し込む明るく開放的な空間を創出した。ファサードには、沖縄の強い日差しや通り雨を避けられるようアマハジをイメージした回廊を設け、花ブロックや琉球石灰岩などの地域素材を用いることで、沖縄らしさを演出した。


（てだこ浦西駅・完成予想パース）


（てだこ浦西駅・平成 30 年 9 月末時点）

４．施工に係る留意事項

（１）キャンバー（鋼構造物の変位）の管理

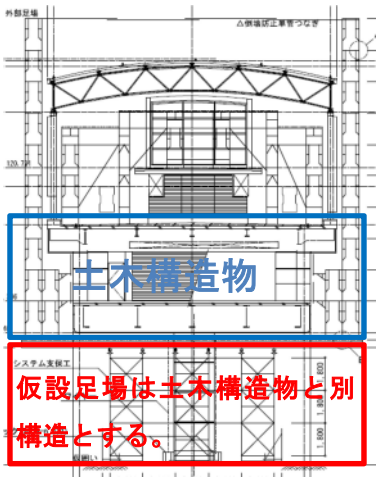
建築工事は土木の鋼構造物（ラケット支柱）上に施工するため、建築の積載荷重により土木構造物が変位する。そこで、施工の要所（コンコース階の間柱設置、ホーム階の上屋建方など）において土木構造物を測量し、その実測値を建築の施工図に反映させることで土木構造物のキャンバーを吸収し、建築の施工精度の許容値内に収めた。

（２）建築限界の管理

ホーム階の施工は車輌と駅舎が衝突しないよう必要離隔を確保しつつも、バリアフリーの観点からホームと車輌が離れすぎないようにする必要があり（幅３ｃｍ以内、高さ２ｃｍ以内）、建築限界に厳しい管理が求められた。桁の施工精度は乗客の乗り心地に影響するため、土木部門で綿密に管理される。建築工事では、土木部門で管理した桁の平面位置、高さ、カント（傾き）を1m間隔で計測管理しながら施工した。ただ、建築工事施工中も屋根等の積載荷重がかかるたびにラケット支柱のキャンバーが発生するため、建築限界に係るホーム階床板や外壁設置工事についてはキャンバー安定後に測量し、建築限界の精度管理を行った。

（３）駅舎建設に係る仮設工事

駅舎の屋根や外壁の施工にあたっては、右図のような仮設足場が必要となるが、足場を土木構造物に固定すると、鋼構造物が足場に支えられ、キャンバーの管理ができなくなるため、駅舎建築に係る仮設足場は自立させる必要があった。また、駅舎は道路上で建設されることから、資材や工事用器具の落下防止はもちろんのこと、コンクリート打設や養生に係る水についても道路上に落ちないよう、落下防止を徹底させた。あわせて、道路を通行する車輌が駅舎に衝突しないよう、足場の高さを表示した衝突防止用看板を設置した。



（４）てだこ浦西駅の大屋根の施工

てだこ浦西駅の大屋根は、柱梁鉄骨が湾曲したアーチ状の特殊形状であり、自重でたわむことが想定されるため、精度管理上たわみ量（キャンバー値）の確認が必要となることから、仮組検査を実施した。仮組検査の実施により、キャンバー値の確認だけでなく、仮設計画と溶接等現場の施工計画の妥当性や溶接部の景観上支障のあるエンドタブの発見及び除去や水抜き穴の位置確認等、図面上では気づきにくい箇所も事前に加工修正することができた。


（仮組検査の状況）

５．維持管理に係る配慮事項

（１）既存駅舎からの改良点

①塗装

既存駅において鉄骨部材の添接部から発錆しているケースが見られたため、鉄骨部材の高力ボルト接合部の塗装の膜厚について重点的に管理した。また、てだこ浦西駅の外壁に使用されている有孔折板は亜鉛溶融メッキ塗装が付着しにくいことから、端部にも安定して付着する粉体塗装を採用した。



（てだこ浦西駅の有孔折板）

②シーリング

シーリングは紫外線により劣化することから、紫外線のあたる外壁材のシーリングについては従来のシーリングではなく、シリコンガスケットと 2 次ガスケットのダブルシーリングとし、更にゴムシートを採用することで止水性を高めた。また、ダブルシーリングとすることで、重大な漏水が生じる前に修繕対応できる仕様とした。

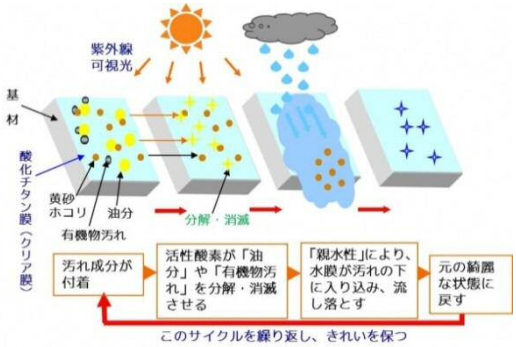
（２）新技術の採用

①コンコース階の暑さ対策

石嶺駅はコンコース階の東西に大きな開口部があるため、朝夕の日射熱対策としてＬＯＷ－Ｅ複層ガラスを採用し、コンコース階の断熱性を高めた。また、コンコース階の開口部は全て鍵付きの回転窓とすることで、窓から通風を取りながら利用者が転落しないよう、駅管理者が管理しやすいように配慮した。

②清掃費用の低減

駅舎の清掃は沖縄都市モノレール（株）の委託清掃員が行っているが、専門業者への委託清掃が必要となるホーム階のガラス面などに光触媒を採用することで、清掃費用の低減を図った。てだこ浦西駅においては、周囲に高層建築物の建設が想定されることから、高層部からの視点も考慮し、ガラス面だけでなく屋根面にも光触媒を施した。



（光触媒のしくみ）

６．おわりに

駅舎の建設工事に関わり驚いたのが、事業における景観検討の重要度の高さである。設計時からデザインの詳細まで検討されており、施工段階においても外壁の色の明度から不透明ガラスの透明度などの細かい内容まで両市の景観部局と調整しながら決定した。また、今回の駅舎建設では、駅舎景観の維持管理の観点から新技術を採用しており、その効果について、今後も検証していきたい。

別紙２（論文）

大型クルーズ船寄港に向けた岸壁改良工事について

名城　整[1]・堂坂　康二[1]

[1]那覇港湾・空港整備事務所　中城湾港出張所　（〒904-2162 沖縄県沖縄市海邦町3-25）

沖縄へのクルーズ船の寄港回数は２０１７年に５１５回と過去最高を記録し、２０１８年も増加する見込みである．また、沖縄にはアジアに寄港する最大クラスの船舶が寄港するなど、県内においてもクルーズ船の大型化が進行している．中城湾港においても２０１６年に５年ぶりにクルーズ船が寄港し、今後もクルーズ船の寄港回数の増加とともに、大型船の寄港が見込まれる．しかし、中城湾港におけるクルーズ船の受け入れ岸壁である新港地区西ふ頭岸壁は、５万トン級以下のクルーズ船しか受け入れられず、近年のクルーズ船の大型化に対応できていない状況であった．

このことから、大型クルーズ船にも対応可能となるよう、当該岸壁の係船曲柱の新設や防舷材の改良を実施した．その結果、平成３０年３月にクァンタム・オブ・ザ・シーズ（１６６，７８０トン、全長３４８ｍ）の寄港が実現したことを報告するものである．

キーワード　クルーズ船受け入れ、岸壁改良

1. はじめに

中城湾港は、沖縄本島中南部の東海岸に位置する天然の良港であり、古くから沖縄における物質輸送の中継点及び周辺離島への連絡港として利用されてきた．一方で近年においては、沖縄県全体のクルーズ船の寄港回数が図 1-1 のとおり年々増加しており、直近 8 年においては過去最高を更新し続けている．沖縄県におけるクルーズ船の寄港回数は平成 29 年において、那覇港、石垣港、平良港で全体の約 94%を占めているが、中城湾港においても、平成 28 年度に 5 年ぶりにクルーズ船が入港しており、平成 28 年には 8 回（乗客 4,322 人）、平成 29 年には 15 回（乗客 13,304 人）と寄港実績を増加させている．これまで、中城湾港では物質輸送が主であったため、クルーズ船を対象とした岸壁はなく、水深・延長等の仕様を満たす岸壁（-13m）で 5 万トン級のクルーズ船の受け入れを行ってきたのが現状であった．このような状況のなか、平成 29 年に 16 万トン級の大型クルーズ船の寄港要請があった．16 万トン級の大型クルーズ船はこれまで入港実績がなく、現状の施設では受け入れることが出来ない規格の船舶であったが、地元要望等を受けて平成 29 年に岸壁改良工事を実施し、年内に 16 万トン級までのクルーズ船が受け入れ可能となるように整備を進めることとなり、検討を開始した．

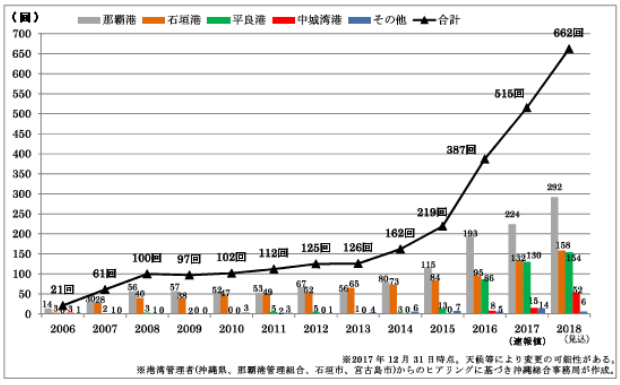


図 1-1　沖縄県内に寄港したクルーズ船の 2017 年の実績及び 2018 年の見込みについて [1)]

2. 岸壁改良工事における施工内容の検討

平成 29 年に実施した岸壁改良工事は中城湾港（新港ふ頭地区）にある延長 260mの岸壁（-13m）とそれに隣接する延長 185mの岸壁（-10m）の 2 バースを対象とした．改良前の施設の諸元については表 2-1 のとおりであり、平面図を図 2-1 に示す．大型クルーズ船を受け入れるに当たり、係留施設の各項目について、改良の必要の有無や改良方法の検討を行った．なお、検討の対象としたクルーズ船の規格は寄港要請があった 16 万トン級を最大として行った．今回検討対象とした 16 万トン級のクルーズ船の船舶諸元については表 2-2 のとおりである．また、16 万トン級のクルーズ船を着岸させるために、1 バースでは延長が不足していたため、岸壁（-13m）と岸

壁（-10m）の 2 バースを連続で使用することを前提として検討を行った．以下に各項目毎の検討結果を示す．

表 2-1　対象岸壁の諸元

対象箇所	岸壁延長(m)	係船柱		防舷材
		係船曲柱	係船直柱	
岸壁（-13m）	260.0 ケーソン式	500kN 9 基	1500kN 2 基	V-800 L=2.2m ゴム質　V2
岸壁（-10m）	185.0 ケーソン式	500kN 2 基	700kN 2 基	V-600 L=2.6m ゴム質　V2
		250kN 7 基		

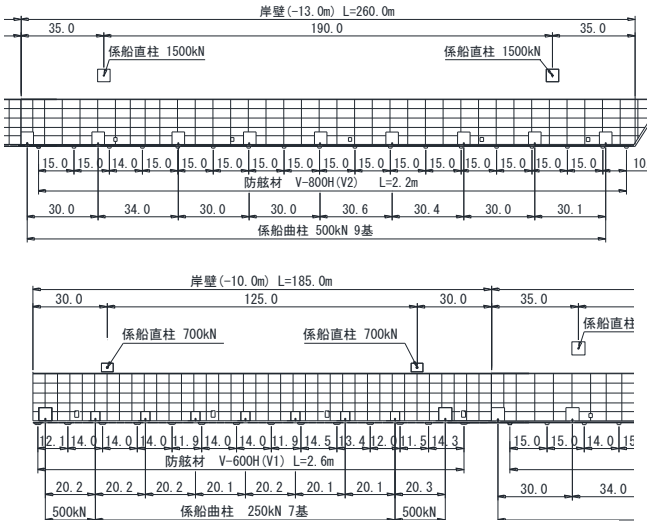


図 2-1　対象岸壁平面図

表 2-2　対象船舶諸元

項目	諸元
船名	クワンタムオブザシーズ
総トン数（GT）	166,780 GT
全長（Loa）	348.0 m
垂線間長（Lpp）	320.1 m
型幅（B）	41.4 m
計画満載喫水（d）	8.80 m
正面受風面積（水面上）	1,785 m2
側面受風面積（水面上）	14,620 m2

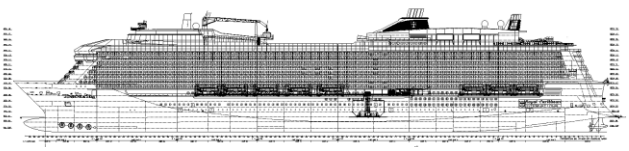


図 2-2　クワンタムオブザサーズ

2-1.水深の検討

水深については 16 万トン級のクルーズ船の計画満載喫水が 8.80 m であったため、必要な規格は確保されており、本工事において改良の必要はなかった．

2-2.係船柱とケーソンの検討

中城湾港において初めてクルーズ船（5 万トン級）を受け入れる際に検討を行った結果、風速 12m/s を超える場合には、係留施設への影響を避けるために離岸することとなった．そのため、今回の検討においても最大の風荷重を風速 12m/s に設定し、安全に着岸できる係船柱の規格について検討を行った．その結果、現状の係船柱では十分な機能を有しておらず、係船柱の改良及び大型化が必要であることが判明した．配置案を決定するに当たり、まずは計算上安定する係船柱の配置案の作成を行った．その配置案を以て船社へヒアリングを行い、配置案に対する意見を聴取した．その結果、当初の配置案では安全性に欠けるとの指摘があり、船社から改良案について提示を受けた．船社から提示あったの配置案について、再度計算を行ったところ、オーバースペックの箇所があったため、配置案を修正の上再度船社にヒアリングを行い、船社に了承を得た係船柱の配置案が完成した．その内容を図 2-3 に示す．

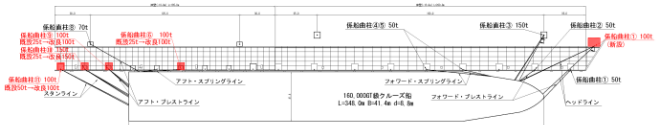


図 2-3　係船柱配置案（船社了承済）

次に検討を行ったのが、既設のケーソンに対する検討であった．配置する係船柱の規格によっては、ケーソンが安定しなくなる恐れがあったため、本項目の検討を行った．船社に了承を得た係船柱の改良案では 1 つのケーソンに対して 1 つの係船柱を設置することになっており、その中で最大の係船柱の規格は 150 t 型であった．そのため、既設ケーソンに対する検討は 150 t 型の係船柱を対象に行った．その結果、既設ケーソンにおいて配筋が不足する箇所が見つかった．そのため、係船柱の規格を 100 t 型に下げて、再度検討を行ったところ、全ての箇所で配筋を満足する結果が得られたため、今回の改良工事では最大 100 t までの係船柱で行うこととなった．そこで、船社ヒアリング時の係船柱の配置案の見直しを行い、150 t 型の係船柱 1 基を 100 t 型 2 基に変更し、最終案とした．その結果を図 2-4 に示す．

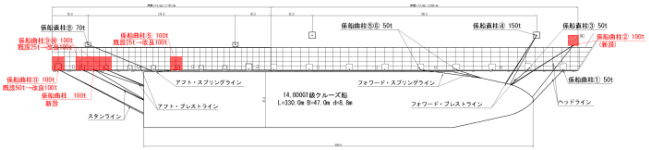


図 2-4　係船柱配置案（最終）

2-3.防舷材の検討

防舷材の性能については接岸速度が課題となった。当該岸壁はこれまで接岸速度が 0.1m/s で計画されていた．改良工事の対象となった岸壁（-13m）と岸壁（-10m）をそれぞれ検討したところ、いずれの岸壁も既設の防舷材では接岸速度が 0.1m/s では接岸できない結果となった．岸壁（-13m）と岸壁（-10m）を比較したところ、岸壁

（-10m）の方がより接岸速度を低減させる必要があるという結果になった．そのため、まずは岸壁（-10m）について検討をおこなった．検討に使用した計算式は次式の通りであった．

$$Ce = 1/(1 + (\ell/r)^2$$

Ce：偏心係数

項目	内容
接岸速度θ°	0～10° で最も危険側
防舷材取り付け間隔（m）	X
e	防舷材取付け間隔／Lpp×Cosθ
パラレル係数α	0.3～0.5の中間値
k	0.5
L1	L1=(0.5α×e(1-k)×Lpp×Cosθ
L2	L2=(0.5α-ek)×Lpp×Cosθ
ℓ	min(L1,L2)
r	r=(0.19Cb+0.11)×Lpp
ブロック係数 Cb	船舶の排水体積／(Lpp×B×d)

$$Ef = \frac{1}{2} \times Msk \cdot Vbk^2 \times Cm \times Ce \times Cs \times Cc$$

Ef：船舶の接岸エネルギー
Msk（t）：船舶の質量（船舶の規格で固定）
Vbk（m/s）：船舶の接岸速度
Cm：仮想質量係数（船舶の規格で固定）
Ce：偏心係数
Cs：柔軟性係数（岸壁により固定）
Cc：バースの形状係数（岸壁により固定）

$$E = (1 - 性能公差) \geq Ef$$

E：防舷材の吸収エネルギー（防舷材の規格で固定）
性能公差（%）：10

接岸速度を上げるため、防舷材の増設について検討を行った．防舷材を増設し、防舷材の取り付け間隔を狭くすれば、船舶接岸時のエネルギーを小さくすることができる．そのため、接岸速度を上げても防舷材の吸収エネルギーを上回ることがなくなる．しかし、表 2-3 の様に防舷材の数量を増やし、接岸エネルギーと吸収エネルギーの比較を繰り返したところ、岸壁延長 185 mに防舷材が 14 基ついている岸壁（-10 m）に 3 基追加し、17 基まで数量を増加したが、接岸速度が上がることはなかった。防舷材を追加しても、接岸速度が変化しなかったため、防舷材の追加は行わず、大型クルーズ船の着岸時には岸壁の運用方法で対応することとなった．運用方法の詳細については中城湾港（新港地区）大型客船入出港に伴う航行安全対策調査専門委員会報告書 [2] にてとりまとめられており、その概要を表 2-4 及び表 2-5 に示す。

表 2-3　対象岸壁の防舷材と可能接岸速度

状態	岸壁（-10m）			岸壁（-13m）		
	防舷材基数（基）	間隔（m）	可能接岸速度（m/s）	防舷材基数（基）	間隔（m）	可能接岸速度（m/s）
現状	14	13.0	0.07	18	15.0	0.08
1基追加	15	12.1	0.07	-	-	-
2基追加	16	11.4	0.07	-	-	-
3基追加	17	10.7	0.07	-	-	-

表 2-4　係留可能平均風速

対象船舶		係留位置	係留可能平均風速
16万トン級客船	出船左舷付け	-13m 岸壁と-10m 岸壁を合わせた総延長の中心位置より船尾方向へ4.0mの位置	12.54m/sec 以下
	入船右舷付け	-13m 岸壁と-10m 岸壁を合わせた総延長の中心位置より船尾方向へ11.6mの位置	12.02m/sec 以下

表 2-5　入出港時の運用基準

項目	基準	備考
入港時間帯	入港：昼間のみ 出港：昼夜間	
入出港基準	平均風速 昼間：10m/sec 夜間：8 m/sec	
波高	1.5m 以下	
視程	2,000m 以上	
喫水	余裕水深 10%以上を確保すること	
接岸速度等	8cm/sec	出来るだけ平行に接岸させること

3. 岸壁改良工事における施工時の課題

既述の事前検討結果に基づき、現地に着手したところ、係船柱の新設のための舗装撤去を行った時点で、設計図書との現状不一致が発生した．当初は図 3-1 の様に DL+2.0m までケーソンの蓋コンクリートがある想定であった．しかし、舗装撤去後に現地を確認するとケーソンが沈下しており、最も低い箇所で計画より 26cm 沈下している箇所があった．蓋コンクリートが低くなった分については、基礎コンクリートを厚くし、高さを合わせることで対応可能であったが、基礎コンクリートを厚くした場合、当初設計よりも荷重が増加し、ケーソンの配筋が不足するという検討結果となった．そこで、係船柱の基礎コンクリートを薄くし、高さについては砕石で補うことにより、ケーソンにかかる負荷を軽減させる方法を採用した．係船柱のアンカー定着を考慮すると最小の基礎コンクリートの厚さは 1.5m であった．基礎コンクリート厚 1.5m で再度配筋の計算をおこなったところ、全ての箇所で応力度が満足する結果となった．最終の決定

断面を図 3-2 に示す.

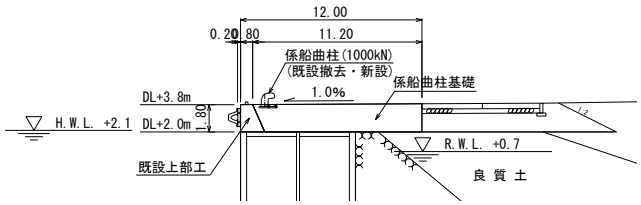


図 3-1　当初想定断面

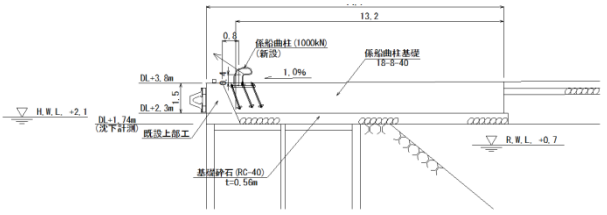


図 3-2　決定断面

本工事における課題は工事完了までの時間が短く、当初の岸壁整備時における想定よりも大型な船舶を対象とした、既設岸壁の改良工事ということであった．これらの課題については、設計と施工において互いに情報交換を密に行うことで、発生した問題について解決案を早期に提案・実行させることができた．その結果、施工内容の検討開始からわずか半年足らずという短期間で岸壁改良工事を完了させることができ、目標通りに大型クルーズ船の受け入れが可能となった.



写真 3-1　新設した係船曲柱

4.クルーズ船 寄港の様子

改良工事完了後に初めて 16 万トン級のクルーズ船が入港したのは平成 30 年 3 月 24 日の午前 7 時であった．この日寄港したクルーズ船は設計において対象船舶としていた「クワンタムオブザシース」であった．本船は上海港から乗客 4,888 人、乗員 1,572 名を乗せて中城湾港に寄港し、送迎時には地元から演舞が披露された.

当日は朝から多くの大型バスがふ頭に駐車し、乗客を待ち受け、早朝にも関わらず多くの関係者が本船を出迎えた.



写真 4-1　クルーズ船着岸の様子

5. 今後について

平成 30 年の寄港予定については平成 30 年 6 月時点で 44 回となっており、前年の 15 回から大幅に増加する見込みである．寄港予定の内、改良工事前では受け入れられなかった船舶の寄港予定は 5 回あり、これらは今回の岸壁改良工事の成果である．今後クルーズ船の大型化は進むことが予想され、今回改良を行った施設についてはますますの活躍が見込まれる．ただし、今回改良工事を行った中城湾港（新港ふ頭地区）岸壁（-13m）および岸壁（-10m）は中城湾港における物質輸送の中心となっている岸壁でもある．そのため、今後クルーズ船の寄港回数が更なる増加となった際には、当該岸壁でクルーズ船を受け入れることにより、物質輸送に対して影響が出ることも考えられる.

6.おわりに

本工事は完了し、中城湾港においても大型クルーズ船が受け入れ可能となった．一方で中城湾港では平成 29 年度より、航路の拡幅整備を行っており、事業実施箇所の近隣を航行する船舶に対して、安全に配慮した施工を行う必要がある．そのため、今後は関係各位と協力し、大型クルーズの入出港時においても安全に事業進捗が行えるように努めていくことになる．[3)]

7.参考文献

1) 沖縄総合事務局定例記者会見（平成 30 年 1 月）
http://www.ogb.go.jp/soumu/4886/016905
2) 中城湾港（新港地区）大型客船入出港に伴う航行安全対策調査専門委員会報告書（平成 29 年 10 月）公益財団法人　西部海難防止協会
3)中城湾港（新港地区）貨物大型および航路整備に伴う航行安全対策調査専門委員会報告書（平成 29 年 10 月）公益財団法人　西部海難防止協会

別紙２（論文）

与那原ＢＰ３号橋計画におけるＢＩＭ/ＣＩＭ活用検討について

松川　剛[1]・上原　達也[2]

[1]沖縄総合事務局　南部国道事務所　調査第一課長　（〒900-0001 沖縄県那覇市港町2丁目8番14号）

[2]沖縄総合事務局　南部国道事務所　調査第一課係員　（〒900-0001 沖縄県那覇市港町2丁目8番14号）.

近年の社会資本整備において，ICT技術の活用によりBIM/CIMの導入が検討されている．BIM/CIM（Building and Construction Information Modeling/Management）は，社会資本の建設生産システムにおいて3次元モデルを導入し，情報を充実させながらこれを活用・関係者間で情報共有することにより，一連の効率化や高度化が図られることが期待されている．本稿は，与那原BP3号橋を対象に試行したBIM/CIM実施内容について紹介・報告するものである．

キーワード　BIM/CIM，フロントローディング，広域モデル，施工ステップ

1. 事業の概要とBIM/CIM活用の目的

(1) 事業概要

与那原バイパスは一般国道329号の与那原町周辺の交通混雑の緩和と沿道環境の改善を図るとともに，那覇市へのアクセス強化などを目的とする西原町小那覇から南風原町与那覇に至る延長4.2kmの幹線道路である．本業務で対象とした与那原BP3号橋は，与那原町与那原付近の比較的なだらかな丘陵地に架かる全長301mの連続高架橋であり，図-１に示すように，鋼単純細幅箱桁橋2橋とPC連続中空床版ラーメン橋2橋から構成している．

橋梁の両脇には側道が併走し，県道240号線や南風原町道と立体交差する計画で，付近には与那原中央病院や与那原消防署，与那原変電所等の施設が存在する．

(2) 本業務におけるBIM/CIMの試行目的

インフラ整備に関するBIM/CIM活用の状況は，試行による実績が徐々に増えつつあり，その活用に関する効果や課題の抽出，作業の合理化を検討していくための基礎資料の蓄積が図られている段階といえる．

本業務に対するBIM/CIM活用によって得られる効果としては，①設計検討時や施工計画検討時において，3次元による広域モデルを導入することにより，計画の妥当

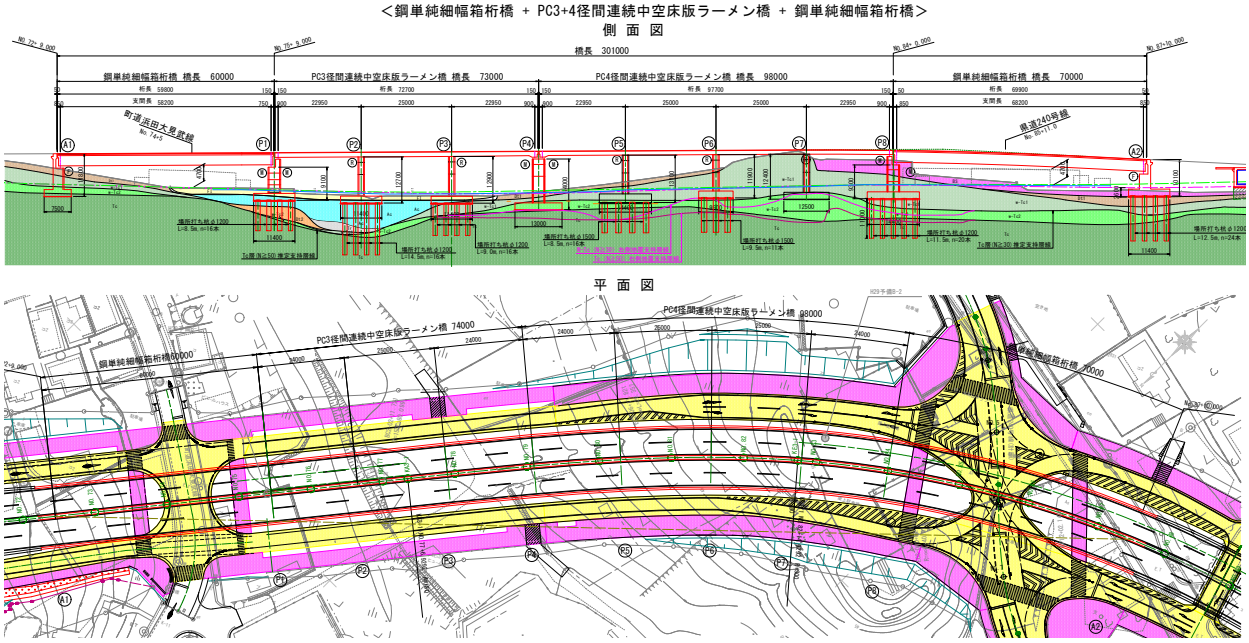


図-1　与那原 BP3 号橋　全体一般図

性や施工計画の安全性，景観性等の確認などがより容易となること，②各種の詳細モデル作成によるフロントローディング（鉄筋干渉の確認等）を行い，施工時における不具合や手戻りを事前に解消すること，の2点が期待され,BIM/CIMモデルの作成範囲は表-1とした.

2. BIM/CIM活用の実施内容

(1) 設定した構造物等の詳細度

橋梁設計における構造物(橋梁)のBIM/CIMモデル作成に際しては，表-2に示す詳細度を設定する必要がある.

BIM/CIMモデルは対象構造物を細部に至るまで表現することは可能だが，相反して，ファイル容量や作成時間,費用等の増大が生じることから，本業務では，各モデルの効果検証の目的を踏まえて，表-3のとおりとした.

(2) BIM/CIMモデルの作成範囲

作成範囲は橋梁区間と前後の土工部を含めた約600mの範囲を基本とし，実施時期として，橋梁(道路)設計業務と地質調査業務が同時並行で進んでいたことも踏まえ，各業務における採用地形モデルは，橋梁(道路)設計業務においては国土地理院が提供している基盤地図情報ダウンロードサービスから取得した5mメッシュデータを用い，地質調査業務においては同業務内で実施したUAV測量により作成した地形モデル(点群データ，サーフェスモデル)を用いるものとした．なお，いずれも世界測地系での作成である.

(3) BIM/CIMモデルの作成

a) 地形モデル(UAV測量)の作成

地質調査業務においては，地質・土質モデルの作成に先立ち，UAV（無人航空機）測量を実施し，三次元点群データの作成と，地形モデル（地表サーフェスモデル）を作成した．3次元点群データとは，地形に係る情報の水平位置や標高に加え，空中写真の色情報を属性として計算処理が可能な状態として表現したものである．表-4に地形モデル作成に用いたソフトウェア一覧を，写真-1にUAV測量時の写真をそれぞれ示す.

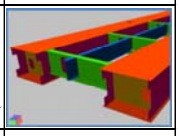
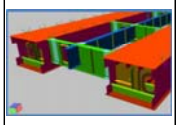
表-1　BIM/CIMモデル作成範囲

モデル	橋梁設計	地質調査	備考
1.線形	○	－	道路中心線
2.土工形状	○	－	側道,のり面等
3.地形	(-)	○(UAV)	橋梁設計は国土地理院
4.構造物	○	－	設計対象構造物等
5.地質･土質	－	○	地質調査結果
6.広域地形	○	－	家屋等

b) 地質・土質モデルの作成

地質・土質モデルは，地質ボーリング柱状図，表層地質図，地質断面図等の成果を基に，3次元空間にデータとして配置したものである.

表-2　構造物(橋梁)の詳細度※

詳細度	共通定義	工種別の定義	
		構造物(橋梁)のモデル化	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル (橋梁)橋梁の配置が分かる程度の矩形形状、若しくは線状のモデル	
200	対象の構造形状が分かる程度のモデル。 標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準断面を対象範囲でスイープ※させて作成する程度の表現。	構造形状が確認できる程度の形状を有したモデル。 (橋梁)対象橋梁の構造形式が分かる程度のモデル。 上部工では一般的なスパン比等で主桁形状を定める。モデル化対象は主構造程度で部材厚の情報は持たない。 下部工は地形との高さ関係から概ねの規模を想定してモデル化する。	
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル (橋梁)計算結果を基に主構造をモデル化する。 主構造は鋼鈑桁であれば床版、主桁、横桁、横構、対傾構を指す。また、添接板等の接続部形状はここでモデル化する。 下部工は外形形状及び配置を正確にモデル化。	
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度300に加えて接続部構造や配筋を含めてモデル化。 (橋梁)桁に対してリブや吊金具といった部材や接続部の添接板等の形状と配置をモデル化する。また、主な付属物(ジョイントや支承)の配置を外形を含めてモデル化する。 接続部構造(ボルトはキャラクター等で表現)、床版配筋や下部工の配筋をモデル化する。更に、各付属物の配置とそれに伴う開口等の下部工の外形変化を追加する。	
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。	－	－

出展：土木分野におけるモデル詳細度標準(案)（平成29年2月）社会基盤情報標準化委員会　特別委員会
※スイープ：平面に描かれた図形をある基準線に沿って移動させて3次元化する技法のこと。

※「CIM導入ガイドライン(案)」より引用

表-3　本業務で設定した構造物(橋梁)の詳細度

	詳細度(LOD)			対象範囲
	上部工	下部工	基礎工	
① 広域統合モデル	200	200	200	与那原BP3号橋全体
② 上部工モデル	300	300	－	A1-P1： 鋼細幅箱桁橋 P4-P8： PC連続中空床版ラーメン橋
③ 上部工鋼材干渉確認用モデル	300 (部分400)	－	－	P8桁端部配筋(PC橋) は詳細度400
④ 下部工鉄筋干渉確認用モデル		300 (部分400)	300 (部分400)	フーチングと杭(A2基礎) は詳細度400
⑤ 施工計画ステップ確認用モデル	200	200	200	

表-4　地形モデル作成の用いたソフトウェア

ソフトウェア名（開発会社名）	ver.	用途
Pix4Dmapper Pro （株式会社サイバネテック）	2018	画像処理ソフト （点群データ作成）
TREND-POINT （福井コンピュータ）	5	地形モデルの作成



写真-1



写真-2※

※ICT土木事例集（国土交通省HP）より引用

図-2に地質・土質モデルの作成フローを示す．業務では，図-3に示す基本ボーリングモデルから「準3次元断面図」と「サーフェスモデル」の2種類の作成を行った．

「準3次元断面図」とは，地質・土質調査要領等に示される地質断面図や速度層断面図，地山条件調査結果図等を基に作成されるもので，3次元空間情報を付加した形状情報と，地質情報等を付加した属性情報から構成される．（図-4参照）

「サーフェスモデル」とは，一般には地表形状に航空写真などのテクスチャデータを張ったモデルを示すことが多いが，地層(層順)境界などの境界面モデルのことをいう．（図-5、-6参照）

c）広域統合モデルの作成

橋梁設計におけるBIM/CIMモデルではまず，道路線形や構造物の2次元図面を基に，3次元汎用CAD（AutoCAD CIVIL 3D，V-nasClair等）を用いて広域統合モデルを作成した．モデルには周辺家屋も含めて作成を行ったが，航空写真や現地状況を確認しつつ，階数等のおおよその形状情報までを反映するものとした。（図-7参照）

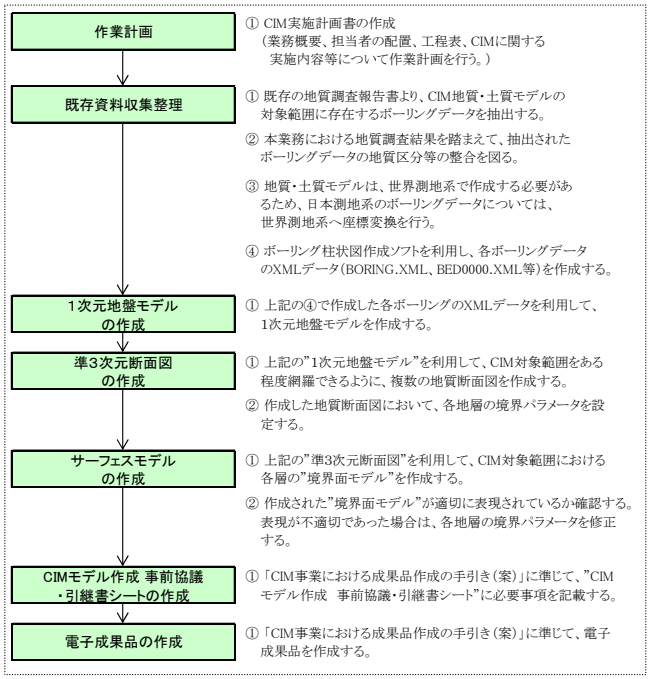


図-2　地質・土質モデルの作成フロー

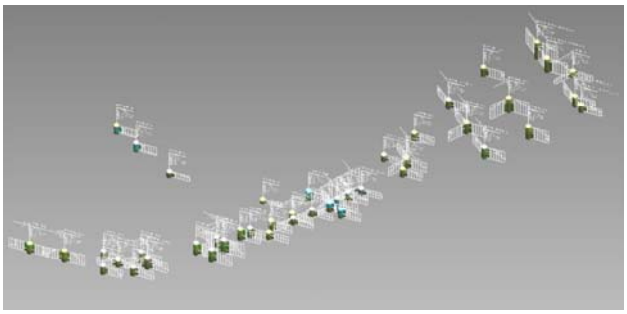


図-3　作成したボーリングモデル

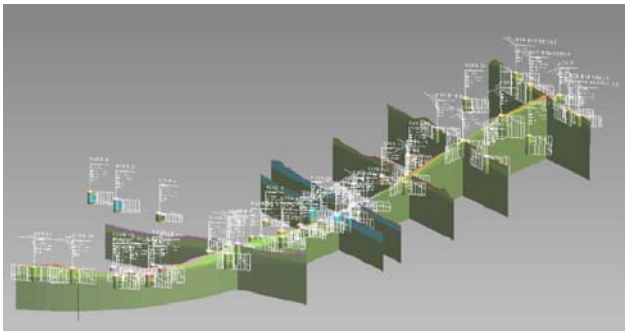


図-4　ボーリングモデルより作成した準3次元断面図

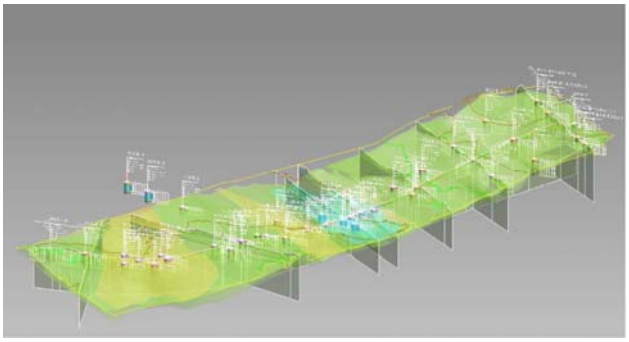


図-5　作成したサーフェスモデル（準3次元断面図と合成）

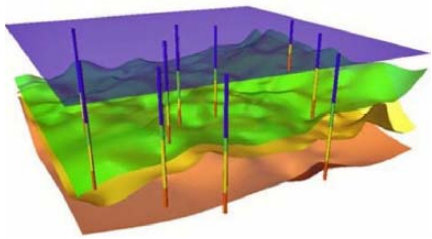


図-6　サーフェスモデルの概要図※

※「CIM導入ガイドライン(案)」より抜粋

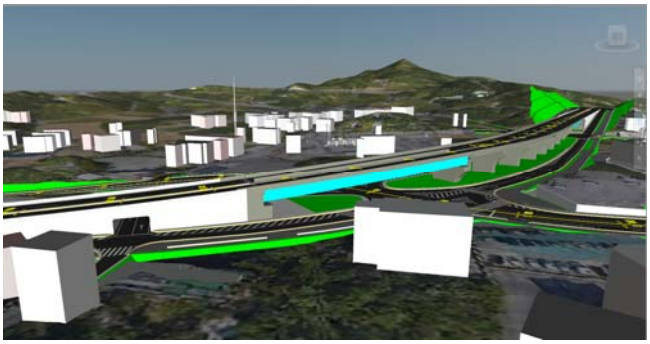




図-7　与那原 BP3 号橋　広域統合モデル（NavisWorks freedom）

d) 上部工モデル及び各種干渉モデルの作成

BIM/CIM活用に関する課題の抽出等を検討していくための基礎資料の蓄積として，鋼橋及びPC橋上部工モデルの作成を行った．上部工桁端部や杭基礎のフーチングと杭接合部は構造や鉄筋配置が煩雑となるため，部分的に詳細度を上げたモデルを作成した．（図-8～10参照）

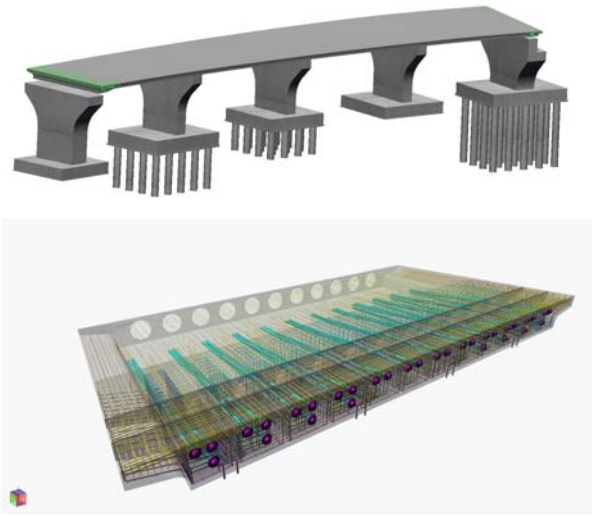


図-8　PC上部工の全体及び部分詳細モデル（V-nas Clear）

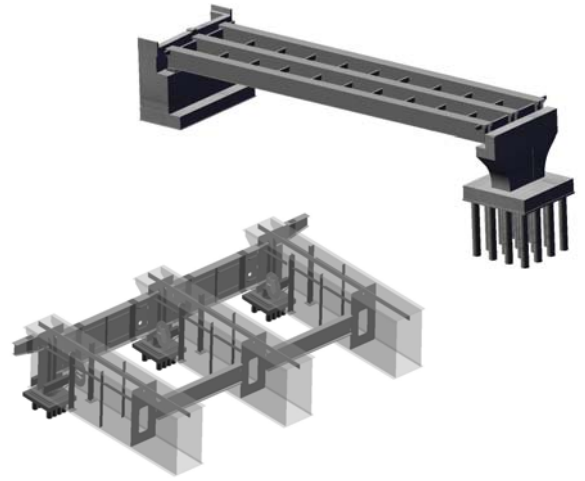


図-9　鋼上部工の全体及び部分詳細モデル（V-nas Clear）

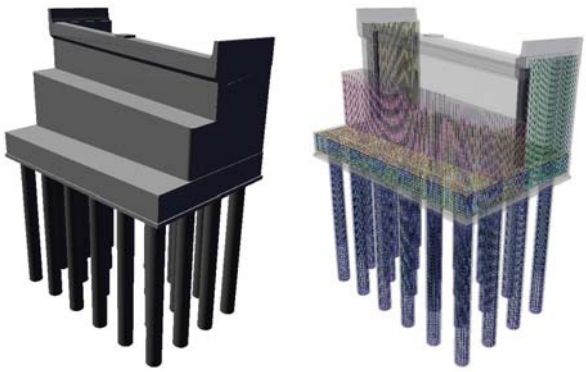


図-10　橋台の全体及び部分詳細モデル（V-nas Clear）

(4) BIM/CIMモデルの活用検証

a) 広域統合モデルの活用（関係機関との協議）

一般に橋梁計画の概要説明や協議においては，平面図や側面図等，二次元での図面を用いることが多いが，専門知識が少ない場合や短時間の協議においては，図面の読み取りで誤解を生じることが多い．

当業務におけるBIM/CIM活用検証では，作成した広域統合モデルを用い，設計協議時にその場で操作を行いながら説明を行うことで，会議参加者全員で構造の概要や景観性，視認性等の意識共有を図った．

また，広域統合モデルをベースにしたシミュレーション動画（mp4）作成も行い，構造物や周辺状況のイメージをより具体に把握できるようした．今後においても関係機関協議や地元説明協議への積極的な活用が期待でき，その効果も大きいものと予想される．（図-11参照）

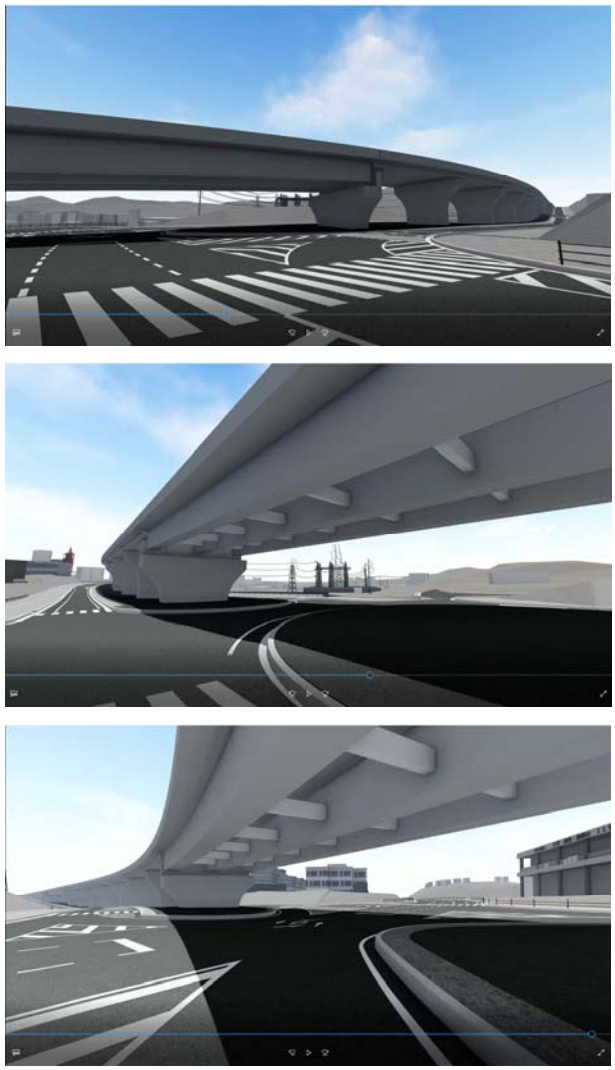


図-11　統合モデルより作成したシミュレーション動画（mp4）

b) 部分詳細モデルの活用（フロントローディング）

PC上部工の桁端部はPC鋼材や鉄筋等の配置が多く煩雑となることから，それら相互の干渉が問題となることがしばし生じており，これまでは施工段階において現場に

て干渉状況を確認のうえ，個別に対応を行っていることが多く見受けられている．また，下部工における支承部や基礎部（躯体鉄筋と杭頭鉄筋）においても同様に，干渉箇所に対する対応を施工段階で現場の状況に合わて適宜行っている状況が多い．

このような点を踏まえ，当業務における BIM/CIM 活用検証では，これまでと同様の要領で作成した 2 次元図面を基に，上記した部位を対象にした部分詳細 BIM/CIM モデルの作成を行い，3 次元的に干渉箇所がないかを事前に確認することを試みるフロントローディングを行った．

図-12～14 に検討結果の概要を示すが，干渉が確認された箇所は，鉄筋配置や形状を変更することにより，干渉を回避する対応を行い，これを 2 次元図面に再度反映させる計画を行った．設計段階でこのような詳細モデルを作成することで，施工段階で生じる干渉問題を事前に回避することが可能であると予想される．

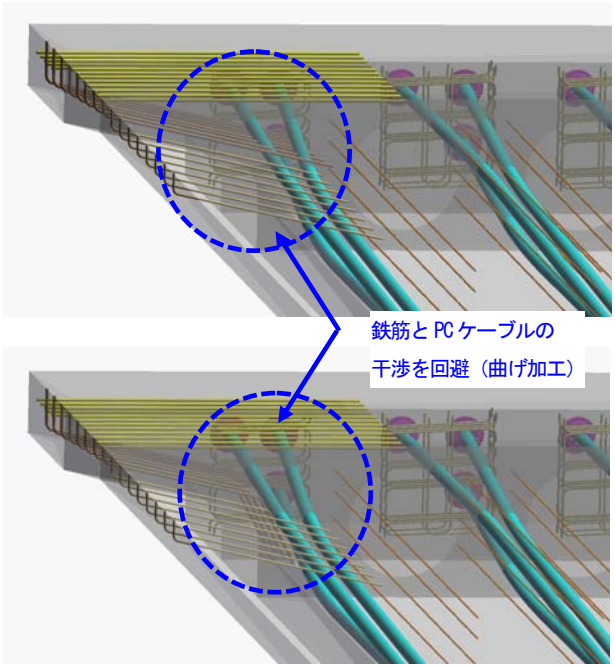


図-12　PC桁端部の干渉確認（上：当初，下：対応後）

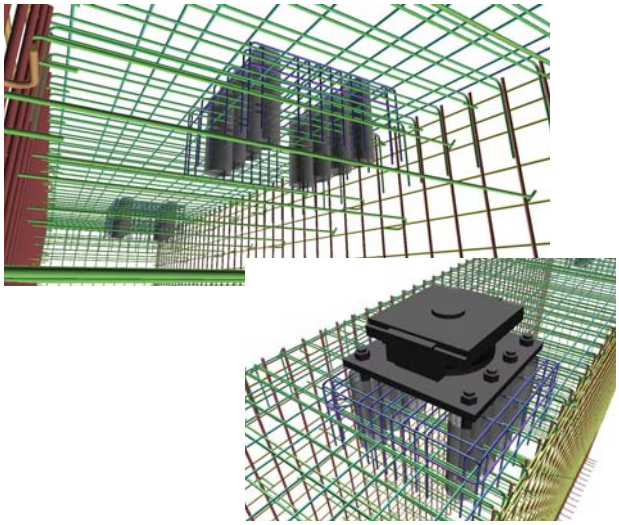


図-13　橋台支承部の干渉確認

c）施工ステップ図の作成

図-15 に与那原バイパス 3 号橋の全体施工フローを示す．本橋は鋼橋と PC 橋の混在する連続高架橋であること，側道が先行供用した状況下での施工，また，町道や県道交差点を跨ぐ計画であることから架設計画が重要となる．施工時の影響や課題の確認をより具体にかつ視覚的に行うことを目的とし，作成した広域統合モデルを基に，重機配置等を反映した施工ステップモデルの作成を行った．

図-16～18 に作成した施工ステップモデルの一例を示す．BIM/CIM モデルとしての施工ステップ図は，画面上で任意の方向から施工状況や影響範囲の確認ができるため，課題の抽出が容易であった．本橋の施工時課題においては，①掘削影響範囲の確認（下部工・基礎工）や，②側

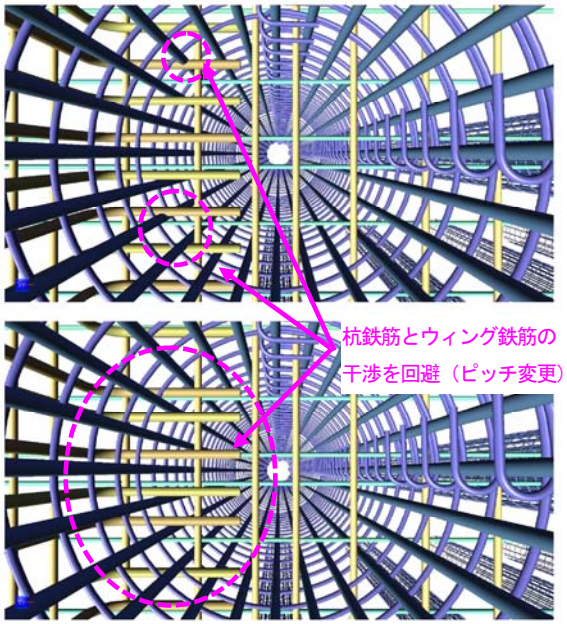


図-14　橋台基礎部の干渉確認（上：当初，下：対応後）

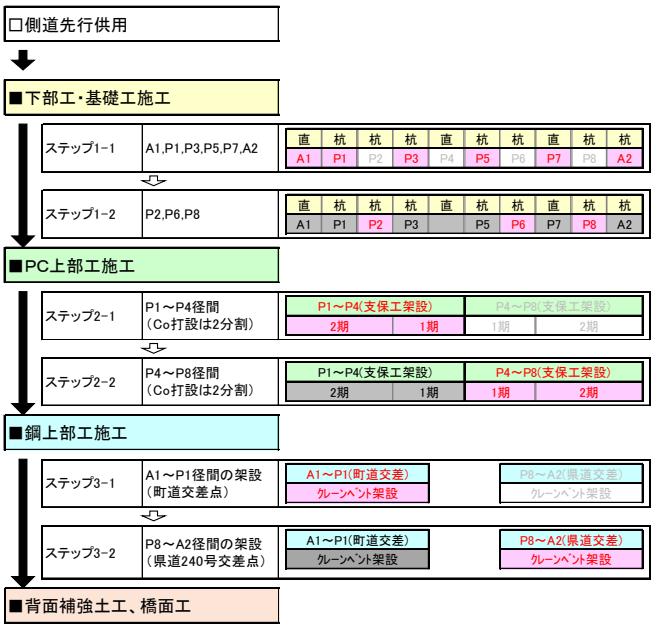


図-15　与那原バイパス 3 号橋の全体施工フロー（計画）

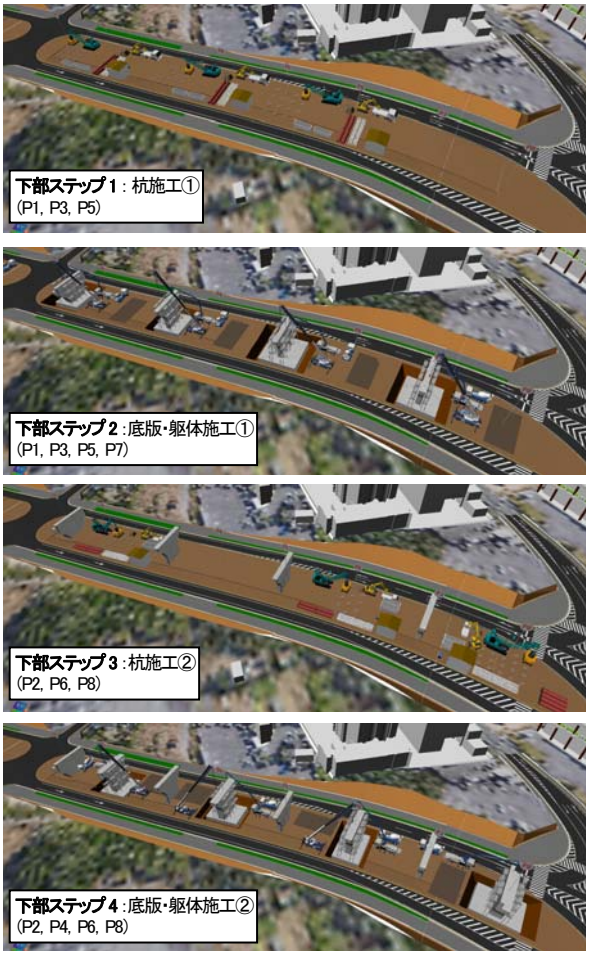


図-16　下部工・基礎工の施工ステップ図

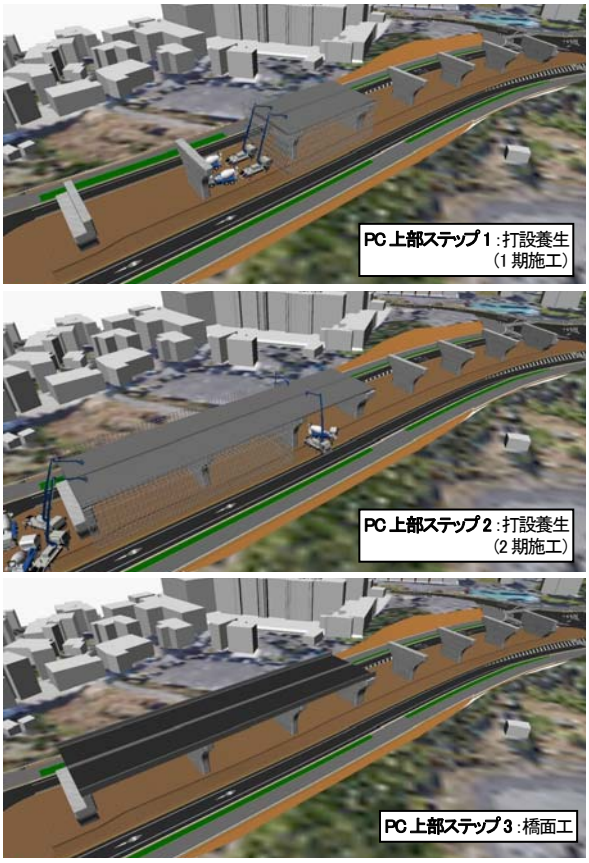


図-17　PC 上部工の施工ステップ図（P1～P4 径間）

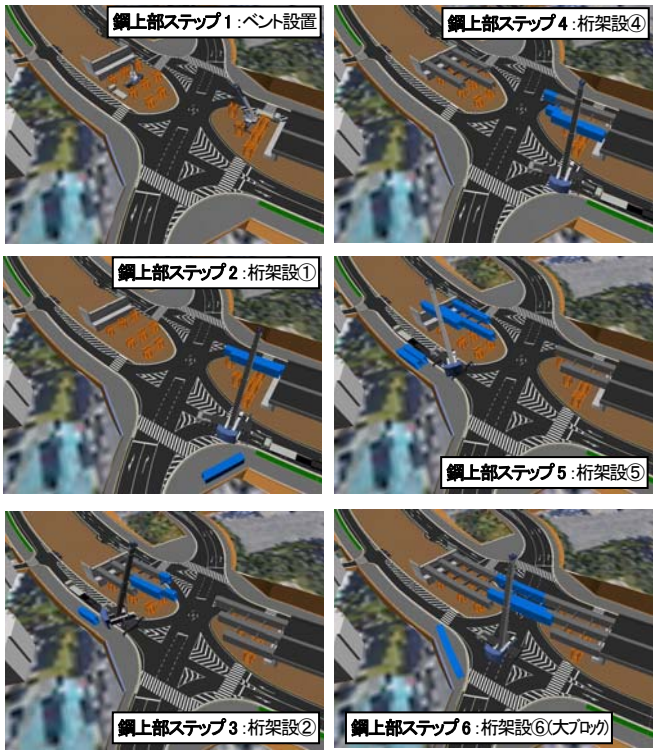


図-18　鋼上部工の施工ステップ図（P8～A2 径間）



図-19　地質調査 BIM/CIM モデルと橋梁設計 BIM/CIM モデルの統合

道の通行止めを回避したコンクリートポンプ車配置（PC 上部工），③影響範囲を最小限にするための交差点内クレーン配置（鋼上部工）等があり，設計段階で具体に把握することが容易となった．今後，関係機関協議や施工への思想引継ぎ等で活用効果が高いものと予想される．

3. おわりに

与那原BP3号橋では，地質調査業務および橋梁詳細設計業務を対象にBIM/CIMモデルの作成と活用検証を行った．今回の試行から，設計段階におけるミス（干渉等）の解消や関係機関との円滑な協議，施工課題の抽出に対して一定の効果が得られたものと考えている．一方で，作業に関する設計費用の増大や業務期間の延長などが生じたことも事実である．

今後は，このような課題等にも十分留意しつつ，数量や工事費の自動算出，維持管理への引継ぎ等，BIM/CIM の活用充実を目的とした検討を国の施策方針に則り，段階的に行っていきたいと考えている．

那覇北道路橋梁詳細設計における ＢＩＭ/ＣＩＭ活用事例について

知名　広道[1]・城間　和樹[2]

[1]沖縄総合事務局　南部国道事務所　調査第二課　課長　（〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14）

[2]沖縄総合事務局　南部国道事務所　調査第二課　調査係長　（〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14）

1. 事業概要とBIM/CIMの概要

(1) 事業概要

那覇北道路は，沖縄西海岸道路（読谷村～糸満市）のうち那覇市港町から那覇市若狭間に至る延長2.2kmの地域高規格道路である．本道路は，那覇市都市圏の環状道路を形成し，国道58号の那覇市街地および周辺部の交通混雑の緩和を図るとともに，那覇港・那覇空港へのアクセス性向上による物流の効率化，観光振興を支援する道路で，那覇港航路や既存の漁港施設，港湾施設を跨ぐため，路線の全てが橋梁構造の高架道路で計画されている．特に，上之屋IC部は本線橋梁の上下にランプ橋が交差する3層構造橋梁となっている．



図-1　上之屋IC部（CIMモデルレンダリング加工）

(2) BIM/CIMの概要

BIM/CIM（Building / Construction Information Modeling/ Management）とは，計画，調査，設計段階から 3 次元モデルを導入し，その後の施工，維持管理の各段階においても情報を充実させながらこれを活用し，合わせて事業全体にわたる関係者間の情報を共有することにより，一連の建設生産システムにおける業務効率化・高度化を図るものである．

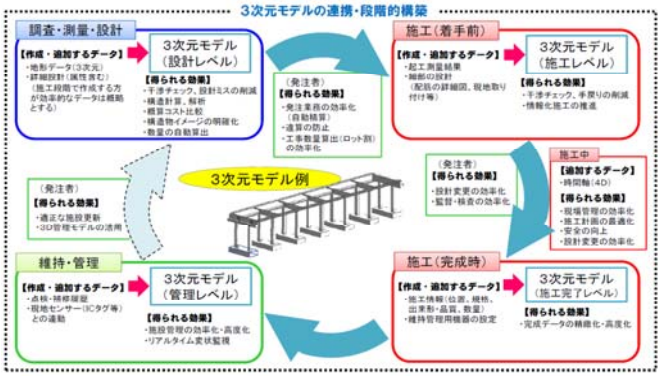


図-2　BIM/CIM の概念 [1)]

2. 橋梁設計への BIM/CIM 活用

那覇北道路事業における橋梁設計を実施するにあたり，以下の課題が想定されていた．

- 既存の漁港施設や港湾施設を通過する橋梁であることから各施設管理者や関係者との協議を円滑に行うことが事業進捗上，特に重要であること．
- 上之屋 IC 部は、本線橋梁とランプ橋が交差する複雑な 3 層構造で構成されているため、錯綜する下部工，上部工の施工計画の全体把握，各施設や道路への影響を事前に確認する必要があること．

上記課題に対して，BIM/CIM 活用し、効率的に事業の進捗を図るとともに施工時によく見られる鉄筋過密箇所での干渉を 3 次元モデルで確認することで，施工段階での課題を設計段階で前倒し（フロントローディング）で解決を図ることとした．

(1) BIM/CIM活用範囲

活用する対象範囲は，那覇北道路の中間部に位置する上之屋IC部および漁港地区とした．

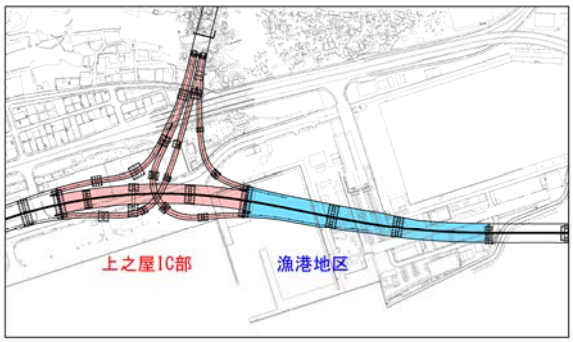


図-3　BIM/CIM活用範囲

(2) 3次元モデル

BIM/CIMにて使用される3次元モデルには図-4のとおり，分類されている．

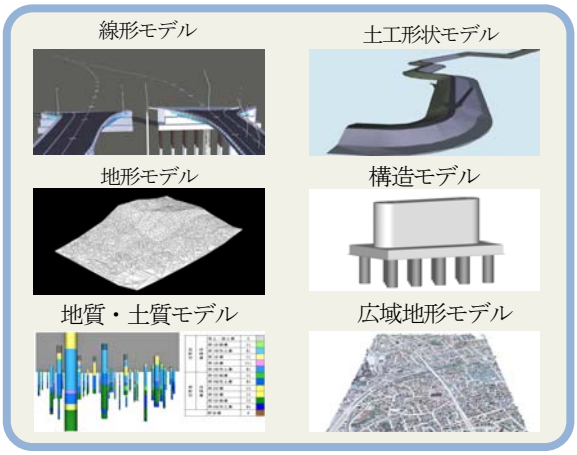


図-4　3次元モデルの分類[1)]

それぞれの3次元モデルを同一空間上で組み合わせたものを統合モデルと呼称される．

3次元モデルに関する作り込みレベル（目安）を示すものを詳細度といい，表-1は、構造物（橋梁）の詳細度の例である．

詳細度	共通定義	工種別の定義	
		構造物(橋梁)のモデル化	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル (橋梁)橋梁の配置が分かる程度の矩形形状、若しくは線状のモデル	
200	対象の構造形状が分かる程度のモデル。 標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準断面を対象範囲でスイープ※させて作成する程度の表現。	構造形状が確認できる程度の形状を有したモデル。 (橋梁)対象橋梁の構造形式が分かる程度のモデル。 上部工では一般的なスパン比等で主桁形状を定める。モデル化対象は主構造程度で部材厚の情報は持たない。 下部工は地形との高さ関係から概ねの規模を想定してモデル化する。	
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル (橋梁)計算結果を基に主構造をモデル化する。 主構造は鋼鈑桁であれば床版、主桁、横桁、横構、対傾構を指す。また、添接板等の接続部形状はここでモデル化する。 下部工は外形形状及び配置を正確にモデル化。	
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度300に加えて接続部構造や配筋を含めてモデル化。 (橋梁)桁に対してリブや吊金具といった部材や接続部の添接板等の形状と配置をモデル化する。また、主な付属物(ジョイントや支承)の配置を外形を含めてモデル化する。 接続部構造(ボルトはキャラクター等で表現)、床版配筋や下部工の配筋をモデル化する。更に、各付属物の配置とそれに伴う開口等の下部工の外形変化を追加する。	
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。	–	–

出展：土木分野におけるモデル詳細度標準（案）（平成29年2月）社会基盤情報標準化委員会　特別委員会
※スイープ：平面に描かれた図形をある基準線に沿って移動させて3次元化する技法のこと。

表-1　構造物(橋梁)の詳細度

今回，活用する内容より詳細度を決定している．

(3) BIM/CIM活用内容

a) 3次元モデルを用いた関係機関協議

一般的に関係機関協議では，これまで2次元図面を利用する場面が多いが，関係者は土木分野に従事していない人が殆どであり，2次元図面の読み取り等において誤解を生じることがあった．本業務では，BIM/CIMを活用した3次元モデル（統合モデル）を協議に利用することにより，円滑な意思伝達を図った．

港湾施設および漁港施設管理者を対象として，橋梁完成後，周辺施設や交差道路に対しどのように影響を与えるか，3次元モデルを利用し説明を行った．

以下項目の情報伝達を明瞭に行うことができ，円滑に協議を進行することができた．

・路線全体の完成イメージ（図-5）
・不特定多数の視点場からの橋梁の見え方（図-6）
・桁下道路走行車両からの視認性の確認（図-7）



図-5　路線全体の完成イメージ



図-6　漁港内施設からの橋梁の見え方



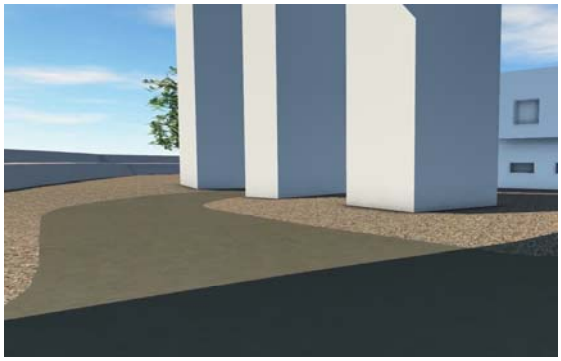


図-7　走行シミュレーション(漁港内道路)

b) 鉄筋等の干渉確認

鉄筋や部材間において干渉箇所があった場合，施工時に支障をきたすため，3次元モデルを活用し干渉確認を実施した.

本業務においては，RC門型橋脚の支承台座部と梁隅角部を対象とし，干渉確認を実施した.

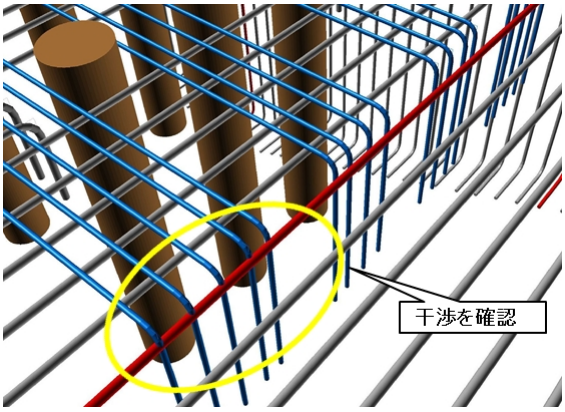


図-8　支承台座鉄筋と梁部鉄筋（対応前）

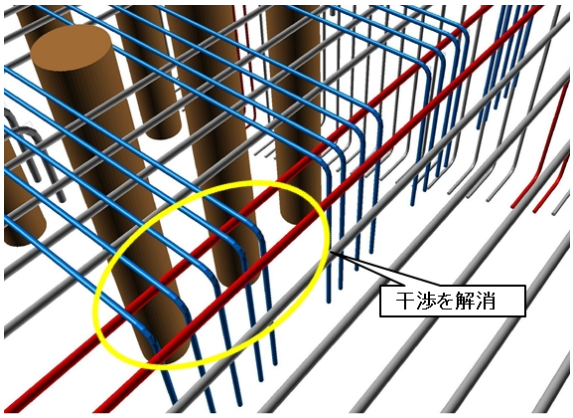


図-9　支承台座鉄筋と梁部鉄筋（対応後）

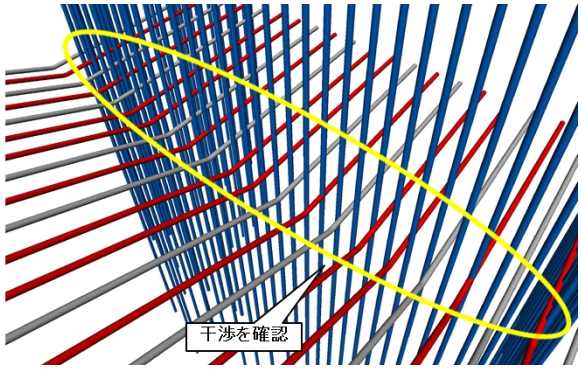


図-10　梁隅角部ハンチ鉄筋と柱鉄筋（対応前）

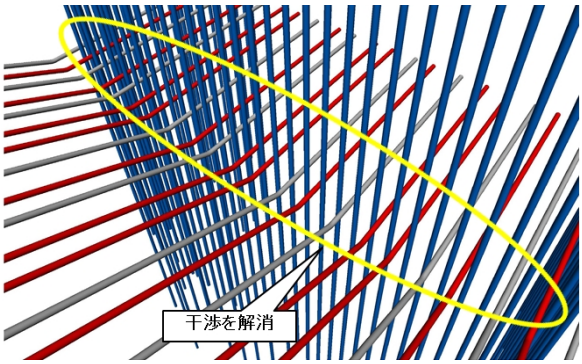


図-11　梁隅角部ハンチ鉄筋と柱鉄筋（対応後）

3次元モデルの活用により，鉄筋や部材間の干渉箇所が確認できた．干渉箇所に関しては，設計へのフィードバックを行い，干渉を避けた計画で再計算を実施した.

従来の2次元設計においては，このような干渉確認は見落とされがちであり，3次元可視化による効果といえる.

c) 施工計画の全体把握

複雑な施工手順が想定される3層構造となる上之屋IC部を対象とし，施工計画を確認するため，3次元モデルを活用したシミュレーション動画を作成した.

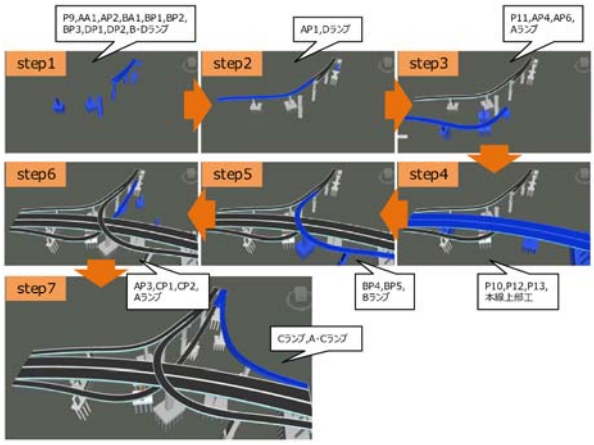


図-12　施工ステップイメージ（骨格）

本活用は，施工全体のイメージ把握や施工時の課題抽出に有効といえ，今後，本データに周辺構造物や重機・

仮設材等を付加することで，詳細な施工計画に活用することが期待できる.

4. まとめ

今回実施したBIM/CIM活用の効果を以下に示す.

- 3次元モデルで表現することで，対象構造物が明確化されるため，土木技術者はもちろんのこと土木分野に従事していない人も含め、情報共有が容易に計ることができた．地元説明や関係機関協議において、BIM/CIMを活用することの効果は大きいといえる.
- 設計段階での施工計画の確認や鉄筋干渉の確認を実施することより，施工段階での課題を事前に回避することで効率化が図れるものと考えられる.

最後にBIM/CIMは，試行段階ではありますが、今後も多くの活用事例を収集し、活用の幅を広げることでより大きな効果が期待できるものと思われる。

参考文献

1)国道交通省　他：CIM導入ガイドライン(案)，平成30年3月

別紙２（論文）

那覇空港滑走路埋立工事におけるボックスカルバートの吸い出し防止対策について

大城　直[1]・金城　和希[1]

[1]那覇港湾・空港整備事務所　那覇空港新滑走路整備推進室（沖縄県那覇市字鏡水 344）

那覇空港では将来の需要に適切に対応するため，沖合に2本目の滑走路の整備を行っている．その際に生じる閉鎖性海域と外海との海水交換が行えるよう連絡誘導路直下にボックスカルバートを設置したが，ボックスカルバート上の裏込石上に設置した防砂シートの損傷により，裏埋砂が吸い出しを起こし，地盤の不等沈下発生リスクが予測される．本項目は，吸い出しを防ぐため，裏込石と裏埋砂の中間的な粒度を有する 2 層の砕石から成るバリア層を施し，砕石の目詰まり効果について検討するものである．

キーワード　滑走路増設　バリア層　吸い出し　ボックスカルバート　防砂シート

1. はじめに

現在，那覇空港では滑走路 1 本での供用を行っているが，年々の空港需要の増加により，現在の処理容量を超え，慢性的に航空機発着の遅延が生じている．これを解消するために沖合に 2 本目の滑走路の増設を行っている（**図** 1）．

連絡誘導路を整備することで，現滑走路と増設滑走路間の海域の海水循環が停滞し，閉鎖性海域が発生し，環境へ影響を及ぼす可能性が考えられる．これを防ぐために連絡誘導路直下にボックスカルバートを設置し，通水機能を確保している（**図**2 ）．

ボックスカルバート上部では，裏埋砂の流出を防ぐために，裏込石と裏埋砂の間に防砂シートの設置を想定しているが，防砂シートの損傷した際の裏埋砂の吸い出しによって，誘導路の不等沈下が生じる可能性がある．

本項目は裏込石と裏埋砂の間の防砂シート直下に目詰まり効果を有する砕石から成るバリア層を設け，防砂シートの損傷リスク低減効果，目詰まり効果及び砕石の安定性を検証し，バリア層に適した砕石を検討するために各種実験を行った．



図 1 那覇空港衛星写真（6/17 撮影）

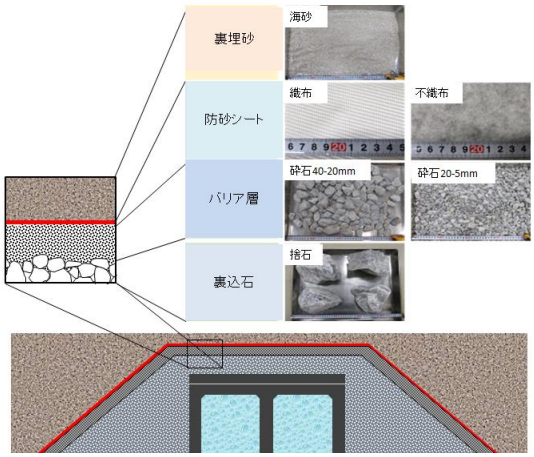


図2 通水路部ボックスカルバート概要図

2. 試験試料

図 3 では本項目で対象とした試料の粒度曲線を示す. 裏埋砂は貝殻, 珊瑚礫等の角張った粒子を多く含むものである. バリア層として用いた各種砕石は同種の材質で粒度分布のみが異なるものである. このうち, 砕石 40-20 mm , 砕石 20-5 mm , 砕石 5-2.5 mm に関しては各試験で重点的に用いた. 裏込石は大きさ 20-30 cm , 重さ 1-6 kg のものを使用した. 防砂シートには織布, 不織布の 2 種を用いた. これらの試料を組み合わせて防砂シートの損傷リスク, 砕石の目詰まり機能, 及び砕石の安定性を検討し, バリア層となる砕石の条件を評価する.

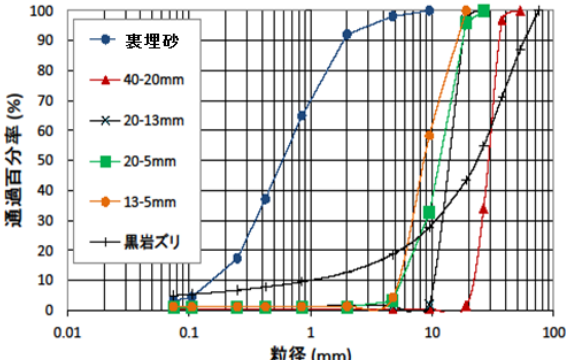


図 3 裏埋砂と砕石の粒度曲線

3. 防砂シートの損傷リスク評価試験

(1) 試験概要

本試験では, 裏埋砂, 防砂シート, バリア層（または裏込石）から成る 3 層構造の模型を使用した試験を行った（図 4 ）. 模型地盤の作成手順を図 5 に, 試験ケース一覧を表 1 に記す. 下層試料と防砂シートの損傷の関係を調べるため, 下層試料は裏込石, 砕石 40-20 mm, 砕石 5-2.5 mm を使用した. 載荷方法は, 航空機の移動荷重を想定した鉛直載荷と地震動を想定した水平載荷の 2 種類である. 鉛直載荷では常時の上載圧を 60 kPa に加えて, 120 kPaの繰り返し荷重を与えた. これは想定する航空機荷重の 1.5～2 倍に

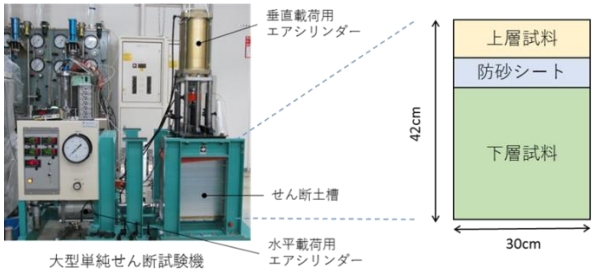
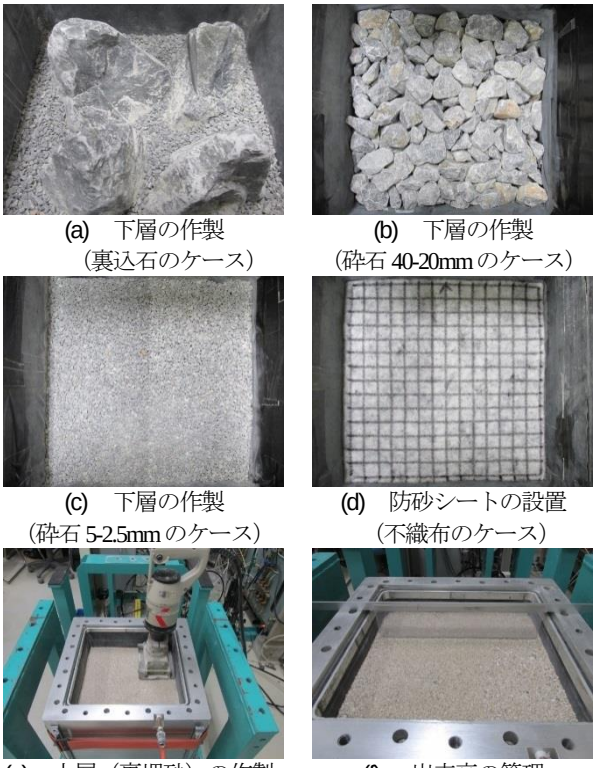


図 4 防砂シートの損傷リスク評価試験概略図

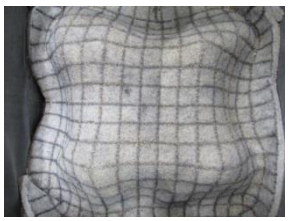


(a) 下層の作製（裏込石のケース）　(b) 下層の作製（砕石 40-20mm のケース）
(c) 下層の作製（砕石 5-2.5mm のケース）　(d) 防砂シートの設置（不織布のケース）
(e) 上層（裏埋砂）の作製　(f) 出来高の管理

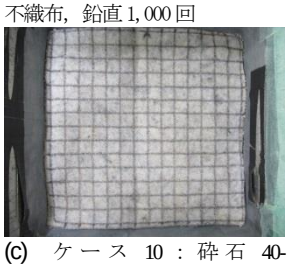
図 5 防砂シート損傷リスク評価試験の模型地盤作製手順

表 1 防砂シートの損傷リスク評価試験ケース一覧

ケース名	下層試料	防砂シート	載荷方法	載荷回数
1	裏込石	不織布	鉛直	1,000
2				10,000
3				40,000
4			水平	100
5				500
6		織布	鉛直	1,000
7				10,000
8			水平	100
9				500
10	砕石 40-20 mm	不織布	鉛直	1,000
11				10,000
12			水平	100
13				500
14		織布	鉛直	1,000
15				10,000
16			水平	100
17				500
18	砕石 5-2.5 mm	不織布	鉛直	1,000
19				10,000


(a)　ケース 1：裏込石，不織布，鉛直 1,000 回


(b)　ケース 6：裏込石，織布，鉛直 1,000 回


(c)　ケース 10：砕石 40-20mm，不織布，鉛直 1,000 回

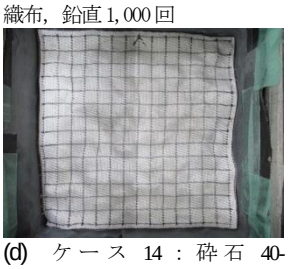

(d)　ケース 14：砕石 40-20mm，織布，鉛直 1,000 回

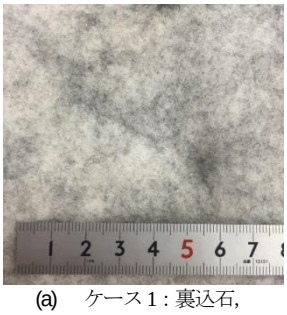
図 6 試験後の防砂シートの様子
（代表的なものを抜粋）

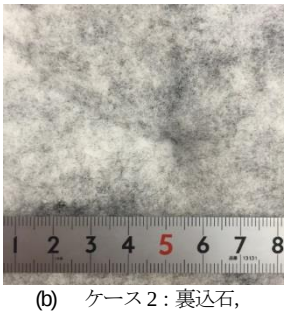
相当する荷重である. 水平載荷では，上載圧 60 kPa に対して，片振幅 18 kPa の荷重を繰り返し与えた. 防砂シートは織布，不織布の 2 種類を使用し，バリア層となる砕石 40-20 mm や砕石 5-2.5 mm，または砕石に直接設置する場合を想定した．所定の回数の載荷後，防砂シートを取り出してレーダー変位計による形状測定を行い，残留変位を評価した.

(2) 試験結果

図 6 に試験直後の防砂シートの様子を示す．防砂シートを直接裏込石に設置したケースでは，シートが局所的に引き延ばされていたのが見られた．また，**図 7** に示されるように防砂シートの裏込石頂点が接触していた箇所の裏面に変化が現れた．不織布の場合，載荷回数が増えるに伴い，シート厚が薄くなる傾向が見られる一方で，織布では，シート厚に変化はないがケース 7（裏込石における鉛直載荷 10,000 回）において，シート表面が損傷し，ほつれる様子が確認された. レーザー変位計による防砂シートの残留変形の観測結果例を**図 8** に示す．裏込石に直接防砂シートを設置したケース 2 では，鉛直載荷 10,000 回において最大 15.9 mm の残留変位であった.

その一方で，防砂シートをバリア層となる砕石 40-20 mm を設置したケース 11 では，鉛直載荷 10,000 回においても残留変形は微量であり，局所的なほつれが見られないといった，裏込石に直接防砂シートを設置した場合と比べて明らかな差異が確認された.


(a)　ケース 1：裏込石，不織布，鉛直 1,000 回


(b)　ケース 2：裏込石，不織布，鉛直 10,000 回


(c)　ケース 6：裏込石，織布，鉛直 1,000 回

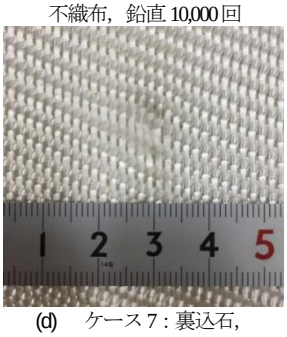
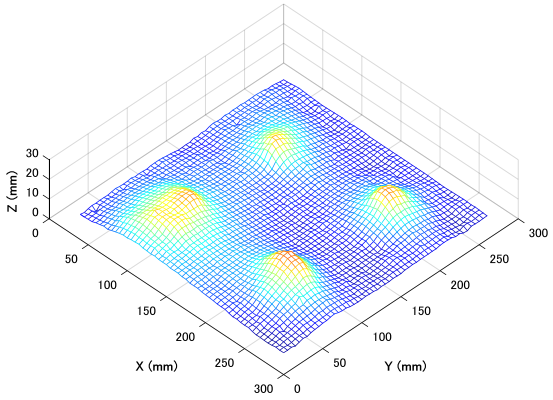
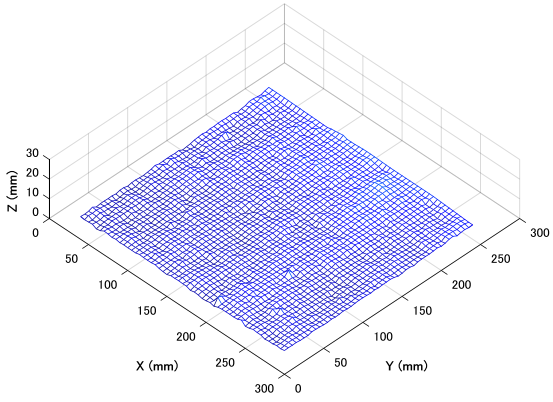

(d)　ケース 7：裏込石，織布，鉛直 10,000 回

図 7 試験後の防砂シートのほつれの様子
（代表的なものを抜粋）



(a) ケース 2：裏込石，不織布，鉛直 10,000 回



(b) ケース 11：砕石 40-20mm，不織布，鉛直 10,000 回

図 8 防砂シートの鉛直載荷における残留変形計測結果

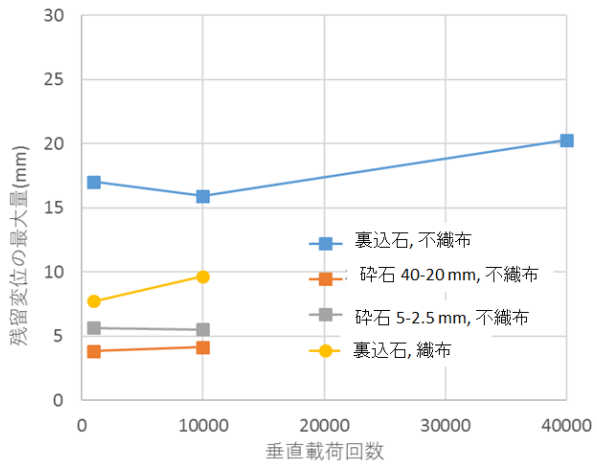


図 9 鉛直載荷回数と防砂シートの残留変位量

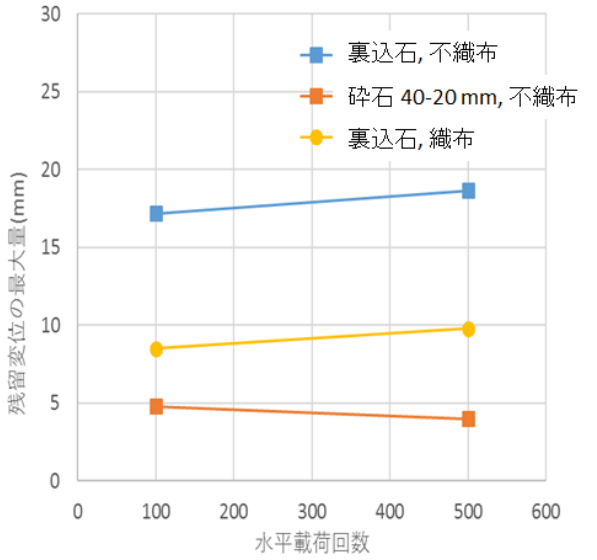


図 10 水平載荷回数と防砂シートの残留変位量

また，防砂シート上に残留した鉛直載荷による変形の最大値を図 9 に示す. 鉛直載荷, 不織布のケースに注目すると, バリア層となる砕石 40-20 mm, 及び砕石 5-2.5 mm と比べて, 裏込石に直接防砂シートを設置した場合に変位が極めて大きくなる結果となった. また, どの試料に対しても, 織布・不織布ともに載荷回数の増加に伴い残留変形が増加することとなった. 織布は不織布と比べて残留変形が小さいが, これは実験直後は織布, 不織布共に同程度の変形が生じたが, 織布の形状が時間経過で回復するためである. また, 水平載荷においてでも, 鉛直載荷と同様の傾向にある（図 10）.

以上のことから，裏込石上に防砂シートを設置すると，織布と不織布のどちらにおいてでも防砂シートの裏込石との接触部分の損傷が予測されるが，砕石 40-20 mm または砕石 5-2.5 mm をバリア層として施すことで防砂シートの損傷リスクを大きく低減できることを明らかにした.

4. 目詰まり機能評価試験

(1) 試験概要

防砂シートが損傷し，吸い出しが生じた際に期待される砕石の目詰まり効果の影響を評価する．下層試料には砕石や裏込石を使用した．ケース 1 及びケース 2 の上層試料として砕石 5-2.5 mm 及び 砕石 20-5 mm を, ケース 3 ～ケース 7 までの上層試料には裏埋砂を用いた．これにより，裏埋砂とバリア層候補である砕石間の目詰まり機能だけでなく，砕石同士間の目詰まりも評価できる．バリア層候補であるそれぞれの粒度の砕石を図 11 に示す装置を用いて目詰まり効果を評価した．表 2 は各ケースの砕石の粒度，中央粒径比（$D_{下50}/D_{上50}$）, 上層試料投入後, 10 分間振動後の通過量及び通過量の合計を示す．内径 15 cm, 高さ30 cm のアクリル容器にバリア層として各ケースに応じた粒度の砕石を厚さ 13 cm に設置し, その上に裏埋砂2,500 g を投入した．その後振動（1.5 g, 3 Hz, 10 分間）を起こし，下層試料を通過し受け皿に溜まった上層試料の量を測定した.

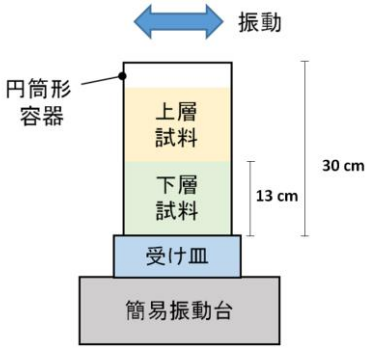
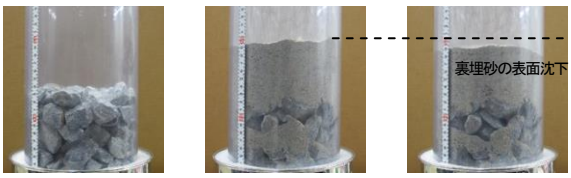


図 11 バリア層の安定性評価試験概略図

表 2　目詰まり機能評価試験ケース一覧

ケース	上層試料	下層試料	$D_{50下}/D_{50上}$	上層試料投入後の通過量(g)	10分間振動後の通過量(g)	通過量の合計(g)
1	5-2.5 mm	40-20mm	10.2	47.05	1.06	48.11
2	20-5 mm	40-20mm	2.5	1.53	0.22	1.75
3	裏埋砂	40-20mm	49.1	434.56	164.20	598.76
4	裏埋砂	20-5mm	19.3	0.12	0.05	0.17
5	裏埋砂	黒岩ずり	40.0	9.65	19.31	28.96
6	裏埋砂	20-13mm	23.1	2.80	5.54	8.34
7	裏埋砂	13-5mm	14.9	0.06	0.14	0.20



(a) 下層試料投入後　(b) 上層試料投入後　(c) 振動後

図 12　実験結果の一例（ケース 3，砕石 40-20 mm）

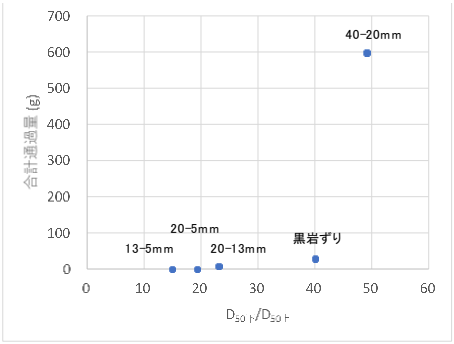


図 13 バリア層／裏埋砂の中央粒径比と裏埋砂通過量の関係

(2) 試験結果

図 12 には最も通過量の多いケース 3 の表面沈下の様子を示した．裏埋砂が振動を受けて沈下したのが確認できる．図 13 は下層試料と上層試料の中央粒径比（$D_{50下}$ / $D_{50上}$）と通過量を示した図である．中央粒径比が 20 を超える砕石 20–13 ㎜ からやや通過量が上昇し，40 を超えると通過量の急上昇が見られた．これらのことから，下層試料とその直上の上層試料の中央粒径比は 20 未満が望ましい．つまり，裏埋砂がバリア層に沈下しないためには砕石の粒度が 20-5 mm 以下である必要がある．また上層及び下層試料がどちらも砕石であるケース 1 とケース 2 から，砕石 5-2.5 mm や砕石 20-5 mm と砕石 40-20 mm 間でも中央粒径比は20より低く，目詰まり効果が期待できることが分かった．

5.　バリア層の安定性評価試験

(1) 試験概要

バリア層の効果を長期的に維持するため，直下の裏込石に対する構造安定性を確認する必要がある． 高さ 60 cm，幅 100 cm，奥行 30 cm のアクリル土槽に裏込石として 大きさ 20-30 cm，55 個，総重量 196. .24 kg の裏込石を密詰めまたは緩詰めで設置した．その直上にバリア層候補である砕石 20-5 mm と砕石 40-20 mm を配置し，大型振動台を用いて 5 Hz, 600 gal の振動を 2 分間与え，砕石の沈下を観察した．この試験の概略図を図 14 に，ケース一覧を表 3 に示す．

(2) 試験結果

図 15 はアクリル土槽側面から見たバリア層としての

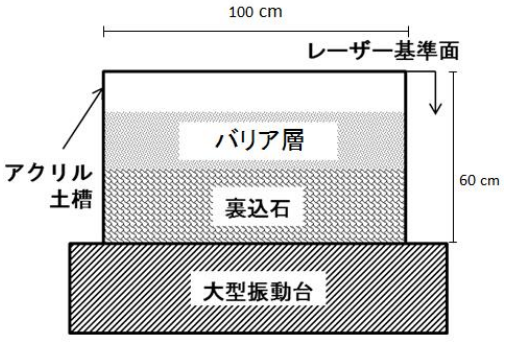
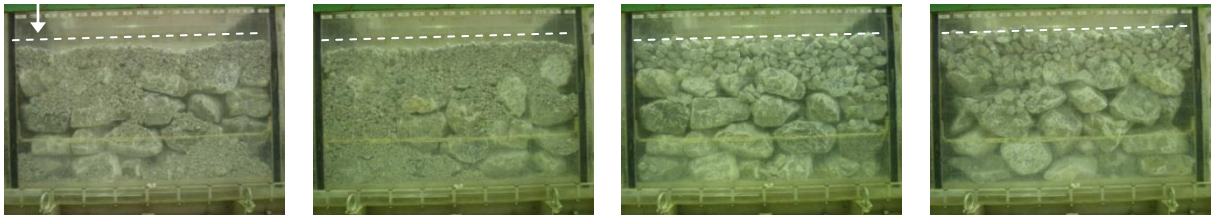


図 14 バリア層の安定性評価試験概略図

表 3　安定性評価試験試験ケース一覧

ケース	上層試料	下層試料	上層試料投入後の平均表面高さ (㎜)	振動後の平均表面高さ (㎜)	振動による平均表面沈下 (㎜)
1	20–5m m	裏込石(密)	-77.2	-92.0	14.8
2	20–5m m	裏込石(緩)	-68.2	-95.6	27.4
3	40–20m m	裏込石(密)	-64.8	-69.3	4.5
4	40–20m m	裏込石(緩)	-37.3	-42.5	5.2

振動前のバリア層表面位置



(a) ケース 1　(b) ケース 2　(c) ケース 3　(d) ケース 4

図 15　振動後のアクリル土槽側面の様子（点線は振動前のバリア層表面位置を表す）

砕石の沈下の様子である．砕石 20-5 mm を設置したケース 1 とケース 2 は沈下量がそれぞれ14.8 mm, 27.4 mm と比較的高い値を示したが，砕石40-20 mm のケース 3 とケース 4 の沈下量はそれぞれ4.5 mm, 5.2 mm と限定的であった. 4 つのケースから, 下層試料が密詰めである方が, 緩詰めより沈下量が低いことが明らかである. また, 砕石40-20 mmと比べて, 砕石 20-5 mm の沈下量は石の積み方による変化は少ないことを示した. 以上のことから，本試験で使用した裏込石の直上には砕石 40-20 mm の方が砕石 20-5 mm より沈下量が低く，裏込石の詰め方による沈下への影響が少ないため，構造安定性が高いと評価できる.

6. まとめ

防砂シートの損傷リスク評価では, 大型単純せん断試験機による載荷試験を行った. 防砂シートは, 織布・不織布両方のケースで鉛直載荷, 水平載荷の載荷回数の増加に伴って防砂シート直下の裏込石との接触部のシート厚が薄くなる又はほつれるといった損傷が生じた. この損傷リスクは砕石 40-20 mm 及びそれ以下の粒径を有する砕石をバリア層として設置することで大幅に軽減できる.

吸い出し防止対策の検討を目的としたバリア層の目詰まり効果評価試験では, 裏埋砂に対して目詰まり機能を十分に有するバリア層の条件は砕石 20-5 mm 以下の粒径であることが判明した. 特に, 砕石 40-20 mm 以上の粒径では吸い出しリスクが急上昇した. また, 砕石同士での目詰まり機能は, 砕石 40-20 mm に対して, 砕石 20-5 mm の方が砕石 5-2.5 mm より優れていると評価できる..

裏込石を下層に位置づけ,安定性の評価を行った. この試験の結果から, 砕石 40-20 mm の沈下量は砕石 20-5 mm と比較て僅かであり, 裏込石の上層であることに適していることが分かった. この試験で裏込石を密詰めと緩詰めでの並び方で評価したが, 上層試料は, 砕石 40-20 mm の方が砕石 20-5 mm より積み方の影響を受けないことが判明した.

これら 3 つの試験の結果から, バリア層に求められる条件は以下の 3 点を満たす必要がある. ①裏埋砂に対して砕石の粒径は20-5 mm 以下が望ましい. ②裏込石に対して十分に安定する砕石の粒径は 40-20 mm が適切である. バリア層が単層である場合,この 2 つの条件を満たすことはできない. そこで,バリア層を 2 層構造に積み上げることとした. これにより, 裏埋砂に対して目詰まり機能を保持し, 裏込石に対して安定する. 砕石 20-5 mm と砕石 40-20 mm 間の目詰まり機能も機能評価試験にて十分に目詰まりするした. この 2 層構造のバリア層を連絡誘導路下に施すことで不等沈下リスクを低減することが可能である.

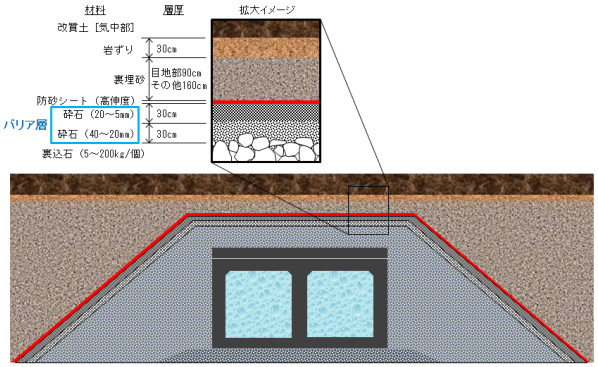


図 16 吸い出し防止対策としての
2 層構造のバリア層の概念図

以上の検討結果より, バリア層は**図** 16 のように, 上部に砕石 20-5 mm , 下部に 40-20 mm の 2 層構造が望ましい. これにより,裏込石に対して安定性を保ちつつ, 目詰まり効果を期待できる.

本項目で紹介した2 層構造のバリア層は 8 月に施工を予定している．これを施すことで連絡誘導路にて起こり得る土砂吸い出しによる沈下等のリスクを大きく低減することができ，連絡誘導路の沈下を防ぐこととなる.

那覇空港滑走路増設事業において, 連絡誘導路は極めて重要な基本施設であり，沈下が生じてしまうと，航空機が増設滑走路からターミナルに辿り着けず，運用に大きな支障をきたす．これを避けるためのバリア層による吸い出しの低減は極めて重要な意義を持つ.

これからも本項目をはじめとした様々な検討結果を踏まえ，加えて環境へ十分に配慮しつつ，安全を第一として 2020 年 3月供用を目指して，那覇空港滑走路増設事業を進めて行く.

鋼管杭高止まりにおける検討

沖縄県中部土木事務所中城湾港建設現場事務所　主任技師　小島　健太郎
○主　　任　小橋川　直哉

１．はじめに

県道 20 号線(泡瀬工区)橋梁整備事業は､沖縄市泡瀬に整備している人工島(95ha)にアクセスする、810ｍの海上橋である。

人工島は沖縄市がスポーツを中心とした商業や宿泊施設等を誘致し、スポーツコンベンション拠点の形成を図る土地利用を行う。**図 1** に位置図を示す。



図 1 位置図

２．橋梁整備の概要

県道 20 号線(泡瀬工区)橋梁の基礎工は､島尻泥岩層を支持層とする杭基礎の橋台(A1、A2)、13 橋脚(P1～P9、P14～P17)及び直接基礎 4 橋脚(P10～P13)の全 19 基の施工となっている。下部工形式は逆 T 式橋台、壁式橋脚(P1～P6)、二柱式橋脚(P7～P17)である。

上部工形式は A1～P6 間をポストテンション方式ＰＣ6 径間中空床板桁(143m)、P6～A2 間をＰＣ12 径間連続箱桁(667m)としている。標準断面図等を**図 2-1～2-4** に示す。

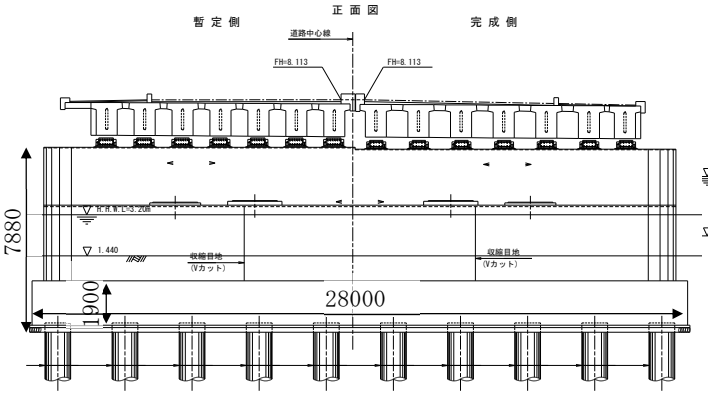


図 2-1 壁式橋脚構造一般図

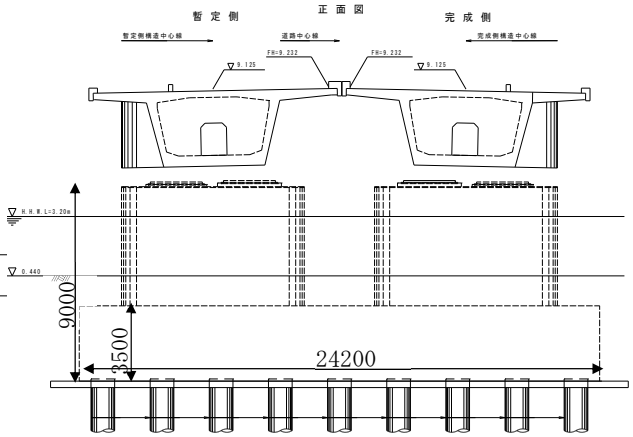


図 2-2 二柱式橋脚構造一般図

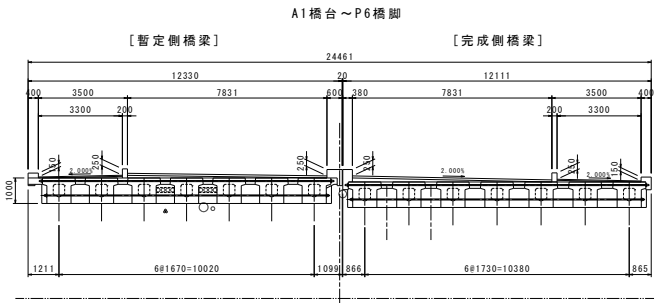


図 2-3 標準断面図
(ﾎﾟｽﾄﾃﾝｼｮﾝ方式中空床板桁)

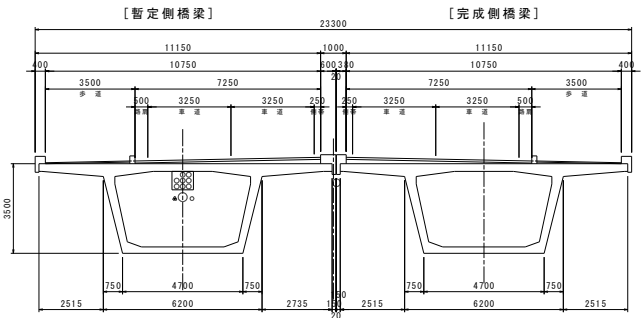


図 2-4 標準断面図
(連続箱桁)

鋼管杭の打設は、「バイブロハンマ併用油圧フライングハンマ工法」で施工している。この工法は、三点支持式杭打機と比較して作業桟台を小さくでき、海上施工では経済的である。**図 3-1** に示すようにバイブロ

キーワード　鋼管杭，高止まり，推定支持層の傾斜，試験杭，杭長見直し
連絡先　〒904-2162　沖縄市海邦町 3-45　沖縄県中部土木事務所中城湾港建設現場事務所
E-mail:kobashna@pref.okinawa.lg.jp

ハンマにて導枠直上まで打込み、**図 3-2** に示すように油圧ハンマ（ラム重量 10t）に切り替え、ヤットコを使用して所定の深度まで打設する。

本工事の進捗にあたって、ほとんどの下部工で鋼管杭の高止まりが生じているため、試験杭を先行して実施し、杭長の検討を行った。

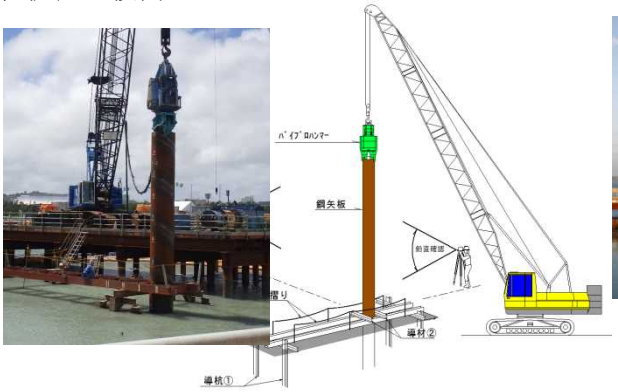


図 3-1　バイブロハンマ施工図

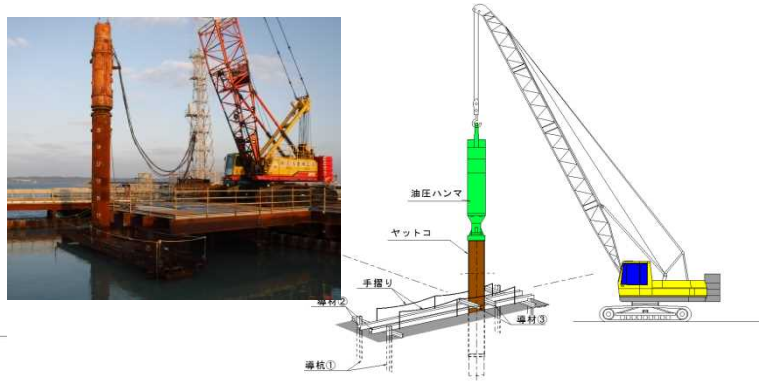
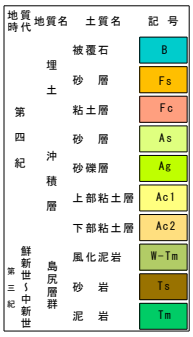


図 3-2　油圧ハンマ施工図

３．当初設計の杭長決定について

島尻層泥岩の設計鉛直支持力は、既往の載荷試験事例等から、道路橋示方書の考え方とは異なることが確認されており、沖縄本島の限られた載荷試験結果に基づき策定された「島尻層泥岩上の橋梁基礎工設計・施工指針（案）平成 10 年 3 月　沖縄総合事務局」（以下「指針」という）を適用している。

本橋梁については、**図 4** のとおり一部に N 値 30 以上を示す風化泥岩層がみられるが、比較的軟質な泥岩層であるとの判断から支持層とはせずに、N 値 50 以上を示している島尻泥岩層を支持層としている。



橋梁基礎の支持層としての島尻泥岩層は、地層上面が起伏に富み、上位置と不整合をなしているとともに、地盤強度も風化の程度や潜在的なクラックにより著しく変化に富んでいるため、設計・施工上の取扱が難しい地盤である。

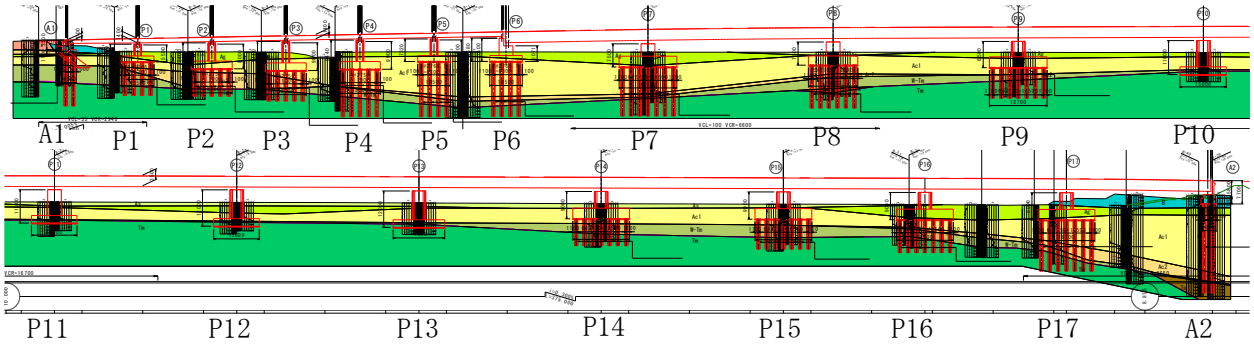


図 4　地質縦断図

設計においては、橋脚 1 基あたり橋軸直角方向 2 箇所と近接橋脚のボーリングデータから、それぞれの傾斜を考慮した最も深い杭位置において、島尻泥岩層に 2D 以上の根入れを考慮して杭長を決定している。

橋脚内での想定傾斜と支持層深さの相違が考えられることから、杭長は同一長さとしている。

４．施工における高止まりの状況

これまでに橋台(A1、A2)及び 8 橋脚(P1、P2、P4、P6、P14、P15、P16、P17)の基礎工を施工しているが、各橋脚で杭の根入れ長にバラツキがあり、高止まり箇所が多い傾向にある。そのことから、各橋脚の推定支持層の起伏が想定され、フーチング配筋の照査や、高止まり杭が床堀の支障となり施工効率の低下が生じている。高止まりが顕著な下部工を**表 1** に示す。

フーチング内全体で、同程度の高止まり傾向を示しているのが P14、P15 橋脚で、高止まりが最小な杭でも

2.35ｍと 1.50ｍである。これは、全体的に支持層の位置が高いと判断でき、土質断面図と比較すると風化泥岩層が厚く先端閉塞効果で打ち止まっていることが推測される。

設計において、風化泥岩層は比較的軟弱な泥岩層と判断して支持層とはしていないが、現場条件によっては先端閉塞効果による打止まりが、高止まりの要因となっている可能性がある。

一方で P4、P16、P17 橋脚は高止まりの差が著しく、P4 で 6.33m、P16 で 3.98m、P17 で 5.49m となっており､橋脚内での支持層の起伏が大きいことが読み取れる｡土質断面図と比較すると風化泥岩層が比較的薄く、指針に記載されている島尻泥岩層の特徴である支持層上面の起伏が大きいと推測される。

いずれの橋脚においても貫入量とリバウンド量が打ち止め基準を満たしており、参考になる動的支持力式においても十分な支持力確認ができている。

表１　高止まりが顕著な下部工

	設計杭長に対する高止まり杭(m)				杭長等	風化泥岩層の厚さ(m)
	平均	最大	最小	最大と最小の差		
A1	0.61	2.72	0.18	2.53	φ1,000mm、L=13.0m(14本、t=12mm) L=9.5m(14本､t=12mm)、28本	6.0
P1	2.54	4.02	0.69	3.33	φ1,100mm、L=11.0m、t=12mm、40本	6.0
P2	0.85	2.57	0.12	2.45	φ1,100mm、L=9.0m、t=12mm、50本	0.5
P4	4.02	6.84	0.51	6.33	φ1,100mm、L=15.5m、t=12mm、50本	3.5
P14	3.94	5.19	2.35	2.85	φ1,100mm、L=9.0m、t=12mm、63本	3.3
P15	3.27	4.47	1.50	2.97	φ1,100mm、L=10.0m、t=12mm、63本	4.0
P16	3.23	4.61	0.64	3.98	φ1,100mm、L=11.0m、t=13mm、63本	2.3
P17	2.79	5.44	-0.05	5.49	φ1,100mm、L=17.0m 上杭L=8.5m、t=12mm 下杭L=8.5m、t=12mm、63本	2.0

５．高止まりによる影響

これまでの工事において、杭の高止まりにより以下の影響が生じている。

５．１　工程への影響

高止まりによる杭の支持力及びフーチング断面応力照査を行った結果、杭が短くなることで反力とモーメントが大きくなり、フーチングの鉄筋量を見直す必要が生じる場合がある｡そのため､杭打設後の照査期間や、鉄筋の見直しが必要になった場合、躯体配筋遅れ等の工程へ影響が生じる。



写真１　床堀状況

５．２　施工効率の低下

切梁腹起しの設置や、床堀の際に高止まり杭が支障となってしまい、鋼管杭を段階的に切断する必要が生じ、施工効率が低下する(**写真 1**)。

５．３　残杭によるコスト

鋼管の切断回数が多くなることで、切断にかかる手間や、残杭をスクラップ処分するコストが発生する。

６．試験杭の検討

今後の工事においても鋼管杭の高止まりによる影響が考えられるため、施工への影響を可能な限り軽減するために試験杭を実施し、より合理的な杭長とすることが可能かを検討した。

６．１　試験杭の実施内容

試験杭の実施にあたっては、設計の土質調査を橋軸直角方向 2 点で実施しているため、フーチングの 4 隅

の本杭を先行することで試験杭とした。施工箇所は未施工箇所の P7～P9 下部工とした。ボーリングと試験杭の位置を図 5-1～5-3 に示す。

６．２　試験杭長について

試験杭長はヤットコを使用せずに、導枠より高い位置でバイブロハンマでの打ち止まり位置を支持層として把握するため、当初設計より 5～6m 長くした。

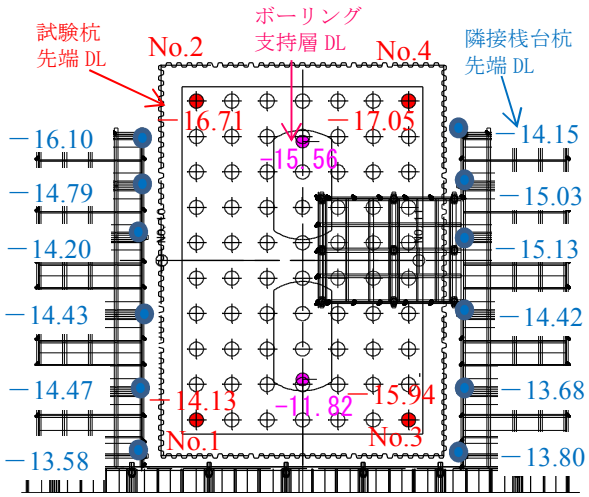


図 5-1　P7 橋脚試験杭

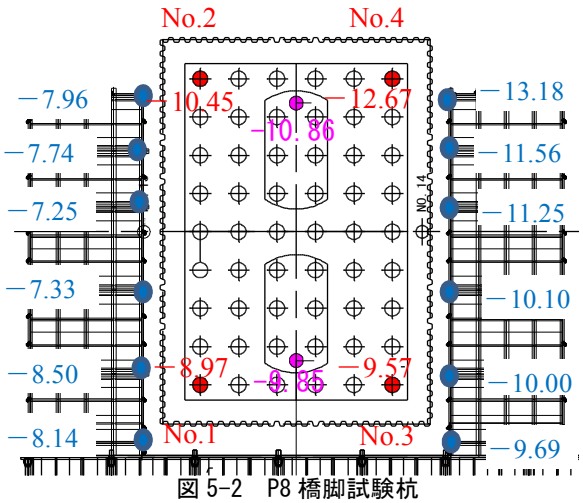


図 5-2　P8 橋脚試験杭

７．試験杭の結果

P7、P8、P9 橋脚鋼管杭(φ1100、4 箇所/基)の試験杭打設を実施した結果を**表 2** に示す。これまでの施工と同様に、橋脚内での根入れ長に 3～6m の差があり高止まりの傾向にある。**写真 2-1** に試験杭の打設状況、**写真 2-2** に完了状況を示す。

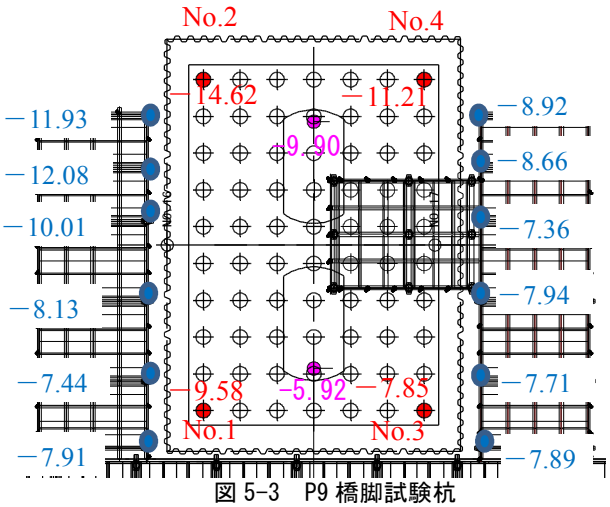


図 5-3　P9 橋脚試験杭

７．１　P7 橋脚試験杭

No.4 試験杭で杭先端 DL－17.05m まで打ち込んでおり、設計より 2.2m 高止まりしている。また、バイブロハンマが打止まり、油圧ハンマへ切り替える位置が杭先端 DL-15.16m となっている。これは土質断面図と比較すると、島尻泥岩層上面付近となっており支持層と判断できる(**図 6-1**)。

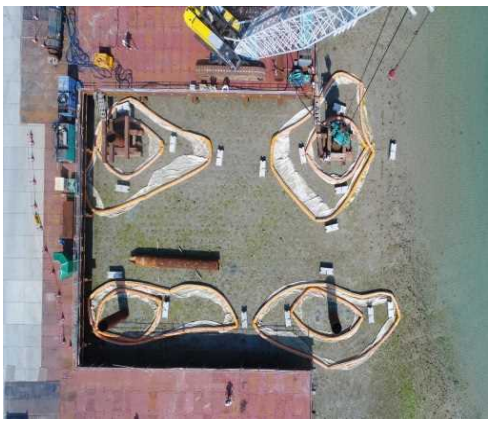

写真 2-1　試験杭打設状況


写真 2-2　試験杭打設完了状況

７．２　P8 橋脚試験杭

No.4 試験杭で杭先端 DL－12.67m まで打ち込んでおり、設計より 4.0m 高止まりしている。また、バイブ

ロハンマが打止まり、油圧ハンマへ切り替える位置が杭先端 DL-10.56m となっている。これは土質断面図と比較すると、P7 橋脚と同様に島尻泥岩層上面付近の位置となっており、支持層と判断できる(**図 6-2**)。

７．３　P9 橋脚試験杭

No.2 試験杭で杭先端が DL-14.62m と他 3 箇所の試験杭に比べると深く打ち込めた。これは、バイブロハンマでの打止めの後、油圧ハンマで 2m 以上の根入れを確保しており、橋脚内での起伏が比較的大きいと判断される(**図 6-3**)。

表 2　杭長検討一覧表

	杭番号	試験杭先端(DL)(m)	試験杭長(m)	設計杭長(m)	貫入量(mm)	リバウンド量(mm)	バイブロ打込み長	油圧ハンマ打込み長	隣接桟台先端(DL)
P7	P7-1	-14.13	10.91	16.00	3.0	11	14.29	1.25	-13.58
	P7-2	-16.71	13.49	16.00	2.6	12	16.33	1.77	-16.10
	P7-3	-15.94	12.72	16.00	3.7	11	16.06	1.23	-15.42
	P7-4	-17.05	**13.83**	16.00	4.0	12	16.55	**1.89**	-14.15
			決定杭長＝	**14.00m**					
P8	P8-1	-8.97	6.33	14.00	2.5	10	7.25	3.13	-8.50
	P8-2	-10.45	7.81	14.00	2.3	10	9.25	2.60	-7.96
	P8-3	-9.57	6.93	14.00	1.8	10	6.80	4.19	-10.00
	P8-4	-12.67	**10.03**	14.00	2.4	10	11.94	**2.11**	-13.18
			決定杭長＝	**10.50m**					
P9	P9-1	-9.58	6.14	10.00	2.6	10	7.11	3.78	-7.91
	P9-2	-14.62	**11.19**	10.00	3.2	10	13.52	**2.51**	-11.93
	P9-3	-7.85	4.41	10.00	3.3	10	6.27	2.92	-7.71
	P9-4	-11.21	7.77	10.00	3.2	12	10.34	2.26	-8.92
			決定杭長＝	**11.50m**					

８．杭長の検討

杭長については、4 隅の試験杭だけではフーチング内での支持層の起伏の程度が把握しきれていないことから、根入れ長の最も深い試験杭長(P7-4、P8-4、P9-2)にて、以下のとおり総合的に判断して、P7 橋脚杭長を 14.0m に、P8 を 10.5m に、P9 を 11.5m に決定した。

８．１　各試験杭の打ち込み長と土質断面図との比較

図 6-1～6-3 に示すように P7、P8 橋脚試験杭においては概ねバイブロハンマが打止まり、油圧ハンマに切り替える位置が、土質断面図の島尻泥岩層のほぼ上面になっている。

P9 橋脚試験杭は土質断面図の島尻泥岩層上面より深い位置までバイブロハンマで打込んでおり、フーチング内での島尻泥岩層の起伏が大きいと推測される。

８．２　油圧ハンマによる打込長を 2D 程度

試験杭のバイブロハンマから油圧ハンマへの切り替えは、バイブロハンマの電流値が上がり、打止めとなった位置としている。そのため、油圧ハンマへ切り替え位置を支持層と推定した場合、油圧ハンマ打込長が支持層根入れ長と同等であると見なす。

また、設計時の静的支持力公式における杭先端の極限支持力度を指針の式 qd=6d・Su で、支持層への根入れ比を 2 として計算していることも考慮する。

試験杭の結果から、油圧ハンマでの打込長は P7 橋脚 No.4 試験杭で 1.89m、P8 橋脚 No.4 試験杭で 2.11m、P9 橋脚 No.2 試験杭で 2.51m となっているため、それぞれ約 2D 程度支持層に打ち込んでいると判断できる。

８．３　隣接桟台鋼管杭(φ500)の先端深さとの比較

隣接桟台鋼管杭から推定される支持層との比較により、決定杭長の妥当性を確認する。

バイブロハンマ工法による隣接桟台鋼管杭打止め深さは、電流値が上がっているかを確認して打止めており、実績により支持層(N 値 50 以上)であると推測される。よって、各試験杭の杭先端深さが、隣接桟台鋼管杭先端深さより、2.0m 程度深い位置であれば、本杭の支持層への貫入量が 2.0m 程度であると推測され、必要な支持力の確保が期待できる。

隣接桟台鋼管杭先端深さからそれぞれ P7 橋脚 No.4 試験杭は 2.9m、P9 橋脚 No.2 試験杭は 2.7m 打ち込んでいるため、決定杭長については妥当と判断できる。

P8 橋脚 No.4 試験杭については、隣接桟台鋼管杭先端 DL-13.18m に対して、試験杭先端 DL-12.67m となっており、隣接桟台鋼管杭の方が深く打ち込めた。これは No.2 試験杭が 2m 程度高止まりしていることからも、No.4 試験杭方向への支持層の傾斜が大きいことが考えられる。

試験杭の打止め貫入量とリバウンド量から、打止め基準は満たしており、先端閉塞効果により打ち止まっているため、支持力は得られていると考えられる。

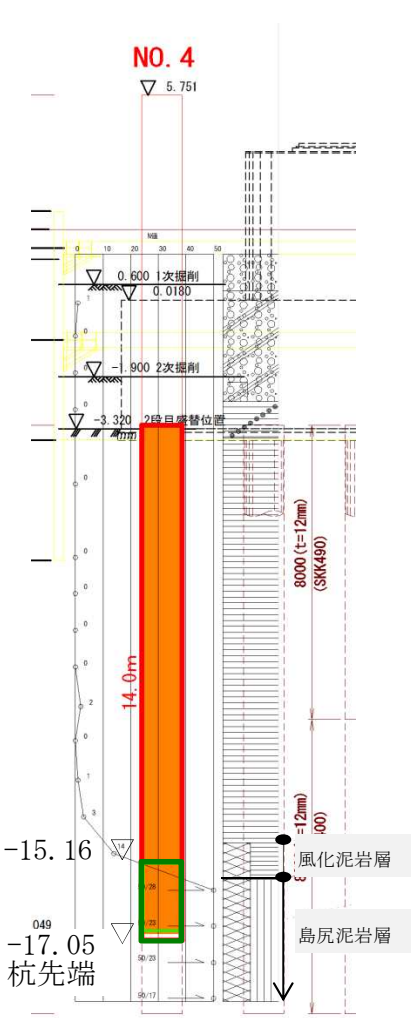


図 6-1　P7 試験杭断面図

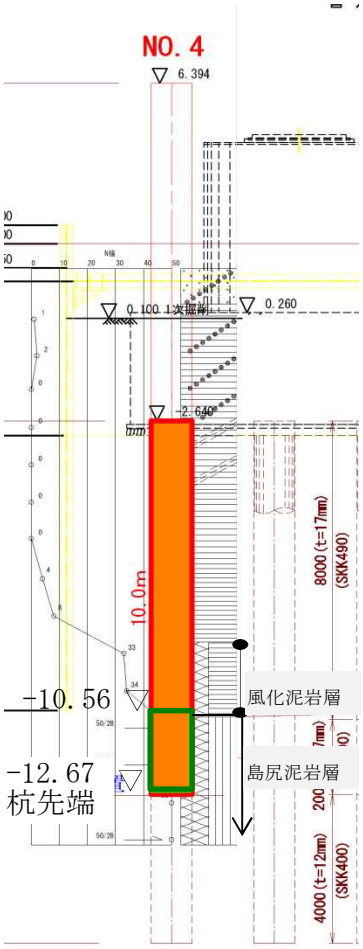


図 6-2　P8 試験杭断面図

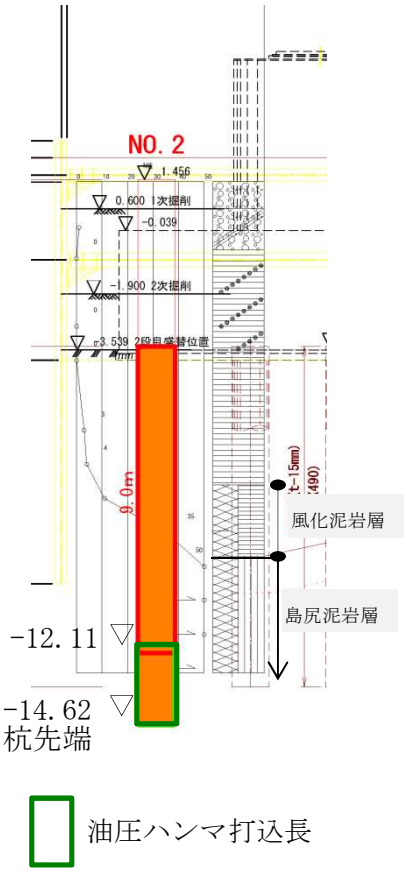


図 6-3　P9 試験杭断面図

９．まとめ

本現場では設計段階で橋軸直角方向 2 点のボーリングデータで杭長を決定している。そのため、施工において大きな根入れ長の差が生じ、杭の高止まりによる施工効率の低下や、鉄筋照査期間の確保が必要になるなど、工程に影響が出ている。

今回実施した試験杭の施工により、土質断面図との比較や、これまで施工を行った下部工の鋼管杭根入れ長等のデータを分析した。その結果、橋脚内での支持層の起伏が大きいことや、先端閉塞効果により、風化泥岩層で打ち止まっていることが想定される橋脚もあることが解った。

今回はそれらの影響を可能な限り軽減するために、試験杭を実施して合理的な杭長への見直しを検討した。

これまでは高止まりにより、段階的な鋼管杭の切断が生じていたが、杭長を P7 橋脚では－2.0m 見直し、P8 橋脚では－3.5m の見直しと共に継手が不要になったことにより、コスト縮減効果も期待できる。

今後予定されている橋脚の基礎工施工において、高止まり杭が少なくなり、施工への影響が軽減されることを期待する。

ＰＩ手法を活用した道路事業の合意形成

沖縄県土木建築部北部土木事務所　　○主　　任　　照屋　将司
班　　長　阿波根　庸夫
主任技師　　福地　保宗

１　はじめに

平成 21 年度に事業着手した国道 449 号本部北道路では、長年の課題であった 4 車線拡幅に伴う中央分離帯に係る整備案について、平成 29 年度に PI（パブリックインボルブメント）手法の 1 つであるワークショップを開催し、中央分離帯を含めた道路の整備手法に関して地元の合意形成を図ることができた。

本稿では、国道 449 号本部北道路において PI 手法の活用により得られた知見を紹介し、公共事業における PI 手法の積極的な活用について提案する。

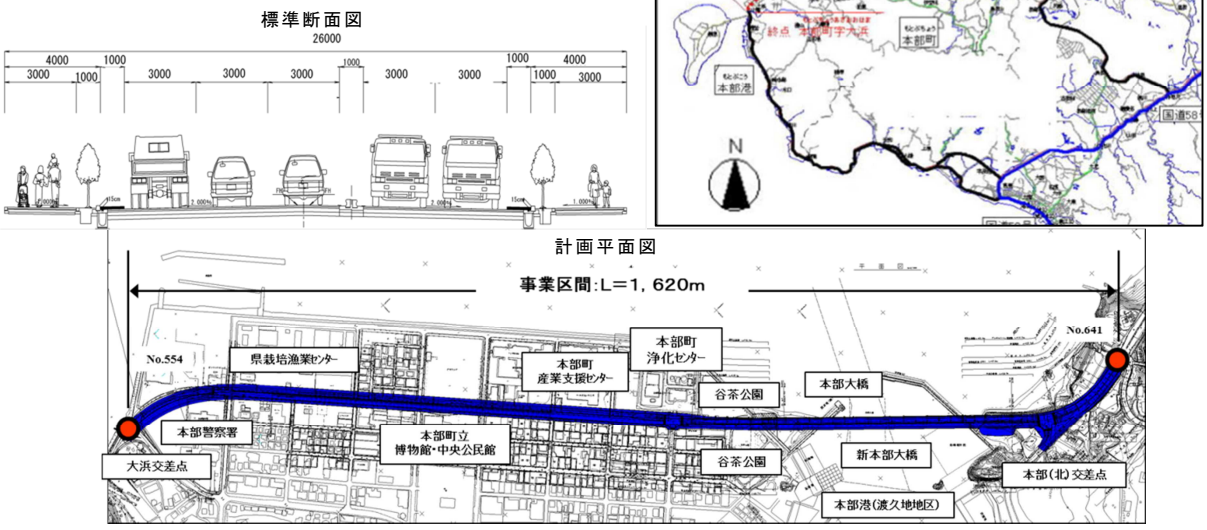
２　事業概要

国道 449 号は、国道 505 号及び県道 114 号線との交点である本部町浦崎から国道 58 号との交点である名護市宮里に至る全長約 23.1km の主要幹線道路である。

このうち、国道 449 号本部北道路の事業区間である本部町渡久地（本部（北）交差点）から本部町大浜（大浜交差点）間延長約 1,600m のみ 2 車線でボトルネックとなっていることから、この区間を 4 車線拡幅整備することにより国道 449 号を全線 4 車線化し、海洋博公園など本部地域の観光拠点へのアクセス性の向上を図り、地域振興を支援することを目的としている。

平成 29 年度末時点の事業進捗率は、事業費ベースで 71%となっている。

事業着手年度	：	平成21年度
事業箇所	：	本部町字大浜～字渡久地
延　長	：	L=1,620m
規　格	：	4種1級（本部北道路40km/h） W=26m
全体事業費	：	91億円



図－１　事業概要

キーワード　ワークショップ、ステークホルダー、ファシリテーター、住民参画レベル
連絡先　〒905-0015　名護市大南 1 丁目 13 番 11 号　北部土木事務所道路整備班
E-mail：teruyma@pref.okinawa.lg.jp

３　これまでの経緯

国道 449 号本部北道路では、地元の通り会、本部町議会、本部町等の地元総意で中央分離帯設置に対して反対要望があったことから、平成 24 年度からは本部町主催で「国道 449 号整備に関するまちづくり検討会」が開催されたが、依然として中央分離帯設置に反対要望が強く、分離機能の無い幅広ゼブラゾーンでの整備方針が検討会案として提案された。

しかしながら、交通管理者である公安委員会の意見として「4 車線道路は中央分離帯の設置が必要」とのスタンスに変わりはなく、地元要望と隔たりが生じる状況となっていた。

そこで、平成 28 年度に現況各交差点の方向別交通量及び沿道施設への出入交通量調査を行い、交差点予定箇所及び中央分離帯開口予定箇所の再検証を行った。その後、検証結果の報告を兼ねて平成 29 年 8 月にまちづくり検討会を開催したが、なおも地元との隔たりが大きかったことから「ワークショップ形式」のまちづくり検討会を開催することとなった。

ワークショップ形式を採用した理由を以下に述べる。

平成 21 年度に道路実施設計時における本部町、通り会及び関係区への説明会及び調整を行った。平成 24 年から平成 29 年 8 月には、上記に加え、本部警察署、商工会、観光協会を加えた地元の利害関係者からなる「検討会」を発足させ、整備案を検討してきた。しかしながら、参加者の一部から中央分離帯設置に対する反対意見が非常に強く、行政側からの情報提供のみでは、道路整備に係る情報共有を深化させることに繋がらないと考えたことから、地域レベルにおける特定課題の検討に有効な手段とされるワークショップ形式を採用することで、下記図－１に示す住民参画レベルを強くし、関与（Involve）、協働（Collaborate）の段階まで引き上げ、課題解決に向けての整備案を検討していくこととした。

弱い＜＜＜	＜＜＜ 参画のレベル ＜＜＜			＜＜＜強い
Inform 情報提供	Consult 協　議	Involve 関　与	Collaborate 協　働	Empower 権限付与
解決法や課題の理解を助ける情報を市民に供与すること	市民からの反応を得て、それを分析や解決法および意志決定に活かすこと	プロセスを通じて直接市民に働きかけ、課題への一貫した理解と配慮を担保すること	計画立案から意志決定までの過程に、市民がパートナーとして関わること	市民の手で意志決定まですること

図－１　住民参画レベル [1)]

４　ＰＩ手法について

４．１　ＰＩの概要

PI は欧米先進諸国において発展してきた公共事業における住民参画の概念であり、米国では平成 3 年の総合陸上輸送効率化法（ISTEA）により、PI が始めて義務化されている。

我が国においては、平成 9 年の道路審議会建議にて PI 手法の採用が提言され、今日に至るまで公共事業における住民参画の主要な手法となっている。表－１では主な PI 手法を示す。

表－１　主な PI 手法 [1)2)]

情報提供・広報	情報交換	意見聴取	その他手法
広報資料（ニューズレター、パンフレット、ポスター、広報誌等）	説明会	アンケート調査	イベント（現地見学会、フェア等）
	公聴会	グループインタビュー調査	
	オープンハウス	フォーカスグループ調査	
キーパーソンへのインタビュー	ワークショップ	FAX	
関係者分析調査	タスクフォース	ホットライン	
ホームページ	ブリーフィング	コメントカード	
メディア（テレビ、ラジオ、新聞）	シンポジウム	手紙、はがき	
インフォメーションセンター	座談会	Eメール	

４．２　国及び沖縄県における取り組み

我が国の社会資本の整備が集中的に進められた高度経済成長期（1955 年～73 年）においては、構想から実施計画まですべて行政側が立案し、議会が承認するという手法が取られ、公共事業に対して住民等がその計画に参画する機会が皆無の状態であった。

例えば、成田国際空港の建設については、国による一方的な建設位置決定により、建設に反対する住民等による大規模な反対運動が起こり、現在も、当初計画の整備が完成に至っていない状況となっている。本案件は諸外国の公共事業の進め方にも大きな影響を与え、公共事業における住民参画のきっかけにもなっている。

また、本県においては、新石垣空港の建設に際して、建設位置を巡り地元住民や自然保護団体からの激しい反対運動に遭い、建設位置選定に 20 年以上翻弄され続けたが、地元関係者を中心に自然保護団体、学識経験者等を委員とする新石垣空港建設位置選定委員会を設け、最終的には全会一致で現在の新空港があるカラ岳陸上案で決定された。

さらに、建設位置選定後に策定された新石垣空港整備基本計画では、全国の空港整備事業に先駆けて本格的に PI を実施し、意見書等の集約を行い基本計画に反映させている。こうした様々な紆余曲折を経ながら、新石垣空港（南ぬ島空港）は平成 25 年 3 月に開港を迎えている。

成田国際空港や新石垣空港の事例からも示されるように、公共事業の推進にあたっては、行政、地元住民及び各種団体間の信頼関係を構築し、相互の合意形成を図ることが最も重要で必要不可欠になっている。今日、合意形成を図る手法として、様々な公共事業において PI が実施されている。表－２では国における PI の取組経緯及び状況を示す。

表－２　国における PI の取組経緯及び状況

	PIの取組経緯及び状況（国土交通省関係）	年・月	備　考
①	道路審議会建議	H9.6	PIを提言
②	河川法の一部改正	H10.1	住民意見聴取を義務化
③	コミュニケーション型国土行政	H11.1	
④	公共事業の説明責任（アカウンタビリティ）向上行動指針	H11.2	
⑤	一般空港の整備計画に関するパブリック・インボルムメントガイドライン（案）	H15.4	
⑥	国土交通省所管の公共事業の構想段階における住民参加手続きガイドライン	H15.6	⑨の策定に伴いH20.4廃止
⑦	港湾の公共事業の構想段階における住民参加手続きガイドライン	H15.8	
⑧	構想段階における市民参加型道路計画プロセスのガイドライン	H17.9	
⑨	公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドライン	H20.4	

４．３　ワークショップとは

ワークショップとは、説明者側からの一方通行な説明会とは異なり、会の全参加者が自発的に意見やアイディアを出して頂くことが大前提にある。

一方通行な説明会の場合、参加者の一部の意見、例えば、声が大きい人の意見等に左右される傾向がある。その場合、他の参加者においては意見が出しづらい雰囲気となり、説明会に参加する意義を失いかねない。

国道 449 号本部北道路においては、地元通り会の反対意見が非常に強く、行政側からの情報提供のみでは、道路整備に係る情報共有を深化させることに繋がらない状態が長年続いた。

ワークショップでは、会の規模にもよるが、主に事業の利害関係者からなる会参加者（以下、「ステークホルダー」と呼ぶ。）を複数のグループに分け、自発的に意見やアイディアが出しやすいよう「場」の雰囲気づくりやワークショップの進行役となるファシリテーターの働きが重要となる。

ファシリテーターは、説明者側、ステークホルダー側のどちらの立場にも属せず、中立的な立場で議論を整理することが求められる。また、説明者側、ステークホルダー側の双方がウィン・ウィンの結論を見出せるよう手助けすることも求められ、その役割を果たすためには様々なスキルが必要とされる。

国道 449 号本部北道路のワークショップにおいては、中立的な立場であるファシリテーターを外部から招聘し、ワークショップの進行役を務めて頂いた。

ファシリテーターの役割としては、会議のサポーターとして、中立の立場を保って、議事進行に努めること、他人を批判したり、自分の意見を言わないこと、グループ全員を 1 つの問題に集中させること、ウィン・ウィンを指向させるよう手助けするよう努めることであり、要約すると以下の 3 つにまとめられる。

１）会議の企画管理運営

会議の目的を示し、討議を円滑に進めるためのルールを定める。

２）論点整理

参加者のニーズや懸念を聴き、要約する。何が問題かを明確にする。問題解決のために必要なアイディアを引き出す。

３）記録および伝達

会議で議論された内容を記録する。何が議論されたのか、成果をとりまとめ、それを確認し、議論を振り返り整理する。

このようなワークショップの進め方は、一方通行な説明会より膨大な作業時間を要するが、ステークホルダーの大小様々な意見を洗い出し、事業計画に反映させることで、その後の事業が円滑に進むことが期待できる。

４．４　住民とのコミュニケーション

成田国際空港や新石垣空港の建設計画段階での地元住民等との対立の要因は行政側と反対派側の些細なすれ違いの連続により、生じたものと考える。また、行政側の一方的な押しつけでは無く、ワークショップのような住民説明会等を通じて、双方の情報共有化やコミュニケーションが密に取れていれば、大規模な反対運動までは起こらなかったものと考える。

コミュニケーションの深化を図るためには、話し手の背後にある感情、考え、意味を把握して相手を理解する事が大切である。相手を理解するためには、「聴く姿勢」が最も重要である。「聴く姿勢」としての基本的なテクニックは、１）～６）により話しやすい「場」の雰囲気をつくることが重要である。

１）からだで聴く

視線、表情、姿勢、しぐさや声の大きさ・トーン・抑揚に気を配り、協力的で話しやすい雰囲気をつくる。

２）あいづちと繰り返し

タイミングが大切で、バリエーションを豊富にちゃんと話を聴いているサインを送る。

３）要約する

話の内容を整理して返す。感情を受け止めて返す。理解を伝え、それを相手に確認する。

４）一人称で考え対話する

「あなた」はという人を責める言い方から、「私」の欲求をストレートに伝える表現に換え、思考をポジティブに転換する。

５）質問を効果的に活用する

聴き手が何を、どう理解したのかを話し手に確認する。より深い利害・関心を探る。質問することで話し手に考えさせる。聴き手の心構えの時間をつくる。

６）感情に対して論理で話さない

相手が感情で話している時にはまず受け止める。

また、説明者においては、誰にでも分かる言葉で伝えるため専門用語を使用しない等の工夫や分かりやすい資料作りが求められ、文字フォントの大きさや種類、線幅等の細部まで資料の見やすさを意識することなどが求められる。

これらを意識し、住民とのコミュニケーションを積極的に行うことで、些細なすれ違いや誤解を未然に防ぎ、相互の信頼関係を構築していくことで合意形成がスムーズに図られるものと考える。

５　ワークショップの状況

５．１　ワークショップの開催状況

国道 449 号本部北道路のワークショップでは、ステークホルダーを複数のグループ（1 グループにつき 6～8 名程度）に分け、進行役のファシリテーターの説明後、それぞれのグループ毎に道路の利用や道路構造等について意見を出す形式で進めた。各個人の意見はポストイットに書き出し、計画図の該当位置に貼り付けていく方法を採用した。

ワークショップ形式のまちづくり検討会は 2 回開催され、1 回目のワークショップではステークホルダーから本道路事業に対する意見を幅広く募り、グループ毎にまとめた意見を発表して頂いた。2 回目のワークショップでは、1 回目で聴取した意見や要望事項について改善案を示し（ポイントは少数の意見、要望事項についても改善案を示すこと）、改善案に対する意見交換を行った結果、中央分離帯設置に対して地元の理解を得ることができた。

主な住民意見と要望事項に対する改善案を表－３で示し、ワークショップ開催状況の様子を写真－１で示す。

表－３　主な住民意見と要望事項に対する改善案

主な住民意見		要望事項に対する改善案	
①	路肩を広げてほしい	①	路肩を0.5mから1.0mに拡幅し、歩車ブロックを15cmに変更
②	植栽の種類は町民の意見を聞かせてほしい	②	植栽樹種については地元と協議し、決定する
③	各交差点の信号機及び歩行者のための手押し信号機の設置	③	信号機設置については、交通管理者が決定する
④	設計40km/h程度が望ましい	④	設計速度を60km/hから40km/hに低減
⑤	かりゆし市場前にバス停を新設できないか	⑤	かりゆし市場前バス停はバス協会と協議し、設置する
⑥	前回案より交差点箇所が増えた点がよい		
⑦	ポストコーン設置案より景観がよい		
⑧	中央分離帯設置は安全性に優れている		
⑨	分離帯をフラットにすることで、イベントの開催が可能		
⑩	収納式分離帯を裏返す際に、設置費と時間が必要		



(a)グループ討論の様子



(b) グループ討論後の発表の様子

写真－１　ワークショップ開催状況の様子

５．２　今後の対応

今回のワークショップの結果をフィードバックし、国道 449 号本部北道路が地元住民や道路利用者に愛着を持ってもらえるよう、以下について検討していく。

１）地域活性化への支援

道路本線でのイベント開催に対応するため、収納式の中央分離帯の設置。

２）道路景観の維持・向上

助成制度を活用した地元ボランティア団体による道路植栽等の維持管理の協働作業。

３）観光支援

道路の沿線には、地元観光協会が選定したサンセットビューポイントが点在しているため、歩道等のスペースを活用し、ビューポイントや町内施設等が記載された案内板等の設置。

６　まとめ

国道 449 号本部北道路では、長年の課題であった中央分離帯設置に対する課題解決を図るべく、事業の途中段階において、これまでのまちづくり検討会のあり方を見直し、PI 手法のひとつであるワークショップを開催し、地元住民からの多様な意見を募り、道路構造や利用について住民意見を反映させる事で中央分離帯設置に対する合意形成を図ることができた。

このことからも、事業の規模や段階に関わらず、PI 手法を取り入れて住民参画を促す事は、事業を円滑に進めていくうえで大変有効な手段であることが分かった。

今後とも地元住民とのコミュニケーションを密に図り、本道路事業に対する理解と協力を得ながら、事業効果の早期発現に向けて取り組んでいきたい。

参考文献

１）「市民参画の道づくりーパブリック・インボルブメント（PI）ハンドブックー」
平成 16 年 3 月　市民参画型道路計画プロセス研究会

２）「行政と住民等との合意形成手法（パブリックインボルブメント)」
郵政研究所月報（2001.8）　全第三経営経済研究部研究官　渡邉　満

牧港大橋における新技術の活用状況について
～　長寿命化を図るための取組み　～

新垣　敏一[1]・山城　慶[2]

[1]沖縄総合事務局　南部国道事務所　工務課長（〒900-0001沖縄県那覇市港町2丁目8番14号）

[2]沖縄総合事務局　南部国道事務所　工務課　設計第一係員（　同上　）

牧港大橋は海上部に位置する延長680mの橋梁であり，当該橋梁は牧港漁港を渡河する区間において，航路の制約条件から190mを1スパンで跨ぐ必要があった．そのためPC箱桁の最大支間まで張り出し，径間中央部50mを鋼床版箱桁とする鋼コンクリート複合構造を沖縄県内で初めて採用している．

島嶼環境である沖縄県は，常に塩害を始めとする非常に厳しい外的要因に構造物が晒される．牧港大橋は，これらの外的要因へ配慮し，施工時における材料選定，接合部構造の部分的な実証実験による耐久性確認等を実施した．また供用開始後より，連続モニタリングシステム導入による観測データの蓄積・把握をし，異常検知に対し早期対応可能な仕組みの検討を行っている．本件は厳しい腐食環境への対策として，将来に亘り橋梁の健全性を確保するために，牧港大橋へ活用された新技術の内容を紹介するものである．

Key Words : *鋼コンクリート複合橋，新技術，防食・止水対策，連続モニタリング*

1.　はじめに

浦添北道路は，産業や人口が集積する沖縄本島中南部西海岸地域の交通渋滞の緩和，物流の効率化，観光などの産業振興を目的として，平成30年3月に沖縄西海岸道路の一部として全長2．0ｋｍの区間を開通した．沖縄総合事務局 南部国道事務所が管理する牧港大橋は，浦添北道路を構成する延長680ｍのプレストレストコンクリ ート桁（以下，「PC桁」という）と鋼桁を結合した構造の混合桁橋である．

鋼コンクリート複合構造は，鋼材とコンクリートとを組み合わせ，両者の長所を活かし欠点を補った合理的な構造形式であるとされ，我が国でもいくつか採用されてきた．一方で，平成19年には，国道23号木曽川において鋼トラス斜材が破断しているのが発見されている．これは，鋼材とコンクリートの接触面では，コンクリートの乾燥収縮等による隙間が生じ，雨水等が浸入し腐食しやすい環境になったことが原因と考えられている[1)]．非常に厳しい腐食環境である沖縄県においては，防食機能の維持が最も重要であり，接触面に雨水等の浸入を許した場合，加速度的に腐食が進行する恐れがある．

牧港大橋の当初の設計では，鋼コンクリート接合部である鋼桁材料にチタンクラッド鋼を採用することで，厳しい塩害環境に対応することとしていた．しかし，設計から7年が経過した後に上部工事が発注されたことから，鋼とコンクリートとの接合部への耐久性向上を目的に採用されたチタンクラッド鋼が製作されておらず，それに代わる対応策の検討が必要となった．

そこで，接合部の施工・維持管理に特化した「牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会」を設置し，接合部の健全性をいかに確保するかを最重要検討項目とし，接合部の健全性を確保するために鋼桁部の防食対策，接合部の止水対策に焦点を当て，材料選定や維持管理手法などに対して，新技術の導入も含めて検討を行なった．また，過去に実施例がない項目は実証実験を行うことで知見を補い，採用可否の検討を行った．

2.　橋梁概要

本橋の概要，各種図（**図-1**，**図-2**）を以下に示す．

(1) 路線名：一般国道58号　浦添北道路
(2) 道路規格：第1種 第3級
（V=60km/h暫定時，V=80km/h完成時）
(3) 上部工形式：4径間連続混合箱桁橋
(4) 橋長：680．0ｍ
(5) 総幅員：13．300ｍ～19．005ｍ
(6) 支間長：73．25ｍ+190．0ｍ（内鋼橋50ｍ）+130．0ｍ+81．10ｍ

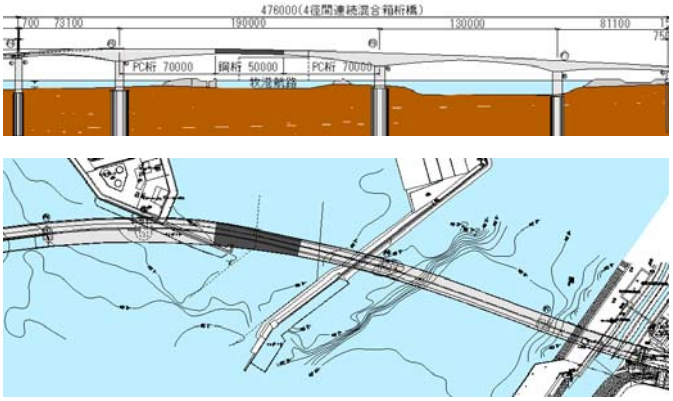


図-1　側面図・平面図

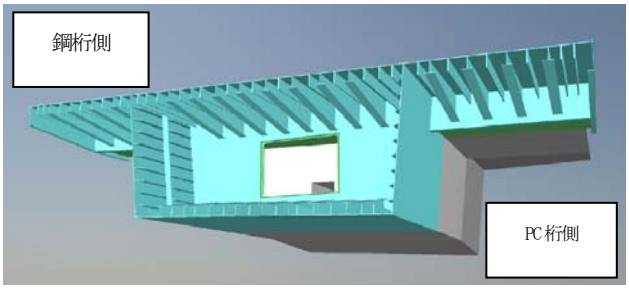


図-2　接合部詳細イメージ

3.　委員会概要

平成28年3月に「牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会」を立上げ，琉球大学矢吹名誉教授を始めとする各委員によって維持管理の確実性・容易性に配慮した具体的な対策を検討し，(1)施工時に接合部の耐久性を確保するために必要な品質確保の検討，(2)供用時の接合部の状態を把握するためのモニタリング手法の検討について，これまでに計6回委員会を開催した．

4.　委員会での新技術に関する検証項目

(1) 接合部の防食性能検討

鋼桁材料は，委員会にて海上部で優れた防食性を持つとの意見があったスズ添加鋼「NETIS：KK-150056-A」を採用．県内で実勢が無かったことから，鋼・コンクリート接合部への採用にあたり，接合部へ特化した実証実験を行うことで知見を補い，採用可否の検討を行った．

今後，暴露試験を併用することで，本橋接合部での健全性判断の基礎資料を収集する．

a) スズ添加鋼の一般部の防食性能

スズ添加鋼は塗装の塗替周期延長を可能にする新たな耐食鋼であり，ライフサイクルコスト縮減を実現する鋼材である．既往の腐食促進試験[2)]では，同一塗装・架設環境下で普通鋼に比べ塗装周期を約2倍に延長することができる結果が得られている（**図-3**）．イニシャルコストは上がるが，通常約15年の沖縄の塗替え周期を約30年に延長できればランニングコストを大幅に下げることができることとなる．

なお，架橋位置におけるスズ添加鋼の防食性能の確認は，**表-1**に示す試験片による暴露試験を実施予定である．

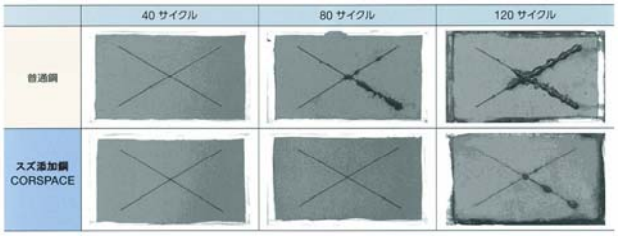


図-3　腐食促進試験後の塗装欠陥部の外観（CORSPACE ｶﾀﾛｸﾞより）

表-1　暴露試験内容

	スクラッチ有： スズ添加鋼の有効性の検証	スクラッチ無： 塗膜の劣化状況確認
1) 調査方法	塗装部に巨視的な欠陥が入った場合を想定し、試験片にスクラッチ（傷）を入れて、腐食の進行を観察	塗装の光沢度の変化、白亜化の状況、膜厚の変化について調査
2) 設置場所	牧港暴露試験場（琉球大学）、新牧港橋	
3) 設置方法	軒あり/軒なしなどの架台を使用 100×60×4ｍｍｔの試験片（普通鋼およびスズ添加鋼）	
4) 暴露試験片	鋼種；普通鋼（SM材） スズ添加鋼 普通鋼、スズ添加鋼各7枚 計14枚×2（軒有/無） ＝合計28枚	鋼種；スズ添加鋼 スズ添加鋼　3枚 計 3枚×2（軒有/無） ＝合計6枚 ・実橋と同様の塗装
5) 暴露期間	暴露時期：1年、3年、5年、10年、30年、50年、XXX年	暴露時期:6年､11年､21年･･･ 5年毎の定期点検時に調査
6) 評価方法	塗装前初期板厚測定(3点) 塗装前初期重量測定 塗装疵入れ後初期外観撮影 初期膜厚測定（5点） 暴露試験後外観撮影 除さび後外観撮影 腐食深さ測定 剥離面積測定	塗装後初期外観撮影 初期膜厚測定(5点) 暴露試験後外観撮影 目視で変状の有無観察記録 光沢度の変化計測(5点) 塗膜厚の変化計測(5点) 白亜化の程度計測

b-1)スズ添加鋼の鋼・ｺﾝｸﾘｰﾄ接触部の防食性能その1

鋼・コンクリート接触面のマクロセル腐食環境下でのスズ添加鋼と普通鋼の腐食の違いについて促進試験（**図-4**）により確認した．結果を（**図-5**）に示す．鋼・コンクリート接触部のマクロセル腐食環境下では，普通鋼とスズ添加鋼の差異はほとんど見られなかったことから，接合部の耐久性に問題がないことを確認した．

・試験条件

鋼材：普通鋼，スズ添加鋼　　100×60×3mm
表面仕上げ：塗装（キズ有）
試験期間：41サイクル
（1ｻｲｸﾙ：湿潤6時間⇒塩水浸漬15分⇒乾燥17時間）

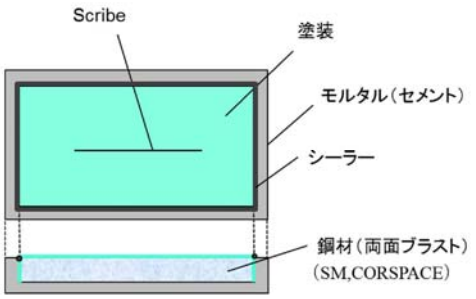


図-4　供試体

・試験結果

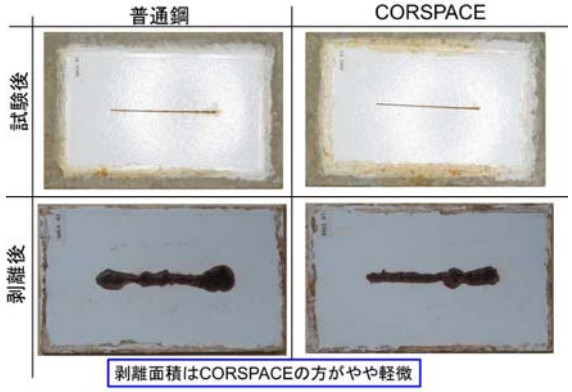


図-5　試験後外観

b-2)スズ添加鋼の鋼・ｺﾝｸﾘｰﾄ接触部の防食性能その2

鋼・コンクリート接触面の健全性の確認は，接合部を模擬した下記暴露試験体（図-6）により，暴露試験を実施して確認する予定である．暴露試験体は，架橋位置とほぼ同じ環境であるA2橋台の検査路上に設置して，目視確認ができない接合部内面の腐食状況を推定するために実施する．

・暴露試験体：普通鋼18体　スズ添加鋼18体

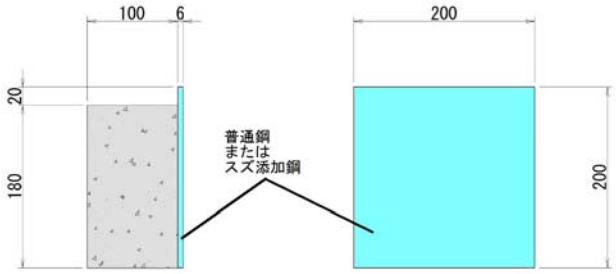


図-6　暴露試験体

・設置個所：A2橋台 検査路
・暴露期間：5，10，20，30，50，100年
・確認方法：試験体の鋼・コンクリート接触面をはがして目視確認

(2)接合部のPC鋼材張力の連続モニタリング

鋼桁とPC桁は接合鋼材としてPC鋼材が配置され緊張力を導入することで一体化を図っている．接合鋼材は桁内には19S15．2，床版には1S28．6が配置されている．

接合鋼材は異種部材の鋼桁とPC桁をつなぐ重要な部材であり，供用期間中の 張力が設計通り保たれていることを確認することが重要であるため，張力をモニタリングできるようにEMセンサー「NETIS：CG-140020-A」を設置している(写真-1).



写真-1　EM センサー設置状況

接合部のPC鋼材の張力変化をEMセンサーによる自動計測により検知する（図-7）．供用開始から連続モニタリングを開始し，1時間に1回自動観測を行っている．

なお，張力が閾値を超えた場合，登録された携帯電話に自動で警報を送信するシステムを構築予定である．

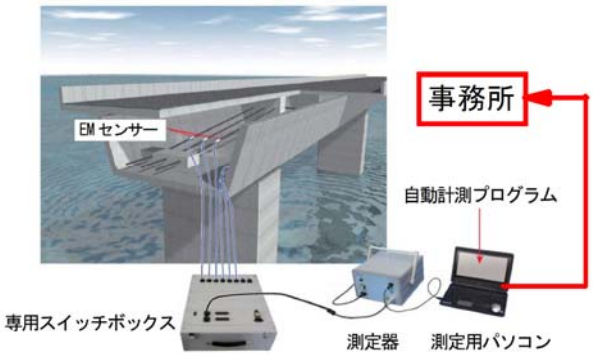


図-7　PC 鋼材張力モニタリングシステム

(3)接合部の止水対策

a)劣化メカニズムと止水対策

鋼・コンクリート接合部は，コンクリートの乾燥収縮やひび割れに起因する，接合部内部の間隙に水が浸入する可能性がある．一度接合部内への水の浸入を許すと，鋼材の腐食は非常に早い速度で進行するため，接合部における止水対策が重要となる．

そこで，最も水が浸入しやすい橋面の止水対策として，伸縮に強いアスファルトウレタン樹脂系防水材「NETIS：KT-140098-A」を用いた防水層を検討した．

b)止水効果の検証方法

アスファルトウレタン樹脂系防水材は，橋面防水工としてのNEXCO等での実績は多くあるが，沖縄県では初の採用となる．また，接合部には図-8に示すとおりコンクリートの圧壊防止用にVカットを設けており通常の橋面防水工とは形状が異なるため，接合部を模擬したひび割れ開閉負荷試験を実施した．

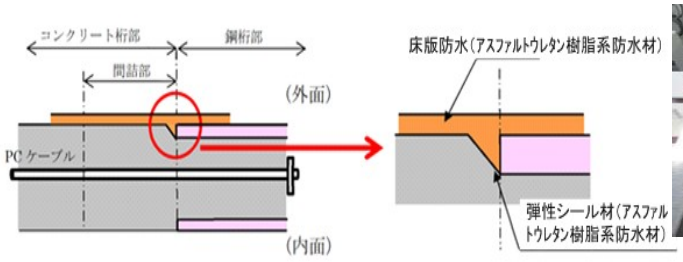


図-8　接合部の橋面防水工

ひび割れ開閉負荷試験は，「道路橋床版防水便覧2007.3」（以下「便覧」という）に準じた試験を図-9に示す供試体で実施した．ひび割れ開閉負荷試験フローを図-10に示す．

なお，温度変化は高温地域での実橋の温度計測結果[4]を考慮して-10～70℃（最高最低温度差 80℃）とした．また，ひび割れ開閉回数は，参考文献5)より東名・名神の大型車交通量（1日1方向（2車線）あたり15，000台／日）におけるひび割れ開閉から算定された，30年に相当する480万回の負荷を与えることとした．試験状況を写真-2(a)に示す．

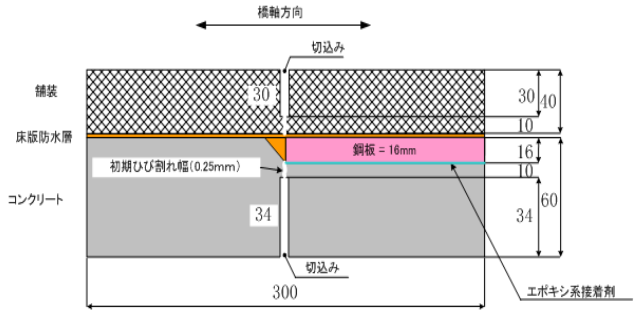


図-9　模擬供試体の概要

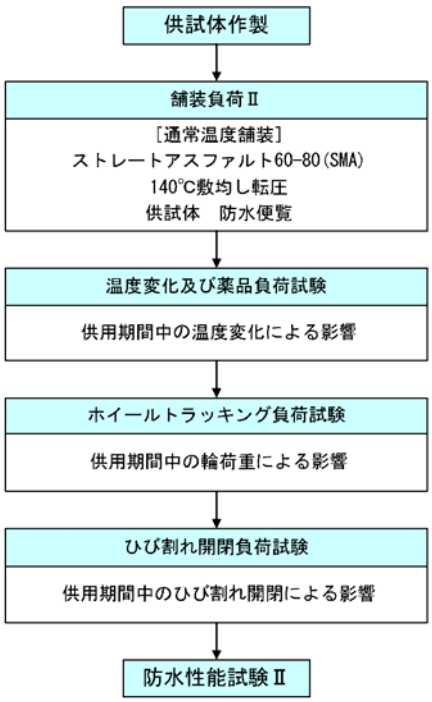
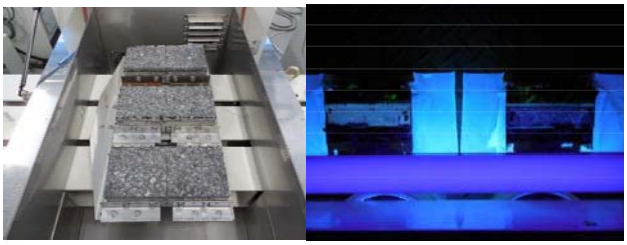


図-10　ひび割れ開閉負荷試験フロー



(a) ひび割れ開閉負荷試験　　(b) 防水性試験後

写真-2　ひび割れ開閉負荷試験状況

c)試験結果

一連の試験の結果，写真-2(b)に示す防水性試験Ⅱでは，全3供試体のうち1体については水漏れがほとんどなく，検討した防水工の止水効果を確認できた．他2体については供試体とその周囲を含めたエポキシ系接着剤の境界面から漏水が生じる結果となったが，本試験の目的は防水層の損傷による漏水の有無であり，供試体部の連続した防水層には損傷が生じていないことから，アスファルトウレタン樹脂系防水材を用いた防水工における防水性能の有効性を確認できたものと考えられる．

5.　まとめ

県内で初となる鋼コンクリート複合構造での橋梁として架設された牧港大橋において，厳しい環境下でも健全性が保たれる様，新技術であるスズ添加鋼による耐腐食性能，アスファルトウレタン樹脂系防水材による止水性能を検証し，採用した．

今後は新技術の課題である実年数経過に伴う変化について，連続モニタリングによるデータを採取し，経過観察を実施していく．また蓄積されたデータは，将来に渡り橋梁の健全性が維持されるための定期検査の診断材料として役立つ事が期待されている．

今回の様々な技術導入の取組みが，既存及び今後構築される構造物に対し，有用な事例となる事を期待する．

参考文献
1)中島章典：気になる鋼コンクリート接触面の腐食：川田技報Vol35 2016
2)閑上直浩 他：塗膜下腐食を抑制するSn添加耐食鋼の3年暴露試験の調査：土木学会第66回年次講演会 平成23年度
3)宮国幸人 他：牧港高架橋（鋼コンクリート複合橋）の施工：橋梁と基礎（投稿中）
4)下田晃伸 他：沖縄における鋼床版箱桁の温度計測結果と設計・施工への配慮，牧港高架橋施工における温度計測と留意点：YBHDグループ技報No47 2018年1月
5）東日本高速道路（株）・中日本高速道路（株）・西日本高速道路（株）：構造物施工管理要領，2015. 7.
6)牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会資料