

土木学会西部支部沖縄会

第 7 回 技術研究発表会

琉球大学 研究者交流会館・50 周年記念館

2018 年 1 月 24 日（水）

発表プログラム



土木学会西部支部沖縄会

会場案内



琉球大学西原口を入り、構内の信号を左に曲がり、左手すぐ。

○ 土木学会継続教育（CPD）認定プログラム

発表プログラム

2018年1月24日（水）

Time Table

Start	End	プログラム	
9 : 00	9 : 30	受 付・発表データインストール・CPD登録受付	
9 : 30	9 : 50	【 開会式 〈Room : A〉 】 開会の挨拶 : 宮城 理 (沖縄会会長・沖縄県土木建築部長) 実施要項の説明 : 小橋川 透 (沖縄会幹事長・沖縄県技術・建設業課長)	
9 : 50	10 : 00	Break Time	
10 : 00	11 : 50	Session 1 〈Room : A〉 9編 (点検・維持管理関連) 座長 : 加藤祐介 (琉球大学)	Session 2 〈Room : B〉 9編 (整備・計画関連) 座長 : 神谷大介 (琉球大学)
12 : 00	13 : 00	Lunch Time	
13 : 00	14 : 50	Session 3 〈Room : A〉 8編 (環境・観光・防災関連) 座長 : 望月拓郎 (沖縄総合事務局)	Session 4 〈Room : B〉 8編 (補修・防食関連) 座長 : 上原盛久 (NEXCO西日本)
14 : 50	15 : 00	Break Time	
15 : 00	16 : 20	Session 5 〈Room : A〉 6編 (コンクリート構造・材料関連) 座長 : 神村美州(沖縄県測量建設コン サルタantz協会)	Session 6 〈Room : B〉 6編 (計測・補修・補強関連) 座長 : 小橋川透(沖縄県)
16 : 20	16 : 40	Break Time (優秀発表者賞 審査委員会)	
16 : 40	17 : 00	【 閉会式 〈Room : A〉 】 優秀発表者賞の表彰 : 望月 拓郎 (沖縄総合事務局 企画調整官) 閉会の挨拶 : 矢吹 哲哉 (沖縄会副会長・琉球大学名誉教授)	

Presentation Schedule

Titles and Authors

○発表時間：9分、質疑応答：3分

○概要集：2頁～6頁（原則、偶数頁）

○注意事項

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

Time	Room A	
10:00 ┃ 11:50	Session1：点検・維持管理関連 座長：加藤 祐介（琉球大学）	
	1. 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～ _____ 10 南部国道事務所 奥那原 邦仁 知名 広道	
	2. 新コザ幹線管更生工事と今後の管渠維持課題 _____ 14 沖縄県下水道事務所 崎原 達生	
	3. ドローンを用いたインフラ点検におけるひび割れ撮影技術 _____ 18 (株)オカベメンテ 岡部 成行 鈴木 浩一, (株)ensemble 仲宗根 雄太 宮良 正彦 大成建設 鈴木 三馨 本澤 昌美 堀口 賢一, 琉球大学 山田 義智 富山 潤 崎原 康平 須田 裕哉	
	4. 画像解析技術を用いた離島海上橋のひび割れ定量評価 _____ 20 大成建設(株) 鈴木 三馨 本澤 昌美 堀口 賢一, (株)オカベメンテ 岡部 成行, (特非) グリーンアース 鈴木 浩一, 琉球大学 山田 義智 富山 潤 崎原 康平 須田 裕哉	
	5. 鋼桁端部における腐食弱点部の分析と腐食モニタリングに関する研究 _____ 24 琉球大学 村山 拓朗 下里 哲弘 田井 政行 加藤 祐介	
	6. 高力ボルトの透明型防錆キャップの維持管理性能評価に関する検討 _____ 26 琉球大学 崎山 嗣陽 加藤 祐介 下里 哲弘 田井 政行, IHI 岩本 達志	
	7. ひび割れ計測システムを用いたコンクリート表面ひび割れモニタリング技術の検討について _____ 28 ㈱中央建設コンサルタント エルデネバト エルデネツェツェグ 比嘉 和雄 多和田 伸 喜納 政行 山中 亮, 琉球大学 富山 潤	
	8. 薄板モルタル供試体による沖縄県の塩害環境の定量評価に関する基礎研究 _____ 32 琉球大学 八神 孝佑 富山 潤 須田 裕哉 藍檀 オメル 砂川 恒雄, アール・アンド・エー 風間 洋, 沖縄建設技術センター 比嘉 正也	
	9. 振動特性を用いた土木構造物の健全性評価に関する研究 _____ 34 琉球大学 村松 蒼 藍檀 オメル 渡嘉敷 直彦 富山 潤 須田 裕哉, JPOWER 柏柳 正之 鳥羽瀬 孝臣	
	Room B	
	Session2：整備・計画関連 座長：神谷 大介（琉球大学）	
	1. 街路の駐車機能に関する都市間比較 _____ 38 北海学園大学 堂柿 栄輔, 足利市 松山 将之, 東海大学 梶田 佳孝, 足利工業大学 藤島 博英, 築瀬 範彦	
	2. 沖縄の物流活性化に向けた取組について _____ 40 沖縄総合事務局 港湾計画課 伊波 和輝 名嘉 康行	
	3. レンタカープロンプによる観光交通の流動について _____ 44 沖縄総合事務局 南部国道事務所 玉城 瀬里香 米須 俊彦	
	4. 官庁施設のエネルギー消費の運用改善に係る取組 _____ 48 沖縄総合事務局 営繕課 山城 俊太 新里 和良	
	5. 国道330号我如古交差点改良の整備効果について _____ 54 南部国道事務所 崎山 祐加 伊藝 誠一郎	
	6. 首里城公園における復元整備への取り組みについて _____ 58 国営沖縄記念公園事務所 前田 満男 上原 康広	
	7. 伊江島 - 本部間を海底トンネルで繋ぐことに関する基礎的研究 _____ 64 琉球大学 吉水 俊毅 藍檀 オメル 富山 潤 須田 裕哉, NPO法人グリーンアース/鈴木 浩一	
	8. 那覇 - 鹿兒島間を海底トンネルで繋ぐことに関する基礎的研究 _____ 66 琉球大学 吉水 俊毅 藍檀 オメル 富山 潤 須田 裕哉, NPO法人グリーンアース/鈴木 浩一	
	9. Wi-Fi パケットセンサーを用いたクルーズ船利用者の沖縄観光行動把握に関する基礎分析 _____ 68 琉球大学 田中 謙大 神谷 大介 松本 拓朗 我部 新, 東京工業大学 福田 大輔 小林 巴奈 五百蔵 夏穂, 東京理科大学 柳沼 秀樹, 地域未来研究所 菅 芳樹, 中央建設コンサルタント 山中 亮	

Time	Room A	
13:00 ┌ 14:50	Session3：環境・観光・防災関連 座長：望月拓郎（沖縄総合事務局）	
	1. 新沖縄県河川情報システムについて _____ 72 沖縄県 土木建築部 河川課 河川班 相川 龍之輔 平良 辰弥	
	2. 首里城壁の地震時安定性に関する実験的研究 _____ 78 琉球大学 山城 義隆 藍檀 オメル 富山 潤 須田 裕哉, 地殻工学防災研究所 渡嘉敷 直彦	
	3. 水害時避難を対象とした呼びかけ避難の効果に関する分析 _____ 80 琉球大学 田中 正輝 神谷 大介	
	4. 防災情報に着目した避難の判別要因に関する考察 _____ 84 琉球大学 三橋 洗道 神谷 大介, 長崎大学 吉田 護	
	5. 訪日外国人のレンタカー急制動箇所と区間別事故数との比較 _____ 86 琉球大学 内藤 郁 神谷 大介, 長大 内海 泰輔 多田 俊也, 中央建設コンサルタント 山中 亮 沖縄総合事務局 渡久山 雄一	
	6. 海食崖の模型実験における静的および動的安定性に関する研究 _____ 88 琉球大学 堀内 浩貴 藍檀 オメル 富山 潤 須田 裕哉, 島嶼防災研究センター 渡嘉敷 直彦	
	7. 琉球諸島における琉球石灰岩海食崖の最近の崩壊事例とその崩壊要因に関する研究 _____ 90 琉球大学 堀内 浩貴 藍檀 オメル 富山 潤 須田 裕哉, 島嶼防災研究センター 渡嘉敷 直彦	
	8. 環境対策として移設したサンゴの白化について _____ 92 沖縄総合事務局 石垣港湾事務所 内間 安智 知念 直	
	Room B	
	Session4：補修・防食関連 座長：上原盛久 (NEXCO西日本)	
	1. モノレール鋼製橋脚のカバープレート撤去事例について _____ 100 南部国道事務所 池田 敬史 金城 善朝	
	2. Al-Mg 合金溶射・塗装皮膜の防食効果調査結果 ―模擬桁試験体の7年経過報告― _____ 104 ㈱プラズマイヤー 田中 淳太郎 川口 保幸, 琉球大学 下里 哲弘 田井 政行	
	3. 腐食弱点部に対する局所防食技術に関する基礎的検討 _____ 110 琉球大学 原田 和幸 加藤 祐介 田井 政行 下里 哲弘 有住 康則, JFE エンジニアリング(株) 熊野 拓志	
	4. 腐食高力ボルト 頭部 の減肉特性 が残存軸力評価 に及ぼす影響 _____ 112 琉球大学 鶴田 滉 有住 康則 下里 哲弘 田井 政行	
	5. 環境に配慮した塗膜剥離工法の採用 _____ 114 西日本高速道路総合サービス沖縄株式会社 賀数 淳人 山口 一字	
	6. 腐食凹凸面に対する当板ボルト補修法のすべり耐力特性に関する実験的研究 _____ 116 琉球大学 坂本 健太 長坂 康史 下里 哲弘 田井 政行 有住 康則	
	7. 高力ボルト摩擦接合連結板の腐食減肉形状とすべり耐力特性に関する解析的研究 _____ 118 琉球大学 大城 泰樹 山下 修平 田井 政行 下里 哲弘	
	8. 鋼桁ウェブ中央部の減肉に対するせん断耐力評価法の提案 _____ 120 琉球大学 上村 大河 下里 哲弘 田井 政行, (一社)沖縄しまて協会 玉城 喜章	

Time	Room A
15:00 ┌ 16:20	Session5：コンクリート構造・材料関連 座長：神村美州(沖縄県測量建設コンサルタント協会) 1. 那覇空港滑走路増設事業における長大ボックスカルバート製作について _____ 124 那覇港湾・空港整備事務所 大城 祥慎 荒木 幸宏 2. 沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針（案）の概要報告 _____ 130 （一財）沖縄県建設技術センター 比嘉 正也, 沖縄県土木建築部技術・建設業課 砂川 勇二 3. フライアッシュセメントペーストの水和反応に及ぼす養生温度の影響に関する研究 _____ 134 琉球大学 外間 寿侑 須田 裕哉 藍檀 オメル 富山 潤 4. 湿度変化による乾燥作用を受けたセメントペーストの塩化物イオンの拡散性状と空隙構造の関係 _____ 136 琉球大学 池間 琳太郎 須田 裕哉 藍檀 オメル 富山 潤 5. 床版取替工事におけるプレキャスト壁高欄の施工について _____ 138 西日本高速道路（株）九州支社沖縄高速道路事務所 改築課 塚本 太郎 鮫島 力 6. 遅延膨張性ASRの膨張率と強度特性の関係性およびフライアッシュのASR抑制効果の確認試験 _____ 140 琉球大学 福村 英太郎 富山 潤 藍檀 オメル 須田 裕哉
	Room B Session6：計測・補修・補強関連 座長：小橋川透(沖縄県) 1. 鋼床版バルブブリブの縦リブー横リブ交差部の疲労強度改善に関する解析的研究 _____ 144 琉球大学 有馬 安倫 田井 政行 下里 哲弘 有住 康則 2. TWMシステムを用いた橋梁のたわみ計測 _____ 146 株式会社 TTES 比山 義郎 琉球大学 下里 哲弘 田井 政行 3. 加加速度応答を用いたアンカーボルトの腐食減肉量推定の試み _____ 148 琉球大学大学院 澤田 知幸 下里 哲弘 田井 政行 加藤 祐介, 首都高技術（株） 日和 裕介 4. スティック・スリップ試験機を用いた地震断層のせん断挙動に関する研究 _____ 150 琉球大学 海野 祐樹 藍檀 オメル 富山 潤 須田 裕哉 5. 音伝搬特性の機械学習を利用した疲労き裂検出の試み _____ 152 琉球大学 櫻井 絵里加 東京工科大学 天野 直紀, 琉球大学 田井 政行 下里 哲弘, 南伸（株） 久米 仁司 6. コンクリート中に埋設されたアンカーボルトの腐食診断と防食法に関する研究 _____ 154 琉球大学 影山 友樹 加藤 祐介 田井 政行 下里 哲弘 有住 康則, 首都高技術(株) 日和 裕介

発 表 概 要 集

Session 1：点検・維持管理関連

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 ～

知名 広道¹・與那原 邦仁²

¹沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第二課長（〒900-0001沖縄県那覇市港町2丁目8番14号）

²沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第二課 計画係長（同上）

国土交通省では、直轄工事における i-Construction（アイ・コンストラクション）を推進し、「ICT（情報通信技術）の全面的な活用」を加速させており、先導的に取り組んできた土工に続き、舗装工などの工種の拡大に努めている。さらに、橋梁分野における生産性革命「i-bridge」も試験的に進めているところであり、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理に至るまで、橋梁分野における建設生産プロセスにICTを活用し、生産性と安全性の向上を目指している。なお、「i-bridge」では、CIM（コンストラクション・インフォメーション・モデリング）による設計・施工段階の3次元データの活用を図ることに加え、維持管理の効率化を目的としたモニタリング技術の導入の推進も実施している。

沖縄総合事務局 南部国道事務所が建設している牧港高架橋（鋼PC混合箱桁ラーメン橋）は、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。これらへの配慮として、施工時に、材料選定（スズ添加鋼、コンクリート配合試験など）、接合部構造の部分的な実証実験による耐久性確認等を実施した。また、今後の供用開始後（一部の計測は施工時から開始）では、連続モニタリング導入による観測データの蓄積・把握から、異常検知が早急におこなえるような仕組みの検討を行う予定である。すなわち、戦略的な維持管理という観点から構造物の状態を随時把握し、将来に渡り橋梁の健全性を確保するような取組みを検討したことから今回報告するものである。

Key Words： 鋼PC混合箱桁ラーメン橋、接合部の連続モニタリング、i-bridge

1. はじめに

鋼コンクリート複合構造は、鋼材とコンクリートとを組み合わせ、両者の長所を活かし欠点を補った合理的な構造形式であるといわれ、これまで多く採用されてきた。一方で、平成19年には、国道23号木曽川において鋼トラス斜材が破断しているのが発見されている。これは、鋼材とコンクリートの接触面では、コンクリートの乾燥収縮等によって隙間が発生し、雨水等が浸入し腐食しやすい環境になったことが原因と考えられている。島嶼環境である沖縄では塩害を始めとする外的要因に対して非常に厳しい環境であり、例えば、接触面に雨水等の浸入を許した場合、加速度的に腐食が進行する恐れがある。

今回、当事務所において沖縄西海岸道路の一部である浦添北道路において、海上を跨ぐ鋼コンクリート複合構造形式の高架橋を施工することとなった。詳細設計（H21年度業務）では、鋼コンクリート接合部である鋼桁材料にチタンクラッド鋼を採用し、他では、溶接継ぎ手や壁高欄スタッドにステンレス鉄筋とすることで、厳しい塩害環境に配慮していた。ただし、設計から7年が経過した後上部工事が発注されたことから、鋼とコンクリートとの接合部への耐久性向上を目的に採用された

チタンクラッド鋼が製作されておらず、それに代わる対応策の検討が必要となった。

そこで、接合部の施工・維持管理に特化した「牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会」を琉球大学矢吹名誉教授を委員長とし当事務所内に設置した。委員会では、施工前の時点から施工時、供用後までの各段階において、接合部の健全性をいかに確保するかが最重要検討項目とし、各段階における維持管理に配慮した項目を整理・検討し、過去に実施例がない項目は実証実験を行うことで知見を補い、今後の維持管理手法について検討を行った。

2. 橋梁概要

本橋の概要、各種図（図-1）を以下に示す。

- 1) 路線名：一般国道58号 浦添北道路
- 2) 道路規格：第1種 第3級
(V=60km/h暫定時, V=80km/h完成時)
- 3) 上部工形式：4径間連続混合箱桁橋
- 4) 橋長：476.0m
- 5) 総幅員：13.300m～19.005m
- 6) 支間長：73.25m+190.0m（内鋼橋50m）+130.0m+81.10m

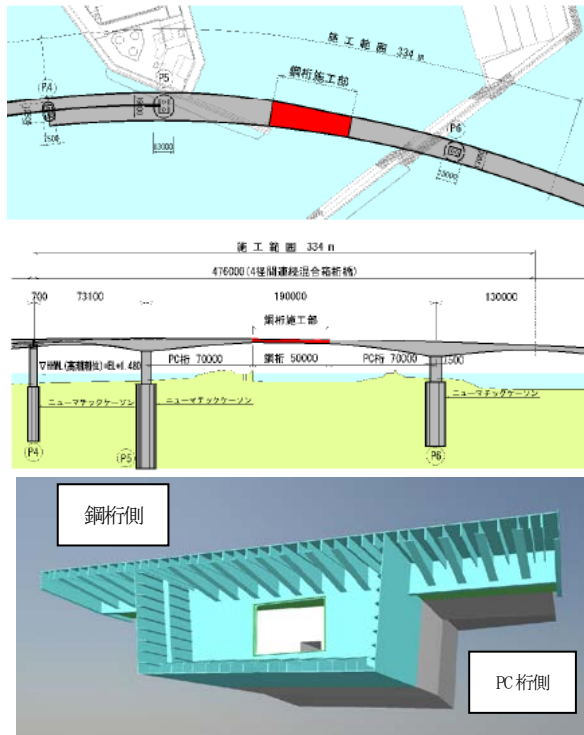


図-1 平面図・側面図・接合部詳細イメージ

3. 委員会概要

平成28年3月に「牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会」を立上げ、委員長に琉球大学矢吹名誉教授を始めとする各委員によって維持管理の確実性・容易性に配慮した具体的な対策の検討をおこない、(1)施工時に接合部の耐久性を確保するために必要な品質確保の検討、(2)供用時の接合部の状態を把握するためのモニタリング手法の検討について、これまで計5回委員会を開催した。

4. 委員会での検証項目

(1) 接合部の施工時における検討

鋼・コンクリートとの接合部の健全性を確保するために施工時における下記項目について検証をおこなった。

- 1) スズ添加鋼の防食性能
チタンクラッド鋼に代わるスズ添加鋼のコンクリート接触部と一般部の防食性能を確認する。実橋でのマクロセル腐食を想定し一般鋼材とスズ添加鋼のコンクリート接触部での腐食進行状況を促進試験により確認する。
- 2) 鋼・コンクリート接触面の付着強度
高温時におけ、採用する鋼殻セル内の鋼・コンクリートの接触面に採用する処理方法の付着強度を引張試験によって確認する。
- 3) 弾性シーラ材及び橋面防水の防水性能
- 4) 鋼・コンクリートの接触面の健全性
暴露試験帯の接触面を剥がして目視確認する。

(2)接合部のモニタリング手法の検討

A)接合部の異常検知モニタリング

1) P C 鋼材張力の連続観測

接合部の最重要部材であるPC鋼材の張力変化を監視し、早期に異常を検知する。EMセンサー（NETIS：CG-140020-A）（図-2）により維持管理中のPC鋼材の張力管理を実施する。供用開始から連続モニタリングを開始。1時間に1回程度で自動観測を行う。

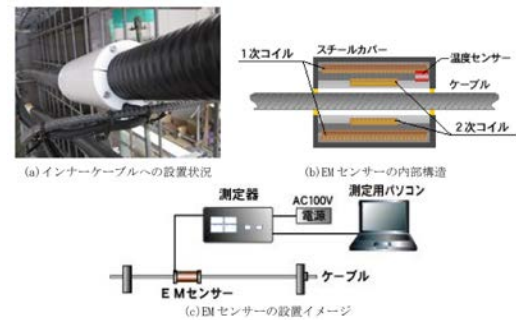


図-2 EMセンサーによるPC鋼材張力測定

2)外観目視検査・追跡調査

接合部PC鋼材、鉄筋、鋼桁の腐食に進展する恐れのある箱桁内接合部の漏水・耐水、ひび割れを目視調査し早期に異常を検知する。水の浸透はモニタリング孔（図-3）から漏水で検知する。定期点検以外にも漏水検知センサーを設置し閉合後から連続モニタリングを開始し、漏水を検知するまで実施する。

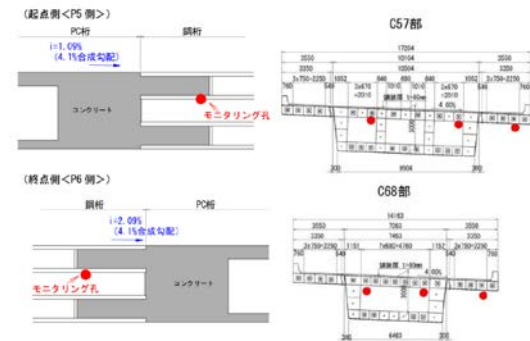


図-3 モニタリング孔

3)コンクリートのひび割れ調査

接合部におけるコンクリートは、ひび割れ防止のために材料や配合に留意し施工されるものの、接合部構造が大きいことからマスコンクリートに近い性状を示すことが懸念され、早期にひび割れが発生する可能性がある。そのため、外観変状調査にて接合部のコンクリートにひび割れが生じた場合、追跡調査として亀裂の進展計測（図-4）を実施する。ひび割れ発生直後から連続モニタリングを開始し、1時間に1回程度で静的な自動観測を行う。

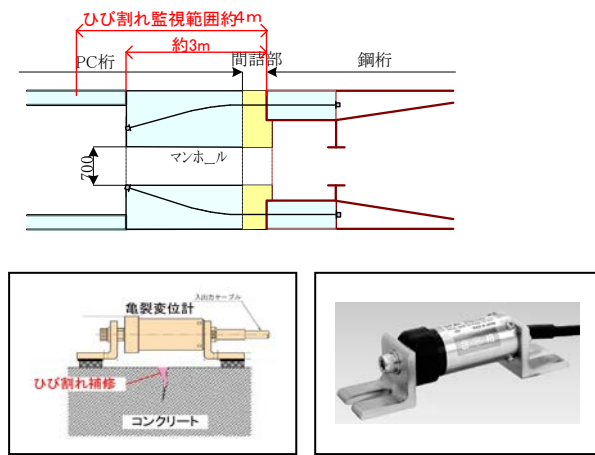


図-4 亀裂変位計によるひび割れ挙動計測

4) 鋼桁とPC桁のずれ止め変位の連続観測

接合部が設計時の想定通りに一体化していない場合に、両側の桁の温度給変化や剛性差に起因して相対変位が生じる可能性がある。変位計にて接合部のずれ変位を監視(図-5)して、腐食因子の進入を助長する危険性があるひび割れや隙間を連続モニタリングで早期に検知する。

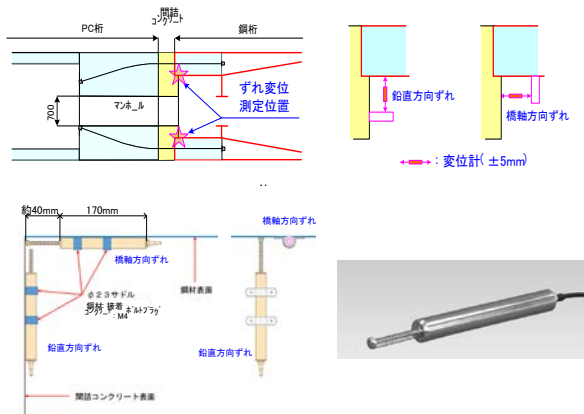


図-5 変位計による結合部のずれ計測

5) 鋼セル内の浮き調査

接合部の鋼桁端部は鋼セル内にコンクリートを充填することから、施工時や乾燥収縮等により鋼桁とコンクリートの間に隙間や空洞が生じる可能性がある。セル内の浮き調査として、近接目視による耐水の確認や赤外線サーモグラフィによる非破壊検査(写真-1)を実施する。

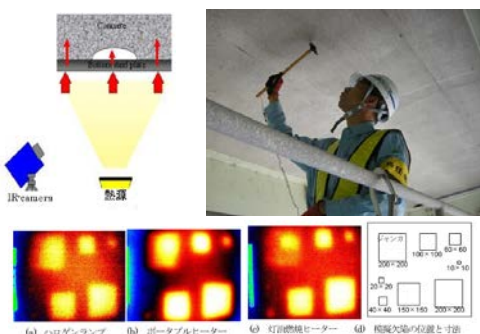


写真-1 鋼セル内の浮き調査

B) 挙動把握

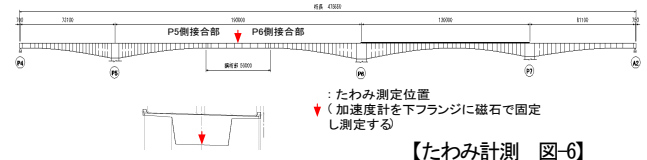
完成後の実橋梁は、設計時に仮定した材料強度や解析モデル等が安全側となるように各種安全率や施工誤差を見込んでいることから、設計で想定している抵抗力よりも大きくなるのが一般的である。ただし、各種安全率は材料ごとにバラつきが大きく、施工不良等がある場合には設計時の仮定値を満足しない場合も考えられる。そのため、完成時に载荷試験(図-6)を行い、たわみ・ひずみを測定、設計で仮定した構造解析モデルに対する载荷荷重の解析値との比較により、設計検証を行うとともに維持管理の初期データ(図-7)として活用する。

1) 静的载荷試験

20 t ダンプを4台・8台・12台の3ケース3回、P5側接合部、P6側接合部、鋼桁センターの位置で計測する。

2) 動的载荷試験

20 t ダンプ2台を上り方向、下り方向へそれぞれ併走させ20km・40km・60kmで3回づつ走行させる。



【たわみ計測 図-6】

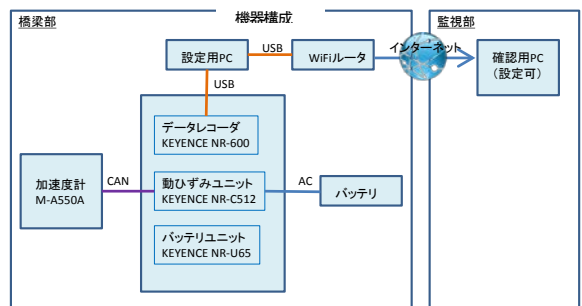


図-6 たわみ計測システム



図-7 ひずみ計測システム

なお、動的増幅率を得るため、P5側接合部、P6側接合部、鋼げたセンターの断面力がそれぞれ最大となる位置に20 t ダンプを2台静的に載荷してひずみ測定を行い、走行試験結果の最大値との比率から動的増幅率を求める。

C)腐食環境因子モニタリング

接合部での腐食発生因子を把握するため、腐食環境調査を実施する。

1)桁内外の温湿度調査

P5側接合部の箱桁内部と橋面において、温湿度計（写真-2）による測定を実施する。測定は1回/時間とし、接合部閉合から1年間実施する。

2)紫外線

P5側接合部の橋面において、紫外線強度計による即測を実施する。測定は1回/月とし、一日の中でも最も紫外線が多い11時～13時ごろに実施し、接合部閉合から1年間を対象に行う。



写真-2 温湿度計、紫外線計測機器

3)腐食速度（飛来塩分）

架橋位置での腐食環境調査として、耐性鋼材の適用環境評価に用いられるワッペン式曝露試験（写真-3）を実施し、ワッペン鋼板の腐食減耗量より腐食速度と飛来塩分量を算出する。接合部閉合から1年間を対象に行い、1年後にワッペン試験片を回収して測定する。



写真-3 飛来塩分（ワッペン式）

4)付着塩分

接合部近傍の鋼桁外面を対象として塗膜表面に付着した塩分量を電導度法（SSM）により表面塩分量を用いて計測する。接合部閉合から1年間を対象に行い、1年後に外観変状調査と合わせて測定する。

D)供用中のモニタリング

供用中のモニタリング項目を下記に示す（表-1）。

1)連続監視

- ・PC鋼材の張力の連続監視
- ・ひび割れの連続監視
- ・鋼桁とPC桁のずれ変位の連続監視

2)定期点検時

- ・箱桁内接合部の漏水・耐水

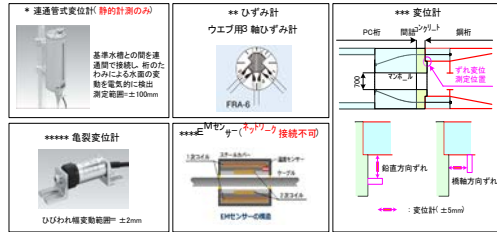
- ・鋼セル内の浮き調査他

2)異常発生時

- ・載荷試験（ひび割れ幅、ずれ変位、たわみ、ひずみ等）

表-1 供用中のモニタリング項目

測定箇所・測定項目・測定方法			
測定項目	測定箇所	測定方法	設置数
載荷試験	桁のたわみ	①～⑧ 連通管式変位計*	8
	支間中央鋼桁のひずみ	(2)支間中央 ひずみ計**	4
	接合部鋼桁のひずみ	(1)/(3)P5・P6接合部 ひずみ計**	8
モニタリング	鋼桁と閉結コンクリートのずれ変位	変位計***	16(4箇所×2方向×2断面)
	コンクリートのひび割れ挙動	亀裂変位計****	ひび割れ数(未定)
	接合部PC鋼材の張力	EMセンサー****	4
	温度(桁内気温1、PC桁4、鋼桁4)	桁断面は上下左右 温度センサー	9



モニタリングシステム構成図（図-8）のように実橋梁と事務所とを光ケーブル等で結び常時遠隔で状態を把握できるシステムを構築する。

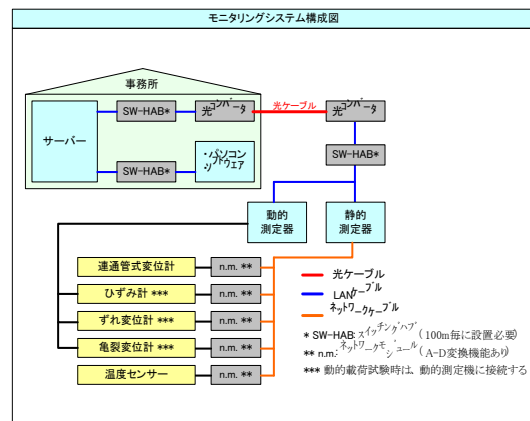


図-8 モニタリング構成図

5. まとめ

全国的なi-constructionの取組みが拡大している中、当事務所でも鋼コンクリート複合橋の維持管理に安全・安心なインフラを目指すべく取組んできた。施工時の接合部の品質確保への取組み、供用中の連続モニタリングによる数値的なデータ抽出によって、より正確な診断が可能になり将来に渡り橋梁の健全性が維持されると期待される。今後は、連続モニタリングを直接職員等が監視し異常時の対応に迅速に動けるようにするための管理マニュアル作成や運用が課題となる。また、今回の取組みを参考として既存及び今後構築する構造物に拡大しメンテナンスが図れたらと考えている。

参考文献

- ・牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会資料
- ・気になる鋼コンクリート接触面の腐食（中島章典）

新コザ幹線管更生工事と今後の管渠維持課題

沖縄県下水道事務所 技師 崎原達生

1. はじめに

沖縄県の下水道には公共下水道、流域下水道、都市下水路があり、県事業として流域下水道を設置・管理している。流域下水道として、沖縄本島中南部西岸側の 10 市町村を対象とする中部流域下水道（処理場：那覇浄化センター、宜野湾浄化センター）、金武湾及び中城湾北部に面する 3 市村を対象とする中城湾流域下水道（処理場：具志川浄化センター）、ならびに、中城湾南部に面する 4 市町村を対象とする中城湾南部流域下水道（処理場：西原浄化センター）の 3 流域下水道（図.1）があり、改築更新を行い今日に至っている。

これまでの下水道の整備促進に伴い、本県の下水道普及率（人口）も平成 28 年度末で 75.5% になっており、着実に向上している。さらに、流域下水道の管渠としては那覇処理区（約 25.9km）、伊佐浜処理区（約 40.6km）、具志川処理区（約 25.1km）、西原処理区（約 27.8km）の 4 処理区、1 再生水（約 14.2km）が供用している。

また、県民の環境意識の高まりとともに、良好な生活環境や観光資源である美しい海等自然環境の保全を測る上で、下水道施設の役割は益々重要となっている。

本報告では管渠中心に述べていく。

2. 長寿命化計画

流域下水道管内の管渠として古いもので沖縄県復帰前に米軍によって布設されたものが供用されている。管渠の標準耐用年数は 50 年であるが、老朽化による管路の様々な劣化・異常が見られるようになっている。

このような状況のもと、道路陥没後に老朽管渠の改築といった従来の事後的な対応では、下水道機能に支障が出るばかりでなく、市民生活・周辺環境に大きな影響を与え、その被害の対応には多大な費用を要する。このため、日常生活や社会活動に重大な影響を及ぼす事故の発生、機能の停止を未然に防止する必要性から、限られた財源の中で、ライフサイクルコスト最小化の観点を踏まえ（図.2）、耐震化等の機能向上も考慮した「長寿命化対策」を含めた計画的改築更新を推進するための事業制度として、平成 20 年度に国土交通省都市・地域整備局下水道部より「下水道長寿命化支援制度」が創設された。当該事業は、下水道施設の健全度に関する点検・調査結果に基づき「長寿命化対策」に係る計画を策定し、計画に基づき長寿命化を含めた計画的な改築を行うものである。



図.1 流域下水道処理区平面図

キーワード 下水道、管更生、SPR 工法

連絡先 〒900-0029 沖縄県那覇市旭町 116-37 南部合同庁舎 9 階 下水道事務所（那覇）

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

本県もこの制度に基づき、平成23年度より長寿命化計画策定業務委託を行い、対策が必要な箇所を抽出し、次に工法選定の実施設計を委託してから工事を行っている。

3. 対象施設の選定

始めに本県の長寿命化計画の調査結果により劣化がみられており、かつ、長寿命化支援制度の要件である処分制限期間（20年）を超過している施設に関して選定を行う。

次に、管渠の調査判定項目を①スパン

全体で評価し、（１）管腐食ランク、（２）管腐食ラ

ンク、または②管１本ごとに評価し、不良発生率に基づきランクをする。そして、長寿命化計画手引き（案）に基づき判定基準より緊急度を判定する。

その緊急度判定項目から判断される一次選定と、改築、修繕の経済性から判断される二次選定と段階に検討している。二次選定では、開削工法、更生管工法の両方で経済性の比較検討が行われる。【※管渠の改築工法は、道路交通への影響、施工性、工事費を考慮して、更生工法を採用している】。

4. 更生工法の選定

汚水管の更生工法には、大別すると7工法、細別すると33工法がある（図.3）。このうちパイプリバース工法、PF工法及びFET-P工法は、各協会からの聞き取りより現在施工を行っていないことから、選定対象から除外している。また、パルテム・フローリング工法、3Sセグメント工法、PEL工法は新しい工法のため検討対象外としている（H27年時点）。これより、本設計箇所の既設管条件等により、一次選定

し、工法選定に必要な条件に対する適否の判定を行うものである。既設管渠の状況による改築工法の選定にあたっては「管の腐食」「上下方向のたるみ」「管の破損」「管の継手ずれ」「浸入水」をポイントとしている。

本設計箇所に適合した汚水管補修として、現地調査結果や施工条件を基に比較検

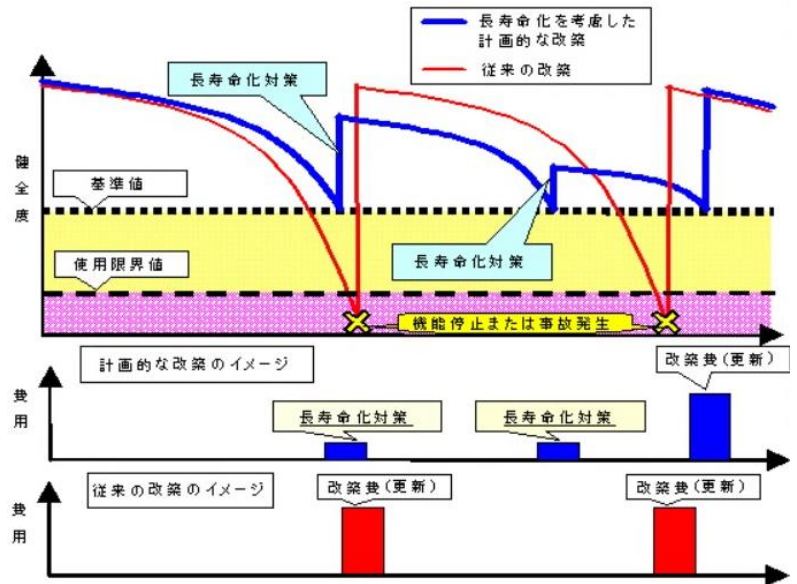


図.2 ライフサイクルコストイメージ

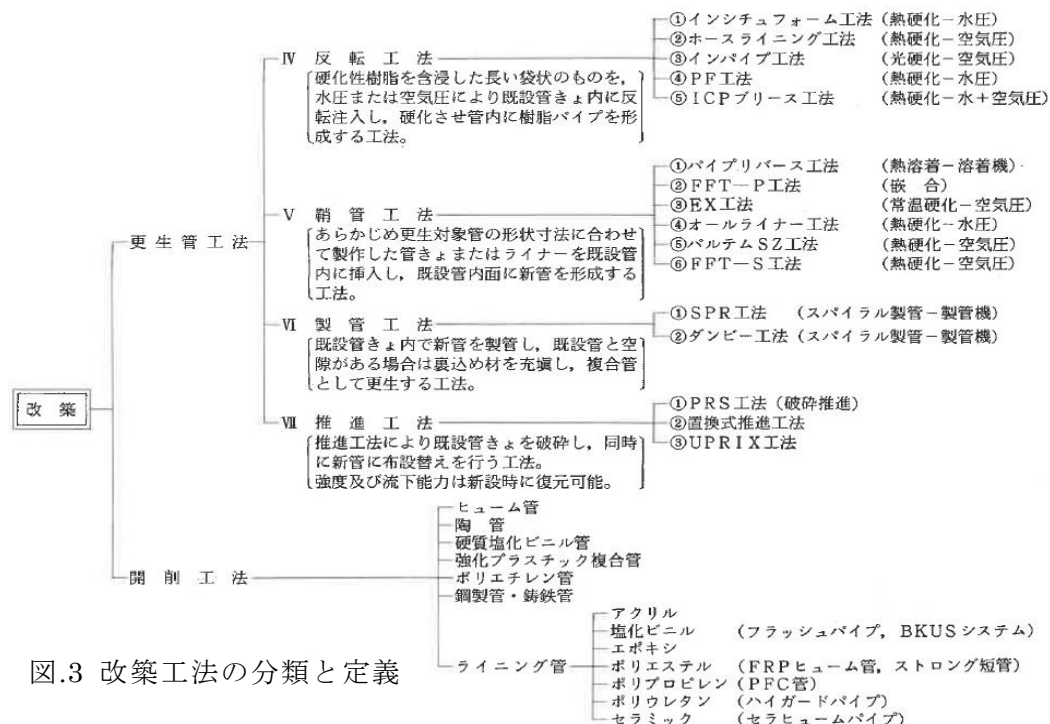


図.3 改築工法の分類と定義

討を行った結果、施工時間による制約に対し、反転工法及びさや管工法においては、施工の際に一時中断が不可能であり、実際の施工での硬化時間や養生時間等を考慮すると、今回の作業時間である 1 時間程度での施工は不可能と判断されることから施工時間の制約上不可とした。次に、通水中の施工について、本設計箇所は、越来ポンプ場から圧送の影響がある区間のため、ポンプ停止を行えば水深は 6 cm 程度で流速は 1 m/s 以下となる。パルテム・フローリング工法、3 s セグメント工法、PEL 工法は管内で人力で器材を組み立てるため通水時に流されるため不可となる。

また、ダンビー工法は施工に最低 2 時間連続作業が必要なため不可となる。よって、本設計において、通水中の施工が可能であり、1 時間程度に 1 回ポンプを稼働しても施工が可能な SPR 工法を採用することにした。

5、工事箇所について

5. 1 工事概要

工事名：新コザ幹線管更生工事

施工箇所：沖縄市上地地内

施工対象：内径 1100mm、
更生延長 338.24m
(5 スパン)

昭和 58 年布設、RCP

人孔 5 基

施工時期：平成 28 年 9 月～

平成 29 年 3 月

施工時間：23:00～06:00（夜間工事）

（管内連続作業時間約 1 時間）

工事費：¥173,904,840-

5. 2 施工対象管渠の状況

本工事の対象管路は、越来（ゴエク）ポンプ場から国道 58 号までの県道 85 号線で新コザ幹線の中間に位置する。また高速自動車道の沖縄南 IC の近くである。当該管路は、自然流下区間であり、硫化水素による腐食がはげしくなっていた。

6、管更生の施工方法

6. 1 管内洗浄工、既設管目視調査工、安全管理

管内に入る前にガス探知機にて酸素濃度、硫化水素濃度を測定し、問題が無ければ管内に入り洗浄を行う。汚れを取り除いたあと、内径、更生延長の寸法を測る。目視調査中に止水している箇所があれば写真により記録する。



図.4 工事箇所

6. 2 製管工、支保工兼浮上防止工

製管機を管内に設置する。地上にはドラムに巻かれたプロファイル（硬質塩化ビニルでできた帯状体の接合用かん合部材）を積んだトラックが待機し、そこからプロファイルを管内の製管機まで引き込み製管する（図.5）。今回はポンプ停止時間が短いため元押し式を採用した。本工事 1 スパン（マンホール間の約 66m）は 1 日の施工時間では完了できないため、プロファイルを一度切り、次の施工時に融着し作業を行う。製管が終了したら、管口シール及び注入口取付、副管削孔し、製管されたプロファイルを支保工で固定する。

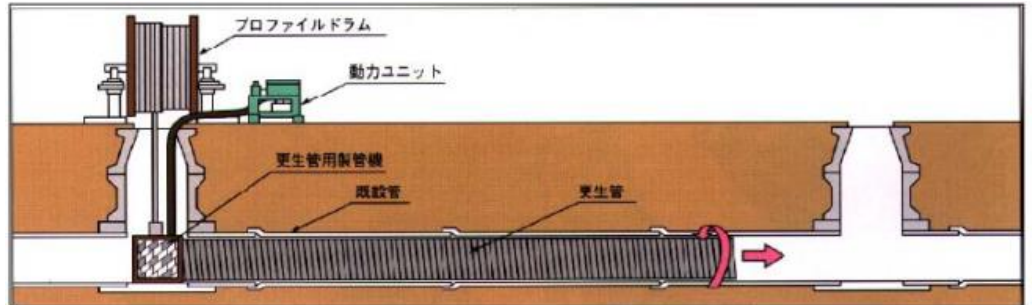


図.5 製管状況図

6. 3 裏込注入工

注入する裏込材の品質管理したあと、既設管とプロファイルの隙間に管口から裏込材（SPR モルタル 2 号）を流し込む。硬化した後、出来高確認で内径、更生延長の寸法を測り、管内に充填されているか打音確認する。

7. 現場の苦労

本工事の越来ポンプ場は夜間でも汚水量が多く、施工時間（2 3 時～6 時）でも流量の変動が激しく 1 時間程度に 1 回ポンプを停止して標準 1 時間施工する予定であったが、深夜 1 時までの時間は、1 0 分～4 5 分間で、ポンプ稼働を余儀なくされて、施工能率が低かった。又、作業中でも急に地上連絡員から退去指示があることもよくあり、安全管理に終始した現場であった。

8. 今後の維持課題

8. 1 自然流下管について

近年、本県では管路の老朽化により管更生工法を採用する事例が多くなっているため、老朽化が進んだところを優先的に修繕しているところである。長寿命化事業が始まって 5 年、流域管路総延長約 119km（再生水除く）のうち 2.2km の補修しかしておらず今後も事業は続く予定である。

8. 2 圧送管について

自然流下管と違い、途中にマンホールがなく、維持管理の面で調査が困難なため補修方法は確立されておらず、事故補修の状況にある。

9. まとめ

上述したように、本県でも今後も、老朽化が進んだ管路が増えてくることから老朽化対策で管更生工法を採用する工事が続くことになる。

本県では県内企業の育成を図るため、公共工事の県内工事への優先発注を行っているが、県内の管更生施工業者は可能な工法は限られており、工法によっては県外企業まかせとなっていることから、県内企業の育成及び技術力向上が課題となっている。

参考文献

- ・下水道長寿命化支援制度に関する手引き（案）
- ・下水道管きょ更生工法の選定比較マニュアル

ドローンを用いたインフラ点検におけるひび割れ撮影技術

(株) オカベメンテ インフラ点検チーム 土木学会西部支部沖縄会 特別会員 ○岡部 成行, 鈴木 浩一
(株)ensemble ドローン事業部 仲宗根 雄太, 宮良 正彦
大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 鈴木 三馨, 本澤 昌美, 堀口 賢一
琉球大学 正会員 山田 義智, 富山 潤, 崎原 康平, 須田 裕哉

1. はじめに

近年, UAV 無人航空機(以下, ドローン)を用いた技術ニーズが急速に高まっており, 国土交通省が推進する i-Construction においては, 公共測量の成果にドローンを活用するなど新基準の導入が進められている。また, 国土地理院においては平成 28 年 3 月 30 日に「UAV を用いた公共測量マニュアル(案)」が公表されるなど, 今後, ICT(情報通信技術)を積極的に活用する革命的な建設生産システムは, 益々, その適用範囲が多岐に広がって行くと考えられる。

このような中, 戦略的イノベーション創造プログラム(以下, SIP)のインフラ維持管理・更新・マネジメント技術として, 大成建設(株)によるコンクリートのひび割れ画像解析技術を中核技術としたモニタリング技術の開発が採択され技術開発を行っている。

今回, ひび割れ画像解析技術と併せて, 沖縄県の離島架橋に対するコンクリートのひび割れ調査に対して, ドローンを活用するための撮影技術の検証を行った。

2. ドローンによるひび割れ撮影技術の概要

撮影に使用したドローンの機体及び搭載したカメラのスペックを以下に示す。(表-1 参照)

ドローン	製造者名	DJI
	名 称	MATRICE 210 RTK
	重 量	3800g
	(最大離陸重量)	6140g
	最大風圧抵抗	10m/s
カメラ	最大飛行時間	20~30min
	製造者名	DJI
	名 称	ZENMUSE X5S
	画像数	2080万画像
操縦装置	製造者名	DJI
	名 称	CENDENCE

表-1 ひび割れ撮影に使用した機体及びデバイス

今回, 離島架橋のモニタリング技術におけるひび割れ撮影を行うにあたり, 使用したドローンの選定基準としては, 以下の点が挙げられる。

- ① 磁気干渉に強い機種
- ② GPS が届かない範囲でも安定して飛行可能
- ③ レンズ交換式の高画素カメラ

以上の点を考慮し, ドローン分野で世界的に 7 割のトップシェアを誇る DJI 社の MATRICE 210 RTK を採用した。

このドローンは, DJI 社がインフラ点検用に開発したドローンで橋梁の下面においても, カメラを上向きにも設置することが可能で, 離島架橋の下面部分の撮影が出来る。また, GPS が利用出来ない桁下などの範囲においても, 測量用に開発された RTK を装着することで, ドローンの位置情報が正確に認識でき, 安定的な飛行が可能で最適な機種であると判断した。使用した機種を以下に示す。(図-1 参照)



図-1 使用したドローン (MATRICE 210 RTK)

3. ひび割れ撮影技術の撮影対象と撮影方法

撮影対象は, A 大橋(1997 年開通, 橋長 900m, PC 連続箱桁橋, PC 連続ラーメン箱桁橋), C 大橋(2015 年開通, 橋長 3,540m, PC 連続箱桁橋, 鋼床版箱桁橋)の橋脚とした。

ドローンで撮影するにあたり, 国土交通省航空局の認可を必要とする場所であるかの確認が必須となる。これは, 人口密集地域(以下, DID 地区)におい

キーワード ひび割れ, 新技術, コンクリート, 画像解析, ドローン

連絡先 〒900-0003 沖縄県那覇市安謝 1-4-35 (1F) (株) オカベメンテ TEL 098-927-9229

ては、事前に許可申請が必要となるからである。

今回の撮影対象は DID 地区ではなく、特に許可申請は不要であった。

撮影前の事前準備として以下の点が挙げられる。

- ① ドローン飛行ルートの確認
- ② RTK 基地局の設置位置確認
- ③ 機体・送信機ファームウェア更新
- ④ コンパス・カメラキャリブレーション実施

今回の撮影対象である離島架橋に対して、ドローンで撮影するにあたり、橋軸直角方向からの飛行ルートを選定した。飛行ルートを（図-2）に示す。

これは、橋梁の下は GPS における衛星からのドローン位置情報が取得しにくいため、RTK 基地局を横方向から、ドローンへ通信させて位置情報を取得し安定飛行をさせる必要があるためである。



図-2 ドローン撮影の飛行ルート

ドローンにおける橋梁点検に必要な撮影技術については、以下の点が挙げられる。

- ① ホバリング制御技術（直径 60 cm以内）
- ② 上昇・下昇能力技術（直径 60 cm以内）
- ③ ノーズインサークル（8 の字走行）
- ④ 安全対策（リターントゥーホーム離陸地点帰還）

また、ドローンに搭載されたカメラにより、ひび割れ画像を撮影するため、カメラの選定及び知識も重要な項目である。カメラに必要な知識及び設定については以下の点が挙げられる。

- ① 送信機（プロポ）によるカメラ設定操作
- ② カメラとジンバル（ブレ防止）の設定
- ③ 絞り（F 値）4.0～5.5
- ④ ISO 感度 200～400

ひび割れ画像を撮影するにあたり、検出ひび割れ幅を 0.2mm 以上とするため、空間分解能は 0.74mm/pixel～0.78mm/pixel（焦点距離 25mm、撮影

対象との距離 5.65m～5.95m）とした。

このため、ドローンと構造物との間隔は 5.5m～6.0m の距離を保ちながらの撮影を実施した。なお、シャッタースピードは 1/1600（秒）とした。

4. ひび割れ撮影の結果

撮影箇所は、A 大橋の P3 橋脚、P8-P9 径間の上部工の下面を対象として撮影した。（図-3 参照）

撮影画像全体図



ひび割れ画像全体図 ※近接目視点検との整合性を確認した。

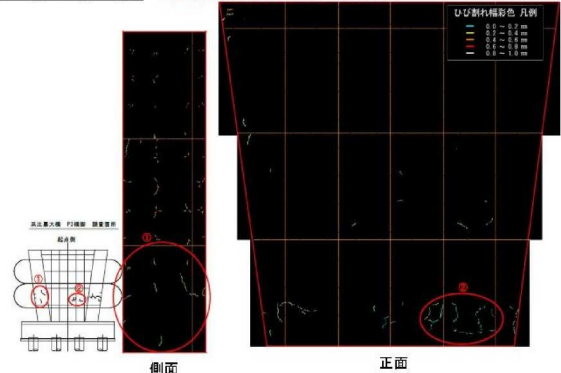


図-3 ドローンによる撮影画像

橋脚のひび割れについては、撮影画像により、点検の結果とほぼ同程度の結果が得られた。しかしながら、上部工に関しては、ひび割れ幅が 0.1 mm以下と小さく、撮影画像からは算出することができなかった。

5. おわりに

ドローンを活用した新技術によるインフラ等の点検は、従来の点検に比べ足場や橋梁点検車が不要となり安全性やコスト面でメリットが期待できる。

今後はドローン撮影画像によるコンクリートの浮き等の判断ができる技術開発が期待される。

謝辞

今回の調査実施では、戦略的イノベーション創造プログラム、沖縄県中部土木事務所、沖縄県北部土木事務所、沖縄県宮古土木事務所、（株）中央建設コンサルタント、（株）芝岩エンジニアリングに多大なご協力をいただいたことに謝意を表します。

画像解析技術を用いた離島海上橋のひび割れ定量評価

大成建設（株） 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○鈴木 三馨，本澤 昌美，堀口 賢一
（株）オカベメンテ 土木学会西部支部沖縄会 特別会員 岡部 成行
（特非）グリーンアース 土木学会西部支部沖縄会 特別会員 鈴木 浩一
琉球大学 正会員 山田 義智，富山 潤，崎原 康平，須田 裕哉

1. 目的

近年，我が国の社会インフラ施設の老朽化対策は喫緊の課題であり，その対策を検討するために必要な現況調査の迅速化や調査の遠隔操作化などの要求が高まっている。戦略的イノベーション創造プログラム（以下，SIP）のインフラ維持管理・更新・マネジメント技術として，著者らが開発してきたコンクリートのひび割れ画像解析技術¹⁾を中核技術としたモニタリング技術の開発が採択され技術開発を行っている^{2), 3)}。

一方，2017年4月時点において，沖縄県には全21橋の離島架橋があり，県民の生活を支える重要構造物のひとつである。これら離島架橋を合理的かつ効果的に維持管理する必要がある。しかし，離島架橋の点検は多くの制約を受け，適切な点検と高度な診断は困難である。

そこで，開発したひび割れ画像解析技術の地域実装の試行のため，琉球大学 SIP の地域実装支援チームと連携し，沖縄県管理者（沖縄県中部土木事務所，沖縄県北部土木事務所，沖縄県宮古土木事務所）および構造物調査事業者（（株）中央建設コンサルタン

ト，（株）芝岩エンジニアリング）との協働により，2017年に沖縄県を代表する離島架橋である A 大橋（沖縄県中部土木事務所管理），B 大橋（沖縄県北部土木事務所管理），C 大橋（沖縄県宮古土木事務所管理）の3橋のひび割れ調査の試行を行った。本論文では A 大橋，C 大橋の調査結果を示す。

2. ひび割れ画像解析技術の概要

ひび割れ画像解析の解析手順を以下に示す（図-1）。

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

本手法は，従来の輝度情報からひび割れを判別する方法に対して，コンクリートの汚れや色の濃淡によるばらつきの影響を低減し，また，空間分解能の1/4以上のひび割れ（空間分解能 0.8mm/pixel の画像の場合は幅 0.2mm 以上のひび割れ）を検出できる特徴を持つ。今回は，離島架橋を対象としたため，UAV 搭載カメラを使用して撮影した。

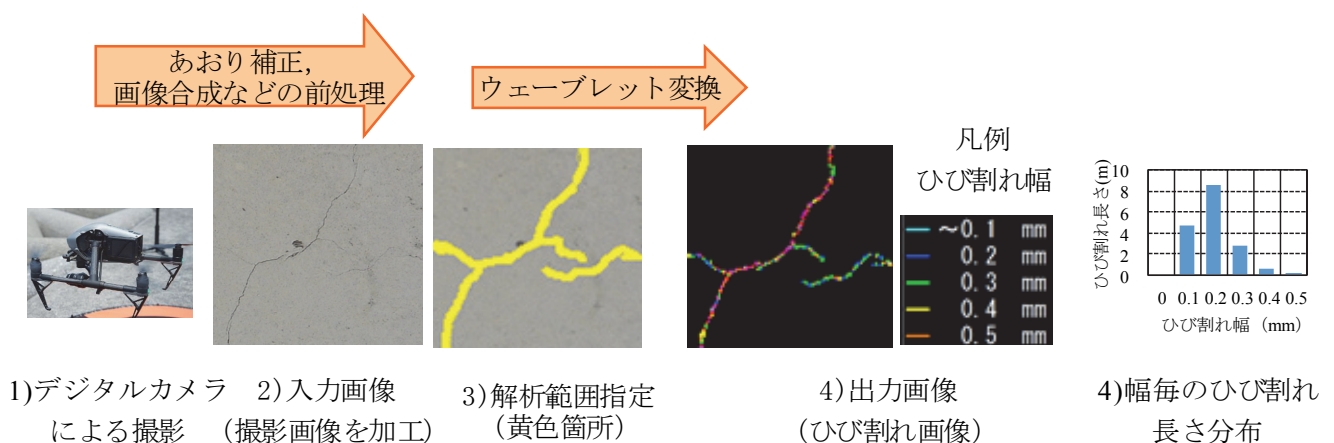


図-1 ひび割れ画像解析の解析手順

キーワード ひび割れ，点検，コンクリート，ウェーブレット，画像解析，UAV

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株） 技術センター TEL 045-814-7228

3. ひび割れ画像解析の調査対象と調査方法

調査対象は、A大橋（1997年開通、橋長900m、PC連続箱桁橋、PC連続ラーメン箱桁橋）、C大橋（2015年開通、橋長3,540m、PC連続箱桁橋、鋼床版箱桁橋）の橋脚とした。画像撮影には、市販のUAV搭載カメラ（2,080万画素）を用いた。検出ひび割れ幅を0.2mm以上とするため、空間分解能は0.74mm/pixel～0.78mm/pixel（焦点距離25mm、撮影対象との距離

5.65m～5.95m）とした。調査は、2017年7月（A大橋）および2017年11月（C大橋）に実施した。

4. ひび割れ調査の結果

4. 1 A大橋のP3橋脚

A大橋のP3橋脚は、A1橋台から3径間（123.6m）離れた海上に位置する。A大橋のP3橋脚起点側の点検図を図-2に示す。ひび割れ調査箇所は側面片面と

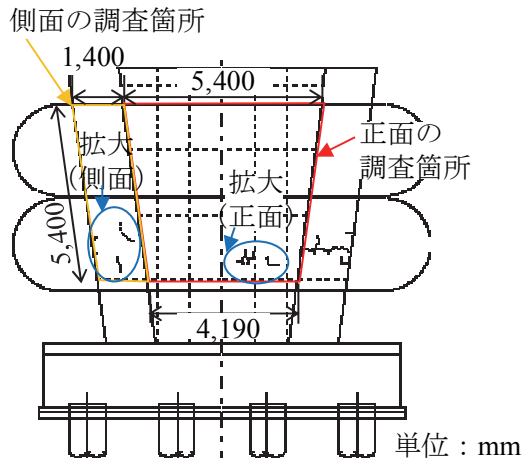


図-2 A大橋のP3橋脚起点側の点検図

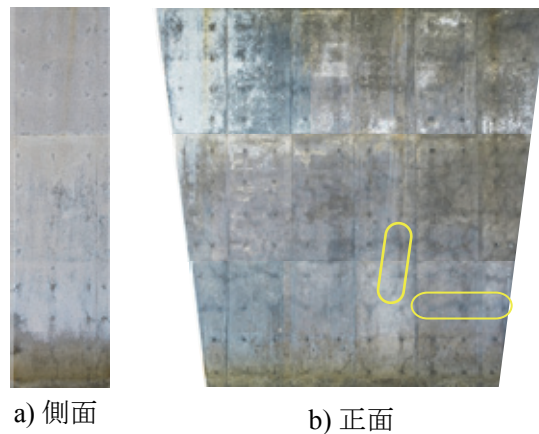


図-3 A大橋のP3橋脚起点側の撮影画像

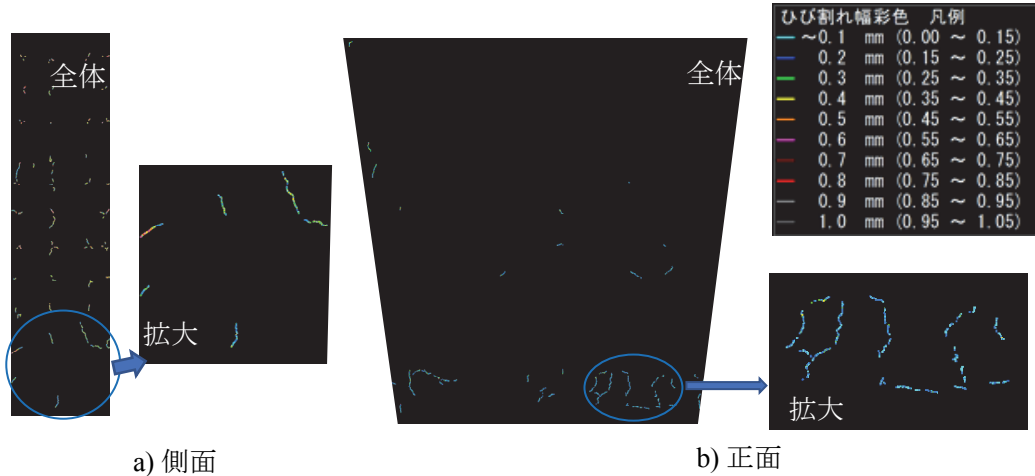


図-4 A大橋のP3橋脚起点側のひび割れ図

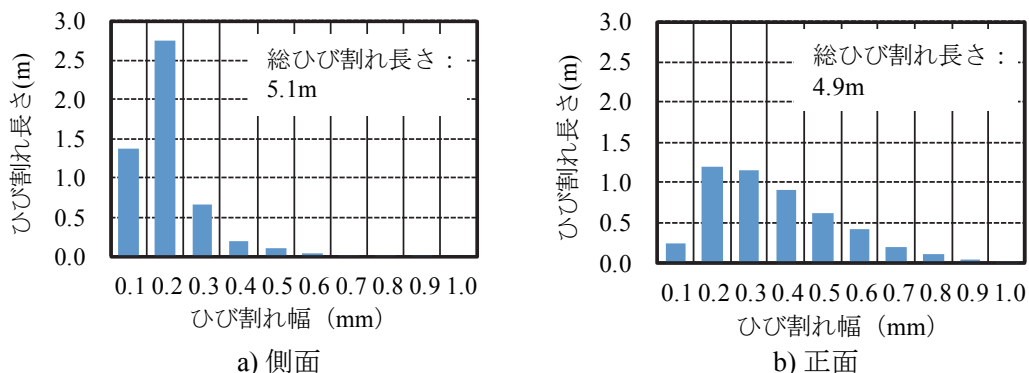


図-5 A大橋のP3橋脚起点側のひび割れ幅毎のひび割れ長さ分布

正面とした（図-2）。A 大橋の P3 橋脚起点側の撮影画像を図-3 に，同ひび割れ図を図-4 に，ひび割れ幅毎のひび割れ長さ分布を図-5 に示す。図-2 の点検図のひび割れの箇所（青丸で囲った箇所）について，図-4 のひび割れ図にて拡大して示す。本手法を用いて点検でのひび割れを抽出できている。なお，図-3 の黄線でのかこみ部分はひび割れのように見えるが，にじみ模様のみでひび割れは生じていない。

調査箇所内の総ひび割れ長さは側面，正面ともに 5.0m 程度となった。目視点検ではひび割れ長さの定

量評価はなされていない。

4. 2 C大橋のP4 橋脚

C 大橋の P4 橋脚は，A1 橋台から 4 径間（245m）離れた海上に位置する。C 大橋の P4 橋脚の 2015 年における点検図を図-6 に示す。C 大橋の P4 橋脚の撮影画像を図-7 に，同ひび割れ図を図-8 に，ひび割れ幅毎のひび割れ長さ分布を図-9 に示す。図-6 の点検図のひび割れの箇所（青丸で囲った箇所）について，図-7 の撮影画像，図-8 のひび割れ図にて拡大して示す。

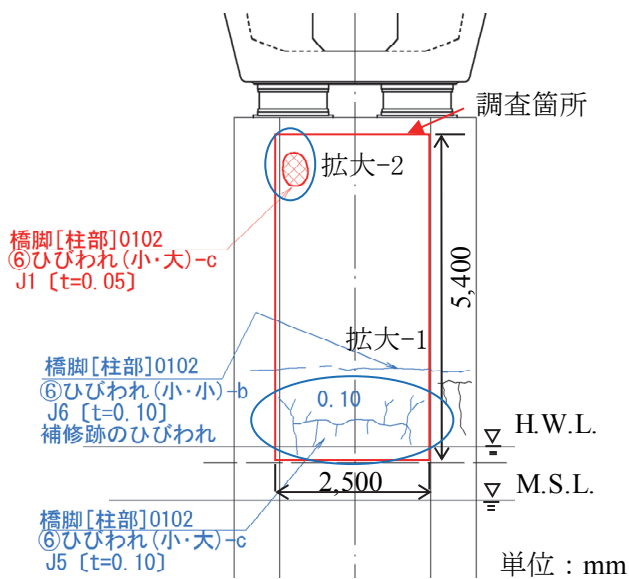


図-6 C大橋のP4橋脚の点検図（2015年）

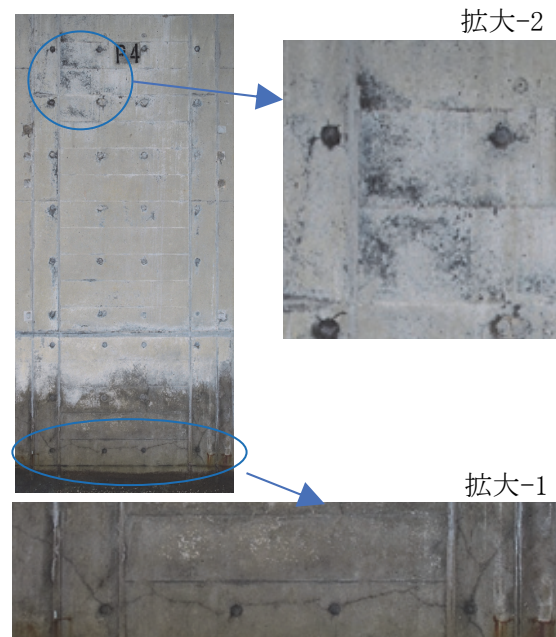


図-7 C大橋のP4橋脚の撮影画像

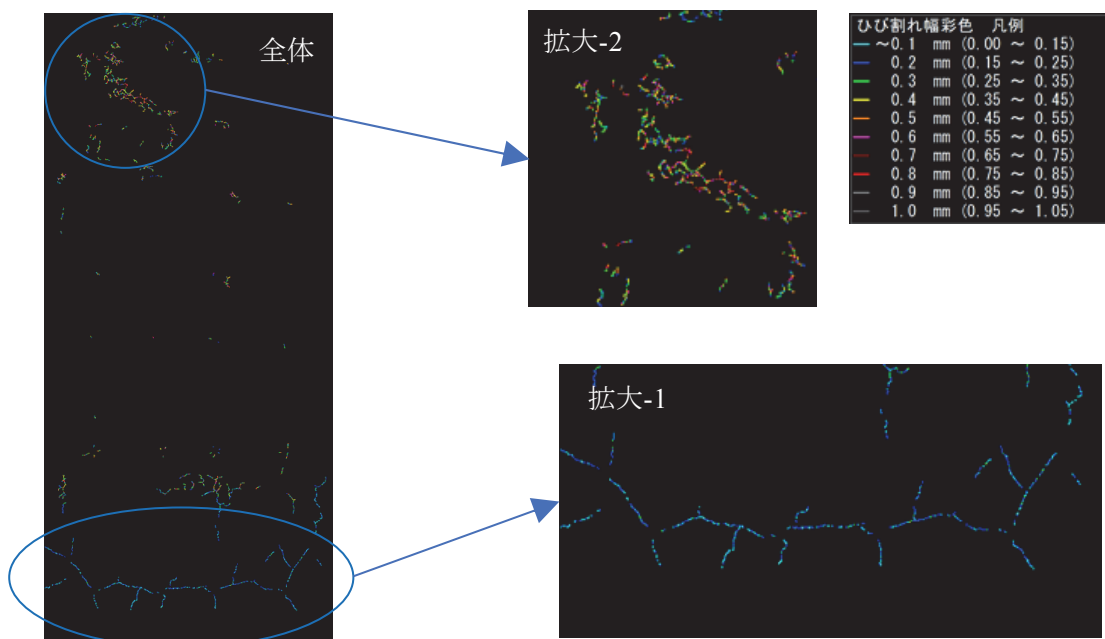


図-8 C大橋のP4橋脚のひび割れ図

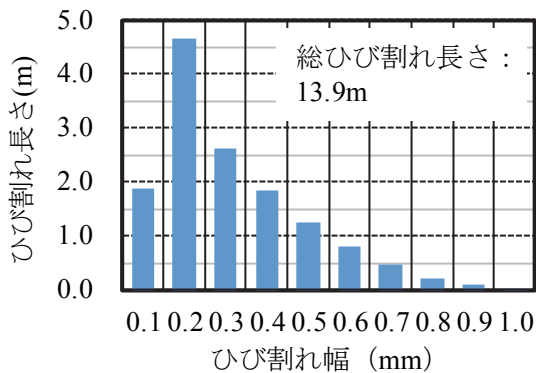


図-9 C大橋のP4橋脚のひび割れ幅毎のひび割れ長さ分布

点検図に記録されている高水位（H.W.L.）付近の0.1mm程度のひび割れは、ひび割れ図の拡大-1に示すように、0.1～0.2mmのひび割れとして抽出できている。この範囲は図-7に示す撮影画像のように、コンクリート表面が濡れている。本ひび割れ画像解析手法ではこのような濡れているコンクリート表面にあるひび割れにおいても特別な前処理なしに抽出が可能である。その上部の補修跡のひび割れについては、ひび割れ解析の範囲外とした。

点検図に記録されている橋脚上部の幅0.05mm程度の細かいひび割れ群は、ひび割れ図の拡大-2に示すように、ひび割れとして抽出できた。ただし、ひび割れ幅については、点検図の0.05mmよりも大きく0.1～0.8mm程度となった。ひび割れ幅については、2015年の点検時から2017年のひび割れ画像解析による調査までの期間に広がっているなどの可能性がある。

調査箇所内の総ひび割れ長さは13.9mとなった。主なひび割れ幅は0.2mmであるが、0.8mm程度のひび割れ幅の大きなものも算出された。目視点検ではひび割れ長さの定量評価はなされていない。このように、ひび割れ幅毎のひび割れ長さを定量的に算出することで、より適切な診断が可能となる。

5. 結論

A大橋およびC大橋の橋脚のひび割れ調査に、UAVに搭載したカメラによる撮影画像を用い、コンクリートのひび割れ画像解析技術を試行した。

市販のUAVに搭載したカメラによる撮影画像を入力画像としてひび割れ画像解析により得られたひび

割れ図は、点検図にあるひび割れを精度良く検出できた。

UAV搭載カメラによる撮影画像を本技術に用いることより、従来の点検での離島架橋特有の問題である容易に近づけない場所に足場や橋梁点検車などを用いない橋梁点検が可能である。また、ひび割れ図のみならず、ひび割れ幅毎のひび割れ長さのデータが得られるため、定期的に点検することでひび割れの進展の有無など維持管理に必要な情報を定量的に示すことが可能となる。

謝辞

本研究はSIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の地域実装支援の一環として実施しました。ここに記して感謝いたします。

また、本研究に適用した技術は、国土交通省による「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発に係る公募」の研究開発課題として採択されて開発した技術です。実施に際して、国土交通省大臣官房技術調査課に多大なご助言、ご支援をいただいたことに謝意を表します。

さらに、本調査に当たっては、沖縄県中部土木事務所、沖縄県北部土木事務所、沖縄県宮古土木事務所、(株)中央建設コンサルタント、(株)芝岩エンジニアリングに多大なご協力をいただいたことに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小山哲，丸屋剛，堀口賢一，澤健男：ガボールウェーブレット変換を用いたコンクリートのひび割れ画像解析技術の開発，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.68, No.3, pp.178-194, 2012.
- 2) 鈴木三馨，本澤昌美，堀口賢一，坂本淳：遠方や狹隘部の撮影技術の開発とひび割れ画像解析技術の高度化，コンクリート工学年次論文集，Vol.39, No.1, pp.1855-1860, 2017.
- 3) 鈴木三馨，本澤昌美，堀口賢一，坂本淳：画像解析技術を用いた遠方からの床版ひび割れ定量評価システムの構築，第17回コンクリートの補修，補強，アップグレードシンポジウム，pp.261-266, 2017.

鋼桁端部における腐食弱点部の分析と腐食モニタリングに関する研究

琉球大学 ○村山拓朗 下里哲弘 田井政行 加藤祐介

1. はじめに

近年、鋼橋の腐食劣化による問題が深刻となっている。実際に、鋼橋の落橋等の報告もあり、劣化箇所早期発見と対策が必要である。鋼橋において腐食劣化しやすい箇所として桁端部が挙げられるが、桁端部には様々な部位・部材があり、その腐食特性・傾向は各部位・部材ごとに異なっている。また、詳細な腐食箇所が不明確という問題点もある。そこで今回、腐食箇所の明確化・傾向把握を目的とし、先ず実橋梁調査から可視化したモデルを作製し腐食箇所の部位・部材レベルでの分析を行った。また、その分析結果から腐食傾向が大きかった鋼 I 桁の下フランジに着目し、腐食モニタリングによる詳細分析を行った。

2. 3D 腐食マップによる腐食箇所の分析

Sketch up 2017 を使用し 3 橋梁の可視化モデル（以下、3D 腐食マップという）を作成した（図 1）。モデル作成後、実橋梁から撮影した写真とモデルを比較しながら腐食状況を表 2 に示すような段階に分類し、色付けを行った。3D 腐食マップ各部材の腐食位置を 3D 動画で視認可能となっているため、維持管理や構造改良検討に利用できる。3 橋梁の概要を図 2 に示す。構造形式や設置場所に違いがあっても、どれも下フランジに腐食が激しく見られた。S 橋に関しては、塗膜の膨れが広範囲にわたって広がっていた。

3. 鋼 I 桁橋下フランジを対象とした腐食モニタリングによる詳細分析

前節の分析結果から、鋼 I 桁橋の下フランジ部において腐食傾向が大きいことが明らかとなった。そこで、下フランジ部の更なる腐食箇所の明確化・傾向把握を目的に、腐食モニタリングによる詳細分析を行った。

(1) ACM センサ大気暴露試験

写真 2 に示すような ACM センサ (Fe-Ag 型) を、I 形鋼を模擬した試験体の下フランジ上面、下面のウェブ方向に 3 枚ずつ設置した（図 2 参照）。また、濡れ乾きの変動を見るために雨がかり有りの場所とした。

(2) 鋼板腐食試験

鋼板暴露試験には、写真 3 に示すような SMA 鋼材（50×50×2mm、鏡面仕上げ、以下、ワッペン鋼板という）を用いた。設置箇所は桁の外側と内側それぞれにウェブ、下フランジ上面、下フランジ下面の計 6 枚である。桁の外側は雨がかり有り、内側は雨がかり無しとなっている。暴露期間中は、電磁式

膜厚計によりさび厚の計測を行った。さび厚計測は 10 回計測の平均値をさび厚とした。

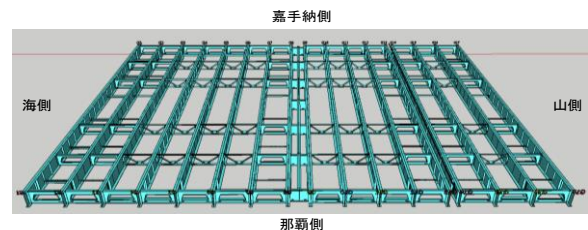


図 1 3D 腐食マップ

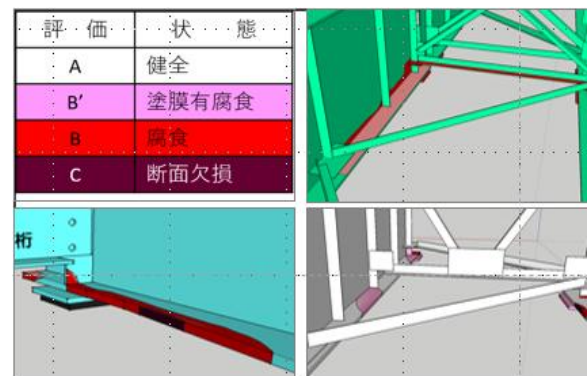


図 2 腐食評価ランクと色付け状況



写真 2 ACM センサ

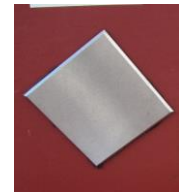


写真 3 ワッペン鋼板

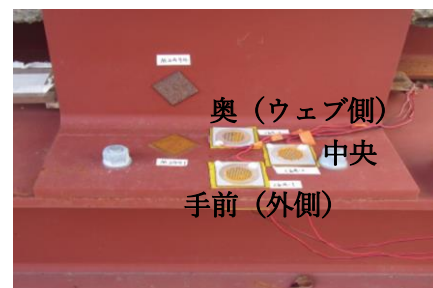


写真 4 暴露試験

キーワード 3D 腐食マップ, 下フランジ, 濡れ時間

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 番地琉球大学工学部環境建設工学科

E-mail e125318@eve.u-ryukyu.c.jp

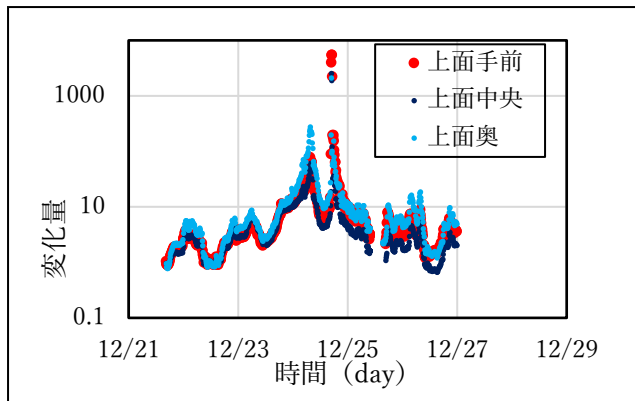


図3 上面腐食電流変化量

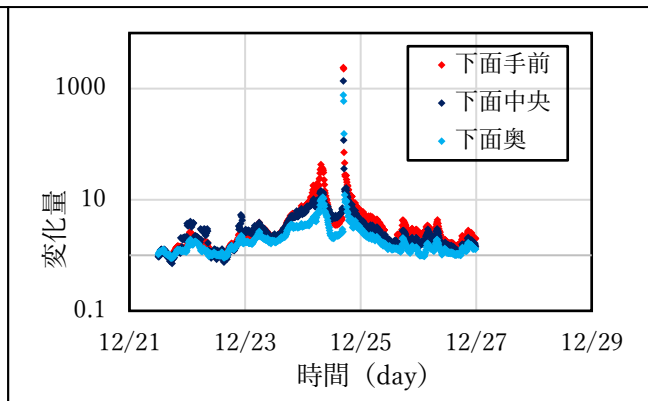


図4 下面腐食電流変化量

4. 試験結果

(1) 腐食状況

図5にACMセンサとワッペン鋼板の初期状態を示す。次に、図6に63日経過後を示す。外側の下フランジに設置したワッペン鋼板は、濡れ環境下にあるということもあり、内側よりも腐食が進行している。内側の下フランジ下面のワッペン鋼板は、ほとんど変化なしである。ここで、ワッペン鋼板のさび厚測定結果を図7に示す。内側の下フランジ下面においては、さびが形成されておらず計測ができなかった。外側と内側で比較すると、雨がかり有りの外側の方が大きい値となっている。このことから、濡れ時間が腐食に影響を与えていることがわかる。ウェブと下フランジで比較すると、雨がかり有りの条件下では、下フランジが腐食の進行が大きいといえる。

(2) ACMセンサによる濡れ時間の変動

図3図4はACMセンサより出力された腐食電流の変化量の一部抜粋したものである。ここで、ある濡れ環境にない時間の電流を1とした時の割合を変化量という。1より大きく変化すれば濡れ環境にあると言える。本研究では、降雨前の電流が低い値をとったところを基準として変化量を算出した。図3図4において、12月22日の14時から16時の18点の値の平均を1とした。図3より、上面では手前も奥も変わらない結果となった。図4より、下面では手前が濡れ時間が長いという結果が得られた。上面下面を比較すると、どちらも手前の濡れ時間が長くなっている。

5. まとめ

(1) 3D腐食マップより、腐食箇所が明確となった。特に下フランジ上面下面の腐食が進行していることも確認できた。

(2) 下フランジの上面下面では、どちらも手前の濡れ時間が長く手前から腐食が進行していくと推測できる。

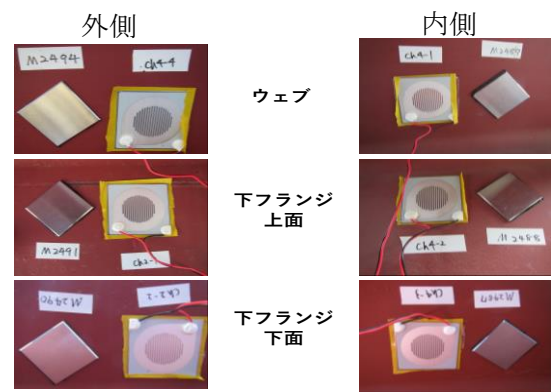


図5 ワッペン鋼板初期質量

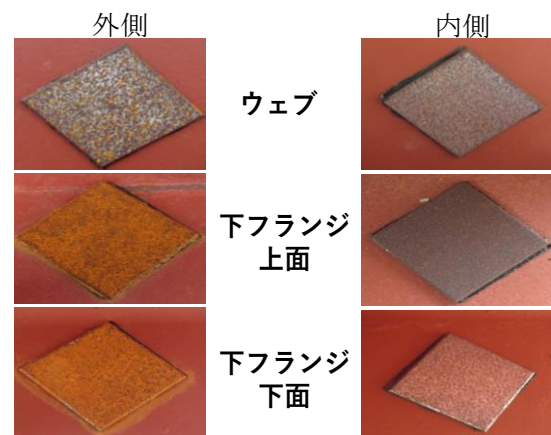


図6 63日後ワッペン鋼板外観状況

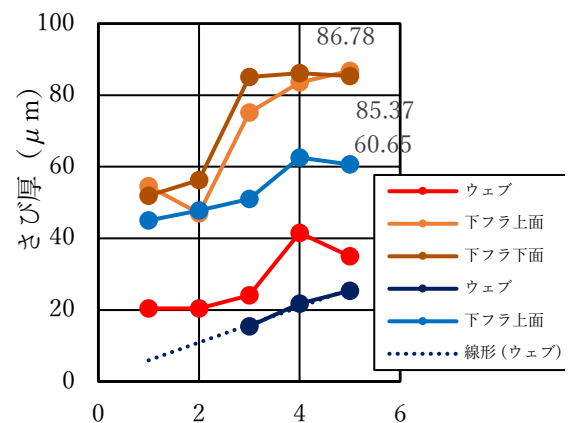


図7 ワッペン鋼板さび厚

高力ボルトの透明型防錆キャップの維持管理性能評価に関する検討

琉球大学 ○崎山嗣陽, 加藤祐介, 下里哲弘, 田井政行, IHI 岩本達志

1. はじめに

鋼構造物に使用されるボルトは他の部位に比べて発錆しやすい(写真 1.1 参照)。高力ボルトの場合、頭部・ナット部の腐食が進行すると導入軸力の低下を引き起こし継手全体の耐力が低下する。それを防止する為、ボルト頭部・ナット部にキャップを取り付け、発錆を防止する対策が実施されている。従来の防錆キャップは有色であり接着方法も全充填であった為、取り外しが困難で内部状況の確認が出来ず、維持管理性の面で課題であった(写真 1.2 参照)。

そこで今回、つばのみ接着した透明型防錆キャップ(写真 1.3 参照)の維持管理性能評価を目的に、鋼桁試験体と高力ボルト継ぎ手試験体を用いた大気曝露試験を実施した。



写真 1.1
高力ボルトの腐食状況



写真 1.2 従来のキャップ



写真 1.3 透明キャップ

2. 実環境を模擬した鋼桁試験体における大気曝露試験

2.1 大気曝露試験概要

(1) 試験方法

沖縄県中頭郡西原町に位置する曝露試験場(離岸距離: 2.5km, 平均飛来塩分量: 0.22mdd, 平均腐食速度: 0.026mm/y)にて、鋼 I 桁曝露試験体を設置し、その試験体のボルト接合部にボルトキャップを接着し維持管理性能を評価した。曝露試験体概要を図 2.1 に示す。ボルトキャップによる防錆性能を評価するために、高力ボルトは新材ボルトを用いた。ボルトキャップは有色型と透明型の 2 種類とした(図 2.1 参照)。接着方法は全充填とつばのみ接着(図 2.1 参照)とし、ウェブ面と下フランジ部の桁内面/外面にボルトキャップを接着した。なお、曝露期間は最大で約 4 年 5 ヶ月である(一部の試験体は約 6 ヶ月)。

(2) 回収した試験体

透明キャップを基本として、つばのみ接着を計 8 本、比較のために全充填を計 2 本回収した。

(3) 維持管理性能の評価項目

維持管理の観点から、評価項目を表 2.1 のように設定する。

表 2.1 評価項目一覧

No.	評価項目	評価方法
①	近接目視の可否	外観目視観察
②	取り外しの容易性	取り外しにかかる時間等
③	防錆性能	外観目視観察



新材ボルト



図 2.1 曝露試験体概要

キーワード: 透明型防錆キャップ つばのみ接着 維持管理 大気曝露試験

住所: 〒903-0213 沖縄県西原町千原 1 番地 琉球大学環境建設工学科 E-mail: e145322@eve.u-ryukyu.ac.jp

2.2 結果と考察

評価項目①

約6ヶ月経過後も透明性を維持しており近接目視が可能である(写真2.1参照)。

評価項目②

つばのみ接着は平均約1分半だったのに対し、全充填は約13分と取り外すのに大幅な時間を要した。

評価項目③

全充填は腐食が全く発生しておらず、またつばのみ接着も腐食は軽微なものであった(写真2.2参照)。どちらも水分の浸入は無し。

以上のことから、透明型防錆キャップは内部状況の確認が可能であり、つばのみ接着でも全充填と同程度の防錆性があり尚且つ取り外しも非常に容易であることから、実環境においてもつばのみ接着透明キャップは維持管理の観点から非常に効果的であるといえる。



写真 2.1
つばのみ透明キャップ
外観状況



写真 2.2
つばのみ接着
ボルトの劣化状況

3. 高力ボルト継ぎ手試験体による大気曝露

3.1 大気曝露試験概要

(1) 試験体

ブラスト処理したボルトで、2枚の無機ジンク及びC-5塗装系の鋼板をそれぞれ固定した高力ボルト継ぎ手試験体に透明及び有色防錆キャップを接着剤で固定した(写真3.1参照)。

(2) 試験体パラメータ

キャップが有色、透明の2種類。装着方法は全てつばのみ接着。鋼板が塗装と内部へ水分を侵入させ劣化を促進させる為の無機ジンクの2種類とする。各パラメータで計2体ずつ試験体を作製した(表3.1参照)。

(3) 曝露条件

沖縄県中頭郡西原町に位置する曝露試験場(離岸距離：2.5km, 平均飛来塩分量：0.22mdd, 平均腐食速度：0.026mm/y)にて、経過観察を行なった。

3.2 結果と考察

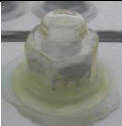
塗装系の鋼板の透明キャップは約3ヵ月経過した現在も異常はみられない。無機ジンク鋼板の透明キャップは約1週間経過後にキャップ内部に水滴及び白濁が確認できた。その後水滴及び白濁は消えることなく次第にやや腐食も進行していくのが確認できた。比較のため無機ジンク鋼板の有色キャップを外してみると、内部に外部から確認できない少量の水滴と若干の腐食が確認できた。(写真3.2参照)

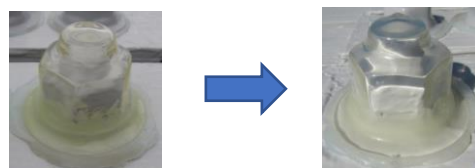
以上より、つばのみ接着透明キャップは内部の状況が確認できると共に塗装鋼板では防錆性能も備えているといえる。さらに、例え問題が発生したとしても早期発見及び対策を施すことが可能である。



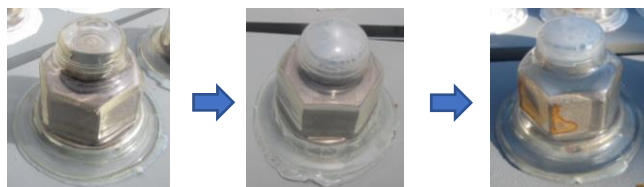
写真 3.1 曝露試験体

表 3.1 試験体パラメータ

	透明キャップ	有色キャップ
C-5 塗装系		
無機ジンク		
装着方法	全てつばのみ接着	



透明キャップー塗装



透明キャップー無機ジンク

写真 3.2 曝露試験体経過

4. まとめ

- 1) つばのみ接着は、防錆性があり全充填より遥かに取り外しが容易である。
- 2) 透明キャップは、内部の状況を確認できるため維持管理性能に優れており防錆性もある。

ひび割れ計測システムを用いたコンクリート表面ひび割れモニタリング技術の検討について

(株)中央建設コンサルタント エルデネバト エルデネツェツェグ, 比嘉和雄, 多和田伸, 喜納政行, 山中亮
琉球大学 工学部 工学科 社会基盤デザインコース 富山潤

1. はじめに

日本だけではなく、インフラの老朽化は世界共通の問題である。つまり、日本におけるインフラ維持管理に向けた新しい取り組みや、新技術の開発と活用は、世界市場の見本となり、日本の競争力を高めることにもつながることが期待されている。

沖縄では、復帰後急速に社会資本整備が進み、今後、建設後 50 年を超える施設が全国よりも急増することが懸念されている。また、少子高齢化に伴う技術者の不足、厳しい財政状況、さらに、沖縄は高温多湿で島嶼地域であり塩害といった構造物には厳しい環境であることなど、沖縄の社会資本の維持管理を取り巻く状況は厳しい状況に置かれている。そのため、厳しい環境における構造物の維持管理においてセンサー、レーザースキャナー、IT 等新技術を活用した効率的・効果的な点検・診断や補修・補強等につながる新たな手法を導入することが必要とされている。

本報告では、ARS に起因したひび割れの進展について、ひび割れ計測システム KUMONOS(クモノス)(以下、KUMONOS とする。)を活用した計測事例について紹介する。

2. 新ひび割れ計測システム (KUMONOS)

(1) 遠方からコンクリート表面のひび割れ計測

世界で初めて、ノンプリズム光波測量器に同心円状のクラックスケールを内蔵し、光波測量器を用いて離れた場所からひび割れ幅・長さ測定を行う計測新技術である。さらに、全ての測点は 3 次元座標で電子データとして記録され、専用のソフトと CAD

ソフトを併用することで自動作図でき、測定データの再現品質の向上も期待できるシステムである。表-1 に距離別最小計測幅を示す。

例えば、ひび割れ幅 0.4mm なら 90m, 0.3mm なら 60m, 0.2mm なら 45m, 0.1mm なら 20m 離れていても高精度に測定可能である^{参考文献 1}。

表-1 遠隔から実際に計測幅

器械からの距離(m)	1.5	5	10	20
最小計測幅(mm)	0.007	0.022	0.044	0.088
器械からの距離(m)	40	60	90	100
最小計測幅(mm)	0.177	0.265	0.397	0.441

(2) 橋梁構造物のモニタリング技術として検討

KUMONOS の大きな特徴は、橋梁、ダム、トンネルなど近接目視が困難な箇所でも、離れた場所から調査可能で、測定者の安全を確保できることである。これによって、高所作業車や足場等の仮設費用も不要、作業員に伴う危険性の回避や交通への干渉もなく、経済性、効率性及び安全性に優れている。

実際の観測例として、A 橋の下部工 P3 橋脚を対象に表面ひび割れ観測を行った。表-2 に A 橋諸元と写真-1 に観測したひび割れ結果を示す。

表-2 A 橋諸元

建設年月	1997 年 (平成 9 年 2 月)
橋長	900m
有効幅員	9.75m
構造形式	コンクリート箱桁橋 (20 径間)
橋格	1 等級(TL20)
適用示方書	平成 2 年 道路橋示方書

キーワード ひび割れ計測システム, モニタリング,

連絡先 〒901-2126 浦添市宮城 5-12-11 本社 (株)中央建設コンサルタント E-mail: eruka@cyuo.co.jp

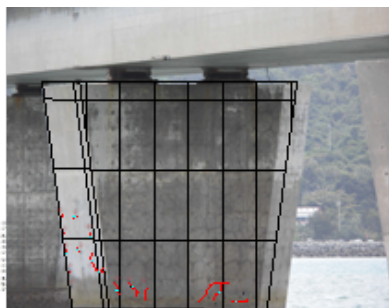


写真-1 A橋（下部工P3）ひび割れ結果

経過観察が必要な橋梁構造物のモニタリングに対して、従来の点検員による観測では、ばらつきが多く定量的な評価は困難なため、ひび割れの経時変化を把握しにくい状況がある。KUMONOSでは、測量器を用いてひび割れの位置・形状を測定し、CADで自動作図し必要に応じて編集もできることから、異なる観測員でも調査結果にばらつきが少ない、さらには、精度の向上と工程の短縮を図ることが可能となる。

このことから、KUMONOSを活用することで遠方でもひび割れ計測ができることが明らかとなり、点検員が異なる場合においても、ばらつきがないモニタリングの可能性が確認できた。

3. KUMONOSによるモニタリング基礎検討

(1). 目的

本章では、モニタリングの実証として、ひび割れが急速に進展しているASR試験体を用いて、ひび割れモニタリングの実証実験を行った。具体的には①急速膨張性・②遅延膨張性・③フライアッシュと3種類の骨材を混合した供試体を対象にモニタリング調査を行った。表-3に調査の概要を示す。

表-3 調査の概要

調査場所	琉球大学暴露試験場
調査期間	平成29年8月18日～ 継続中
調査回数	4回
試験方法	①目視による観察 ②KUMONOSによる観察
供試体	H60xW40xD40 (cm)

供試体の 骨材種類	① 急速膨張性
	② 遅延膨張性
	③ フライアッシュ

(2). 調査内容

本試験の方法として、最初にモニタリングの基本である目視観察による方法を用いた。その後、コンクリート供試体表面にひび割れが発生した場合に、KUMONOSによる観察を実施した。写真-2に調査様子を表す。



写真-2 調査様子

(3). 実施際の KUMONOS 作業手順

① 器械設置点の選定を行う。この際は、KUMONOSの幅計測能力・測量器のノンプリズム計測能力・気象条件・対象物の状況等を考慮して器械設置点を選定する。

② クモノスのモード（クラック・現況）選定
ひび割れを計測する際に、対象物の形状（壁面・平面・アーチ）に合わせてモードを選定する必要がある。

③ クラックケージを使用した幅計測
クモノスを視準しながら、同心円状に配置されたクラックケージ（目盛）をひび割れの方向に合わせてケージを重ねる。その際は、ひび割れの幅に一番近い太さのケージを選定してひび割れの幅を計測できる。

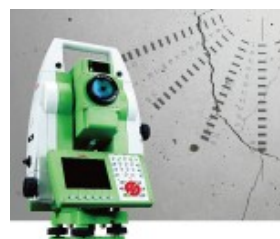


写真-3 KUMONOS ひび割れ測定器械

(4). 調査の結果

ASR によるコンクリート表面に発生するひび割れの進行を概ね 1 ヶ月間隔で経過観察としてモニタリングを実施している。

調査開始 8 月 18 日から 12 月 15 日間までの観察では、急速膨張性骨材を用いた供試体①でひび割れ発生が確認され、供試体②および供試体③ではまだひび割れの発生が確認されていない状態である。今回の調査まとめは、供試体①のみ対象に第 1 回から第 4 回までの計測結果となる。図-1 に供試体①の 4 回観測までのひび割れ進行を表す。

結果まとめは、3 次元データで記録された全ての測点を KUMONOS 専用ソフトと CAD で併用して供試体の形状およびひび割れ幅・長さを自動作図できた。

図-2、図-3、図-4 に供試体の東面・平面・西面のひび割れ発生状態図を示す。

- 第 1 回目の観測
- 第 2 回目の観測
- 第 3 回目の観測
- 第 4 回目の観測

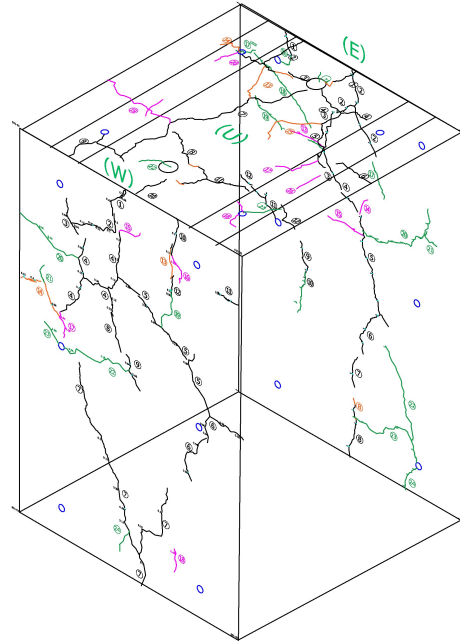


図-1 供試体①のひび割れ進行 3 次元図面

(4.1) 供試体のひび割れ発生状態

琉球大学暴露試験場
供試体：東面(East side)

第 1 回計測 平成29年8月18日・25日	第 2 回計測 平成29年10月02日	第 3 回計測 平成29年11月06日	第 4 回計測 平成29年12月15日
ひび割れ長さ L (mm)	ひび割れ長さ W (mm)	ひび割れ長さ L (mm)	ひび割れ長さ W (mm)
L=0.045m	0.04~0.20	-	-
L=0.180m	0.04~0.35	0.04~0.45	-
L=0.137m	~0.10	-	-
L=0.036m	~0.04	-	-
L=0.153m	0.04~0.10	-	-
L=0.115m	0.04~0.08	-	-
L=0.053m	~0.08	-	-
L=0.090m	0.04~0.25	L=0.101m 0.10~0.25	-
L=0.054m	0.04~0.10	-	-
L=0.032m	~0.04	-	-
L=0.074m	0.04~0.10	-	-
L=0.023m	~0.10	-	-
-	-	L=0.058m ~0.04	0.04~0.10
-	-	L=0.034m ~0.04	-
-	-	L=0.060m ~0.04	-
-	-	-	L=0.028m ~0.04
-	-	-	L=0.042m ~0.04
-	-	-	L=0.133m 0.04~0.08
-	-	-	L=0.061m 0.04~0.06
-	-	-	L=0.162m 0.04~0.10
-	-	-	L=0.133m ~0.04
-	-	-	L=0.141m 0.04~0.10
-	-	-	L=0.157m 0.04~0.08
-	-	-	L=0.050m 0.04~0.08

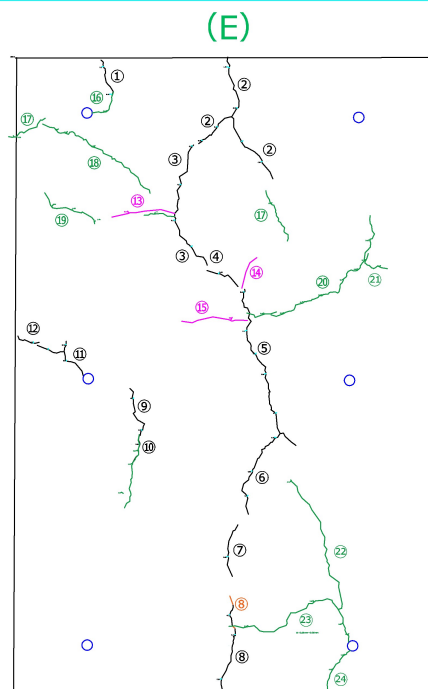


図-2 供試体①東面のひび割れ発生図

琉球大学暴露試験場
供試体：平面(Upper side)

第1回計測年	平成29年8月18日~25日	第2回計測年	平成29年10月5日	第3回計測年	平成29年11月5日	第4回計測年	平成29年12月15日
計	第1区 Oの浮動値 L (mm)	第2区 Oの浮動値 L (mm)	Oの浮動値 L (mm)	第3区 Oの浮動値 L (mm)	第4区 Oの浮動値 L (mm)	第5区 Oの浮動値 L (mm)	第6区 Oの浮動値 W (mm)
1	L=0.054m	0.15~0.20	L=0.162m	~0.35	-	-	~0.75
2	L=0.145m	0.04~0.25	L=0.173m	-	-	-	~0.30
3	L=0.040m	0.10~0.20	-	-	-	-	~0.25
4	L=0.098m	0.05~0.45	-	-	-	-	-
5	L=0.054m	0.04~0.20	-	-	-	-	~0.25
6	L=0.069m	0.04~0.15	-	-	-	-	-
7	L=0.335m	0.04~0.20	-	-	-	-	~0.30
8	L=0.087m	0.04~0.15	-	-	-	-	~0.20
9	L=0.134m	0.04~0.15	-	-	-	-	-
10	L=0.054m	0.04~0.45	-	-	-	-	~0.18
11	L=0.141m	0.04~0.25	L=0.170m	-	-	-	~0.50
12	L=0.062m	0.04~0.10	-	-	-	-	-
13	-	-	L=0.079m	-	-	-	~0.10
14	-	-	L=0.063m	-	-	-	~0.18
15	-	-	L=0.094m	-	-	-	~0.10
16	-	-	-	L=0.040m	~0.05	-	~0.10
17	-	-	-	L=0.063m	0.05~0.10	-	-
18	-	-	-	L=0.056m	~0.05	-	~0.10
19	-	-	-	L=0.184m	~0.04	-	~0.20
20	-	-	-	L=0.039m	~0.10	-	-
21	-	-	-	-	-	L=0.022m	~0.15
22	-	-	-	-	-	L=0.048m	~0.10
23	-	-	-	-	-	L=0.056m	~0.10

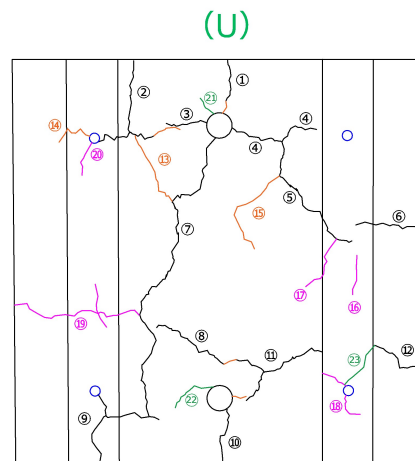


図-3 供試体①平面のひび割れ発生図

琉球大学暴露試験場
供試体：西面(West side)

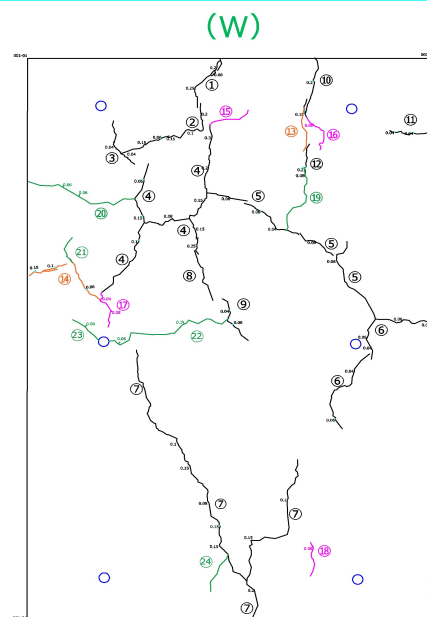
[illegible]

図-4 供試体①西面のひび割れ発生図

4.まとめ

KUMONOS 新ひび割れ計測システムを用いて次の結果を得た.

① 足場等の仮設を用いず遠方から安全に橋梁下部構造の表面ひび割れが計測可能であった。

② 経過観察が必要な構造物に対して短時間で高精度のひび割れ幅・長さデータを取得可能であり、モニタリング技術として活用できると考える。

③ 全ての計測点を3次元座標データで記録し、専用ソフトとCADを併用して自動作図が可能となった。さらに、継続観察した累加データは自由に追加し編集も可能である。このことから、計測する点検員の主観及び経験に頼らず、写真と整合を

はかったひび割れ形状の視覚化，及び，ひび割れの定量化を図ることが可能となった．

今後は異なる環境下におけるひび割れの進展の
定量比較や，効率的かつ効果的な抑制対策につな
がる精度評価手法について，継続して調査研究を
行いたい。

参考文献

1. KUMONOS CORPORATION クモノス新ひび割れ
計測システム技術概要説明 カタログ
2. 社会資本の老朽化対策の政府方針への位置づけ 参
考資料-1

薄板モルタル供試体による沖縄県の塩害環境の定量評価に関する基礎研究

琉球大学 ○八神孝佑，富山潤，藍檀オメル，須田裕哉，砂川恒雄
アール・アンド・エー 風間洋，沖縄建設技術センター 比嘉正也

1 はじめに

塩害環境下のコンクリート構造物に対して適切な耐久設計と維持管理を行うためには、塩害環境の定量評価が重要である¹⁾。本研究では、飛来塩分の多く供給される冬季に着目し、薄板モルタル供試体による沖縄県の塩害環境調査を行い、塩害環境の定量評価に関する検討を行った。

2 暴露試験

(1) 薄板モルタル供試体²⁾

本研究では、塩害環境調査に市販の薄板モルタル供試体(4.0×4.0×0.5cm)を用いた(W/C=60%)。薄板モルタル供試体は設置に特殊な機材や技術が必要なく容易に設置・回収ができ、台風時にも特別な処置を行わなくても良い点が特徴である。

(2) 暴露位置及び暴露期間

薄板モルタル供試体の暴露位置は、沖縄本島の3カ所、離島の宮古島1ヶ所の合計4カ所の暴露試験場と沖縄本島9橋梁、離島の宮古島1橋梁の合計10橋梁とした(図-1参照)。また、表-1に暴露期間を示す。

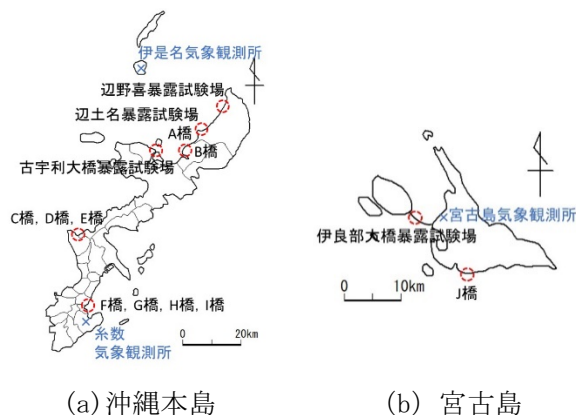


図-1 暴露位置

表-1 暴露試験箇所

市町村	暴露箇所	暴露期間
国頭村	辺野喜暴露試験場	2016/12/2~2017/4/6
国頭村	辺土名暴露試験場	2016/12/2~2017/4/6
名護市	古宇利大橋暴露試験場	2016/12/2~2017/4/6
宮古島市	伊良部大橋暴露試験場	2016/12/6~2017/4/6
国頭村	A 橋	2016/12/2~2017/4/6
大宜味村	B 橋	2016/12/2~2017/4/6
読谷村	C 橋	2016/12/3~2017/4/6
恩納村	D 橋, E 橋	2016/12/2~2017/4/6
西原町	F 橋, G 橋, H 橋, I 橋	2016/12/2~2017/4/5
宮古島市	J 橋	2017/1/6~2017/4/6

(3) 塩分量分析方法

薄板モルタル供試体回収後の塩分量解析は、乾燥機で乾燥させ、粉砕機で粉末試料とした。JCI-SC5に基づき薄板モルタル供試体中に含まれる塩化物イオン濃度を分析した。

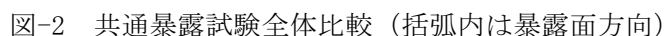
3 調査結果と考察

(1) 全体比較

図-2に暴露試験全体の比較を示す。なお、浸透塩化物イオン濃度については、暴露期間で除した日平均浸透塩化物イオン濃度(kg/m³/day)で表示した。道路橋の塩害対策指針(案)・同解説³⁾によると、沖縄県は塩害環境地域区分Aとされるが、図-2の結果より、沖縄県内においても塩害環境が大きく異なることがわかる。また、この結果から薄板モルタル供試体による塩害環境調査が可能であることが示された。

キーワード：塩害環境，薄板モルタル供試体，表面塩化物イオン濃度

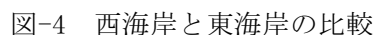
連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科，E-mail e135304@eve.u-ryukyu.ac.jp



暴露試験を行った4カ所の暴露試験場は、海岸の種類が異なる。また、暴露面の方向や海面からの高さ（標高）も異なることから得られた結果だけを単純に比較することはできないが、同一期間の塩害環境調査という点に着目し、4暴露試験場の比較を行った。図-3に暴露試験場ごとの比較を示す。図-3から4暴露試験場は塩害環境が異なることがわかる。その要因として、海岸の種類、暴露面方向、標高、風向・風速などが挙げられる。



比較に用いた箇所は、海岸線に建設された橋梁とし、西海岸に位置する 5 橋(A～E 橋)と東海岸に位置する 1 橋(F 橋)とした。その結果を図-4 に示す。沖縄は、冬季の卓越風は北よりの風で、風速も強い風況である。この結果は、この卓越風が強く吹き付けた際に生じる波の影響を受け、東海岸に比較し、西海岸では多くの塩分の供給量があった結果をよく評価していると考えられる。



- (1) 暴露試験の結果より、沖縄県各地域で塩害環境が大きく異なることが定量的に示され、薄板モルタル供試体により塩害環境調査が可能であることが示された。
- (2) 4 暴露試験場の塩害環境が異なることが確認できた。塩害環境の異なる要因については今後検討する。
- (3) 冬季は、北よりの風が卓越するため、沖縄県では東海岸に比較し、西海岸が塩害環境は厳しいことも定量的に示された。

- 1) 土木学会：土木学会塩害環境の定量評価に関する研究小委員会(348 委員会)報告書, コンクリート技術シリーズ, 2015.
- 2) 佐伯竜彦, 竹田光明, 佐々木謙二, 嶋毅：飛来塩分環境の定量評価に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol. 66, No. 1, pp. 1-20, 2010. 1
- 3) 社団法人日本道路協会：道路橋塩害対策指針(案)・同解説, 1984. 2

振動特性を用いた土木構造物の健全性評価に関する研究

○琉球大学 村松蒼, 藍檀オメル, 渡嘉敷直彦, 富山潤, 須田裕哉, JPOWER 柏柳正之, 鳥羽瀬孝臣

1. はじめに

日本では高度経済成長期から多数の土木構造物が建設され、維持管理の重要性が高まっている。土木構造物の維持管理を行う際には、破壊試験と非破壊試験の2種類の手法が存在する。非破壊試験は構造物に損傷を与えず、繰返し行うことができ、効率良く維持管理を行うためには土木構造物に適した非破壊試験による健全性評価が必要である。

本研究では土木構造物を対象に長期的な計測を実施し、振動特性を用いて加速度計や常時微動計測器の計測結果と建設用 FEM 構造解析ソフトウェア(midasFEA)を用いた有限要素解析による固有振動数の比較を行う。また、解析的な検討を行うことで地下構造物の地震時挙動の把握、土木構造物に適した健全性評価法の開発を目的とする。この研究のもう一つの目的は地震時に地下と地表面における強震特性の違いを検討することである。さらに、地下構造物に利用されているロックボルトや、ロックアンカーの健全性を非破壊試験法で検証する。

2. 沖縄やんばる海水揚水発電所概要

本研究では沖縄県国頭郡国頭村にある沖縄やんばる海水揚水発電所を対象に計測を実施した。

沖縄やんばる海水揚水発電所は海水を使用した世界で唯一の揚水発電所である。(写真-1) 地上1階の標高が132mで地下4階の標高が約-20m、総貯水容量 $0.59 \times 10^6 \text{m}^3$ 、最大流量 $26 \text{m}^3/\text{s}$ 、最大出力 30MW である。

建設サイトは太平洋に面し、その地盤は千枚岩を中心とした堆積岩で形成されており、サイト周辺地形は台地状をなし、上部貯水池は海岸から水平約 600m、標高約 150m のこの台地上に設けられ



写真-1：沖縄やんばる海水揚水発電所



写真-2：沖縄やんばる海水揚水発電所の構内

ている。水圧管路の大部分を占める直管部には FRP (Fiberglass Reinforced Plastic Pipes) が使用され、曲管部は電気防食を施した鋼管となっている。発電所は、地下 150m に位置し、幅 16m、高さ 32m、長さ 40m の空洞内に設けられている。(写真-2)

3. 計測概要

3.1. 加速度計測

地震時に地下と地表面における強震特性の違いを検討するため、加速度計はポータブルタイプを使用し、トリガーモードに設定して計測を行った。(写真-3) 計測に用いた加速度計は対象構造物の地上1階、地下1階、地下4階の計3か所に合計4つ設置した。(図-1)

キーワード 固有振動数、有限要素法、健全性評価、振動特性、加速度

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学 E-mail : e145334@eve.u-ryukyu.ac.jp

3.2. 常時微動計測

短期計測として常時微動計測を実施した。(写真-4) 常時微動とは常に動いている地面のわずかな揺れのことである。常時微動を測定することにより、その構造物や地盤の揺れやすさの特徴が分かる。

常時微動計測器は水平2成分、鉛直1成分の計測が可能でCH1：長軸方向、CH2：短軸方向、CH3：鉛直方向とした。計測場所は地上1階6か所、地下4階2か所、対象構造物の上池2か所の計10か所である。

3.3. 多重パラメーター計測

多重パラメーター計測とは AE、変位、温度、湿度、気圧、CO₂を計測することが可能な観測システムである。対象構造物の放水口連絡トンネルに設置した。(図-2)



写真-4：B1Fにおける常時微動計測

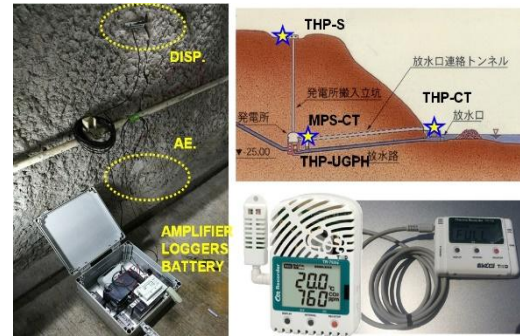


図-2：多重パラメーター計測システムと設置位置

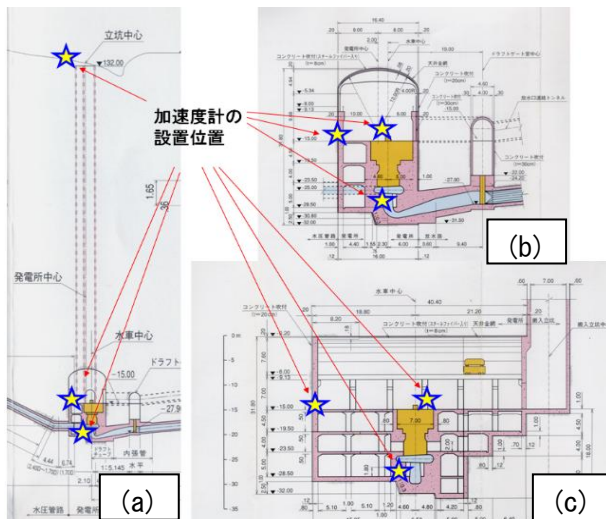


図-1：加速度計の設置位置

(a) 立坑の断面図 (b) 発電所の横断面図
(c) 発電所の縦断面図

4. 計測結果と考察

現段階で、加速度、多重パラメーター計測、常時微動計測を開始した。図-3に2017年12月15日に地表面で記録された加速度記録を一例として示す。今後も引き続き計測を行う。

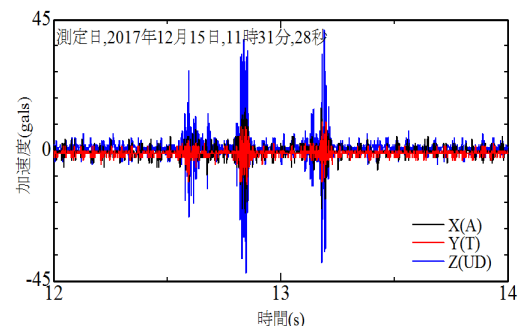


図-3：加速度計測記録

5. まとめ

現段階で一連の調査・計測および解析を継続しており、引き続きでデータの蓄積を行う。今回のような統合した調査・計測・解析的な手法は土木構造物の維持管理および地震時の応答・安定性に関して、大変有効的な手段となることが期待される。

参考文献

1) 藍檀オメル(2011):既設水力岩盤構造物の安定性評価に関する基礎的研究、名古屋産業科学研究所



写真-3：加速度計の設置状況

Session 2 :整備・計画関連

街路の駐車機能に関する都市間比較

北海学園大学 正会員 堂柿栄輔, 足利市 正会員 松山将之

東海大学 正会員 梶田佳孝, 足利工業大学 正会員 藤島博英, 足利工業大学 正会員 築瀬範彦

1. 研究の動機と目的

本研究では時間制限駐車区間での駐車特性を札幌と東京(新橋)で調査し, その利用行動の違いを示した。都市内での路外及び路上駐車施設は, 路外については附置義務駐車施設(駐車場法第4条), 都市計画駐車場(都市計画法), 届出駐車場があり, 路上については自動車駐車場(道路法第2条), 路上駐車場(駐車場法第4条)及び時間制限駐車区間(道路交通法第49条)がある。ここで時間制限駐車区間ではパーキング・メーター及びパーキング・チケットにより駐車を管理する。

2. 調査

(1)調査の方法

調査の方法はプレート式連続調査である。信号管理されている交差点間(約100m)の片側を1単位道路区間として調査員を配置した。この調査方法は, 路側に駐停車する自動車の駐車開始時刻や終了時刻, 車種, 目的等を調査員の継続的な目視により記録するものである。記録には予め作製した調査票を用い, 調査員一人に対し30m～50m程度の区間に駐停車する最大6～7台の4輪自動車の駐停車特性を記録する。

(2)調査概要

調査概要を表-1に示す。調査は2017年4月～7月の平日に行った。調査地区は東京は新橋二丁目, 札幌市は中央区北1条である。観測数は新橋二丁目が144台, 札幌市が586台である。時間制限駐車区間での駐車管理方法は, 新橋地区はパーキング・メーター, 札幌市はパーキング・チケットであり, 手数料は両地区とも300円/時間である。両地区街路の状況を写真-1及び写真-2に示す。沿道地区の

延べ床面積等は測っていないが, 市街地密度はかなり異なる。また新橋地区では目視の範囲で周辺に路外駐車場は確認できなかった。

表-1 調査概要

項目	東京(新橋)/札幌(中央区)
調査方法	プレート式連続調査
調査日	2017年4月～7月平日
対象地域	新橋二丁目/中央区北1条
観測数(台)	東京 144/札幌 586

表-2 主な記録項目

項目	内容
駐車時間	到着と発時刻の記録
目的	駐車の目的 (業務, 配達等8分類)
車種	車種分類 (乗用, トラック等8分類)
アイドリング	アイドリングの有無
荷捌き程度	荷扱いの程度 (量により3分類)
放置非放置	放置と非放置の区別



写真-1
新橋二丁目

写真-2
札幌市中央区



キーワード 路上駐車, 都市比較, 駐車機能

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

Tel 011-841-1161(内線 7733) E-mail dohgaki@cvt.hokkai-s-u.ac.jp

3. 分析

(1) 駐車行動の分類

駐車行動を「(A)標示線(枠)の利用」と「(B)手数料の支払い行動」により4分類し集計値を図-1に示す。

①最も大きな特徴は、「一般駐停車」の割合の違いである。「一般駐停車」は標示線(枠)以外の路側での駐停車であり、手数料の支払いを伴わない。この割合は新橋の24.3%に対し、札幌では60.9%である。時間制限駐車区間では、道路交通法(以下法)上の駐(停)車禁止区間外に標示線(枠)(写真-3)を設定するが、例えば交差点内等の駐停車禁止区間での路上駐車はまれではなく(写真-4)、これらは一般駐停車となる。この割合が札幌では新橋の2.5倍である。これらはほぼ全てが駐(停)車禁止区間での駐車行為である。

②次に大きな差は「枠内不払い」の割合であり、新橋ではこの割合が札幌の3倍である。枠内不払いは、手数料の支払いと伴わない標示線(枠)の占有である。この駐車は5分以内であれば合法である。

③「枠内繰り返し」は標示線内の駐車で、手数料を繰り返し支払い支払う駐車である。この駐車は厳密には違法行為である。その理由は、道路交通法での時間制限駐車区間の設置は、短時間の駐車に対応するものだからである。図-1での新橋のこの割合は6.9%であり問題が無いように見えるが、同様の集計を台分単位で行った結果を図-2に示す。この結果新橋では手数料の繰り返しの支払い駐車が最も大きな割合35.7%を占めることがわかる。図-1での6.9%は10台であるが、この10台の駐車時間の合計は2270分であり、平均227分(3.8時間)の駐車時間である。新橋地区では観察できる範囲に路外駐車場はなく、必要に迫られた長時間駐車への対応の結果であろう。

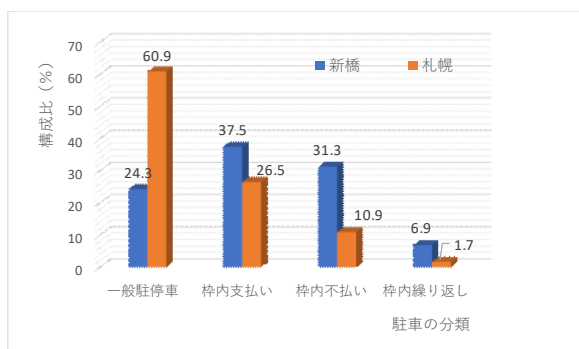


図-1 駐車の種類と構成比



写真-3

標示線(枠)

写真-4

交差点内駐車

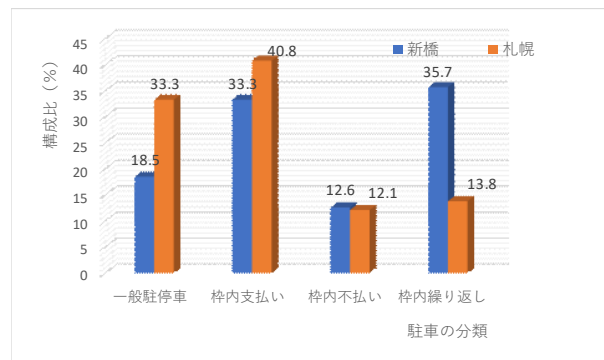


図-2 台分単位による路側の占有

(2) 駐車時間の統計値

駐車行動の4分類について、新橋と札幌の平均駐車時間の比較では「一般駐停車」及び「枠内不払い」の駐車時間の違いが特徴的である。ここで新橋での一般駐停車の平均駐車時間15.6分に対し、札幌は33.7分であった。札幌のこの値は「枠内支払い」の平均駐車時間39.2分に近い値である。特に毎日の繰り返しである業務交通では駐車時間や非放置駐車に対する取り締まりの実情を心得ており、それに対応した行動の結果と考えられる。また地方都市では手数料支払いに対する抵抗も大きい。

4. まとめと課題

時間制限駐車区間は法に示されるものであり、その点で全国一律である。一方大都市及び地方では路上に求められる駐車機能は異なり、時間制限駐車区間も運用方法の工夫も必要であろう。

沖縄の物流活性化に向けた取組について

伊波 和輝・名嘉 康行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）

中国をはじめとするアジア地域は、世界における生産拠点・消費拠点として急速に経済成長している。日本と東南アジアの中間に位置する沖縄は、国際物流産業の集積による新たな産業振興の好機を迎えている。このような状況を踏まえ、今回、効率的・効果的な国際物流体系の構築に向けた戦略を検討している、沖縄国際物流戦略チームの取組を紹介する。沖縄の物流活性化に向けた関係者による検討会、「沖縄の国際物流戦略に関する提言」の改訂、沖縄国際物流セミナーの開催、今後の取組について報告する。

キーワード 沖縄国際物流戦略チーム、国際物流、シームレス物流

1. 沖縄国際物流戦略チームについて

沖縄国際物流戦略チーム（以下、「戦略チーム」と記す）は、2007年3月、国土交通省が策定した「総合物流施策大綱(2005-2009)」（2005年11月15日閣議決定）を踏まえ、沖縄の自立型経済の構築に寄与するため、効率的・効果的な国際物流体系の構築に向けた戦略を検討することを目的に設置された。

経済団体、物流関係団体、行政関係者を構成メンバーとし、沖縄県商工会議所連合会及び沖縄総合事務局開発建設部が事務局となり、毎年、関係者による検討会を開催して、各主体による取組事項の進捗確認や意見交換を行ってきた。

2008年2月には、「沖縄の国際物流戦略に関する提言」（以下、「提言」と記す）をとりまとめ、那覇港、中城湾港、県全体の3本柱で構成される施策目標を掲げた。

那覇港では、国際物流拠点の形成を目標に、輸出入手続きの簡素化等の港湾サービス機能の充実や港湾・空港が一体となった物流拠点の形成、海外航路の就航に向けた作業チームの設立等を掲げた。

中城湾港では、流通加工港湾の実現を目標に、官・民一体となった新港地区への企業誘致、ハード・ソフト両面における「産業支援港湾」としての機能強化、定期航路の就航に向けた社会実験等を掲げた。

県全体では、物流ネットワークの強化を目標に、港湾・空港へのアクセス道路の整備促進、離島港湾の機能拡充、那覇空港における国際航空貨物の需要増大への対応等を掲げた。

2. 関係者によるこれまでの取組

2008年2月の「提言」とりまとめ以降、関係者によって様々な取組が進められた。那覇港では、ガントリークレーン等の増設による荷役作業の効率化、「片荷」解消に向けた社会実験（那覇港輸出貨物増大促進事業）の実施、台湾港務株式会社（TIPC）とのパートナーシップ港に関する合意書（MOU）の締結、それを契機とした民間事業者によるシームレス物流が実現した。



写真1. 台湾での走行状況（琉球海運（株）より提供）

中城湾港では、企業ニーズに対応して、国際物流拠点産業集積地域における賃貸工場の増設や港湾内の上屋整備、鹿児島航路及び先島航路の開港、新港地区東ふ頭が一部供用開始した。現在、同港においては、立地企業数が大幅に増加（2008年4月：117社→2016年7月：221社）¹⁾し、また、定期航路の就航により取扱貨物量が増加している。



写真2. 中城湾港新港地区東ふ頭岸壁の暫定供用式

沖縄県全体では、沖縄国際航空物流ハブの供用開始や新石垣空港の開港、臨港道路空港線・那覇西道路（那覇うみそらトンネル）の供用開始等により物流ネットワークの充実がなされた。那覇空港の貨物取扱量は、2008年の935トンから2016年には約17万トンに大幅増加した²⁾。

各関係者による上記の取組が実施される中、沖縄県は、2015年9月17日に「沖縄県アジア経済戦略構想」を策定し、沖縄21世紀ビジョン関連施策を補完・強化し、沖縄の発展を加速させるための具体的な戦略を示した。

3. 新たな物流戦略の検討

(1) アジア地域の経済成長

県内において関係者による取組が進められる一方、中国をはじめとするアジア地域は、世界における生産拠点・消費市場として急速に経済成長しており、日本本土と中国・東南アジアとの中間地点に位置する沖縄は、国際物流関連産業の集積による新たな産業振興の好機を迎えている。

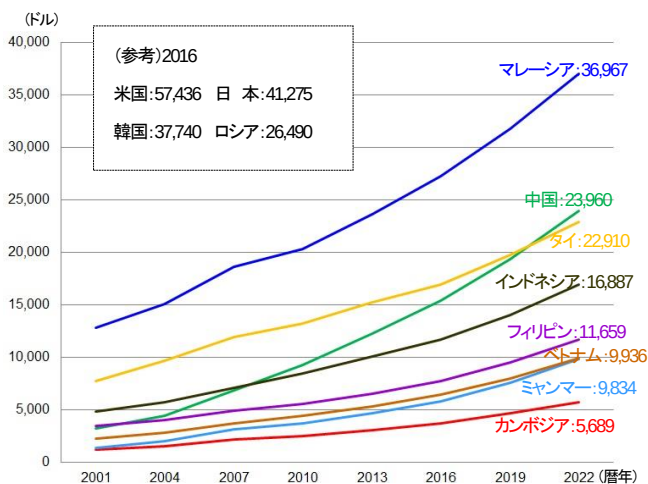


図1. アジア各国における1人当たり購買力平価GDPの推移(2001～2022年)³⁾

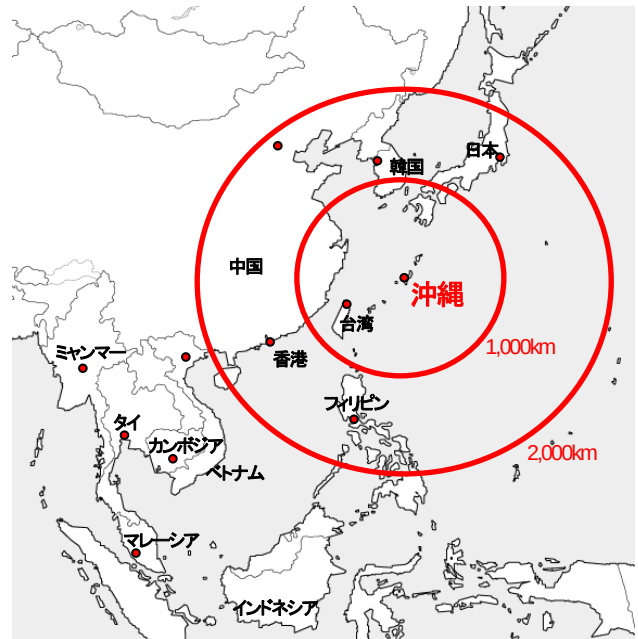


図2. 沖縄と周辺国・地域の位置関係

(2) 関係者による検討会の開催（幹事会）

2016年、戦略チームは、関係者による取組の進捗及び沖縄周辺を取り巻く環境の変化を踏まえ、2008年に策定した「提言」を見直し、新たな戦略を盛り込むための検討を開始した。

沖縄の国際物流に関する課題や対応策を検討するため、戦略チームの下に実務者による幹事会を設置、計3回の検討会とその後の事務調整を通して、課題の洗い出しや現行「提言」の見直し、新たに盛り込むべき戦略について検討を重ねた。

第一回幹事会では、現行「提言」のレビューと沖縄の国際物流を取り巻く新たな動きや課題、今後の方向性について意見交換を実施した（10/21）。

第二回幹事会では、第一回幹事会における主要意見と対応の報告を行い、幹事会委員の意見を反映させた「提言」の骨子（案）について検討した（11/22）。

第三回幹事会では、新たな「提言」（案）の内容について意見交換を行い、本会合の開催までに提言内容に関する調整と情報共有を関係者間で図ることを確認した（12/19）。



写真3. 実務者による検討会（幹事会）の様子

(3)本会合の開催

2017年3月8日、第12回沖縄国際物流戦略チーム本会合を開催し、実務者による検討（幹事会）を経て作成された、「提言」の変更案について意見交換を行った。その結果、全会一致で承認され、「沖縄の国際物流戦略に関する提言【改訂版】」として策定されることとなった。



写真4. 沖縄国際物流戦略チーム本会合の様子

4. 「沖縄の国際物流戦略に関する提言【改訂版】」

今回、改訂された「提言」は、関係者による各取組事項に時間軸を設定することで、「提言」の具現化に向けた目標を明確にした。

また、前回「提言」で掲げた、那覇港、中城湾港、県全体の取組事項を更新するとともに、新たな戦略として「新たな潮流を捉えたウチナーの可能性発掘」を追加し、4本柱で構成される施策目標を示した。

アジア諸国との新たな物流を構築するため、那覇港では、国際物流ネットワークの充実に向けたシームレス物流の活用、国内外発着貨物の仕分け・流通加工を行うことができる那覇港総合物流センターの整備促進等を明記した。



写真5. 那覇港総合物流センターの整備状況⁴⁾

中城湾港では、海外輸出を視野に入れた高付加価値産業の立地促進・既存立地企業を支援するためのインフラ整備の推進、大都市圏を結ぶ定期航路の開設に向けた取組等を明記した。

県全体では、港湾・空港へのアクセス道路及びハシゴ道路等の整備、本島北部及び離島港湾の機能拡充による生活利便性の確保、物流ネットワークの拡充が期待され

る那覇空港第2滑走路の供用に向けた対応を明記した。

新たな物流戦略では、Sea&Air輸送の推進や農産品等のアジアへの輸出強化、中古自動車等の輸出拠点の形成、海底資源開発に資するネットワーク形成の4項目を取組事項として明記した。

新たな物流戦略のうち、Sea&Air輸送や海底資源ネットワークの形成については、今後、実現に向けた関係者による具体的な検討・取組を進める必要がある。

農産品の輸出は、2017年2月に沖縄県が海上コンテナを利用した県産野菜の香港への試験輸送を開始しており、海外市場における県産野菜の競争力強化に向けて、今後も取組が継続される予定である。

中古自動車の輸出は、2016年に沖縄県が実証事業を開始し、中城湾港では、300台を超える中古自動車が自動車専用船でスリランカまで輸出された。農産品の輸出と同様、2017年以降も継続して実施される見通しである。

	津梁貿易 三井倉庫 オリックス自動車	ECL エージェンシー	Pride
仕向地	・スリランカ ・バルバトス ・パキスタン ・モーリシャス	・スリランカ	・ミャンマー ・ニュージーランド ・カメルーン
輸出台数	44台	323台	15台
輸送形式	コンテナ輸送	PCC 自動車専用船	コンテナ輸送
車種・種類	小型車	小型車	小型車 軽トラック
出港場所	那覇港	中城港	那覇港

図3. 沖縄県が実施した中古自動車輸出事業の概要⁵⁾

5. 沖縄国際物流セミナーの開催

2017年3月21日、戦略チームは、新たな「提言」の内容と沖縄の国際物流に関する現状と課題、将来展望を広く一般に共有することを目的に、沖縄国際物流セミナーを開催した。



写真6. 沖縄国際物流セミナーの様子

講師として、神戸大学大学院海事科学研究科の竹林幹雄教授、琉球海運(株)の寺内昌弘特別顧問、(株)MOL JAPANの中村純也執行役員を招き、各分野における物流に関する話題と沖縄の国際物流を活性化させるため取組や情報について講演頂いた。



写真 7. セミナー参加者の様子

セミナーでは、神戸大学大学院の竹林幹雄教授が「国際物流における沖縄のこれから」と題して基調講演を行い、東南アジア地域をターゲットとしたコールドチェーンの構築やMRO物流拠点の可能性について講演を行った。

琉球海運(株)の寺内昌弘特別顧問は、「世界を繋ぐ那覇港－21世紀の万国津梁－」と題して、琉球海運(株)が2016年6月に開始した日台シームレス物流の開設背景や現状の課題、「万国津梁」に向けた取組を紹介した。

(株)MOL JAPANの中村純也執行役員は、「沖縄から世界に広がる海上輸送サービス」と題して、那覇港を起点とした輸出入コンテナの輸送拡大を目的とする県内企業との業務提携(2014年12月)、台湾高雄経由による全世界への国際コンテナ航路サービスについて講演を行った。

特に、竹林教授の基調講演では、東南アジア地域をターゲットとしたコールドチェーンを構築するためには、沖縄県下・近隣の高価値産品(特に農水産品)を取り込むことや新たな「沖縄・南九州ベース」の物流回廊を構

築すること、亜熱帯気候に属する沖縄の輸送技術確立が、東南アジア地域への技術導入にも寄与する可能性が紹介された。また、新たな需要を生み出す産業の一例としてMRO産業を挙げ、関連部品産業や物流への必然的な刺激、今後のメンテナンス需要の増大、人材の確保等に関する情報提供があり、沖縄におけるMRO物流拠点の可能性について新たな提案がなされた。

各講演の後には、講師に対して参加者からの質問が上がり、沖縄の物流に関する高い関心が確認された。

6. 今後の取組

沖縄国際物流戦略チームは、2007年3月の設立以降、これまで約10年にわたり、関係者による物流戦略の検討、提言事項の取組や一般向けのセミナー開催等を行ってきた。

2017年3月に改訂した「提言」は、沖縄の物流戦略を各主体が「協働」して取り組むこととしており、戦略チームのメンバーはもとより、沖縄全体が一致団結して実現化に向けて取り組んでいくことが重要である。

また、「提言」の取組事項は、短期的なものから中長期的に検討するものまで様々あることから、関係者による取組の進捗状況について、今後もフォローアップしていくとともに、セミナーの中で示された新たな需要を生み出す産業の誘致に向けた検討、県民意識の醸成を図るため、引き続き取組を進めていく。

参考文献

- 1) 中城湾港新港地区雇用状況等調査レポート：中城湾港開発推進協議会,2016年12月発行
- 2) 那覇空港貨物取扱量推移表(速報)：沖縄地区税関 HP,2017年
- 3) World Economic Outlook Database：国際通貨基金(IMF),2017年4月
- 4) 那覇港だより第18号：那覇港管理組合,2017年4月発行
- 5) 平成28年度国際物流関連ビジネスモデル創出事業(中古車輸出ビジネスモデル実証事業コンサルティング業務)報告書：沖縄県商工労働部アジア経済戦略課,2017年1月発行

レンタカープローブによる 観光交通の流動について

米須 俊彦¹・玉城 瀬里香²

¹沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第一課長 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町2丁目8番14号)

²沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第一課係員 (〒900-001 沖縄県那覇市港町2丁目8番14号) .

平成27年度において、沖縄県における日本人観光客数は過去最高の約790万人となった。また、外国人観光客数も近年急激に増加している。それに伴い、外国人観光客のレンタカーによる事故が増加傾向にある。一方、外国人観光客またはレンタカー利用者の周遊行動、外国人観光客の危険挙動については現在詳細な研究が行われていない。そこで本研究では、ドライブレコーダーを活用した調査結果から、沖縄県の観光周遊行動やレンタカー利用者の危険挙動を確認することにより、今後の沖縄観光の課題を把握することを目的とする。

キーワード ドライブレコーダー、レンタカー、観光周遊行動、外国人観光客、危険挙動

1. 背景と目的

(1)背景

日本有数の観光地となっている沖縄県では、入域観光客数は年々増加傾向にあり、平成28年度は過去最高となる約877万人であった。また、外国人観光客数は、5年間で約7倍と急激に増加している(図-1)¹⁾。

沖縄観光の主な交通手段の1つであるレンタカーは、車両数及び事業者数が増加傾向(図-2)となっている²⁾。それに伴い、外国人観光客の事故率は増加傾向にあり、日本人に比べ約3倍以上と言われている³⁾。

一方、沖縄県は毎年観光統計実態調査を実施しているが、観光周遊ルートや訪日外国人観光客に関する調査があまり行われていない。また、道路交通センサスOD調査⁴⁾では、訪日外国人観光客およびレンタカー利用者は調査対象外となっており、観光の実態が把握できていない。さらに、外国人観光客の危険挙動については、現在詳細な研究が行われていないのが現状である。

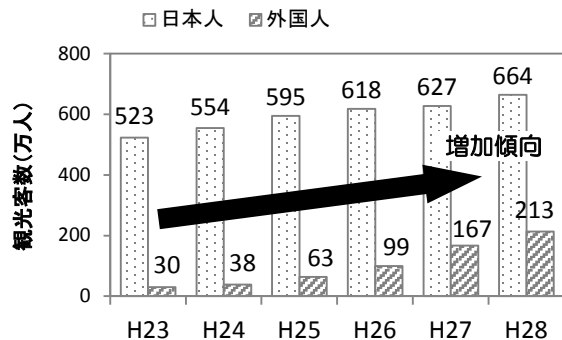


図-1 沖縄県の観光客数（日本人・訪日外国人）の推移

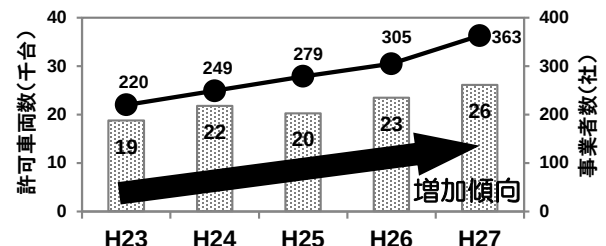


図-2 沖縄本島の許可車両数・事業者数（レンタカー）の推移

(2)目的

本研究は、GPS機能および加速度計測機能を有するドライブレコーダーを活用することで、訪日外国人を含む沖縄県の観光周遊行動および危険挙動について調査・分析を行ったものである。

なお、本調査は株式会社トータルフリートサービスが提供する「車録」のドライブレコーダーを活用した。

2. 調査概要

本調査は、観光目的での利用が多いレンタカーを対象とした。なお、調査実施にあたり、県内の大手レンタカー会社に協力を依頼し、調査専用車両を確保した。また、調査を円滑に進めるため、各車両に対してドライブレコーダーを事前に設置することとした(図-3)。

本調査は、位置情報や属性等の個人情報を取り扱うため承諾書を作成し、調査協力者に署名を頂くこととした。なお、外国人観光客も調査の対象としていたため、案内ポスターおよび案内チラシ、承諾書については、日本語版に加え外国語版も作成した(図-4)。本調査の期間中は、台湾の大型連休と重なり多くの台湾人の来訪が想定されたため、外国語版は台湾で主に使用されている繁体字を採用した。

調査概要を表-1、表-2、表-3に示す。



図-3 ドライブレコーダーの設置状況



図-4 案内ポスター (左図：日本語、右図：繁体字)

表-1 調査概要

項目	内容
調査日時	H27.10.21~H27.11.20(1ヶ月) 11:00~15:00(4時間) ※平成27年度道路交通センサス調査と同時期に実施
調査対象	レンタカー利用者(日本人・外国人の観光客)
調査箇所	レンタカー会社営業所内
調査員数	調査員：1名(日本語と台湾語・英語等を話せる者を配置) 監督員：1名
調査方法	ドライブレコーダーをレンタカーに設置し、観光周遊行動等を把握

表-2 取得データ

取得方法	取得内容
アンケート	貸出日・返却日、総走行距離、乗車人数、移動目的、 属性(性別、年齢、職業、居住地) ※道路交通センサスの調査項目に準じて設定
ドライブ レコーダー	出発・到着場所(トリップ別)、出発・到着時間(トリップ別)、 走行経路、走行速度、急加減速位置、走行状況の動画(急 加減速を行った場合のみ)

表-3 調査手順

手順	内容
①依頼	レンタカー利用の観光客に調査協力依頼 協力者に対して、以下の対応を実施
②手続き	・アンケート記載 ・データ取得の承諾(承諾書にサイン) ・ドライブレコーダーの使用方法的説明 ・ノベルティ(扇子・ハンドタオル)の配布
③データ取得	レンタカーで沖縄を周遊
④分析	レンタカー返却後、データを回収し分析

※通常のレンタカー貸出し対応はレンタカー会社が扱い、上記内容は本調査員が対応

3. 調査結果

(1) サンプル数

取得した全 150 サンプル中、走行履歴を取得できた有効サンプルは 142 サンプルであった(表-4)。主な欠損理由は、SD カードの入れ忘れやドライブレコーダーの電源が抜かれていた事によるものである。

表-4 サンプル数

	日本	台湾	香港	韓国	その他	合計
総サンプル数	69	43	31	3	4	150
有効サンプル数	65	41	29	3	4	142

(2) 回答者属性

年齢は 30 歳代が最も多く約 4 割であった(図-5)。また、居住地別では日本が最も多く約 5 割、台湾が約 3 割であった(図-6)。

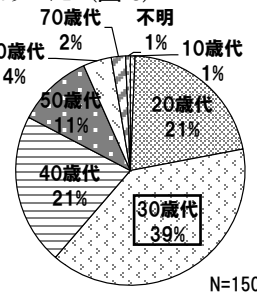


図-5 年齢

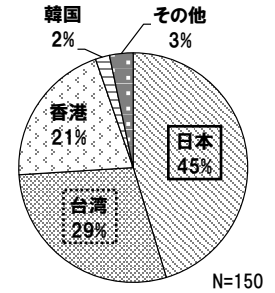


図-6 居住地

(3) トリップの特徴分析

トリップに関する調査結果を以下に示す。なお、トリップとは、起点から最初の目的地までの 1 つの交通を表す。本調査においては、起点を出発してから、レンタカーのエンジンを停止(GPS 記録が停止)した場所までを 1 トリップとカウントし、GPS 位置データから場所を特定した。特定方法は、位置データの最終地点周辺で目的地となり得る施設を設定した。なお、連続したトリップのうち、駐車場等において短時間の停車と判断できるものに関しては、まとめて 1 トリップとした。

a) 総トリップ数

総トリップ数は、日本人の平均 15 トリップに比べ、外国人は平均 21 トリップと多い。また、1 日あたりのトリップ数は、日本人と外国人で大きな差はなく、平均 5 トリップという結果となった(表-5)。

表-5 トリップ数

	総トリップ数		1日あたりのトリップ数	
	日本人	外国人	日本人	外国人
平均	15	21	5	5
最大	39	44	12	13
最小	3	4	1	1

b) 観光地別訪問数・滞在時間

トリップ毎の目的地から、観光地別訪問数および観光地別滞在時間について確認を行った。なお、滞在時間は GPS 位置データに付随する時刻から滞在時間を集計した。

観光地別訪問数は、日本人、外国人ともに沖縄美ら海水族館の訪問者数が最も多い。また、日本人は首里城等の主要観光施設への訪問数が多く、平均滞在時間も長いことから、主に観光目的の周遊であることが想定される。一方、外国人はイオンモール沖縄ライカム等の商業施設への訪問数が多く、平均滞在時間も長いことから、主に買物目的の周遊であることが想定される(表-6,7)。

本分析により、日本人と外国人の周遊特性の相違を確認することができた。

表-6 観光地別訪問数（日本人・外国人の各 TOP5）
＜日本人観光客＞

観光地	市町村	延べ訪問数
沖縄美ら海水族館	本部町	31組
沖縄アウトレットモールあしびなー	豊見城市	20組
万座毛	恩納村	17組
首里城	那覇市	15組
やんばる物産	名護市	11組

＜外国人観光客＞

観光地	市町村	延べ訪問数
沖縄美ら海水族館	本部町	54組
沖縄アウトレットモールあしびなー	豊見城市	50組
イオンモール沖縄ライカム	北中城村	38組
万座毛	恩納村	38組
イオン 北谷店	北谷町	29組

表-7 観光地別滞在時間（日本人・外国人の各 TOP5）

＜日本人観光客＞

観光地	市町村	平均滞在時間	延べ訪問数
沖縄美ら海水族館	本部町	2時間15分	31組
海鮮料理 浜の家	恩納村	2時間00分	5組
首里城	那覇市	1時間32分	15組
美浜アメリカンレゾ	北谷町	1時間13分	5組
沖縄アウトレットモールあしびなー	豊見城市	1時間11分	20組

＜外国人観光客＞

観光地	市町村	平均滞在時間	延べ訪問数
イオンモール沖縄ライカム	北中城村	3時間14分	38組
沖縄美ら海水族館	本部町	2時間35分	54組
戸田書店 豊見城店	豊見城市	2時間24分	5組
沖縄アウトレットモールあしびなー	豊見城市	2時間7分	50組
ドラッグイレブン 名護店	名護市	1時間52分	7組

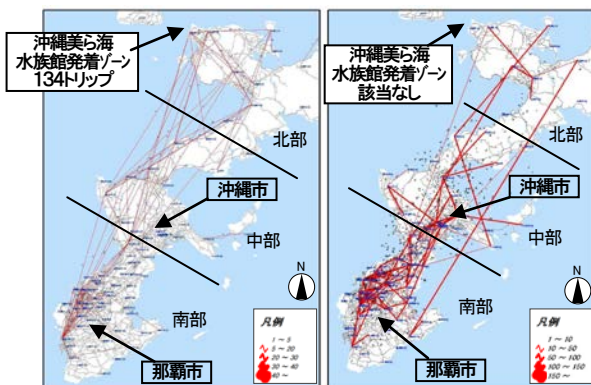
※延べ訪問数が5サンプル以上の観光地で集計

c) トリップ箇所

B ゾーン別に本調査の希望線図を作成し、H22 道路交通センサス OD（観光目的）希望線図と比較を行った。

図-7 に示すとおり、本調査の希望線図は、沖縄美ら海水族館等の中部以北の観光地を周遊するトリップが複数存在（美ら海水族館の発着ゾーン：合計 134 トリップ）。一方、H22 道路交通センサス OD 希望線図は、中部以北のトリップは少なく（美ら海水族館の発着ゾーン：該当なし）、那覇市から沖縄市までのトリップが多い（全トリップの約 7割）。

本分析により、道路交通センサス OD 調査で取りこぼしていたレンタカーの観光周遊を把握することができた。また、H22 道路交通センサス OD 調査結果との比較により、レンタカーを対象にした調査の有効性を確認することができた。



※左図：5 サンプル以上のトリップを表示
右図：100 台/日以上の観光目的のトリップを表示

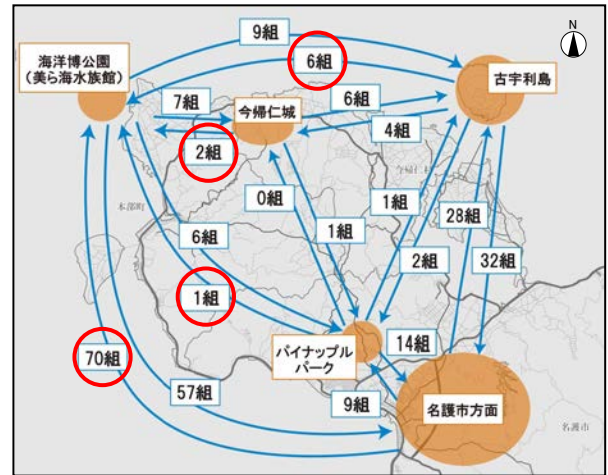
図-7 希望線図（左図：本調査、右図：H22 道路交通センサス OD）

(4) 周遊パターンの分析

ドライバー毎のトリップから、観光客の周遊パターンの確認を行った。

沖縄美ら海水族館（本部町）に行った 79 組のうち、約 7 割が古宇利島や今帰仁城等の周辺主要観光地に寄らずに名護方面に戻っている（図-8）。また、沖縄美ら海水族館周辺の日帰り客における平均滞在時間は平均約 6 時間となっている。宿泊客の場合は、ほぼ 2 泊以内となっている（表-8）。

周辺主要観光地に立ち寄らず名護方面に戻るサンプルの中には、周辺観光地の存在を知らず通過したサンプルも存在すると考えられるため、エリアでの観光地 PR の必要性を確認することができた。



※赤丸：沖縄美ら海水族館に訪れたトリップ（79組）

図-8 沖縄美ら海水族館周辺の周遊パターン

表-8 日帰り客の滞在時間・宿泊客の滞在日数

	日帰り客	宿泊客
対象サンプル数	89	13
滞在時間・宿泊数	平均：6時間10分 最大：11時間22分 最小：1時間40分	1泊：6サンプル 2泊：6サンプル 3泊：1サンプル

※滞在時間は許田 IC を通過した時間を計測（計測可能な有効サンプルで集計）

(5) 走行経路の分析

GPS 位置データから、10 秒に 1 回の間隔で地図に位置情報をプロットすることでレンタカー利用者の走行経路について確認を行った。

a) 全車両の履歴

全車両の走行履歴を図化することで、主な走行経路について確認を行った。

那覇市中心部においては、主に国道 58 号や国道 330 号、国際通り、松山周辺など、幹線道路や主要観光地に集中していることが確認できた（図-9）。



図-9 走行履歴（那覇市中心部）

b) トリップ毎の履歴

トリップ毎の走行履歴を図化することで、目的地までの走行経路について確認を行った。

残波岬いこいの広場（読谷村）へのアクセスにおいて、通行経路毎の通行回数をカウントしたところ、北部方面から約5割、南部方面から約2割のアクセスとなっており、南部方面からのアクセスは多様な経路を通過している（図-10）。

本分析により、残波岬いこいの広場への案内誘導や読谷道路の連続供用による効率的なアクセスルートを確認する必要性を確認することができた。



図-10 残波岬いこいの広場への経路別通行回数

c) 特徴的な走行履歴

トリップ毎の走行履歴の中で特徴的なサンプルについて確認を行った。

首里城（那覇市）へのアクセスにおいて、同一経路を連続して3周している交通が見受けられた（図-11）。なお、その他7サンプルも同様の傾向が見受けられた。

首里城周辺の駐車場を探しているサンプルであると考えられるため、駐車場案内を強化する必要性を確認することができた。



図-11 首里城周辺の同一経路を連続走行しているサンプル

(6) 危険挙動箇所分析

ドライブレコーダーの加速度計測機能とGPS位置データから、危険挙動箇所について確認を行った。計測基準は、普通運転免許の減点基準となる加速度0.4G以上とし、危険挙動が発生した箇所を地図上にプロットした。

交通が集中する国際通り周辺やおもろまち周辺、松山周辺等、事故危険区間以外でも危険挙動が発生（図-12）。また、取得動画の中には、台湾人が自国の右側通行との勘違いから逆車線を走行し、対向車と正面衝突の危険が発生するなどの危険挙動が見受けられた（図-13）。

本分析により、特に外国人観光客の危険挙動の特徴を確認することができた。



図-12 那覇市中心部の危険挙動箇所



図-13 危険挙動取得画像例

4. 本研究の課題とまとめ

(1) まとめ

GPS機能および加速度計測機能を有するドライブレコーダーを活用することで、レンタカー利用の観光客に関する観光周遊行動および危険挙動を把握することができた。また、道路交通センサ調査の補完として観光周遊行動を把握することができた。

(2) 今後の課題

調査車両20台による調査でありデータ取得数に限りがあったことから、データ取得数増加のための調査方法の検討が必要である。また、車両に固定しているドライブレコーダーの位置情報だけでは、降車してからの正確な目的地を把握できないため、データ補完方法の検討が必要である。さらに危険運転箇所の中には、路面上の段差を通行する際の衝撃等、危険運転以外のデータが見受けられたため、データのスクリーニング方法の確立が必要である。

謝辞：本研究にご協力頂いたレンタカー会社の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 沖縄県：平成28年3月入域観光客統計, 2016
- 2) 内閣府 沖縄総合事務局：運輸要覧, 2012-2015
- 3) 株式会社産経デジタル：産経WEST,
<http://www.sankei.com/west/news/160723/wst1607230060-n2.html>, 2016.7.31 参照
- 4) 国土交通省：平成22年度道路交通センサス, 2012

官庁施設のエネルギー消費の 運用改善に係る取組

新里 和良¹・山城 俊太¹

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

地球温暖化は地球全体の環境に深刻な影響を及ぼすものであり、その対策の推進を図ることが大きく求められている。このような状況を踏まえ、官庁営繕では官庁施設の環境対策を推進している。こうした取組のなか、沖縄総合事務局（営繕）では、所管する関係府省の施設の管理者等に対して、省エネルギー及び温室効果ガス排出抑制に関する情報提供や保全実地指導を行っている。沖縄総合事務局（営繕）が行う官庁施設のエネルギー使用の運用改善に関わる技術支援について報告する。

キーワード 政府実行計画、保全実地指導、エネルギーデータベース

1. はじめに

これまで、地球温暖化対策として温室効果ガスを削減するために様々な国際交渉が行われてきた（図 1 参照）。COP3で採択された「京都議定書」では、先進国に対して、法的拘束力のある数値目標が設定された。

しかし、途上国には削減義務はなかったため、COP21では「京都議定書」に代わる、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして、すべての国が参加する「パリ協定」が採択された。

パリ協定における日本のCO2の削減目標は2030年度に2013年度比-26%（2005年度比-25.4%）であり、エネルギー消費の削減が求められている。

2. 政府実行計画の概要

地球温暖化対策は国全体で取り組まなければならない課題であるが、政府自らが率先して模範とならなければならない。そのためにも、政府が取り組むCO2削減計画として日本政府は「政府がその事務及び事業に関し温室効果ガスの排出の抑制等のため実行すべき措置について定める計画」（以下「政府実行計画」）を平成14年に閣議決定した。

政府実行計画はこれまで数年おきに改定が続けられており、最新はパリ協定を踏まえて平成28年5月に改定された。政府実行計画の対象は、原則として、政府の各行政機関が行うすべての事務及び事業である。期間は2016年度から2030年度であるが、2019年度までの実施の状況、技術の進歩などを踏まえ、2020年度中に、2021年度以降の政府実行計画について見直しを行うこととなっている。

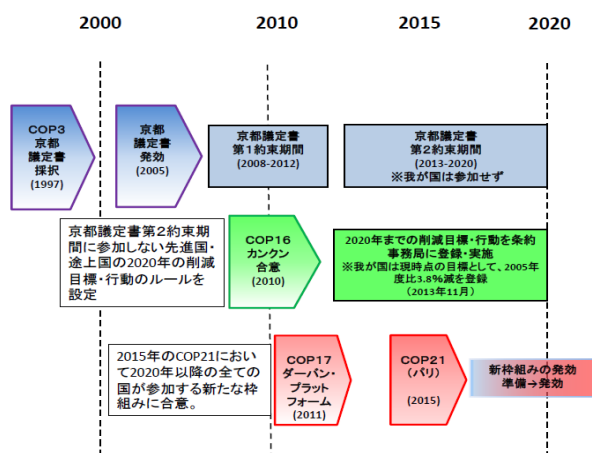


図 1 国際交渉の経緯

表 1 政府実行計画の概要

対象となる 事務及び事業	原則として政府の各行政機関が行うすべての事務及び事業
計画期間	2016（H28）年度から2030（H42）年度までの15か年
目 標	事務及び事業に伴い直接的及び間接的に排出される温室効果ガスの総排出量を、2013年度を基準として2030年度までに40%削減することを目標とする。（中間目標として政府全体で2020年度までに10%削減を目指す。）
計画の根拠等	地球温暖化対策の推進に関する法律（平成10年法律第117号） 地球温暖化対策計画（平成28年5月13日閣議決定）

表 2 政府実行計画の主な対策（庁舎関係）

省エネルギー診断	- 診断結果に基づき、運用改善を行い、更新時期も踏まえ、費用対効果の高い合理的なハード対策を計画し、実施 - 大規模な庁舎から順次実施
エネルギー消費の見える化とエネルギー管理の徹底（BEMSの導入等）	大規模な庁舎からビル・エネルギー・マネジメントシステム(BEMS)を率先的に導入する等、見える化やエネルギー消費の最適化を図る
LED照明	庁舎の新築・改修時や老朽化を前提とした既存照明の入替え時等において、2020年度までにLED照明を可能な限り率先して導入
ソフト対策	- 庁舎のエネルギー使用実態の公開 - 単位面積あたりの温室効果ガス排出量等のベンチマーク評価導入 - ワークライフバランスの促進



図 2 那覇第1地方合同庁舎の全景

施設名	那覇第1地方合同庁舎
所在地	沖縄県那覇市樋川 1-15-15
構造	鉄筋コンクリート造
延べ面積	20,726.47 ㎡
階数	地下1階、地上8階

また、政府実行計画に盛り込まれた措置を着実に実施することにより、2013年度を基準として、政府の事務及び事業に伴い直接的及び間接的に排出される温室効果ガスの総排出量を2030年度までに40%削減することが目標として掲げられている。それに伴い、中間目標として、政府全体で2020年度までに10%削減を目指している。

3. 施設管理者への指導事例（那覇第1地方合同庁舎での取組）

政府実行計画を受けて、沖縄総合事務局（営繕）では所管の官庁施設に対して温室効果ガス排出削減のため、省エネの取組についての指導を行ってきている。その中から那覇第1地方合同庁舎の場合を例として、施設管理者と入居者が実際に行った取組について報告する。

(1) 沖縄総合事務局（営繕）の指導を受け、施設管理者が実施した内容

沖縄総合事務局（営繕）から那覇第1地方合同庁舎の管理官署に対して温室効果ガス排出削減のために取り組むべき対策を提案した。提案を受けて、那覇第1合同庁舎の管理官署である那覇地方検察庁が実施した内容は以下のとおりであり、我々の提案について、ほぼ全て実施している。

a) 温室効果ガス排出削減計画の推進体制の整備

以下の点に留意し、推進体制を整備した。

- ① 計画の実行責任者には、管理官署の幹部職員が当たることとし、施設管理に協力する各官署の担当職員も、幹部職員で構成した。
- ② 定期的に推進体制メンバーで会議を開催し、情報共有や計画の進捗について協議を行った。
- ③ 毎月、施設管理者が計画の進捗状況（電気、ガス等エネルギー使用量及び対前年比）等の把握、現状分析を行い、関係者及び入居職員に対し、メール等を活用して情報提供を行った。

- ④ 施設管理者が入居職員に対して、個々で行うべき施設運用の取組について、周知徹底を図った。

b) 設備の施設運用の見直しによる取組

施設内における設備の運用の工夫により、施設管理者において実施した取組を示す。

- ① 室内温度や湿度の状況を考慮しつつ、夏季の空調開始または終了時間を短縮し、消費電力を削減した。
- ② 空調設備稼働日数を短縮することにより、消費電力を削減した。
- ③ 空調設備の設定温度を室内温度や湿度分布を考慮して、室内温度を26℃から28℃に変更し、消費電力を削減した。
- ④ 最低限の照度確保を考慮しつつ、エレベーターホール等の消灯または間引きを行い、消費電力を削減した。
- ⑤ 出勤及び退庁時、昼休みを除き、エレベーターの運転台数を減らし、消費電力を削減した。

c) 入居職員の運用面による取組

入居職員が個々で実施した取組を示す。

- ① コーヒーメーカーについて台数の適正化、省電力機器への更新、こまめな入切りを心がけ、消費電力を削減した。
- ② 電気ポットの使用台数を減らすことにより、消費電力を削減した。
- ③ 冷蔵庫について台数の適正化、省電力機器への更新、温度設定は常時「弱」とし、冷蔵庫の中身を減らすなどして、消費電力を削減した。

- ④ コピー機、プリンタの省電力モード設定を使用後5分とした。
- ⑤ 業務上、支障のない範囲で昼休みの照明の消灯及び、OA機器の電源を切り、消費電力を削減した。
- ⑥ 業務上、支障のない範囲で、時間外のこまめな消灯をし、消費電力を削減した。
- ⑦ 残業時間を削減し、定時退庁を推進することにより消費電力を削減した。

(2) 取組結果

このような取組を続けた結果、電気消費量とガス消費量の削減に成功した(図3、図4参照)。個々の対策についてはエネルギー消費の削減効果は小さいものの施設管理者に一元的に任せるのではなく、入居職員の協力を得られたことにより、このような削減結果に繋がった。

27年度以降に関しては電気消費量、ガス消費量共に増加傾向にあるが、これは入居官署が13から14に増えた結果、人員が増加したことが要因だと考えられる。

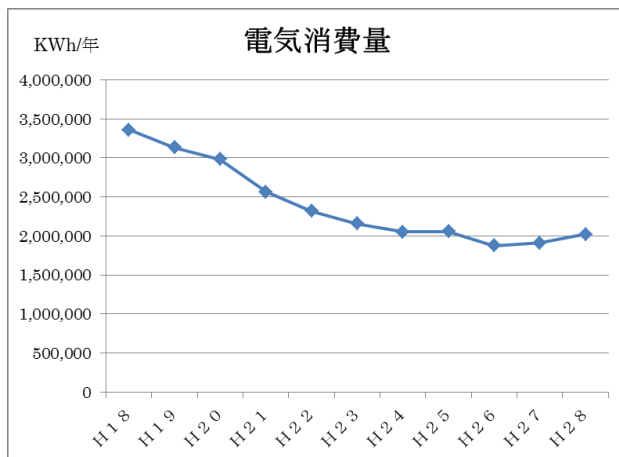


図3 那覇第1地方合同庁舎の電気消費量

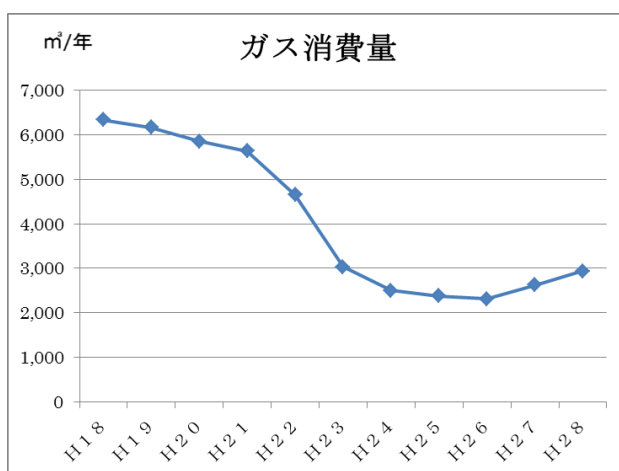


図4 那覇第1地方合同庁舎のガス消費量

4. 官庁施設の保全

「官庁施設の保全」とは、官庁施設が完成してから解体されるまでの間、その性能を良好な状態に保つほか、社会・経済的に必要とされる性能水準を確保し、保持し続けるための取組である。官庁施設の施設管理者が施設の「保全」を行わなければならないが、施設管理者は事務官が多く、人事異動もあるため施設管理に関する専門知識が十分でないケースが多々ある。そこで、官庁営繕では所管する官庁施設に対して「保全実地指導」を行っており、それを受けて修繕や運用の改善を施設管理者が行っている。

「保全実地指導」においては、建築基準法や官公法に基づく法定点検だけでなく、エネルギー消費の削減についても対策を提案している。建築物のライフサイクルは主に企画・設計段階、建設段階、運用段階の3つに大別されるが、エネルギー消費量に着目すると、施設の運用段階が大部分を占めている。よって、エネルギー消費を抑えるためには適切な運用が効果的である。

沖縄総合事務局（営繕）で保全実地指導を行った施設のうち、エネルギー消費の改善につながった例を紹介する。

(1) 換気ファンの適切な温度設定

EV機械室及び電気室の換気ファンが温度センサー（図5参照）で管理されており、「低め（27℃）」に設定されていた。設定温度が低ければ部屋の中にある機械や電子部品はよく冷却されるが、必要以上に設定温度を低くすると換気ファンを回す時間が長くなり、電気を無駄に消費してしまうことになる。

適正な温度（30～35℃）に設定してもらうことにより、電気消費量が抑えられた。ただし、部屋のなかにある設備により適正な温度は異なるため、温度設定を調節するときには注意が必要である。



図5 換気ファン用温度センサー

(2) 機器の点検

機器の点検は長寿命化だけでなく、能力や省エネといった点からも非常に重要である。この事例では、空調用の室外機の冷媒管に鳥害とみられるあとがあり、冷媒管が剥き出しになっていた（図 6 参照）。保温材がはがれているため、冷却機能の低下が予想された。

対策として施設管理者が冷媒管を保温材で覆う修繕を行った。これにより、性能が上がり、無駄な電気の使用が抑えられたと考えられる。



図 6 鳥害とみられる冷媒管

(4) 室外機の周りの整理

空調用の室外機置き場に草木が生い茂っている状態であった（図 8 参照）。空気の流れが遮られることによる熱交換効率の低下だけでなく、故障の原因ともなりえるため、除草を行うよう指導した。

このような状態にならないように、日頃から除草等の植栽管理が必要である。また、草木だけでなく物を近くに置いていても効率が低下するため、周りの整理も大事である。



図 8 草木が生い茂っている屋外機

(3) 室外機のフィンの水洗い

屋上に設置された室外機のフィンに錆の発生や汚れが見られた（図 7 参照）。フィンに錆や汚れがあると機能が低下する。ここでは、日頃から定期的に室外機の水洗いをすることにより、錆や汚れを落として劣化及び機能低下の防止を行うように指導した。

沖縄は高い山もなく海岸に近い場所が多いため、塩害の影響が大きい。そのため、購入するときには耐錆仕様の製品を選ぶなどの考慮が必要になってくる。



図 7 室外機

(5) 省エネ型の照明器具

照明器具に従前形の蛍光灯（40型蛍光灯）が使用されていた。以前は明るさセンサー付の高効率型のHF蛍光灯に更新できるか検討するよう実地指導をしていたが、現在では省エネで長寿命であるLEDの蛍光灯を推奨している。

運用面では、照度調節ができる機器で照度を落としたり、昼休みなどの時間外での消灯の徹底でも電気使用が抑えられる。



図 9 従前型の照明器具

5. エネルギーデータベース

官庁営繕が行う保全実態調査をサポートするためのツールとして官庁施設情報管理システム（BIMMS-N）がある（図 10 参照）。施設管理者に点検記録や修繕履歴などの施設データを入力してもらうことにより、官庁営繕では各施設における保全状況を把握することができる。また、BIMMS-Nには様々な機能があり、施設管理者の作業の低減が図られる。

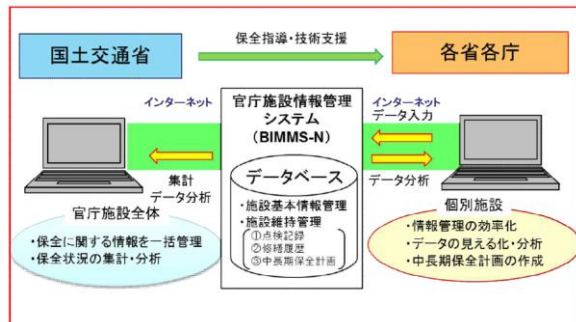


図 10 BIMMS-Nの概要

官庁営繕では、平成22年度よりBIMMS-Nから電気消費量やガス消費量などのエネルギー消費量を抽出して「エネルギーデータベース」を作成している。「エネルギーデータベース」は、官庁施設のエネルギー消費量の実態を把握し、分析することで、官庁施設における地球温暖化対策の「見える化」や、地球温暖化対策に関する技術支援、対応方法の立案に資するツールである。また、「エネルギーデータベース」から必要な情報を抽出することで、経年、地域、用途（合同庁舎、各省庁舎）などに分類したグラフを作成することができ、機動的な分析を行うことができる。

エネルギー消費量を削減するにあたり、建物規模及び無駄が大きい施設から削減するほうが効果大きい。そのため、沖縄総合事務局（営繕）では、エネルギーデータベースを利用して、1㎡当たりの年間一次エネルギー消費量と官庁営繕が作成した施設の規模別の目安（表 3 参照）を比較し、改善の余地が考えられる場合は、改善方法が掲載されている資料の提供などの技術支援を行っている。ただし、施設によって設置されている設備や24時間使用している等の運用状況が異なるため、単純に比較ができない場合もある。

提供した資料には、施設管理者向けだけでなく、個々の施設入居者が行える省エネルギー及び温室効果ガス排出抑制対策が掲載されている。

表 3 施設の規模別の1㎡当たりの年間一次エネルギー消費量の目安

（出展：国家機関の建築物等の保全の現況 28年度版）

施設の規模(延べ面積)	1㎡当たりの年間一次エネルギー消費量 (MJ/㎡・年)
1,000㎡以上～2,000㎡未満	481 ～ 885
2,000㎡以上～3,000㎡未満	508 ～ 878
3,000㎡以上～10,000㎡未満	536 ～ 969
10,000㎡以上	618 ～ 1,183

6. まとめ

沖縄総合事務局（営繕）では本稿で述べてきたように「政府実行計画」を受けての支援、「保全実地指導」及び「エネルギーデータベース」を用いた技術支援などのエネルギー消費量を削減するための取組を続けてきており、一定の成果をあげることができた。

今後の課題としては現在、各官庁施設で行っているエネルギー消費の削減取組を「継続する」ことがあげられる。

官庁施設においては、建築物を新築するときや既存の建築物の改修を行うときには、省エネ性能の高い設備を導入している。そのため、官庁施設におけるエネルギー消費を削減するには施設管理者や入居者などが行う運用面での取組が重要になってくる。現在、各官庁施設で行っている取組を「継続する」ために沖縄総合事務局（営繕）では今後とも技術支援を継続することとしている。

参考文献

- 1) 環境省：COP21の成果と今後
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-c.pdf
- 2) 環境省：政府がその事務及び事業に関し温室効果ガスの排出の抑制等のため実行すべき措置について定める計画（政府実行計画）
<http://www.env.go.jp/earth/action/index.html>
- 3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：BIMMS-N
<http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00093/K00490/eizen/hozen/system/P-BIMMS-N2016.03.pdf>
- 4) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：国家機関の建築物等の保全の現況（28年度版）
<http://www.mlit.go.jp/common/001124139.pdf>
- 5) 国土交通省：地球温暖化対策に寄与するための官庁施設の利用の手引き
http://www.mlit.go.jp/gobuild/kijun/ondanka_tebiki.pdf

国道330号我如古交差点改良の整備効果について

伊藝 誠一郎¹・崎山 祐加²

¹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)

²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)

国道330号我如古交差点の浦添向けは、直進レーン・右折レーンが1車線ずつしかなく、朝夕の慢性的な交通渋滞や車両の錯綜による交通事故が発生していた。これらの課題を解消し、円滑かつ安全な道路環境を確保するため、直進レーンを2車線化にし、あわせて中部商業高校前交差点の右折レーンも新たに設置した。そこで、本取組における渋滞緩和、事故リスクの低減などの整備効果を紹介する。

キーワード 交差点，右折車線設置，事故減少

1. はじめに

(1) 整備前の我如古交差点の状況

国道330号我如古交差点は、国道330号と県道34号が交差する交差点であり、当該地区における交通の要衝となっている。

国道330号は4車線で整備されているが、沖縄市方面から大謝名方面への右折交通が多いことや、右折車線を設置できる幅にて整備されていないことから、浦添市向けの流入部は直進車線を手前までの直進2車線から1車線減らし、直進1車線、右折1車線の車線構成となっている。

また、当交差点には横断歩道橋（階段のみ）が整備されている。



図-1 位置図



写真-1 整備前の状況

2. 我如古交差点における整備前の課題

・我如古交差点は、浦添向け単路部片側2車線の車線構成を右折車線1車線、直進左折車線1車線にて運用していること、バスベイが未整備などの道路構造上の問題が多く、以下のような課題が生じていた。

(1) 交通渋滞

- ・交通量41,932台/日(2010年 道路交通センサス)と4車線の設計基準交通量48,000台/日の上限値に近い交通量となっているにもかかわらず、浦添向けの直進車線を1車線としていることから交通容量上の超過が発生。
- ・朝、夕の慢性的な交通渋滞が発生しており、夕方ピーク時では、最大滞留長は820mにもものぼる。
- ・上記状態を踏まえ、主要渋滞箇所指定されている。

(2) 交通事故

- ・工事着手前直近の4年間では53件/4年の交通事故が発生。
- ・追突事故が全体の43%(図-3)と最も多く、『渋滞末尾への追突』『急な車線変更に伴う追突』『本線上でのバス停車に伴う追突』『右折街車両への追突』などが主な原因であると考えられる(図-2)。



図-2 交通渋滞、交通事故状況図

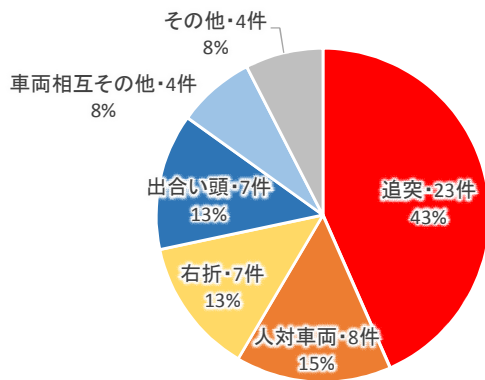


図-3 交通事故の類型別割合

3. 対策案の概要

2.における課題への対応として、『直進車線の2車線化』『バスベ이의整備』を行った(図-4)。

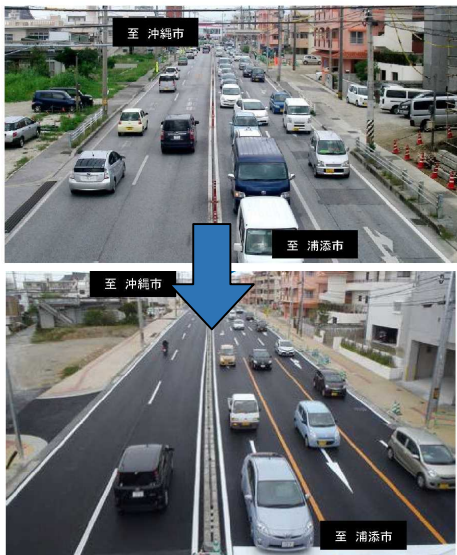


図-4 対策前後の写真

(1) 浦添向け直進車線の2車線化

拡幅により、浦添向け直進車線を2車線化し、交通の円滑化を図った(図-5)。

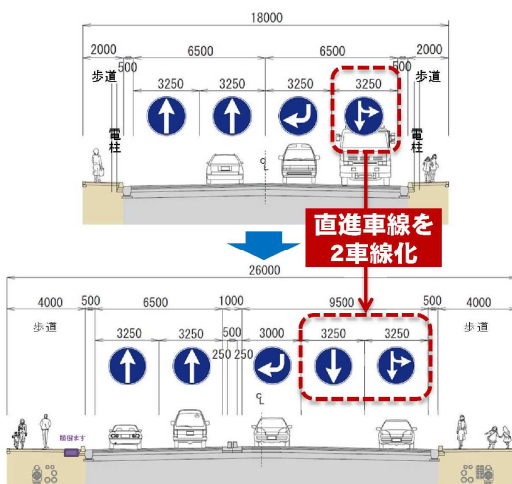


図-5 直進車線の2車線化イメージ

(2) バスベいの整備

中部商業高校前バス停における、バスの直進阻害をなくすための、バスベイ整備を行った。(図-6)



図-6 バス停整備イメージ

(3) 隣接交差点への右折レーンの設置

我如古交差点の直進車線の2車線化に合わせ、隣接交差点である中部商業高校前交差点へ、右折レーンの整備を実施した(図-7)。

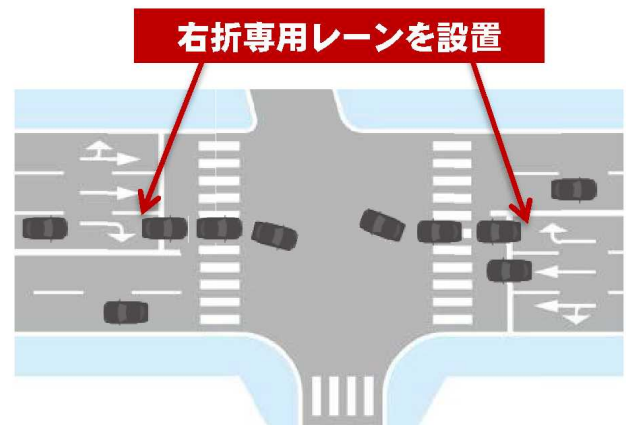


図-7 右折レーン整備イメージ

4. 整備効果

3.の対策実施により、交通の円滑化及び事故防止が図られ、交通渋滞の緩和、追突事故等が減少することが期待される(図-8)。

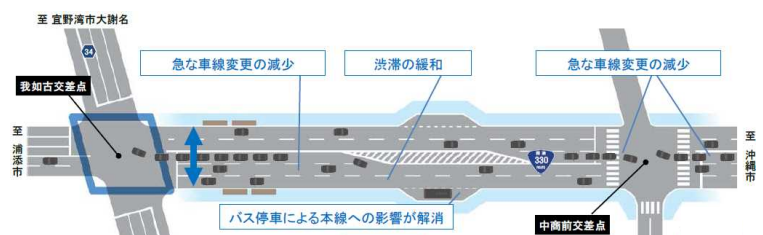


図-8 期待される整備効果イメージ

整備効果の把握手法として、課題となっていた渋滞

長の変化について調査することや、事故件数の変化について分析することが求められるが、渋滞については調査が必要であり、事故については、数年間のデータ取得を必要とすることから時間を要する。

上記状況を踏まえ、即時に整備効果を把握する手法として、交通事故民間プローブデータを用いた旅行速度、急ブレーキ発生状況の変化及びヒアリングから整備効果の把握を実施した。

(1) 交通渋滞

民間プローブデータにおける旅行速度の向上から、渋滞緩和効果の分析を行った。

分析の結果、我如古交差点浦添向けの旅行速度は終日通して15km/hを下回っていた状態から、朝・夕ピーク時では20km/h弱、OFFピーク時では20km/h以上に速度向上が見られ、平均速度では8km/h、最大で11km/hの速度向上が見られることから、渋滞緩和効果があったと考えられる(図-9)。

事前旅行速度

7時台	44	12	24
8時台	35	13	33
9時台	39	14	30
10時台	37	14	31
11時台	33	13	29
12時台	34	13	26
13時台	36	12	30
14時台	32	10	27
15時台	31	11	26
16時台	32	10	23
17時台	35	10	26
18時台	31	10	25

事後旅行速度

7時台	28	17	24
8時台	32	19	29
9時台	34	22	30
10時台	34	21	30
11時台	33	21	30
12時台	35	20	29
13時台	33	22	29
14時台	33	21	29
15時台	34	20	29
16時台	34	20	29
17時台	32	19	28
18時台	33	19	28

位置図



図-9 我如古交差点浦添向けの旅行速度の変化

また、渋滞に関しては、2017年6月に渋滞長・滞留長調査を実施しており、夕方ピーク時の最大820mあった渋滞（滞留含む）が、120mまで縮小しており、約80%の削減効果が見られた。

(2) 交通事故

交通事故の原因となる渋滞が緩和されることから、交通事故についても、減少することが期待される。

早期に定量的な整備効果を把握するために、急挙動（急ブレーキ）の変化に着目し、分析を行った。なお、急挙動（急ブレーキ）については、民間プローブデータにおける前後加速度を用い、既往文献等から整理されている強度が0.3 Gを超えるものを対象とした。

分析の結果、我如古交差点浦添向けの急ブレーキは増加しており、危険挙動が増加していること状態である(図-10)。原因として、渋滞緩和に伴う速度向上の影響により、ブレーキ強度（速度差）が大きくなったことが想定されるため、本事業の整備効果として、危険挙動の増加＝事故件数の増加は関係性は低いと考えられる。

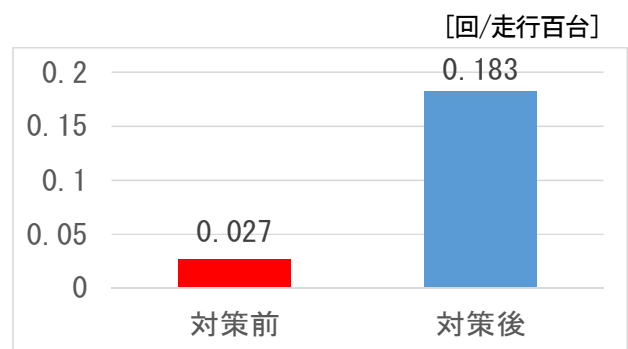


図-10 危険挙動（急ブレーキ）の変化

(3) ヒアリング

整備後にヒアリングを実施し、地域の声について把握した。地域の声としては以下の通り効果があったという意見が多数を占め、整備の効果を利用者が実感していることが伺える。

(一部回答)

- ・渋滞緩和に効果があった。
- ・交差点の流れが大変良くなった。
- ・渋滞が減ったことにより右折しやすくなった。
- ・バスが邪魔せず円滑になった。
- ・我如古交差点でなく、周辺の渋滞も良くなった。
- ・区長会議でも良くなったと意見が出ている。

(2) 歩道の拡幅等

歩道幅員を2.0mから4.0mに拡幅し、さらに電柱類等による歩行空間阻害に対応した電線共同溝の整備を行い、更なる歩行空間の確保を予定している(図-12)。



図-12 歩道拡幅イメージ

5. 既往工事、今後の工事によって期待される効果

2.における課題への対応だけでなく、『横断歩道橋のスロープ化』を2015年9月に実施済みであり、今後『無電柱化による歩行空間の拡大』についても予定している。

これにより、自転車、歩行者の安全・安心な通行空間の確保も期待される。

(1) 横断歩道橋のスロープ化、拡幅

横断歩道橋の架け替えを行い、自転車の通行が可能なスロープを設置するとともに、通路幅の拡幅(1.5m→2.1m)を行った(図-11)。

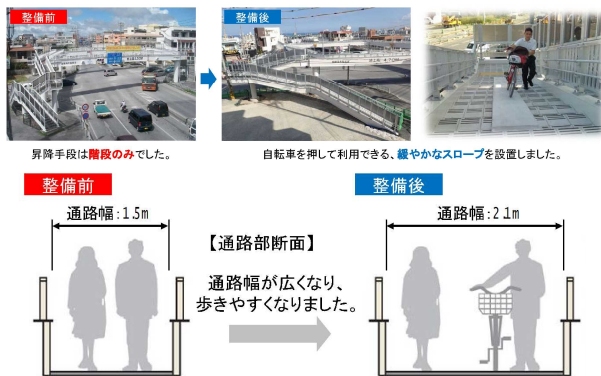


図-11 横断歩道橋整備イメージ

6. 今後の展開

(1) プローブデータを用いた整備効果分析の可能性

事故対策や渋滞対策事業は、住民への情報周知・透明性の確保の観点から、整備効果を早期に公表することが求められる。

また、効果的・効率的な業務履行も必要とされており、各種調査(交通挙動調査、渋滞長調査)を行わずに整備効果を分析する手法の確率が求められている。

今回、各種プローブデータを活用し、整備効果分析を実施し、渋滞緩和の効果分析には速度データが十分に有用であることが分かった反面、急挙動のデータは渋滞緩和の要素を受けて、期待できる効果が計測出来なかった。

プローブデータを用いた整備効果では、適用できる対策内容の整理や、対象となる事故類型、着目した挙動等を整理し、適切に選択することで効果的な整備効果分析を行える可能性があり、効果的・効率的な整備効果分析にプローブデータを用いることが期待できる。

(2) 今後の課題

我如古交差点に関しては、交通事故に対する整備効果が良好に出ていないことから、別の手段による整備効果分析が必要となっている。

交通挙動分析や、県警からの事故件数の情報提供を受けて、早期に整備効果の公表を行うよう今年度業務にて進めていく予定である。

渋滞に関しても、渋滞長調査を実施し、具体的な渋滞の緩和について整理を行っていく予定である。

首里城公園における 復元整備への取り組みについて

上原 康広¹・前田 満男²

¹沖縄総合事務局 国営沖縄記念公園事務所 首里出張所長（〒903-0812 沖縄県那覇市首里当蔵町3-1）

²沖縄総合事務局 国営沖縄記念公園事務所 首里出張所 計画係長（同 上）

首里城公園は、平成4年に一部供用を開始し、平成12年には史跡「首里城跡」は「琉球王国のグスク及び関連遺産群」のなかの一つとして「世界遺産」に登録され、平成28年度の入園者数は過去最高の約273万人を超え沖縄の観光拠点としての役割を担っている。今回、平成28年3月に西側、平成29年3月に東側の整備が完了した北城郭エリアの整備内容について報告するものである。

キーワード 国営公園、首里城、復元

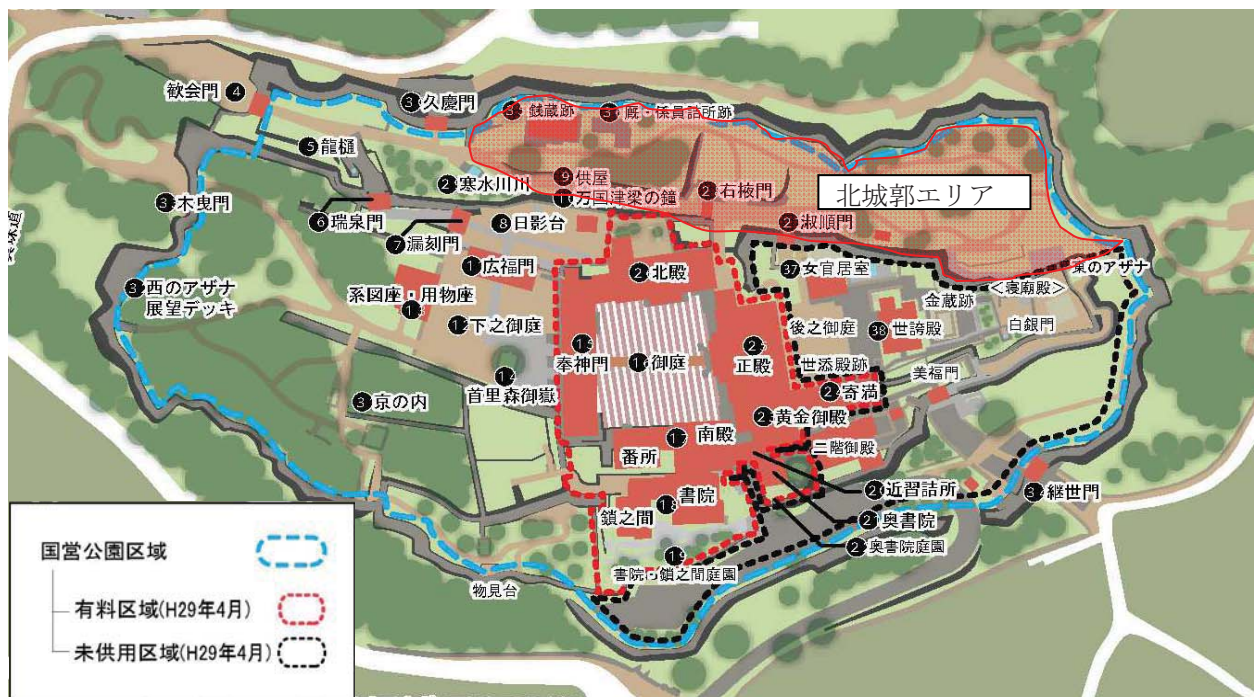


図-1 国営公園区域図

1. はじめに

首里城は南北朝時代頃に創建し尚巴志による琉球王国の成立以降、4度による焼失を経験し、4度目の沖縄戦では遺構の大部分が崩壊した。

戦後、首里城跡地に琉球大学が開学している。

その後沖縄県が戦災文化財の復元整備を開始し、守礼門、歓会門等を復元している。琉球大学の移転開始によ

り、首里城の復元整備に対する気運が高まり、復帰後に首里城復元期成会が結成され、昭和59年「首里城公園基本計画」を策定した。

国営沖縄記念公園「首里城地区」は、昭和61年に「沖縄復帰記念事業として行う都市公園の整備」が閣議決定され、平成4年に正殿等を含む主要建物を一部開園し、その後順次整備を行い、平成29年4月時点で計画面積約4.7haのうち約3.6haを開園している。（図-1）首里城の

タイプ	大分類	定義
特A	復元	遺構、図面、古写真、配置図、事例、聞き取りの成果等の根拠資料に基づいて、往時の材料・工法でより精度を上げて内外部とも復元した建築物。
A	復元	遺構、古写真、配置図、事例、聞き取り等の根拠資料に基づいて、往時の材料・工法で内外部とも復元した建築物。
B	準復元	遺構、古写真（内部写真含む）、配置図、事例、聞き取り等の根拠資料に基づいて、往時の材料・工法で内外部とも復元した建築物。間取りについては、一部想定している。
C	外観復元	往時の間取りは不明であるが、遺構、古写真、配置図、事例等の根拠資料に基づいて外部を復元し、内部は公園機能を重視した建築物。
D	外観想定復元	建物を写した古写真は確認されていない。遺構や配置図、古絵図、事例に基づいて外部を想定復元し、内部は公園機能を重視した建築物。
E	外観再現	建物の位置や規模等を確認できる遺構や古写真はない。配置図、古絵図、事例に基づいて外部を再現し、内部は公園機能を重視した建築物。
F	平面表示	建物の位置や規模等を確認できる遺構や古写真はなく、配置図と古絵図等で建物の雰囲気がわかる程度。建物の輪郭のみを平面的に表示。

図-2 復元のタイプ

復元は、時代設定として3度目の焼失から沖縄戦以前（1712～1945年）までを復元モデルとし、残存する資料（遺構、図面、古写真、文献、伝聞等）により復元のタイプを7分類に分けている（図-2,3）復元にあたっては整備検討委員会を設置。有識者に確認、整備方針を決定している。（図-4）

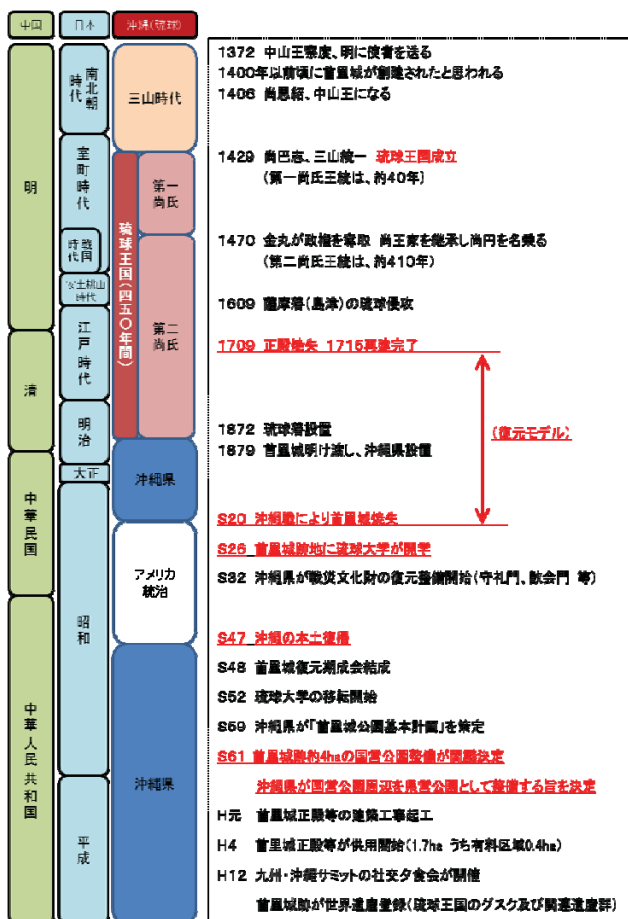


図-3 琉球王国及び首里城の経緯

2. 北城郭エリアの整備について

往時は西側に銭蔵、東側には植樹林が存在しており、今回はこの復元を行っている。

北城郭エリアはこれまでの発掘調査で検出された遺構が乏しく、また歴史資料にもそれほどの情報が残されていないため、復元のための資料が乏しかった。

北城郭西に位置する銭蔵（ぜにくら）については資料に乏しい状況から、平面表示として整備を行った。北城郭の東に位置する植樹林は利用者に往時の植生について理解してもらえる様植生の配置を行った上で園路広場として整備を行っている。

往時、銭蔵は焼酎（泡盛）や油類、日用銭を管理する貯蔵庫としての役割があった。植樹林は古絵図等で樹木の表現がされているが、どの様に利用されていたかは不明である。

上述より、委員会では以下のとおり基本方針を決定した。

- ・銭蔵は植生などの景観に配慮しつつ公園施設としての役割を担える施設として休憩施設を配置。園内利用者はここに来るまでに坂道を上らなければならないため、休憩施設を設置することで一息つける場所とした。

- ・東側の園路広場についてはトイレを配置した。また往時植え込まれていたと考えられる植生や芝生及び園路を配置し、より往時の状況を理解してもらえる様にしつつ多目的空間として利用出来る場所とした。

3. 復元整備のポイント

① 銭蔵跡の整備

銭蔵については解体や改修などが複数回行われているが、詳細は不明で、遺構についてもはっきりとしたものが無く、復元を行うに十分な情報がない状況であったため復元タイプF（図-2）の平面表示とし、多くの入園者

が気軽に利用できる施設としての機能性の確保を目的とし休憩施設としても整備を行った。

休憩施設の外觀については、往時の銭蔵に近い形で整備することとした。往時の銭蔵を知る古写真は確認されていないが、古絵図には建物の雰囲気がわかる程度に表現されている。「首里古絵図」（図4）は比較的各建物や城壁、植物などを詳しく描いており、城壁の寸法表記もなされていることから、18世紀前期の首里城を伝える貴重な資料として位置づけられている。

この古絵図に銭蔵は高床式の建物として描かれていた。そこで、倉庫機能としての建物用途や資料の信頼性を勘案して、銭蔵は高床式であった可能性が高いと想定した。（図-5）

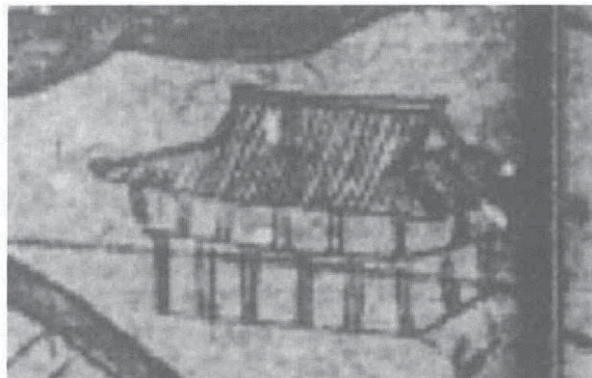


図-5 古絵図拡大による銭蔵
高床式の建築物としては類似性から「高倉」を想定し

た。高倉は1階が独立柱のみで構成され、2階は床と斜めに張り出した壁で囲まれた貯蔵庫となった建築物として定義されている。（図-6）



図-6 高倉（国頭村羽地 ^{もみくら} 穀倉）

これに可能な限り往時の銭蔵の雰囲気をイメージしつつ、歴史的景観の配慮、多くの入園者が気軽に利用できる施設としての機能性の確保など、公園施設としての役割を担える施設として機能できるものとして方針を決めた。これを踏まえ、パーゴラ式の休憩施設を整備した。（図-7）

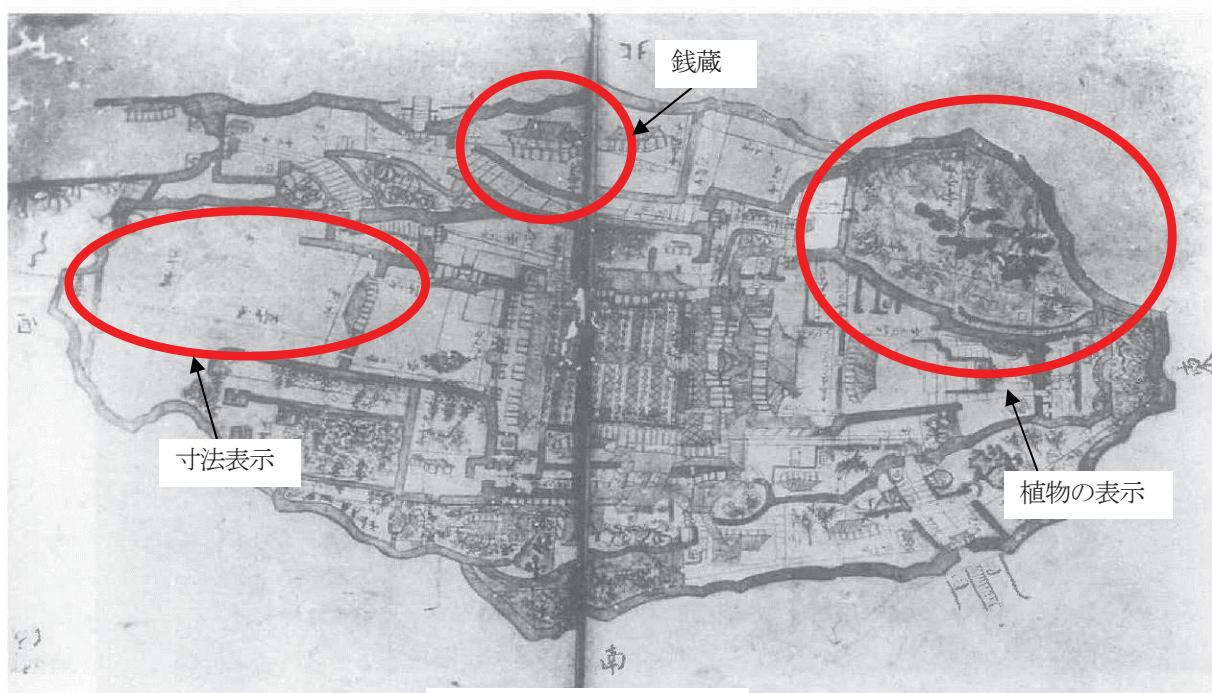


図4 首里古絵図



図-7 銭蔵跡の休憩施設

②植栽計画

【銭蔵周辺】

銭蔵近辺には柳を配置する。王府時代の図（図-9）に柳に関する情報は描かれていないが、明治期の絵図には大木として描かれており（図-8）樹齢100～150年と推定され、およそ18世紀前半から後半には植えられていたと考えられる。

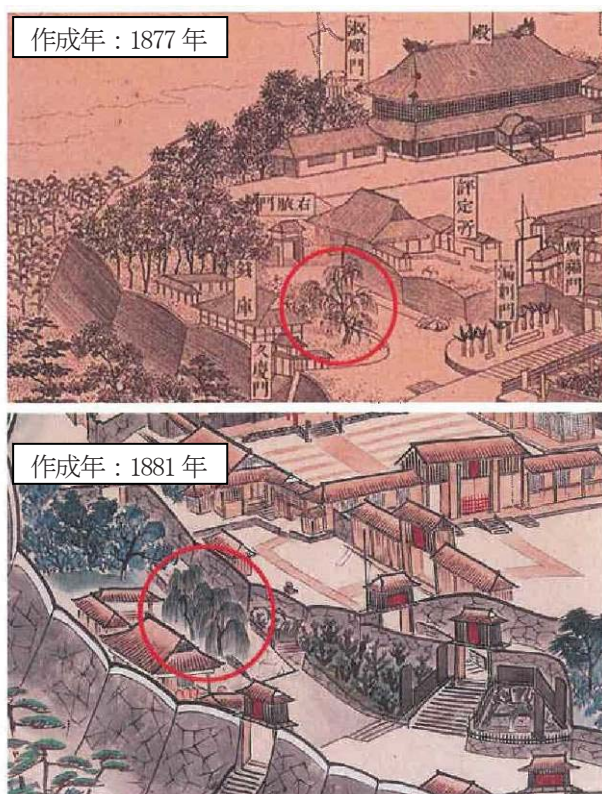


図-8 明治期の絵図による柳の描写

銭蔵から東の広場までの園路の植生は、王府時代の図には描かれておらず（図-9）、明治期の絵図には描かれている。（図-8）



図-9 1700年代初頭（北城郭）

【園路広場】

時代設定の18世紀前半にこの樹林地が成立していたかは不明である。このことから王府時代の再現ではなく、来園者に良好な木陰を提供することを目的とし、園路に沿って緑陰樹を適切に配置した。

配置にあたっては既存林であるアカギ、アコウ、ガジュマル、クロヨナを配置している。（図-10）



図-10 園内の植生（右上：アカギ 左上：アコウ
右下：ガジュマル 左下：クロヨナ）

東側の園路広場中央にはリュウキュウマツを配置。リュウキュウマツについては林政が最盛期を迎えた時代、蔡温（1682～1762年）が最も重視した樹木のひとつである。このことから古絵図（図-11）に描かれている松を再現した。耐風性向上の観点から数本の寄せ植えを行い、景観の再現と維持を図っている。（図-12）



図-11 1689～1754年（推定）古絵図に松の表現

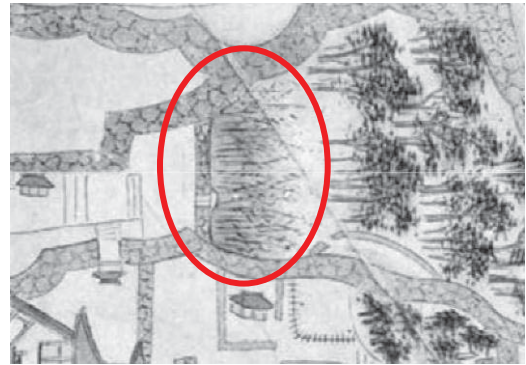


図-14 1700年代初頭古絵図の竹林の表示



図-12 リュウキュウマツの植林



図-15 節から2本の枝別れする連理の竹

園路広場の外郭北側には城外から見て、「囲いの強化」「王城としての威勢の表現」など景観面での役割があった。また、公園としては「緑陰広場」としての機能も必要である。聞き取り調査からこの一帯はアカギ林であったとされており、これを配置している。

園路広場入り口には竹林を配置している。古絵図に竹林（図-14）が描かれておりこれを再現した。正殿には麒麟の掛け軸と一緒に連理の竹として飾られていた。各節から2本ずつ枝を出す様子（図-15）が仲むつまじい夫婦を表していると考えられている。この種類を主要構成種として選定、植生した。

アカギの近くに高覆盆子（たかいちゅび）を配置した。



図-16 首里城又吉千代御内原ポンチ絵

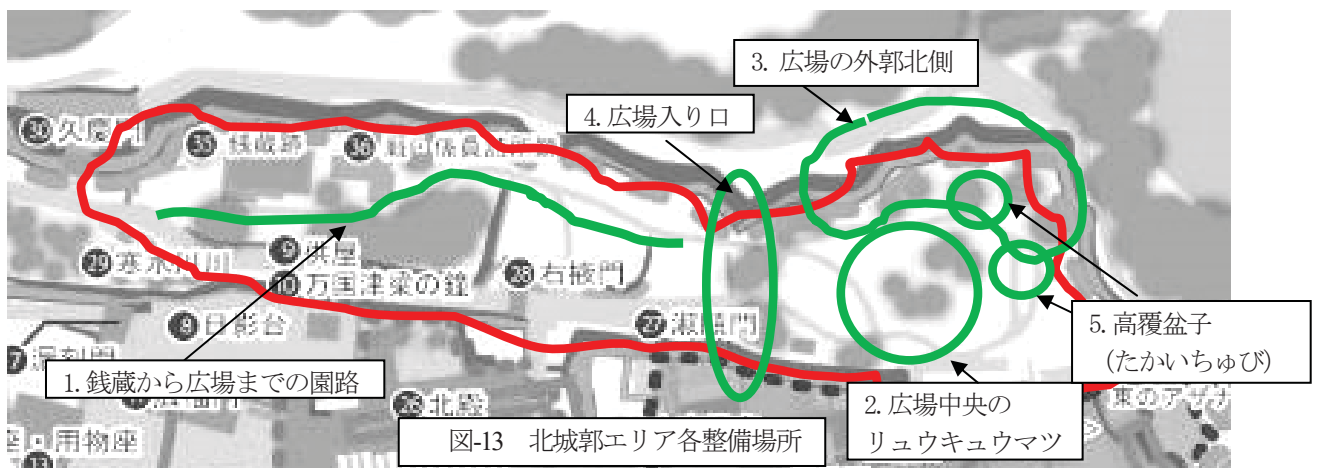


図-13 北城郭エリア各整備場所

「首里城又吉千代御内原ポンチ絵」（図-16）に高覆盆子畑として描かれており、これを再現した。

高覆盆子（図-17）は往時中国より食医学を学んだ侍医頭が著した『御膳草本』の中で「気力を高め身が軽くなる。肌の潤いを高め消化吸收を助ける。男女とも長く食べれば子宝を授かる」と記述されている。



図-17 高覆盆子「たかいちゅび」（キイチゴ）

高覆盆子は沖縄（首里）の方言でバラ科の「ホウロクイチゴ」などのキイチゴのことを言う。

③園路広場のトイレの整備

国営無料区域（図-1参照）のトイレは広福門にあるのみである。空間的な広がりから無料区域はかなり広い範囲となっているため、利用可能なトイレ1カ所では利用者にとってかなり不便なものになると考えられる。そこで、北城郭東の園路広場に1カ所トイレを設置することとした。復元ではないが、公園機能を向上させている。



図-18 トイレ（便益施設）の設置状況

4. 今後の整備方針

今回北城郭を整備し休憩施設とトイレを整備供用したことで園内利用者に快適に利用できる様になった。また、往時の植生についても復元することができ、首里城の歴史への理解がさらに深まる施設とすることができた。

現在、復元整備を行っている御内原エリアを鋭意施工中である。（図-19）そして平成30年までには南城郭

の整備を完了させ、首里城地区の復元を終了する。引き続き首里城の魅力向上に資するべく整備を行っていきたい。

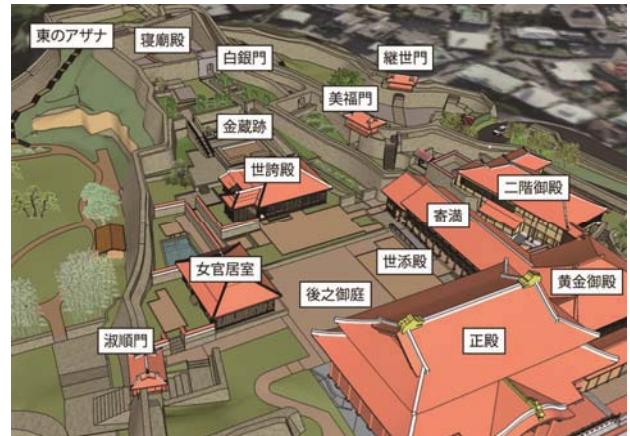


図-19 御内原整備イメージ（上）
現在の御内原エリアの施工状況（下）

伊江島 - 本部間を海底トンネルで繋ぐことに関する基礎的研究

○琉球大学 吉水俊毅, 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉 NPO 法人グリーンアース 鈴木浩一

1. はじめに

沖縄本島は、琉球諸島において人口の多い最も重要な島で、かつ日本の有名な観光地である。航空交通量が多い那覇空港が現在拡張されており、民間および軍事空港である。しかし、沖縄の観光地である本部半島を含めて沖縄の北部において空港が存在しない。

伊江島(図 1)は本部半島から約 5 km 離れており、1975 年の海洋博の時に建設された長さ 1500 m の滑走路が存在している。伊江島へのアクセスは、本部港からフェリーでのアクセスとなっており、強風や波高などの気象条件により、欠航になりやすい。

北部の大都市である名護市へのアクセスは那覇空港のみであり、高速道路を使って車で 70-90 分の距離にある。また、美ら海水族館や海洋博公園などは那覇空港から車で約2時間の距離にある。

空港を拡張し、新伊江島空港を本部半島に海底トンネルで繋ぐことで、伊江島および瀬底島を含めて沖縄北部へのアクセス時間を大幅に短縮し、そして経済的な活性化につながることを期待される。

トンネルはメンテナンスフリーで、排水によるランニングコストを最小限に抑え、海水による水圧に耐えられるような建設を構想している。本論文ではこれらの検討結果について考察する。

2. 海底・川底トンネル工法

工法としては以下の 3 つが上げられる。

- 1)沈埋トンネル工法
- 2)シールド TBM 工法
- 3) 発破掘削による山岳工法

1)沈埋トンネル工法は、あらかじめ海底に溝を掘っておき、箱状に区分して製造しておいたトンネル部分を溝に沈め、順次に接続してトンネルを造るプレハブ工法である。

2)シールド TBM 工法は、シールド工法と TBM 工法の両方の機能を合わせたものである。止水区間では止水効果のあるシールド工法によるセグメントを使用す



図-1 伊江島

る。一方、止水の必要がない区間では、TBM 工法による安価な NATM 支保を用いることができる。そのため止水条件の異なる区間が設定されている掘進距離の長いトンネルでも、1 台の掘削機で全区間施工可能となり、施工コスト低減が可能となる。海中トンネルの長期運転を考慮すると、TBM の利用が望ましい。

3) 発破掘削による山岳工法は、機械で岩盤に穴を開けてからダイナマイトを入れて発破し、細かくなった土をトンネルから出す。トンネルを掘った後、地山が破壊しないように吹きつけて、ロックボルトで地山を補強し、コンクリートライナーで仕上げる工法である。

3. トンネル設計

トンネルが比較的長い場合、水の排水は運転コストに重い負担となる。そのため、コストを軽くするために、メンテナンスフリーの海底トンネルを設計する。

伊江島-本部間の水深は図 2 に示す。図 2 からわかるように最も深い場所は 50m である。トンネルの土被りは、日本の過去の実績からすると、最低 20m 必要であるため安全性を考慮して 30m とすると、トンネル最頂部は約 80m となる。

現在考えているトンネル構造は二階建てトンネルで、直径 $D=16\text{m}$ 、道路幅と高さは建築限界に従い設計する。トンネル断面をイメージとして図 3 に示す。図 3 からわかるように二階建てトンネルで一方通行となってお

キーワード Ie Island, Motobu, Subsea Tunnel, Maintenance Free,

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地

E-mail: e145310@eve.u-ryukyu.ac.jp

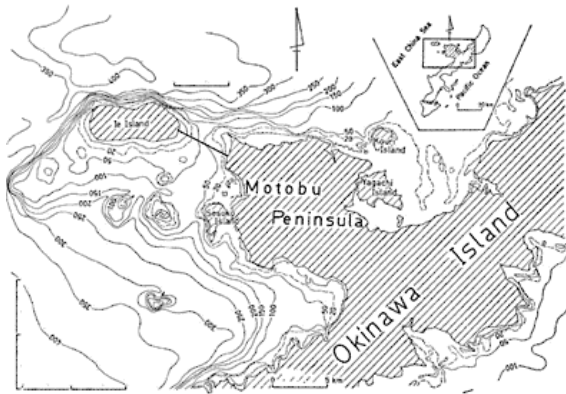


図-4 伊江島-北部 水深



図-3 トンネル断面

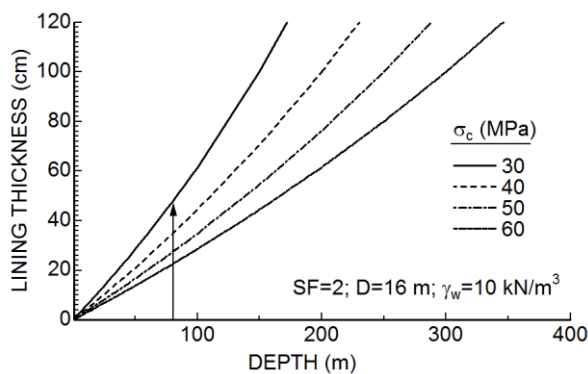


図-4 深さの関数としてのコンクリートライナーの必要厚さ

り一番下には緊急用の車両が通れるように設計する。

図4は、安全係数2の場合、内径16mのトンネルに必要なトンネルライナーの厚さを示している。図4から分かるように、必要なトンネルの厚さは、コンクリートライナーの圧縮強度が40MPaであれば、80mの深さに

対して500mmである。このことから、コンクリートライナーの厚さは、安全性をもって600mmで設計をする。

津波に対し、安全性を考えて、トンネルの坑口は海面から高さ20mの位置に作る。トルコのイスタンブールにあるユーロアジアトンネルに2階建てトンネルが採用されており、坑口付近はそちらを参考にして作る。

4. 結論

建設費用を削減し、地震時のひずみを減少させるためには、岩盤を通るトンネルを建設する。TBMは現在進歩していて、ハードロックトンネルで広く使用されている。そのためトンネル掘削では、様々な岩盤の条件下で使用できるため、TBMを選択する方が良いと考えられる。また現地調査をした結果、伊江島-本部間の海底地質はチャートであり、チャートを通るトンネルは過去にも多く作られており、TBMを使用して発掘しても問題は生じない。

海底トンネルは、防水および耐水圧を考慮して建設することにより、排水コストが大幅に削減されるので、トンネルのランニングコストを確実に減らすことができる。

トンネル構造は二階建てトンネルで、直径D=16m、コンクリートライナーの厚さ600mm、土被り30m、最頂部80m、道路と高さは建築限界に従い設計する。

5. おわりに

伊江島-本部海底トンネルの建設は、強風や豪雨などの悪天候を含め、いつでも北部の本部と行き来ができるようになる。

海底トンネル建設と同時に、伊江島空港を拡張することにより、日本国内から沖縄本島の北部へ簡易にアクセスすることが可能となる。また、伊江島空港は、那覇空港の非常状態や災害時に第2アクセス手段、沖縄本島北部の経済的な活性化と更なる観光地開発、伊江島から伊是名・伊平屋の島々へも海底トンネルを繋ぎ、海底資源開発など、大きく貢献することが期待できる。

参考文献

- 1) Aydan, Ö., Tokashiki, N., Suzuki, K., (2018): Conceptual Design of Ie - Motobu Subsea Tunnel, Okinawa, Japan. Proc. of the IAEG ARC11, Kathmandu (in press).

那覇-鹿児島間を海底トンネルで繋ぐことに関する基礎的研究

○琉球大学 吉水俊毅, 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉 NPO 法人グリーンアース 鈴木浩一

1. はじめに

本州は、九州、四国および北海道と橋や海底トンネルで繋がっているが、沖縄県は本土に陸続きで繋がっていない唯一の県である。そのため沖縄県は日本本島と台風などの悪天候下では、海路や航空路では行き来ができない。

近年、東京と大阪間でリニア新幹線の建設構想が実現に向けて動き出し、本研究では、海底トンネルを介して沖縄本島的那覇と九州の鹿児島を、海底地形や地質を考慮し、リニア新幹線のルートを選定と決定について検討した。

予定ルートは80%が海底トンネルであり、メンテナンスフリーの構造を目指す。排水によるランニングコストを最小限に抑えるため、トンネルの支保は海水による水压に耐えられるようにコンクリートライニングの建設を構想している。本研究では、これらの検討結果について考察した。

2. 海底・川底トンネルの歴史的な背景

最初の川底トンネルはシュメール人によって、紀元前2080から2160年前に、メソポタミアのバビル市にあるユーフラテスとティグリス川の下に建設された。

ナポレオンは1802年に海峡の下に海底トンネルを建設しようと考え、192年後の1994年に全長50.5kmのユーロトンネルが建設された。

同様に、イスタンブール海峡(ボスポラス海峡)の海底トンネルの建設は1860年代に考えられ、151年後の2011年にマルマライのトンネルが建設によって実現された。その後、イスタンブール海峡の106mの深さにシールドタイプのユーロアジアトンネルが建設された。

日本最初の海底トンネルは、本州と九州を結ぶために1942年から1944年に建設された関門鉄道トンネルである。また1958年に関門道路トンネルが建設され、1975年に新関門トンネルが新幹線のために建設された。

世界で最も大きな海底トンネルは、1983年に完成し

た。全長53.85kmの青函トンネルである。海底の長さは23.3キロで、海面下240mに建設された。

1997年に、東京湾アクアラインが建設された。アクアラインの道路の半分は海底下28mに9.5kmの長さの海底トンネルである。しかし、道路の半分が橋で構成されており、悪天候の影響を非常に受け、強風時には使用できない状況である。つまり、海底トンネルは気候条件の影響を受けず、いつでもアクセスすることができる。

現在、世界中に海底トンネルを建設するプロジェクトは数多くある。アジアと北米間のベーリング海峡のトンネル、ヨーロッパとアフリカの間のジブラルタルトンネルなどが挙げられる。

3. 建設可能なルート

リニア新幹線のルートを選択する上で最も重要な点は、海底地形、地質条件、地震活動および主要集落へ繋ぐことである。トンネルの設計、建設およびランニングコストを最小限に抑えるためには、海底地形が決定的な要因となる。

建設でもう1つの重要なことは、地震が起きた際に、岩や土壌堆積物による掘削があると、その堺にて、トンネルにひずみが生じることである。ひずみを発生させないためには、すべてのトンネルを岩の中だけに建設する必要がある。そうしなければ、高負荷に対処するために耐震継手(セイスミックジョイント)が必要であり、建設費用が増加する。

図1にリニア新幹線のルートを示す。那覇-鹿児島間は600kmあり、その間の深さは一般に海面下200m未満であり、トンネルの全長は航路の全長の約80%を占める。

主なルートに沿った岩石は、地殻変動の結果として層理面の分裂と褶曲が起こる可能性がある。しかしそのような条件は、日本にある多くのトンネル構造においてすでに存在しており、支障は起きていない。そのため、那覇-鹿児島間のリニア新幹線の建設にも支障が生じないと考えられる。

キーワード Naha, Kagoshima, Linear Shinkansen, Subsea Tunnel, Maintenance Free

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 E-mail : e145310@eve.u-ryukyu.ac.jp

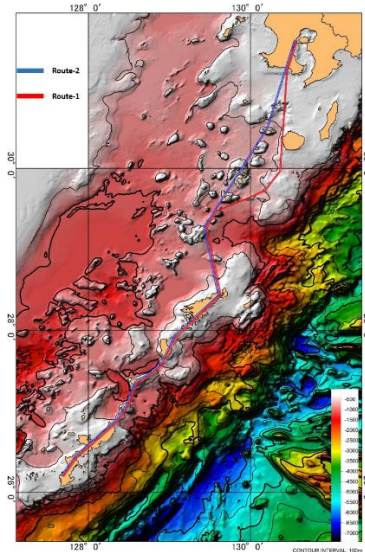


図-1 九州・沖縄間リニア新幹線ルート

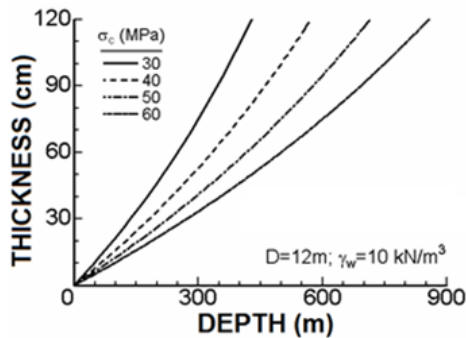


図-2 深さの関数としてのコンクリートライナーの必要厚さ

4. 掘削方法

基本的に2つの掘削技術がある。ドリル・ブラストマシン(DBM)とトンネルボーリングマシン(TBM)の2種類がある。

DBMは基本的に安価な掘削方法である。

TBMは、現在東京・大阪リニア新幹線の建設において、山岳トンネルにも使用されており、那覇－鹿児島リニア新幹線の建設にも有用であると考えられる。

5. トンネル設計

トンネルが比較的長い場合、水の排水は運転コストに重い負担となる。例えば、青函トンネルのコンクリートライニングは高い地下水条件に耐えるように設計されておらず、地下水の排水はランニングコストに重い負担を引き起こしている。それに対し、イスタンブール海峡を横断するユーラシアトンネルは耐水圧に耐えるように設計され建設された。

図2は、安全係数1の場合、内径12mのトンネルに必要なトンネルライナーの厚さを示している。図2から分かるように、必要なトンネルの厚さは、コンクリートライナーの圧縮強度が40MPaであれば、必要なライナーの厚さは150mの深さに対して300mmであり、500mの深さに対して1000mmである。

トンネル最高部と海底との間の岩盤の最小厚さは過去の実績からすると、20-25mより大きくなければならない。

6. 結論

現在TBMは進歩しており、ハードロックトンネルで広く使用されている。そのためトンネル掘削では、様々な岩盤の条件下で使用できるため、TBMを選択する方が良いと考えられるため、海底トンネルは、TBMを使用する。

海底トンネルは、地震時のひずみを減少させるためには、岩盤を通し建設する。また、排水の問題を排除するために防水および耐水圧を考慮して建設しなければならない。

このようなコンクリートライナーの設計は、排水コストが大幅に削減されるので、トンネルのランニングコストを確実に低減することができる。

コンクリートライナーの一軸圧縮強度は一般的に40MPaを超えるため、ライナーの厚さを大幅に減らすことができる。ライナーの必要厚さは、500mの深さに対して1000mmである。

7. 終わりに

近年、東京・大阪リニア新幹線の建設構想が実現に向けて動き出した。このことは世界の交通システムのリノベーションに大きな影響を与えることが期待される。

沖縄県は本土と陸続きになっていないため、那覇－鹿児島リニア新幹線の建設は、悪天候を含め、いつでも孤立した沖縄本島を日本本土と結ぶことができる。

参考文献

- 1) Aydan, Ö., Tokashiki, N., Suzuki, K., and Sakamoto, I. (2018): Some considerations on the linear shinkansen line between Okinawa and Kyushu Islands. Proc. of the 45th Rock Mechanics Symposium, JSCE (in press).

Wi-Fi パケットセンサーを用いたクルーズ船利用者の沖縄観光の行動把握に関する基礎分析

琉球大学 ○田中謙大 神谷大介 松本拓朗 我部新 東京工業大学 福田大輔 小林巴奈 五百蔵夏穂
東京理科大学 柳沼秀樹 地域未来研究所 菅芳樹 中央建設コンサルタント 山中亮

1. はじめに

沖縄県では観光振興の観点から図-1 に示すように、那覇港へのクルーズ船を積極的に受け入れている。クルーズ船一隻あたり 1000~5000 人の方が沖縄に上陸するため、那覇市や豊見城市など周辺地域に与える経済効果は非常に大きいと考えられる。沖縄へのクルーズ客は上陸した後は後泊せず、乗船した船に戻り、次の目的地へ向かうことが一般的である。また、クルーズ船客の約 75%がビギナー客¹⁾であるため、短い時間で沖縄を楽しみ、再訪していただくためにも、満足度の向上が重要である。一方で、周辺地域ではクルーズ船寄港日に発生するタクシーや観光バスによる渋滞、観光施設での外国語対応などの問題を抱えている。

これらに対して適切な施策を講じるには観光行動の把握が必要であるが、十分になされているとは言えない。これまで沖縄では観光行動把握のため、アンケートやプローブ情報を用いた調査が行われてきたが、金銭的負担および限られた調査期間である等の課題がある。そこで本研究では安価で持続的なデータ収集が可能な Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査を実施した。本稿では、これにより得られたデータの妥当性の検証およびクルーズ客の沖縄観光の

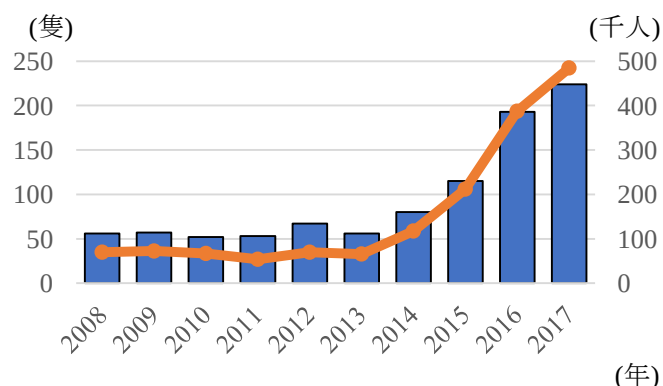


図-1 那覇港のクルーズ船寄港回数と来港者数

行動把握に関する基礎分析を行う。

2. Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査手法

本研究の調査法は、スマートフォン等から定期的に送出される PR(Probe Request)に含まれているユニークな ID を Wi-Fi パケットセンサーで捕捉することで、人の滞留や移動を把握する方法である。このセンサーを図-2 に示す沖縄本島内の空港、道の駅、主要観光施設等 51 施設に設置し、8 月 5 日から 9 月 19 日まで調査を行った。また、那覇クルーズターミナル周辺の設置場所は図-3 のとおりである。

3. ダイヤとの対応関係

那覇クルーズターミナルにおける 8 月 21 日(月)と 8 月 26 日(土)の 1 時間ユニーク ID 数とクルーズ船の接岸期間の対応関係を図-4 に示す。これより、入港・出航に合わせてユニーク ID 数が大きく変化しており、クルーズ客を把握できていると考えられる。

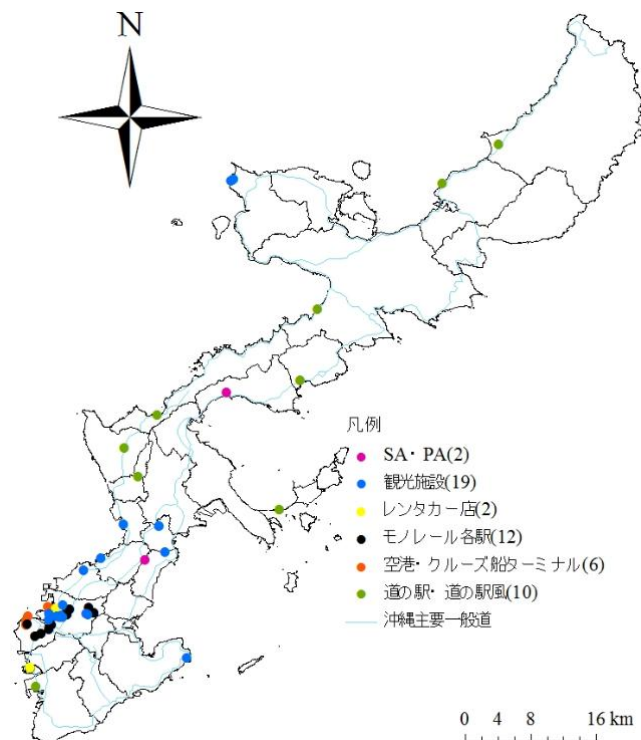


図-2 Wi-Fi パケットセンサー設置場所

キーワード：観光行動， Wi-Fi パケットセンサー， クルーズ客

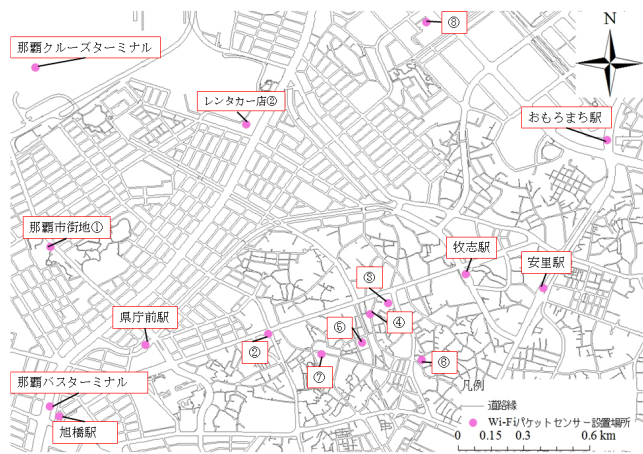
連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地 琉球大学大学院理工学研究科環境建設工学専攻

Tell : 098-895-8653 E-mail : k178477@eve.u-ryukyu.ac.jp

4. クルーズ客の来訪場所の把握

本稿では、停泊期間中のみ捕捉され且つ最初に那覇クルーズターミナルで捕捉されたユニーク ID をクルーズ客と定義する。

接岸期間 8 月 21 日（月）13：00～22：00 の台湾船籍および接岸期間 8 月 26 日（土）7：00～22：00 の上海船籍のクルーズ客の来訪者数上位 10 地点を、それぞれ表-1、表-2 に示す。これより、全体的に国際通りや首里城などの那覇クルーズターミナル周辺地域を中心とした観光を行う傾向があることが見て取れる。那覇市街地⑤は沖縄郷土料理店が立ち並ぶ施設であるため、食事をとりに来ていると考えられる。また、県庁前駅で捕捉されたユニーク ID については、那覇クルーズターミナルと国際通りの間を移動する途中で駅下を通った方のユニーク ID とモノレール利用目的で訪れた方のユニーク ID が混在して



Session 3 : 環境・観光・防災関連

新沖縄県河川情報システムについて

沖縄県 土木建築部 河川課 河川班

主任 平良 辰弥

○技師 相川 龍之輔

本年度、平成 25 年より沖縄県が独自に開発を行ってきた沖縄県河川情報システムの試験運用が開始された。この新しい沖縄県河川情報システムは、ICT を活用して収集した雨量や河川の水位データを、インターネットを通して一般に公開するシステムであり、水防活動の大きな助けとなることが期待されている。本稿では、これまでの沖縄県における水文観測の歴史を踏まえて、沖縄県河川情報システムが担う役割を解説する。また、今後の機能の拡張の展望についても述べる。

1.はじめに

1.1.旧沖縄県河川情報システム

沖縄県において、水防を目的とした水文観測が始まったのは昭和 40 年代後半のことであった。平成 9 年時点で運用されていた観測局のみをあげると、国場川、比謝川、安謝川などに水位局 8 局、長嶺、当山などに雨量局 5 局が設置されていた。計測機器としては、フロート式水位計、ポテンションメータ型のアナログ式水位計、一体型長期自記雨量計など、いずれもアナログ式の機器が採用されていた。当時はこれらの観測局が測定したデータを、人手を介して収集、処理していたため、実際の河川の水位や雨量を知るために時間を要してしまっていた。また、観測局は普通、厳しい自然環境下に置かれているものなので、データの収集に危険が伴ってしまうこともあった。

その後、科学技術の発展に伴う高度情報化社会への移行を踏まえ、平成 7 年から平成 12 年までの間で観測局のテレメータ (telemeter) 化を実施することとなった。テレメータとは、遠隔地にある観測局で測定したデータを、電波を用いて伝送、受信、記録する装置群のことをいう。テレメータシステムにおいては、

保守点検を除いて、基本的に観測地点に行く必要がなくなるため、大雨や台風時であっても、速く、確実、安全に水文観測が行えるようになるのだ。このテレメータシステムに、データの処理や演算を司る情報処理システム

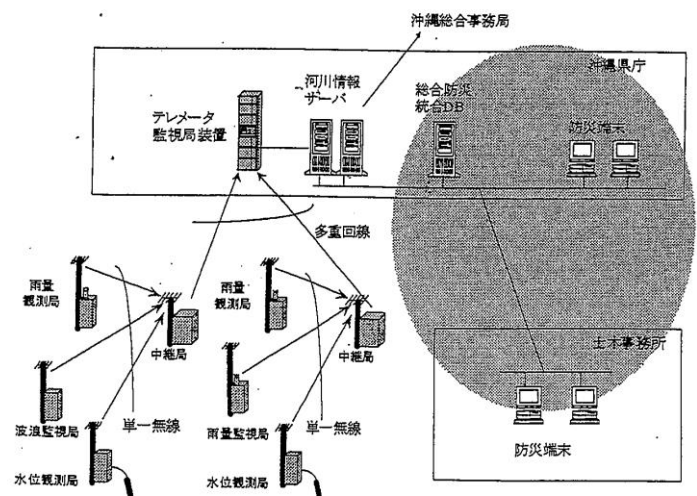


図 1. 沖縄県における旧河川情報システム概要図

を加えることで、沖縄県における最初の河川情報システムが成立した(図 1)。

情報処理システムとは、河川情報システムの要となるサブセットで、サーバ装置、端末装置、LAN 等から構成される計算機ネットワークシステムのことである。その大まかな役割を、情報の流れを踏まえて、以下に記す。

キーワード 河川情報システム, 河川情報, 水文観測, 避難促進

連絡先 〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎 1-2-2(11 階), e-mail : aikawary@pref.okinawa.lg.jp

1. テレメータシステムにより収集された情報が情報処理システムの中心機器である河川情報サーバへ送られる
2. 河川情報サーバは、送られてきた情報を演算処理し、警報判定を行う
3. 演算処理されたデータは、河川情報サーバから統合データベースへ送られる
4. 統合データベースが関係機関の各端末へ情報を送り、情報が提供される

なお、(2.) の時点で水位あるいは雨量が閾値を越え、警報判定がなされた場合、河川情報サーバから通報命令が送られることになる。この命令を受け取った電話応答通報装置は、河川情報サーバによる判断処理に従って、応答のメッセージの組み立て、通報動作を行う。

以上のように、河川情報システムによって、データの収集から表示、通報までが自動的に行われるようになったのだ。

一方、システムの整備にあたり、観測局の増設も行っている。旧河川情報システムでは、水位局が 14 局、雨量局が 7 局、水位と雨量の両方を測る複合局が 9 局の計 30 局で、19 水系 24 河川の水文観測を行っていた。なお、詳しくは触れないが、平成 13 年からは CCTV カメラなどの映像系の機能の整備がされている。

1.2. 沖縄県の河川の特徴

現在、沖縄県が管理する二級河川は、51 水系 75 河川で、指定総延長が 357.8km、流域面積が 911.57km²となっている。その中には、やんばるの森を源とする自然豊かな環境を持つ川から、都市部の中心を流れる都市型の川まで、多種多様な河川が含まれている。

しかし、一方で、沖縄県の河川は共通して、

ある特徴を持っている。それは、水の保持力が弱いということだ。沖縄本島は、南北に細長い隆起珊瑚礁の島であり、中央部を 100～500m の山地または、丘陵地帯が縦走した地形となっていて、35～40° の傾斜をなしている。これらの地理的条件から、必然的に、川の流路延長が短くなり、水の流れが速くなってしまふのだ。そのため、沖縄県の河川は、大雨に対する水位の上昇率が大きく、氾濫のリスクが高い。加えて、沖縄県は、地理的に海に囲まれた島嶼県であることから、雨が多く、台風の接近頻度が高い。これらのことも、河川による水害のリスクを高める大きな要因となっている。

また、安里川（図 2）をはじめとする都市型の河川は、人口や財産の密集度が高い地域を流れているため、ひとたび氾濫してしまうと、その被害は甚大なものになってしまう。そのため、県民や観光客の生命と財産を守るために、河川の監視が果たす役割はとても大きい。



図 2. 安里川の水位計設置箇所（ひめゆり橋）。右下に見えるパイプが水晶式水位計。

2.新沖縄県河川情報システム

平成 25 年、機器の老朽化に伴い、不具合が多発していることから、システム更新の必要に迫られた。しかし、これは、システム全体の見直しを行う絶好の機会になった。

河川課では、これまでに発生した通信障害などの課題の解決や、いわゆるゲリラ豪雨(短時間での局所的大雨)などの新しい脅威への対策を図るとともに、防災・減災機能の一層の強化をするため、以下の 3 つを基本的な条件として、新しい河川情報システムの設計を行った。

- 正確かつ安定的に情報収集・配信が可能なシステム
- 操作環境の統一など、操作性に配慮したシステム
- コストに配慮したシステム構築

結果として、情報処理を司る基幹システムを中心として、3つのサブシステム、テレメータ観測サブシステム、河川映像管理サブシステム、警報制御サブシステム、から成るシステムを整備することとなった。以下で、各システムの役割を説明しよう。なお、平成 29 年現在において、河川映像管理サブシステムを整備中であり、整備済みなのは基幹システムのみとなっている。

2.1. 基幹システム

基幹システムは、旧河川情報システムにおける情報処理システムに対応するものである。その役割は、データの包括的な収集、処理、演算、配信、web 表示など多岐にわたり、文字通り、新沖縄県河川情報システムにおける中心的な役割を果たすものである。以下で、その主要な機能を見ていこう。

2.1.1. FAX 送信機能

沖縄県における水防計画では、水位周知河川において、氾濫危険水位または、護岸天端高水位への到達が観測されたとき、その事実を関係機関へ周知することが、義務づけられている。基幹システムでは、この FAX 送信を河川情報システム内で行える機能を備えている。そのため、勤務時間外に氾濫危険水位または、護岸天端高水位への到達が確認された場合でも、web に接続できる環境であれば、FAX 送信ができるようになる。

2.1.2. メール配信機能

メール配信機能は、水位計が設置されている任意の河川において、任意で設定した水位への到達が観測されたとき、事前に登録したアドレスへメールを配信する機能である(図 3)。たとえば、河川の近くに住んでいる場合、氾濫に備えるために必要な時間は、住んでいる場所などによって異なる。また、市町村においては、河川が氾濫した場合、地域住民への避難勧告をいち早く、より正確な範囲に出すことが求められる。そのためには、河川が氾濫するよりも前に、河川の水位情報を受け取っていなければならない。以上のような、防災に対する様々なニーズに、このメール配信機能は、応えることができるのだ。

題名：水位観測情報(安里川) こちらは沖縄県河川課です。 水位の上昇している河川があります。
▼観測時刻 2016/08/10 20:00
▼観測状況 ●安里川 ひめゆり橋 水位観測所 那覇市牧志 氾濫危険水位を超えています。 観測水位： 3.01m
護岸天端高 4.00m 氾濫危険 3.00m
通報条件の確認、配信停止など http://mail.kasen.pref.okinawa.jp/MailDelivery/MailRegStart

図 3.配信されるメールの文面 (案)

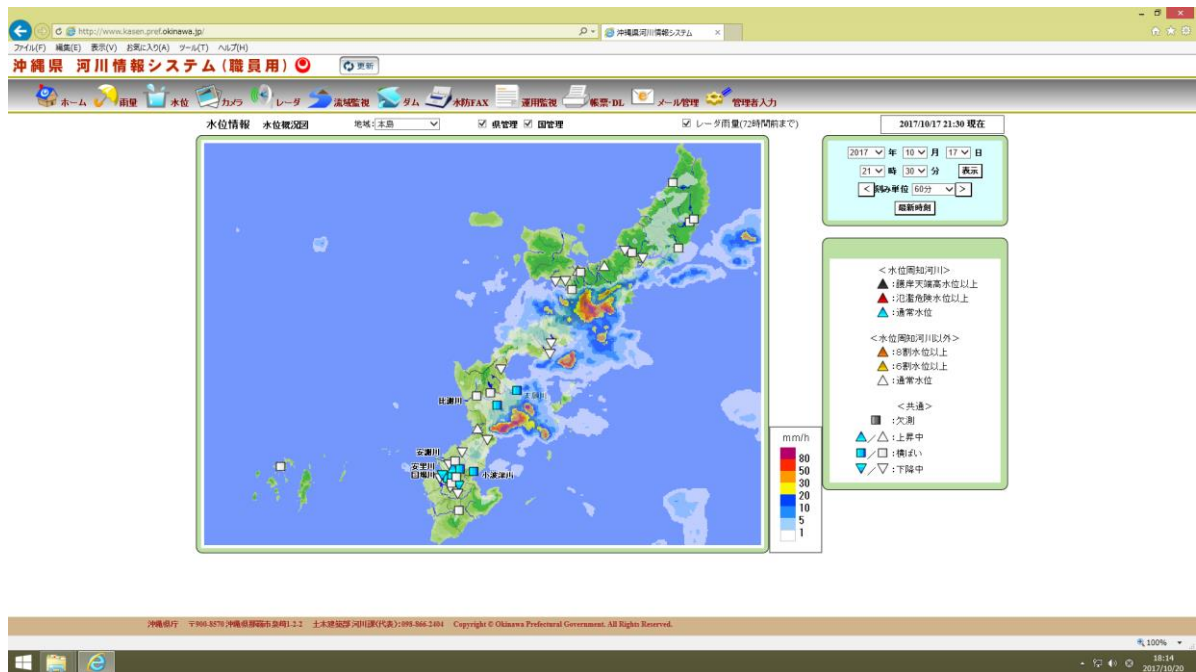


図 4.新沖縄県河川情報におけるレーダ雨量を用いた水位監視

2.1.3. レーダ雨量の収集・表示

基幹システムでは、沖縄県のテレメータ監視局から送られてきたデータの他に、国が管轄する、北部ダムの情報（雨量・水位）やレーダ雨量も取り込んでいる。レーダ雨量とは、レーダにより観測した雨雲から解析して求められた雨量であり、メッシュ状に色分けした図で表現される。新沖縄県河川情報システムでは、レーダ雨量を、水位概況図に重ねて表示することによって、今後の天気を予測しながら、水位監視を行えるようになっている（図4）。これにより、水防活動において、出水に対し、早い段階から備えることができるようになるだろう。

また、基幹システムは、レーダ雨量から流域雨量を算出して、流域監視にも役立っている。こうして得られた水位や雨量などの河川情報は、データベースに10年間保存される。

2.2.テレメータ観測サブシステム

現在、河川課では、沖縄県河川情報システムにおいて、水位14局、雨量17局、複合局8局で、20水系25河川の水文観測を行っている。これらの観測局を統括・管理するのが、

テレメータ観測サブシステムで、旧河川情報システムにおけるテレメータシステムを発展させたものである。その重要な変更点は、「水位収集時間の短縮」である。

これまでのテレメータシステムでは、水位・雨量の観測を10分間隔で行ってきた。しかし、1.2で説明したように、沖縄県の河川は、短時間での大雨に対し非常に氾濫しやすいという特徴を持っている。実際、本年度、10月23日現在において、すでに95回、水位周知河川で氾濫危険水位または、護岸天端高水位への到達が観測されているが、そのうちの約49.5%は、10～20分間という非常に短時間において、水位の上昇・下降が起きている（図5、6）。これは、10分“未満”の間隔で、水位観測をすることが重要であることを意味している。

テレメータ観測サブシステムの整備にあたり、河川課では、1分間隔でのデータ収集・提供を目指している。これが実現されれば、出水に対する意思決定をより速く、行えるようになるだろう。

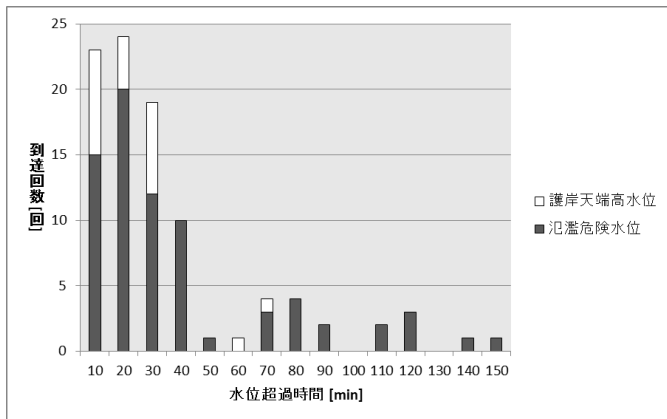


図 5.水位周知河川における氾濫危険水位または護岸天端高水位への到達回数と水位超過時間

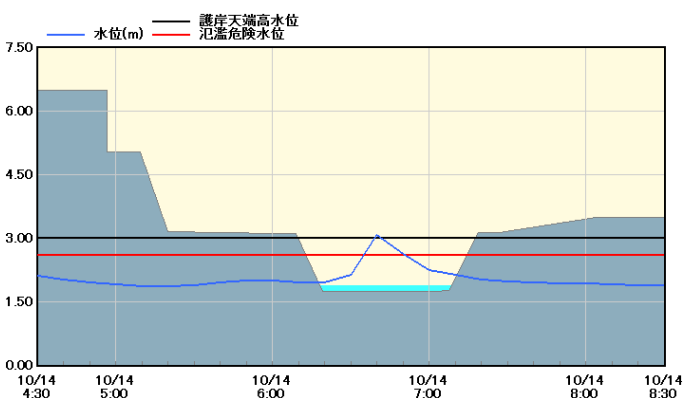


図 6. 短時間での大雨に対する、沖縄県の河川における典型的な水位グラフ（安謝川（石嶺））

また、現在、通信障害を原因とする欠測が、一部の地域で多発している。この問題を解決するために、単一无線によるデータ伝送とは別に、携帯回線を副回線とすることや、光通信回線の整備、中継局の増設を検討している。

2.3.河川映像管理サブシステム

河川映像管理サブシステムは、現在、鋭意整備中のシステムで、旧河川情報システムにおける、CCTV カメラを用いた映像系のシステムに対応するものである。設置するカメラは、安価だが高解像度の IP ネットワークカメラを採用し、河川の状況をリアルタイムで監視できるようにする（図 7）。収集された映像は、サブシステム内に蓄積され、各端末へ保存することも可能となる。

一般向けには、リアルタイム映像から 2 分

ごとに静止画を生成し、それを基幹システムへ送ることによって公開される。



図 7.河川映像サブシステム画面（案）

2.4.警報制御サブシステム

将来、実装する予定のシステムである。テレメータからの情報を元に、警報装置起動の判定を行い、現地に設置した回転灯や音声装置を起動させることで、全自動で、住民への避難の呼びかけを可能とするシステムである。また、待機職員による、警報装置の手動操作やマイク操作の他、インターネットを介して、自宅や出先からも警報装置の起動を行うことを可能とする予定である。

3.おわりに

“はじめに“で書いた昭和 40 年代後半は、沖縄県が、長い米軍統治下から解放された年代でもある。27 年間にも及ぶ米軍治政下から脱することで、ようやく河川の氾濫から住民の生命や財産を守る仕組みが始まったのだ。前述したように、沖縄県において、河川情報システムの整備が開始されたのは、平成に入ってからのことである。本土において、最初に河川情報システムが整備されたのは昭和 50 年のことなので、およそ 20 年も遅れて、沖縄県に河川情報システムが整備されたことになる。

河川情報システムは、我々、河川管理者にとっては水防活動の大きな助けとなり、住民

にとっては、身を守るための重要な情報源となるものである。地球温暖化による異常気象の多発の可能性が叫ばれるなか、河川情報システムの役割は、ますます大きくなっていくだろう。

さて、今後の整備予定を紹介することしよう。平成 28 年度に、基幹システムの整備が終わり、本年度は、河川映像サブシステムの整備を、南部土木事務所にて鋭意進めているところである。平成 30 年度からは、カメラの改修、増設を行い、さらなる監視強化を図ると同時に、テレメータ観測サブシステムの整備を開始する予定である。さらに、平成 31 年度以降、テレメータ観測局の改修および、警報制御サブシステムの整備を進めていく予定となっている。

最後に、現在、新沖縄県河川情報システムは沖縄県の防災情報サイトである、沖縄防災情報ポータルにて一般公開されている

(<http://www.bousai.okinawa.jp/river/kasen/>)

(図 8)。試運転中につき、ここで紹介した一部の機能については、一般公開されるには至

っていないものもあるが、順次機能の充実化や操作性の向上を図っていく予定なので、今後の発展に期待していただきたい。

参考文献

- 1) 清水 裕、福永 健、太田垣 暁、嶋崎 哲、佐々木 晋：統一河川情報システムについて（表現とシナリオ）、平成 16 年度河川情報シンポジウム講演集、平成 16 年 12 月
- 2) 小林 亘、甘粕 幸人、鈴木 正弘、福田 雅和、中川 七海、下迫 正博、阿部 浩一：統一河川情報システム（アーキテクチャと XML）、平成 16 年度河川情報シンポジウム講演集、平成 16 年 12 月
- 3) 北川 明：統一河川情報システムの運用と展望、平成 21 年度河川情報シンポジウム講演集、平成 21 年 12 月



図 8.一般向け沖縄県河川情報システム

首里城城壁の地震時の安定性に関する実験的研究

○琉球大学 山城義隆, 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉, 地殻工学防災研究所 渡嘉敷直彦

1. 背景

2016 年に発生した熊本地震により熊本城の一部は崩壊した。崩壊現場を調査した Aydan ら¹⁾は使用していた裏込め材が川石だったことが原因の一つとした。そのうえで、川石の丸い形状により摩擦抵抗が低下したため、地震時の城壁に作用する土圧が増加したと指摘している。したがって、裏込め材の摩擦抵抗が増加することにより地震時城壁に作用する土圧が低下し、城壁が崩壊する際、地震動に対する抵抗が大きくなると推測できる。この推測を検討するため、裏込め材以外の条件を同一にした城壁の模型実験を振動台を使用し実施した。

本論文ではその結果から、裏込め材の摩擦抵抗と城壁の地震時安定性の関係について検討する。

2. 城壁模型振動実験

城壁模型を容積 $30 \times 62 \times 10.2 \text{ cm}^3$ のアクリル水槽の中に作成した。水槽に $4 \times 4 \times 10 \text{ cm}^3$ の大きさに加工した琉球石灰岩を並べ、背後に裏込め材を入れ、城壁模型とした。琉球石灰岩は、側壁と接しないように 1 mm 以下の隙間を設けた。裏込め材として表面の形状が異なるビー玉、丸い川石、および角礫状の本部石灰岩を使用した。城壁模型の寸法は首里城城壁を参考に $1/40$ に縮小し、城壁傾斜 70° 、高さ約 30 cm とした。計測項目は加速度応答および変位とした。加速度計は城壁模型の最上部に設置し X 軸方向と Z 軸方向の加速度応答を計測した。変位は琉球石灰岩最上段の水平方向の変位を計測した。計測器を設置した城壁模型は、写真-1 の通りである。

振動条件は固有周期特性を調べる目的で加速度 50 gal 一定で、周波数を 1 Hz から 50 Hz 、 50 Hz から 1 Hz に変化させた正弦波を用いて sweep 試験を行った。破壊特性を調べる目的では周波数 3 Hz 一定で入力加速度を 1 分間で 50 gal から 400 gal に上昇させ振動を加えた。また、 400 gal に達しても崩壊しなかった場合は、 30 秒間 400 gal で振動を継続した。

城壁模型は水槽の長軸方向と振動方向を一致させ

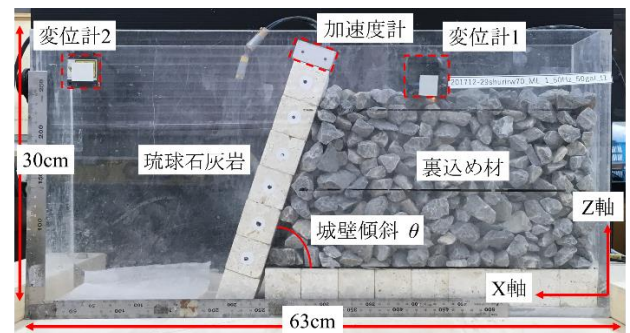


写真-1 城壁模型と変位計、加速度計の配置

るよう設置し、振動方向を X 軸方向とした。今回の実験に使用した振動台は、1 軸方向のみ振動可能なもので、 $1.0 \times 1.0 \text{ m}^2$ の可動部の上に 100 kg まで搭載し、最大加速度は 600 gal で加振できる。

3. 実験結果

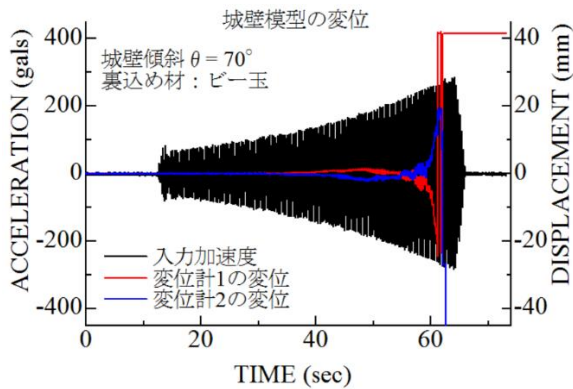
図-1 に 3 種類の裏込め材を用いた城壁模型の加振中の最上部の変位および入力加速度応答を示す。なお、変位は計測器に物体が近づくと正の値を記録し、離れると負の値を記録する。ビー玉の場合、図-1 (a) のように記録開始から約 40 秒、入力加速度 135 gal から変位が生じ、約 9 秒間裏込め材側に変形した。城壁模型は一定方向に変形せず、反対の琉球石灰岩方向に変形し、そのまま増加した。記録開始から約 58 秒後、入力加速度 244 gal で急激に変位が増加したため、琉球石灰岩全体が転倒したことがわかる。

裏込め材に丸い川石を用いた場合である図-1 (b) を見ると、変位は記録開始から約 51 秒、入力加速度約 221 gal から生じ、裏込め材側に変形している。裏込め材にビー玉を使用した場合と同様に、記録開始から約 61 秒後、逆方向である琉球石灰岩側に変形した。その後、記録開始から約 72 秒後、入力加速度 400 gal で変位が急増したため、この時点で琉球石灰岩全体が転倒したことがわかる。裏込め材に丸い川石、ビー玉を使用した場合、城壁模型は転倒した。

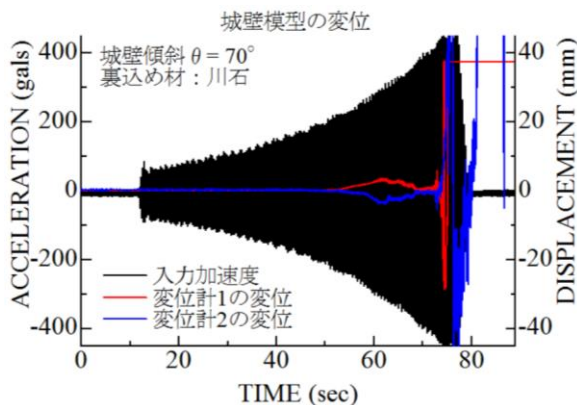
一方、角礫状の本部石灰岩を使用した場合、城壁模型は 400 gal で 30 秒間加振しても崩壊しなかった。

キーワード：首里城城壁、裏込め材、安定性、振動実験、地震

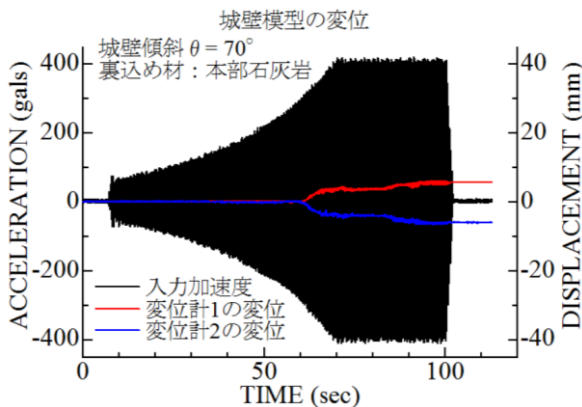
連絡先〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail : e145321@eve.u-ryukyu.ac.jp



(a) 裏込め材：ビー玉



(b) 裏込め材：丸い川石



(c) 裏込め材：角礫状の本部石灰岩

図-1 城壁模型の加振中の変位と入力加速度

そのため、角礫状の本部石灰岩を使用した城壁模型の変位を記録した図-1(c)では、記録開始から約59秒後、入力加速度296galから裏込め材側に変位が生じたが、それ以降ほぼ一定値を記録した。

次に城壁模型の崩壊形式について述べる。写真-2は裏込め材に川石を使用した場合の城壁模型の崩壊の様子を示す。振動開始から約57秒後、裏込め材の沈下が始まった。同時に、裏込め材の支持を失った

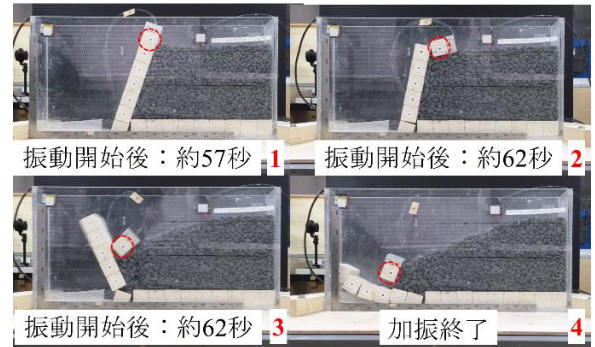


写真-2 転倒による城壁模型崩壊の一例

7段目の琉球石灰岩が滑動をはじめ振動開始から約62秒後、裏込め材の上に落下した。城壁模型は7段目の琉球石灰岩の落下直後に転倒しながら崩壊した。崩壊に至るまで一部の琉球石灰岩が滑動を生じたものの、全体としては転倒によって崩壊していた。裏込め材にビー玉を使用した場合も変位が生じる入力加速度は異なっていたが、同様の崩壊過程だった。

4. 考察

図-1を見ると、裏込め材ごとに城壁模型の変位の推移が異なっていることがわかる。変位が生じた入力加速度を比較すると、角礫状の本部石灰岩（約296gal）、丸い川石（約221gal）、ビー玉（約135gal）となった。また、変位が急増した場合は角礫状の本部石灰岩を除いて、丸い川石の場合は約400gal、ビー玉の場合は約244galとなり、それぞれ崩壊を誘発する入力加速度が異なることがわかる。したがって、裏込め材の摩擦抵抗の違いにより城壁模型の安定性が異なっていることがわかる。

5. 今後の課題

今回の実験で裏込め材の変化により城壁模型の安定性が変化することが分かったが、裏込め材の摩擦抵抗を把握することが必要である。今後、裏込め材のせん断試験を行い、裏込め材の摩擦抵抗を計測する必要がある。そのうえで、正確な摩擦抵抗と城壁の安定性について検討を行う。また、城壁の傾斜角が安定性に与える影響についても検討を行う。

参考文献

- 1) Aydan, Ö., Tomiyama, J., Matsubara, H., Tokashiki, N., Iwata, N. (2017): The characteristics of damage to rock engineering structures induced by the 2016 Kumamoto earthquake. Procs. of the 14th Japan Rock Mechanics Symposium, Paper 0040, 6p (on CD).

水害時避難を対象とした呼びかけ避難の効果に関する分析

琉球大学 田中正輝 神谷大介

1. はじめに

近年、短時間強雨を原因とした水害が多発している。図-1、図-2 に示すように 1 時間に 50mm 以上 80mm 未満の雨（非常に激しい雨）と 80mm 以上の雨（猛烈な雨）¹⁾ の発生回数は年々増加している。これより、水害が発生する確率も増加していると考えられる。2017 年 7 月の九州北部豪雨では記録的な大雨を記録し、41 名の死者・行方不明者を出した。

このような背景から、国土交通省では「水防災意識社会再構築ビジョン」を策定し、ハード・ソフト両面からの対策を講じることを示した²⁾。しかし、ハード対策は多大な時間と財源を必要とするため、早急なソフト対策が求められる。この重要な対策の 1 つとして避難行動が挙げられ、自助に関する既往研究は多くなされてきた。しかし、共助に焦点を当てた研究は少ない。

本研究では水害時の避難行動における共助意識に焦点を当て、共助意識が与える効果について定量的に分析を行う。

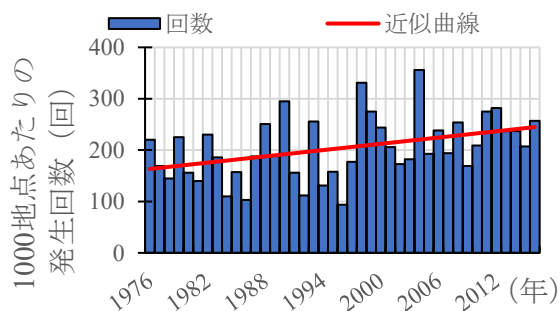


図-1 1 時間降水量 50mm 以上の 1000 地点あたりの年間発生回数

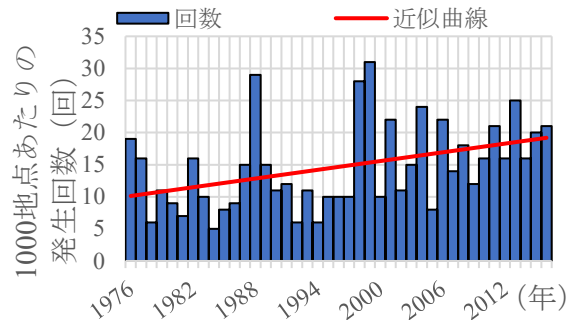


図-2 1 時間降水量 80mm 以上の 1000 地点あたりの年間発生回数

2. 共助力評価のためのモデル構築

1) 避難行動からみた共助力

一般的に共助とは隣人や友人など地域で支え合うことをいう。ここでは、避難時に近隣の住民に避難の呼びかけを行い、お互いに避難を支え合うことを共助力と考える。その共助力を評価するために、本研究では研究手法として、MAS（マルチエージェントシミュレーション）を使用する。

2) MAS の概要

MAS は複数のエージェントを用いたシミュレーションのことを意味する。エージェントとは自分の周囲の状況を認識し、それに基づいて一定のルールのもとで自律的に行動する主体のことである³⁾。エージェント同士が相互作用を及ぼすことによって複雑な現象を再現することができるため、共助力を評価するために適した手法であると考えられる。

本研究では、水害時の避難行動において避難者

キーワード 水害 共助 避難

連絡先 〒 903-0123 西原町千原 1 番地 琉球大学理工学研究科

E-mail: e145306@eve.u-ryukyu.ac.jp

をエージェントとして定義し、それぞれのエージェントに行動ルールを与えることで、呼びかけの効果について評価する。

3) 共助力の評価手法とシナリオ指定

表-1 に想定するシナリオを示す。なお、避難勧告への反応率や呼びかけ率はアンケート調査から求めるものとする。この表の「Case1」は全員が町(地区)内にいる状況(休日, 平日夜間), 「Case2」は通勤通学などで町(地区)外へと出ていく人がいる状況(平日昼間)を想定している。また, 「全員勧告避難」とは全員が避難勧告で避難する状況, 「勧告避難者のみ避難」とは, アンケート調査より避難勧告で避難すると回答した人だけが避難をする状況, 「勧告避難と呼びかけ」とは勧告避難で避難する人が避難しない人に呼びかけを行い, 呼びかけられたら避難するとアンケートで回答した人が避難を開始するという状況を想定している。

共助力を評価するために, 各シナリオでシミュレーションを行い, 避難時間と避難完了率を算出する。この結果から呼びかけの効果を分析する。

3. 共助力評価モデルの適用

1) 研究対象地域の概要

本研究の対象地域である安芸太田町の位置を図-3 に示す。この町は総人口 6471 人, 高齢化率 49% (2017 年 12 月末現在) の高齢化社会が進んだ町である。将来推計人口と高齢化率を図-4⁴⁾に示す。これより, 安芸太田町は更なる人口減少と高齢化が進むと予想されている。これより, 日本全体が近い将来迎えると考えられる社会を表していると考えられる。



図-3 安芸太田町の位置

表-1 想定されるシナリオ

ケース名	シナリオ	想定する状況	予想される状況
Case1	1	全員勧告避難	休日 平日夜間
	2	勧告避難者のみ避難	
	3	勧告避難と呼びかけ (現状少)	
	4	勧告避難と呼びかけ (現状多)	
	5	勧告避難と呼びかけ (全員)	
Case2	1	全員勧告避難	平日昼間
	2	勧告避難者のみ避難	
	3	勧告避難と呼びかけ (現状少)	
	4	勧告避難と呼びかけ (現状多)	
	5	勧告避難と呼びかけ (全員)	

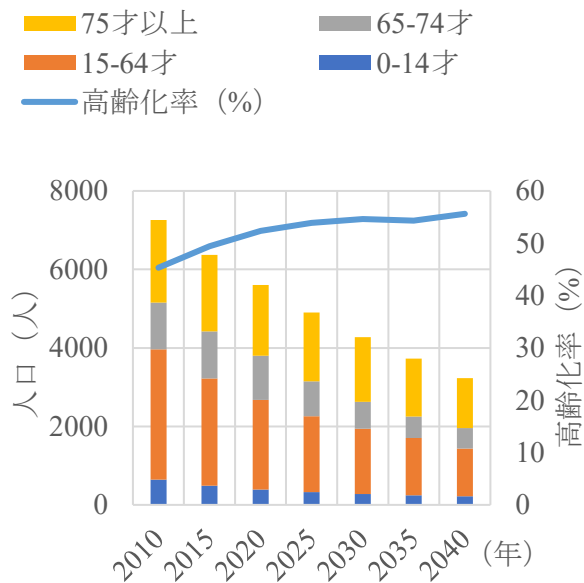


図-4 安芸太田町の将来推計人口と高齢化率

2) エージェント設定

シミュレーションを行うにあたり、年代別エージェントの割り振りを行った。Case1, Case2で使用する結果をそれぞれ表-3, 表-4に示す。なお、エージェントの割り振りは2010年度の国勢調査⁵⁾を基に設定した。またシミュレーションは地区内避難のみとする。

表-3 Case1 のエージェント割り振り

地区名	0-14	15-64	65-74	75-	計
下殿河内	38	192	61	153	444
下筒賀	10	80	34	62	186
加計	178	818	301	423	1720
吉和郷	6	28	7	17	58
穴	19	280	95	194	588
戸河内	76	249	80	139	544
上殿	49	354	117	158	678
中筒賀	68	307	107	164	646
津浪	30	155	62	72	319
坪野	19	121	40	90	270
土居	49	166	33	101	349
遊谷	4	61	27	34	126

表-4 Case2 のエージェント割り振り

地区名	0-14	15-64	65-74	75-	計
下殿河内	13	35	37	134	219
下筒賀	3	14	21	54	92
加計	61	147	185	372	765
吉和郷	2	5	4	15	26
穴	7	50	58	170	285
戸河内	26	45	49	122	242
上殿	17	64	72	139	292
中筒賀	23	55	66	144	288
津浪	10	28	38	63	139
坪野	7	22	25	79	133
土居	17	30	20	89	156
遊谷	1	11	17	30	59

3) エージェントの歩行速度

エージェントの歩行速度は「津波避難対策推進マニュアル検討会報告書, 2013」⁶⁾を基に、年代別に設定した。表-5にエージェントの歩行速度を示しておく。

表-5 エージェントの歩行速度

年代	歩行速度(m/sec)
0-14 才	0.9
15-64 才	1.3
65-74 才	1.1
75 才以上	1.0

4) エージェントの行動設定

エージェントは避難場所を事前に正しく認知している条件下で、最短距離を移動する設定とした。最短距離と経路はダイクストラ法により求める。

呼びかけに関しては、避難者が最短経路で避難所に向かう途中で避難していない世帯を見つけた時に呼びかけることとした。また、呼びかけられた人は避難を開始し、呼びかけられなか

った人は避難をしない設定とする。

5) 土居地区での結果と考察

図-5、図-6 に土居地区での結果を示す。表-1 のシナリオ 3～5 におけるそれぞれの呼び掛け率はアンケート調査結果を基に、49%、78%、100%と設定した。また、避難する人全員が避難を開始し、避難所に到着するまでの時間（避難しない人は含まない）を避難時間とする。この避難時間に注目すると、Case1 よりも Case2 の方が短い。これは避難者の数に違いがあるためである。しかし避難完了率は Case1 よりも Case2 の方が低い。これも避難者の数が関係している。避難者の数が少ない場合、エージェントの密度が粗になるため、呼びかけを行う人が避難をしていない人に出会う確率が低くなる。このため、避難完了率に違いが出たと考えられる。

図-4 に示したように、安芸太田町ではさらなる過疎高齢社会になることが予測されている。つまり、現在よりもエージェントの密度が粗になり、避難完了率が低くなることが考えられる。また、高齢者の割合が増加するということは、避難に時間がかかる人の割合が増加することになる。将来的に避難勧告を出すタイミングを早めるなどの対策が必要であるといえる。

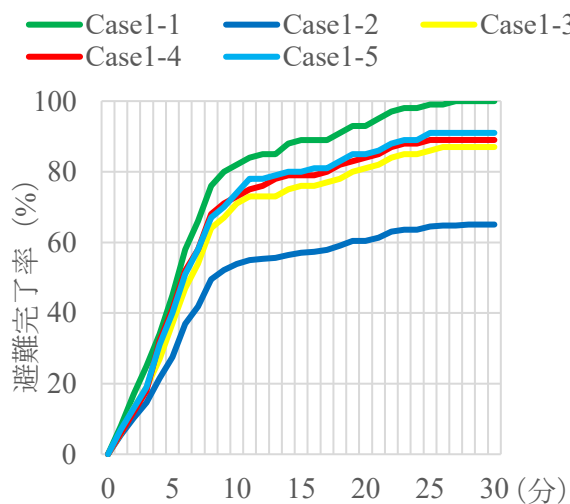


図-5 土居地区 Case1 結果

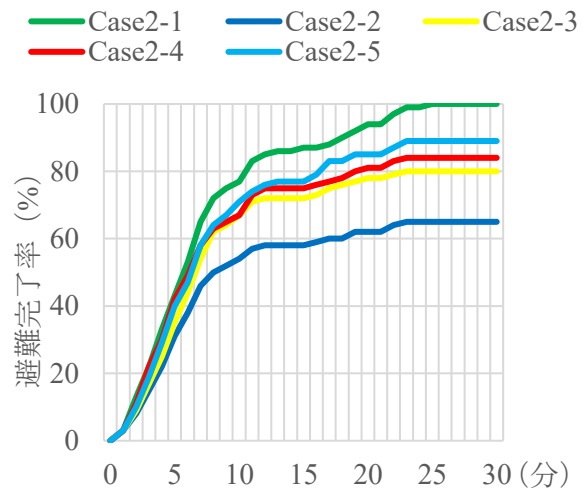


図-6 土居地区 Case2 結果

4. おわりに

シナリオ毎の避難時間と避難完了率を算出することによって、地域の呼びかけ避難の効果を示した。これにより、呼びかけ率が高いほど避難完了率が上がり、助かる人数も増えることが示された。今回のシミュレーションでは全員が自分で動けるという前提のもとに行っている。今後は要支援者を考慮し、さらに過疎高齢化が進んだ社会でのシミュレーションを行う予定である。

参考文献

- 1) 気象庁：アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について, 2017
- 2) 国土交通省：水防災意識社会再構築ビジョン, 2015.
- 3) 構造計画研究所：MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/>
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口, 2013
- 5) 総務省統計局：平成 22 年国勢調査, 2013.
- 6) 津波対策推進マニュアル検討委員会：津波対策マニュアル検討報告書, pp23-25、2013.

防災情報に着目した避難の判別要因に関する考察

琉球大学 三橋洗道 神谷大介
長崎大学 吉田護

1. はじめに

2017年九州北部豪雨や2015年の関東・東北豪雨のような、近年人的被害を伴う甚大な水害が多発している。これらを引き起こす短時間豪雨や局地的豪雨は今後も増加することが示唆されており¹⁾、豪雨災害対策は我が国の喫緊の課題である。

豪雨災害による人的被害軽減のために避難は有効な手段であり、それを促すものが避難勧告等の防災行政情報である。しかし、避難勧告発令の有無や避難率の問題が災害の度に指摘されている。きめ細やかな防災行政対応が困難な現状で住民の自助・共助の重要性が高まっており、近所から避難の呼びかけ等の連絡が有効であることが示されている²⁾。

以上のことより、本研究では、住民の避難行動意図形成に対し、避難を促進する要因を明らかにすることを目的とする。このため、太田川流域に位置する安芸太田町を対象とした質問紙調査を行い、特に避難勧告と近隣住民の呼びかけに対する避難意思形成に関する分析を行う。

2. 情報種別の避難意図の促進要因

1) 調査地域の概要

安芸太田町は人口 7255 人、高齢化率が 45.3%の広島市の北部に位置する町で、町内を一級河川である太田川が横断している。安芸太田町の場所を図-1 に示す。その太田川流域では、2005 年の台風第 14 号に伴う水害によって床上浸水が 4 棟、床下浸水が 31 棟、道路被害が 45 箇所、河川被害が 46 箇所の被害が出た³⁾。

2) 質問紙調査の概要

質問紙調査は水害を対象とするため、太田川本流両岸500m圏内に居住する安芸太田町民に実施した。調査方法は、訪問配布、郵送回収で行った。



図-1 太田川本流図

表-1 質問紙調査の個人属性(N=573)

個人属性	平均	標準偏差
年齢	68.4	13.1
居住年数	41.4	27.6
家族人数	2.5	1.5
個人属性		割合(%)
性別 (男性=1, 女性=0)		58.2
水害経験(有=1,無=0)		39.3
自主防災組織への参加(有=1,無=0)		11.0
避難の有無(有=1,無=0)		32.5
避難経路の確認(有=1,無=0)		70.9
懐中電灯の準備(有=1,無=0)		78.9

1205部配布して573枚回収し、回収率は約47.5%であった。調査項目は、個人属性、被災経験、地域活動、近隣住民との付き合い、災害に対する備えの実施状況、情報別の避難意図などである。質問紙調査の個人属性の概要を表-1に示す。これより、回答者の半数以上が高齢者で、水害経験のある住民が約40%、自主防災組織へ参加している住民が約11%、避難経験のある住民が約32%、避難経路確認している住民が約70%、懐中電灯を準備している住民が約79%であった。

キーワード 水害 避難促進 防護動機論

連絡先〒903-0129 西原町千原 1 番地 琉球大学理工学研究科 E-mail : k168472@eve.u-ryukyu.ac.jp

3. 情報種別の避難意図の促進要因

1) 情報源間の関係

避難意思を決定する情報の単純集計を図-2に示す。なお、凡例の表記は「1. 思わない」から「5. 思う」の5段階で設定している。これより、「近所の勧め」で住民全体の約52%が強い避難意思を持つことが分かる。次に、「避難勧告」と「近所の勧め」でのクロス集計を行う。この時、「5. 思う」、「4. やや思う」を選択した住民を避難するとした。この結果を表-2に示す。これより、避難勧告で避難しない住民の151人のうち99人が「近所からの勧め」ならば避難することが分かる。このように、避難勧告で避難しない人でも異なる情報ならば避難することが分かる。一方で、どちらの情報でも避難しない人は52人いた。

2) 情報源別の避難意図と避難促進要因

避難意図を促進する要因を判別分析を用いてモデル化する。「避難勧告」と「近所の勧め」を目的変数にした解析結果を表-3、4に示す。これより、自主防災組織への参加、地域協力意識の意識、深刻さ認知、行政情報への信頼、脅威の伝達意思が正の影響を与えている。また、男性であること、避難所生活の不快感が負の影響を与えていることが分かる。「近所の勧め」では脅威の伝達意思、懐中電灯の準備、近所付き合いの活発さが

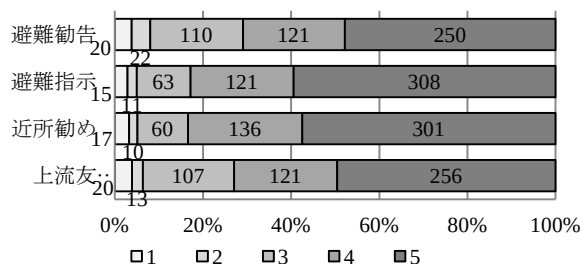


図-2 避難意思を決定する情報の単純集計

表-2 避難勧告と近所の勧めのクロス集計結果

		近所勧め	
		避難する	避難しない
避難勧告	避難する	328 (タイプ 1)	35 (タイプ 2)
	避難しない	99 (タイプ 3)	52 (タイプ 4)

表-3 避難勧告の判別分析結果

変数名	判別係数	標準判別係数	p 値
性別	-0.416	-0.204	0.068
自主防災組織	0.745	0.246	0.028
地域協力意識(防災)	0.398	0.369	0.002
深刻さ	0.173	0.226	0.041
行政情報信頼(空間)	0.192	0.224	0.052
災害脅威伝達	0.422	0.409	0.001
避難所生活不快	-0.161	-0.217	0.054
定数項	-3.819	判別の中率	68.70%

表-4 近所の勧めの判別分析結果

変数名	判別係数	標準判別係数	p 値
災害脅威伝達	0.453	0.438	0.001
懐中電灯の準備	0.604	0.245	0.051
近所付き合い・ 会話頻度主成分	0.271	0.27	0.036
定数項	-2.287	判別の中率	67.40%

正の影響を与えている。

4. おわりに

本研究では安芸太田町を対象に実施した質問紙調査の結果を用いて、避難意思を決定させる情報による避難意図を形成する要因が異なることを明らかにした。また、防災対策を行うことが避難意思の形成を促進することを明らかにした。

謝辞：本研究は国土交通省 河川砂防技術開発(流域計画・流域管理課題分野「行政と住民間の連携を考慮した河川環境改善と水害リスク軽減に関する研究」代表：神谷大介)の補助を受けている。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動レポート，2014.
- 2) 神谷大介，當間優樹，赤松良久，富山潤：近地と遠地の津波警報発表時における住民の避難行動に関する分析，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.68，No.2，I_138-I_143，2012.
- 3) 国土交通省 中国地方整備局 太田川河川事務所：平成17年度9月台風第14号出水資料，P.16

訪日外国人のレンタカー急制動箇所と区間別事故数との比較

琉球大学 学生員 ○内藤 郁 正会員 神谷 大介
長大 正会員 内海 泰輔 正会員 多田 俊也
中央建設コンサルタント 正会員 山中 亮
沖縄総合事務局 渡久山 雄一

1. はじめに

近年，訪日観光客が急増している．それに伴い，観光地を周遊するレンタカーの利用も増加している．その結果，日本の交通ルールに不慣れな訪日観光客のレンタカー事故が問題となっている．平成 27 年度 国際航空旅客動態調査¹⁾によると那覇空港はレンタカー利用割合が 21%にも及んでいる．これより，那覇空港を含め，国土交通省は訪日外国人観光客レンタカー事故ピンポイント対策実験地域を指定している．沖縄県では，2021 年までに観光客 1200 万人うち外国人 400 万人誘致を目標としており，今後，訪日観光客のレンタカー事故の増加が懸念されている．以上の認識の下，本研究では沖縄本島を対象として，交通事故件数，県民ドライバーおよび訪日外国人ドライバーの急制動箇所を比較する．

2. 分析の方法と考え方

本稿では，2016 年度に沖縄本島内で発生した道路区間別交通事故件数と ETC2.0 データを用いて危

険箇所を比較する．県民ドライバーの急制動箇所は同データの 2016 年一般プローブ，訪日外国人については 2017 年 5~10 月に地域道路経済戦略研究会沖縄研究会で実施した特定プローブ(1095 日・台)のデータを用いることとする．なお，2016 年時点では沖縄県内のレンタカーには ETC2.0 車載器は設置されていないことより，一般プローブのデータを県民とする．また，プローブ情報の挙動履歴より， $-0.25G$ 以下を急制動と考えることとする．

3. 事故および一般プローブの比較

路線区間別事故件数，県民の急制動箇所を図-2 に示す．事故件数は国道 58 号浦添市・宜野湾市の区間が最も多く，次いで国道 329 号南風原町・与那原町区間，国道 330 号浦添市・宜野湾市・北中城村の区間となっている．那覇市への主要幹線道路で事故が多いことがわかる．県民の急制動箇所については，国道 58 号浦添市・宜野湾市区間は同様であるが，これに加え，国道 58 号嘉手納町でも多くなっている．この他沖縄自動車道と那覇空港

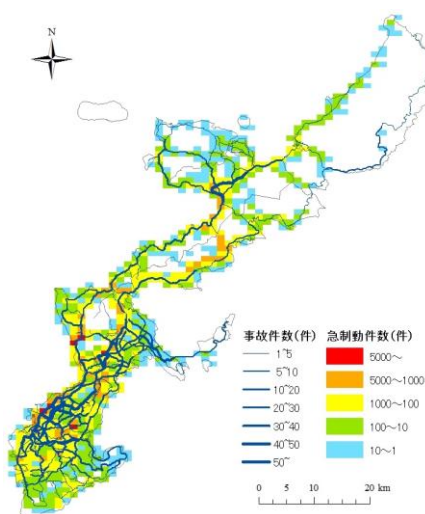


図-2 区間別事故件数²⁾，県民急制動箇所(1km メッシュ)

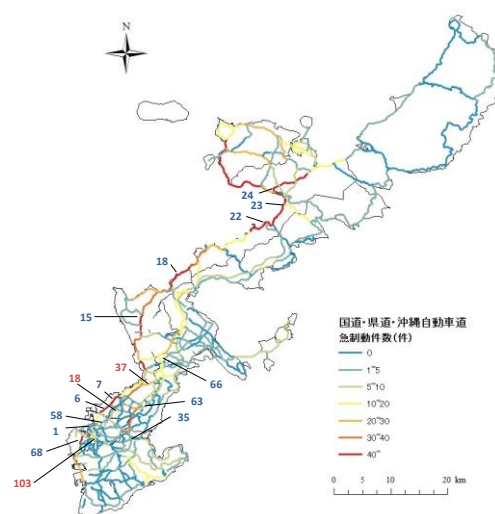


図-3 外国人急制動箇所

キーワード：訪日観光客， レンタカー事故

連絡先 〒901-2214 沖縄県宜野湾市我如古 2-12-1 丸英ビル A-11

Tell : 080-8381-7193 E- mail : e145328@eve.u-ryukyu.ac.jp

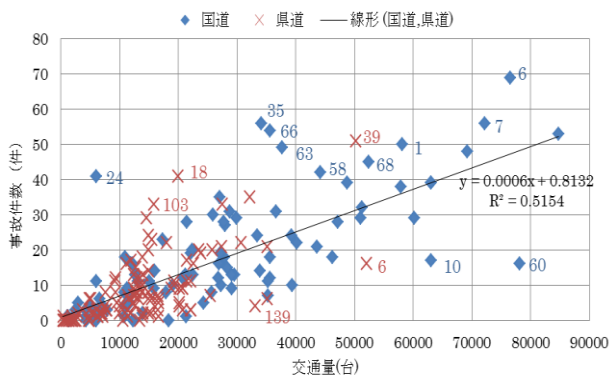


図-5 交通量と事故件数の関係

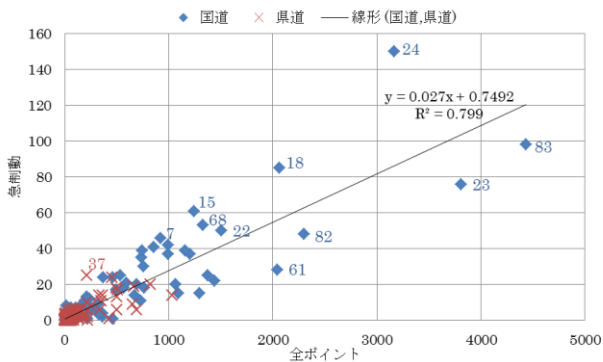


図-6 走行履歴数と急制動数の関係

表-1 事故件数と外国人ドライバーの比較

		急制動	
		上	下
事 故	回帰より上	47	56
	回帰より下	64	119

道の合流部や沖縄市役所付近でも急制動が多くなっている。

4. 事故および特定プローブの比較

訪日外国人の路線区間別急制動箇所を図-3に示す。図-3に示す外国人の場合、国道58号那覇市から名護市が多くなっている。国道58号那覇市内や宜野湾市内、県道23号沖縄市内では、事故数も同様に多くなっている。国道58号名護市境界付近や国道449号名護市内から本部町では、急制動が多くなっているのに対し、事故数は少なくなっている。ここには美ら海水族館や今帰仁城跡があること、ここへは公共交通での移動が不便であることより、交通量および急制動が多くなったものと考えられる。一方で、国道329号南風原町・与那原町区間、国道330号浦添市・宜野湾市・北中城村では、急制動数が少なくなっているのに対し、事故数が多くなっている。

5. 交通量を考慮した分析と考察

一般に事故件数や急制動数は交通量の影響を受

けると考えられる。このため、交通量と事故および急制動数の関係を図-5と図-6に示す。なお、ここでの交通量は、事故件数との比較では平成27年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査データ³⁾を用い、急制動数との比較ではおおむね200mに一点が取れるプローブの走行履歴数とする。これらより、交通量の増加に伴い事故件数が多くなっていることがわかる。

今回対象とした全286区間を両図の回帰直線より上か下かで整理すると表-1となる。図-5、6ともに、国道58号浦添市内から宜野湾市、名護市街地、国道507号那覇市内においては回帰直線より上にあり、事故件数も外国人ドライバーの急制動も多くなっている。一方、国道329号浦添市内、国道507号糸満市内では、図-5、6ともに下にある。また、国道58号読谷村・恩納村の区間においては、図-5では回帰直線より下にあるが、図-6では上回っている。差が大きい順に、国道58号読谷村内、国道58号恩納村内、県道23号北谷町内、県道74号嘉手納町内、国道329号宜野湾市内となる。

以上のことより、外国人ドライバーには、運転上で危険な区間が事故件数が多い区間とは異なる区間にもあることがわかる。特に、事故件数が相対的に少ないが急制動が多い区間で、外国人ドライバー対応を優先的に行う必要があると考えられる。

6. おわりに

本研究ではETC2.0一般プローブ、特定プローブおよび事故統計用いて外国人ドライバーからみた危険区間を明らかにした。事故ゼロプランなどでは実際の事故発生から対応を行うことが多いが、主要観光地周辺道路などにおいても注意が必要であることが示された。今後は道路線形・交差点数等も考慮した分析を行うとともに、日本人観光客との比較も行うこととする。

参考文献

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

海食崖の模型実験における静的および動的安定性に関する研究

学生会員 琉球大学 堀内浩貴, 琉球大学 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉
島嶼防災研究センター 渡嘉敷直彦

1. はじめに

海岸沿いに岩盤劣化の著しい海食崖は、世界的に多数存在し、その近辺には歴史的構造物や道路、観光施設、灯台などが存在する場合が多いことから、海食崖の安定性評価に関する検討が求められている。本研究で、静的及び動的模型実験を行うことで、不連続面群に考慮した形で模型を作成することができ、岩盤特有の不連続的な挙動を不連続面に依存した崩壊メカニズムや振動実験によって、確認することが可能である。

本研究では、岩盤特有の不連続面に考慮して、連続体（不連続面群：0）、層状体（不連続面群：1）及びブロック体（不連続面群：2）の3種類の形状について静的、および動的模型実験を実施し、海食崖の安定性評価の検討を行った。

2. 模型実験による海食崖の静的安定性評価（実験1）

本研究では、静的場における海食崖の不連続面群・不連続面角度および斜面角度の違いによる崩壊形態がどのように異なるのかを目的とする。

(1) 実験概要

本実験では、底面摩擦模型実験装置を用いる。この装置は、一方向に一定速度で作動するベルトコンベア上に模型を置き、重力場における応力状態と相似になるように実験するものである。ベルトコンベアを低速で動かすこととベルトおよびモデル間の摩擦で、水平面内で重力場を再現することができ、不連続面群に依存した海食崖の崩壊メカニズムを観察することが可能である。

今回行う実験ケースは、連続体モデル及び、調査で観察した測定角度を参考に、海食崖の初期斜面角度を 70° と 90° とし、成層角度を 0° から 180° の間で8種類における成層状態を想定した層状とブロック状の3種類について行った。

(2) 実験結果

連続体、層状体およびブロック体についての海食崖モデルの崩壊形状の例を図-1に示す。これらの図から不連続面の数や、不連続面の方向により、崩壊形態が異なることが確認できた。実験結果より、 $\alpha > \phi$ の時は、時間が経過しても侵食部を起点とした崩壊から新たな崩壊は発



図-1 不連続面群の異なる海食崖の崩壊モデル

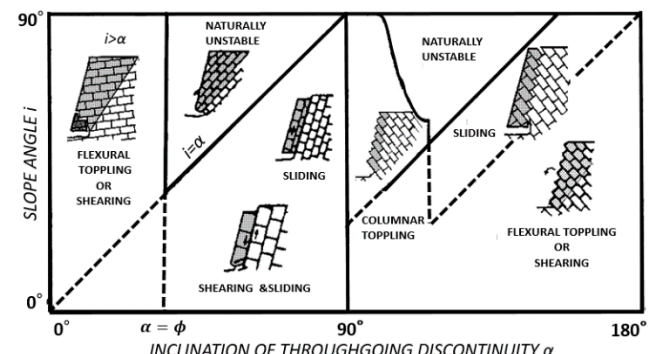


図-2 ブロック体による海食崖崩壊様式の領域分類

生しないことが分かり、その他の場合では不連続面の角度に依存して、崩壊形態が異なることが確認できた。

図-2に清水らの実験結果と今回の実験結果について模型実験による海食崖の破壊様式の領域をブロック体についてまとめたものを示す。この図は、横軸に成層角度 α 、縦軸に初期斜面角度 i を取り、破壊様式及び安定領域と不安定領域を示した。図からみられるように、流れ盤 (0° - 90°) では、 $\alpha < i$ の時、不安定となり、領域の境界線は線形的な結果となったが、受け盤 (90° - 180°) では、クロスジョイントの有無と斜面角度に依存して崩壊の安定性が異なる。岩盤斜面の崩壊は、地質構造や幾何学的形状によって異なった破壊形状を示すことが知られているが、通常の岩盤斜面と同様に、法尻付近が侵食される海食崖のような不安定な自然構造物にも、岩盤斜面の各種の破壊様式に分類できる。

3. 模型実験による海食崖の動的安定性評価（実験2）

本研究では、岩盤不連続面の有無を考慮した海食崖の動的応答と破壊機構を明らかにすることを目的とする。

(1) 実験方法

まず最初に、実験の概略を図-3に示す。今回行う実験は、一定の加速度：50galで、周波数：3-50-3Hzの条件で

キーワード *failure mechanism, model test, dynamic, discontinuity, toe erosion, shaking table*

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail: e145317@eve.u-ryukyu.ac.jp

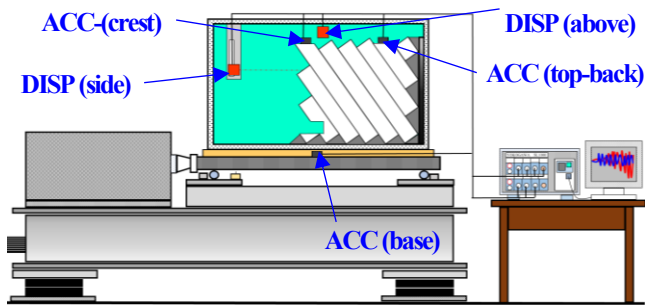


図-3 実験の概略

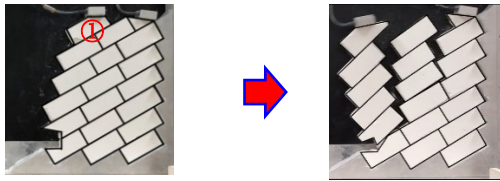


図-4 実験前後の模型の様子

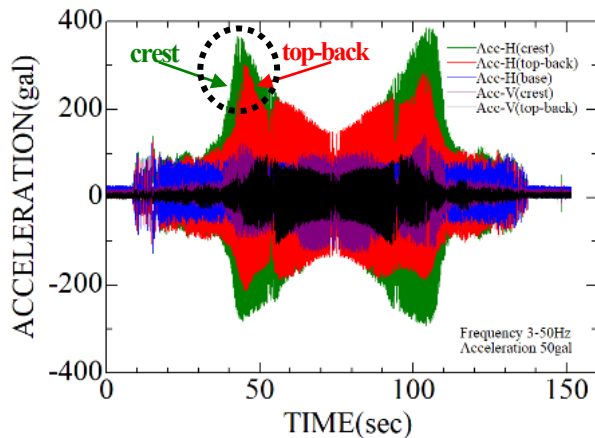


図-5 Sweep 実験の結果

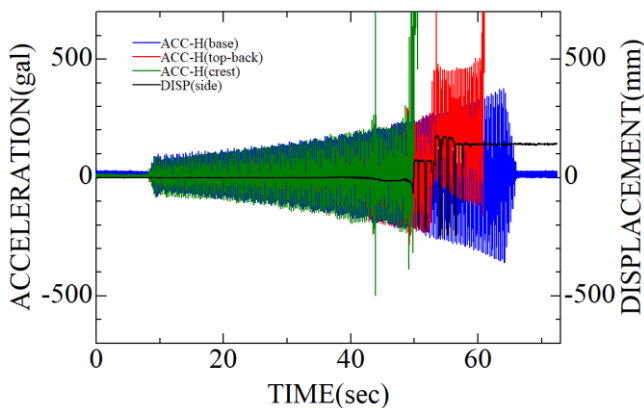


図-6 破壊特性実験の結果

周波数に依存した Sweep 実験を行った後、一定の周波数：5Hzで加速度：0-400galで増加させて破壊特性実験を行い、海食崖の模型の破壊機構を調べるものである。今回は、斜面角度 90° （模型製作の都合上、一部除く）と異なる不連続面角度（ 0° - 180° ）の範囲で7パターンの模型を作成し、実験を行った。なお、計測項目は加速度および変位である。

(2) 実験結果

a) 周波数に依存した加速度応答実験

加速度応答実験の結果の一例として、図-5にブロック体モデル 30° の Sweep 実験の結果を示す。図中の40sおよび108s付近に注目し、海食崖上端の前方（crest）と後方（top-back）の加速度応答を比較すると、海食崖後方（top-back）に比べて、前方（crest）において大きな加速度応答が確認できる。

b) 破壊特性実験

次に、今回の破壊特性実験の一例として、図-6にブロック体モデル 30° についての加速度応答およびレーザー距離計の結果を示す。図より Acc-H(base)において、経過時間 43sec で、図に示す①のブロックのずれによって大きな加速度応答が確認できる。その後、経過時間 50sec 前後で加速度約 200gal で侵食部のブロックを起点に最前列にあるブロックが柱状的にブロックトップリング破壊²⁾を起こし、崩壊に至ったことが確認できた。

つまり、崖の下部が侵食された岩盤斜面の場合にも通常の岩盤斜面同様に、不連続面の影響が崩壊要因に大きく関係していると言える。

4. 結論

本実験より得られた知見および結論を以下に示す。

- 1) 不連続面の成層角度により、海食崖モデルの崩壊形態が異なり、流れ盤では、主に滑り破壊が発生し、受け盤では、トップリング破壊が見受けられた。また初期の崩壊後にしばらく実験を続行していくと、新たな崩壊が発生した（実験1）。
- 2) 海食崖の不連続面群の数および岩盤不連続面の方向の違いにより、加速度応答および模型の変形挙動が大きく異なることが確認でき、不連続面の有無および角度に依存した加速度応答・破壊機構の違いを確認することができた。（実験2）

謝辞：本研究で報告した実験の一部に関して助言をいただいた元名城大学の清水泰弘先生、原子力規制庁（元東海大学理工学研究科）太田良巳博士に謝意を表す。

参考文献

- 1) 清水泰弘，藍檀オメル，京谷孝史，市川康明，川本朧万：岩盤斜面の法尻付近による不安定現象に関する実験的研究，第25回土質研究発表会（岡山），pp.1121-1124,1990.
- 2) Aydan, Ö. and Kawamoto, T.: The Stability and Underground Openings Against Flexural Toppling and Their Stabilisation. Rock Mechanics and Rock Engineering 25, pp.143-165,1992.

琉球諸島における琉球石灰岩海食崖の最近の崩壊事例とその崩壊要因に関する研究

学生会員 琉球大学 堀内浩貴, 琉球大学 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉
島嶼防災研究センター 渡嘉敷直彦

1. はじめに

本研究では、琉球諸島における琉球石灰岩海食崖の実態調査と、それに伴う岩盤についての各種計測を実施した。これより、調査時にみられた琉球石灰岩海食崖の現場調査の結果報告を示し、最近瀬底島で崩壊した海食崖の事例を取り上げ、そのメカニズムと崩壊要因について現場計測および数値解析により検討を行った。

2. ドローンによる地形測量の海食崖調査への適用

(1) 海食崖調査の概要

海食崖の調査は、海波の影響や、断崖絶壁の調査をする際に危険が伴い、直接距離測量が行えないような高所の岩盤調査が困難であった。本研究では、上記の課題を解決するため、GPS測量とドローンを用いた写真測量を実施し、3次元計測を実施した。ドローンによる写真測量は飛行制限区域の都合上、糸満海岸の具志川城址周辺を対象に行った。

(2) 調査結果

従来、調査が困難であった海食崖の侵食状況の把握および崩壊した岩塊の形状把握に対して、ドローンの活用により、得られた知見を以下に示す。

- 1) 今回のドローンの航空測量による精度はGPS測量とドローンによるステレオ画像をSfMソフトで解析し

た時の誤差がミリ単位であったため、従来の測定精度よりもはるかに高い精度となった。

- 2) ドローンによる地形測量により、地形の3Dモデル化が可能であるため、任意の海食崖および地形の断面やその断面の詳細な寸法を把握することが可能である(図-1)。

3. 最近の崩壊事例に関する各種検討

最近崩壊した海食崖の事例として、瀬底島の海岸周辺の海食崖の崩壊事例を図-2に示す。調査時に得られた海食崖の特徴として、崩壊面の観察により堆積状況が異なる3層の構造が見受けられた(図-2)。上下の層(図-2, I, III)は劣化が進行しており、中央の層(図-2, II)は、劣化の進行が進んでいないことが確認された。

(1) 各種岩盤測定

最初に崩壊面についての測定を行った。崩壊面を表面の特徴の違いによりI, II, IIIの領域に識別し、それぞれの形状寸法および崩壊した岩塊の形状寸法をh1, h2, h3, h4と設定し、直接距離測量にて測定を行った。

次に、Sanyoのシュミットハンマーによる反発度計測を行った。測定結果より、IIの領域とIIIの領域を比較して、1/3-1/2ほど反発度が小さいことが分かった。

最後に、赤外線カメラを用いて岩盤劣化の評価が可能であるかの検討を試みた。

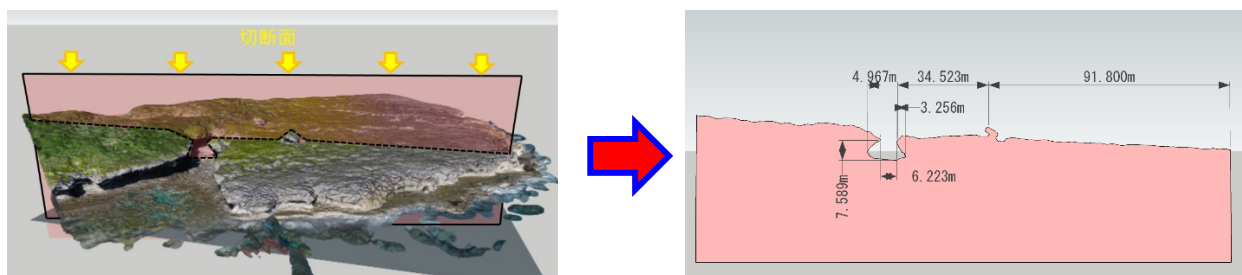


図-1 カサカンジャ周辺の地形断面図および寸法 (左: 3Dモデル, 右: 切断面の断面寸法)

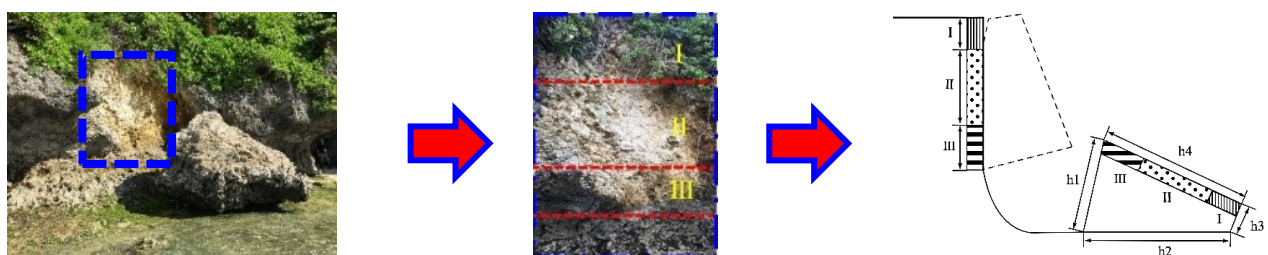


図-2 最近崩壊した海食崖とそのモデル化

キーワード *cliff failure, infrared camera, drone, FEM, rock deterioration*

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科

E-mail : e145317@eve.u-ryukyu.ac.jp

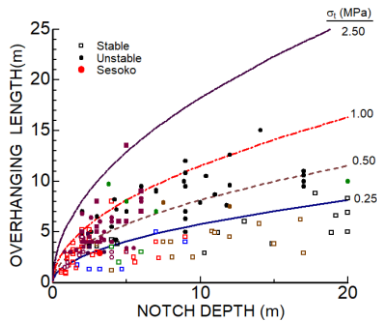


図-3 海食崖の調査による崩壊の有無

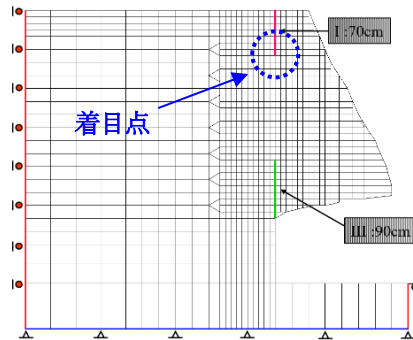


図-4 最近崩壊した海食崖モデルおよび境界条件

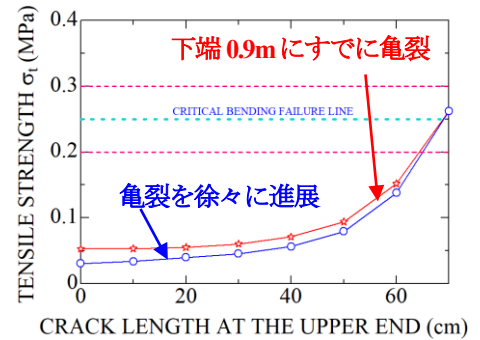


図-5 着目点における引張応力の推移

シュミットハンマーで計測した岩盤表面を赤外線カメラで観察した結果、計測された海食崖の崩壊面を見ると、岩盤の空隙部を除き、領域ごとに岩盤表面の温度分布が異なっていることが確認された。岩盤の表面が黒くなっているほど、熱吸収率が高く、岩盤の劣化が進行していると言える。これより、赤外線カメラを用いることにより、岩盤の劣化を評価することが可能であると思われる。

4. 各種解析による最近崩壊した海食崖の安定性評価

(1) 簡易解析による評価

Tokashiki and Aydan¹⁾が海食崖の破壊条件をすでに示しており、オーバーハング部を短形と仮定すると、曲げ破壊が生じる限界深さは式 (1) によりつぎのように与えられる。

$$L > H \sqrt{\frac{\sigma_t}{3\gamma H}} \quad (1)$$

ここで、 σ_t (MPa)、 H (m)は、岩盤の引張強度及びオーバーハング部の高さである。

3章(1)で測定した瀬底島の最近崩壊した海食崖の寸法形状を海食崖の破壊条件の分類に適用したものが図-3である。図-3より、崩壊したときの海食崖の引張応力は0.25-0.5MPaの間であることがわかり、崩壊した事実から曲げ破壊で崩壊した可能性が高いことが推定できる。

(2) 有限要素法による海食崖の安定性評価

本研究では、最近崩壊した海食崖の崩壊メカニズムを調べるため、調査で得られた形状寸法をもとに海食崖の解析モデルを作成し、有限要素解析を行った (図-4)。

着目点は各解析によって得られた上端亀裂の最終進展位置 (上端から 0.7m) における引張応力の値である。その結果を図-5 示す。解析パターンは、海食崖の上端と下端の亀裂が次第に進展する場合の解析およびすでに下端に 0.9mの亀裂が存在した場合である。解析の結果、今回の海食崖は、図-5 に示す亀裂進展深さが 70cm の時点で引張応力値が曲げ破壊の発生する値に達していた。この結果は、Tokashiki and Aydan¹⁾がすでに示している、曲げ破壊が発生する引張応力の値 (0.25MPa) と非常に近い結果を示したため、崩壊時における引張応力値の推定が

でき、数多くの調査結果とも比較し、その妥当性が示されたと思われる。

5. 結論

最近崩壊した瀬底島の海食崖について各種検討および数値解析的な検討を行い、崩壊メカニズムや崩壊要因について検討を行った。本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) ドローンによる調査により、本来測定不可能な高所な地点を3Dモデルより任意の断面で切断し、詳細な形状寸法を確認することが可能である (第2章)。
- (2) 海食崖の岩盤劣化を評価する方法として、赤外線カメラによる岩盤劣化の評価の検討を試みた。その結果、崩壊面の劣化状況を観察することが可能であると思われる。しかし、岩盤の劣化度合いの検討について、現段階では、赤外線カメラでの検討は可能ではあるが、定量的な評価は困難なため、引き続き研究が必要である (第3章)。
- (3) Tokashiki and Aydan¹⁾の研究結果をもとに、調査で確認された海食崖の崩壊した様子、簡易解析、有限要素法の岩盤評価の引張応力の値から、今回の海食崖の崩壊メカニズムは曲げ破壊である可能性が高いことがわかった (第4章)。

謝辞：本研究を進めるにあたり、調査およびその解析に協力していただいたNPO法人グリーンアース代表理事鈴木浩一氏と、(株)オカベメンテの宮城貴大氏、宮良正彦氏に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Tokashiki, N. and Aydan, Ö.: The stability assessment of overhanging ryukyu limestone cliffs with an emphasis on the evaluation of tensile strength of rock mass.土木学会論文集C部門, Vol.66, No.2, pp.397-406, 2010.

環境対策として移設したサンゴの白化について

知念 直¹・内間 安智¹

¹石垣港湾事務所 工務課 (〒907-0012 沖縄県石垣市美崎町1-10)

竹富南航路は、八重山諸島の石垣島と西表島、小浜島、黒島等の周辺の島々を結ぶ航路であり、1974年(昭和49年)に開発保全航路の政令指定を受け、2011年(平成23年)7月に同航路の指定区域を拡大し、整備を進め2019年度(平成31年度)に延長約52kmの供用を予定している。

本事業箇所は世界的にも有数のサンゴ礁海域に位置し、また漁業、観光、定期船舶といった多様な利用がされていることから、環境に十分配慮しながら整備を行う必要があり、サンゴ移設、モニタリングなどの対策及び浚渫工事における汚濁防止対策や環境監視を行ってきた。本稿では、環境対策の概要及び移設したサンゴのモニタリング結果と近年の高水温の影響について報告する。

キーワード 開発保全航路 環境対策 サンゴ移設 モニタリング

1. はじめに

竹富南航路は、国立公園に指定されている石西礁湖内の狭水路で、八重山諸島の中心である石垣島と西表島、小浜島、黒島等の周辺の島々を結ぶ航路であり、1974年の開発保全航路の政令指定を受け、浚渫工事による航路整備を実施し、1981年度から延長約2.5kmを供用し、八重山諸島の生活及び観光を支える航路として重要な役割を果たしてきた。しかしながら、航路以外の区域においては未だ浅瀬が点在し、船舶の航行に制約を受けている状況であるため2011年7月に同航路の指定区域を拡大し、小浜航路、黒島航路と一体的に整備を進め2019年度に延長約52kmの供用を予定している。

一方、本事業箇所は世界的にも有数のサンゴ礁海域に位置し、また漁業、観光、定期船舶といった多様な利用がされており、さらに浅海域が大部分を占めるという特殊な海域であることから、環境に十分配慮しながら整備を行う必要があり、サンゴ移設及び、浚渫工事における汚濁防止対策を行ってきた。また、近年では2016年夏季に高水温が続き、本海域のサンゴに白化などの影響がみられている。本稿では、環境対策の概要及び移設したサンゴのモニタリング結果と近年の高水温の影響について報告する。



図-1 竹富南航路計画図



図-2 石西礁湖内の航路周辺の状況

2. 環境に配慮した整備の取り組み

(1) サンゴ移設

竹富南航路は、ルート選定において、自然環境に配慮し選定しているが、一部のサンゴは、航路浚渫区域に存在してしまうことからサンゴの移設による対策を行った。移設方法は、「群体移設」と「群集移設」の2工法で行った。

・群体移設

岩盤等に固着しているサンゴを、ノミとハンマーを使って採取し、移設先に運搬後、水中ポンドにて岩盤に接着する方法。個々の移設であるため個数で表示する。

・群集移設

海底の砂礫に散乱しているサンゴをカゴに集め、移設先に運搬後、海底面に並べ置きお互いのサンゴ同士が絡み合い、面的に群集が安定する方法。面的な移設であるためm²で表示する。

群体移設は2012年2月から2017年1月までに延べ26,276群体、群集移設は2011年10月から2016年12月まで延べ4504m²を移設した。

なお、移設先はより高い生存率になるよう、以下に配慮して選定した。①移動に伴う短期的なストレスを軽減するため移設元近傍であること、②成育環境の適性の観点から採取元と同じ種類のサンゴが生息していること、③物理的破損の原因となる波浪の直接的な影響を受けにくく採取元と同様の水深や底質であること、④自然の加入サンゴが少なく自然での回復が遅れており移設可能な裸地があること、⑤サンゴ捕食生物であるオニヒトデ等による被害が目立たないこと、⑥暴浪に伴う砂礫や転石による移設サンゴの破損等を極力避けるため「周辺に比べて凸地形となった場所」、被災リスク低減のため「複数箇所」であること。

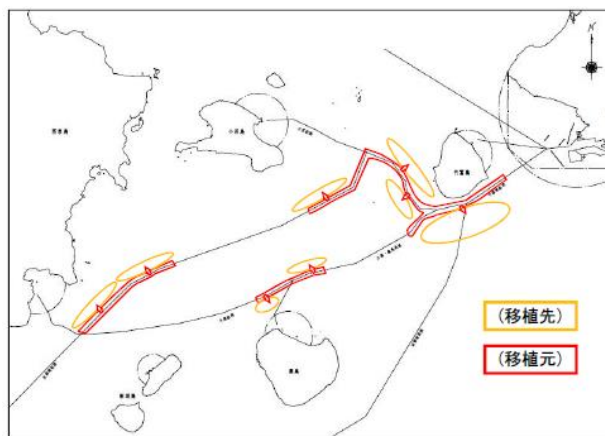


図-3 竹富南航路サンゴ移設元、移設先のイメージ
(移設元近傍へ移設)

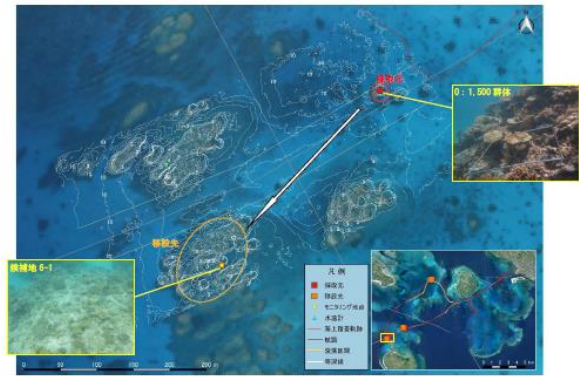


図-4 サンゴ移設元と移設先の事例

(2) 浚渫工事中の濁水対策

浚渫工事の周辺海域では漁業やもずく養殖業や観光など盛んに利用されていることから、工事による濁り等の影響が無いように細心の対策を講じる必要があり、次の項目を行っている。

a) 汚濁防止柵及び膜による対策

浚渫作業で生じる濁水を柵内にとどめるため2重の汚濁防止柵及び膜を設置する対策を行っている。

b) 濁水処理による対策

柵内にとどめた濁水を速やかに沈降させるため、沈殿処理システム工法により、水中ポンプで揚水した濁水を作業船に設置した水槽へ集め凝集剤を添加し、沈降後に上水のみ柵内へ戻す対策を行っている。

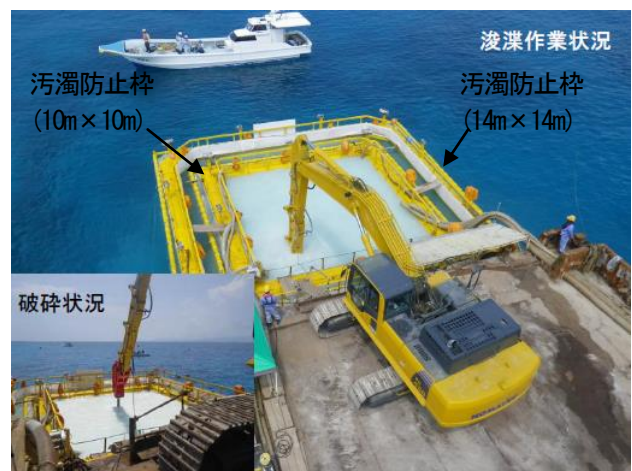
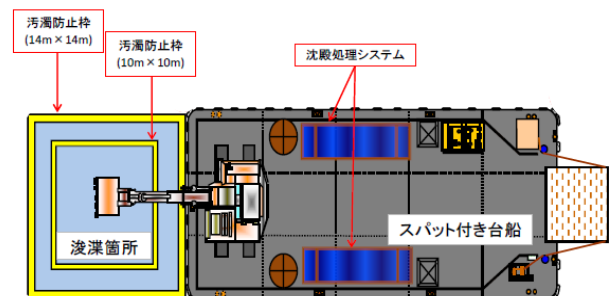


図-5 船団構成（バックホウ浚渫）及び浚渫作業状況

c) 環境監視

・浚渫工事実施中は汚濁防止枠周囲4地点において濁水の監視を行い設定した基準（バックグラウンド+2mg/L 以下）を超えていないか監視を行っている。超えた場合は濁水が収まるまで工事を一時停止するなどの対応を行っている。

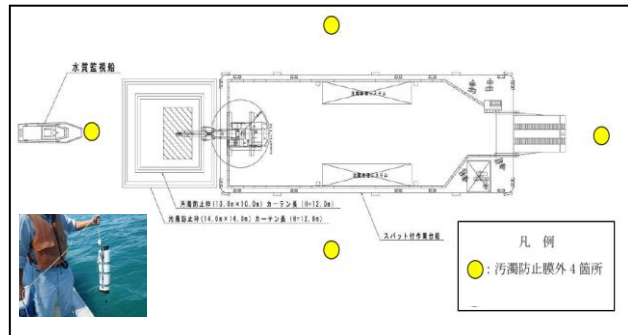


図-6 浚渫工事環境監視地点

3. 海域利用者へ配慮

(1) 工事実施時期の調整

・漁業関係者の要望を踏まえ、工事に伴う濁りの影響に配慮して毎年6月から10月末までの期間に限定して工事を実施している。

(2) 安全に配慮した工事の実施

・竹富南航路周辺海域の利用者を対象とした調整会議の場で年間の予定や工事実施方法、安全対策について海域利用者へ周知を図り、利用者の意見を踏まえ工事を実施している。

4. 移設サンゴのモニタリング結果

(1) サンゴモニタリング調査

a) 群体移設サンゴ

移設後は、サンゴの生残状況について経過を観察している。以下に群体移設の代表地点（2012年移設・移設先 2-3、2-5、3-1）のモニタリング結果を示す。サンゴの被度について移設直後より若干増加傾向であったが、2016年夏季を境に減少傾向が見られ、高水温の影響が想定される。その他のモニタリング地点においても同様な傾向がみられた。

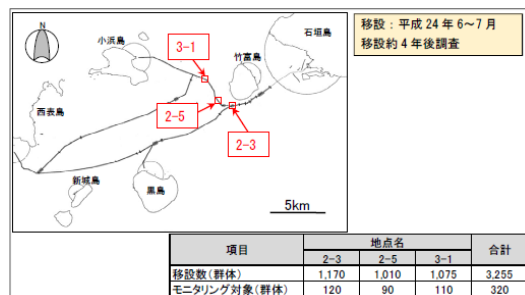


図-7 群体移設モニタリング代表地点

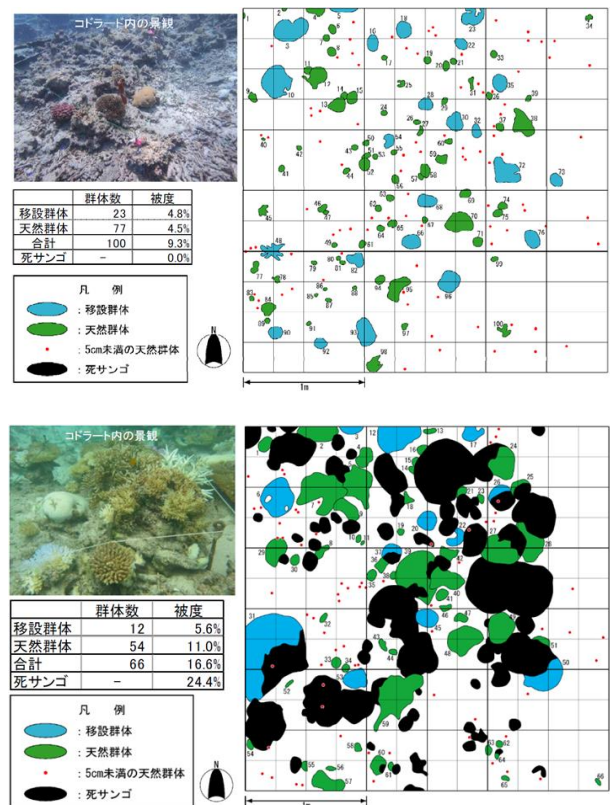


図-8 群体移設サンゴ 被度の状況：2-5 地点
(上：2012年8月移設直後、下：2016年10月調査)

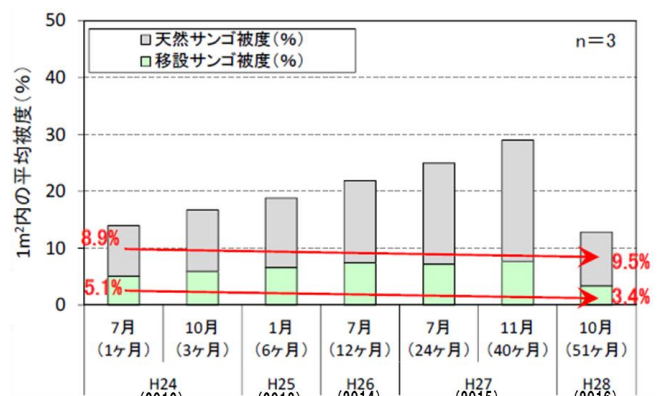


図-9 群体移設サンゴ 平均被度

b) 群集移設サンゴ

群集移設についてコドラートを設定し経過を観察している。以下に群集移設の代表地点（2012年移設）のモニタリング結果を示す。サンゴの被度について移設直後より若干増加傾向であったが、2016年夏季を境に減少傾向が見られ、中でも優占種であるミドリイシ属の多くの死滅が確認された。

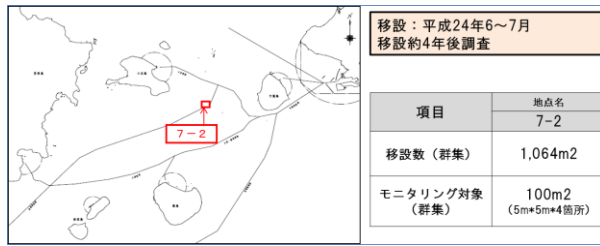


図-10 群集移設モニタリング代表地点

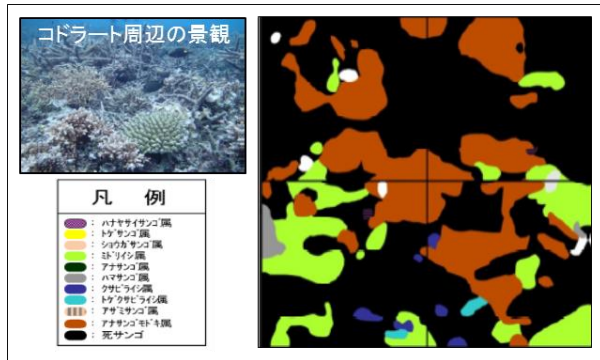
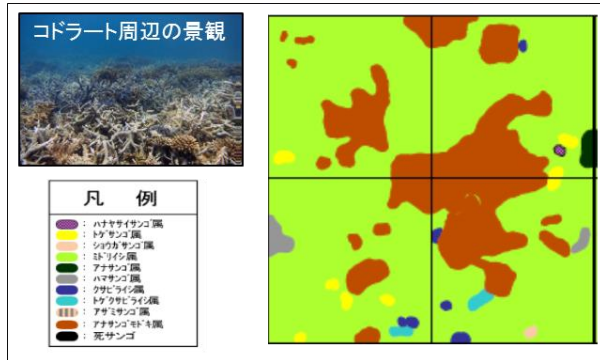


図-11 群集移設サンゴ 被度の状況：7-2⑦地点
(上：2012年8月、下：2016年12月調査)

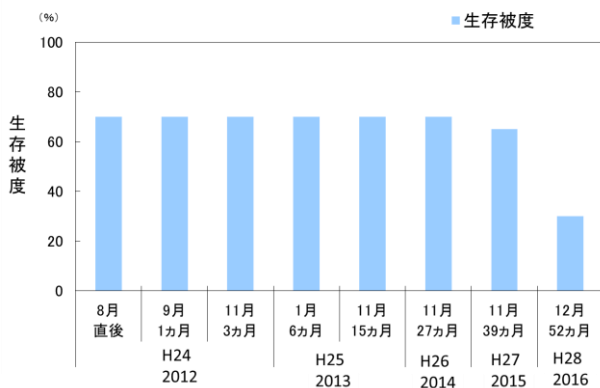


図-12 群集移設サンゴ 生存被度 7-2⑦地点

(2) 水温の観測結果

図-12 に海水温の観測結果を示す。一般的にサンゴの生育に影響を与えるとされる30℃以上の水温の出現頻度をみると、2013年から2015年は全体の10%から30%程度であったのに対して平成28年の出現頻度は50%を超えており31℃以上も10%程度を占めている。このことから平成28年度夏季における高水温

がサンゴの白化現象を引き起こした主要因であった可能性がある。

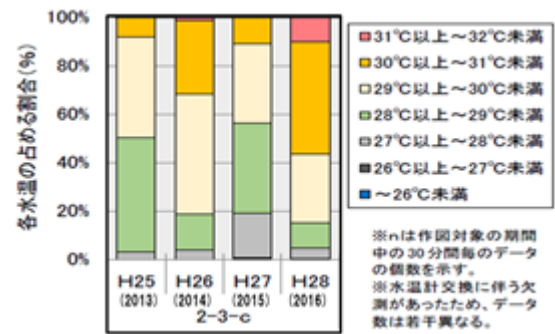
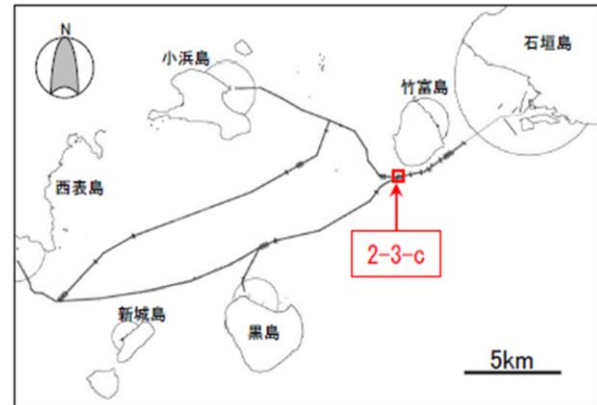


図-12 水温観測結果 各水温帯の出現割合

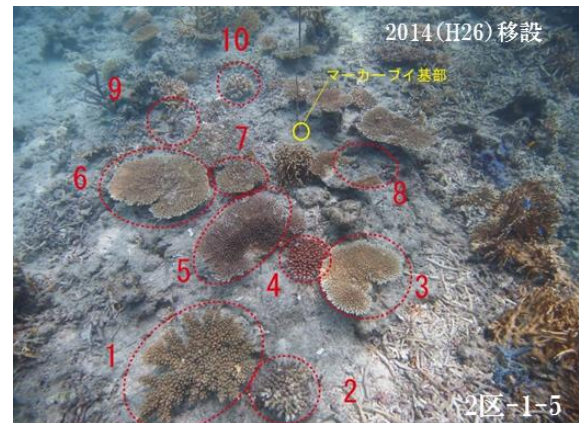


図-13 高水温前(2015年)の状況 (2014年移設)

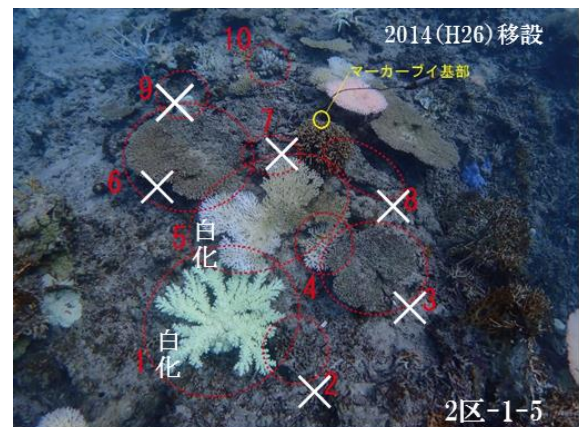


図-14 高水温後(2016年)の状況 (2014年移設)

(3) サンゴの属別の生残状況について

2016年夏季に、石西礁湖で高水温に伴う大規模なサンゴの白化現象が生じ、移設サンゴにも影響があった。今後のサンゴ移設の参考にすることを目的として、モニタリング調査結果からサンゴの属別の生残状況を分析した。

表1 対象データの諸元

移設年度	移設数 (群体)	モニタリング数 (群体)
2011(H23d)	1456	120
2012(H24d)	3255	320
2013(H25d)	3185	300
2014(H26d)	3239	300
2015(H27d)	3597	450
2016(H28d)	4160	390
合計	18892	1880

2016年夏季の高水温の前後として2016年9月、11月の調査を「高水温後」のデータ、2015年8月、11月の調査を「高水温前」のデータとして定義し、高水温前後のサンゴの群体数を比較することによって属別のサンゴの生残状況を分析した。表2に高水温前後の属別のサンゴの生残率を示す。

表2 白化前後の属別のサンゴの生残率

順位	属名	移設直後 群体数	高水温前 (移植後0-4年経過)		高水温後 (移植後0-5年経過)		高水温 前後比 生残率
			生残群体 数	移植群体 数	生残群体 数	移植群体 数	
1	シコロサンゴ属	11	9	81.8%	9	81.8%	100.0%
2	アナサンゴ属	29	26	89.7%	25	86.2%	96.2%
3	ハマサンゴ属	51	50	98.0%	45	88.2%	90.0%
4	トゲクメイシ属	38	35	92.1%	31	81.6%	88.6%
5	その他	80	75	93.8%	60	75.0%	80.0%
6	コモンサンゴ属	37	33	89.2%	26	70.3%	78.8%
7	ノウサンゴ属	41	40	97.6%	28	68.3%	70.0%
8	コカメノコクメイシ属	143	141	98.6%	89	62.2%	63.1%
9	ククメイシ属	61	57	93.4%	35	57.4%	61.4%
10	ハナヤサイサンゴ属	125	92	73.6%	50	40.0%	54.3%
11	ショウガサンゴ属	14	10	71.4%	3	21.4%	30.0%
12	トゲサンゴ属	19	9	47.4%	2	10.5%	22.2%
13	ミドリイシ属	1231	954	77.5%	87	7.1%	9.1%
	合計	1880	1531	81.4%	490	26.1%	32.0%

ミドリイシ属は高水温前の生残率は77.5%であったが、高水温後の生残率は7.1%、高水温前後を比較した生残率は9.1%であり他の属と比べ高水温の影響を受けやすい傾向がみられた。高水温前後の生残率1位のシコロサンゴ属の生残率は100%であった。また、2位から7位までの生残率は70~96.2%であった。これらのサンゴ類は、ミドリイシ属、トゲサンゴ属、ショウガサンゴ属に比べると高水温の影響が比較的小さかったと言える。シコロサンゴ属、アナサンゴ属などはいずれも塊状の群体を成すサンゴである。一般に塊状のサンゴは環境変化に対する耐性が強いことが知られており、一方、ミドリイシ属は特に高水温による白化現象の影響が生じやすいサンゴとして知られ本調査結果も同様の傾向であった。図-15に表2の1、2、7、10、13を示す。

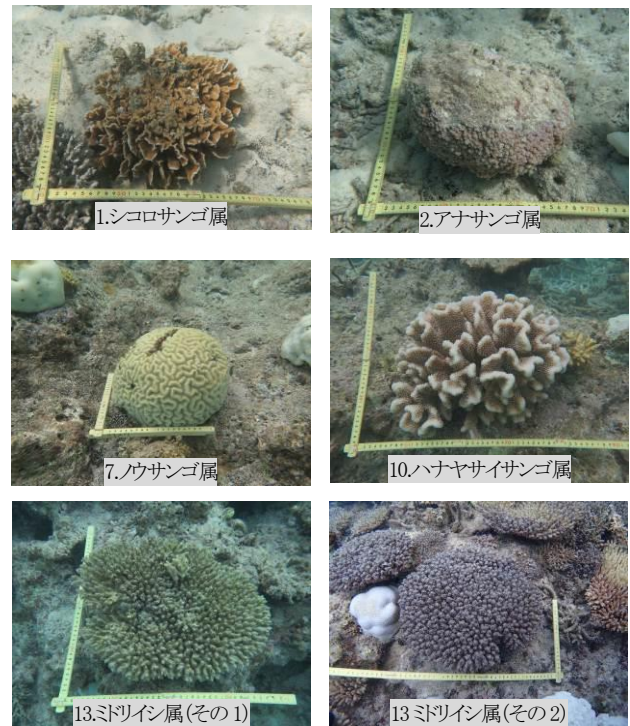


図-15 高水温後のサンゴの状況例 (2016.9~10)

図-15のミドリイシ属(その1)は、骨格上に藻類が生育しているもののややサンゴの白い骨格が透けて見える状態で、死滅して数週間程度経過した状態であり、(その2)は、ムラ無く藻類に覆われており死滅後1~2ヶ月以上経過した状態と推測される。今回行った高水温後の調査は2016年9月、10月に行ったものであり、図-15のハナヤサイサンゴ属のように生残しているが部分的に白化現象を伴う群体もみられ、その後回復せずに死滅した可能性もあり、今後実施するモニタリングによって高水温に伴う影響を確認する予定である。

5. まとめと今後の課題

移設サンゴは移設後2015年まで増加傾向であったが、2016年夏季の高水温の影響を受け減少した。また、移設したサンゴの多くが高水温の影響を受けやすいミドリイシ属であったこともあり影響が大きかった。一方で、シコロサンゴ属など塊状のサンゴは、比較的高水温の影響を受けにくいことが確認された。このことは、ミドリイシ属等の優占種に偏らず、生物多様性に配慮して様々な属種のサンゴを移設することに努めた本事業の成果の一つと考えられる。

これまで、サンゴ移設では輸送に伴うストレスを低減するために、できるだけ移設元に近い場所に移設先を選定してきたが、今後はミドリイシ属など高水温の影響の受けやすい属については、比較的影響の受けにくい潮通しの良い箇所などに留意して移設先を選定することが考えられる。今後も環境対策及びモニタリングを継続し、環境に配慮しながら竹富南航路の整備を進めていきたい。併せて、本事業での成果が他のサンゴ移設を伴う事業やサンゴ保全の取り組み等の参考になればと考える。

Session 4 : 補修・防食関連

モノレール鋼製橋脚のカバープレート撤去事例 について

金城 善朝¹・池田 敬史²

¹沖縄総合事務局 南部国道事務所 管理第二課長 (〒905-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14)

²沖縄総合事務局 南部国道事務所 管理第二課係員 (〒905-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14)

沖縄都市モノレールの鋼製橋脚に補修対策が必要とするき裂が確認された。他の橋脚でも同様な損傷が発生していないか、沖縄総合事務局管理区間についても一斉調査を行ったが同様な損傷は確認できなかった。同様な損傷が発生させないよう原因究明、対策工の検討を進めてきた。その結果、構造部材として見込まれていないカバープレートを撤去することとした。そこで、安全管理、品質管理を確保した撤去方法を検討しP 8 橋脚において実施した。

キーワード 都市モノレール、鋼製橋脚、供用下施工

1. はじめに

沖縄都市モノレールは、平成15年度8月10日に、那覇空港駅から首里駅までの延長13km、15駅で開業し、12年が経過している。また、平成31年には、首里駅から浦西駅（仮称）までの延長4.1 kmの延長区間の開業を予定している。

沖縄都市モノレールの下部構造及び上部構造のインフラ部については、道路施設として沖縄総合事務局および沖縄県、那覇市の3管理者（図-1）で管理しており、沖縄総合事務局では109橋脚、3駅を管理している。



図-1 沖縄都市モノレール（既存区間）の管理者

このうち、沖縄県が管理する鋼製橋脚（P175橋脚）に平成27年11月の定期点検において、き裂が確認された。

このため、沖縄総合事務局および沖縄県、那覇市の3管理者では、一斉調査やその発生要因および対策について、「沖縄都市モノレール鋼製橋脚補修検討委員会」が設置され検討を行った。

本稿は、これらの検討結果を踏まえ決定した鋼製橋脚への対策を、供用下で実施する試行工事となった事例について報告するものである。

2. 鋼製橋脚（P175）損傷状況

定期点検時に発見された沖縄都市モノレールの鋼製橋脚は、景観上の配慮からRC橋脚と同形状となるように梁柱溶接部にフィレットを設けるとともに隅角部を覆うカバープレート（以下CP）と呼ばれる化粧板がフィレットおよび梁柱に取り付けられる構造となっていた。

（図-2）

P175橋脚で発見されたき裂は、このCPとフィレットの溶接線からフィレットと柱のウェブとフランジ（橋脚内部から確認）に発生していた。（図-3）

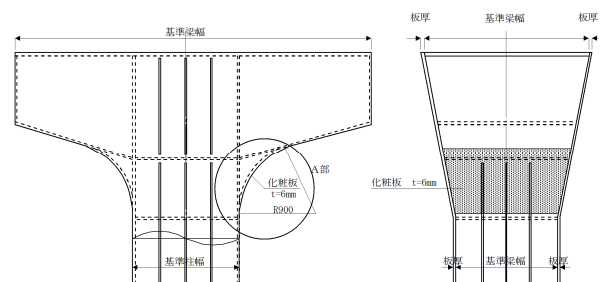


図-2 CP概要図（鋼製橋脚標準図より）

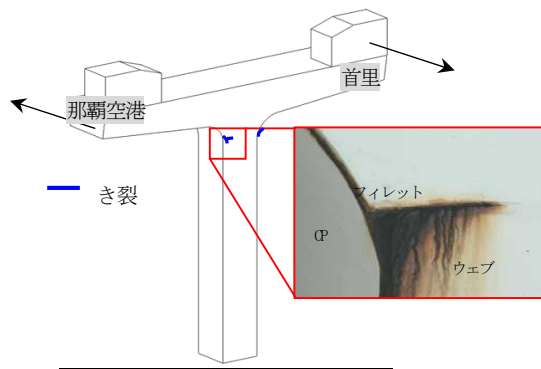


図-3 P175橋脚のき裂発生概要図

3. 鋼製橋脚一斉調査

(1) 外見目視調査

き裂発生を受け、鋼製橋脚80基を対象に外見目視調査を実施し、き裂の有無を確認した。(図-4)

その結果、沖縄総合事務局管理区間の鋼製橋脚全23橋については、沖縄県が管理するP175橋脚と同様なき裂は確認できなかった。

しかし、沖縄県が管理するP175橋脚に隣接するP174橋脚で類似したCPとフィレットの溶接線でのき裂を確認した。(図-5)



図-4 外見目視状況



図-5 P174橋脚のき裂

(2) 詳細調査

微細なき裂は目視のみで発見できない可能性もあることや、P174橋脚でもP175橋脚のき裂と同様の位置に発生が確認されたことを踏まえて、き裂が発生している同様な鋼製橋脚CPが設置されている全ての鋼製橋脚でP175橋脚のき裂発生位置と同様の位置で磁粉深傷試験(図-6)を実施した。

また、CP周辺で、き裂が確認されたもののその内面状況が目視できないこと、梁と柱の三線交差となる隅角部を橋脚内面のみならず外側からも確認するために、点検孔を設けて内部調査を実施した。(図-7)

その結果、内部からのき裂は確認されなかったが、CPとフィレットの溶接品質が良くないことが確認できた。



図-6 磁粉探傷試験状況



図-7 CP内部状況例

4. き裂発生要因の調査

(1) 検討委員会の設置

沖縄県が管理する鋼製橋脚の損傷、き裂を受けて、「き裂発生の原因究明」「補修方法の検討」「鋼製橋脚点検時の留意点」について技術的助言を行うことを目的とした「沖縄都市モノレール鋼製橋脚補修検討委員会」を有識者(琉球大学、芝浦工業大学、国立研究開発法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター)及び、沖縄総合事務局、沖縄県、那覇市の3管理者をメンバーに設置された。

(2) 応力計測

損傷した橋脚にどのような応力が作用しているか確認のため、応力計測を行った。応力計測は柱やCPに発生した裂周辺などで行った。計測結果のうち、き裂から2mm程度離れた位置のひずみゲージで、き裂直交方向に降伏応力以下では高い応力が車両通過時に確認された。繰り返し変動応力振幅が大きいことから、進展性のき裂と判断された。

また、CPとフィレットの溶接部では車両の走行車線の違いによって圧縮と引張応力がそれぞれ発生していることが確認できた。

(3) FEM解析

フィレットは、一般に隅角部での応力の急変緩和と低減のために設置される。発見されたき裂の範囲は、CPとフィレット溶接部からCPが柱フランジにとりつく手前でフィレット母材に水平方向に生じている。

そこで、各部位の応力集中レベルを確認するためにFEM解析を行った。解析ケースは、き裂がないCPとフィレットを一体とした一体モデルとCPとフィレット溶接部のき裂を模してCPとフィレット部分した分離モデルの2ケースとした。その結果、一体モデルではCPとフィレットの溶接線付近の応力集中(図-8)、分離モデルではき裂先端から水平方向に直交する主応力方向が確認できた。また、応力計測結果と同様に圧縮と引張応力がそれぞれ発生し、CPの面外変形が確認できた。

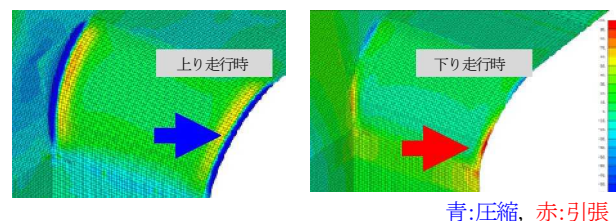


図-8 車両荷重によって生じるCP周辺の応力集中

(4) 要因の特定

一斉調査や詳細調査の結果から、き裂発生要因はCPとフィレットの低い溶接品質とCPによる応力集中が相まって発生したものと判断した。

5. カバープレート撤去検討・撤去

(1) CP撤去の課題と課題解決に向けた取り組み

要因検討の結果、き裂発生要因はCPとフィレットの低い溶接品質とCPによる応力集中が相まって発生したものと判断し、CPを有する全ての鋼製橋脚のCPを撤去することとした。

しかしながら、供用下でのCP撤去は、課題がいくつか残されていた。そこで、き裂が確認された橋脚と同様の構造で、かつ梁出しが大きいI型鋼製橋脚のうち、比較的施工条件の良いP8橋脚を代表とし試行工事を実施することとした。また、P8橋脚を代表として実施するCP撤去工事では、施工と同時にまたは事前に下記の調査・測定および解析も行った。

- ・撤去した場合の構造部全体の応力状態（CP撤去中と撤去後の応力計測FEM解析により確認）
- ・三線交差部の品質確認（UT調査による確認）
- ・軌道上の安全管理方法の確立（梁の変位計測，軌道桁測定等）

以下に、これらの内容を示す

(2) 撤去した場合の構造部全体の応力状態

CPは、設計上は化粧材であり構造材として考慮していないが、現状では幾分か荷重を分担している。そのため、撤去によって隅角部の三線交差部やフィレットとCPの溶接線が厳しい状態に移行する可能性がある。

点検孔設置前に、FEM解析と応力計測によって解析の妥当性を検証したうえで、FEM解析にて点検孔設置後の安全性を確認した。

FEM解析による点検孔設置前後の計測した各ch位置で応力状態を比較したものを図-9に示す。点検孔設置前後での応力の変化は、ほとんどないため計画に沿って点検孔を設置した。点検孔からのCP内部の確認では、隅角部などに目視で確認できるような鋼材損傷はなく、健全であることが確認できた。

また、点検孔設置後の応力計測においてもFEM解析と計測の結果は、概ね各ch位置で一致してた。

したがって、CPの撤去時および撤去後の状態もFEM解析で概ね再現できると判断し、以後もFEM解析を実施してCP撤去に向けた検討を進め、同時に応力計測も実施することとした。

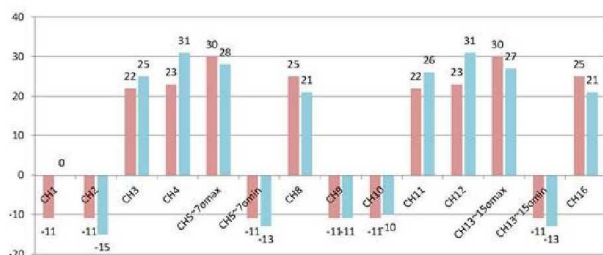


図-9 FEM解析と計測値の比較、点検孔施工後

撤去は、橋脚母材への影響が段階的に確認可能な図-10に示すステップでFEM解析を実施して、応力と変位・変形を確認することとした。

また、解析荷重ケースは、死荷重時と死荷重+活荷重時とし、活荷重は橋脚が上下線の桁を左右の梁で一体で支持していることから各片側載荷時とした。

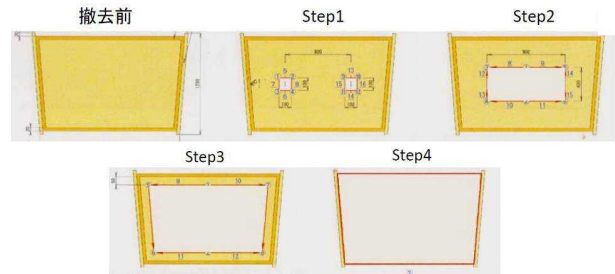


図-10 CP撤去手順

結果、フィレット周辺に応力が再配分され、フィレットの応力は低減し、CP内に発生していた応力が他の部材に配分あれても、橋脚の変位増加は僅かで座屈等の状態に至るほどではないことが確認できた。

以上のことからCP撤去の影響に伴う応力状態や変位発生等の状態変化は、大きなものではなくCP撤去が構造安全性に与える影響は小さく、限定的であり、かつモノレールの運行上も問題となるような状態には至らないと判断した。

(3) 三線交差部の品質確認

CPの負担荷重が、撤去により梁柱の三線交差部への負担増となり、隅角部がCP撤去後に厳しい応力状態に移行する可能性は否定できない。

このため、梁柱の隅角部の三線交差部の未溶着等の欠陥を確認することを目的として、超音波探傷試験（UT調査）を実施した。その結果、P8橋脚には大きな未溶着部分は確認されなかった（図-11）。

また、車両通過時の梁柱の隅角部三線交差部付近に発生する応力は、溶接等級をF等級として照査した結果、打ち切り限界以下であり、UT調査による三線交差部が健全であったことも踏まえて、疲労耐久性に問題がないと判断した。

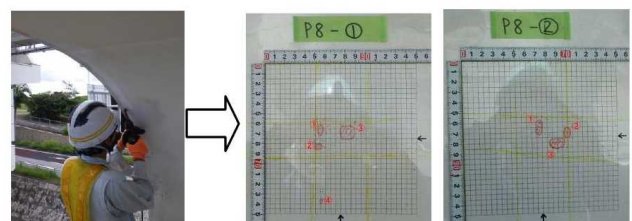


図-11 超音波探傷試験（UT調査）実施状況

(4) 軌道上の安全管理方法の確立

今回のP8橋脚のCP撤去工事は、不測の事態に備え、支保工を設置した。ただし、今後の他橋脚でのカバープレート撤去工事では支保工を設置しない方法も視野に入れている。

このため、支保工を設置しない状態でも実施可能な安全管理方法の検討を含めた計測を実施した。

変位および現場状況より、営業車徐行や徐行要望等を判断は、計測機器による数値や、現場での外見上の変化で判断する。計測値により、支保工ジャッキアップの判断、営業車の徐行要求の必要性の判断、CP撤去工事の中断を決定することとした。

a) 梁変位計測

梁変位計測として、ダイヤルゲージ等により、変位量を計測し、計算上の設計活荷重の値を実測にて超過するか否かで判断した。徐行要望等の基準値（図-12）としては、FEM解析および格子解析にて算出した変位量の数値を目安とし、橋梁に異音や変性が確認された場合は、この数値に係わらず適切な対応を図ることとした。計測位置は、支保工の支点になる箇所とし計測点数は、それぞれ断面方向2点ずつ、計4点を計測した。

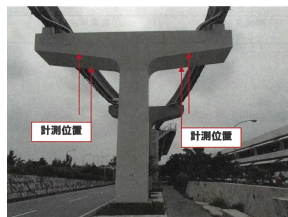


図-13 実測による計測位置

	設計値を超過した場合 作業中断 + 変状確認	許容値を超過した場合 支保工のジャッキアップ + 徐行要請	降伏点を超過した場合 営業車通行禁止
下り側ベント 上り側ベント	10mm	13mm	22mm

図-12 荷重による変位量と対応

b) 軌道計測

カバープレート撤去工事前後で運行上支障をきたす軌道桁の変位が発生していないか確認することを目的として、軌道桁の高低差等を計測している。

計測は工事前、完了後の2回実施し、沖縄都市モノレール株式会社の軌道整備要領に準拠し実施した。（図-13）

また、軌道整備要領の測定は軌道に直接接触して測定する必要があるため、昼間は計測はできない。このため、日々の作業による軌道の変位等は実施困難である。

その対応として、測量機器のトータルステーションを使用して、軌道からの距離を確保しつつ変位量を計測することとした。測定方法は、予め基準点として設置されている鉄の位置と伸縮装置遊間中央部分の高低を計測し、軌道整備要領の基準値に比例換算し変位量確認することとし、撤去する作業が完了するまで日々行った。（図-14）



図-13 軌道整備要領による測定

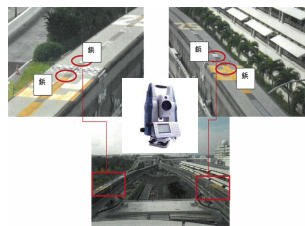


図-14 トータルステーションによる計測

b) 残留応力測定

CPの残留応力を測定し、残留応力による梁の変位等を整理し、他橋脚のCP撤去工事での支保工の必要性および安全管理のための変位計測基準を設定するための基礎資料とするため計測を行った。

残留応力の計測にあたっては、一般的に実施されている穿孔法とともに他の橋脚で実施する展開を考慮して作業性に比較的優れるX線残留応力計測も実施した。

また、測定には塗装を部分的に除去し、測定装置でX線を照射することにより、残留応力を測定する。（図-15）

なお、穿孔法は微破壊を伴うため、両者を実施する場合は、X線残留応力測定を先行して実施を行った。

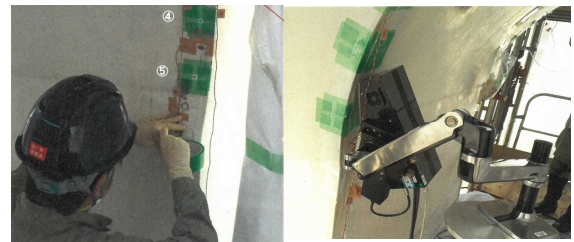


図-15 X線残留応力測定による実施状況

これらの解析、計測および安全管理を実施することによってCP撤去工事を無事に実施することができた。

6. 今後の課題とまとめ

沖縄都市モノレール鋼製橋脚への疲労き裂防止策であるCPの撤去工事を解析と計測等により妥当性を検証しつつ、結果、供用下でベントは設置したが使用せず安全に施工することができた。

今後は、今回のデータを踏まえ、安全性や施工性の向上等を目指して、P175橋脚のき裂の原因になったカバープレートの撤去に取り組みたいと考えている。

最後に、沖縄都市モノレールは県民の欠かすことができない重要な交通手段であり、乗車率も年々増加傾向にある。開業から14年が経過し、維持修繕が重要な時期になっている。

今回の事例を含め、各管理者で取り組むのでは無く、沖縄総合事務局、沖縄県、那覇市と沖縄都市モノレール株式会社が一体となって情報共有し維持管理に取り組んでいくことが重要と考える。

Al-Mg 合金溶射・塗装皮膜の防食効果調査結果 —模擬桁試験体の7年経過報告—

(株)プラズワイヤー 開発部 ○田中淳太郎 川口保幸
琉球大学 工学部 環境建設工学科 下里哲弘 田井政行

1. はじめに

近年、鋼橋梁や鋼製栈橋等の鋼構造物の長寿命化が求められており、鋼構造物の多くは塗装によって防食されているが、熔融させた金属を鋼材へ吹き付け金属皮膜を形成する溶射法は、その皮膜の上に多様な塗装を施すことによって、耐久性を向上させ長期間の防食を可能としている。

これらの防食皮膜の耐食性は塩水噴霧や複合サイクル試験などで評価されているが、長期間の屋外での耐久性について評価された例は少ない。そこで、平成20年8月の「沖縄地区鋼橋塗装マニュアル」改訂を機に設置された塗装仕様比較暴露試験体（以下、模擬桁）を用いてアルミニウムマグネシウム（以下、Al-5%Mg）合金溶射皮膜の経年観察を開始した。今回は、7年経過後の調査結果を報告する。

表1 調査周期 (●:実施済 ○:計画 ★:今回)

H22.6	H22.8	H23.2	H23.10	H25.6	H27.8	H29.8	H32.8
設置	初回	0.5年	1年	3年	5年	7年	10年
●	●	●	●	●	●	★	○

2. 試験の概要

1) 試験体

国道58号新牧港橋高架下に設置してある、模擬桁（桁高850mm、桁幅2,490mm、桁長3,150mm）の二つの桁を用いて行った。なお、試験面は図1に示す横桁の外面となる。

2) 試験体製作方法

試験面は、非金属系研削材（褐色熔融アルミ#24）を用いてブラスト処理を行い、除錆度ISO 8501-1 Sa3.0相当、表面粗さRa 8.0μm以上、Rz 50.0μm以上になるように素地調整をした。金属溶射として、Al-5%Mgを溶射材料（線材）としたプラズマ溶射を行い、溶射膜厚150μm以上とした。その後、図1のA面には有機系ポリウレタン塗装、B面には有機系フッ素塗装、C面には無機系の3種類（MGセプトン、パーミット+MGセプトン、パーミット）を塗装し、更にはD面に溶射の無封孔を採用した。

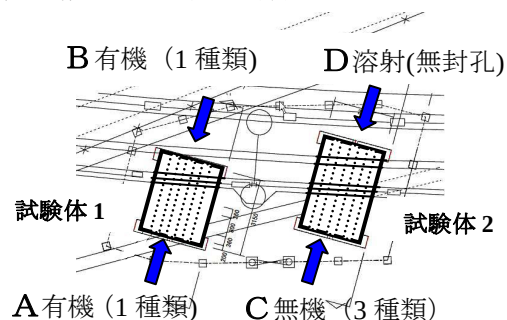
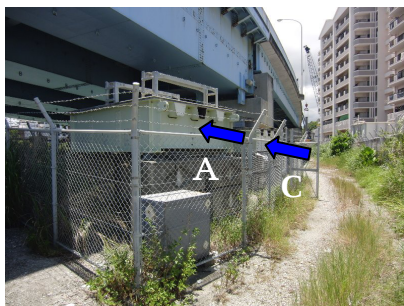


図1 試験体測定箇所

キーワード：金属溶射，大気暴露，コールドスプレー

連絡先 〒812-0892 福岡市博多区東那珂2-3-54 NPC 東那珂ビル3階 E-mail:j-tanaka@plazwire.co.jp

3. 調査方法

1) 目視調査

景観性、防食性について、目視により観察する。

2) 膜厚測定

2点調整型電磁膜厚計を用い、評価面につき定点（各測定点3回の測定値の平均値）を測定し、測定点は各仕様につき36点とした。

3) アドヒージョンテスト（密着力試験）

評価面につき1箇所の皮膜にドリルを取付け、24時間保持した後、ドリル接着部周辺の皮膜を除去しテクターにて引抜き、密着力を測定する。

準拠規格：溶射皮膜の引張密着強さ試験方法¹⁾

4) 色差

評価面につき1箇所を、色差計（コナミル製CR-10）にて色差（色の3属性を指標化した L^* 、 a^* 、 b^* を測定し、初期値との差の2乗和の平方根）の変化を評価する。

準拠規格：色差と人の感覚的な捉え方²⁾

5) 白亜化

評価面につき1箇所を、白亜化測定用テープで粉状となって離脱した皮膜を付着させ、その付着させた皮膜及び塗膜の評価を行い、10段階の等級を付ける。

準拠規格：皮膜の評価基準³⁾

4. 結果と考察

1) 目視調査

2-D（無封孔）については白錆が見られ、一部赤錆(5項参照)も見られた。

2) 膜厚測定

施工時の膜厚との差を比較した結果を図2～7に示す。塗装を施した1-A、2-C-I、2-C-IIには若干の膜厚のバラツキが見られるものの経時的な変化は確認できなかった。また、1-B、2-C-III、2-Dの仕様では膜厚のバラツキが大きく見られるものの、腐食による経時的な膜厚の減少や膨れなどによる膜厚の増加は確認されなかったが、今後継続的に観察していく必要がある。

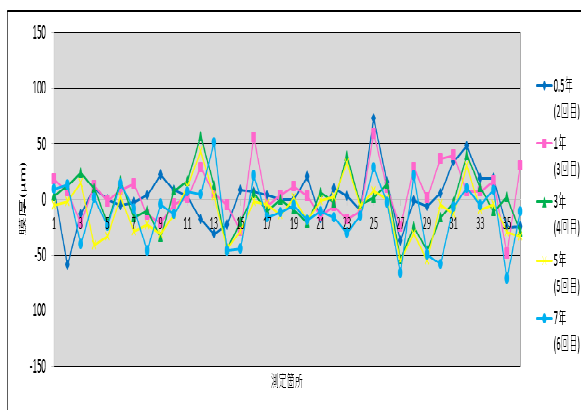


図2 膜厚測定結果(1-A：標準仕様)

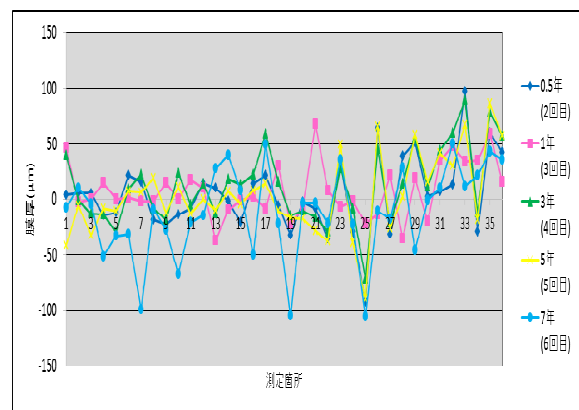


図3 膜厚測定結果(1-B：フッ素仕様)

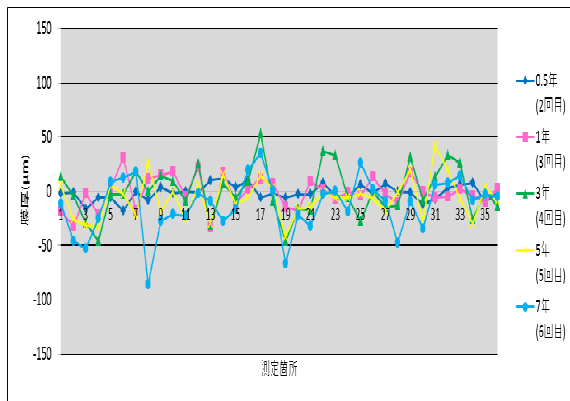


図4 膜厚測定結果

(2-C-I：無機質無溶剤 MG セプトン仕様)

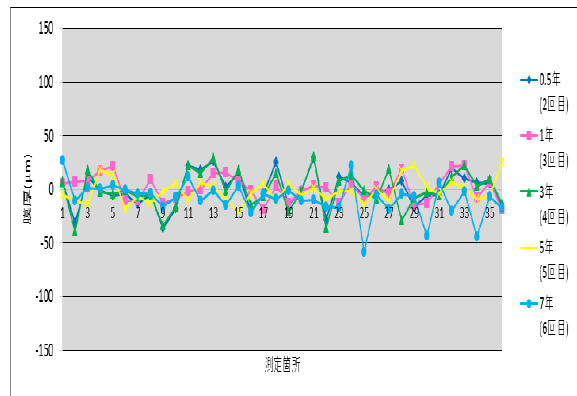


図5 膜厚測定結果

(2-C-II：無機質無溶剤パーミエイト+MG セプトン仕様)

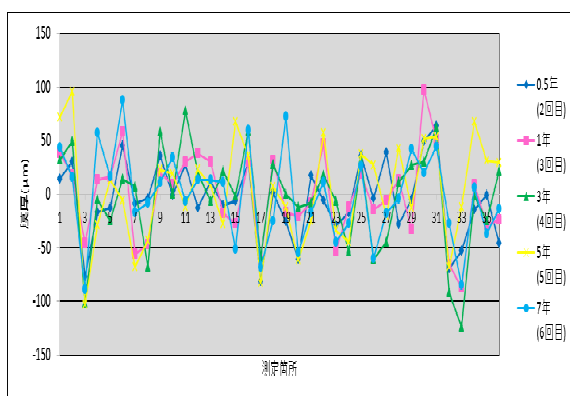


図6 膜厚測定結果

(2-C-III：無機質無溶剤パーミエイト仕様)

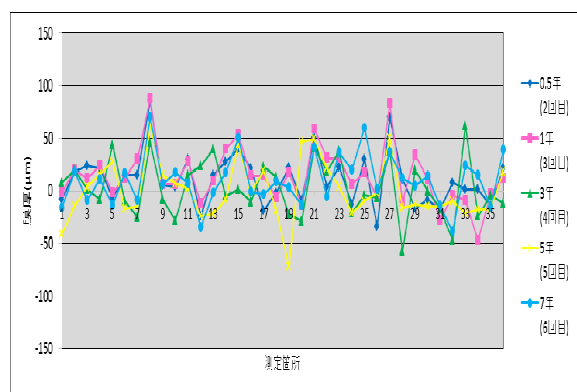


図7 膜厚測定結果

(2-D：無封孔仕様)

3) アドヒージョンテスト (密着力試験)

アドヒージョンテストの結果及び推移を図8, 9に示す。

すべての試験面において、密着力は4.5MPa以上保たれている。なお、破断面は2-D以外塗膜内破断であった。



図8 アドヒージョンテスト結果

(左：ドリル、右：試験体面)

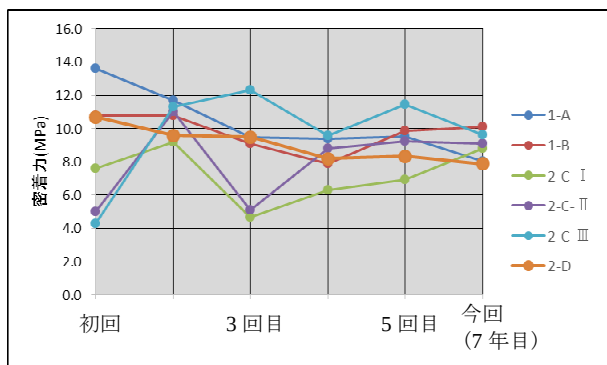


図9 アドヒージョンテスト推移

4) 色差

色差の結果を表2に示す。

色差(ΔE)の算出方法は次式によって求める。 $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

なお、 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* は初回測定値との差である。

表 2 色差結果

		初回	0.5 年 (2 回目)	1 年 (3 回目)	3 年 (4 回目)	5 年 (5 回目)	7 年 (6 回目)	評価 (7 年)
1-A	L*	80.1	79.4	79.6	80.1	77.0	80.7	3 級以上
	a*	-7.9	-5.5	-6.6	-6.8	-4.8	-5.1	
	b*	16.1	14.5	13.2	15.0	12.0	9.8	
	色差(ΔE)	0	3.0	3.2	1.5	6.0	6.9	
1-B	L*	80.5	79.4	79.7	80.2	76.3	79.6	2 級
	a*	-7.8	-5.0	-6.1	-6.8	-5.4	-5.8	
	b*	16.6	15.2	15.4	17.2	15.2	17.6	
	色差(ΔE)	0	3.3	2.2	1.2	5.0	2.4	
2-C- I	L*	96.7	96.8	96.6	95.8	94.3	96.1	2 級
	a*	-1.1	-2.6	-2.3	-0.3	1.6	0.2	
	b*	0.6	2.8	-0.4	1.4	2.3	1.9	
	色差(ΔE)	0	2.7	1.6	1.5	4.0	1.9	
2-C- II	L*	97.2	93.2	96.7	96.5	94.3	96.3	2 級
	a*	-1.1	0.2	-2.3	-0.4	1.6	0.1	
	b*	0.6	5.6	-0.4	1.5	2.7	2.2	
	色差(ΔE)	0	6.5	1.6	1.3	4.5	2.2	
2-C-III	L*	96.3	94.6	95.9	96.0	93.3	74.8	3 級以上
	a*	-1.0	-8.2	-2.2	-0.3	1.7	0.2	
	b*	1.9	15.8	0.5	2.5	3.5	3.6	
	色差(ΔE)	0	15.7	1.9	1.0	4.3	21.6	

結果として、塗装を施した 5 つの仕様の内 1-A と 2-C-III では『塗料では色違いといわれる領域』の 3 級以上の評価となり、色差の進行が見られた。

5) 白亜化

白亜化の結果を表 3 に、最も進行した例を図 10 に示す。

ここで、1-B, 2-C- I , 2-C- II , 2-C-III において、ほぼ白亜化は見られなかった。

1-A は 1.5 等級から 2.5 等級に白亜化が進行しており、上塗で使用したポリウレタン樹脂系の耐候性が、他の 4 つの仕様より劣っていると考えられる。

表 3 白亜化結果 (等級)

仕様	1 年目	3 年目	5 年目	7 年目
1-A	0.5	1.5	1.5	2.5
1-B	0.5	0.5	0.5	0.5
2-C- I	0.5	0.5	0.5	0.5
2-C- II	0.5	0.5	0.5	0.5
2-C-III	0.5	0.5	0.5	0.5

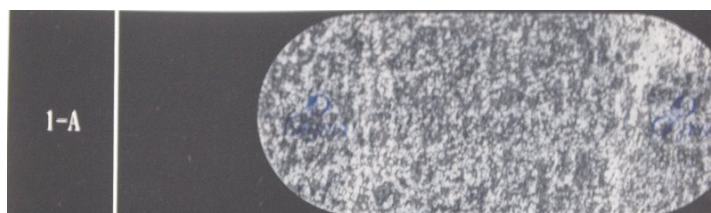


図 10 白亜化結果 (1-A)

5. 試験体経年変化

下記2箇所については、評価対象外であるが経年変化が観察されたので参考までに報告する。

1) 側面フランジ部

床版Uリブの発錆部から、錆のかたまりが落下したことにより下フランジ部に「もらい錆び」による赤錆が発生。

(図11参照)

2) ゴム支承部

同模擬桁のゴム支承部(図12)に表4の防錆仕様にて施工を行い、経年変化を観察した結果を下記に示す。

- a) 全ての仕様において桁内、外側接合ボルト白錆発生
- b) 1-①桁内側錆汁発生痕(図13参照)
- c) 1-②桁内、外側境界部白錆発生



図11 桁内面フランジ部もらい錆

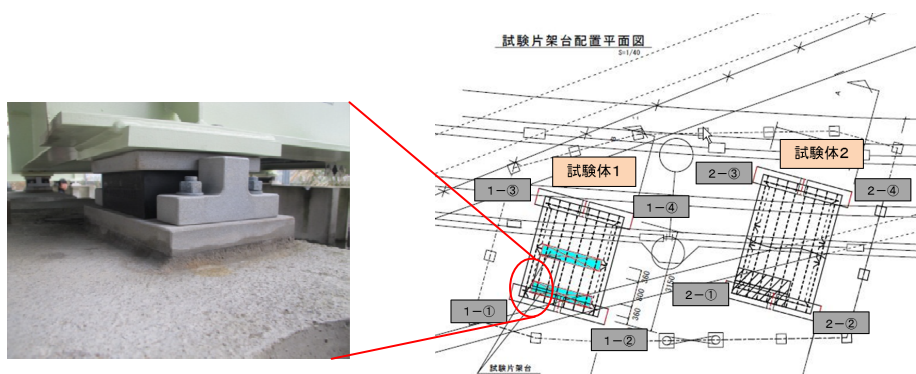


図12 ゴム支承配置図

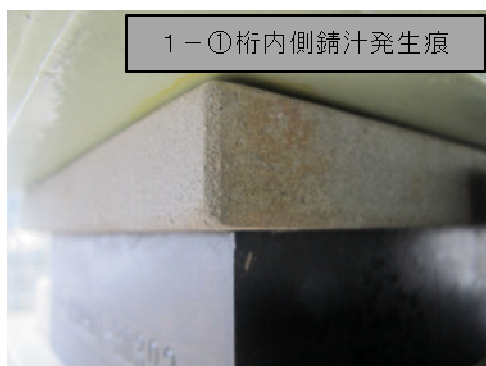


図13 1-①桁内側錆汁発生痕

表4 ゴム支承防錆仕様

1-①	亜鉛-アルミ (Zn-15%Al) 溶射
1-②	SGめっき (SGM)
1-③	C5塗装
1-④	SGN12, ボルト: SGM
2-①	溶融亜鉛めっき
2-②	SGN12, ボルト: SGM
2-③	アルミニウム-マグネシウム (Al-5%Mg) 溶射
2-④	SGめっき (SGM)

6. まとめ

Al-5%Mg 合金溶射に塗装を施し、7 年間大気暴露された模擬桁の膜厚測定、アドヒージョンテスト、色差、白亜化について評価を行い、以下のことが確認できた。

1) 目視調査

2-D（無封孔）については白錆が確認された。

2) 膜厚測定

塗装を施した 1-A, 2-C-I, 2-C-II には若干の膜厚のバラツキが見られるものの経時的な変化は確認できなかった。また、1-B, 2-C-III, 2-D の仕様では膜厚のバラツキが大きく見られるものの経時的な膜厚の減少や膨れなどによる膜厚の増加は確認されなかった。

3) アドヒージョンテスト（密着力試験）

すべての試験体において、密着力は 4.5MPa 以上保たれており、塗装仕様のもの破断面は塗膜内での破断剥離が起っていた。

4) 色差

塗装を施した 5 つの仕様の内 1-A と 2-C-III では『塗料では色違いといわれる領域』の 3 級以上の評価となり、色差の進行が見られた。

5) 白亜化

1-A は 1.5 等級から 2.5 等級に白亜化が進行しており、他の塗装を施した 4 つの仕様より耐候性が劣っている。

以上の結果から、模擬桁暴露 7 年経過後の Al-5%Mg 合金溶射皮膜に劣化は確認されなかった。但し、紫外線の影響と思われる、A 面ポリウレタン樹脂上塗部の白亜化進行や C 面の無機系塗料上塗部の色差進行など、景観上の違いは顕在化しつつあると思われる。

今後は、更なる 10 年目の経年調査に向けて準備を開始すると共に、今回の調査で確認された桁フランジ部の「もらい錆」による腐食や当て欠損部の溶射補修など、琉球大学が進める低圧コールドスプレー工法についても、社内検討を行い、溶射部材の部分補修法として確立すべく将来に向けた調査を実施する。

参考文献

- 1) 日本工業規格：溶射皮膜の引張密着強さ試験方法 JIS H 8300:2011
- 2) アルミニウム表面技術便覧
- 3) 日本塗料検査協会：塗膜の評価基準

腐食弱点部に対する局所防食技術に関する基礎的検討

○原田和幸 加藤祐介 田井政行 下里哲弘 有住康則 JFE エンジニアリング(株)熊野拓志

1. 背景・目的

鋼橋の腐食弱点部として、鋼桁端部や高力ボルトが挙げられ、劣化状況によっては安全性が損なわれる危険がある(写真-1参照)。通常の補修方法は、ケレン後の再塗装であるが、鋼桁端部や高力ボルトは構造上、十分な除錆が困難であるため早期に再劣化する。そのため、このような箇所に対しては残存錆を有する状態における合理的な防食補修技術の確立が重要である。そこで今回、各種防食下地(有機ジンクリッチペイント、アルミフレーク含有塗料、Cold Spray 溶射皮膜)の鋼材錆残存状態における防食性能を把握することを目的に、腐食促進試験による比較検証を行った。

2. 試験方法

2.1 試験体概要

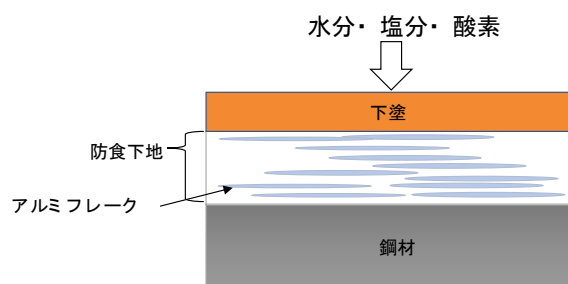
試験体の仕様を表-1に示す。本研究では防食下地自体の防食性能を把握するために、各鋼材に防食下地のみを塗装したものを使用した。本試験で用いた防食試験体は、通常の補修塗装で使用される有機ジンクリッチペイントの他に、アルミフレーク含有塗料と Cold Spray (以下 CS) 溶射皮膜の試験体を用いた。アルミフレーク含有塗料は、亜鉛よりもイオン化傾向が大きいアルミ顔料を使用しているため高い犠牲防食効果が期待できることにくわえ、顔料がフレーク状のため(図-1参照)、環境遮断性にも優れると考えられている。CS 溶射皮膜は、亜鉛粉体とアルミナ粉体の混合粉体を CS 溶射により固相状態のまま腐食鋼板面に超音速で吹き付け、鋼材錆が残存する基材に対して強固な密着力を有する亜鉛溶射皮膜を形成した溶射皮膜である。補修を想定しているため腐食鋼材を使用し、鋼材錆残存状態での防食性能について比較検



写真-1 腐食した高力ボルトと桁端部

表-1 試験体仕様

鋼材	ケレン	防食下地	膜厚	備考
新材	1種	無機ジンク	75 μ	新設
腐食	1種	有機ジンク	75 μ	補修
腐食	1種	アルミ含有塗料	75 μ	補修
腐食	2種	有機ジンク	75 μ	補修
腐食	2種	アルミ含有塗料	75 μ	補修
腐食	2種	CS	100 μ	補修



期待される効果：
犠牲防食、物質透過抑制作用

図-1 アルミフレーク

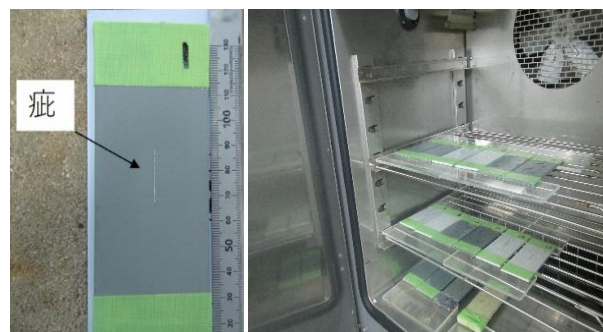


写真-2 試験体事前準備 恒温恒湿機

キーワード Cold Spray, アルミフレーク含有塗料

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地琉球大学環境建設工学科

E-mail: e125332@eve.u-ryukyu.ac.jp

討するために、1 種ケレン（ブラスト処理）と 2 種ケレン（ディスクサンダー）の素地調整を行い、各種防食下地処理を施した。また、防食性能の比較のために新設で使用する無機ジンクリッチペイントの試験片も用い、防食性能の比較を行った。

2.2 腐食促進試験条件

各種防食下地の犠牲防食効果による防食性能を比較するために、試験体表面中央部に約 2cm の疵を入れた（写真-2 参照）。その後、各試験体表面に対して 5mass% の NaCl 溶液を $10 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ 塗布したのち、恒温恒湿機に入れて稼働させる。複合サイクル条件は、5mass% NaCl15%を塗布後、温度 35℃・湿度 90%の湿潤条件（2h），温度 40℃・湿度 50%の乾燥条件（6h）を 1 サイクル（計 8h）とし、3 サイクル（計 24h）毎に 5mass%NaCl を繰り返し塗布した。

3. 結果・考察

試験開始前（写真一 3）と試験開始から 168 時間経過（写真-4 参照）と 504 時間経過した試験体（写真-5 参照）の平面部、疵部を示す。

1 種、2 種の有機ジンクリッチペイントは平面部からの腐食発生は認められなかったが、疵部において腐食発生が認められた。また、1 種、2 種ケレンのアルミフレーク含有塗料では平面部、疵部ともに腐食発生が認められ、特に疵部において著しい腐食損傷が発生していた。今回用いたアルミフレーク含有塗料は犠牲防食効果と環境遮断性を期待していたが、本試験ではその効果は期待できないものと考えられる。一方、CS 溶射皮膜では、亜鉛皮膜の白さびは確認できるものの平面部と疵部において下地鋼材の著しい腐食は認められず、鋼材錆残存状態においても無機ジンクリッチペイント同様に高耐食性を発揮可能であった。

4. まとめ

今回、恒温恒湿機で比較検証を行った防食下地の有機ジンクリッチペイント、アルミフレーク含有塗料、CS 工法の 3 種類の中では、CS 工法が桁端部など局所的に腐食しやすい部分において最も効果的だと考えられる。

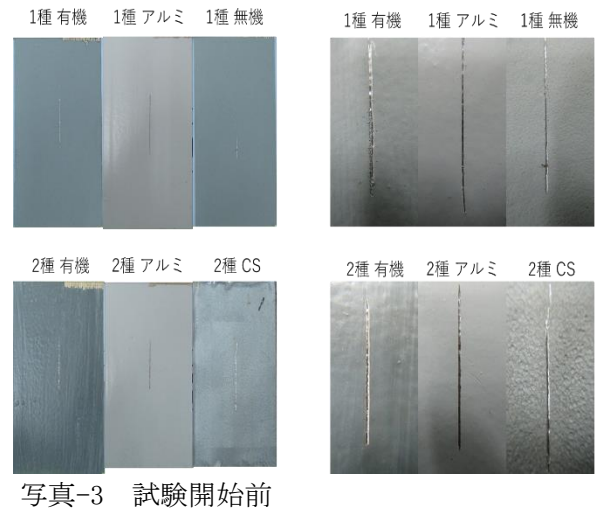


写真-3 試験開始前

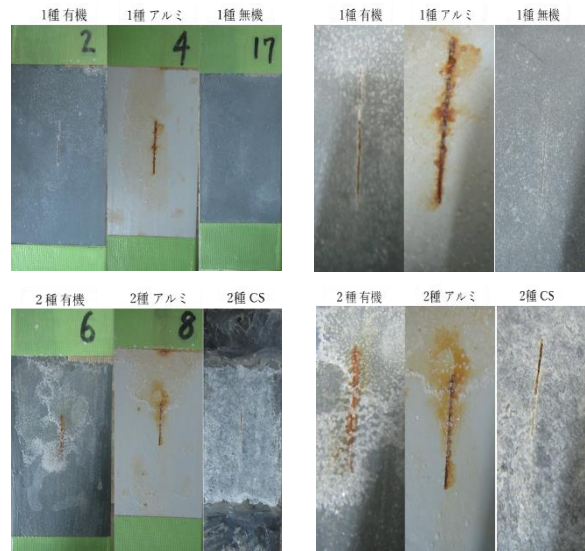


写真-4 168 時間経過

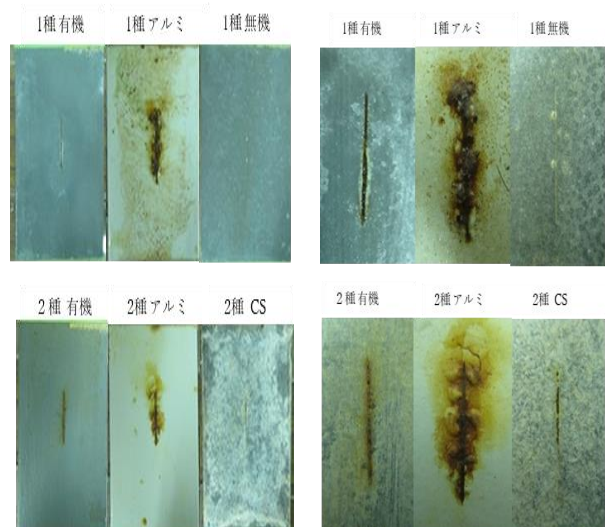


写真-5 504 時間経過

腐食高力ボルト頭部の減肉特性が残存軸力評価に及ぼす影響に関する研究

琉球大学 ○鶴田 滉 有住康則 下里哲弘 田井政行

1.はじめに

図1に示すように鋼橋の摩擦接合継手部の高力ボルトでは、腐食減肉が著しく生じる場合がある。腐食減肉した高力ボルトは軸力の低下が懸念されており、軸力の低下は摩擦接合継手部の耐荷力に影響を及ぼすためボルトの残存軸力の評価は重要である。

写真1.1及び1.2に示すような既往研究¹⁾において、実腐食高力ボルトの残存軸力が計測されており、そこではボルトの軸力解放時の頭部ひずみ値から軸力の推定が行われている。その際、頭部の高さ方向の減肉量が頭部ひずみに与える影響の検討を行い、補正を行っているが、実際の腐食ボルトでは高さ方向だけでなく、幅方向にも減肉が生じており、軸力の計測精度を高めるためにも、この側面の減肉量の影響も考慮すべきであると考えられる。

そこで本研究では、頭部側面の減肉量が残存軸力の計測に与える影響を明らかにし、側面減肉を考慮した軸力推定式を提案し、より高精度な軸力評価法の提案を行うことを目的としている。

2. 高力ボルト頭部ひずみに及ぼす側面減肉の影響

頭部側面の減肉が軸力計測に及ぼす影響を検討するためにFEM解析を行った。F10TM22を再現した解析モデルを図2.1に示す。ボルト軸部に設計軸力205kNを導入し、各部材間は接触を定義している。パラメータはボルト頭部側面及び高さ方向の減肉量とし、頭部高さの減肉量を0～6mm(1mm間隔)及び側面の減肉量0～4.5mm(0.5mm間隔)を組み合わせた54ケースの解析を行った。

図2.2にはボルト頭部の健全時と減肉時と比較したときのものである。健全時に比べ側面減肉時は頭部底面部にて応力集中が確認することを得られた。また図2.3には頭部側面減肉量ごとにひずみ値と頭部減肉高さを分けたものでいずれの頭部高さに対しても側面減肉によりひずみ値が低下すると考えられる。この傾向を実験にて調査し軸力推定式の補正を行った結果を次章に示す。

3. 側面減肉を考慮した軸力計測補正式の提案

ボルト頭部を人工減肉させた試験体を作成しひずみゲージ法を用いてのキャリブレーションを行った。作成した試験体を表2.1に示す。この

表 2.1 作成した試験体

側面減肉	0mm	1.5mm	3mm
頭高さ			
0mm			
3mm			
6mm			



図1 摩擦接合継ぎ手と腐食減肉した高力六角ボルト



写真1.1 ひずみゲージ 写真1.2 コア抜き
ひずみゲージ法による軸力解放時の様子

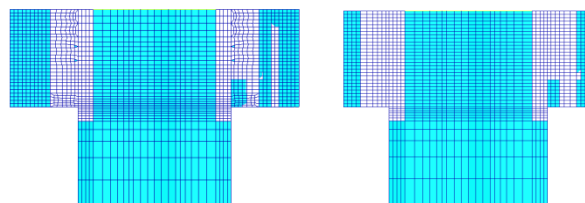


図2.1 解析モデルと減肉させたモデルの例

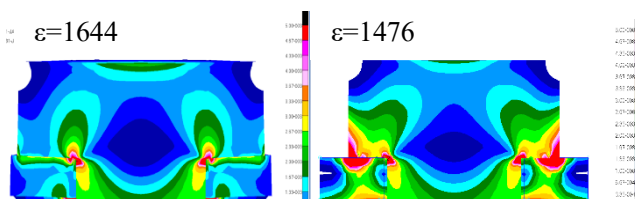


図2.2 頭部側面減肉時の挙動の違い
(左健全時 右減肉時)

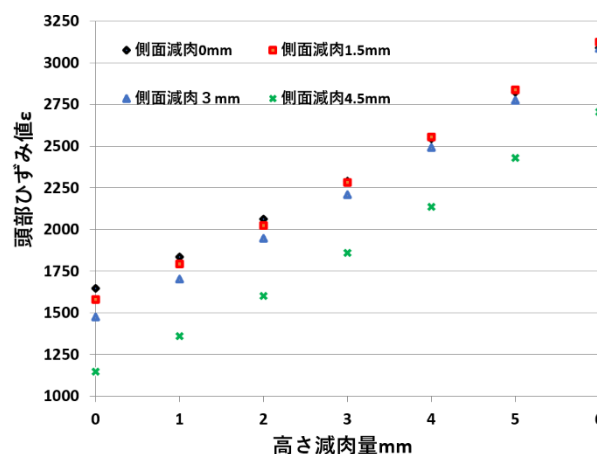


図2.3 減肉量ごとのひずみ値の傾向

キーワード 腐食 高力ボルト 残存軸力

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

試験体の側面の減肉量は解析モデルと同様に頭部側面の両面から0mm,1.5mm,3mmと高さ方向に0mm,3mm,6mm減肉させた9ケースの試験体となっている。

作成した試験体にてキャリブレーションを行った結果を図(3.1,2)に示す。解析同様、側面減肉量の増加でひずみ値が1.5mmで0~3%程度、3mmで10%程度低下する傾向が得られた。また解析結果同様いずれの頭部高さに対しても側面減肉は影響しひずみ値が低下する傾向を得られた。これらの計測データを用いてキャリブレーションカーブを作成し、その時の曲線の勾配Sを側面減肉量の増加と比例させた。この曲線の勾配Sをボルト頭部側面の減肉量 ΔH_s で表した式(式1)

$$S = -0.0052\Delta H_s^2 - 0.0085\Delta H_s + 1$$

ΔH ボルト頭部側面量(mm)

を新たに算出した。この式を既往研究の軸力補正式に加えた下式(式2)

$$N = (-0.0018\Delta H^2 - 0.025\Delta H + 0.174) \varepsilon S$$

を新たな軸力補正式として算出した。

4. 補正軸力を用いた軸力評価手法の検証

作成した軸力推定式を用いて推定軸力の評価を行った結果を図4に示す。既往研究で計測したB橋のボルト54本に加え、追加計測した2橋のボルト58本(B橋より20本、T橋より28本)を対象に評価を行った。

既往研究²⁾の推定精度に比べ、相関性がわずかではあるが向上する傾向が得られた(0.60→0.62)。また、軸力推定を行うことで、既往研究と比べて、推定軸力が低下する傾向が得られた。これより、既往研究の手法では危険側の評価となっていた可能性が確認された。なお、バラつきにより、±15%の下側にプロットされたボルトでは、写真4に示すように、ボルト頭部の一部が大きく減肉したものなどが多く、このような一様でない激しい減肉が頭部ひずみの計測値に影響を及ぼした可能性が考えられる。

5. まとめ

本研究にて得られた知見を以下に示す。

- ボルト頭部側面の減肉は軸力計測精度に影響する。
- 頭部側面の減肉量を考慮した軸力推定式を作成した。
- ボルト頭部側面の減肉量による補正を行った軸力推定式を用い残存軸力割合と減肉量の関係性を再評価すると推定軸力が低下し、相関性が向上する傾向が得られた。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 田井政行, 長嶺由智, 有住康則, 矢吹哲哉: 実腐食減肉形状を有する摩擦接合用高力六角ボルトの残存軸力特性, 土木学会構造工学論文集, 2016
- 2) M.Tai *et.al.*: Dependence of Residual Axial Force on Bolt Head Thickness and Nut Thickness and Shape for Corroded High-strength Bolts, Journal of Structural Engineering, ASCE (in press)

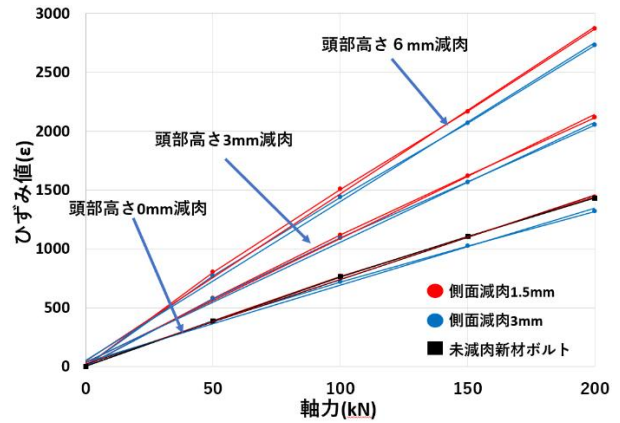


図 3.1 キャリブレーション結果

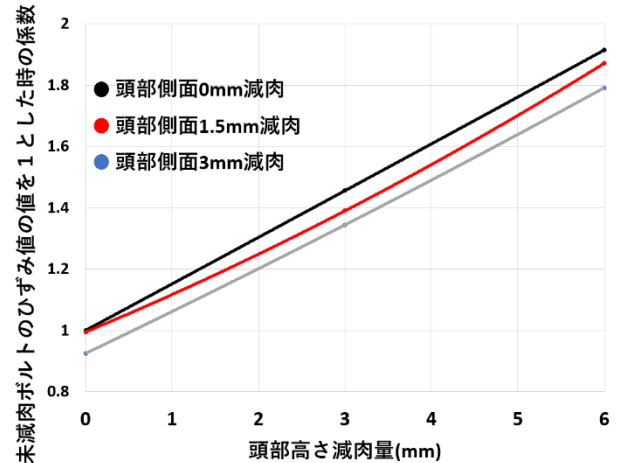


図 3.2 側面減肉量ごとの傾向

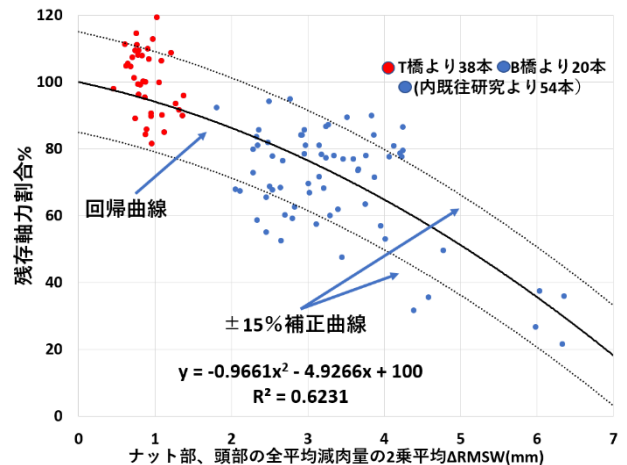


図 4 式2を用いて補正した残存軸力と減肉量の関係性



写真 4 頭部の一部が大きく減肉したボルト

環境に配慮した塗膜剥離工法の採用

西日本高速道路総合サービス沖縄株式会社 技術事務所 ○賀数 淳人 山口 一宇

1. はじめに

沖縄自動車道 許田高架橋(図-1)は、昭和 50 年 7 月から開催された沖縄国際海洋博覧会に先立ち、昭和 50 年 5 月に供用開始した鋼非合成連続鈑桁橋(橋長 $\Sigma L=753.5\text{m}$ A1~A2: 304.0m, A3~A4: 449.5m)である。本稿は厳しい塩害環境下に架橋され 40 年以上が経過した当該橋梁の全面塗替塗装において、既設塗膜に基準値を超過する鉛成分が検出された事を踏まえて実施した、電磁誘導加熱(以下 IH)塗膜剥離工法について記述する。

2. 検討に至った背景について

鋼橋塗替塗装工事にて、複数の作業員が鉛成分を含む旧塗膜を剥ぎ取る際に、粉塵を大量摂取し、鉛中毒と診断された事故が発生した。その事故を受け、厚生労働省通達(2014. 5. 30)「鉛等有害物質を含有する塗装の剥離やかき落とし作業における労働者の健康被害防止について」が発出され、塗装工事の発注者は、塗料に含まれる有害物質について施工者に伝えると共にその調査及び対策に必要な経費に配慮する事、また受注者は、関係法令に基づく適切な対策、労働者に対して適切な措置を講じる事が義務付けられた。

3. 塗膜除去、素地調整について

本橋の鋼桁部分は、これまで 3 種ケレンによる塗替塗装が複数回実施されている。その結果、標

準膜厚 $295\mu\text{m}$ に対して平均で $1,000\mu\text{m}$ を超える厚膜状態を呈していた。また、厚膜塗膜内部の応力増加に伴う多数の塗膜割れや剥れ、旧塗膜に塩化ゴム系塗料の使用が確認されていた事等から、抜本的な塗膜更新が必要と判断され、素地調整は既存塗膜完全除去を目標に 1 種ケレンを計画した。これら条件のもと、施工に先立ち実施した既設塗膜成分調査の結果、塗膜最下層に基準値を超過する鉛成分が検出された。(図-2) (表-1)

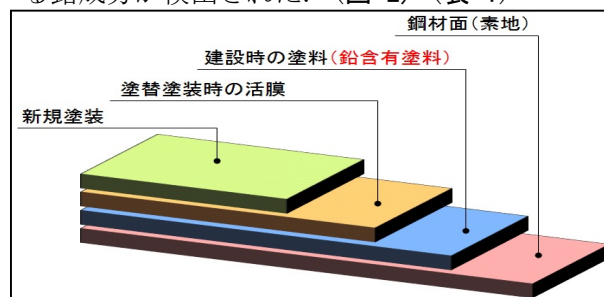


図-2 鉛等有害物質を含む既設塗膜イメージ図

表-1 塗膜成分調査結果(底質調査法)

番号	調査位置	mg/kg	百分率
1	A1-P1 G10 Web(R)	30,800	3.08%
2	P1-P2 G2 Web(R)	35,300	3.53%
3	P3 G3 Web(L)	25,100	2.51%
4	P5 G8 Web(L)	45,900	4.59%
5	P7 G3 Web(R)	7,320	0.73%
6	P9 G8 Web(R)	26,000	2.60%
7	P10 G4 Web(L)	10,500	1.05%
8	P11 G9 Web(L)	20,000	2.00%
9	P20 G2 Web(R)	25,500	2.55%
10	P22 G6 Web(R)	6,790	0.68%
平均			2.33%
(基準値)重量0.10% < (調査値)重量2.33%			



図-1 沖縄自動車道 許田高架橋

キーワード 塗替塗装, 鉛対策, 電磁誘導加熱, IH塗膜除去

連絡先 〒901-2127 浦添市屋富祖 2-6-15 西日本高速道路総合サービス沖縄(株) k.kakazu.sa@w-nexco.co.jp

そのため、1種ケレン(ブラスト工法)実施時に発生する、鉛を含む粉塵防止対策及び、産業廃棄物処理費用の低減が課題となった。

4. 塗膜剥離方法の検討について

素地調整で1種ケレン(ISO 2・1/2)の品質を確保するために、ブラスト工法の選択は避けられない状況であるが、現状のまま施工をすれば、作業員はブラスト養生の為に密閉された空間で、研掃材とともに粉塵と化した鉛入りの塗膜に曝されることとなる。また厚膜であるため長時間の作業が想定される事に加え、多量の研掃材が必要となるだけでなく、その処分は特別管理産業廃棄物となるため処分費も膨大なものとなる。これらの対策として、ブラスト作業の前処理に粉塵を発生させることなく、鉛成分を含んだ塗膜のみを除去する工法について比較検討を行った。(表-2)

表-2 塗膜剥取工法比較

施工方法	主な特 徴
塗膜剥離剤 (湿式)	騒音及び粉塵の発生は無い 可燃性で臭気がある 養生期間を含め施工性に劣る ※数種の剥離剤を試験施工した結果、厚膜である事から剥ぎ取りに2～3回塗布が必要であった。
バキューム サンダー	集塵機能が付いたグラインダーを使用する 騒音が発生し環境性に劣る 若干の粉塵が発生する 大断面の施工には不向きである 市場性があり経済性に優れる
IH塗膜剥離	ほぼ無騒音である 塗膜の飛散が無く環境性に優れる 一般部(平滑面)の施工性は良い 狭歪部の作業はヘッド交換が必要である 養生期間が不要で施工性に優れる 市場性に乏しく経済性に劣る

5. IH塗膜剥離工法について

工事開始前に実施した地元説明会において、騒音・粉塵対策の要望があった事、高架下が漁港として使用されており自然環境に特に配慮が必要である事等、環境性を最も重視して、IH塗膜剥離工法を採用した。本工法の原理は、インダクションヘッド(加熱機器)内の誘導コイルから交流電流で電磁界を作り、金属に渦電流を発生させ、金属の電気抵抗成分により、渦電流は熱に変わり誘導熱が塗膜と金属の界面接合を破壊し除去するものである。施工方法は、インダクションヘッドを既存塗膜上で走らせ、鋼材を局所的に200℃前後まで熱して塗膜と鋼材の界面接合を破壊し、直後にスクレーパーで剥離した塗膜を剥ぎ取るものである。(図-3)

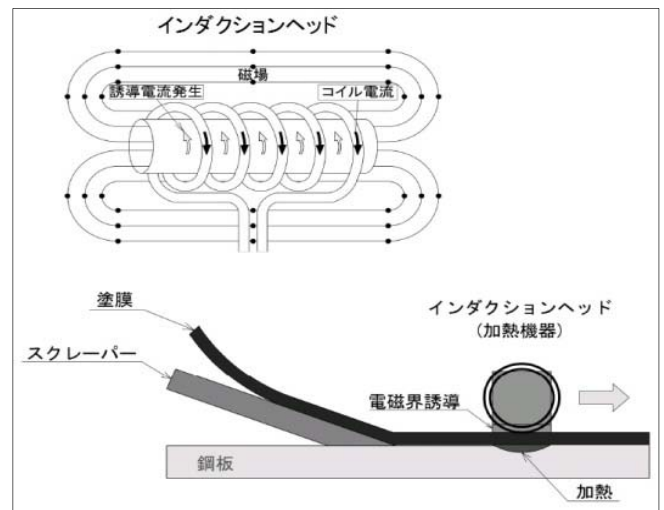


図-3 IH塗膜剥離工法概念図

本工法は、凹凸面がある場合には施工が不向きであるため、高力ボルト頭部の塗膜剥離が困難である。しかし、本橋は塗替塗装前に全ての高力ボルト(F11T)を溶射ボルト(F10T)に取替えるため、ボルト頭部の塗膜剥離が不要であった事も工法決定要因の一つとなった。また前述の通り、本工法は鋼部材を200℃程度まで加熱する必要がある。鋼板自体への悪影響が懸念された。したがって、事前の試験施工で、加熱による鋼材への影響が極小である事を確認した後、本施工に着手した。実際の施工環境としては、膜厚に左右されず、騒音・粉塵の発生を殆ど伴わず、有害な塗膜のみを除去する事が可能であった。

【施工時鉛濃度_基準 0.05mg/m³ > 実測 0.02mg/m³】

6. おわりに

本工事では、IH塗膜剥離により良好な作業空間で有害な塗膜を除去する事ができた。また補完的に実施したブラスト作業の軽減化、特別管理産業廃棄物処分費の削減も可能となった。一方で剥離装置は海外製品の精密機械であるため機械損料やメンテナンス費用等の経済性やガセット部等狭歪個所の剥離方法等には課題が残った。今後、IH塗膜剥離の市場性が高まることで、これらの課題がクリアされていくことを期待したい。

参考文献

- 1) 西日本高速道路株式会社：設計要領 第二集 橋梁保全編
- 2) 岡部次美, 吉川博, 小野秀一, 中村順一：IH（電磁誘導加熱）による鋼橋の塗膜除去工法 一社）日本橋梁・鋼構造塗装技術協会 第17回技術発表大会

腐食凹凸面に対する当板ボルト補修法のすべり耐力特性に関する実験的研究

琉球大学 ○坂本健太 長坂康史 下里哲弘 田井政行 有住康則

1. はじめに

鋼橋における代表的な劣化現象として、腐食損傷が挙げられる。損傷の進展に応じて、断面欠損や破断が生じ、鋼橋の耐力が低下することが懸念されている。このような損傷に対する一般的な補修方法として、当て板ボルト補修法が行われる。しかしながら、腐食凹凸面での当て板ボルト補修法は、当て板と腐食面間のすべり係数が十分に確保出来ず、すべり耐力が低下することが懸念されているが、腐食凹凸とすべり耐力特性の関係は十分明らかにされていない。

本研究では、腐食凹凸度とすべり耐力特性の関係を明らかにすることを目的に、実腐食橋梁より採取した腐食鋼板を用いてすべり耐力試験を行った。

2. 腐食凹凸面と当て板ボルト補修のすべり耐力特性

2-1. 腐食材表面の腐食凹凸度とすべり試験体

試験体に使用した腐食材は実橋から採取した鋼材(SMA490, 公称板厚 9mm)である。図1に示すように、腐食材表面の凹凸度を評価するために腐食表面を 2mm 間隔でレーザー変位計により計測を行った。なお、腐食深さについては計測値の最大値から腐食表面までの距離の差と定義した。図2に本研究で用いた腐食材の平均腐食深さ-標準偏差のグラフを示す。なお、横軸の平均標準偏差は鋼材表面の表と裏の標準偏差の平均である。図より腐食深さが大きくなるほど、標準偏差が大きくなる傾向があることがわかる。これより、腐食凹凸度の評価を標準偏差で行う。

腐食材を用いて作成した試験体形状を図3に示す。なお、使用した高力ボルトはF10TM20のボルトを使用し、固定側のb、cのボルト締め付けにはTCボルトを用いた。すべり側のaのボルトではボルト軸部に貼り付けたひずみゲージの導入軸力が道路橋示方書¹⁾を参考に設計軸力の10%増しの182kNとなるよう制御して組み立てを行った。

2-2. すべり耐力評価と試験結果

本研究では、下式に示すように、すべり試験より得られたすべり荷重を試験時軸力で除したすべり係数で評価を行った。なお、試験時の最大荷重をすべり荷重と定義した。

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

μ : すべり係数, P : すべり荷重(最大荷重),

m : 接触面数, n : ボルト本数, N : 試験時ボルト軸力

図4にすべり係数-腐食深さの標準偏差の関係を示す。図より、腐食凹凸度の標準偏差が大きくなるにつれてすべり係数が減少する傾向がみられた、この要因の一つとして、腐食凹凸度が大きくなるに従い、腐

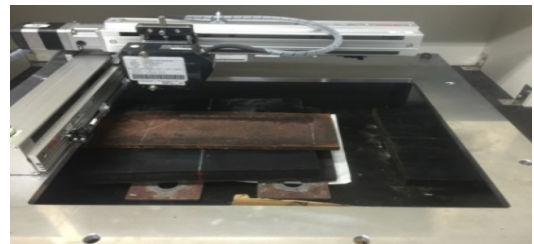


図1 レーザー計測

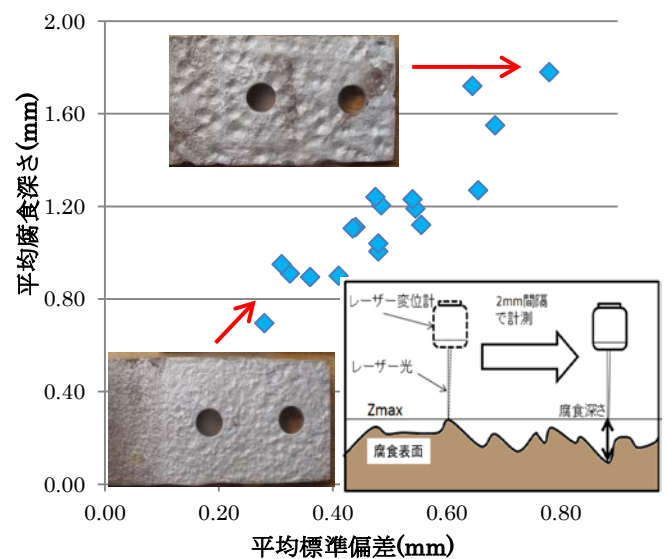


図2 腐食材の腐食度

母材(腐食材)

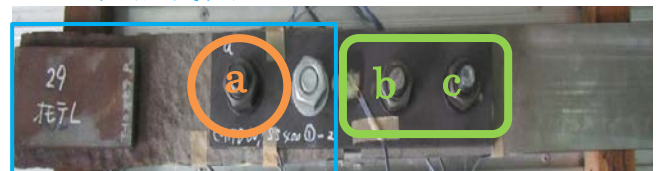


図3 試験体形状

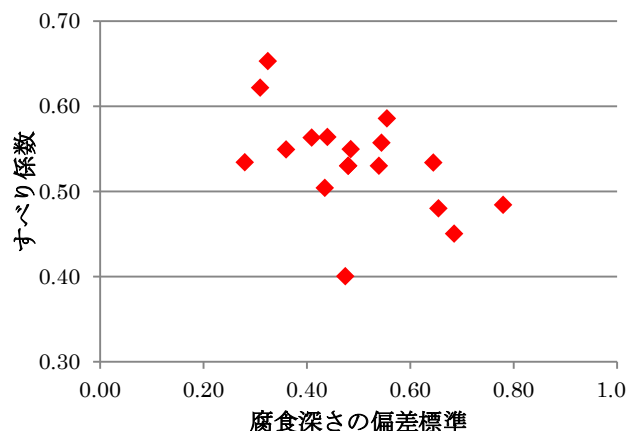


図4 すべり係数-腐食深さの標準偏差

食面と添接板との接触面積が低下したことが考えられる。そこで、次章にて接触面積とすべり耐力特性について検討を行った。

キーワード 腐食凹凸,レーザー計測,すべり係数,接触面積,二値化

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科

3. 接触面積とすべり係数の関係

3-1. 人工接触面積

接触面積とすべり耐力特性との関係を明らかにするために、写真1に示す新材を用いた母材表面の切削により接触面積を制御した人工接触面積試験体を作成した。パラメータは図5に示す接触面積とし、ボルト孔近傍の接触面積を $2000\text{mm}^2 \sim 350\text{mm}^2$ となるよう切削をしている。なお、切削箇所は斜線部の所である。前節と同様に軸力を制御して試験体を作成し、すべり試験を行った。

すべり試験より得られたすべり係数比と接触面積の関係を図7に示す。なお、すべり係数比とは、接触面積 2000mm^2 のすべり係数で各々のすべり係数を除した値である。図より接触面積が 1000mm^2 以上の領域では、すべり係数は一定値を示すが、それ以下では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。これより、接触面積が小さい場合、すべり係数は接触面積に依存するといえる。そこで次節にて実腐食凹凸面の接触面積の評価を行った。

3-2. 実腐食凹凸面の接触面積とすべり係数の関係

すべり試験における接触面積は添接板の接触痕を画像処理することで算定を行った。しかしながら、図6-aに示すように、ブラスト処理された接触痕の判定は難しく、接触面積の算出を行うのは困難である。そこで、予め添接板にスプレー塗料を噴霧することにより、図6-bのように接触痕が明瞭に表現できるようになる。その接触痕を図6-cのように二値化で処理し、接触面積算出を行い、次式によって接触面積を算出した。なお、接触面積は白く色づいた部分の面積で算出している。

$$A=70 \times 70 \times S$$

A:接触面積, S:試験体の接触痕(%)

図7は、すべり係数-接触面積のグラフを示す。結果より、接触面積が減少するとすべり係数が減少する傾向がある。しかしながら、接触面積が小さくなる場合においても、一定以上のすべり係数が確保できることも確認することができた。これは、腐食面は平滑ではなく、凹凸を有しているため、この凹凸により接触面積が小さい場合でも、すべり係数を増加させる可能性が考えられる。

4. まとめ

- (1) 平均腐食深さ $0.7\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$ の腐食材を母材に用いたすべり耐力試験を行った結果、すべり係数と平均腐食深さの関係は、腐食度が大きくなるにつれてすべり係数が減少する傾向が得られた。
- (2) 接触面積とすべり係数の関係は、接触面積が減少するとすべり係数が減少する傾向がある。しかしながら、接触面積が小さくなる場合においても、一定以上のすべり係数が確保できることも確認できた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II鋼橋編 2002.3

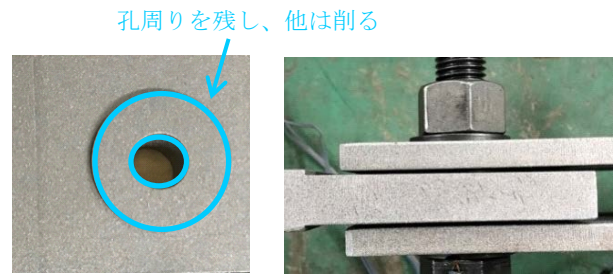


写真1 人工接触面積試験体

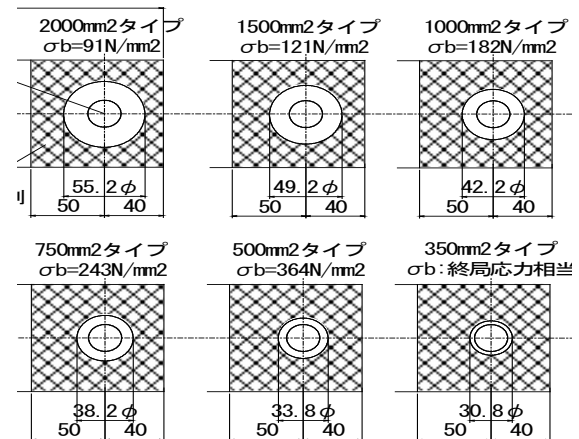


図5 人工接触面積パラメータ

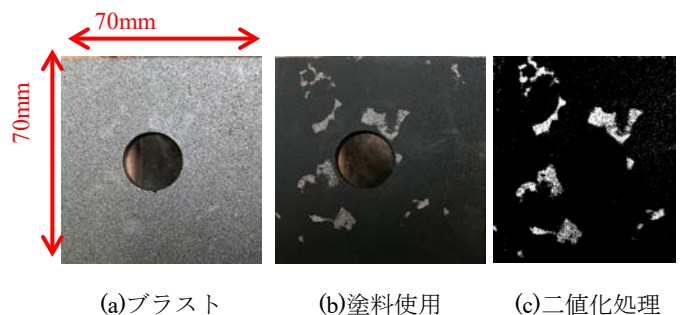


図6 接触痕の表面

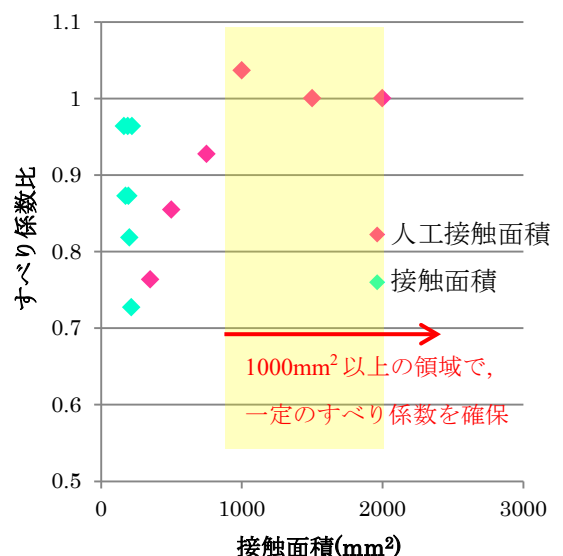


図7 すべり係数-接触面積

高力ボルト摩擦接合連結板の腐食減肉形状とすべり耐力特性に関する解析的研究

琉球大学 ○大城泰樹 山下修平 田井政行 下里哲弘

1. はじめに

鋼橋の部材接合法に使われる摩擦接合継手は、写真1に示すように鋼橋の中でも腐食減肉が著しい部位の一つである。実環境下で腐食した継手の連結板の腐食減肉を調査したところ、写真2に示すように、座金周辺で環状的に減肉する場合と座金周辺から全体的に減肉する場合の2種類の特徴的な減肉形状を示すことが明らかとなった。

この特徴的な減肉を模擬した写真3に示す連結板を用いたすべり試験を行ったところ、図1に示すように連結板の減肉が耐力を低下させる傾向が得られた。そこで、本研究では、この連結板にみられる特徴的な減肉形状が、すべり耐力に及ぼす影響について、FEM解析を用いて検証した。

2. 解析モデル

(1)モデル概要

図2に解析モデルを示す。対称性を考慮して、1/4モデルとし、8節点solid要素を用いて解析を行った。なお要素サイズは1~3mm程度としている。

それぞれの部材間に接触を定義し、接触、離間、固着の状態を再現した。接触面におけるすべり挙動には、等方性クーロン摩擦モデルを用いた。

本研究では、すべり発生までのメカニズムの解明を主な着眼点としていることから、すべり後の挙動に大きく影響する動摩擦係数については、静止摩擦係数と等しいと仮定した。なお、解析で設定した摩擦係数は、腐食模擬連結板を用いた実験結果より、すべり係数0.55を静止摩擦係数として設定した。

解析パラメータは、連結板の腐食減肉とし、新材モデル(減肉無)、環状腐食モデル、全面腐食モデルの計3ケースで比較検討を行った。

(2)解析手法

解析では、まず、F10TM22ボルトの設計軸力205kNをボルト軸部に与えた。設定の軸力が入ると、軸部の変位で固定し制御した。その後、引張荷重を作用させるため、母板端面に強制変位を与え、連結板と母材間ですべりを発生させた。

3. 連結板減肉とすべり挙動のメカニズム

(1)孔周辺のひずみ挙動と降伏領域

解析より得られた荷重と開口変位の関係を図3に示す。すべり荷重は新材モデルが431kN、環状モデルが428kN、全面モデルが401kNとなり、実験ほどの大きな低下は見られなかったが、すべり荷重が低下する結果が得られた。特に、全面モデルで大きく低下する傾向が見られた。

これらのすべり荷重の低下要因については連結板のひずみ挙動、応力分布より考察を行う。また、すべてのパラメータにおいて、外側ボルト周辺のひずみ挙動に大きな差異は確認できなかったため、内側ボルトのみに着目して比較を行う。

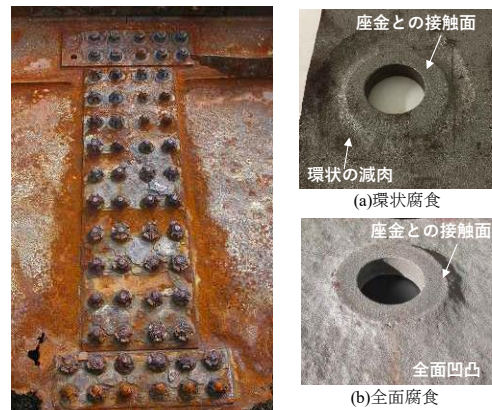
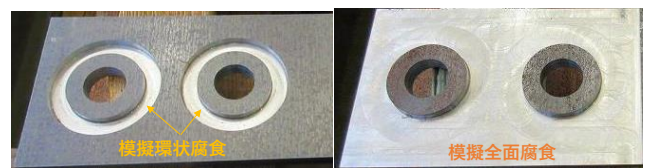


写真1 腐食したボルト継手

写真2 連結板の腐食形状



(a)環状型 (b)全面型

写真3 腐食模擬連結板の形状

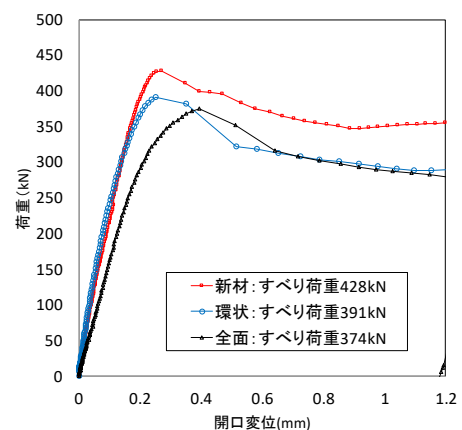


図1 模擬実験の結果

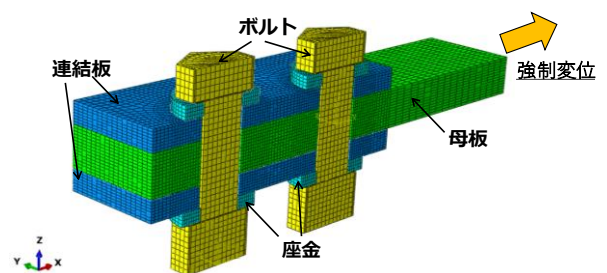
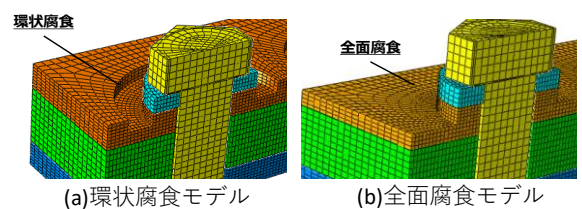


図2 解析モデル



(a)環状腐食モデル

(b)全面腐食モデル

図3 解析パラメータ

キーワード：高力ボルト 摩擦接合 腐食連結板 すべり耐力 降伏

連絡先：〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学大学院 理工学研究科 環境建設工学専攻

図5には(a)環状モデル、(b)全面モデルの連結板の内側ボルト周辺の荷重-ひずみ曲線およびすべり時の応力分布のコンター図を示し、以下のことがわかる。

環状モデル：孔周り減肉部分(計測位置 1)のひずみ増加量が大きく、降伏ひずみに達していた。応力分布は引張方向に対して孔後面側の減肉部からの降伏領域が広がっており、減肉の無い孔から離れた部では弾性域内に収まっていた。

全面モデル：荷重-ひずみ曲線より計測位置 1,6 が先行して降伏ひずみに達した。その後、計測位置 2,4,5 も降伏ひずみに達しすべりが生じていた。また、環状モデルと同様に引張方向に対して孔後面側から降伏領域の広がりがみられ、環状モデルと比べて減肉領域が大きいため、降伏領域も大きくなっている。

以上の結果より、連結板の減肉により、連結板の降伏領域に差異が生じておりこれがすべりを誘発したものと考えられる。この連結板の降伏がすべり挙動に及ぼす影響を検討するために次節において連結板と母板間の荷重伝達に着目して検討を行った。

(2)降伏領域と荷重伝達の関係

図6には、各パラメータにおける、ある時点からすべり時までの、新材連結板と腐食連結板の内側ボルトに作用する摩擦せん断力の挙動を示しており、以下のことがわかる。

新材モデル：せん断力の挙動は、両連結板共に均等に上昇していき、限界値に達するとすべりが生じた。

環状モデル：新材側と腐食側のせん断力は、局所的な降伏の影響を受け均等ではない。しかし、微小の差であるため、すべり耐力への影響は小さい結果となった。

全面モデル：前節より、連結板縁端(計測位置 4, 5)まで降伏領域が広がった。降伏が生じると、腐食側のせん断力は一定になり、新材側のせん断力が増加する結果となった。

以上より、腐食連結板の縁端部まで降伏が進行すると、荷重を伝達できなくなる。そのため、新材側の荷重負担が増加し限界値に達しやすくなる。その結果、すべり耐力の低下につながる。

4. まとめ

特徴的な減肉形状となる連結板がすべり耐力に及ぼす影響に関する FEM 解析の検証結果を以下に示す。

- (1) 連結板が減肉すると、孔後面より降伏が進展しやすくなる。
- (2) 腐食連結板が降伏すると、荷重を分担できなくなる。その結果、新材側の荷重分担量が多くなり、すべりが生じやすくなる。

今後は、腐食減肉形状と減肉量をマルチパラメータとした解析を行い、腐食減肉した摩擦接合継手連結板の評価方法の構築を行う予定である。

参考文献

- 1) 山下修平, 下里哲弘, 田井政行, 有住康則, 矢吹哲哉：実腐食形状を有する高力ボルト摩擦接合継手の強度特性, 鋼構造年次論文報告集, Vol.24, pp.29-36, 2016.

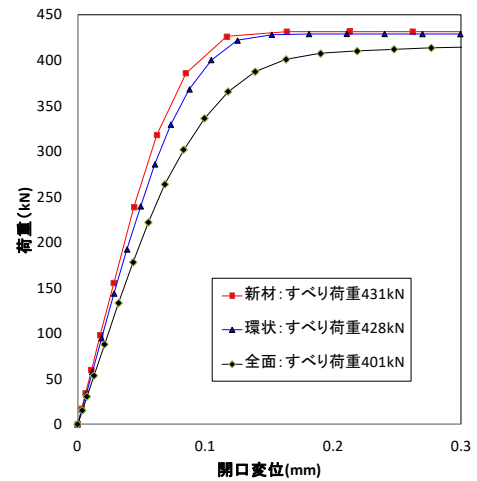
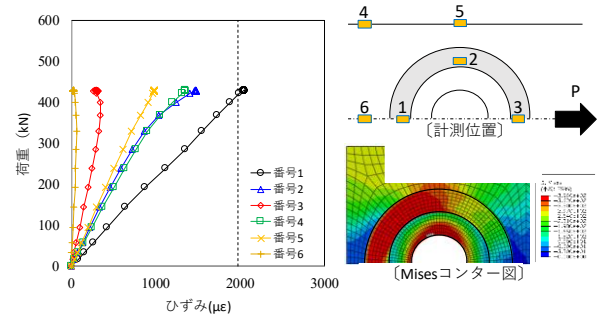
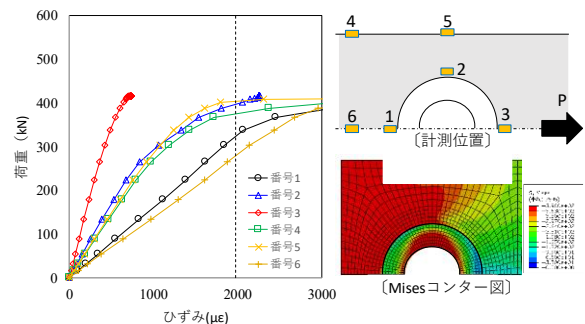


図4 荷重-開口変位(解析結果)



(a)環状型ひずみ・応力分布



(b)全面型ひずみ・応力分布

図5 ひずみ分布と応力分布

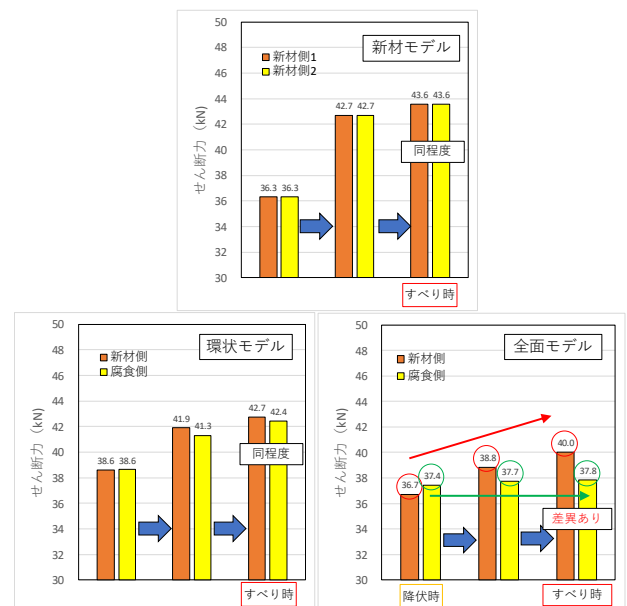


図6 せん断力の挙動

鋼桁ウェブ中央部の減肉に対するせん断耐荷力評価法の提案

琉球大学 ○上村大河 下里哲弘 田井政行
一般社団法人 沖縄しまたて協会 正会員 玉城喜章

1. はじめに

近年、鋼橋の腐食損傷の問題が顕在化しており、特に鋼桁端部のウェブの減肉を主要因として落橋等の事例も報告されている。(写真 1) 既往研究において、ウェブの腐食減肉分布が桁端部の耐荷力に影響を及ぼすことが報告されているが、その評価手法は十分に確立されていない。

本研究では、鋼桁端部の腐食減肉パターンの一つであるウェブ中央部の減肉に対するせん断耐荷力評価法の提案を目的に、パラメトリック有限要素解析を行った。

2. 解析概要

(1) 解析モデル

解析には汎用解析プログラム MSC.Nastran を使用し、要素は 4 節点のシェル要素を用いた。図-1 に HS 有モデルを示す。解析モデルは着目部のウェブとそれ以外のウェブの 2 パネルからなる単純支持の I 型モデルとした。着目部のメッシュサイズは 10mm×10mm とし、せん断座屈が卓越するように、着目部以外のウェブについては板厚を 32mm と厚く設定した。ウェブ 1 パネルの寸法は実橋と同じ幅 1420mm 高さ 1450mm とした。上フランジ厚は実橋における RC 床版の剛性効果を考慮して 50mm とし、横倒れ座屈防止効果も同時に図っている。なお、残留応力は考慮していない。支点上はピン及びピンローラーの単純支持とした。荷重方法は桁中央に 400 ステップで鉛直方向に 30mm の強制変位を与えるものとした。

また初期たわみはウェブ中央部で最大となるよう正弦波を仮定し、次式より設定した。

$$w = w_0 \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/b) \quad \text{式(1)}$$

なお、初期たわみの設定範囲は、HS 有モデルでは水平補剛材下側ウェブ、HS 無しモデルではウェブ全面としている。

最大初期たわみ w_0 は道路橋示方書より $b/150$ を用いて HS 有りと HS 無しモデルで数値が異なっている。初期たわみの波形 w を次式に示す。

$$w = w_0 \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/b) \quad \text{式(1)}$$

ここで a は垂直補剛材の間隔、 b は HS 有モデルでは水平補剛材と下フランジ間の間隔、HS 無しモデルでは上下フランジの間隔である。

(2) 解析パラメータ

解析パラメータを表 1 に示す。HS の有無の影響を検討するために、HS の有るモデルと無いモデルの 2 つを作成した。その際、幅厚比の影響を考慮し、HS 無しモデルについてはウェブ厚を 10.5mm とした。腐食領域での残存ウェブ厚 t をパラメータとし 100% (健全時)、75%、50%、25%、0% (欠損時) とした。これら 2 モデルとパラメータの組み合わせにより、合計 10 ケースに対して解析を行う。

3. せん断耐荷力特性

図-4 に基本モデルの健全時の P- δ 図を示す。同図にはせん断強度区分の定義も併せて示した。

(1) せん断強度特性

一般的に鋼プレートガーダー腹板のせん断耐荷力 v_{ult} は式 (2) に示すせん断座屈強度 v_{cr} 、せん断座屈後に形成される斜め張力場による後座屈強度 v_t 、上下フランジと鉛直補剛材で囲まれたフレーム強度 v_f が構成される。

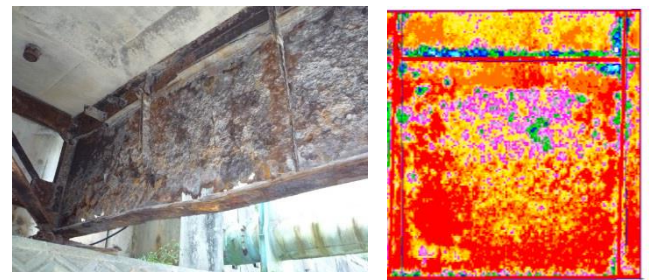


写真 1 鋼橋の腐食事例と腐食減肉分布

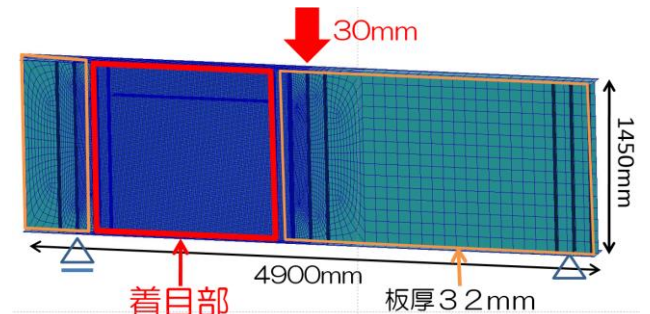


図-1 HS 有モデル

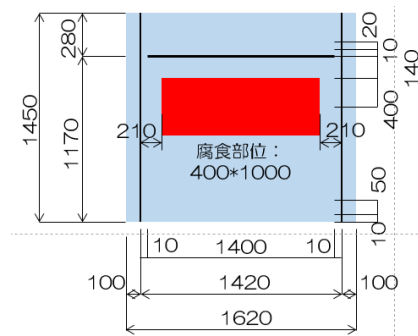


図-2 着目部ウェブの寸法

表 1 解析パラメータ

	HS有モデル	HS無モデル
水平補剛材	有	無
ウェブ厚	9mm	10.5mm
幅厚比	1.7	1.7
b	1170	1450

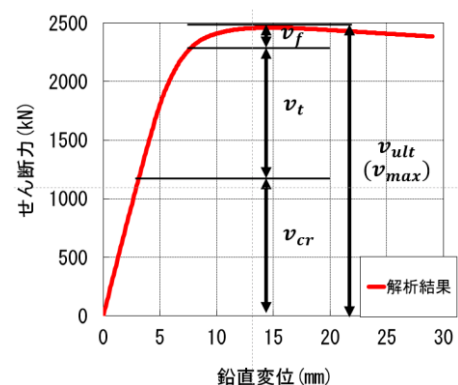


図-3 HS 有モデル健全時 P- δ

$$v_{ult} = v_{cr} + v_t + v_f \quad \text{式(2)}$$

なお、本論文では最大せん断力 v_{max} をせん断耐力 v_{ult} と区分して考察を行っている。

(2)せん断座屈強度特性

図-4に面外変位と主ひずみを示す。面外変位から求めたせん断座屈強度に比べて、主ひずみの分岐から求めたせん断座屈強度が同じか小さくなる傾向があり、一般に座屈荷重は最小荷重で定義されることから本論文では最小主ひずみ ε_{min} の分岐から求めた値をせん断座屈強度 v_{cr} とした。

4. 解析結果

(1).せん断耐力

図-5にHS有モデルのせん断耐力とせん断座屈強度のグラフを示す。板厚の低下と共にせん断座屈強度が大きく低下していることが分かる。それに伴ってせん断耐力も低下している。

また図-6には相当応力図を示す。健全時には斜め張力場が見られたが、50%以上減肉した場合は明確な張力場が形成されないため、耐力が低下することが分かった。

(2)バスラー式

耐力の評価式として一般に次式のバスラー式がよく用いられる。

$$V_u = b * t_{\text{ウェブ全面}} * \left\{ \tau_{cr} + \frac{\sqrt{3}}{2} * (\tau_y - \tau_{cr}) / \sqrt{(1 + \alpha^2)} \right\}$$

この時板厚 t は腐食減肉を再現するためにウェブ全面の平均をとっている。その結果を図-7に示す。FEM解析結果とバスラー式の結果に差が見られる。これは平均板厚に張力場以外のウェブを含んでいることが原因と思われる。したがって、ウェブ全面の平均板厚ではなく張力場領域での平均板厚を算出し、バスラー式に入れることで、局部腐食を評価式で表現できると考えた。張力場領域での平均板厚の算出には次式を用いた。図-8に算出方法を示す。

$$S = ab / \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$$L = 400 * \sqrt{(a^2 + b^2)} / a$$

$$t_{\text{張力場}} = (S * t_{\text{design}} - L * t_{\text{design}} * \text{腐食減厚率}) / S$$

その結果を図-9に示す。バスラー式で用いる平均板厚はウェブ全面を用いるより張力場領域で算出する方がFEM解析結果に近いことが分かった。

5. まとめ

- 1) ウェブ中央腐食は腐食減肉の進行に伴ってせん断座屈強度を低下させる。
- 2) 健全時は斜め張力場が形成されせん断に抵抗するが、50%減肉以降は斜め張力場が形成されず、耐力が低下する。
- 3) バスラー式で用いる平均板厚はウェブ全面を用いるより張力場領域で算出する方がFEM解析結果に近いことが分かった。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 玉城喜章, 有住康則, 矢吹哲哉, 三木千尋：実腐食分布を有する鋼プレートガーダー版のせん断強度特性に関する実験的研究, 土木学会論文集A1, Vol. 70, No. 3, 359-376, 2014.
- 2) 玉城喜章, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉：実腐食分布を考慮したプレートガーダーのせん断耐力特性, 鋼構造論文集, 第19巻第73号(2012年3月)

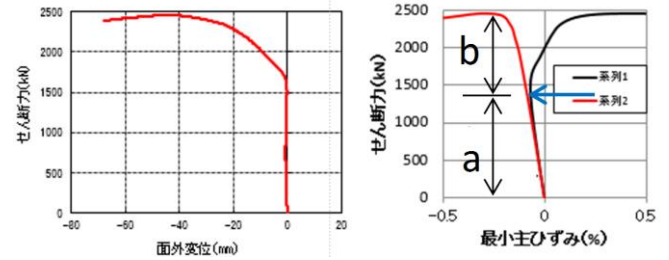


図-4 面外変位と主ひずみ

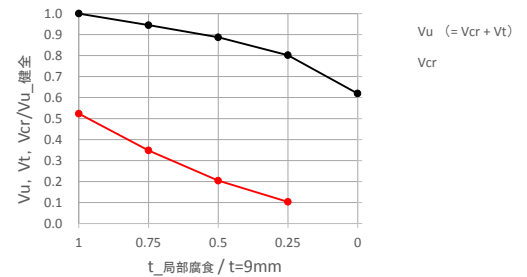


図-5 せん断耐力とせん断座屈強度

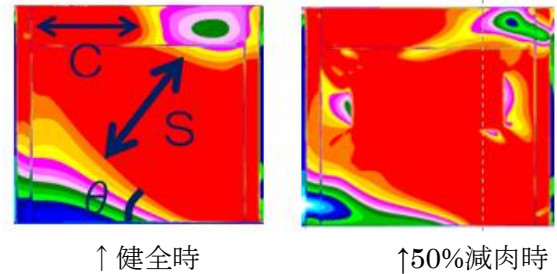


図-6 相当応力図

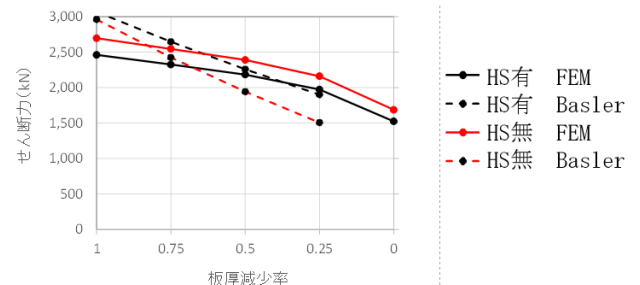


図-7 FEM 解析結果とバスラー式の比較

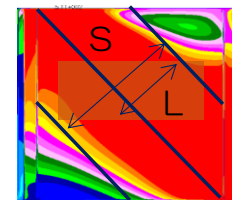


図-8 張力場領域での平均板厚算出方法

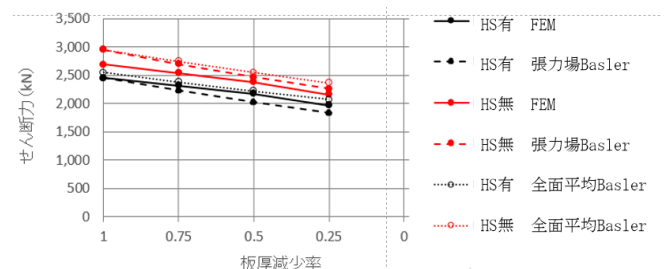


図-9 FEM 解析結果とバスラー式の比較

Session 5 : コンクリート構造・材料関連

那覇空港滑走路増設事業における 長大ボックスカルバート製作について

荒木 幸宏¹・大城 祥慎¹

¹那覇港湾・空港整備事務所 那覇空港新滑走路整備推進室（沖縄県那覇市字鏡水 344）

那覇空港滑走路増設事業は那覇空港の現滑走路中心より 1310m 沖合に新たな滑走路を増設する事業である。本事業では連絡誘導路の下部に長大ボックスカルバートを通水路部として設置することで、閉鎖性海域の発生を回避する策を講じることとしている。本論文では長大ボックスカルバートの製作に際しての留意点並びに安全対策について報告するものである。

キーワード：滑走路増設 海水交換 マスコンクリート

1. はじめに.

那覇空港滑走路増設事業は現滑走路より西側 1,310m の沖合に 160hr の埋立地を造成し、2,700m の新設滑走路を平成 32 年 3 月の供用までに整備するものである。

本事業の施工手順は、護岸工事(延長 8.5km)を実施し、その後に埋立工事(埋立土量約 990 万 m³)と進入灯築造工事(南側：576m、北側：549m)を行い、舗装工を実施する。

沖合に滑走路を増設することから、ターミナルから新設滑走路を結ぶ連絡誘導路が必要となる。新設滑走路造成にともない、内側の海域については閉鎖性海域（海水循環の停滞が起きる海域）が形成される。この課題を解消するために、連絡誘導路下に長大ボックスカルバート構造による通水路部を整備し、海水交換が行えるよう策を講じることとしている。



図 1. 施工位置図

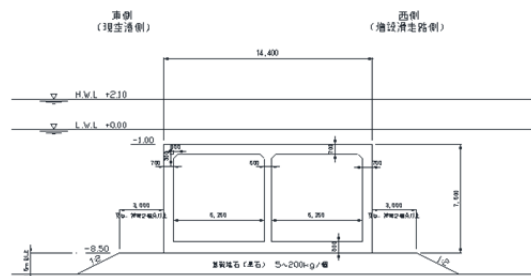


図 2. ボックスカルバート概要図

2. ボックスカルバートの必要性

当該箇所の通水性確保について、潮流、水質及び底質等に及ぼす影響を検討するシミュレーションを通水路幅 10, 20, 50, 100, 200, 400 m について比較を行い、10m 幅の通水路部を設けることで十分な海水交換の効果が得られる

ことが分かった。構造については、「埋立構造案(ボックスカルバート)」「橋梁構造案(橋梁)」について施工性、安全性及び全体工程を比較検討した結果、埋立構造案が優位であるため採用とした。ボックスカルバート工法について採用当初は確実性の高い「現場打設」を検討していたが、「フローティングドック(以下、FD という)製作+据付」との比較検討を行った結果、通水部の工事作業期間が限られている中で、施工性及び経済性に優れる FD 製作による工法が採用された。

ボックスカルバートの延長については、供用後のメンテナンス等を考慮し、できる限り接続部(目地)を少なくすることが望ましく、FD 製作で施工できる最大延長として 50m 及び 40m となった。

3. ボックスカルバート製作

3-1. ボックスカルバートの製作概要

本工事で設置するボックスカルバートは平成 27 年度に 3 函、平成 28 年度に 3 函の計 6 函の製作を那覇港内にて実施した。(図 3)



図 3. 施工位置図

ボックスカルバートは全長 50m のタイプを 4 函、全長 40m のタイプを 2 函製作しており、全てフローティングドッグ (FD：ケーソン製

作用台船) 上で製作を行っている。製作にあたり 12,000t 級 FD と 5,000t 級 FD を一隻ずつ用意し、12,000t 級では 50m のタイプを同時に 2 函製作し、5,000t 級で 40m のタイプを 1 函製作した。



写真 1. 12,000t 級 FD



写真 2. 12,000 t 級 FD での製作状況 (鉄筋組立)



写真 3. ボックスカルバート完成写真

3-2. ボックスカルバート製作手順

ボックスカルバートの製作は以下の手順で実施した。(図 4. 施工フロー図)

作業ヤードにて資材の搬入や鉄筋型枠の加工、足場の組立を行う。その後、FD 上にてカルバートの位置を墨出しし、型枠等のずれ止め金具を取付、足場を組んだ後、ルーフィング(緑切材)を敷設し、鉄筋の組立、型枠の

組立も行った後、コンクリートの打設・養生を行い、脱枠を行う。この一連の作業を4回繰り返した後、支保工・型枠の解体、艀装工の設置作業に入る。

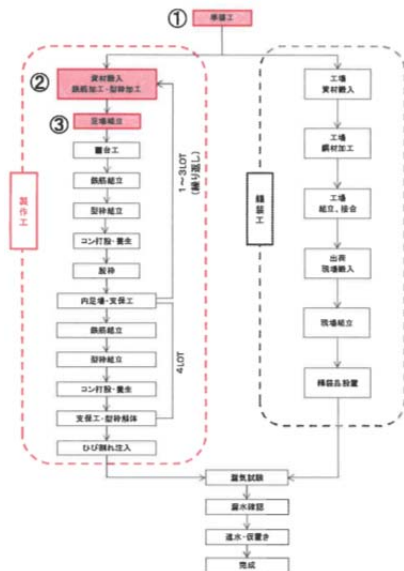


図4. 施工フロー図

3-3. ボックスカルバート艀装工

製作するボックスカルバートには製作後の進水引出、水中仮置、曳航などに使用する艀装品の設置作業を行っている。

主要な艀装品は、バラスト堰、仮止水壁、アクセスシャフト、ボラード（係船柱）等である。

ボックスカルバートは連結して連絡誘導路部に設置する為、開口部が側面に設けられており、仮止水壁を側面に設置し内部への海水流入を防止し函体を浮上沈降させる必要がある。

また、艀装工として進水引出、曳航に使用するボラードを上部4隅に設置し、函体上部には水中仮置時に内部に注水作業をするためのアクセスシャフトと呼ばれる煙突状の艀装品を取り付け、内部には曳航中に内部の水位を一定に保つためにバラスト堰を設けている。



写真4. 艀装品

4. ボックスカルバート品質向上の工夫

本工事で製作するボックスカルバートは全長が50mに達する長大なマスコンクリート構造物である。長大であると同時に連絡誘導路の下に埋設することから、定期的なメンテナンス等の実施が困難となるため、カルバート製作段階においてコンクリートの品質確保をどれだけ行えるかが特に重要になる。

本論では、その対策および効果について報告する。

4-1. コンクリート表面の耐久性について

本カルバートを設置する箇所は連絡誘導路の基礎部分であり通水部でもあるため、コンクリート表面は常に海水と接する塩害環境下に晒され、内部を潮流が通過していく劣悪な環境に置かれる事になる。本事業で製作するカルバートは前述の課題に対し高い塩害抵抗性と表面の緻密性の確保を目的として、透水性型枠シートを採用している。

透水性型枠シートは型枠に透水性シートを取り付けた物で、硬化時にコンクリート内部の余剰水分や空気を排出する効果があり、それにより表面構造が緻密化し表面硬度の向上、

塩害抵抗率の向上が見込める。

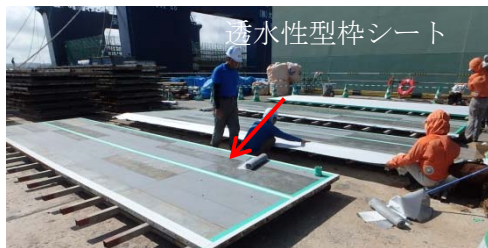


写真5. 透水性型枠シート貼付状況

4-2. コンクリートのひび割れの発生防止

コンクリートは硬化する際に内部温度が上昇し、その際に温度ひび割れを起こす事が知られている。

コンクリートの打設にあたっては、製作段階でいかにこの温度ひび割れを生じさせないかが重要である。本カルバートはマスコンクリート構造物であることにより通常のコンクリート構造物よりも硬化時の内部温度が上昇しやすいことから、確実にひび割れを防止する必要がある。しかし、温度応力解析を実施したところ、打設時期にあたる5-8月の最小ひび割れ指数が側面0.98（ひび割れ発生率53.4%）、底版1.05（発生率43.2%）である事が判明した。（図5）

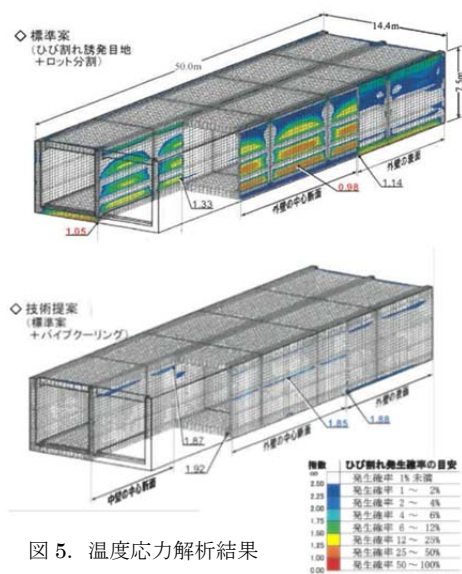


図5. 温度応力解析結果

本カルバートは高い耐久性と品質を求めるため、最小ひび割れ指数を低減させる必要があり、ひび割れ発生指数を1.85以上（発生率5%以下）に抑える事が出来るパイプクーリングシステムを採用した。

このシステムは冷却水を循環させる配管をカルバート内部に通して一定の温度を保つ事ができるものでコンクリート内部の温度上昇を抑えた養生ができる。

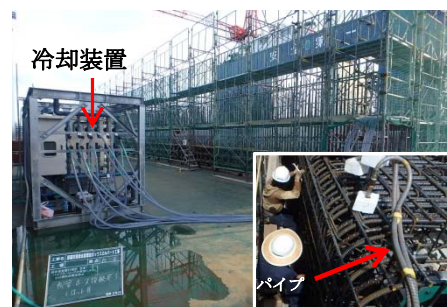


写真6. パイプクーリングシステム

4-3. FD上での養生について

コンクリートはブリーディング水と呼ばれる水分がしみ出しながら収縮硬化する。その際に乾燥収縮ひび割れ現象が生じるため、一般的には散水養生や湿布養生などを行って湿潤養生を実施する。

ボックスカルバートはFD上で製作を行っており、一般的な養生を実施するとコンクリートに触れて強アルカリ性に変質した養生水による海洋汚染などの懸念から養生水を大量に使用方法では養生の実施が難しい為、製作にあたっては保水養生テープを採用した。また、保水養生テープを使う利点として、一度貼り付けると散水や給水が不要であり、垂直面や天井面などの箇所にも敷設が容易でカルバート全体の養生を同じ条件で実施することが出来る。

上記の方法で養生することでアルカリ性に変質した養生水による海洋汚染のリスク低減

や均質な養生管理を実施することでより高品質なカルバートの製作が可能となる。



写真 7. 保水養生テープによる養生

5. FD 上からの進水引出

製作したボックスカルバートに係留索や防舷材を取り付けて進水準備を行う。その後、FDに注水を行いカルバート喫水部まで沈降させ、内部の漏水箇所の有無の点検を行い再浮上を行う。もし、漏水が確認された場合は止水処理を実施してから再浮上する。

点検終了後に再度 FD をカルバートが浮上するまで沈降させた後に個々のカルバートが傾斜していないかを確認し、起重機船にてカルバートの引出作業を実施する。

7. ボックスカルバートの水中仮置き

FD より進水引出したボックスカルバートについては引出後に曳航作業を行い、ボックスカルバートと起重機船に係留した状態で、カルバートに水中ポンプを設置して、起重機船 2 隻に吊ワイヤーを設置し支えながら、アクセスシャフトから注水作業を行い、着底させて仮置きを行う。

この作業の際、注水中に内部の水位分布に偏りが生じた場合、バランスを崩してしまう可能性があるが、それを防ぐため水圧計をカルバート 4 隅の内側に設置し各部の水位差を計測すると同時にバラスト堰を用いて水位の安定化を図った。水位差が 10cm に達した場合は一度注水を止めて起重機船で水平を保つよ

うに調整し水位確認により水平が保たれた事を確認し再度注水作業を進めた。



写真 8. カルバートより進水引出中



写真 9. アクセスシャフトより注水作業



写真 10. 注水作業中（右側は水中仮置き中のカルバート）

8. ボックスカルバート製作の安全対策

FD 上で製作するにあたり懸念される事項は狭隘かつ高所での作業による墜落・転落・挟まれ事故の発生である。

本論では予想される事故に対する安全対策等について報告を行う。

8-1. FD 上カルバート製作の安全対策

(a) 転落対策

FD 上でボックスカルバートの製作にあたり、懸念されるのが作業員の海上への転落や高所作業中の転落事故の発生である。転落防止対策として転落防止柵や救命浮環の設置とともに

に、作業員一人一人に海水に触れる事で信号を発する発信器とそれを受けてサイレン等で警告するシステムを運用し、万が一の事故に備えている。

高所作業での作業については安全帯の着用を徹底するとともに、作業板を設ける事ができない箇所には作業網を設置している。一つの取り組みとして行ったのが作業足場のユニット化を行い、足場撤去時にクレーンにてユニット毎に陸上に運搬し、陸上解体を行う事で高所作業自体を減らす工夫も行っている。



写真 11. 作業足場（ユニット化）解体
(b) クレーン等の安全対策

FD 上でクレーンを操作する際に、製作するボックスカルバートの長大さ、FD 内の狭隘さなどオペレーターから視認できない死角が発生し、作業員がクレーンの旋回範囲内に誤って立ち入り吊荷との接触や挟まれ事故などの発生が懸念される。今回その対策としてクレーンにカメラを取付運転席から死角となる箇所を確認できるようにするとともに、作業員がクレーンが稼働している事がわかるよう旋回する際に警報をならし吊荷の接近を知らせながら旋回をおこなったり、クレーンのブーム下に作業員が侵入した際に警報をならし、クレーンによる吊荷との接触や挟まれ事故が発生しにくい作業体制を構築した。

8-2. カルバート進水引出の安全対策

カルバートの進水引出・仮置きについて進水引出箇所を増設事業に関わる作業船舶が多数航行するため、FD や起重機船が航跡波によ

る動揺によりワイヤーの破断、ウィンチへの巻き込まれ事故、作業員の海への転落などの災害につながる可能性がある。

進水引出時に行った対策として、遠隔操作ウィンチやワイヤレスカメラを使用して作業員が上記の事故に巻き込まれるような箇所に立ち入る事なく、無人状態で作業が出来るようにしている。

ワイヤーの破断などに対しては、過剰な張力が作用することを防ぐためにガイドローラーやロープガイドを設置することで、カルバートの横移動や旋回を抑制しつつ水平の状態を保てるようにし、空気式防舷材を側面に設置することで引出時の横ずれ時のカルバート同士、FD との接触を避けるように対策をしている。



写真 12. 空気式防舷材敷設状況

9. まとめ

本論で述べたボックスカルバートについては平成 28 年度に全 6 函の製作が完了し、伊奈武瀬にて水中仮置きを実施した。

今年度より据付予定先の 5 工区にてマウンドを築造し逐次据付を実施しており、6 函目までの据付が 10 月 6 日時点で完了した。

沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針（案）の概要報告

○(一財)沖縄県建設技術センター 比嘉正也, 沖縄県土木建築部技術・建設業課 砂川勇二

1. はじめに

100 年耐久性を目指して建設された伊良部大橋では、主に塩分浸透抑制、アルカリシリカ反応 (ASR) 抑制および水和熱による温度応力の低減の 3 つ耐久性向上を目的に、フライアッシュ (FA) をコンクリートに混和したフライアッシュコンクリート (FAC) を沖縄県土木建築部管理橋梁で初めて採用した。この実績を受けて、沖縄県発注の重要構造物において FAC の利用促進が図られてきたが、沖縄県には FAC の配合や施工に関する指針やマニュアル等がなかったため、各現場で個別に検討・採用されていた。

このため、沖縄県土木建築部では、コンクリート構造物の耐久性向上や長寿命化を図るとともに、産業廃棄物の有効利用による環境負荷低減効果を目的に FA の配合方法や施工に関する標準的な考え方を示した「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針(案)」(FAC 指針(案))を策定した。

本報告では、FAC 指針(案)の基礎となった各種調査検討結果、および FAC 指針(案)の内容について概説する。

2. 調査検討の概要

2.1 FAC の使用目的

FAC の利用方法は、FA をセメントの一部と置換する内割り配合と、細骨材の一部と置換する外割り配合に大別される。表-1 には、FA の使用目的(耐久性効果)と、セメントと FA の質量置換率(内割り配合)を示す¹⁾。

ここで、沖縄県内で産出される FA は、JIS II 種 FA であり、同表から前章の 3 つの耐久性向上が期待できる置換率は、20～30%(内割り配合)である事がわかる(表中青色表示)。

2.2 調査検討内容

沖縄県土木建築部では、FAC の採用検討において、前述の 3 つの耐久性向上に加え、フレッシュ時の性状確認や強度増進の確認などの調査が行われている。これまでの配合検討において確認された FAC の特性を以下に示す。

(1) 長期強度の増進

図-1 は、伊良部大橋下部工 27N/mm²コンクリートの配合検討時の各種水結合材比と圧縮強度の関係である²⁾。これらの配合は、内割り FA 置換率 0%, 10%, 20%毎に外割り配合量を変化させている。同図から、内割り配合量が多いほど初期強度が低くなり、材齢ごとに強度が増進し、⑥を除いて見ると、外割り FA 量の増加に比例する強度増加が認められる。また、普通コンクリート (NC) に比べ FAC は、28 日から 91 日の強度増進が大きいことが分かる。

表-1 フライアッシュの種類と置換率

使用目的	種類	I 種	II 種	III 種	IV 種
流動性の向上		10～40%	10～30%	—	—
水和熱による温度上昇の抑制		—	20～30%	20～30%	20～30%
アルカリシリカ反応 (ASR) の抑制		15～40%	15～30%	15～30%	25～30%
耐硫酸塩性の向上		10～40%	10～30%	10～30%	—
耐海水性(塩害を含む)の向上		10～40%	10～30%	10～30%	—
高流動化		20～40%	20～30%	—	—
高強度化		10～30%	—	—	—

注) 普通ポルトランドセメントの一部をフライアッシュで置換する場合について示したものである

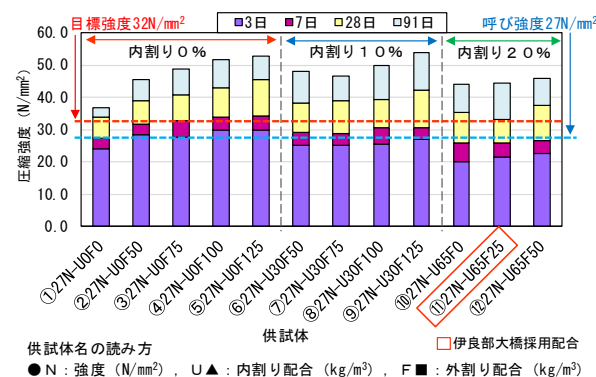


図-1 27N/mm²強度増進経時変化

キーワード フライアッシュコンクリート, 内割り配合, 外割り配合

連絡先 〒902-0064 那覇市寄宮 1-7-13 (一財)沖縄県建設技術センター試験研究部

(2) ASR の抑制効果

近年、沖縄県産海砂による遅延膨張性 ASR が確認されたことから³⁾、沖縄県宮古土木事務所では、FAC による抑制効果を確認するため、ASR 促進膨張試験(1N-NaOH 溶液浸漬法、通称、カナダ法)を行い、新川沖産海砂による ASR 膨張と FA による抑制効果を確認した⁴⁾。検証試験には、伊良部大橋下部工 27N/mm²FAC(27FAC)とその基本配合である 27N/mm²NC(27NC)，また計画当初採用予定だった上部工 50N/mm²NC(50NC)を用いている。この結果、図-2 に示すように、FA を混和しない 50NC と 27NC では ASR 発生に伴う膨張の可能性が認められ、FA を配合した 27FAC は殆ど膨張せず、ASR 抑制効果が確認された。

(3) 流動性の向上

伊良部大橋上部工 50N/mm²コンクリートでは、沖縄県産海砂による ASR のリスクを回避するため、細骨材を石灰岩砕砂のみとした。しかし、砕砂 100%では流動性が著しく低下したため、流動性を改善し、ワーカビリティを確保するために、外割り配合で FA を混和する配合が検討された⁴⁾。図-3 に、50N/mm²の砕砂 100%の NC(50 砕 NC)と、砕砂の 3%を FA と外割り置換した FAC(50 外 FAC)のスランプの経時変化を示す。

この結果、砕砂の 3%を FA と置換することで流動性が改善し、良好な施工性が得られた。

(4) 水和熱による温度上昇量の抑制

表-2 は、伊良部大橋下部工 27FAC の水和熱による温度上昇の抑制効果を確認するため、伊良部大橋下部工 27FAC と同強度の 27NC を用いた深江橋下部工の 2 構造物を用いて行ったコンクリート内部の温度上昇の比較検証結果である⁴⁾。検証の結果、打設開始時からピーク時までの温度上昇量は、27NC が 46.5℃、27FAC が 43.8℃と 27FAC のほうが 2.7℃低かったことが確認され、27FAC は 27NC に比べて 3℃程度の温度上昇量抑制効果があつと考えられる。また、図-4 には、打込み温度を 0℃にした両者のコンクリート温度変化を示した。同図から、27FAC は 27NC に比べ温度の上昇および下降の勾配が緩やかであり、膨張および収縮応力は 27FAC の方が小さかったと考えられた。

(5) 中性化に対する耐久性

一般的に、内割り配合 FAC は NC に比べ中性

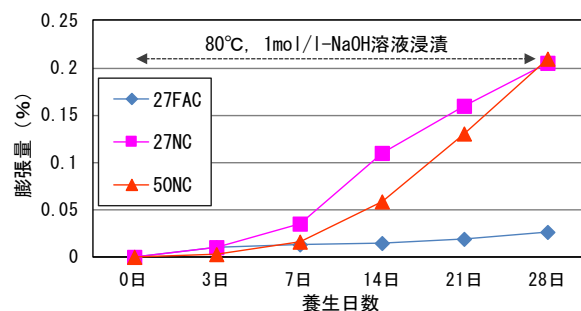


図-2 27FAC, 27NC, 50NC 促進膨張試験結果

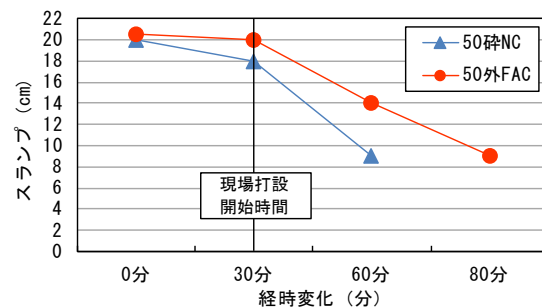


図-3 50 碎 NC, 50 外 FAC スランプ経時変化

表-2 伊良部大橋下部工橋脚と深江橋
下部工橋台の温度上昇比較

対象部材	コンクリートの種類	打設日	打込み温度 T_0 (°C)	最高温度 T_{max} (°C)	温度 上昇量 (°C)
伊良部大橋下部工橋脚	27FAC	2008/6/13	31	74.8 (2.3日)	43.8
深江橋下部工橋台	27NC	2008/4/11	26	72.5 (1.7日)	46.5

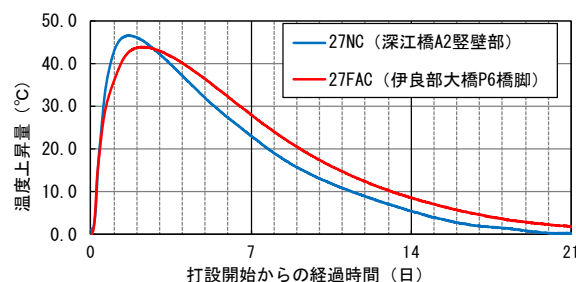


図-4 27FAC と 27NC の温度上昇量比較

化抵抗性が低いとされているため、伊良部大橋下部工の一般部橋脚 27FAC と主航路部橋脚 36N/mm²FAC(36FAC)，また両者の基本配合(27NC, 36NC)を用いて中性化促進試験を行った⁵⁾。試験の結果から、促進中性化速度係数を求め、100 年後の中性化進行予測を行ったところ、図-5 のとおり、最も予測中性化深さが大きかったのは 27FAC で 26.0mm であったが、中性化耐久性照査

を行った結果、100 年耐久性を満足すると考えられた。

(6) 塩分浸透抑制効果

風間ら⁹⁾の研究において、表-3 の配合比較に示す伊良部大橋下部工の 27FAC に近い配合の供試体を用いて、11 年間海岸線で暴露した塩分浸透状況が確認されている。この結果、FAC 供試体は単位 FA 量が多いほど遮塩性が高かった(図-6)。なお、この研究に用いた FA は、非 JIS 灰であったが、二酸化ケイ素が JIS II 種 FA の規定値よりやや低い(44.7%)だけで、それ以外は JIS II 種 FA 相当である。よって、伊良部大橋下部工 27FAC も遮塩性が高いと考えられる。

3. FAC 指針(案)

前章で示した耐久性向上効果をもとに沖縄県土木建築部は、「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針(案)」を策定した。以下にその概要を示す。

3.1 FAC 指針(案)の構成

FAC 指針(案)で取り扱う FAC の 3 配合タイプは、配合設計上、図-7 に示す①内割り+外割り配合タイプ、②内割り配合タイプ、③外割り配合タイプの 3 タイプに分類する。

3.2 配合タイプの概要

(1) 内割り+外割り配合タイプ

本配合タイプは、FA を内割り 20%、外割りで内割り配合と合わせて 100kg/m³以内の量を混和した配合であり、水和熱による温度上昇の抑制、ASR の抑制、耐海水性(塩害を含む)の耐久性向上を目的とした配合である。内割りと外割りを合わせて 100kg/m³以内としたのは、FA 総量が 100kg/m³を超えると粘性が強くなり、施工性が低下するためである。また、この配合は、伊良部大橋下部工に用いられた配合を基本としており、沖縄県内で最も多く用いられている配合である。

なお、本配合タイプは、水和熱による温度上昇抑制も主な目的としているため、マスコンクリートを対象としている。

(2) 内割り配合タイプ

本配合タイプは、FA を内割り 10~20%の範囲で混和した配合であり、主に塩害および ASR の抑制対策を目的とした配合である(ASR の場合は 15~

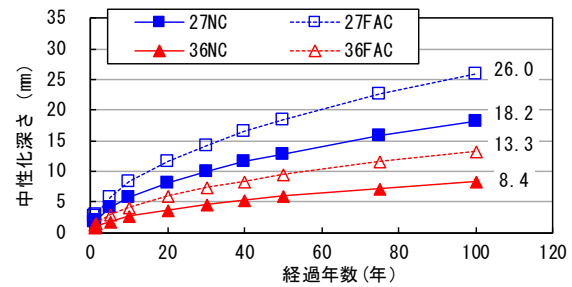


図-5 中性化速度係数からの中性化予測

表-3 W/C=65%供試体と 27FAC の配合比較

配合名		W／B (B=C+F/A) (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	FA	細骨材		粗骨材	
						海砂	砕砂	2005	4020
暴露供試体	65-18-B	65.0	179	275	—	461	461	921	—
	65-18-75	51.1			75	384	384	986	—
	65-18-100	47.7			100	368	368	988	—
27FAC (27N-U65F25)		49.5	156	250	90 ^{*)}	399	273	458	687

注) 供試体の読み方 65: W/C(%), 18: スランプ(cm)、
B: ベースコンクリート、
75・100: 外割りFA配合量(kg/m³)

*) FA総量90kg/m³ (内割り配合量65kg/m³+外割り配合量25kg/m³)

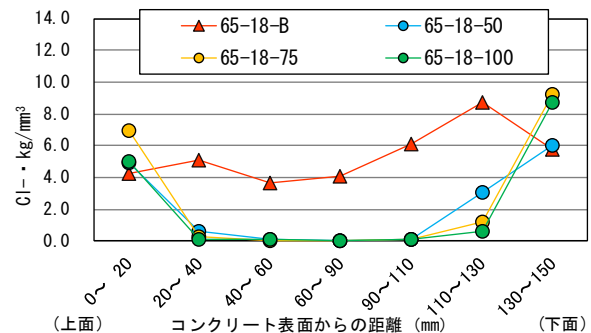


図-6 W/C=65%供試体の塩分浸透状況

(例) 一般的な普通コンクリート配合 (FA無混和)

水(W)	セメント(C)	細骨材(S)	粗骨材(G)

混和剤 空気

① 内割り+外割り配合タイプ

水(W)	セメント(C)	(FA1)	細骨材(S)	(FA2)	粗骨材(G)
------	---------	-------	--------	-------	--------

- ・ FA1(内割り): (C)の20%質量置換
- ・ FA2(外割り): (S)の一部と質量置換
- ※ F1+F2=100kg/m³以下

② 内割り配合タイプ

水(W)	セメント(C)	(FA1)	細骨材(S)	粗骨材(G)
------	---------	-------	--------	--------

- ・ FA1(内割り): (C)の10~20%質量置換

③ 外割り配合タイプ

水(W)	セメント(C)	細骨材(S)	(FA2)	粗骨材(G)
------	---------	--------	-------	--------

- ・ FA2(外割り): (S)の3~5%と質量置換
- ※ この時の(S)は砕砂のみ

※ C+FA1: 結合材, S+FA2: 細骨材

図-7 3つの配合タイプの概念図

20%)。なお、前出表-1 では 10～30%配合で塩害および ASR 抑制効果があるとされているが、できる限り 28 日強度管理を行うことを目的としているため、20%以下の配合とした。仮に管理材齢 28 日を満足できない場合は、最大で 91 日まで管理材齢の延長を可能としている。また、JIS フライアッシュセメント B 種を用いる場合もこの配合タイプとなる。なお、本配合は、水和熱による温度上昇の抑制効果を期待していないため、対象部材は、比較的小規模な構造物が望ましいとしている。

(3) 外割り配合タイプ

本配合タイプは、伊良部大橋上部工コンクリートに用いられた配合を基本としており、プレキャスト PC 桁や PC セグメント桁等の脱型・吊り上げを早期に行う必要のある構造物で多く用いられている。

本配合タイプの概要は、ASR 発生の可能性が懸念される沖縄県産海砂³⁾を使用せず、細骨材を石灰岩砕砂 100%とした場合に流動化材として FA を外割り 3～5%配合するものである。なお、FA 置換率(3%～5%)の選定は、コンクリート製造工場毎に異なる砕砂の粗粒率(FM)や粒度分布を考慮して、各工場で配合試験を行い、最適置換率を決定するものである。

3. 3 空気量の規定

FAC 指針(案)で取り扱う、①内割り+外割り配合タイプおよび②内割り配合タイプは、空気量を規定せず、非 JIS コンクリートとした。

これは、FA を多量配合した場合、FA に含まれる未燃炭素が AE 剤を吸着し、安定した空気連行性が得られないことが判っているが、FA 用 AE 剤を使用すると生コンクリートが高価になることから、凍害がない沖縄県では空気量を規定せずを用いることとしたためである。ただし、③外割り配合タイプについては、FA 配合量が少ないため、普通 AE 剤により空気量を調整できることから、空気量は、4.5±1.5%を標準とした。

4. まとめ

本報告では、「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合および施工指針(案)」の基礎データとした既往調査で確認された耐久性効果を概説し、FAC 配合タイプについて概要を示した。以下に、本報告の内容をまとめる。

- (1) 既往調査の検討内容から確認された耐久性効果を整理し、FAC 指針(案)で取り扱う 3 つの配合タイプを①内割り+外割り配合タイプ、②内割り配合タイプ、③外割り配合タイプに分類した。
- (2) 沖縄県は温暖で凍害がないことから、①内割り+外割り配合タイプおよび②内割り配合タイプでは、空気量を規定しなかった。

謝辞：本指針(案)策定にあたり、沖縄県におけるフライアッシュコンクリート配合及び施工指針検討委員会の皆様にご協力を頂いた。また、沖縄県土木建築部職員ならびに沖縄県建設業協会、沖縄県中小建設業協会および沖縄県生コンクリート工業組合の関係者の皆様にも多数のご意見・ご指摘を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリートライブラリー94, フライアッシュを用いたコンクリート施工指針(案), pp.9-10, 1994.4
- 2) 風間洋, 渡久山直樹, 砂川勇二, 山田義智:伊良部大橋の主要部材に使用するコンクリート材料選定と配合, コンクリート工学会年次論文集, Vol.32, No.1, pp.893-898, 2010
- 3) 西日本高速道路(株):平成18年度沖縄自動車道那覇～石川間構造物現況調査総括報告書, 2007.3
- 4) 沖縄県土木建築部宮古支庁土木建築課:伊良部大橋第4期コンクリート耐久性検討業務委託, 2008.9
- 5) 風間洋, 富山潤, 下地建, 小簀俊介:沖縄県内陸部における FAC の中性化耐久性検討, コンクリート工学会年次論文集, Vol.36, No.1, pp.850-855, 2014
- 6) 風間洋, 富山潤, 砂川勇二, 比嘉正也, 小簀俊介: 沖縄県の海岸線に 11 年間暴露したフライアッシュコンクリートの耐久性に関する研究, 土木学会論文集 E2, No.3, pp.251-270, 2017

フライアッシュセメントペーストの水和反応に及ぼす養生温度の影響に関する研究

琉球大学 ○外間寿侑 琉球大学 須田裕哉、藍壇オメル、富山潤

1. 背景および目的

近年、循環型社会の構築のため、コンクリート構造物へのフライアッシュの利用が進められている。フライアッシュを混和したコンクリートは、流動性の向上や水和熱の低減、空隙が緻密になることで遮塩性の向上といった優れた効果を発揮することが知られており、沖縄県では、耐久性能の要求の高いコンクリート構造物においては、フライアッシュコンクリートの利用が推奨されている。しかし、沖縄県は年間の平均気温が東京などと比較して高く、これら温度といった環境作用がフライアッシュを用いたコンクリートの性能に及ぼす影響は明確ではない。そこで、本研究では、フライアッシュセメントペーストの水和反応に及ぼす養生温度の影響を明らかにするため、フライアッシュのポゾラン反応や生成される水和物について検討を行った。

2. 実験方法

(1) 使用材料および配合

供試体はペーストとし、材料は普通ポルトランドセメントとフライアッシュⅡ種とした。フライアッシュの置換率は0%、15%、30%とし、水結合材比は55%とした。養生温度は20℃、40℃、70℃とし、材齢28日まで養生した。所定材齢が経過した後、前処理として、アセトン置換により水和停止を行い、その後、試料を90 μm以下に粉碎し、相対湿度11%で乾燥させ分析試料とした。

(2) 選択溶解法によるポゾラン反応率の測定

大沢らの手法¹⁾を参考に、2N 塩酸と5mass-%炭酸ナトリウムによる選択溶解法によって未反応フライアッシュ量を測定し、フライアッシュのポゾラン反応率を求めた。

(3) 粉末X線回折/内部標準法

測定は、粉末X線回折(XRD)によりセメントクリンカー鉱物の反応率を測定した。試料は未反応セメントおよび水和試料を用いて、測定は内部標準法とした。XRDの測定によって得られた各鉱物のピークをプロファイルフィッティングによって解析し、ピークの重なりを分離した。分離された各鉱物のピークの回折線の積分強度と内部標準物質(α - Al_2O_3 : 10%添加)の積分強度の比から、セメントクリンカー鉱物であるエーライト(C_3S)、ビーライト(C_2S)、アルミネート相(C_3A)、フェライト相(C_4AF)の反応率を求めた²⁾。

クをプロファイルフィッティングによって解析し、ピークの重なりを分離した。分離された各鉱物のピークの回折線の積分強度と内部標準物質(α - Al_2O_3 : 10%添加)の積分強度の比から、セメントクリンカー鉱物であるエーライト(C_3S)、ビーライト(C_2S)、アルミネート相(C_3A)、フェライト相(C_4AF)の反応率を求めた²⁾。

(4) 熱力学的相平衡計算による水和物の算出

フライアッシュの反応率とセメントクリンカー鉱物(C_3S 、 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF)の反応率より熱力学的相平衡計算によって生成水和物量を求めた。解析ソフトはPhreeqc³⁾(USGS)を使用し、解析では、セメントクリンカー鉱物およびフライアッシュの反応率から求めた各元素量を解析の入力値とし、生成される水和物量を推定した。推定水和物はケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)、水酸化カルシウム(CH)、ハイドロガーネット(HG)、モノサルフェート(MS)、エトリンガイト、ストラトリンガイト、ハイドロタルサイトとした。

3. 実験結果および考察

図1にフライアッシュのポゾラン反応率を示す。図中のFA 15%、FA 30%は、それぞれフライアッシュの置換率15%、30%を表す。図より、ポゾラン反応率は、フライアッシュの置換率が低く、養生温度が高いほど増加した。

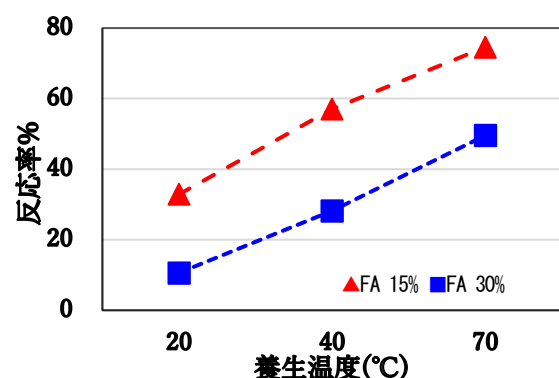


図1 フライアッシュのポゾラン反応率

キーワード ポゾラン反応、水和反応、熱力学的平衡計算、水和生成物

連絡先〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail : e105328@eve.u-ryukyu.ac.jp

図2にC₃SとC₂Sの反応率を示す。図中のFA0%はフライアッシュが無置換であることを表す。図より、C₃Sの反応率は養生温度によらず90%程度となり大部分が反応した。C₂Sは養生温度が高いほど反応率は増加する傾向を示した。図3にC₃AとC₄AFの反応率を示す。図より、C₃AもC₃Sと同様に90%程度反応した。一方で、C₄AFの反応率について、40℃では20℃と比較して高くなったものの70℃では低い値を示した。

図4に熱力学的相平衡計算より推定したC-S-HとCHの生成量を示す。図より、C-S-Hの生成量は養生温度が高いほど増加した。一方で、CHは養生温度が高くなるほど、FA15%とFA30%の生成量は減少した。これはフライアッシュのポゾラン反応によってCHが消費され、生成物のひとつであるC-S-Hが生成されたためである。また、C-S-Hの生成量に関して、FA15%と比べFA30%が低いのは、必要なCH量が不足したため、ポゾラン反応が停滞したと考えられる。図5にMSとHGの生成量を示す。MSとHGは、C₃AとC₄AFの水和反応によって生成される水和物である。図より、MSは、養生温度に関係なくほぼ一定の生成量を示した。また、FA0%のHGは、ほとんど一定の生成量を示した。一方で、フライアッシュを置換した試料のHGは、養生温度が高いほど、生成量が増加した。これは、HGがポゾラン反応によって生成されたためと考えられる。

4. まとめ

置換率が低いほど、また養生温度が高いほどポゾラン反応率は高くなり、C-S-HとHGの生成量は増加した。一方で、CHの生成量はポゾラン反応で消費され、生成量は減少した。MSはフライアッシュの置換や養生温度に関係なく一定の生成量を示した。

参考文献

- 1) 大沢栄也ら：フライアッシュ-セメント系に水和におけるフライアッシュの反応率、セメント・コンクリート論文集、Vol.53、pp96-99(1999)
- 2) 五十嵐豪ら：普通ポルトランドを用いたセメント硬化体の相組成と力学的性質、日本建築学会構造系論文集、Vol.76、pp214-217(2011)
- 3) https://www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/

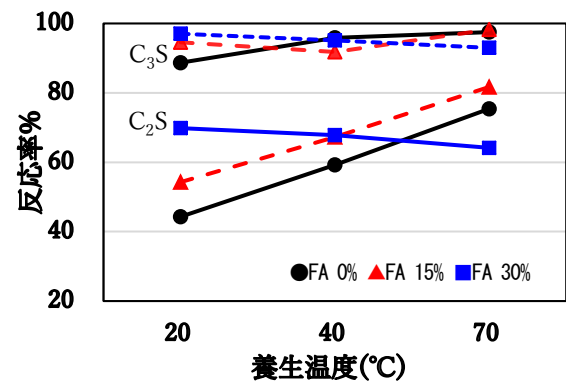


図2 C₃SとC₂Sの反応率

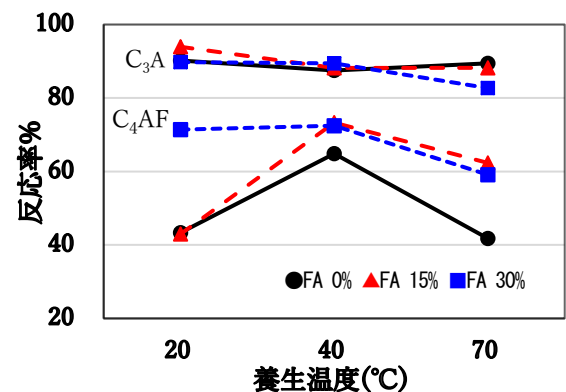


図3 C₃AとC₄AFの反応率

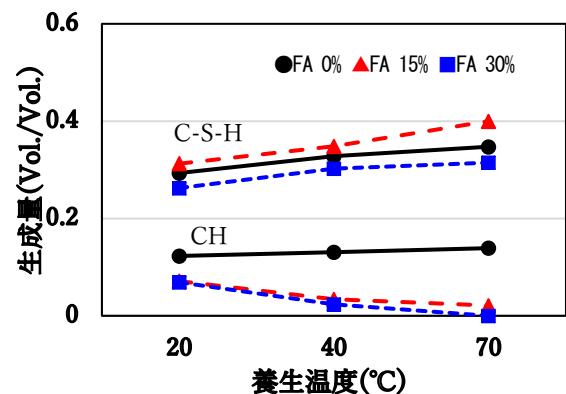


図4 C-S-HとCHの生成量

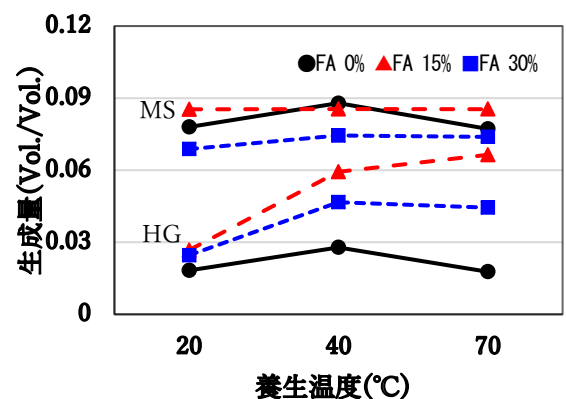


図5 HGとMSの生成量

湿度変化による乾燥作用を受けたセメントペーストの塩化物イオンの拡散性状と空隙構造の関係

○琉球大学 池間琳太郎 琉球大学 須田裕哉、藍檀オメル、富山潤

1. はじめに

コンクリート構造物に生じる塩害は、海からの飛来塩分が塩化物イオンとしてコンクリート内部の空隙を介して浸入し、鉄筋腐食の要因となる劣化現象である。塩化物イオンのコンクリートへの浸透は、コンクリート内部の空隙構造（空隙の緻密さ、屈曲性、連結性）によって支配されており、空隙構造と塩化物イオンの移動性状の関係を明らかにすることはコンクリート耐久性を評価する上で重要である。

一方で、これら空隙構造に関して、青野ら¹⁾は、乾燥を受けることでモルタルの空隙構造が粗大になることを報告し、中村ら²⁾の研究によって、沖縄県は、北海道や東京と比べて、夏季の乾燥を受けることで空隙構造が変化し、空隙が粗大になりやすい環境にあることを報告している。また、沖縄県は東京に比べ年間の平均気温が高くコンクリートの養生環境も異なるが、これら温度や乾燥といった環境作用がコンクリートの空隙構造の変化とそれに伴う塩化物イオンの拡散性状に及ぼす影響は明確ではない。

以上のことから、本研究では、沖縄県の環境作用を模擬するため、異なる養生温度や乾燥作用を与えたセメントペーストの塩化物イオンの拡散性状を調査した。さらに、これら環境作用を受けたセメントペーストの空隙構造を調査し、拡散性状と空隙構造の関係を明確にすることを目的とした。

2. 実験方法

(1) 使用材料・配合および乾燥条件

材料は普通ポルトランドセメントとし、供試体はセメントペーストとした。水セメント比は55%、養生温度は20℃、40℃、70℃、供試体の養生期間は28日とし、飽和水酸化カルシウム溶液中で養生した。材齢28日で供試体は、相対湿度22%、43%、56%、80%に調整したデシケーター内で約5ヶ月乾燥させ、測定試料とした。

(2) 拡散セルによる塩化物イオンの拡散実験

乾燥後の供試体を24時間吸水させた後、拡散セル装置を用いて、塩化物イオンの拡散係数を測定し

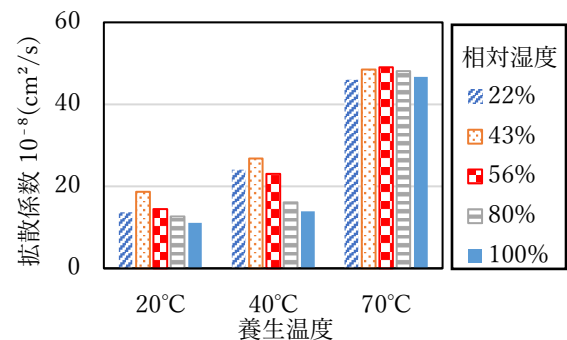


図-1 塩化物イオンの拡散係数

た。測定は、NaCl (0.5mol/L) 溶液側から供試体を通じた H_2O 中の塩化物イオンの濃度をイオンクロマトグラフィーによって経時的に測定し、時間と濃度の変化から塩化物イオンの拡散係数を求めた。

(3) 窒素吸着等温線の測定

乾燥後の供試体を2.5~5.0mmに粗砕し、110℃で1時間真空脱気をした後、BELsorp mini IIによって窒素吸着等温線を測定した。また、得られた吸着量より BET 法によって比表面積を求めた。

3. 実験結果

(1) 塩化物イオンの拡散係数

図-1に乾燥作用を受けた各供試体の塩化物イオンの拡散係数の測定結果を示す。なお、相対湿度100%は、乾燥を与えていない供試体の結果である。図より、養生温度20℃、40℃の供試体では相対湿度が低くなるほど拡散係数の値は大きくなり、相対湿度43%のときに最大値を示した。一方で、養生温度が70℃の場合、相対湿度の違いによって変化しているものの、20℃や40℃ほど大きな変化は示さなかった。また、養生温度で比較すると、いずれの相対湿度において、温度が高くなるほど拡散係数の値は大きい値を示した。

(2) 窒素吸着による空隙構造

本研究では、窒素吸着試験によって得られた相対圧 (p/p_0) と窒素吸着量の関係から、 $p/p_0=0\sim0.40$ をミクロ孔 (直径 2nm 以下)、 $p/p_0=0.40\sim0.96$ をメソ孔 (2~50nm)、 $p/p_0=0.96\sim1.00$ をマクロ孔 (50nm 以上)

キーワード 養生温度、乾燥、塩化物イオン拡散係数、空隙構造、比表面積

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地 E-mail : e145337@eve.u-ryukyu.ac.jp

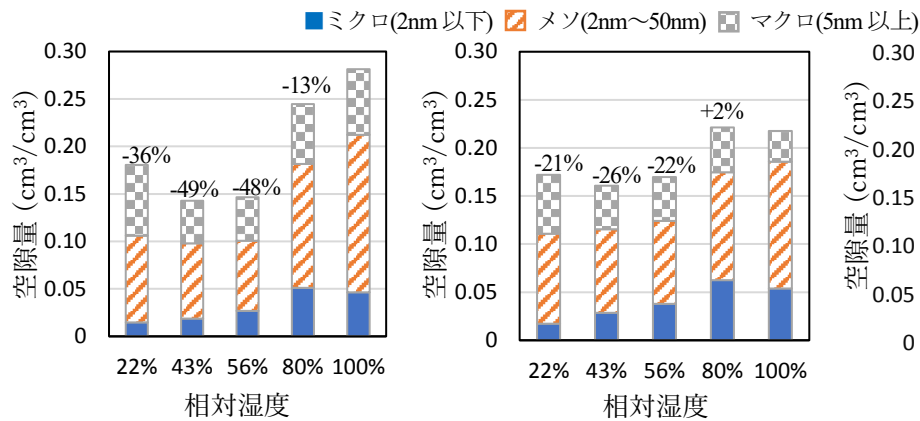


図-2 養生温度 20°Cの空隙量

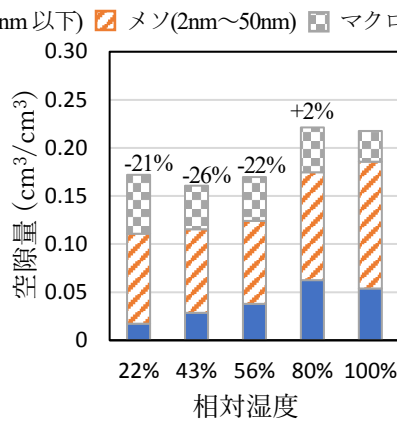


図-3 養生温度 40°Cの空隙量

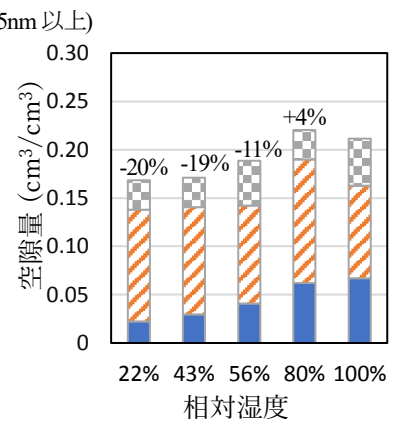


図-4 養生温度 70°Cの空隙量

として空隙構造を分類した。図-2、3、4に養生温度 20°C、40°C、70°Cにおけるミクロ孔、メソ孔、マクロ孔の空隙量の変化の結果をそれぞれ示す。いずれの図より、養生温度によらず、2~50nmのメソ孔の空隙が占める割合がもっとも多くなった。また、相対湿度が低下するほど窒素の浸入できる総空隙量が減少し、2nm以下のミクロ孔やメソ孔といった微細な空隙の量も減少した。ここで、それぞれの図中の百分率は、相対湿度 100%時の総空隙量からのそれぞれの湿度での減少率を示している。これら結果より、20°Cと比較して、70°C養生では乾燥による空隙量の変化が少ない結果となった。

図-5に比表面積に及ぼす相対湿度の影響を示す。ここで、比表面積とは空隙壁面の表面積を表しており、すなわち硬化体を構成する水和物の表面積を表している。図より、比表面積は相対湿度の低下によって小さい値を示し、養生温度で比較すると温度が高くなるほど比表面積は大きい値を示した。

4. 考察

総空隙量や比表面積が減少する原因として、セメントペーストを構成している微小な水和物同士が乾燥によって凝縮することで体積の大きい粗大な凝集体を形成したことが挙げられる。特に、図-2~4で示されるように、相対湿度の低下によってミクロ孔が減少しており、これは凝集構造の発達によって微細な空隙に窒素が侵入できない結果と推察される。

これら空隙構造の変化に関する結果から、イオンの移動性について考察すると、乾燥によって総空隙量が減少しているにも関わらず、拡散係数は増加していることから、乾燥による水和物の凝集構造の

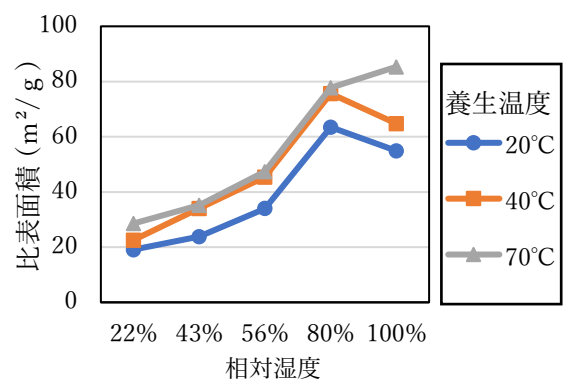


図-5 比表面積の相対湿度による変化

発達によってイオンの移動経路である空隙の屈曲性や不連続性といった空隙の複雑性が低下したと考えられる。その結果、イオンが供試体を通過しやすくなり、塩化物イオンの拡散係数が相対湿度の低下によって大きくなったと考えられる。

5. まとめ

乾燥作用を受けた塩化物イオンの拡散係数に対して空隙構造の変化が影響を及ぼしていることが示された。ただし、養生温度の違いによる塩化物イオンの拡散係数は、本研究の空隙構造の測定結果だけでは、説明することはできず、より粗大な空隙といった他の要因が考えられるため今後の課題とする。

参考文献

- 1) 青野義道ほか、ガス吸着等温線による硬化セメントペースト中の C-S-H の構造解析、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.739~741、2009
- 2) 中村暢ほか、乾燥によるモルタル直径 40~2000nm の細孔量変化と温度時間席の関係、日本建築学会構造系論文集、第 80 巻、pp.981-989、2015

床版取替工事におけるプレキャスト壁高欄の施工について

西日本高速道路（株）九州支社沖縄高速道路事務所 改築課 ○塚本 太郎・鮫島 力

1. はじめに

沖縄自動車道は、北部区間（石川 IC～許田 IC 25.9km）と南部区間（那覇 IC～石川 IC 31.4km）に区分される。北部区間は、沖縄国際海洋博覧会の開催に間に合わせるべく、事業許可～開通までを2年間と急速施工のうえ、コンクリートの細骨材に海砂を使用したため、床版の劣化が急速に進行した。そこで、それらの損傷に対する抜本的な対策として、プレキャスト PC 床版への取替を実施している。昨年度実施した床版取替工事では、工場製作で高い品質管理が可能な点からプレキャスト壁高欄を採用した。

本稿では、昨年度実施した床版取替工事において採用したプレキャスト壁高欄の施工における課題、その対応策について述べる。

2. 概要

プレキャスト壁高欄の基本的な構造について述べる。壁高欄と床版の接合方法及び、壁高欄同士の接合方法として、床版と壁高欄の接合にはループ継手（図-1）、壁高欄同士の接合には、孔あき鋼板ジベル（以下、PBL という）による接合（図-2、図-3）としている。ループ継手を採用することで、高さ調整、施工誤差の吸収が容易になり、PBL を採用することで壁高欄同士の接合も落とし込む作業のみであることから作業の省力化を図ることができるものとなっている。

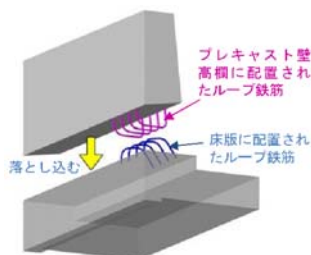


図-1 床版との接合方法

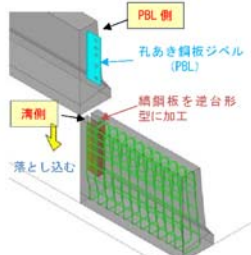


図-2 壁高欄同士の接合方法



溝側



PBL側

図-3 壁高欄接合部写真

3. 施工における課題と対応策

本施工を行うにあたり課題として、プレキャスト壁高欄の施工実績が少なく、壁高欄と床版の接合部においてモルタルの充填性に懸念があった。このため、充填状況の確認及び注入方法について試験施工を実施した。

試験施工は2回実施し、1回目の試験施工では、2mの試験体にてモルタル注入時の充填状況を確認するため透明型枠を使用した。また、注入完了後の充填性を比較するために排出ホースの有無及び、モルタル漏れ並びにエアの排出状況を確認するため隙間テープの有無による4条件の試験体（表-1）にて試験施工を行った。

表-1 試験体設定条件

試験体A1	排出ホース設置 無	隙間テープ 無
試験体A2	排出ホース設置 無	隙間テープ 有
試験体B1	排出ホース設置 有	隙間テープ 無
試験体B2	排出ホース設置 有	隙間テープ 有

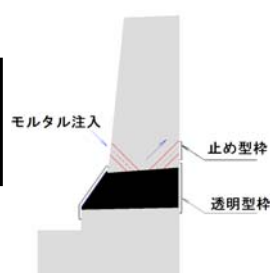


図-4 試験体 A1

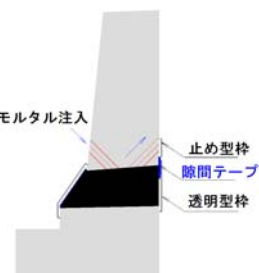


図-5 試験体 A2

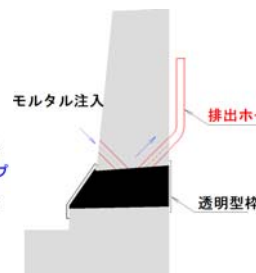


図-6 試験体 B1

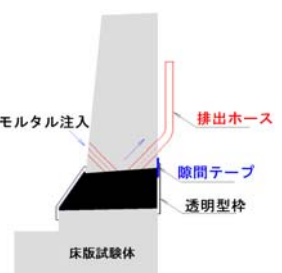


図-7 試験体 B2

キーワード 沖縄自動車道、床版取替工事、プレキャスト壁高欄

連絡先 〒901-2101 浦添市西原4-41-1 西日本高速道路（株）九州支社沖縄高速道路事務所 t.tsukamoto.ab@w-nexco.co.jp

1 回目の試験施工の結果を以下に記す。注入完了後、プレキャスト壁高欄を接合部の断面で切り離し充填状況（図-8，図-9，図-10，図-11）を確認すると、試験体 A1，A2 において一部エアードマリーが見られたが、試験体 B1，B2 には見られなかった。これより排出ホースの高さ分の注入圧が充填性に影響したと考えられる。また、隙間テープによる差はなかった。なお、1 回目の試験施工での課題として、排出ホースを設置した方がプレキャスト壁高欄とモルタルとの接合面の充填状況が良かったが、モルタル排出完了後、硬化前に排出ホースを抜いてモルタルを充填する必要があるため排出ホースの設置方法を改良する必要がある。同様に注入口からのモルタル漏れ対策も併せて改良する必要があることが判明した。



図-8 試験体 A1 接合面

図-9 試験体 A2 接合面

図-10 試験体 B1 接合面

図-11 試験体 B2 接合面

2 回目の試験施工（図-12，図-13）では、現場での施工を想定した 8m の試験体で注入方法の確認を実施したが、1 回目の試験施工での課題に対し以下の対応を行った。

注入ホースの漏れ対策として、各注入口にホースを設置し、取り外しは注入ノズルにて行うこととし、排出口からのモルタル漏れ対策としては、壁高欄の排出口に型枠材を設置し、型枠の上から排出ホースを設置することとした。この条件で、勾配の低い側の注入口から注入を行った結果モルタルの充填状況に問題が無いことが確認出来た。

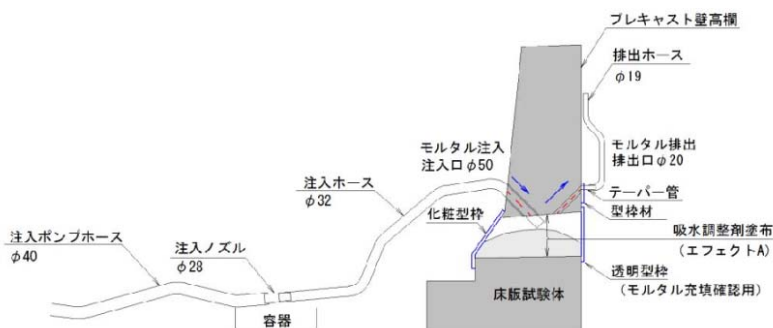


図-12 2 回目試験施工試験体



図-13 試験施工状況

4. 現場での施工

モルタル注入時は、試験施工の結果を踏まえ勾配の低い側の注入口から注入し、次の注入口までモルタルが達したことを確認後、次の注入口へノズルを移動し順次注入を行った。

また、モルタル部の耐久性を高めるため脱枠は強度を確認したうえでを行い、脱枠後は速やかに保水養生テープを貼り、7 日以上保湿養生を行った。

上記の方法で施工することにより問題なく完了することが出来た。

5. まとめ

沖縄自動車道で初のプレキャスト壁高欄の施工を行ったが、試験施工を行ったことにより、円滑な施工ができ、プレキャスト PC 床版への取替を当初予定通り実施することが出来た。なお、今回の床版取替工事ではプレキャスト壁高欄による施工を行うことにより、現場打ち壁高欄による工程と比べ、2 日程度の工期短縮を行うことが出来た。また、モルタル充填箇所においても表面気泡も無く、均一な仕上がりだった。

今回のプレキャスト壁高欄の施工が、今後の床版取替工事の参考になれば幸いである。

遅延膨張性 ASR の膨張率と強度特性の関係性およびフライアッシュの ASR 抑制効果の確認試験

琉球大学 福村英太郎, 富山潤, 藍壇オメル, 須田裕哉
琉球セメント (株) 比屋根方新 神谷和志 上里尚也

1. 背景, 目的

現在, 沖縄県ではコンクリート用細骨材に新川沖産海砂を使用している。しかし, その骨材には, 微晶質石英や隠微晶質石英等の遅延膨張性を示す鉱物が含まれており, アルカリ骨材反応 (以下, ASR) を生じる可能性があることが明らかとなっている¹⁾。これらの遅延膨張性骨材に起因する ASR によるひび割れは軽微かつ限定的であり, 実際のコンクリート構造物に影響を及ぼすかは不明であるが, 沖縄県の厳しい自然環境を考慮すると塩害との複合劣化を引き起こす可能性があるため早急に対処の必要がある。

本研究では RILEM の AAR-4.1「Detection of potential alkali-reactivity-60°C test method for aggregate combinations using concrete prisms」を参考に促進膨張試験を行い, 膨張率と強度特性の関係についての検討を行った。また, 沖縄県産のフライアッシュ (JIS II 種) の ASR 抑制効果についても併せて確認を行った。

2. 実験方法

本研究では, 促進膨張試験として, RILEM の AAR-4.1 を参考としたコンクリートプリズム試験 (CPT) を行った。

(1) 使用材料および供試体

今回使用する供試体は沖縄県のコンクリート用細骨材として使用されている本部産石灰岩砕砂 (非反応性) と新川沖産海砂 (反応性) の混合砂を用いた A 連絡橋下部工を参考に作製した。表 1 に供試体の配合を示す。フライアッシュは, 内割り配合 20% と外割り配合 5.5% とした。

供試体の寸法は, 75×75×250mm (約 3.5kg)

のコンクリートプリズムである。

(2) 養生方法

養生環境は, 60°C と 40°C の 2 水準とし, 供試体は 60±2°C と 40±2°C の恒温恒湿器内で養生した。本研究ではアルカリ溶液と供試体を効率的に反応させるため 1.33mol/l の NaOH 水溶液を 50 g 含ませた不織布に包み, さらにその上からラッピングした。養生期間は 26 週とした。

(3) 測定項目

本研究の膨張測定には標点間距離 200mm, 測定最小値は 0.002mm であるコンタクトゲージより測定を行った。養生期間 26 週のうち材齢 0 (脱型時), 5, 10, 15, 20, 26 週で膨張量を測定し, その膨張量の大小からアルカリシリカ反応性を評価した。同時に供試体の質量も測定した。また, 圧縮強度試験 (JISA 1108) および静弾性係数 (JISA 1149) を材齢 0 (脱型時), 4, 5, 15, 20 週に養生温度 60°C のケース測定した。

3. 結果および考察

図 1 に促進膨張試験の測定の結果を示す。養生温度の違いにより, 膨張挙動が異なっており, 60°C 養生では, 試験開始時から膨張が始まっているのに対して, 40°C 養生では, 10 週以降から膨張挙動が見られる。また, フライアッシュの ASR 抑制効果としては, 40°C 養生, 60°C 養生ともに膨張を抑制していることが確認できる。図 2 に質量変化率を示す。この図からラッピングにより, 試験体の乾燥を抑制できていることが確認できる。また, 60°C 養生については, 膨張と質量変化率の関係性も示唆されるため, 今後その関係性を整理する予定である。

図 3 に圧縮強度, 図 4 に静弾性係数の測定結果を示す。圧縮強度については, FC は内割り配合

キーワード : 遅延膨張性 ASR フライアッシュ 促進膨張 実配合 コンクリートプリズム

連絡先 : 〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail : e135333@eve.u-ryukyu.ac.jp

表1 配合表

試験体名	W/B(%)	S/a(%)	W/C(%)	単位量(kg/m³)						目標値		
				W	C	FA		海砂	砕砂	粗骨材	スランプ (cm)	設定空 気量(%)
						①	②					
FC-40℃	47.5	45.7	59.3	169	285	71	19	485	323	1015	12.0	2.0
NC-40℃			47.5		356	-	-		342			
FC-60℃			59.3		285	71	19		323			
NC-60℃			47.5		356	-	-		342			

FC:フライアッシュを用いたコンクリート, NC:普通ポルトランドセメントのみを用いたコンクリート, S/a:細骨材率, W:水, C:普通ポルトランドセメント, FA:フライアッシュ

(セメント置換) 20%としているため, NC に比較し低い値となっているが, 基準値は満足している. また, 静弾性係数については, ASR の生じたコンクリートは一般的に, 圧縮強度よりも静弾性係数にその影響が顕著に表れることが知られている. 図4の結果は, 圧縮強度の高いNCの方が, 低いFCよりも静弾性係数が低くなっている. NCは, 5週目ですでに0.1%以上の膨張が生じていることから, 試験開始初期からASRによる膨張により静弾性係数が低下していると考えられる.

試験は26週まで継続するため, 引き続き膨張率と強度特性との関係性について整理していく予定である.

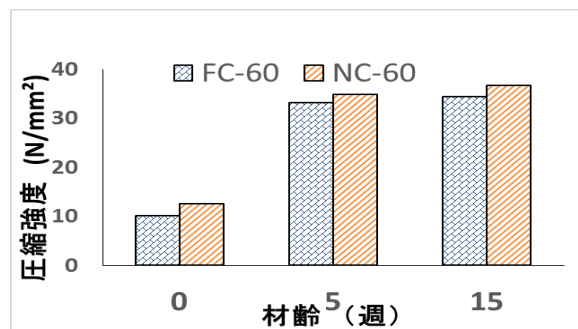


図3 60℃養生の圧縮強度

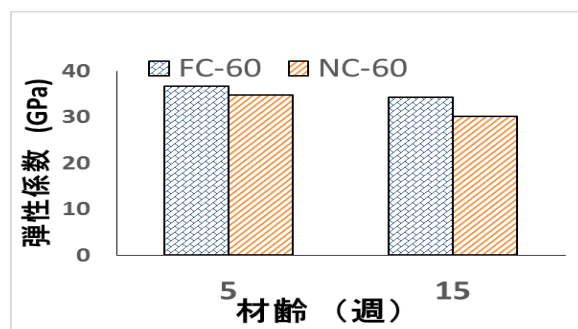


図4 60℃養生の静弾性係数

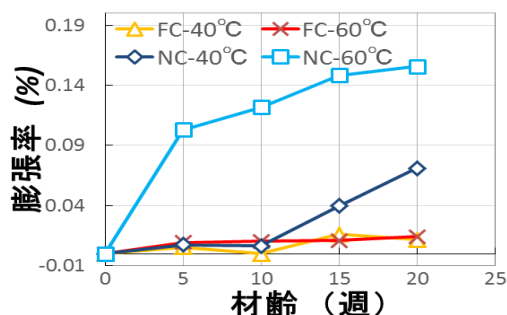


図1 促進膨張試験

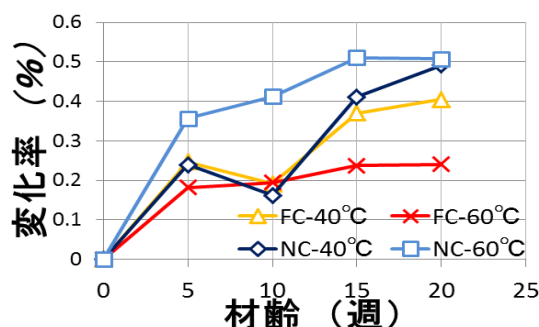


図2 質量変化率

4. まとめ

本研究では, FC が利用され建設された実配合に対し, RILEM の AAR-4.1 を参考にした CPT を行った. フライアッシュは ASR の抑制効果があることが確認できた. また, NC の FC の圧縮強度がやや高いが, 静弾性係数は低い結果となった. これは, ASR によりコンクリート内部にひび割れが生じ弾性係数が低くなったと考えられる. 今後, 強度特性と膨張率の関係性について試験を継続し, 検証する予定である.

参考文献

- 1) Katayama, T., Oshiro, T. T., Sarai, Y., Zaha, K. and Yamato, T.: Late-expansive ASR due to imported sand and local aggregates in Okinawa Island, southwestern Japan, Proceedings of the 13th International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, pp.862-873,208.

Session 6 : 計測・補修・補強関連

鋼床版バルブリブの縦リブ・横リブ交差部の疲労強度改善に関する解析的研究

琉球大学 ○有馬安倫 田井政行 下里哲弘 有住康則

1. はじめに

鋼床版とは、縦リブと横リブでデッキプレートを補剛したもので、軽量で一括架設が可能であるという利点から、鋼橋によく用いられている。縦リブ形式がバルブリブ構造の場合、写真-1 に示すように縦リブと横リブ交差部のスリット上端において、溶接止端部からの疲労き裂の発生が報告されている。このき裂が進展によりデッキプレートまで進展した場合、車両の走行性に危険を及ぼす恐れがあるため、亀裂の発生を抑制する必要がある。

そこで、本研究では、縦リブ交差部のスリット上端の疲労耐久性の向上を目的として、鋼床版バルブリブ構造の縦リブ・横リブ交差部の構造ディテールの改良を有限要素解析により検討を行った。

2. 解析手法

溶接止端部の疲労強度を評価するために、Effective Notch (以下、EN) 応力による評価を行った。EN 応力を評価するためには、溶接部を再現した詳細な解析が必要となるため、サブモデル解析を用いた。

(1) 解析モデル

本研究で用いた解析モデルを図-1 に示す。4 節点 shell 要素を用いて作成した全橋モデルと、着目縦リブ・横リブの交差部近傍を solid 要素で作成した Solid モデル及びスリット上端の溶接止端部のデッキ側と横リブ側をモデル化した 2 つの EN モデルの 1 ケースあたり 4 つのモデルを作成した。

図-1 の鋼橋の上部構造は、デッキプレートの板厚を 12mm とし、横リブスパンは 2500mm とした。横桁・横リブに設けたスリット下部のスカラップ半径は 48mm である。また、デッキプレートの上面に、舗装厚 80mm を設けている。ヤング率は鋼材を 200GPa、舗装を 0.5GPa とし、ポアソン比は 0.3 とした。なお、境界条件は、単純支持とした。

図-2 に今回検討した 3 つのスリット形状を示す。現状モデルに対して、溶接止端部より 15mm の位置から半径 40mm の円弧を設けた R40 モデル、止端部 15mm の位置から直線区間 15mm を設け、半径 40mm の円弧を設けた直線区間 15mmR40 モデルの 3 種類を用いた。

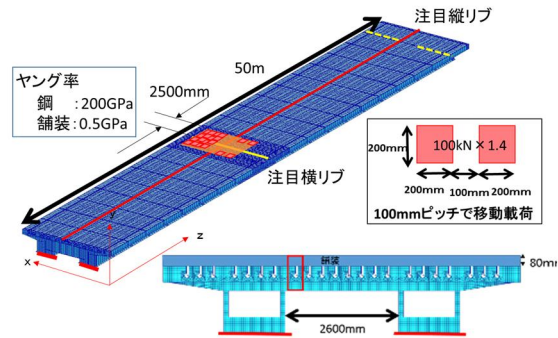
着目リブ位置は事前に予備解析を行い、図 1 に示す活荷重により溶接止端部の発生応力が最も大きくなると考えられる主桁近傍のスリットとした。

(2) 荷重載荷方法

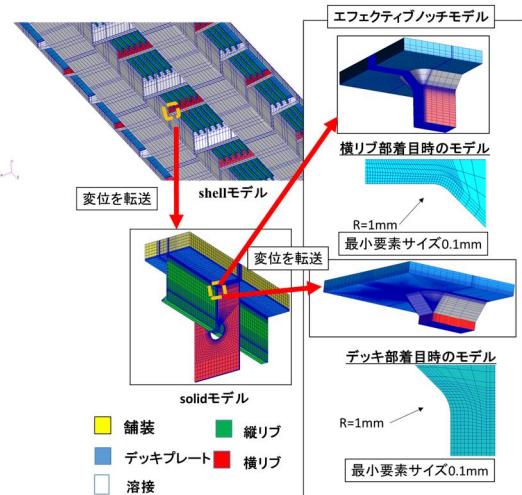
着目位置において、最も厳しい荷重条件により評価を行うために、ダブルタイヤを模擬した輪荷重を、着目位置近傍において 100mm ピッチで移動載荷を行った。1 モデル当たりの荷重ケースは 182 である。なお、衝撃係数を考慮し、載荷荷重は 140kN とした。



写真-1 疲労亀裂(1)



(a) 全橋モデル



(b) サブモデルと EN モデル

図-1 解析モデル

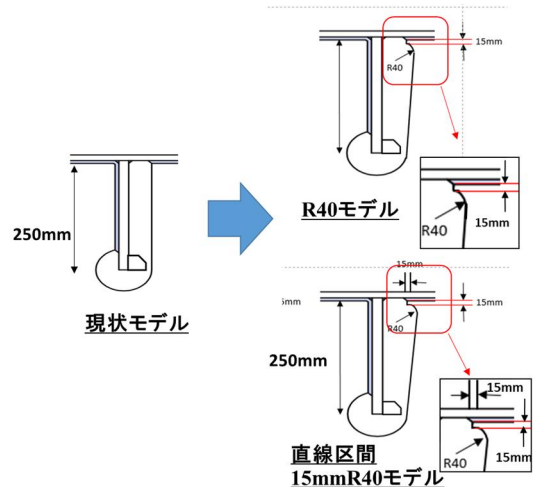


図-2 スリット形状と寸法

キーワード ; 鋼床版 疲労亀裂 溶接止端部 スリット形状 FEM 解析

住所:〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学環境建設工学科 E-mail:e145324@eve.u-ryukyu.ac.jp

3. 解析結果

図5, 図6にデッキ側の溶接止端部, 図7, 図8に横リブ側の溶接止端部の結果を示す。デッキ側の溶接止端部では, 現状モデルでは最大主応力 257MPa, R40 モデルでは 185MPa, 直線区間 15mmR40 モデルでは 164MPa となり, 現状モデルより応力値が 36%低減する結果となった。また, 横リブ側の溶接止端部においても応力値の大幅な低下が見られ, 直線区間 15mmR40 モデルでは現状モデルと比較して 55%の低減効果が得られた。

この結果より, 横リブスリット部に円弧を設けることによって, 応力値を低減することができるといえる。また, 直線区間を追加することによってさらなる応力値の低減効果が期待できることがわかった。

溶接止端部の応力値が低減した要因を検討するために, 溶接止端部近傍の変形挙動と主応力の比較を行った。図-7 に溶接止端部近傍の変形及び主応力値のコンター図を示す。なお, 変形挙動の違いを強調するために 300 倍で表示している。現状モデルでは横リブ側の溶接止端部で, 局所的な変形が起こり, 引張応力が集中し高い応力値となったといえる。一方, 直線区間 15mmR40 モデルでは, 横リブの設けたスリット円弧部でも変形が起こり, 溶接止端部の局所変形が軽減されたため, 応力集中も緩和されたと考えられる。

4. まとめ

本解析的研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 横リブのスリット部に円弧を設けることで, 溶接止端部での応力集中が改善されることがわかった。さらに, 直線区間を設けることによって, 応力集中の改善効果が高まる傾向が得られた。
- (2) 現状モデルでは, 溶接止端部で局所的変形が起こっていたが, 横リブのスリット部に円弧を設けることで, 新たに設けた円弧部で変形が起きようになり, 溶接止端部の局所的変形が抑制され, 応力値低減することができることがわかった。

今後, 解析で得られた縦リブ・横リブ交差部の疲労強度改善効果に関する検証実験を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼床版の疲労, 2010.

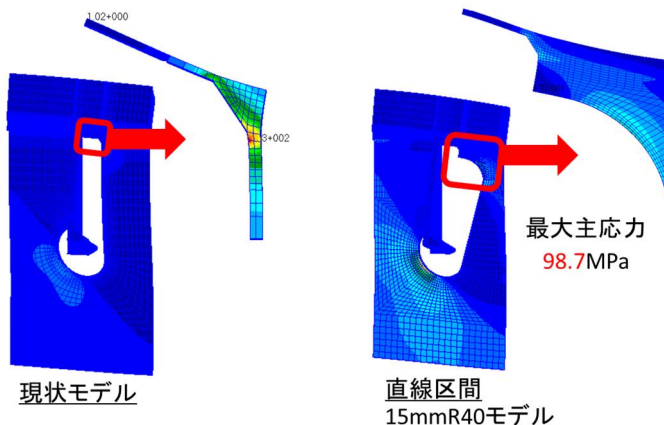


図-7 変形図とコンター

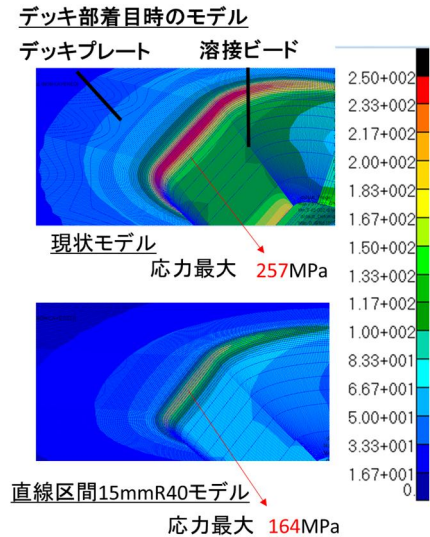


図-3 デッキ側の溶接止端部の解析結果例

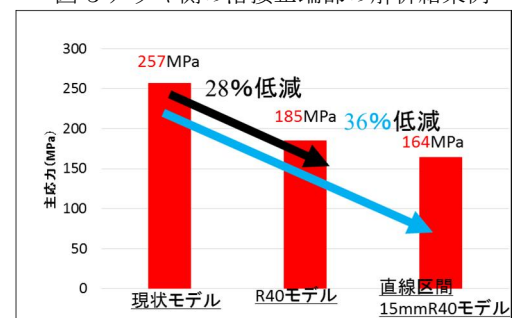


図-4 デッキ側の最大主応力

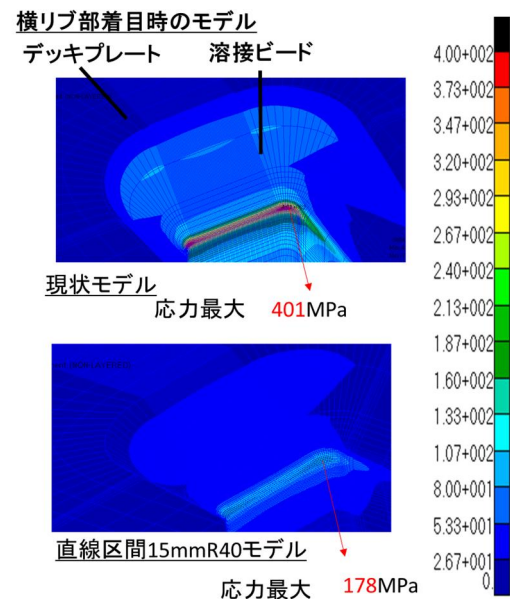


図-5 横リブ側の溶接止端部の解析結果

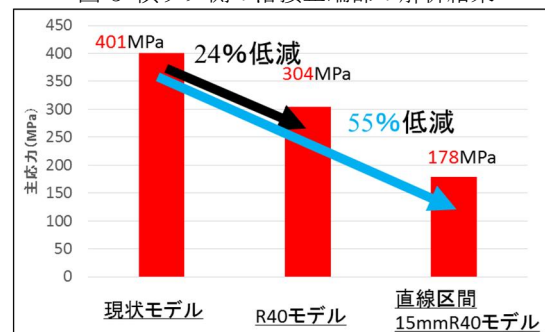


図-6 デッキ側の最大主応力

TWM システムを用いた橋梁のたわみ計測

琉球大学
株式会社 TTES

正会員 下里 哲弘, 田井 政行,
正会員 菅沼 久忠, 梅川 雄太郎, ○比山 義郎

1. はじめに

地方自治体では財源・人材・技術者不足の課題を解消すべく、最小限の費用・人員で多数の橋梁に対し効率的に性能を確認できる簡易な技術が必要とされている。橋梁の性能を知る上でたわみは重要な指標の一つであるが従来周辺環境によっては計測が困難な指標とされてきた。

本稿では加速度センサを用いて簡易にたわみを計測する手法の現場適用について報告するものである。なお、本技術は(株)TTES より TWM システムとして提供されている。

2. TWM システムの構成

加速度データを 2 階積分したわみを算出することは、積分誤差と変位応答の判別の点で難しく、工夫が必要である^{1),2)}。

本システムは、支間中央付近、橋面（主に地覆）に加速度センサを設置し、荷重車を通過させるだけでたわみの算出が可能である。また、解析アルゴリズムの自動化³⁾により作業者による評価のバラツキが無いことが特徴である。得られたデータは WEB アプリケーション^{4),5)}にアップロードすることで、図 1 に示すような地図情報と共に解析・保存・管理することが可能となっている。



図 1 TWM システムの構成

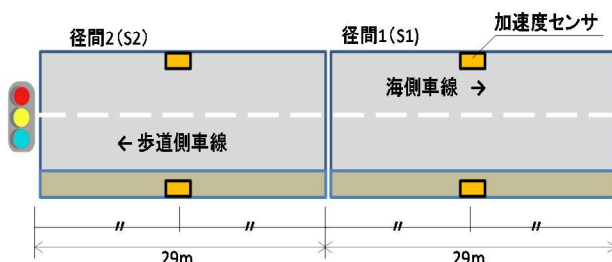


図 3 対象橋梁概要図および加速度センサ配置図

計測システムは、バッテリー駆動が可能であり、図 2 に示す通りコンパクト化されていることから、設置・撤去・移動がスムーズに行える仕様になっている。なお、近日中に IoT 端末を提供予定である。

3. 対象橋梁および計測・走行試験概要

対象橋梁は、プレキャスト合成桁であり、単純桁 2 連で構成されている。支間長はそれぞれ約 29[m]、上下 1 車線ずつの 2 車線、片側に歩道を有する構造となっている。加速度センサは各支間中央、上下線それぞれの地覆上に設置した。対象橋梁平面概要図および加速度センサ配置図を図 3 に示す。

荷重車は総重量 10.1[ton]車軸数 3[軸]の平ボディ一車である。橋面上を一定速度で走行させた際の加速度データを計測した。荷重車の走行状況を図 4 に示す。

4. 計測結果

図 5 に算出されたたわみの時刻歴波形および加速度時刻歴波形の例を示す。

抽出したたわみの種類は以下の通りである。

- ①動的たわみ：静的たわみ+動的応答
- ②静的たわみ：荷重車の走行荷重による準静的なたわみ成分
- ③動的応答：橋の固有振動や荷重車の軸重振動

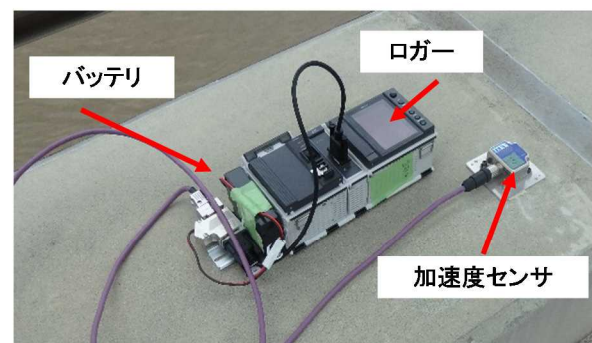


図 2 計測システム



図 4 荷重車走行状況(荷重 10.1ton)

キーワード 構造ヘルスモニタリング、桁たわみ、加速度計測、数値積分 TWM システム

連絡先 〒153-0051 東京都目黒区上目黒 3-30-8 (株)TTES TEL:03-5724-4011

に起因する応答。

得られた静的たわみのデータより、車両の入退出が判断できる。このことから、車両退出後の後揺れは自由減衰波形として扱うことができ、正確な減衰の評価が期待できる。

図6は、静的たわみの最大値を、径間ごとに走行位置に着目して整理した図である。荷重車の横断方向の走行位置に応じて、たわみの最大値は変化することが分かる。加えて本橋梁は、歩道を有しており、断面剛性が左右で異なるため、断面内の回転は偏心していることが確認された。これより、たわみを確認する際には、走行車両位置を厳密に特定し、片側で計測・整理するか、横断方向の両端で計測・整理する必要性のあることが確認された。

径間1,2を比較すると、概ね同じ構造ではあるが、挙動には若干の違いがみられた。この差異が有意なものであるかの判断は、今後の継続的な調査が期待される。

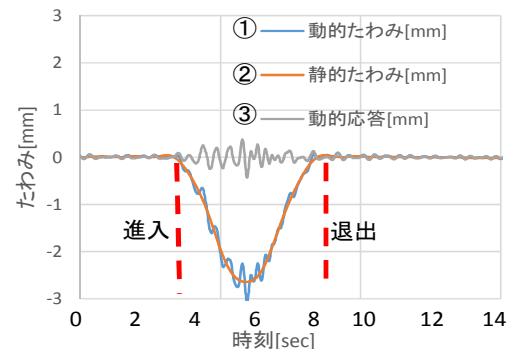
5. まとめおよび今後の展望

橋梁の維持管理の重要な指標となりうる「たわみ」の計測を実施した。

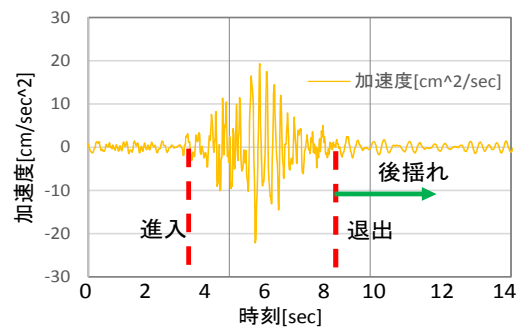
1. 加速度センサを用いた計測により、簡易にたわみ計測が可能であることが確認された。継続的な情報収集にあたっては、例えば、横断方向に両端で計測するなどして走行位置の情報を含んだ値とする必要があることがわかった。
2. たわみ値と橋梁の健全度には関係があることが予想されるが、たわみの閾値は不明確である。今後の継続的な計測により、関係性を明らかにしていきたい。

3. TWM システムを利用することで、車両退出後の自由振動波形も得られることが確認された。この波形の減衰特性から剛性の変化を捉える可能性について検討を進めていきたい。

最後に、本稿は土木学会西部支部沖縄会技術委員会「インフラの劣化予測と残存性能の診断に関する小委員会」にて現場実演の機会を頂いた際のデータを元にしています。機会を頂きましたことをここに感謝いたします。

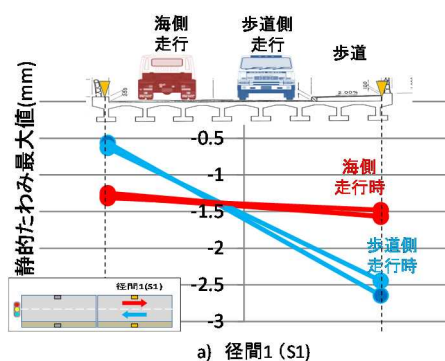


a) たわみ

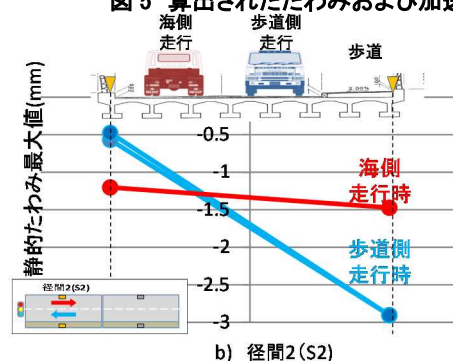


b) 加速度

図5 算出されたたわみおよび加速度時刻歴波形例



a) 径間1 (S1)



b) 径間2 (S2)

図6 各径間における静的たわみの最大値

参考文献

- 1) 関屋ら: "橋梁の加速度記録を用いた変位応答算出法の提案", 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 1, 61-74, 2016.
- 2) 梅川ら: "Evaluation of Vehicular Induced Displacement by Using Wavelet Transformation from Wireless Acceleration Measurement", IABSE Symposium Report, IABSE Workshop Helsinki 2015: Safety, Robustness and Condition Assessment of Structures.
- 3) 梅川ら: "加速度応答を用いた変位応答モニタリングに関する検討", 土木学会西部支部沖縄会, 第6回技術研究発表会, 2017.
- 4) 梅川ら: "車両通行に伴う加速度データを用いた橋梁の変位モニタリングに関する検討", 平成29年度全国大会第72回土木学会年次学術講演会
- 5) Infra Studio: <http://infra-studio.com/>

加速度応答を用いたアンカーボルトの腐食減肉量推定の試み

琉球大学大学院 ○澤田知幸 下里哲弘 田井政行 加藤祐介
首都高技術（株） 日和祐介

1. はじめに

近年、図-1 のように土中埋設型の照明柱やアンカーボルトなどのコンクリートと鋼材が交わる境界部では腐食が激しく進行し、倒壊のリスクが増えている。この腐食は鋼材自身が大気中をアノード側、アルカリ環境下にあるコンクリート中をカソード側とし急速に腐食が進行するマクロセル腐食と呼ばれる現象である。マクロセル腐食は腐食の進行が早いだけでなく、外見から腐食を判断しにくい部位に発生することがあるため、様々な防食方法や音波を用いた点検技術の研究^{1) 2)} がなされている。

本研究では、加速度応答を用いて外見から腐食が確認しづらい道路附属物の固定用アンカーボルトの腐食減肉量を定量評価することを目的としている。

2. 試験方法

2-1 固有振動数を用いた計測方法

物体はある一定の周期で振動をする性質(固有振動数)を持っており、1次自由度系の片持ち梁モデルや弦などの単純なモデルは計算式を用いて算出できるが、本研究では、FEM解析を用いて固有振動数を算出し、ある程度の予測をたて、解析モデルと同等の試験体を用意し、加速度計を用いて固有振動数の計測を行い、得られた固有振動数の比較と検討を行う。

2-2 試験体パラメータ

図-2 に試験パラメータを示す。対象長さは345mm、直径は22.5mmの鋼棒である。試験体パラメータは上から健全モデル、腐食モデルとして根元から20mm位置までの直径を25%減肉させたモデルと根元から20mm位置までの直径を50%減肉させたモデルの3パラメータを用意した。

3. FEM解析を用いた固有値解析

3-1 模擬アンカーボルトの固有値解析

アンカーボルトの固有振動数はFEM解析を用いて算出した。健全モデルと50%減肉モデルを図-3に示す。解析モデルはSolid要素を用いており、全長345mm、直径22.5mm、材質はSS400材と同等としている。なお、ねじ山の形状は再現していない。境界条件は片面を全固定としており、モデル全体に重力加速度 $9,800\text{ mm/s}^2$ を付加している。また、腐食モデルは固定端から20mm区間の直径を25%、50%と減肉させている。

3-2 固有値解析の結果

固有値解析により固有振動数を算出した結果を表-1に示す。また健全モデルを100%とした各パラメータの固有振動数の減少率を括弧内に示している。健全モデルでの固有振動数は1次モードで137Hzである。腐食モデルである他の2パラメータは健全モデルに比べると固有振動数は低くなるのがわかる。しかし、顕著に固有振動数が低くなるのは1次モードのみで2次モード以降の固有振動数はモードが上がるにつれ変化が小さくなる。さらに、根元の断面積が小さくなるにつれ、固有振動数は小さくなる傾向があることがわかる。

モード形状を図-4に示す。モード形状については健全モデルと腐食モデルにおいて、変化がないことが分かった。

4. 固有振動実験

4-1 模擬アンカーボルトの固有振動実験

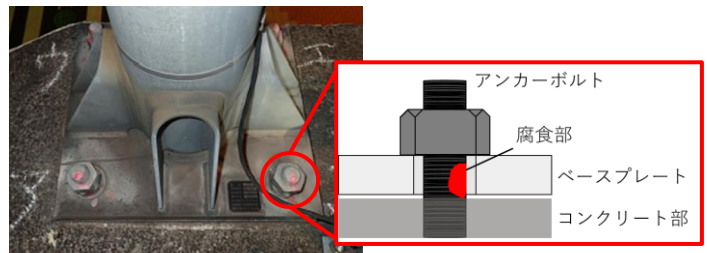


図-1 道路付属物とアンカーボルト

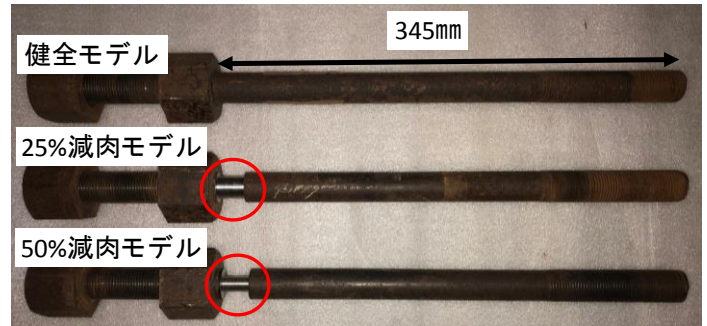


図-2 試験体一覧

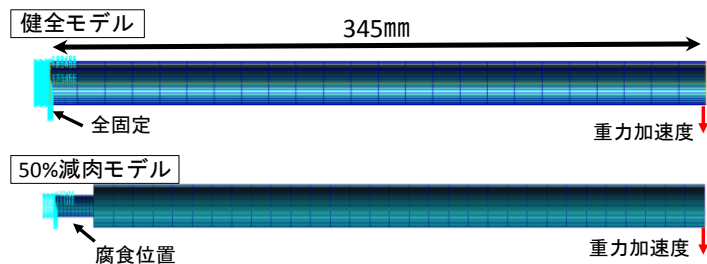


図-3 FEMモデル

表-1 固有値解析から求めた固有振動数

	健全モデル	25%減肉モデル	50%減肉モデル
1次モード	137Hz	115Hz(84%)	66Hz(48%)
2次モード	850Hz	763Hz(90%)	660Hz(78%)
3次モード	2,332Hz	2,170Hz(93%)	1,999Hz(86%)

()は健全を100%とした値

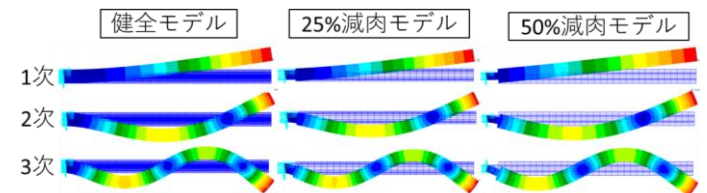


図-4 各パラメータのモード形状



図-5 実験状況

キーワード：固有振動 加速度 点検技術 腐食

連絡先：〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 琉球大学大学院 理工学研究科

実験状況を図-5 に示す。模擬アンカーボルトとして両側ネジの鋼棒を用いて実験を行った。試験体の試験対象長さは 345 mm、直径は 22.5 mm である。試験方法は片側のねじ部を 2 つのナットで鋼製の台に固定し、棒の先端に図-6 に示す 1 軸加速度計を設置した。試験体の先端から約 150 mm の位置をハンマーで叩き、1 軸加速度計とデータロガーを用いて加速度を計測する。得られた加速度データを高速フーリエ変換することで固有振動数を算出し、パラメータ毎の固有振動数の変化を観測する。

3-2 固有振動実験の結果

図-7 に固有振動実験の各パラメータの加速度を示す。各パラメータの振動時間は 5 秒程度であった。健全モデルと 25%減肉モデルでは打撃直後に加速度が減衰と増幅を繰り返し徐々に静止することが分かる。50%減肉モデルでは打撃直後に加速度がすぐに減衰し、静止することが分かる。

図-8 に得られた加速度データを高速フーリエ変換した結果を示す。健全モデルは固有振動数が 1 次モードにおいて 112Hz であり、25%減肉モデルでは固有振動数が 1 次モードにおいて 92Hz になり、固有振動数が健全モデルから約 20% の減少。50%減肉モデルでは固有振動数が 1 次モードにおいて 57Hz であることが分かり、健全モデルから約 50% 減少することが分かった。固有振動実験では 3 次モード以上の固有振動数を観測することが出来なかった。

3-3 固有振動計測の可能性

図-9 に解析値と実験値それぞれの健全モデルの 1 次モードを 100% とした減少率を算出したグラフを示す。これより、解析値と実験値の減少率はほぼ同等であり、減肉幅における固有振動数も同程度であることが分かることから健全モデルと腐食モデルの 1 次モードの固有振動数を比較することで腐食減肉量の推定は可能であると言える。しかし、本研究では人工的な一様減肉を再現したものしかないので、実腐食モデルやコンクリートを含む実構造系に近いモデルを再現できていない。そこで、これらの固有値解析と固有振動実験を行い、実アンカーボルトの腐食モデルの減肉量を推定できるか検証する必要がある。

5. まとめと今後の展望

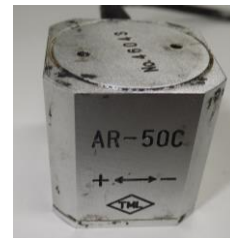
1) アンカーボルトに生じる減肉を再現した固有値解析により、減肉量の増大に伴い、固有振動数の 1 次モードが大きく減少することが分かった。なお、2 次モード以降の減少率はモードが上がるにつれて変化が小さくなる傾向が得られた。そのため、1 次モードの比較を行うことで腐食減肉量の予測ができると考えられる。

2) 固有値解析と固有振動実験で得られた値は健全モデルで 20%、腐食モデルで 16% の差が生じたが周波数減少率に換算すると、その差は 3% とわずかであった。それゆえ、健全時の固有振動数が確認できていれば加速度応答による減肉量の推定が可能であると考えられる。

今後は実腐食モデルやアンカーボルトがコンクリートで固定した試験体など、実構造系に近い計測パラメータを用意し、固有値解析と固有振動実験を行い、どの程度の腐食減肉量まで加速度応答を用いて計測可能かを検討する予定である。

参考文献

- 菅 浩亮 正木 英行：アンカーボルト腐食量測定装置について 2013 年土木学会全国大会
- (株)ニチゾウテック：アンカーボルト劣化診断調査 <http://www.nichizotech.co.jp/>



(a) 1 軸加速度計



(b) データロガー

図-6 計測機器一覧

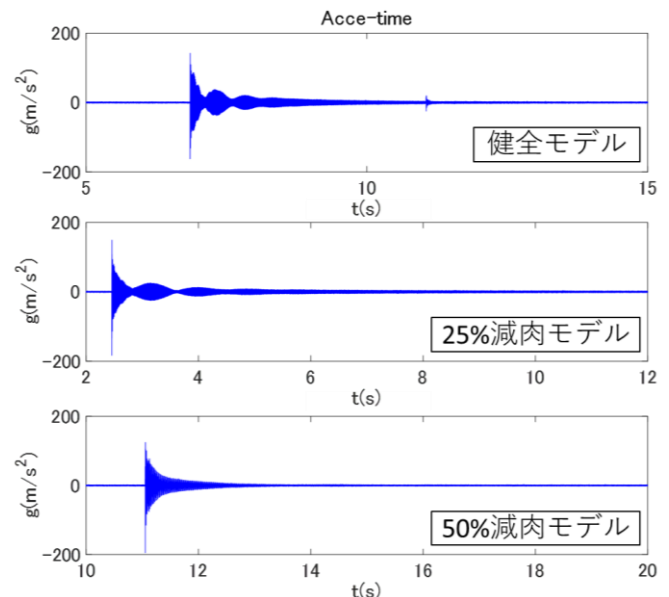


図-7 各パラメータの加速度データ

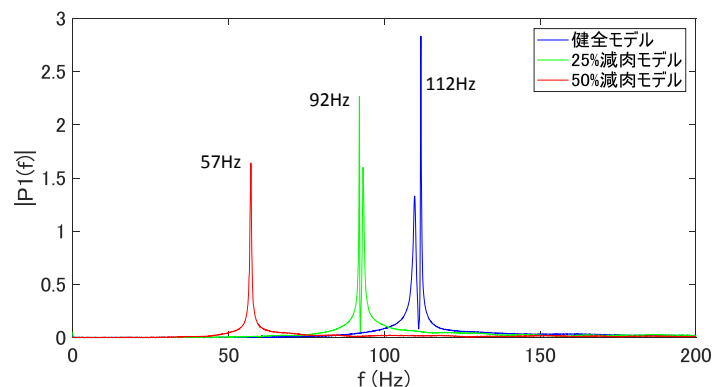


図-8 各パラメータの FFT の結果

1次モード 固有振動数減少推移

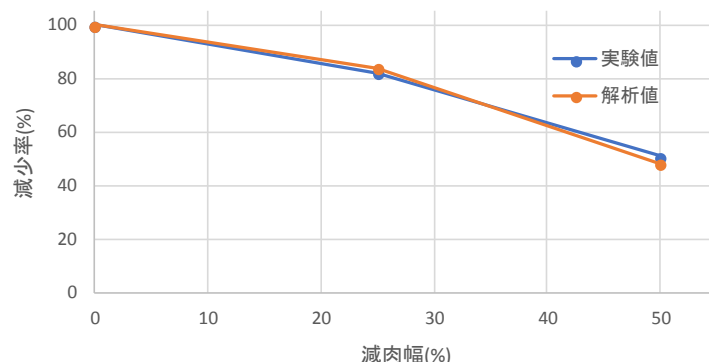


図-9 1 次モード減少率推移

スティック・スリップ試験機を用いた地震断層のせん断挙動に関する研究

琉球大学 ○海野祐樹, 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉

1. 背景・目的

スティック・スリップとは、接触する2面において応力が蓄積されるスティック固着と、応力が解放されるスリップ滑りを繰り返す現象のことであり、岩盤のせん断挙動を通して観察することが出来る。Brace and Byerlee¹⁾は、スティック・スリップ現象が、地震の繰り返し発生するメカニズムであると提唱し、室内実験によりその提唱の裏付けを行った。それ以降、プレート境界面での地震挙動を考える場合に類似点が多いため、地震の発生機構との関連に注目されている。

しかし、このスティック・スリップについての研究は理論的な解法に関する研究や、静的な実験は多々報告されている²⁾が、動的な実験は少ないため、本研究では室内における動的な実験を行い、地震断層のスティック・スリップ挙動に着目して実験を行う。

昨年度の研究では、せん断応力の低下の結果に一樣な結果が得ることが出来なかった。その要因として計測時間間隔が10msまでしか計測できず、使用した試験体も小さかったためと考えられる。本研究では計測時間間隔を1msと早め、使用する供試体も大型化させ、せん断応力の低下について検討を行った。

2. 実験装置、および実験方法

本実験で使用する実験装置はゴム製のコンベアーベルトと固定フレームからなり、コンベアーベルトの速度は自由に設定することが出来る。供試体は岩盤の不連続面を模擬するため、上部ブロックと下部ブロックに分割し、上部ブロックはバネを通じて固定フレームに、下部ブロックはコンベアーベルトに摩擦力で固定する。使用する供試体は、花こう岩で、バネはS20のものを使用する。コンベアーベルトの速度は約2mm/sで試験を行った。図-1に実験装置及び実験の様子を示す。

コンベアーベルトを作動させると、初めは上部ブロック、下部ブロックとともにバネの伸びる方向に動き、ある時間になるとバネの剛性により、上部ブロックが移動し、滑りが発生する。滑り時の上部ブロックと移動中の下部ブロックの変位と加速度はそれぞれ固定フレームに設置したレーザー変位計と、図-2に示すように上部ブロックに設置した加速度計により計測を行った。上部ブロックに作用するせん断応力は荷重計で随時計測している。

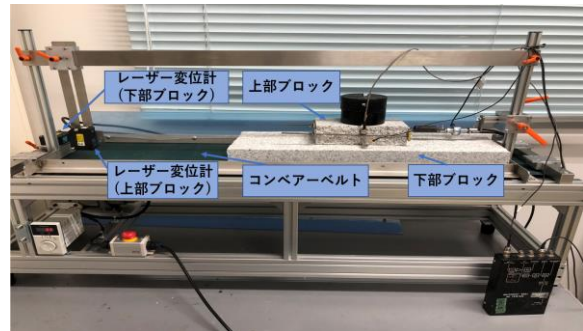


図-1: 実験装置及び実験の様子

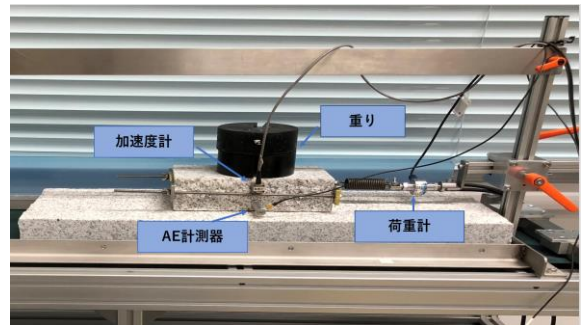


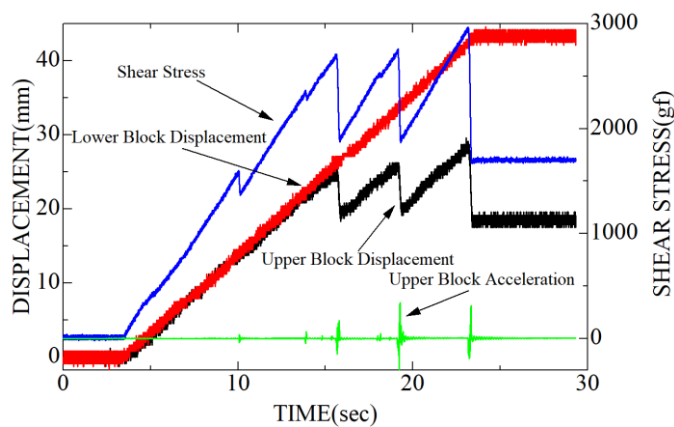
図-2: 計測システムの様子

3. 実験結果とその考察

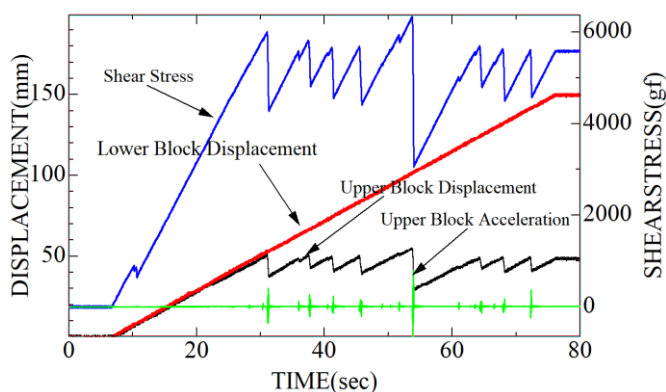
図-3aに垂直応力が2895gfの花こう岩を使用した際の、上部ブロックの変位、下部ブロックの変位、上部ブロックの加速度、せん断力をそれぞれ示す。また、図-3bに、垂直応力を6895gfとした同様の結果を示す。図-3のaとbの結果を比較するとわかるように、垂直応力が大きくなるほど滑りが生じるまでのせん断応力の限界値が大きくなり、滑りが生じるまでの周期も変化している。

キーワード スティックスリップ現象, 地震, 断層, スリップ挙動

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学 E-mail : e145303@eve.u-ryukyu.ac.jp

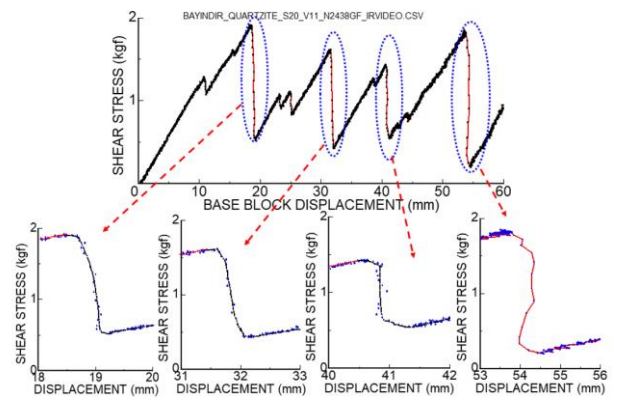


a : 2895gf の場合

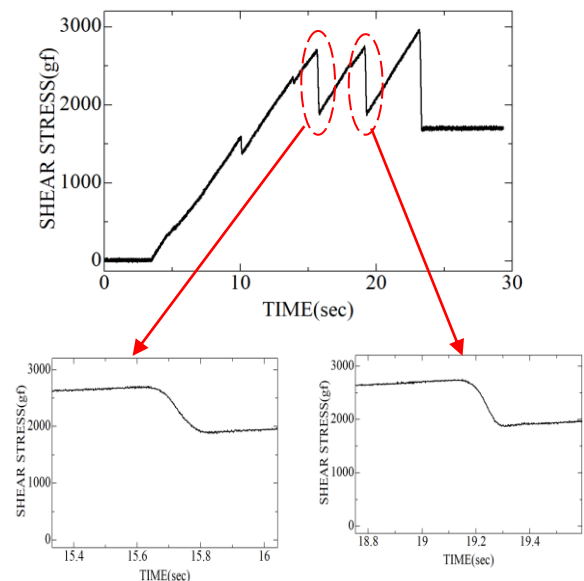


b : 6895gf の場合

図-3 各条件の変位，せん断力，加速度応答



a : 昨年度の実験結果



b : 今年度の実験結果

図-4 せん断時の挙動の比較

以上の結果から，せん断挙動時について考察を行う。上之郷ら³⁾が報告した試験結果(図-4a)と比較した場合、図-4b に示すようにせん断応力は滑らかに軟化していることが明らかになった。今回の違いは使用した計測器の計測時間間隔を 1ms であることと利用した岩石ブロックの寸法が 200mm であったことが考えられる。

4. まとめ

本研究の地震断層のスリップ時のせん断力の低下をより正確に測定することができ，軟化していることが明らかになった。この知見を利用し地震時のシミュレーションを行うことで，より実地震を再現した結果を得ることが可能となる。今後は，コンベアーベルトの速度や，使用するバネのバネ係数を変化させるなどし，実地震に少しでも近づくような大きな変位を起こす実験を継続し行っていく必要がある。

参考文献

- 1) Brace, W. F. and Byerlee, J. D., Stick-slip as a mechanism for earthquakes, Science, 153, 990-992, 1966.
- 2) 太田良巳，藍檀オメル，スティック・スリップ現象に関する実験的および解析的研究と地震学・地震工学的考察，東海大学紀要海洋学部「海—自然と文化」 第7巻第3号 pp.53-67, 2009.
- 3) 上之郷唯奈，藍檀オメル，富山潤，須田裕哉，渡嘉敷直彦，岩田直樹，地震断層のスティック・スリップ挙動に関する実験的研究，沖縄会 ,80-81, 2017.

音伝搬特性の機械学習を利用した疲労き裂検出の試み

琉球大学 ○櫻井絵里加 東京工科大学 天野直紀
琉球大学 田井政行 下里哲弘 南伸(株) 久米仁司

1. はじめに

交通荷重や風荷重などにより繰返し応力が生じる溶接継手では、図1に示すような疲労き裂が発生する場合があります。一般的に、疲労き裂の検出には、磁粉探傷試験が用いられるが、塗膜の除去が必要であり、き裂検出には手間を要する場合があります。それゆえ、塗膜の除去を必要としないき裂点検技術の開発が求められている。

近年、人工知能(AI技術)の開発が進み、様々な産業分野での活用が期待されている。本研究では、人工知能(AI技術)の一種である機械学習を用い、塗膜を除去することなくき裂検出が可能な物理特性として、音の伝搬に着目し、き裂検出技術としての適用性について基礎的検討を行った。

2. 機械学習を用いた音伝搬特性による疲労き裂検出

音と振動は密接な関係にあり、物体が振動することで音が発生し、音が物体を伝わることにより振動が発生する。それゆえ、物体に何らかの変化が生じた場合、物体の振動特性、すなわち音の伝搬特性が変化するものと考えられる。溶接継手に生じる疲労き裂に着目した場合、図2に示すように、き裂発生前後で音の伝搬経路が異なることため、これに伴い音の伝搬特性が変化すると予想される。

本研究では、この伝搬特性のわずかな違いを機械学習により学習を行うことで特性の違いを判定し、き裂の有無やき裂長さの識別が可能かを検証する。

3. 音伝播特性を用いたき裂検出手法の検証方法

機械学習を用いた音伝播特性の変化による疲労き裂検出の可能性を検討するために、疲労き裂進展試験を実施した。

試験体を図3に示す。一号試験片のエッジ部に円孔状のノッチを入れ、繰返し引張荷重を载荷させることで疲労き裂を発生・進展させた。疲労試験は、定期的に試験機を停止し、き裂の発生・進展時の音伝播特性の変化の計測を行った。なお、破断後にき裂寸法が確認できるよう、各き裂長さにおいてピーチマーク载荷を行

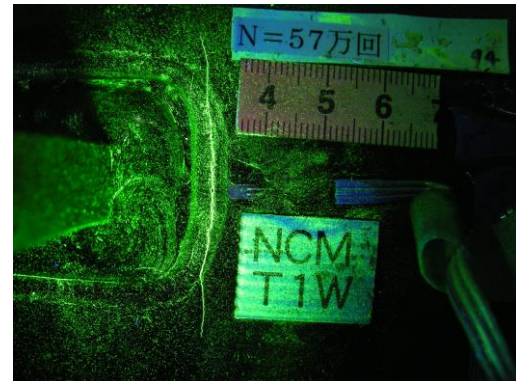


図1 溶接継ぎ手部の疲労き裂例

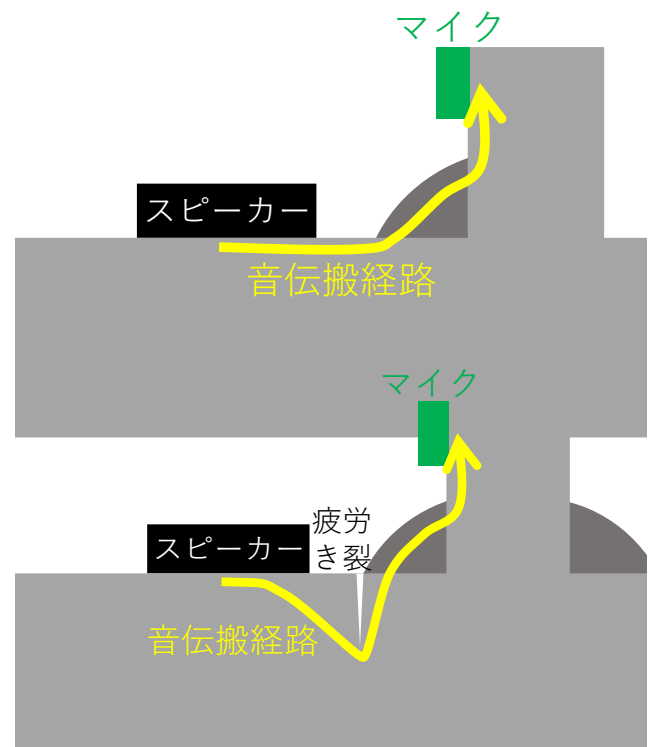


図2 音の伝搬経路の変化



図3 き裂進展試験体概要

キーワード : 機械学習, 音伝搬特性, 疲労き裂検出

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

った。破面に残されたビーチマークを図 4 に示す。

図 5 に計測機器と試験体表面へのスピーカーとマイクの設置状況を示す。計測機器は圧電スピーカーと MEMS マイク及びマイコンにより構成されている。設置位置は、き裂進展部を挟む形で 1 つのスピーカーと 5 つのマイクを設置した。音の計測は、スピーカーより音を発する前、発生中、停止後の 3 ケース行い、サンプリング周波数約 55kHz、サンプリング数は 256 とした。なお、各き裂長さに対して、計測は 10 セット (1 セットはスピーカー×2、マイク×5、ド、ミ、シの 3 音より 30 種類) 程度行い、計測データの半分を機械学習の学習用データ、半分を評価用データとし、検出性能の評価を行った。計測した音データのパワースペクトルの例を図 6 に示す。

4. 疲労き裂検出手法の適用性の評価

表 1 に評価用データに対するき裂検出の正答率を示す。表の縦の項目は破面に残されたビーチマークより計測したき裂長さ（実長さ）を、横の項目は機械学習により判定したき裂長さ（判定長さ）を示し、それぞれの音データを機械学習による判定がどの長さに分類したかを示している。例えば、実長さ 18.5mm の音データは、機械学習による判定長さは、2.7%は 0mm、92.5%は 18.5mm、4.6%は 24mm、0.2%は 32mm と判定したことを示している。これより、き裂の有無に対する正答率は95.7%(き裂ありケースの総正答率95.7%，き裂なしケースの正答率 98.6%の平均) であり、極めて高い精度で判定ができているといえる。

き裂長さについては、き裂長さが 1mm, 15mm, 32mm において、正答率が低下しているものの、それ以外では 80%以上の正答率を示しており、音伝搬特性を用いることで、き裂の有無だけでなく、長さを判定できる可能性が示された。

5. まとめと今後の展望

本研究では、音伝搬特性の機械学習を用いた疲労き裂検出の可能性について基礎的検討を行った。円孔ノッチより発生したき裂の進展時の計測結果より、音伝搬特性の機械学習により、き裂の有無だけでなくき裂長さを推定できる可能性が示された。今後は機械学習によりき裂長等を判定しているパラメータを明確にし、スピーカー及びマイクの最適な設置位置を検討するとともに、溶接継手部の疲労き裂について検証を行い、本手法の適用性の評価する予定である。

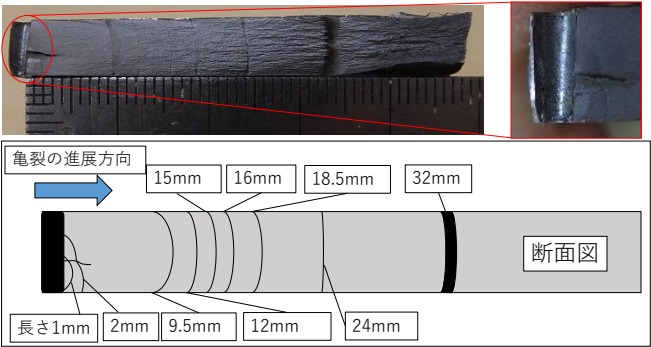
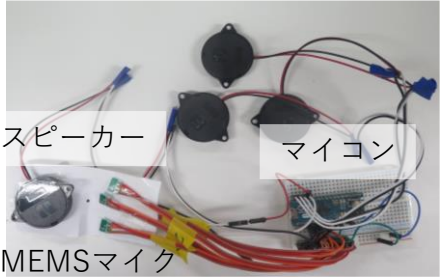
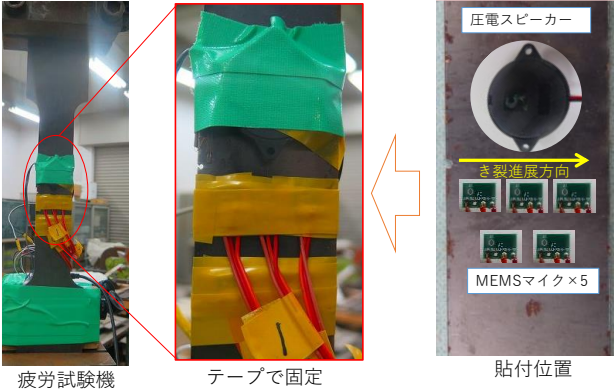


図 4 破面のビーチマーク



(a) 計測機器



(b) スピーカー及びマイクの設置状況

図 5 計測機器と設置状況

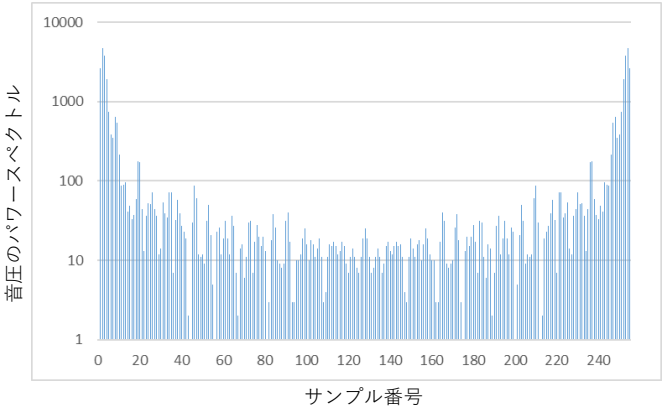


図 6 計測データのパワースペクトル例

表 1 き裂長さ判定の正答率

		機械学習により判読した長さ(mm)									
		0	1	2	12	15	16	18.5	24	32	
ビーチマークより計測した き裂長さ (mm)	0	98.6			0.2			1.2			
	1	0.4	64.2		4.7					30.8	
	2			100							
	12	0.5	7.9		83.8			0.2		7.6	
	15			100							
	16			0.2			99.8				
	18.5	2.7						92.5	4.6	0.2	
	24							1.8	98.2		
	32	0.7	29.3		12.3						57.7

コンクリート中に埋設されたアンカーボルトの腐食診断と防食法に関する研究

琉球大学 ○影山友樹, 加藤祐介, 田井政行, 下里哲弘, 有住康則
首都高技術 (株) 日和裕介

1.はじめに

照明柱や標識柱等の道路付属物の固定方法として、コンクリート中に埋設されたアンカーボルトにより固定する方法がある。鋼がコンクリート中に埋設される場合、鋼/コンクリート境界部において、マクロセル腐食による著しい腐食損傷が発生すると考えられており、構造物の倒壊の危険性が高まっている¹⁾。本研究では、コンクリート中に埋設されたアンカーボルトの腐食特性を把握することを目的に腐食促進試験を行った。また、最適な防食手法の提案を最終目標とし、電気抵抗法による腐食速度の定量化の事前検証を行った。

2.腐食促進試験

2.1 試験体

図-1 に試験体概要、表-1 に試験体パラメータを示す。めっき範囲の異なるアンカーボルト試験体を 4 体作成し、これらをコンクリート中に埋設した。本試験では実現場にて主に使用される亜鉛めっき (HDZ55) を対象とした。実環境を再現するために、ベースプレートを模擬したアクリル板を取り付けた。

2.2 促進試験条件

乾湿繰り返しによる複合サイクルによる腐食促進試験を実施した。複合サイクル条件は、5mass%NaCl 水溶液をアクリル板とアンカーボルトの隙間部に 1mL 滴下後、温度 35°C・湿度 90%の湿潤条件 (2h)、温度 40°C・湿度 50%の乾燥条件 (6h) を 1 サイクル(計 8h)とし、3 サイクル(計 24h)毎に 5mass%NaCl 水溶液を繰り返し滴下した。これを 330 サイクル行った。

2.3 評価分析方法

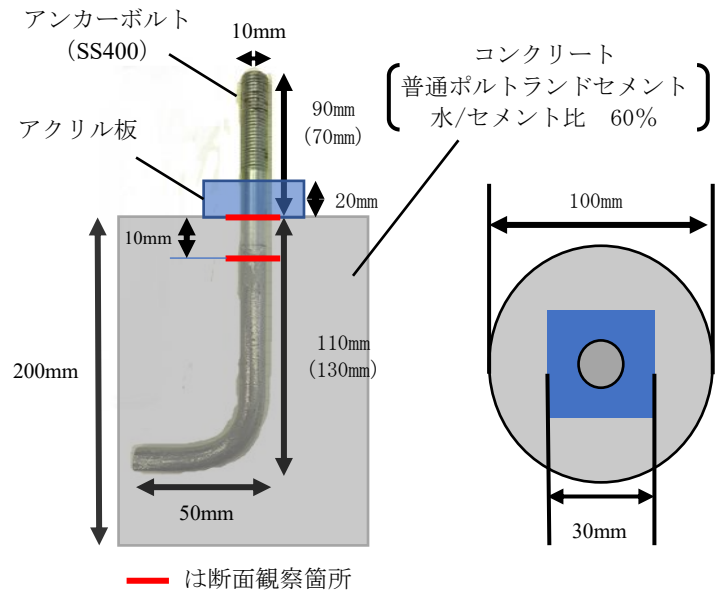
試験体をコンクリートから取り出し腐食状態の外観調査を行った。また、図-1 に示す 2 ヲ所にて各試験体を切断しマイクロスコップで断面観察を行った。

2.4 結果と考察

写真-1 に取り出した試験体の腐食外観状況を示す。いずれの試験体も境界部付近を中心に腐食した。めっきなしの試験体が最も腐食し、めっき 200mm の試験体が最も防食効果が高かった。また、めっき 90mm とめっき 100mm では外観調査においては大きな差は見られなかった。

写真-2 に各試験体のコンクリート境界部断面観察結果を示す。めっき 200mm の試験体はめっきが腐食しており、鋼材の腐食損傷はほとんど確認されなかった。ほかの試験体は局所的な腐食損傷が確認された。写真-3 にめっき 100mm とめっき 200mm 試験体のコンクリート中 10mm 部断面観察結果を示す。これらの結果からコンクリート中浅部のめっきが腐食していることが確認された。

以上のことから、めっき 90mm とめっき 100mm にあまり差がないこと、アンカーボルト全体にめっきすることが効果的であることが分かった。

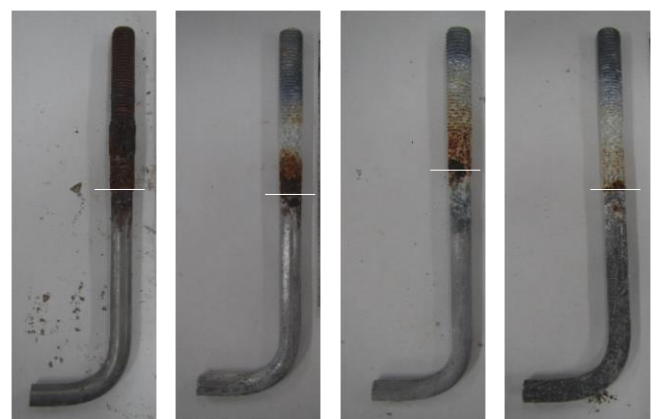


※めっき 100mm 試験体のみ () 内の寸法で埋め込んだ。

図-1 試験体概要

表-1 試験体パラメータ

めっき範囲	大気中	コンクリ中
0mm (めっきなし)	0mm	0mm
90mm	90mm	0mm
100mm	70mm	30mm
200mm (全めっき)	90mm	110mm



(a)0mm (b)90mm (c)100mm (d)200mm

※白線は境界部を示す

写真-1 腐食外観状況

(腐食促進 330 サイクル終了後)

キーワード マクロセル腐食 アンカーボルト

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 環境建設工学科 TEL:098-895-8666 FAX:098-895-8677

た。コンクリート中浅部においては、NaCl 水溶液がコンクリートに浸透することで、めっきが早期に腐食し、めっき 90mm と 100mm であまり差が見られなかったと考えられる。また、めっき 200mm ではより深部のめっきが残存しているため、コンクリート中の残存亜鉛めっきによる犠牲防食作用が働き、境界部の腐食を抑制することができたと考えられる。

3.電気抵抗法による腐食速度の定量化に向けた事前検証

アンカーボルトの腐食速度の定量化に向け、電気抵抗法の適用の妥当性を検証した。

3.1 試験方法

試験概要を図-2 に示す。促進試験で用いたアンカーボルトと同スケールの試験体を作成し、導線を半田で溶接後、シリコンシーリングで腐食部以外を止水した。試験体を NaCl 水溶液につけ、ポテンショスタットを用いて 0.1A の定電流を流し、40 時間溶解させた。

3.2 検証方法

測定した抵抗値の変化から試験体の減肉量を推定し、定電流電解による減肉量の理論値、ノギス測定による減肉量の実測値と比較することで、電気抵抗のモニタリングによる腐食量の定量的把握が可能であるか検証した。

3.3 結果と考察

電気抵抗のモニタリング結果を図-3 に示す。これより、定電流電解による減肉量の理論値と抵抗測定値から算出した減肉量は試験開始後 20 時間まで測定値が安定せず、理論値とは異なる結果であるが、抵抗測定値が安定した後は似通った挙動を示した。また、ノギスによって測定された減肉量の値も近い値を示す結果となった。以上の結果から抵抗測定値をモニタリングすることで、腐食速度を定量的に把握することは可能であると考えられる。

現在、現場にて使用されているアンカーボルトと同仕様にて腐食速度モニタリング試験を実施中である。最適な防食手法の確立を目指し、各種防食材の効果や鉄筋接触による腐食促進効果を腐食モニタリングの観点から検討予定である。

4.まとめ

アンカーボルトの腐食特性を把握することを目的に、塩水滴下乾湿繰り返しによる促進試験を行い、コンクリート境界部において著しい腐食損傷が発生することを確認した。コンクリート中浅部は塩水の浸透によってめっきが早期に腐食すると考えられるため、コンクリート途中までのめっきは効果的ではなく、全めっきが有効であると考えられる。

また、最適な防食手法の確立を最終目標とし、電気抵抗法を用いた腐食モニタリングの妥当性を検証した。その結果、電気抵抗法による腐食速度の定量的把握は十分可能であることが判明した。電気抵抗法を用いた腐食速度モニタリングを現在実施中である。

参考文献

- 1) 山田健太郎 『機関誌 Structure Painting』, 橋塗協, 2008, Vol.36 No.1 P2-3

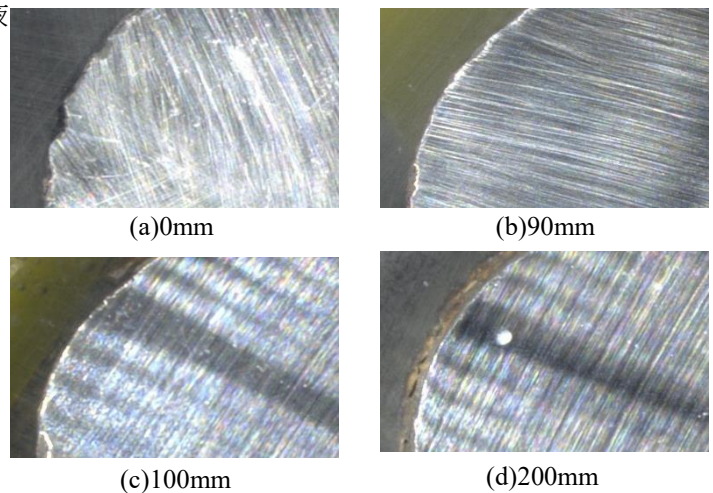


写真-3 試験体断面（コンクリ中 10mm 部）

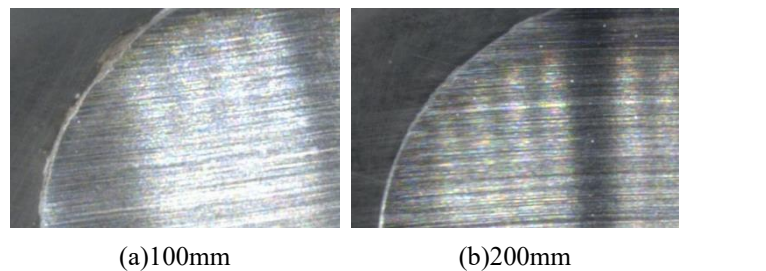


写真-2 試験体断面（境界部）

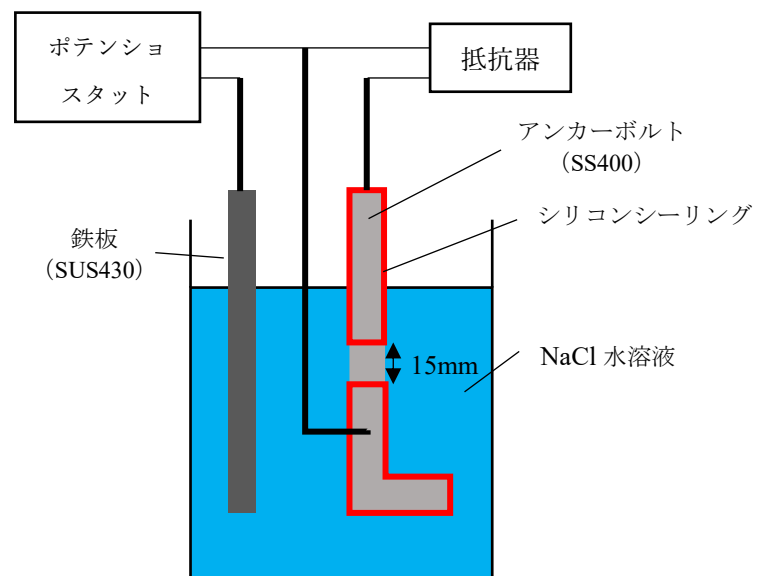


図-2 試験概要

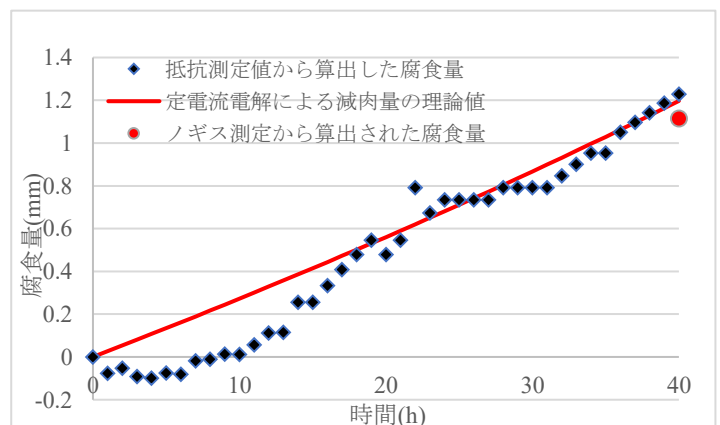


図-3 電気抵抗モニタリング結果