

第 11 回 土木学会西部支部沖縄会

技術研究発表会

オンライン開催

2022 年 1 月 12 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

→Zoomを利用したオンライン開催に変更になりました。



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

発表プログラム

2022年1月12日

Time Table

Start	End	プログラム	
8:30	8:40	開会式 開会の挨拶：岩田 美幸（沖縄会会長・沖縄総合事務局） 実施要項の説明：安里 司（沖縄総合事務局） Zoom ミーティングID：857 0764 5557 パスコード：civil0112	
8:40	8:50	Break	
8:50	10:20	Session 1 (腐食防食・建設材料) 7編 座長：糸野真一郎(沖縄総合事務局) ミーティングID：837 6866 8829 パスコード：civil0112	Session 2 (観光・交通) 6編 座長：田井政行 (琉球大学) ミーティングID：857 0764 5557 パスコード：civil0112
10:20	10:30	Break	
10:30	12:00	Session 3 (整備・建設) 7編 座長：神谷大介 (琉球大学) ミーティングID：857 0764 5557 パスコード：civil0112	Session 4 (物流・環境・防災) 7編 座長：須田裕哉 (琉球大学) ミーティングID：837 6866 8829 パスコード：civil0112
12:00	12:45	Lunch	
12:45	14:15	Session 5 (診断・補修) 8編 座長：垣花寿 (川田建設) ミーティングID：837 6866 8829 パスコード：civil0112	Session 6 (点検・計測) 8編 座長：玉城守克(沖縄県) ミーティングID：857 0764 5557 パスコード：civil0112
14:15	14:25	Break	
14:25	15:45	特別講演 社会インフラ構造物の点検・診断技術の課題と展望 ―高精度・高効率な次世代点検技術の活用― ファシリテーター：琉球大学 下里 哲弘 ミーティングID：857 0764 5557 パスコード：civil0112	
15:45	16:00	Break	
16:00	16:15	閉会式 優秀発表者賞の表彰：須田 裕哉（沖縄会幹事・琉球大学） 閉会の挨拶：島袋 善明（沖縄会副会長・沖縄県） ミーティングID：857 0764 5557 パスコード：civil0112	

特別講演会

社会インフラ構造物の点検・診断・技術の課題と展望 －高精度・高効率な次世代点検技術の活用－

目的：

重要な社会インフラ構造物である橋梁の劣化や損傷に対する点検・診断技術として、目視を超える高精度・高効率な最先端の点検技術について情報共有を図る。

ファシリテーター 琉球大学 下里哲弘

【プログラム】

講演（各20分）

- ① 東京工業大学 阿久津絢子
鋼構造物を対象とした渦電流計測による残存板厚および高力ボルト軸力の評価
- ② 首都高技術 日和裕介
UTを用いたアンカーボルト地際部の点検効率化
- ③ 川田建設 垣花寿
磁気を活用したPC橋内部鋼線の破断検出技術

質疑（20分）

Presentation Schedule

Titles and Authors

○発表時間：7分、質疑応答：3分

○概要集：2頁～6頁（原則、偶数頁）

Time	Room A	
8:50 J 10:20	Session1：腐食防食・建設材料 座長：桑野 真一郎 (沖縄総合事務局)	
	1	沖縄県における腐食環境と地理的特性を踏まえた腐食速度分布 1 琉球大学 具志堅 興乃，下里 哲弘， 淵脇 秀晃，西日本高速道路総合サービス沖縄 神里 耕造
	2	鋼I桁橋外面に着目した腐食生成物の評価に関する研究 3 琉球大学大学院 望月 大地，下里 哲弘，田井 政行
	3	鋼橋における錆除去困難部位の腐食特性と防食技術に関する研究 5 琉球大学大学院 新田 健太，下里 哲弘，首都高技術(株) 日和 裕介
	4	ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接部の異種金属反応による錆特性に関する研究 7 琉球大学 佐藤 志帆，下里 哲弘，田井 政行，建設技術研究所 荒牧 聡
	5	古紙を混和したジオポリマーモルタルに関する基礎的検討 9 琉球大学 平城 有梨，大城 藤乃，富山 潤，須田 裕哉，西松建設(株) 原田 耕司， 明和製紙原料(株) 駒津 慎
	6	膨張材添加による混和材を使用したセメントペーストの炭酸化抑制効果 11 琉球大学 近藤 連，須田 裕哉，富山 潤
	7	炭酸化によって生じるコンクリートのひずみと気体拡散性状の評価 13 琉球大学 井上 彰仁，須田 裕哉，富山 潤
	Room B	
	Session2：観光・交通 座長：田井政行 (琉球大学)	
	1	人流データを用いたバス網再編に関する基礎的検討 15 琉球大学 眞栄里 和希，神谷 大介，町田 宗瞭，上地 安諄
	2	沖縄本島におけるシェアサイクルの利用実態に関する基礎的分析 17 琉球大学 比嘉 壮太，神谷 大介，上地 安諄，町田 宗瞭
	3	レンタカープローブと携帯電話GPSデータによる訪問地特性に関する一考察 19 琉球大学大学院 町田 宗瞭，神谷 大介，東北大学大学院 井料 隆雅
	4	Wi-Fiパケットセンサーを用いた外国人観光客の観光行動に関する基礎分析 21 沖縄県八重山地域を対象として 琉球大学大学院 上地 安諄，神谷 大介，山中 亮，東京大学大学院 福田 大輔， 株式会社地域未来研究所 菅 芳樹
5	国道３２９号 与那覇交差点の整備効果について 23 沖縄総合事務局 原戸 鉄平	
6	人中心の道路空間の構築に向けた道路占用制度を活用した取組について 25 沖縄総合事務局 糸洲 速人，伊藝 誠一郎	

Time	Room A	
10:30 ┃ 12:00	Session3：整備・建設 座長：神谷 大介 (琉球大学)	
	1	沖縄県における「i-construction」の取組状況について _____ 31 沖縄県 村吉 政人
	2	小禄道路におけるBIM/CIM活用検討について _____ 35 沖縄総合事務局 安里 公伸
	3	劣化したC-BOX頂版部のプレキャスト床版による更新計画について _____ 39 西日本高速道路総合サービス沖縄(株) 宮城 清秀, 山口 一字
	4	沖縄におけるフライアッシュセメントを用いたコンクリートのポストテンションPC橋への適用に向けた施工性の確認 _____ 41 PC建設業協会 柴田 和典, 妹川 寿秀, 赤嶺 文繁, 琉球大学 富山 潤, 須田 裕哉, 琉球セメント(株) 比屋根 方新
	5	海洋博覧会地区 沖縄文化・センターゾーンリニューアルに向けた整備方針の検討 _____ 47 沖縄総合事務局 永山 瑞樹
	6	名護東道路の早期供用に向けた取り組みと今後の課題 _____ 51 沖縄総合事務局 水流 宗孝, 川間 重一
	7	平良港国際クルーズ拠点整備事業の取組みについて _____ 55 沖縄総合事務局 仲間 光一, 島袋 和男
	Room B	
	Session4：物流・環境・防災 座長：須田 裕哉 (琉球大学)	
	1	ヤンバルクイナと共存する道路を目指して _____ 59 沖縄総合事務局 新垣 みなみ, 高良 茂宏
	2	無信号交差点の通行に関する法規範と市民意識 _____ 63 北海学園大学 堂柿 栄輔, 東海大学 梶田佳孝
	3	CyberPort（サイバーポート）による港湾物流手続きの効率化について _____ 67 沖縄総合事務局 本山 凌, 伊是名 興治
	4	沖縄県内における土地区画整理事業の事例と今後の展望について —SDG s 目標 1 1（住み続けられるまちづくりを）の達成に向けて— _____ 71 沖縄県 玉盛 寛己
	5	老人介護福祉施設における水害対応に関する基礎的考察 _____ 79 琉球大学 富田 健斗, 神谷 大介, 山口大学 赤松 良久
	6	少子高齢社会への推移が避難支援に与える影響に関する基礎的検討 _____ 81 琉球大学 後藤 昌大, 神谷 大介
	7	観光客の津波避難支援に関する基礎的シミュレーション分析 _____ 83 琉球大学大学院 小谷 卓駆, 神谷 大介

Time	Room A
12:45 └ 14:15	Session5：診断・補修 座長：垣花 寿 (川田建設) 1 機械学習を用いたコンクリート構造物の塩害劣化予測に関する基礎研究 _____ 85 琉球大学 吉見 映輝, 富山 潤, 須田 裕哉 2 機械学習を用いたバガス繊維モルタルの曲げ強度推定に関する基礎的研究 _____ 87 琉球大学 大城 藤乃, 平城 有梨, 富山 潤, 須田 裕哉 3 実橋環境下の製作、架設、死荷重下過程における高力ボルトのリラクセーション _____ 89 琉球大学 上村 恭兵, 田井 政行, 下里 哲弘, 金秀鉄工 長嶺 由智 4 腐食凹凸面に対する当て板補修のすべり耐力評価に関する研究 _____ 91 琉球大学 知念 翔也, 田井 政行, 下里 哲弘 5 連結板の両面が減肉した高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力特性に関する実験的研究 — 93 琉球大学 小笠原 健太, 下里 哲弘, 田井 政行, 宮地エンジニアリング 山下 修平 6 複合サイクルにおける道路照明柱の疲労破壊特性に関する実験的研究 _____ 95 琉球大学 中田 康介, 下里 哲弘, 田井 政行, 首都高技術(株) 日和 裕介 7 鋼橋の端対傾構に用いる高耐食性部材の耐荷力特性 _____ 97 琉球大学大学院 松井 尚輝, 下里 哲弘, 田井 政行, 日鉄ケミカル&マテリアル 秀熊 佑哉, フクビ化学工業 成沢 良輔 8 Cost-Effective Repair Mechanism of Corroded Steel Plate Girder End with CFRP _____ 99 琉球大学 Yasin Mumtaz, Tetsuhiro Shimozato
	Room B
	Session6：点検・計測 座長：玉城 守克 (沖縄県) 1 水中ドローンによるコンクリート表面の劣化調査実用性検討について _____ 101 沖縄総合事務局 津嘉山 力哉, 中山 弘 2 鋼コンクリート混合桁橋のモニタリングへの取組み _____ 105 沖縄総合事務局 塩澤 健志, 福地 友博 3 漏洩磁束法によるPC鋼材の破断検知に関する実験的研究 _____ 107 琉球大学 田邊 優子, 垣花 寿, 下里 哲弘 4 橋梁の端部と中央部における桁下面デッキに作用する風圧特性の実測研究 _____ 109 琉球大学 磯部 喬幸, 下里 哲弘, 田井 政行, 宮地エンジニアリング 山下 修平, 日鉄エンジニアリング 藤川 敬人, 横河ブリッジホールディングス 川東 龍則 5 電流探傷試験における塗膜下に進展する疲労き裂の検出に関する研究 _____ 113 琉球大学 石川 望, 下里 哲弘, 田井 政行, (株)IHI 大橋 タケル, 瀬戸口 雄介 6 中小橋梁を対象とした単一加速度センサによるたわみ算出と影響線推定 _____ 115 東京工業大学 竹谷 晃一, 芦澤 那南, 佐々木 栄一, 山梨大学大学院(当時) 太田 小春, 山梨大学大学院 吉田 純司 7 近赤外線分光法を用いたコンクリート表面の塩化物イオン濃度計測に関する基礎研究 — 121 琉球大学 宮里 昂志, 富山 潤, 須田 裕哉 8 デジタル打音測定技術を用いたASR劣化したコンクリート構造物の診断方法に関する基礎研究 _____123 琉球大学 前田 晴樹, 富山 潤, 須田 裕哉, 原子燃料工業(株) 磯部 仁博, 松永 嵩

Session 1 腐食防食・建設材料

沖縄県における腐食環境と地理的特性を踏まえた腐食速度分布

○琉球大学 具志堅興乃, 琉球大学 下里哲弘, 淵脇秀晃
西日本高速道路総合サービス沖縄 神里耕造

1. はじめに

一般的に鋼材腐食と飛来塩分とは相関性があることが知られている。また、腐食促進の要因である飛来海塩粒子量は離岸距離が短くなると多くなり、腐食速度も離岸距離の短い海岸部において、その速度が高くなる。しかし、図1の既往研究による沖縄県における腐食速度マップでは離岸距離が長くても腐食速度が大きい地点も存在する。これは飛来塩分量や腐食速度は単に離岸距離に比例するのではなく、飛来海塩粒子量に影響する標高や遮蔽する植生分布、そして塩分輸送源の海の位置と風向との関係などが複合的に影響している。

そこで、本研究では沖縄本島内で異なる地理的形狀を有する4つの観測点の環境データと腐食速度を調査分析し、防食手法へ活用可能な腐食マップの基本データを構築することを目的とする。

2. 腐食環境調査

2.1 調査対象

本研究の調査地点は離岸距離を主要指標として、沖縄自動車道の料金所である西原・北中城・金武・許田の4地点とした。調査機器は、料金所の安全通路を使用して各種環境計測を実施した。ここで、各地点の地理的特徴として、離岸距離が長く実構造物の腐食度が大きい「西原」、「西原」に対して離岸距離が短く実構造物の腐食度が小さい「許田」、太平洋と東シナ海からの離岸距離が同等の「北中城」、南側に海が存在している「金武」とした。

2.2 調査方法

本研究の腐食環境調査方法は、図3に示すJISドライガーゼ法による飛来塩分量採取、温湿度計測、ワッペン鋼板によるさび厚や腐食速度の特定試験を行った。調査は2021年5月に開始した。

3. 腐食環境調査結果

3.1 温湿度データ分析結果

図4に気温、湿度、鋼材の腐食と関係のある濡れ時間割合を示す。平均4地点間の各データには大きな変化は見られない結果となった。また、本研究の7か月間計測したデータでも平均気温が26°C、平均湿度83%を超える値が得られていることから沖縄県は高温多湿な環境にあることが分かる。

3.2 飛来塩分量の滴定結果

図5に飛来塩分量と離岸距離の相関図を示す。縦軸は飛来塩分量、横軸は離岸距離である。図より、横軸の離岸距離は、前述したように長い方から西原・北中城・金武・許田となっている。鋼材腐食の



図1. 既往研究による腐食速度マップ

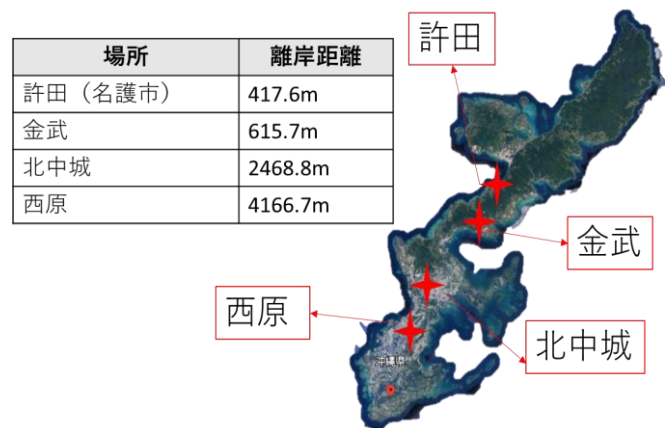


図2. 調査箇所

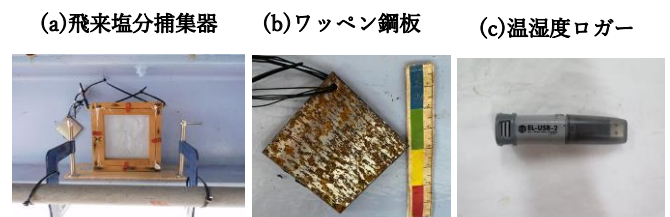


図3. 調査内容

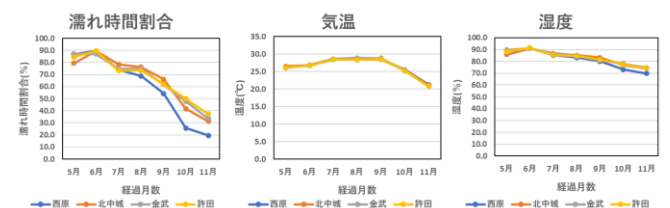


図4. 温湿度調査

キーワード 塩害 離岸距離 飛来塩分

連絡先 〒903-0213 西原町千原1 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース E-mail: e185531@eve.u-ryukyu.ac.jp

要因である海塩粒子の飛来が離岸距離と比例するのであれば飛来塩分量は多い方から許田・金武・北中城・西原の順になることが予想される。しかし、実測値では多い方から北中城・金武・西原・許田となっており、相関図も右肩上がりになっていることから植生などの周辺環境が影響すると考えた。

3.3 さび厚の経時変化

図6にワッペン鋼板によるさび厚と離岸距離の相関図を示す。飛来塩分量と同様に相関図は右肩上がりを示していることから、植生などの周辺環境と共に風向や実構造物の向きによっても腐食環境が異なると考えた。

4. 地理的特徴を考慮した腐食マップの検討

4.1 背景と方針

各地点の飛来塩分量とさび厚が離岸距離の短さと比例しないことから、風向や観測地点の標高や飛来海塩粒子は砕波により発生する飛来メカニズムに影響する沿岸部の水深や珊瑚リーフの分布などの周辺環境に関係すると考えられる。その中でも海塩粒子の輸送源となる風向風速に着目して、以下の調査を継続実施した。

沖縄本島に吹く風は気象庁の観測データより、おおよそ5-9月は南西の風、10-4月は北東の風が吹いていることが分かった。このことから、春から夏の期間は南西側の標高の低い北中城と金武の飛来塩分量とさび厚が増え、秋から冬の期間は北東側の標高の低い許田と西原の値が増加する傾向がある。

4.2 腐食マップの活用と考察

本研究と既往研究を用いて、地理的特徴を踏まえた腐食度の大きさが推測できる。地理的特徴として図7の標高、水深、サンゴ礁分布から作成を行う。

図8で腐食マップを示し、利用方法を道路示方書による塩害の影響地域を参考に検討する。道路示方書では、塩害影響度合い・対策区分が沖縄県では離岸距離によって3段階に区分されている。それを参考に本研究では4段階に区分した。

利用方法として、新設構造物設計上の目標期間の設定や使用材料の目安などに応用することができる。また、維持管理の面では塗装塗替えの頻度の地域別での設定検討や防風林などの計画など幅広い活用法が想定される。

5. まとめ

1. 沖縄本島ではサンゴ礁が多く分布する西海岸側の腐食度が大きいことが分かった。
 2. 季節による風向の変化によって腐食環境下での離岸距離との相関性は低いことが分かった。
- なお、本研究の腐食マップに関して、データの蓄積が必要であり、今後も調査や検討を重ねていく。

参考文献

[1] 下里哲弘ら：約30年曝された無塗装仕様耐候性鋼橋のさび評価と腐食減耗特性、鋼構造工学論文集。

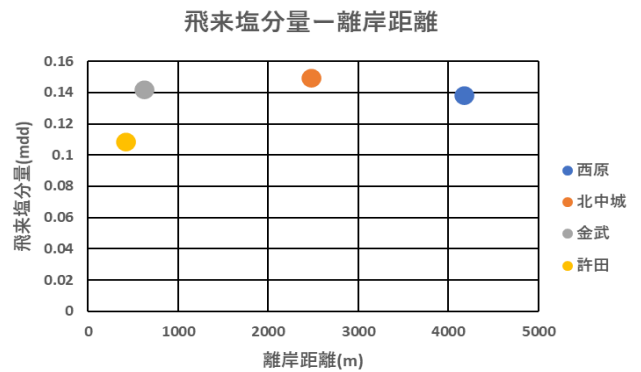


図5. 飛来塩分量結果

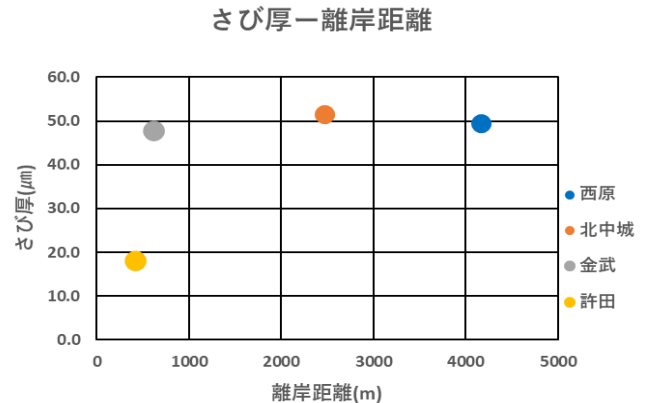


図6. さび厚結果

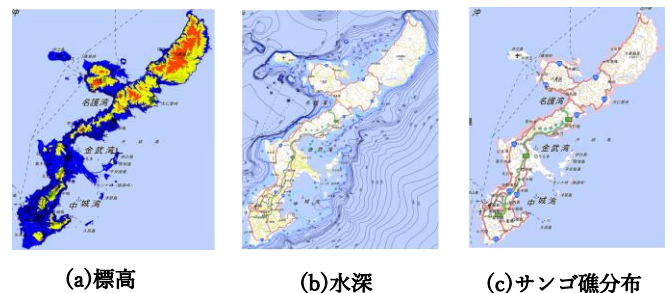


図7. 作成条件

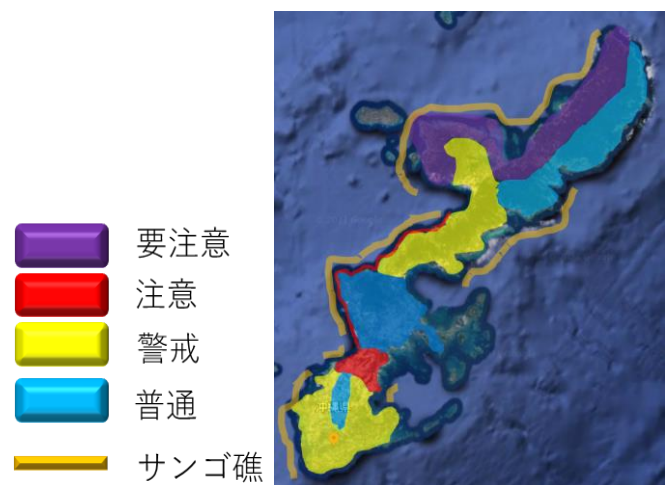


図8. 腐食マップ

[2] 日本道路協会 道路橋示方書：コンクリート橋・コンクリート部材編

鋼 I 桁橋外面に着目した腐食生成物の評価に関する研究

○琉球大学 望月大地, 下里哲弘, 田井政行

1.はじめに

鋼 I 桁橋の腐食事例として、外面より内面、一般部より桁端部の方が腐食の進行が速いことが報告されている¹⁾。これらの要因として、各部位が曝されている環境の違いが挙げられるが、複数の環境要因が日変動や季節変に伴いマルチに作用することから、未だ解明には至っていない。腐食生成物には種類があり、それぞれ腐食経路が異なる。主に活性さびである β -FeOOH, γ -FeOOH, Fe_3O_4 、不活性さびである X 線的非晶質さび、熟成さびである α -FeOOH の 5 種類に分けることができる。それぞれのさびの特徴²⁾と色調³⁾を図 1 に示す。

本研究では、鋼 I 桁橋の外面ウェブ部位にて生成された腐食生成物の評価を行うことにより外面ウェブ部位の腐食特性を明らかにする。

2. 方法

2.1 対象橋梁：実物試験橋

本研究の対象橋梁である実物試験橋を写真 1 に示す。沖縄県本島内琉球大学校内(離岸距離 2500m, 平均温度 23.4℃, 平均湿度 74%, 平均飛来塩分量 0.938mdd)にある。実物試験橋の写真 1(b)に示すように外面ウェブの塗装無し炭素鋼材(縦 120 cm, 横 125 cm)にて 1 年 2 か月(2020 年 9 月～2021 年 11 月)大気暴露されて生成された腐食生成物を対象にさび厚計測、粒径測定、さび組成分析、粗さ計測を行った。

2.2 測定方法

腐食生成物の測定として初めに炭素鋼材を 1 辺 5 cm メッシュに分割しそれぞれのメッシュにてさび厚測定を電磁膜厚計(計測値 50 μm 未満: $\pm 1\mu\text{m}$, 50 μm 以上 1000 μm 未満: $\pm 2\%$)にて各 5 回ずつ行い、平均値を算出し、さび厚分布表を作成した。さび厚分布表より、代表的な箇所を選出し、選出した箇所にて生成された腐食生成物の外観評価、粒径測定(セロファンテープでさびを採取し、1mm²内のさびの個数を数え、さびの最大径の平均値を計測した)、さび組成分析(粉末 X 線回析装置, X 線出力: 40 kV, 40mA, スキャン範囲: 5°~90°), 粗さ測定(粗さ計, 分解能: 0.0007 μm , X 方向レンジ: +160 μm ~ - 210 μm)を実施した。

3. 測定結果

3.1 さび厚測定結果

実物試験橋外面ウェブにて生成された腐食生成物のさび厚分布表を図 2 に示す。図 2 より上フランジ下面・補剛材・下フランジ上面付近のさび厚平均を図 3

ゲーサイト・ Fe^{3+} イオン溶出低 α -FeOOH ・化学的に安定 ・防食保護能力 灰色(R218,G151,B47)	レビドクロサイト・ Fe^{3+} イオン溶出 γ -FeOOH ・後に α に変化 ・疑似不働態化 赤茶色(R184,G66,B28)
アカガネイト β -FeOOH ・ Fe^{3+} イオン溶出大 ・塩化物イオン 琥珀色(R177,G93,B33)	・水の影響で生成さ マグネタイトれた赤錆が還元さ Fe_3O_4 れて生成 ・ β , γ 下で腐食加速 R14,G23,B30

図 1 腐食生成物の特徴と色調

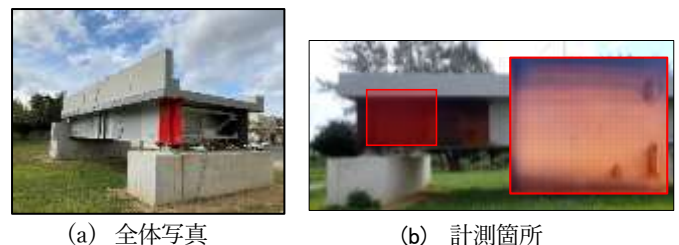


写真 1 実物試験橋

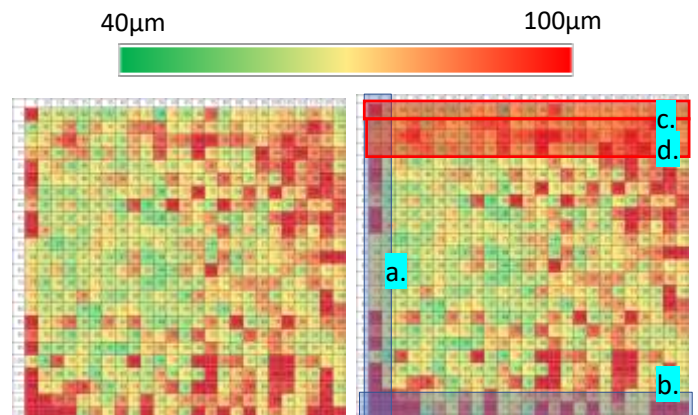


図 2 さび厚分布表

図 3 際におけるさび厚分布

No.	縦(cm)×横(cm)	さび厚平均
a.	120cm×5cm	101 μm
b.	5cm×125cm	102 μm
c.	5cm×125cm	67.6 μm
d.	10cm×125cm	81.1 μm

表 1 図 3 における範囲のさび厚平均値

キーワード 鋼 I 桁橋 腐食生成物 実物試験橋 さび厚 炭素鋼材

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース E-mail: k218525@eve.u-ryukyu.ac.jp

及び表 1 に示す。図 3, 表 1 より, 下フランジ上面および補剛材 5cm 付近にてさび厚が高い傾向にあり, 平均値は 100 μ m を超えていた。図 3, 表 1 より, 上フランジ下面 5 cm 付近さび厚は上フランジ下面から 10cm~20cm 付近のさび厚と比較して低い傾向にある。

図 2 よりウェブ上, 中間, 下における代表的な箇所を図 4 に示す。図 4 の①をウェブ上, ②をウェブ中間, ③をウェブ下とする。

3.2 腐食生成物における計測結果

鋼 I 桁橋におけるウェブ上, 中間, 下に選定した箇所での腐食生成物の至近写真を写真 2 に示す。写真 2 よりウェブ上・中間では β -FeOOH と Fe_3O_4 と類似した色調をしており, ウェブ下では α -FeOOH と Fe_3O_4 に類似した色調が確認された。

選定した 3 か所における腐食生成物の粒径分布を図 5 に示す。図 5 からウェブ中間, 上, 下の順番でさびの個数が少なく, さびの最大径の平均値も大きい。さび厚が高い箇所ほどさびの個数が少なく, 最大径の平均値が大きい。

さび組成分析の結果を図 6 に示す。ウェブ上, 中間, 下すべてで β -FeOOH, Fe_3O_4 が確認された。写真 2 と図 6 より, ウェブ上, 中間では両方で β -FeOOH, Fe_3O_4 が確認されたがウェブ下では撮影した至近写真では α -FeOOH のような色調を確認されたにも関わらず, さび組成分析では α -FeOOH のような波長は確認されなかった。

4. まとめ

1. 1 年間程度暴露した炭素鋼外面ウェブにおける補剛材・下フランジ上面付近ではさび厚の平均が 100 μ m を超えている。
2. 1 年間程度暴露した炭素鋼外面ウェブにおける上フランジ上面付近のさび厚平均は, 上フランジ上面から 10 cm~20 cm 離れた箇所と比較して低い。
3. 撮影したさび色からさびの種類を特定することは困難である。
4. 炭素鋼材の腐食生成物においてさび厚が大きくなるほどさびの個数が少なく最大径の平均値が大きい, 明度の低い外観である傾向がある。
5. ウェブ上・中間では写真とさび組成分析から β -FeOOH と Fe_3O_4 が含まれている。2 種類ともに活性さびであるため今後腐食の進行が予想される。

今後, XRD の計測を実施し, さび組成の分析を実施する。耐候性鋼材でも同様の検討を行い, データの蓄積および分析を行う。

参考文献

[1] 下里哲弘, 村越潤, 玉城喜章, 高橋実: 腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落過程, 橋梁と基礎, Vol.43, pp.55-60, 2009.

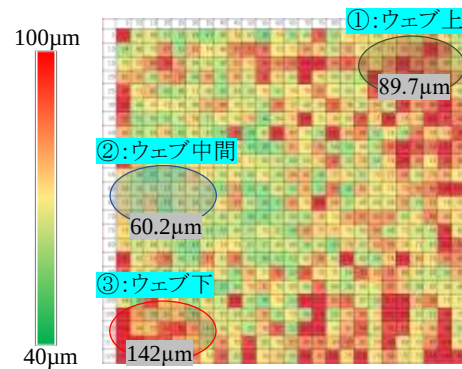
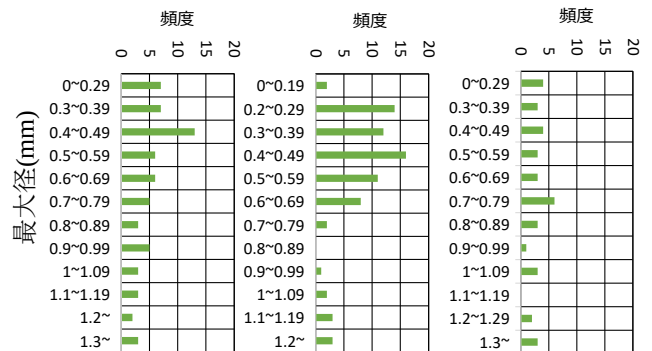


図 4 選定したウェブ上, 中間, 下の三か所



写真 2 腐食生成物の至近写真



	①:ウェブ上	②:ウェブ中間	③:ウェブ下
さび個数	62個	74個	35個
最大径の平均値	65mm	51mm	78mm

図 5 さびの個数および最大径の平均値

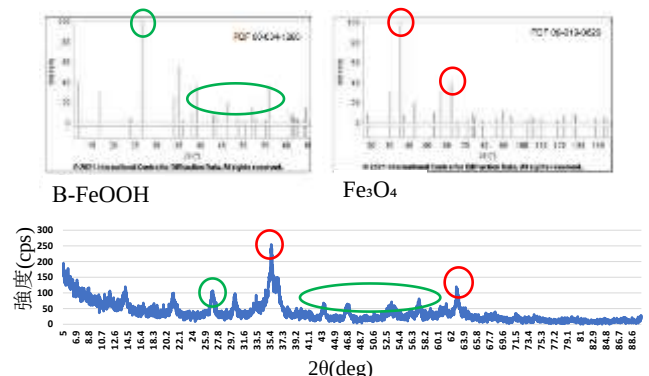


図 6 さび組成分析結果

[2] 紀平寛, 塩谷和彦, 幸英昭, 中山武典, 竹村誠洋, 渡辺祐一: 耐候性鋼さび安定化評価技術の体系化, 土木学会論文集 No.746, I-65, 77-87, 2003. 10

[3] U. Schwertmann, R. M. Cornell: The Iron Oxides in the Laboratory, Second, Completely Revised and Extended Edition, 2000

鋼橋における錆除去困難部位の腐食特性と防食技術に関する研究

琉球大学 ○新田健太, 下里哲弘, 首都高技術(株) 日和裕介

1. はじめに

重要な社会基盤施設の1つである鋼橋の維持管理上の課題として防食がある。写真 1-1 は、鋼橋の腐食は桁端部やボルト継手部において激しく発生しやすく、防食補修後の腐食早期再発生が起こりやすいことが課題となっている。また、ボルトや添接板周辺は角部が多く、錆除去や塗膜厚の確保がしづらく点検も困難である。

既往の研究¹⁾では、1種、2種によるケレンを実施し、ウェブ側の下フランジや添接板側面部に固着錆を有する残存錆が確認されている。

そこで本研究では、錆除去困難部位の高耐久な防食に向け、固着した残存錆を有する鋼板での防食技術の検討を行う。

2. 試験方法

(1)使用試験体

本研究では、発生している固着錆の状態が、錆除去困難部位の錆状況と同等であるため、写真 2-1 に示すような大気暴露された固着錆を有する I 型試験体の下フランジ上面と均一な錆状態の上フランジ上面に対して施工を行った。

(2)防食技術

本研究では、写真 2-2 で示した 2 種ケレンの動力工具と 4 種ケレンのワイヤーブラシを用いて鋼材の錆を除去する。その後、低温低压溶射の Cold Spray (以下、CS) 技術に着目し、鋼橋の防食へ応用した防食技術の研究開発を行った²⁾。写真 2-3 に示す CS 技術による皮膜の積層は、金属粒子の融点・軟化温度より低温のガスを専用ノズルで超音速に加速させ鋼材面に衝突させることで、固相のまま密着させる技術であり、既往研究では錆厚 100 μm 上で成膜可能との結果を得ている²⁾。金属溶射の重要なパラメータである膜厚、付着力の評価は、電子膜厚計、アドヒージョン試験を用いて行う。

(3)マイクロビッカース硬さ試験

ダイヤモンド製の剛体(圧子)を試験片に対して押し込み、その時にできるくぼみの面積の大きさを硬さを判断する。(写真 2-4)

(4)塩水噴霧試験

防食性の評価を 5%の塩化ナトリウム水溶液を用いた塩水噴霧試験機で行う。(写真 2-5)

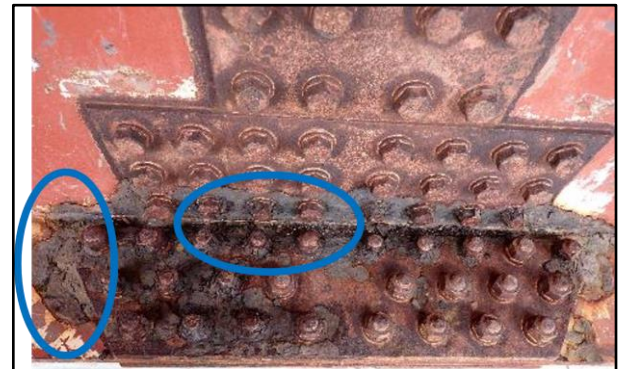


写真 1-1 鋼橋の腐食損傷の例

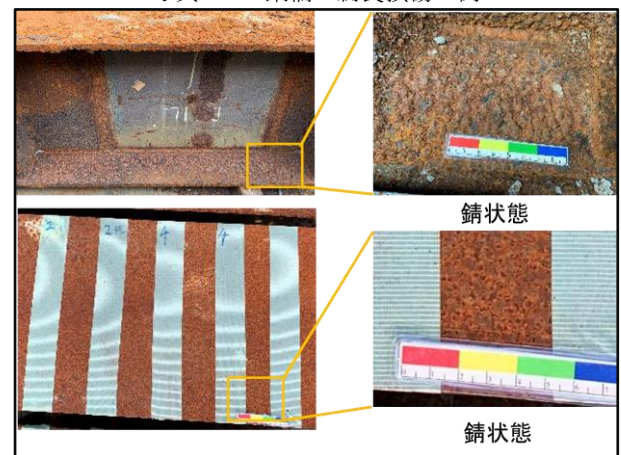


写真 2-1 使用試験体



写真 2-2 ケレン道具一覧

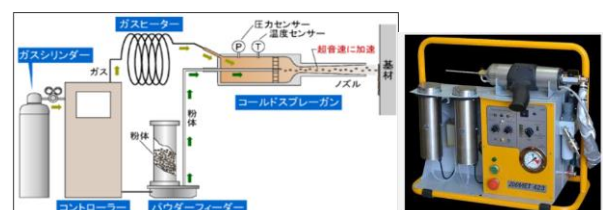


写真 2-3 Cold Spray 技術



写真 2-4 硬さ試験機

写真 2-5 塩水噴霧試験

キーワード 隘部, 除去困難錆, Cold Spray, 成膜性, 付着力, 防食性

連絡先 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地)

3. 試験結果

(1) CS 成膜結果

(a) I 型試験体上フランジ上面に生成した錆

写真 3-1 に示すように、一様な錆に対して錆除去を行った。残存錆無しの状態とワイヤーブラシ後の状態も共に 10MPa 以上の強い付着力を得ており一様な錆に対しては問題なく成膜できている。

(b) I 型試験体下フランジ上面に生成した錆

写真 3-2 に示すように、2 種ケレン後と 4 種ケレン後の錆に対して CS 成膜を行った。付着力は、2 種ケレン後に 11.1MPa で 4 種ケレン後に 5.21MPa となった。2 種ケレン相当までは、ケレン可能であることは、既往研究で確認済みのため錆除去困難箇所にも同等な成膜が可能であると推定できる。また、4 種ケレンは、約 250 μm 程度の錆が全面に残っており 50 μm 程度のアルミナパウダーでは除錆が出来ず、付着力が確保できないことが分かる。

(2) 硬さ試験結果

写真 3-3 に示すように錆は、素地よりも 2 倍以上硬いことが分かる。そして、皮膜粒子より基材の方が固く、成膜には硬さの差が必要であることが分かっている。このことから、固着した錆は、固くなるため、錆除去困難部位の固着した錆に CS 技術は十分な成膜が可能であることが考えられる。

(3) 塩水噴霧試験

写真 3-4 に示すように、1000 時間経過後 2 種ケレンの試験体は錆の進展を防いでいることが分かる。

一方で、残存錆を有する試験体は、固着している錆と素地の境界の小さな段により CS 皮膜の薄くなってしまう箇所がある。この薄膜から赤錆が確認された。しかし、赤錆が発生している付近で亜鉛の犠牲防食による白錆も発生しており、錆の進展は防ぐことが出来ている。比較として亜鉛メッキは同試験で約 600 時間経過後に赤錆が発生するとされている。よって、固着している錆が残存している状態でも CS 成膜は、亜鉛メッキと同等以上の防食性を発揮することが推定できる。

4. まとめ

本研究では、ケレンでは錆除去困難箇所に発生する固着錆を同等と思われる鋼板を対象として、CS 技術の検討を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 固着錆を有する鋼板に対しても CS 成膜は高い付着力を示した。
- (2) 固着錆は素地の 2 倍以上の硬さを示し、CS 成膜が可能なが確認できた。
- (3) 2 種ケレン相当のケレン道具を用いて錆を除去した後に、CS 成膜を行う事で亜鉛メッキと同等以上の防食が確認できた。

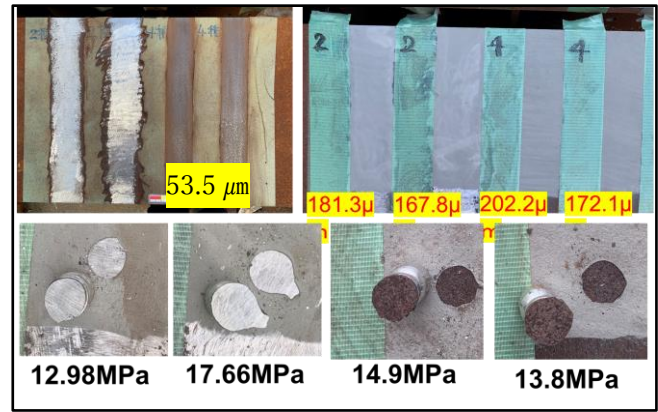


写真 3-1 一様な残存錆に対する CS 成膜

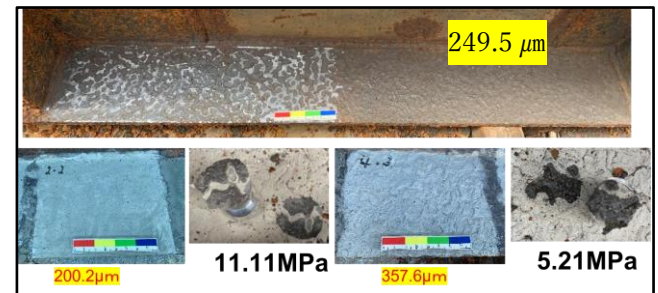


写真 3-2 残存錆に対する CS 成膜結果

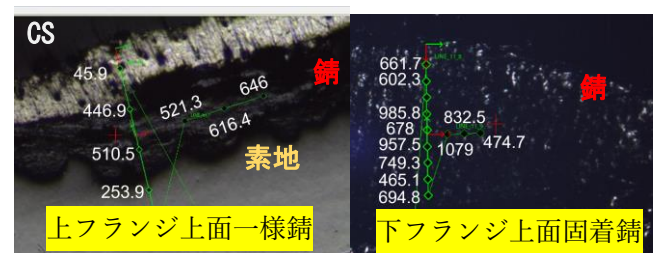


写真 3-3 硬さ試験結果

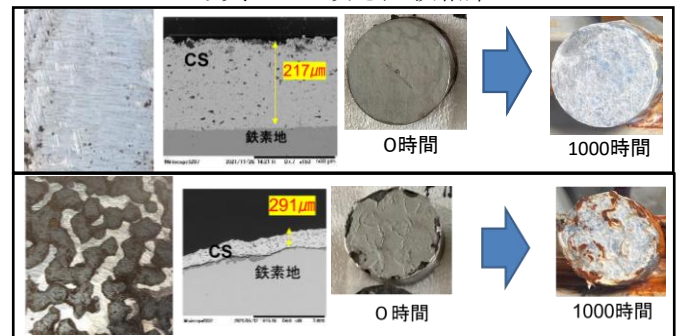


写真 3-4 塩水噴霧試験結果

今後は、実際の狹隘箇所の固着した残存錆に対しての CS 技術の防食性を検討する。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 新田健太, 佐藤志帆: 腐食した鋼部材の防食補修技術に対する各種ケレン方法の錆除去能力土木学会西部支部沖繩会, 技術研究発表会, pp. 78-79, 2021. 1
- 2) 下里哲弘, 日和裕介, 有住康則, 山城慶: さび鋼板面に対するコールドスプレー法の防食皮膜形成に関する実験的研究, 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集, 第 22 巻(第 85 号), pp.133-141, 2015.3.

ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接部の異種金属反応による錆特性に関する研究

琉球大学 ○佐藤志帆 下里哲弘 田井政行 建設技術研究所 荒牧聡

1. はじめに

写真1に示すように、炭素鋼橋梁の桁端部は腐食が激しいため、耐久性に優れたステンレス鋼を適用し、炭素鋼とステンレス鋼を溶接して併用することが現在検討されている。しかし、ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接鋼材のような異なる材料間には、電位の差が生じるため異種金属接触腐食の発生が懸念されている。

既往研究より溶接余盛有無による影響はなく、SM材の違いによる反応特性は異なる¹ことや異種金属が接触した場合、電位勾配は接触部近傍で最も大きく、接触部から離れるとそれぞれの金属の自然電位に近い値を示す^{2,3}ことがわかっている。しかし、腐食の進行度、異種金属腐食の錆の特性などが明らかになっていない。

そこで本研究では、距離による腐食進行速度の違い、異種金属接触腐食発生箇所の特定制とその錆特性などの基本的データを得ることを目的として、促進試験と水浸試験を実施した。

2. 水浸試験

2.1 適用した試験体

水浸試験に用いた試験体は、写真2に示すように円孔にケレンしたステンレス鋼と塗装された炭素鋼の溶接鋼材を使用した。円孔の大きさは、膜厚計で測れる大きさにしたかったので直径12mmとし、10個作製した。ステンレス鋼側は、炭素鋼と溶接部から3mm離れた位置までの750mmのみ残し、それ以外の部位は絶縁するためにVMテープで覆った。

2.2 試験結果

水浸試験の結果を写真3に示す。試験開始から1時間後には、ステンレス鋼との溶接部に近い円孔から点錆が見られ徐々に腐食が広がっていき、2時間後にはすべての円孔に点錆が見られ腐食していることを確認できた。1日経過後には、全部の円孔に赤錆が付着していた。また、写真4の1日経過後の試験体の側面の溶接部と炭素鋼の境界部を見てみると接触腐食による錆の集積を確認することができた。



写真1 炭素鋼橋梁の桁端部



写真2 水浸試験で用いた試験体

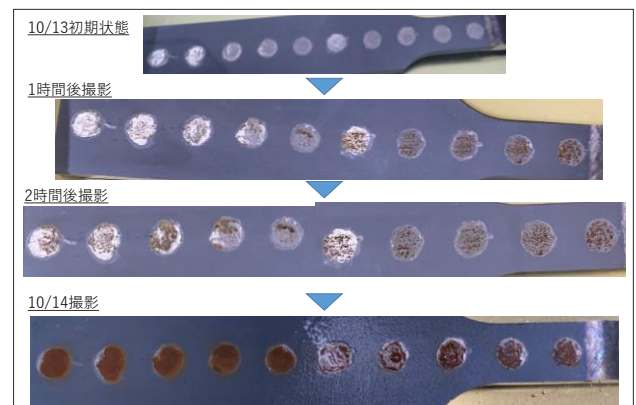


写真3 水浸試験の結果



キーワード：ステンレス鋼、炭素鋼、異種金属接触腐食、促進試験、水浸試験

連絡先：〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース構造設計工学研究

3.1 潮風促進装置と試験条件

促進試験では、写真5に示すような潮風促進装置を用いて行った。試験条件は、写真6に示すように塩水ミストを1日1回10秒間噴霧した湿潤条件①の場合と塩水ミストを2時間おきに5分間噴霧した湿潤条件②の場合の2パターンで実施した。その他の条件は、写真6に示してある通りすべて同様で行った。



写真5 潮風促進試験装置

3.2 試験体

潮風促進試験で用いた試験体は、写真7のステンレス鋼と塗装された炭素鋼の突合せ溶接鋼材及び炭素鋼単体を使用した。なお、写真7に示す試験体は炭素鋼の溶接部近傍を数ミリケレンした。

試験条件		エアコンの温度：23℃		
装置の設定値	温度	湿度	時間	
Prg.No.1	40℃	90%	0:10	
Prg.No.2	40℃	90%	23:50	

環境条件	気温	湿度	0.1%塩水ミスト	時間帯
湿潤条件①	35℃	90%	10秒間(常温)	1日1回噴霧
湿潤条件②	35℃	90%	5分間(常温)	2h置き

写真6 試験条件

3.3 試験結果

湿潤条件①では、ACMの出力センサが0.1～1μAの範囲となり濡れ環境下での促進試験となった。また、写真8に示すように、濡れ環境下では腐食しないという結果が得られた。

湿潤条件②では、ACMの出力センサが1μA以上となり雨環境下での促進試験となった。写真9より、2時間後には溶接鋼材と炭素鋼それぞれに赤錆の発生が見られたが、366時間後には溶接鋼材の一部の色が黒っぽくなった。また、外観観察より炭素鋼の方が腐食進行が速かった。

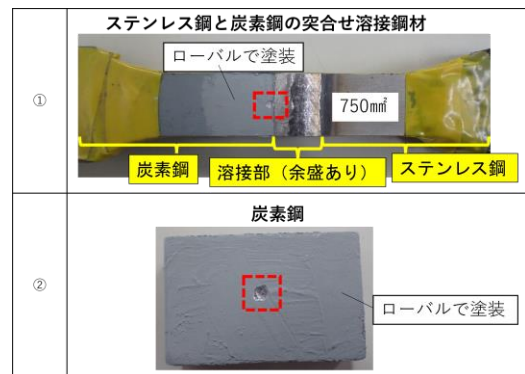


写真7 促進試験で用いた試験体

4. まとめと今後の予定

今回の試験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 水浸試験の結果より、SUSに近い円孔から徐々に全体が腐食していき、溶接部と炭素鋼の境界部では接触腐食による錆の集積を確認できた。
- (2) 促進試験の結果からは、湿潤条件①では腐食の発生を確認できなかった。湿潤条件②でも、異種金属発生箇所を特定することはできなかったが、溶接鋼材の一部で黒色の錆が見られた。外観観察では、炭素鋼単体の方が腐食進行が速くなる傾向が得られた。
- (3) 今後の予定としては、引き続き異種金属接触腐食箇所の特定と異種金属接触部の錆の種類が異なるのか分析をしていきたいと思う。

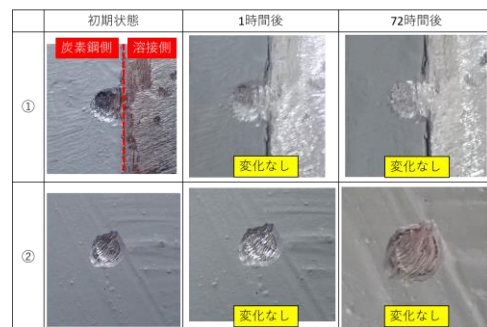


写真8 湿潤条件①の促進試験結果

(参考文献)

- 1) 木下：ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接継手における異種金属接触反応特性に関する研究，2020。
- 2) 青木ら：境界要素法による腐食・防食のシミュレーション，1986
- 3) 宮坂：異種金属接触腐食の機構，事例と対策技術，2020

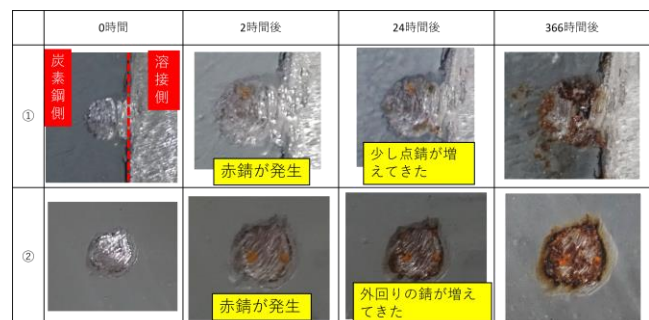


写真9 湿潤条件②の促進試験結果

古紙を混和したジオポリマーモルタルに関する基礎的検討

琉球大学 ○平城有梨, 大城藤乃, 富山潤, 須田裕哉
西松建設(株) 原田耕司, 明和製紙原料(株) 駒津慎

1. 研究の背景および目的

沖縄県では年間 11 万トンの古紙が発生しており, そのほとんどが中国に輸出されていた。しかし, 2021 年から中国が古紙の輸入規制を開始しており, 沖縄県の古紙の処理方法が課題となっている。一方, 沖縄では電力のほとんどを石炭火力発電に頼っており, 発電所由来灰(フライアッシュ等)の有効利用も望まれている。そこで, 本研究では, フライアッシュを用いたジオポリマーコンクリートをベースにした古紙混和ジオポリマーコンクリート¹⁾の開発を目指し, 本稿では, 基礎的な検討として, 古紙を混和したジオポリマーモルタルの強度特性に関する検討結果を示す。

2. ジオポリマーモルタルについて

ジオポリマーとは, アルミナシリカ粉末とアルカリ溶液との反応によって形成される非晶質の縮重合体の総称である。活性フィラーや細骨材として産業副産物の有効利用が可能であることから, 次世代コンクリートとして注目されている¹⁾。

3. ベース配合の検討

目標強度(材齢 1 日, 24N/mm²)を設定し, はじめに古紙の混和の影響を検討するためのベース配合を決定する試験を行った。

3.1 材料および配合

ジオポリマーモルタルの基本材料は, 活性フィラー, GP 溶液, 細骨材である。本検討では, 活性フィラーとして, フライアッシュを基本とし, 初期強度発現性を考慮し, 高炉スラグ微粉末をフライアッシュの 0%, 5%, 10%, 20%, 30%置換した配合について検討した。アルカリ溶液として, 市販の GP-1 溶液(東曹産業(株))を用いた。また, 細骨材には, 標準砂を用いた。使用した材料の密度を表-1 に, 配合を表-2 に示す。練り混ぜには, 容量 4.0L のホバートミキサーを使用した。練り混ぜはフライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, 標準砂の空

練りを 30 秒, GP 溶液を 30 秒かけて加えていき, 練り混ぜを 30 秒, かき落としを 1 分 30 秒, 練り混ぜを 1 分の順序で, 合計 4 分で行った。試験は, 4cm×4cm×16cm の角柱を用い, JIS R5201 に準じて圧縮試験を行った。

表-1 使用材料および密度

使用材料	密度 (g/cm ³)
GP-1 (GPW)	1.35
フライアッシュ (FA)	2.32
高炉スラグ微粉末 (BS) (石膏なし)	2.91
標準砂 (S)	2.64
古紙	0.3

表-2 ベースモルタルの検討配合(単位量 kg/m³)

ケース名	BS 置換率(%)	GPW	FA	BS	S
#1	0	339	599	0	1243
#2	5	339	568	38	1243
#3	10	339	538	76	1243
#4	20	339	478	151	1243
#5	30	339	420	224	1243

3.2 試験概要

3.2.1 養生条件

本研究では, 60℃で約 6 時間の高温養生を行った。図-1 に高温養生の温度履歴を示す。養生開始から 24 時間後まで封かん養生とした。

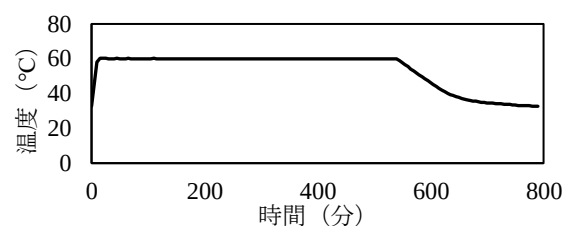


図-1 恒温恒湿機内の温度変化

3.2.2 ベース配合試験の結果

前述したように本試験における目標は 1 日強度で 24N/mm²である。圧縮試験結果を図-2 に示す。

図-2 から高炉スラグ微粉末の置換率が高くなるにつれ強度が増し, 置換率 10%以上では目標強度を上回った。そこで, 目標強度を充分に上回る高炉スラグ微粉末置換率 10%の配合をベースモルタル(ベース配合)とした。

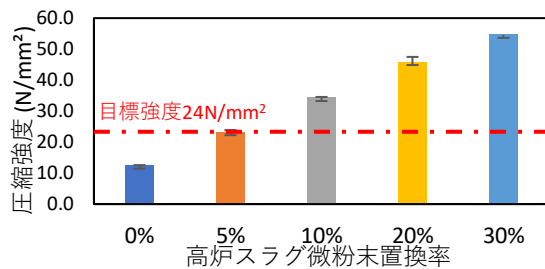


図-2 圧縮強度試験結果

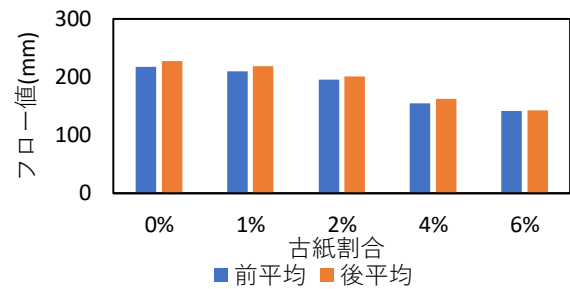


図-4 フロー試験結果

4. 古紙を混和したジオポリマーモルタルの検討

4.1 検討配合

古紙混和の影響を検討するためベース配合に対し、古紙を標準砂置換 (0%,1%,2%,4%,6%) した 5 ケースの検討を行った。なお、古紙を細骨材置換することで天然資源である骨材の使用量を削減することができる。表-3 に示す 5 ケースに対し、圧縮強度、フロー試験(JIS-R5201)を行い、その結果から適切な古紙混和の配合を決定した。なお、古紙は新聞紙の破砕タイプを使用した。

表-3 配合 (単位量 kg/m³)

ケース名	古紙置換率 (%)	GPW	FA	BS	S	古紙
#6	0	339	538	76	1243	0
#7	1	339	538	76	1230	2
#8	2	339	538	76	1220	3
#9	4	339	538	76	1193	6
#10	6	339	538	76	1170	8

4.2 圧縮強度試験およびフロー試験

圧縮試験、フロー試験の結果を図-3、図-4 にそれぞれ示す。材齢 1 日の圧縮強度については、今回検討した古紙混和 4 ケースともベース配合と同等である。また、フロー値については、古紙置換率が増えるに従い小さくなり、流動性が悪くなる傾向を示したため、古紙混和は、2%置換を最適とした。なお、図-4 の前平均と後平均とは、フロー試験の打撃前と打撃後の平均を意味する。

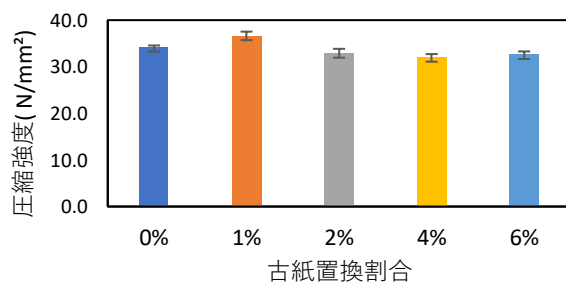


図-3 圧縮強度試験結果

4.3 古紙 2%置換ジオポリマーモルタルの強度特性

古紙 2%置換モルタルの強度特性の検討として、材齢 1 日、3 日、7 日、28 日の圧縮強度試験を行った。その結果を図-5 に示す。この結果から材齢 3 日までは古紙 2%置換モルタルの圧縮強度は、ベースモルタルと比較し低い値を示しているが、材齢 7 日および 28 日では同等な強度を示した。

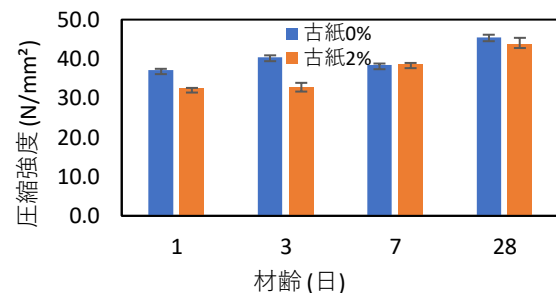


図-5 圧縮強度試験結果

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に列挙する。

- (1) ベースモルタルの活性フィラーは、フライアッシュおよびフライアッシュを 10%置換した高炉スラグ微粉末とすることで、目標強度 (24N/mm²) を満足することができた。
- (2) 強度試験およびフロー試験の結果から、古紙の置換率は、細骨材 2%程度が最適と考えられた。
- (3) 古紙 2%置換ジオポリマーモルタルの強度発現は、ベースモルタルと比較し 1, 3 日強度は低い、7, 28 日強度は同等であった。

参考文献

- 1) 一宮一夫, 津郷俊二, 原田耕司, 池田攻: ジオポリマーモルタルの配合ならびに製造法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, p575-580, 2011.

謝辞: 本研究を進めるにあたり、琉球セメント株式会社よりフライアッシュをご提供頂いた。ここに感謝の意を表す。

膨張材添加による混和材を使用したセメントペーストの炭酸化抑制効果

○琉球大学 近藤連, 須田裕哉, 富山潤

1. 背景および目的

近年, 循環型社会およびカーボンニュートラルの実現の観点からクリンカ比率を低減させた混合セメントのより一層の利用が求められている. これら混和材をコンクリートに置換することで塩分浸透抵抗性の向上, 長期強度の増進, アルカリシリカ反応の抑制といった効果がある. 一方で, 初期強度発現が遅く, 中性化の進行がポルトランドセメントと比較して早いといった点もあり, 混合セメントの利用の拡大には至っていない.

混合セメント系材料の炭酸化現象に関して, 混合セメントを使用した硬化体の炭酸化収縮はポルトランドセメント系より大きいことが報告されている. これらは炭酸化により水和物であるケイ酸カルシウム水和物の構造が変化し, 硬化体の空隙が多孔化, さらには収縮により微細なひび割れが発生することが指摘され, 多孔化やひび割れの発生により気体の移動性状が増加することが報告されている¹⁾. しかし, 炭酸化収縮の起点は水和物の構造変化であることから, これらの構造変化を抑制することができれば, その後の中性化進行も抑制できる可能性がある.

そこで, 本研究では, 膨張性を有する材料を混合セメントに混和することで混合セメント系材料の中性化の抑制効果について検討を行った. 膨張性材料として CSA 系膨張材および反応性 MgO を添加し炭酸化による収縮挙動と物質透過性を評価した.

2. 実験方法

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 (NC) および普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 70% 置換した試製高炉セメント C 種 (BC) とした. また, これらセメントに, CSA 系膨張材を 10%, 反応性 MgO を 15% 内割りで添加した. 供試体はセメントペーストとし, 水結合材比は 55%, 初期養生として 28 日間の 20℃ 水中養生を行った.

2. 2 供試体の乾燥, 炭酸化条件

炭酸化による収縮挙動を評価するため, 事前乾燥

を行った. 材齢 28 日後の供試体を湿度 56% に調湿した 20℃ 環境下のデシケーター内にて, 56 日間静置し乾燥させた. 56 日間の事前乾燥後, 乾燥時と同様の湿度環境下に調湿した CO₂ インキュベータ内にて二酸化炭素濃度 5% の促進環境で炭酸化させた. 炭酸化日数 0, 3, 7, 28 日で各種測定を行った.

2. 3 長さ変化および質量変化の測定

接触型変位計を用いて供試体のひずみを測定した. 供試体は 80×20×4mm の供試体を用い, 供試体と同じ寸法のインバー鋼を基準とし, 乾燥前後および炭酸化時の供試体について, 1 供試体につき 4 箇所 (裏表長手方向 2 箇所), 5 体の供試体について測定を行い, 平均値を測定結果とした. 炭酸化収縮ひずみは, 乾燥 56 日後の供試体を炭酸化 0 日とし, それ以降のひずみとして算定した.

2. 4 酸素の拡散係数の測定

酸素の拡散実験は, 白川ら²⁾が提案した気体の拡散実験装置により行った. 40×30×5mm のペーストを, 長さ変化と同じ条件で乾燥と炭酸化を行った. 供試体は型枠にはめ込みシリコン系の接着剤で接着した. 型枠を境に酸素側と窒素側セルで挟み, 酸素ガスと窒素ガスを等圧等流量で流し, 流出した窒素ガス中の酸素濃度を測定することで酸素の拡散係数を求めた.

2. 5 中性化深さの測定

15×15×80mm のペーストを長さ変化と同じ条件で乾燥と炭酸化を行った. 供試体は一面以外をアルミテープでシールした. その後, CO₂ インキュベータで促進炭酸化を行い, 炭酸化 28 日後に供試体を切断し, 切断面にフェノールフタレイン液を吹きかけ, 呈色しない領域を中性化深さとした.

3. 実験結果および考察

3. 1 炭酸化による長さ変化

本研究では, NC および BC に CSA および MgO を添加した供試体を NC-CSA, NC-MgO のように表記する. 図-1 に, 各供試体の炭酸化収縮ひずみの経時変化を示す. NC および NC-CSA に比べ, BC およ

キーワード 炭酸化, 炭酸化収縮ひずみ, 酸素拡散係数, 中性化深さ, 酸化マグネシウム

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース

E-mail : e175542@eve.u-ryukyu.ac.jp

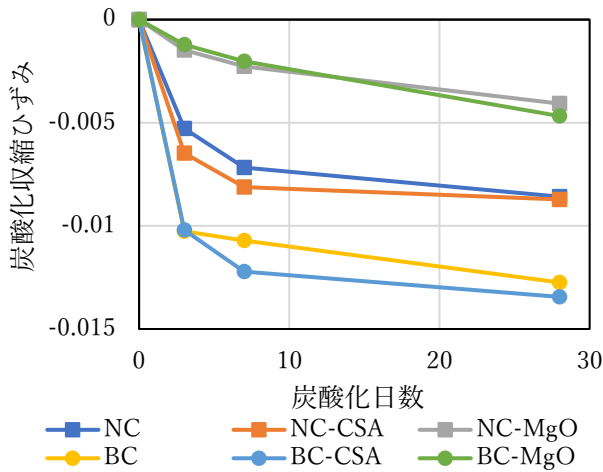


図-1 炭酸化収縮ひずみの経時変化

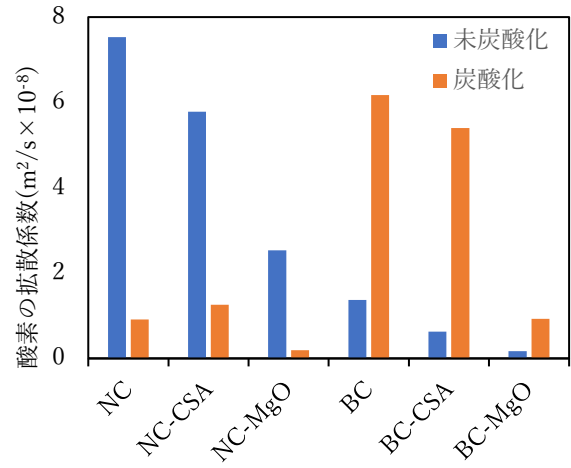


図-2 炭酸化前後の酸素拡散係数

びBC-CSAの炭酸化収縮ひずみは大きくなった。また、CSAの置換による影響は見られなかった。一方で、MgOを添加した供試体では、NCおよびBCともに炭酸化収縮ひずみが大幅に抑制された。

3.2 酸素の拡散係数

図-2に、炭酸化による酸素の拡散係数の変化を示す。なお、図中炭酸化は、乾燥56日+炭酸化28日の試料であり、未炭酸化は、乾燥84日の試料の結果を示す。まず、未炭酸化の供試体では、高炉スラグ微粉末を置換することで酸素の拡散係数は低下し、CSAおよびMgOを置換することで拡散係数は低減した。炭酸化した供試体では、NCシリーズでは炭酸化により拡散係数は低下したものの、BCシリーズでは、炭酸化により拡散係数は増加した。BC-MgOは炭酸化により拡散係数は増大したものの、その値はNCの炭酸化試料と同程度であったがCSAでは炭酸化により大幅に増加した。

3.3 中性化深さ

図-3に炭酸化28日の供試体の中性化深さを示す。Nシリーズでは、MgOを添加した供試体では炭酸化28日では中性化を全く示さなかった。BCシリーズでは、BCは炭酸化28日で供試体全面が呈色せず深部まで中性化が進行していた。BC-MgOは中性化が進行しているものの、中性化深さはNCと同程度であった。これら結果より、炭酸化後の酸素拡散係数が、BC-MgOとNCは同程度の値であることからMgOを添加することでNCと同程度の中性化抵抗性を有することが示された。

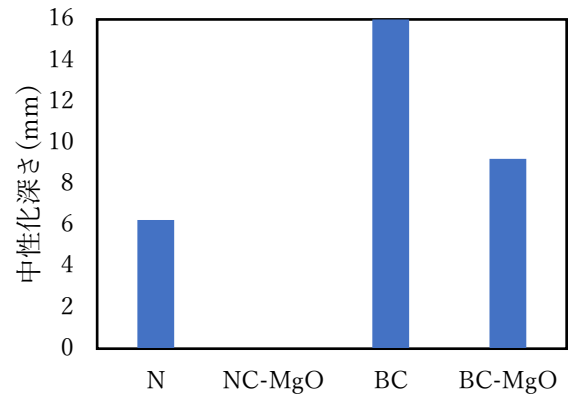


図-3 中性化深さ

3. まとめ

本研究では、混合セメントに膨張系材料を添加した際の炭酸化挙動について、収縮挙動と物質透過性に関する評価を行った。その結果、混合セメントに反応性MgOを添加した供試体は普通ポルトランドセメントよりも、炭酸化収縮ひずみが抑制され、物質透過性も向上した。また、中性化抵抗性はNCと同程度の結果を示すことが分かった。

参考文献

- 1) 須田裕哉 他：高炉スラグ微粉末を用いたセメントペーストの炭酸化による気体の拡散性状の変化と相組成および空隙構造との関係，コンクリート工学年次論文集，Vol42，No.1，2020
- 2) 白川敏夫 他：セメント硬化体中への気体の拡散係数測定方法の提案，日本建築学会構造系論文集，1999年64巻515号p.15-21

炭酸化によって生じるコンクリートのひずみと気体拡散性状の評価

琉球大学 ○井上彰仁 須田裕哉 富山潤

1. 背景および目的

現在、コンクリートにおいて循環型社会の観点から、産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュの有効利用が進められている。混和材を使用することで、遮塩性の向上などの効果を与える一方で、中性化速度が大きくなることが知られている。さらに、これら混和材を使用したモルタルでは、炭酸化による収縮ひずみが増大することや、水和物の分解による緻密性の低下がその後の物質透過性を増加させることも報告されている¹⁾²⁾。また、コンクリートが乾燥した場合、乾燥収縮により粗骨材界面に損傷が生じることが報告されているが³⁾、炭酸化収縮による影響が報告された事例は少ない。本研究では、炭酸化による空隙構造の変化および炭酸化収縮による粗骨材界面の損傷がコンクリートの物性に及ぼす影響を評価することを目的に検討を行った。

2. 実験方法

2.1 材料・配合および乾燥・炭酸化条件

材料は普通ポルトランドセメント、混和材は高炉スラグ微粉末を 50%(NB)、フライアッシュを 30%(NF)で内割り置換した。無置換を NC とした。また、骨材の寸法の違いによる損傷の相違を排除することを目的に細骨材は砕砂のみを使用し、粗骨材は 10mm~20mm に分級した石灰岩碎石を使用した。配合を表-1 に示す。φ100×200mm の供試体を作製後、養生条件 20℃の環境下で飽和水酸化カルシウム溶液を含んだ不織布で供試体を巻き、湿布養生を行った。養生後、供試体を 9mm にカットし、温度 25℃の環境下で飽和塩類による調湿法により相対湿度 56%で乾燥させた。乾燥による質量変化およびひずみが平衡状態に達したと判断し、乾燥開始から 14 日後に一部の供試体を同一温湿度環境に調整した CO₂ 濃度 5%のインキュベータ内で促進炭酸化させた。

2.2 長さ変化測定

炭酸化時の供試体の長さ変化の測定を経時的に行った。マイクロメーターにより長さ変化を測定した。炭酸化収縮ひずみは、乾燥終了時の長さから炭酸化

表-1 コンクリートの配合

記号	W/B (%)	置換率 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
				W	C	BFS	FA	S	G	石膏	AE
NC					309			879	932		1.5
NB	55	50	49.2	170	155	149		876	929	5.6	1.5
NF		30			216		93	868	920		1.5

経過後の長さを差し引くことで求めた。

2.3 酸素拡散試験

気体の拡散試験装置により酸素の拡散係数を求めた。酸素拡散試験は乾燥開始後から 21, 42 日目、炭酸化開始後から 7, 28 日目に行った。これは、炭酸化を開始する前に 14 日間の乾燥を行っているため、どちらの供試体も養生終了から同じ日数経過したためである。型枠にはめた供試体に酸素ガスと窒素ガスを等圧等流で流し、窒素ガス側の酸素濃度が一定値に収束した時点の濃度より拡散係数を求めた。

2.3 空隙率の測定

空隙率の測定はコンクリート供試体と同配合のセメントペーストの供試体を使用し、アルキメデスの原理により求めた。空隙率の測定を行う期間は炭酸化開始後から 0, 14, 28 日とした。

2.4 熱重量分析(TG-DTA)

セメントペーストの供試体を使用し、TG-DTA による分析を行った。供試体を 90 μm 以下に粉碎し、110℃で 3 時間乾燥させた供試体を測定試料とし、窒素雰囲気下で 10℃/min の速度で 1010℃まで強熱し、550~800℃の減量値から炭酸カルシウムを測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 長さ変化

図-1 に NC, NB, NF の炭酸化収縮ひずみの経時変化を示す。NC と NF は同程度の値を示したが、NB では、NC, NF に比べて経時的な炭酸化収縮ひずみの値が大きくなった。

3.2 酸素拡散試験

表-2 に乾燥および炭酸化した供試体の拡散係数の経時変化を示す。経過日数の括弧外の数字が乾燥開始後の日数、括弧内の数字が炭酸化開始後の日数である。NC は乾燥および炭酸化ともに同程度の値

キーワード 炭酸化, 炭酸化収縮ひずみ, 酸素拡散係数, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース建設材料科学研究室

E-mail : e185552@eve.u-ryukyu.ac.jp

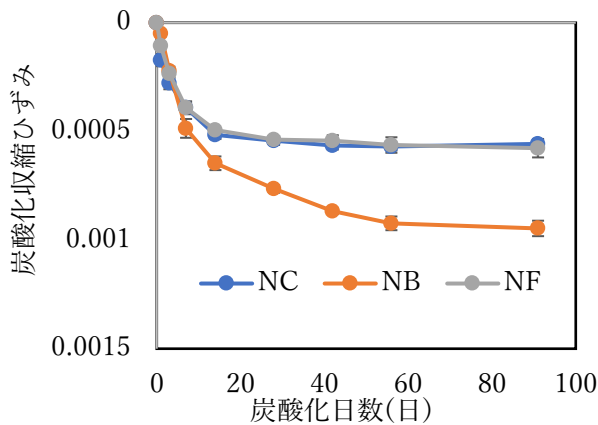


図-1 炭酸化収縮ひずみ

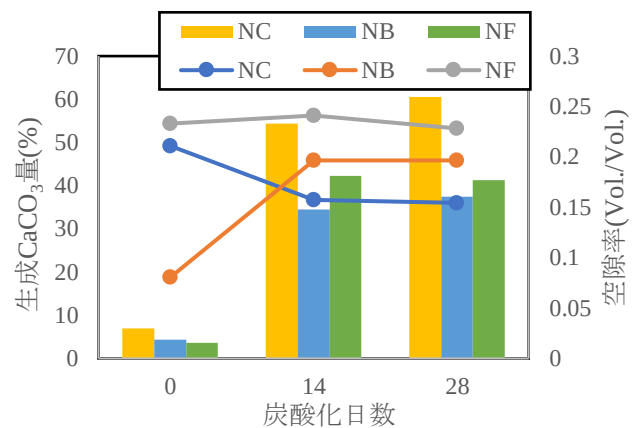


図-2 炭酸化による炭酸カルシウム量と空隙率の変化

表-2 酸素の拡散係数の経時変化

	経過日数		
	供試体名	21(7)	42(28)
酸素拡散 係数 ($\text{m}^2/\text{s} \times 10^8$)	NC 乾燥	2.42	2.88
	NC 炭酸化	2.75	2.73
	NB 乾燥	1.33	1.39
	NB 炭酸化	3.76	2.77
	NF 乾燥	2.34	2.02
	NF 炭酸化	3.75	2.76

となった。既往の研究から¹²⁾、セメントペーストやモルタルの場合、普通セメントを使用することで炭酸化により拡散係数が小さくなることが知られているが、コンクリート供試体では異なる傾向を示した。NBおよびNFでは、乾燥時の供試体はNCよりも酸素拡散係数は低下した。また、炭酸化により酸素の拡散係数は増加し、NCと同程度かそれ以上の値を示した。

3.3 生成 CaCO_3 量および空隙率の経時変化

図-2 に炭酸化による生成 CaCO_3 量および空隙率の経時変化を示す。生成 CaCO_3 量を左側の縦軸および棒グラフで示しており、空隙率を右側の縦軸および折れ線グラフで示している。生成 CaCO_3 量はNCが最も多く、炭酸化が進行することで空隙率が低下している。これらのことから、NCは炭酸化することにより、炭酸カルシウムの生成により、内部構造が緻密化したと考えられるが、NCの酸素の拡散係数は炭酸化前後で変化が見られなかった。これらは、図-1よりNCにおいても炭酸化による収縮が見受け

られ、骨材界面に損傷が生じたと考えられる³⁾。NCでは、炭酸化によるモルタル部の緻密化と粗骨材界面のひび割れの影響が互いに相殺され、酸素拡散係数が大きな変化を示さなかったと考えられる。この結果からコンクリートでは粗骨材の影響により拡散係数は大幅に変動しないことがわかった。

また、NBでは空隙率が増加しており、炭酸化収縮ひずみも大きいことから、組織の多孔化と骨材界面の損傷が拡散係数の増加に影響していると考えられる。骨材界面の損傷については、デジタル画像相関法および蛍光エポキシ樹脂含浸法による評価により今後検討を行う予定である。

4. まとめ

混和材無置換のコンクリートでは粗骨材の拘束により酸素拡散係数の結果に大きな変動が見られないことがわかった。混和材有りの供試体は炭酸化により拡散係数および空隙率が増加傾向にあり、さらには骨材界面の損傷が影響していることが推察された。

参考文献

- 1) 白川敏夫 他：高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの炭酸化と気体拡散性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.665-670，2019
- 2) 須田裕哉 他：高炉スラグ微粉末を用いたセメントペーストの炭酸化による気体の拡散性状の変化と相組成および空隙構造との関係，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，2020
- 3) 篠野宏 他：コンクリートの乾燥により生じるひずみ分布と微細ひび割れ性状の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.454-459，2012

Session 2 観光・交通

人流データを用いたバス網再編に関する基礎的検討

琉球大学 ○眞栄里和希 神谷大介 町田宗瞭 上地安諄

1. はじめに

那覇都市圏の渋滞は全国ワーストにあり、公共交通の利用促進が求められている。これまで、「那覇市・浦添市・宜野湾市・沖縄市地域公共交通総合連携計画」，「TDM 施策推進アクションプログラム」等の取り組みが実施されてきたが，その効果は芳しいとは言い難い状況にある。

バス利用等に関するアンケート調査では，定時性・ダイヤについて，運行ルート見直しのニーズが高いことが示されている¹⁾。しかしながら，これに対する取り組みは独占禁止法への抵触の懸念から，対応されていなかった。「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」の改正により，運送事業者間の調整を促進および，地域公共交通計画を策定することが努力義務化された²⁾。さらに，バス事業者においては運転手不足の問題が顕在化してきている。

以上より，沖縄県におけるバス網再編の機運が高まってきていると考えられる。バス事業の生産性向上および事業継続性の観点からも，人の移動を確保するための公共交通の再編が必要であると考えられる。以上の認識の下，本研究では，スマートフォン等から得られる人流データから，現在のバス網および運行がどの程度適正であるかを評価するための基礎情報を得ることを目的とする。

2. 人流とバス運行に関するメッシュ分析

本研究では，プログウォッチャー社が提供するスマートフォン等から取得される人流データを500m メッシュ間 OD として表現する。対象地域は沖縄本島中南部とし，この地域に居住していると推定されているデータを取り扱う。期間は2019年4月1日～2020年2月29日の平日であり，新型コロナウイルス感染症前の状況である。ここでは特に，市外線を対象とし，那覇市への移動量と那覇市へのバ

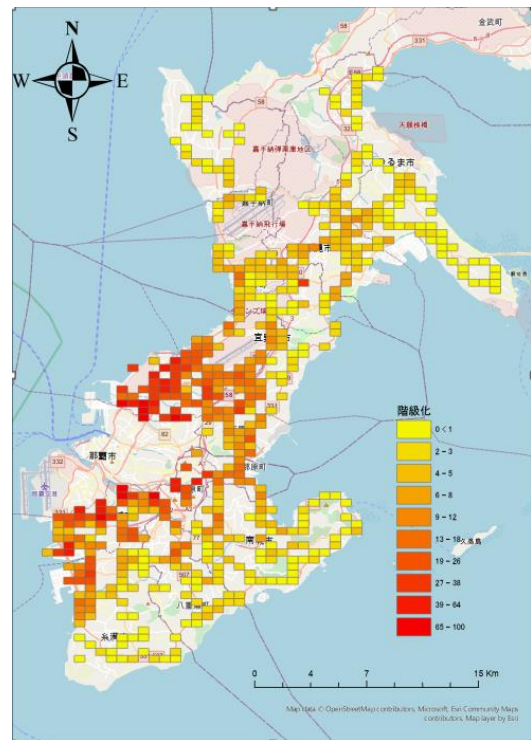


図-1 那覇へ移動量

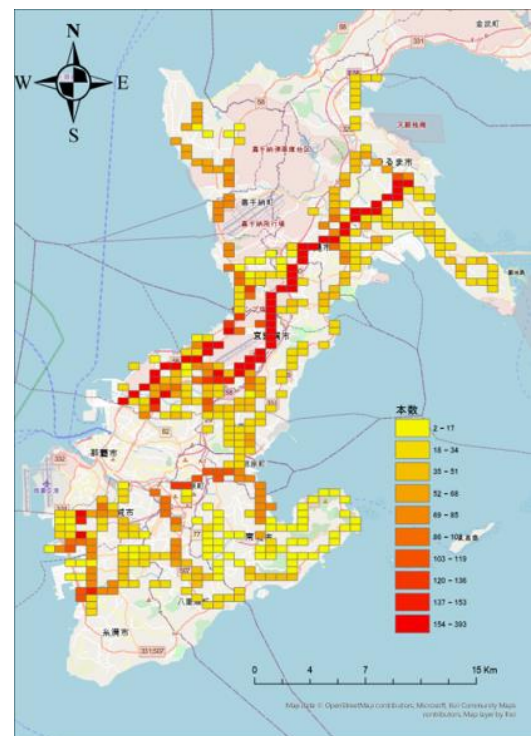


図-2 バス運行本数

キーワード 地域公共交通計画，人流データ

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 E-mail : e185526@eve.u-ryukyu.ac.jp

ス運行ルートおよび運行本数を 500m メッシュで分析することとする。また、バス運行に関するデータは 2021 年 9 月 1 日現在のダイヤおよびルートである。

那覇市への移動量を図-1、那覇市へのバス運行頻度を図-2 に示す。これらより、那覇市への移動量は浦添市、宜野湾市、南風原町、与那原町、豊見城市、糸満市で多いことが分かる。一方、豊見城市北東部はバス運行本数が少ない。運行本数は基幹バスルートとなっている区間に偏っているように見られることもできる。ただし、ここでは那覇市への移動のみを扱った場合の分析であることを断っておく。

各メッシュにおける那覇市への移動量を横軸、那覇市へのバス運行本数を縦軸とし、この関係を図-3に示す。なお、両軸において最大を100に基準化して表している。これより、特に基幹バスルート沿いでは、その地点から那覇向けの人流に対してのバス運行本数が多くなっている。一方、人流に対してバスの本数の少ない図-3の右下側については、那覇市に隣接しているメッシュが多い。

次に、バス運行本数0のメッシュの那覇市への人流を表-1に示す。なお、人流については図-3と同じ値を用いて基準化を行った。これより、最も人流の多い豊見城市については、先の図-1,2とあわせ、那覇市内へのバスのニーズが高いと考えられる。また、最もメッシュ数の多い糸満市南部は、那覇市へバス一本で移動することはできないが、那覇市への人流がある程度に確認することができる。

3. おわりに

本研究では、人流データとバス運行ルートおよび運行本数を 500m メッシュで分析を行い、人流に対してのバスの運行本数の多少を分析した。この結果、人流が多いにもかかわらずバスの運行本数が少ない地区を明らかにした。しかしながら、那覇市内のどこへ行っているかまでの分析はできていないため、那覇市隣接メッシュであっても、移動においては遠い場合も考えられる。

今後は那覇市内線バスの情報の付与した上で、
中南部都市圏全体でのメッシュ間 OD 分析とバス路

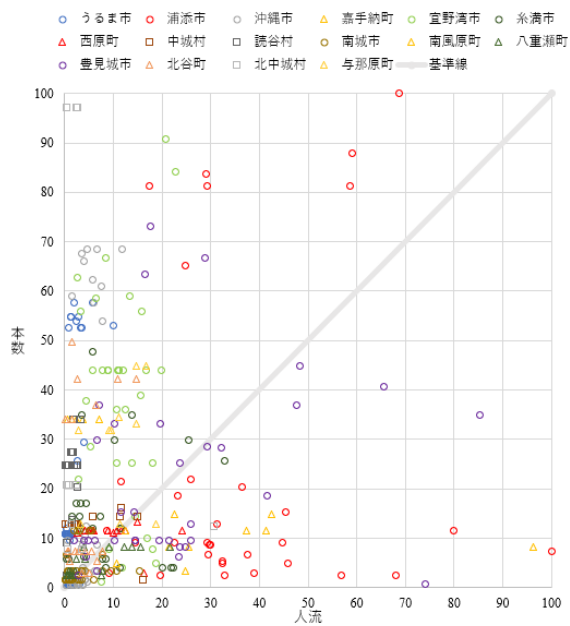


図-3 人流と運行本数の関係

表-1 運行本数0のメッシュの人流

市町村	メッシュ数	人流
豊見城市	13	98.4
南風原町	3	46.4
浦添市	3	29.8
糸満市	27	29.6
八重瀬町	7	14.4
宜野湾市	3	14.1
北谷町	9	13.8
南城市	6	9.6
中城村	4	6.1
嘉手納町	4	5.4
読谷村	4	2.1
沖縄市	3	1.8
うるま市	4	1.3

線メッシュ分析を行うこととする。さらに、通勤・帰宅等の時間帯別での分析や県外居住者の分析を行うことにより、人の移動を基盤としたバス路線網再編のための基礎情報の作成を行うこととする。その上で、人流から見た現状バス路線の評価を行うこととする。

謝辞：本研究は沖縄県の委託事業で実施している琉球大学 SDGs 社会課題解決研究プロジェクトの助成を受けた。

参考文献

- 1) 国土交通省：地域公共交通の活性化及び再生に関する法律について
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/so-sei_transport_tk_000055.html（2021年9月14日閲覧）。

沖縄本島におけるシェアサイクルの利用実態に関する基礎的分析

琉球大学 ○比嘉壮太 神谷大介 上地安諄 町田宗瞭

1. はじめに

近年、自転車は環境にやさしく、健康づくりに効果的な乗り物、及び街づくりのツールといった様々な形で注目されている¹⁾。我が国では、2016年に自転車活用推進法が制定され、各地方自治体に自転車活用に向けた具体的な施策をまとめた計画(以下推進計画)の策定を促すことにより、自転車の積極的な活用を後押ししてきた²⁾。

沖縄県の推進計画においてシェアサイクル(以下SC)は、自転車利用を促進させる重要なツールの一つとされており、さらなる普及が期待されている²⁾。公共交通機関との接続といった利便性の向上および事業継続性の観点から適切な配置計画が求められる。しかしながら、沖縄県においては計画の基礎となる利用実態が明確になっていない。

以上の認識の下、本研究では、県内ユーザーにおけるSCの利用実態を明らかにすることを目的とする。なお、県内ユーザーとは、県外で一度もSCを利用したことがないユーザーを意味する。

2. SCの貸出に関する分析

本研究で対象とするSCのポートを図-1に示す。取得データは表-1に示す通りである。

まず、30日あたりポート別の貸出回数を図-2に示す。ここで「OD 異」貸出と返却のポートが異なることを意味し、「OD 同」は貸出・返却が同一ポートであることを意味する。つまり、后者はレンタサイクルとして利用されていることを意味する。この図より、那覇第2合同庁舎や県議会前といった官公庁施設での利用が多いことが分かる。また、ヒルトン沖縄北谷やダブルツリーby ヒルトン等のホテル近くのポートではOD 同の利用割合が他よりも多くなっている。このことは、県外居住者が沖縄でのみ利用した可能性が考えられる。

次に、平日・休日別の時間帯別貸出回数を図-3に示す。これより、平日では出退勤の時間帯の貸出が多く、休日では11時～17時で平均的に貸出が行われている。

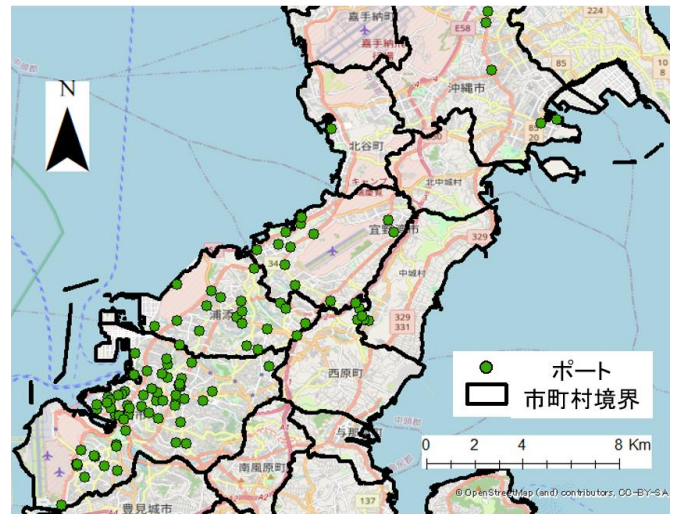


図-1 ポートの設置地域

表-1 貸出・返却履歴データ及び走行軌跡データの概要

期間	2020年1月1～2021年9月30日
市町村別 ポート数	那覇市：63、浦添市：20、西原町：6 宜野湾市：12、沖縄市：5、北谷町：1
ユニーク ユーザー数	8,922 ユーザー
総貸出回数	56,287 回

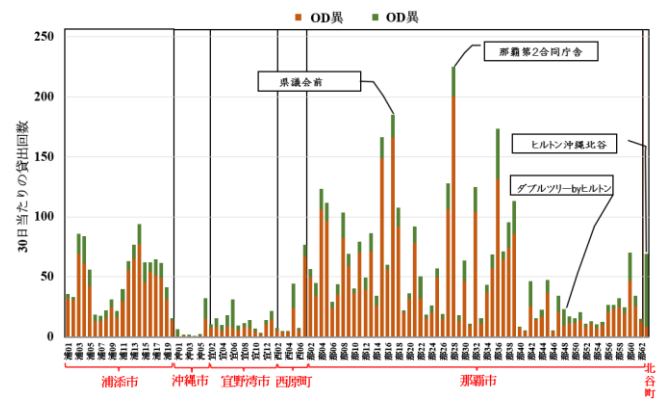


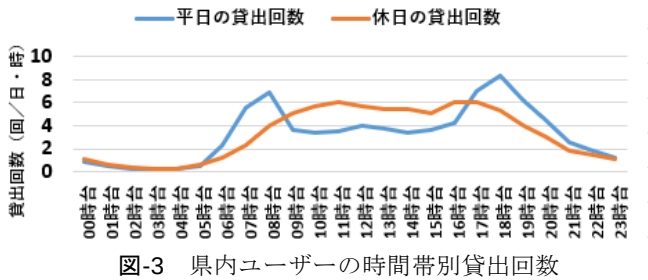
図-2 県内ユーザーの30日当たりのポート別貸出回数

3. ポート間 OD に関する分析

30日当たりのポート間OD交通量の上位を図-4に示す。これより、那覇市、浦添市に設置されているポート間での利用が多く、特に那覇市第二合同庁舎と県議会前とのOD交通量が最も多い。この区間の最短道路距離は2.2kmであり、自転車の速度を9.6km/h³⁾とすると14分弱で移動出来る。日常的に渋

キーワード：シェアサイクル、利用履歴データ

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 E-mail : e185525@eve.u-ryukyu.ac.jp



滞っている区間であることに鑑みれば、自転車が最速の移動手段であると考えられ、そのことが SC の OD 交通量に影響していると考えられる。このことは、地域の渋滞緩和にも貢献しているということもできる。

この区間における移動履歴を図-5、履歴から得られる走行距離と貸出時間の関係を図-6 に示す。これらより、ごく一部の利用者は他の地点への立ち寄りが見られるものの、ほとんどの利用者は直接移動していることが分かる。このことから、渋滞回避のための選択肢として利用していることが推察される。

図-4 で示した OD 交通量上位 10 位における平日・休日別の時間帯別 OD 交通量を図-7 に示す。これより、平日夕方の利用が際立っていることが分かる。

4. おわりに

本研究では、沖縄本島中南部における SC の利用実態を分析した。図-4 より、モノレール駅とそこから 2~3km ほど離れたポート間での利用実績が多いこと、渋滞する時間帯での利用が多いことが示された。このことは、渋滞回避のための移動手段として利用されていることが考えられる。今後は人流データを含めた分析を行うことにより、新たな交通サービス導入による効果についても検討する。

参考文献

- 1) 国土交通省：第 2 次自転車活用推進計画，2021，
<https://www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/pdf/2plan.pdf>，
(2021 年 12 月 10 日閲覧)
- 2) 沖縄県：沖縄県自転車推進計画，2021，<https://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/dorokan/hoshu/documents/jitensyakatuyoukeikaku1.pdf>，(2021 年 12 月 10 日閲覧)
- 3) 山本彰，大脇鉄也，上坂克巳：自転車の走行空間等の違いによる旅行速度の差異に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.43，CD-ROM，2011

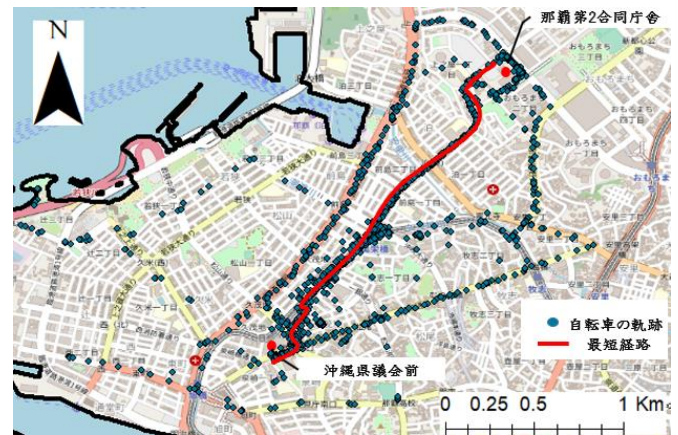
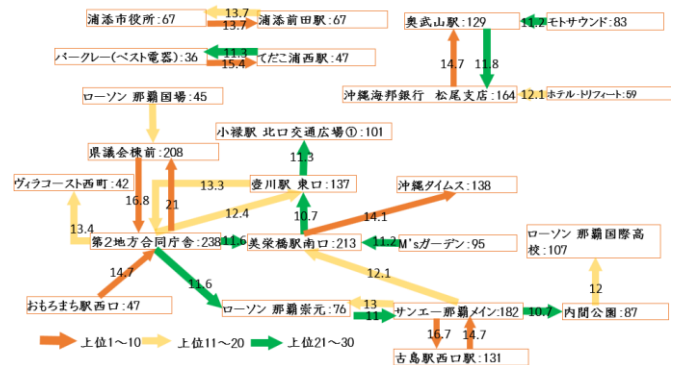


図-5 那覇第 2 合同庁舎から沖縄県議会前
へ向かう自転車の走行軌跡

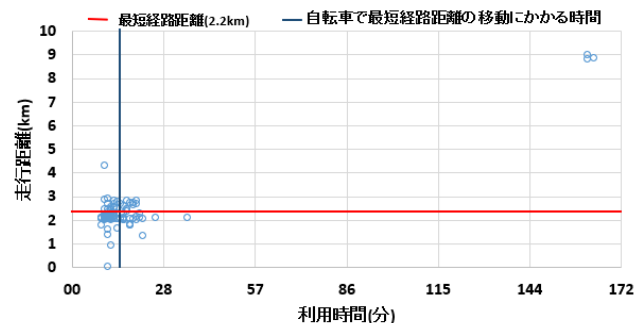
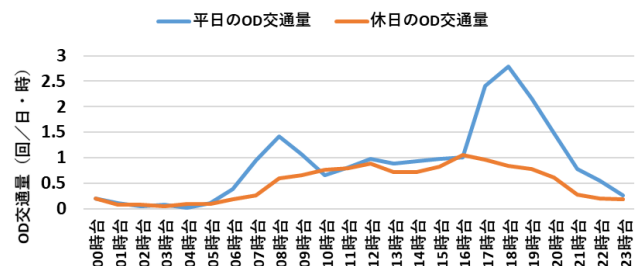


図-6 那覇第 2 合同庁舎から沖縄県議会前へ向かう自転車の走行距離と利用時間



レンタカープローブと携帯電話 GPS データによる訪問地特性に関する一考察

琉球大学 学生会員 ○町田宗瞭 正会員 神谷大介
東北大学大学院 正会員 井料隆雅

1. はじめに

近年、沖縄県における国内入域観光客数は増加傾向にある。今後、訪問者数や観光消費増加のための観光振興施策を適切に講じるためには、観光客の詳細な訪問地を明らかにする必要がある。このため、これまで沖縄県内では様々なデータ（例えば、レンタカープローブ（以下、RPD）、アンケート、携帯電話 GPS（以下、CGD）・基地局、Wi-Fi パケットセンサー）を用いた観光流動調査が行われてきた。しかし、調査手法によって得られるデータの特性が異なると考えられる。また、観光 DX に鑑みれば、各特性を把握したうえで、適切なデータ融合技術の開発が求められる。

以上の認識の下、本研究では RPD と CGD を用いて、訪問率を分析することにより、データ特性を把握することを目的とする。

2. 分析データの概要と訪問地条件設定

観光客の訪問地を明らかにするにあたり GPS 等によって取得されたデータから、閾値を設けて抽出する必要がある。そこで、各データにおいて特性を考慮し訪問地条件の設定を行う。

2.1 RPD

RPD の調査概要について表-1 に示す。訪問地条件は、停車時間が15分以上であり1つ前に取得した車両位置との2点間の距離差が400m未満という設定を行った。これは、過去の調査¹⁾により、沖縄県の景勝地で実測値調査を行った際、駐車時間15分以上が90%以上を占めていたことから、訪問時間を15分と設定している。また、距離差については、RPD は80km以上走行するとプローブ情報が上書きされるといった特性を持っていることを踏まえ、前後距離に閾値を設ける。一つ前に取得した車両位置との2点間の距離の内400mまでが全データの約90%を占めているため距離差が400m未満という設定を行った。

表-1 レンタカープローブデータ調査概要

調査日程	2017年8月30日～2020年1月30日
サンプル数	260グループの877日・台数

表-2 携帯電話 GPS データ調査概要

調査日程	2019年2月11日～4月7日 2019年7月15日～9月8日
サンプル数	沖縄県外居住者 154,850 ユーザー

2.2 CGD

CGD とは、モバイル端末等の GPS 機能で得られる情報をもとに、アプリ提供事業者が提供するデータである。本研究で用いるデータの調査概要について表-2 に示す。これらに対して、前後履歴から算出される移動速度に閾値を設けることで、車両を要さない訪問地も抽出可能となる。

本研究では通常時の移動速度を考慮し、前後履歴の移動速度が毎分 80m 以下という設定を行った。加えて、GPS の機能上、地下や建物内では位置情報が取得できない点、モバイル端末の OS によって位置情報取得間隔が異なる点を踏まえ、取得間隔に閾値を設ける必要がある。そこで、1つ前に取得した位置情報との取得間隔1時間までが全データの約60%を占めていたため取得間隔が1時間以下という設定を行った。

3. GPS データ訪問地特性

3.1 訪問率の算出

各データにおいて 2. で設定した訪問地条件より訪問地の抽出を行った。その結果、RPD : 2,967, CGD : 43,579,318 の訪問地が算出された。ここで、データ間において比較を行うため、訪問地を 500m メッシュで集計し、メッシュ訪問率 P_v （訪問地点数/ユーザー数 $\times 100$ ）を各データにおいて算出した。訪問率の高さを色で示した空間分布を図-1 に示す。このように、GPS データを用いることで、従来の調査方法より細かい粒度で訪問地が明らかとなった。

キーワード：レンタカープローブデータ、携帯電話 GPS データ、訪問地

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地 E-mail : k218534@eve.u-ryukyu.ac.jp

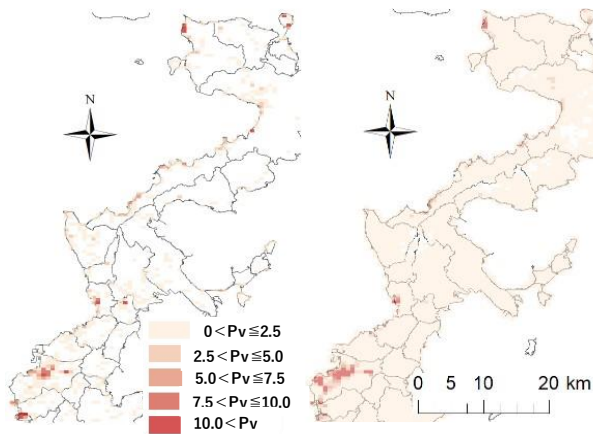


図-1 訪問率（左:RPD, 右:CGD）

3.2 GPS データ間における訪問地率分布

訪問地特性を明らかにするため、GPS データ間におけるメッシュ訪問率の分布を図-2 に示す。ここで、図-2 の各点はメッシュ内に那覇市を含む場合を赤、その他を青で表している。これを見ると、那覇市を含むメッシュは 9 割以上が CGD での訪問率が高くなっている。これは、那覇市のような公共交通利便性が高い地域では、訪問の際の交通手段としてレンタカーを選択してない可能性が高いと考えられる。また、どちらかの GPS データにおいて訪問率が 20%以上となっているメッシュについて代表的な地点を選定し、訪問率を整理（各地点において複数メッシュがある場合は平均値）した結果を表-3 に示す。No.2~4 の地点をみると、周辺にコインパーキング等が多数あるため、RPD の訪問率も 9%程度取得されたと考えらる。一方で、RPD での訪問率が高くなっている No.5~7 の地点をみると、モノレール駅が周辺にないなど交通利便性が悪いため、レンタカーを用いて訪問されていると考えられる。さらに、No.5 のような地点においては、メッシュ内に回遊エリアを多く含んでいるため CGD でも訪問率が高くなっていると考えられる。

4. おわりに

本研究では、GPS データからメッシュ訪問率を算出し、訪問率分布を明らかにすることで、データ間における訪問地の考察を行った。これより、訪問地の環境によって、データ間の訪問率は異なることが明らかとなった。

観光流動分析の際、一部のデータでは交通手段別の観光流動を把握することは難しく、各データ

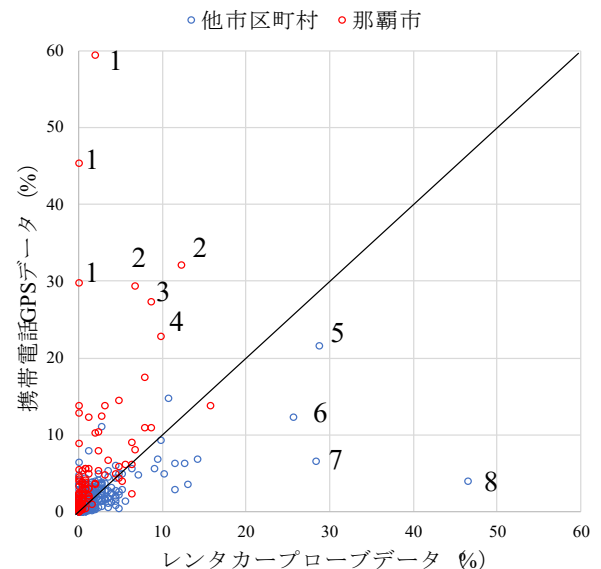


図-2 訪問率分布

表-3 地点別名称

No.	名称 (RPD 訪問率%, CGD 訪問率%)
1	那覇空港 (0.7, 44.9)
2	モノレール壺川駅 (9.5, 30.8)
3	壺屋やちむん通り (8.7, 27.3)
4	モノレール牧志駅 (9.8, 22.9)
5	海洋博公園 (28.7, 21.6)
6	アメリカンビレッジ (25.6, 12.3)
7	アウトレットモール (28.3, 6.5)
8	レンタカー貸出店 (46.5, 3.9)

において特性を踏まえ、組み合わせた分析をすることが重要である。

今後、各地域の統計データと組み合わせることで地域環境と訪問率の関係を明らかにする必要がある。

謝辞：本研究は、国土交通省による道路政策の質の向上に資する技術研究開発「ETC2.0 データの活用と評価を通じた次世代 ETC の基本設計提案」の助成を受けて実施された。

参考文献

- 1) 田中謙大, 神谷大介, 福田大輔, 五百蔵夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹, 山中亮: Wi-Fi パケットセンサーを用いた沖縄本島における観光周遊行動の実態把握, 知能と情報, 31(6), pp. 876-886, 2019.

Wi-Fi パケットセンサーを用いた外国人観光客の観光行動に関する基礎分析 沖縄県八重山地域を対象として

琉球大学 ○上地安諄 神谷大介 山中亮
東京大学大学院 福田大輔
地域未来研究所 菅芳樹

1. はじめに

沖縄県は観光産業を主要産業として位置づけ、各種施策を講じてきた。その効果もあって図-1 に示すように、沖縄県における外国人入域観光客数は増加傾向にあり、本研究の対象地域である沖縄県八重山地域（以下八重山地域）でも入域観光客数は増加している^{1), 2)}。その一方で、観光地周辺での渋滞やゴミ問題、踏圧等の観光による負の影響が顕在化してきている。

これらに対して適切な施策を講ずるためには、観光客の心理・行動の把握が重要である。つまり観光客は何の情報を基に観光地選択、交通手段選択を行っているかを判断した上で施策を講じる必要がある。しかし、未だ観光客の行動実態を把握出来ておらず、趣味嗜好や観光地に対する評価を収集する手法が確立されてない³⁾。自然環境や地域社会への影響を定量的に把握するためにも、外国人周遊実態の把握は重要であるといえる。

以上の認識の下、本研究では海外からの直行便が就航している八重山地域を対象とし、航空機で来訪した外国人観光客に着目し、周遊行動を明らかにするとともに、これらと web 情報との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 調査方法の考え方と基礎分析結果

本研究は2019年8月12日～9月28日の期間に、図-2 に示す八重山地域内の交通結節点及び主要観光地にセンサーを設置し、観測を行った。本調査機器はProbe Request（以下PR）取得と同時にMACアドレスの匿名化処理がなされ、その上でPRが記録される。本研究では匿名化したMACアドレスをユニークID（以下ID）と称し、PR受信時刻と観測地点の情報をを用いて分析を行った。詳細は上地ら⁴⁾に記す通りである。こうして得られたIDの方面別

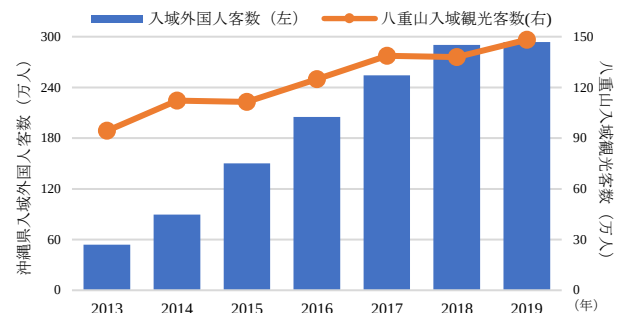


図-1 入域観光客数の推移^{1), 2)}

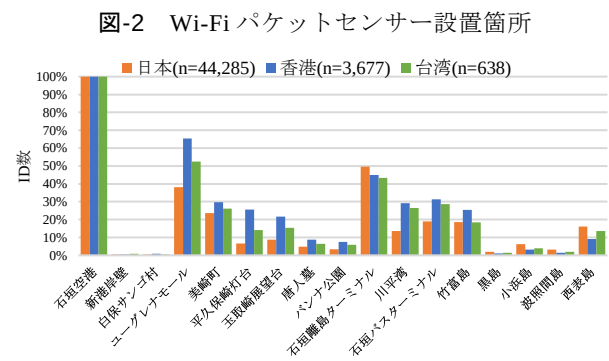
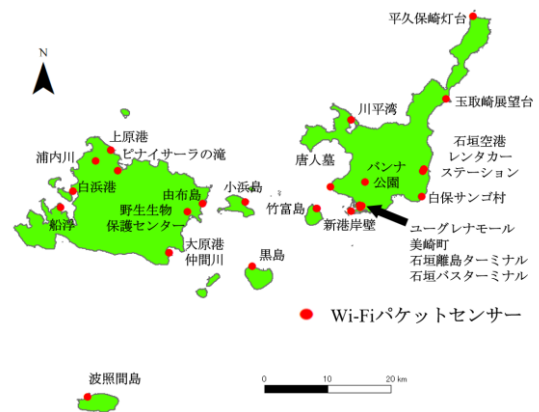


図-3 方面別訪問地選択確率

訪問地選択確率の集計結果を図-3 に示す。この結果、航空機で八重山地域に来訪した観光客の約半数が離島ターミナルを訪れており、日本人観光客の方が竹富島の島々を訪れる傾向があることがわかる。ただし、訪問が容易な竹富島のみ外国人観光客の訪問率が高くなっている。

3. web 情報の収集

対象国・地域の外国人観光客が旅行前にどのような観光情報を収集しているのか明らかにするため、「石垣」を検索ワードとして 2019 年 9 月以前のウェブサイトとブログの抽出を行った。抽出方法は上地ら⁴⁾に記す通りである。

4. 周遊実態と関心事の関連分析

web 情報に記載されている観光情報と観光行動の関連性を明らかにするため、外国人観光客の訪問率と web 情報の抽出結果に対して相関分析を行った。抽出方法は上地ら⁴⁾に記す通りである。

図-4 に示す訪問率とブログにおける単語の出現比率の比較より、竹富町内の地点への関心度は高いが石垣市内への訪問率の方が高くなっている。また図-5 に示す訪問率とブログにおける作者数比率の比較より、ユーグレナモールは台湾方面観光客にとって特に関心が高い地点であることがわかり、これらより、台湾方面の観光客の方が web 情報との相関が高いことが明らかとなった。

以上の結果より、web 情報ごとに方面別の訪問率に与える影響度が異なることがわかる。また、美崎町や川平湾などのように、訪問率は同程度であるものの関心度が異なる地点があることから、地点別の観光特性を見出すことが可能であると考えられる。関心度の低い観光地の情報が web 情報として取り上げられたり、その地点を含む新たな団体観光ツアーが組まれることで、外国人観光客の広域的な観光に繋がると考えられる。

5. おわりに

本研究では、センサーを用いた観測流動調査を実施し、八重山地域における外国人観光客の周遊実態に関する分析を行った。この結果、訪問率が方面別で差異が生じたことを明らかにした。また web 情報と観光行動の関係を分析することにより、web 情報は訪問地選択に一定程度の影響があること、さらに web 情報ごとにその影響度に差異が生じることを明らかにした。

今後は複数地点間の周遊パターンや施設滞在時間の分析や、Wi-Fi アクセスポイントデータの接続履歴データ等と融合することにより、広範囲での観光周遊行動を詳細に把握できると考えられる。

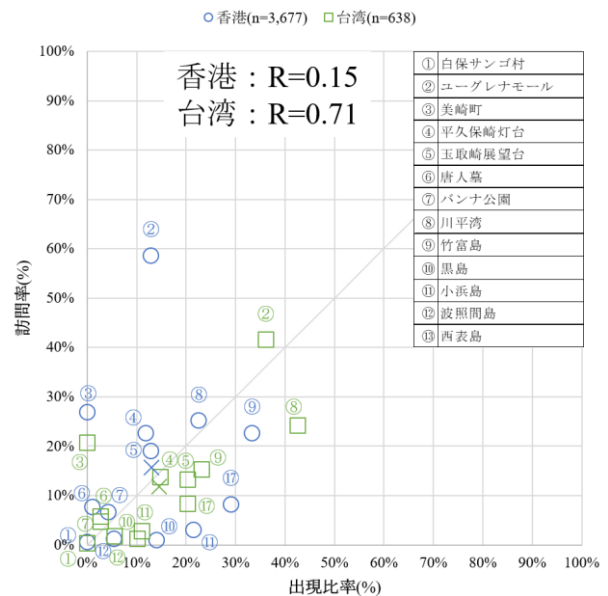


図-4 訪問率とブログにおける出現比率の比較

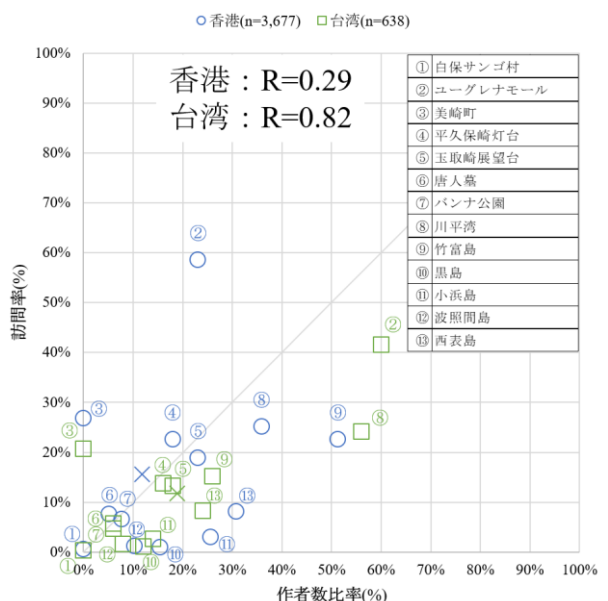


図-5 訪問率とブログにおける作者数比率の比較

謝辞：本研究は JSPS 科研費 21K12483 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 日本政府観光局 (JNTO)：年別訪日外客数，出国日本人数の推移（1964 年 - 2020 年）
https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/marketingdata_out-bound.pdf, (2021 年 9 月 14 日閲覧)。
- 2) 沖縄県：八重山観光統計，八重山入域観光客数統計概況（暦年），2000-2019。
- 3) 観光庁：平成 27 年 ICT を活用した訪日外国人観光動態調査事業実施報告書，2015，<https://www.mlit.go.jp/common/001158957.pdf>, (2021 年 9 月 14 日閲覧)。
- 4) 上地安諄，神谷大介，趙函奇，山中亮，我部新，好田徹，福田大輔，菅芳樹：インバウンド観光客の行動特性と Web 情報の関連分析 沖縄県八重山地域を対象として，土木計画学研究・論文集，Vol.64, pp.233-238, 2021。

国道329号 与那覇交差点の整備効果について

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

原戸 鉄平¹

国道329号 与那覇交差点は、接続道路である国道506号からの信号を介さない左折路の影響により合流部での追突事故が多発していた。また、交差点が大規模であることに起因した右折時事故也多発していた。これらの課題を解消し、安全な道路環境を確保するため、左折路閉鎖、右折導流線設置、合わせて左折路閉鎖による渋滞発生を予防するため直進車線、信号を介す左折車線を事故対策として実施した。

そこで、本取組における事故リスクの低減について、物損事故、ETC2.0による急ブレーキ、ビデオ調査による危険挙動を用いて、多角的な整備効果分析を行ったため紹介する。

1. はじめに

与那覇交差点は、沖縄県島尻郡南風原町与那覇の那覇空港自動車道高架下に位置する国道329号と国道506号が交差する交差点である。沿線には複合商業施設であるイオン南風原店などの商業施設や、医療施設、自動車整備工場等の工場等が多く立地している。図-1に与那覇交差点の位置を示す。

当該箇所の交通量は29,026台/日（H22センサス）と多く、那覇空港自動車道の橋脚の影響で大規模交差点となっている。また、道路構造は4車線道路でダブル右折や左折フリー車線が設置されており、事故が非常に多く発生していた。そこでイタルダデータ等を用いて事故発生特性や事故発生のパターン等を分析し、事故の原因を把握することで効果的な対策立案を行い、H31.4.8～R23.3.31に交差点改良工事を行った。

整備効果の分析方法にあたっては、対策前後の事故件数を比較することが最も有効であるが、事故件数を把握する際に使用する人身事故データの取得には年月を要することが課題となる。本稿では与那覇交差点に対して多角的視点から早期で行うことが可能である整備効果分析の実施を行ったため、その結果について説明する。



図-1 位置図

2. 与那覇交差点における整備前の課題

与那覇交差点の整備前における事故特性を以下に示す。

- 事故発生件数は、4年間で39件もの人身事故が発生しており、年々増加傾向にある（図-2）。

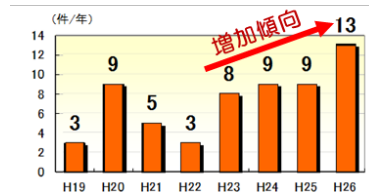


図-2 対策前年別事故発生件数

- 下り線の交差点流出部で『追突事故』、国道329号の下り線から国道506号への右折車による『右折事故』が交差点内で多く発生している（図-3, 4）。
- 昼夜別事故発生率は南部国道直轄管内平均と同等であり、湿潤時事故発生率は乾燥時が多く、2当は自動車の割合が高い（図-5～7）。

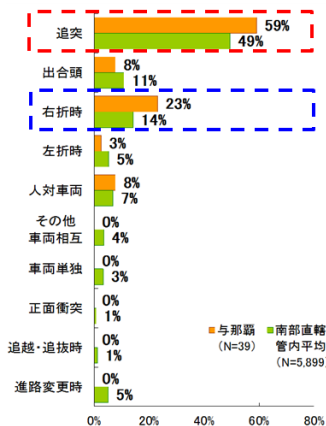


図-3 事故種類別発生割合 (H23-H26)

キーワード 交通事故、交差点改良、左折路閉鎖、事故減少、ETC2.0

連絡先 〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14 南部国道事務所交通対策課

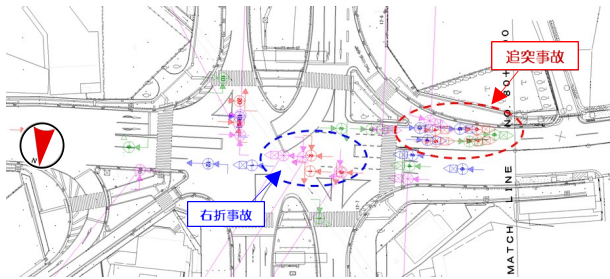


図-4 事故図 (H23-H26)

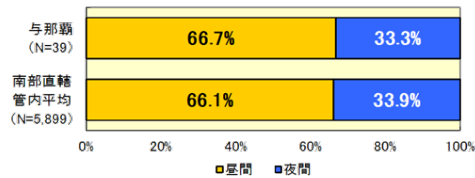


図-5 昼夜別 発生特性 (H23-H26)

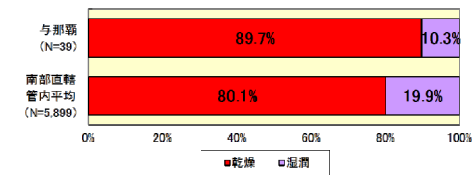


図-6 路面状態別 発生特性 (H23-H26)

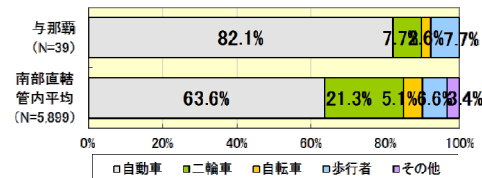


図-7 当事者2当別 発生特性 (H23-H26)

3. 事故パターンおよび実施した対策案の概要

3章で挙げた下り線の交差点流出部での『追突事故』、および国道329号の下り線から国道506号への右折車による『右折事故』に対してそれぞれ対策を行った。

下記にそれぞれの事故に対する事故パターンとともに実施した対策内容を示す。

(1) 追突事故（下り線）への対策

追突事故の事故パターンとして、信号待ちをせず左折可能な車線（以下、左折フリー車線）に対して十分な合流区間が確保されていないことが原因による『国道329号を走行する直進車が、国道506号側から左折合流する車両に阻害され急減速し後続車が追突』が挙げられた（図-8）。したがって、左折フリー車線を廃止し、直進車線、左折車線の設置を行った（図-9）。

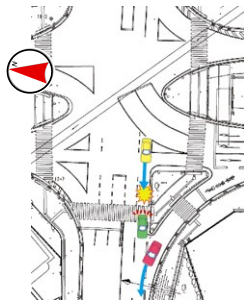


図-8 事故パターン図（追突事故）

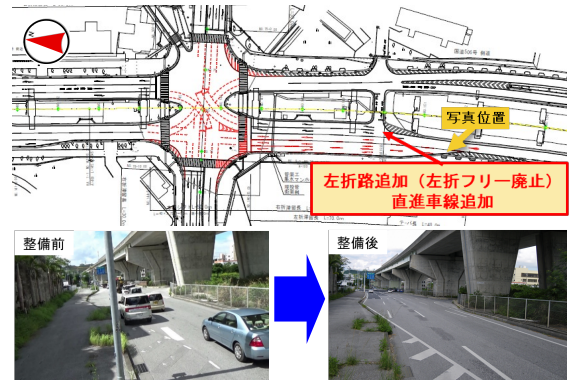


図-9 対策状況（追突事故）

(2) 右折事故への対策

右折事故の事故パターンとして、交差点規模の大きく右折動線が不明瞭ことが原因による『国道329号からの右折車が、国道506号側へ対向直進車の間隙を縫って無理に右折、更に後続右折車が追従しショートカットを行い右折対向直進車と衝突』が挙げられた（図-10）。したがって、交差点内の導流路明記を行った（図-11）。

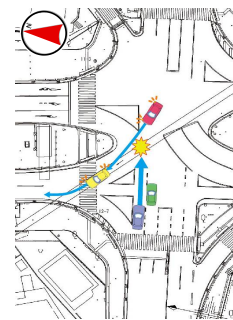


図-10 事故パターン図（右折事故）

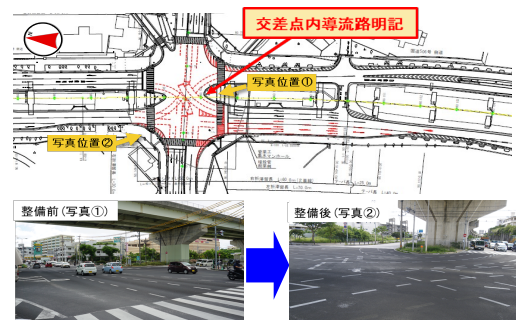


図-11 対策状況（右折事故）

4. 整備効果

(1) 本分析において用いた指標および対象期間

交通安全事業では、公益財団法人 交通事故総合分析センターにて集計された人身事故データを基礎データとして、事故発生位置や、件数、類型などから事故分析を実施する。

しかし、当該人身事故データは、県警からデータ提供の後、公益財団法人 交通事故総合分析センターに

てデータ集約、分析を実施してからの配布となることから、配布までに2年間の期間を要する。よって、人身事故データを用いた早期効果把握分析は困難であることから、別のデータを用いた効果分析を実施した。

具体的に分析項目として選定したのは、県警からの貸与により早期に入手可能であった『物損事故データ』、交通プローブのビッグデータであるETC2.0データにおける『急ブレーキデータ』、現地の危険挙動をビデオ観測によって集計した『危険挙動データ』である。整備後早期に入手可能である上記データから多角的な視点での整備効果分析を行うことで、より現実に即した分析が可能であると考えた。

分析期間としては工事期間（H31.4.8～R2.3.31）を跨ぐ形で設定した。整備効果分析に用いた分析項目及び使用データ、分析対象期間を表-1に示す。

『物損事故データ』および『急ブレーキデータ』については、検討期間を踏まえ、9月までの6か月間のデータを反映した。事前については、整備前の1年間にて分析を行った。

表-1 本分析において用いた指標ごとの対象期間

分析対象期間	H30	H31	R1	R2
工事期間	2018.4.8～2018.11.12	2018.11.13～2019.3.31	2019.4.1～2019.9.30	2019.10.1～2020.3.31
物損事故データ	2018.10.1～2019.3.31	2019.4.1～2019.9.30	2019.10.1～2020.3.31	2020.4.1～2020.9.30
急ブレーキデータ	2018.10.1～2019.3.31	2019.4.1～2019.9.30	2019.10.1～2020.3.31	2020.4.1～2020.9.30
危険挙動データ	2018.10.1～2019.3.31	2019.4.1～2019.9.30	2019.10.1～2020.3.31	2020.4.1～2020.9.30

(2) 物損事故データによる効果分析

県警物損事故データに登録されている住所をもとに、その直近の道路へのプロットを行った（図-12）。

対策を行った旧左折路合流部の事故は33件→1件に94%と顕著に減少した。交差点内の事故は7件→2件こちらも43%減少した交差点全体としては、57%減少している（図-13）。

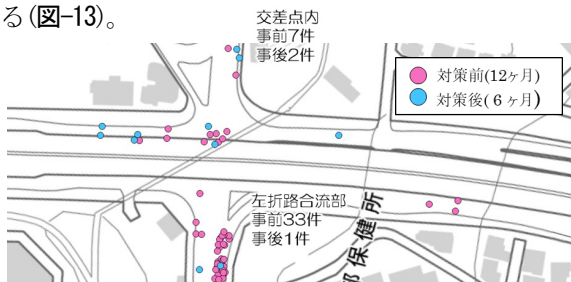
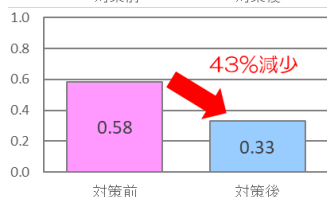


図-12 県警事故発生位置プロット図

左折合流部



交差点内



交差点全体

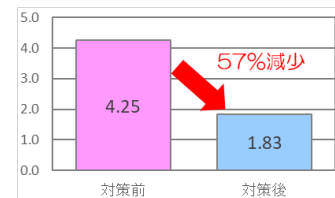


図-13 物損事故発生確率の推移（件/月）

(3) ETC2.0急ブレーキデータによる効果分析

急ブレーキデータは、抽出率の影響を無くするため、発生確率にて分析を実施した。

また、ETC2.0データに含まれる緯度経度情報から交差点付近の発生位置図を作成した。なお、期間については対策前はH30.4～H31.3(12ヶ月間)、対策後はR2.4～R2.9(6ヶ月間)とする（図-14, 15）。

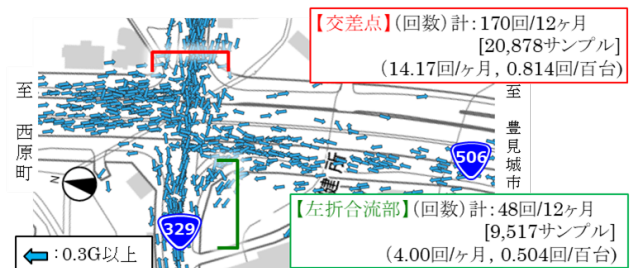


図-14 対策前（H30.4～H31.3(12ヶ月間)）

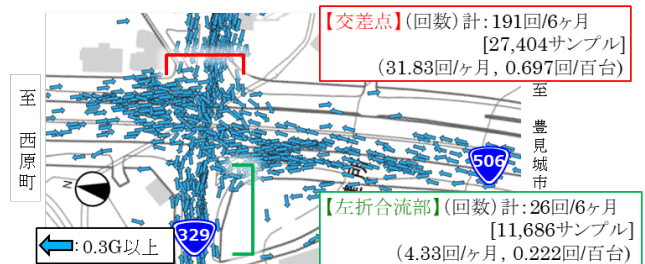
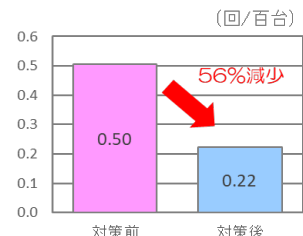


図-15 対策後（R2.4～R2.9(6ヶ月間)）

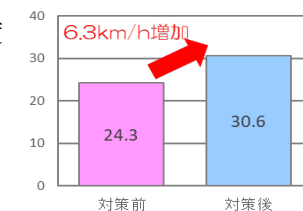
左折合流部の急ブレーキ回数としては、0.504回/百台から0.222回/百台と56%の減少となった。

減速開始時の平均速度を見ると、速度が6.3km/h上昇しており、左折導流路による直進阻害が無くなったことによる交通円滑化の効果も見られる（図-16）。

急減速発生回数



減速開始時の平均速度



減速開始時の平均速度

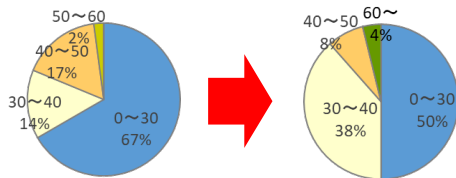
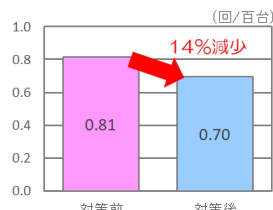


図-16 左折合流部に対しての効果分析結果

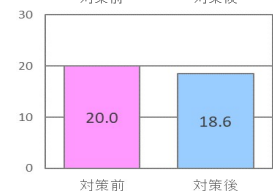
交差点内の急ブレーキ回数としては、0.814回/百台から0.697回/百台と14%の減少となった。

減速開始時の速度分布を見ると0~30km/hの割合が9%増加しており、誘導線による速度低減効果が見られる(図-17)。

急減速発生回数



減速開始時の平均速度



減速開始時の平均速度

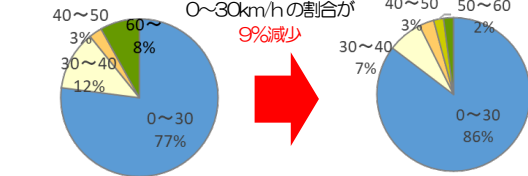
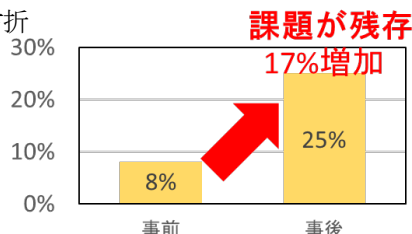


図-17 交差点内に対しての効果分析結果

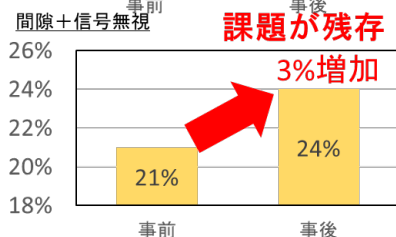
(4) 危険挙動による効果分析

危険挙動として右折事故の要因として考えられる①ショートカット右折の割合、②右折車の間隙走行、③右折車の対向直進車阻害についてビデオ調査を行い、発生挙動数を集計した(図-18)。しかしながらいずれも効果が見られず、課題が残存していると考えられる。

ショートカット右折



右折車の間隙走行



右折車の間隙走行

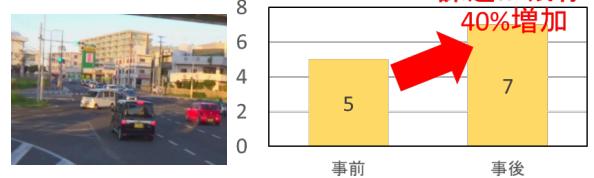


図-18 ビデオ調査結果

5. 残存課題

多角的な視点での分析を実施の際、整備効果のみではなく、依然として課題が解消されていない箇所(残存課題)について把握を行うことが可能である。

本分析では、4章(4)で示したように危険挙動として、ショートカット右折の割合、右折車の間隙走行、右折車の対向直進車阻害について、ビデオ調査を行い発生挙動数を確認したがいずれも効果がみられなかった。

対策後交差点内事故は減少しているが、いずれも右折事故の一因となりうる挙動のため、今後の事故の推移を確認し、必要に応じ追加対策の検討が求められる。

6. おわりに

(1) 多角的視点での整備効果分析の可能性

本稿では与那覇交差点に対して多角的視点から早期で行うことが可能である整備効果分析の実施を行ったため、その結果について説明を行った。

本分析においては物損事故データ、急ブレーキデータ、危険挙動データを分析手法に用いた。

今回多様なデータを用い、多角的視点で整備効果分析を実施し、どのデータでも整備効果が確認されることを確認したため、より説得力の高い整備効果分析を行うことが出来た。

合わせて、残存している課題についても把握することが出来たため、今後の事故発生状況を踏まえ、早期追加対策の可能性が見いだせることを示した。

今回実施したような多角的視点での整備効果分析を展開することで、早期に事故対策の効果把握が可能となり、その結果を対策立案時にフィードバックすることで、より効果的・効率的な交通安全事業の推進が期待される。

(2) 今後の課題

今後の課題として挙げられる事柄について以下に示す。

- ・今回実施を行ったような早期実施が可能である多角的視点での整備効果分析に対して人身事故データが取得可能となった際に、同様の傾向が見られるか精度検証が求められる。
- ・今回用いた分析方法だけでなくその他分析方法を用いることで更なる多角的面での分析を可能であることから、検証可能であるデータの検討を行う必要がある。

人中心の道路空間の構築に向けた道路占用制度を活用した取組について

伊藝 誠一郎¹・糸洲 速人²

¹沖縄総合事務局 開発建設部 道路建設課 課長補佐 (〒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 道路建設課 事業評価係 (〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1) .

那覇市国際通りでは、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により来訪者が減少しており、トランジットモールの新たな展開を目的に物販・飲食が出来る国際通りマルシェを検討していた。一方、全国的で検討が進められている「人中心の道路空間の構築」について歩行者の多い国際通りでも可能性があることから、国際通りマルシェ開催支援を契機に当局として検討することとした。

本稿では、国際通りにおける人中心の道路空間構築に向け、分析支援した結果と今後の取組について報告する。

キーワード トランジットモール、国際通りマルシェ、ビックデータ等分析

1. はじめに

那覇市の中心市街地は、戦後一貫して「国際通り」を軸として展開してきた。しかし、相次ぐ大規模商業施設の郊外への出店などによって、1985年頃から地元客や店舗数などが年々減少し、他の多くの地方都市と同様にその活性化が課題となっていた。

このような状況に対して、当時の国際通り商店街振興組合連合会（以下、連合会）、商工会議所、那覇市などが連携し、地元客を呼び込むための様々な対策が検討された結果、国際通りを魅力ある空間とするためにトランジットモール化する案が検討され、2004年度～2006年度にかけて複数回の社会実験が行われ、2007年度より本格導入となった。

本格導入から、10年以上経過した現在では取り巻く環境が大きく変化し、中心市街地の人口や事業所数の減少により県内の来訪者は減少しているものの、インバウンドを含む県外観光客の増加は好調で、トランジットモール導入当時とは違った賑わいを見せていた[図-1][図-2]。



図-1 トランジットモールの状況

■那覇市国際通り及びトランジットモール概要
国際通り区間：県庁北口～安里三叉路間約1.6km
トランジットモール区間：県庁北口～蔡温橋間約1.3km
実施曜日：毎週日曜日（※雨天中止あり）
実施時間：12時～18時の6時間

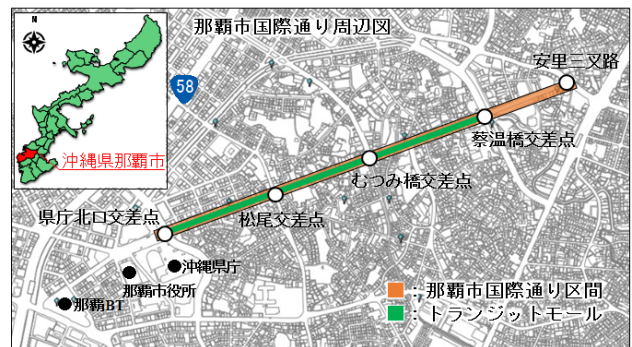


図-2 那覇市国際通り区間

2. 国際通りが抱える課題

2020年度初頭から新型コロナウイルス感染症の影響により、沖縄県への入域観光客数は減少した。月別の入域観光客数では、夏のピーク時期である8月において前年度来訪者数100万人に対し、2020年度では約20万人まで減少している[表-1][図-3]。

国際通りでも同様に来訪者数が減少しており、さらに度重なる緊急事態宣言により国際通り沿線店舗の半数以

上が休業、中には廃業・撤退する店舗等も発生している状況となっている。

表-1 月別入域観光客数

	2019年度	2020年度		2019年度	2020年度
4月	851,400	77,300	9月	851,300	227,600
5月	834,900	44,000	10月	809,300	341,200
6月	868,200	144,100	11月	799,200	381,100
7月	963,600	277,300	12月	755,100	326,200
8月	1,021,200	202,800	1月	727,800	144,000

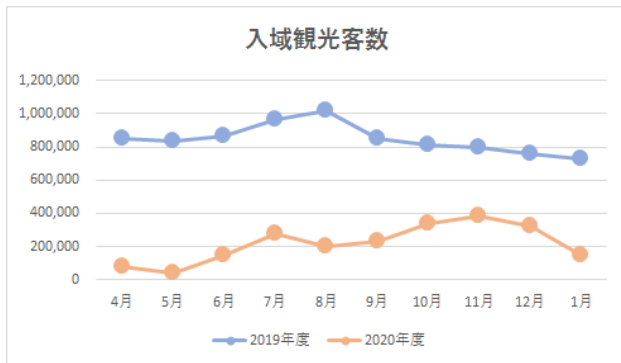


図-3 入域観光客数比較

3 国際通りマルシェの概要

国際通りトランジットモールを活用した「国際通りマルシェ」では、歩行者動線や安全性に十分に配慮した上で、トランジットバスが走行しない車線を飲食・物販を行う空間として活用した。

国際通りマルシェは2020年7月26日（日）から開始され、7月以降は沖縄県独自の緊急事態宣言（8月上旬～9月上旬、1月中旬～2月下旬）等による中断をはさみつつも、基本的には毎週日曜日のトランジットモールに併せて取組が継続されている。

場所：国際通り県庁北口交差点付近（下図赤色箇所）
日時：トランジットモール開催する日曜日（14～17時）
内容：飲食、物販、オープンカフェ
備考：トランジットバスを考慮したガードフェンス設置
コロナ感染対策として、検温・手消毒

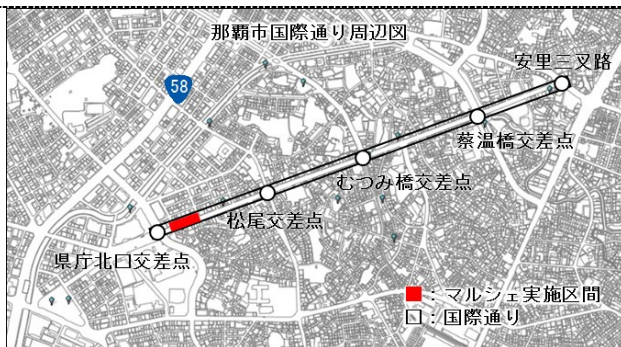


図-4 マルシェ実施区間

4. 沖縄総合事務局としての取組

(1) 道路占用手続きの技術支援

コロナ禍における道路占有の特例措置を活用し[図-5]、国際通りマルシェ（トランジットモール実施中における道路上での飲食・物販）の実施に向けた道路占用申請するにあたって、技術支援を行った。

申請に当たり、連合会、道路管理者（沖縄県）、交通管理者（那覇警察署）それぞれと意見交換を実施した。

国土交通省道路局長
地域の活性化等に資する路上イベントに伴う道路占用の取扱いについて

近年、地域の活性化や都市における賑わいの創出等の観点から、地方公共団体や地域住民・団体等が一体となって取り組むイベントの活用として、道路が注目されており、このようなイベントに伴う道路占用の許可については、別添の参考資料のとおり「規制改革・民間開放推進3か年計画（平成16年3月19日閣議決定）」や「地域再生推進のためのプログラム（平成16年2月27日地域再生本部決定）」において、その弾力化に向けた措置が求められているところである。

しかしながら、道路が国民の負担により建設管理される公共物であることや、道路への物件の設置は、特定人による排他的な使用となる要素があることから、道路の活用にあたっては、公共的な要素等を判断基準としているところである。

このため、道路の活用に対する要請に応えつつ、適切な道路の管理が図られるよう、別紙のとおり許可基準を定めたので、地域の活性化等に資する路上イベントに伴う道路占用の許可に当たっては、下記事項に留意の上、その取扱いに遺憾のないようにされたい。

なお、本通知の内容については、警察庁交通局と調整済みである。

また、路上イベント等の地域活動を実施しようとする者を対象に、本通知と同趣旨の内容を盛り込んだ地域活動の円滑化のためのガイドラインを別途策定、公表することとしており、当該ガイドラインについても過って送付するので参考とされたい。

図-5 道路占用の取扱いについて

(2) 歩行者回遊性把握のための分析

国際通り及び周辺エリアの歩行者の回遊状況及び来訪者意見を把握するため、Wi-Fi調査、アンケート調査、ビデオ調査を実施した。

a) Wi-Fi調査

当該調査では、Wi-Fiスキャナーを国際通り沿線の施設・店舗へ設置し、マルシェ開催時及び滞在時間の分析を行った。

マルシェ開催・未開催時の区間別平均滞在時間（歩行者交通量と滞在時間を掛け合わせたもの）の比較では[図-6]、マルシェ未開催時「県庁北口」（17,034人・分/日）より、「松尾」（22,007人・分/日）が多かったのに対し、マルシェ開催時は「県庁北口」（35,763人・分/日）が「松尾」（34,819人・分/日）より多くなり、国際通りマルシェが当該区間の歩行者回遊性に影響を与えていると観測された。これは区間別平均滞在時間の結果において[図-7]、隣接する「松尾」ではマルシェ未開催時：4.6分、開催時：4.8分とあまり滞在時間の変化が見られなかったのに対し、マルシェ開催地である「県庁北口」ではマルシェ未開催時：5.2分、開催時：7.0分と滞在時間が増加したことから、区間別平均歩行者交通量ではマルシェ未開催時「県庁北口」（3,223人/日）、開催時（5,105人/日）と増加したことが要因と考えられる[図-8]。また、Wi-Fi設置からマルシェ開催時にはマルシェ開催区間以外でも全体的に歩行者交通量が増加している。

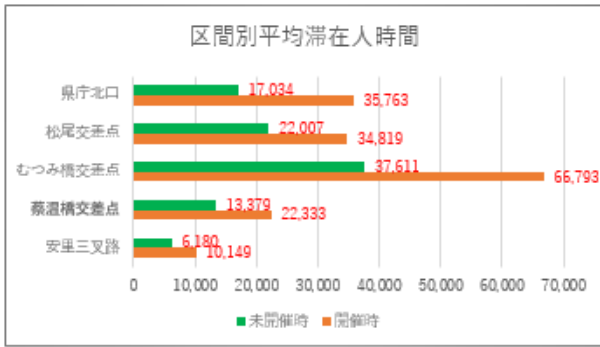


図-6 区間別平均滞在人時間

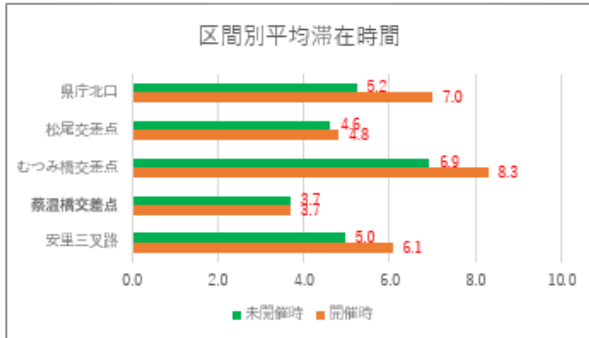


図-7 区間別平均滞在時間

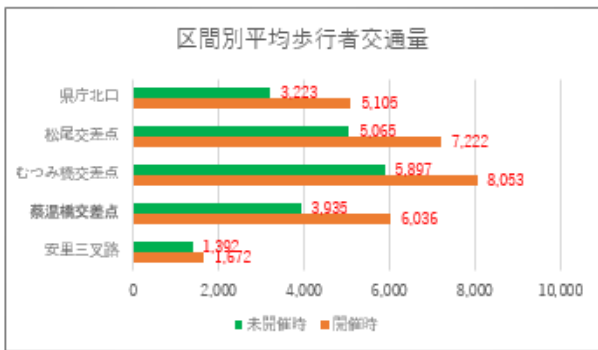


図-8 区間別平均歩行者交通量

b) アンケート調査

国際通りに来訪する人（県内居住者・県外居住者）を対象にアンケートを実施した。

この結果、消費金額について県内居住者のマルシェ未開催時と開催時の比較すると、「牧志」を除く4区間で2,000円以上消費した割合が増加している。特にマルシェ開催地付近である「県庁北口」「松尾」では2,000円以上消費した割合が20%以上増加しており、マルシェ開催が影響したと推測される[図-9][図-10]。

また、県外居住者についてもマルシェ開催地付近である「県庁北口」「松尾」で4,000円以上の消費割合が増加している[図-11][図-12]。

この結果、マルシェ開催区間で回答した人の消費金額が県内外を問わず大きくなっていることが分かる。

(実施期間：7/26, 9/13, 10/11, 11/22, 12/13)

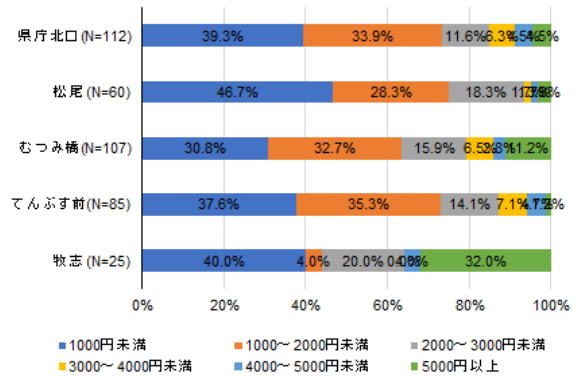


図-9 マルシェ未開催（県内居住者）

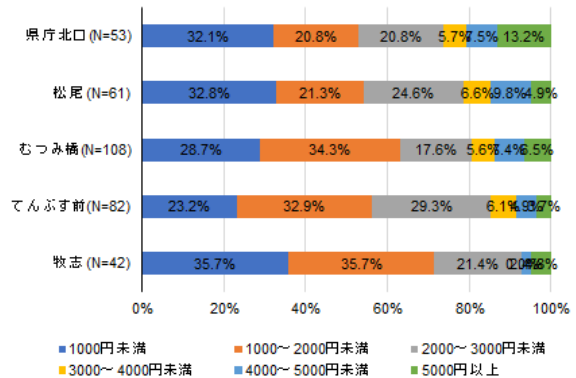


図-10 マルシェ開催（県内居住者）

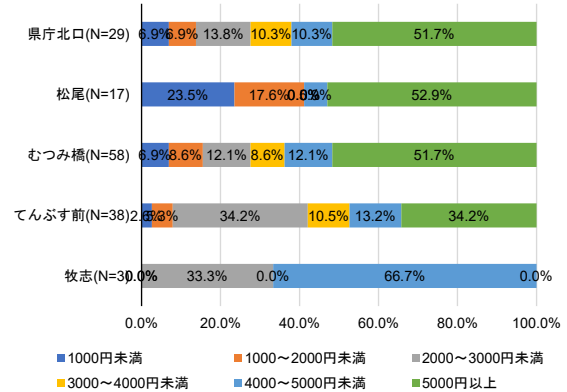


図-11 マルシェ未開催（県外居住者）

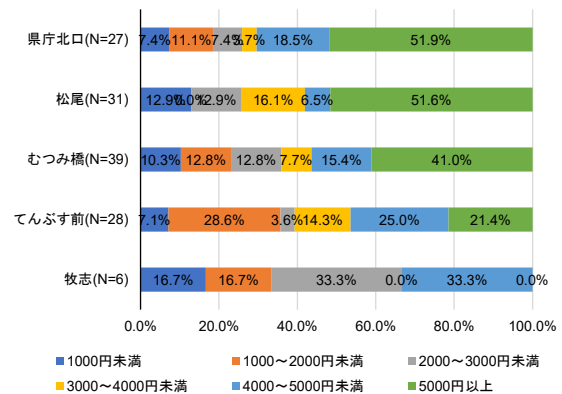


図-12 マルシェ開催（県外居住者）

c) ビデオ調査

マルシェ開催時、未開催時におけるビデオ調査では、通常は歩行者の滞留がありみられない県庁北口区間において、歩行者の滞留を確認できる。

また、トランジットバスとマルシェ利用者との交錯を考慮した安全対策であるガードフェンスが設置されている[図-13]。一方、当該ガードフェンスにより歩行者フェンスを迂回するケースも見られる。

今後、連合会が検討するマルシェの縦断展開及び人中心の道路空間の構築を考慮すると、マルシェへのアクセス性及びフルモールの導入等、引き続き検討が必要と考えられる。



図-13 トランジットバス通過時の様子

(2) 国際通りマルシェの効果

「地域の活性化等に資する路上イベントに伴う道路占用制度」を活用した国際通りマルシェの効果として以下のとおり一定のエビデンスが確認できた。

一方でコロナ感染の影響で、国際通りマルシェ開催が限定的となっていたため、引き続き調査を行う必要性があると考えられる。

○本来通貨区間であった県庁北口において、滞留時間の増加（Wi-Fi調査）、賑わいの創出（ビデオ調査）がみられた。

○マルシェ開催区間・未開催区間別では、開催区間において消費金額に差がみられた（アンケート調査）。

5. まとめ

コロナ感染を機に始まった国際通りマルシェは、当該エリアの賑わい創出の可能性を示唆し、人中心の道路空間の構築を検討するきっかけとなった。一方で、全国有数の観光拠点である国際通りの在り方は地域住民、沿道商業施設が話し合い、今後の新たな展開に向けた方向性を定める必要があると考えられるが、具体的な検討はこれからである。また、今後の展開を進める上で、関係行政機関手続きや地域とのコンサルタントを図るためのエビデンスが求められる。当局としては、地域が示す方向性を踏まえ、国際通り周辺の調査・分析を継続し、また道路占用に係る技術支援を行うことで、人中心の道路空間の構築についても検討を行ってまいりたい。

Session 3 整備・建設

沖縄県における「i-Construction」 の取組状況について

村吉 政人

沖縄県 土木建築部 技術・建設業課（〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎 1-2-2）

E-mail: aa060119@pref.okinawa.lg.jp

建設業は、社会資本インフラ整備・維持管理、災害時対応等を担う「地域の守り手」として社会全体において重要なポジションです。しかし、全国的に建設業では、就業者の高齢化が進み 29 歳以下の就業者が約 1 割程度となるのに加え、今後も建設業全体の就業者数が減少傾向になると予想されており、建設業の担い手不足は大変深刻な状況にあります。

また、担い手 3 法の趣旨にも関連し、現在、建設業全体で取り組んでいる、若者や女性が働きやすい、より魅力ある建設業を目指すことが、将来の担い手確保及び公共工事の品質向上・安心安全に繋がっていくと考えています。

この状況において、建設現場の生産性向上を目指した i-Construction は、建設現場を新 3 K（給与が良い、休暇がとれる、希望がもてる）の「希望がもてる」魅力ある現場へと推進すると考えています。

沖縄県の土木工事では、ICT 活用工事について平成 29 年度から、BIM/CIM については、令和 2 年度から取り組んできており、その取り組み状況及び今後について紹介します。

1. ICT 活用工事への取り組み

(1) 背景

沖縄県では ICT 活用を促進するため、令和 2 年度に要領の改定を行いました。改定の背景として

- ・沖縄県における ICT 活用工事の件数が、3 年間で 5 件と、他県に比べ大幅に少ないこと。
 - ・国の動きとして、ICT 活用工事を大きく推進して頂いていること。
 - ・沖縄県内建設産業の現状として、高齢化が進んでおり、若手入職者が減少し、その結果、働き手が少ないこと。
- と言った状況があり、建設現場の生産性向上及び安全性向上が急務となっていることから、ICT 活用を更に促進する必要性がありました。

(2) 課題

沖縄県において、ICT 活用工事が進んでいない課題抽出のため、平成 29 年度から令和元年度に ICT 活用工事を実施できなかった工事受注者へアンケートを行ったところ

- ・『3 次元測量機器』の確保が難しい、高価である。

- ・『ICT 建設機械』の使用料等が高額である。

と意見があり、他県の事例を参考に、比較的安価で、中小規模工事においても ICT（3 次元）施工技術の部分的な活用ができる仕組みが必要と考えました。

(3) 対応

「ICT（3 次元）施工技術の部分的な活用」について、まず取り組んだのが要領の改定です。

令和 2 年度に改定を行っており、主な改定の内容としては

- ・国の要領や、他県の工夫を参考に、ICT 活用工事の適用工種を拡大し、工種の選択幅を広げ
- ・更に、受注者の希望により「ICT（3 次元）施工技術」を選択できるものとなりました。

図-1 が沖縄県の ICT 活用工事の各工種適用一覧です。「●（くろまる）」が ICT（3 次元）施工技術を必須とした項目で、「○（しろまる）」が従来手法の選択ができる項目です。

例えば、受注者希望型の ICT 土工では、「② 3 次元

設計データ作成」及び「⑤ 3次元データの納品」を ICT 活用工事における必須項目としておりますが、小規模工事においても活用可能性の高い「④ 3次元出来形」等は、受注者の希望で選択できるようになっています。

ICT活用工事 試行要領(改定)について

【参考】沖縄県ICT活用工事一適用一覧(R2年9月1日以降新)

○3次元設計データ作成
○3次元データ納品の
実施でICT活用工事と認められます。

工種	【発注者指定型】		【受注者希望型】									
	ICT施工	ICT設計	ICT施工	ICT設計	ICT施工	ICT設計	ICT施工	ICT設計	ICT施工	ICT設計	ICT施工	ICT設計
①三次元起工測量	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
②三次元設計データ作成	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
③ICT建設機械による施工	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
④三次元出来形(仮設)管理等の施工	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤三次元データの納品	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注1 ICT(3次元)施工機械、従来手法が適用できる。
注2 ICT(3次元)施工機械に限定。【本工種におけるICT活用工事実施要領】によるICT施工機械。
注3 ICT(3次元)施工機械に限定。【本工種におけるICT活用工事実施要領】によるICT施工機械。
注4 ICT(3次元)施工機械に限定。【本工種におけるICT活用工事実施要領】によるICT施工機械。

図-1

(4) 実施状況

沖縄県の土木工事における、ICT 活用工事の実績は、平成 29 年度から令和元年度の 3 年間で 5 件でした。

令和 2 年度の要領改定で ICT 活用工事の工種拡大及び「ICT (3 次元) 施工技術」を選択できるようになった効果もあり、令和 2 年度は、10 件の工事で ICT 活用工事に取り組んで頂きました。更に、令和 3 年度は、11 月時点で 12 件の工事で ICT 活用工事に取り組んでいます。

(5) ICT 活用工事の事例・効果

令和 2 年度の小規模工事の事例として舗装工及び路盤工における、TS 出来形を実施した浦添西原線の工事を紹介します。

令和2年度—ICT活用工事の実施状況

ICT活用工事(ICT舗装工)【浦添西原線(基干路~小那覇)道路改良工事(R2-1)】

○工事概要
施工面積:約1,000m²

ICT舗装工
場所:沖縄県 西原町
工種:ICT舗装工
ICT施工技術
○3次元起工測量
UAV(ドローン)
○3次元設計データ
作成
○ICT建設機械
—舗装機
○3次元出来形管理/出来高管理
TS出来形
○3次元データ納品
ICT技術-導入の結果

○起工測量
従来:延べ16人(期間9日、作業7日+内業2日)想定
今回:UAV延べ11人(期間9日、作業1日+内業8日)
※点検における作業、またより等の処理で時間を要した。
⇒人工3割削減

○出来形管理
従来:延べ32人(5名×3日×2回+2日(内業))
今回:延べ6.5人(2名×3日×1回+0.5日(内業))
※初めてのTS出来形で、設備計測に時間を要した。
⇒人工5割削減

13

a) 施工面積は約 1,000m² で、活用した ICT (3 次元) 施工技術は、3 次元起工測量において、UAV による写真測量及び 3 次元出来形管理において、TS 出来形を実施しました。

b) 効果として

- ・起工測量では、従来の縦横断測量と比較し、延べ人工で約 4 割削減。
 - ・出来形では、延べ人工で約 7 割削減できました。
- 特に、TS 出来形では、外作業の観測データを、パソコンへ取り込みするだけで、出来形管理図の作成ができ内業も大幅に削減できました。

このように、ICT 活用工事件数も着実に増加してきており、施工効率改善の効果も確認できています。

2. ICT 活用工事の新たな課題

しかしその一方で、ICT 活用工事の対象全工事における、取り組み実施率は、約 40%から 50%となっており、国の実施率である約 80%には、遠く及ばない状況です。

(1) 実施率

令和 2 年度では、対象全工事 20 件に対して、10 件の工事で実施となっておりますが、令和 3 年度では、対象全工事 27 件に対して、12 件の工事で実施予定となっております、ICT 活用工事の実施率が伸び悩んでいる状況です。

(2) 要因分析

各企業が ICT 活用の取り組みに躊躇している要因としては、ICT 活用工事の受注者・発注者の協議方法や、機材・ソフトの操作等で不安がある受注者が多いことが考えられます。

3. 新たな課題の抽出

沖縄県では、新たな課題である ICT 活用工事の実施率向上のため、令和 2 年度に ICT 活用工事を実施できなかった受注者に対して直接面談若しくは電話でヒアリングを行いました。

意見として多かったのは、

- ・「ICT 活用工事への取り組み方が分からない。」
 - ・「ICT 活用のメリットを把握できていない。」
 - ・「ICT 活用工事の要領等の、適用範囲が分からない。」
- との意見が多くありました。

また、ICT 活用工事に取り組めない課題としては

- ・県内 ICT 活用工事の実施状況・事例等の情報の不足。
- ・ICT 活用工事の受発注者協議方法、機材・ソフトの操作等で不安があり、実施に至っていない受注者が多い。
- ・3 次元測量、3 次元設計データ、ICT 建機、3 次元出来形等、相談する相手(業種)が多い。

などが把握できました。

4. 新たな課題への取り組み

新たな課題である ICT 活用工事の実施率向上に加え、工事受注者ヒアリングで把握できた課題解決のための、

沖縄県の取り組みを紹介します。

(1) 講習会

令和2年度より国の支援を受け、受注者・発注者合同の講習会を実施しています。受注者・発注者の ICT 施工技術者を育成し増やすことで、お互いに相談しやすい環境づくりをし、ICT 活用工事の実施率向上につながることを期待しています。

講習会では

- ・沖縄県の「ICT活用工事実施要領」の説明
- ・事例紹介として、工夫された活用方法や効果などを紹介しています。
- ・また、実演習として、3次元設計データを実際に受注者・発注者合同で作成し、TS 出来形を体験して頂き、取り組みやすい環境・意識の改善をはかっています。



(2) 相談対応

そのほか、受注者・発注者の不安を解消するため、沖縄県土木建築部の工事受注者を対象に、ICT 活用工事の要領等に関する相談対応にあたっています。

また、受注者・発注者の希望に応じて、沖縄県 技術・建設業課が受注者・発注者の打合せ協議に参加し、助言など行っています。

最近では

- ・3次元設計データの作成範囲の相談
- ・3次元出来形管理の方法、選択の相談が多くあります。

5. ICT 活用工事の今後

沖縄県では、令和5年度以降に3次元出来形に加え、ICT 建機の建設現場への導入を推進する計画です。

令和2年度から実施している、「3次元設計データ作成」「機器及びデータの活用」に関する講習会に加え、令和4年度以降に、ICT 建機の活用につながるような研修等を検討しています。

特に、ICT 建機の導入で期待しているのは

- ・建設現場における施工前の丁張り削減

- ・施工履歴による出来形管理

であり、施工履歴による出来形管理の効率化は、令和2年度の河川浚渫工で確認されており、更に ICT 活用工事の推進をはかります。

6. 新たな取り組みとして BIM/CIM

沖縄県では ICT 活用工事に加え、計画、設計、施工、維持管理の各段階で業務改善をはかるため、令和3年度より BIM/CIM の業務への活用に取り組んでいます。

令和3年度では、1件の業務で BIM/CIM に取り組んでおり、施工段階における CIM モデルの効率的な活用を行っています。

(1) BIM/CIMの発注者における効果

施工計画の検討において、各施工段階の「CIM 及び現況点群データ」を活用し、仮設足場の位置、機材の搬入位置、既設電線等の支障物件が把握でき、発注者による事前の協議・手続きが可能となり、工事の工期に影響がある課題の回避ができます。

また、搬入予定重機の作業範囲と隣接建物の詳細な「とりあいチェック」を行うことで、搬入可能な重機の規格等が確認できます。

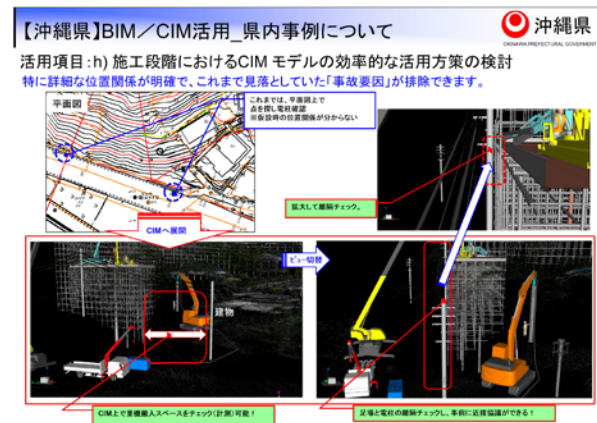
住民説明会では、現況と計画を自由な目線で見られるため、施工中や、完成後の現場状況が、「誰でも簡単に把握でき」、円滑な説明に活用できます。

(2) BIM/CIMの工事受注者における効果

工事受注者にとっては、これまでの2次元図面と比べ3次元 CIM により現場が把握しやすくなります。施工計画作成にあたって、現場の施工中や、完成後がイメージし易くなり、機材の搬入位置や、作業中の空きスペースが確認でき、詳細な機材の搬入時期を計画できます。

また、安全管理の検討として、施工段階の現場を、あらゆる目線から確認でき、安全対策が必要な場所等を予想し対策できます。

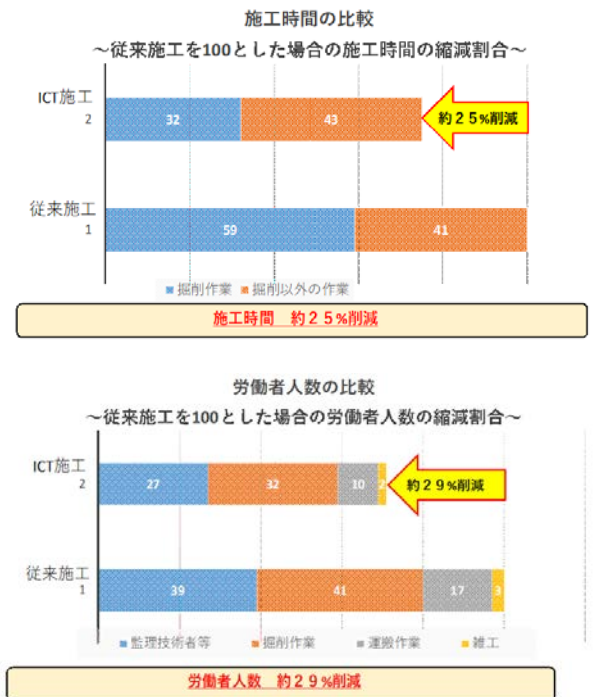
若手技術者の補助として、現場経験が浅い技術者や、新規入場者へ造るイメージを伝達しやすくなります。



7. 波及効果

ICT 活用工事では、施工の効率化の波及効果として、現場での施工時間などの削減ができ、働き方改革等にも寄与しています。

令和2年度の ICT 河川浚渫では、現場の施工時間は約 25%の削減で、特に河川内の掘削作業は約 50%削減することができました。また、延べ労働者人数は約 29%の削減で、現場を管理する監理技術者は、約 30%削減することができ、工期全体で週休2日も確保できました。



8. まとめ

沖縄県では、今後とも、建設現場の生産性向上を目指した「i-Construction」に取り組むこととし、併せて、遠隔臨場、WEB 打合せなどにも引き続き取り組み、建設現場を「希望がもてる」魅力ある現場へと推進して参ります。

(2) 南部国道事務所におけるBIM/CIM活用検討

BIM/CIM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、あわせて事業全体にわたる関係者間で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受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものである。（図-2）

南部国道事務所は、BIM/CIMを活用し3次元データの活用やICT等の新技術の導入を加速化する「i-Constructionモデル事務所」に指定され、事業の効率化を目指しており、円滑に事業を推進するために委員会を立ち上げ、その方策等について検討を行っている。表-1に調整検討会議及び検討委員会の審議内容を示す。



写真-1 検討委員会実施状況写真

「南部国道事務所におけるBIM/CIM活用検討委員会」では、小禄道路の3Dモデルデータを、設計段階・施工段階・維持管理段階において活用するにあたり、表-1の審議内容について、活用場面の提案やその効率化の効果等について議論を行い、費用対効果を考慮した活用方針及びそれに伴う3Dモデルデータの整備や更新方針を審議している。

委員会には、アドバイザーとして学識経験者を迎え、技術副所長、調査課長、工務課長、管理課長、交通対策課長、防災情報課長、出張所長等が参加し、各課におけ

る現状の課題を踏まえた設計段階・施工段階・維持管理段階の活用についての意見を集約し反映している。

表-1 南部国道事務所におけるBIM/CIM活用検討委員会

委員会・調整会議	審議内容
令和元年度 第1回BIM/CIM活用検討委員会 (2020年2月開催)	小禄道路BIM/CIM活用の基本方針について
令和2年度 第1回BIM/CIM活用検討調整会議 (2020年12月開催)	設計段階・施工段階・維持管理段階において活用できる小禄道路3Dモデルの詳細度更新箇所について
令和2年度 第2回BIM/CIM活用検討調整会議 (2021年1月開催)	設計段階・施工段階・維持管理段階において活用するために、小禄道路3Dモデルに付与すべき属性情報について
令和2年度 第2回BIM/CIM活用検討委員会 (2021年5月開催)	

審議の結果、設計・施工段階では部材取り合い確認が必要となり、かつ維持管理段階では漏水等で損傷しやすく留意が必要となる橋梁桁端部や支承部付近は3Dモデル詳細度を更新して活用できる方針とした。また、沖縄特有の頻繁に発生する豪雨等に対する活用場面を想定して周辺の排水計画等の属性情報も考慮する方針とした。

3. 設計段階におけるBIM/CIM活用

(1) 関係者との合意形成を目指したBIM/CIM活用

橋梁計画に際し、警察、交差道路管理者、沿道の商業施設、地元自治会等、多くの関係者と協議を重ね合意形成する必要があった。関係者の多くは、専門知識を有さないため、専門的な図面では理解を得るのに時間を要するため、視覚的にわかりやすいBIM/CIMの3次元モデルを活用した。

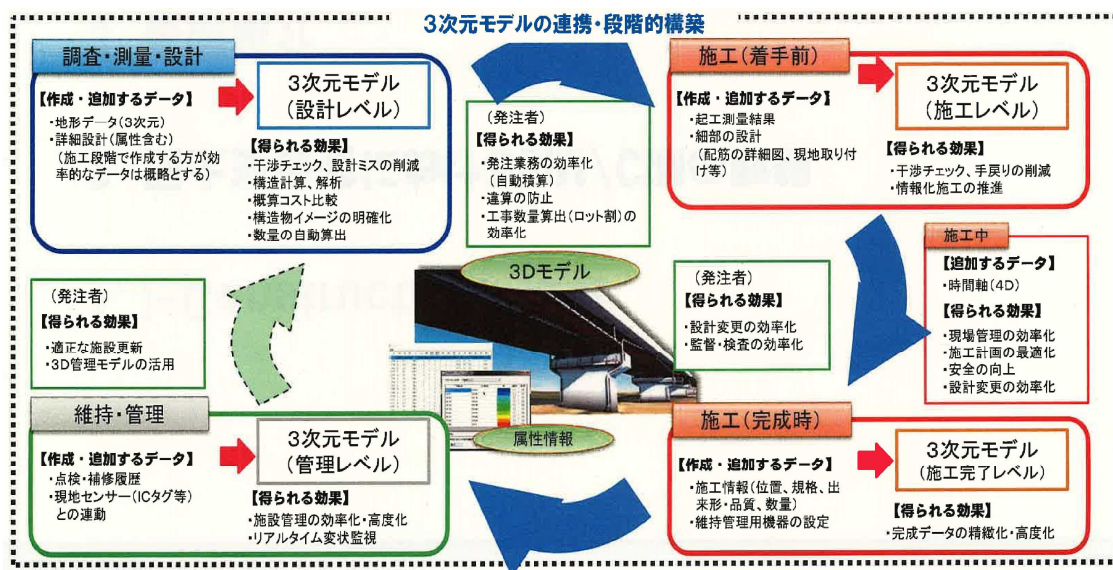


図-2 BIM/CIMの概要¹⁾

(2) 広域統合モデル作成

広域統合モデルは、橋梁区間約1.9kmを対象として作成した(図-3)。地形モデルは、国土地理院の基盤地図情報を活用し、テクスチャー画像として航空写真を貼り付け、施工上のコントロールとなる主要な建家等についてもモデル化した。土工形状モデルは、国道331号一般部及びランプ橋台に接続する擁壁を対象とした。また、構造物計画モデルは、橋梁上部構造、下部構造、基礎構造を詳細度300相当で作成した。横断歩道や停止線等の交差点形状と橋脚位置の取り合いについては、特に留意して外形形状を精度よくモデル化した。また、協議時にスムーズに理解を得るため、アニメーションにより沿道利用者の目線での事業計画の全体概要をわかりやすく表現した(図-4)。



図-3 小禄道路橋梁部の広域統合モデル

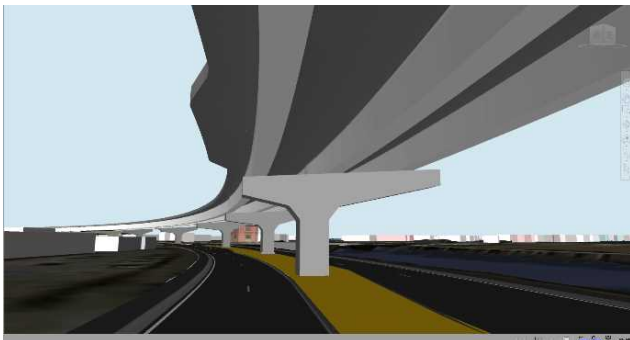


図-4 小禄道路橋梁部のアニメーション

(3) 施工ステップモデルの作成

小禄道路は、供用中の国道331号一般部上空に架設される橋梁であり、施工段階において現道利用者や沿道の商業施設、周辺の住民に与える影響が大きい。施工計画において、現道切り回し等を行うことで極力4車線を確保するものとし、交通規制は限定的なものに留める計画とした。

施工計画についても、関係者との合意形成は必須であり、施工状況を正確かつ明瞭に伝達する手法としてCIMモデルを活用した。施工ステップモデルは、広域統合モデルをベースとした詳細度300相当の構造物モデルに加え、切り回し道路、施工重機、資機材等のモデル化を行った。(図-5～図-7)



図-5 小禄道路の施工ステップモデル(基礎工の施工)



図-6 小禄道路の施工ステップモデル(鋼製橋脚の架設)

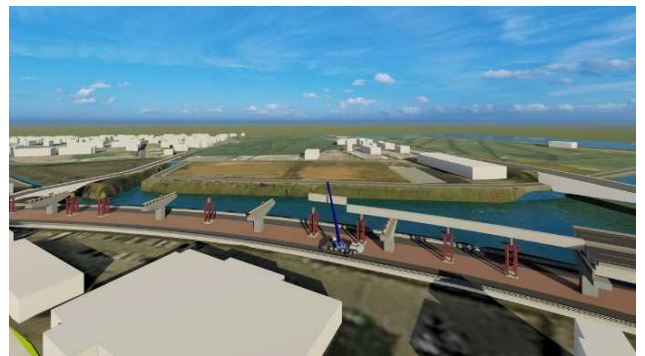


図-7 小禄道路の施工ステップモデル(鋼上部工の架設)

(4) フロントローディング

設計ミス防止や施工時手戻り防止の観点から、図-8に示す3Dモデルの箇所について、詳細度をLOD400に更新して、設計成果を可視化することにより部材干渉や維持管理空間確保等の確認を実施した。

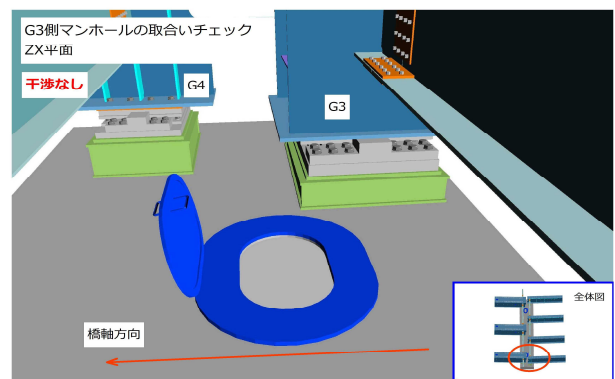


図-8 架け違い鋼製橋脚の支承周りの取り合いチェック

また、鋼製橋脚アンカーフレームとフーチング鉄筋の干渉確認を実施した。（図-9）

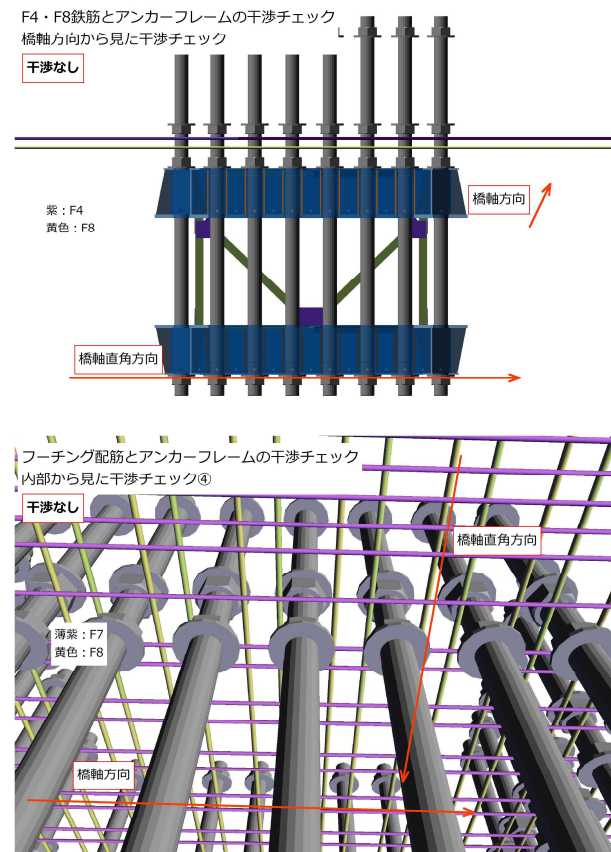


図-9 鋼製橋脚アンカーフレームと鉄筋の干渉チェック

4. 後工程への連携

(1) 契約図書の機能を具備する3Dモデルの構築

施工段階での活用を前提として、小緑道路の広域統合モデルをベースに橋梁構造物の幾つかを対象として、工事発注用契約3Dモデルを作成した（図-10～図-11）。3D面を指定しそこから切り出した断面及び空間に必要な寸法を表記した。「3次元モデル表記標準(案)」に従い、契約図書としての要件を備えたBIM/CIMモデルを作成し、設計条件や関連する制約事項等に着目し、作成した3次元モデルと2次元図面との整合性を確認した。

(2) 後工程へ引き継ぐための属性付与

3Dモデルを対象として、工事段階や維持管理段階へ引き継ぐための属性情報を付与した。ガイドラインに沿った属性情報以外に、南部国道事務所におけるBIM/CIM活用検討委員会にて審議した沖縄特有の条件や当該事業の特性等から追加すべき属性情報も含めて付与した。

5. 今後の課題

BIM/CIM活用においては、設計段階における合意形成や

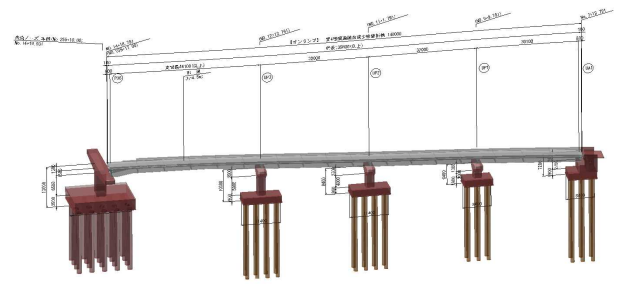


図-10 3Dモデル（小緑道路名嘉地オンランプ橋）

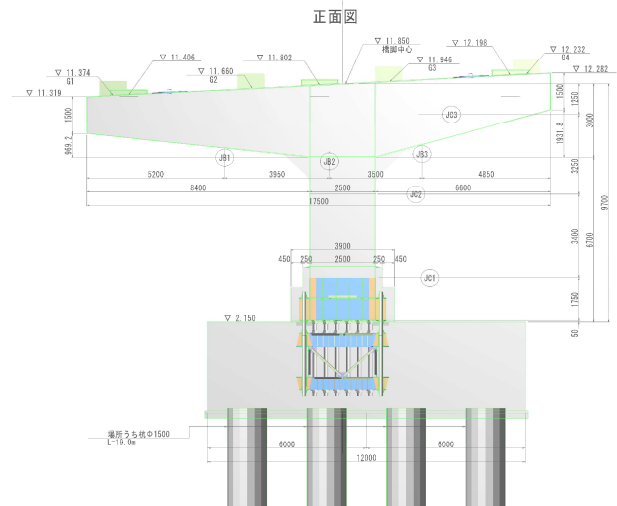


図-11 3Dモデル切出し断面図（架違いP30鋼製橋脚）

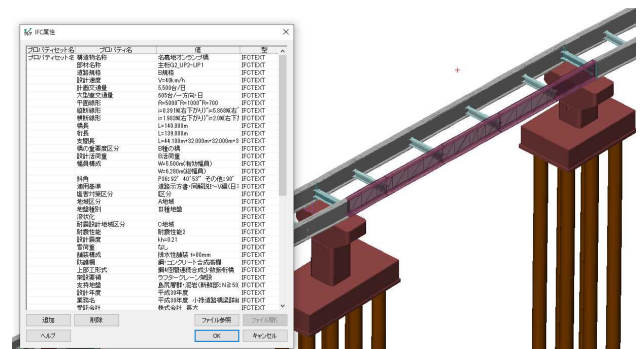


図-12 3Dモデルへの属性情報付与

フロントローディングについては一定の効果が評価できるものと考えられる。しかしながら、施工段階・維持管理段階での活用については未だ試行の状況であり、2023年の全ての公共工事へのBIM/CIM適用に向けて、早期に以下に示す課題に取り組んでいく予定である。

- ・契約図書の機能を具備する3Dモデルを用いた積算及び発注における、課題・問題点の抽出及び対策。
- ・施工段階・ICT施工への利用及び出来高等検査へ利活用における、課題・問題点の抽出及び対策。
- ・現在、管理で利用している台帳や道路管理データベース等との連携に関する課題や問題点の抽出
- ・沖縄で利活用する場合の受発注者間の課題整理と利用推進するためのビジョン

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction 報告書。

劣化した C-BOX 頂版部のプレキャスト床版による更新計画について

西日本高速道路総合サービス沖縄(株) 技術事務所 点検技術課 ○宮城清秀 山口一字

1. はじめに

沖縄自動車道北部区間は、S50.5 の供用開始後 46 年が経過している。同区間の構造物は、島嶼圏特有の飛来塩の影響に加え、「コンクリート中の塩分総量規制(S61.6)建設省」以前の建設のため、十分に除塩されていない海砂が使用された結果、多くの構造物が塩害による劣化を引き起こしている。そのため、橋梁については、大規模更新工事にて健全度回復を実施しているが、橋梁以外の構造物については、変状がみられた箇所を局部的に補修する事後保全対策を行っているのが現状である。このようななか、本稿は、北部区間に位置する著しい変状がみられた C-BOX の更新計画について報告する。

2. 構造物概要

- ・名称位置：C-BOX 金武 15(KP32.876)
- ・供用開始：S50(1975) 供用期間 46 年(供用中)
- ・構造寸法：W6.0m×H4.5m×L24.5m 土被り $t \approx 300\text{mm}$
- ・部材厚：頂版 450mm 側壁 450mm 底板 500mm
- ・補修履歴：局部断面修復、内空部保護塗装(1996)
- ・点検履歴：総点検 H26、詳細点検 H30、詳細調査 R2

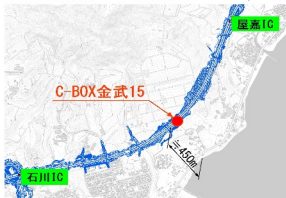


図-1 位置図



写-1 C-BOX 正面図 (海側)

3. 検討に至った経緯

過年度(H26, H30)の点検で確認された変状の内、「頂版下面支間中央部の BOX 軸方向に、大きな 1 本のひび割れが連続して発生している」ものがあった。同変状の発生要因として、飛来塩分の影響が大きいこと、土被りが薄く T 荷重の影響が支配的であること、頂版厚が薄いこと等が考えられた。その結果、同変状は、発生位置や形状、供用状況から、「経年劣化に加え、活荷重の影響による変状の可能性が高い」と推測し、詳細調査検討を提案し、R2 に詳細調査及び対策検討の実施に至った。

4. 詳細調査(R2)

詳細調査は、外観調査、塩化物イオン含有量試験(以下、塩分試験)、中性化試験、一軸圧縮強度試験、鉄筋腐食度調査を行った。その結果、頂版下面の主たる変状として、ひ

び割れ($t=2.0\text{mm}$ $L=3.6\text{m}$)、うき剥離の範囲拡大、塩化物イオン(以下、Cl⁻)

含有(2.7kg/m^3)、

主鉄筋の腐食断面

減少(グレードⅢ¹⁾)

D22→ $\phi 20.6\text{mm}$)が確

認された。また、塩分

試験では、躯体内部にかけて高濃度の Cl⁻が確認された。

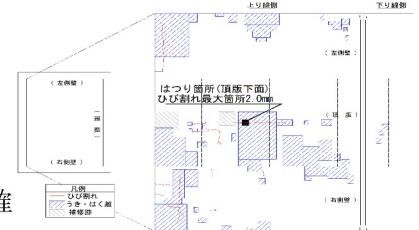


図-2 点検基図 (R2 詳細調査)



写-2 頂版ひび割れ($t=2.0\text{mm}$)



写-3 腐食度調査(D22 主鉄筋)

5. 復元設計

本 BOX の応力状態確認のため、竣工図書を用いて復元設計を行った。設計条件は、建設時から各種指針の改定点と、土被り厚がカルバート工指針²⁾の適用範囲($t \geq 0.5\text{m}$)を外れる点、短スパンの床版橋と同様な影響を受ける点を考慮して設定し、「建設時指針」と「現行指針」の 2 ケースで解析した。なお、適用指針の主な改定点は、道路構造令の解説と運用³⁾(設計自動車荷重 20→25t)と、道路橋示方書⁴⁾(軸重 T-8→T-10、鉄筋許容応力度 $\sigma_{sa}=160 \rightarrow 140 \text{ N/mm}^2$ に $\approx 20 \text{ N/mm}^2$ 余裕確保)である。以上を踏まえた計算の結果(頂版下面主鉄筋 SD295-D22)は以下の通りとなった。

【建設時指針 $\sigma_s=138.6 < \sigma_{sa}=160.0 \text{ N/mm}^2$ OK】

【現行指針 $\sigma_s=167.6 > \sigma_{sa}=140.0(120.0) \text{ N/mm}^2$ OUT】

以上より、現行指針で解析した結果、頂版下面部主鉄筋で、引張応力度が許容値を 2~3 割超過した。

6. 静的載荷試験及びモニタリング

本 BOX は供用中であり、対策完了までの安全性確認の必要があった。そこで、「静的載荷試験(たわみ量計測)」を実施した。結果、過度なたわみは発生しなかったため、急激な変状進行や崩壊等の可能性は低く、現時点で緊急的な対応は不要と判断した。また、供用安全性担保のため、ひび割れ幅の常時モニタリングを行い、変状状況の追跡調査を継続している。なお、現時点(R3.11 現在)まで大きな影響のある変状の進行は確認されていない。



写-4 静的載荷試験



写-5 常時モニタリング(亀裂変位計)

7. 劣化機構の推定及び健全度判定

調査の結果、頂版下面部は、支間中央部のひび割れ及び主鉄筋の断面減少、広範囲のうき剥離、発錆限界値(1.2kg/m³)を超過するCl濃度が確認された。これら物性値調査、静的載荷試験やひび割れ定点観測の結果より、頂版部は「塩害劣化の加速期¹⁾」、加えて主鉄筋の応力超過も見られることから、健全度は「Ⅲ(早期措置段階)⁵⁾」と判断した。また、併せて頂版上面側の開削調査を実施したが、特に変状は無かった。これは土中構造物のため大気や塩分等、劣化因子の供給が極小で、暴露部に比べて劣化速度が遅いことが要因であると判断した。

8. 対策工法の検討及び施工時の課題と対応策

本BOXの頂版部は、局部補修をした場合、早期の再劣化の可能性が高いこと、主鉄筋の応力超過と著しい腐食が確認されること等から、抜本的な対策実施が望ましいと判断した。また、側壁及び底板は、過度な変状や応力超過がなく継続使用も可能と判断した。これらを考慮し、対策工法の比較検討を以下案にて行った。

1) 通常の補修案：変状部位のみを、BOX内空部から補修(ひび割れ注入、局部断面修復)する案。工事費が最も安価で、施工時の現況交通に与える影響は極小である。ただし、既設頂版コンクリートの存置部分が発生することや、鉄筋応力度超過に対して無対策のままとなるため、早期の再補修が必要となる。

2) 全更新案：橋梁構造にて更新する案(図-3)。構造上は現行指針に準拠した新設構造物となるが、工事費は最も高価となる。施工性は、杭打機等大型重機の配置、下部工構築時の土工、仮設工が必要となり、他案に比べ劣る。また施工時、12ヶ月程度の本線規制が必要となる。

3) 部分(頂版のみ)更新案：頂版のみ更新する案(図-4)。劣化が著しく、鉄筋の応力超過している部位のみを更新するため、全更新案に比べ施工規模が小さく、工事費も安価となる。また施工時、RC造で5ヶ月、プレキャスト造で3ヶ月程度の本線規制が必要となる。

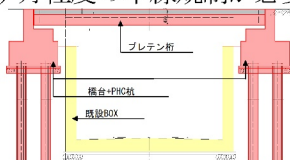


図-3 全更新案(橋梁)

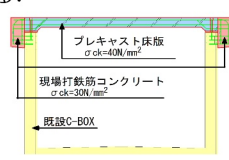


図-4 部分(頂版のみ)更新案

これら比較検討結果、「部分(頂版のみ)更新案：プレキャスト頂版を用いた頂版更新案」を採用した。

なお、コンクリート内巻工法は、建築限界(H=4.5m)確保不可となること、また、新設BOXによる全更新は、大規模土工(掘削深≒7.0m)となり現況交通に与える影響が大きいことから未採用としている。

採用案の課題としては、「ラーメン構造であるC-BOXの頂版撤去、及びプレキャスト頂版の再剛結をいかに行うか」であった。この課題に対し、施工手順による対策として、既設頂版に吊りワイヤー孔を開け、BOX内空部で地組した切梁腹起を本線上からクレーンで吊上げ頂版直下に設置し、頂版に入る軸力を負担させた後、既設頂版の撤去、プレキャスト頂版設置後に仮設材を撤去し、軸力をもり替える計画とした。次に、構造的な対策として、プレキャスト頂版と既設側壁天端との接合面に、切断された鉄筋を再配置するスペースが不足していた。そのため、側壁背面に必要鉄筋量を配置したRCブロックを構築し、同ブロックを介して再剛結化を行う計画とした。これらの対策により、C-BOXのラーメン構造を保持する計画とした。

9. まとめ

今回検討は、頂版更新という比較的大規模な対策となった。これは、ひび割れ発生位置が曲げモーメントの卓越箇所に発生していること、土被りと交通荷重の関係などに着眼しなければ、通常の補修をしていた可能性が高い。その場合、早期の再劣化のみならず、補修完了済みという安心感から、安全性が担保されていない構造物の供用を、中長年に継続していたと危惧される。また、今回の更新計画は、土被りが薄く本線側からの開削による施工計画が可能であったが、一部条件が変われば全く別の大々的な対策検討が必要となると考える。

今後は橋梁のみならず、同様の変状を受けたC-BOXへの対応が益々増加するのは確実である。維持管理業務に従事する技術者として、変状の発生理由、発生部位の応力状態、実施される対策の妥当性等を常に推測して業務を遂行していきたい。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕2018.10
- 2) 日本道路協会：道路土工-カルバート工指針 2010.3
- 3) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用 2015.6
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ 2012.3
- 5) 西日本高速道路(株)：保全点検要領 構造物編 2020.4

沖縄県におけるフライアッシュを用いたコンクリートのポストテンション PC 橋への適用化に関する施工性の確認

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 ○柴田 和典, 妹川 寿秀, 赤嶺 文繁
琉球大学 富山 潤, 須田 裕哉
琉球セメント(株) 比屋根 方新

1. はじめに

琉球大学, PC 建設業協会, 琉球セメント(株)は, 2019 年度より, PC 橋の高耐久化を目的に, フライアッシュセメント B 種 (普通ポルトランドセメント質量の 15~20%をフライアッシュ II 種で置換したプレミックス品) を用いたコンクリート(「内割り配合タイプ」)のポストテンション PC 橋への実装化に向けた取り組みを行ってきた。

2019 年度は, 室内試験により所定の圧縮強度を満足する配合の検討, 圧縮強度発現および耐久性確保の観点からみた湿潤養生日数の検討を行った。さらに, 提案した配合は遅延膨張性 ASR が懸念される海砂を使用したコンクリートに対しても有効であることを確認した。

本稿では, フライアッシュを内割り配合としたコンクリートを用いて, 実機プラントでのフレッシュ性状の経時変化および圧縮強度発現性の確認, 沖縄市泡瀬 (図-1) で行った実物大試験体への施工性の確認および養生日数が表層品質に与える影響について実験的に確認した結果を報告する。



図-1 施工性試験位置図

2. 実機プラントによるフレッシュ性状の経時変化および圧縮強度発現性の確認

2.1 試験概要

施工性試験に先立ち, 実機プラントにて試験練りを実施している (以下, FA 実機試験練り)。FA 実機試験練りでは, フレッシュ性状の経時変化を確認するため, 現着までの時間を 30 分~60 分程度と想定し, 練混ぜ直後, および練混ぜ後 30 分, 60 分, 90 分でフレッシュコンクリートのスランプと空気量を測定した。なお, それぞれの測定時間までは実施工を模擬してアジテータ車で攪拌を続けた。

FA 実機試験練りにおいて, 圧縮強度の供試体は経過時間 30 分後のコンクリートを用いて製作した。材齢 3 日および材齢 4 日 (プレストレス導入強度) の供試体は封緘養生, 材齢 28 日の供試体は標準養生とし, 圧縮強度試験は, JIS A 1108 に準拠して実施した。

2.2 コンクリートの仕様および配合

コンクリートの仕様を表-1 に, 使用材料を表-2 にそれぞれ示す。コンクリートの仕様は現場製作のポストテンション T 桁を想定して $\sigma_{28\text{day}} = 40.0 \text{ N/mm}^2$ とした。また, 結合材は 2019 年度室内試験と同様にフライアッシュセメント B 種 (普通ポルトランドセメント質量の 15~20%をフライアッシュ II 種で置換したプレミックス品) を使用した。

コンクリートの配合を表-3 に示す。配合は, 2019 年度室内試験による提案配合を基本として, 細骨材の混合砂の体積割合のみを実機プラントで通常に使用している割合に変更した。

2019 年度室内試験=砕砂 (5) : 海砂 (5)

FA 実機プラント試験=砕砂 (8) : 海砂 (2)

キーワード : フライアッシュセメント B 種, PC 橋, 施工性, 表層品質

連絡先 : (PC 建協) 〒162-0821 東京都新宿区津久戸町 4 番 6 号 (第 3 都ビル)

(代表執筆者) 〒500-8703 岐阜市香蘭 1 丁目 1 番地 E-mail : shibatan@showa-con.co.jp

表-1 コンクリートの仕様

項目	規格値
設計基準強度	$\sigma_{28\text{day}}=40\text{N/mm}^2$
プレストレス導入時強度	$\sigma_{3\text{day}}=34\text{N/mm}^2$
単位水量の最大値	$W=175\text{kg/m}^3$
目標スランプ	$18\pm 2.5\text{cm}$
目標空気量	$\text{Air}=2.0\pm 1.5\%$
塩化物含有量の最大値	300g/m^3
割増し係数から算出される配合強度	
設計基準強度の配合強度	$\sigma_{28\text{day}}=48\text{N/mm}^2$ (注1)
プレストレス導入強度の配合強度	$\sigma_{3\text{day}}=34\text{N/mm}^2$ (注2)

注1) 設計基準強度 $\times 1.2$

注2) プレストレス導入時強度 $\times 1.0$

表-2 コンクリートの使用材料

材 料	記号	仕 様
フライアッシュ セメント	FB	フライアッシュの置換率： 15～20mass% 密度：2.98 g/cm ³ フライアッシュ： 電源開発石川発電所 分級 FA
水	W	上水道水
細骨材	S1	砕砂 密度：2.64 g/cm ³
	S2	海砂 密度：2.60g/cm ³
粗骨材	G	砕石 2005 密度：2.70g/cm ³
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系化合物

表-3 コンクリートの配合

配合名	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)		単位量					高性能 AE 減水剤 B $\times$ %
					水	結合材 (B)	細骨材		粗骨材	
					W	FB	S1 (砕砂)	S2 (海砂)	G	
FB-38.0-2.0	2.0	38.0	45.7	kg/m ³	165	435	647	160	980	0.75
				リットル	165	146	245	61	363	

配合名は「結合材種別—W/B—空気量」で示す。

2.3 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状の経時変化

FA 実機試験練り，フライアッシュを内割り配合したコンクリートの施工性試験（以下，FA 施工性試験）および比較対象としてヒアリングして得られた同プラントの普通コンクリート「40-18-20N（W/C=40.5%，空気量 4.5%）」のフレッシュコンクリート試験の結果を表-4 に，スランプ試験結果の比較を図-2 に，FA 実機試験練り時のフレッシュ性状を写真-1 に示す。FA 実機試験練りにおいては，経過時間が長くなるほどスランプは低下したが，経過時間 30 分，60 分，90 分のすべてにおいて目標値を満足した。また，FA 施工性試験では概ね横ばいであった。本試験の結果，一般的な運搬時間である 30 分

～60 分の範囲では，スランプの変化量は練混ぜ直後に対して 1.0cm 程度の低下もしくは横ばいと言える。同工場の普通コンクリート「40-18-20N（W/C=40.5%，空気量 4.5%）」の練混ぜ直後と現場荷卸し時

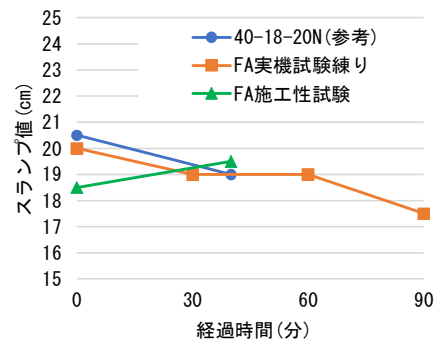


図-2 スランプ試験結果の比較

表-4 フレッシュコンクリート試験結果

経過時間 (分)	FA 実機試験練り			FA 施工性試験			40-18-20N (参考)		
	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)
	18 $\pm$ 2.5	2.0 $\pm$ 1.5	—	18 $\pm$ 2.5	2.0 $\pm$ 1.5	—	18 $\pm$ 2.5	4.5 $\pm$ 1.5	—
練直	20.0	2.1	33.6	18.5	2.2	28.0	20.5	6.4	24.4
30	19.0	2.0	33.8	—	—	—	—	—	—
40	—	—	—	19.5	1.8	28.0	19.0	4.7	25.0
60	19.0	2.1	35.3	—	—	—	—	—	—
90	17.5	2.3	35.6	—	—	—	—	—	—

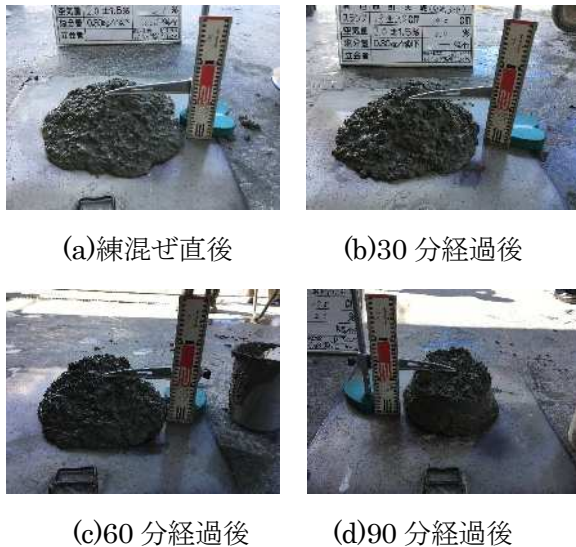


写真-1 フレッシュ性状 (FA 実機試験練り時)

(運搬時間 40 分) のスランプの変化量が 1.5cm の低下であったことから、本研究で提案したフライアッシュを内割り配合としたコンクリートの運搬におけるスランプの変化量は、普通コンクリートと同程度と考えられる。

空気量は経過時間による変化はほとんどなかった。これは、目標空気量を 2.0%としたためと考えられ、目標空気量を 4.5%とする場合は別途確認が必要と考えられる。

(2) 圧縮強度の発現性

圧縮強度の試験結果を図-3 に示す。FA 実機試験練りにおいて、品質保証である材齢 28 日の圧縮強度は $\sigma_{28\text{day}} = 56.1\text{N/mm}^2$ であり、設計基準強度 (40.0N/mm^2) を満足した。しかし、材齢 3 日の圧縮強度は $\sigma_{3\text{day}} = 33.7\text{N/mm}^2$ であり、目標としたプレストレス導入強度 (34.0N/mm^2) を僅かに満足しない結果となった。これは、表-1 に示すように、配合検討においてプレストレス導入強度に対してはばらつきの影響を考慮しなかったためと考えられる。しかし、翌日の材齢 4 日にはプレストレス導入に必要な強度を満足したこと、材齢 28 日の圧縮強度が設計基準強度を満足したことから、FA 施工性試験においても FA 実機試験練りと同じ配合で行うこととした。なお、FA 施工性試験のコンクリートは材齢 3 日でプレストレス導入強度を満足した。

3. 施工性試験

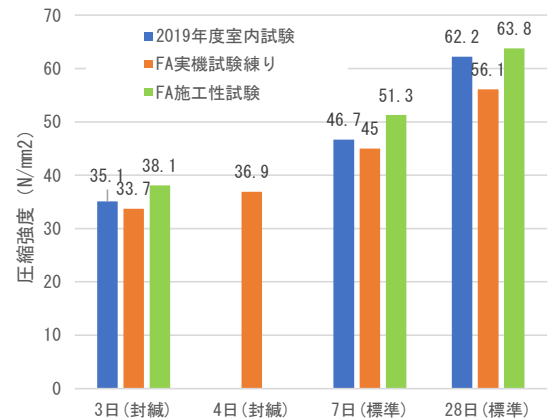


図-3 圧縮強度試験結果

3.1 試験概要

FA 施工性試験は、沖縄県沖縄市泡瀬 (沖縄県中城港湾建設現場事務所発注現場ヤード) にて行った。

FA 施工性試験が 11 月下旬となったため、FA 実機試験練りでは遅延形 (I 種) の高性能 AE 減水剤を使用したのに対し、FA 施工性試験は標準形 (I 種) を使用した。その他の材料および配合は FA 実機試験練りと同じとした。

FA 施工性試験に用いた実物大試験体の概要図を図-4 に示す。実物大試験体は、沖縄県で実績が多いポストテンション T 桁断面 (桁高 $H=2.0\text{m}$ 、長さ $L=5.0\text{m}$) とした。

コンクリート打設状況を写真-2 に示す。コンクリートの施工は 27m ブームのポンプ車でを行った。圧送距離は 20m 程度とし、配管の径は $\phi 100\text{mm}$ を使用した。コンクリートの打込みはコンクリート標準示方書に準じて、ポンプ筒先から打込み面までの自由落下高さを 1.5m 以内、1 層の打込み高さを 0.5m 以下、打重ね時間は 2.0 時間以内とした。締固めは、高周波バイブレータ $\phi 50\text{mm} \times 2$ 本、 $\phi 40\text{mm} \times 2$ 本、型枠バイブレータ $\times 2$ 基で行った。仕上げは金ゴテ仕上げとした。

型枠の脱型は材齢 4 日とし、仕上げ後から脱型まで十分な散水養生を行った。養生日数が表層品質に与える影響を確認するため、写真-3 に示すように、①実物大試験体の橋軸方向左半分では養生テープを貼り付けて養生日数を打設後 11 日まで延長した区間と②実物大試験体の橋軸方向右半分では気中養生とした区間を設けた。

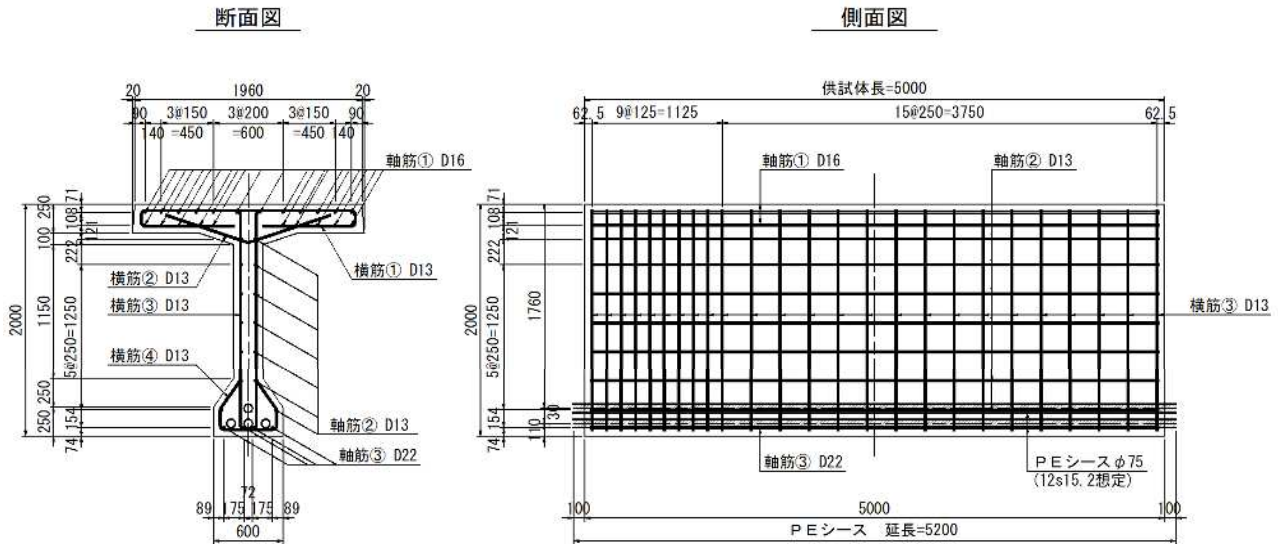


図-4 実物大試験体概要図



写真-2 コンクリート打設状況



写真-3 養生テープによる養生日数の延長

3.2 実験結果および考察

(1) ポンプの圧送性および材料分離抵抗性

本試験では、フレッシュコンクリートの経時変化およびポンプの圧送性を確認するため、ポンプの筒先から採取したコンクリートに対してもスランプおよび空気量を測定した。ポンプ筒先から採取したコンクリートのフレッシュ性状を写真-4に示す。ポンプ筒先でのスランプは17.5cmであり、提案した配合にて施工性に問題ないコンシステンシーを有していることが認められた。また、ポンプ筒先から排出されるコンクリートを観察したところ、ポンプ圧送による材料分離は認められなかった。さらに、過度な圧送圧力や閉栓をすることなく、一般的な普通コンクリートと同様なポンプ施工が可能であることが確認できた。

次に、ポンプ圧送によるスランプの低下量について述べる。

本試験では、スランプは荷卸し時と比較して2.0cm低下した。本試験のスランプの低下量は、コンクリートのポンプ施工指針(土木学会)に示されている圧送距離50m～150mに対してスランプの低下量の目安が0.5cm～1.0cmと比較して大きくなった。本試験では荷卸し時のスランプの目標値を設定



写真-4 コンクリートのフレッシュ性状
(ポンプ筒先排出後)

したが、仮にポンプ筒先のスランブを目標値にした場合には荷卸し時のスランブ管理値を一般的な普通コンクリートより若干大きくする必要があると考えられる。ポンプ圧送によるスランブの低下量はさらにデータを蓄積が必要である。

(2) 材料分離抵抗性

本試験ではポンプ筒先から打込み面までの自由落下高さを 1.5m としてコンクリートを打ち込んだが、これによる材料分離は確認されなかった。また、締固めによる材料分離も確認されなかった。このことから、材料分離抵抗性も一般的な普通コンクリートと同様であることが確認できた。

(3) 締固めの施工性

本試験ではコンクリート標準示方書に準じて、棒状バイブレータにて 50cm 以下の間隔で 10 秒程度の締固めを行った。普通コンクリートと比較して粘性は高いが、棒状バイブレータの挿入跡が残ることはなく、一般的な普通コンクリートと同様の締固め方法にて施工が可能であることが確認できた。

(4) 仕上げの施工性

本試験では、打ち込み完了直後に木コテで表面を整え、その後、表面仕上げ養生剤を散布し、金コテで仕上げを行った。粘性が高いため、コンクリートがコテに粘着する傾向があるが、施工性の低下は小さく、普通コンクリートと同様の仕上げが可能であることが確認できた。

(5) 外観

外観観察では、型枠脱型直後においてコールドジョイント、表面の微細ひび割れ、豆板、砂すじは確認されなかった。なお、一部表面気泡が集中している箇所が確認されたが、型枠バイブレータで長時間振動させたことが原因と推測される。この一つ一つの気泡は微小で耐久性に与える影響は小さいと考えられる。また、このような表面気泡は一般の普通コンクリートでも不適切な振動により生じる現象であり、フライアッシュを使用したコンクリート特有の現象ではないと考えられる。

4. 養生日数が表層品質に与える影響の確認

4.1 試験概要

施工性の確認として製作した実物大試験体は製

作現場にて 1 年間の暴露を行った。その実物大試験体を用いて、湿潤養生日数が表層品質に与える影響を確認するため、表層透気係数試験（トレント法）を行った。透気係数の測定位置を図-5 に示す。測定は陸側と海側の 2 面で行い、養生 11 日の標準部を Group1 (No.1～No.9)、養生 4 日の標準部を Group2 (No.10～No.18) とし、これに加えて、配筋の違いによる充填性の確認を目的に、養生 11 日の鉄筋密配置部を Group3 (No.19～No.27) とした。透気係数の測定は材齢 3 ヶ月と材齢 1 年の 2 回実施し、評価基準は表-5 に示すスイス規格 (SIA262/1-E) を参考とした。

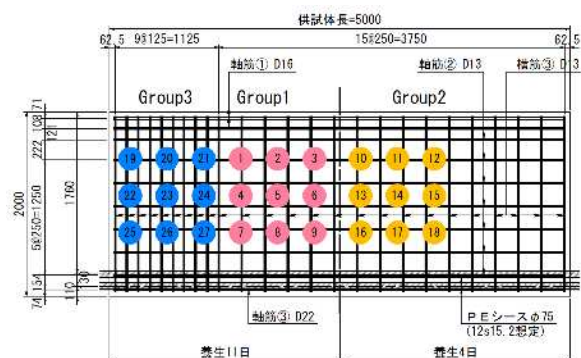


図-5 透気係数測定位置図

表-5 透気係数の判断基準 (SIA262/1-E)

透気係数 kT ($\times 10^{-16} m^2$)	判定
< 0.01	優
$0.01 \sim 0.1$	良
$0.1 \sim 1.0$	普通
$1.0 \sim 10$	劣
> 10	極劣

4.2 実験結果および考察

材齢 3 ヶ月および材齢 1 年の透気係数試験の結果（対数平均値）を表-6、表-7 にそれぞれ示す。Group1 と Group2 を比較した場合、材齢 3 ヶ月では透気係数に大きな差はなく、ともに SIA262/1-E の判断基準では「良」となった。1 年間暴露した材齢 1 年の透気係数では、その差が大きくなり、SIA262/1-E の判断基準では、Group1 が「良」となり、Group2 は「一般」となった。Group3 も含めた場合、透気係数は材齢 3 ヶ月、材齢 1 年ともに、「Group3 < Group1 < Group2」となった。これは、湿潤養生日数に差を与える際の境界が、表面に養生テープを貼り付けたただけだったので、Group1 と

Group2 がお互いの養生条件の影響を受けた可能性が考えられる。そのため、湿潤養生日数が表層品質に与える影響は今回の透気係数の値以上に差がある可能性がある。このことから、耐久性向上の観点において、湿潤養生は長くした方が良くと考えられる。

なお、Group3の透気係数が1年後においても「良」と判定されることから、鉄筋間隔が比較的狭い位置に対しても、本試験の配合は表層まで密実なコンクリートの施工が可能であることが確認された。

表-6 透気係数試験結果（材齢 3 ヶ月）

Group	透気係数 kT (対数平均) ($\times 10^{-16}\text{m}^2$)		含水率 (%)	判定
1 (養生 11 日)	陸側(9 点)	0.040	5.5	-
	海側(9 点)	0.033	5.2	-
	合計(18 点)	0.036	5.3	良
2 (養生 4 日)	陸側(9 点)	0.054	5.6	-
	海側(9 点)	0.032	5.4	-
	合計(18 点)	0.042	5.5	良
3 (養生 11 日) (鉄筋密部)	陸側(9 点)	0.014	5.5	-
	海側(9 点)	0.014	5.5	-
	合計(18 点)	0.014	5.5	良

表-7 透気係数試験結果（材齢 1 年）

Group	透気係数 kT (対数平均) (× 10 ⁻¹⁶ m ²)		含水率 (%)	判定
1 (養生 11 日)	陸側(9 点)	0.105	4.7	-
	海側(9 点)	0.072	5.1	-
	合計(18 点)	0.087	4.9	良
2 (養生 4 日)	陸側(9 点)	0.116	4.6	-
	海側(9 点)	0.143	5.2	-
	合計(18 点)	0.129	4.8	一般
3 (養生 11 日) (鉄筋密部)	陸側(9 点)	0.013	4.9	-
	海側(9 点)	0.013	5.0	-
	合計(18 点)	0.013	4.9	良

5. まとめ

フレッシュ性状の経時変化、圧縮強度の発現性、施工性、養生日数が表層品質に与える影響について実験的に検討した結果、以下のことが明らかになった。

(1) 2019 年室内試験にて提案したフライアッシュを内割り配合として用いた配合のスランブは練混ぜ直後に対して 30 分～60 分経過した場合で 1.0cm 程度の低下もしくは横ばいであり、一般的な普通コンクリートと同程度であることが認められた。

(2) 実機プラントにおいて、材齢 3 日（封緘養生）の圧縮強度試験は、プレストレス導入強度を満足しない場合があったが、その場合においても材齢 4 日ではプレストレス導入強度を満足することが認められた。材齢 28 日（標準養生）の圧縮強度試験は設計基準強度を満足することを確認した。

(3) 実物大試験体を用いて、ポンプ圧送性、材料分離抵抗性、締固めの施工性および仕上げの施工性について確認した結果、2019 年室内試験にて提案したフライアッシュを内割り配合として用いたコンクリートは一般的な普通コンクリートと同様のポンプ施工が可能であることが認められた。ただし、ポンプ圧送によるスランブの低下については、一般的な普通コンクリートより大きくなる可能性があり、さらにデータの蓄積が必要であると考えられる。

(4) 透気係数試験を行った結果、材齢 1 年時点では湿潤養生日数の違いが表層品質に影響することが確認され、耐久性向上の観点からは湿潤養生を長くすることが有効であることが認められた。

謝辞

本研究において、施工性試験場所をご提供いただいた沖縄県中城港湾建設現場事務所、生コンクリートをご提供いただいた(株)山正物産 山西工場（西原町）、その他、試験にあたりご助言いただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、本稿が今後のフライアッシュを用いた PC 橋の計画の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 柴田和典，妹川寿秀，赤嶺文繁，富山潤，須田裕哉，比屋根方新：沖縄県におけるフライアッシュを用いたコンクリートのポストテンション PC 橋への適用化に関する基礎的研究，第 10 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会，pp.26-31，2021

海洋博覧会地区 沖縄文化・センターゾーン リニューアルに向けた整備方針の検討

永山 瑞樹¹

¹内閣府沖縄総合事務局国営沖縄記念公園事務所工務課（〒905-0206 沖縄県国頭郡本部町字石川424番地）

国営沖縄記念公園海洋博覧会地区（以下、「海洋博公園」という。）は、1976年(昭和51)年の開園以来、沖縄振興、本島北部地域振興の中核的な機能を担う国営公園として40年以上にわたり運営・整備を進めてきた。海洋博公園の中心ゾーンである「沖縄文化・センターゾーン」は公園の主要な玄関口として、また公園全体の南北を結ぶ重要なゾーンとして、今回3つの視点【観光・集客】【歴史・文化の継承】【地域振興・地域連携】を重視した上で、リニューアルに向けた整備方針の検討を行った。本論では、令和4年4月に予定している沖縄文化・センターゾーンリニューアルに向けた各施設の整備方針の検討内容を報告するものである。

キーワード 観光・集客、歴史文化の継承、地域振興・地域連携、ゾーン間・施設間連携

1. はじめに

国営沖縄記念公園海洋博覧会地区（以下、「海洋博公園」という。）は、1976年(昭和51)年の開園以来、沖縄振興、本島北部地域振興の中核的な機能を担う国営公園として40年以上にわたり運営・整備を進めてきた。これまでの運営・整備により蓄積された実績を基に、海洋生物、熱帯亜熱帯植物の繁殖・栽培技術の普及啓発にとどまらず、沖縄観光のPR、誘客活動に取り組む等、沖縄振興における海洋博公園が果たす役割は極めて重要となっている。

海洋博公園は、公園の基本テーマである「太陽と花と海」を具現化する「沖縄文化・センターゾーン」、「オーシャンックゾーン」、「熱帯亜熱帯環境ゾーン」の3つのゾーンで構成されている。うち、公園の中心ゾーンである沖縄文化・センターゾーンは公園の主要な玄関口として、また公園全体の南北を結ぶ重要なゾーンとなっている。

海洋博公園の今後の整備・管理運営の基本的方向を定める基本計画が平成29年3月に改訂され、国営沖縄記念公園事務所では、同計画内で策定された施設の改良計画に基づき、平成30年度より沖縄文化・センターゾーン内の施設の整備に向けた検討を始めた。

本論では、令和4年4月に予定している沖縄文化・センターゾーンリニューアルに向けた各施設の整備方針の検討内容を報告する。



図-1 海洋博公園 土地利用計画（ゾーニング）

2. 現状の課題

(1) 公園を取り巻く状況の整理

沖縄文化・センターゾーンの整備方針の検討に際し、今日的な公園課題等を踏まえた視点を設定し、公園（沖縄文化・センターゾーン）を取り巻く状況の整理を行った。取り巻く状況の把握にあたっては、海洋博公園基本計画の内容より、【観光・集客】、【歴史・文化の継承】、【地域振興・地域連携】の視点を踏まえることが必要と考えた。また、【官民連携】及び【維持管理コストの縮減】にも留意することが必要と考えた。これらの視点を基に各施設の現在ある課題を整理した。

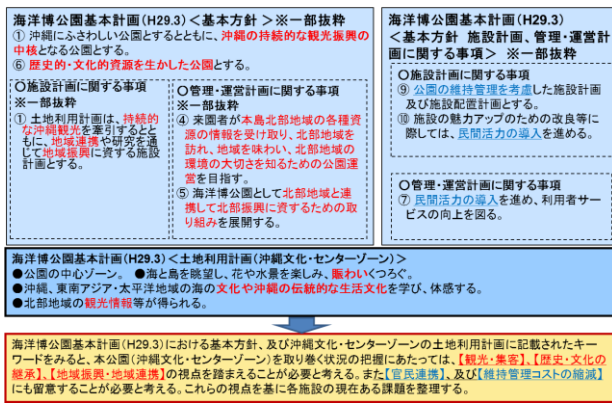


図-2 状況整理の視点

(2) 現状の課題の整理

公園を取り巻く状況を整理した視点を踏まえ、沖縄文化・センターゾーンの各施設における、海洋博公園基本計画の計画内容に対する現状の課題を表1のとおり整理した。

表-1 海洋博公園基本計画の計画内容に対する現状の課題

計画内容※	現在ある課題
○沖縄の伝統的な暮らしの景を楽しむようにするため、「遊び庭」において、既存樹木の整理等により、季節行事等のまとまった開催スペースを確保するとともに、首里王府と地方との関係やおきなわ郷土村等の解説、舞台等の機能ももった「ゆくい処」を新たに整備する。また、身分等による生活環境の違いが分かるよう、各民家等での行事や敷地内外の植栽展示等を充実させる。 ○伝統的な建築技術を継承し民家等を良好な状態で維持するため、一般市民も参加した協働事業により修繕作業等を継続的に行う。 ○（おきなわ郷土村入口の見通し確保のため）既存樹の定期的な除伐を実施する。	○子供たちの理解を深めるため、<u>案内解説の充実、展示解説のわかりやすさの向上</u>が必要 ○民俗文化を継承するため、<u>地域の伝統芸能やまつりなどの紹介</u>が必要 ○歴史文化の理解・学習を高めるための工夫として、<u>かつての暮らしぶりを想起させる集落の生活感の演出</u>が必要(例：生活音など) ○<u>伝統的な建築技術の継承</u>のため、継続的に修繕していく体制の維持が必要 (動線からの視認性の確保を継続実施)
○沖縄最古の歌謡集「おもろさうし」への関心が高まり理解が深まるようにするため、「おもろさうし」について学習できる休憩所を新たに整備するとともに、区域を拡張し、「おもろさうし」に語られた植物を用いて沖縄の生活・文化・歴史を風景として再現する。	○多くの人が「<u>おもろさうし</u>」の<u>存在を知り、理解を深めるため、施設を認識、誘導させる工夫</u>（樹林の剪定による明るい空間づくり等）と、<u>解説の充実</u>（解説の分かりやすさ向上、楽しみながら学べる工夫）が必要
○本島北部地域の観光や物産等に関わる情報の発信機能と休憩所機能を強化するため、施設の改修を行う。	【情報発信機能】 ○施設に賑わいを生み出し、多くの人が北部地域の魅力に触れることができるよう、<u>明るく入りやすい室内空間づくりと、北部地域の情報発信力を強化する機能</u>が必要 【休憩機能】 ○<u>噴水広場の家族利用の安全性、快適性を向上するため、広場に面した日陰の確保</u>が必要

その他

○（おきなわ郷土村と）海洋文化館との連携を強化するため、海洋文化館前の園路等でおきなわ郷土村と海洋文化館の両施設に関連する屋外展示を行う。
○魅力の低下した既設の滝・流れ・池は縮小し、環境林に再生するとともに、くろしお階段からの景観を向上させるため、郷土の花木により修景を強化する。
○噴水広場・くろしお階段からの主要動線は、沖縄最古の歌謡集「おもろさうし」に語られた花木を補植する。

○海洋文化館とおきなわ郷土村・おもろ植物園の相互利用を促し、海洋文化や沖縄の歴史文化に対する一層の理解を促すため、両施設を繋ぐ解説の強化が必要
○（水の階段について）主たる動線から離れた動線として、公園の質を確保しつつ、維持管理コストを削減する水や電気使用の少ない施設への改善が必要

3. リニューアルに向けた整備方針の検討

公園を取り巻く状況や現状の課題を踏まえ、リニューアルに向けた整備方針の検討を行った。

整備方針に基づく具体的なリニューアルのポイントとしては、①ゾーン間・施設間連携の実施、②にぎわいの仕掛け・演出、③持続可能なライフスタイルの体験の提供、④学校教育での活用促進による歴史文化の継承、⑤地域の参画、連携強化によるにぎわいの創出、歴史文化の継承を図るの5つである。

このポイントを踏まえて、沖縄文化・センターゾーンへのアプローチ方法ごとに設定された7つのストーリーごとに、歩きながら移り変わるシークエンス（移動景観）を楽しむ仕掛けづくりをしており、それにより郷土村の存在や、沖縄の自然や暮らしを体感する動線を設定した。また、沖縄文化・センターゾーン内の①ハイサイプラザ、②ゆくい処・舞台・遊び庭、③民家、④噴水広場、⑤じんぶんBOX（学べる休憩所）周辺、⑥馬場（登攀型連続遊具）、⑦海洋文化館前広場、⑧水の階段の8つの施設についても同様に整備する。その他にもストーリーへの誘引の仕掛けとして、ゆくい処とじんぶんBOX（学べる休憩所）の2カ所の屋内展示、サインやAR/VRによる屋外展示、プロップス（人型サイン）等があり、それらも併せて整備する。

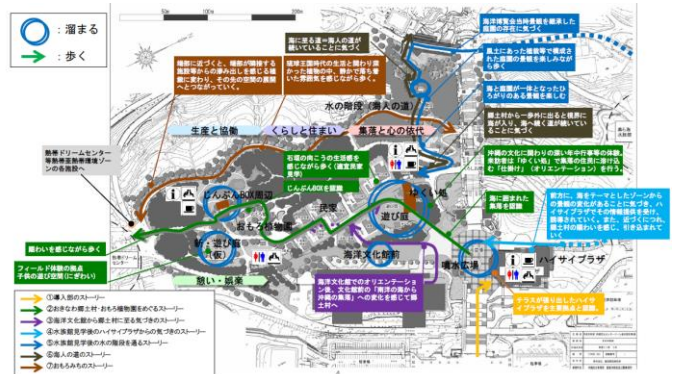


図-3 沖縄文化・センターゾーン 動線イメージ



図-4 沖縄文化・センターゾーン整備予定箇所

4. 過年度の整備箇所の概要

令和3年5月までに整備が完了した主な施設を次に示す。

(1) ハイサイプラザ(建築改修工事)

地域振興の拠点としてリニューアルし、過年度は内装工事とデッキの改修を実施した。広場側のオープン化により噴水広場で遊ぶ子供を見守れる他、地元自治体によるマルシェなど、柔軟な空間利用が可能となった。



図-5 ハイサイプラザ デッキ改修状況

(2) 海洋文化館前広場

海洋文化館とおきなわ郷土村の間を拡幅して広場空間とし、舗装や植栽を工夫することで沖縄と南洋の海岸の違いを演出した。それにより、海洋文化館からおきなわ郷土村・おもしろ植物園へのストーリーの連続(海を通じた文化の学習)と景観の展開(海を通りシマである集落へ)を図る役割を担う。



図-6 海洋文化館前広場 改修状況

(3) 水の階段

かつて集落と海を行き来していた道(海人の道)をイメージして園路をリニューアルした。古来から琉球の人々は水を司る龍神を崇拝してきたことから、これに係るストーリーを設定し、フォトスポットを利用しながら移動

を楽しむ道とした。また、琉球と薩摩の交流を空間づくり(庭園)から知ることができるようにした。



図-7 水の階段 上の庭及び下の庭 改修状況

(4) 馬場(ぐんじゅうにんぬわらびんちやー) 遊具

琉球王国時代の集落の石垣や城跡(グスク)の城壁をモチーフにした延長50m級の登攀型連続遊具を設置し、海洋博公園内のちびっことりで、アクアタウンなどの大型遊具による「子供の遊びサーキット」の一部として楽しめるようにした。学校利用等で子供たちが遊びながら学ぶ、フィールド体験学習での屋外ガイダンス空間としても利用できる。



図-8 馬場(ぐんじゅうにんぬわらびんちやー) 遊具設置後

5. 令和3年度の整備箇所の概要

今年度整備を予定している主な施設等を次に示す。

(1) ゆくい処

現代(噴水広場)から琉球王朝時代に入り込んだ来訪者を最初に迎え入れる溜まりの空間として「ゆくい処」及び舞台を整備する。「ゆくい処」は休憩やおきなわ郷土村利用のインフォメーション、楽屋機能等を備えている。舞台はゆくい処の横に設置され、舞台で展開される年中行事等は、「現代」から来た来訪者が集落の住民に溶け込む役割を担う。施設の整備により、民俗文化を継承するための地域の伝統芸能やまつりなどの紹介、またかつての暮らしぶりを想起させる集落の生活感を感じることができる。



図-9 ゆくい処 整備イメージ

(2) じんぶんBOX

ゆったりと沖縄の歴史文化を学習できる「じんぶんBOX(学べる休憩所)」を新築する。じんぶんBOXでは、琉球王朝により16～17世紀に編纂された歌謡集「おもろさうし」に詠われた時代(琉球王朝時代より前の12世紀～琉球王朝前半・17世紀初頭)の世界観(くらし・文化)を、沖縄の人々の植物との関わりを通じて遊び学びながら知ることができる。



図-10 じんぶんBOX 整備イメージ

(3) サイン・展示

旗頭をモチーフとしたゲートポールと人型サインの設置及びAR/VRを含んだ映像展示の制作を行う。それにより、おきなわ郷土村内では、歩いて景観の変化や仕掛けを楽しみながら、また、サインや展示を見ながら時代や地域の異なる民家を体験することで、その特徴や集落での位置づけなどを学び、体感することができる。



図-11 サイン・展示 整備イメージ

(4) プログラムの策定

新設される「ゆくい処」に併設する舞台や「遊び庭(あしびな一)」等を活用し、沖縄の歴史文化を体感できる年中行事を実施することで沖縄の歴史文化の次世代への継承を図る。また、地域の自然・文化の保全に寄与するため、自然に根ざした沖縄の生活文化に身近に触れることができる学習プログラムを展開し、学校教育にも利用が可能となる。



図-12 年中行事 試行状況

(5) 映像展示

おきなわ郷土村内の民家の特徴や生活文化などをアニメーションで分かりやすく解説するための映像展示を制作する。また、おきなわ郷土村内においてスマートフォンやタブレットを用いたクイズを楽しむことができ、クイズを通じてそれぞれの建物の仕組みや暮らしの知恵、歴史などを学ぶことができる。



図-13 アニメーションのイメージ

(6) 茅葺民家の補修

おきなわ郷土村内の民家の茅葺屋根について、劣化が見られることから補修を行う。茅葺屋根は県内でもほとんど見ることができなくなっており、補修工事は県外客だけでなく、子供たちを含む県内の方々にとっても沖縄の伝統技術を知るうえで貴重な機会である。そのため、補修対象の民家のうち、1棟に見学用の足場を設置することで伝統的技術を見せる場の提供も行う。



図-14 補修対象の民家

6. おわりに

令和4年4月のリニューアルに向けた施設等の整備により、沖縄の歴史文化・生活文化を学び・体感できるゾーンになることが期待される。また、学校教育や地域の参画、連携強化により、にぎわいの創出、歴史文化の継承に寄与できると考える。

尚、施設整備後にはその施設の運営や管理を行う必要があるため、公園の運営管理を担う施設管理者への管理引き継ぎも重要となってくる。そのため、現在月に1回実施している関係者会議にて今後も引き続き運営・管理についても調整を進め、整備後も公園利用者に継続的に利用していただけるような施設の整備を進めていきたい。

名護東道路の早期供用に向けた取り組みと今後の課題

沖縄総合事務局北部国道事務所 ○水流 宗孝
沖縄総合事務局北部国道事務所 川間 重一

名護東道路は、沖縄本島北部地域において、沖縄南北拠点間のアクセス向上、名護市内の交通混雑緩和・交通安全向上、北部地域の地域活性化支援を目的とした道路であり、令和3年7月末の供用を目標に事業を進めている。本報告は事業進捗を図る取り組みとして数久田 IC の ON ランプ橋にて多軸式特殊台車を用いて橋梁上部工の夜間一括架設を行ったこと、道路利用者に対して CIM を活用しての交通切り替えや通行止め動画による広報活動を行ったことを紹介するものである。

1. 概要

(1)事業概要

沖縄本島北部地域において、名護市内の国道58号沿道には公共施設や商業施設が点在し、それらを利用する生活交通と本部半島や国頭方面へ向かう観光交通が混在し、交通混雑が生じている。また、同地域では、海洋博記念公園をはじめとした観光施設が多く点在し、それらへのアクセス向上等更なる観光支援が求められている。さらに、沖縄自動車道は名護市の玄関口である許田 IC まで整備されているが名護市以北において、自動車専用道路がないため、北部地域の利便性向上、地域活性化を図るため、沖縄自動車道と連結する自動車専用道路の整備が求められる。

名護東道路は、これらの課題解消に向けて、表-1 及び図-1 に示すように、名護市宇伊差川と同市宇数久田を結ぶ地域高規格道路として、平成9年に事業化され、平成13年から工事に着手した。平成23年度には、伊差川 IC から世富慶 IC までの1工区が暫定2車線で開通し、残り世富慶 IC から数久田 IC までの2工区を令和3年7月の全線完成を目標に事業を進めているところである。

表-1 名護東道路の事業概要

区間	名護市宇伊差川～同市宇数久田	
延長	6.8km	
道路規格	区分	第1種第3級
	車線数(暫定時)	4車線(2車線)
	設計速度	80km/h

平成9年度	事業化
平成11年度	用地着手
平成13年度	工事着手
平成23年度	伊差川 IC～世富慶 IC 間開通(2/4車線) (1工区)
令和3年度	世富慶 IC～数久田 IC 間開通(2/4車線) (2工区)



図-1 位置図

(2) 期待される整備効果

図-2 は、名護東道路の整備前後の数久田から伊差川までの経路を示したものである。図より、名護東道路1工区の整備前は、名護以北に行くために、数久田から名護市内に点在する渋滞箇所を経由しなければならなかった。1工区が整備されると、世富慶 IC から伊差川 IC へのルートが生まれ、本部半島や国頭方面へ向かう通過交通による渋滞を軽減することが可能となった。

キーワード 多軸式特殊台車 夜間一括架設 BIM/CIM

連絡先 〒905-0019 名護市大北4丁目28番34号 沖縄総合事務局北部国道事務所 0980-52-4350

さらに、本論で述べる世富慶 IC から数久田 IC までの 2 工区の完成により、図-3 に示すように、例えば、許田 IC から道の駅おおぎみまで、現在 39 分かかるところが 28 分に短縮されるなど全線開通の整備効果は大きいといえる。



図-2 交通混雑緩和



図-4 概略図

(2) 課題

(a) 数久田 ON ランプ橋の架設工法

数久田 ON ランプ橋は、図-5 の完成イメージに示すように、国道 58 号上下線間をセンターランプで立体交差する構造である。その架設にあたり、上部工の地組ヤードから移動するため、国道を全面通行止めして行う必要がある。全面通行止めは、路線バスの運行を考慮し、最終バス通過後から始発バス通過前までの運休時間帯で施工できる工法を選定する必要がある。



写真-1 数久田 ON ランプ橋イメージ図

(b) 道路利用者への広報

世富慶 IC は、数久田方面への入口及び数久田方面の出口を新たに設置する。設置にあたっては、写真-1 に示すように、伊差川 IC から世富慶 IC の出口が 2 工区完成後は、数久田方面から世富慶 IC へのオフランプに重なるこ

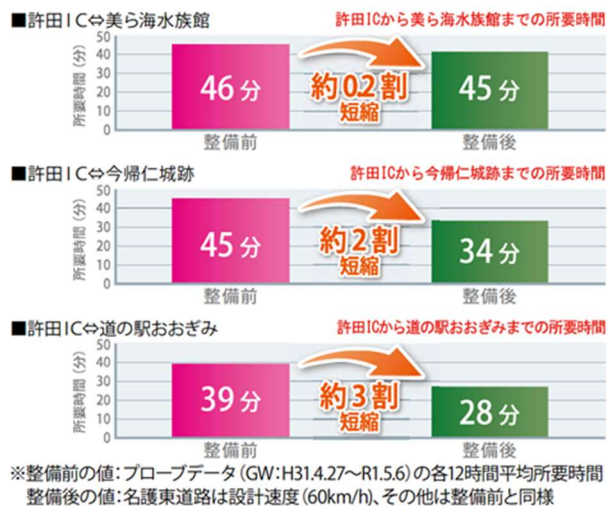


図-3 北部地域へのアクセスと整備効果

2. 事業条件と早期供用に向けた課題

(1) 工事概要

本論は、図-4 に示すように、整備中の 2 工区を対象として述べる。まず、1 工区から 2 工区に接続する世富慶 IC

とから,出入り口を切り替えながら整備していく必要がある。世富慶 IC の整備は,まず,1 工区区間の出入口を ZC・ZD ランプに出入口を変更し,A・B ランプ付近の完成形を整備した。次に A ランプを入口,ZD ランプを出口に変更し,世富慶 IC から数久田 IC への入口となる ZC ランプ,数久田 IC から世富慶 IC への出口となる B ランプを完成形に整備した。最後に ZC ランプに数久田 IC 方面への入口を開放し,世富慶 IC の完成形とした。このように,短期間に 3 回交通切り替えを行うため,普段 1 工区を利用しているドライバーの誤侵入等が想定された。周辺に配置する工事看板等による案内の他に,工事の進捗に応じて,道路利用者に対して,変化を把握しやすく,かつ分かりやすい案内をする必要がある。



写真-1 世富慶 IC (上:施工前 下:施工後)

3.課題に対する解決策と経緯

(1) 上部工の夜間一括架設の検討

数久田 ON ランプ橋上部工の架設は,全 4 径間のうち第 1 径間はベント架設が可能なものの,第 2 径間から第 4 径間までの 3 径間は,地組ヤードから国道 58 号を移動して架設する必要がある。検討の結果,写真-2 に示すように,国道 58 号の 4 車線の幅員内で運搬可能な多軸式特殊台車による夜間一括架設工法を採用した。路線バスの運休時間に確実に架設するため,写真-3 に示すように,上下移動が少なくなるように,地組みは予めベント上で行い,多軸式特殊台車が 1 時間以内で輸送可能となるよう計画した。実際の架設は,令和 3 年 2 月 13 日,2 月 27 日,3 月 6

日に行い,そのうち最も時間を要した 2 月 27 日でも地組ヤードから 22 時に移動をはじめ,移動距離 700m を 2 時間 40 分かけて架設地点まで運び,3 時 30 分に据え付けを終えた。その結果,規制解除の予定時刻の 6 時に交通解放でき,始発バスの運行に支障がなかった。



写真-2 夜間一括架設



写真-3 地組みヤード

(2) CIM を活用した施工計画・広報計画の促進

国道の通行止めや供用形態の切り替えを要する工事の広報活動は,これまでのチラシ・看板・新聞記事・広報誌による案内が主であった。本事業はそれらに加えて,CIM を活用したナレーション付き動画を作成した。

5 月 31 日に行った世富慶 IC の出入り口切り替えの施工ステップは図-7 に示すように,CIM を活用し,交差点の通行禁止や経路案内を掲載し俯瞰的に道路利用者が理解できるように努めた。なお,図-8 に示すように,世富慶 IC から数久田方面への通行止めの迂回路動画では,地域生活への影響に配慮し,通行止め区間内にある数久田集落への出入り方も掲載した。その結果,事故等もなく通行できている。

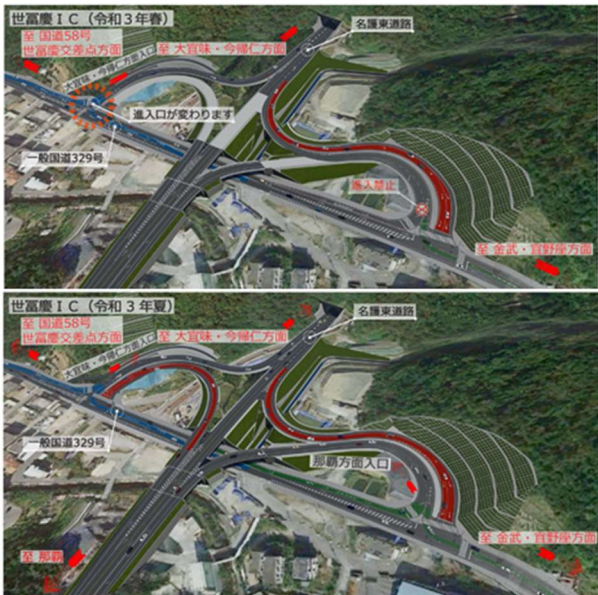


図 - 7 世富慶 IC 交通切り替えの動画 (抜粋)



図 - 8 国道 58 号通行止め動画 (抜粋)

4. まとめ及び今後の課題

(1) まとめ

数久田 ON ランプ橋の施工は、多軸式特殊台車を用いての一括架設により、国道 58 号の通行止めを 3 夜間のみで済ませることができ、一般交通への影響を最小限にできた。また、国道の通行止め、供用形態の切り替えの案内など CIM を活用した動画を用いての広報活動により、道路利用者が理解しやすいように努めた。施工時の道路利用者や沿道地域への環境影響を最小化しつつ、7 月末の目標供用日に向けて事業促進を実現した。

(2) 今後の課題

名護東道路は、早期全線供用を目標に事業を推進してきたため、道路本線以外の場所で間に合わなかった課題がいくつか残った。

例えば、写真-4 に示すように、中央分離帯の復旧工事は国道 58 号の現道工事になるため、規制等が発生し、安全に注意する必要がある。中央分離帯に植えていたソテツについても、地元の意見を確認しつつ、復旧の検討を行う必要がある。また、写真-5 に示すように、数久田 IC に山側歩道を設置できない箇所が一部ある。歩道利用者の実態を踏まえて、現況の海側歩道への切り回しのみで当面可能か、議論する必要があると考えている。ただし、その海側歩道の一部区間においては、写真-6 に示すように、電力

や通信線を海側歩道に切り回しており、電柱設置箇所での歩行者のすれ違いに一部支障をきたしている。今後これらの本移設について関係者と調整を重ねていく必要がある。



写真 - 4 中央分離帯



写真 - 5 歩道未整備区間



写真 - 6 仮設電柱

平良港国際クルーズ拠点整備事業の取組みについて

沖縄総合事務局 平良港湾事務所 ○仲間 光一・島袋 和男

近年、沖縄へのクルーズ船の寄港回数は年々増加しており、平良港においても令和元年には過去最多となる147回の寄港があった。増加するクルーズ船の寄港に対応するため、令和2年4月に14万トン級クルーズ船に対応した施設が完成した。令和4年度には沖縄への22万トン級クルーズ船の寄港も見込まれており、アフターコロナにおける宮古島地域経済のV字回復のためには、22万トン級クルーズ船に対応したインフラ整備が必要である。

本論文では、14万トン級に対応した既存施設（ジャケット・係留ドルフィン）について、22万トン級に対応するよう改良・拡張する検討結果について報告するものである。

1. 平良港国際クルーズ拠点整備事業について

宮古島は沖縄本島から南西に約300km、東京から約1800kmに位置し、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である。平成27年の伊良部大橋の開通や、平良港へのクルーズ船の定期就航等により宮古島の知名度が上がり、空路・海路共に入域観光客数が年々増加している。

平良港は古くから島民の生活物資の受け入れや周辺離島である多良間島への貨物の積み替え拠点としての役割を果たしてきており、生活物資の拠点である漲水地区、バルク物資を扱う下崎地区、海洋性リゾートに対応したトゥリバー地区から成るが、近年はクルーズ船の定期就航により海路からの観光客受け入れの玄関口ともなっている。

平成26年まではクルーズ船の寄港回数は低調に推移していたが、平成27年にクルーズ船が定期就航するようになってからは寄港回数が大幅に増加し、令和元年には全国6位となる147回の実績を記録した。

しかし、平良港ではクルーズ船専用の岸壁が整備されていなかったため、市街地から約3km離れた貨物用岸壁の下崎埠頭での受け入れや、5万トンを超える大型船は沖に停泊しテンドーボートに乗り換えての上陸を行うなど、安全性・利便性の面で課題を抱えていた。

これらの課題に対応するため、漲水地区沖合で「平良港国際クルーズ拠点整備事業」を実施し、令和2年4月には14万トン級クルーズ船に対応したクルーズ船専用ターミナルが完成した。

しかし、世界的にはクルーズ船の大型化や大型船のアジアへの配船計画が進捗中で、クルーズ船社からは沖縄への寄港要望も示されており、22万トン級クルーズ船に対応した施設の拡張が必要となっている。



図-1 平良港全体図

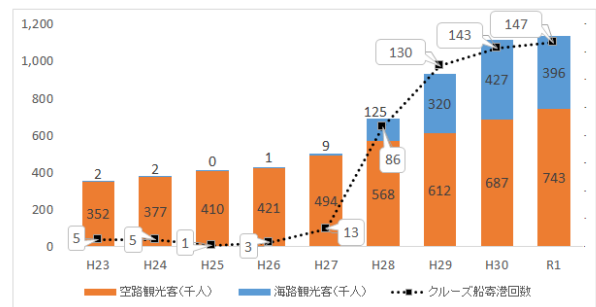


図-2 クルーズ船寄港回数と
宮古島市入域観光客数（空路・海路）の推移

2. 現状の施設概要

クルーズ船専用ターミナルの主な施設として、図-3に示す「岸壁部・係留部」、「臨港道路（埋立部）」、「臨港道路（橋梁部）」、「臨港道路（陸上部）」を整備した。22万トン級クルーズ船に対応した拡張工事が必要となる「岸壁部・係留部」の施設概要を以下に示す。

キーワード クルーズ船、クルーズ振興、既存施設の拡張

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

E-mail : kouichi.nakama.j4a@ogb.cao.go.jp



図-3 現状の施設概要



図-4 現状の岸壁部・係留部の外観

＜岸壁部・係留部の概要＞

14万トン級クルーズ船が接岸・係留するための施設である。岸壁構造は「ジャケット式栈橋」を採用し、係留部は「直杭式ドルフィン」として整備した。岸壁前面の水深は、D.L.-10.5mとし、岸壁部の延長はクルーズ船の乗降口の配置より180mとした。施設延長はクルーズ船の係留索の角度を考慮しドルフィン5基を設置した370mとした。岸壁部の構造形式は、海域環境への影響が少なく、埋立が発生せず、早期に工事着手が可能であり、経済性に優れた「栈橋式」を抽出した。二次比較として、「RC栈橋式」、「PC栈橋式」、「ジャケット式」について比較検討を行った結果、最も経済性に優れ、現地での施工期間の短い「ジャケット式」を採用することとした。岸壁部・係留部の平面図を図-5に示す。

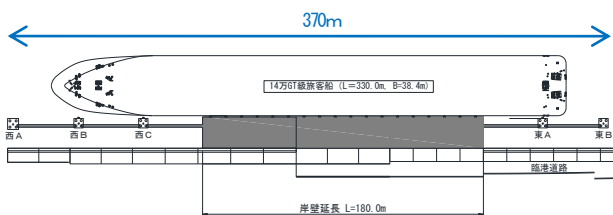


図-5 岸壁部・係留部平面図

3. 22万トン対応とするための主な課題

14万トン級クルーズ船対応の岸壁を22万トン級クルーズ船対応とするためには、表-1に示す課題を解決しなければならない。

また、本岸壁は14万トン級クルーズ船対応の岸壁

として供用されているため、改良等を行う場合には、岸壁を供用しながら施工を行う必要がある。

表-1 22万トン級クルーズ船対応とするための課題

項目	現況 施設諸元	課題
施設延長	370m	22万トンが係留可能な延長とする必要がある。
岸壁エプロン延長	180m	22万トンの乗降口出入り口を確保する必要がある。
防舷材	14万トン級対応	22万トンが接岸可能な防舷材配置・仕様とする必要がある。
係船柱	1000kN	22万トンが係留可能な係船柱配置・仕様とする必要がある。
洗掘防止対策	—	22万トンのスラスターによる現地盤の洗掘を防止する必要がある。

4. 22万トン対応とするための課題への対応方策

3で挙げた22万トン級クルーズ船対応とするための課題に対する方策の検討結果を以下に述べる。

(1) 施設延長の延伸

14万トン級よりも船長の長い22万トン級クルーズ船を係留するためには、施設延長を延伸する必要がある。22万トン級クルーズ船に対する係留検討を行い、図-6に示すようにクルーズ船の係留力に対応した杭式ドルフィンを1基新設し、施設延長を420mに延伸することとした。

(2) 岸壁部延長の延伸

22万トン級クルーズ船を対象船舶とした場合、岸壁部の延長180mでは使用できない出入口箇所が生じるため、クルーズ船の利用に支障をきたすこととなる。このため、全出入口を使用可能となるよう、図-6に示すように、岸壁部を240mとし、西側・東側とも30mずつ拡張することとした。岸壁拡張部の構造形式は、既設岸壁と同様に、経済性に優れ、現地での施工期間の短い「ジャケット式」を採用することとした。

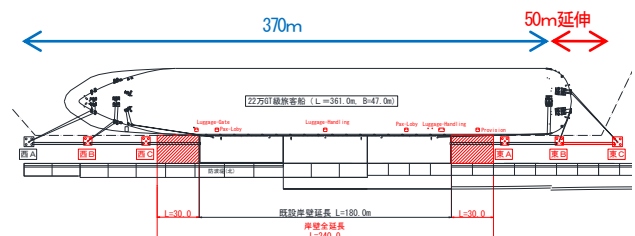


図-6 施設延長及び岸壁部の延伸

(3) 防舷材の改良

既設岸壁部は既に14万トン級の防舷材反力によりジャケット・杭諸元が設計されている。14万トン級よりも接岸エネルギーが大きい22万トン級クルーズ船を岸壁に接

岸させるためには、22万トンに対応した防舷材に改良する必要がある。しかし、22万トン対応の防舷材に改良し、防舷材反力が大きくなった場合、ジャケット部材や杭の安全性が確保できなくなる。これに対応するため、既設岸壁部の防舷材は図-7に示すように、より低反力型となるV型防舷材1000Hに取り替えることにより、ジャケット本体を改良することなく、22万トンの接岸力に対応した施設とすることを可能とした。

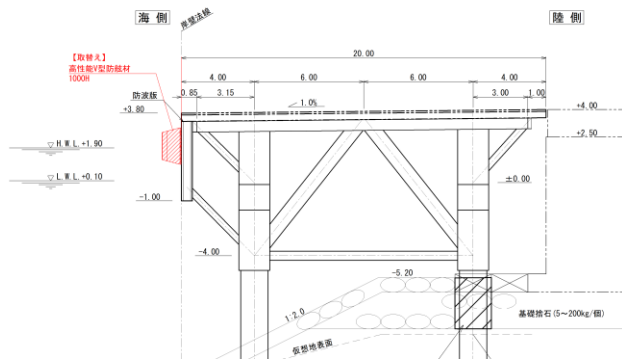


図-7 既設岸壁部防舷材の取り替え断面図

(4) ドルフィン改良

22万トン級クルーズ船を係留するためには、バースの両端3基分の係船柱は1500kNの係船柱にする必要があった。これに対応するため、図-8に示すように、新設する拡張部ジャケットを1500kN対応とし、1000kN係船柱が設置されている西Bドルフィン、東Bドルフィンに1500kNに取り替えることとした。また、ドルフィン杭は牽引力により設定されているため、増大する牽引力に対してはドルフィン改良を行う必要が生じた。

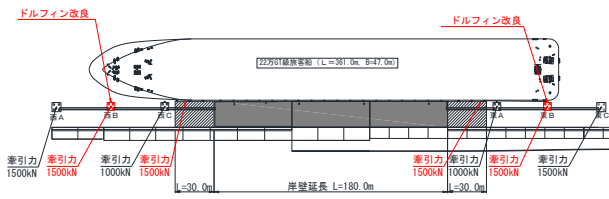


図-8 係船柱取り替え及びドルフィン改良の箇所

既設ドルフィンに対して、1500kNの牽引力で照査した結果、杭の応力超過及び支持力不足となった。このため、ドルフィン杭の応力対策と支持力（引き抜き）対策が必要となった。この対策として「増し杭補強案」、「補強梁+陸側杭アンカー設置案」、「ジャケット補強+陸側杭重量コンクリート打設案」等について比較を行い、経済性に優れた「補強梁+陸側杭アンカー設置案」を選定した。この改良案は、図-9に示すように、杭の応力対策として、ドルフィンの変形を抑えて発生応力を低減するために、

既設のドルフィン杭間に補強梁を設置し、杭の引き抜き抵抗力を確保するため、陸側の杭内部にアンカーを打設するものである。

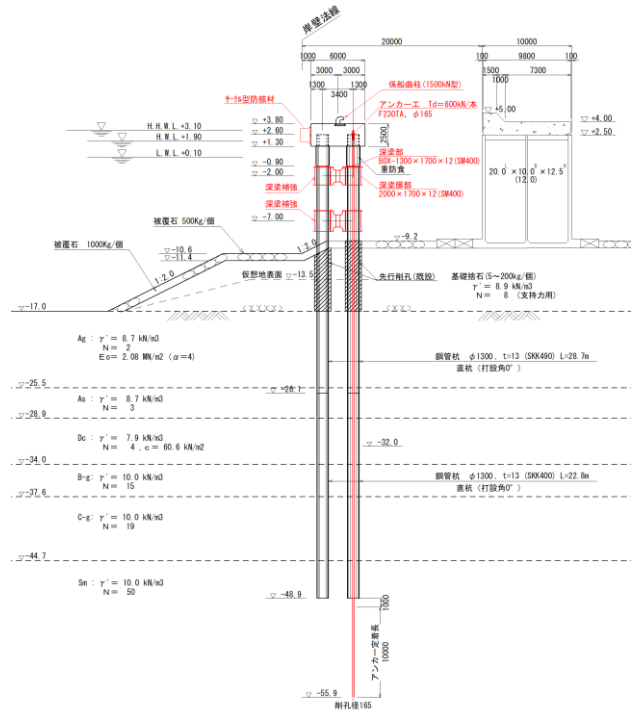


図-9 ドルフィン改良断面図

(5) 洗掘防止対策

22万トン級クルーズ船は、吃水が深く、またサイドスラスターの規格も大型となるため、スラスターにより発生した流速で現地盤が洗掘される可能性がある。この対策として、図-10に示すように岸壁の安定性に影響を及ぼす範囲である15mについて、海底面に被覆材を設置する対策を選定した。但し、計算上はスラスターによる流速で現地盤が洗掘する結果となったが、事例を調査した所、栈橋式構造においてクルーズ船のスラスターによる洗掘事例は確認されなかったため、事前の対策は施さず、今後の状況を経過観察し、必要に応じ洗掘対策を施す事後対策とすることとした。

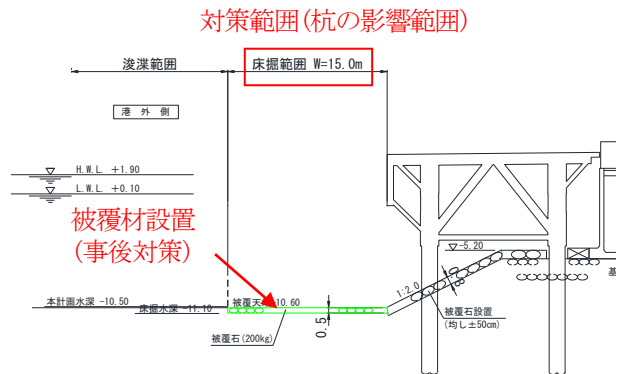


図-10 洗掘防止範囲及び対策案

(6) 施工期間の短縮検討

本岸壁は14万トン級クルーズ船岸壁として供用を開始しているため、22万トン級クルーズ船対応として改良する場合、出来る限り岸壁の供用を休止しない施工法で改良する必要がある。改良方策として、①岸壁拡張部の構造を現地施工の少ない「ジャケッ ト式」を採用、②防舷材を現地施工が少ない低反力 型の防舷材への取替対応を採用、とすることにより、 改良施工期間を短縮化したが、ジャケッ ト据付時や ジャケッ ト上部工場所打ちコンクリート打設時など、 どうしても岸壁を休止しなければならない期間が 発生する。



図-11 ジャケッ ト据付工事の様子

これに対して、出来る限り岸壁休止期間を短く するために、ジャケッ ト上部工場所打ちコンクリート 部打設と平行してドルフィン改良を行うなどの施工 検討を行い、岸壁を休止せざるをえない工種の実施 時期はなるべく重ねた工程とするように施工計画を 検討した。

表-2 岸壁休止を短くする施工計画

工種	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	7ヶ月	8ヶ月	9ヶ月	10ヶ月	11ヶ月	12ヶ月
準備工	■	■										
岸壁拡張部(ジャケッ ト部)												
鋼管杭工												
ジャケッ ト据付工												
ジャケッ ト精込・運搬												
ジャケッ ト据付工												
杭頭処理工・グラウト注入												
防波板工												
杭頭処理工・グラウト注入												
上部工												
PC床版据付工												
場所打ちコンクリート工												
場所打ちコンクリート工												
付帯工												
係留部ドルフィン改良(西B、東B)												
補強梁 取付												
杭内アンカー打設												
係留柱取替												

※赤字は岸壁供用休止が必要となる工種を示す。

なお、岸壁休止期間中のクルーズ船の受入につい ては、岸壁が未整備の際に対応していた、沖泊した クルーズ船からテンダーボートを利用する方法にて

対応し、工事期間中もクルーズ船を受入できるよう にした。

5. まとめ

現在、以上の検討を踏まえた22万トン級クルーズ 船に対応した拡張工事を進めており、令和4年度には 宮古島への寄港が可能となる。

なお、世界的な新型コロナウイルスの影響により クルーズ船の運航が休止しているが、各船社から大 型クルーズ船の強い寄港要請があり、将来的には20 万トンを超えるクルーズ船の配船が予定されている。 大型クルーズ船の受入環境を整備することは、より 多くの新規観光客を呼び込むことに繋がり、アフタ ーコロナの宮古島の経済・観光のV字回復の起爆剤と して大きな役割を果たすことが期待される。

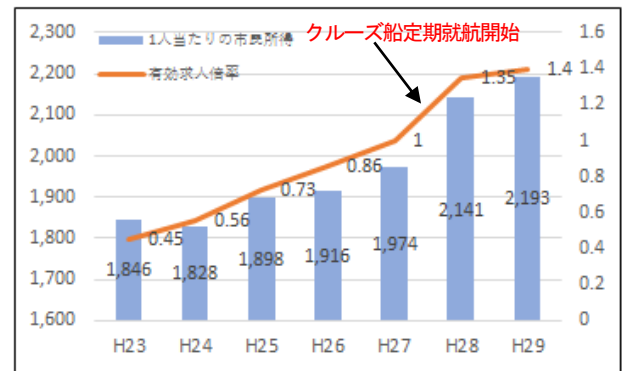


図-12 宮古島市へのクルーズ船寄港と 市民所得・有効求人倍率の関係

また、クルーズ船社等へ東アジアにおける外航ク ルーズ船の動向や将来の寄港要望などについてヒア リングを行い、近い将来に宮古島へ寄港するクルー ズ船の需要推計を行ったところ、約500隻/年の寄港 需要がある推計となった。この場合、現在整備中の 岸壁の整備が完了しても受け入れきれないものでは なくなることから、今後、クルーズ需要を見極めつつ 第2クルーズバース整備を視野に入れた検討を行って いく必要がある。

Session 4 物流・環境・防災

ヤンバルクイナと共存する道路を目指して

沖縄総合事務局 北部国道事務所 調査課 ○新垣 みなみ 高良 茂宏

1. はじめに

ヤンバルクイナは、沖縄県北部地域のみで生息する希少動物で、絶滅危惧種に指定されている。そのヤンバルクイナが餌などを求めて道路上に飛び出し、自動車にひかれてしまう、ロードキルによる事故が過年度から問題視されている。北部国道事務所では、従来からクイナフェンスを中心としたロードキル対策を行っており、一定の効果が確認されている。しかし、クイナフェンスの老朽化、台風などの強風による損傷といった維持管理面での課題も抱えている。2021年7月のユネスコ世界自然遺産登録を機に、今後、観光需要が高まることも想定されていることから、ドライバーにも注意喚起を促し、ヤンバルクイナと共存する道路を目指した新たな取り組みを紹介する。

2. ヤンバルとは

沖縄県は日本で唯一亜熱帯海洋性気候に属しており、珍しい動植物が多く生息する。特に沖縄本島北部地域、通称「やんばる」は、沖縄本島の森林面積の約70%を占めている自然豊かな地域で、国内面積のわずか0.1%に希少な固有種が多数存在し、日本全体の約半分の鳥類、1/4のカエルなどが生息している貴重な地域である。

この貴重な自然や生物の多様性が認められ、2021年7月に世界自然遺産に登録された。しかし、「やんばる」では貴重動物のロードキルが過年度から問題視されており、特にヤンバルクイナのロードキルは、ピーク時に比べて減少しているものの、いまだに年間30件程度が発生している。今後、自然や希少動物、地域の魅力が世界中から注目を浴び、多くの来訪者が予想されることから、ロードキルを減少させる取り組みの継続や強化が求められている。

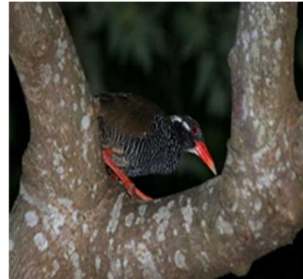


写-1 やんばるの貴重な自然の森

2. ヤンバルクイナのロードキル発生状況

(1) ヤンバルクイナとは

ヤンバルクイナは飛べない鳥として世界中で「やんばる」にのみ生息、国の天然記念物に指定されている。年々生息数が減少しており、絶滅危惧種にも指定され、絶滅の可能性が非常に高いとされていたが、近年では環境省や沖縄県などにより、マングースなどの外敵の駆除に取り組んできた結果、生息数や生息範囲が拡大している。ヤンバルクイナは普段は歩いて生活をしているため、餌を求めて道路に飛び出してしまふことがあり、その際に自動車と接触するロードキルが多く確認されている。



《ヤンバルクイナとは》

- ◆沖縄本島北部地域に生息し、国の天然記念物に指定
- ◆体長は約30cm程度
- ◆昆虫、カタツムリ、ミミズなどを食べて地上で生活し、夜は木に登って眠ります

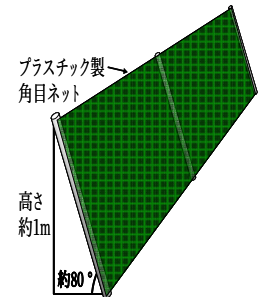
写-2 ヤンバルクイナの概要

(2) ヤンバルクイナのロードキル発生件数

ヤンバルクイナのロードキルは、2005年頃から増加し、2011・2013年のピーク時には47件発生している。近年は、地域や関係機関などの取り組みにより、減少傾向にあるものの、未だ多くの事故が発生している。北部国道事務所が管理する国道58号では、近年1～6件/年と横ばいであるが、クイナの生息数が上昇、生息範囲も拡大している中、これまで発生していなかった場所でもロードキルが確認されており、さらなる対策が求められている。



写-3 ヤンバルクイナの道路侵入 (左)・ロードキル (右)



写-4 クイナフェンス (左)・構造 (右)

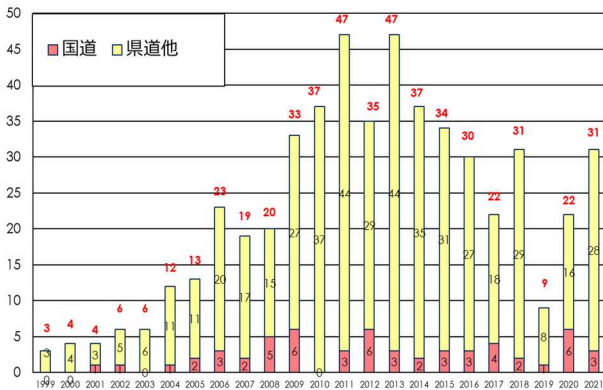


表-1 ヤンバルクイナのロードキル発生件数
※2021年は9月21日末時点

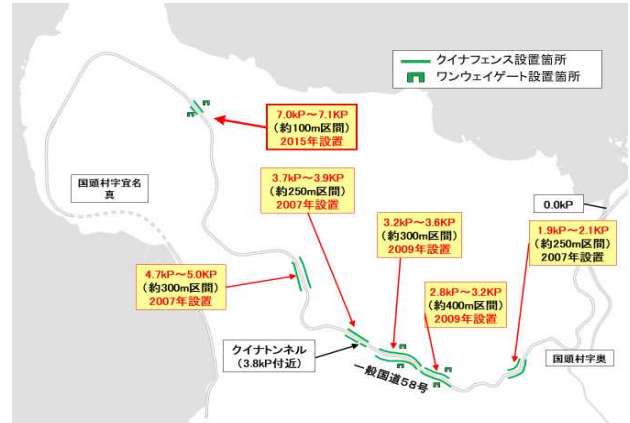


図-2 クイナフェンスの設置状況・詳細

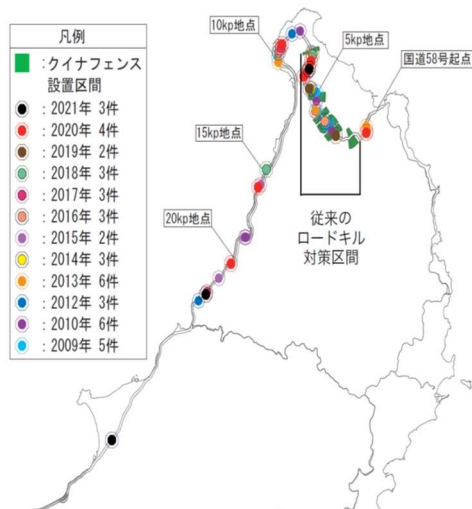


図-1 クイナのロードキル発生箇所

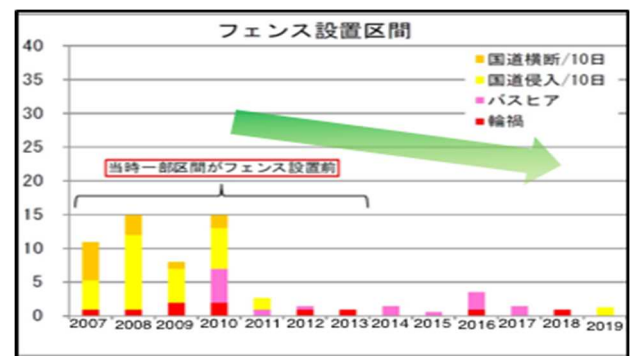


表-2 クイナフェンス設置前後の道路侵入件数

クイナフェンスを設置してから、クイナが道路に侵入する件数が大幅に減少した。このことから、クイナがロードキルに遭う機会が減少したとても効果的な対策である。

3. 従来のロードキル対策

(1) クイナフェンス

クイナをロードキルから守り、安全な道路を目指すべく北部国道事務所では道路と森の間に 2008 年からクイナフェンスを設置、クイナの道路侵入を防ぐ対策を行っている。フェンスは緑色のネットを使用、高さは約 1m でクイナが飛び越えられない高さとなっている。国道 58 号国頭村奥～辺戸にかけて 400m 程度の範囲で設置している。

しかし、フェンスでは塞ぐことが出来ない取付道路などの開口部からクイナが道路に侵入、徘徊することがあり、フェンスが障害となり、森に戻れなくなってしまう場合がある。その対策としてフェンス下部にゲート（シェルター型・横開き型・縦開き型の 3 種類）を設け、道路から森へ戻る工夫も行っており、実際にクイナの利用も確認されている。



写-5 ワンウェイゲート



写-6 シェルター型 前(左)・後(右)



写-7 横開き型 前(左)・後(右)



写-8 縦開き型 前(左)・後(右)



写-9 クイナのワンウェイゲート利用状況

一方、クイナフェンスは、台風などの強風による破損や老朽化による損傷が確認されており、維持管理面で負担にもなっている。



写-10 クイナフェンスの破損状況

(2) クイナトンネル

クイナフェンス以外にも2010年にヤンバルクイナの道路出現やロードキルの多発地点にクイナトンネルを設置している。道路の下にトンネルを設けることで、自動車とクイナの接触を完全に避けることが出来る。実際にクイナが利用する様子も確認されており、有効な対策となっている。

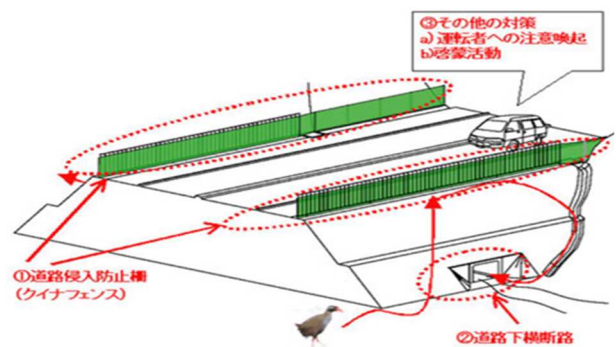


図-3 クイナフェンス・クイナトンネルの概要



写-11 クイナトンネルの写真



写-12 クイナがクイナトンネルを利用する様子

(3) クイナ標識

その他にもヤンバルクイナがよく道路へ進入する箇所に、標識を設置し、ドライバーにヤンバルクイナの道路侵入に対する注意喚起を行っている。



写-13 クイナ標識

4. 新たなロードキル対策

従来のロードキル対策は、限定された一定区間で発生していたクイナのロードキルを防ぐことを目的にクイナフェンス設置でクイナの道路侵入を抑制することを中心に対策を進めてきた。

今後はクイナの生息範囲の拡大や、沖縄県北部地域の世界遺産登録を機に増加が見込まれる来訪者に対する対策が急務となる。そこで、新たにドライバーに注意喚起を促し、安全な走行によるロードキル防止のための対策検討を進めている。

(1) 路面標示

路面標示を使ってドライバーにクイナ存在を事前に注意喚起して事故を未然に防ぐ対策である。

工夫した点は、クイナマークを表示した点、外国人にも分かるように英語表記を取り入れた点、赤い舗装で目立つようにした点である。



図-4 路面標示イメージ

(2) カーブ区間におけるカラー舗装

工夫した点は、カーブの手前で段差舗装を施し、ドライバーに振動でも注意を促す点である。車両の走行する音や振動する音でクイナが自動車の存在に気づき、道路からの退避を促し、ロードキルを未然に防ぐことを期待している。

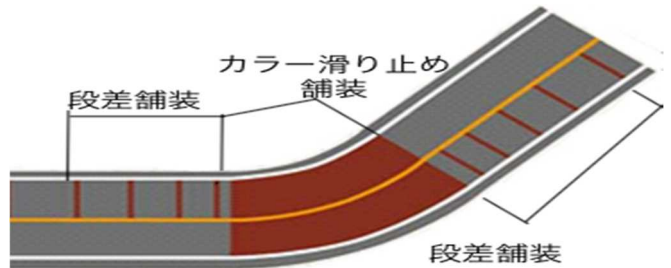


図-5 カーブ区間におけるカラー舗装イメージ

5. まとめ

新たなロードキル対策は、現在、関係機関との調整を進め、準備が整い次第、対策を行う予定である。

やんばるの森には、人間以外にもたくさんの動物たちが暮らしているため、生態系を守るためにも道路を利用するドライバーが注意を払い、ロードキルに対する意識をより持たなければならない。よって、従来のクイナに対する対策だけではなく、ドライバーに対する対策を強化することが必要不可欠と考えている。

ヤンバルクイナのロードキル対策を通じて、人とクイナが共存できる道路を目指したい。

参考文献

- 1) 環境省：やんばる国立公園ホームページ
- 2) 環境省：やんばる野生生物保護センターウフギー自然館ホームページ
- 3) 国土地理院：地理院地図／GSI Maps

無信号交差点の通行に関する法規範と市民意識

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○正 員 堂柿栄輔
東海大学工学部土木工学科 正 員 梶田佳孝

1. 研究の動機と内容

交通整理の行われていない交差点での事故の過失割合は、当事者の常識と法規範が異なる事例の一つである。法学においては日本人の法意識と欧米のそれは異なることが知られており、諸説はあるがその理由も説明されている。しかし多くの日本人にとってこのことは知る機会のないことであり、大方の日本人は日本が欧米流の法治国家であると思っている。一旦事故が起こったとき、当事者は常識（行為規範）と法規範のずれを意識することになる。一方司法業務にとっては法が根拠（規範）であり、当事者の責任割合等の算定は法に基づき行われる。

本研究では、（1）交通整理の行われていない交差点での事故について過失割合の法根拠を理解し、（2）法で示される過失割合についての意識調査及び、（3）交差点通行行動の観測調査から示し、法規範と意識、行動のずれを示した。

2. 過失割合の法規範

（1）交通事故の責任

交通事故では、刑事責任、民事責任及び行政処分の3つの責任が問われるが、過失割合は民事上の責任として数値化¹⁾されている。社会の法秩序維持のための刑事責任や、道路交通の安全確保を目的とし公安委員会が行う行政処分に対し、民事責任は損害賠償に関するものであり被害者の被った損害を填補し金銭により原状回復を図ることを目的とする。ここで事故は被害者にも過失がある場合が多く、諸要素を考慮して加害者、被害者双方の過失割合を判断することになる。この時、損害の公平な負担の観点から、被害者の被った損害額から被害者の過失の程度を減額する（過失相殺）することとなる。過失割合は被害者、加害者双方の責任を法規範に基づき数値化したものであり、直感的に分かりやすく意識調査による法規範の評価もこれを用いた。

（2）過失割合の事例

a) 過失割合の認定基準

交通事故の加害者、被害者の過失割合については既に多くの判例があり、参考文献1)、2)でそれらは示されており実際の交通裁判でも適用される。参考文献1)、2)では多くの事故形態を、「歩行者と四輪車・単車との事故」、「歩行者と自転車の事故」、「四輪自動車同士の事故」、「単車と四輪車の事故」、「自転車と四輪車・単車との事故」、「高速道路上の事故」、

「駐車場内の事故」等に分類し被害者、加害者双方の過失割合が示され、民事裁判や民間の保険業務での指針となっている。

ここで信号交差点での歩行者と自動車の事故を例に過失割合を表-1に示す。例えば歩行者側が赤信号、自動車側青信号の時（表最右列）、歩行者の過失は70、自動車の過失は30である。この時事故の場所が「住宅街・商店街」であり、歩行者が「集団横断」であれば、加算要素と減算要素を考慮し、各々10が減算され歩行者過失は50となる。「住宅街・商店街」であれば運転者は赤信号でも歩行者が横断することを予測しなければならないこと、また「集団横断」では容易に歩行者を発見できることが減算の理由である。

表-1 過失割合認定基準						
基 本		車 赤			車 黄	車 青
		歩青0	歩黄10②	歩赤20③	歩赤50④	歩赤70⑤
加 算 要 素	夜間	*	*	*	5	*
	幹線道路	*	*	5	5	*
	直前食後	*	*	5	5	*
	横断佇立・後退	*	*	5	5	*
減 算 要 素	住宅・商店街	*	*	-10	-10	-10
	児童・老人	*	-5	-5	-10	-10
	幼児・法71Ⅱ該当者	*	-5	-10	-20	-20
	集団横断	*	-5	-5	-10	-10
	車の著しい過失	*	-5	-10	-10	-20
	車の重過失	*	-10	-20	-20	-30
	歩車道の区別	*	*	-5	-10	-10
	なし	*	*	-5	-10	-10

b) 交通整理の行われていない交差点の通行方法

一方が優先道路である交通整理の行われていない交差点(図-1)での、自動車と自動車の事故の過失割合は図中のとおりであり、優先車Aは10、劣後車90である。優先道路を通行するAが10の過失を要求される根拠は道路交通法（以下法）第三十六条四項及び法第四十二条一項である。

・法第三十六条四項:車両等は、交差点に入ろうとし、及び交差点内を通行するときは、当該交差点の状況に応じ、交差道路を通行する車両等、反対方向から進行してきて右折する車両等及び当該交差点又はその直近で道路を横断する歩行者に特に注意し、かつ、できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない。

・法第四十二条一項:車両等は、道路標識等により徐行すべきことが指定されている道路の部分を通行する場合及び次に掲げるその他の場合においては、徐行しなければならない。

キーワード 無信号交差点, 法規範, 市民意識

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社会環境工学科 E-mail dohgaki@cvt.hokkai-s-u.ac.jp

一 左右の見通しがきかない交差点に入ろうとし、又は交差点内で左右の見通しがきかない部分を通行しようとするとき(当該交差点において交通整理が行われている場合及び優先道路を通行している場合を除く)。

法第四十二条一項では徐行の義務はないとされるが過失は10であり上記二つの条文は相矛盾する。その理由は法第三十六条第四項が法第四十二条一項に優先すると考えれば理解できる。優先道路を通行する車両は、見通しのきかない交差点であっても徐行の必要はない(法第四十二条一号)が、一方交差道路を通行する車両等に注意し、できる限り安全な速度と方法で進行する義務(法第三十六条四項)を有する。これは他方の一時停止標識等の有無に関わらずである。「できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない」が「徐行の必要はない」とは如何なる運転行為なのか。一般には理解が難しいが、「徐行の必要はない」ことは、徐行してはならないことではない。従って「できる限り安全な速度と方法」で進行した結果、徐行となることがあってもよいことになる。道路交通法は規制が多く、「必要がない」ことを限定して考えがちである。これらのことから過失割合の設定は、優先する側の権利ではなく”優先させて頂く”側の義務の視点に立つと言える。過失割合は多くの判例の積み重ねであり理論値ではない。

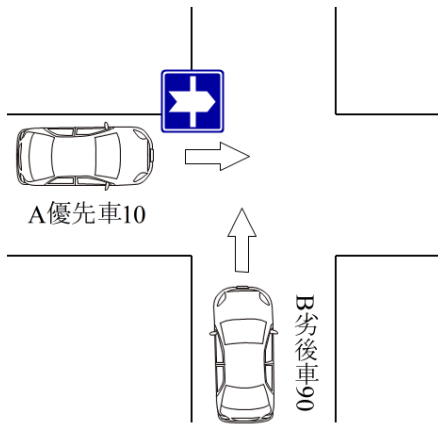


図-1 優先道路の過失割合

3. 過失割合に対する意識

(1) 意識調査の方法

一方に一時停止標識を有する図-2の交差点を想定し意識調査を行った。この交差点での事故時の過失割合は参考文献1)2)からA20、B80である。調査は図-2の交差点の過失割合の評価として行った。設問を以下に示す。

【設問1】 Aの過失20、Bの過失80について

- ① まあまあ妥当
- ② 「止まれ」側の過失100、もう一方0
- ③ 「止まれ」側の過失60、もう一方40
- ④ 「止まれ」側の過失(), もう一方()

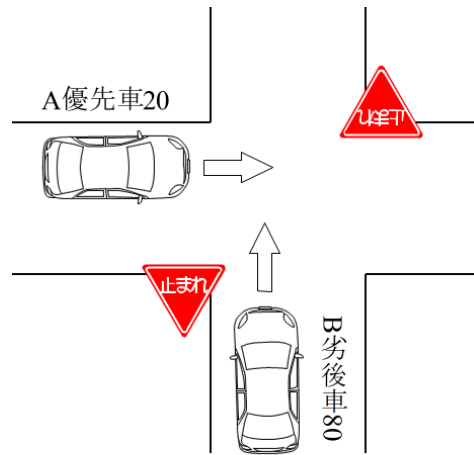


図-2 一時停止交差点の過失割合

【設問2】 回答の立場(視点)について

- ① Bの立場(運転者)
- ② Aの立場(運転者)
- ③ 両者の立場

【設問2】は【設問1】に続く設問である。【設問1】の回答の直後に、回答の立場①～③を選択してもらった。設問形式は自由回答付き多肢選択法、回答は調査の趣旨が伝わるよう集合調査法で行った。回答者は185人、男子大学生(2年生～3年生)が90%である。

(2) 集計結果

a) 過失割合の評価

図-3に過失割合の評価を示す。横軸は一時停止義務を負う側の回答された過失割合である。

① 支持される過失割合

標準値であるA20、B80に対する支持は56.2%であるが6割に満たない。劣後車Bの過失を標準値より大きく考える割合は34.5%、より小さく考える割合は9.1%であり、一時停止標識の側により大きな過失を認める傾向がある。

② 過失割合の多様性

示した選択肢は①～③の3とおりであるが、自由回答が5とおりあった。劣後車Bに100の過失を求める割合が16.2%である一方、60とする割合が5.4%ある。過失割合の選択肢の増加は、双方の注意義務意識の多様性を表しており、事故誘発の可能性がより大きいことを示唆する。

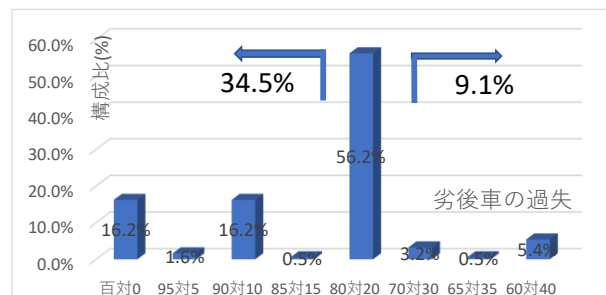


図-3 過失割合の評価

b) 回答の立場による比較

図-4は回答の立場による過失割合の選択結果である。横軸分類は劣後車の過失割合であり、例えば「100対0」の33.3%なる値は「A優先側」の立場で回答した割合、13.8%は「B停止側」の立場での回答結果である。【設問1】では、回答者はAかB何れかの立場で判断するが、【設問2】ではその立場を「A優先側」、「B劣後側」または「両者」の何れかで選択してもらった。

①標準値80対20の評価

回答の立場に関わらず、80対20の過失割合の指示が大きい。しかし「B停止側」の立場では62.1%であるのに対し、「A優先側」の立場では38.1%と小さい。「B停止側」に85以上の過失を求める割合は、「B停止側」の立場では27.6%、「A優先側」では55.5%となった。一般に社会規範に関する意識調査では自身の責任を小とする傾向があり、立場による数値の違いはこれと一致する。

②100対0について

この過失割合は、一時停止側に100%の責任を問うものであり、法規範（第三十六条四項）と市民意識のずれが顕著な例である。一時停止標識の有無に関わらず両者に交差点通行の注意義務を促す法規範は優先側回答者33.3%の人にとって理解が難しいことを意味する。交差点の通行に関し我が国の法には優先権（権利）の意識が低く、安全の確保は“互いに注意する”ことを前提とする。一時停止の義務が他方の優先的な通行権を意味しないことは、一時停止後の事故の過失割合が40対60であることから分かる。我が国での「Yield」や「GIVE WAY」規制の妥当性は興味深い。

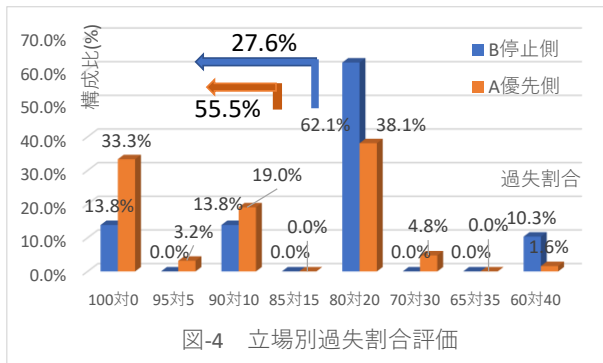


図-4 立場別過失割合評価

4. 交差点の通過行動

(1) 交差点の行動調査

調査は観測調査であり、観測項目を表-2に示す。対象交差点を写真-1及び図-5に示す。いわゆる住区内の生活道路である。調査は平成30年9月～10月、8:00～10:00の時間帯で4日間、計4.5時間行った。交通量は平均31.3台/h（141台/4.5時間）である。運転者及び自動車の属性は、性別、目的、自動車分類である。また通過行動の記録では安全の確認形態（法第三十六条四項）、速度変化（法第三十六条四項）、停止位置（法第四十三条）の分類カテゴリーを一つ記録した。観測者の目視による記録であ

表-2 観測項目					
【属性】に関する記録項目					
要因	選 択 肢（一つ選択）				
運転者性別	男性/女性				
目的	業務	配達	私用	通勤	通学
自動車分類	乗用車	商用車	貨物車	軽自動車	赤帽
【交通行動】に関する記録項目					
要因	選 択 肢（一つ選択）				
確認	両側	左側	右側	なし	
速度変化	停止	最徐行	徐行	僅か	なし
停止位置	遵守	通過	手前	なし	



写真-1 対象交差点

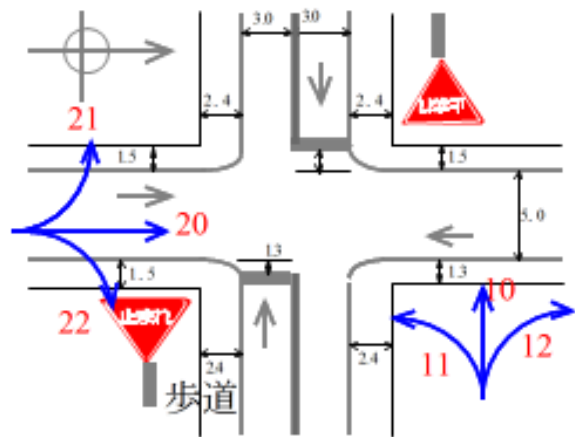


図-5 交差点形状と現示

る。道路定規は一時停止側が中央線を有する片側2車線（3.0m/車線）、歩道幅は2.4mである。他方は中央線を有しない車道幅5.0m、歩道幅は1.5mである。当地域は第1種低層住居専用地域が広域に設定され、幹線道路沿いは近隣商業地域が設定されている。

(2) 集計結果

a) 一時停止の実効性

停止及び徐行は法第二条十九項、二十項の定義に従った。一時停止に関する記述を以下に示す。

法第四十三条:車両等は、交通整理が行われていない交差点又はその手前の直近において、道路標識等により一時停止すべきことが指定

されているときは、道路標識等により停止線の直前(道路標識等による停止線が設けられていない場合にあつては、交差点の直前)で一時停止しなければならない。この場合において、当該車両等は、第三十六条二項の規定に該当する場合のほか、交差道路を通行する車両等の進行妨害をしてはならない。

図-6に法第四十三条に関する一時停止の実効性を示す。「停止側」と「他方」の両方を示した。速度変化の観測は5分類であるが、「最徐行」はほぼ停止状態ではあるが車輪の回転は僅かに続いていたものとした。「停止側」の通行は、停止、最徐行及び徐行のいずれかであり、速度変化が僅かなものや減速しないものはなかった。しかし法規範に示される停止行動は5.6%であり63.3%は徐行である。交差点進入時の視野にもよるが、多くは徐行により安全を確認している。この行動は通常は問題とならないが、事故時には停止側により強い過失が問われる。一方「他方」では速度変化の全くないものが26.1%、徐行は56.5%、最徐行が8.7%である。ほぼ停止に近い安全確認から速度変化の全くない通行まで、安全確認行動には相当の差がある。速度変化のない26.1%の運転者は優先権に近い意識であることが推測される。

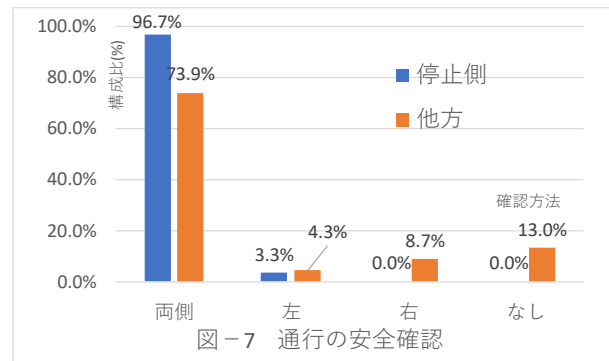
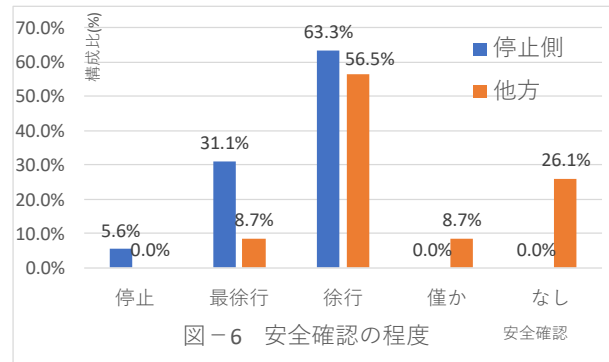
b) 通行の安全確認行動

法第三十六条四項(先述)に関する安全確認である。図-7に「停止側」と「他方」の安全確認行動を示す。「停止側」では96.7%が左右両側の安全確認を行っている。一方「他方」側でも73.9%は両側の確認を行っているが、13.0%は確認を行わない。「他方」側での安全確認のバラツキは市民意識の差であり、事故時の過失割合認定ではしばしば対立がおきることになる。法第三十六条四項は13.0%の人には理解されていないことになる。

5. まとめと課題

意識調査及び行動観測から得られた知見を以下に示す。

- 1) 意識調査による事故の過失割合の評価では、標準値であるA20、B80に対する指示は56.2%であり6割に満たない。劣後車Bの過失を標準値より大きく考える割合は34.5%、より小さく考える割合は9.1%であり、一時停止標識を有する側により大きな過失を認める傾向がある。
- 2) 回答の立場を考慮した「停止側」の過失80(規範)に対する評価は、「B停止側」の立場では62.1%であるのに対し、「A優先側」の立場では38.1%となった。一般に社会規範に関する意識調査では自身の責任を小とする傾向があり、「B停止側」に85以上の過失を求める割合は、「B



停止側」の立場では27.6%、「A優先側」では55.5%となった。

- 3) 「一時停止」では法規範を実行する割合は5.6%であり僅かであるが、最徐行を含めると36.7%である。日本人の法意識では法を厳格な規範と考えるより目標を考える傾向がある。一方通行の安全確認では「他方」側でも73.6%は両側の安全確認を行っており、優先する側の義務はある程度理解されている。

参考文献

- 1) 浦野哲哉編集・発行：別冊判例タイムス第38号，(株)判例タイムス社，平成26年7月。
- 2) 倉田卓次，宮原守男：交通事故損害賠償必携(資料編)，新日本法規出版(株)，平成30年11月。
- 3) 堂柿栄輔：区画道路交差点での交通事故の過失相殺に対する市民意識，第62回年次学術講演会講演概要集CD-ROM，土木学会，2007.9
- 4) 堂柿栄輔：違法駐車及び交通事故の過失相殺についての市民意識，交通科学研究資料第47集 pp.98～pp.101，日本交通科学学会，2006.5
- 5) 堂柿栄輔，築瀬範彦：交通秩序の規範と日本人の法意識，土木計画学研究講演集 Vol34CD-ROM，土木学会，2010.11

CyberPort（サイバーポート）による 港湾物流手続きの効率化について

伊是名 興治¹・○本山 凌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）

港湾物流分野におけるCyberPort（サイバーポート）は、紙、電話、メール等で行われている民間事業者間の港湾物流手続きを電子化することで業務を効率化し、港湾物流全体の生産性向上を図ることを目的として国土交通省港湾局が構築したプラットフォームである。Cyberport導入に向け、沖縄の港湾において業務の効率化のためにどのような取り組みが必要か考察を行った。

キーワード CyberPort(サイバーポート), 港湾物流手続き, 電子化, 効率化

1. はじめに

国土交通省港湾局では、港湾における生産性向上、国際競争力向上などを図るため、港湾物流手続きや港湾管理者との手続きに係る情報、港湾における施設・工事の情報など、あらゆる事業者が情報を柔軟に活用できる環境を構築することを目指し、「港湾物流分野」「港湾管理分野」「港湾インフラ分野」の3分野においてデータ連携基盤「CyberPort（サイバーポート）」を構築している。

このうちCyberPort（港湾物流分野）は、紙やFAX、メールなど非効率な状況が残る民間事業者間の港湾物流手続きを電子化することにより効率的な業務を行い、港湾物流全体の生産性向上を図ることを目的としている。平成30年度から国土交通省港湾局においてシステムの設計・構築を開始し、令和2年末に構築が完了し、令和3年4月からシステム稼働を開始している。本論文では、港湾物流分野におけるCyberPortについての概要と沖縄の港湾における現状を整理し、導入に向けどのような取り組みが必要か考察した。

2. 沖縄における港湾物流の現状

2019年の那覇港総取扱貨物量は、近年の観光客増加により約1,400万トンであり増加を続けている。外貿において、輸出34万トンに対し輸入88万トンと輸入貨物量が多い。内貿において、移出504万トンに対し移入702万トンと移入が多い。

以降、輸入の物流手続きについて流れをみていく。CyberPortは、①到着通知の発行から③空コンテナ返却までにおける一連の手続きに関して電子化を行い、業務の効率化を図るものである。

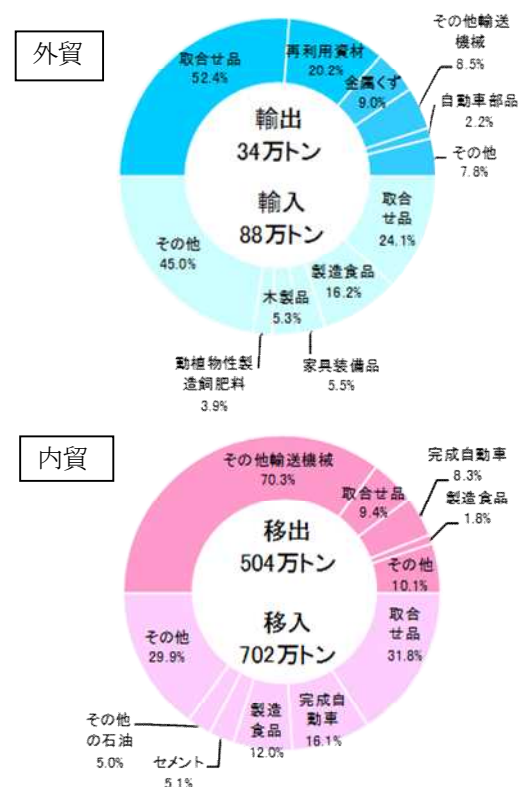


図-1 取扱貨物の品目内訳（2019年,那覇港）

① 到着通知（A/N）発行

【船社】本船が揚げ地の港に到着する数日前に船社は、到着通知（A/N：Arrival Notice）を輸入者やフォワーダーなどに送付し、貨物の到着予定を知らせる。

② 積荷目録（マニフェスト）提出

【船社】税関とターミナルに積荷目録（マニフェスト）を提出。マニフェストデータは積地にて入力されNACCS※を通じて税関へ送付される。

※入出港する船舶・航空機及び輸出入される貨物について、税関その他の関係行政機関に対する手続及び関連する民間業務をオンラインで処理するシステム

- ③ ターミナル宛、積荷目録（マニフェスト）送付
【船社】積荷目録（マニフェスト）はターミナルにも本船入港前に送付される。
- ④ B/L提出（運賃支払）
【荷主】船荷証券（B/L：Bill of Landing）は荷主と船社との間で運送契約を結んだことを証明する書類で、船社へ提出し運賃を支払う。
- ⑤ 揚荷役
【船社】ターミナルでは、船社から入手したマニフェスト他の資料をもとに、コンテナ船の荷役計画、ヤード内配置計画を作成し、効率的なオペレーションの準備を進める。
- ⑥ D/O発行
【船社】運賃支払いを確認後、荷渡指図書（D/O：Delivery Order：船社が貨物の引き渡しを指示する書類）を発行する。
- ⑦ 卸コンテナリスト
【船社】コンテナ自体も外国貨物であるため輸入の手続きを必要とする。本船から陸揚げされるすべてのコンテナは、ヤード（税関に認定された保税地域）に搬入する。同時にコンテナ番号などを詳細に記載した「卸コンテナ一覧表」を提出し、コンテナ自体の通関申告を行う。
- ⑧ 貨物搬入確認
【船社】船積み貨物がターミナルに搬入されたことを税関に申告する必要がある、税関に対して一括搬入手続きを行う。卸コンテナリストとマニフェストを税関に提出し、税関の許可を取得後荷主に対して貨物の引き渡しが可能となる。
【荷主】輸入貨物の輸入申告は、貨物のターミナルへの搬入確認をしてはじめて税関に対して行うことができる。
- ⑨ 輸入申告
【荷主】NACCSを通じて申請し、税関の求めに応じ書類を提出する。
- ⑩ 輸入許可
【荷主】問題なければ、税関は輸入を許可する。これにより貨物は内国貨物となる。
- ⑪ 搬出手続
【荷主】引き取り前日までに、ターミナルへ所定の様式により搬出オーダーを提出しておく。
- ⑫ 実入コンテナ引き渡し
【船社】ターミナルは、荷主からD/Oや輸入許可書などの書類を提出してもらい、記載内容について保税台帳やマニフェスト等と照合した上でコンテナの引き渡しを行う。また、コンテナ自

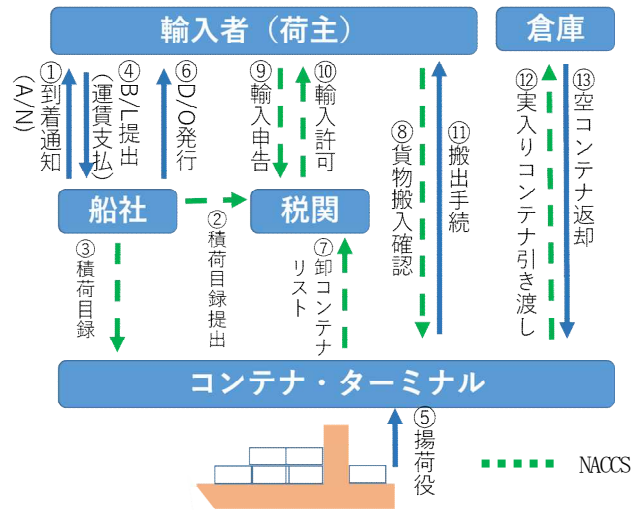


図-2 輸入に関する手続きの流れ

体の受け渡しについて、陸運業者との間でEIR（Equipment Interchange Receipt：コンテナの状態が記載された受渡証）を交換する。

⑬ 空コンテナ返却

【荷主】空コンテナを船社指定のバンプールに返却する。

【船社】返却を受ける際に、コンテナの状態をチェックしたうえでEIRを発行する。

図-2の点線で示した手続きはNACCSを通じて行うことができるが、実線で示した手続きは、主に電話やFAX、メールにて行う必要がある。CyberPortの導入により、実線の手続きをシステム上で行うことができ、必要な書類間で共通する項目は自動で入力され、再入力や照合作業の削減が可能となる。

3. CyberPortの特長

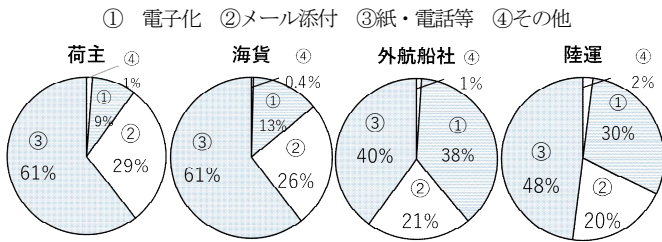
(1) 港湾物流手続きにおける課題

港湾物流手続きは、各社のグループ内や特定の事業者間での電子化は進んでいるものの、港湾物流に関わるいずれの業種においても、約5割の手続きが依然として紙、電話、メール等で行われている現状がある。このため、紙やPDFの情報を電子化するための再入力作業や、手続状況の電話問い合わせなど、非効率な作業が発生している。また、同様の手続きでも事業者毎に書類様式・項目や接続方法が異なるため、これらに個々に対応する必要がある。

(2) CyberPortのメリット

a) 港湾物流手続きの電子化

民間事業者間において紙、電話、メール等により行われている港湾物流手続きが電子化され、書類の作成・送信、データの取得・再入力、問い合わせ等



※各業種へのアンケート調査結果より港湾局作成 (N=239社)

図-3 業種別の情報伝達方法

に要する時間の削減が可能となる。また、事業者間で異なる書類様式・項目や接続方法への対応が不要となることで、システムの改修費用が削減できる。

b) 手続きのトレーサビリティ確保

民間事業者間の港湾物流手続きの進捗状況が可視化される。また、従来よりも早いタイミングでのデータの取得、関係者共有が可能となり、手続きの待ち時間短縮による業務の効率化や顧客へのサービス向上が可能となる。

c) 各社の事情に応じた利用方法の提供

各社の事情に応じて、①各社のシステムを通して CyberPort を操作する方法 (情報連携 API) と、②インターネット上の CyberPort の画面 (GUI) を直接操作する方法の 2 通りの利用方法が選択できる。これにより、各社のこれまでのシステムへの投資を無駄にせず CyberPort が利用できるとともに、在宅での物流業務が可能となり、ウィズコロナ時代に対応した業務環境が実現する。

d) 様々なシステムやプラットフォームとの連携

CyberPort を通して NACCS の手続きを行うことが可能となれば、港湾物流手続きと税関手続きのワンストップ化が可能となる。また、様々なプラットフォームとの連携により、さらなる業務の効率化が期待できる。

e) データの提供・活用

CyberPort の集計データを活用することにより、港湾物流業務の効率化が期待できる。また新たな港湾政策・物流政策の立案にも役立つ。

4. 実証事業について

CyberPort は一連の港湾物流手続きにおいて一定規模以上の事業者が利用し、一気貫通のデータ連携が行えるようになることで初めて効果が発揮される。そこで、国土交通省港湾局では、CyberPort システムと各事業者システム間の機能確認・動作性の技術的検証を行い、CyberPort の運用可能性や効果を検証するため、「CyberPort 利用促進・運用効率化実証事業」を実施している。

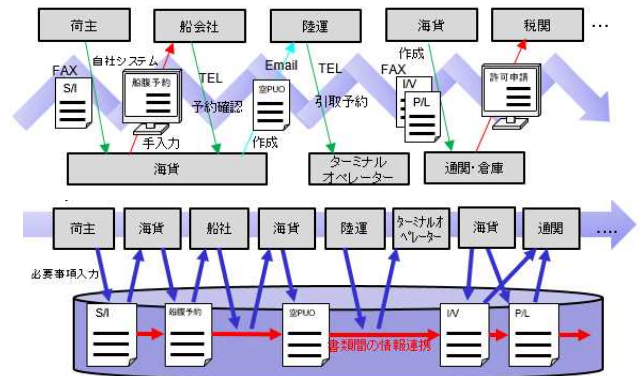


図-4 CyberPort 導入前後の手続きの流れ

(1) 目的

港湾物流手続きには様々な事業主別の民間事業者が関り、それぞれ自社の物流業務システムを有している場合もある。CyberPort とこれら物流業務システムを API 接続させたときに、(i) 手続パターンごとに関係事業者間でのデータ連携が可能か、(ii) CyberPort が実務環境において円滑に利用できるか等について確認する。

また、CyberPort のさらなる利用促進や機能改善方策の検討のため、CyberPort の利用効果についても検証を行う。さらに、CyberPort の導入を契機とし、港湾物流に係る手続効率化や商慣習改善といった先導的な取り組みにつながることも期待され、広く提案を募ることとしている。実証の期間は令和 4 年度 2 月までを予定している (表-1)。

表-1 事業スケジュール(1 次公募)

時期	内容
3 月 12 日	公募開始
5 月 31 日	応募書類提出締切り
6 月上旬	有識者委員会
6 月中旬	参加者の決定・公表
6 月中旬～7 月中旬	参加者と実施主体間の契約・調整手続
7 月中旬～9 月中旬	参加者のシステム改修
9 月中旬～令和 4 年 2 月	実証の実施

5. 博多港物流 IT システム (HiTS) について

全国の港湾の一部では、港湾物流全体の効率化を図るため、独自のシステムを活用しているところがある。一例として、博多港物流 IT システム (HiTS) を挙げ、その概要や特徴について述べる。

(1) 開発の経緯

1990 年ごろからコンテナ貨物が急増している博多港では、慢性的なゲート混雑と周辺道路の渋滞が問題となっていた。荷役機械の増車やゲートオープン時間の延長、ヤードの拡張など、ハード面や運用面

で対策を行ったものの、解消には至らなかった。そこで、混雑要因の調査を実施した結果、下記のような情報の共有不足の要因があり、これらが全体的な混雑を引き起こしている可能性が高いことが判明した。

- ・輸入コンテナを引き取りに来たが、貨物の搬出許可が下りておらず、ゲート前で許可を待っていた。
- ・貨物の引き取り時期がわからないため、コンテナヤードでコンテナの効率的な蔵置ができなかった。
- ・翌朝一番の配送のため、夕方に引き取りが集中した。

これらは関係者間で貨物の状態や混雑状況の情報を共有することで、解消される可能性がある問題であった。そこで、関係団体により情報共有のためのインターネットを活用した輸入貨物に関するターミナル情報の開示システムづくりが行われ、2000年11月に「博多港物流 IT システム (Hakata Port Container Cargo IT System=HiTS)」が完成し、供用が開始された。

(2) 主な機能と効果

HiTS は輸出入コンテナに関する様々な情報を提供するサービスであり、以下にその主な機能を紹介する(図-5)。

① 輸出入コンテナ情報照会

輸出入コンテナについて、基本情報(コンテナサイズ、空返却場所)や本船情報(船社、船名、仕出港)、位置情報(着岸・搬出入時間)などの情報をインターネットを通じてリアルタイムで把握することができる。

② 着離岸情報照会

スケジュールの変更が多い船舶動静をリアルタイムで確認することができ、貨物を積んだ船がいつ、どのターミナルに着岸するかを把握できる。

③ CY 混雑状況・映像

1分毎に更新されるゲート前映像をリアルタイムで確認することができ、ターミナルの混雑状況を把握することができる。

これらの機能により、ターミナルや海貨業者、陸運業者、荷主など関係事業者が作業計画をたてやすくなった。また、複数の関係事業者が同時にコンテナの最新情報を把握することができるため、電話対応等にかかる時間が減少した。

6. 沖縄の港湾における現状と今後の取り組み

沖縄の港湾における電子化の現状を踏まえ、今後必要な取り組みについて考察した。

図-1の通り、沖縄の港湾物流は内貿がメインであ



図-5 博多港物流 IT システムのトップページ

るが CyberPort は外貿を対象としており、現時点では内貿を対象としたデータ連携システムは構築されていない。内貿は外貿と比較して手続きが大まかで、紙や電話による手続きが多い現状がある。今後は手続きのフォーマット化や電子化した方が効率的と思われる手続きの電子化を行い、内貿を対象とした CyberPortが構築された際に連携を実現できれば、業務の効率化につながると考える。

外貿については、すでに自社のシステムを開発済みで手続きの電子化がされていたり、メール等で対応する手続きについても関係者間で方法が確立されていたりする場合、CyberPortの導入にメリットを感じられない可能性がある。一方、コンテナや船の動静などアナログ的なことをリアルタイムで把握する手段がなく、把握できれば業務に役立つとの声があった。前述した「博多港物流ITシステム (HiTS)」のように、全国の港湾では、独自のシステムで手続きの進捗状況やコンテナの位置情報の把握を可能にしているところがある。現在のCyberPortは、関係事業者間でデータ連携を行い手続きの効率化を図るものであるが、コンテナの位置情報や船の入港予定などの情報がCyberPortを通じて把握できるようになれば、より利用者のニーズに合ったシステムになると考える。今後も沖縄の港湾利用者にとっての利便性の向上を目指し、さらなる改善が期待される。

参考文献

- 1)コンテナ物流の基礎：臼井修一株式会社コスモ・レジェンド
- 2)CyberPort HP：<https://www.cyber-port.net/>
- 3)国土交通省HP「CyberPort利用促進・運用効率化実証事業」
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_kikaku_API_210312.html
- 4)NACCS HP：<https://www.naccs.jp/>
- 5)博多港物流 IT システム (HiTS)HP：<https://www.hits-h.com/>

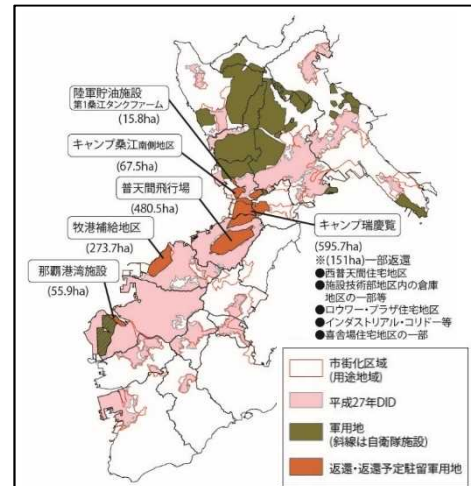
沖縄県内等における土地区画整理事業の事例と今後の展望について －SDGs 目標 11（住み続けられるまちづくりを）の達成に向けて－

沖縄県企画部交通政策課 ○主任技師 玉盛 寛己

1 はじめに

沖縄における土地区画整理事業^(参考①)は、全体の約 1/3 を軍用地の跡地利用として施行しており、今後の駐留軍用地跡地利用計画（嘉手納飛行場以南の跡地約 1,000ha 返還）^(※1)や施行主体である自治体等の土地利用計画を鑑みると、事業費の増大やステークホルダーの増に伴う行政側の負担増が懸念され、より一層の『円滑な事業推進』が必要となる。

また、2015 年国連において『誰一人として取り残さない』を基本理念に定められた① SDGs^(後述)の社会課題解決目標 11（住み続けられるまちづくりを）や、② 国の施策における『スマートシティ・ICT の推進』^(後述)、③ 沖縄 21 世紀ビジョン基本計画^(後述)の課題等において、本事業を起点とした産学官の連携は課題解決策の 1 つになり得ると考える。本稿では、上記を念頭に国・県等の施策や沖縄における土地区画整理事業の参考事例の紹介を通して、課題の抽出及び解決に関する手法例の提案をさせて頂く。

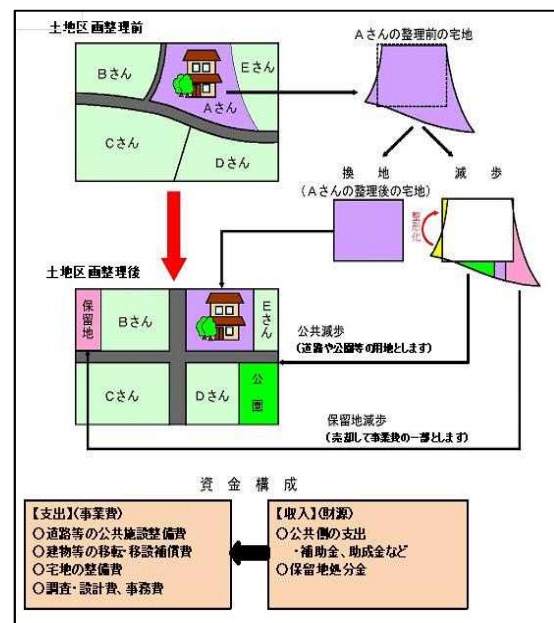


(図 1) 中南部都市圏の市街地と基地の位置

2 土地区画整理事業とは（参考①）

土地区画整理事業の仕組みは、右図のとおり土地区画整理法により換地手法を活用し、宅地整備と公共用地（道路・公園等）の創出をすることが特徴となっている。公共用地や事業資金の創出のため、土地所有者等からその所有地の状況に応じ、少しずつ土地を提供（減歩）して頂き、これを公共施設用地や保留地に充てる。

宅地は、公共施設に併せて再配置（換地）され、土地所有者等においては、事業後の宅地面積は従前に比べ小さくなるが、道路や公共施設が整備され、土地の区画が整うことで、利用価値の高い宅地が得られることとなる。



(図 2) 土地区画整理事業のしくみ

(図 1) 中南部都市圏駐留軍用地跡地利用広域構想パンフ（H31.1 改訂版／沖縄県・関係市町村）

(※1) 沖縄に関する特別行動委員会 (SACO) H8: 嘉手納飛行場以南 6 施設の返還区域・時期が明示された。

3 沖縄の土地区画整理事業の特殊性と本稿におけるテーマ

市町村や組合が事業施行主体（まちづくりの主体）となる場合が多い本事業において、県土木建築部で事業中に直接的に関連がある部署は、事業認可や指導監督権限のある都市計画・モノレール課市街地整備班のみとなっている。現在、中・南部域を中心に実施している土地区画整理事業の中には、西普天間住宅地区やアワセ地区（ライカム）、てだこ浦西駅周辺地区等、基地跡地を大規模に整備することにより経済波及効果を発揮する。

特に、沖縄県における土地区画整理事業は、全体の約 36%が基地跡地で実施されており、今後の大規模な返還を想定すると、本事業のさらなる推進と産学官及び部門を超えた連携が必要となる。

■土地区画整理事業総括表							令和2年3月末時点
施 行 者		事 業 完 了		事 業 継 続 中		合 計	
		地区数	面積 (ha)	地区数	面積 (ha)	地区数	面積 (ha)
公共団体	市 町 村	(8)	(299.9)	(2)	(96.5)	(10)	(396.4)
		31	1166.2	22	835.7	53	2001.9
	県	(1)	(77.2)	(0)	(0.0)	(1)	(77.2)
		1	77.2	0	0.0	1	77.2
組	合	(19)	(471.8)	(2)	(43.7)	(21)	(515.5)
	52	843.3	9	170.0	61	1013.3	
地 域 公 園	(1)	(214.0)	(0)	(0.0)	(1)	(214.0)	
	1	214.0	0	0.0	1	214.0	
合 計	(29)	(1062.9)	(4)	(140.2)	(33)	(1203.1)	
	85	2300.7	31	1005.7	116	3306.4	
(沖縄県都市計画・モノレール課調べ)							
注1) 上段 () 書きは、返還軍用跡地における土地区画整理事業実施地区。下段の数値となる。							
注2) 組合施行には、個人施行を含む。							
注3) 完了地区は「地味最長の公告」を終了している地区とする。施行地区は事業計画を認可した地区。							

注1) 上段 () 書きは、返還軍用跡地における土地区画整理事業実施地区。下段の内数となる。
注2) 組合施行には、個人施行を含む。
注3) 完了地区は「換地処分公告」を終了している地区とする。施行地区は事業計画を認可した地区。

(図 3) 沖縄における土地区画整理事業総括表

上記を踏まえ、本事業に関連して市街地再開発事業や密集市街地整備事業など多岐に渡るが、本稿では、基地跡地における土地区画整理事業について論ずることとする。

4 SDGs、国交省施策、21 世紀ビジョンの側面からの事業展開

令和 2 年頭より猛威を振るっている新型コロナウイルスは、現在（2021 年 12 月）の日本感染者数約 170 万人に膨れ上がり、今のところ収束の目処がついていない。

今後、コロナ渦中・後を見据えたインフラ・社会基盤の整備、生活様式の変化等の促進が想定され、また、世界規模・国・自治体等の施策(※2)においても直接的・間接的に解決策が模索されているところであるが、土地区画整理事業の観点からも、SDGs、国交省施策、21 世紀ビジョンの側面から、解決策の一助となる施策が推進されている。特に、下記に本事業との関わりを検討した結果を述べる。



(図 4) SDGs の 17 のゴール

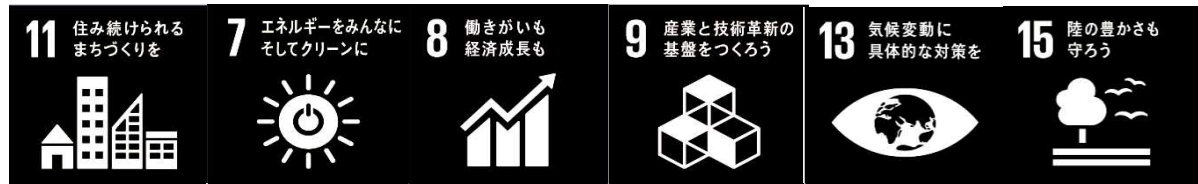
4.1 SDGs

副題に挙げた SDGs は、2015 年 9 月の国連総会で採択され、2030 年までに達成すべき社会課題解決目標として全会一致で定められた (Sustainable Development Goals) 「持続可能な開発目標」の頭文字を取った略語であり、環境・健康・食料・教育・貧困等、17 のゴールと 169 のターゲットから構成されている。

(※2) 新型コロナ対策に特化したものではなく、少子高齢化対策や交通渋滞緩和、横断的な連携等の以前より提案されていた今後の社会基盤形成を見据えた施策等に新型コロナ対策を直接・間接的に加味。

そのゴール中の目標 11(住み続けられるまちづくりを)について、我が国においては『持続可能で強靱な国土と質の高いインフラ整備』を念頭に、戦略的な社会資本の整備 (質の向上や公共施設のファシリティマネジメント等)、防災・減災機能の強化、ICTの推進等を挙げ、他の目標と連携しながら解決に向けて推進しているところである。

例えば、『土地区画整理事業』においても、1つのゴール単独の解決策では無く、下図のように課題に対して縦・横断的に解決を図ることが重要である。



(図 5)土地区画整理事業に関連した SDGs のゴール

4.2 国土交通省等施策

国交省においては、前述した SDGs を念頭にスマートシティ^(※3)を構築することで、SDGs の目標を少しでも達成しようと施策展開が図られている。特に、コロナ渦の都市政策について「過剰な密をさけつつ、イノベーションの観点から都市への集積は引き続き必要」であり、人口減少・高齢化が進む中、特に地方都市においては、地域の活力を維持するとともに、医療・福祉・商業等の生活機能を確保し、高齢者が安心して暮らせるよう、地域公共交通と連携ながら、コンパクトなまちづくり(コンパクト+ネットワーク^(※4))等の施策が推し進められている。

また、内閣府においては、『IoT、人工知能(AI)、ビッグデータ等の先端技術をあらゆる産業や社会生活に取り入れ、経済発展と社会的課題の解決を両立していく新たな社会である Society5.0 の実現』を目指しており、SDGs の課題解決目標とも連携してその取組の推進が求められているところである。



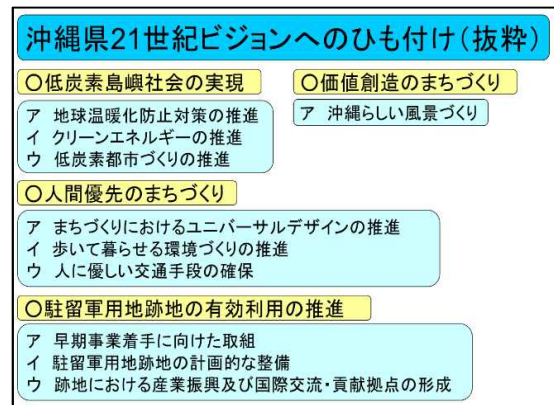
(図 6)スマートシティ定義 (国交省 HP より)

(※3)都市の抱える諸課題に対して、ICT等の新技術を活用しつつ、マネジメント(計画、整備、管理・運営等)が行われ、全体最適化が図られる持続可能な都市または地区と定義。また、スマートシティは、「Society5.0」の中核的な取組として位置づけられており、各種の政府方針においてその取組の推進が求められている。

(※4)コンパクトシティ化により、居住を公共交通沿線や日常生活の拠点に緩やかに誘導し、居住と生活サービス施設との距離を短縮することにより、市民の生活利便性を向上させる。

4.3 沖縄県 21 世紀ビジョン

沖縄県において、平成 22 年 3 月に策定した、概ね 2030 年を目処とした長期構想『21 世紀ビジョン』において、図-7 のとおり土地区画整理事業に関連する課題解決目標が挙げられている。加えて、本施策展開に当たって考慮すべき横断的な視点の中に『SDGs の推進』も含まれており、国・市町村をはじめ、企業、各種団体と連携し、SDGs を全県的な展開に繋げる必要があると謳われている。



(図 7) 21 世紀ビジョンへのひも付け

5 沖縄県内における基地跡地で実施している土地区画整理事業の事例

5.1 那覇広域都市計画事業 アワセ土地区画整理事業（北中城村）

平成 22 年に返還された本地区は、①地域交流・広域交流拠点の形成、②無秩序なスプロール化の抑制、③良好な市街地の形成、を目的として、施行期間約 7 年（H25～R1）の短期間で、事業が完了した地区（ライカム地区）である。

通常、事業期間が数十年と息の長い事業となる場合が多い中で、北中城村や組合・民間企業等が一体となり、地区内権利者の意見の集約等（申出換地^(※4)）や集約した借地権の調整）が円滑になされた結果、右図のとおり 早期に大きな事業効果が発現された地区となる。

また、本地区では、村と民間企業が連携して、大規模災害時における安定的なエネルギー供給や備品の提供等の取り決め『防災活動協定』を締結しており、防災・減災にも寄与しつつ官民連携が図られた地区が形成されている。

土地区画整理事業では、一般的に従前地の付近地に換地（原位置換地方式）が実施されているが、一方で地権者の土地利用意向を反映した同意型の（※4）集約換地（申出換地）等の合意形成により進捗が早まった例であり、下記に参考までにフローを示す。

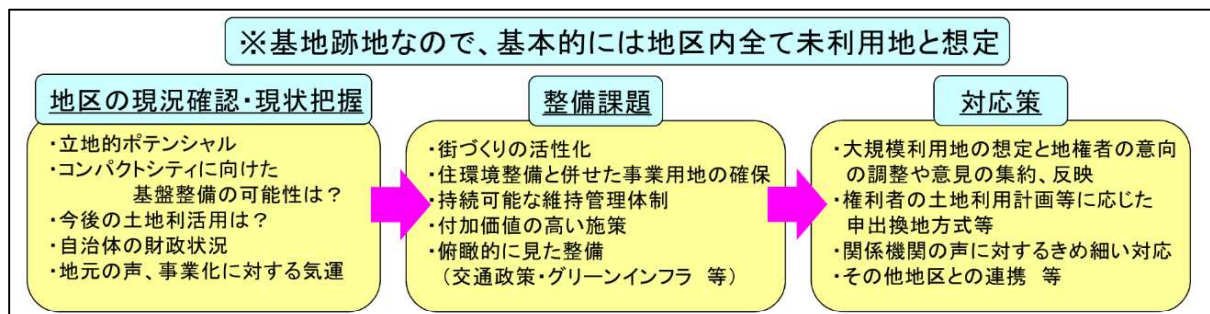


(図 8) 航空写真

整備前後の事業効果発現（北中城村アワセ土地区画整理事業）

	整備前（H25以前）	整備後	備考
人口	0人	688人	R2.8末時点
雇用人口	0人	約6,331人	R2.6末時点
経済効果	-	約574億円	直接+間接

(図 9) 事業効果発現
提供：北中城村及び組合

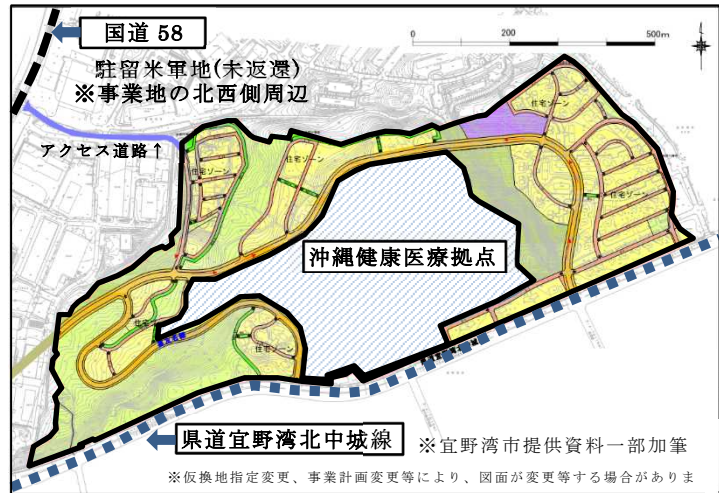


(図 10) 基地跡地の現況確認・現状把握からの整備課題・対応策（案）：筆者作成

(※4) 現在の宅地に代えて新しく定められる宅地を換地といい、通常、照応の原則（換地・従前の宅地位置、利用状況、環境等が照応する）により、各権利者間の不均衡が生じないようにする。

5.2 那覇広域都市計画事業 西普天間住宅地区土地区画整理事業（宜野湾市）

平成 27 年に返還された本地区は、『沖縄健康医療拠点を核とした都市機能と水・緑・文化の調和した住環境が繋がるまち』を跡地利用のコンセプトとして、宜野湾市が施行主体で整備が進められている地区である。また、これまでの跡地利用計画にない、新たな都市機能を有するまちづくりを念頭に、地権者アンケート等により決定した『沖縄健康医療拠点』はもとより、景観形成にも配慮しつつ、跡地利用の先進モデルケースを目指している。



(図 11) 西普天間住宅地区土地区画整理事業 換地配分街区図

6 返還跡地における土地区画整理事業の課題の抽出

6.1 課題の抽出

右図の『第 2 回基地跡地の未来に関する懇談会』において、基地跡地利用広域構想の課題が提言されているところであるが、それらを踏まえて返還跡地における土地区画整理事業について課題を広域的及び狭義的観点から下図のとおり抽出する。

少子高齢化、都市計画、渋滞対策（交通需要マネジメント）、インバウンド対策、地元自治体が望む産業の育成 等の広域的・狭域的課題に対して包括的に解決を図り、当該市町村・関係自治体・産業側とも協同で事業推進していく必要がある。

- (1) 広域構想の考え方や内容を広く県民及び地権者へ周知を徹底し、理解を深めること
- (2) 県の方針別計画と関係市町村の跡地利用計画との整合性、連動性を確保すること
- (3) 広域構想に示された事業の実現性、実効性を高めるための検討
 - ・自然環境調査や埋蔵文化財調査など早期からの取り組み実施
 - ・公共用地の先行的確保
 - ・緑地の保全及び創出の方策
 - ・事業実施主体の早期確立
 - ・基盤整備等の事業財源など予算的裏付けの確保
 - ・産業立地へのインセンティブ制度（規制特例や税制特例）の導入
 - ・用地の集約や申し出換地などの制度化
 - ・土地の供給と需要のバランス調整、段階的整備の検討 等
- (4) 国、県、関係市町村、地主会等の密接な連携に基づく推進体制の構築

(図 12) 駐留軍用地跡地利用広域構想より課題抽出

返還跡地における土地区画整理事業の観点からの課題

広域的視点(国・県レベル)からの課題

- ・少子高齢化 ・脱コロナ ・広域的防災減災 ・都市計画 ・渋滞問題
- ・SDGs(国・県等)の課題解決 ・観光客の減少 ・景観保護 ・エネルギー問題
- ☆産官連携 ☆グローバル化の進展や産業構造改革
- ☆地元自治体が望む産業と俯瞰的に見て他産業が望む近隣産業との関連性
- ☆隣接市街地の課題(密集市街地等) 等

狭域的視点(市町村等自治体レベル)からの課題

- ・SDGs(自治体レベル)の課題解決 ・地域防災 ・地区内エネルギー問題
- ・地区内移動手段の確保 ・自治体マスタープラン等の計画
- ☆地元自治体が望む産業の育成 ☆地元地権者が望む街づくり 等

※特に☆については、本事業の推進上重要な視点

(図 12) 『第 2 回 基地跡地の未来に関する懇談会』内資料（令和元年 10 月 8 日）沖縄県資料 HP

6.2 土地区画整理事業における課題の一例

参考までに、図 13 について、各返還跡地において想定する産業・機能タイプが示されているところだが、現在、商業やインバウンド関連に傾向が見られ区画整理事業について、各自治体の要望や沖縄県の方角性も踏まえながら『新たな産業や施策の展開』が必要であると考えられる。また、土地区画整理事業における課題で特に重要と考えられる事項として、

○立地的ポテンシャルが高いにもかかわらず、戦後に過密化した既成市街地や米軍基地等による歪な県土構造の中で、まとまった用地確保が困難である。

○横並びの商業サービスや住宅中心の整備が続くことで、将来における跡地相互の競合による全体発展の阻害が懸念される。

○連携が脆弱な場合、県土全体軸で見た環境形成(文化・観光・緑地等)に繋がらない。

等が想定されるところであり、『まずは、都市の抱える課題を抽出・整理し、その課題に対して、どのような取り組みを進めるか』を念頭に、基地返還前→円滑な引き渡し→事業化の間に、課題の抽出を行い、ステークホルダー・自治体等の事前の意見集約や課題解決に向けた連携の下準備が必要である。

想定される産業・機能	普天間飛行場跡地	牧港跡地	那覇港跡地	南平川跡地	タラシ・フアム跡地	キャンプ跡地	※統合計画を踏まえた新たな展開
リゾート・コンベンション産業	○	○	○	○	○	○	○
文化産業	○	○	○	○	○	○	○
先端情報通信産業	○	○	○	○	○	○	○
健康産業	○	○	○	○	○	○	○
医療・生命科学産業	○	○	○	○	○	○	○
環境・エネルギー産業	○	○	○	○	○	○	○
都市型産業	○	○	○	○	○	○	○
国際物流流通産業	○	○	○	○	○	○	○
スポーツ・レゾム産業	○	○	○	○	○	○	○
海洋産業	○	○	○	○	○	○	○
複合産業	○	○	○	○	○	○	○
国際協力・貢献機能	○	○	○	○	○	○	○
産業支援機能	○	○	○	○	○	○	○
研究開発機能	○	○	○	○	○	○	○
専門人材育成機能	○	○	○	○	○	○	○
広域防災機能	○	○	○	○	○	○	○

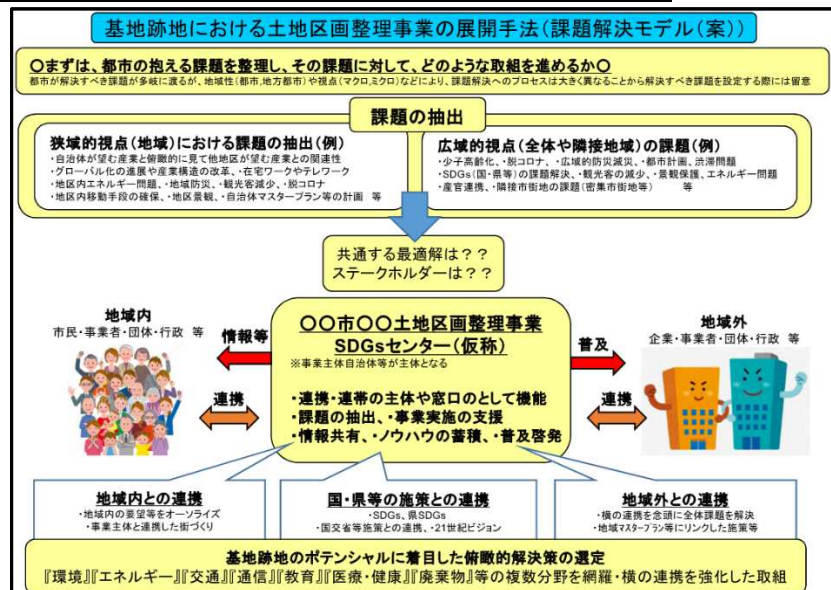
(図 13) 想定する産業・機能タイプ

7 土地区画整理事業を手段とした展開手法の提案

前述した多くの課題に対して、本稿テーマとしたまとまった大規模な跡地返還・開発(大きな土地利用の必要性は、産業だけにとどまらず教育や施設大規模移転等幅広い)をチャンスと捉え、国等の施策等も参考に、土地区画整理事業を推進する。

また、右図のとおり基地跡地における本事業の展開手法(課題解決モデル案))を提案する。

前述したように『課題の抽出及びその課題に対する最適解を求めること』が重要であり、ステークホルダーや自治体等の密な連携が必須となる。また、施行主体が『連携・連帯の主体や窓口の機能をもちつつ、課題の抽出、円滑な情報提供や普及啓発、情報共有やノウハウの蓄積を図り、基地跡地のポテンシャルに着目した俯瞰的解決策の選定』が重要となる。

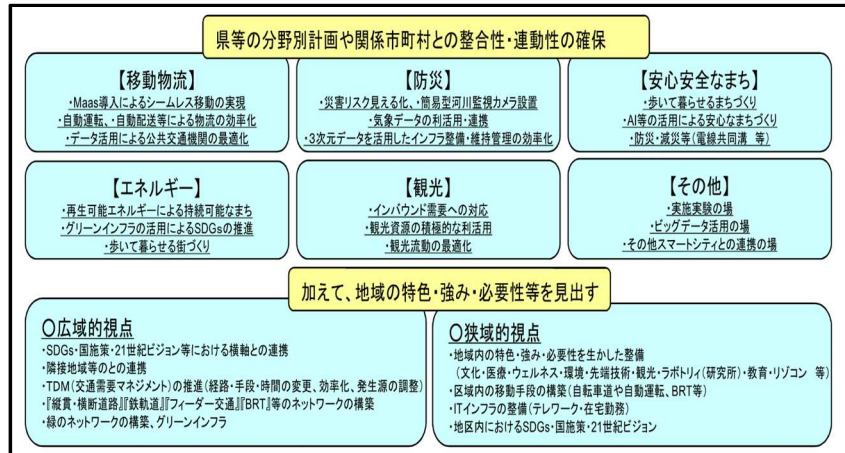


(図 13) 『第 2 回 基地跡地の未来に関する懇談会』内資料 (令和元年 10 月 8 日) 内閣府 HP 沖縄県資料

8 今後の施策展開及び解決策の提案

市町村等と協同し、世界・日本・沖縄等の課題を俯瞰的に確認・抽出しつつ、スマートシティ等施策も念頭に地元自治体の意向や地元の声に寄り添った整備を推進する必要がある。図 14 に、本事業の観点から今後の施策展開及び解決策の提案を示す。

①『県等の分野別計画や関係市町村との整合性・連動性の確保』の観点から、概ね 6 項目を右図に抽出し各々の解決策を記載する。特に、沖縄の特色(観光等)を生かしつつ、移動物流やエネルギー分野に特化した街づくり等も魅力ある街づくりに寄与する。



(図 14) 土地区画整理事業における今後の施策展開及び解決策

また、②『地域の特色・強み・必要性を見出す』観点からの留意点として、広域的・狭域的視点での課題抽出から俯瞰的解決策を総合的に見出す必要がある。

9 スマートシティに関連付けた解決策

前述に加えて、下記の要点のとおりスマートシティの観点も念頭に事業を実施することで、より一層の効果が発揮されると考える。

○技術オリエンテッド(優先)から課題オリエンテッド(優先)へ

⇒解決すべき課題の設定が曖昧なままに、闇雲に技術を使うことを優先しない。

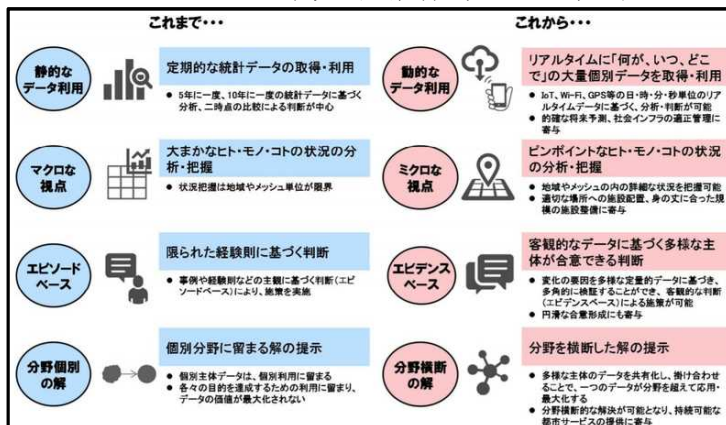
⇒QOLの向上が目的であり、持続可能な取組とするには明確な課題抽出が必須。

○個別最適から全体最適へ

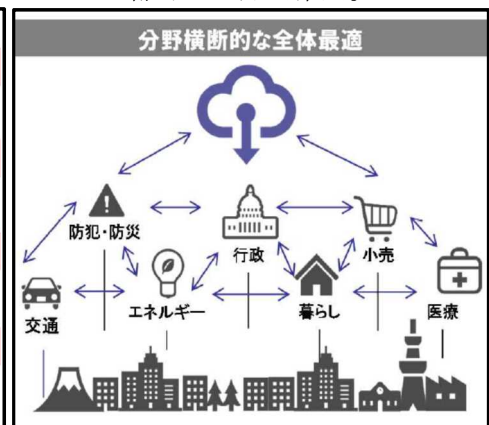
⇒都市全体の課題の観点から、全体最適を提供する。

○公共主体から公民連携へ

⇒ステークホルダー間や自治体等で共通認識を持った上での都市の課題解決。



(図 15) スマートシティが実現した後の都市の管理者・運営者の視点イメージ



(図 16) 分野横断的な全体最適

(図 6・15・16)『スマートシティの実現に向けて(中間とりまとめ)』(国土交通省都市局 HP 内資料)

(<https://www.mlit.go.jp/common/001249774.pdf>)

10 【追加提案】国外・県外等の先進事例を参考にした今後のあり方と課題

10.1 国外・県外の先進事例

関連事業（道路・上下水・公園・文化財等）の整備推進と併せて、本事業に利活用が可能と想定される国内外で実施されている先進事例を参考として述べる。

●スペイン(Bilbao)：鉄鋼業が衰退した都市を市主導で、建築アート等の芸術分野により街を復活させた。用地売却益等で、国内外有名建築家の都市計画プランや建築物の積極的な誘致し、交通インフラ(BRT・トラム・地下鉄等)を整備することで観光活性化に寄与した。

●スペイン(Madrid)：3D プリンターで出力した幅 1.75m 延長 12m の歩道橋で、3D プリンターさえあればどこでもデータ受信し現場で制作が可能となる。災害復旧の迅速化や実証実験の街づくり等に寄与すると考えられる。

●日本(宇都宮市)：国交省のスマートシティにおける「重点事業化推進プロジェクト」に選定された本地区は、「超高齢化・人口減少社会においても誰もが快適に移動できる環境づくり」や「観光振興」の課題に対して、LRTを軸とした公共交通ネットワークの構築やスマートモビリティサービス・スマートホスピタリティ等の新技術・データを活用した解決策により効果の最大化を図る取組を実施中である。



(図 17) 誘致したグッゲンハイム美術



(図 18) 3D プリンターで出力した歩道

◆新技術・データを活用した都市・地域の課題解決の取組



(図 19) U スマート推進協議会（宇都宮市）国交省 HP より

(<https://www.mlit.go.jp/common/001291681.pdf>)

10.2 今後の課題

前述までに、解決策や他地区参考事例を報告させて頂いたが、今後の課題として、①整備後の想定外（人口急増減や産業誘致等）への対応、②維持管理、③変化する他地区との関わり等、『常に課題はある』ことを念頭に街づくりを進める必要がある。

11 おわりに

沖縄県は、①地理的特性、②自然的特性、③歴史文化的特性 等を有する魅力ある県である。今回、それらを生かしつつ推進すべき基地跡地における区画整理事業に焦点を当て、事例紹介やSDGs・国の施策の観点から事業展開手法を提示することで、事業効果に付加価値を付け特色や独自性に配慮した円滑な事業推進手法を提案させて頂いた。

沖縄県土木建築部の事務分掌を超えた本稿内容となってしまったが、本論でも述べさせて頂いたとおり、国・県・自治体及び産業等の横の連携による課題解決は益々重要な視点となると考える。今後についても、SDGs 目標 11（住み続けられるまちづくりを）の達成に向けて、また、その達成がコロナ禍の解決策の手段や他分野における課題解決となり相乗効果が生まれることで沖縄の発展に繋がる様、本事業を推進していく必要がある。

最後に、本稿ではあげることが出来なかった「清算金等の課題による息（事業期間）の長い事業」や「密集市街地の整備」等の土地区画整理事業の課題に対しても、土木行政等の連携により、今回述べた視点を持ちつつ解決・推進し助力したい所存である。

老人介護福祉施設における水害対応に関する基礎的考察

琉球大学 ○富田健斗 神谷大介
山口大学大学院 赤松良久

1. はじめに

最近の豪雨災害では老人介護福祉施設における被災事例が多数報告されている。例えば、平成 30 年 7 月豪雨においても老人介護福祉施設の被災や孤立が多数報告され¹⁾、令和 2 年 7 月豪雨では球磨村の特別養護老人ホームが被災し 14 名の死者が発生した²⁾。これらを引き起こす短時間豪雨や局地的豪雨に対応するために避難確保計画の策定が義務づけられているが、指定施設の 7 割しか策定されていない³⁾。また、図-1 に示す要支援・要介護認定者数は高齢化の進展に伴って増加していることにより、老人介護福祉施設およびその利用者は増加していくことが想定される⁴⁾。老人介護福祉施設における水害へ対応は急務であるという認識の下、浸水が想定される施設を対象としたアンケートを実施し、老人介護福祉施設における水害対応の課題等を明らかにすることを目的とする。

2. アンケート調査概要

本研究では、近年発生した平成 30 年台風 19 号と平成 30 年 7 月豪雨で被害が発生した県、および 2020 年 9 月に令和 2 年 7 月豪雨被災地である九州 7 県を対象とし、老人介護福祉施設における水害時の対応に関するアンケート調査を実施した。対象は地域密着型の介護福祉サービスを行なっているグループホーム(認知症対応型共同生活介護)および特別養護老人ホームである。この内、地域防災計画において要配慮者利用施設と指定されている施設、またはハザードマップで浸水想定区域に立地していることが確認できた施設に対して調査票を配布した。郵送配布・郵送回収で実施し、表-1 に示す通り配布数は 299、回収率は 23%である。

3. 基礎集計結果とその考察

入居定員別の全職員数、定員別昼夜間サービス中のスタッフ数を図-2、図-3 に示す。昼間と夜間でサービスの提供するための人数には差が生まれ、

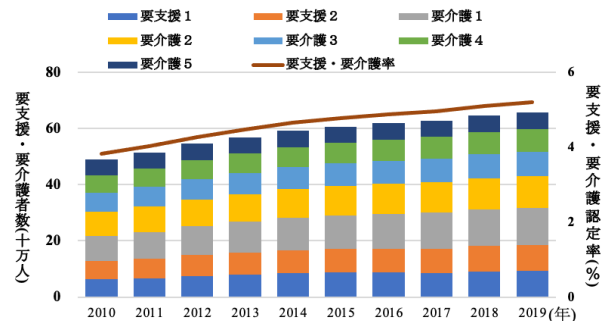


図-1 要支援・要介護者数の推移⁴⁾

表-1 アンケート回収結果

対象地域 (県)	全体			GH (グループホーム)		
	配布数 (施設)	回収数 (施設)	回収率	配布数 (施設)	回収数 (施設)	回収率
宮城	49	13	28%	35	7	20%
福島	25	6	24%	16	3	19%
栃木	48	9	19%	24	4	17%
埼玉	177	32	19%	100	23	23%
神奈川	140	30	21%	123	29	24%
長野	95	20	21%	56	9	16%
岡山	244	47	19%	189	42	22%
広島	97	31	32%	56	25	45%
愛媛	81	17	21%	72	17	24%
福岡	163	45	28%	121	38	31%
佐賀	35	11	31%	33	11	33%
長崎	8	4	50%	8	4	50%
熊本	81	17	21%	55	16	29%
大分	37	10	27%	27	7	26%
宮崎	21	7	33%	17	7	41%
鹿児島	1	0	0%	1	0	0%
全体	1,302	299	23%	933	242	26%

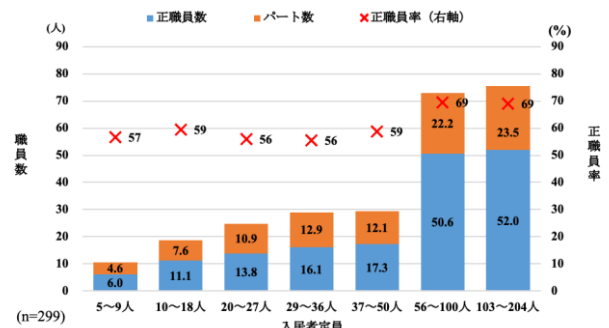


図-2 入居定員別の全職員数

施設定員数に着目すると、施設人数が多い施設ほどその差が大きくなっている。このことは夜間の

豪雨に対する対応を困難にさせている一つの要因と考えられる。

認知浸水深と想定浸水深の関係を表-2 に示す。自施設の浸水深が想定浸水深と正しく認知できているのは93施設(35%)であり、不適切な施設は109施設(41%)となっている。加えて想定浸水深と避難先階数を表-3 に示す。浸水深が2m以下であれば2階以上、3～5mであれば3階以上が適切な避難と判断すると、避難先階数が危険な施設は104施設(52%)もある結果となった。

次に入居定員別の昼夜間の垂直避難時間分布を図-4 に示す。昼間であれば、3ユニット(27人)までであれば、30分以内に避難できるが、それ以上だと避難平均時間は長くなり、分散も大きくなる。夜間になると、スタッフの人数が昼間に比べ減るため、避難に要する時間も2～3倍の時間になっている。最長では約2時必要であることが示された。

4. おわりに

アンケート調査結果より、浸水区域内のある要配慮者施設においても1/3が浸水の可能性を認知できていないこと、垂直避難の利用者避難時間の夜間は昼間の3倍ほどの時間がかかることが示された。今後は水平避難における避難タイミングや避難時間と高齢者等避難開始等の防災行政情報の発令との関係について検討することとする。

参考文献

- 1) 内閣府：平成30年7月豪雨による被災状況等について(令和2年12月21日15時現在), 2019.
- 2) 内閣府：令和2年7月豪雨による被災状況等について(令和2年12月21日16時現在), 2021.

- 3) 厚生労働省：市町村地域防災計画に定められた要配慮者利用施設数及び結果策定状況，
https://www.mlit.go.jp/river/bousai/main/sai-gai/jouhou/jieisuibou/pdf/211130_keikakusakus-eijyoukyou_todouhukuken.pdf, (2021/12/27閲覧).
- 4) 厚生労働省：介護保険事業状況報告年報，
<https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/toukei/joukyou.html>, (2021/12/27閲覧).

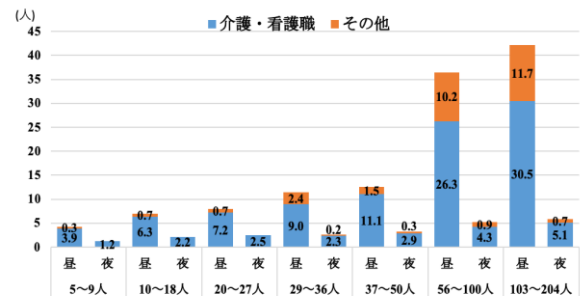


図-3 定員別昼夜間サービス中のスタッフ数

表-2 施設の認知と想定浸水深

		想定の浸水深			
施設の 認識	認識している 浸水深	～2m	3～5m	6～8m	9m～
浸水する	未回答	9	32	0	3
	～2m	48	41	0	0
	2.3～5m	13	45	0	1
	6～8m	0	0	0	0
	9m～	2	5	0	0
浸水しない		25	39	0	3

表-3 最大想定浸水深と避難先階数

最大想定浸水深	避難先階数		
	2F	3F	一部2F,3F
～2m	51	12	7
2.3～5m	83	27	17
6～8m	0	0	0
9m～	2	1	1

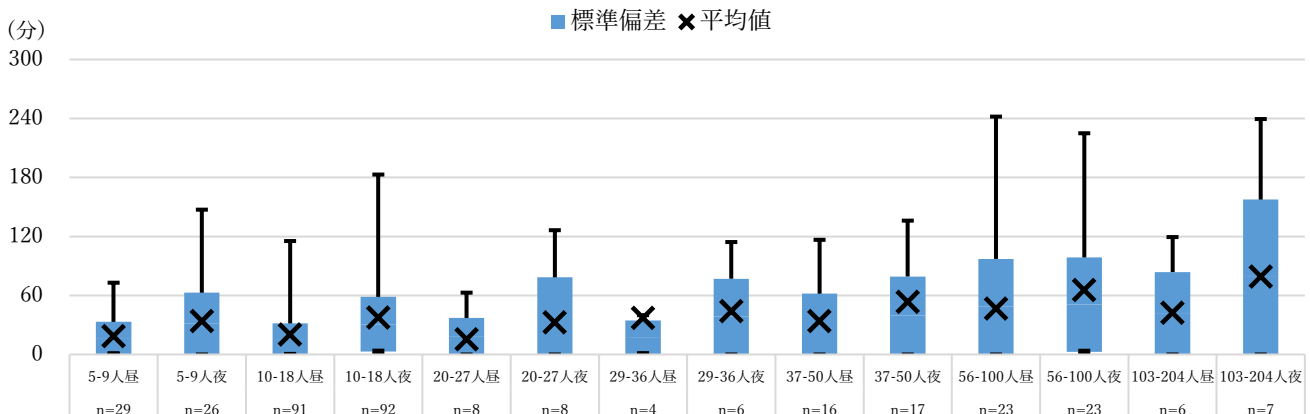


図-4 入居定員別垂直利用者避難時間

少子高齢社会への推移が避難支援に与える影響に関する基礎的検討

琉球大学 後藤昌大 神谷大介

1. はじめに

令和2年7月豪雨による土砂災害など、近年、人的被害を伴う集中豪雨や土砂災害が頻発しており、災害対策は我が国における喫緊の課題である。これらの災害の度に、災害弱者対応が問題となっている。これは令和元年台風第19号での全体の死者数の約65%が65歳以上の高齢者であること、令和2年7月豪雨では全体の死者数の約79%が65歳以上の高齢者であることから明らかである¹⁾。図-1に示すように高齢者の人口増加、生産年齢人口と年少人口の減少により、さらなる少子高齢社会への推移が見られる。これは災害発生時における避難支援の必要性の増加とも考えられる。

以上の背景から、本研究では災害時における要支援者一人当たりの支援者数（以下避難行動支援者比率）を定義し、少子高齢社会の進展による水害リスクの変化を示すことを目的とする。

2. 避難行動支援者比率の変化に関する分析

本研究では、基礎自治体別に避難行動要支援者（以下、要支援者）と支援者の比率に着目して分析を行うこととする。要支援者は主として厚生労働省「介護保険事業状況報告」より、要介護（要支援）認定者を対象とし、支援者は当該自治体にいる生産年齢者を対象とする。生産年齢者は平日昼間には居住自治体にいないことが考えられ、これを国勢調査における流出人口より与えることとする。これらの数より避難行動支援者比率を算出する。対象期間は2005年～2045年である。なお、2020年～2045年の流出人口および2025年～2045年の要介護（要支援）認定者の割合は一定として算出した値を用いる。

基礎自治体別の避難行動支援者比率 R を算出する式(1)～(3)を示し、各変数の意味を表-1に示す。

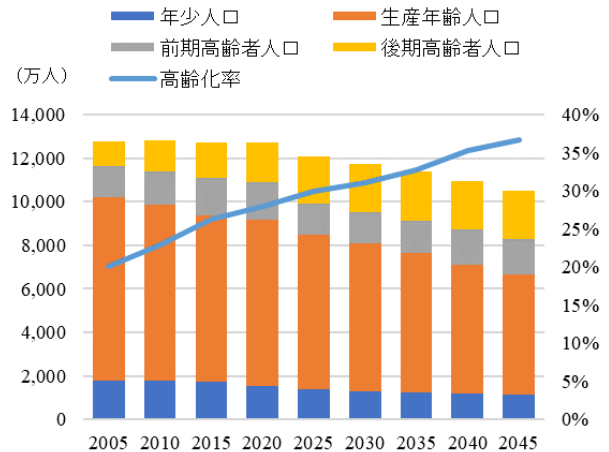


図-1 将来推計人口と高齢化率の推移²⁾⁻⁵⁾

表-1 式(1)～(3)における変数

i	自治体
j	年
R_{ij}^D	避難行動支援者比率(昼)
R_{ij}^N	避難行動支援者比率(夜)
P_{ij}^W	生産年齢人口
P_{ij}^O	流出人口
C_{ij}	要介護(要支援)認定者数
C_{ij}^{N1}	第1号被保険者数
C_{ij}^{N2}	第2号被保険者数

$$R_{ij}^D = \frac{P_{ij}^W - P_{ij}^O - C_{ij}^{N2}}{C_{ij}} \quad (1)$$

$$R_{ij}^N = \frac{P_{ij}^W - C_{ij}^{N2}}{C_{ij}} \quad (2)$$

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^2 C_{ij}^{Nk} \quad (3)$$

夜間時における支援者は生産年齢人口から介護保険における第2号被保険者数を除いたものとし、昼間時における支援者は生産年齢人口から流出人口および介護保険における第2号被保険者数を除いたものとする。なお、介護保険における第2号被保険者は40歳以上65歳未満であるため、生産年齢人口から除いて考える。

キーワード 少子高齢社会、避難支援、要介護（要支援）認定者、水害

連絡先 〒903-0123 西原町千原1番地 琉球大学工学部工学科 E-mail: e185527@eve.u-ryukyu.ac.jp

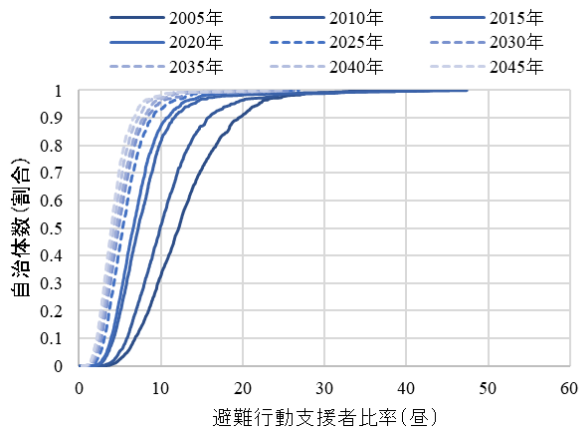


図-2 避難行動支援者比率(昼)の推移

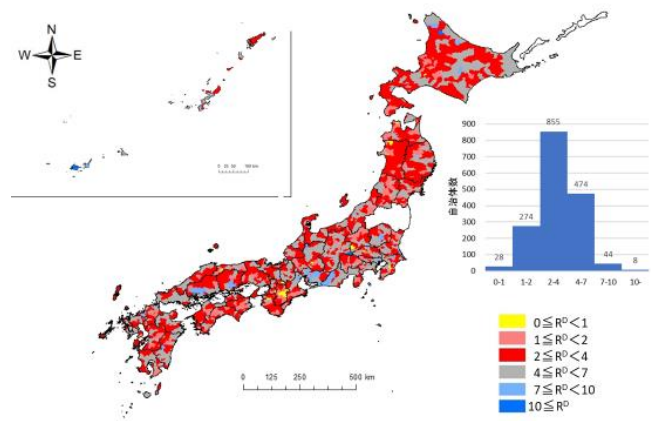


図-4 2045年避難行動支援者比率(昼)

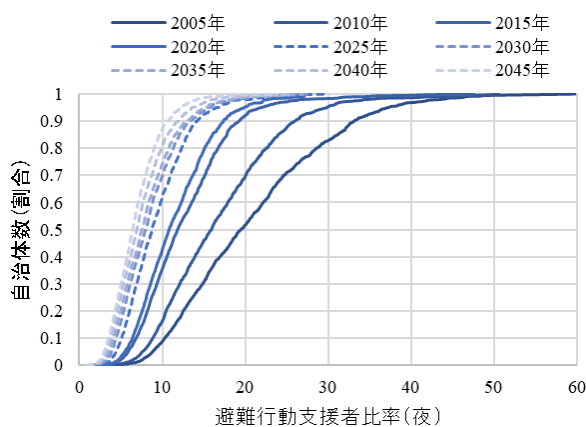


図-3 避難行動支援者比率(夜)の推移

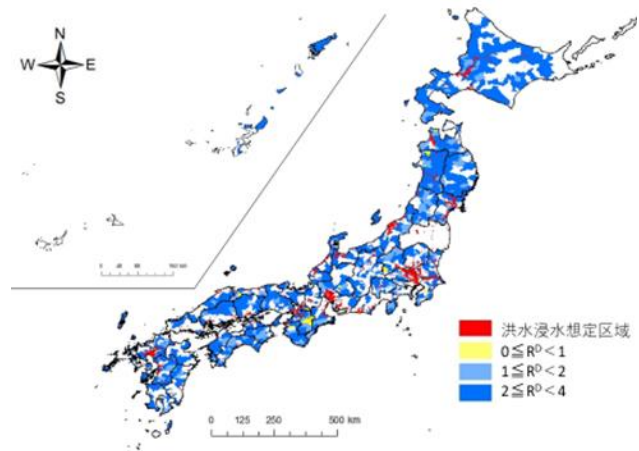


図-5 2045年避難行動支援者比率(昼)と洪水浸水想定区域⁶⁾

式(1)～(3)を用いて自治体別に避難行動支援者比率を算出した結果が図-2, 図-3 である。避難行動支援者比率は昼夜間ともに低下している。また、夜間時に比べて昼間時の避難行動支援者比率は低く、傾きが大きい為、避難支援の困難な地域が増加していることが分かる。

図-4 では首都圏と政令指定都市の避難行動支援者比率は高い傾向にあるが、その他の地域には避難行動支援者比率の著しい低下が見受けられる。

3. 地域別災害リスク評価

避難行動支援者比率と洪水浸水想定区域を重ね合わせた結果を図-5 に示す。避難行動支援者比率の低い自治体では洪水浸水による災害リスクが低いようにも見えるが、浸水想定を行っていない可能性もある。

4. おわりに

本研究では少子高齢社会の進展に伴う避難行動支

援者比率の低下が明らかになり、2045 年では一対一対応の避難支援すら困難な自治体が増加していることが確認された。

今後は洪水浸水に加えて高潮浸水、津波浸水、土砂災害警戒区域のデータを用いて自治体別の災害リスク評価を行い、少子高齢社会への進展が避難支援にもたらす影響を明らかにする予定である。

謝辞：本研究はJSPS 科研費 19H02263 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 内閣府：高齢者・障害者等の個別避難計画に関する防災と福祉の連携について
<https://www.mhlw.go.jp/content/12300000/000750360.pdf>, (2021 年 12 月 20 日閲覧)
- 2) 国勢調査：都道府県・市区町村別統計表, 2005～2015.
- 3) 総務省：令和 2 年 1 月 1 日住民基本台帳年齢階級別人口, 2020.
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所：将来の男女別 5 歳階級別人口, 2025～2045.
- 5) 厚生労働省：介護保険事業報告, 2005～2020.
- 6) 国土数値情報：洪水浸水想定区域データ

観光客の津波避難支援に関する基礎的シミュレーション分析

琉球大学 ○小谷卓駆 神谷大介

1. はじめに

島嶼観光地は沿岸部に市街地が形成されているため、津波発生時は観光客を考慮した避難支援が必要である。この事に関して沖縄県観光危機管理計画¹⁾では、「住民は、観光関連事業者と連携を図りながら、積極的に観光客の避難支援をする必要がある」と記載されている。しかし、これによる避難支援効果は定量的に明らかになっていない。

そこで、本研究では図-1 に示す石垣市市街地を対象に、MAS (Multi-Agent-System) を用いて、津波避難シミュレーションを行う。そして、住民と観光関連事業者の連携がもたらす避難支援効果を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 津波避難シミュレーションの考え方

(1) 既往研究

津波避難シミュレーションに関する研究は多く行われている。片田ら³⁾は、危機管理のためのシナリオ・シミュレータを開発し、その有効性を示している。しかし、この研究は観光客を考慮していない。本研究では、これを考慮したシミュレーションを行う。

(2) モデルの概要

本モデルは、交差点、避難場所をノード、道路をリンクで表現し、これらを住民と観光客が移動する。住民は最寄りの避難場所まで最短経路で移動する。このとき、観光客へ避難を促す声掛けを行う。また、15歳未満の住民は、最も近い15歳以上の住民と一緒に行動する。観光客は、声掛けをする住民が半径10m以内にいる場合のみ、一緒に避難する。

(3) 想定するケースとシナリオ

時間帯を考慮した避難支援効果を調べるため、携帯電話GPSデータより、図-2 に示す3つのケースを想定する。また、声掛けのシナリオは、観光関連事業者のみと15歳以上の全住民の2つを設定し、6つのシミュレーションより声掛けの効果を分析する。なお、観光関連事業者とは、宿泊飲食サービス業者及び小売卸売業者を指す。

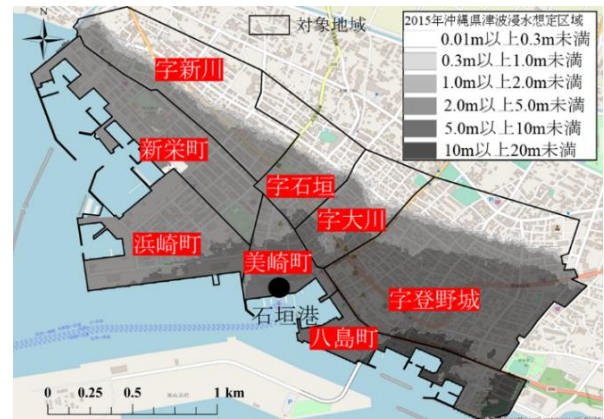


図-1 対象地域²⁾

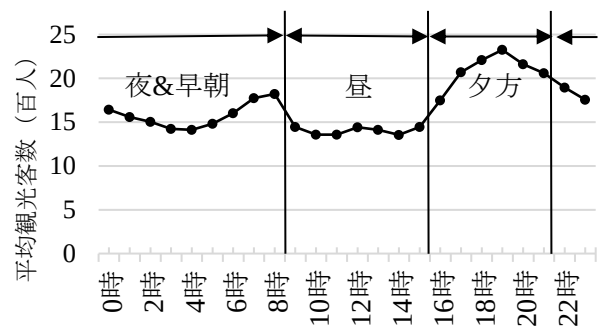


図-2 平均観光客数と3つのケース

表-1 住民の初期位置 (x : 年齢)

	$x < 15$	$15 < x < 65$	$65 \leq x$
夜&早朝	住宅	住宅, 宿泊施設 (ホテル従業員)	住宅
昼	学校	勤務地	住宅
夕方	住宅	住宅, 勤務地	住宅

(4) エージェントの初期設定

住民の数は、国勢調査⁴⁾、経済センサス⁵⁾より設定する。移動速度は、一般的な歩行速度を適用し、15歳以上65歳未満の者を0.72 (m/s)、65歳以上を0.67 (m/s) とする。また、初期位置は表-1に示す。避難開始時間は、既存調査結果⁶⁾を参考に設定する。観光客の数と初期位置は、携帯電話GPSデータより算出した交差点あたり観光客数から設定し、移動速度は0.67 (m/s) とする。

3. シミュレーション結果とその考察

今回はシミュレーションを10回行い、第一波到達

キーワード：島嶼観光地 津波避難支援 観光客 MAS

連絡先 〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 E-mail: k218530@eve.u-ryukyu.ac.jp

時における観光客の平均避難完了率より避難支援効果を考察する。

(1) ケースとシナリオの比較

結果の一例として昼のシナリオ比較を図-3 に示す。図より、観光関連事業者のみの声掛けだと約 49%の観光客しか助けられない。これは、昼間の観光関連事業者は、美崎町やユーグレナモールに集中しているのに対し、観光客は市街地の散策などで分散しているからと考えられる。しかし、住民が協力することにより約 70%まで増加する。つまり、昼では観光関連事業者以外の住民が積極的に避難支援をする効果が高いといえる。しかし、全住民が支援しても約 30%の観光客が逃げ遅れるということでもある。

(2) 第一波到達時の避難未完了者

図-4 に第一波到達時の避難状況を示す。これより、観光客の避難未完了者は図-5 に示す 3 つのタイプに分類できる。具体的には、避難ビルの容量超過で別の避難場所へ移動しなければならず助からなかった者（約 55%）、地震発生時にいた場所から避難ビル等への距離が遠くて助からなかった者（約 32%）、声をかけてくれる人に会わず助からなかった者（約 13%）である。

これらより、対象地域においては避難ビルの収容能力が不足していると考えられる。つまり、観光客が多い地域においては、その人数も考慮して地域の避難ビル収容能力を決定する必要があることが示されたと考えられる。また、津波第一波到着までの移動可能距離および時間帯別の住民と観光客の分布を考慮した上で、避難ビルの指定計画を行う必要があるとも言える。さらに、声掛けを受けられなかった人がいた場所においては、路面標示や案内板などを用いた避難のためのサイン計画も行う必要がある。

4. おわりに

本研究では、津波避難シミュレーション分析より、観光関連事業者以外の住民が積極的に避難支援をする必要があることを定量的に示した。また、多くの観光客がビルの収容能力が問題で助からないことが分かった。今後の課題は、これを考慮した避難支援の検討及び声掛けを受けなかった者に対するサイン計画が挙げられる。

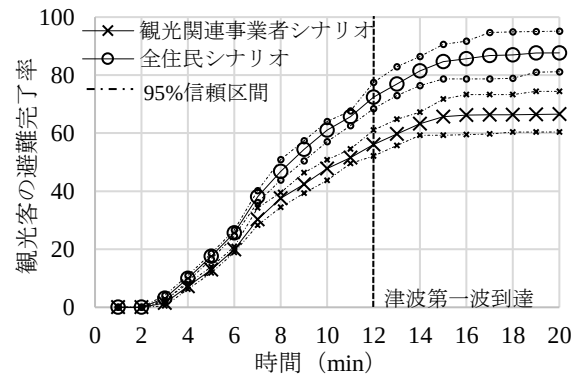


図-3 昼でのシナリオ比較

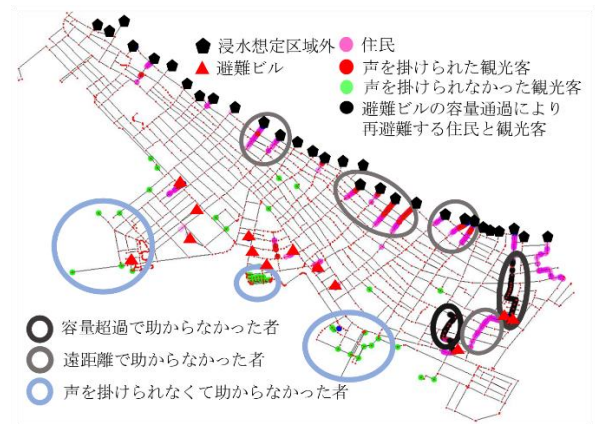


図-4 津波第一波到達時の避難状況
（昼の全住民シナリオ）

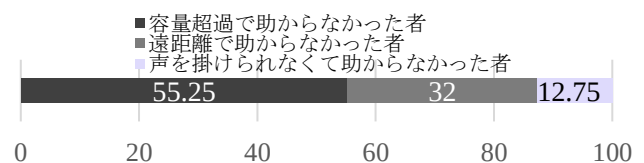


図-5 3タイプの避難未完了者の割合（%）

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K12483 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 沖縄県：観光危機管理計画，2015。
- 2) 沖縄県：沖縄県津波浸水想定について，2015。
- 3) 片田敏孝，桑沢敬行：津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータ，土木学会論文集，Vol.62，No.3，pp250-261，2006。
- 4) 総務省統計局：国勢調査，2015
- 5) 総務省統計局：経済センサス活動調査，2016
- 6) 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第9回会合：平成 23 年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査(住民)分析結果，2011。

Session 5 診断・補修

機械学習を用いたコンクリート構造物の塩害劣化予測に関する基礎研究

琉球大学 ○吉見映輝, 富山潤, 須田裕哉

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、海からの多くの飛来塩分が供給され、構造物の塩害が問題となっている。特にコンクリート構造物内の鉄筋の状態（腐食）は外観だけでは把握が困難であり、表面にひび割れや錆び汁などの変状が確認された場合は、鉄筋はすでに腐食膨張が進んでいる状態である可能性がある。したがって、予防保全の観点から、変状が表れない前に鉄筋の腐食状況を把握（推定）し、措置することが重要である。そこで本研究では、環境作用、建設位置、構造物特性(W/C、かぶり、ひび割れなど)を入力とした機械学習モデルを用い、コンクリート構造物の鉄筋腐食開始時期と腐食ひび割れ発生時期を精度よく予測する手法について検討を行った。

2. 機械学習を用いた塩害劣化予測手法

2.1 腐食発生および腐食ひび割れ発生時期の推定

コンクリート構造物の鉄筋腐食発生時期や腐食ひび割れ発生時期を調査した事例は少なく、機械学習の学習用データが不足している。そこで本研究では、コンクリート構造物の長期性能照査支援ソフトウェア（LECCA）¹⁾を用い、様々な環境作用、建設位置、構造物特性(W/C、かぶり、ひび割れなど)を設定し、腐食発生時期および腐食ひび割れ発生時期を推定し、それらを学習用モデルと評価用モデルに用いた。

LECCA は、表-1 に示すように対象地点、標高などの構造物の位置的条件や風向・風速・気温などの環境条件を入力し、腐食発生時期、腐食ひび割れ発生時期、腐食量などを算出可能な解析ソフトである。

表-1 塩害における外力環境評価

項目	設定条件・利用データ・予測モデル	
構造物条件	対象地点（都市名）、汀線からの距離、標高	
マクロ環境	環境データ	風向・風速（一飛来塩分量）
	ベース	気温・湿度（一塩分浸透・腐食速度）
メゾ環境	陸上構造物	コンクリート表面に飛来する塩化物イオン量の予測モデル
	陸上構造物	コンクリート内部に浸透する塩化物イオン量の予測モデル
ミクロ環境	陸上構造物	コンクリート表面での塩化物イオン濃度の予測モデル
	海洋構造物	コンクリート表面での塩化物イオン濃度の予測モデル

2.2 解析条件

本研究では、道路示方書の塩害の影響度合いと環境区分により、異なる環境の3地点を選択した（表-2）。また、コンクリート構造物の条件として、セメント種類は普通ポルトランドセメントとした。飛来塩分の発生・輸送モデルとしては宇多モデル²⁾を採用した。コンクリート構造物の条件を表-3、陸上構造物の境界条件を表-4に示した。

表-2 対象とした地域

地域区分	気象データの指定		気象データから算出した結果 平均風速(m/s)
	都市名	利用年	
A	与那国	標準年	5.28
B	新潟	標準年	2.9
C	山口	標準年	1.39

表-3 コンクリート構造物の条件

水セメント比(%)	かぶり(mm)	ひび割れ深さ(mm)		
35	50	0	25	50
50	70	0	35	70

表-4 陸上構造物の境界条件

設定位置		波浪条件のパラメータ	
汀線からの距離(m)	海面からの高さ(m)	波浪条件	海岸地形条件
1	2	日本海側	岩礫性
50	5	太平洋側	砂礫
100	10		
200			

2.3 ランダムフォレスト

本研究は機械学習の一種であるランダムフォレストを用いた²⁾。ランダムフォレストのアルゴリズムでは、データの説明変数をランダムに選択し、決定木を構築する処理を複数回繰り返すを行い、各決定木の推定結果の多数決や平均値により分類や回帰を行う方法である（図-1 参照）。

学習に用いた説明変数は、表-2 から表-4 に示したLECCA の入力値 12 個を想定し、LECCA から得た腐食発生時期、腐食ひび割れ発生時期の 1290 個のデータを 8 : 2 の割合で学習用データと評価用データに分け、決定木の本数は 10、決定木の深さは無制限として学習を行った。

キーワード：ランダムフォレスト、飛来塩分、腐食発生時期、コンクリート構造物、塩害劣化予測

連絡先：〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース 建設材料学研究室 E-mail : e175541@eve.u-ryukyu.ac.jp

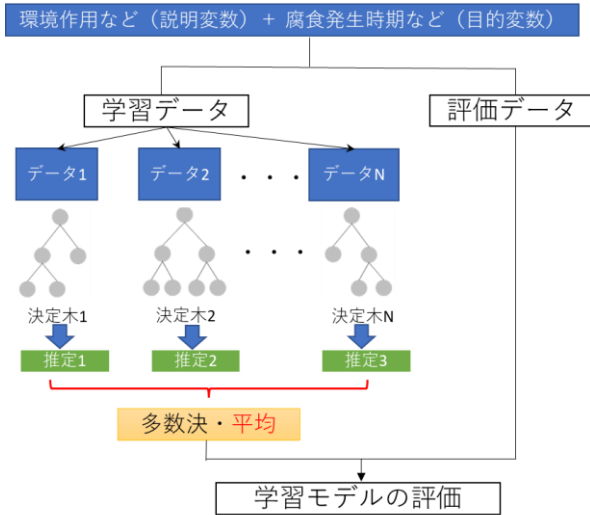


図-1 ランダムフォレストの概要図

3. 推定結果及び考察

3.1 説明変数（特徴量）の重要度

図-2 に 12 つの説明変数を用いた腐食発生時期と腐食ひび割れ発生時期の推定結果を示す。この結果より、本モデルの決定係数は、0.99 以上と高い推定精度を示していることがわかる。つぎに、表-5 に説明変数（特徴量）の本推定に対する重要度を示す。この結果より、重要度と既往の研究から年間平均飛来塩分量、表面濃度、見かけの拡散係数、発錆塩化物イオン濃度を除いた残り 8 つを説明変数に選択し、学習させた際の推定精度の検討結果を次節に示す。

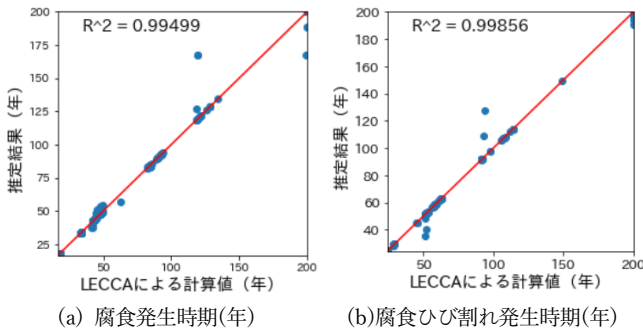


図-2 推定結果（説明変数 12 つ）

表-5 特徴量の重要度

(a)腐食発生時期

順位	特徴量	重要度
1	表面濃度	0.571456
2	見かけの拡散係数	0.202038
3	W/C	0.073262
4	かぶり	0.071681
5	年間平均飛来塩分量	0.046446
6	平均風速	0.022601
7	汀線からの距離	0.010543
8	ひび割れ有無	0.001446
9	波浪条件	0.000263
10	海岸地形条件	0.000263
11	海面からの高さ	0.000047
12	発錆塩化物イオン濃度	0

(b)腐食ひび割れ発生時期

順位	特徴量	重要度
1	表面濃度	0.30744
2	見かけの拡散係数	0.179728
3	W/C	0.216999
4	かぶり	0.13092
5	汀線からの距離	0.10163
6	平均風速	0.0375774
7	年間平均飛来塩分量	0.0375774
8	波浪条件	0.0036394
9	海岸地形条件	0.000758
10	海面からの高さ	0.0000733
11	ひび割れ有無	0.0000728
12	発錆塩化物イオン濃度	0

3.2 最適化された説明変数を用いた推定結果

ここでは、3.1 の結果から説明変数を、W/C、かぶり、ひび割れ有無、汀線からの距離、海面からの高さ、波浪条件、海岸地形条件、平均風速の 8 つとした推定結果した結果について考察する。

図-3 に腐食発生時期、腐食ひび割れ発生時期の推定結果を示す。両結果ともに決定係数が 0.99 を超えており、説明変数を 12 つから 8 つに減らしても高い推定精度が得られていることがわかる。

以上の結果より、コンクリート構造物内の鉄筋の腐食発生時期と腐食ひび割れ発生時期は、W/C、かぶり、ひび割れ有無、汀線からの距離、海面からの高さ、波浪条件、海岸地形条件、平均風速の 8 つのデータがあればある程度の精度で推定可能であると考えられる。なお、これらのデータは、設計図書や外観調査および現地踏査、気象データ整理から得ることができ、飛来塩分の調査など新たに追加しなくてもよいことを示している。なお、今回の検討結果は、LECCA を用いた入力値および推定値を用いた学習結果であるが、LECCA は、10 年間の国内の気象観測値をデータベース化しており、各地の気象条件、また、信頼性の高い計算モデルが採用されていることから、学習用および評価用データとして、妥当なものであると考える。

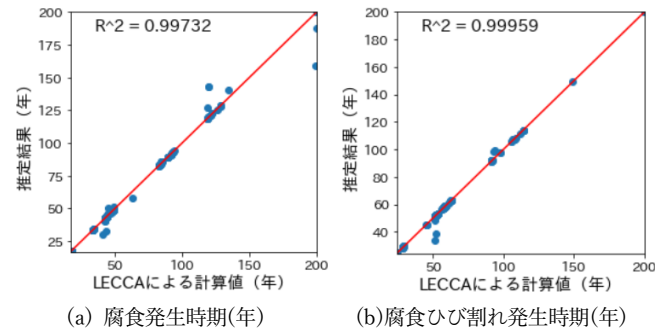


図-3 推定結果（説明変数 8 つ）

4. まとめ

本研究では、LECCA による計算値を特徴量とし、機械学習の説明変数を最適化したランダムフォレストを用いて、腐食発生時期、腐食ひび割れ発生時期を精度良く推定することができた。

参考文献

- 1) 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, Vol.50, No.10, pp.946-950, 2012. 10
- 2) 須藤秋良：スッキリわかる Python による機械学習入門, 株式会社インプレス, 2020.10.

機械学習を用いたバガス繊維モルタルの曲げ強度推定に関する基礎的研究

琉球大学 ○大城藤乃, 平城有梨, 富山潤, 須田裕哉

1. はじめに

沖縄県では、バガス(サトウキビの搾りかす)が年間 20 万 t 排出されている¹⁾。バガス繊維およびバガス灰をコンクリート材料へ適用したいいくつかの研究が行われ、その有効性が示されている²⁾。一方で、材料開発に機械学習を活用したマテリアルズ・インフォマティクス³⁾が近年注目されている。そこで本研究では、バガスを用いたコンクリート材料の開発を目的に、機械学習を用いたバガス繊維モルタルの曲げ強度推定の可能性を検討した。

2. バガス繊維の概要

本研究で使用するバガス繊維は、ゆがふ製糖の製糖過程で生じるバガス繊維を使用した。バガス繊維のふるい分け作業を行った。図-1に各サイズの割合を示す。本研究では、バガスを細骨材置換するため、図-1に示すサイズ5-2.36mmを使用した。

10mm以下(18%) 10mm-5mm(20%) 5mm-2.36mm(26%) 2.36mm以下(36%)



図-1 バガス繊維のふるい分け状況

3. 強さ試験の概要

試験ケースは、W/C=55, 60, 65%, バガス繊維を細骨材置換率 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%の計 18 ケースの試験体を作製し、バガス繊維の繊維効果に対する曲げ強度特性に着目した。曲げ強さ試験は、角柱供試体(4×4×16cm)を 3 本作製し、JIS R 5201 に従い行った。また、試験材齢は 7 日と 28 日とした。

本研究で用いた使用材料の密度を表-1 に、また検討したモルタルの配合を表-2 にそれぞれ示す。

表-1 材料の密度(g/cm³)

使用材料	密度(g/cm ³)
水	1.0
セメント	3.14
標準砂	2.64
バガス繊維	0.49

表-2 配合(単位量 : kg/m³)

W/C(%)	置換率(%)	W	C	標準砂	バガス繊維
55	0	251	246	1542	0
	1			1526	3
	2			1510	6
	3			1494	9
	4			1481	11
	5			1465	14
60	0	251	418	1573	0
	1			1558	3
	2			1542	6
	3			1526	9
	4			1510	12
	5			1494	15
65	0	251	386	1600	0
	1			1584	3
	2			1568	6
	3			1552	9
	4			1536	12
	5			1521	15

4. 強さ試験結果および考察

曲げ試験の結果を図-2 に示す。バガス繊維モルタルは普通モルタルと比較すると、すべての置換率で曲げ強度は低下しているが、バガス繊維を置換した試験ケースの曲げ強度だけを見ると、1%置換で曲げ強度が低下するが、2%, 3%置換では、1%置換に比較し高い結果を示した。これはバガス繊維を 1%置換では繊維効果が発揮されず、2%置換、3%置換では、バガス繊維の繊維効果が発揮され曲げ強度が回復したと考えられる。4%置換以上では、バガス繊維の繊維効果は期待できない結果となった。なお、置換率 4%(W/C=55%)と置換率 5%(W/C=55%)は材齢 7 日から 28 日の強度増進が見られなかった。

キーワード : バガス繊維, 曲げ強度, 機械学習, 強度推定, マテリアルズ・インフォマティクス

連絡先〒903-0123 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース 建設材料学研究室

e-mail : e185514@eve.u-ryukyu.ac.jp

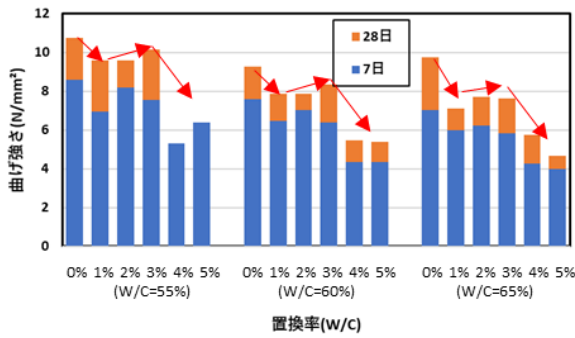


図-2 曲げ強度試験結果

5. 機械学習を用いた曲げ強度推定

ここでは、機械学習を用いてバガス繊維モルタルの曲げ強度推定が可能か検討した結果を示す。学習アルゴリズムとしてはアンサンブル学習のひとつであるランダムフォレスト³⁾を用いた。ランダムフォレストはデータの説明変数をランダムに選択し、決定木を構築する処理を複数回繰り返し行い、各決定木の推定結果の多数決や平均値により分類や回帰を行う方法である(図-3)。

本研究では、プログラミング言語にPythonを用い、scikit-learn³⁾によりランダムフォレストを実装した。バガス繊維モルタルの配合を説明変数、曲げ強度を目的変数として、曲げ試験によって得られた全データ144個の中から108個(8割)を学習用データ、36個(2割)を評価用データとして使用した。

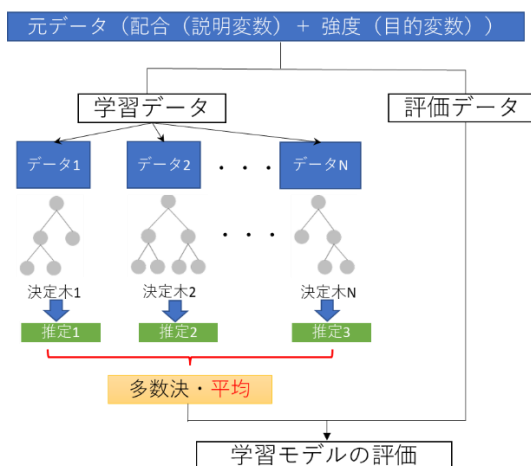


図-3 ランダムフォレストの概要

推定結果を図-4に示す。図より推定結果と測定結果はよい相関を示していることがわかる。なお、学習用データの学習モデルの決定係数は0.937、評価用デ

ータの決定係数は0.809となり、高い値を示している。また、特徴量として用いた説明変数の重要度を表-3に示す。この結果より、バガス繊維モルタルの曲げ強度に影響を与えているのは、当たり前であるがバガス繊維量(置換率も同様)であり、また単位水量は一定としているため、水の影響はゼロであることから、本推定結果は妥当であると考えられる。

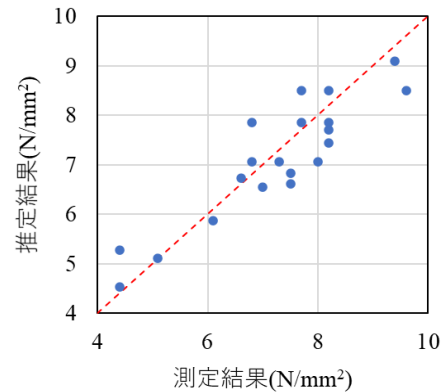


図-4 推定結果

表-3 特徴量の重要度

順位	特徴量	重要度
1	バガス繊維(kg/m ³)	0.247
2	置換率(%)	0.242
3	材齢(日)	0.229
4	細骨材(kg/m ³)	0.167
5	セメント(kg/m ³)	0.115
6	水(kg/m ³)	0.000

6. まとめ

本研究では、機械学習によりバガス繊維モルタルの曲げ強度推定が可能であることを示すことができた。今後は、さらにデータ数を増やし、推定精度に関する検討を継続し、バガスを用いたコンクリート材料の効率的な開発を目指す。

参考文献

- 1) 沖縄県ホームページさとうきび及び甘しや糖生産実績： <https://www.pref.okinawa.jp>
 - 2) Bruno Ribeiro 他：An Environmental Assessment of Interlocking Concrete Blocks Mixed with Sugarcane Residues Produced in Okinawa, RESOURCES-BASEL (MDPI), Vol.9, Issue: 8, 2020.8
 - 3) 須藤秋良：スッキリわかる Python による機械学習入門, 株式会社インプレス, 2020.10.
- 謝辞：本研究で使用したバガス繊維はゆがふ製糖(株)より提供頂いた。ここに感謝の意を表す。

実橋環境下の製作、架設、死荷重下過程における高力ボルトのリラクセーション

琉球大学 ○上村 恭兵 田井政行 下里哲弘 金秀鉄工 長嶺由智

1. はじめに

実橋の高力ボルトにおいて、残存軸力の低下の報告例がある。図 1-1 は、既往研究¹⁾において実橋のトルシア型高力ボルトの残存軸力を調査した結果であり、腐食損傷が見られない健全相当のボルトであっても、設計軸力 205kN を下回る結果となっている。高力ボルトの軸力低下、すなわち、リラクセーションには、摩擦面の処理状態が影響することが知られているが、実橋においてその影響は十分に検討されていない。

そこで本研究では、実物試験橋を用いて、製作、架設、および死荷重の各過程における高力ボルトのリラクセーション特性の検討を行った。本稿では、摩擦面の処理状態をブラスト処理と無機ジンク処理に着目して比較考察を行った。

2. 対象橋梁及び計測方法

2.1 対象橋梁とボルト連結部の状況

対象橋梁は図 2-1 に示す。琉球大学暴露場に設置された実物試験橋である。図 2-1 に示すボルト継手部を対象に、製作時、架設時、死荷重時、温度変化時の軸力を計測した。高力ボルトには、高力六角ボルトとトルシアボルトを用い、摩擦面の処理状態は、ブラスト処理と無機ジンク処理（膜厚 79 μm ）の 2 種類とした。表 2-1 に試験パラメータを示す。

2.2 計測方法

高力ボルトはボルト軸力の導入に伴い、図 2-3 ボルト軸部では引張、ボルト頭部では圧縮のひずみが生じる。そこで本研究では、このひずみを計測することで軸力の評価を行う。具体的には、高力六角ボルトではボルト軸部に 1 軸ゲージを 2 枚、トルシアボルトではボルト頭部中央に 2 軸ゲージを 1 枚貼付け、軸力計を用いて図 2-4 に示す各ひずみの平均値と軸力の関係を求めた。図に示すように、両者の関係の R^2 乗値は 0.99 以上であり、高い精度で計測が可能と考えられる。

この関係式を用いて、ボルト軸力導入時からの軸力の変化を計測し、軸力のリラクセーションの比較を行った。

3. 計測結果

3.1 製作時の軸力リラクセーション

図 3-1 に軸力導入後 10 分間の高力ボルトの軸力変化を示す。縦軸が導入軸力、横軸は軸力計測を行った、軸力導入時、導入 3 秒後、10 秒後、2 分後、10 分後を示している。なお、各ボルトの計測結果は、軸力導入時に断線せず計測が可能であった高力ボルトの平均値を示している。

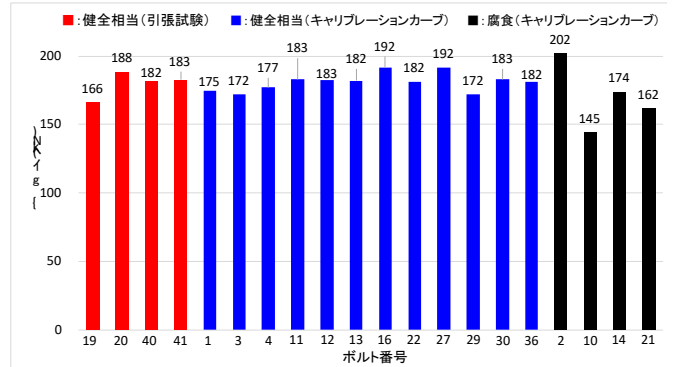


図 1-1 実橋のトルシアボルトの残存軸力計測結果¹⁾



図 2-1 対象橋梁と計測したボルト継手部

表 2-1 試験パラメータ

ボルトの種類	摩擦面の状態	
高力六角ボルト	ブラスト	無機ジンク
トルシアボルト		

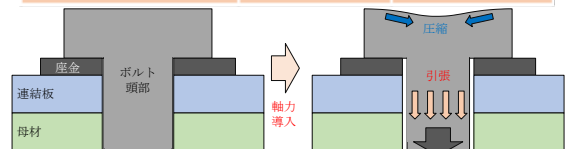
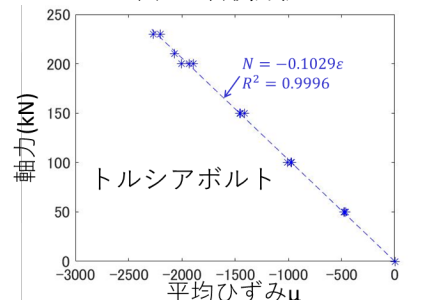
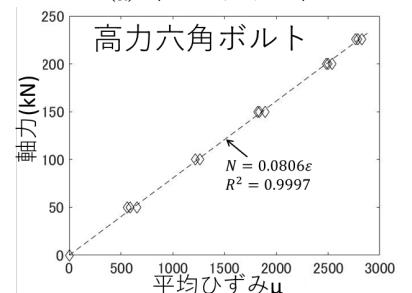


図 2-3 計測方法



(a) トルシアボルト



(b) 高力六角ボルト

図 2-4 ボルト軸力と各計測位置のひずみの関係

図に示すように、高力ボルトの軸力は、導入直後から低下が生じており、10 分間の軸力低下量を見てみると、軸力導入 3 秒後までに顕著な軸力低下が生じていた。特に無機ジンク処理では、導入直後の軸力低下量が大きい傾向が得られた。

3.2 架設時の軸力リラクセーション

軸力導入 1 日後（運搬前）、3 週間後（運搬・架設、床版打設後）、3 ヶ月後の軸力の変化を図 3-2 に示す。図に示すように、全体的に軸力は減少傾向を示すものの、運搬・架設・床版の打設を行った後に計測を行った 3 週間後において、大幅な軸力低下は見られなかった。また、ボルトの種類や摩擦面の処理状態の違いも見られなかったことから、運搬や架設、床版死荷重が軸力低下に及ぼす影響は小さいと考えられる。

3.3 死荷重載荷時の軸力リラクセーション

軸力導入後 3 ヶ月から 17 ヶ月の軸力変化を図 3-3 に示す。図より、軸力導入後 3 ヶ月から 17 ヶ月間のリラクセーションは、ボルトの種類や摩擦面の処理状態に依存せず、同程度であることがわかった。また、軸力導入後 17 ヶ月でもわずかなはあるが軸力が低下する傾向が見られ、軸力導入後 3 ヶ月から 17 ヶ月の軸力低下量は約 3.6kN であった。

3.4 温度変化時の軸力リラクセーション

実橋における温度変化に伴う高力六角ボルトの軸力変化の計測した。計測は 2021 年 7 月 17 日の正午から 24 時間、15 分間隔で実施した。計測結果を図 3-4 に示す。図の縦軸は 7 月 17 日 12 時時点での軸力に対する変化量、横軸は時間を示す。図中には暴露場で計測した温度の計測結果も併せて示す。図に示すように、気温が低下する夜間では軸力が減少し、温度が増加する日中は軸力が増加しており、24 時間後には計測開始時とほぼ等しい軸力に戻っていることがわかる。この気温変化に伴う軸力の変動は、気温低下時は連結板等の収縮、気温上昇時は膨張によるものであると考えられる。なお、計測日の夜間と日中の気温差は 11℃程度であり、この際の 1 日の軸力変化量は ±0.4kN 程度であった。

4. まとめ及び今後の展望

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 製作時（軸力導入時から 10 分間程度）の軸力低下は、軸力導入 3 秒後までに顕著な軸力低下を生じる。
- 2) 製作時ではブラスト面より無機ジンク面、トルシアボルトより高力六角ボルトの方が、軸力低下量が大きい傾向にあった。
- 3) 架設前後で顕著な軸力低下は生じなかった。よって架設による軸力低下に及ぼす影響はほとんどない。

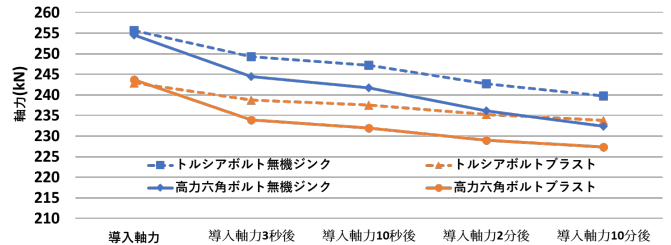


図 3-1 製作時の軸力リラクセーション

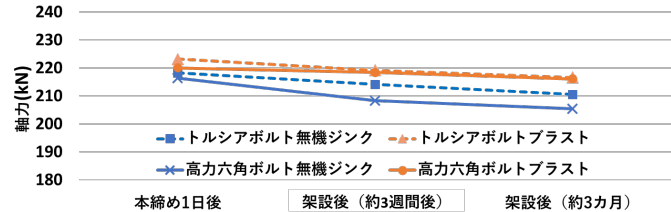


図 3-2 架設時の軸力リラクセーション

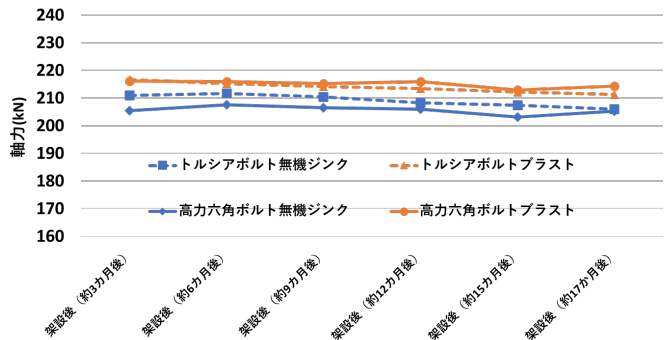


図 3-3 死荷重載荷時の軸力リラクセーション

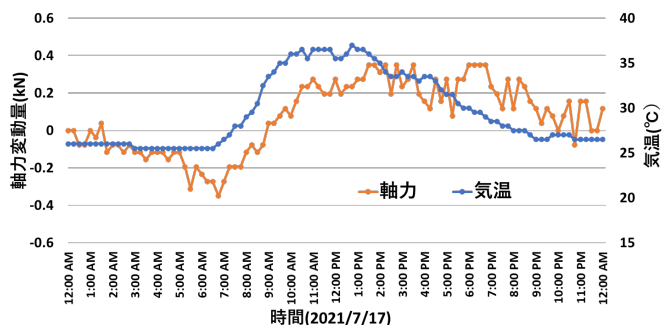


図 3-4 温度変化時の軸力リラクセーション

- 4) 架設・死荷重作用時では、摩擦面、ボルトの種類による差異はない。
- 5) 軸力導入 17 か月後でも軸力低下傾向を示し、軸力導入後 3 ヶ月から 17 ヶ月の軸力低下量は約 3.6kN（導入軸力の約 2%）であった。また、1 日の気温変動が 11℃程度時の実橋環境下における軸力変動は ±0.4kN（導入軸力の約 0.5%）程度であり、設計軸力 10%増し（225kN）と比較して十分に小さい値であり耐力に及ぼす影響は小さいと考えられる。

今後の課題としては、軸力低下量の予測法の検討及び死荷重と活荷重作用等が軸力低下に及ぼす影響の検討を行う予定である。

参考文献：

- 1) 長嶺由智, 田井政行, 川添優人, 下里哲弘: 架設から 17 年が経過した高力ボルトの残存軸力, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 27, pp. 316-322, 2019.

腐食凹凸面に対する当て板補修のすべり耐力評価に関する研究

琉球大学 ○知念 翔也 田井 政行 下里 哲弘

1. はじめに

鋼橋の腐食減肉部の補修方法として、当て板ボルト補修が挙げられる。一般的にこの補修法は、当て板との接触面を平滑化することが必要とされるが、より効率的に補修を行うために腐食凹凸面に当て板補修を行うことが検討されている。¹⁾ 先行研究では、図1に示すように腐食凹凸が大きいほど、すべり係数が低下する傾向を示すことを実験的に明らかにした。しかしながら、腐食凹凸度 0.3 を超える範囲では、腐食凹凸度とすべり係数には明確な関係が見られず、腐食凹凸の程度とすべり係数の関係は十分に明らかになっていない。

そこで本研究では、腐食凹凸の程度を示すパラメータとして、接触面積に着目し、すべり耐力に及ぼす影響の検討を行った。

2. 減肉形状計測と解析モデル

2.1 減肉形状計測

図2のような実橋から採取した試験片に対して、レーザー変位計を用いて凹凸の計測を行った。計測の方法としては図3に示すように、レーザー光を2mm間隔で照射し腐食の深さを計測した。

2.2 解析モデル作成

レーザー計測で得られたデータを元に解析モデルを作成した。なお、解析モデルは、ボルト孔を一つずつモデル化した。モデル作成を行う際、レーザー計測で得られた2mm間隔のデータを解析モデルのノード位置の凹凸形状に合わせるため補正計算を行った。補正の概要を図4に、算出式を下式に、作成した解析モデル例を図5にそれぞれ示す。

$$A = \frac{(b-a)x}{L} + a$$

$$B = \frac{(c-d)y}{L} + d$$

$$C = \frac{(B-A)z}{L} + A = \left\{ \frac{(c-d)y - (b-a)x}{L} + \frac{d-a}{L} \right\} z + \frac{(b-a)x}{L} + a$$

図6に境界条件を示す。母材である腐食材の角部の水平方向を固定した。当て板上面は座金との接触範囲に強制変位を与え、当て板底面の座金との接触範囲を鉛直方向に固定し、解析を行った。

3. 解析結果

3.1 接触面積とすべり痕の比較

図7に解析結果と実験時のすべり痕の例を示す。これより解析により得られた接触領域とすべり痕は概ね一

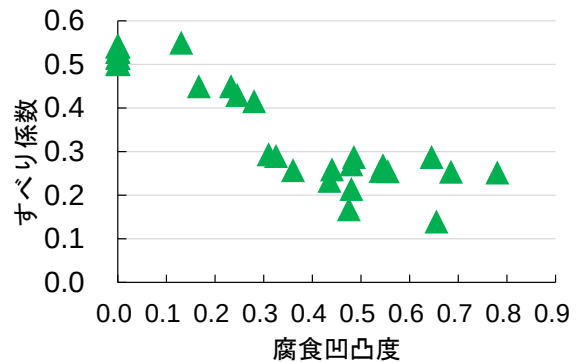


図1 腐食凹凸度とすべり係数の関係

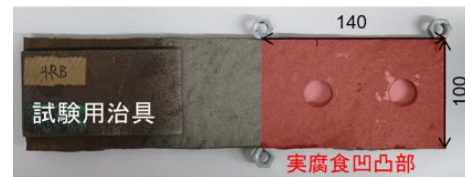


図2 実橋から採取した試験片

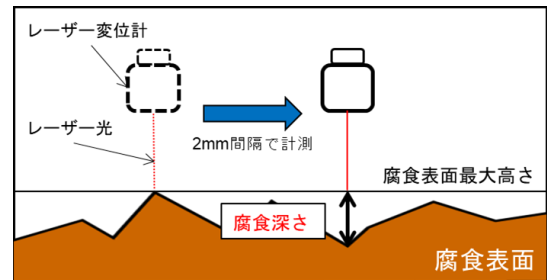
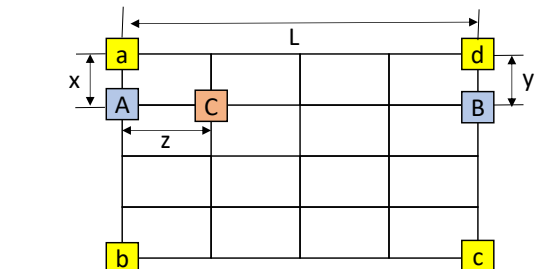


図3 レーザー変位計測



- a b c d : レーザー計測により得られた既知点
- A : 1-2軸上に存在する未知点
- B : 3-4軸上に存在する未知点
- C : 1,2,3,4,の4点四方内に存在する未知点

図4 表面形状の補正方法

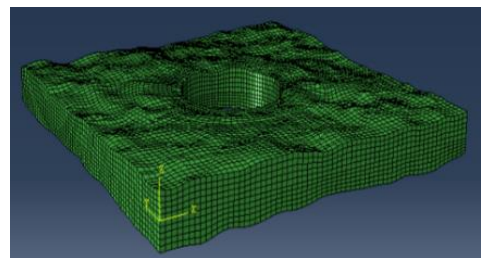


図5 腐食材の解析モデル例

致していることが確認できた。

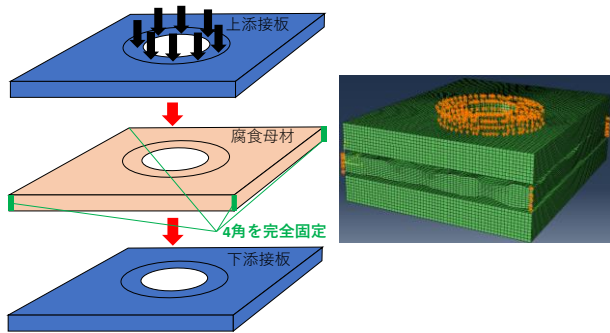


図 6 境界条件

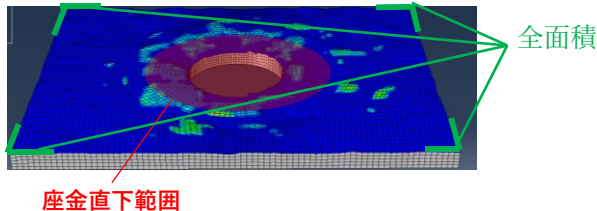


図 8 評価面積図

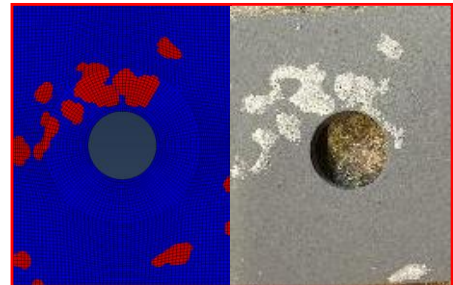
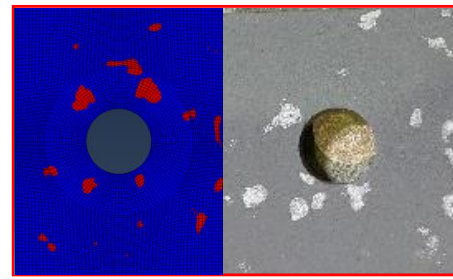


図 7 解析結果とすべり痕の例

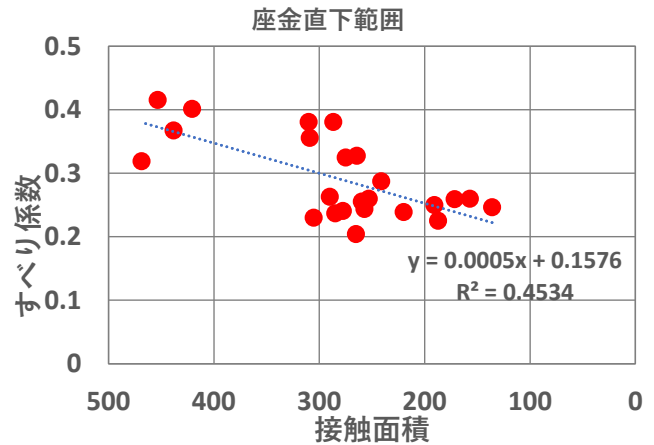
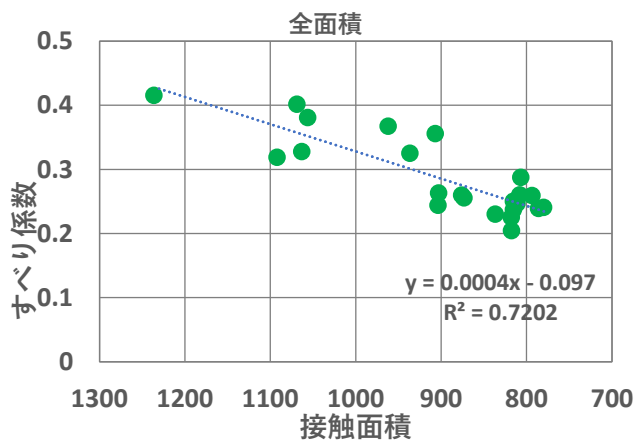


図 9 接触面積とすべり係数の関係

3. 2 接触面積とすべり係数の関係

接触面積とすべり係数の関係について比較を行った。なお、接触面積は図 8 に示すように、評価面積範囲として全面積と座金範囲内の 2 種類について検討を行った。

解析結果を図 9 に示す。図より、どちらの結果も、接触面積が減少するに伴い、すべり係数も低下する傾向が得られた。また、全面積での R^2 値は 0.72 に対して、座金直下範囲での R^2 値は 0.45 となった。これより、座金直下範囲での接触面積と比較して、全面積に対する接触面積とすべり係数の相関が高いことがわかる。

全面積で評価した場合の相関が高くなった要因について、凹凸形状、接触面積、接触圧力について比較を行ったところ、凹凸形状の凸の部分が先行して接触するため、他の領域よりも圧力が高くなっていることがわかる。この凸部が座金の範囲を超えてある場合は、この領域ですべりに抵抗すると考えられるため、座金直下の範囲ではなく、全面積における接触範囲との相関が高くなったと考えられる。

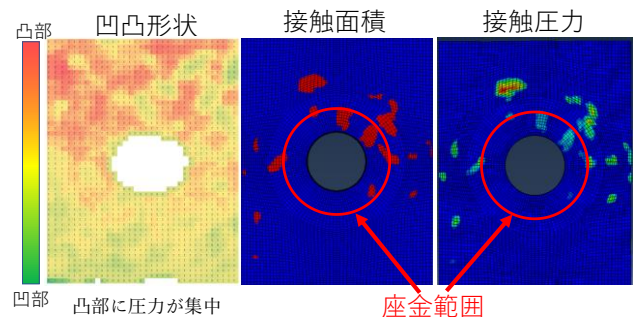


図 10 凹凸形状と接触面積・接触圧力比較

4. まとめ

本解析モデルにより、接触面積とすべり痕は概ね一致しており、解析により接触範囲を推定できると考えられる。今後の課題としては、すべり係数と接触面積の関係を明らかにするとともに、腐食凹凸形状から接触面積を推定方法について検討する必要があるといえる。

参考文献

- 1) 坂本ら：腐食凹凸面に対する防食皮膜厚とすべり耐力に関する研究，第 9 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会，pp.24-25，2020。

連結板の両面が減肉した高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力評価特性に関する実験的研究

琉球大学 ○小笠原健太 田井政行 下里哲弘 宮地エンジニアリング 山下修平

1.はじめに

既往研究において、高力ボルト摩擦接合継手は、連結板の腐食減肉よりすべり耐力が低下すること、そのすべり耐力は、連結板の降伏耐力とすべり耐力比 β_{cs} で評価できることが報告されている¹⁾。しかしながら、この研究では、連結板の片側が減肉する場合について検討を行っており、連結板両面で減肉する場合に対する適用性は十分検討されていない。そこで本研究では、連結板の両面が腐食減肉した高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力評価法を検証する。

2.すべり試験方法

2-1.試験概要

試験体形状を図1に示す。摩擦面の処理は、無機ジンク(目標膜厚75 μm)とした。連結板の片側のみですべりを発生させるため、すべり側には高力ボルト(目標導入軸力246kN)、固定側には超高力ボルト(目標導入軸力329kN)を用いた。

計測項目は3つあり、すべり挙動を把握するため開口変位・相対変位、高力ボルト軸力を把握するためボルト軸部のひずみ、降伏挙動を把握するため連結板のひずみを計測した。

2-2.試験パラメータ

試験パラメータは連結板の形状である。連結板の形状は、模擬環状型2種、模擬全面型2種、実腐食健全型1種、実腐食全面型3種(写真1~4)を用いた。**下式**に示す両面の減肉量から算出した β_{cs}' をパラメータに、両面新材のケースを含めて8体(新材3体、模擬腐食3体、実腐食2体)作成した。

$$\beta_{cs}' = Pb / F_{cyB}$$

Pb:基準すべり耐力(kN) σ_y :降伏強度(N/mm²)

FcyB:両面連結板の降伏降伏耐力(kN)[FcyB=A_{cb}× σ_y]

A_{cb}:両面連結板の腐食換算断面積(mm²)

本研究では、載荷荷重－相対変位の関係において、最大荷重計測点をすべり荷重と定義する(図2)。

また、腐食換算断面積A_{cb}は座金直下断面積と残存断面積を足したものの(図3)であり、腐食減肉の評

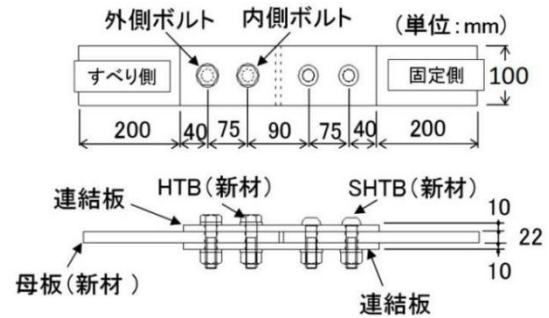


図1 試験体形状

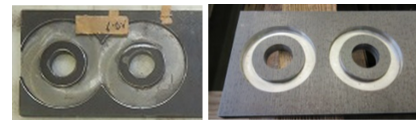


写真1 模擬環状型連結板

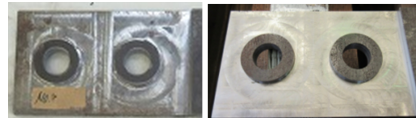


写真2 模擬全面型連結板



写真3 実腐食健全型連結



(a) 実腐食健全型連結板



(b) 実腐食全面型連結板



(c) 実腐食全面型連結板

写真4 実腐食連結板

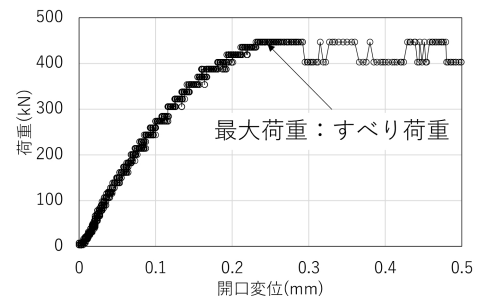


図2 すべり荷重の定義

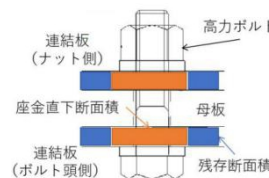


図3 腐食換算断面積

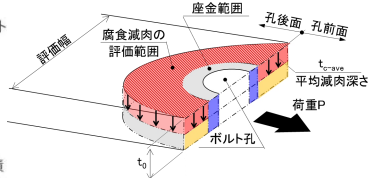


図4 腐食減肉の評価範囲

価範囲は、より応力集中する内側ボルト孔後面の1/2ドーナツ状とする(図4)。

3.試験結果

キーワード：すべり耐力 β_{cs} 連結板両面での評価

連絡先：〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース

すべり試験より得られたすべり荷重及び試験開始時のボルト軸力を表1に示す。表に示すように、新材同士のすべり荷重と比較して、腐食材を使用した場合の方がすべり荷重が低下する傾向が得られた。

連結板の片側減肉 I1 と両側減肉 I3 について比較をすると、両側の方がすべり荷重が低下する傾向が得られた。この要因を検討するために、すべり試験中のボルト軸力の低下について比較をしたところ、外側ボルトでは軸力の低下挙動に大きな差異は見られなかったが、内側ボルトでは片側減肉と比べて両側減肉のケースの方がすべり時のボルト軸力が低下していることがわかる。

図5に示す連結板のひずみ計測結果より、降伏状態を比較すると、ボルト軸力の低下量が同程度であった外側ボルト位置では降伏は生じていなかったが、内側ボルト近傍では、片側減肉では減肉した連結板において、両側減肉では両面の連結板で降伏が生じていることがわかる。この連結板の降伏挙動が高力ボルトの軸力低下を助長させるため、両面が全面型の試験体では両面で降伏が生じるので軸力低下量が大きくなったと考えられる。つまり、全面型の連結板が広い範囲で降伏し、大きく軸力低下することで、すべり耐力の低下を引き起こしたと考えられる。

連結板減肉に伴うすべり耐力の低下を評価するために、連結板の減肉が大きい側にに基づき算出した β_{cs} と両面の減肉量を考慮して算出した β_{cs}' を用いてすべり試験結果の評価を行った。評価結果を図6に示す。図より片側連結板での評価に比べ両側連結板での評価の値のほうが相関係数は高い結果となった。以上より、連結板の両側に腐食減肉が生じた場合、連結板の両側の減肉量を考慮して算出した β_{cs}' を用いて評価すべきと考えられる。

4.まとめと今後の課題

- 1) 片面減肉と比べて両面減肉でのすべり耐力の低下が大きい。
- 2) 両面減肉では連結板の両面で降伏が生じるため、片面減肉と比較して軸力低下が大きい。
- 3) 連結板両面の腐食換算断面積で算出した β_{cs} を用いた方が、すべり耐力との相関が強くなる。

今後の課題は、減肉によりボルト軸力の低下を考慮したすべり耐力評価について検討する必要がある。

参考文献

表1 すべり荷重結果一覧

	開始時		すべり荷重 (kN)
	内側ボルト	外側ボルト	
N1(新材×新材)	221.62	226.52	448.15
N2(新材×新材)	223.82	234.21	458.03
N3(新材×新材)	235.35	228.17	463.52
I1(模全×新材)	229.74	233.47	463.21
I2(模全×模環)	227.11	241.90	469.02
I3(模全×模全)	225.54	211.19	436.73
C1(実全×ほぼ新)	226.17	237.12	463.29
C2(実全×実全)	236.29	238.96	475.25

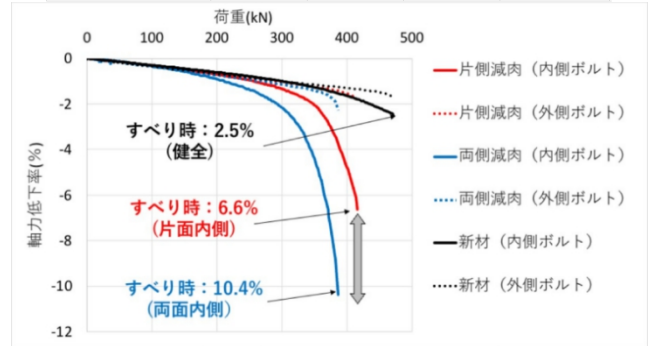


図4 軸力低下率

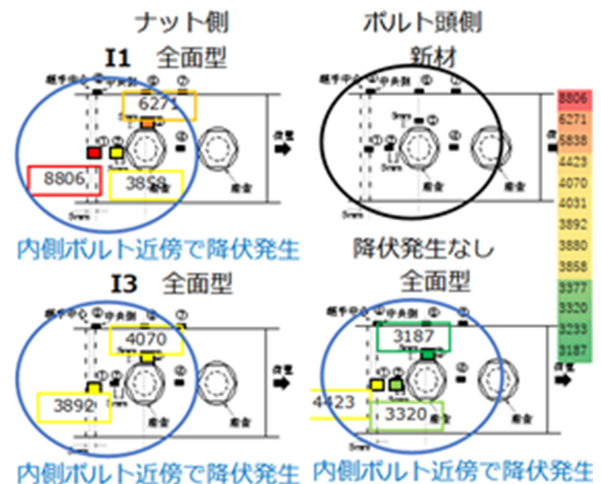
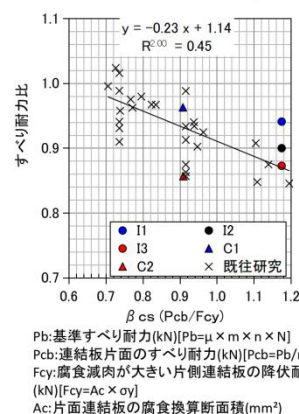


図5 すべり発生時のひずみ分布

①片面連結板での評価 β_{cs}



②両面連結板での評価 β_{cs}'

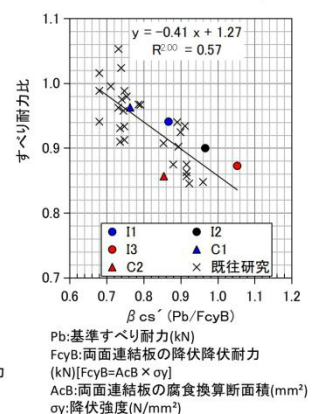


図6 すべり耐力比と β_{cs}

- 1) 山下修平、下里哲弘、田井政行、有住康則、矢吹哲哉：高力ボルト摩擦接合接手における連結板の腐食減肉形状とすべり耐力特性に関する研究、土木学会論文集 A1(構造・地震工学)、Vol.74、No.3、P359~375、2018

複合サイクルにおける道路照明柱の疲労破壊特性に関する実験的研究

琉球大学 ○中田康介 下里哲弘 田井政行
首都高技術株式会社 日和裕介

1. はじめに

道路照明柱において、極低疲労破壊と呼ばれる地震や台風などの強い外的作用や高サイクル疲労破壊と呼ばれる風による共振や自動車交通による橋梁振動によって照明柱基部が台風時に破壊する事例がある。そこで、上記の破壊形態の特徴と破壊に至るき裂進展の違いを調べる必要がある。今回、強い共振下における照明柱の破壊特性の評価を目的に、極低と高サイクル疲労載荷を組み合わせた複合サイクル疲労試験を実施した。



図1 照明柱



図2 疲労試験機と支点部

2. 試験方法

2. 1 試験機と試験体

図2のように、疲労試験には疲労試験機を使用し、本体の左右に照明柱を設置する。その試験機を上下に荷重を加えることで、疲労を再現する。

2. 2 疲労サイクル方法

荷重振幅の大小で比較するため高サイクル疲労と極低サイクル疲労の二種類の疲労で試験を行った。高サイクル疲労とは、風、橋梁振動のような10万回程度の繰返し応力で、極低サイクル疲労とは、地震や台風のような10回程度の繰返し応力のことである。今回の疲労試験では、二種類の疲労で三つのパターンの疲労試験を行った。①極低サイクル、②極低→高サイクル、③高→極低サイクルである。②および③の二種類の疲労を組み合わせたものを複合サイクルと呼ぶ。複合サイクルでは、先のサイクルでき裂を発生させたのちに別のサイクルをすることで、そのき裂がどんな挙動を示すのかを観察した。また、破壊位置は図3のようにMT（磁粉探傷試験）によって確認した。

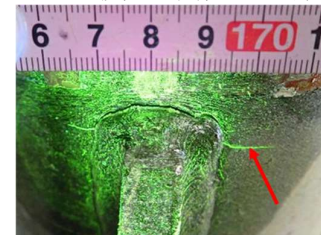


図3 MTによるき裂の観察



図4 破断した照明柱と破断面のSEM画像

2. 3 破断面観察での破壊特性調査

図4に示すように疲労試験で発生させた破断面をSEM（走査型電子顕微鏡）で観察することで疲労き裂が発生しているかを確認した。疲労き裂は図5のような滑らかな面で平行線のあるものとした。

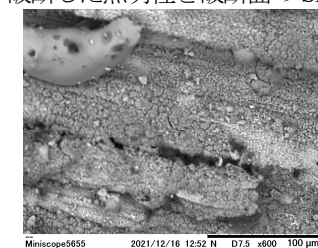


図5 疲労き裂のSEM画像

2. 4 試験パラメータ

照明柱には、照明の電源を収納する開口部や振動を軽減するリブが存在する。そこで、それらの構造的

表1 試験体パラメータ

試験体	リブ	開口部	試験体	リブ	開口部
リブあり	有	有	リブなし	無	有
リブあり【閉】	有	閉	Uリブ	U型	無
リブあり【無】	有	無			

キーワード：道路照明柱、疲労試験、複合サイクル、疲労き裂

連絡先：〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース構造設計工学研究室

徴が照明柱の破壊特性に及ぼす影響を明らかにする。今回使用した試験体は全部で5種類である。表1に示す通りである。リブとは三角リブを表しており、UリブのみU型のリブを有している。また、開口部が「閉」とは、溶接によって蓋を完全に固定したのとなっている。また、試験番号と試験体は表2に示す。

3. 試験結果

まず①極低サイクルでの No.5 の結果を示す。Uリブを 46,000 μE の載荷範囲で行った場合、リブ付近で座屈し、図6のように4サイクルでリブの溶接止端から 0.90cm 離れた位置にき裂が発生した。その後 20 サイクルまで続けたところ、き裂も進展していき破断する結果となった。SEM の結果、疲労き裂は発生していなかった。

次に②極低→高サイクルでの No.6 の結果を示す。Uリブを極低サイクルで 24,000 μE の載荷範囲で行ったところ、30 サイクル行ったがき裂が発生しなかった。その後 600 μE の載荷範囲で高サイクルを行ったところ 267 万サイクル行ったところで突発的に破断が生じ、図7に示すような結果となった。また SEM の結果、図8に示すように極低サイクルで発生したき裂には疲労き裂は発生しておらず、高サイクルでのき裂に疲労き裂が見られた。

最後に U リブを③高→極低サイクルで行った No.7 の結果を以下に示す。400 μE で高サイクルを 229 万サイクル行ったがき裂は発生せず、その状態で極低サイクルを 31,000 μE の載荷範囲で行った。すると 7 サイクルでリブの溶接止端にき裂が発生し、その後 26 サイクルまで行い図9のようなき裂が進展した。SEM は今後撮影の予定である。

4. まとめと今後の予定

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 極低サイクルではリブ先端で局部座屈後に、表面に皺状のき裂が発生し、その後破断した。
- 2) 地震や台風などの外的作用を受けてき裂が発生していない場合、常時の風や自動車振動で突発的に破断する可能性がある。
- 3) 高サイクルで疲労を蓄えた照明柱に極低サイクルで強い外的作用を加えた場合と単純に極低サイクルのみを行った場合とでは、破壊の進展速度に大きな差は見られなかった。

また今後の予定として、③高→極低サイクルを行った U リブの破断面を SEM によって疲労き裂の有無を確認する。そして、U リブ以外での試験体で③高→極低サイクルを行い、試験サンプルを増やす。

表2 試験番号と試験体

No.	試験体	サイクル
1	リブあり	極低
2	リブあり【閉】	極低→高
3	リブあり【無】	極低→高
4	リブなし	極低
5	Uリブ	極低
6		極低→高
7		高→極低



図6 No.5 の破壊の様子と SEM 画像



図7 No.3 の破断の様子

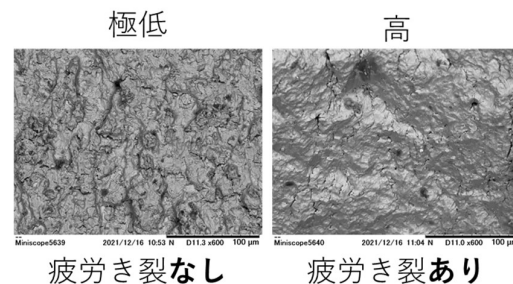


図8 No.3 の SEM 画像



図9 No.7 のき裂の様子

3-2 すべり耐力特性と破壊形態

(1) SS-SS

荷重 239kN でボルトのすべりが発生し、最大荷重は 284kN だった。破壊形態は図 3-2 (1) に示すガセットのボルト孔から破壊が生じた。鋼材と鋼材の摩擦係数は 0.52 だった。

(2) FRP-SS

荷重 133kN でボルトのすべりが発生し、最大荷重は 268kN だった。破壊形態は図 3-2 (2) に示すアングル材の FRP から支圧破壊が生じた。FRP と鋼材の摩擦係数は 0.35 だった。

(3) FRP-FRP

荷重 96kN でボルトのすべりが発生し、最大荷重は 233kN だった。破壊形態は図 3-2 (3) に示すガセットの FRP からの支圧破壊が生じた。FRP と FRP の摩擦係数は 0.29 だった。

3-3 荷重変位特性

各試験体ケースの 1 体ずつの荷重－変位関係を図 3-3-1 に示す。SS-SS はボルトのすべり発生時に荷重が大きく低下したのに対し、FRP-SS、FRP-FRP は大きな荷重低下がなく、支圧接合に入った。FRP-SS のすべり耐力は鋼材と比較して小さかったが、鋼材の設計値に対するすべり耐力は 1.35 という結果が得られた。FRP-FRP の鋼材の設計値に対するすべり耐力は 1.00 であった。FRP の試験体の最大荷重は鋼材の最大荷重と大きな差はなかった。

リラクゼーション対策を行った各試験体ケースの 1 体ずつの荷重－変位関係を図 3-3-2 に示す。結果としてリラクゼーション対策を行うことにより試験体のすべり耐力は上昇した。FRP-FRP に関しては 2 度締めを行うことにより、鋼材の設計値に対するすべり耐力が 1 を上回る結果になった。ボルトのすべり後の挙動は 2 度締めなしの試験体と同じ挙動を示し、FRP の支圧破壊により破壊した。

4. まとめ

- 1) 引張試験の結果より、対傾構を FRP と鋼ガセットとした FRP-SS は既往の鋼材同士 SS-SS よりすべり耐力が低く、FRP-FRP はさらにすべり耐力低い結果が得られた。しかしながら最大荷重にほぼ同等であり、破壊形態は FRP のボルト孔壁の支圧破壊だった。
- 2) FRP を用いた試験体のすべり耐力は、現行設計である鋼材設計値を上回る結果を示した。
- 3) リラクゼーション対策として 2 度締めした FRP の試験体はすべり耐力が上昇し、最大荷重はリラクゼーション対策なしの試験体と同様の結果が得られ、破壊形態は FRP からの支圧破壊が発生した。

今後、FRP 試験体の圧縮試験による耐荷力の解明を行い、FEM 解析によるモデル化を行う。

謝辞：この研究は、琉球大学、日鉄ケミカル&マテリアル、フクビ化学工業により実施されたものです。共同研究の皆様へ深く謝辞を表します。



図 3-2 (1)
SS-SS 破壊形態



図 3-2 (2)
FRP-SS 破壊形態

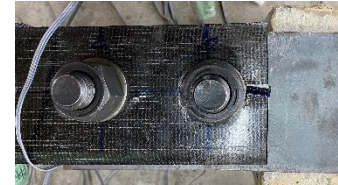


図 3-2 (3) FRP-FRP 破壊形態

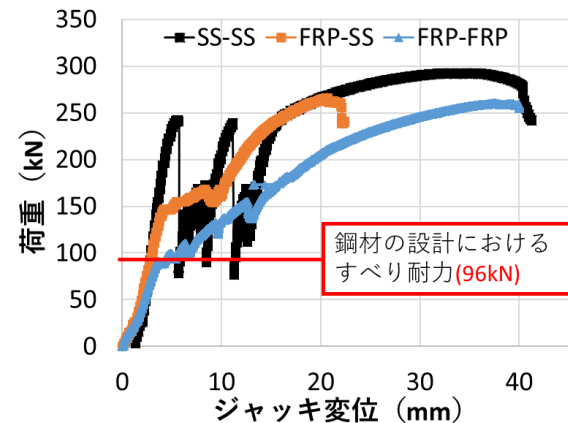


図 3-3 荷重変位関係

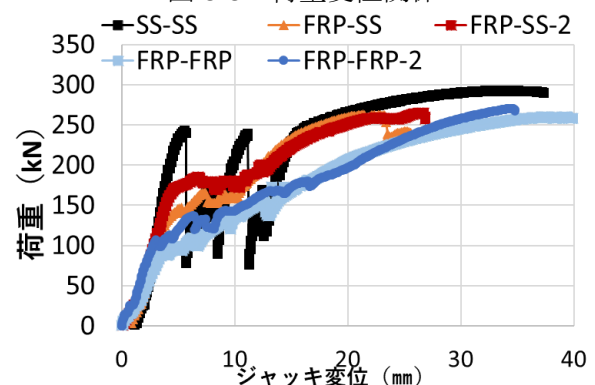


図 3-3-2 リラクゼーション対策結果

表 2 引張試験結果

		すべり耐力	設計値に対する すべり耐力	最大荷重	摩擦 係数
1-1	SS-SS	239kN	2.49	281kN	0.52
2-1	FRP-SS	133kN	1.35	268kN	0.35
2-2	FRP-SS-2	159kN	1.65	268kN	0.36
3-1	FRP-FRP	96kN	1.00	236kN	0.29
3-2	FRP-FRP-2	110kN	1.15	270kN	0.26

Cost-Effective Repair Mechanism of Corroded Steel Plate Girder End with CFRP

Mumtaz Yasin, Tetsuhiro Shimozato
The University of the Ryukyus, Faculty of Engineering

Abstract

Corrosion and aging of bridge infrastructure have become a rising threat that has put the safety of transportation in jeopardy. Several cases have been reported where the bridges were closed temporarily or permanently because of the risk of their collapse. Mostly, the girder end area is more prone to corrosion where the subtropical weather of Japan and in particular Okinawa adds more to the severity of the case. Corrosion in the girder end area can significantly decrease the shear load carrying and shear buckling capacity of the girder. Several methods exist to repair the corrosion in the girder end, where no specific study has been done to study the repair method and its cost-efficiency. Thus, this study has focused on the cost-effective repair mechanism of corroded steel plate girder end with CFRP. As the result of the study, it was revealed that using 2 layers of CFRP on either side covering only 40% of the target web plate can be a very cost-effective repair method for girder ends.

Keywords: Corrosion, Carbon Fiber Reinforced Polymer, Repair, Steel bridge

Introduction

Corrosion in steel bridges has become a series issue and several reports of severe damage have been reported. The corrosion has a significantly destructive effect on steel structures, especially bridges where the salt from the sea can easily accumulate during its serving years and can cause weakening the structure and its load-carrying capacity. Because of corrosion, the structure can completely collapse such a steel bridge in the USA (1,2) while some closed and dismantled due to the possibility that they will collapse such as the Choshi bridge in Japan (3).

The common strengthening or repair methods for steel plate girders of steel bridges are either to weld or bolt additional plates (4). The traditional repair methods are time-consuming, labor extensive, and costly which can minimize the effectiveness of the process.

There are some studies on CFRP use for strengthening and repairing or corroded steel girder has been studied including for the shear strengthening (5). However, this study has focused on the use of CFRP to enhance girder's structural performance while considering the cost of maintenance.

Methodology

In total, 11 specimens were tested, every specimen was focusing on a specific parameter. Overall, CFRP was attached to five specimens in the tension direction of the web plate, three specimens with

CFRP attached to compression direction, one specimen with CFRP applied to both tension and compression directions, and one specimen with no CFRP sheets applied. The main parameters of the study were to focus on the direction of the CFRP, the coverage percentage of the target plate, and the number of CFRP layers. The study used two approaches as below.

1) Numerical Analysis

Abaqus/CAE 2017 was used to perform the numerical modeling and analysis of the steel girder plate. To model, shell elements were used with, the total length of the specimen was 5.64m with two supporting girders every 1.445m and the main girder with 2.75m length. The web plate thickness was 6mm while the target panel was only 3.2mm which represented the corroded condition at the end of the steel plate girder. Furthermore, the girder was simply supported, and point loads were applied in the middle and end (cantilever) part of the girder to reproduce the maximum shear in a girder end.

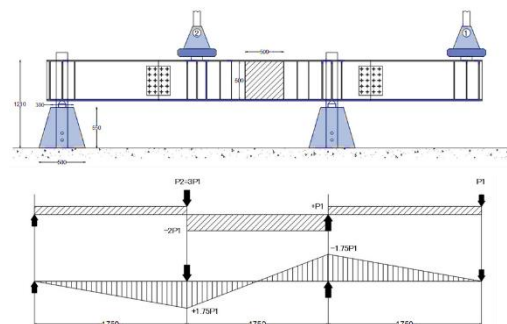


Figure 1 Experimental Set-up

2) Experimental Work and Parameters

For the experimental study **fig.2** and **fig.3**, a Shimadzu loading machine with two loading jacks each with 1000 KN capacity was utilized. The specimens were simply supported and placed 0.5m above the ground. The loading configuration was P2=3P1 as shown in Fig.3. Three-dimensional strain gauges were used to measure the principal strain on the surface of the target web plate and the LVDT transducers were placed in a 90-degree position with the target plate to measure out-of-plane deflection, strain gauge, and LVDT transducer.

Case	Name (for example: Ten=Tension / 100% = CFRP Coverage of Plate) AP= all polyurea	CFRP Layers on Each Face of Web Plate	Adhesive	Shear Buckling (KN)	Ultimate Shear (KN)
1	Cor3.2	-	-	63	233
2	T100	2+2	Epoxy Resin	225	306
3	T60	2+2	Epoxy Resin	158	282
4	T40	2+2	Epoxy Resin	216	271
5	T40	2+2	Epoxy Resin/End Polyurea	237	297
6	T40AP	2+2	Epoxy Resin/ Polyurea	242	321
7	C100	2+2	Epoxy Resin	180	311
8	C40	2+2	Epoxy Resin	57	251
9	C40AP	2+2	Epoxy Resin/ Polyurea	194	256
10	TC40AP	2+2	Epoxy Resin/ Polyurea	205	319
11	T40/6AP	6+6	Epoxy Resin/ Polyurea	275	330

Figure 2 Experimental Parameters

Case	Name	CFRP Layers on Each Face of Web Plate	Web Thickness	Shear Buckling (KN)	Ultimate Shear (KN)
1	Cor3.2	-	3.2 mm	68	223
2	Tar4.0	-	4.0 mm	197	301
4	T40	2+2	3.467 mm	194	292
5	T40/4	4+4	3.734 mm	257	322
6	T40/6	6+6	4.0 mm	293	350

Figure 3 FEM Parameters

Results

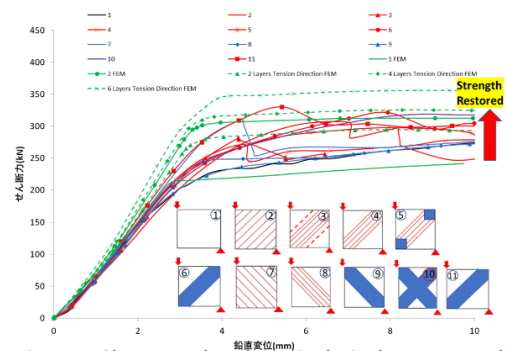


Figure 4 Shear Load and Vertical Displacement Relationship

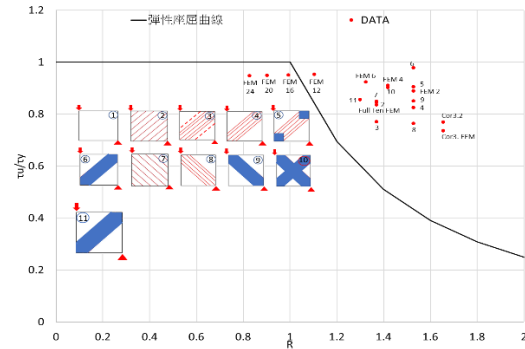


Figure 5 Shear Load Bearing Capacity Curve

Case	Name (for example: Ten=Tension / 100% = CFRP Coverage of Plate)	Ultimate Shear (KN)	Vertical Displacement and Ultimate Shear (mm)	Shear Strength Added Compared to Corroded Specimen	Max out of plane deflection (mm)	Increase in Stiffness compared to Corroded Specimen (%)
1	Cor3.2	233	5.12	1.0	8.22	1.0
2	T100	306	6.00	1.3	0.65	1.0
3	T60	282	5.77	1.2	4.97	1.0
4	T40	271	4.54	1.2	2.25	35.5
5	T40	297	6.12	1.3	3.75	37.9
6	T40	321	7.94	1.4	7.80	42.7
7	C100	311	4.47	1.3	5.20	48.5
8	C40	251	6.45	1.1	7.98	36.9
9	C40	256	6.2	1.1	9.80	43.5
10	TC40	319	8.70	1.4	6.57	51.1
11	T40/6	330	5.40	1.4	0.83	56.3

Figure 6 Experimental Results

Conclusion

Corrosion is a high-level threat to infrastructure especially those old and subjected to the subtropical climate. As the traditional repair methods are not reliable anymore, this study has proposed the use of CFRP for repairing the steel girder ends while considering the cost as a main parameter. After testing 11 specimens the study concluded that if CFRP is applied only on 40% area of tension direction of the web plate with only corners having polyurea, the lost strength can be restored.

References

- 1: National Transportation Safety Board, and United States. National Transportation Safety Board. Collapse of I-35W highway bridge, Minneapolis, Minnesota, August 1, 2007. Createspace Independent Pub, 2008.
- 2: Manda, Akihiro, and Shunichi Nakamura. "Progressive collapse analysis of steel truss bridges." Strain 2 (2010): 2-850.
- 3: NGUYEN, Xuan Tung, et al. "Evaluation of corrosion at contact surface on gusset plate connections of steel truss bridge." Kou koushou rombunshuu 22.85 (2015): 85_161-85_171.
- 4: Bridge repair manual (revised in 2003) 3 - 3 Steel member (in Japanese).
- 5: Wakabayashi, Dai, et al. "Repair method using CFRP for corroded steel girder ends." Fourth Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2013). 2013.

Session 6 点検・計測

2. 調査計画

(1) CIMモデルによる潜航確認

立坑はゴンドラが使用する4箇所の開口があり、各開口によって深度や構造が異なるため、効率良く調査が出来る様にCIMモデルを作成し、潜航計画やケーブルと水中ドローンの干渉など事前に検討を行った(図-3)。

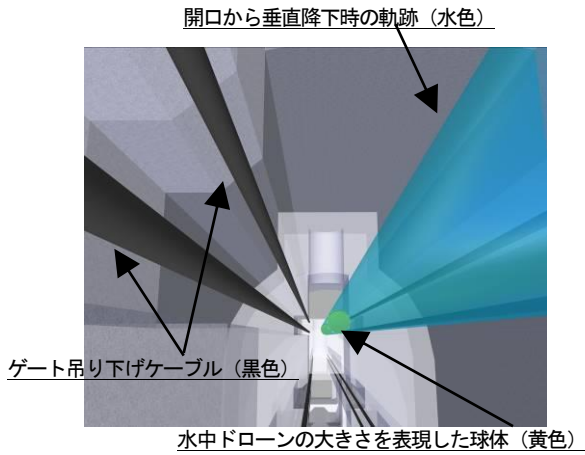


図-3 福地ダム取水設備立坑CIMモデル

(2) 使用機材

立坑内は約70mの深度があり暗いため、耐水深度が高く(最大深度100m)かつ高照度のLEDを搭載し動画、静止画が撮影可能な高性能カメラを搭載した遠隔操作型の無人水中ドローンを使用した(図-4)。



図-4 水中ドローン¹⁾

(3) 調査手順

立坑に接続している管路のバルブゲートを全閉にし、水流がない状態にし、4箇所の開口を開口①から開口④の順に水中ドローンを降下させ調査を行った(図-5)。

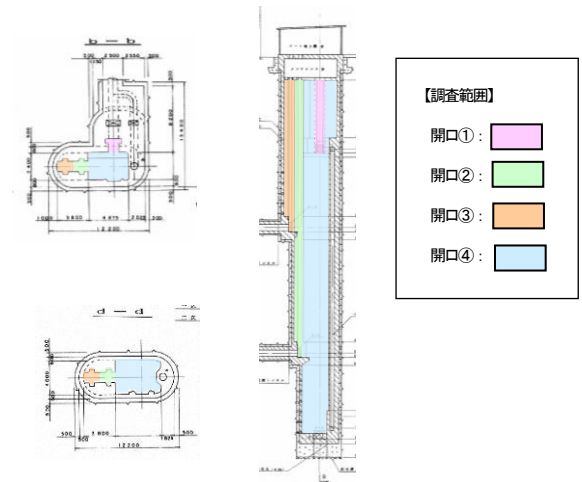
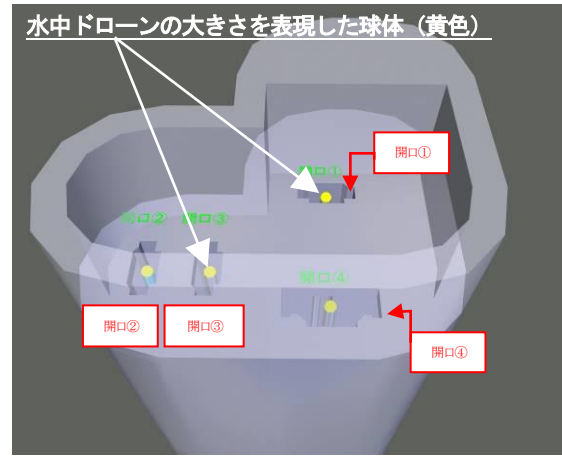


図-5 立坑縦断面図

4. 調査

(1) 調査状況

調査は、CIMモデルで検討した潜航計画に基づき5日間で行った(図-6)。



図-6 調査状況

(2) 立坑内の調査結果

通常の目視による調査と同様に立坑の点検整備基準に基づき、坑壁のひび割れ、劣化や開き状況、遊離石灰の有無、コンクリートの変状、金物類周辺の2次コンクリート部の変状、坑底部の落下物、堆積物の有無の調査を行った。

付着物や錆が少ない箇所の坑壁、導水管内、坑底での構造上問題となるような大きな亀裂やコンクリートの欠落・欠損等は見られなかった(図-7)。また前回調査で

確認されていた骨材の溶解による孔周辺のセメントモルタルの剥離等についても確認されなかった。

な映像が撮影できており、既往調査と同等の調査が行えた。しかし、水中ドローンでは付着物が多く映り込んでいるため、確認調査が行える場所が限定される。

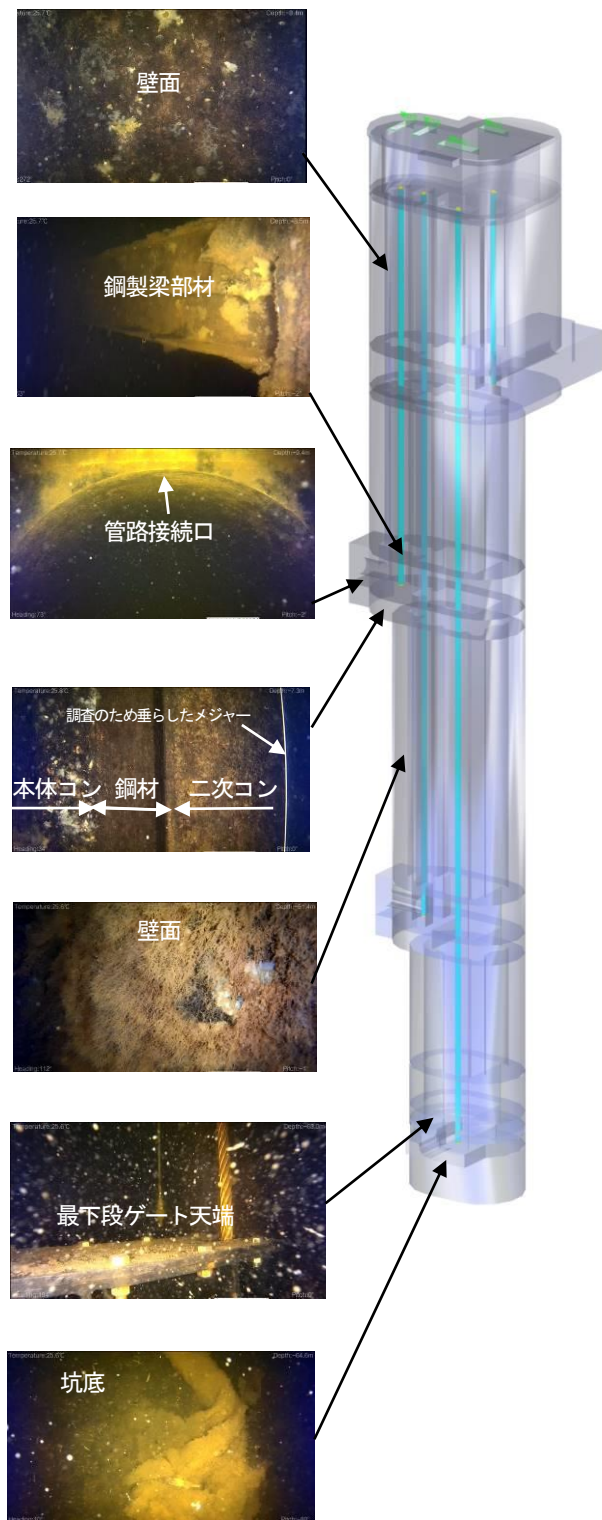


図-7 立坑内調査結果

4. 既往調査との比較

(1) 映像比較

前回放水後に調査した結果と今回の水中ドローンの映像との比較を行った(図-8)。水中ドローンでもクリア

既往調査(EL 86.00~74.75)	今回調査(EL 86.00~74.75)
既往調査(EL 74.75~71.10)	今回調査(EL 74.75~71.10)
既往調査(EL 71.10~59.48)	今回調査(EL 71.10~59.48)
既往調査(EL 30.60~16.25)	今回調査(EL 30.60~16.25)
既往調査(EL 16.25)	今回調査(EL 16.25)

図-8

(2) 作業期間、危険性、コストの比較

作業期間、危険性、コストの比較を行った(表-1)。調査期間は既往調査が約2週間、今回調査が約1週間であり調査期間を短縮することができた。作業の安全性については、水中ドローンによる調査では作業員がゴンドラに搭乗する必要もないことから、既往調査に比べ作業の安全性は向上している。調査のみのコスト比較を行うと水中ドローンによる調査の方が既往調査に比べ約50万円コストを低減できた。

しかし、今後水中ドローンによる調査を行うためには、

後述する付着物の除去に要する費用が別途必要となる。

	既往調査	今回調査
準備期間	7日間程度 (ゴンドラ点検含む)	1日程度 (CIMモデル作成)
作業期間	7日間程度	5日間
作業後	注水時間あり	なし
人的危険性	あり	なし
コスト	約 4 4 0 万円 (ゴンドラ点検費含まない)	約 3 9 0 万円

表-1



図-11 位置確認

5. 課題

今回の調査で水中ドローンの課題として、付着物、沈殿物、位置情報があげられた。坑壁や導水管に藻や錆などが付着していると、水中ドローンでは取り除くことが出来ないため、表面調査が出来なかった(図-9)。また、沈殿物などがあると水中ドローンのスクリーで巻き上げてしまい視界が悪くなってしまう(図-10)。立坑内部および今回使用した水中ドローンはGPSが使用できないため、調査位置を把握するには、垂らしたメジャーと図面を見比べる必要があった(図-11)。

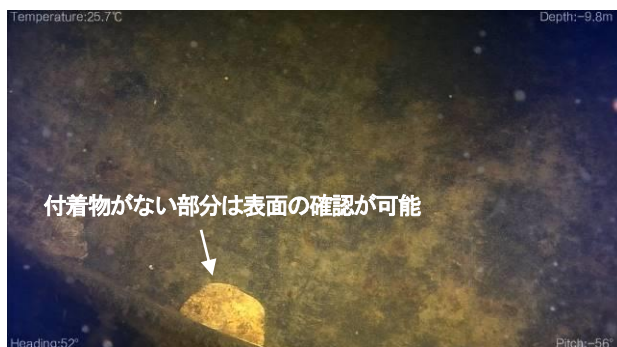


図-9 付着物

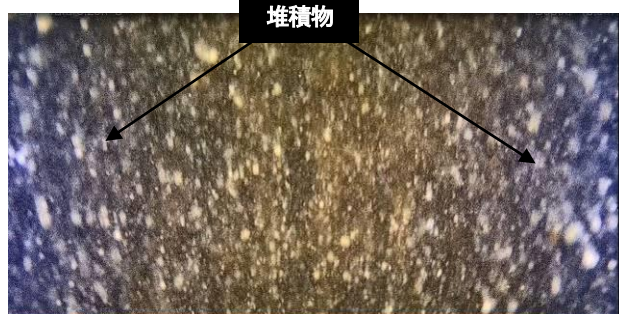


図-10 スクリューによる巻き上げ

6. まとめ

既往の調査方法に比べると課題は残ったものの、水中ドローンによる調査では作業時の安全確保、作業期間の短縮、調査コストの低減等が可能であることが確認できた。また、水中ドローンで撮影した映像により現地状況の再確認ができるなど本調査の有効性についても確認できた。

課題である付着物の除去に対しては、付着物を除去し測量が可能な水中ロボ(図-12)と水中ドローンを組み合わせることで解決できる可能性がある。その他の課題についても今後開発される新技術を活用することで解決が可能であると考えている。

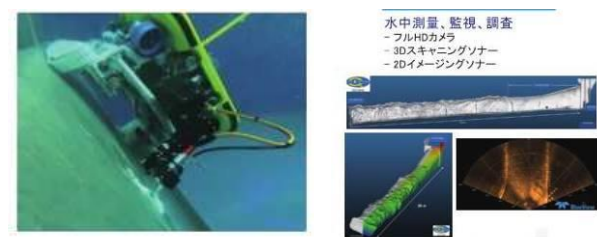


図-12 お掃除測量水中ロボ²⁾

参考文献

- 1) CHASING M2 製品カタログ
- 2) ROVING BAT 製品カタログ

<https://www.hydro->

[sys.com/files/product/files/catalog/Cat_064_ROVINGBAT_20190514.pdf](https://www.hydro-sys.com/files/product/files/catalog/Cat_064_ROVINGBAT_20190514.pdf)

鋼コンクリート混合箱桁橋のモニタリングへの取組み

内閣府沖縄総合事務局 南部国道事務所 ○塩澤 健志 福地 友博

1. はじめに

牧港大橋（2018年竣工）は、浦添北道路が牧港漁港を跨ぐ海上に位置し、島嶼環境である沖縄の塩害を始めとする外的要因に対して非常に厳しい環境にある。採用した橋梁形式の4径間連続混合箱桁橋（写真-1）は、沖縄で初めて採用した形式であり、接合部（図-1）にひび割れや漏水が生じた場合、鋼桁やPC鋼材の腐食進行により耐荷力が低下することで構造系全体に影響を及ぼす恐れがあるため、接合部の健全性確保が課題となった。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」を設置した。

委員会では、接合部の健全性を長期にわたって保持することを目的として、接合部に着目した調査・モニタリング手法等を審議した。本件は厳しい腐食環境での接合部の早期異常検知対策として、牧港大橋へ活用されたモニタリングの内容を紹介するものである。

2. 調査・モニタリング概要

接合部の維持管理を確実にを行うために、完成時初期値観測として、「挙動把握（载荷試験等）」、供用開始からの調査・モニタリングとして、「接合部の異常検知モニタリング（PC鋼材張力計測等）」、「腐食環境因子モニタリング（付着塩分等）」等を実施している（表-1）。

3. モニタリングシステム

供用中の接合部に発生する異常を速やかに検知できるようにモニタリングシステムを構築した（図-2）。モニタリングの項目は、(1)PC鋼材張力計測、(2)ずれ変位計測、(3)ひび割れ計測、(4)漏水検知を実施している。各モニタリングでは、1時間毎にインターバル計測を行い、光ケーブルを介して事務所内に設置している専用パソコンへデータが蓄積される仕組みとした。各計測値は、異常がないかを判別するため、それぞれ注意レベルと警報レベルの管理値（閾値）を設定して、異常値が発生した場合に事務所関係者へ自動的にメールが配信される。



写真-1 牧港大橋混合桁施工状況

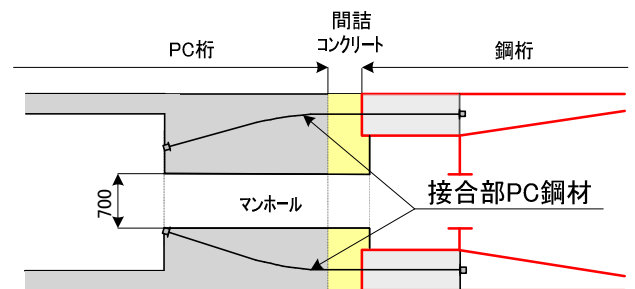


図-1 接合部の概要(PC鋼材)

表-1 牧港大橋調査・モニタリング項目^{1),2)}

種 類	項 目
挙動把握	(1) 载荷試験（ひずみ、たわみ、加速度）
接合部の異常検知モニタリング	(1) PC鋼材張力計測 (2) 鋼桁とPC桁のずれ変位計測 (3) ひび割れ計測 (4) 漏水検知 (5) 外観目視調査（漏水・滞水、ひび割れ、塗装） (6) 圧縮強度計測（非破壊試験） (7) 接合部近傍鋼材の自然電位計測
腐食環境因子モニタリング	(1) 温湿度、紫外線、付着塩分
暴露試験	(1) スズ添加鋼の腐食 (2) 鋼コンクリート接触面の腐食 (3) コンクリートへの塩分浸透深さ

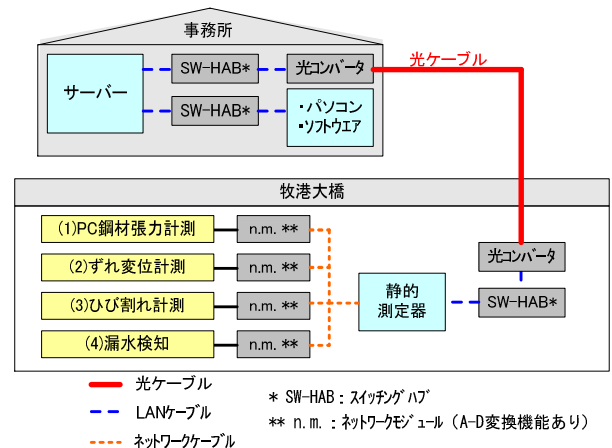


図-2 モニタリングシステム全体構成図

キーワード 混合桁橋、接合部、海上橋、モニタリング、PC鋼材張力計測

連絡先 〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2-8-14 沖縄総合事務局 南部国道事務所 TEL 098-861-2336

4. モニタリング計測結果

4.1 接合部 PC 鋼材張力計測

混合桁橋の接合部（図-1）の PC 鋼材は、鋼桁と PC 桁を繋ぐ重要部材であることから、供用期間中の張力が設計通り保たれているかを確認することが重要になる。そのため、緊張力をモニタリングできるように EM センサー「NETIS : CG-140020-VE」を設置し、張力に異常が生じていないかを監視している。

図-3 に供用開始以降の張力計測結果（P5 下縁）を示す。計測は両接合部の上縁側と下縁側で各 1 カ所ずつ（図-4）の合計 4 箇所を実施しており、いずれも閾値内で張力が安定していることを確認している。また、これまでの計測結果から、温度の上昇・下降と鋼材張力には相関があることが確認できている²⁾。なお、日毎の数値のばらつきはセンサーの計測精度に起因する誤差である。

4.2 鋼桁と PC 桁のずれ変位計測

接合部は、鋼桁と PC 桁の剛性差や線膨張係数の違いにより複雑な挙動をすることが考えられたため、接合部の挙動を把握するために相対（ずれ）変位を計測している。計測は図-5 に示す 8 箇所（4 箇所×2 接合部）で実施し、それぞれ水平・鉛直変位、及び温度を計測した。

図-6 に供用開始以降の計測結果（P5 接合部水平変位）を示す。供用開始時点（2018 年 3 月）の変位をゼロとし、気温上昇とともに変位が僅かに増加し、気温降下時にゼロに近づく動きを示しながら、徐々に変位が増加している。変位増加の原因は、コンクリートのクリープによる影響が挙げられる。接合部における解析上のクリープ変形量は、供用開始からクリープ終了時までで 114mm 垂れ下がる計算である。現在の接合部の健全性は、全ての変位量が閾値内に収まっており、問題ないレベルである。今後も接合部の健全性は、PC 鋼材張力や路面の状態も含めて挙動を確認しながら判断していく。

5. まとめ

牧港大橋のモニタリングは、今回報告した接合部 PC 鋼材張力とずれ変位の他、桁内への水の侵入等を検知する漏水検知等の想定できる損傷に対して実施している。これらのモニタリングは、供用中の継続的な数値データ抽出によって、接合部に発生する異常を早期に検知し、より正確な診断が可能になると期待される。

参考文献

- 1) 知名広道，與那原邦仁：牧港高架橋における維持管理の取組み～連続モニタリングの導入～，土木学会西部支部沖縄会，第 7 回技術研究発表会，2018.01
- 2) 普天間剛志，勢理客一之：混合桁橋の温度変化が接合部 PC 鋼材の張力に及ぼす影響に関する検討，土木学会西部支部沖縄会，第 9 回技術研究発表会，2020.01

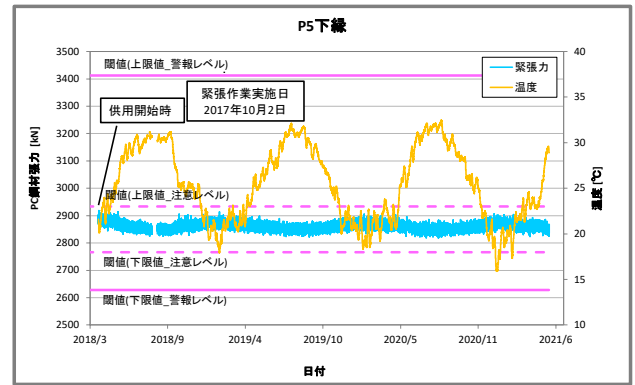


図-3 接合部 PC 鋼材の張力と温度の計測結果

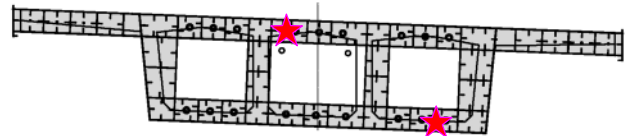


図-4 センサー設置位置（P5 接合部）

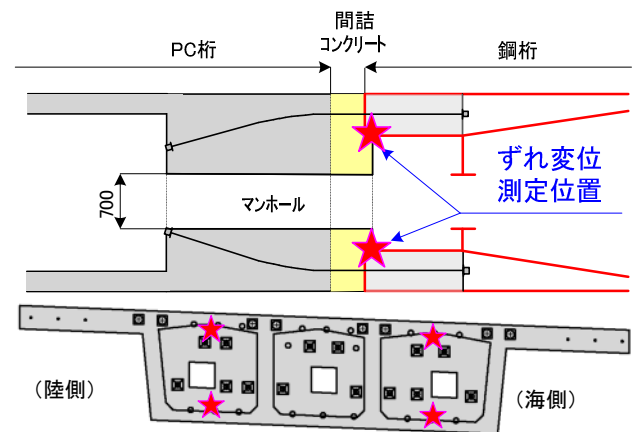


図-5 ずれ変位計設置箇所（P5 接合部）

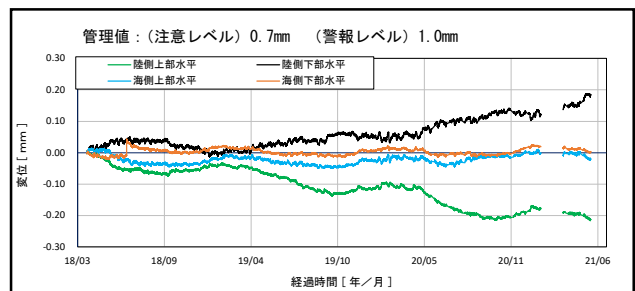


図-6 ずれ変位計測結果（P5 接合部水平）

漏洩磁束法による PC 鋼材の破断検知に関する実験的研究

琉球大学 ○田邊優子 垣花寿 下里哲弘

1. はじめに

PC 桁では、塩害によりコンクリート内部の PC 鋼材が腐食し破断することで PC 桁の耐力低下が問題視されている。また、破断箇所の特定制を行う場合、斫りなどで実際に構造物を破壊するとコストや工期がかかるというデメリットがある。そこで非破壊検査によって PC 鋼材の破断箇所の特定制ができれば合理的かつ効果的にコンクリート構造物の維持管理が可能となる。そこで、本研究では非破壊検査の 3 軸の磁気センサを使った漏洩磁束法を用いて PC 鋼材の素線破断本数の違いによる破断検知について検討を行った。

2. 漏洩磁束法の概要

2.1 漏洩磁束法

漏洩磁束法は PC 鋼材や鉄筋が強磁性体であることを利用した非破壊検査である。使用する機器は、磁石ユニットと磁気計測装置である。計測装置は、計測範囲が幅 160mm×長さ 530mm で、磁気センサが 5 つ、40mm 間隔で設置されている。漏洩磁束法の原理は、磁石により磁化した鋼材の磁束を磁気センサでとらえて、破断を検知するものである。鋼材が破断している箇所では磁束に局所的な変化が生じるため、破断箇所が特定できる。本研究では、S 極を下向きにして左から右に着磁を行った。その時の健全波形と破断波形を図 1 に示す。なお、従来の Z 軸と破断波形が山形状で検知しやすい X 軸に着目して破断検知を行った。

2.2 実験方法

使用した PC 鋼材の配置を写真 1 に示す。劣化桁では、桁下面の隅角部に位置する PC 鋼材から腐食することが多いため、破断鋼材を①の位置に設置した。計測する際は、装置の中央である 26cm に破断箇所を合わせ、赤いセンサラインが破断鋼材上になるように配置した。また、破断箇所周りの鋼材による磁束の変化を考慮し、破断 PC 鋼材のほかに PC 鋼材を 2 本並べた。実験状況を写真 2 に示す。着磁する際は、PC 鋼材の上に合板を置くことで、かぶりの厚さを考慮した。磁石ユニットは合板上を移動させて鋼材を着磁した後、計測を行った。

2.3 実験パラメータ

実験パラメータを写真 3 に示す。素線破断本数は 1 本から 7 本用意し 7 パターンの実験を行った。素線の

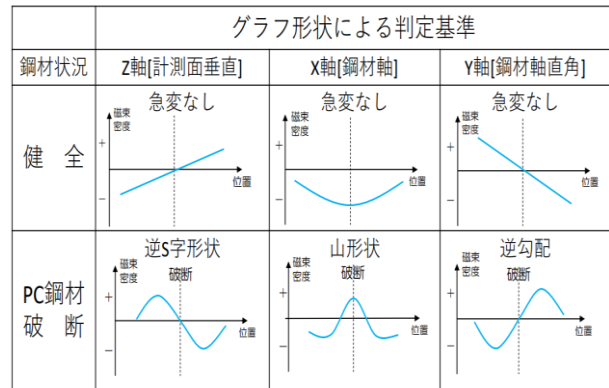


図 1 破断波形と健全波形

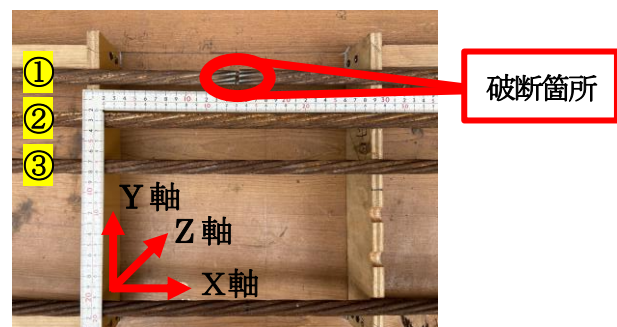


写真 1 PC 鋼材



着磁の様子 (磁石ユニット) 計測の様子 (計測装置)

写真 2 実験状況

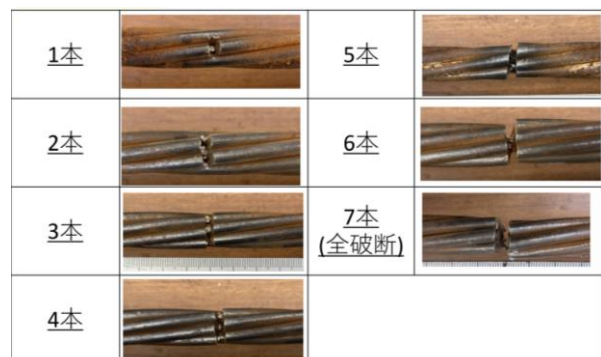


写真 3 実験パラメータ

キーワード 漏洩磁束法

連絡先〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部工学科 社会基盤デザインコース 構造設計工学研究室

破断本数を変化させ、各軸の磁束密度に与える影響を検討する。

3. 実験結果

素線 1 本破断時の Z 軸と X 軸の波形を図 2 に示す。破断箇所のセンサは赤色で示す。Z 軸の波形は、破断波形である逆 S 字と判断できなかったため、検知不可とした。X 軸では、破断箇所破断波形である山形状になっており、また健全鋼材近くである他のセンサ(黄・緑)と明らかに違う形状であるため、検知可能と判断した。素線 2 本破断の軸と X 軸の波形を図 3 に示す。Z 軸の破断箇所のセンサ(赤)では、他の健全鋼材近くのセンサ(黄・緑)と波形が異なり、反応は弱い逆 S 字波形であったため、検知可能と判断した。X 軸では山形状の破断波形が見られたため検知可能であった。素線 4 本破断の Z 軸と X 軸の波形を図 4 に示す。Z 軸では、破断波形である逆 S 字に高低差が生まれ、検知可能であった。X 軸でも、山形状が顕著に現れ検知可能であった。素線破断の Z 軸と X 軸のまとめを図 5 に示す。Z 軸では、素線破断本数が 2 本以上から検知可能である。2 本や 3 本のグラフは、4 本以上に比べて破断波形の高低差が小さいことがわかる。4 本破断以上では、破断波形が明確に表れ、破断本数が多くなるほど明確に逆 S 字波形が見られる。X 軸では、素線破断本数が 1 本から検知可能である。破断本数の増加に伴い波形の山形状が大きくなり、磁束密度が大きくなっている。

今回 X 軸では、素線破断本数 1 本から検知可能であった。これは、X 軸が Z 軸に比べて、健全な素線がつくる磁界の影響を受けにくいためと考えられる。X 軸は、着磁方向である鋼材方向の磁場を捉えるため、他軸より破断箇所に健全素線が及ぼす磁場の影響が少なく、検知がしやすいと考えられる。今後は、PC 鋼材とスターラップを入れた場合の素線破断本数の検知の検討を課題とする。

4. まとめ

本研究では 3 軸の磁気センサを使った漏洩磁束法を用いて、PC 鋼線の破断本数検知について検討を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) X 軸センサは素線破断 1 本から検知可能である。
- 2) Z 軸センサでは、素線破断 2 本から 3 本の場合、反応波形が弱くなる傾向があり、破断検知が容易でない。なお、X 軸の漏洩磁束を併用することで破断検知が可能であった。

以上のことから 3 軸磁気センサを用いることで PC 鋼線の破断検知精度が上がると考える。今後スターラップがある場合の素線破断本数の検知の検討を行う。

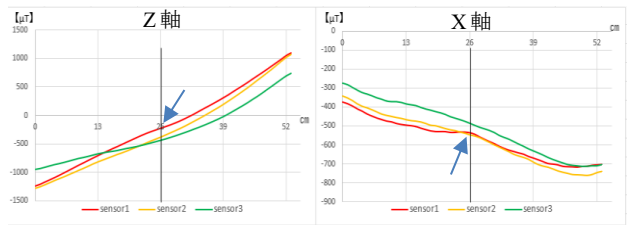


図 2 素線 1 本破断

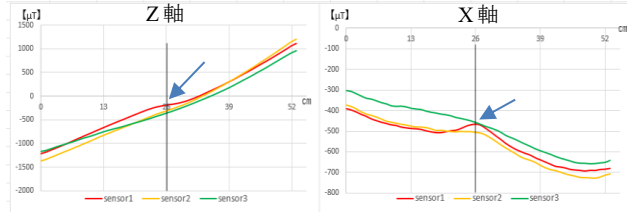


図 3 素線 2 本破断

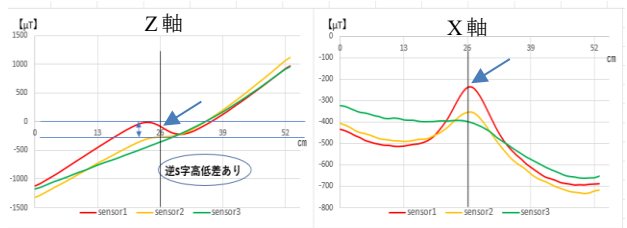


図 4 素線 4 本破断

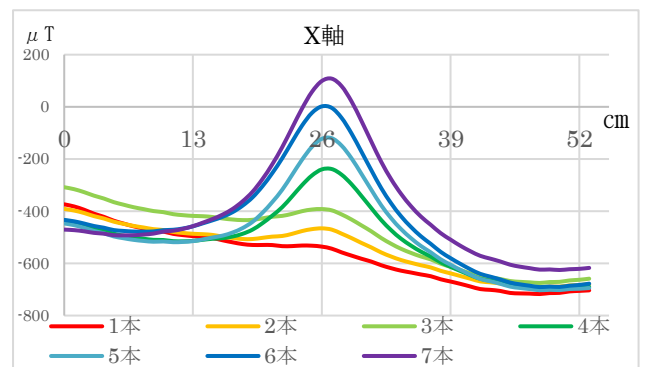
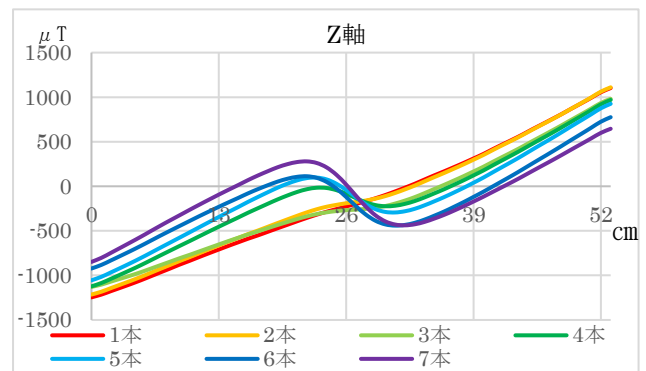


図 5 素線破断まとめ

Z 軸(上) X 軸(下)

台風環境下の多機能防食デッキに作用する風圧に関する実験的研究

琉球大学 ○磯部喬幸、田井政行、下里哲弘 宮地エンジニアリング 山下修平
日鉄エンジニアリング 藤川敬人 横河ブリッジホールディングス 川東龍則

1. はじめに

鋼橋の桁内部では、腐食因子である飛来塩分が堆積しやすく、また雨などによる洗浄効果も期待できないため、激しい腐食進行が生じる可能性がある。近年、図1に示すような、飛来塩分の流入を遮断し、腐食進行を抑制することができる多機能防食デッキの設置が進められている。多機能防食デッキは桁内面を覆うため多くのメリットを得られる。桁内部を点検通路として利用できるため、点検効率を向上させることや、桁内部の塗装仕様を内面塗装とすることができるため、塗装費用の削減、さらには景観性の向上が期待される。

一方、近年、急速に発達する台風による構造物の被害が懸念されている。台風環境下での多機能防食デッキに作用する風圧特性や安定性についての検討は十分に行われてはいない。

そこで本研究では、台風時の風環境やデッキ面に作用する風圧の基礎データを収集することを目的に、台風接近時の多機能防食デッキに作用する風圧計測を行った。

2. 風圧計測概要

対象橋梁は図2に示す琉球大学暴露場に設置された実物試験橋である。実物試験橋は橋長10,000mm、主桁間隔3,000mmの単純非合成2主桁橋であり、主桁間には図3に示すアルミ製の多機能防食デッキを設置されている。本研究ではこの多機能防食デッキを対象に、風圧計測を行った。

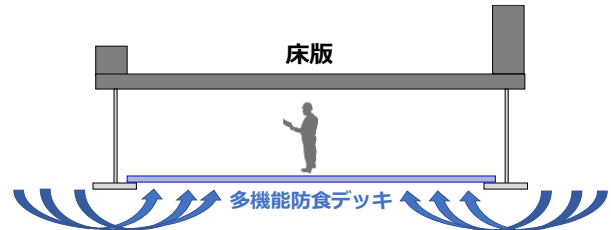


図1 多機能防食デッキの概要



図2 琉球大学暴露場実物試験橋



図3 琉球大学暴露場実物試験橋

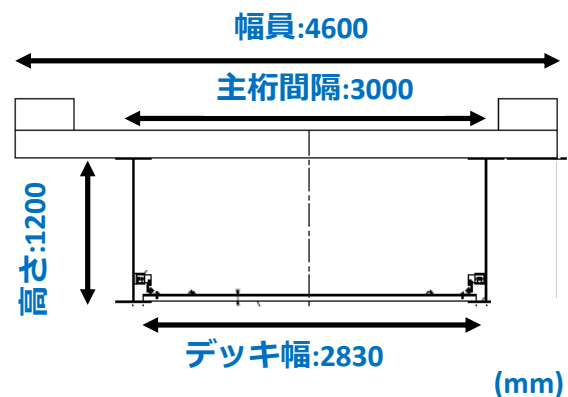


図4 実物試験橋の断面図

キーワード 多機能防食デッキ、台風、桁端部、負圧

連絡先 〒903-0213 西原町千原1 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース E-mail:e185549@eve.u-ryukyu.ac.jp

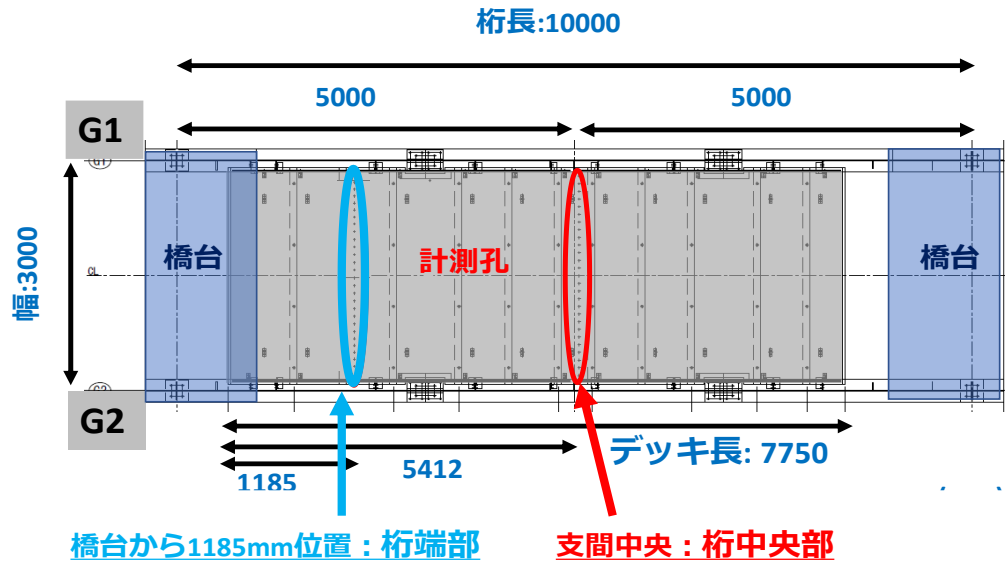


図5 実物試験橋の平面図

(1) 風圧計測システムの概要

主桁ウェブ面及び多機能防食デッキ下面に図6に示す風圧計測孔に図7の校正チューブを接続し、図8の風圧センサユニット（最大計測圧力 $\pm 5000\text{Pa}$ ）を接続している。計測孔は直径15mmの孔とし、支間中央部（以下、桁中央部）とデッキ妻部から1,200mmの位置（以下、桁端部）に100mm間隔で設置している。また、ウェブ面については、桁中央部位置に、計測孔を185mm間隔で設置し、そのうち3点で計測を行った。計測方式は差圧法であり、サンプリング周波数は100Hzである。

(2) 風況環境システムの概要

風況環境については、実物試験橋のコンクリート地覆天端に設置した図9に示す3次元超音波風向風速計により計測を行った。3次元超音波風向風速計は各方向の風速成分と大気圧・温湿度の変化を同時に計測が可能である。測定範囲は、風速：0~70m/s、風向：水平360°・鉛直 $\pm 60^\circ$ 、大気圧：800~1100hPa、温度：-40~60度、相対湿度：0~100%RHである。なお、サンプリング周波数は40Hzとした。これらの計測機器は、図10に示すポータブルバッテリーに接続し、停電時でも1日以上計測可能な環境の構築を行っている。



図6 デッキ下面計測孔

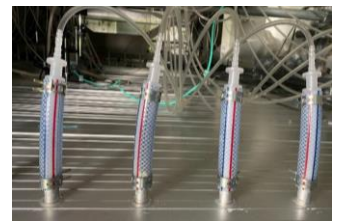


図7 校正チューブ



図8 風圧センサユニット



図9 超音波風向風速計



図10 停電時に備えたバッテリー

3. 計測対象の台風の概要

2021 年度には、台風は沖縄本島に大小含め 5 回接近している。その中でも、計測風速が最大であった台風 6 号について報告する。

台風 6 号は 2021 年 7 月 21 日から 7 月 24 日にかけて沖縄本島に接近し沖縄本島南東側から接近し南側を滞留後、北北西方向に北上した。沖縄本島へ接近した際の最大風速（10 分間の平均風速）は 18.7m/s、瞬間風速（3 秒間の平均風速）の最大値、つまり最大瞬間風速 28.5m/s を那覇气象台で観測した。

台風接近期間中の風向状況は観測期間前半の 7 月 21 日から 7 月 23 日午後までは北東から東寄りの風が吹き、7 月 23 日夕方以降は台風の北上に伴い南東から南寄りの風へと変化していった。図 11 は台風最接近時の風向割合を示した風配図であり、台風最接近時には東寄りの風の割合が高いことが分かる。

4. 多機能防食デッキに作用する風圧特性

図 12 は多機能防食デッキに強風が作用した際の桁中央部のデッキ下面とウェブ面の風圧の発生状況を示したものである。風上側のウェブ面では正圧が発生し、デッキ下面ではデッキエッジ部で卓越した負圧が発生した。また風下側ウェブ面ではわずかに負圧が発生していた。

以上の計測結果より、多機能防食デッキでは

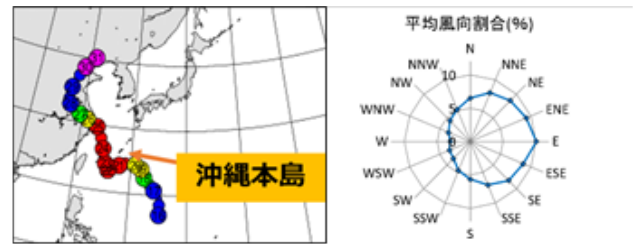


図 11 台風 6 号の進路図と最接近時の風配図

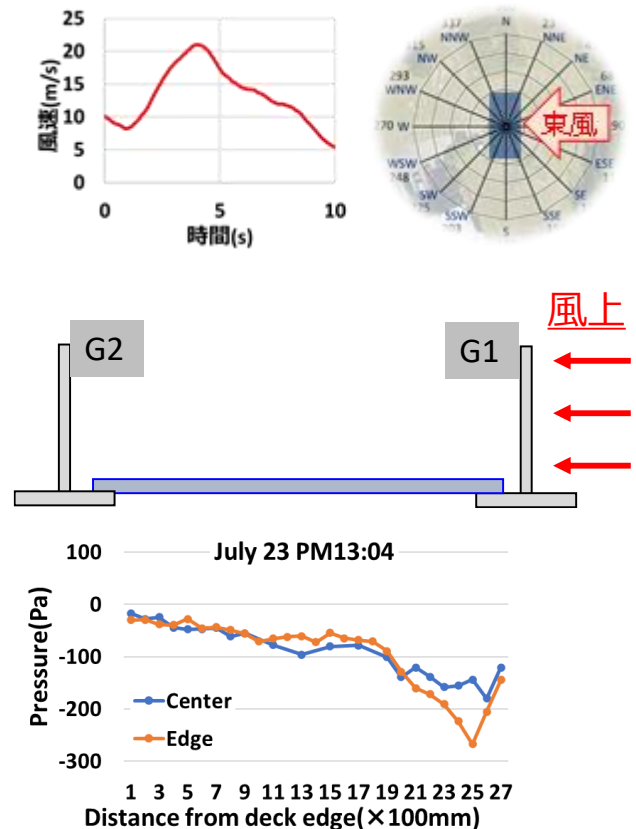


図 13 東風時の風速と最大負圧の分布

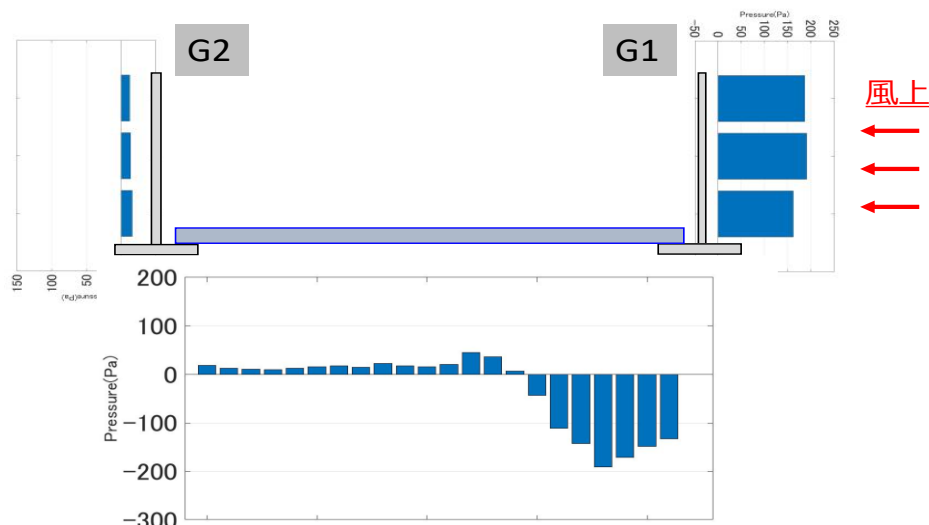


図 12 多機能防食デッキ桁中央部に作用する風圧

風上側で大きな負圧が生じるといえる。そこで、この負圧の発生状況について、桁中央部と桁端部の違いを風向や風速などの風況環境に着目して比較を行った。

(1) 東風 20m/s 時の風圧計測結果

図 13 は橋軸方向に対して直角の風となる東風が風速 20m/s で作用した 7 月 23 日午後 13 時 04 分頃の最大風圧分布を示したものである。桁端部デッキエッジ部で最大負圧 267Pa、桁中央部デッキエッジ部で 187Pa を計測し、桁中央部に比べ桁端部の負圧が大きい結果となった。

(2) 東風 15m/s 時の風圧計測結果

橋軸方向に対して直角の風となる東風 15m/s が作用した 7 月 23 日午後 16 時 22 分頃の最大風圧分布を図 14 に示す。桁端部デッキエッジ部で最大負圧 243Pa、桁中央部デッキエッジ部で最大負圧 73Pa を計測し、桁中央部に比べ桁端部の負圧が大きい結果となった。

(3) 北東風 15m/s 時の風圧計測結果

橋軸方向に対して 45 度である北東の風 15m/s が作用した 7 月 21 日午前 3 時 30 分頃の最大風圧分布を図 15 に示す。桁端部デッキエッジ部で最大負圧 243Pa、桁中央部デッキエッジ部で 114Pa を計測し、桁中央部に比べ桁端部の負圧が大きい結果となった。

以上より、(1)と(2)の比較から風速の増加が風圧の増加を引き起こすと考えられる。また、桁中央部と比べて桁端部の方が大きな負圧が生じる傾向にあることから、耐風設計を行う際には、桁端部側で大きな負圧が生じる可能性があることに留意する必要がある。

5. まとめと今後の課題

- 1) 多機能防食デッキ下面では、風上側デッキエッジ部で卓越した負圧が発生する。
- 2) 橋軸方向に対して直角もしくは斜め方向である東風又は北東風が作用する際は、桁中央部に比べ桁端部で負圧が大きい傾向がある。

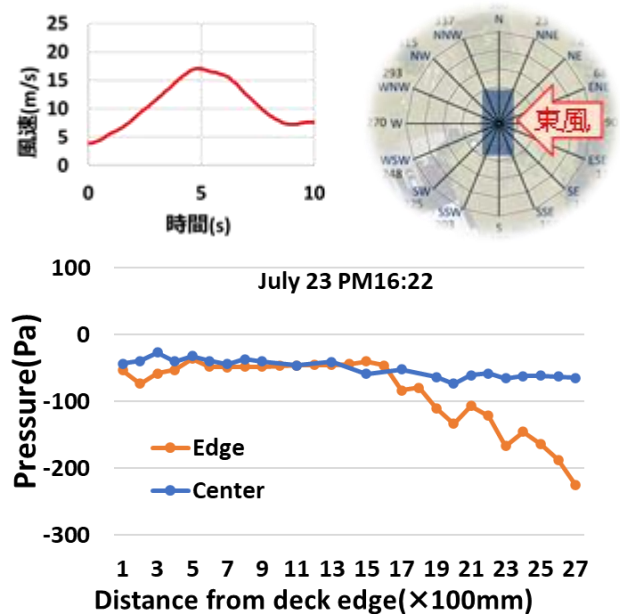


図 14 東風時の風速と最大負圧分布

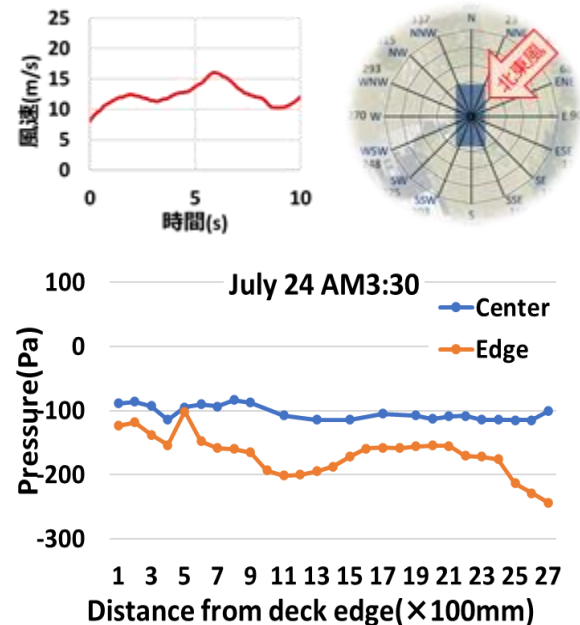


図 15 北東風時の風速と最大負圧分布

- 3) 耐風設計を行う際には桁端部側でより大きな負圧が作用することを留意する必要がある。

今後の課題として大型台風接近・上陸時のデータ収集、分析を行い、風圧データと風環境データの蓄積を行うと共にデッキ周辺の風の流れを流体解析・風洞実験等で推定し、設計荷重の評価を行うことを予定する。

渦電流探傷試験における塗膜下に進展する疲労き裂検出技術に関する研究

琉球大学 ○石川望 下里哲弘 田井政行
(株)IHI 大橋タケル 瀬戸口雄介

1. はじめに

鋼橋の溶接継手部では、溶接止端部で疲労き裂が発生する場合がある。一般的に、疲労き裂の探傷には、図 1-1 に示すように塗膜割れが発生した個所について塗膜を除去し、磁粉探傷試験が行われる。しかしながら、塗膜割れが生じていたとしても、き裂が生じていない場合も多く、き裂検出効率の低下の要因となっている。それゆえ、塗膜割れ発生個所について、塗膜を除去することなくき裂を探傷できる技術が求められている。

そこで本研究では、溶接止端部の疲労き裂検出技術として渦電流探傷試験に着目し、塗膜割れ下及び塗膜下の疲労き裂の検出について検討を行った。

2. 渦電流試験及び疲労試験について

2.1. 渦電流探傷試験の概要

渦電流探傷試験は、交流電流を流したコイルを用いて導体に時間的に変化する磁界を与え、電磁誘導作用によって渦電流が導体に発生する。図 2-1 のように、生じた渦電流が割れ等不連続部によって変化することを利用してき裂の検出を行う非破壊試験方法である。

本研究では、渦電流探傷を用いた予備実験により、き裂がない場合の溶接止端部では渦電流探傷の応答は斜め方向、き裂ありの溶接止端では垂直方向の応答を示すことを確認している。

2.2. 探傷方法及び角度変化について

探傷手順は、図 2-2 のように溶接止端部に 3 つ計測点を取り、1 つにつきプローブを 10 往復させて計測を行った。このとき、図 2-3 に示すように、探傷角度を 0°、30°、60°としてき裂探傷を行い、すべての角度でき裂応答を得た場合き裂ありと判断した。

2.3 疲労試験及び試験体について

本研究で用いた試験体を図 2-4 に示す。载荷条件は、試験体①では荷重範囲 70kN、载荷周波数 5Hz、試験体②では荷重範囲 35kN、载荷周波数 5Hz とした。その結果、表 1 に示すように塗膜割れは①-3、①-4、②-1 で発生したことから、これらについて渦電流探傷を実施した。

3. 渦電流探傷試験結果

塗膜割れ下のき裂に対する検討としては塗膜割れ上から渦電流探傷を行い、疲労载荷終了後に塗膜を除去し、MT 試験によりき裂の有無や発生位置と渦電流探傷の応答の比較をした。

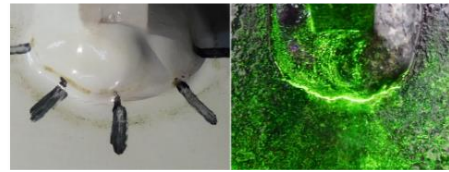


図 1-1 溶接継手部の疲労き裂

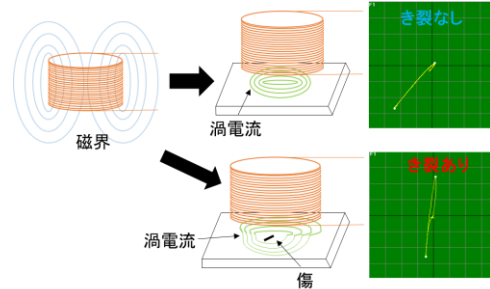


図 2-1 渦電流の原理

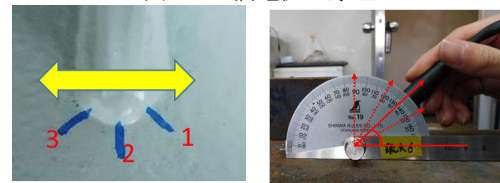


図 2-2 プローブの動作

図 2-3 探傷角度

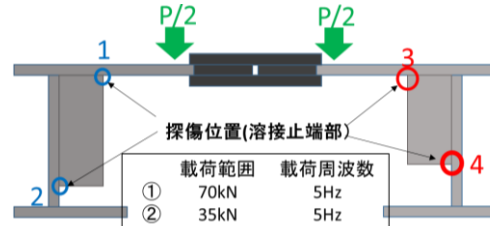


図 2-4 疲労試験概要

表 1 試験体一覧

試験ケース		探傷位置			
		デッキ側1	ウェブ側2	デッキ側3	ウェブ側4
①	母材側	貫通き裂 (対象外)	塗膜割れなし	塗膜割れあり	塗膜割れあり
	リブ側	塗膜割れなし	塗膜割れなし	塗膜割れあり	塗膜割れあり
②	母材側	塗膜割れなし	塗膜割れなし	塗膜割れなし	塗膜割れなし
	リブ側	塗膜割れあり	塗膜割れなし	塗膜割れなし	塗膜割れなし

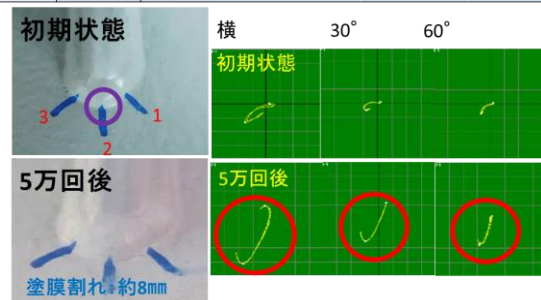


図 3-1 ①-3 結果

キーワード 渦電流探傷試験 塗膜割れ 疲労き裂検出

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース E-mail e175519@eve.u-ryukyu.ac.jp

3.1 塗膜割れ下のき裂有無に対する検証

(1) 探傷位置①-3：デッキ側溶接止端部

①-3 では、図 3-1 に示すように 5 万回載荷時点で約 8 mm の塗膜割れが発生した。渦電流探傷試験では探傷位置 2 において、0°、30°、60° のいずれの探傷角度においても垂直方向の応答を示しており、き裂が発生していると考えられる。13 万回載荷時点で塗膜を除去し、MT 試験を実施した結果、き裂の発生が確認されたことから、渦電流探傷試験によって塗膜割れ下のき裂の有無の探傷ができたと考えられる。

(2) 探傷位置①-4：ウェブ側溶接止端

①-4 では、図 3-2 に示すように 8 万回載荷時点で約 5 mm の塗膜割れが発生した。渦電流探傷試験では探傷位置 1 において、30°、60° の探傷角度において垂直方向の応答を示し、11 万回載荷時点では 0°、30° では垂直方向の応答を示したが 60° では応答が小さくき裂と判断できなかった。13 万回載荷時点で塗膜を除去し、MT 試験を実施した結果、き裂の発生が確認されたことから、0°、30° の角度では、き裂の発生を示す応答が得られたと考えられる。

(3) 探傷位置②-1：リブ上端側溶接止端

②-1 では図 3-3 に示すように 45 万回載荷後に約 3 mm の塗膜割れが発生したため疲労試験を終了し、塗膜除去後に MT 試験を実施した。塗膜除去前、除去後に渦電流探傷を行ったがいずれもき裂の応答は得られなかった。MT 試験ではき裂の発生が確認できた。渦電流試験によりき裂の応答が選らなかった理由としては、リブ側コバ面角部の形状の影響で探傷プローブが十分に接触できなかった可能性が考えられる。

3.2. 塗膜下のき裂先端に対する検討

塗膜下き裂の検討には、塗膜除去前に渦電流探傷を行い、塗膜下に進展したき裂の先端位置を推定した。その後、塗膜を除去し、MT 試験を行い、き裂先端推定位置との比較を行った。

(1) 探傷位置①-3：リブ上端側溶接止端

疲労試験 11 万回載荷後に図 4-1 で示すように①-3 のリブ側において塗膜割れが発生した。ここで渦電流探傷試験の結果から、推定したき裂位置と MT 試験による結果を比較したところ概ね一致したため、塗膜下のき裂の先端位置の探傷可能であると考えられる。

(2) 探傷位置①-4：リブ下端側溶接止端部

①-4 も図 4-2 で示すように(1)と同様に塗膜割れが発生した。ここで渦電流探傷試験の結果から、推定したき裂位置と MT 試験による結果を比較したところ、(1)と同様に概ね一致したため塗膜下のき裂の先端位置の探傷可能であると考えられる。

5. まとめ、今後の課題

1) 渦電流探傷によりデッキ側及びウェブ側の

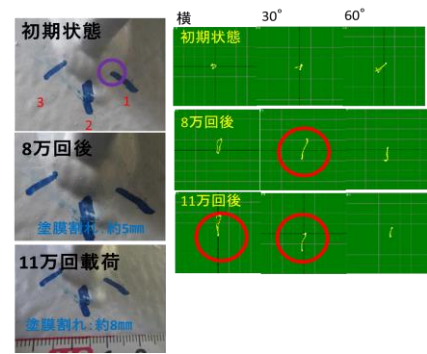


図 3-2 ①-4 結果

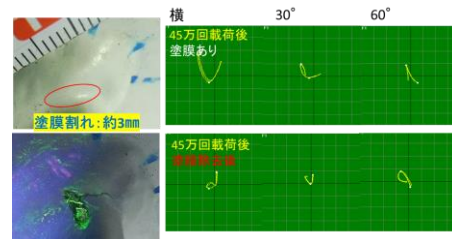


図 3-3 ②-1 結果

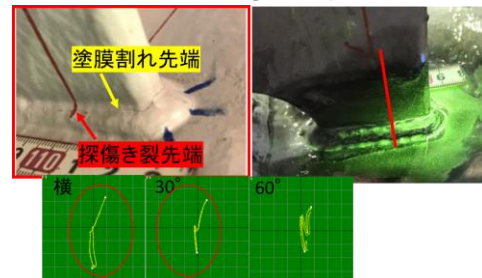


図 4-1 ①-3 リブ側結果

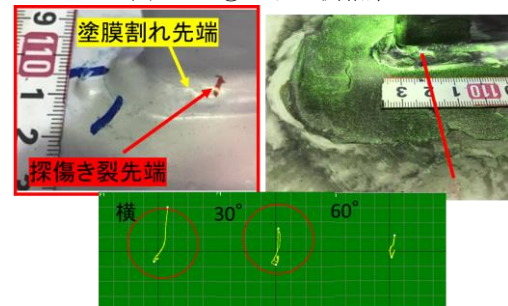


図 4-2 ①-4 リブ側結果

溶接止端に発生した塗膜割れ下の疲労き裂の有無を検出可能である。

- 2) リブ側コバ面角部に生じた塗膜割れ下の疲労き裂に対しては、渦電流探傷ではき裂を示す応答が得られなかった。その要因としては、リブ側コバ面角部の形状の影響で探傷プローブが十分に接触できなかった可能性が考えられる。
- 3) リブ側の溶接止端に沿って進展した塗膜下の疲労き裂の先端位置を渦電流探傷試験により精度良く推定できる。

今後の課題としては、探傷可能なき裂サイズ・深さや探傷方法について検討する必要がある。

参考文献：

- 1) 大橋ら：鋼橋における塗膜下のき裂を対象とした多チャンネル渦電流探傷システムの開発，第 75 回土木学会年次学術講演会，VI-574，2020。

中小橋梁を対象とした単一加速度センサによるたわみ算出と影響線推定

東京工業大学 ○正会員 竹谷晃一, 非会員 芦澤那南, 正会員 佐々木栄一
山梨大学大学院 学生会員(研究当時) 太田小春, 正会員 吉田純司

1. はじめに

鋼橋の疲労損傷の主要な原因の一つとして挙げられるのは大型車や過積載車両の輪荷重であり、疲労設計や維持管理において重量車両の交通頻度を定量的に把握することが求められている¹⁾。Bridge Weigh-in-Motion (B-WIM)は橋梁を通過する車両の重量を計測する手法であり、1979年に Mosesら²⁾によって提案されてから今日まで多くの研究が行われてきた。B-WIMでは主に移動荷重に対する構造応答である影響線を利用することで車の軸重を推定する。そのため、重量既知の試験車を走行させることで影響線を算出する必要があるが、試験車の手配などコスト面に課題がある。

計測値を用いて影響線を推定するには車軸位置の時刻歴が必要となる。車の進入・退出時間を検知する手法は、走行速度が変化する場合に影響線の推定誤差が大きくなる。この問題の解決策としてカメラによる交通監視を併用する方法^{3,4)}があるが、システムのコスト増大につながる。一方で、対象を中小規模の一般道路橋に限定すれば、走行速度や車軸位置の不確実性を抑えられる。

また、橋梁の劣化・損傷によって剛性が低下すると、たわみの影響線の変化として損傷を検知できる可能性がある。しかし橋梁現場において変位計は設置困難である場合が多い。その解決策として加速度を積分する方法⁵⁻¹²⁾が研究されてきた。試験車を用いてたわみを定期的に計測して構造状態評価に活用する方法は一部の橋梁で実用化されている⁵⁾が、影響線で評価することで指標が一般化され、試験車が異なる場合でも対応可能となる。

そこで本研究は、影響線算出の簡易化を目指し、単一の加速度センサによる主桁たわみの算出方法の提案と、常時走行している複数の路線バスを利用した影響線の算出を試みた。路線バスは車種の特が容易で重量も比較的大きいため試験車の代用となりえる。中小規模の橋梁を対象として、加速度積分による主桁たわみの算出と、たわみの影響線の推定と気温の影響評価を行った。

2. 加速度積分による橋梁たわみ算出

2.1 対象橋梁と計測機器の概要

対象橋梁は山梨県甲府市にある単純鋼桁の一般道路橋である。図-1と図-2に対象橋梁の断面図と側面図および加速度センサ(Epson, M-A352)の設置位置と、加速度積分の検証用として主桁たわみの計測位置を示す。計測を行った第2径間(P1-P2間)のスパン長は10mである。桁中央のたわみ量はレーザー変位計(Keyence, LK-500)を三脚に設置して計測した(図-3)。加速度センサはSonas社のワイヤレス加速度センサユニットx02を用いた。単一センサの利点として、無線計測で課題となりやすいセンサ間の同期精度を問わないため、より簡素なソフトウェア構成とすることも可能である。計測した加速度と検証用のたわみ波形を図-4に示す。

2.2 数値積分と基線の二段階補正

加速度を積分して変位を算出する方法は、一般的には周波数領域か時間領域で積分する二つの方法がある。周波数領域の積分は周期関数を前提としたフーリエ変換を行うと積分結果の波形が歪みやすい⁶⁾。そのため、本研究では時間領域での台形積分を採用するが、データに含まれる約1Hz以下のセンサの自己ノイズによる誤差が原因で、積分結果の発散や基線が大きく変動する。その対策として基線を補正する方法⁶⁻¹¹⁾があり、本研究では基線を2段階で補正することでたわみ算出の高精度化を図った。本研究で提案する加速度積分と基線の2段階補正の計算フローを図-5に示す。加速度積分は以下の3つのステップに分かれている。

- (a) 簡易的な基線補正を含む数値積分
- (b) 加速度データを用いた1次基線補正
- (c) 1次補正変位を用いた2次基線補正

はじめに、簡易的な基線補正を含む数値積分では、加速度の移動平均を減算することで低周波ノイズ成分を除去し、数値積分をする。これを二回繰り返すことによって加速度から変位を得る。算出した変位にはドリフト成分を除去するために

キーワード 橋梁, 加速度, 積分, たわみ, 影響線

連絡先 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 W8-94 東京工業大学 環境・社会理工学院

E-mail : takeya.k.aa@m.titech.ac.jp

(b), (c)において二つのレベルの閾値を用いて車両の有無を判断した補正マスクを作成し、それを用いてドリフト成分をトレースした基線を求める。この基線をそれぞれ変位から除くことでドリフト成分を除去した積分変位を求めることができる。単に閾値によって検知した非走行区間から基線を推定して補正する場合、基線はフィルタリングや閾値の設定に敏感となりやすく、対象橋梁毎に厳密に設定しなければならない。そこで本研究は、単純な FIR フィルターを並列に用いて検出結果をバギングする方法⁶⁾を採用し、さらに二段階の補正を用いることで汎用性と精度の向上を目指した。目標は図-4 に示した加速度データ(朱色)を積分して、たわみ波形(青色)を再現することである。

(a) 簡易的な基線補正を含む数値積分

本研究では台形積分を採用するが、センサの自己ノイズによって積分結果の基線が大きく変動する。先行研究ではFIRフィルターを掛ける方法⁸⁾や、移動平均で近似した曲線を差し引くことによる基線補正が検討されている⁹⁾¹⁰⁾。FIRフィルターによる低周波成分の除去による基線補正は、積分結果のたわみ波形が正弦波のような形に歪みやすい。移動平均を用いる方法は、車両が橋梁上にない時は変位に起因する加速度と速度はゼロと想定して低周波成分を時間領域で除去するものである。加速度データ中のセンサ自己ノイズや温度ドリフトを効果的に除去しやすく、本研究でも台形積分の

前処理として移動平均による基線補正を行った。

(b) 加速度データを用いた1次基線補正

車が連行する場合は積分区間が長くなり誤差が蓄積するため積分精度が落ちるが、対象を中小橋梁に限れば車が連行する場合でも車が対象スパン上にいない瞬間が存在しやすい。しかし、車がない時間を検知するためには、振動成分が車による強制振動なのか、車の通過後の自由振動なのかを精度よく判別する必要がある。橋の動特性分析を行えば強制振動を周波数や振幅から判別して車両の通行を検知することは不可能ではないが、適切な FIR フィルターと閾値を厳密に設定する方法は環境変化に対するロバスト性と汎用性に欠け、結果的に検出精度も高くない。そこで、複数の FIR フィルターを用いて閾値による車両検知を並列に行い、その結果を統合することでその精度を高める方法を採用した⁶⁾。用いた FIR フィルターを表-1 に示す。フィルター処理後の加速度振幅の分布から閾値を設定する。フィルター処理後の加速度が閾値以下であれば自由振動または常時微動であるため、車が対象スパン上にいない時間である。なお、温度ドリフトの影響を除去するため、前処理として 0.1Hz のハイパスフィルターを掛けている。車の通行量と加速度振幅の大きさは相関が高いことから、加速度振幅が小さいものから数えた時の比率で決まる値を閾値とした。閾値を決めるこの比率を振幅率と呼び、車が通行していな

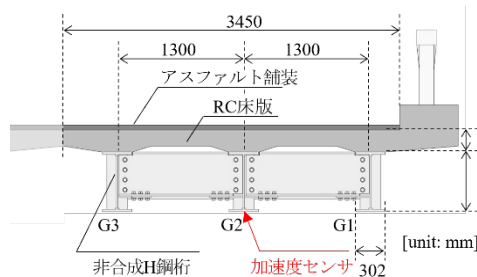


図-1 対象橋梁の断面図

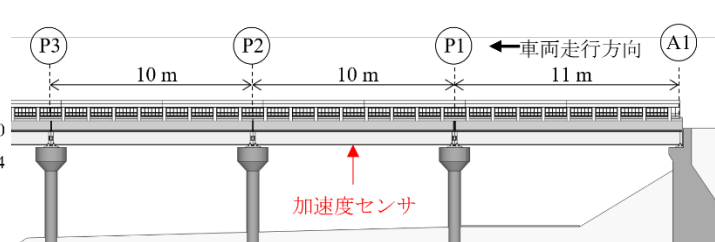


図-2 対象橋梁の側面図



図-3 P1-P2 径間の G2 桁中央の鉛直方向変位の計測の様子

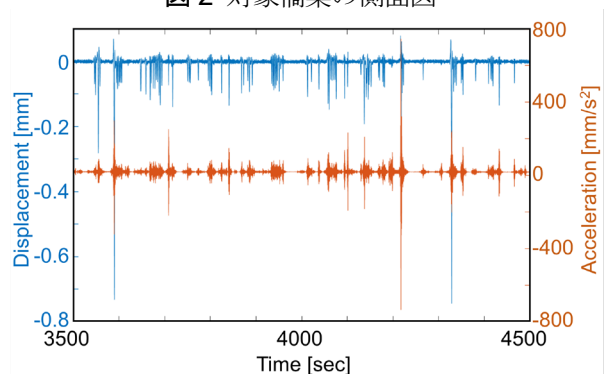


図-4 計測した加速度(朱色)とレーザー変位計による変位の正解値(青色)

い時間の比率を概ね表していると言える。振幅率から求まる振幅の閾値はフィルターごとに独立しているため振幅率の設定は厳密である必要はなく、車両検出結果は振幅率の設定に対してロバストである。著者らの先行研究⁹⁾では振幅率が0.5~0.7の範囲であれば車両検出の結果が大きく変わらないことを示しており、本研究では0.6を採用した。ここでは強制振動成分の未検出を減らすことを目的としているため、閾値を小さめに設定した。

マルチFIRフィルターと振幅率で検出した非走行時間の結果の一部を図-6に示す。非走行時間を検出したベクトルを補正マスクと呼ぶ。補正マスクは、強制振動と判定したところのデータを欠損させており、積分波形に補正マスクをかけると強制振動の時間を除いた変位波形、すなわち変位の基線が得られる。強制振動下の変位の基線は線形補間によって推定する¹¹⁾。数値積分によって得た変位結果から、推定した変位の基線の差分をとる

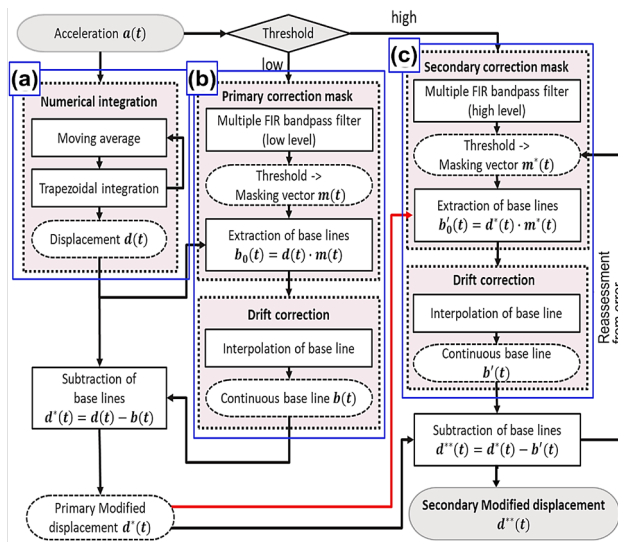


図-5 加速度積分と2段階基線補正のフロー

表-1 マルチFIRフィルターのパラメータ

No.	Cutoff frequency	Filter type	Tap
1	- 1 Hz	Low pass	512
2	1 - Hz	High pass	512
3	1 - 2 Hz	Band pass	512
4	1 - 4 Hz	Band pass	512
5	1 - 8 Hz	Band pass	512
6	1 - 16 Hz	Band pass	512
7	1 - 32 Hz	Band pass	512
8	1 - 64 Hz	Band pass	512
9	2 - 4 Hz	Band pass	512
10	2 - 8 Hz	Band pass	512
11	2 - 16 Hz	Band pass	512
12	4 - 8 Hz	Band pass	512
13	4 - 16 Hz	Band pass	512
14	8 - 16 Hz	Band pass	512
15	16 - 32 Hz	Band pass	512
16	32 - 64 Hz	Band pass	512

ことで1次補正変位が得られる(図-7)。

1次基線補正によって数値積分結果は補正なしに比べて改善するが、変位が大きい場合や車両が連行する場合は精度が低下しやすい。これは閾値が小さいため、強制振動の未検出は少ない反面、車が通過後の自由振動区間も強制振動成分とみなされてしまう誤検出が多いためである。

(c) 1次補正変位を用いた2次基線補正

強制振動が生じていない瞬間をより厳密に検知することで、車が連行する場合でも強制振動が生じていない瞬間の検出を図るため、1次補正マスクを更新した2次補正マスクを推定する。加速度振幅の閾値を1次基線補正よりも大きい値に設定することで誤検出は抑えられるが、加速度振幅の小さい一般車両は閾値未達となりやすく検出漏れが生じる。そこで、1次基線補正で算出した変位を参照することで、強制振動の検出漏れが予測される区間は補正マスクの更新を行わない。具体的には、

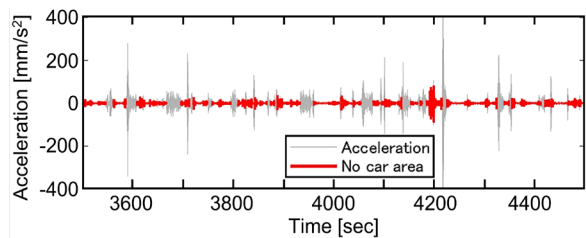


図-6 強制振動を除いた時間の検出結果 (1次補正マスクを加速度データにかけた結果を表示)

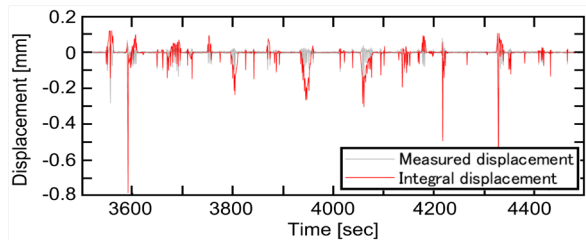


図-7 加速度データを用いた1次基線補正後の変位の算出結果

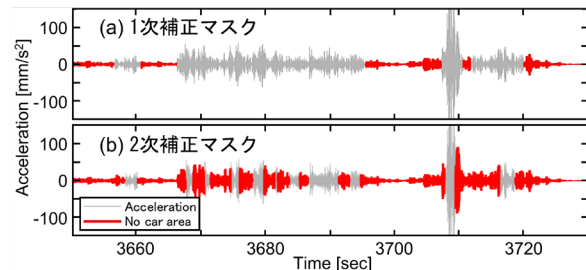


図-8 1次補正マスクと2次補正マスクによる非走行区間の検出結果の比較

まず1次基線補正で算出した変位が設定した閾値を超える場合は交通がある区間と断定する。例えば変位の閾値を -0.05mm と設定すると、乗用車以上の交通によるたわみは確実に検知できる。つぎに、交通がある区間より狭い区間を2次補正マスクが強制振動と推定した場合は、検出漏れが生じているとしてそれを採用しない。ただし、車が連行している場合を想定し、2次補正マスクによって強制振動の区間が小分けされる場合はその結果を採用する。1次補正マスクと2次補正マスクの算出結

果の比較を図-8に示す。自由振動による誤検出が修正されて1次補正マスクより常時微動成分と強制振動成分を厳密に判別できるようになっている。

得られた2次補正マスクを用いて変位の基線を取得して変位との差分をとることで基線補正を行った。2次基線補正後の変位の算出結果を図-9に示す。試験車(3軸, 13.9ton)と路線バス(2軸, 7.3ton)通過時の積分たわみを図-10と図-11に示す。重量車の積分において、比較的高精度でたわみを算出できていることが確認できる。図-12は乗用車も含めた車が通過したときの最大たわみをプロットした図である。一般的に積分精度は重量車ほど誤差が小さく、軽量車ほど誤差は大きくなると言われるが¹¹⁾、絶対誤差はたわみ量にほとんど依存しない結果となった。検証対象とした419サンプルの誤差の標準偏差は 0.026mm であった。

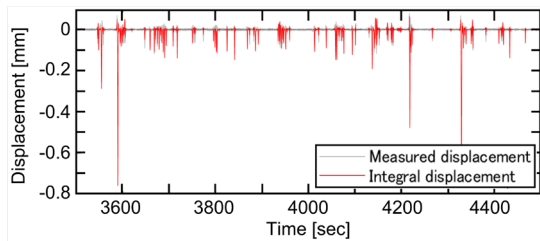


図-9 2次基線補正後の変位の算出結果

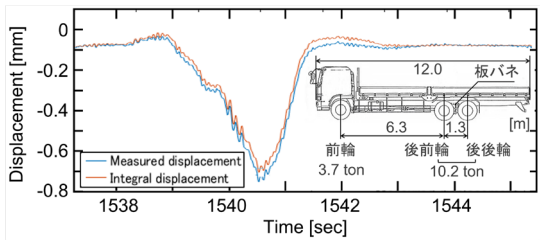


図-10 試験車(3軸, 13.9ton)通行時の積分たわみ(朱色)と変位計による計測たわみ(青色)の比較

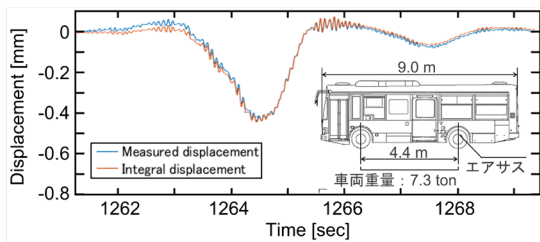


図-11 路線バス(2軸, 7.3ton)通行時の積分たわみ(朱色)と変位計による計測たわみ(青色)の比較

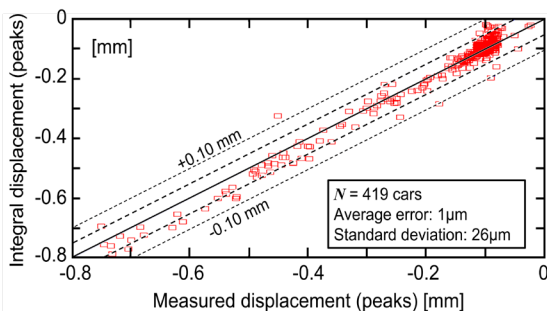


図-12 積分たわみと変位計の計測たわみの最大値の比較 (N=419台)

3. 一般走行車両を利用した影響線の算出

3.1 車両検知

関屋ら¹²⁾は加速度センサによるB-WIMの構築を行っており、橋の両端に設置した加速度センサのデータに対して二次微分フィルターによる鮮鋭化で車両の入退出の検知を実現している。しかし、橋梁中央部で車両の入退出の衝撃を検知することは、ノイズの影響が大きく誤検出が多くなる。著者らの既往研究¹³⁾では橋梁上の単一加速度センサを用いた交通センサにおいて、車両の検知については変位に対する閾値を用いて行った。車両が橋梁上を通過すれば橋梁はたわむという自然な現象を利用しており、閾値によって車両を容易に検知することができる。しかし、この方法では車両が橋梁に入退出する正確な時間を得ることは難しく、影響線算出に適用するためには補正が必要である。本研究では閾値による検出時刻を補正することで入退出時間の精度向上を図った。

車両の入退出をたわみの閾値で検出すると、実際よりも進入は遅い時間で、退出は早い時間で検出されることになる。閾値が小さいほど進入・退出時間の検出精度が高まるが、誤検出も生じやすくなる。そこで、誤検出を減らせるように閾値は比較的大きい -0.1mm を採用し、P1-P2間の進入・退出の時刻に補正量 Δt を与えて修正した。

3.2 通過速度

車の通過速度の算出にはP1-P2間の進入・退出の時刻と重量車の識別を利用する。車の前輪がP1上

を通過した時間（進入時刻）と車の後輪がP2上を通過した時間（退出時刻）から車が桁を通過する時間を算出する。車がこの間に進む距離は車軸間隔とP1-P2間距離の和であるから、車種とその車軸間隔が分かれば速度が算出できる。車種の識別については次節で述べる。ここで得られた車の通過速度を用いて、影響線の区間である3径間の始点A1と終点P3の進入・退出の時刻を取得する。

3.3 車種識別

著者らの既往研究¹³⁾ではウェーブレット散乱変換と全結合ニューラルネットワークを利用して車種識別を行ったが、本研究ではより簡易な方法としてたわみの形状を利用した車種識別を試みた。動画を基に試験車、中型路線バス、大型路線バスの車種が既知である積分たわみの時刻歴のうち、任意の2つを基準波形とし、すべての車両の積分たわみの時刻歴に対して、基準波形との一致度から車種を識別する。基準波形と対象波形の一致度は、波形面積の差、最大たわみの差、波形の相互相関とし、合計値が小さいほど一致度が高いとした。試験車、中型路線バス、大型路線バスいずれとも一致度が低いものはその他として分類する。

2020年1月23日の計測データで精度を検証した結果、本手法における路線バスの識別精度の再現率は約90%であった。

3.4 影響線の算出

著者らの既往研究³⁶⁾を参考にした影響線の算出プロセスを図-13に示す。はじめに影響線 $L(x)$ と軸重 W のおおよその値を初期値として設定する。対象とするすべての車両の合計軸数を N 、離散値で表す影響線のサイズを K とすると、影響線 $L(x)$ と軸重 W はサイズ $[K \times 1]$ と $[N \times 1]$ のベクトルである。

次に、車両検知と走行速度から求まる車軸位置の時刻歴データを基に、影響線 $L(x)$ を車軸毎に時間軸上に変換し、等間隔の時間でリサンプリングを行う。対象とする時間軸の長さを T とすると、時間軸上に変換した影響線 $L(t)$ はサイズ $[T \times N]$ の行列である。この影響線 $L(t)$ に軸重 W を乗じると影響線と軸重からたわみの時刻歴が算出される。算出したたわみの時刻歴と積分たわみ $D(t)$ のユークリッド距離を評価関数とし、評価関数が最も小さくなる影響線の形状 $L^*(x)$ と軸重 W^* を直接探索法により探索する。探索は複数回を行い、解が収束することを確認することで局所解を避けることができ

る。評価関数は時間軸上に変換された影響線と軸重および積分たわみを用いて次のように表される。

$$f(L(t), W, D(t)) = \|L(t) \cdot W - D(t)\| \quad (1)$$

本研究では影響線 $L(x)$ の初期値は梁理論に基づく値とし、軸重 W は車両重量を軸数で分割した値を初期値とした。影響線の算出で用いた車両は、路線バスである。本研究で対象とした橋梁は単純桁であるが、計測した第2径間主桁の鉛直たわみの分析から、他径間のたわみの影響を少なからず受けていた。そこで、A1橋台上を橋軸方向の基準点 $x=0\text{m}$ 、P3橋脚上が $x=31\text{m}$ として、影響線の対象範囲とした。本研究では影響線 $L(x)$ を間隔 1m の離散値で表現している($K=32$)。

分析対象は2020年1月から3月の中型路線バス通行時のデータである。得られた影響線を気温ごとに分類した結果を図-14に示す。図-15は気温毎の影響線の平均を比較である。気温による最大値の変化は 0.001 mm/ton 以下であり、影響線の最大値に比べて約2オーダー小さい。この結果から影響線は気温の影響を受けにくい可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究は中小規模の道路橋の維持管理を目的とした主桁たわみの影響線を簡易に取得する方法を検討した。単一の加速度センサを用いて数値積分と2段階の基線補正による主桁たわみの算出と、路線バスを利用したたわみの影響線の推定と分析を行った結果、得られた知見を以下に示す。

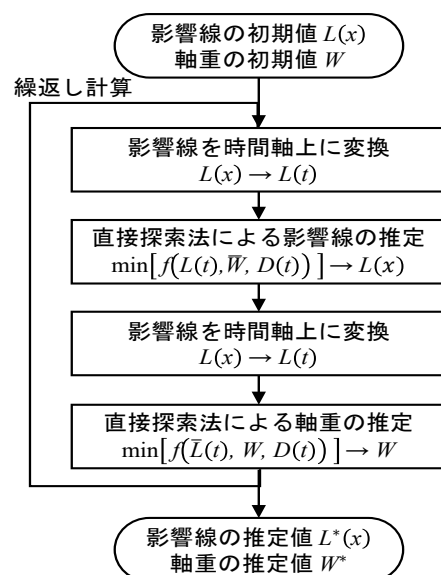


図-13 実測に基づく影響線の算出フロー

・加速度積分の基線補正において重要となる非走行区間を高精度に検出するため、マルチFIRフィルターを用いたバギング手法と積分変位の1次補正結果を利用した非走行区間の2段階検出を用いた基線の補正方法を提案した。そのうえで、積分たわみとレーザー変位計による計測たわみの比較を行い、誤差が数十 μm の高い精度でたわみを積分算出できることを示した。

・積分たわみを用いて通行車のパラメータである進入・退出時間、走行速度、車種を簡易に識別し、影響線を繰り返し計算によって算出した。定期的に走行する中型路線バスに着目し、3か月間の加速度の計測データを用いて影響線を推定、モニタリングを行った。そのうえで、気温の変化が影響線に与える影響を分析した結果、影響線は気温の影響を受けにくいことが示唆された。

今後は影響線推定で重要な通行車のパラメータの取得方法を精緻に検討することで、影響線推定の精度向上を図り、気温や外乱による影響分析や構造モニタリングとしての活用を目指す。

5. 謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP19150710の助成を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

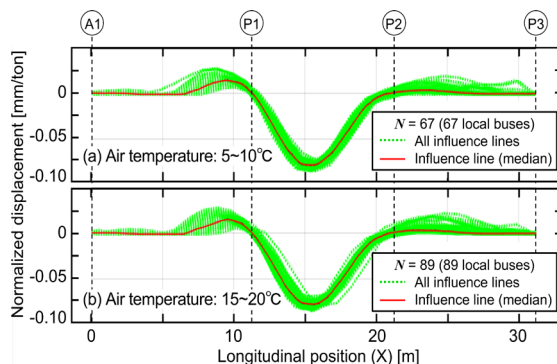


図-14 各気温における影響線

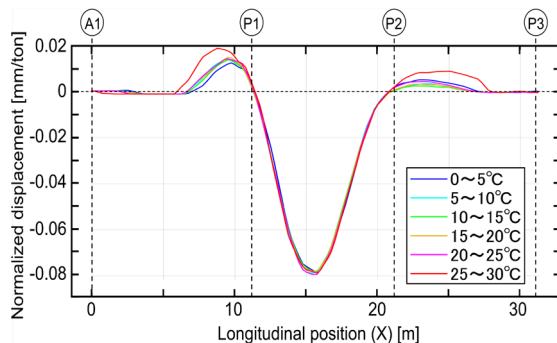


図-15 各気温での影響線の平均値の比較

参考文献

- [1] 三木千壽, 館石和雄, 杉本一郎: 道路橋の疲労照査のための活荷重に関する一考察, 土木学会論文集, I-16, No. 432, pp. 63-68, 1991.
- [2] Moses F.: Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridges, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 105, Issue 3, pp. 233-249, 1979.
- [3] 竹谷晃一, 吉田純司: 一般自動車と動画像分析を活用した低速走行車に対応した B-WIM の提案, 鋼構造年次論文報告集, Vol.27, 2019.
- [4] 小屋裕太郎, 関屋英彦, 小西拓洋, 牧田通: 画像処理による走行車両の道路幅方向の位置推定, 構造工学論文集 A, Vol. 63, pp. 559-569, 2017.
- [5] 菅沼 久忠, 梅川 雄太郎, 比山 義郎, 木下 幸治, 佐々木 良輔: システム化による橋梁たわみ計測の効率化, 第 73 回年次学術講演会講演概要集, VI-466, 2018.
- [6] Takeya, K., Yoshida, J.: Calculation of influence line using regular traffic for improving Bridge Weigh-in-Motion under variable vehicle speed, IABSE Congress – Resilient technologies for sustainable infrastructure, 2020.
- [7] 本山紘希, 室野剛隆: 地震記録の積分による変位波形の計算手法, 第 31 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, 2008.
- [8] Arias-Lara, D., De-la-Colina, J.: Assessment of methodologies to estimate displacements from measured acceleration records, Journal of the International Measurement.
- [9] Gindy, M., Nassif, H. H., Velde, J.: Bridge displacement estimates from measured acceleration records, Transportation Research Record, pp.136–145, 2007.
- [10] Zheng, W., Dan, D., Cheng, W., Xia, Y.: Real-time dynamic displacement monitoring with double integration of acceleration based on recursive least squares method, Journal of the International Measurement Confederation, Vol.141, pp.460–471, 2019.
- [11] 関屋英彦, 横関耕一, 木村健太郎, 小西拓洋, 三木千壽: 橋梁の加速度計測を用いた変位応答算出法の提案, 土木学会論文集 A1, Vol. 72, No. 1, pp. 61-74, 2016.
- [12] 関屋英彦, 小西拓洋, 木ノ本剛, 三木千壽: MEMS 加速度センサを用いた変位計測に基づく Portable-Weigh-In-Motion システムの提案, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.3, pp.364-379, 2016.
- [13] 竹谷晃一, 佐々木栄一: 橋梁加速度のウェーブレット散乱変換とニューラルネットワークによる交通車両の分類, AI・データサイエンス論文集, 1 巻, pp.158-167, 2020.

近赤外線分光法を用いたコンクリート表面の塩化物イオン濃度計測に関する基礎研究

琉球大学 ○宮里昂志, 富山潤, 須田裕哉

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、海から多くの飛来塩分が供給され、構造物の塩害が問題となっている。また、沖縄県は、多くの離島架橋が存在し、近接点検が困難な場合がある。このような背景から、遠方から点検可能な技術の開発が望まれている。前田建設工業(株)は、コンクリート構造物の表面塩化物イオン濃度を遠方から測定する技術として、近赤外線分光分析を利用した測定システムを開発している¹⁾。本研究ではこのシステムを利用し、コンクリート表面に付着した塩化物イオンが内部へ浸透する現象として、表層の塩分濃度の経時変化を測定し、その挙動に対し考察する。

2. 近赤外線分光分析を用いたシステムの概要

近赤外線とは、可視光より波長が長い赤外線領域の中でも可視光に近い 800nm~2500nm の波長範囲の光を指す(図-1)。近赤外線は、物質に照射された時に特定の波長が吸光される特性が強く、この性質を利用して、塩化物イオン濃度を測定する。

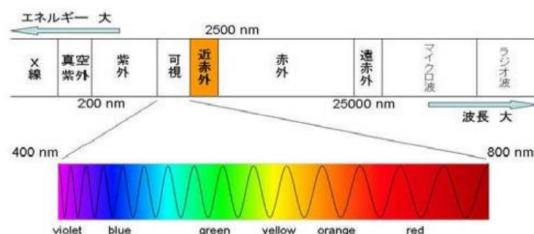


図-1 近赤外線の範囲¹⁾

2.1 システム構成

本システムは、近接測定用と遠隔測定用と2種類のシステム構成となっている。図-2と図-3に本装置のシステム構成を示す。近接測定用と遠隔測定用のシステムは同様であり、PC、電源装置、分光器、ハロゲンランプ、受光器で構成される。なお、近接測定用は、検量線作成に用い、また、サンプル測定のために用いることを想定している。遠隔測定用は実構造物への使用を想定している。しかし、遠

隔測定は、測定距離が離れるほど近赤外線の反射光強度が距離の二乗に比例して弱まり誤差が大きくなり、現状では測定距離の上限は2.5mである¹⁾。まだ測定距離に課題はあるものの本システムを用いることで、コンクリート表面の塩化物イオン濃度の面的な分布を求めることができ、コア抜きなどのスクリーニングとしても活用が可能である。



図-2 近接測定用のシステム構成¹⁾



図-3 遠隔測定用のシステム構成¹⁾

2.2 測定原理と精度

本システムでは、コンクリート表面へ照射した光の反射光を分光分析装置により取得し、ケモメトリクス手法¹⁾により実測した表面塩化物イオン量との回帰分析を行い、塩分濃度が既知のサンプルの分析結果と比較することで検量線を作成している(図-4)。その検量線を用いることにより、未知の塩化物イオン濃度を推定している。

測定精度については、現状で平均2.54kg/m³程度の誤差があるが、測定方法や検量線の高度化を検討することで、誤差を小さくすることが可能と考える。

キーワード : 塩害, 表面塩化物イオン濃度, 近赤外線分光分析, 遠方点検

連絡先 〒 903-0123 西原町千原1番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース 建設材料学研究室
E-mail : e185542@eve.u-ryukyu.ac.jp

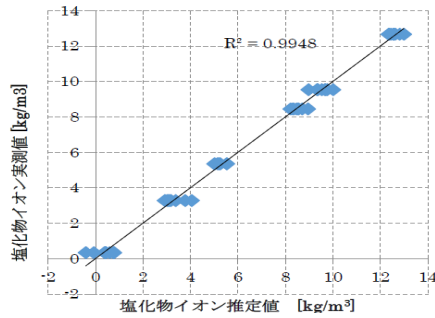


図-4 モルタル試験体から得られた検量線

3. 実験概要

本試験では、 $60 \times 300 \times 300$ (mm)のコンクリート平板 (JISA5371-2010, W/C=40%) を用いた。

測定は、塩化物イオン濃度 10%の塩水を図-5に示すように霧吹きで 10 回吹きかけ、吹きかけた箇所を写真-1 のように所定の時間ごとに 3 回測定しその平均値を測定結果とした。計測は約 8 時間行い、塩水を再度噴霧した。それを同一試験体同一面に対し 3 回繰り返した。測定距離は 40cm とした。

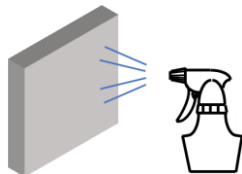


図-5 塩水吹きかけ状況

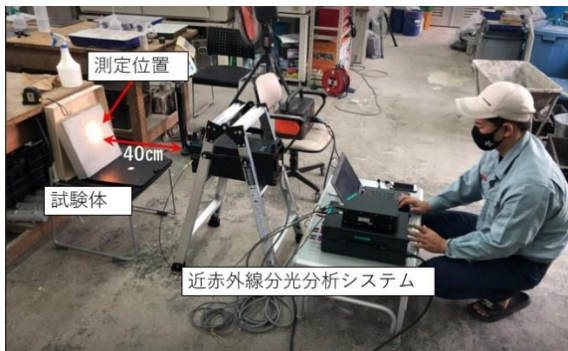


写真-1 測定の様子

4. 実験結果および考察

図-6 に実験結果を示す。図-6 より、塩水を噴霧した直後は、塩化物イオン濃度がマイナスを示している。これは写真-2 に示すように噴霧直後の試験体は湿って光の反射が強いことが原因である。噴霧後しばらくすると表面の塩化物イオンが内部へ浸透するとともに水分が蒸発し、約 3 分後から正常な測定を行うことができた。その後、時間の経過とともに表面塩化物イオン濃度は減少し、第 1 回目の計測結果は 8 時間後には 0.1 kg/m^3 まで収束している。しかし、第 2 回目の計測では、約 1 kg/m^3 、第 3 回

目の測定では 6.7 kg/m^3 と 8 時間経過後も低い値に収束することはなかった。なお、3 回目では 24 時間経過後もほぼ同様な値を示した。これらの結果より、建設当初のコンクリート構造物の表面塩化物イオン濃度は塩害環境に応じて変化すると考えられるが、時間が経過するにつれ、塩分の供給量と内部への浸透量のバランスにより表面塩化物イオン濃度は一定値に収束すると考えられる。したがって、現行の塩害予測で用いられている表面塩化物イオン濃度一定という境界条件は概ね正しいと判断できる。

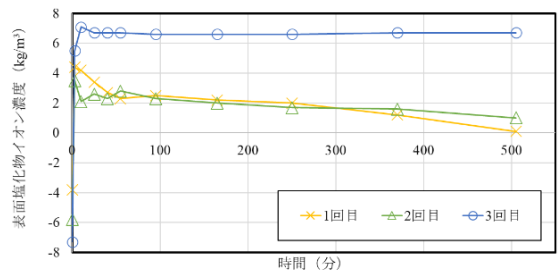


図-6 表面塩化物イオン濃度の経時変化



写真-2 塩水噴霧直後の試験体表面

5. まとめ

近赤外線分光装置を用いて、コンクリート表面の塩化物イオンの内部への浸透を経時的に測定することができた。今後はさらなる精度向上を目指し、測定条件や測定方法の見直しや、検量線の再作成を検討したい。

参考文献

- 1) 中島良光, 白根勇二, 末永怜士, 半谷一晴, 先村律雄: 近赤外線分光分析を用いたコンクリート表面塩化物イオン量の調査システムの開発と RC 構造物の維持管理への適用, 前田技術研究所報, Vol.57, 2016
- 2) 株式会社ユーコウ商会. <https://www.u-kou.co.jp/mortar/mortar-size-kikaku/jisa6024-60300300/>

謝辞: 本研究で用いた近赤外線分光装置は、前田建設工業 (株) よりご貸与頂いた。ここに記して感謝の意を示す。

デジタル打音測定技術を用いた ASR 劣化したコンクリート構造物の診断方法に関する基礎研究

琉球大学 ○前田晴樹, 富山潤, 須田裕哉

原子燃料工業(株) 磯部仁博, 松永嵩

1. はじめに

日本では, 高度経済成長期に多くの土木構造物が建設された。そのため, 建設後 50 年以上経過した橋梁が飛躍的に増加している¹⁾。このような土木構造物に対して点検や補修などのメンテナンスサイクルを効率的かつ効果的に回していくために, 打音点検は重要な点検手法の一つであり, コンクリートの「うき」や「剥離」などの変状検出に有効であるが, アルカリシリカ反応(ASR)などの変状に対する有効性の確認が少ない。本研究では, ASR 劣化したコンクリート試験体に対してデジタル打音検査技術を適用し, ASR 劣化したコンクリート構造物の診断方法について検討した。

2. 対象供試体の概要

琉球大学暴露試験場内供試体(PC 中空桁)の概要を図-1 に示す。赤枠で囲まれた充実部は, 高さ 900mm, 幅 575mm, 奥行き 640 mmである。青枠で囲まれた部分は中空であり, 中空部の大きさは, 高さ 900 mm, 幅 2850 mm, 奥行き 700 mmである。供試体の向かって左側は普通コンクリート, 右側は塩化ナトリウムを 10kg/m³ 入れた塩分含有コンクリートであり, その影響を受け, 充実部 B は ASR 劣化が発生している。

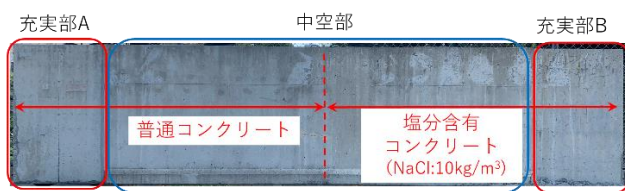


図-1 琉球大学暴露試験場内供試体

3. 測定器

本研究では, 図-2 に示す AE 打音検査装置²⁾を用いて測定を行った。本装置は AE センサをコンクリート表面に押し当て, ハンマーで打撃することにより周波数信号を取得する。タブレット処理装置により周波数解析まで測定と同時に処理できる。



図-2 AE 打音検査装置の外観

4. コンクリート内部の変状に伴う振動特性の変化

一般的に, コンクリート構造物が健全の場合は, ①縦波共振の固有振動数(式(1)), うきや剥離がある場合は, ②たわみ振動の固有振動数(式(2))により表現され³⁾, 変状に伴い振動特性が変化する。ASR 劣化が生じたコンクリート構造物の場合においても, ミクロなひび割れの場合には, 式(1)から得られる固有周波数が得られ, 劣化がさらに進行し, マクロなひび割れが顕著に表れると, 式(2)から得られる固有周波数に推移するものと想定される。

①縦波共振の固有振動数

$$f = \frac{n}{2D} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{nV}{2D} \quad (1)$$

ここに, f : 固有振動数[Hz], n : 振動モードの次数, V : 弾性波速度[m/s], D : 厚み[m]である。

② たわみ振動の固有振動数

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)}} \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] \quad (2)$$

ここに, f : 固有振動数[Hz], a, b : 長方形の寸法[m], E : 弾性係数[Pa], h : 剥離領域の厚み[m], ρ : 密度[kg/m³], ν : ポアソン比, m, n : 振動モードの次数である。

5. 解析方法

5.1 周波数解析

本研究では, 両充実部を縦 800mm, 横 450mm の範囲を, 縦 100 mm 間隔, 横 50 mm 間隔に格子状に分割した交点を 3 回打撃し, AE センサーにより生波形を取得し, それを高速フーリエ変換することで, 面的な周波数分布を作成する。周波数解析の結果をもと

キーワード: 打音点検 デジタル打音検査

連絡先〒903-0123 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部社会基盤デザインコース TEL098-895-8649

e-mail: e185551@eve.u-ryukyu.ac.jp

に、以下に示す2つの評価方法を検討した。

5.2 卓越周波数を用いた評価（評価方法1）

評価方法1では、卓越周波数で評価するため、式(1)の縦波共振の固有振動数を評価し、コンクリートの状態を評価する。図-3の場合は、赤い矢印のピーク周波数を卓越周波数とし評価を行う。

5.3 閾値を用いた評価（評価方法2）

評価方法2では、ASR劣化が生じている一般的なコンクリートでは、内部ひび割れの進展により弾性係数が低下する。このため、周波数分布に閾値を設け、閾値を超えたピークのうち、最も低周波側のピークに着目しコンクリートの状態を評価する。例えば図-3のような解析結果で閾値を0.2とした場合、青い矢印の周波数を対象に評価を行う。

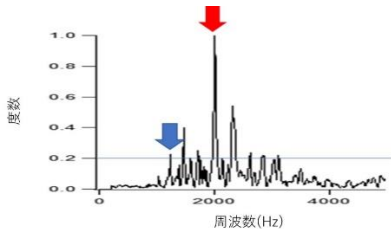


図-3 評価方法

6. 解析結果および考察

ASR劣化の生じていない充実部A（以下、健全部）およびASR劣化が生じている充実部B（以下、劣化部）の周波数の分布とひび割れ分布を図-4および図-5に示す。なお、健全部の水平ひび割れは、プレストレス導入時に生じたものであり、ASRは生じていない。

評価方法1に関して、健全部の図-4(a)では、ひび割れがない箇所は周波数が高く、ひび割れがある箇所では周波数が低くなる傾向が見られた。一方、劣化部の図-5(a)では、健全部に比較し、高い周波数帯領域が減少し、複雑な分布になっていることがわかる。次に、評価方法2に関して、予備解析の結果、閾値を0.1とした場合の結果を図-4(b)および図-5(b)に示す。これらの結果から、健全部よりも劣化部の方が全体的な周波数が低くなり、評価方法1よりも複雑な周波数分布を示している。また、図-6に評価方法ごとの周波数のヒストグラムを示す。これからわかるようにいずれの評価方法においても健全部に比較し、劣化部の周波数帯が低周波数側に分布していることがわかる。これはASRが発生しているコンク

リートでは、弾性係数が低下し、低周波側の固有振動ピークが低下しているためであり、今回の結果から両評価方法の優位性は得られていないが、周波数を基準とした面的な評価方法により打音検査技術の高度化の可能性が見出せた。ただし、閾値の設定については今後も検討を行う必要がある。

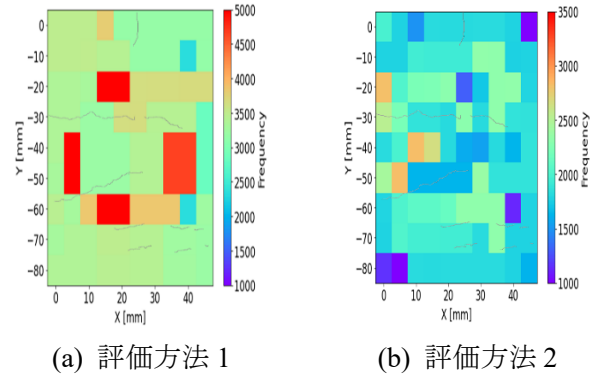


図-4 充実部Aの周波数分布とひび割れ分布

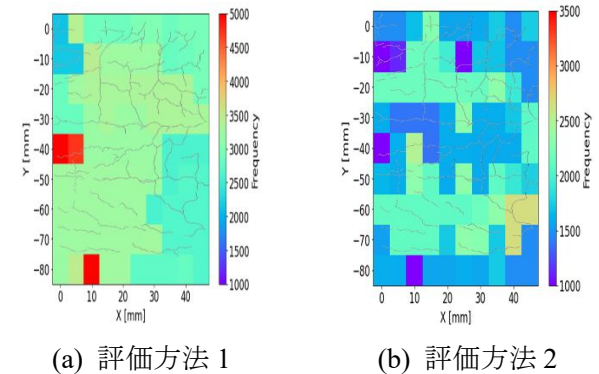


図-5 充実部Bの周波数分布とひび割れ分布

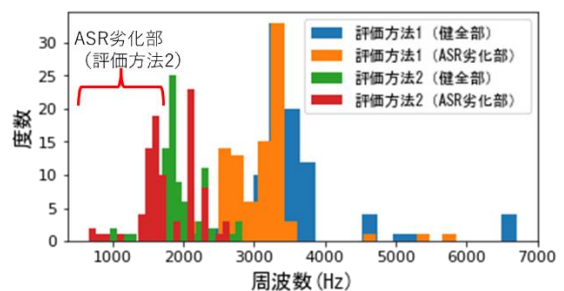


図-6 評価方法ごとの周波数のヒストグラム

7. まとめ

ASR劣化したコンクリート構造物の診断に、デジタル打音を用いた点検結果に対して、周波数を基準とした面的な評価が有効である可能性が示された。

参考文献

- 1) 橋梁の維持管理と技術開発 ～コンクリート内部の可視化技術の開発～ | 特集記事資料館 | 建設総合ポータルサイト | けんせつ Plaza (kensetsu-plaza.com) <https://www.kensetsu-plaza.com/kiji/post/18385>
- 2) 戸田一郎, 前田良文, 小濱健吾, 松永嵩: コンクリート構造物のデジタル打音検査の判断指標に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1498-1503, 2020.
- 3) 峰岸秀治: NDIS 2426-2 コンクリートの非破壊試験-弾性波法-第2部: 衝撃弾性波法, 一般社団法人 日本非破壊検査協会, P.70, 2014.