

第9回 土木学会西部支部沖縄会

技術研究発表会

琉球大学 研究者交流会館・50周年記念会館

2020年1月8日

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），CPDS 認定プログラム

発表プログラム

2020年1月8日

Time Table

Start	End	プログラム	
9:30	10:00	受付・登録	
10:00	10:15	開会式 〈Room : A〉 開会の挨拶：矢吹 哲哉（沖縄会会長・琉球大学名誉教授）	
10:15	10:30	Break	
10:30	12:00	Session 1 〈Room : A〉 9編 (診断・補修・補強) 座長：和田吉憲 (NEXCO西日本)	Session 2 〈Room : B〉 7編 (建設・整備) 座長：神谷大介 (琉球大学)
12:00	13:00	Lunch	
13:00	14:30	Session 3 〈Room : A〉 7編 (防災・環境) 座長：田井政行 (琉球大学)	Session 4 〈Room : B〉 8編 (交通・計画・景観) 座長：須田裕哉 (琉球大学)
14:30	14:40	Break	
14:40	16:10	Session 5 〈Room : A〉 7編 (計測・IoT) 座長：和田賢哉 (沖縄総合事務局)	Session 6 〈Room : B〉 8編 (塩害・腐食) 座長：多和田真忠 (沖縄県)
16:10	16:25	Break	
16:25	16:40	閉会式 〈Room : A〉 優秀発表者賞の表彰：小口 浩（沖縄会副会長・沖縄総合事務局） 閉会の挨拶：上原 国定（沖縄会副会長・沖縄県）	

Presentation Schedule

Titles and Authors

○発表時間：7分、質疑応答：3分

○概要集：2頁～6頁（原則、偶数頁）

○注意事項

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

Time	Room A
10:30 12:00	<p style="text-align: center;">Session1：診断・補修・補強 座長：和田吉憲 (NEXCO西日本)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="277 353 1461 383">1. 伊那嘉原橋橋梁補修工事について 沖縄県北部土木事務所 島袋 恵一 _____ 4 <li data-bbox="277 405 1461 477">2. 混合桁橋の温度変化が接合部PC鋼材の張力に及ぼす影響に関する検討 _____ 10 沖縄総合事務局 南部国道事務所 普天間 剛志, 勢理客 一之 <li data-bbox="277 499 1461 571">3. 炭酸化によるセメント硬体の変質と気体の拡散性状に関する基礎的研究 _____ 12 琉球大学 立原 知実, 須田 裕哉, 藍檀 オメル, 富山 潤 <li data-bbox="277 593 1461 665">4. 高炉スラグ微粉末を用いたセメント硬化体の炭酸化収縮に関する基礎的研究 _____ 14 琉球大学 安藤 大晃, 須田 裕哉, 富山 潤, 藍檀 オメル <li data-bbox="277 687 1461 759">5. 部位・材毎の環境外力を考慮したコンクリート橋上部工補修時期の検討 _____ 16 琉球大学 崎山 愛利, 富山 潤, 須田 裕哉, 藍檀 オメル <li data-bbox="277 781 1461 853">6. ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接継手の強度特性に関する基礎的研究 _____ 18 琉球大学 塚本 翼, 荒牧 聡, 下里 哲弘, 田井 政行 <li data-bbox="277 875 1461 947">7. 低温低圧型溶射(コールドスプレー) の施工速度と防食皮膜の成膜特性に関する研究 _____ 20 琉球大学 新田 健太, 坂崎 稜, 田井 政行, 下里 哲弘 <li data-bbox="277 969 1461 1041">8. 腐食鋼I桁端部の当て板ボルト補修に関する研究 _____ 22 琉球大学 横田 拓己, 田井 政行, 下里 哲弘 <li data-bbox="277 1064 1461 1135">9. 腐食凹凸面に対する防食皮膜厚とすべり耐力に関する研究 _____ 24 琉球大学大学院 坂本 健太, 下里 哲弘, 田井 政行
	Room B
	<p style="text-align: center;">Session2：建設・整備 座長：神谷大介 (琉球大学)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="277 1279 1461 1350">1. 県道20号線(泡瀬工区)橋梁整備事業におけるコンクリート構造物品質確保の取り組みについて — 28 沖縄県中部土木事務所 山田 義琢, 小島 健太郎 <li data-bbox="277 1373 1461 1444">2. 国際通りむつみ橋の補修工事について～閉塞された空間での施工事例紹介～ _____ 34 沖縄県南部土木事務所 照屋 洋八 <li data-bbox="277 1467 1461 1538">3. 北部国道管内における橋梁保全の取り組み _____ 40 沖縄総合事務局北部国道事務所 照屋 淳, 高良 茂宏 <li data-bbox="277 1561 1461 1632">4. 東村平良における国道331号災害復旧工事について _____ 44 沖縄県土木建築部 照屋 将司, 山入端 雅也, 仲吉 慶洋 <li data-bbox="277 1655 1461 1727">5. 那覇空港滑走路増設事業における越波対策について _____ 50 沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所 玉城 侑, 荒木 幸宏 <li data-bbox="277 1749 1461 1865">6. AI技術を用いたトンネル切羽評価システムの開発と現場導入 _____ 54 飛島建設・太名嘉組特定建設工事共同体 宇都宮 基宏, 福山 一世, 能田 浩文, 宮里 智行, 飛島建設(株) 鈴木 亮汰, 兼松 亮, 沖縄総合事務局北部国道事務所 伊佐 真幸, 城間 健男 <li data-bbox="277 1888 1461 1960">7. A Case Study on Signal Control optimization of Oblique Dislocated Leg Intersection _____ 60 Toyota Transportation Research Institute (TTRI) ANDO Ryosuke, Chongqing Jiaotong University LIU Wei

Time	Room A
13:00 ┆ 14:30	<p style="text-align: center;">Session3：防災・環境 座長：田井政行（琉球大学）</p> <p>1. 移設サンゴの種類別生残・成長特性に関する考察 ————— 68 沖繩総合事務局石垣港湾事務所 大城 祥慎, 前里 尚</p> <p>2. めがねトンネル周辺の応力場と安定性に関する研究 ————— 72 琉球大学 玉城 道雄, 藍檀 オメル, 富山 潤, 須田 裕哉</p> <p>3. 波力を受けるテールアルメ工法を用いた擁壁の挙動に関する実験的研究 ————— 74 琉球大学 相川 哲平, 藍檀 オメル, 堀内 浩貴</p> <p>4. 落石の到達距離に関する実験的考察 ————— 76 琉球大学 村山 有祈, 堀内 浩貴, Nazlı TUNAR ÖZCAN, 藍檀 オメル</p> <p>5. 島尻層泥岩における直接基礎の支持力について（案） ————— 78 (株)中央建設コンサルタント 多和田 伸, 棚原 真助, 間 弘昭, 鶴田 諒明, オリエンタル白石(株) 大内 正敏, 琉球大学名誉教授 新城 俊也</p> <p>6. 自主防災活動に繋がる防災ワークショップの発話分析 ————— 84 琉球大学 吉濱 佑太, 神谷 大介, 城間 聖, 山中 亮, 我部 新, 赤星 拓哉, 金城 太一, 長曾我部 ま どか, 榊原 弘之</p> <p>7. 被災経験・自主防災活動と水害時避難の関係に関する分析 2017年九州北部豪雨を対象として ——— 86 琉球大学 赤星 拓哉, 神谷 大介</p>
	Room B
	<p style="text-align: center;">Session4：交通・計画・景観 座長：須田裕哉（琉球大学）</p> <p>1. 調査による手数料支払い行動の変化について ————— 90 北海学園大学 堂柿 栄輔, 東海大学 梶田 佳孝</p> <p>2. バス利便性の違いからみた利用意図に関する基礎的考察 ————— 92 琉球大学 大城 好奈, 神谷 大介</p> <p>3. Wi-Fiパケットセンサーを用いた八重山地域の離島周遊観光実態調査 ————— 94 琉球大学 好田 徹, 神谷 大介, 山中 亮, 我部 新, 赤星 拓哉, 岩崎 竜馬, 福田 大輔, 菅 芳樹</p> <p>4. IoTデバイスを用いた旅行速度計測実験 西表島を対象として ————— 96 琉球大学 我部 新, 神谷 大介, 赤星 拓哉, 好田 徹, 岩崎 竜馬, 山中 亮, 福田 大輔, 菅 芳樹</p> <p>5. 大型連休期間における沖縄県北部地域の渋滞緩和に向けた実証実験について ————— 98 沖繩総合事務局北部国道事務所 平敷 健太, 渡久山 雄一, 森山 正三</p> <p>6. 訪日外国人レンタカーへのピンポイント事故対策について ————— 102 沖繩総合事務局道路建設課 濱川 昌丈, 具志堅 清一</p> <p>7. 平良港国際クルーズ拠点整備事業における岸壁部の景観検討について ————— 106 沖繩総合事務局平良港湾事務所 新垣 大, 石橋 透</p> <p>8. 沖縄県の景観形成～沖縄らしい風景づくり～ ————— 110 沖縄県土木建築部 志良堂 貴紘</p>

Time	Room A
	<p style="text-align: center;">Session5：計測・IoT 座長：和田賢哉（沖縄総合事務局）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="277 331 1458 409">1. 強風環境下における橋梁高欄トップレールの振動特性に関する研究 ————— 118 琉球大学 正岡 亮, 下里 哲弘, 田井 政行 <li data-bbox="277 427 1458 506">2. 鋼製アンカーボルトの腐食減肉計測技術に関する研究 ————— 120 琉球大学 富永 泰志, 淵脇 秀晃, 下里 哲弘, 田井 政行 <li data-bbox="277 524 1458 602">3. 音伝播特性を用いた機械学習による塗膜上からの疲労き裂検出技術に関する研究 ————— 122 琉球大学 山本 修大, 田井 政行, 下里 哲弘, 東京工科大学 天野 直紀 <li data-bbox="277 620 1458 788">4. ASR劣化したコンクリート構造物の詳細調査に対するX線回折法の適用性検証 ————— 124 琉球大学大学院 古田 泰祐, 富山 潤, 須田 裕哉, 藍檀 オメル, (株)沖縄建設技研 牧野 敏明, 宮城 敏明, (株)オリエンタルコンサルタンツ 黒川 直哉, 田中 樹由, パルステック工業(株) 青野 嘉幸, 山口 真 <li data-bbox="277 806 1458 884">5. 住宅IoT による構造変化推定のための振動計測性能評価 ————— 126 東京工科大学 王 誠, 天野 直紀, 京都大学 中川貴文, SMRC株式会社 半澤 和夫 <li data-bbox="277 902 1458 981">6. 音伝播特性に基づいたPICフォームの含浸率推定 ————— 128 東京工科大学 丁宇浩, 李昊宇, 天野 直紀, マテラス青梅工業株式会社 斯真田 隆一, 鶴田 健 <li data-bbox="277 999 1458 1077">7. BIM/CIMの活用報告（小禄道路橋梁詳細設計）について ————— 130 沖縄総合事務局南部国道事務所 原田 圭大, 松川 剛
14:40	Room B
↓	
16:10	<p style="text-align: center;">Session6：塩害・腐食 座長：多和田真忠（沖縄県）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="277 1216 1458 1294">1. コンクリートにおける表面被覆材の塩害防止効果 ————— 136 沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所 富田 和之, 石垣 里彦 <li data-bbox="277 1312 1458 1391">2. 台風により供給される塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害に及ぼす影響 ————— 142 琉球大学 尾崎 睦, 富山 潤, 須田 裕哉, 藍檀 オメル <li data-bbox="277 1408 1458 1532">3. コンクリート表面の付着塩分洗浄に対するウルトラファインバブル水の適用性検証 ————— 144 琉球大学 金城 聡一郎, 富山 潤, 須田 裕哉, 藍檀 オメル, マルヤマエクセル(株) 高橋 永治, (株)ティ・エスプランニング 佐藤 智, オリエンタル白石(株) 渡瀬 博 <li data-bbox="277 1550 1458 1628">4. 鋼桁橋内外面の腐食環境要因に関する研究 ————— 146 琉球大学 前原 匡, 下里 哲弘, 淵脇 秀晃, 田井 政行 <li data-bbox="277 1646 1458 1724">5. 高力ボルトの透明型防錆キャップの耐候性に関する研究 ————— 148 琉球大学 井上 佳紀, 田井 政行, 下里 哲弘, 淵脇 秀晃, IHI 岩本 達志 <li data-bbox="277 1742 1458 1821">6. 鋼橋の高力ボルト継手部に対する防食皮膜性能の基礎的研究 ————— 150 琉球大学 坂崎 稜, 下里 哲弘, 田井 政行 <li data-bbox="277 1839 1458 1917">7. 各種めっきボルトの防食性能評価 ————— 152 琉球大学 江田 英輔, 田井 政行, 淵脇 秀晃, 下里 哲弘, 東京ファブリック工業(株) 木村雅昭 <li data-bbox="277 1935 1458 1995">8. 厳しい腐食環境下における橋梁支承モデルの大気暴露試験 -125ヶ月経過の報告- ————— 154 東京ファブリック工業 (株) 木村 雅昭, 琉球大学 下里 哲弘, 田井 政行, 江田 英輔

發表概要集

Session 1 : 診断・補修・補強

伊那嘉原橋橋梁補修工事について

北部土木事務所維持管理班 ○主任 島袋恵一

1. はじめに

沖縄県北部土木事務所の管理橋梁は約 250 橋あるが、橋梁の老朽化に加え、交通量の増加や塩害等の厳しい環境条件下によって、橋梁定期点検において様々な劣化や損傷が発見されている。橋梁本来の機能を維持し続けるためには、補修や補強工事、あるいは架替え工事が必要となる。

本稿では、伊那嘉原橋における補修工事の概要および施工時の課題や対応、今後の展望について報告するものである。

2. 伊那嘉原橋の概要

2. 1 事業概要

伊那嘉原橋は、昭和 49 年に架設された単径間非合成鈹桁橋で、橋長 43.45m、全幅員 11.5m の沖縄自動車道を跨ぐ橋梁である。

本橋梁が位置する一般県道 104 号線は、恩納村安富祖を起点とし、金武町喜瀬武原を終点とする約 8 km の東西を連結する道路であり、第 2 次緊急輸送道路にも指定されている。

伊那嘉原橋の位置を図 1 に、橋梁の断面図および写真をそれぞれ図 2、写真 1 に示す。

伊那嘉原橋は、昭和 49 年に旧日本道路公団（現西日本高速道路(株)）によって架設され、沖縄県へ移管された後、これまで、塗装の塗替工事や断面修復工事、耐震補強工事等が実施されてきたところである。

- ・ 橋長：43.45m
- ・ 上部工形式：単径間非合成鈹桁橋
床版：場所打ち RC 床版
- ・ 下部工形式：逆 T 式橋台 (A1、A2)
- ・ 基礎工形式：H 形鋼杭基礎 (H-300)
- ・ 交差条件：沖縄自動車道



図 1 伊那嘉原橋 位置図

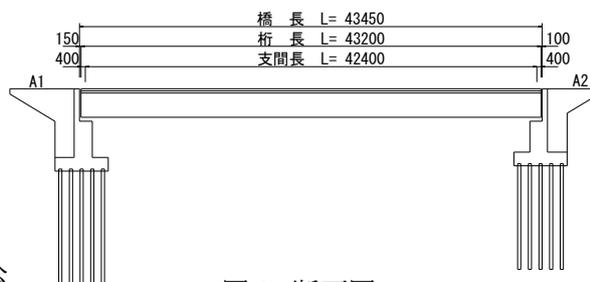


図 2 断面図



写真 1 伊那嘉原橋 (桁下は沖縄自動車道)

2. 2 設計概要

平成 25 年度に本橋の橋梁点検を実施した結果、主桁の腐食や床版のうき等が確認され、健全度Ⅲ相当（H25 時点の基準ではD区分、5 年程度以内に対策が必要）と判定されていた。

国土交通省が定めた橋梁定期点検要領の健全性の判定区分を表 1 に示す。

腐食やうきへの対策を実施しなければ、腐食片等が落下し、桁下の沖縄自動車道を走行する車両へ重大な被害を及ぼす恐れがある。

表 1 健全性の判定区分

区分	定義
I 健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II 予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III 早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV 緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。



写真2 主桁下フランジ部の腐食

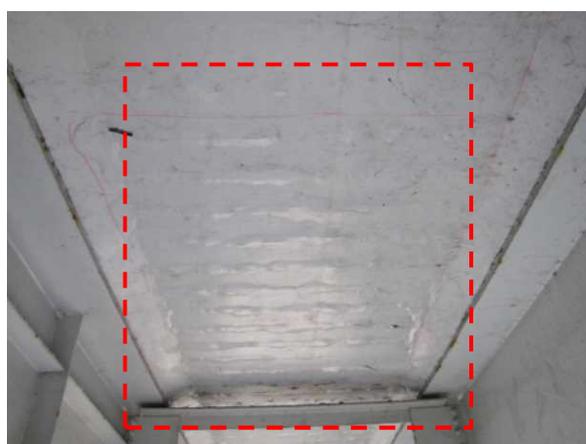


写真3 床版補強材のうき

点検結果を受けて、平成 27 年度に補修設計を行った。

補修設計に際し各種調査を実施した結果、橋台および床版から採取したコンクリートコアの圧縮強度は設計基準強度以上、同コアを用いて行った中性化試験においては、基準とした中性化残り深さ 25mm 未満であり、いずれも基準値を満足していた。

一方、床版表面から鉄筋位置までのかぶりコンクリート部において、塩分量試験を実施した結果、腐食発生限界値とされる塩化物イオン濃度 1.2kg/m³ を上回る塩分量が確認された。

さらに、鋼材の腐食状況を調査した結果、部分的な腐食が認められる軽微なものであったが、グレーチング床版 I-Beam の腐食状況を確認したところ、断面欠損が著しく最大 3 mm の腐食量を確認した。

腐食の原因としては、伸縮装置部からの漏水がグレーチング床版 I-Beam の腐食原因と推察した。

本橋の経過年数と腐食量から腐食速度を推定した結果、腐食量が 3.2mm 以上となった場合、曲げ応力度は許容値を超えることとなり、最大腐食箇所は約 3 年後、平均腐食量に対しては約 33 年後に同許容値を超えるため、床版補強工や取換え工等の対策が必要となる。

補強工法案と取替え案を比較検討した結果、施工性や経済性で有利な床版取換え案を採用した。

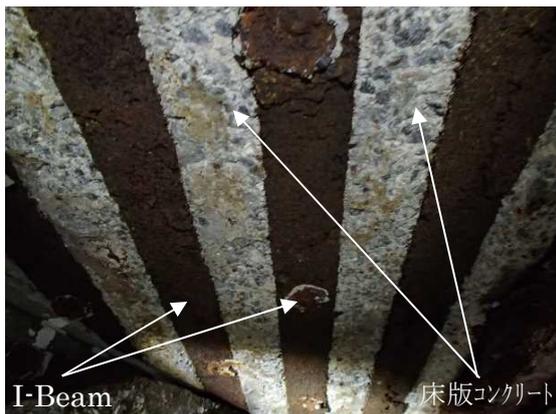


写真4 グレーチング床版 I-Beam の腐食状況

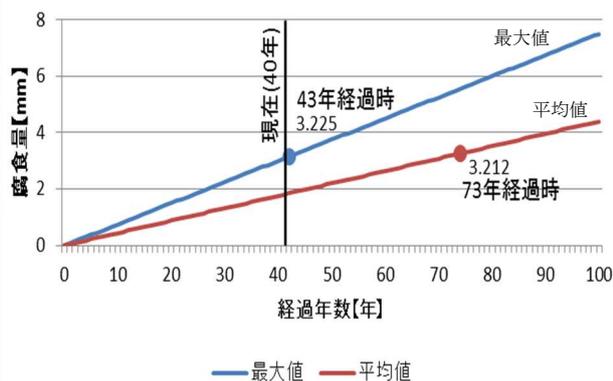


図3 グレーチング床版 I-Beam の腐食速度

2. 3 工事概要

平成 28 年度より補修工事を行っており、平成 30 年度に完了した。

本工事は、2 工区に分割して施工しており、1 期工事で仮設足場設置工、床版撤去設置工、橋台パラペット部改修工、踏掛版設置工、伸縮装置取替工、舗装工を、2 期工事で塗装工、橋台補修工、仮設足場撤去工をそれぞれ行った。

同工事にて発生した課題および対応について、次章により説明を行う。

3. 施工中に発生した課題および対応

3. 1 地元地域との調整

工事着手に先立ち、地元地域へ工事概要の説明を行い、①案：5ヶ月間の全面通行止め、②案：歩行者および自転車は常時通行させ、6ヶ月間は車両通行止め、の2案を提示した。説明当初はいずれの案も難色を示されたが、住民説明会を重ねた結果、①案にて理解を得られたため、5ヶ月間の全面通行止めによる床版取替工事を実施した。

全面通行止めとした理由は、打設したコンクリートが硬化するまでの間、自動車等の走行による過度な振動や衝撃が同コンクリートへ悪影響を及ぼす懸念があることや、床版撤去期間中に誤って車両が逸脱し沖縄自動車道へ転落することを回避したためであった。

住民説明会時には、「全面通行止め反対」「歩行者および自転車は常時通行希望」「車両逸脱は、個人の責任」「交通誘導員を24時間配置して欲しい」「昼間および夜間工事を行い、通行止め期間を短縮して欲しい」「迂回路の利用で生じる燃料費や精神的苦痛に対し金銭的補償を要望する」等の意見があった。

地元地域の理解を得るために工夫した点を以下に挙げる。

- ・迂回路として利用した町道（中川一号線）は、カーブ区間が多いため、管理者である金武町から占用許可を取得した後にカーブミラーを設置し、視認性確保への配慮を行った。
- ・迂回路に生えている街路樹（桜）の枝剪定や除草の依頼が多くあったため、管理者である金武町と協議し、街路樹の剪定は管理者にて対応して頂き、除草作業は県で対応した。

- ・設置看板の視認性確保を図るため、設置箇所を増やし、文字を通常より大きくするなど対応した。
- ・周知ビラの配布や、地元広報誌への掲載、地域の広報マイクの活用など、幅広い手法を用い規制に関する周知徹底を図った。

その後、床版撤去工事の際に、橋台パラペット部の劣化や上部構造との遊間が不足している事が判明したため、パラペット部を撤去、再構築する追加工事が必要となったことから、約4ヶ月間の全面通行止め延長を提案した。しかし、地元地域から強く反対され、全面通行止めを解除し速やかに片側交互通行にするべきとの要望が強かったため、後日、再度説明会を開催し、安全に最大限配慮しつつ片側交互通行によって補修工事を実施する旨を説明し、理解を得た。

説明会終了時には、拍手喝采で閉会となり、つくづく地元地域との合意形成の大切さを実感した。

104 県道104号線 恩納村と金武町の区間 車両通行止めのお知らせ

この際、高速道路を跨ぐ架線の補修工事に伴い、県道104号線の一部区間において、通行規制(終日車両通行止め)を行います。
ご通行の皆様には、大変ご迷惑をおかけしますが、ご理解とご協力をお願い致します。

1. 場 所 金武町字金武地内
県道104号線(伊那嘉原橋)
2. 規制内容 終日(24時間)車両通行止め(歩行者・自転車の通行は可能です)
3. 規制期間 平成29年 5月 頃から
平成29年 10月 頃まで
4. 施工業者 沖建 合資会社 現場事務所 098-967-8933(問い合わせ)
5. 交 路 下記案内図の通りです。
県道88号線(鹿島恩納線)や県道71号線(名護宜野座線)のご利用をお願いします。(県道の方が道路幅が大きく安全です)



図4 配布した周知ビラ

3. 2 踏掛版について

橋台パラペット部を撤去した際、完成図面に記載された踏掛版が設置されていない事が判明した。踏掛版は、橋梁や土被りの薄いボックスカルバートと盛土との取付部分に生じる段差によって自動車の乗心地が低下する事を防ぎ、伸縮装置や床版への衝撃を緩和し、維持補修費低減を図るために設置することが標準とされているため、本工事において踏掛版を設置した。

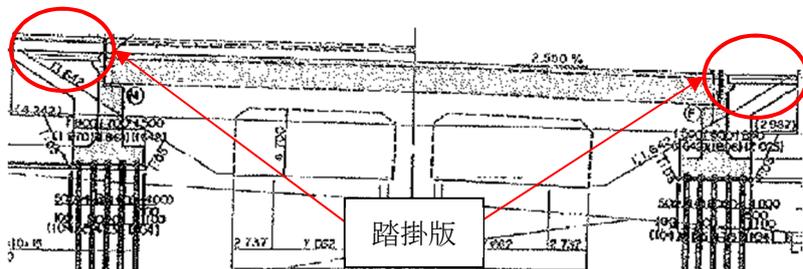


図5 完成図に記載された踏掛版



写真5 踏掛版打設後

3. 3 橋台と上部構造の遊間不足について

既設床版の撤去時において、上部構造と既設橋台パラペット部の遊間に異常が確認された。架設当時の完成図面では、A1橋台部において150mm、A2橋台部において100mmの遊間が確保されたものとなっていたが、現状はA1橋台と上部構造が接しており遊間は無く、

A2 橋台において約 20mm 程度の遊間しか無かった。

遊間は、上部構造と橋台パラペット部が衝突しないようにするため必要なものであり、遊間が不足している場合、地震時において上部構造とパラペットが衝突し、パラペット部が破壊に至る恐れがある。

沖縄自動車道を跨ぐ本橋の重要度は B 種であり、耐震性能 2（地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能回復が速やかに行える性能）の確保が必要であるが、橋台パラペット部が破壊に至った場合、橋自体が落橋する恐れがある。

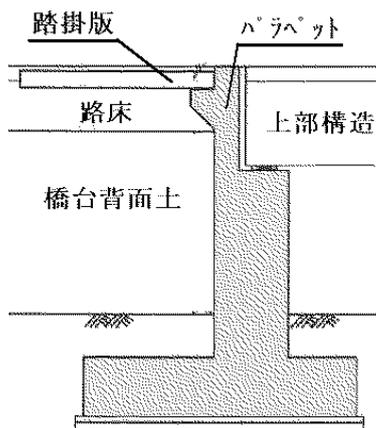


図6 逆 T 式橋台例（直接基礎）



写真6 A2 橋台の遊間量(20mm)

遊間不足の原因として、踏掛版の未設置により、自動車等の輪荷重が橋台背面土へ直に作用し、これらの土圧が橋台パラペット部へ影響を与え、同構造が傾斜したためと推察した。

また、両パラペット部のコンクリートは、老朽化によりもろくなっており、中性化が進行し、塩化物イオン量が基準値よりも多く含まれ、内部鉄筋がすでに腐食していることなども加味し、遊間不足の解消と併せ、既設の橋台パラペット部を撤去、再構築することとした。

再構築時には、維持管理の容易性を考慮し、遊間部の検査通路として約 500mm 程度の作業空間を確保することとした。A1 橋台部における塩化物イオン量を表 2 に、同位置の鉄筋状況を写真 7 に、遊間部の検査通路例を図 7 に示す。

表 2 A1 橋台の塩化物イオン量

塩化物イオン量 (CL ⁻ , kg/m ³)		
試料No	試験結果	
表面より 0mm ~ 20mm	0.33	
表面より 20mm ~ 40mm	1.88	
表面より 40mm ~ 60mm	2.80	
表面より 60mm ~ 80mm	3.67	
表面より 80mm ~ 100mm	4.89	

(腐食発生限界値 : 1.2kg/m³)



写真7 A1 橋台部の鉄筋状況

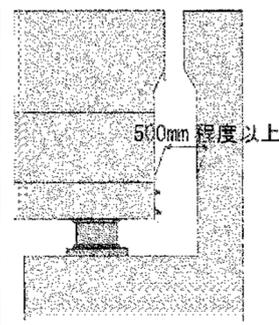


図7 遊間検査通路例

3. 4 既設塗膜除去時に発生する鉛含有塗膜について

本橋の鋼桁は、平成7年に塗装工事が実施されているものの、約20年経過し、防食機能の劣化により錆が発生していることから、塗装塗替え工事を行った。なお、沖縄自動車道を跨ぐため維持管理が容易ではないことから、部分塗替えではなく全面塗替えとした。

本橋の塗装履歴によると昭和57年および昭和62年に塗装工事が行われ、その際、鉛系錆止めやタールエポキシ樹脂塗料が使用されていた。平成7年の塗装工事の際には、全鋼材面の塗替えを実施しているものの、鉛含有塗膜の除去は行われていない状況であったことから、同塗膜カスの飛散防止のため、動力工具等ではなく塗膜剥離剤を用いて既設塗膜の除去を行った。

また、除去作業時には、作業員の健康被害を防ぐため、防護服やマスク等の着用および回収を徹底し、健康診断による確認等を行い、健康を阻害する事無く完了した。

剥離後の塗膜および粉塵等が付着した防護服等は、県外の最終処分場へ搬出し処分した。

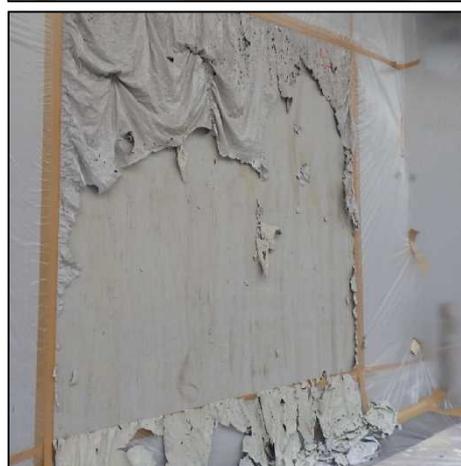


写真8 上段：剥離剤塗布前
下段：剥離剤塗布後

4. 本橋梁の今後について

現時点における本橋の点検手法は、沖縄自動車道を規制し高所作業車や移動式足場等による目視確認となり容易ではないが、ドローン等の新技術の利用により、点検の容易さを向上させ、また、伸縮装置など漏水が発生しやすい部位へ着目する事で、劣化や損傷の早期発見に努める必要がある。

また、沖縄自動車道が平成31年4月に重要物流道路に指定され、国際海上コンテナ車(40ft背高)が通行するため、構造基準高さ4.5mから4.8mへ引き上げられた（足場設置高さは、地上高4.5m以上の確保が見直され、5.0m以上確保することとなった）が、本工事で設置した仮設足場の下部は、地上高から4.5mに位置していたため、今後の補修工事に際しては地元地域への配慮に加え、仮設足場の設置高を考慮した工事計画の立案が求められる。

5. おわりに

橋梁補修工事は、設計時には想定していなかった損傷が施工中に発見されることが多いことから、想定した工事期間を上回り、地元地域へ理解を求めることも増えるが、分かりやすい説明を重ね工夫を確実に行うことで理解・協力を得て、円滑に公共工事を進めることが可能となる。

本事例が、他の橋梁補修工事の参考となれば幸いである。

混合桁橋の温度変化が接合部 PC 鋼材の張力に及ぼす影響に関する検討

沖縄総合事務局 南部国道事務所 ○普天間 剛志 勢理客 一之

1. はじめに

浦添北道路は、産業や人口が集積する沖縄本島中南部西海岸地域の交通渋滞の緩和、物流の効率化、観光などの産業振興を目的として、2018年3月に臨港道路浦添線の一部として全長2.0kmの区間を開通した。

牧港大橋（2018年竣工）は、浦添北道路が牧港漁港を跨ぐ海上に位置し、島嶼環境である沖縄の塩害を始めとする外的要因に対して非常に厳しい環境にある。

中央部の4径間連続混合箱桁橋（写真-1）は、沖縄で初めて採用した形式であり、接合部にひび割れや漏水が生じた場合、鋼桁やPC鋼材の腐食進行により耐荷力が低下することで構造系全体に影響を及ぼす恐れがあるため、接合部の健全性確保が課題となった。

そこで、接合部の施工・維持管理に特化した「牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会」について琉球大学矢吹名誉教授を委員長とし設置した。

委員会で審議した結果、本橋接合部の健全性を長期的にわたって保持することを目的として、接合部に着目した調査・モニタリングを実施し、損傷の予兆や損傷の初期段階をいち早く検知し、早期に対策を講じることができるよう「牧港大橋維持管理マニュアル」を策定し、維持管理している。本検討では、実施しているモニタリングのうち、混合箱桁橋の接合部PC鋼材の張力計測結果を報告する。

2. 調査・モニタリング概要

接合部の維持管理を確実にを行うために、完成時初期値観測として、①挙動把握（载荷試験等）、供用開始から、②接合部の異常検知モニタリング（PC鋼材張力計測等）、③腐食環境因子モニタリング（付着塩分等）等を実施している（表-1）。

3. 接合部 PC 鋼材張力計測

3.1 目的

混合箱桁橋の接合部（図-1、図-2）のPC鋼材は、鋼桁とPC桁を繋ぐ重要部材であることから、供用期間中の張力が設計通り保たれているかを確認することが重要になる。



写真-1 牧港大橋混合桁施工状況

表-1 牧港大橋調査・モニタリング項目^{1),2)}

種類	項目
挙動把握	① 载荷試験（ひずみ、たわみ、加速度）
接合部の異常検知モニタリング	① PC鋼材張力計測 ② 外観目視調査（漏水・滞水、ひび割れ、塗装） ③ 鋼桁とPC桁のずれ計測 ④ 圧縮強度計測（非破壊試験） ⑤ 漏水検知 ⑥ 接合部近傍鋼材の自然電位計測
腐食環境因子モニタリング	① 温湿度、紫外線、付着塩分
暴露試験	① スズ添加鋼の腐食 ② 鋼コンクリート接触面の腐食 ③ コンクリートへの塩分浸透深さ

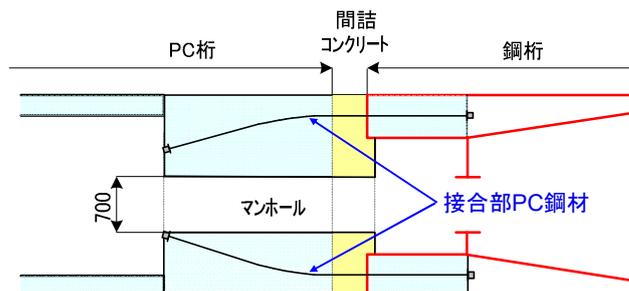


図-1 接合部の概要(PC鋼材)

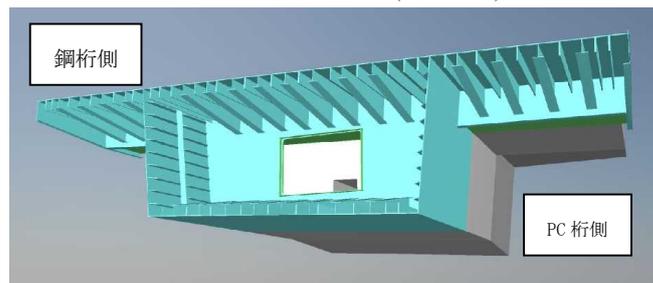


図-2 接合部詳細イメージ

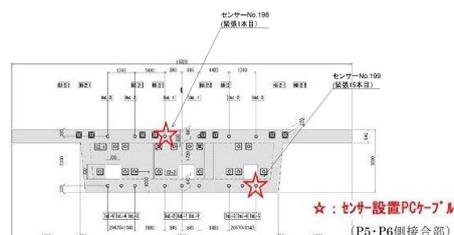


図-3 センサー設置位置

キーワード 混合桁橋、接合部、海上橋、モニタリング、PC鋼材張力計測

連絡先 〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14 沖縄総合事務局 南部国道事務所 TEL098-861-2336

そのため、PC 鋼材の緊張直後の計測値を初期値とし、その後の定期的な計測により張力に異常が生じていないかを監視する³⁾。

3.2 計測・管理方法

本橋では、センサーにより PC 鋼材の張力管理を実施^{4),5)}する(図-3)。張力管理は、1 時間毎に張力を自動計測・保管し、計測値が予め設定した閾値を超過した場合に橋梁管理者へ警報メールが届くモニタリングシステムを構築した。

3.3 計測結果

図-4 に供用開始以降の張力計測結果 (P5 上縁) を示す。いずれの測定結果においても閾値内であることを確認した。接合部閉合後の鋼材張力はクリープ・乾燥収縮の影響により徐々に減少傾向にあるが、コンクリート内温度が高い夏場に鋼材張力が減少し、気温が下がると鋼材張力が増加する傾向であった。なお、日毎の数値のばらつきはセンサーの計測精度に起因する誤差である。

3.4 接合部 PC 鋼材の張力変動と温度に関する考察

鋼材張力は、温度変化に伴って、次のように挙動している。温度上昇時は、接合部 PC 鋼材の張力は減少(平均温度変化+8.2°C, 平均張力変化-30kN)し、温度降下時は、接合部 PC 鋼材の張力は増加(平均温度変化-7.5°C, 平均張力変化+15kN)している。

この現象を考察するため、温度降下時の接合部 PC 鋼材張力変動と温度の関係について、P5~P6 間の桁を取り出し、両端が橋脚ハネで支持されている平面骨組解析を用いて解析した(図-5)。解析の結果、7.5°C 温度が降下した時の接合部 PC 鋼材 1 本の張力は、PC 鋼材 1 本あたり 17kN 増加する。ここで、センサーによる張力増加は 15kN で、ほぼ一致する結果となった。

本橋では、温度が降下すると鋼桁も PC 桁もそれぞれ縮もうとするが、ラーメン構造であるため橋脚により桁の伸縮が制約される。そこで、鋼桁と PC 桁の境界にある接合部 PC 鋼材がこの桁の伸縮量に抵抗するために緊張力が増加しているものと考えられる。

4. まとめ

鋼コンクリート混合桁として架設された牧港大橋は、厳しい環境下でも接合部の健全性を維持できるように施工・維持管理検討委員会を立ち上げて、接合部の品質確保、供用中のモニタリング手法等を検



図-4 接合部 PC 鋼材の張力と温度の計測結果

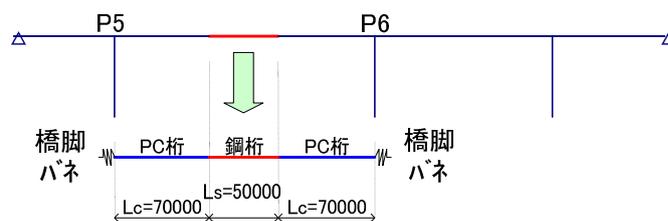


図-5 解析モデル

討してきた。その中の事例として、今回報告した PC 鋼材張力計測のモニタリングを紹介した。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。また、今回のような技術導入の取組みが、今後の PC 構造物の維持管理に対し、有用な事例となることを期待する。

参考文献

- 1) 牧港高架橋混合箱桁部施工・維持管理検討委員会資料
- 2) 知名広道, 與那原邦仁: 牧港高架橋における維持管理の取組み～連続モニタリングの導入～, 土木学会西部支部沖縄会, 第 7 回技術研究発表会, 2018.01
- 3) 宮國幸人ら: 牧港高架橋(鋼コンクリート複合橋)の施工, 橋梁と基礎 2018-11
- 4) (一社)沖縄しまたて協会: 『牧港大橋』鋼コンクリート混合箱桁橋における維持管理のための新技術, しまたて No87
- 5) 新垣敏一, 山城慶: 牧港大橋における新技術の活用状況について, 土木学会西部支部沖縄会, 第 8 回技術研究発表会, 2019.01

炭酸化によるセメント硬化体の変質と気体の拡散性状に関する基礎的研究

琉球大学 ○立原知実, 須田裕哉, 藍檀オメル, 富山潤

1. 背景および目的

鉄筋コンクリート内部への酸素や塩化物イオン、水分などの移動は鉄筋腐食の要因となることから、これら物質の移動性状を適切に把握することはコンクリート構造物の性能を確保する上で重要である。

コンクリート構造物は供用期間中に乾湿繰返しなどの環境作用や大気中の二酸化炭素との反応によって炭酸化を引き起こすことで、セメント硬化体の変質が生じる¹⁾。しかし、乾燥や炭酸化によって変質したセメント硬化体が物質の移動性状に対してどのような影響を及ぼすかは明確ではない。

そこで、本研究では、物質の移動性状として気体の拡散性状に着目し、混和材を用いたセメント硬化体について空隙構造の観点から物質移動性状に及ぼす乾燥や炭酸化の影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 材料・配合および乾燥・炭酸化条件

材料は普通ポルトランドセメント、混和材として高炉スラグ微粉末、フライアッシュを使用し、水セメント比は 55%とした。高炉スラグ微粉末は普通ポルトランドセメントに 50%置換し、フライアッシュは 30%置換した。供試体は 3×4×0.5cm のセメントペーストを作製した。養生条件は 20°Cで 182 日間の水中養生を行った。その後、供試体を飽和塩類による調湿法により 11%, 43%, 66%, 85%の相対湿度(RH)で 5 ヶ月間乾燥させた。炭酸化の影響を最小限にするため、デシケーター内には、水酸化ナトリウム溶液を入れた。炭酸化は乾燥時と同じ環境下で CO₂ 濃度 3%(N₂ と CO₂ の混合ガス)を流量 100ml/sec で 4h/day 流通させる条件で行った。炭酸化期間は 56 日間とした。

2.2 酸素拡散試験

所定の乾燥および炭酸化期間終了後、気体の拡散試験装置を使用して酸素の拡散係数を求めた。酸素の拡散試験は、白川らの手法を参考に、拡散試験装置

を用いて試験を行った²⁾。供試体を通過した酸素濃度の収束値から酸素の拡散係数を求めた。

2.3 熱重量分析

熱重量分析によって炭酸カルシウム量、水酸化カルシウム量を測定した。所定の乾燥および炭酸化後の供試体を 90 μ m 以下に粉碎し、110°C-3h 乾燥させ測定試料とした。試料は熱重量分析装置にて 1000°Cまで強熱し、450°C付近の減量値から水酸化カルシウム(CH)を 550~800°Cの減量値から炭酸カルシウム(CaCO₃)をそれぞれ測定した。

2.4 アルキメデス法による空隙率の測定

約 5mm に粗砕した供試体を 0.5g 程度採取し、表乾質量、水中質量を測定し、開放空隙率を求めた。開放空隙率は所定の乾燥および炭酸化終了時点の水で満たされていない空隙の割合を示している。

3. 実験結果および考察

3.1 酸素の拡散係数および空隙率の変化

図 1 は普通ポルトランドセメント(NC)、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を置換した供試体(NB)、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを置換した供試体(NF)の乾燥後と炭酸化後の開放空隙率の関係を示している。炭酸化前後で比較すると、NC では炭酸化後は開放空隙率が低下し、NB、NF は増加した。混和材の有無により、空隙構造に及ぼす炭酸化の影響が異なることが示された。

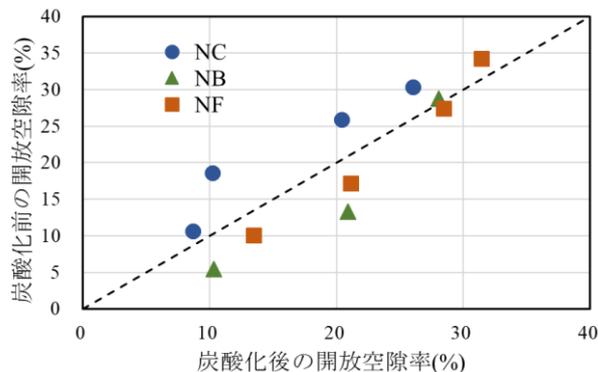


図 1. 炭酸化による空隙率の変化

キーワード：酸素拡散係数、乾燥、炭酸化、水酸化カルシウム、C-S-H

連絡先：〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地琉球大学工学部環境建設工学科 建設材料学研究室

E-mail: e165324@eve.u-ryukyu.ac.jp

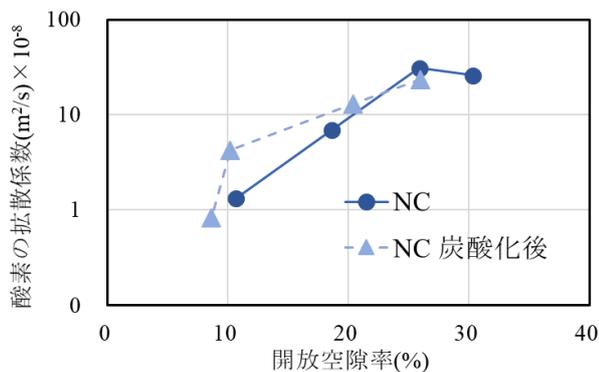


図 2. NC の酸素の拡散係数と空隙率

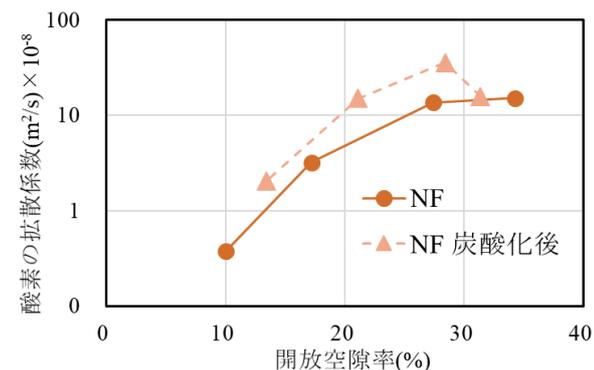


図 4. NF の酸素の拡散係数と空隙率

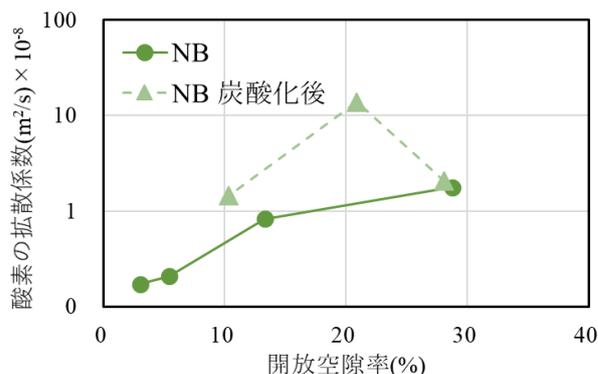


図 3. NB の酸素の拡散係数と空隙率

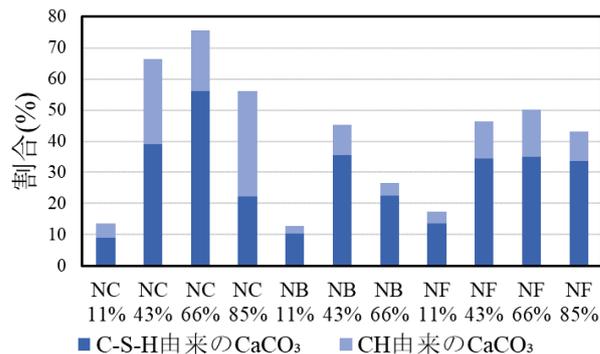


図 5. NB の酸素の拡散係数と空隙率

図 2 に NC, 図 3 に NB, 図 4 に NF の酸素の拡散係数と空隙率の関係を示す。炭酸化前では、乾燥時の湿度が低く、開放空隙率が高いほど、酸素の拡散係数は増加した。また、材料間で比較すると、NC に比べ、NB や NF の酸素の拡散係数は空隙率が同程度であっても低下した。炭酸化後では、NC は開放空隙率の低下によって、酸素の拡散係数も低下した。一方で NB, NF は、開放空隙率が増加し、酸素の拡散係数も増加する傾向にあったが、炭酸化前と空隙率が同程度であっても拡散係数は大きく増加した。

3.2 炭酸化カルシウムの生成量

図 5 に炭酸化後の炭酸カルシウム量の割合を示す。図より、いずれの材料において、RH43%, 66%の供試体の炭酸カルシウム量が最も多くなった。NC では、水酸化カルシウム由来の炭酸化カルシウムが NB, NF に比べ多く生成した。水酸化カルシウムから炭酸カルシウムへ変化することで体積が 11.8%増大し、空隙が緻密化した結果、酸素の拡散係数が低下したと考えられる。一方で、NB, NF では NC に比べ C-S-H 由来の炭酸カルシウムが多く生成された。C-S-H が炭酸化することで組織が分解し、空隙の多孔化や微細

ひび割れが生じることが報告されている³⁾。したがって、NB や NF では、水酸化カルシウムの炭酸化による緻密化よりも、C-S-H の分解による影響が酸素拡散係数の変化に影響していると考えられる。

4. まとめ

本研究では物質移動性状に及ぼす炭酸化の影響、また、混和材による影響を明らかにするため検討を行った。その結果、NC では炭酸化による水酸化カルシウム由来の炭酸カルシウムにより空隙構造が緻密化し、酸素の拡散係数が低下した。また、NB, NF では炭酸化によって C-S-H が分解され、空隙構造を多孔化する影響が支配的であり、その結果、酸素の拡散係数が上昇した。

参考文献

- 1) 須田裕哉 他：自然環境下におけるセメント硬化体の変質と酸素および塩化物イオンの拡散性状に関する研究，コンクリート工学年次論文，Vol.41, No.1, pp.593-598, (2019)
- 2) 白川敏夫 他：セメントペースト硬化体中の乾燥の程度と気体拡散係数の関係，日本建築学会構造系論文集，No.524, pp.7-12, (1999)
- 3) 石田剛朗 他：Ca/Si 比の異なる C-S-H の炭酸化性状，セメント・コンクリート論文集，Vol.67, pp.487-494, (2013)

高炉スラグ微粉末を用いたセメント硬化体の炭酸化収縮に関する基礎的研究

琉球大学 ○安藤大晃、須田裕哉、富山潤、藍檀オメル

1. 研究背景および目的

近年、循環型社会の構築のため、混合セメントの利用が推進されている。高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和材として使用することで、コンクリートの塩害に対する抵抗性の向上やアルカリシリカ反応の抑制など優れた効果を発揮する。一方で、高炉スラグ微粉末やフライアッシュは、硬化の過程で水酸化カルシウムを消費するため、中性化に対する抵抗性が低下することが知られており、普通ポルトランドセメントに比べ炭酸化収縮によるひび割れが発生しやすいとの報告もある¹⁾。したがって、コンクリートの長期的な耐久性を確保する上で、混合セメント系材料の炭酸化やその収縮挙動について調査する必要がある。

著者らの研究において、普通ポルトランドセメントを用いた系で、炭酸化時の湿度により個々の水和物の炭酸化挙動が異なり、特にケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)の炭酸化が、収縮挙動に大きな影響を及ぼすことが示唆された²⁾。本研究では、高炉スラグ微粉末を用いたセメント硬化体内の水和物相の違いに着目し、高炉スラグ微粉末から生成される水和物が硬化体の炭酸化収縮挙動に与える影響について検討を行った。

2. 実験および解析概要

2.1 使用材料および配合

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

2.2 供試体の乾燥・炭酸化条件

水中養生終了後、20℃-相対湿度11%、43%、66%、85%環境下のデシケーター内にて5ヶ月間供試体を静置し乾燥させた。乾燥期間中は炭酸化防止のためデシケーター内に水酸化ナトリウム溶液を入れた。炭酸化は乾燥時と同様の温湿度環境でCO₂濃度3%の混合

ガス(CO₂とN₂)を流量100ml/sec.で4h/day流通させる条件で行った。

2.3 炭酸化収縮ひずみの測定

供試体を所定の期間でデシケーターから取り出し、接触型変位計を用いて供試体の長手方向の長さを測定した。また、5ヶ月間の乾燥後のひずみを乾燥収縮ひずみとし、炭酸化時のひずみから乾燥収縮ひずみを差し引くことで炭酸化収縮ひずみを求めた。

2.4 炭酸カルシウムと水酸化カルシウム量の測定

所定期間、炭酸化を行った供試体を90μm以下に粉碎し熱重量分析装置(TG-DTA)を用いて炭酸カルシウム量と水酸化カルシウム量を測定した。昇温速度10℃/minで試料を1000℃まで強熱後、水酸化カルシウムは450℃域より、炭酸カルシウムは550℃~800℃域の重量減少量より定量した。

2.4 熱力学的相平衡計算による相組成の解析

個々の水和物の炭酸化挙動について検討するため、熱力学的相平衡計算を行った。解析ソフトはPHREEQC(USGS)を用いた。炭酸化反応は、初期相組成とCO₂を反応させる解析を行った。実硬化体の炭酸化挙動を評価するため、反応するCO₂量は、TG-DTAより得られた炭酸カルシウム量を用い、水酸化カルシウムは、炭酸化前後の減量値を炭酸化によって消費された量と仮定して、これらを解析の入力値とした。

3. 実験結果および考察

3.1 炭酸化収縮の経時変化

図1に、炭酸化収縮ひずみの経時変化を示す。なお、凡例の数字は炭酸化時の湿度を示している。NC、NBともに、いずれの材齢において湿度43%、66%のひずみが大きく、43%のひずみがかつとも大きくなった。特に、材齢14日以降にひずみが増大する傾向を示した。また、高炉スラグ微粉末の置換の有無で比較すると、NBではNCよりもひずみが大きくなった。

3.2 水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの経時変化

図2に、NBの水酸化カルシウム量および炭酸カルシウム量の経時変化を示す。湿度66%の供試体の水酸

キーワード：炭酸化収縮、C-S-H、水酸化カルシウム、炭酸カルシウム、高炉スラグ微粉末

連絡先：〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部 E-mail: e155340@eve.u-ryukyuu.ac.jp

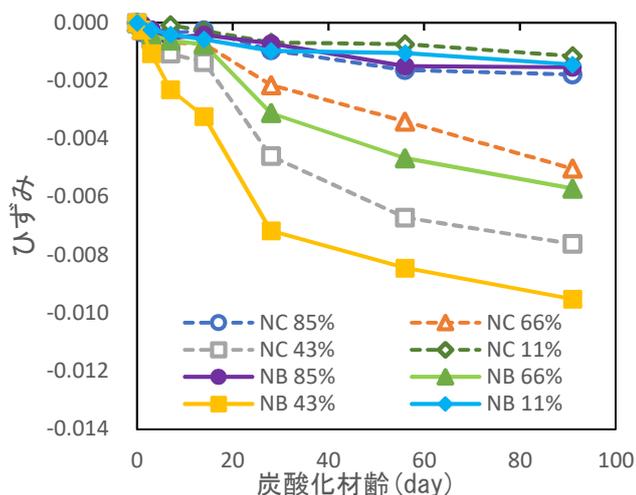


図1 炭酸化収縮ひずみの変化

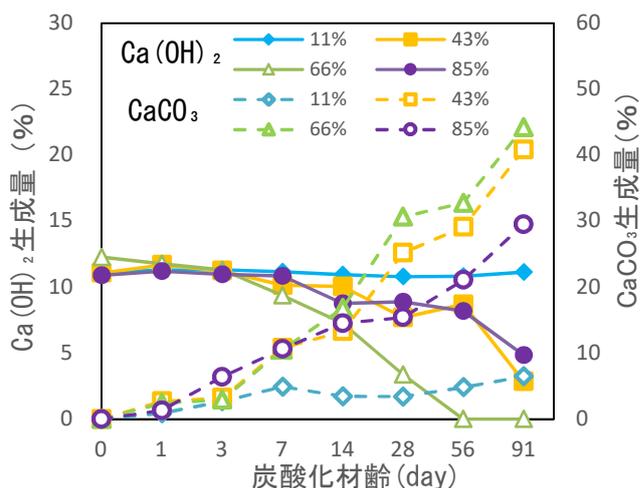


図2 NBの水酸化カルシウムと炭酸カルシウム

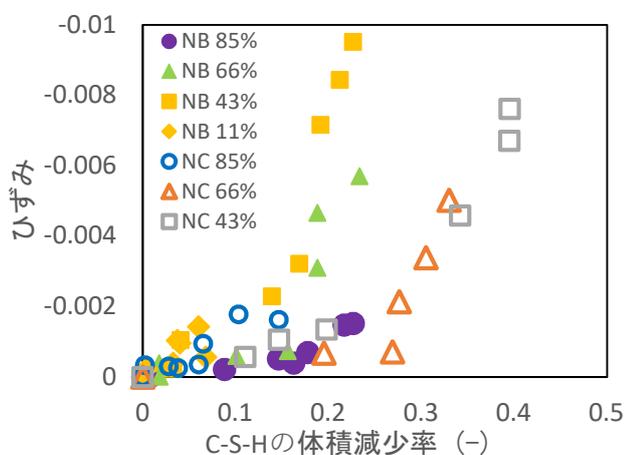


図3 C-S-Hの分解割合と炭酸化収縮ひずみの関係

化カルシウム量は、炭酸化3日以降から急激に減少し、56日では水酸化カルシウムは確認されなかった。湿度43%では56日以降で急激に減少した。炭酸カルシウムの生成量の推移は湿度66%、43%でほぼ同程度となった。

一方で、図1の結果と比較すると、湿度66%の供試体では炭酸カルシウムの生成量をもっとも多く、炭酸化が進行しているにも関わらず、炭酸化収縮ひずみは湿度43%がもっとも大きい値を示している。湿度66%よりも湿度43%の供試体の水酸化カルシウムは炭酸化91日において残存していることから、炭酸化収縮にC-S-Hの炭酸化が寄与していることを示している。

3.3 炭酸化によるC-S-Hの微細構造とひずみの関係

本研究では、相平衡計算より各炭酸化材齢におけるC-S-Hの生成量を求め、炭酸化前後のC-S-H量の差から炭酸化によるC-S-Hの体積変化(分解割合)を算出した。図3に、NCおよびNBの炭酸化によるC-S-H

の分解割合と炭酸化収縮ひずみの関係を示す。図より、同一材料では、湿度の違いによらず炭酸化収縮ひずみは、炭酸化によってC-S-Hの体積が減少することで増加した。また、NBはC-S-Hの分解割合が0.2前後でひずみが増大し、NCは0.3前後で増大しており、高炉スラグ微粉末から生成されるC-S-Hは炭酸化によって大きな体積変化を示すことが明らかとなった。これら違いは、C-S-Hの構造が異なるためと考えられるため、今後はその組成や構造に着目した検討が必要である。

4. まとめ

以下に本研究から得られた結果を示す。

- (1) 水酸化カルシウムの減少量と炭酸カルシウムの生成量は、相対湿度66%で最大だったが、相対湿度43%で炭酸化初期から収縮ひずみが大きくなり最終的なひずみも最も大きい値を示した。
- (2) 炭酸化収縮ひずみは、湿度の違いによらず炭酸化によるC-S-Hの体積変化によって評価でき、ひずみが増大し始めるC-S-Hの分解割合は高炉スラグ微粉末の有無によって異なる。

参考文献

- 1) Dutzer, V., et al.: The link between gas diffusion and carbonation in hardened cement pastes. Cement and Concrete Research, Vol.123,105795, 2019,
- 2) 須田裕哉、富山潤、斎藤豪、佐伯竜彦:セメント硬化体の炭酸化収縮と水和物に及ぼす相対湿度の影響、セメント・コンクリート論文集, Vol.73 (掲載決定済み)

部位・部材毎の環境外力を考慮したコンクリート橋上部工の補修時期の検討

琉球大学 ○崎山愛利, 富山潤, 須田裕哉, 藍檀オメル

1. はじめに

コンクリート橋のライフサイクルコスト (LCC) の削減が求められる中, 劣化度の異なる部位・部材毎の劣化予測への必要性が高くなっている¹⁾. 筆者らは, コンクリート橋上部工を対象に部位・部材毎の劣化の違いを解析的に検討し, 調査結果に近い結果を得た²⁾. 本研究では, 鉄筋の発錆時期に着目し, 塩害劣化の生じない適切な補修時期に対する数値解析的な検討を行った.

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は, 本島中部西海岸に位置し, 1979年3月に竣工された1径間(33.2m)ポストテンション方式PC単純T桁橋である. 塩害による劣化が進展していたことから, 1999年3月に表面被覆(一部断面修復)による補修が施された. しかし, その後, 主桁に鋼材腐食によるコンクリートのうき, 剥落, 鉄筋露出が発生し, 再劣化が顕著となったため, 2008年1月~3月の期間に詳細調査が行われた.

図-1に対象橋梁の断面図を示す. 本研究では, 図-1に示すG2桁とG5桁それぞれの海側, 陸側の側面を対象に, 鉄筋位置(かぶり45mm)での塩化物イオン濃度に着目し, 調査結果と比較する.

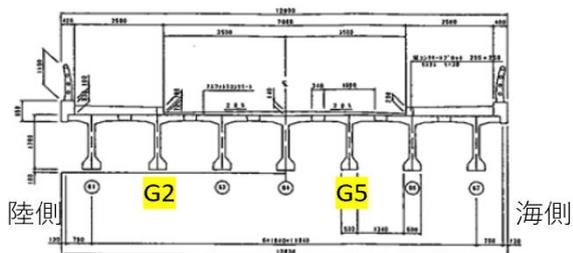


図-1 対象橋梁の断面図

3. 解析手法の概要

図-2に本解析手法であるコンクリート構造物長期性能シミュレーション³⁾の概要を示す.

本手法では, 宇多モデル³⁾で求めた構造物(最も海側の地覆)に到達した飛来塩分を粒子拡散手法³⁾により部位・部材毎の値に比率分配することができ

る. このため, 部位・部材毎に異なる塩害劣化を評価することが可能である. また, 表面被覆工法や断面修復工法など補修を行った場合の劣化予測も可能である.

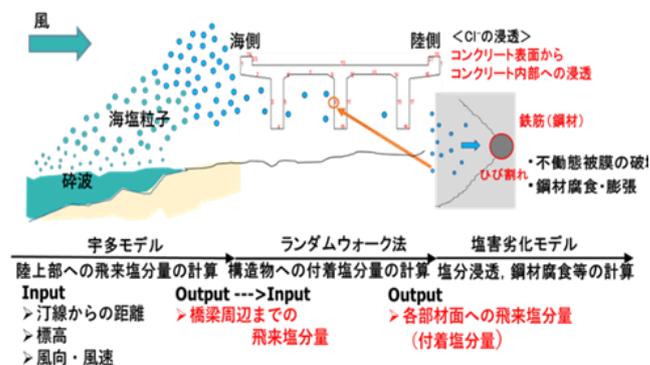


図-2 解析手法の概念図

4. 解析結果および考察

供用から29年後の塩分浸透解析を行い, 予測値と調査結果の比較し考察する. また, 対象橋梁に対して補修時期の異なる5つのケースについて解析を行い, 適切な補修時期を検討する.

解析条件を表-1に示す. 境界条件として, 20年目の補修(表面被覆工法)を模擬し, それ以降, Fluxを0とした. 表-2に供用から29年後の鉄筋位置での塩化物イオン濃度の実測値および解析から得られた値を示す. また, 図-3に同年の塩化物イオン濃度分布を示す. 比較のため, 飛沫帯を想定した表面塩化物イオン濃度 G_0 ($=13\text{kg/m}^3$)⁴⁾一定とした比較解析も併せて示した. 表-2より, G_0 一定とした計算結果は, すべての部材面で同じ値となっているのに対し, 本手法では, 調査結果と同様, 環境外力に応じて部位・部材毎に異なる結果となっている.

表-1 解析に用いた諸条件

項目	値	備考
かぶり(mm)	45	調査時測定結果
D($\text{cm}^2/\text{年}$)	0.251	推定値W/C=40%から算出
海岸種類	砂礫	宇多モデルで使用
高さ(m)	4	宇多モデルで使用
初期塩分(kg/m^3)	1	調査結果より推定

キーワード: コンクリート橋, 塩害, 劣化予測, 補修時期

連絡先〒903-0123 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TEL098-895-8649

e-mail: e165301@eve.u-ryukyu.ac.jp

表-2 鉄筋位置での塩化物イオン量 (29年後)

	G5(kg/m ³)		G2(kg/m ³)	
	海側	陸側	海側	陸側
調査結果	3.200	2.200	2.600	1.000
比較解析(C ₀ =13kg/m ³)	3.692			
本解析結果	2.959	2.029	2.595	1.913

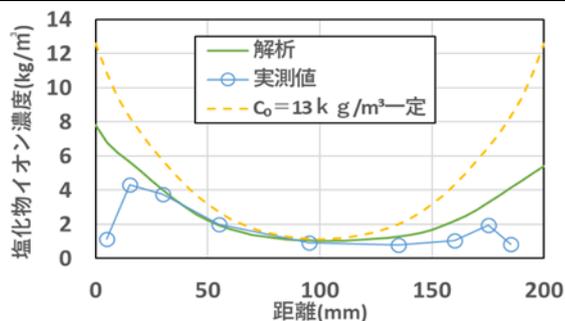


図-3 29年後の塩化物イオン濃度分布 (G5 桁)

図-4に発錆限界濃度を2.2kg/m³と設定した場合の全主桁面の発錆時期を示す。また、平均値(21.2年)、標準偏差(4.04年)から求めた正規分布も示した。これより供用から20年後の表面被覆工法施工時には、約51%の面で腐食が始まっており、表面被覆工法の補修効果がなく再劣化したことを計算結果より表すことができた。

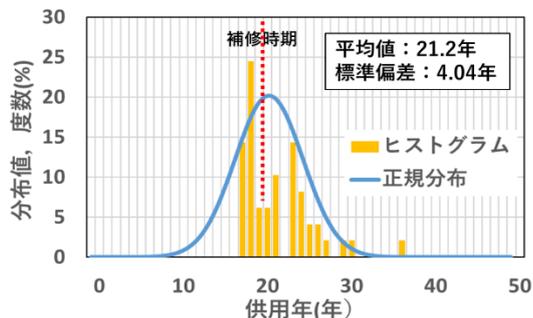


図-4 発錆時期のヒストグラム

次にG2, G5桁に対して補修時期の検討を行った。表-3に検討ケースを示す。本研究では、表面被覆工法を選定し、補修材の耐用年数は10年とした。図-5に全ケースの発錆時期の比較を示す。この結果より、発錆時期は、補修時期や補修回数を検討することで、遅らせることが可能であることがわかる。従って、補修材の耐用年数に対して補修時期を検討することが重要である。

図-6にCase6および実際の補修時期のコンクリート表面と鉄筋位置での塩化物イオン濃度の経時変化を示す。図より、鉄筋腐食に必要な塩分が浸透する前に補修時期を設定することで、長期の耐久性確保が可能であることがわかる。

表-3 補修時期の検討ケース

ケース名	補修時期
Case0	補修なし
Case1	15年目
Case2	10年目
Case3	5年目
Case4	3年目
Case5	5年目+10年目
Case6	3年目+13年目+23年目+33年目

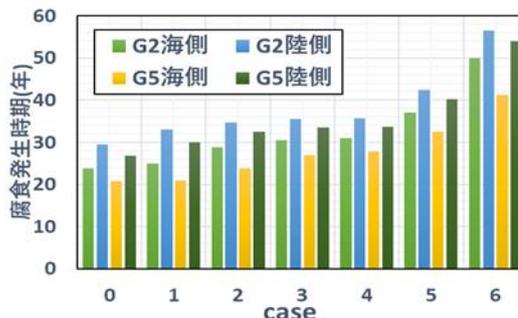


図-5 腐食発錆時期の解析結果

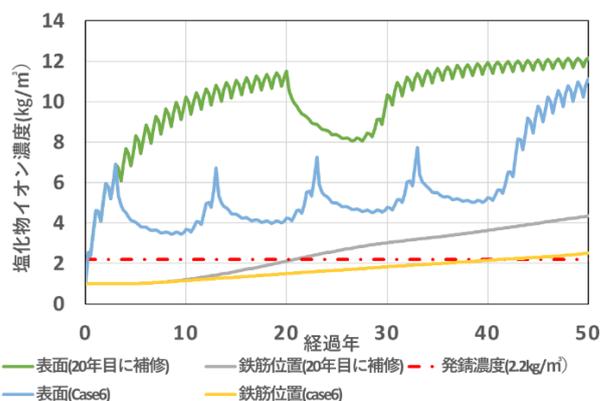


図-6 Case6と実際の補修時期の塩化物イオン濃度の経時変化

まとめ

コンクリート構造物長期性能シミュレーションにより、部位・部材毎の塩害劣化予測や最適な補修時期の決定の可能性を示すことができた。今後は、表面被覆工法以外の工法の検討やコストの検討を行う。

参考文献

- 国土交通省 (2013) 道路の老朽化対策 http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
- 富山潤, 有澤希, 須田裕哉, 山口明伸, 加藤佳孝: コンクリート橋上部工の部位・部材毎の塩害劣化予測シミュレーション, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 19, pp.617-622, 2019. 10
- コンクリート構造物の長期性能シミュレーションソフト作成委員会: コンクリート構造物の長期性能評価 -環境外力の評価手法-, コンクリート工学, Vol150, No.10, pp946-950, 2012
- 土木学会: 2018年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】, p.145

ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接継手の強度特性に関する基礎的研究

琉球大学 ○塚本 翼・荒牧 聡・下里 哲弘・田井 政行

1. はじめに

近年，社会資本においては，ライフサイクルコスト削減に対する要求が高まっている．そこで，耐久性，耐食性に優れているステンレス鋼を鋼橋に適用した場合を考える．ステンレス鋼は一般的な炭素鋼と比較し高価であり，鋼橋全てにステンレス鋼を適用すれば，建設コストが増加する．一方，鋼橋の腐食は桁中央部に比べ，桁端部など特定の部位で進行することが多いため，図1に示すように鋼橋桁端部だけにステンレス鋼を適用することで，コストの増加も抑えられ，耐久性・耐食性に優れた鋼橋が実現できると考えられる．このような構造を考えた場合，ステンレス鋼と炭素鋼の接合部は防食性を考慮し溶接接合が適していると考えられるが，ステンレス鋼と炭素鋼を溶接した場合の力学的特性は十分に明らかとなっていない．

そこで本研究では，ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接した部材を用いて引張試験を行い，その強度特性や伸び性能の評価を行った．

2. 突合せ溶接の組み合わせの選定

鋼橋の主要部材として一般的に用いられる炭素鋼のうち，使用頻度が高い規格としては，SM490Y(JIS G 3106)が挙げられる．また，桁端部では応力が支配的になることが少ないためSM400(JIS G 3106)を使用することも考えられる．よって炭素鋼はSM400及びSM490Yを選定した．

ステンレス鋼(JIS G 3106)は，表1に示す機械的性質とともに接合する炭素鋼の耐力を考慮し，SM400にはSUS304，SM490YにはSUS821L1を組み合わせることとした．また，溶接金属は炭素鋼とのオーバーマッチを考慮し，GFL309L材を使用した．

3. 引張試験方法

試験体は図2のような寸法で，溶接部の余盛を除去したものを使用した．炭素鋼にステンレス鋼を突合せ溶接した継手の強度特性を確認するため，引張試験を行なった．試験は，JIS Z 3121に準拠し，2000kN アムスラー万能試験機(図3)を用いて変位制御で行った．また，図4に示すように，約10mm間隔で12点の標点を作成し，破断後の標点間の伸びを計測した．さらには溶接部をまたぐように伸び計も設置した．

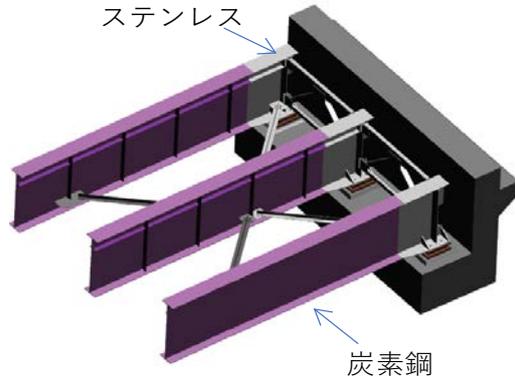


図1. 桁端部へステンレス鋼の適用

表1. 鋼材の機械的特性

材料名	引張強度(N/mm ²)	降伏強度(N/mm ²)	伸び(%)
SM400	400~510	≧245	≧18
SM490	490~610	≧365	≧15
SUS304	≧520	≧205	≧40
SUS821L1	≧600	≧400	≧25
GFW309L	≧520	-	≧25

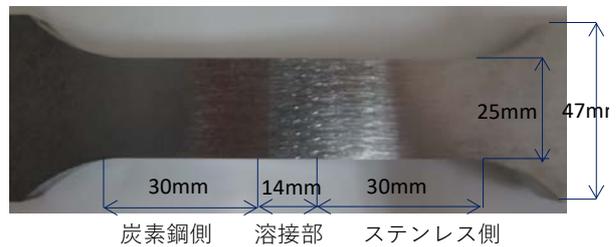


図2. 試験体寸法



図3. 引張試験の状況

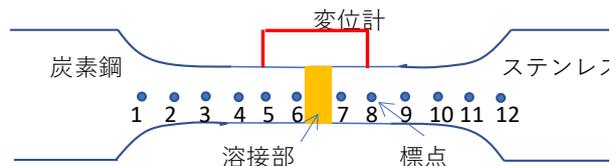


図4. 試験体の様子

4. 引張試験結果

引張試験により破断した試験体の写真を図 5, 図 6 に示す. これより SM400-SUS304 材と SM490-SUS821L1 材の両方で, 溶接部の中央から 30mm 程度離れた炭素鋼側より破断が生じたことがわかる.

図 7, 図 8 に引張試験結果を示す. 図の横軸は変位計の伸び, 縦軸は公称応力を示している. 図中には事前に実施したステンレス鋼及び炭素鋼の単一材での試験結果も併せて示す. 単一材の試験結果と比較すると, ステンレス鋼-炭素鋼の突き合わせ溶接継手では, 炭素鋼で見られるような明確な降伏は生じず, ステンレス鋼に近い挙動を示した. 伸びについて比較すると, 単一材では炭素鋼と比較してステンレス鋼の方が, 大きな伸びを生じており, 特に SUS304 で顕著な伸びが生じていた. 突き合わせ溶接継手では単一材の炭素鋼, ステンレス鋼に比べて半分程度の伸びで破断した. また, 突き合わせ溶接継手の引張強度は単一材の炭素鋼と同程度であることが分かる.

伸び率に関して, 図 4 に示すように溶接金属を挟んで 6 点ずつ計 12 点標点を作成し, 初期の標点間距離を L , 破断後の値を L' として

$$\text{伸び率} = (L' - L) / L$$

を用いて算出した.

図 9 に突き合わせ溶接継手における標点間距離の差を示す. 縦軸に $L' - L$, 横軸に図 4 の標点位置をとっている. 溶接部付近の炭素鋼側が破断後でステンレス側より大きな伸びが生じている. 一方, 突き合わせ溶接継手の伸び率は SM400-SUS304 材, SM490-SUS821L1 材共に 30%程度だが, 炭素鋼側だけで算出すると, SM400 材, SM490 材は共に 40%ほどで, 単一材の場合と同程度伸びが生じている. つまり, 本研究で用いたステンレス鋼-炭素鋼の突き合わせ溶接継手では, 強度の低い炭素鋼側で降伏が生じ, 炭素鋼側が引張強度に達したことで破断が生じたと考えられる

5. まとめ

- 1) ステンレス鋼-炭素鋼の突き合わせ溶接継手では, 突き合わせ溶接部では破断が生じず, 炭素鋼側で破断が生じた. これはステンレス鋼側と比べて炭素鋼側の強度が低い材料であったためであると考えられる.
- 2) ステンレス鋼-炭素鋼の突き合わせ溶接継手は明確な降伏応力を示さず, ステンレス鋼に似た挙動を示す.
- 3) ステンレス鋼と炭素鋼の突き合わせ溶接継手では, 先行して降伏が生じた炭素鋼側で顕著な伸びが生じる傾向にある.



図 5 SM400-SUS304 材破断後



図 6 SM490-SUS821L1 材破断後

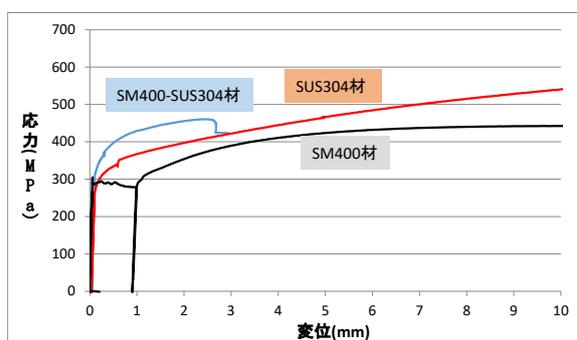


図 7 応力-変位曲線の例 (SM400-SUS304)

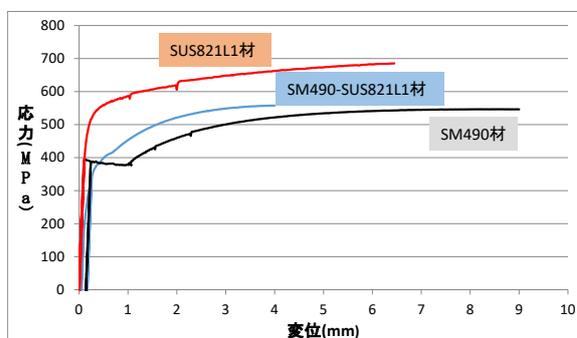


図 8 応力-変位曲線の例 (SM490-SUS821L1)

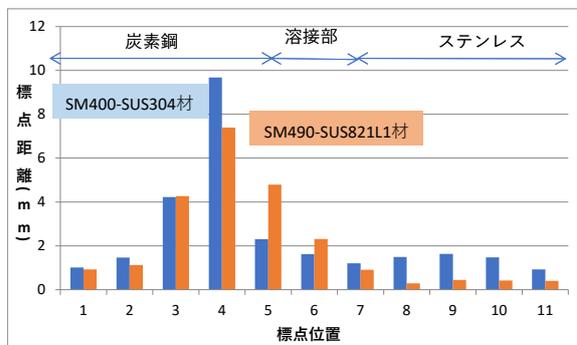


図 9 標点距離

低温低压型溶射(コールドスプレー)の施工速度と防食皮膜の成膜特性に関する研究

琉球大学 ○新田健太, 坂崎稜, 田井政行, 下里哲弘

1. はじめに

伸縮装置からの漏水が生じやすい鋼桁端部や塗装膜厚の確保が困難な高力ボルト継手部及び部材コバ面は、鋼橋の腐食弱点部となっている。一般的に鋼橋の防食は防食下地にジンクリッチペイント等を適用した重防食塗装が挙げられる。しかしながら、鋼橋の補修に適用する場合、ブラスト処理等により鋼材表面上の腐食生成物や腐食因子の除去、粗面化処理が必要であるが、上述の腐食弱点部では構造上ブラスト処理を適用することが困難である。さらに補修箇所の錆の除去が不十分であった場合、場合によっては残存錆を起点として早期に再劣化に至ることがしばしば見られる(写真1)。それゆえ、ブラスト処理等を必要としない残存錆上からの防食技術が求められている。

近年、このような課題に対して高い防食性能を有する金属皮膜の成膜が可能な低温低压型溶射(Cold Spray, 以下CS工法)が注目されている(写真2)。ブラスト効果が期待できるアルミナ粉体と犠牲防食効果を持つ亜鉛粉体を融点・軟化温度より低温状態で基材面に超音速で衝突させることで、基材面に強固な防食皮膜を積層させる技術であり、錆鋼板上に対しても高い防食性能を持つことが報告されている¹⁾。

一方、CS工法による防食皮膜は高い防食性能を有するものの、目標膜厚100 μ mを達成するためには施工速度を極めて低速とする必要があり、実橋の桁端部のような広範囲への適用を考えた場合、施工性を改善する必要がある。

そこで本研究では、CS工法の施工性改善の基礎的資料を作成することを目的に、施工速度と防食皮膜の成膜特性について基礎的検討を行った。

2. CS工法の施工速度と皮膜膜厚特性

CS工法の施工速度による防食皮膜の成膜状況を比較するために、施工速度をパラメータとした施工試験を行った。以下にその概要を示す。

2.1 施工パラメータ

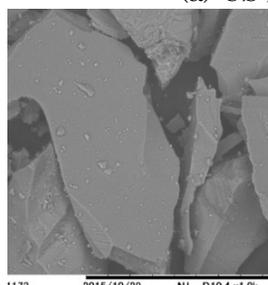
本研究の試験体は100×180mmの普通鋼板を使用



写真1 補修箇所からの再劣化例



(a) CS施工機器



(b) アルミナ粉体 (c) 亜鉛粉体

写真2 CS工法の施工機器と使用粉体



枠内のみを評価する



写真3 施工前の試験体

写真4 施工風景

表-1 施工パラメータ

case	速度	倍率
case1	1.9mm/sec	—
case2	5.7mm/sec	3倍
case3	9.5mm/sec	6.3倍
case4	13.3mm/sec	7倍

キーワード 低温低压型溶射, 施工速度, アドヒージョン試験, 膜厚

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

し(写真 3), 低温低圧型溶射器の吹き付け角度は 90° , 吹き付け間隔は 10mm として施工を行った(写真 4). 吹き付け速度は, 1.9, 5.7, 9.5, 13.3(mm/sec) の 4 パターンとした(表-1). また, 膜厚は電磁膜厚計を用いて施工箇所の計測を 10 か所行い, その平均値より評価を行った. なお, 本研究では施工速度の違いが成膜特性に及ぼす影響の基礎的検討として, 金属粉体は亜鉛 100%とした.

2.2 施工速度と皮膜膜厚の関係

施工速度と成膜された皮膜膜厚の関係を図-1 に示す. 図より, 施工速度が速くなるほど成膜される皮膜膜厚が低下することがわかる. 施工速度 1.9mm/sec と比較すると, 施工速度を 7 倍にすると皮膜膜厚は約 6 分の 1 程度になるといえる. なお, 本施工速度の範囲では, 施工速度 9.5mm/sec 以上では, 施工速度と皮膜膜厚に大きな変化は見られなかった.

3. CS 工法の施工速度と密着力特性

2 章で用いた試験体に対して, アドヒージョン試験により密着力の計測を行い, 施工速度の違いと密着力の関係について検討を行った.

3.1 アドヒージョン試験の概要

施工した皮膜と素地の密着力をアドヒージョン試験により測定した(写真 5). 施工速度の異なる皮膜に対して, 専用の接着剤を均一に塗布し, ドリーを貼り付ける. 接着剤が硬化後, ドリーカッターを用いてドリーの周囲を鋼板素地まで切り込みを入れる. そして, 引張力を加えてから 90 秒以内に試験体の破壊が起きるように 1MPa/sec を超えない荷重増加速度で引張力を与え, 試験体が破壊した引張力を記録する. 本研究では, 各施工速度に対して 3 ヶ所計測を行い, その平均値を結果として評価した.

3.2 施工速度と密着力の関係

図-2 に施工速度と密着力の関係を示す. 図より全ての施工速度で 10MPa を超えた値を示しており, 施工速度を増加させたとしても CS 層の密着力には大きな影響を及ぼさないといえる. これは, 図に示すアドヒージョン試験後のドリーと鋼材の破壊断面より, 全てのケースにおいて CS 層内の凝集破壊が生じているためであり, 鋼板面と CS 層の密着力はいずれの施工速度であっても 10MPa 以上であるといえる.

4. まとめ

1) CS の施工速度を早くするほど, 成膜される膜厚

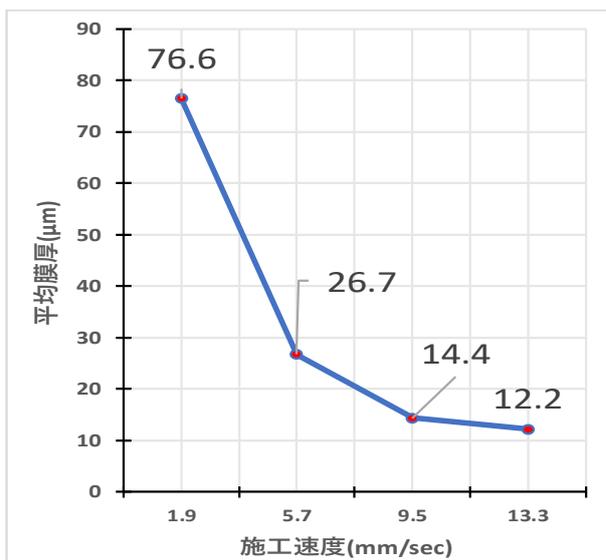


図-1 施工速度と皮膜膜厚の関係



写真 5 使用試験機

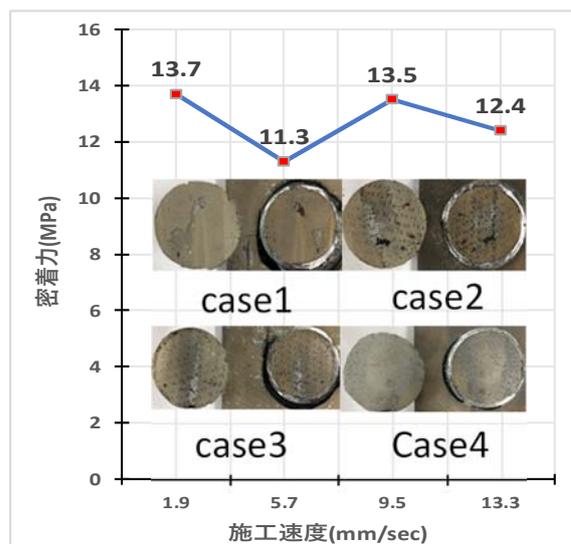


図-2 施工速度と密着力の関係

は低下する. 施工速度を 7 倍速くすると皮膜膜厚は約 6 分の 1 となった.

2) CS 層の密着力は施工速度に依存せず, いずれの速度であっても 10MPa 以上となる傾向が得られた.

今後は, アルミナ・亜鉛混合粉体での特性を確認するとともに, 施工速度毎の皮膜層の防食効果の検討を行う予定である.

参考文献

- 1) 加藤祐介, 下里哲弘, 田井政行, 押川渡, 日和裕介: 亜鉛アルミナ混合粉体を用いた Cold Spray 工法で成膜されたさび鋼板上の防食皮膜の電気化学特性, 鋼構造論文集, Vol.26, No.102, pp.33-42, 2019.

腐食鋼 I 桁端部の当て板ボルト補修に関する研究

琉球大学 ○横田 拓己, 田井 政行, 下里 哲弘

1. はじめに

鋼橋の桁端部は腐食減肉が生じやすく、減肉に伴いせん断耐荷力の低下が報告されている¹⁾。このような腐食に対する補修法の一つに、当て板ボルト補修法があるが、補修に使用する当て板のすべり耐力がせん断耐荷力の回復効果に及ぼす影響は明らかとなっていない。

そこで本研究では、当て板ボルト工法のすべり耐力が、せん断耐荷力の回復効果に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。検討にあたっては、まず、すべり耐力(ボルト軸力)をパラメータに当て板を適用したせん断耐荷力試験を行った。次に当て板ボルト補修工法による回復効果を評価可能な FEA モデルを構築し、すべり耐力が回復効果に及ぼす影響を検討した。

2. せん断耐荷力試験

2.1 試験体概要

試験体は減肉による下フランジウェブ首溶接部近傍の破断を再現した切り上げモデルと、切り上げモデルにF10TM20の高力ボルトに軸力45kNもしくは90kNとして当て板ボルト工法を適用した軸力45kNモデル及び軸力90kNモデルの3体とした。なお、着目パネルのウェブの板厚は3.2mm、当て板の板厚はウェブ側を4.5mm、下フランジ側を9mmとした。

2.2 試験方法

せん断耐荷力試験の荷重状況を写真1に示す。この試験は、2点荷重及び2点支持、中央の着目パネルで曲げが小さく、せん断力が卓越する桁端部の断面力をできるだけ再現した試験装置としている。荷重試験は変位制御により行い、2本の1000kN油圧荷重機を用いて行った。

2.3 せん断力-鉛直変位関係

図1に各試験から得られたせん断力と鉛直変位の関係を実線で示す。鉛直変位は荷重装置2の直下変位を使用した。切り上げモデルと比較すると、各当て板モデルの剛性に差異はなく、当て板による剛性の回復効果はそれほど期待できないといえる。一方、最大耐荷力に関しては、ボルト軸力45kN程度では切り上げモデルと大きな差異は見られなかったが、ボルト軸力90kNのモデルでは増大傾向を示しており、すべり耐力が増加することで当て板ボルト工法による回復効果が増加すると考えられる。この回復効果の差異について、次章のFEAにより検討を行う。

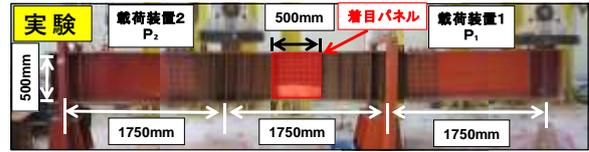


写真1 せん断耐荷力試験荷重状況

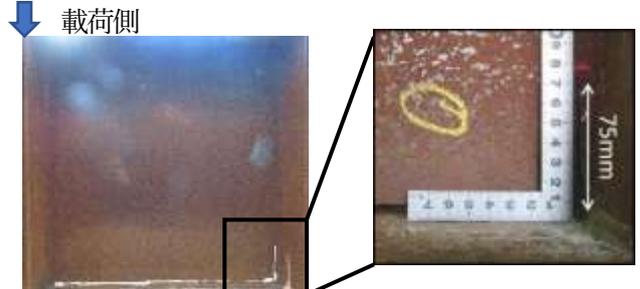


写真2 着目パネル

表1 試験パラメータ

試験体パラメータ	
1	切り上げのみ
2,3	軸力45kN or 90kN

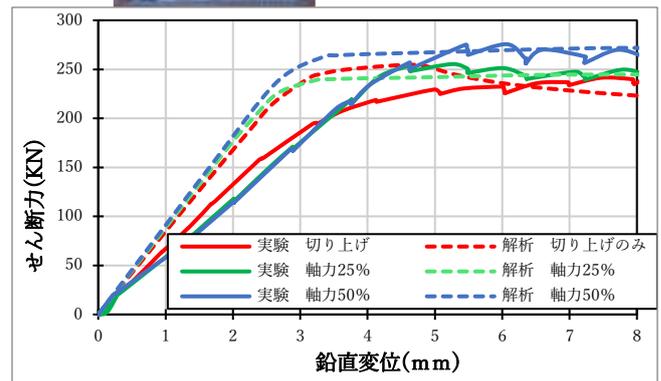


図1 せん断力-鉛直変位関係 比較

3. FEAによる耐荷力回復効果に及ぼす当て板すべり耐力の影響

3.1 解析モデル概要

前章で試験を行った試験体を再現した解析モデルと着目パネルを図2、図3に示す。このモデルでは当て板ボルト補修のすべり挙動を解析的に再現するために試験体と当て板をshell要素、ボルトにはsolid要素を用いて解析モデルを作成した。材料定数はヤング率200GPa、ポアソン比0.3とし、着目ウェブの降伏応力はミルシート値より328MPaとし、その他の部材も同様にミルシート値の結果を用いた着目ウェブ。母材と当て板の間には接触を定義し、その摩擦係数は2種ケレン時のすべり試験結果を参考に0.25とした。なおボルト軸力は荷重試験時の軸力を用いた。

キーワード 当て板ボルト補修 せん断耐荷力 すべり耐力

連絡先: 〒901-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 琉球大学工学部 環境建設工学科

3.2 解析モデルの再現性の検討

前節で提案した解析モデルの再現性を検証するために実験結果と解析結果との比較検証を行った。図1に実験値と解析値で比較を示す。図より、初期剛性に関しては差異があるものの、最大荷重などはいずれのケースにおいても概ね等しい結果が得られており、本解析モデルにより当て板補修挙動を概ね再現可能できると考えられる。

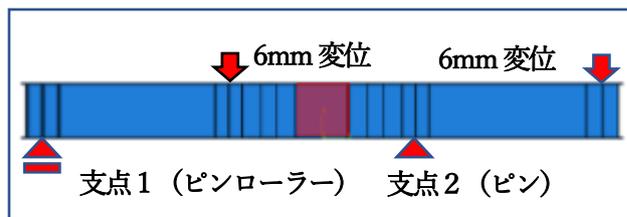


図2 解析モデル

3.3 せん断耐力に及ぼす当て板のすべり耐力の影響

解析結果のせん断力-鉛直変位関係を図5に示す。各モデルを比較すると、載荷試験時と同様にボルトの締め付け軸力による剛性の回復はほぼ見られなかった。また、締め付け軸力が高い方がせん断耐力の回復効果は上昇する傾向が見られたが、軸力135kNと軸力180kNではせん断耐力の違いがあまり見られなかった。

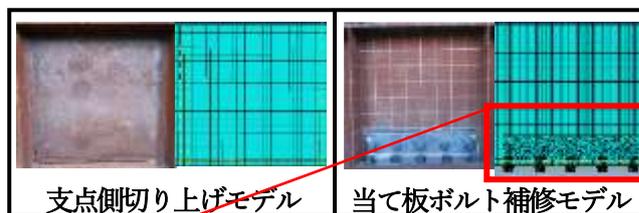


図3 解析 着目パネル

締め付け軸力の違いによるせん断耐力の回復効果の差異を検討するために、着目パネル中心点のせん断力-面外変形関係を図6に示す。これより、等しい載荷荷重条件下において、締め付け軸力の増加に伴い、ウェブの面外変形が抑制される傾向にあるといえる。なお、せん断耐力に差異がみられなかった軸力135kNと180kNには面外変形挙動にも差異がみられなかった。

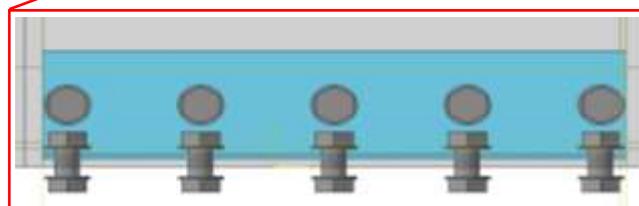


図4 ボルト軸力導入図

面外変形の大小がせん断耐力に及ぼす影響を検討するために、せん断力240kN時の着目ウェブの軸力45kN及び135kNのモデルのvon Mises応力分布を図7に示す。なお、図中の灰色は降伏領域を示している。これより、導入軸力が低い、すなわちすべり耐力が低い場合、ウェブの面外変形が生じやすく、その面外変形が曲げひずみの増大を生じにくくなることで、斜張力場の塑性化を抑制するため、すべり耐力の違いによりせん断耐力の回復効果に差異が生じると考えられる。

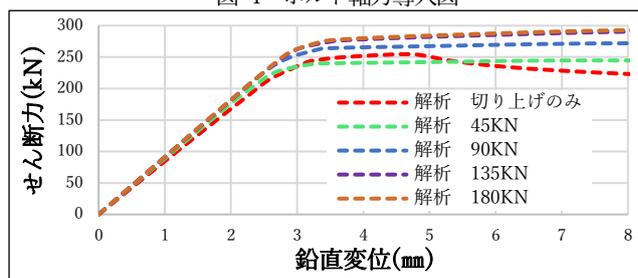


図5 せん断力-鉛直変位関係

4. まとめ

- (1) 当て板のすべり耐力(ボルト軸力)が上がるほどせん断耐力の回復効果は高いが、剛性に対する影響は少ない。
- (2) ボルト軸力増大によるすべり耐力の増加により面外変形が抑制される。面外変形に伴う曲げひずみの増大が生じにくくなることで、斜張力場の塑性化を抑制するため、すべり耐力の違いによりせん断耐力の回復効果に差異が生じると考えられる。

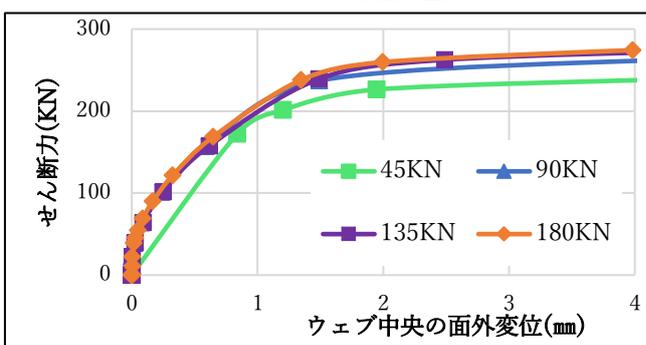


図6 せん断力-面外変位関係

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究，ISSN1346-7328，国総研資料第294号，2006。

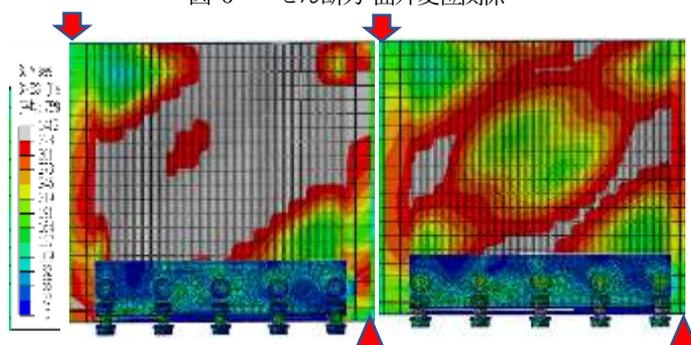


図7 von Mises 応力分布図(左:軸力 45kN, 右:軸力 135kN)

腐食凹凸面に対する防食皮膜厚とすべり耐力に関する研究

琉球大学 ○坂本健太 下里哲弘 田井政行

1.はじめに

一般的に、鋼橋における劣化現象として腐食損傷が挙げられる。腐食損傷は桁端部での発生が多く、損傷の状況に応じて、断面欠損や破断が生じ、鋼橋の耐力が低下することが懸念されている。腐食箇所への補修法として、図1の当て板ボルト補修法が挙げられる。現行では、錆除去としての二種ケレンや減少した板厚への金属パテ等を施し、当て板との接触表面を平滑化することが求められる。しかしながら、平滑化の作業には手間を要する場合がある。平滑処理を施すことなく補修効果が得られれば、効果的かつ効率的な補修を行うことが可能となるが、腐食凹凸面に対するすべり耐力の定量的な評価は十分に行われていない。

本研究では、腐食凹凸面に防食皮膜厚を塗膜し、防食皮膜厚と摩擦係数の関係を明らかにすることを目的として、実橋梁より採取した腐食鋼板を用いたすべり試験を実施した。

2.鋼板の腐食凹凸度評価

試験体に使用した腐食材は、実橋梁から採取した鋼材(SMA490Y 公称板厚 9mm)である。腐食材表面の凹凸度を評価するためにレーザー変位計を用いて腐食表面を 2mm 間隔で計測を実施した。なお、腐食深さ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。使用したレーザー変位計を写真1、性能を表1に示す。図2に本研究で用いた腐食材の腐食凹凸度の関係を示す。このグラフより平均腐食深さが大きくなるに伴い、腐食凹凸度が増加することが確認できる。なお、腐食凹凸度は腐食深さの相対度数(%)のバラつきである。腐食凹凸度に応じてバラつきの範囲が異なる。これらの異なるバラつきの範囲を腐食凹凸度と定義する。例として、腐食凹凸度が異なる試験体とコンター図を図3に示す。

3.当て板ボルト補修法のすべり耐力評価

3-1.試験体形状と防食皮膜パラメータ

腐食材を用いて作成した高力ボルト摩擦接合継手試験体を図4に示す。母材の片側を腐食材、もう片側には新材を使用した。また、ボルトは F10TM20 の高力ボルトを使用し、腐食側のボルト軸部にひずみゲージを貼り付け、ひずみゲージの導入軸力が道路橋示方書¹⁾を参考に所定の軸力を満たすように締め付けを実施した。

鋼材表面の加工処理方法は、純粋に腐食凹凸と摩擦係数の関係の評価したいので、無機ジंकリッチ

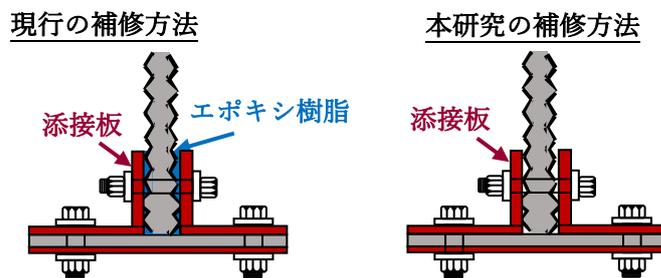


図1 当て板ボルト補修法



写真1 レーザー変位計

表1 レーザー変位計の性能

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

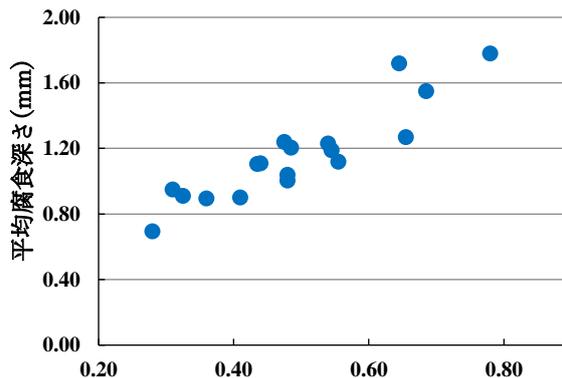


図2 腐食凹凸度

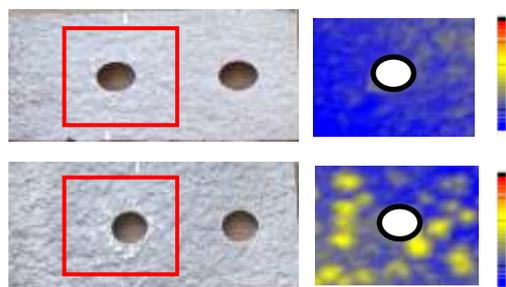


図3 腐食鋼板の一例

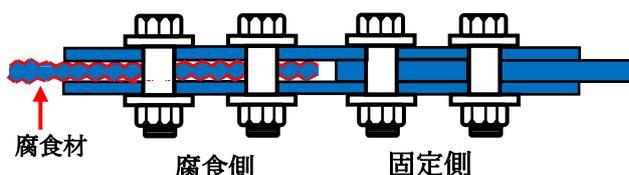


図4 高力ボルト摩擦接合継手試験体

キーワード 当て板補修, 腐食凹凸, 防食皮膜, すべり耐力, 摩擦係数

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

ペイント(以下,無機ジンク)を採用した.試験体のパラメータとして,母材と添接板の膜厚をそれぞれ100 μ mと300 μ mと設定し,すべり試験を実施した.表2に試験体のパラメータを示す.

3-2.防食皮膜厚とすべり耐力の関係

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耐力をボルト軸力で除した摩擦係数で評価を行った.なお,本試験では写真2に示すように,すべりという現象を明確に判断するために母材と添接板の対応箇所で相対変位を計測した.計測結果の一例を図5に示す.図5より,最大荷重を引張荷重と定義した.

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

μ :摩擦係数, P:引張荷重(最大荷重)

m:接触面数, n:ボルト本数, N:ボルト軸力

図6は摩擦係数-腐食凹凸度の結果を示す.結果より,腐食凹凸面に対し,腐食凹凸度の増加に伴い,摩擦係数が低下する傾向が確認できた.この理由としては,腐食凹凸度の増加に伴い,腐食面と添接板の接触箇所が減少しているため,このような結果になったのではないかと考えられる.

現行の示方書等²⁾では無機ジンクの膜厚の規定値は75-100 μ mである.この規定値を基準に,膜厚増加に伴う,摩擦係数への評価を実施する.

新材では,規定値75-100 μ mと比較して,母材と添接板の膜厚が厚膜になるに伴い,摩擦係数が増加する傾向が確認できる.これらの傾向は母材もしくは添接板の膜厚が厚膜時においても確認できる.

腐食材においても,新材と同様に,厚膜になるに伴い,摩擦係数が増加する傾向が確認できる.これらの傾向も母材もしくは添接板の膜厚が厚膜時においても確認できる.

以上の結果より,新材と腐食材ともに規定値の膜厚に対して,厚膜にすることで摩擦係数が上昇する可能性を確認することができる.

4.まとめ

- (1)腐食凹凸面に対し,表面処理を無機ジンク加工した場合,腐食材よりも新材の摩擦係数が高くなることが確認することができた.
- (2)腐食凹凸度の増加に伴い,摩擦係数が減少する傾向を確認することができた.摩擦係数が減少した要因として,腐食面と添接板の接触箇所の減少により,このような結果になったのではないかと考えられる.
- (3)新材と腐食材ともに規定値の無機ジンクに対して,厚膜にすることで摩擦係数が増加する傾向を確認することができた.

参考文献

- (1) 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 2017.11
- (2) 日本道路協会 鋼道路橋防食便覧 II 塗装編 2014.3

表2 引張試験パラメータ

試験体名	使用鋼材	無機ジンク		母材	添接板	試験体数
		母材	添接板	材質	材質	
Ne1-50	新材	300 μ m		SM490	SS400	3
Ne2-50		100 μ m		SM490	SS400	3
Ne3-50		100 μ m	300 μ m	SM490	SS400	1
Ne4-50		300 μ m	100 μ m	SM490	SS400	1
Co1-50	腐食材	300 μ m		SM490	SS400	18
Co2-50		100 μ m		SM490	SS400	18
Co3-50		100 μ m	300 μ m	SM490	SS400	6
Co4-50		300 μ m	100 μ m	SM490	SS400	6

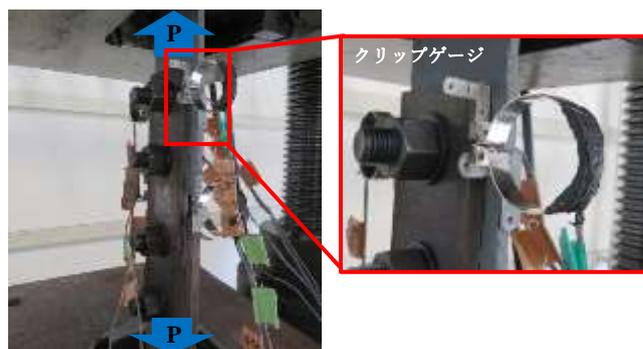


写真2 相対変位の計測箇所

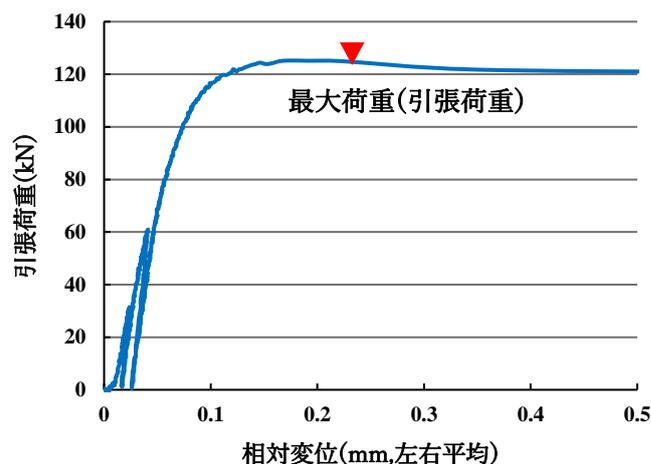


図5 相対変位の計測結果(一例)

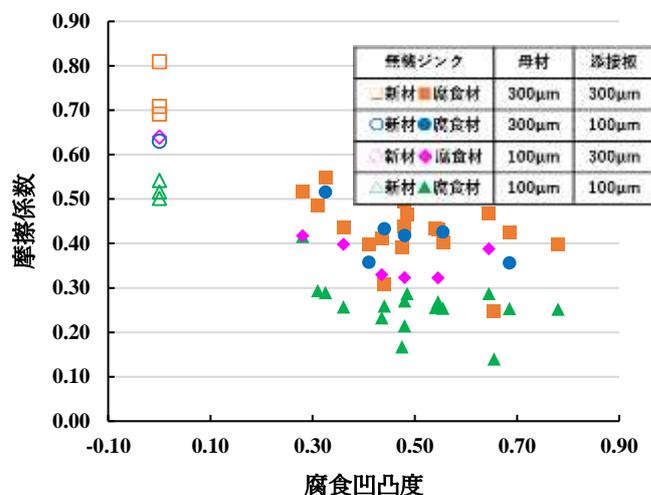


図6 摩擦係数-腐食凹凸度

Session 2 : 建設・整備

県道 20 号線（泡瀬工区）橋梁整備事業における コンクリート構造物品質確保の取り組みについて

中部土木事務所 中城湾港建設現場事務所 ○主任 山田 義琢
主任技師 小島 健太郎

1. はじめに

県道 20 号線（泡瀬工区）橋梁整備事業は、沖縄本島中部東海岸に位置する中城湾港（泡瀬地区）人工島へのアクセス道路として、延長 810m、4 車線の海上橋を新設するものである。

道路規格	第 4 種第 1 級
設計速度	60 km/h
設計荷重	B 活荷重
橋長	L=810.0m (142.750m + 667.250m)
有効幅員	歩道3.500m+車道7.250m~7.831m+歩道3.50m
塩害対策区分	A 地域-S 区分
上部工形式	ポストテンション方式PC6径間中空床板桁 (A1~P6) PC12径間連続箱桁 (P6~A2)
下部工形式	逆 T 式橋台、壁式橋脚、二柱式橋脚
基礎工形式	鋼管杭 φ1100, (A1: φ1000)
使用材料 (上部工)	コンクリート $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$, 鉄筋SD345
使用材料 (下部工)	コンクリート $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$, 鉄筋SD345
使用材料 (基礎工)	鋼管杭SKK400, SKK490
適用示方書	道路橋示方書・同解説 I~V (平成24年3月)



図 1 橋梁諸元

図 2 位置図

本橋は、海上橋における 100 年耐久を目標とし、これまでの離島架橋の建設と維持管理の経験を踏まえ、フライアッシュコンクリート（以下、FAC と称す）やエポキシ樹脂塗装鉄筋等、設計段階において高耐久資材を選定している。

しかし、施工段階においてコンクリート表層品質に不具合が発生すると、そこが弱点となり、設計段階で想定した本来の耐久性が発揮されない事態となり得る。

そこで本事業では、コンクリート部材の経年的な劣化に対してより一層の耐久性を確保できるように、施工品質の向上によるコンクリート構造物の品質確保に取り組んだ。

2. 品質確保の取り組みの試行

本試行は、「周知会」、「施工状況の把握」、「表層目視評価」の 3 つのステップで構成され、発注者と施工者の協働により品質確保に取り組むための手法であり、平成 30 年度施工の橋梁下部工工事 8 件を対象工事とし、累計 35 回の打設で試行をおこなった。

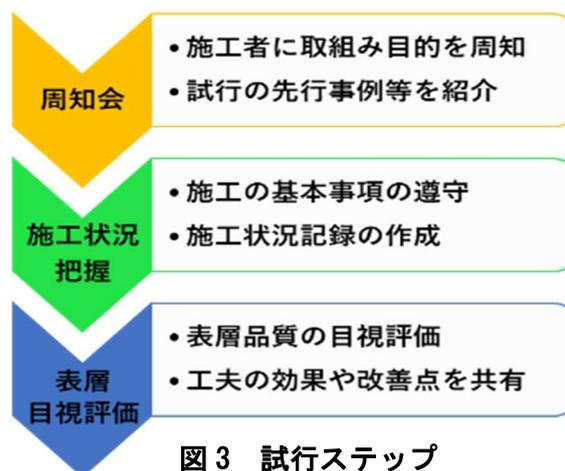


図 3 試行ステップ

キーワード 品質確保 施工状況把握チェックシート 表層目視評価 協働
連絡先 〒904-2162 沖縄市海邦町 3-45 中部土木事務所 中城湾港建設現場事務所
E-mail : yamadato@pref.okinawa.lg.jp

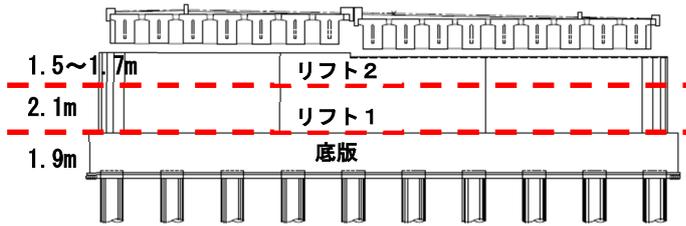


図4 壁式橋脚リフト図(P1 下部工)

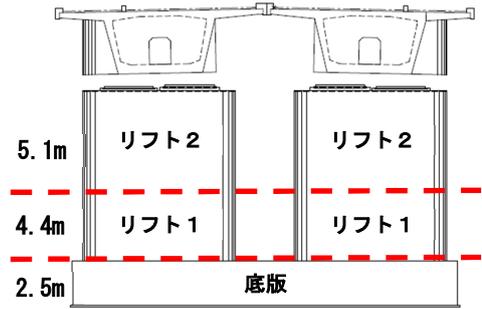


図5 二柱式橋脚リフト図(P12 下部工)

2. 1. 周知会

打設に先立ち、元請けだけでなく、下請けや生コン組合などを含めた施工者に対し、発注者から取り組みの意図を伝えるため、周知会を開催した。また、試行目的に加え、中部管内で初めてFACを使用することから、その効果・性状などを周知や、山口県や沖総局の先行事例や他工区での試行結果などの事例を交え、品質確保への理解を深めた。



写真1 周知会の様子

資料の流れ

【沖縄県版】コンクリート構造物の品質・耐久性確保システムの構築に向けた試行

- ・コンクリート構造物の品質確保とは
(山口県の先駆的取り組み紹介)
- ・H29年度沖総局の試行工事
(南風原バイパス DP2,DP1)
- ・県道20号線(泡施工区)における品質確保について
(FACと品質確保システム)

図6 周知会資料

2. 1. 施工状況把握チェックシート

施工状況把握チェックシートは、施工における基本事項の実施状況を臨場確認するため、コンクリート標準示方書〔施工編〕に示される準備から養生までの基本事項を抽出したチェックシートである。

本試行では、「コンクリート構造物品質確保ガイド」(山口県土木建築部)に示された施工状況把握チェックシートに加え、FACを使用することから、「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(案)」(沖縄県土木建築部)に示されたチェックシートを組み合わせるものを用いた。

事務所名	工事名	工区		
		リフト		
構造物名	部位			
受注者	確認者			
配合	確認日時			
打込み開始時刻	予定	実績	打込み開始時気温	天候
打込み終了時刻	予定	実績	打込み量(m ³)	リフト高(m)
施工段階	チェック項目	メモ	記述	確認
準備	運搬設置・打込み設備は汚れていないか。			-
	型枠前は濡みせているか。			-
	型枠内底面にコンクリートがこぼれていないか。			-
	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(案)より追加			-
	硬化したコンクリートの表面のレイアウト			-
	コンクリート打込み作業員 ¹⁾ に余裕を持たせているか。			-
	予備のバイブレータを準備しているか。			-
	昇電機トラブルがないよう、事前にチェックをしているか。			-
	コンクリート打込み作業員に安全確認しているか。			-
	投入検査以外に高速復打を行ったか。			-
運搬	降り盛せてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。			-
	ポンプや配管内部の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。			-

図7 施工状況把握チェックシート

2. 2. 表層目視評価シート

表層目視評価シートは、脱型後のコンクリート表面を近接目視により確認し、施工により生じた不具合の程度について、1～4点の評価を行うものである。本試行では、「コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）」（国土交通省東北地方整備局）に示される表層目視評価シートの「沈みひび割れ、表面気泡、打ち重ね線、ノロ漏れ、砂すじ」の5項目に、駆体幅が大きいことから「温度応力ひび割れ」の1項目を追加し使用した。

発注者名	工事名	工種			
調査地点	部位	状況			
発注者	確認者				
観測	確認日時				
一般向け「見とられる範囲」					
評価項目 沈みひび割れ ひび割れ 表面気泡 打ち重ね線 ノロ漏れ 砂すじ 温度応力ひび割れ	4点	3点	2点	1点	評価基準 詳細を要する
	4点：沈みひび割れが深さ約1cmあり、長さ約1mあり、幅約0.5mmあり。 3点：沈みひび割れが深さ約0.5cmあり、長さ約0.5mあり、幅約0.2mmあり。 2点：沈みひび割れが深さ約0.2cmあり、長さ約0.2mあり、幅約0.1mmあり。 1点：沈みひび割れが深さ約0.1cmあり、長さ約0.1mあり、幅約0.05mmあり。				

図8 表層目視評価シート

3. 試行結果

3. 1. 施工状況の確認

長時間の施工に臨場することで、発注者の取り組み意識が伝わり、現場に変化が見られるようになった。チェックシートを片手に、「この項目についてどうだろうか」、「あの状況についてどう思うか」等と元請けと対話するうち、下請けからも直接質問があがるなど、良い品質を求めようとする現場の雰囲気を感じられた。

また、現場の意識が変化することで協働的な対話が生まれ、施工にも良い変化が見られた。元請けの指示はより積極的かつ具体的なものとなり、指示を受けた下請けは、施工にきめ細やかな配慮をするようになる。発注者からの指示の意図も現場の隅々まで伝わるようになり、発注者と施工者が一体となって施工に取り組むことができた。

試行により、発注者の取り組み姿勢を示すことで、現場の意識を変え、それにより生まれた対話により施工品質が向上する結果となった。



写真2 打設状況



写真3 施工状況確認

3. 1. 1. ブリージング水の除去

FAC はブリージング水が少ない傾向にあるが、単位水量の多いコンクリートを荷下ろしした場合、通常のコンクリートと同様にブリージング水が発生することがある。下請け作業員が懸命にブリージング水を除去するものの、打設面の広さから見落としが生じる。結果、脱型後の表層に、打ち重ね線や砂すじ等が認められた。

そこで次リフト打設時に「あそこのブリージング水は除去すべきではないか」、「除去にあたる作業員が不足しているのではないかと元請けに声をかけると、状況に気がつき現場に指示をおこなう。そういったやりとりをするうち、ブリージング水の除去を元請け自らが専任でおこなうようになり、下請けに対する声かけも顕著に見られるようになった。



写真4 ブリージング水発生状況



写真5 元請けによる除去作業

3. 1. 2. バイブレーターによる締め固め

本橋はかぶり厚が最大90mmと厚く、かぶり箇所にもバイブレーターを挿入して締め固めをおこない、追って再振動をかける等、表層付近を緻密とすることに重点を置いていた。また、本試行では1リフトの打設量が多いことから、2班以上での施工が主であった。班が違えば施工の熟練度にも差がみられ、また、長時間に亘る施工の疲れからか、打設終盤にかけてバイブレーター施工の集中力が乱れているように感じた。その後の目視評価では、天場付近に沈みひび割れや表面気泡が認められたことから、施工が表層品質に現れる結果となった。

そこで次リフト打設時は、終盤にかけての施工状況を注視し、「バイブレーターの挿入時間が短いのではないかと」いった声をかけ、元請けと一緒に2つの班を見比べ、挿入時間や間隔、深度、かけ忘れなどを注視しながら現場を確認してまわった。そうするうち、元請けの確認は主体的となり、下請け同士も相互に施工を確認し合う様子が覗えた。その結果、次第に班の違いによる施工品質の差は軽減されていった。



写真6 かぶり箇所の締め固め

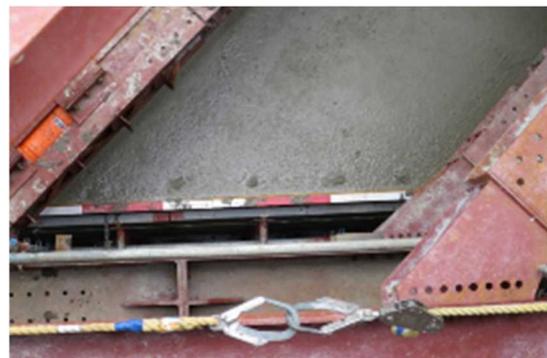


写真7 均等な締め固め間隔

3. 2. 表層目視評価

評価結果から、打設リフトを重ねる毎に評価点が高くなるとは限らないという結果が得られた。この要因として、打設後の養生方法や、施工条件（リフト高・高密度配筋・支保工の支障・長時間打設による疲労等）による表層品質への影響、表層評価者の知見向上に伴う評価視点の変化が、評価結果に現れたものと考えられる。



写真8 打ち重ね線と過振動による模様



写真9 沈みひび割れ・表面気泡

特に養生方法が表層品質に与える影響は大きく、ブルーシートや気泡緩衝マット、粘着養生シートを用いた養生は表層品質の向上に効果的であった。一方で、気象条件や工程上の問題から、養生後に温度応力ひび割れの発生が確認されたケースも見受けられた。

しかし、今回の試行により、施工状況と表層品質の関係について確認することができ、丁寧な施工とは何か、品質の確保されたコンクリート構造物とは何か、ということを理解し、共有することができた。チェックシートと打設状況記録を持ち込み、脱型後の表層と照らし合わせながら評価をおこない、「この黒い模様は打ち重ね箇所の過剰振動によるものではないか」、「この表面気泡は締め固めが甘かった箇所だ」など、施工者との対話により共通認識を持つことで、品質確保に対する意識や知識は確実に向上したと言える。



写真10 協働による表層目視評価



写真11 評価結果の講評

3. 3. 試行に伴うスキルアップ

本試行は、施工品質と表層品質の関係性について理解を深め、品質確保に対する知見が蓄積されるだけでなく、一連の施工に立ち会うことで、作業員や工区単位での違い、施工の流れ、元請けの指示系統など、これまで知ることのなかった多くのことを知り、施工に対する理解をより深めることに繋がった。

チェックシートを用いて施工に立ち会った当初、項目に沿ってチェックはするものの、それがどう品質に影響するか分からず、施工状況記録もほぼ白紙といった状況に、悔しさばかりでなく恥ずかしさすら覚えた。しかし、参考図書を引き、施工者や上司らに指導を受け、荷下ろしされたコンクリートに触れ、何度も施工に立ち会うことで、次第に施工状況に対する理解が深まり、立会時の視界が大きく広がった。

また、表層評価に際しては、なんとなく評価をするものの、施工状況と表層品質が結びつかず、表層品質が構造物に及ぼす影響を具体的に理解していないため、周囲の評価と大きな差異が生じる事もあった。しかしこれも、施工者と上司らの会話に耳を傾け、何度も継続して評価をおこなううち、表層品質に対する理解が深まり、適切な評価をおこなうことができ

るようになっていった。

これらの変化は、8橋脚35回の打設という大きな規模感の中、施工者との協働により品質向上を目指す取り組み方がもたらしたものであり、一体となって継続的に取り組んだ施工者や職員らも、同様の変化を感じていることだろう。

4. 今後の課題

本試行を実施して課題と感じた事は、発注者（特に若手職員）の知識不足である。施工状況と表層品質、表層品質と劣化の因果関係を理解していなければ、施工状況の把握もままならず、適切な表層評価により施工品質向上を促すことは難しい。このため、若手職員に対する研修会や現場見学会による育成、それらを先導する上司の存在が重要であり、組織全体での取り組みが求められる。

また、発注者から元請け、下請け、生コン工場に至るまで、品質確保のための意識向上を図り、県全体の広まりに繋げるためには、数多くの現場で同様の試行に継続して取り組むことが重要となる。このため、取り組みの目的と手法についてのガイドライン整備や、それを施工者と共有する場が必要だと考える。

5. おわりに

施工品質向上によるコンクリート構造物の耐久性確保を目的として試行をおこなった結果、施工者との協働的な取り組みが品質向上に繋がることが判った。

本事業では今後も試行を継続するとともに、手法の改善や脱型後の養生確認の充実、施工者や他事務所への働きかけ等、更なる展開を目指していく。



写真12 令和元年8月施工進捗

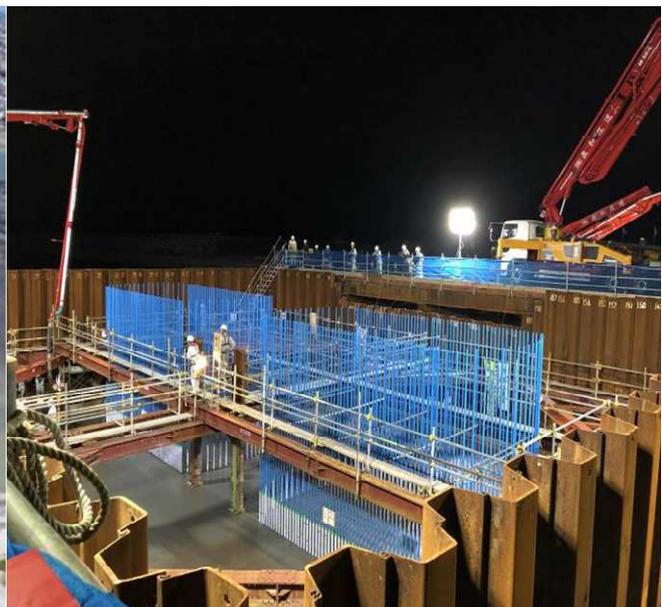


写真13 打設完了状況

国際通りむつみ橋の補修工事について ～閉塞された空間での施工事例紹介～

沖縄県 南部土木事務所 主任技師 照屋 洋八

1 はじめに

沖縄県南部土木事務所では、図1のとおり平成30年度末時点で136橋の橋梁・ボックスカルバートを管理しており、限られた予算の中で路線の重要性や道路特性等を考慮し、順次補修を実施している。今回は、その中で現場条件が特異な県道39号線（以下、「国際通り」と言う）むつみ橋において平成30年度に実施した橋梁補修事例を紹介する。

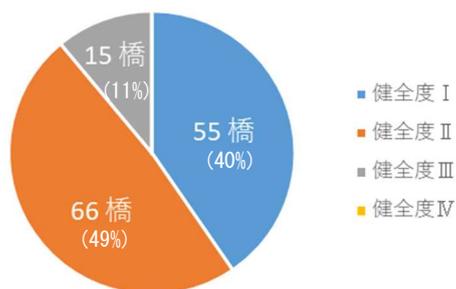


図1 南部管内県管理橋梁の健全度

2 むつみ橋の概況、補修内容

2.1 むつみ橋の諸元等

むつみ橋は、国際通りと公共下水道ガーブ川幹線の交差するむつみ橋交差点に位置する橋長9.4m、単径間のRC単純T桁橋で、1954年（昭和29年）の架設から65年が経過している。橋梁諸元を下記に、位置図及び図面を図2～5に、架設初期及び現在の写真を写真1～2に示す。

【橋梁諸元】

橋 梁 名：むつみ橋

上部工形式：RC単純T桁

下部工形式：逆T式橋台

基礎工形式：不明

橋 長：9.4m

幅 員：17.6m

架 設 年 次：1954年（昭和29年）



図2 むつみ橋位置図

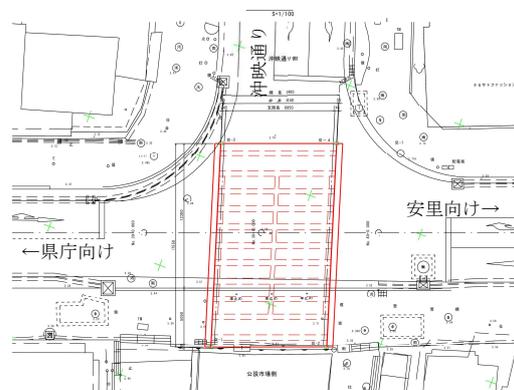


図3 むつみ橋平面図

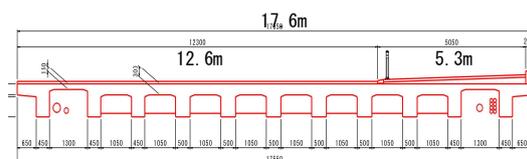


図4 むつみ橋断面図

キーワード 長寿命化、乾式吹付、閉塞された空間

連絡先 〒900-0029 那覇市旭町 116-37 沖縄県南部土木事務所 teruyayh@pref.okinawa.lg.jp

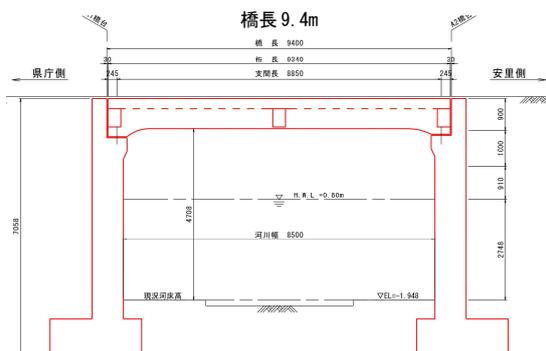


図5 むつみ橋側面図



写真1 架設初期のむつみ橋（安里向け）。
1955年撮影。那覇市歴史博物館提供



写真2 現在のむつみ橋

2. 2 むつみ橋の現場特性

2. 2. 1 閉塞された桁下空間

ガープ川は 1960 年代に開水路をボックスへ改築され、現在農連市場付近からジュ

ンク堂書店付近までの約 950m が暗渠となっている。むつみ橋は直近の下流開渠部から約 400m の位置にあり、桁下へのアクセスは船舶による進入に限られている。

2. 2. 2 過去の水難事故

ガープ川では、平成 21 年度に局地的な大雨に起因する鉄砲水により、農連市場付近で調査をしていた作業員が下流へ流され、4 人の尊い命が失われる水難事故が発生している。むつみ橋の補修工事においても同様の事故が発生することが考えられ、十分に対策を行う必要があった。

2. 3 過年度点検及び調査結果

平成 28 年度に実施した定期点検において、写真 3 のように桁の広範囲に渡り「うき」「鉄筋露出」等が確認され、健全度Ⅲと判定した。



写真3 桁下の鉄筋露出箇所（端部の桁）

次に、平成 29 年度に実施した詳細調査結果を表 1 に示す。

主な劣化要因としては、中性化の進行に伴い鉄筋の防食機能が低下し、そこに水や酸素が供給され、鉄筋が腐食しうきや剥離・鉄筋露出が発生したものである。

特に両端の桁においては、ガープ川ボックスとの継目からの漏水の影響により、鉄

筋の腐食が著しいものであった。

	調査項目				
	外観	はつり (鉄筋腐食)	圧縮強度	塩分含有	中性化
主桁	うき、剥落、鉄筋 露出、断面欠損	軽微 ※1	○	低	高
横桁	うき、剥落、鉄筋 露出、断面欠損	軽微	○	低	高
床版	うき、剥落、鉄筋 露出、断面欠損	軽微	○	低	中
橋台	漏水、ひび	なし	○	低 ※2	低

※1 桁下面は全体に表面的な腐食
※2 感潮区間であり、海水につかる部分は一部やや高い

表1 詳細調査結果の概要

2. 4 補修設計の概要

むつみ橋の補修にあたっては、架設年次から今後長期間の供用を期待するのが難しいと考えられるため、施設の延命を目的として表2のとおり補修を実施することとした。

部材	補修方針
上部工	中性化に対する補修対策
下部工	予防保全の観点からの補修対策

損傷の種類	補修方法
剥離、鉄筋露出、うき	断面修復 + 犠牲陽極材
ひび割れ (0.2~1.0mm)	エポキシ樹脂注入工
損傷以外の箇所	表面含浸工

表2 補修方針及び補修方法

3 補修工事にあたっての課題

3. 1 安全管理

前述のとおり、橋梁の前後約950mが暗渠という特殊性から、事故なく工事を進めるための安全管理が最優先の課題であった。

特に、突発的かつ局地的な大雨による水難事故への対応が求められた。

3. 2 商業地である沿道への配慮

当該箇所は、県都那覇を代表するメインストリートである国際通りや沖映通りに隣接していることから、安全管理を最優先事項としながらも、工事に係る沿道への影響

に配慮する必要があった。

4 課題への対応

4. 1 安全対策

安全対策の検討にあたっては、前述の水難事故後、平成21年10月に那覇市上下水道局が策定した「局地的な大雨に対する下水道施設内作業等の安全対策指針」に基づき、下水道管理者との協議を行いながら次のとおり実施した。

4. 1. 1 ハード対策

増水等の危険時に早急な避難を実現するため、船舶による下流からのアクセスをやめ、むつみ橋から約70m下流にあるガープ川ボックス上(沖映通り車道部)の管理用点検口を工事進入口とした。



写真4 ガープ川ボックス点検口

ボックス内では、現場から進入口まで、通水断面を阻害せず、作業員の移動性を考慮して、H.W.L以上の高さに連続して通路高1.5mの吊足場を設置した。

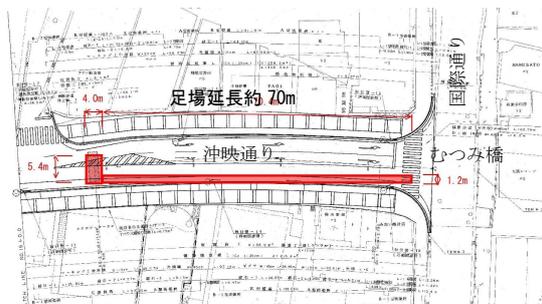


図6 吊足場設置状況

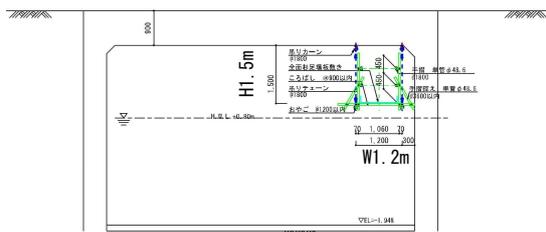


図7 ガーブ川吊足場断面図

これにより、緊急時に走って地上へ避難できる状態を確保した。

4. 1. 2 ソフト対策

上記のほか、危険な状態を把握し対応する手段として、次のようなソフト対策を実施した。

(1) 民間気象予報サービス

降雨の発生をなるべく詳細に把握するため、民間の有料気象予報サービス「安全建設気象モバイルKIYOMASA」(NETIS VE 登録)を導入した。これは、通常市町村単位等の降雨予測範囲を、1kmメッシュで指定することができ、注意喚起アラートメールを現場技術者、作業員、発注者担当(以下、「工事関係者」と言う)に送信する設定とした。



図8 気象予報サービス概要

(2) 水位検知システムによるアラート

ガーブ川上流(神原中学校付近)に水位

検知システムを設置し、一定の水位を超えると自動で工事関係者へアラート通知が来る設定とした。

また、現場内でははつりや吹付工などの作業時にアラートが聞こえないことが想定されるため、現場内及び進入口地上部に設置したパトライトも連動して点灯するようにし、安全性の二重化を図ることとした。

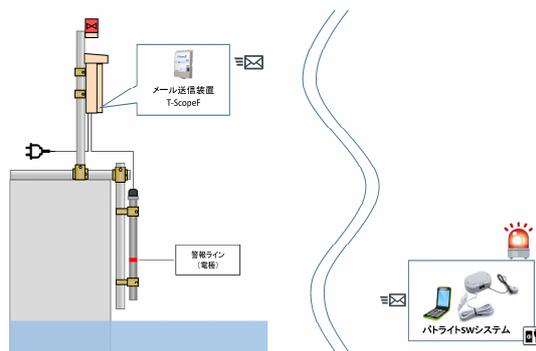


図9 水位検知システムイメージ



写真5 水位検知システム設置状況

(3) 有線電話

むつみ橋桁下が閉塞された空間であることから、携帯電話等の電波が届きにくくなることを想定し、即時に現場と地上で相互に連絡が取れるよう、電話型のインターフォンを設置した。

(4) Webカメラ

ガーブ川上流や現場の状況をリアルタイムに監視できるようにするため、Webカメラを設置し、工事関係者に加え、受注者本社においても日々遠隔で監視する体制とした。



写真6 Webカメラ設置状況

当該カメラは、パソコンやスマートフォンから 24 時間リアルタイムで動画を見ることができ、防水防塵、四方ほぼ 360°、赤外線ライトにより暗闇でも監視が可能。Webカメラについては、近年低コスト化が進んでおり、通信費を含み 1 基当たり 35,000 円/月程度でリースが可能であった。

4. 2 安全対策に対応する工法など

4. 2. 1 乾式吹付の採用

剥離、鉄筋露出箇所の断面修復にあたっては、暗渠内における補修材料の人力運搬が容易ではないことから、材料をホースで圧送できる吹付工法とした。

また、吹付工では通常実績の多い湿式ではなく、下記の理由から、吹付け直前のノズル部分にてポリマーセメントモルタルと水を混合する乾式吹付工法 (NETIS VR 登録) を採用した。

- ・サイロからの水平搬送距離が 300m まで可能なため、スペースに余裕のない国際通り上ではなく、工事進入口に機材を設置し、材料を圧送することが可能。
- ・1 回当たりの施工数量が少ない作業条件ではあるが、ホース内材料は未混合のため、

長時間の作業中断が可能。(湿式の場合、中断でホース内に残存する材料が無駄になる)

- ・高速吹付により高密度断面が形成され、防錆効果が高い。

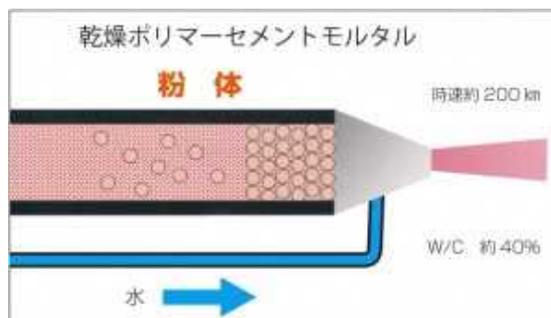


図10 乾式吹付 混合イメージ



写真7 吹付作業状況

4. 2. 2 沖映通りの占用

前述のとおり、安全対策のため沖映通り上にあるガープ川ボックス点検口を工事進入口としたことから、車道を常時仮囲いして占用する必要が生じた。

しかし、沿道はほとんどが飲食店やホテル、金融機関などの商業施設であり、美栄橋駅への歩行者も多いことから、交通規制や沿道への影響に配慮が求められた。

(1) 機材配置等の工夫による車線確保

沖映通りで従前どおりの片側 1 車線双方向通行を確保するため、点検口の開口は人の出入りに必要な最小限とし、吹付関係機

材は道路縦断方向へ工夫して配置することとした。これにより、図 11 のとおり車道占用を幅 5 m の範囲に収め、停車帯は減少したものの、交通への影響を最小限とし、沿道の事業者をはじめ、道路管理者、交通管理者の理解を得ることができた。

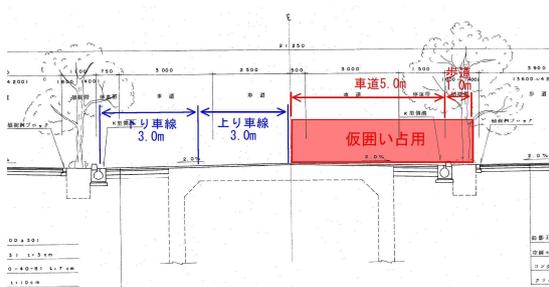
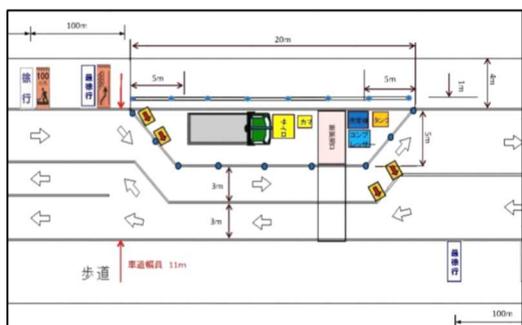


図 11 交通規制概略図

(2) 店舗視認性への配慮

占用箇所は安全対策等のため高さ 2 m の仮囲いをする事としていたが、隣接する店舗の様子や看板が見えない等のご意見を頂いたことから、高さを 1.2m 程度に抑え、かつメッシュ式の視認性のよい仮囲い柵とした。



写真 8 視認性のよい仮囲い

5 結果まとめ

むつみ橋は特異な現場条件であり、施工計画の立案に難渋したが、当初より安全管理を最優先事項と定め、それに合わせて工法や影響する諸条件を整理することで施工計画の全体最適化を図り、無事に工事を完成することができた。

これにより、沖縄観光の顔である国際通りの安全・円滑な交通が当面確保されたと考えている。



写真 9 施工前後の比較写真



写真 10 竣工全景

6 今後の検討事項

むつみ橋は架橋からすでに 65 年が経過しており、いずれは架け替え等の対応が避けられないものと考えている。

令和 2 年度には、補修後の経過確認及び健全性の回復を評価するための橋梁点検を前倒しで実施する予定だが、今後の耐用年数を判断するためのモニタリング方法等についても併せて検討して参りたい。

北部国道管内における橋梁保全の取り組み

照屋 淳・高良 茂宏

沖縄総合事務局 北部国道事務所 名護維持出張所 (〒905-0012 沖縄県名護市名護4618-34)

厳しい塩害環境下にある北部国道事務所管内（以下「管内」とよぶ）は橋梁の劣化が著しく、特にコンクリート橋では鉄筋腐食によるひび割れや浮きが確認されている。北部国道事務所ではこのように劣化した橋梁において、大規模な修繕に至る前に対策を実施し、橋梁の長寿命化と対策コストの縮減を図っている。本論はその取り組みを紹介するものである。

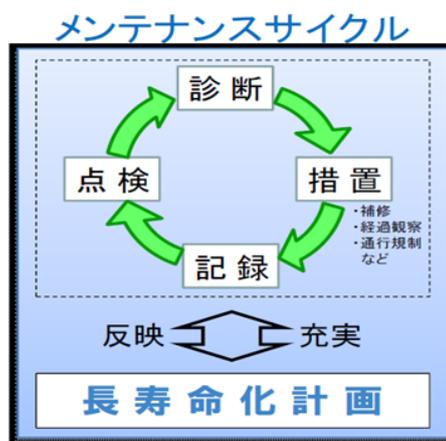
キーワード 予防保全、長寿命化、健全度

1. 管内における橋梁の現状

海に囲まれた沖縄の橋梁では、飛来塩分がコンクリートに付着・浸透しやすい環境にあり、特に昭和47年の本土復帰以降に架設された橋梁を中心に、コンクリート橋ではひび割れや鉄筋の露出、鋼橋においては鋼材の腐食が多く確認されている。



塩害による橋梁の劣化・損傷が深刻化してから大規模な修繕を行うと、橋梁の架け替えに至るサイクルが短くなり、結果的にライフサイクルコストが高くなる。ライフサイクルコストを縮減するためには、劣化・損傷が軽微な段階で修繕を行い、橋梁の長寿命化を図ることが必要である。



なお、現在の橋梁の点検は、道路巡回による目視点検のほか、5年に1回の定期点検により、状態を確認している状況である。



2. 定期点検・補修の進め方

管内には164橋の橋梁（新設橋を除く）があり、定期点検が平成30年度で終了し、今年度は一巡して27橋の点検を予定している。

【各年度の橋梁点検】

年度	H26	H27	H28	H29	H30	計
橋梁数	27	33	28	45	31	164

H26～H30年度の点検で管内の全164橋を一巡

R元年度はH26年度に実施した27橋を点検予定

定期点検では橋梁の劣化・損傷レベルに応じて対策区分を判定している。

対策区分の判定区分

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C2	安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E1	安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
S1	詳細調査の必要がある。
S2	追跡調査の必要がある。

対策区別橋梁数

対策区分	箇所数		合計	割合
	橋梁	溝橋		
A	3	1	4	2%
B	65	22	87	52%
C1	15	5	20	12%
C2	6	5	11	7%
E1	0	0	0	0%
E2	0	0	0	0%
S1	9	1	10	6%
S2	27	5	32	19%
M	0	0	0	0%
未点検	3	0	3	2%
合計	128	39	167	100%

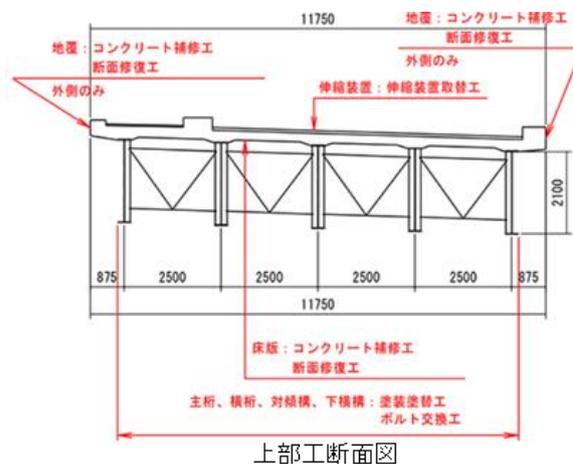
そのうち「C1：予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある」、「C2：安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある」に該当する橋梁は21橋、うち12橋は平成30年度までに対策を完了している。残り9橋については令和4年度までに対策を予定している。

3. 予防保全工事の事例紹介

(1) 仲泊大橋



仲泊大橋は、国道58号の恩納村仲泊に位置しており、添接部の鋼材や高力ボルトの腐食、RC床板のひび割れなどの損傷が生じている。そのため、塗装の部分塗り替え、高力ボルトの交換、床板の断面修復、伸縮装置の交換を行った。

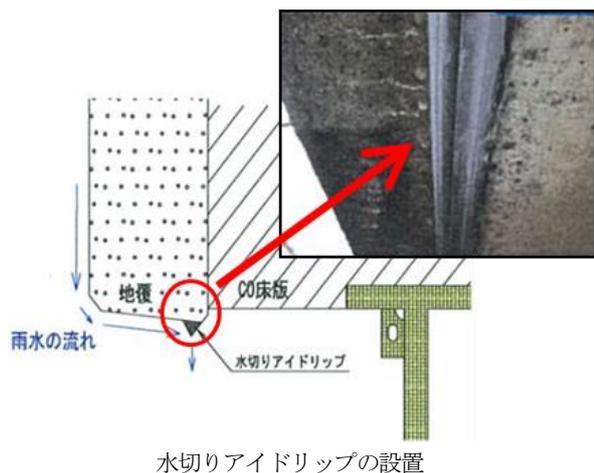


<断面修復>

断面修復工では、ひび割れや浮きのある範囲をはつり取り、既設鉄筋を防錆処理したうえで左官工による断面修復を行った。修復材には顔料を混合し、色をつけることで修復箇所が目視で確認できるようにした。また、地覆補修の際、鋼桁の一部において雨水の影響による錆の発生が見られたため、地覆に水切りアイドリップを設置し、雨水の影響が桁に及ばないよう工夫した。



断面修復状況



水切りアイドリッブの設置

<ボルト取替え>

腐食による断面が減少した高力ボルトの取替えを行った。健全なボルトを損傷しないように保護キャップを用い取替えを実施した。



高力ボルト腐食状況



締め付け状況

保護キャップ

<部分塗装塗り替え>

鋼材の腐食した箇所の部分塗り替えを行った。部分塗り替えにあたっては、目視確認できる腐食範囲だけでなく塗装下の内錆を想定した範囲まで塗り替えることにより、確実な錆の除去を行った。



塗装状況



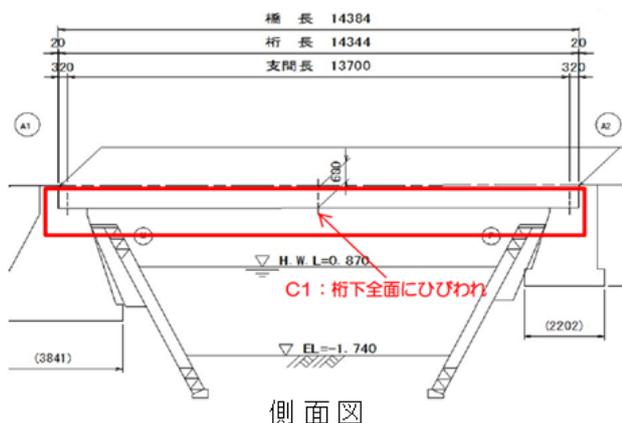
塗装状況

(2) 幸喜橋

幸喜橋は国道58号の名護市幸喜地区に位置しており、主桁の下全面にひび割れがあり、ひび割れの一部からは漏水が確認されたことから、ひび割れ注入及び主桁の水抜きを実施した。



現況写真



側面図

<ひび割れ注入工>

桁下全面に広がったひび割れに対し、超微粒子セメントを低圧・低速で注入した。



<水抜き孔設置>

桁内にたまった水を排出するため、桁下に水抜き孔を設置した。水抜き孔から出てくる水の量によって管を色分けし、橋面からの漏水箇所が概ね把握できるよう工夫を施した。この工夫により、今後の適切な橋面防水対策につながる。



青：漏水が出ない箇所
黄：漏水が少し出る箇所
赤：漏水が多い箇所



4. 後原橋の架替

対策区分C2の7橋のうち唯一架替が必要と判断されたのが、国道58号の名護市源河宇後原に位置する後原橋である。

昭和57年に共用したPC橋であり、平成4年に錆汁やひび割れを生じていたため、表面保護や断面修復、床板防水を行った。その後、平成12年にも断面修復などの延命対策を行ったが、海岸沿いの厳しい環境下にあることから平成29年の点検において桁下全面的の浮き、剥離、鉄筋の露出が確認され、断面修復を行った場合はプレストレス損失が懸念されたため、補修は困難と判断、今後、架替を予定している。



位置図



橋梁諸元

橋梁名：後原橋
路線名：国道58号
所在地：名護市宇源河後原
橋長：L=10.44m
幅員：14.0m
径間数：1
架設年：1982(S57)
上部工：PCプレテンI桁橋
下部工：逆T式橋台



5. さいごに

平成26年度に定期点検がスタートし、今年度で初めて一巡することになるため、前回点検結果と比較しながら今後も適切な対策を講じていく予定である。

予防保全の観点から、5年に1度の定期点検だけでなく、日々の道路巡回においても橋梁の変状を確認、健全度評価に必要なデータとして提供していくことで、今後も管内における橋梁の長寿命化と対策コストの縮減を図っていく予定である。

東村平良における国道 331 号災害復旧工事について

沖縄県土木建築部北部土木事務所 ○主任 照屋 将司
主任技師 山入端 雅也
技師（臨任） 仲吉 慶洋

1 はじめに

東村平良にある国道 331 号は、沖縄本島北部東海岸の南北を結ぶ主要道路であり、東村役場や郵便局等の公共施設が隣接し、地元の生活道路としても重要な機能を有する路線となっている。

東村平良の国道 331 号では、平成 27 年 7 月 20 日の 255mm/24h の豪雨により、斜長約 150m、幅 40m 以上にわたる大規模な斜面崩壊が発生した。幸いにも死傷者は出なかったが、2ヶ月半にわたり全面通行止め規制となり、住民生活等に多大な影響が生じた。

また、上記災害復旧工事中の平成 29 年 6 月 14 日、263mm/24h の豪雨により、施工箇所斜面中腹部に隣接する地山が崩壊し、再度被災を受けた（増破部）。

本稿では、東村平良の国道 331 号で発生した 2 つの災害（以下、それぞれの災害を平成 27 年災 3 号、平成 29 年災 1 号という）について、被災概要や災害復旧工事から得られた知見等を総括して報告する。

なお、本災害復旧工事では、対策工別に、「源頭部」、「流下部」、「増破部」、「道路部」の 4 区間に区分している。



図-1 被災箇所

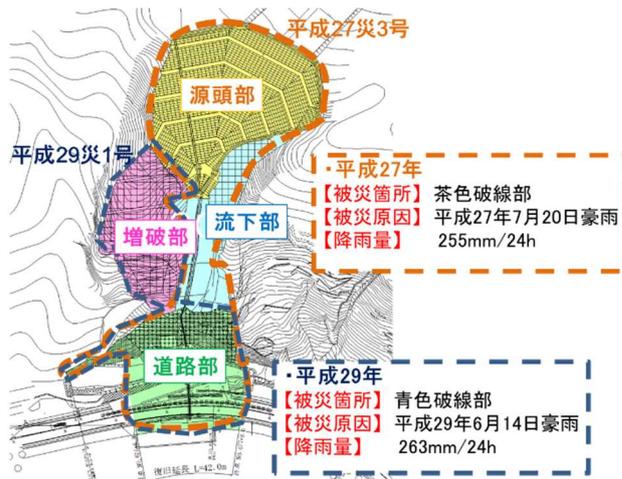


図-2 計画平面図

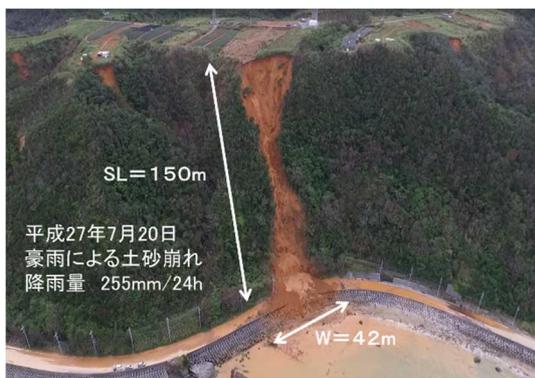


写真-1 発災時の状況 (H27.7撮影)



写真-2 増破部発災時の状況 (H29.6撮)

キーワード 落石対策、索道、SD 工法

連絡先 〒905-0015 名護市大南 1 丁目 13 番 11 号 北部土木事務所道路整備班

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

4 対策工

4.1 源頭部

源頭部は、全ての崩壊土の除去を行い、落石、小規模な崩壊の発生を抑制するため吹付法枠で表面を保護した。法枠内は、洗掘防止のため植生吹付を行っており、勾配が 1 : 1.1 で法面が長大なため、約 7m ピッチで各小段を設け、表面流水をスムーズに縦断排水に誘導する対策を行った。

図-5 で源頭部の断面図を示し、写真-4 で源頭部施工後の状況を示す。

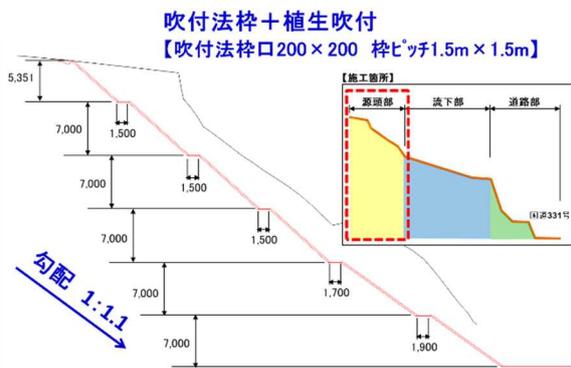


図-5 断面図



写真-4 源頭部施工後の状況

4.2 流下部

流下部は、源頭部より集積した表面水の排水路となっており、集水した流水による浸食等の拡大を防止するため、表面を布製型枠で施工した。布製型枠は、繊維質の外郭に内部をモルタル等で充填させて使用する資材である。

写真-5 で流下部施工後の状況を示す。



写真-5 流下部施工後の状況

4.3 増破部

増破部は、全ての崩壊土の除去を行い、源頭部と同様に吹付法枠で表面を保護し、法枠内も植生吹付で施工した。勾配は、現地形との兼ね合いにより、源頭部より緩い 1 : 1.5 とした。

図-6 で増破部の断面図を示し、写真-6 で増破部施工後の状況を示す。

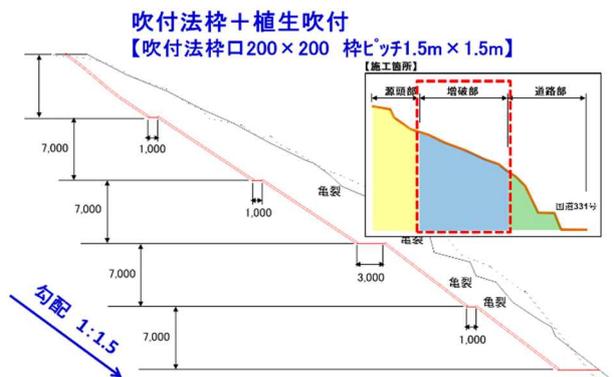


図-6 断面図



写真-6 増破部施工後の状況

4. 4 道路部

道路部は、急崖上に被覆する土砂、浮石の除去を行い、岩塊の部分崩落等を防止するため、吹付法枠で表面を保護し、当該施工箇所は比較的硬質な風化砂岩となっていることから勾配は緩めず、ロックボルトを打設し施工した。また、勾配が急であること、植生が根付かない土質であることから法枠内はモルタル吹付で施工した。

図-7で道路部の断面図を示し、写真-7でロックボルト施工後の状況を示す。

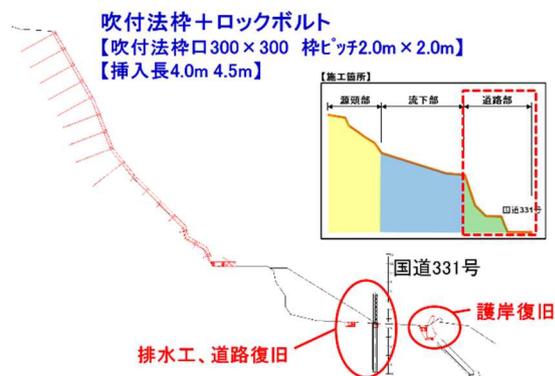


図-7 断面図



写真-7 ロックボルト施工後の状況

5 施工中の落石対策

掘削前の源頭部では、無数の転石が散見され、大きなものでは3mを超えるようなものがあった。現場は斜面になっており、掘削時にこれらの転石が落下した場合、2次被害を引き起こす懸念があった。

そこで、転石の落下シミュレーションを行い（図-8参照）、落下した転石の軌跡を確認したところ、源頭部より落下した転石が流下部を通過し、道路部まで達することが判明した。また、道路部下段の方では、転石が大きく跳弾しており、狭小で緩やかな流下部では跳弾が少ないことが確認できたことから、流下部において、落石対策を行うことが望ましいと思慮された。

落石対策として、急傾斜な現場においても、軽量で施工性に優れている高エネルギー吸収タイプの落石防護柵（リングネット工法）を採用した。当該落石防護柵は、流下部の終点地点に設置し、跳弾高さの低い地点からの落石を止めることが可能となった。

写真-8で落石防護柵設置後の状況を示す。

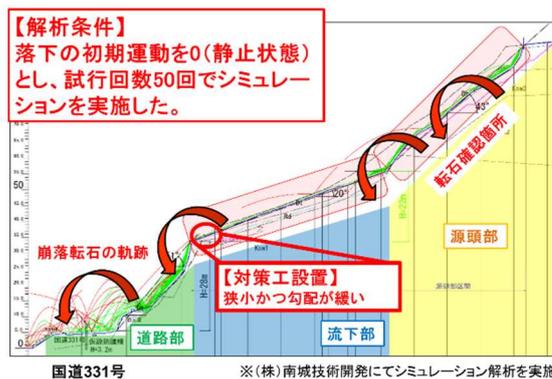


図-8 シミュレーション結果



写真-8 落石防護柵設置後の状況

6 施工上の工夫

6. 1 施工機械の搬入

増破部は急傾斜の中腹部にあり、このような場所に施工機械を搬入する場合、上段部もしくは下段部から切り崩して仮設道路を設置する必要がある。

しかしながら、上段部は前工事にて法枠が施工済みのため仮設道路の設置が不可能である。また、下段部は増破部崩壊土の終点となっており、勾配が厳しく危険なため、仮設道路の設置が不可能であった。さらに、被災箇所一帯が尾根になっており、施工範囲の両サイドが切り立っていることから、当該箇所からの搬入も不可能であった。

このような厳しい現場条件で検討されたのが、索道を用いた機械搬入であった。索道とは、両端のタワーからワイヤーを渡して、ロープウェイのように資機材を搬入する施設であり、山岳地に構造物を設置する際や電力設備等の工事では頻繁に用いられるが、一般的な土木工事ではなじみの薄い工法である。

本災害復旧工事では、仮設モノレールによる機械搬入も検討していたが、経済比較を行った結果、索道による機械搬入を採用した。

これにより、分解式バックホウを源頭部から斜面中腹部の仮設組み立て台まで搬入し、組み立てを行い、現地作業を行うことが可能となった。

写真－9で索道設置前の状況、写真－10及び写真－11で索道設置後の状況、写真－12で施工機械の搬入状況を示す。



写真－9 索道設置前の状況



写真－10 索道設置後の状況（全景）



写真－11 索道設置後の状況（源頭部）



写真－12 施工機械の搬入状況

6. 2 SD（スタンドライブ工法）の採用

道路部では吹付法枠と合わせてロックボルトを施工しているが、ロックボルトの施工方法の検討に際して、十分な作業スペースの確保が困難な状況等を考慮し、足場の設置が不要なSD工法を採用した。SD工法とは、独自のワイヤリングにより、軽量型削孔機を法面に固定し、削孔を行い、ロックボルトを打設する工法である。

写真－13及び写真－14でロックボルトの施工状況を示す。



写真－13 ロックボルトの施工状況



写真－14 ロックボルトの施工状況

7 工事進捗状況

令和元年11月末現在、道路部の吹付法枠、ロックボルト及び排水処理工事の施工まで完了しており、残工事としては、護岸復旧工事等を残すのみであり、令和2年3月の完了を予定している。

これまで、異常気象時における降水量が100mm/24hを超えると想定された場合、増破による人的被害を防止するため、被災現場一帯の国道331号については、全面通行止め規制を行っていたが、道路部の吹付法枠及びロックボルトの施工完了に伴い安全性が確保されたと判断したことから、以後、同様の措置は行っていない。

現在、被災現場一帯の国道331号は、片側交互通行の規制を行いながら本災害復旧工事に取り組んでいる状況である。

写真－15で令和元年11月末時点の進捗状況を示す。



写真－15 令和元年11月末時点の進捗状況

8 まとめ

近年、異常気象に伴う大規模な災害が、毎年のように全国各地で発生している状況である。今回の東村平良における国道331号の災害は、沖縄県内でも最大規模の土砂災害であり、本災害復旧工事で得られた知見を本稿で報告することは、今後何時発生するか分からない災害への対応に大変有意義になるものと考えます。

最後に、安全面に最大限の配慮を行いながら、1日も早い本災害復旧工事の完成に向けて取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 『長大斜面における落石シミュレーション及び法面对策手法について～国道331号災害復旧工事（平成27年災3号）～』

沖縄県北部土木事務所道路整備班 主任技師 仲尾次 慶、主任 玉盛 寛己

那覇空港滑走路増設事業における越波対策について

荒木 幸宏¹・玉城 侑¹

¹那覇港湾・空港整備事務所 那覇空港新滑走路整備推進室 (沖縄県那覇市字鏡水 344)

那覇空港では将来需要に適切に対応するため、沖合に埋立地を造成し、当該空港で2本目となる滑走路の増設事業を進めている。新滑走路供用時には、埋立地内の滑走路や計器着陸装置 (ILS) などの重要な施設へ影響が出ないように、周囲を取り囲む護岸においては海域からの越波対策のために適切な構造を有している必要がある。本項目は、航空機の安全な離着陸のために設定する滑走路付近の障害物制限領域 (制限表面) に抵触しない護岸天端高の越波対策について検討したものである。

キーワード 滑走路の増設 制限表面 越波許容型護岸 越波排水路

1. はじめに

現在、那覇空港では滑走路1本での運用を行っているが、年々の空港需要の増加により、現在の処理容量を超え、慢性的に航空機発着の遅延が生じている。これを解消するために沖合に埋立地を造成し、当該空港で2本目の滑走路の増設を行っている (図1)。

この埋立地内には滑走路のみならず誘導路やILS (計器着陸装置) などの重要な施設が配置されるが、当該箇所周辺における海域は東シナ海に面しており、万が一、重要施設が台風等の越波による被害を受けた場合、復旧作業に伴う費用や作業期間中の滑走路閉鎖に伴う社会的損失が発生する。よって埋立地の周囲を取り囲む護岸においては、越波対策を適切に施す必要がある。しかし、空港には航空機の安全な離着陸のための障害物制限領域 (制限表面) が設けられるため、制限表面に抵触しないように護岸形状を工夫しなければならない。

そこで本項目では、制限表面に抵触しない護岸天端高さとなる越波対策案を、複数案に分けて比較検討を行った。



図1 那覇空港衛星写真 (2019. 4. 17 撮影)



図2 埋立地北側工区護岸 越波状況 (2016. 11. 9 撮影)

2. 検討条件

まず、埋立地を取り囲む護岸の天端高さ検討に当たり、必要な条件を下記の通り設定した。

(1) 護岸設計耐用年数

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に準拠し、一般的に材料の劣化・損傷により材料強度が維持できなくなる物理的な耐用年数として、50年として設定した。

(2) 滑走路中心高さ

滑走路中心高さ：D.L.+5.0mとした。

(3) 自然条件

a) 潮位

H.H.W.L. : C.D.L.+3.2m, H.W.L. : C.D.L.+2.1m, L.W.L. : C.D.L. \pm 0.0mとした。

b) 水深

対象地周辺の海域は、ほぼ全域にわたりリーフによる浅い海域である。現地の水深も、浅い場所ではD.L. \pm 0.0mであるものの、深い場所だとD.L.-25.0mにも及ぶ。

よって設計水深はD.L. \pm 0.0m, D.L.-5.0m, D.L.-10.0m, D.L.-15.0m, D.L.-20.0m, D.L.25.0mの6段階とし、場所毎に適切な設計水深を設定した。

c) 波高

波浪条件においては、埋立地に対して影響のある9つの方角からの波高を下表の通り設定した。

表1 波浪条件 (9方向からの設計波高)

確率年	波向	波高H ₀ [m]	周期T ₀ [s]	確率年	波向	波高H ₀ [m]	周期T ₀ [s]
10 ※施工時	S	8.86	13.76	50 ※完成時	S	12.27	16.19
	SSW	7.95	13.03		SSW	11.73	15.83
	SW	8.09	13.15		SW	11.92	15.96
	WSW	7.63	12.77		WSW	10.48	14.96
	W	7.97	13.05		W	11.03	15.35
	WNW	7.55	12.70		WNW	10.66	15.09
	NW	6.92	12.16		NW	10.12	14.71
	NNW	7.20	12.40		NNW	9.57	14.30
	N	7.39	12.57		N	9.94	14.57

d) 許容越波流量

空港用地内への許容越波量は、耐用年数を50年に設定していることから、50年確率波に対して0.02m³/m/sとする (H20.7 空港土木施設構造設計要領より)。

(4) 制限表面による制約条件

制限表面とは、滑走路を中心とした一定の範囲内に設定される航空機の安全な離着陸のための障害物制限領域のことであり、制限表面に抵触する物件等

の設置は航空法第49条により禁止されている。

制限表面の種類については図3にて示す。

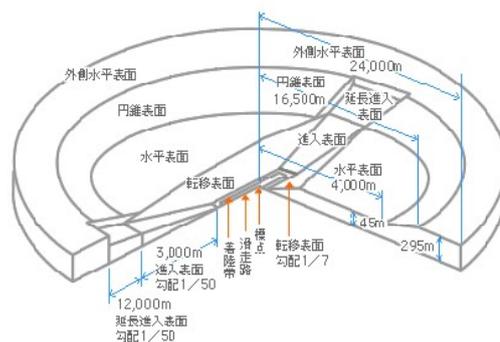


図3 制限表面概略図 (国土交通省東京航空局HPより引用)

また、制限表面の代表的な種類を下記にて示す。

a) 進入表面

着陸帯の短辺に接続し、かつ、水平面に対し上方へ50分の1の勾配を有する平面であって、その投影面が進入区域と一致するもの。進入区域とは、着陸帯の短辺の両端及びこれと同じ側における着陸帯の中心線の延長3,000mの点において中心線と直角をなす一直線上におけるこの点から600mの距離を有する2点を結んで得た平面をいう。(航空法第2条第8項)

b) 水平表面

空港の標点の垂直上方45mの点を含む水平面のうち、この点を中心として半径4,000mで描いた円周で囲まれた部分。(航空法第2条第9項)

c) 転移表面

進入表面の斜辺を含む平面及び着陸帯の長辺を含む平面であって、水平面に対する勾配が進入表面又は着陸帯の外側上方へ7分の1の平面でその末端が水平表面との接線になる部分。

(航空法第2条第10項)

(5) 護岸形式の選定

当該区域は外洋に面しており、波浪影響が大きい立地条件であるため、護岸の構造形式については耐波安定性、低天端化を目的として消波ブロック被覆堤(ブロック天端2個並び)を基本とする。ただし、消波ブロックを設置せずに制限表面を侵さず、護岸の前出しの必要性が生じない範囲においては経済性を考慮し直立堤形式とする。

3. 制限表面抵触範囲の護岸における越波低減対策の検討

条件(1)～(5)において各護岸における所要天端高を

検討した結果、北側護岸N工区、西側護岸W工区、グライドロープ用地護岸GS工区においては、条件(4)制限表面による制約条件を満足しないことが判明した。(図4~5)

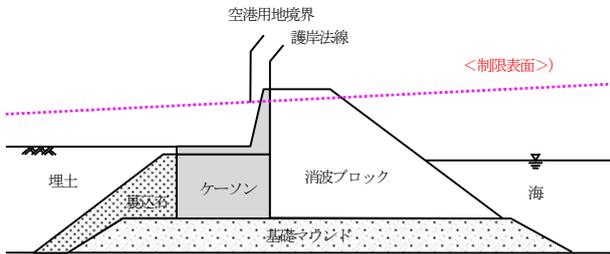


図4 護岸天端高の制限表面抵触イメージ

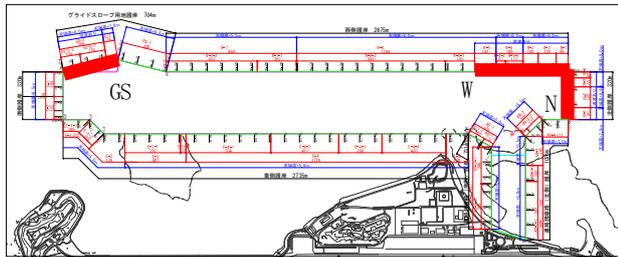


図5 越波低減対策が必要な範囲

制限表面に抵触する護岸においては、越波低減対策として下表に示す【方針1】と【方針2】，または両方を組み合わせた対策について検討する。(表2)

表2 越波低減対策一覧表

方針	検討案	備考
【方針1】 灯火平面及び制限表面抵触の直接的回避方策	a)護岸法線の前出し	抵触しない位置まで護岸法線を前出しする
	b)各護岸背後の滑走路造成高の嵩上げ	制限表面の起点となる滑走路中心標高を高くする
【方針2】 構造的対処による護岸天端高の低減方策	c)消波幅	護岸天端高を低減させる
	d)越波許容型護岸(20m前出し+背後越波排水路設置)	
	e)各案の複合案	

なお、表(2)にて示すd)越波許容型護岸とは、護岸背後に越波水の排水路を設置することによって、護岸前面における許容越波量を0.2m³/m/sに設定し(H19.7 港湾基準「被災限界値」より)、護岸天端高を低く抑えることが可能となる護岸形状である。なおこの越波排水路を設置する際に排水路の幅員を20mと

することによって、排水路を越波する流量が護岸前面の10分の1程度となることが過去の研究により示されているため(1994 人工島式立地発電所への越波量評価に関する実験的研究 海岸工学論文集 第41巻 P661-665)、越波排水路設置時の護岸前出し距離は20mとしている。

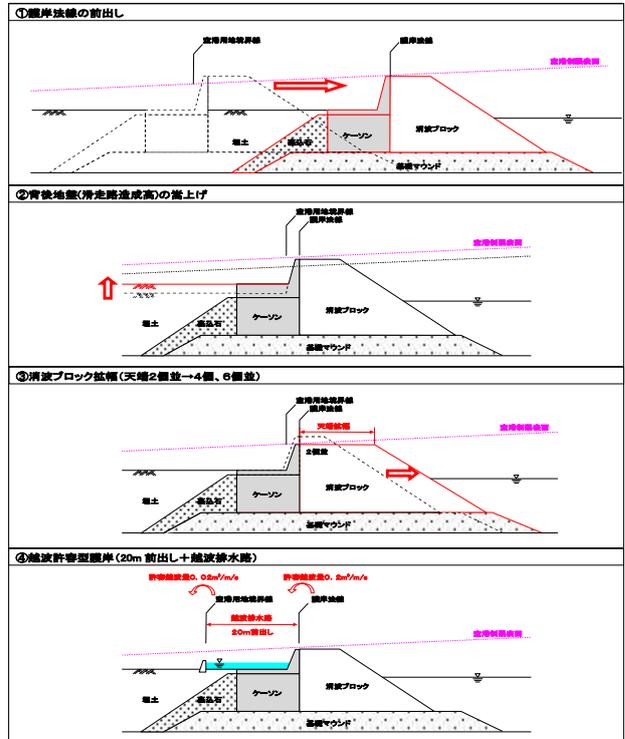


図6 越波低減対策一覧図

本項目では、制限表面に抵触する護岸の越波低減対策検討として、W工区を例に挙げて下記に示すこととする。

(1) W工区の越波低減対策

西側護岸W工区においては直立構造ではなく消波被覆構造を選定する方が所要天端高を低くすることが可能であるため、消波被覆構造を基本とする。また、制限表面による制約条件 (D.L.+6.3m) がかかる区間をコントロールポイントとして検討する。この区間における所要天端高はD.L.+12.5mであるため、制限表面に対する所要天端高の超過高は最大で6.2m (=所要天端高+12.5m - 制限表面+6.3m) となる。

a) 護岸法線の前出し

前出し必要距離が43.4mとなる(超過高6.2m÷転移表面1/7)。

b) 滑走路造成高の嵩上げ

護岸背後の滑走路造成高を6.2m嵩上げすることになり、経済的に現実的でないため、採用不可。

c) 消波拡幅

消波ブロックの天端2個並びを4個並びに拡幅しても、この対策のみでは所要天端高が制限表面を満足しない(所要天端高+10.5m)ため、採用不可。(所要天端高+10.5m)

d) 越波許容型護岸

越波許容型護岸による所要天端高は最も高い箇所で8.9mであり、制限表面は20m護岸前出しにより9.5mとなるため、制限表面を満足する。

上記4案より、W工区の越波低減対策は「越波許容型護岸」を採用する。

なお本項目では示していないが、N工区及びGS工区についてもW工区と同様に検討した結果、「越波許容型護岸」を採用することが決定した。

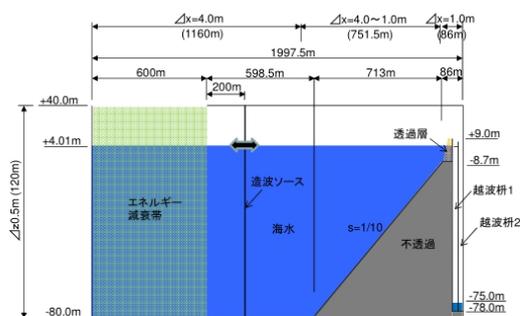
4. 越波シミュレーションによる越波流量算定

(1) 越波シミュレーションの計算領域設定

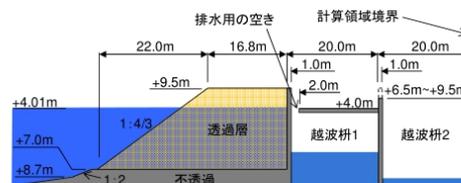
本検討により、制限表面に抵触してしまう範囲の護岸(N工区, W工区, GS工区)においては全て越波許容型護岸を採用する結果となった。

ここで、越波許容型護岸の断面における妥当性を越波流量の面から検証するため、N-2工区について護岸越波シミュレーションを実施した。越波シミュレーションには、自由表面解析モデルにVOF法を採用しているCADMOS-SURF(Ver. 5.1)を使用した。図7に今回の越波シミュレーションに使用した計算領域の設定を示す。なお、設定に当たっては以下の点を考慮している

- 護岸前面に消波ブロック被覆をモデル化した透過層を設置した。
- 護岸背後の越波排水路に流入する越波柵1, 越波排水路を越えて空港用地内に流入する越波柵2を設計断面に適合するように設置した。
- 越波柵1には越波排水路による排水を考慮するため幅2mの空きを設け、そこから越波柵1に越波水が入るようにした。



(1) 全体図



(2) 護岸周辺の拡大図

図7 N-2工区越波シミュレーションに使用した計算領域

(2) 越波シミュレーション計算結果

(1)にて計算した結果、越波排水路を想定した越波柵1における流入量が0.2m³/m/s, 越波排水路背後の空港用地内を想定した越波柵2における流入量が0.019m³/m/sとなった。これは護岸検討の条件(護岸前面における許容越波量は0.2m³/m/s, 空港用地内への許容越波量は0.02m³/m/s)を満足するため、越波許容型護の越波流量に関する要求性能において妥当性を確認することができた。

5. まとめ

本埋立地の全護岸は2018年3月に施工を完了しているが、那覇空港滑走路増設事業において、新滑走路をはじめとした空港施設を越波から守る護岸は極めて重要な施設であり、制限表面に抵触しないような対策である越波排水路による越波流量の低減効果は極めて重要な意義を持つ。

これからも本項目をはじめとした様々な検討結果を踏まえ、加えて環境へ十分に配慮しつつ、安全を第一として2020年3月供用を目指して、那覇空港滑走路増設事業を進めて行く。

AI 技術を用いたトンネル切羽評価システムの開発と現場導入

飛島建設・太名嘉組特定建設工事共同体 ○宇都宮 基宏, 福山 一世, 能田 浩文, 宮里 智行
飛島建設(株) 鈴木 亮汰, 兼松 亮
内閣府 沖縄総合事務局 北部国道事務所 伊佐 真幸, 城間 健男

1. はじめに

人工知能(Artificial Intelligence, 以下 AI とする) は, 近年様々な分野での活用を目指して研究開発が盛んに行われており, 技術者不足や高齢化などの問題が顕在化する建設業界でも, 現場の生産性向上を達成する手段の一つとして, これを活用することへの期待が高まっている. そのような情勢を背景とし, 国土交通省は, 公共工事の品質確保および生産性の向上を促進するため, 研究開発段階にある新技術の現場実証を技術提案として求める「新技術導入促進(II)型」の工事を 2018 年度から導入した. トンネル工事における導入初年度の提案テーマは, 「AI 等を活用したトンネル切羽等の地山判定手法について」としている. このテーマでは, トンネルの支保パターンを判定する際に行う切羽観察に新技術を活用し, 判定精度の向上や判定時間の短縮等を目指すことが主な目的となっている.

このような AI 活用の機運が高まる中, 「新技術導入促進(II)型」の初弾工事となる「平成 30 年度名護東道路 4 号トンネル工事: 内閣府 沖縄総合事務局発注」で, AI 技術を活用した「トンネル切羽 AI 評価システム」を現場導入・現場検証した. このシステムは, 画像識別を得意とする深層学習手法である畳み込みニューラルネットワーク¹⁾(Convolutional Neural Network, 以下 CNN とする)を活用して切羽画像を分析し, 支保パターン選定を自動で行うものであり, これまで現場の技術者が切羽近傍で主に目視で行っていた切羽評価のばらつきを抑え, 作業自体の省力化, 安全性の向上を目指したものである.

本稿では, 「トンネル切羽 AI 評価システム」の中心的な技術である CNN による画像識別技術と, 現場への導入結果について報告する.

2. トンネル切羽 AI 評価システムの概要

2.1 システムの基本コンセプト

トンネル工事では, 掘削直後の切羽状況を速やかに評価し適切な支保パターンをその都度選定することが必要となる. しかし, 切羽状況を観察・評価する作業は, 各技術者の経験・知識の差によって評価結果にばらつきが生じるケースが多いことや, 掘削直後の切羽直近で目視判定作業を行うため安全確保に留意する必要がある, などの問題がある.

そこで, 切羽評価の精度確保及び技術者の業務支援を目的に, CNN を用いたトンネル切羽の地山判定手法を開発した.

図-1 にシステム運用のイメージを示す. 開発したシステムでの地山判定・支保パターン選定は, 画像から切羽観察簿に従って各種性状についての点数を算出し, それに対応した支保パターンを選定する「一次判定」と, 穿孔探査法(DRISS)の傾向や切羽押し出し量を基に一次判定による支保パターンの選定を修正する「二次判定」に分けて行う. CNN は「一次判定」で画像識別により切羽評価点の自動算出を行うために活用している.

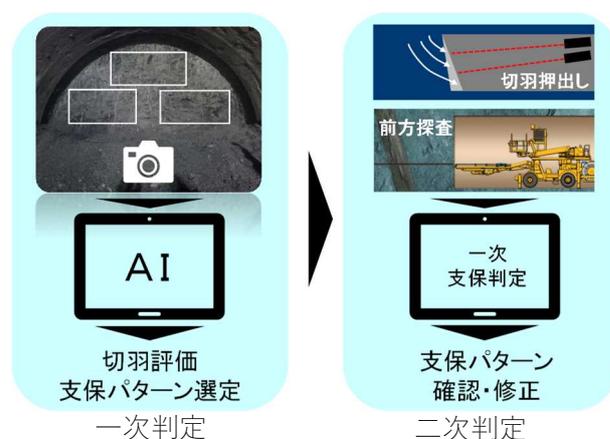


図-1 本技術による支保パターン選定イメージ

キーワード トンネル, 切羽評価, 支保パターン, 人工知能, 畳み込みニューラルネットワーク

連絡先 〒905-0016 沖縄県名護市大東 3-21-6 グローリア名護

E-mail : motohiro_utsunomiya@tobishima.co.jp

2.2 システムの導入方法

複数のデータ処理作業を伴うCNNの画像識別や地山判定について、作業の省力化を図るために、地山評価に関連した一連の操作を自動で処理・表示する専用の評価システムを開発した。操作性に優れ、衝撃にも強いタブレット端末に本評価システムを組み込み、トンネル内でも切羽評価システムへの入力作業が容易にできるようにした。また、切羽写真を撮影したその場で、CNNによる判定ができるようにした。導入したタブレット端末の仕様を表-1に、外観を写真-1に示す。また、評価システムの表示画面を図-2に示す。

表-1 タブレット端末の仕様

商品名	タフパッド (Panasonic製)
画面サイズ	10.1 in
OS	Windows 10 pro 64ビット
重さ	1.1kg
外形サイズ	幅270×奥行188×厚さ19(mm)



写真-1 タブレット端末の外観



図-2 切羽評価システムの画面

3. 切羽評価用 AI モジュールの開発

3.1 AIを適用するトンネル切羽観察の概要

トンネル工事では、地質状況の変化に応じて、最適な支保パターンや対策を選定・採用するために切羽観察を行う。切羽観察では、地山の安定性を左右する岩盤・岩石自体の強度や割れ目の状態等の観察項目(表-2)を、評価区分に基づき点数化して判定する。判定は、切羽の天端部、左肩、右肩の3箇所それぞれで行い、それらの結果の平均値(天端部を2倍とした加重平均)を切羽評価点として採用する。ここで算出した切羽評価点は、切羽状態の変化を判断する上で重要な数値になるだけでなく、支保パターン選定の指標として利用される。

今回開発した切羽評価用のCNNは、観察項目毎に自動で評価区分を判定し、切羽評価点を自動算出する仕組みとした。また、組み込んだシステムではその点数を基に、適切な支保パターンを自動選定し、タブレット端末の画面に出力するものとした。

表-2 現場で使用した切羽観察項目²⁾

観察項目	評価区分						
A.圧縮強度 (N/mm ²)	一軸圧縮強度	100以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3以下
	ボルトロード	4以上	4~2	2~1	1~0.4	0.4以下	
B.風化変質	風化の目安	概ね新鮮	割れ目沿いに風化変質	岩芯まで風化変色	土砂状風化、未固結土砂		
	熱水変質などの目安	変質は見られない	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により岩芯まで強度低下	著しい変質により全体が土砂状、粘土化		
C.割れ目間隔	割れ目の間隔	d ≥ 1m	1m > d ≥ 50cm	50cm > d ≥ 20cm	20cm > d ≥ 5cm	5cm > d	
	RQD	80以上	80~50	60~30	40~10	20以下	
D.割目状態	割目の開口度	割目は密着している	割目の一部の開口している(幅<1mm)	割目の多くの開口している(幅<1mm)	割目が開口している(幅1~5mm)	割目が開口し5mm以上の幅がある	
	割目の挟み物	なし	なし	なし	薄い粘土を挟む(5mm以下)	厚い粘土を挟む(5mm以上)	
E.走向傾斜	割目の粗度鏡肌	粗い	割目が平滑	一部に鏡肌	よく磨かれた鏡肌		
	走向がトンネル軸と直角	1:差し目 傾斜45~90°	2:差し目 傾斜20~45°	3:差し目流れ目 傾斜40~20°	4:流れ目 傾斜20~45°	5:流れ目 傾斜45~90°	
F.湧水量	状態	なし・湧水1L/分以下	湧水程度1~20L/分	集中湧水20~100L/分	全面湧水100L/分以上		
	評価点	1	2	3	4		
G.劣化	水による劣化	なし	緩みを生ず	軟弱化	流出		
	評価区分	1	2	3	4		

切羽10m区間の湧水量と水による劣化状態による評価(劣化は現在および将来における可能性について判定する)

3.2 自動化手法

開発したシステムにおいて、画像解析に使用されているCNNは、画像に対し畳み込み(Convolution)と呼ばれる処理(フィルタリング)

を複数回行い、判別に必要な特徴を抽出する解析手法である。図-3は畳み込みによる計算例を示している。図の左側に示した切羽画像に対し、中央に示した3行3列の行列を用いて畳み込みを行うと、右側に示したように、画像中からオブジェクトのエッジを抽出できる。CNNでは、このような処理を繰り返し何重にも行うことで画像の特徴を抽出し、識別に活用している。

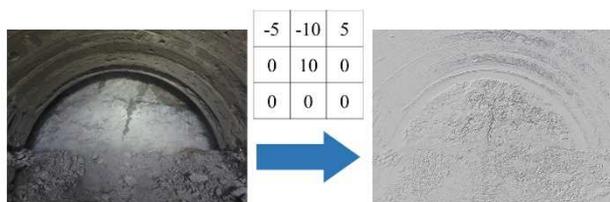


図-3 畳み込みの計算例

切羽観察では切羽評価点を算出するために、観察項目毎に段階別の点数を付けているため、この段階別評価をCNNによる識別で対応することにした。自動評価の流れを図-4に示す。まず、Step1で評価に不要な箇所を取り除くため、トリミングを行う。切羽観察簿では、天端・右肩・左肩の3つに分けてそれぞれ評価を行うので、トリミングもこれに従った。次に、Step2にてCNNを用いた切羽の段階別評価を行う。最後に、CNNで得られた項目毎の評価を集計して切羽評価点を算出し、支保パターンを提示する。

CNNについては、Google社の研究チームが公開しているInception-v3³⁾から転移学習を行って作成

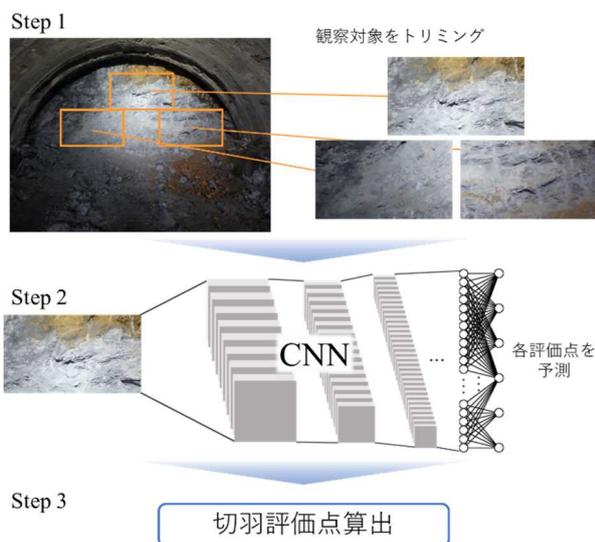


図-4 自動評価の流れ

しており、最終層である全結合層で評価項目に合わせた出力次元の調整を行っている。例えば、切羽観察簿で一軸圧縮強度を6段階に評価する場合、出力は6次元に設定する。

3.3 既往の現場のデータを用いたCNNの検証

CNNを用いた切羽自動評価システムを開発するにあたり、過去に施工されたトンネル工事のデータを用いて事前にCNNの有用性を検証した。対象としたトンネル工事(延長 L=2,258m)の実施工データから700枚程度の画像とそれに対応した観察記録を入手し、そこからCNNを作成した。このCNNを用いて、学習とは独立した30枚の画像(10枚の切羽画像から天端・左肩・右肩に相当する箇所をそれぞれトリミングして取得)に対して、CNNによる各観察項目の識別とそこから算出される切羽評価点について実施工データとの一致度を調べた。検証対象の現場は土木研究所から示された方式⁴⁾による切羽評価であったため、検証もこれに従った評価項目で行っている。

表-3にCNNによる識別と実施工データの観察項目別一致率を、図-5に最終的に支保パターン選定に活用される切羽評価点について、自動評価から算出したものと実施工データを測点ごとに示す。検証では、CNNは60%以上の識別能力で各観察項目を評価し、実施工データとの誤差は最大で17.60%に収まった。この識別誤差と切羽評価点の誤差は、支保パターンの判定区分に影響を与えものではなかったことから、CNNは自動評価に有効な手法であると判断し、画像解析手法に採用することとした。

表-3 CNNの事前検証結果
(観察項目別の識別一致率)

観察項目 (4段階評価)	一致率
切羽の状態	70% (21/30)
素掘り面の状態	90% (27/30)
一軸圧縮強度	80% (24/30)
風化変質	60% (18/30)
割目の状態	70% (21/30)
割目の形態	70% (21/30)

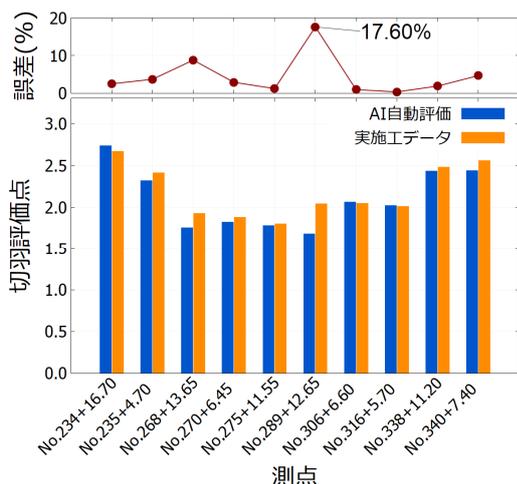


図-5 CNNの事前検証結果(切羽評価点の比較)

4. システムの現場導入による運用結果

4.1 導入現場の概要

本システムを導入した現場は、内閣府沖縄総合事務局発注の名護東道路4号トンネル工事で、延長1,021mの道路トンネルを新設する工事である。名護東道路は全長6.8kmの暫定2車線道路で、沖縄中南部の各拠点間とのアクセス向上、名護市内の交通混雑の緩和を主な目的としている。北側の伊佐川ICから世富慶ICの4.2km区間は既に開通しており、残りの世富慶ICから(仮称)数久田IC間の2.6kmを現在整備中である。表-4に本工事の概要を示す。

本トンネルは海岸沿いの丘陵地直下を土被り50~70mで通過する。起点側坑口(掘削出口側)には広い範囲で地すべり地形が存在するため、グラウンドアンカーを用いた地すべり対策を施工予定である。トンネルには全線にわたり名護層の千枚岩(白亜紀~古第三紀:四万十帯に相当)が分布し、掘削は発破と機械(自由断面掘削機300kw級)を併用して施工している。2019年3月中旬から掘削を開始し、2019年12月現在で約600mまで掘削

表-4 工事概要

工事名	平成30年度名護東道路4号トンネル工事
発注者	内閣府 沖縄総合事務局
場所	沖縄県名護市字数久田地内
トンネル延長	1,021m
工期	2018.10.11~2020.7.31
内空断面積	約70m ²



図-6 名護東道路の位置

を進めている。

4.2 運用スケジュール

対象現場に対応したAIモジュールになるよう、CNNの学習区間を掘削の初期段階中に設定した。学習区間とその後の運用区間をトンネル縦断面図に記したものを図-7に示す。全延長(L=1,021m)のうち、掘削開始から200mは学習区間とし、この間は毎切羽で撮影と評価を行い、学習用のデータセットを構築させる。200mの掘削を終えたら、学習処理を実行してCNNを作成し、その後の800m掘削するにあたってCNNによる識別結果を支保パターン選定に活用する方針とした。

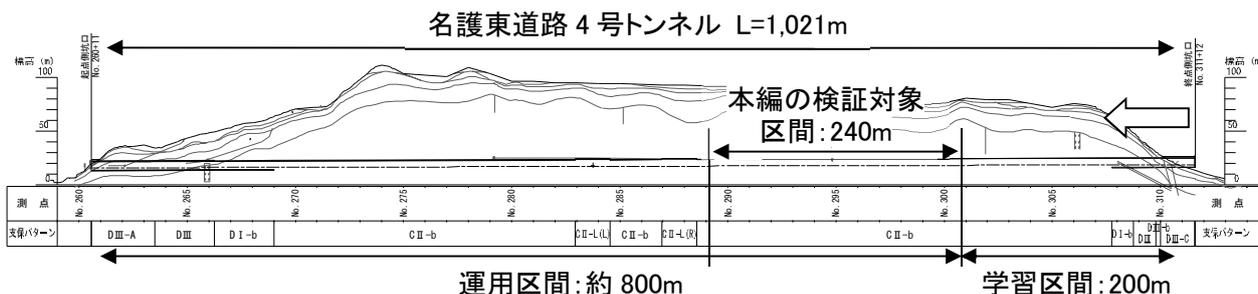


図-7 トンネル縦断面図(学習区間と運用区間)

4.3 学習区間の切羽データ

200mの学習区間で得られた観察項目別のデータ数を表-5に示す。また、導入したタブレット端末を用いて切羽観察とデータの蓄積を行っている様子を写真-2に示す。学習区間を掘削する間で、171枚の切羽画像が得られ、513枚からなるデータセットを作成することができた。該当する画像が集められなかった評価区分も存在するが、現時点では評価区分の偏りを許容したうえでCNNを作成することにした。

表-5 観察項目別の画像数（教師データ）

観察項目	評価区分					
	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	0	0	427	36	21	29
風化変質	0	121	357	35	—	—
割目間隔	0	0	184	277	52	—
割目状態	0	59	355	50	49	—
走向傾斜	0	0	27	455	31	—
湧水	513	0	0	0	—	—
劣化	513	0	0	0	—	—

※ 「—」は存在しない評価区分を示す



写真-2 切羽観察とデータ蓄積作業の様子

4.4 AIモジュールの評価結果

学習区間のデータを用いてCNNを作成した後、運用区間のうち240mの掘削をする中で、現場職員による判定とCNNの判定を並行して行い、識別能力の検証を行った。69の切羽から、207枚の検証対

象の画像がこの検証区間で得られており、図-8はそのうち一つの切羽に対しての結果を示している。この図では、CNNによる判定が現場職員による判別と一致した箇所が彩色されている。検証対象全体について、観察項目別の一致率を表-6に示す。識別の正答率は、3つの観察項目（圧縮強度、割目状態、走向傾斜）で80%以上となったが、風化変質と割目間隔の識別はそれより劣る結果となった。比較的正答率の低かったこれら2つの観察項目については、画像の縮尺を合わせる等、教師データの品質向上が求められているのではないかと考えている。また、これらの判定を用いて選定した支保パターンについては、91%の確率で現場の判断と一致した。



評価項目	現場職員判定			AI自動判定		
	左肩	天端	右肩	左肩	天端	右肩
圧縮強度	3	3	3	3	3	3
風化変質	3	3	3	2	2	3
割目間隔	4	4	4	3	4	4
割目状態	3	3	3	2	3	3
走向傾斜	4	4	4	4	4	4
湧水	1	1	1			
劣化	1	1	1			
切羽評価点				45.0	53.0	
支保パターン	C II			C II		

図-8 CNNの判定と現場職員の評価との比較

表-6 観察項目別の識別一致率

観察項目	一致率
一軸圧縮強度 (4段階評価)	81.16% (56/69)
風化変質 (3段階評価)	50.72% (35/69)
割目間隔 (3段階評価)	50.72% (35/69)
割目状態 (4段階評価)	82.61% (57/69)
走向傾斜 (3段階評価)	98.55% (68/69)

4.5 導入効果と今後の改善課題

タブレット端末に組み込むかたちでシステムを導入したため、従来は事務所で行われていた切羽評価の観察記録への入力作業が、切羽の撮影後すぐにその場で行うことができるようになり、現場職員の移動時間を大幅に短縮することができた。また、岩判定会議においても、本システムの切羽評価を参考にすることで、判定に伴う時間を短縮し、判定者の違いによる評価のばらつきを解消させることにも効果を発揮した。さらに、切羽観察の経験が少ない若手技術者にとっては、CNN

の判定結果を参考に、自身の判定結果を毎回確認し、見直す機会を得ることができるようになった。このように、AIを用いることによる効果について、省力化や判定の個人差解消につながることを確認できたほか、若手技術者に対する教育ツールとしても有効であることを確認できた。

一方、今後、本技術を本格的に運用するためには、教師データ収集の効率化、AI判定根拠の可視化、システムハード面の利便性向上が望まれる。特に、本手法において信頼の高い判定結果を求めるには、教師データの品質と量を確保する必要があるため、今回の現場実証では専属の地質技術者を現場に常駐させて地山評価を行うとともに、昼夜間の切羽撮影・評価も実施するなど、多くの時間と手間を費やした。教師データの収集方法の効率化など、AIを導入する際の負担を抑え、迅速に省力化が行われるように手法を改善していくことが必要と考えている。

5. おわりに

CNNを用いることで、トンネル施工現場で行われている切羽観察評価を自動化するシステムを開発することができた。開発したシステムを現場に導入した結果、3つの観察項目では80%以上の高い一致率で現場の評価を再現しており、支保パターンの選定では91%の一致率となった。

しかし、5割程度の正答率の項目もあり、提案した手法には得手・不得手が存在することがわかった。また、教師データの収集が作業員や職員に対して多大な負担となったなど、最終目的である生産性向上に繋げるには、教師データの収集方法から再考するなどしてこれらの問題を解決し、あらゆる地山の状態に対応でき且つ信頼性の高いAIを開発することが必要と考えている。

謝辞：本システムの開発及び現場実証に際し、マック株式会社、基礎地盤コンサルタンツ株式会社の方々にご協力をいただきました。本紙面を借りて御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner: Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition, Proceeding of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, 1998.
- 2) NEXCO 東日本, NEXCO 中日本, NEXCO 西日本, NEXCO 総研 : トンネル施工管理要領. 2017.
- 3) C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, Z. Wojna: Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. In CVPR, 2016.
- 4) 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ(トンネル), 切羽観察表を用いた地山等級判定に関する試験施工について, 2018.

A Case Study on Signal Control optimization of Oblique Dislocated Leg Intersection

Chongqing Jiaotong University LIU, Wei

○Member of JSCE, Toyota Transportation Research Institute (TTRI) ANDO, Ryosuke

The problems of intersections caused by the oblique dislocated legs can be found everywhere. Based on the geometric and traffic characteristics analysis of the intersections, signal control method according to HCM 2010 manual and Webster model is useful to the oblique dislocated intersections. The signal control scheme needs to be optimized to ensure the smoothness and safety of the intersection operation. Phase combination and phase sequence are the key factors to meet the special condition. A case study on the intersection of the Hongensi oblique dislocated leg intersection in Chongqing China, optimized signal phase scheme be prompted to improve the efficiency and safety. By using of the VISSIM to simulate the control scheme and evaluate the operation state, the contrast of before and after of intersection control can be reached. The result shows that the operation quality is improved during the peak and off-peak hours of the working day and weekend through the optimized signal control scheme. The average vehicle delay, the average queue length and the number of vehicle stop times are improved.

1. INTRODUCTION

With the growth of the number of cars in the city, traffic congestion has become a serious problem for almost of all major mega cities around the world. The intersections become the bottleneck of urban road network. It is conducive and effective to alleviating the increasingly tight traffic congestion by implementing reasonable and feasible signal control facilities and optimized signal control scheme at urban traffic junctions. At present, there are a lot of researches on improving the traffic efficiency and driving safety at intersections. The signal control scheme optimization is one of the most common and effective method.

As a typical mountainous city, the traffic operation of Chongqing is affected by its topography and geomorphology. There are many oblique dislocated intersections which seriously affects the efficiency of traffic operations. At this stage, there is little method or design can fit for all the special intersections. Therefore, each oblique dislocated intersection should be analyzes the characteristics individually. Depending on the field survey data, each signal control scheme to the special intersection could be designed based on HCM 2010 and Webster model, and it strives to maximize the level of service under the premise of ensuring traffic safety.

2. THE TRAFFIC CHARACTERISTICS ANALYSIS OF OBLIQUE DISLOCATED LEG INTERSECTION

Usually, the regular intersections are orthogonal, where two roads intersect to form a three-way or four-way intersection, and formed T-shaped or cross-shaped intersection. The oblique dislocated intersection is at least with one oblique leg or one leg whose center line cannot join with other legs. This special intersection is especially common in mountainous cities or other historic district of city.

Since the leg is not in line with the opposite leg or asymmetry at oblique dislocated intersection, there is a more turbulent and complicated trajectory than the regular intersections. Especially, when multi-axis truck and bus pass through the oblique cross-section intersection, they often need more space to accomplish the turning due to the limitation of the radius in an acute angle, which greatly reduces the traffic efficiency. It also gets higher probability of accidents.

3. OPTIMIZATION METHOD OF SIGNAL CONTROL SCHEME

(1) Signal control scheme design

a) Signal timing parameter calculation

At present, there are three types of isolated intersection signal control methods, fixed time control, actuated control and adaptive control. The traditional multi-period fixed phase timing control is still the main control method.

The first step to make a single intersection signal timing scheme is which phases should be combined together to a stage. This step is the key step of intersection signal timing. It decides by the geometric and each turning traffic demand of the entrance at intersection.

The second step is to determine the corresponding yellow time and all red time. This step is very important to safe operation. It need considerate the grade of each entrance and the sight clearance.

The third step for the isolated intersection signal control timing, the most basic two timing parameters are the cycle and the green split.

The signal cycle is the sum of the time required for each phase stage to be displayed in turn. The best used signal cycle length can be calculated by the Webster formula.

Key Words: oblique dislocated leg intersection, signal control scheme, optimized design, simulation.

Address: West-4F, Motoshiro Building, 3-17 Motoshiro-cho, Toyota, Aichi 471-0024, Japan

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (1)$$

where C_0 is signal optimal cycle, s ; L is total cycle loss time, s , related to vehicle start loss time, green light interval time and phase number; Y is the sum of the maximum flow ratios of all phases of the constituent cycle.

Split is ratio of effective green time to cycle time for each phase. The effective green time of each phase is often calculated using the Webster method.

$$g_{ei} = G_e \frac{\max(y_{i1}, y_{i2}, L)}{Y} \quad (2)$$

where G_e is total effective green time, $G_e = C_0 - L$, s ; g_{ei} is the i -th phase effective green time; $\max(y_{i1}, y_{i2}, L)$ is maximum flow ratio of the i -th phase.

b) Signal control strategy selection

From the existing research, signal control strategies on dislocated intersection can be summarized as the following three types.

- 1) Controlled as two independent T-shaped intersections.
- 2) Coordinated control of two T-shaped intersections.
- 3) Integrated control as a large intersection.

In applications, the distance between the center line of the opposite legs is selected. The distance threshold of each control method is studied in reference documentation (6). The control strategy of the oblique dislocated intersection follows the strategy of the dislocated intersection and considerate the trajectory and clear time of each stage.

(2) Optimization of Signal control scheme

Optimization of the intersection signal control scheme generally have two contents: the one is signal timing optimization and the other is phase combination and phase sequence optimization. The two aspects are often complementary.

a) Signal timing optimization

Signal timing optimization is based on the current traffic volume and demand. In the case of a certain optimization goal, there are generally two processing methods in practice.

1) For unsaturated oblique dislocated intersection, the signal cycle is not first aim to changed, optimizing the split of each phase according to traffic volume is the first task.

2) For the saturated oblique dislocated intersection, it is necessary to recalculate the optimal cycle with equation (1), and then correct the timing of each phase with equation (2).

b) Phase optimization

The phase design and optimization to the oblique dislocated intersection is to determine the optimal phase number and phase sequence, which can improve the signal control efficiency, thereby improving the traffic capacity and reducing traffic accidents. Compared to timing optimization, phase optimization is a more complicated task because the variability of the phase design is illustrated by the phase optimization of an oblique interleaved intersection (upper obliquely and down

obliquely).

There are four phase schemes shown in Table 1 for the oblique dislocated intersections under different geometric and traffic demand. This is only a very simple phase combinations. In application, the phase optimization has decided by many factors. The phase sequence, phase overlap and left-turn phase are usually considered, which explains the complexity of phase optimization.

(3) Signal control scheme evaluation

Generally speaking, the operation efficiency evaluation of isolated intersection mainly include: capacity, saturation, delay, number of stops, average speed, queue length, exhaust emissions, etc., among which the number of stops, queue length and vehicle delay are more useful.

At this stage, the microscopic traffic simulation software VISSIM developed by German PTV Company is widely used to analyze various traffic scenarios. VISSIM has the functions of analyzing, evaluating, optimizing road network and comparing different signal control schemes. Therefore, VISSIM could be used to evaluate the signals control scheme before and after optimization.

4. CASE STUDY

Hongensi intersection locates at the intersection of Huaxin Diversion Road and Guanhong Avenue in Jiangbei District, in Chongqing, China (Fig.1). The intersection connects Hongensi Park, Huaxin diversion road and Guanyinqiao business area. The center line of Guanhong Avenue offsets 7m from the intersection center and the angle is about 70 degree. It belongs to the intersection of the short-distance oblique dislocated intersection (upward vertically and down obliquely).

The service level of the Hongensi intersection is out of satisfied, especially the tidal phenomenon at the peak hours in the morning and evening. The traffic flow is in a heavy over saturation state. In order to improve the operation quality of the intersection and to alleviate the traffic congestion in the Guanyinqiao area, it is great significance to optimize the signal control scheme for the intersection.

(1) Current situation

a) Traffic volume and vehicle composition

In order to more comprehensively understand the operation of the Hongensi oblique dislocated intersection, the organizers observed the morning peak hour traffic volume, the off-peak hour traffic volume and the evening peak hour traffic volume in the working day and weekend (Table 2). Each turning volume ratio of each lane see the Fig.2, and the composition of the vehicle at the intersection is also counted (Fig.3).

As shown in Table 2, compared with the traffic volume on the working day, the traffic volume on the weekend decreased slightly, and the traffic volume of the east and west entrance was large. The change was obvious accompany by the time.

Table 1 Phase scheme of an oblique dislocated intersection (upper obliquely and obliquely)

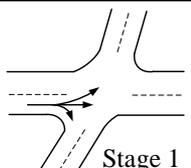
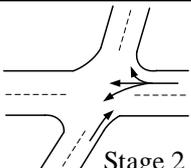
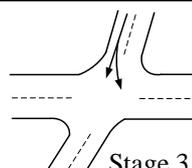
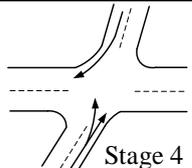
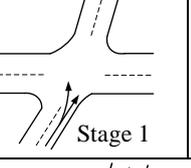
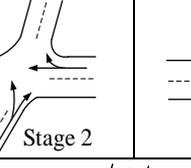
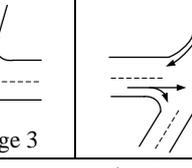
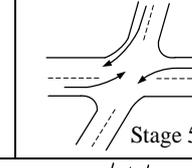
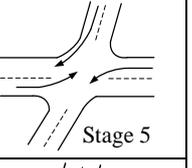
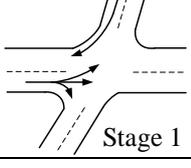
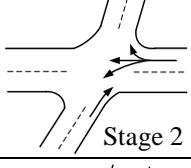
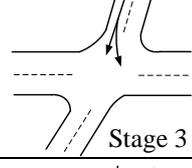
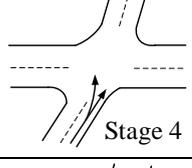
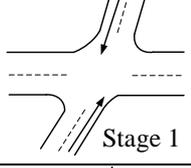
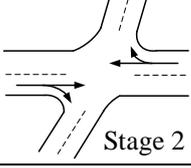
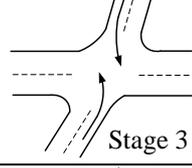
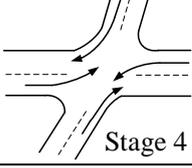
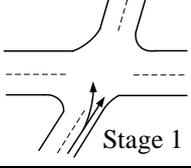
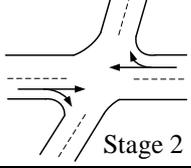
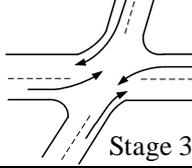
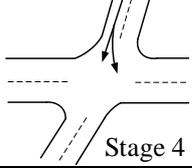
Phase scheme	Number of phases				
Current scheme	 Stage 1	 Stage 2	 Stage 3	 Stage 4	
Scheme 1	 Stage 1	 Stage 2	 Stage 3	 Stage 4	 Stage 5
Scheme 2	 Stage 1	 Stage 2	 Stage 3	 Stage 4	
Scheme 3	 Stage 1	 Stage 2	 Stage 3	 Stage 4	
Scheme 4	 Stage 1	 Stage 2	 Stage 3	 Stage 4	



Fig.1 Schematic diagram of the oblique dislocated intersection of Hongensi (upward vertically and down obliquely)

Table 2 Hourly traffic volume of the Hongensi oblique dislocated intersection.

Volumes (veh/h)		Direction											
		Guanhong WB			Yuao SB			Hongen EB			Yuao NB		
		Left	Through	Right	Left	Through	Right	Left	Through	Right	Left	Through	Right
Wor kday s	Morning	772	287	222	402	182	103	924	224	239	312	306	70
	Off-peak	705	315	324	385	153	86	479	173	156	258	247	40
	Evening	986	410	308	396	286	87	663	195	265	378	251	64
Wee kend s	Morning	591	293	172	430	229	130	597	204	200	271	235	39
	Off-peak	730	328	297	434	156	176	498	261	202	291	211	23
	Evening	886	372	383	401	169	124	664	258	232	289	241	54

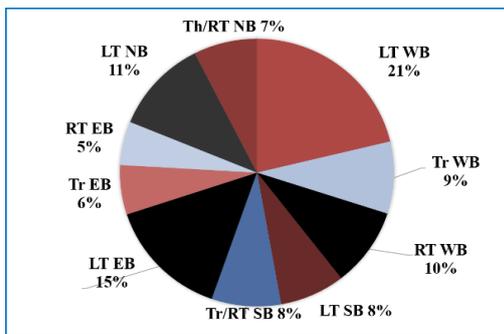


Fig.2 Percentage for each lane of the intersection.

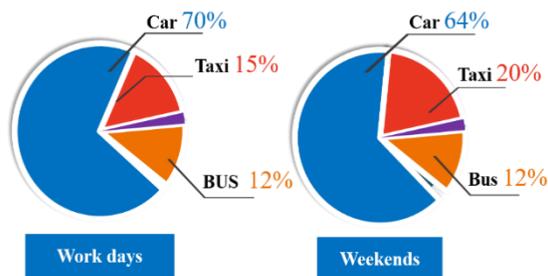


Fig.3 Percentage of vehicle type.

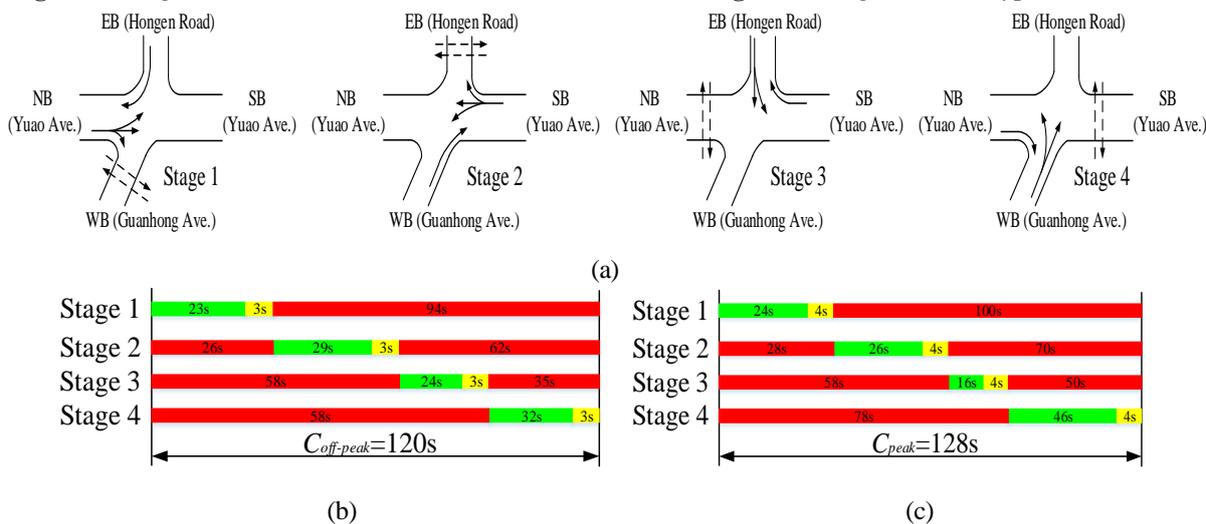


Fig.4 Current control scheme: (a) phase diagram; (b) signal timing of off-peak; (c) signal timing of peak.

The proportion of traffic volume on each lane was shown in Fig.2. The left-turn traffic volume of east-west entrance accounts for the highest proportion, which is far greater than the proportion of straight-through and right-turn traffic in the same direction. From the perspective of the composition of the intersection models (Fig.3), small cars occupy the main models, while taxis and buses account for a certain proportion. The traffic composition on weekdays and weekends is stable and mixed, and the bus has a great influence on the traffic capacity of the intersection.

b) Signal phase and timing

The current control strategy of the Hongensi oblique dislocated intersection is very simple. It adopts fixed time and fixed-cycle control method on weekdays and weekends. The signal control scheme is shown in Fig.4.

c) Summary of current operation state

1) The intersection is very large. The lanes of east and west entrance are much more than which of at south and north entrance. The vehicle trajectory inside the intersection is chaotic, and the overall traffic capacity of the intersection is poor.

2) The service level of the intersection is low, since long queue exists on the northeast and west entrance and the four legs are saturated or over saturated. Sometimes, vehicles need two or three stops before leave the intersection;. The traffic

volume on weekday mornings and evenings increases compared to weekends, and there are more buses.

3) Signal timing needs to be change. In the morning peak hours of weekdays, the green splits of east, south and west entrance are relative small, which resulted in a high number of queues. In the evening peak of weekends, the low green split for west leg makes the entrance a long queue. The effective green time of each phase does not match the expected green time.

4) The phase combination and sequence is not reasonable. The phase stage release mode of the intersection is split phase during the off-peak and peak hours on weekdays and weekends, which is inconsistent with the traffic demand. Green time of some movements are loss.

(2) Optimization of signal control scheme

Based on the survey data and the problems, the optimized method which have been mentioned above was applied to Hongensi oblique dislocated intersection. New control scheme with phase combination and timing, which is shown in Fig.5 (optimized signal control scheme for workdays) and Fig.6 (optimized signal control scheme for weekends).

As shown in Fig.5 and Fig.6, the phase release mode is same on the workdays and the weekends, and the split phase is still used during the peak time. However, the symmetrical releasing is adopted for north-south entrance during the off-peak

time, and the signal timing of each circle is also optimized accordingly.

(3) Evaluation of new signal control scheme

The signal control schemes that be operated before and after are evaluated by simulations with VISSIM. By comparing the evaluation index, it can be judged whether the optimization result is valid or not. The evaluation index includes the average vehicle delay, the average queue length and the average stops per vehicle. The results are shown in Table 3.

As shown in Table 3, compared with the pre-optimization scheme, the optimized signal control scheme is more efficiency on the index of vehicle delay, average queue length and average stops per vehicle under the same traffic conditions. The comparison of evaluation results show that the signal control scheme has indeed been optimized and has significantly improve traffic congestion at the intersection.

5. CONCLUSION

The signal control optimization to oblique dislocated intersection in urban includes phase combination, phase sequence, cycle and split etc. Taking Chongqing Hongensi oblique dislocated intersection as an example, according to the traffic operation characteristics and geometric conditions at the intersection, the HCM 2010 manual and Webster model were used to

optimize the signal control scheme, and the scheme was simulated and evaluated by VISSIM software. The final result shows that the optimization of signal control scheme can improve the operating quality and level of service of the oblique dislocated intersection.

ACKNOWLEDGMENT

Sincerely thanks to Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) for their financial support of promoting the academic exchange between us (China and Japan). And thanks to all those involved in the traffic survey and all researchers who contributed to this article.

REFERENCES

- 1) Quan, Y. S. Urban traffic control, *Beijing: People's Communications Publishing House*, pp. 45-51, 1989. (in Chinese)
- 2) Yang, X. G. Urban road traffic design guide, *Beijing: People's Communications Publishing House*, pp. 115-141, 2002. (in Chinese)
- 3) Gu, Y. L. and Yu, L. Study on optimization of Phase offset at adjacent intersections, *International Journal of Intelligent Systems & Applications*, Vol. 2, No. 1, pp. 30-36, 2010.
- 4) Transportation Research Board. : "Highway Capacity Manual 2010." *Washington, D. C. : Transportation Research Board*, 2010.
- 5) Wang, W., Wu, L. and He J. Study on signal control scheme optimization of urban offset intersection, *Traffic information and security*, Vol. 30, No. 03, pp. 20-24, 2012.
- 6) Du, D. H., Fan, D. K. and Chen. K. M. Study on Signal Control Optimization of Dislocation Intersection, *Highway*, pp. 197-202, 2008.
- 7) Luo, H. M. and Zheng, L. Optimization of Signal Control of Short Distance Intersection Based on Efficiency-Safety Evaluation, *Traffic information and security*, Vol. 36, No.01, pp. 65-73, 2018.

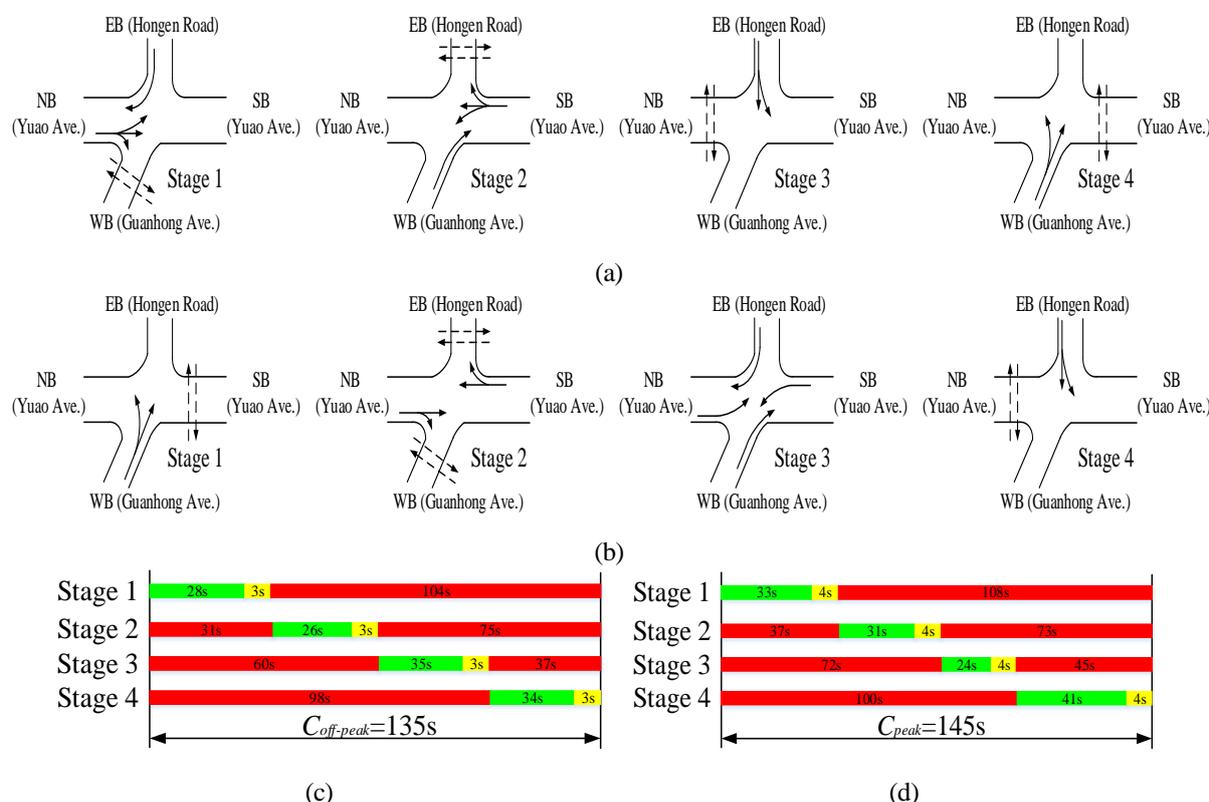


Fig.5 Optimized signal control scheme for workdays: (a) phase diagram of peak; (b) phase diagram of off-peak; (c) signal timing of off-peak; (d) signal timing of peak.

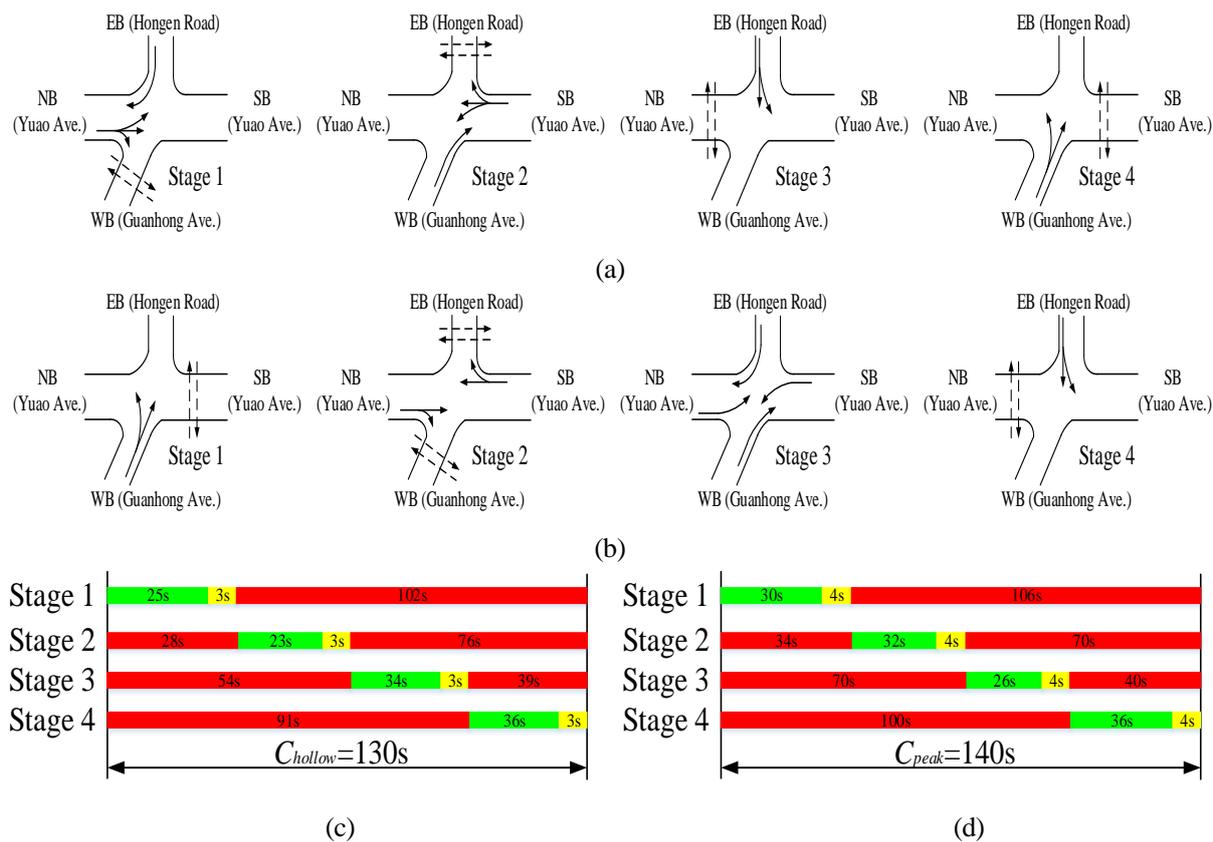


Fig.6 Optimized signal control scheme for weekends: (a) phase diagram of peak; (b) phase diagram of off-peak; (c) signal timing of off-peak; (d) signal timing of peak.

Table 3 Evaluation results of signal control scheme before and after optimization

Signal control scheme	Time	Evaluation index		
		Average vehicle delay (s)	Average queue length (m)	Average stops per vehicle
Current workdays	Morning peak	47.68	31.6	0.85
	Off-peak	31.76	23.48	0.53
	Evening peak	48.09	31.84	0.87
Current weekends	Morning peak	47.69	30.84	0.86
	Off-peak	32.12	23.82	0.53
	Evening peak	47.91	30.84	0.85
Optimized work-days	Morning peak	37.22	28.28	0.56
	Off-peak	24.66	22.53	0.46
	Evening peak	37.05	28.39	0.56
Optimized week-ends	Morning peak	37.08	27.73	0.58
	Off-peak	25.06	22.57	0.44
	Evening peak	37.65	28.78	0.61

Session 3 : 防災・環境

移設サンゴの種類別生残・成長特性に関する考察

前里 尚¹、大城 祥慎¹

¹内閣府沖縄総合事務局 石垣港湾事務所 整備保全課 (〒907-0012 沖縄県石垣市美崎町 1-10)

石垣港湾事務所では様々な事業の実施にあたり、その影響範囲にサンゴ等の成育が確認された際は環境保全措置としてサンゴの移設を行い、移設後のサンゴの生残率等のモニタリング調査を継続して実施している。

これまで生残率等の評価においては、成育環境などの条件により種類毎の生残率が異なるため、定量的な目標設定を行う事が困難であった。

本論文においては、今後のサンゴ移設の評価の参考とすべく、石垣港の移設サンゴの種類を大まかに分類し、生残・成長特性の分析・整理を試みた。

キーワード 移設サンゴ、生残率、成長率、ミドリイシ類、ハナヤサイサンゴ類、キクメイシ類

1. はじめに

近年、日本国内に寄航するクルーズ船が増加しており、特に石垣島を含む沖縄県においてはその増加が顕著であり、クルーズ船の停泊できる岸壁の整備が早急に求められている。

石垣港においても、現在クルーズ船の専用岸壁の整備を鋭意進めているところである。

また、石垣港ではクルーズ船の専用岸壁以外にも様々な事業を進めているが、いずれの事業においても環境に配慮し、事業の開始時には事業影響範囲のサンゴ生息調査を行い、移設が必要なサンゴが確認された場合は、サンゴ移設を実施して、移設後の生残率などの各種モニタリング調査を実施してきた。

これまで生残率の評価については、サンゴが種別によって適した成育環境が異なり、生残率にも影響することから定量的な目標設定を行う事が困難であ

った。そのため、これまで種別毎の目標は設定されておらず、移設したサンゴとその周辺の天然サンゴの生残率を比較する事でサンゴ移設の成否を判断していた。

しかし、多種多様なサンゴの種別毎の生残率の目標を設定し定量的に評価する事が可能となれば、生残率はより客観性を確保した評価の指標として扱う事が出来るようになる。

本論文では今後のサンゴ移設の評価をより客観的に実施可能とすることを目標として、石垣港内にて移設を行ったサンゴを対象に生残率・成長特性の分析整理を試みた。

2. 研究対象のサンゴ

本論文で対象としたサンゴは、岸壁や護岸の整備予定区間の箇所が生息していたサンゴのうち、避難措

置として防波堤の港外側や護岸の港内側に移設し、モニタリング調査を実施していたサンゴである。(図1)

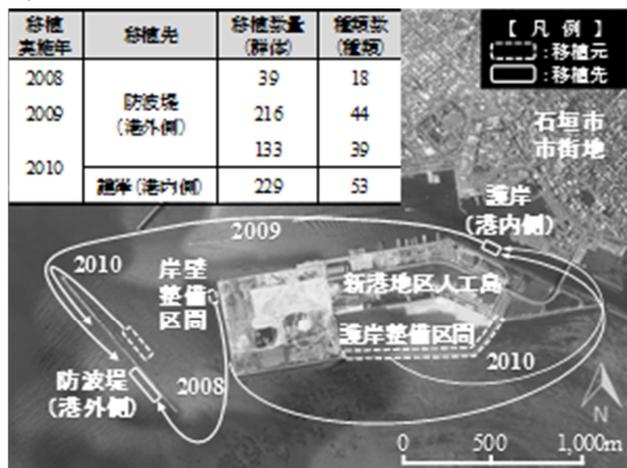


図1.移設元および移設先の位置図 (石垣港内)

また、対象としたサンゴの種類については、ミドリイシ類、ハナヤサイサンゴ類、キクメイシ類の3種のサンゴを採用することとした。

主な理由としては、移設したサンゴの中でもサンプル数が多く生残率の分析を行いやすかったことである。また、サンゴの生残率は成育環境や高水温などの環境変動によって左右され、上記の三種類のサンゴは適した成育環境が異なっていたり、高水温への耐性の程度が異なっていたりと、それぞれが異なる特性を保有している。したがって、本論文のテーマでもある異なる成育環境や条件を持つサンゴ毎の生残率を分析する上で適した条件を持っていると考えた。

一般的には、ミドリイシ類とハナサンゴヤサイ類は成長速度が速いタイプのサンゴとして知られている。その一方で高水温などの影響を受けやすく周囲の環境への耐性が低い事も知られている。

キクメイシ類は上記の2種とは対照的に成長速度自体は遅いタイプの種類だが、高水温などの影響を比較的受けにくく、周囲の環境への耐性は高い種である事が知られている。

また、サンゴの死滅する要因の一つに、気候変動に伴う高水温化などが挙げられるため、高水温への耐性を持つサンゴ種の生残率を分析する事は非常に

有意義だと考える。



写真1.ミドリイシ類 (石垣港内)



写真2.ハナヤサイサンゴ類 (石垣港内)



写真3.キクメイシ類 (石垣港内)

また、2016年夏季に石西礁湖で大規模なサンゴ白

化現象が生じたため、特異的な影響を控除するために2015年までに5年以上のモニタリング調査を行っている区域を対象として分析を行った。

3. 分析手法と整理方法

種別毎の生残率と成長率の分析にあたり、表1に示す分類別の生残群体数を合計し、表3のとおり5年後までの生残率を求めた。さらに、表2のとおり移設サンゴの1群体当たりの生残面積数を整理した。表2の整理結果をもとに、移設2-6ヶ月後の平均生残面積を100%とした、その後の平均生残面積の変化率を「成長率」として定義して整理を行った。

表1. 分類別の生残群体数の合計方法 (例)

(ハナヤサイサンゴ類)

単位: 群体

移設後 経過年数	防波堤(沖南)						護岸 (港内側)	合計	
	08移植		09移植		10移植		10移植		
2-6ヶ月後	'08	8	'09	45	'10	10	'10	22	85
1年後	'09	6	'10	38	'11	8	'11	14	66
2年後	'10	6	'11	32	'12	7	'12	10	55
3年後	'11	5	'12	28	'13	7	'13	8	48
4年後	'12	5	'13	18	'14	7	'14	6	36
5年後	'13	5	'14	12	'15	6	'15	6	29

表2. 分類別の平均生残面積

単位: cm²

移設後 経過年数	ハナヤサイサンゴ類		ミドリイシ類		キクメイシ類	
	生残面積	生残群体数	生残面積	生残群体数	生残面積	生残群体数
	平均生残面積		平均生残面積		平均生残面積	
2-6ヶ月後	9,130	85	93,708	345	7,222	82
	107±83		272±241		88±47	
1年後	8,797	66	87,428	234	7,682	81
	133±99		374±198		95±52	
2年後	9,448	55	95,345	185	8,161	79
	172±103		515±215		103±54	
3年後	10,545	48	98,181	152	8,930	76
	220±98		646±284		118±60	
4年後	7,511	36	99,999	124	9,324	73
	209±112		806±327		128±75	
5年後	6,993	29	73,461	85	10,167	70
	241±104		864±341		145±83	

表3. 分類別の生残率・成長率

単位: %

移設後	生残率			成長率		
	ハナヤサイ サンゴ類	ミドリイシ類	キクメイシ類	ハナヤサイ サンゴ類	ミドリイシ類	キクメイシ類
2-6ヶ月後	100	100	100	100	100	100
1年後	78	68	99	124	138	108
2年後	65	54	96	160	190	117
3年後	56	44	93	205	238	133
4年後	42	36	89	194	297	145
5年後	34	25	85	225	318	165

4. 分析・整理結果

本論文で得られた種別毎の結果を経過年数毎に図2では生残率の推移、図3では成長率の推移をとりまとめた。

種別毎の生残率については5年が経過した時点でキクメイシ類が80%以上を保っている事に対し、ハナヤサイサンゴ類では3年経過時で56%、5年経過時では34%となり、ミドリイシ類では3年経過時で44%、5年経過時では25%と対照的な結果を示した。

一方で、成長率についてはミドリイシ類、ハナヤサイサンゴ類、キクメイシ類の順序で高くなる結果を示した。

これらの結果は一般的に知られている各サンゴ種の生残・成長特性の傾向とも合致している。

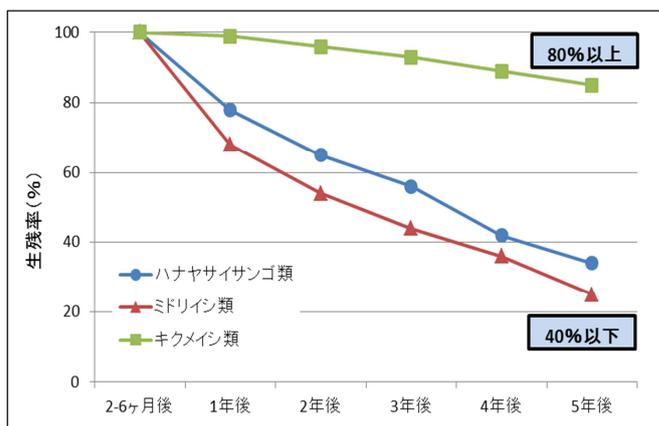


図2. 分類別の生残率の推移

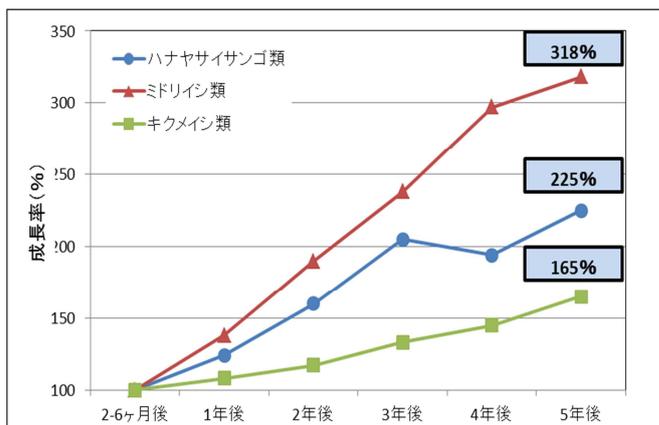


図3. 分類別の成長率の推移

5. 結果と考察

今回の分析により、移設サンゴのモニタリングにあたってはサンゴ種毎の異なる成長特性や性質が生残率に影響する事が確認でき、種別毎での生残率の目標を設定する必要性が確認できた。

また、今回の整理において3種のサンゴの大まかな生残率の目標が示されたが、今後さらにサンプル数を増やしていくことでその目標の精度は高まっていくと考えられる。今後は、ハマサンゴ属などのその他のサンゴ種についても同様の分析整理を進めていき、生残率をより客観性のあるサンゴ移設評価の指標として取り扱えるように知見を重ねていく必要がある。

6. 【参考】22年後に生残が確認された移設サンゴ

本論文で、5年が経過した段階でも80%以上の生残率を保持していたキクメイシ類についてだが、石垣港で過去に移設した中で移設後22年間にわたり生残していた個体が確認できているので、長期にわたるモニタリング調査の成果の一例として紹介する。

今回、確認されているサンゴは1996年に移設が行われており、現在まで継続して生残率のモニタリング調査が行われている。

図4に示す生残率については、傾向として、移設後17年間にわたり生残率が90%を維持し続けており、2016年の石西礁湖での大規模白化の影響を受けた事で生残率が大きく下がったものの、現在でも30%の群体が生残していることが確認できた。

これほどの長期にわたるモニタリング調査は全国でもあまり事例が無いが、キクメイシ類のように周囲の環境への耐性が高い種類のサンゴについては移設が良好であれば、長期にわたり生残する事ができる可能性があることが確認できた。

今後も、長期にわたる移設サンゴ生存の一例として継続してモニタリング調査を行っていきたい。

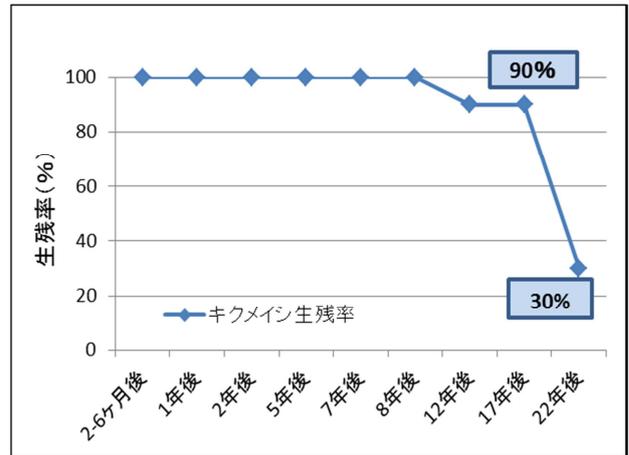


図4. キクメイシ生残率 (長期モニタリング)



写真4. 移設22年後に生残が確認されたキクメイシ類

めがねトンネル周辺の応力場と安定性に関する研究

琉球大学 ○玉城道雄, 藍檀オメル, 富山潤, 須田裕哉,

1. はじめに

近年, 岩盤においてめがね(双設)トンネルの施工には無導坑方式の施工例が写真-1 に示すように増加している. これらの無導坑方式のめがねトンネルは, 離隔距離を確保する必要があるが, 用地等の制約により, 離隔距離が確保できない場合でもこの工法を採用せざるを得ない事例がある. トンネル標準示方書¹⁾によると, 一般的に2本のトンネル間の距離(以下, ピラー幅)の安全を保つことができる離隔距離 R を図-1 のように定めている. めがねトンネルの離隔距離は, 地質条件によって変化することを考慮し, 掘削幅 D の2倍(硬質な地山の場合)から5倍(軟質な地山の場合)程度と推奨されている. 本研究では, ピラー(鉄筋コンクリート)を設けない無導坑方式の施工方法をめがねトンネルとして定義する.

沖縄県においてめがねトンネルの施工では, ピラー幅 $L(m)$ が1m前後(離隔距離 $R \approx 1.1D$)と狭小の施工が多数存在する. その中には, 軟弱地盤である島尻層泥岩がピラーとして機能するトンネルもある. 地表面沈下の抑制や崩落防止に努めることを踏まえ, トンネルの安定性を確保する観点からトンネル周辺の応力場を調べるのが重要視されている. 以上から, 本研究では, 光弾性実験および有限要素解析を行った. ピラー幅の違いからその周辺の応力場とトンネルの安定性に関する検討を行った.

2. 光弾性実験の解析検討

実験と解析の妥当性の検討のため, 光弾性実験で行った実験結果と free FEM++フリーソフトウェアを用いた有限要素解析との比較検証を行った. 光弾性実験は, 偏光の性質を利用し, 等方等質の透明体をモデルに用いて, トンネルや斜面内部の応力場を目視観察できる実験である. 本実験では, 図-2 に示すように偏光レンズを付けたカメラと光源装置を用いて実験

を行った. モデルの材料としてゴム状のポリウレタンを用いた. 実験では, トンネルを模擬するため, めがねトンネルの模型を用意した. 模型は, 直径 $D=40mm$ の孔を二つと, ピラー幅 $L=20mm$, 離隔距離 $R=1.5D$ とした. 模型の弾性係数 $100MPa$, ポアソン比 0.3 , 等分布荷重を上部から $1MPa$ 加えて解析を行った.



(a) ひやごんトンネル (b) 織名トンネル

写真-1. 無導坑方式で施工されためがねトンネル

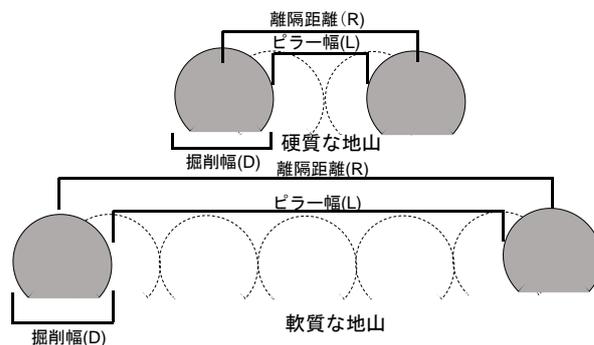


図-1 めがねトンネルの離隔距離(文献¹⁾を加筆)

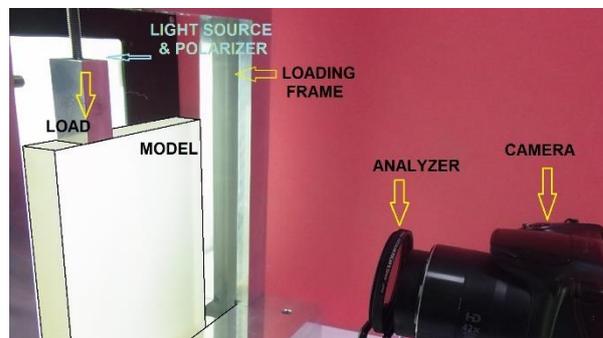


図-2 光弾性実験の概念図

キーワード: めがねトンネル, 無導坑方式, 光弾性実験, FEM, 安定性

連絡先 〒903-0123 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 建設材料学研究室

E-mail : e165343@eve.u-ryukyu.ac.jp

2.2 光弾性実験の実験結果

図-3 に光弾性の実験結果および解析結果を示す。めがねトンネルでは、ピラーに等色線縞が多く見られ、他の応力と比べ高いように見られる。そして、解析でも同様にピラー付近に高い応力が生じていた。

3. ピラー幅をパラメータとしためがねトンネル周辺の最大応力の検討

本検討では無導坑方式めがねトンネルの安定性を検討するために解析モデルを作成し解析を行った。ピラー幅および土被りの違いからピラー中心の点Cとめがねトンネル周辺における点A、Bの鉛直応力を解析した。対象となる島尻泥岩の物性値は表-1に示し、作成した解析モデルを図-4に示す。めがねトンネルは中心から等間隔に配置した。境界条件は、側方において水平方向のみ拘束され、底面は、水平・垂直両方向拘束されているものとする。側方において解析領域に影響を及ぼさないように横幅をトンネル外側から5Dとすることにした。そして、掘削幅D=10m、ピラー幅L=1m、2m、5m、10m、すなわち離隔距離R=1.1D, 1.2D, 1.5D, 2Dの4パターンを土被りH=5m, 10m, 15m, 20mと設け、合計16パターンについて行った。

3.1 解析結果

図-5 および図-6 に土被りの相違による鉛直応力の変化を示す。図-5により、ピラー幅1mの鉛直応力は、土被りが増加するにつれて応力が増加し、土被り20mでは、ピラー幅10mと比べ約3.8倍高い値を示した。川本²⁾は、接近によって応力が增大する位置と変わらない位置があることを指摘しており²⁾、図-6により、点Bは応力が増大し、点Aは応力が変化しない様子がみられた。今回の解析では側圧係数 λ を1.0と統一し、間隙水圧を考慮していない。川本²⁾は、側圧係数の値によって、トンネル壁に引張亀裂を生ずるときの内圧は大きく変化することを述べている²⁾。

4. まとめ

光弾性実験からめがねトンネルはピラーの応力が他の部分より大きいことが確認できた。解析でも同様であることが確認できた。

ピラー幅1mの鉛直応力は、土被りが増加するにつれて応力が増加し、土被り20mでは、ピラー幅10mと比べ約3.8倍高い値が出ている。今後は、水平応力によるめがねトンネルの影響を調べることを課題とする。

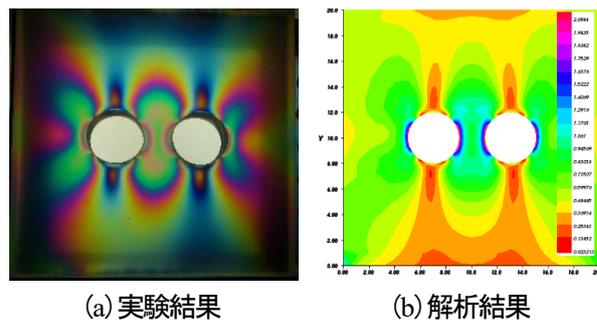


図-3 めがねトンネルの最大せん断応力図

表-1 島尻層泥岩のトンネルモデルで用いた物性値

単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比
0.02	100	0.3

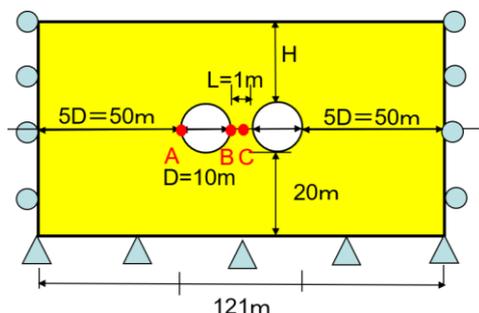


図-4 島尻層泥岩のトンネルモデル(ピラー幅1m)

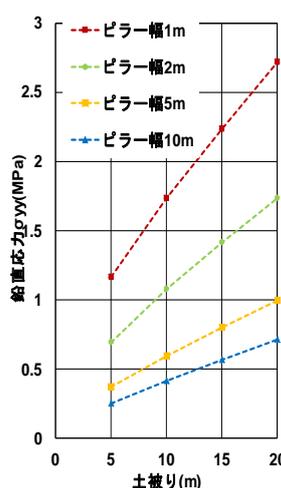


図-5 鉛直応力と土被りの関係(点C)

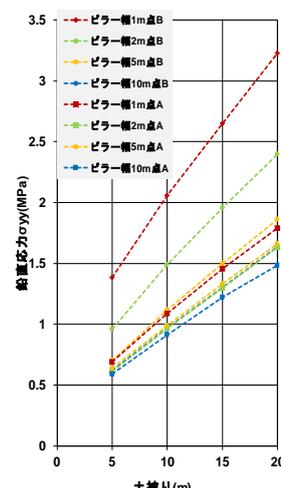


図-6 鉛直応力と土被りの関係(点Aと点B)

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法編]，pp133，2016
- 2) 川本眺万：双設圧力トンネルの応力状態について，第3回岩盤力学シンポジウム講演論文集，pp6-10，1965

波力を受けるテールアルメ工法を用いた擁壁の挙動に関する実験的研究

琉球大学 ○相川哲平, 藍檀オメル, 堀内浩貴

1.研究背景・目的

一般的に擁壁の後方に帯状の鋼材を配置したテールアルメ工法では盛土として土質材料が用いられる。

しかし、桑野ら(2012)によると 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震後の津波によりテールアルメ工法を用いてつくられた構造物内の盛土が一部流出したという報告がある。沿岸部などの波が断続的に当たる箇所では盛土材料が流出する危険性がある。

そのため、土質材料の代わりとして盛土の流出がしにくい岩石を用いることが必要である。

以上から、本研究では琉球石灰岩を浦込材として用いたテールアルメ工法の模型を作製し、波や地震を想定した模型実験を行うことを目的とする。具体的には岩石を用いたテールアルメ工法の擁壁の安定性を検討する。

2.テールアルメ工法の概要

テールアルメ工法は、補強土壁工法の一つである。擁壁背面の盛土内にストリップと呼ばれる鋼製補強材を敷設し、盛土材とストリップの摩擦によって安定した盛土を構築する工法である。

図 1 はテールアルメ工法を用いた構造物の外観であり、複数のブロックが積みあげられた擁壁であることが分かる。



図 1 テールアルメ工法の擁壁外観
(うるま市 にいぶんじゃー橋)

3.実験概要

本研究では、擁壁別の安定性を検討するために、擁壁が 1 つのブロックからなる場合、4 つのブロックからなり底面との角度が 90° と 83° の場合について実験を行った。それぞれの擁壁において、擁壁前面の支持を外した場合、乾燥状態、部分浸水状態での振動実験、部分浸水状態での連続波による影響の 4 つについて実験を行った。支持を外した場合の実験は、擁壁の完成時に支持を撤去する際の擁壁への影響を想定している。2 つの振動実験については、地震動のみの場合と波力が加わった場合の擁壁の安定性を比較する。連続波による影響についての実験は、沿岸部での擁壁を想定している。図 2 は、実験に用いた模型の概略図と計測器の位置を示したものであり、左の岩石を上下させることで連続波を発生させる。表 1 は、擁壁別で行った実験の有無を表している。

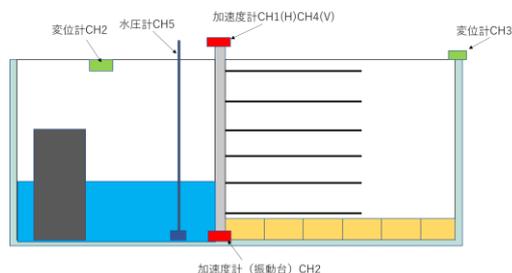


図 2 模型図と計測器の位置

表 1 擁壁種類別で行った実験の有無

	Support	Dry	Wet	WW
1B	○	×	○	○
4B θ=90°	○	○	○	○
4B θ=83°	×	○	○	○

1B=1 つのブロックからなる擁壁

4B=4 つのブロックからなる擁壁

Support: 支持を外した場合、Dry: 乾燥状態

Wet: 部分浸水での振動実験、WW : 連続波による影響

4.実験結果と考察

4.1 擁壁の支持をはずした場合

図 2 は擁壁種類別での擁壁前面の変位を表している。

キーワード：テールアルメ, 琉球石灰岩, 振動試験, 波力

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:e165329@eve.u-ryukyu.ac.jp

擁壁が1つのブロックからなる場合では、変位が増加し続けたのに対し、4つのブロックの場合では、徐々に変位が減少し、ある値で収束することが分かった。

この結果から、1つのブロックの場合、変位は擁壁下部からの累計となるため大きい値となり、4つのブロックについては、変位が個々のブロックに分割されるため下部からの影響が小さいと考えられる。

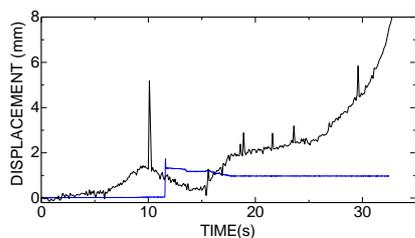


図3 ブロック上部における変位
(黒：1ブロック、青：4ブロック)

4.2 乾燥状態での振動試験

図3は角度90°の実験後の擁壁崩壊を示しており、図4はその実験でのブロックの加速度と変位を表している。90°の場合においてのみ、図3のように擁壁の一部がはらみ出すという崩壊形態がみられた。

図4から、60秒付近において加速度の急激な変化がみられ、変位が上昇しているため、この時点で崩壊が起きたことが分かる。4つのブロックにおいて、90°の場合のみ擁壁の崩壊が起きたことから、底面との角度が90°の場合より83°の場合の方が崩壊しにくいことが分かった。この理由として、83°の場合は擁壁が浦込め材に寄りかかる形になっているため振動の影響を受けにくいということが考えられる。



図4 擁壁崩壊の様子

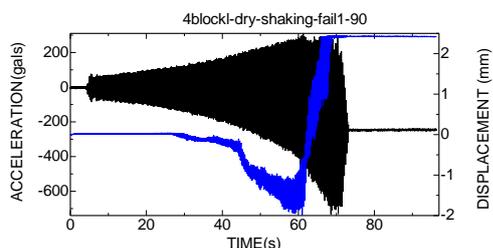


図5 変位(青)と加速度(黒)の計測結果

4.3 部分浸水状態での振動試験

乾燥状態の時と同様に、90°の場合においてのみ、擁壁の一部がはらみ出す崩壊形態がみられた。

乾燥状態の場合と比較すると、変位の振れ幅が大きくなっているため、擁壁は振動だけでなく波力も受けていることが分かる。

この結果から、4つのブロックでの角度が90°の場合についての乾燥状態と部分浸水状態の振動実験は、どちらも上部のブロックの継ぎ目部分で崩壊が起こっているため、その箇所が最も危険であるということが分かる。

4.4 波動の影響

図6は、4ブロックからなり角度が90°の場合での擁壁前面の変位と加速度を表している。この実験では、手動で水中のおもりを上下させることで波を発生させるため、水圧などにばらつきは見られるが、どの擁壁においても図6のように変位は微小であった。そのため、連続波によって擁壁に与える変位は小さいと考えられる。

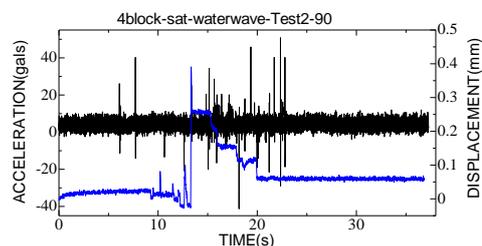


図6 加速度(黒)と変位(青)の計測結果

5.まとめ

本研究では、振動や波力によって生じるテールアルメ工法を用いた擁壁の変位と加速度を測定した。

また、4つのブロックにおける角度ごとの擁壁の安定性の違いが確認でき、崩壊形態も観察することができた。

しかし、模型作製時の岩石のばらつきなどによる影響も考えられるため、今後の模型作製については慎重に行う必要がある。

参考文献

- (1) 桑野二郎、古関潤一：2011年東日本大震災において津波に耐えた補強土構造物の事例、地盤工学ジャーナル Vol.7, No.1, pp275-281, 2012

落石の到達距離に関する実験的考察

琉球大学 村山有祈 堀内浩貴 Nazlı TUNAR ÖZCAN 藍檀オメル

1. はじめに

岩塊の崩落は、斜面近傍に存在する原子力発電所などの重要構造物の供用に被害を与える可能性がある。落石から重要構造物を守るうえで、落石の到達距離に関する評価を行う必要がある。これまでも数多くの研究が行われているが、斜面角度を考慮した斜面の到達距離の研究はあまり多くない。また、斜面を転がる際の軌跡を考えた研究事例も多くない。よって、斜面角度および落石の軌跡を検討し、到達距離および軌跡の違いを調べる必要があると考える。そこで、本研究では斜面角度と斜面の形状が到達距離に及ぼす影響を実験および解析的に考察することを目的とする。具体的には、模型実験で斜面角度による影響があるのかを検討する。また、**rockfall** を使った解析手法を用いて、落石の崩壊後の軌跡を比較する。



図-1 花崗岩ブロック



図-2 花崗岩ブロックの崩壊と到達距離の一例
し、150回に関してはすべて異なる岩石を使用した。また、到達距離は斜面法肩から崩落岩塊の頭までとした(図-2)。

2. 使用材料

2.1 崩落岩塊

模型実験における材料は形状に若干ばらつきのある花崗岩ブロックを使用した(図-1)。大きさは約2cmの角に丸みのある直方体であり、重さの平均は19.1gである。

2.2 斜面模型

斜面模型は、木とコンクリート型枠合板を用いて、斜面高さを200mmとした。また、斜面角度は、45°、60°、90°の3パターンを用意した。

3. 実験方法

模型実験は、幅1000mm、奥行64mm、高さ250mmの亚克力水槽中に斜面模型を作り、実験を行った。一粒の花崗岩を斜面上端から自由落下させ、到達距離を計測した。なお、実験回数は岩石の到達距離のばらつきを考慮して、各パターン150回行うことと

4. 実験結果

図-3に花崗岩ブロックにおける到達距離の頻度分布を示す。図より、角度が大きいくほど距離が短くなっていることがわかる。実際に斜面部分の距離を平均値から引き、法尻からの距離で考えても、45°、60°、90°の順に35.2cm、28.9cm、24.2cmと角度が大きくなるにつれて距離が短くなっていった。これは例えば90°ではほとんど垂直に自由落下する形に近く、ほかの角度と比べて距離が延びなかったことがあげられる。また、花崗岩ブロックの大半が斜面を転がるようにして崩落していった。

5. 解析手法

5.1 解析概要

実験の軌跡と比較するため、再現解析を行った。解析では、実験から反発係数を求め、その値を用い

キーワード 落石, 花崗岩, Rockfall, 軌跡

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:e165307@eve.u-ryukyu.ac.jp

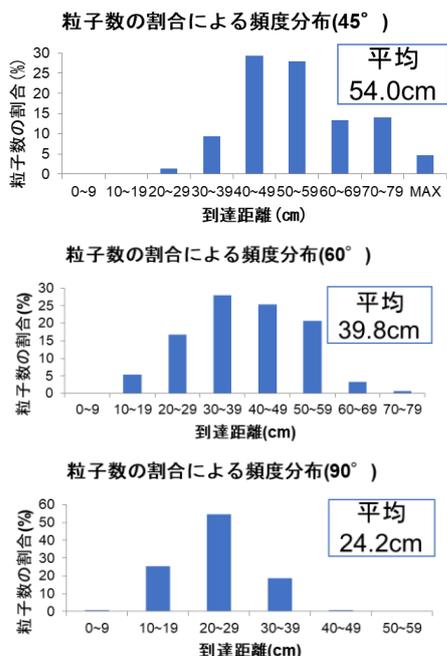


図-3 花崗岩ブロック到達距離の頻度分布

到達距離を測ることが可能である。Rocscience の Rocfall から岩塊重心の移動経路を求めた。今回は、斜面角度 45°, 60°, 90°に加え、斜面表面が 1:1 の割合で凹凸が等間隔にある斜面模型(以後、階段状モデルとよぶ)で落石解析を行った。なお、階段状モデルは岩石と同程度の比重であるアルミニウムを用いて、斜面模型を作製した。

5.2 解析結果

図-4(a)-(d)に各斜面角度の解析結果による軌跡と実験結果による軌跡を示す。

階段状モデルの到達距離に着目して解析結果と実験結果を比較すると、大きな差があった。これは、実験回数が少ないことによる誤差であると推測でき、実験の値が平均値となっていないことが考えられる。その他の斜面角度に関しては、到達距離が実験結果とおおよそ同じ結果となった。

一方、軌跡に注目すると、解析では斜面法尻以降で数回跳ねたことが確認できた。しかし、実験結果では大半が転がり続けており、跳ねる現象は、斜面法尻付近で一度見る事ができた。これは、実験で使用した花崗岩ブロックが丸みを帯びており、転がりやすくなっていることが考えられる。

6. まとめ

斜面角度が落石の到達距離に影響を及ぼすことが

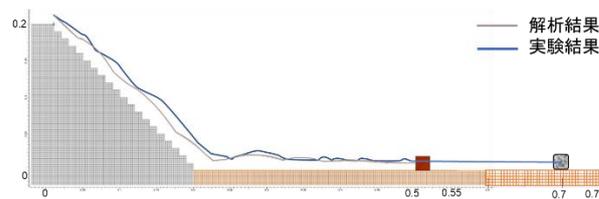


図-4(a) 階段状モデルの到達距離

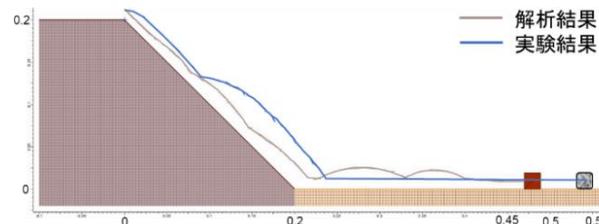


図-4(b) 斜面角度 45°の時の到達距離

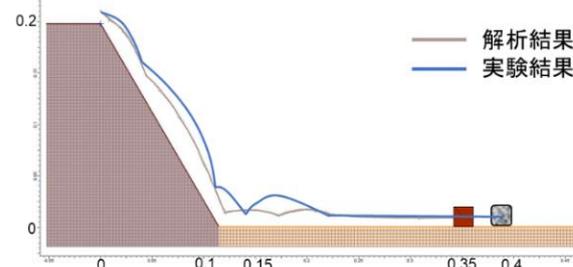


図-4(c) 斜面角度 60°の時の到達距離

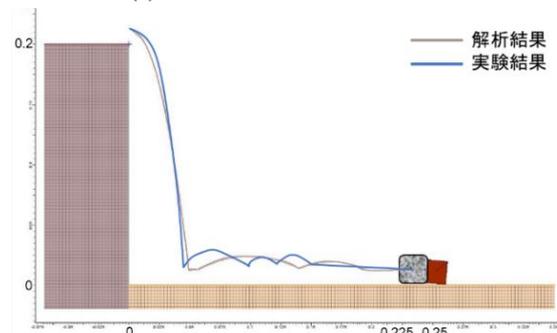


図-4(d) 斜面角度 90°の時の到達距離

実験と解析から分かった。今後は階段状モデルで到達距離の実験を行い、考察していくことを課題としたい。また、現状では斜面角度が小さいと到達距離が長くなるといった結果が出ているため、斜面角度が 45°より小さい場合の到達距離も検討していきたい。

参考文献

- 1) アイダシ・オメル, 清水泰弘, 川本眺万: 岩盤斜面の崩壊の到達距離についての一考察, 第 9 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp. 533-538, (1994)
- 2) 氏平増之, 細谷昭悟・小川健太, 高貝暢浩: フィールドにおける落石の落下挙動-岩盤斜面の落石に関する研究(第1報)-, 資源と素材, Vol. 112, p. 843-850, (1996)

島尻層泥岩における直接基礎の支持力について (案)

(株)中央建設コンサルタント 正会員 ○多和田伸, 棚原真助, 間 弘昭, 鶴田諒明
オリエンタル白石(株) 大内正敏
琉球大学名誉教授 新城俊也

1. はじめに

近年, 島尻層泥岩を対象に橋梁およびその他諸土木施設の整備が進められており, 安全性の向上と長寿命化を図るとともに基礎工の設計施工の効率化およびコスト縮減が求められている。島尻層泥岩は, 風化層や破碎帯において斜面崩壊・地すべりが多く発生し, 地盤工学的に問題の多い地盤とみなされている。一方, 未風化層は半固結状態にあつて軟岩に位置づけられることもあり構造物の良好な支持層として利用されてきた。

島尻層泥岩の支持力は, 従前より, Terzaghi 系の支持力公式^{1,2)}を準用し, 式中せん断抵抗角 $\phi=0$ として粘着力 c の代わりに非排水せん断強度 c_u を適用し評価されてきた³⁾。

一方, 道路橋示方書の平成 14 年版では, 実地盤における大型基礎の載荷試験結果に基づいて, 「寸法効果に関する補正係数」を導入し, 実際の支持力に近い値が推定できるように従来の支持力公式が改良された⁴⁾。寸法効果に関する補正係数はせん断抵抗角 ϕ の応力依存性を考慮したもので, 砂質土の排水性地盤を対象としている⁵⁾。平成 29 年度版道路橋示方書⁶⁾では, 平成 14 年度版の支持力公式の粘性土地盤の粘着力成分の項に「地盤の種類の違いを考慮する係数」が導入されている。この係数は支持力公式による計算支持力値と平板載荷試験による実測値との対比から導入されたものである⁷⁾。「寸法効果に関する補正係数」や「地盤の種類の違いを考慮する係数」の導入により支持力算定の精度の向上が図られている。

実務では, 上位の設計基準が優先されることもあり, 島尻層泥岩においてもこれらの道路橋示方書の支持力公式を適用する試みがあり, $\phi=0$ として非排水せん断強度 c_u を適用した例では「寸法効果に関する

補正係数」さらには「地盤の種類の違いを考慮する係数」の低減率により, 支持力が著しく低く評価され, 支持力公式の適用が課題になっている。

島尻層泥岩のような粘性土地盤に対して道路橋示方書の支持力公式を適用するには一考を要し, 支持力は間隙水の吸排水により変動するので排水状態の影響を考慮する必要がある。本研究では, 島尻層泥岩は難透水性の飽和した硬質粘土地盤とみなし, 最初に粘性土地盤の支持力に及ぼす排水条件ならびに島尻層泥岩のせん断特性を概観し, それらに基づいて非排水状態と排水状態の極限支持力を調べ, 島尻層泥岩の極限支持力の推定について検討する。

2. 粘性土地盤の支持力に及ぼす排水条件の影響

砂のような地盤は透水性が良いので基礎の設置に伴い地盤内に発生した全応力は容易に有効応力に変換される。極限支持力の推定には有効応力表示によるせん断強度定数 $c'(c_d)$, $\phi'(\phi_d)$ が用いられる。

一方, 飽和粘性土地盤の場合は基礎の載荷に伴って全応力とともに過剰間隙水圧が発生するが, 透水係数が小さいので, 直ちに間隙水の吸排出が生ずることなく, 非排水状態のままにある。

その後, 時間の経過に伴って過剰間隙水圧は徐々に消散し, 間隙水の吸排出とともに体積が変化し, 最終的に排水状態となり, 全応力は有効応力に変換される。このように基礎地盤の支持力は非排水状態から吸排水を経て排水状態の値に変化する⁸⁾。

飽和粘性土地盤の支持力は時間とともに変化するが, 実務的には非排水状態と排水状態の両極端のいずれかの極限支持力が基礎設計の対象となる。間隙水の吸排水を許すことなく載荷荷重が増加した

キーワード 島尻層泥岩, 直接基礎, 極限支持力, 支持力公式, ダイレイタンシー

連絡先 〒901-2126 沖縄県浦添市宮城 5-12-11 株式会社中央建設コンサルタント E-mail : stawata@cyuo.co.jp

時の限界荷重が非排水状態の極限支持力である。この場合元々の地盤の強度は増加しないので、支持力評価は全応力表示となる原地盤の非圧密非排水せん断強度 ($\phi_u=0, c_u$) を適用して求める。また、過剰間隙水圧が常時消散するような遅い速さで載荷荷重が増加したときの限界荷重が排水状態の極限支持力であり、支持力評価には有効応力表示によるせん断強度定数 $c' (c_d)$, $\phi' (\phi_d)$ を用いる。

排水状態の支持力は基礎地盤のダイレイタンシー特性にも依存し、吸排水条件下でのダイレイタンシーによる体積変化は土の種類や応力履歴に応じてその応答が異なっている。正規圧密粘土のような地盤では負のダイレイタンシー特性により体積収縮を示し、極限支持力は非排水状態より排水状態が大きいことはよく知られている。一方、粒子間結合力の発達していない超過圧密粘土は正のダイレイタンシー特性を示し、体積が増加することから、極限支持力は非排水状態の方が排水状態より大きいとされている。

3. 島尻層泥岩のせん断特性^{9,10,11,12}

島尻層泥岩は多くは飽和した硬質粘土層に相当し、過圧密状態にある。その力学挙動は岩質材料とは異なり、飽和粘土に類似し、強度や変形に及ぼす間隙水圧の役割を無視することができない⁹⁾。

図1は非圧密非排水三軸試験(UU試験)による全応力表示した破壊時の応力円の例である¹¹⁾。非圧密非排水条件では側圧を変化させてもせん断強度は一定であり、Terzaghiの有効応力の概念が適用できる。また、側圧 $1960\text{kN/m}^2 (20\text{kgf/cm}^2)$ においても非排水せん断強度 c_u は一定であり、破壊包絡線は $\tau=c_u$ の

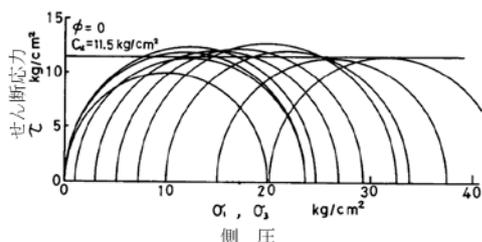


図1 非圧密非排水三軸試験(UU試験)によるモールの破壊応力円 (文献11) に加筆, $1\text{kg/cm}^2=98\text{kN/m}^2$

関係にある。

図2は、圧密排水三軸試験(CD試験)による応力-ひずみ関係である¹²⁾。有効側圧 $588\text{kN/m}^2 (6\text{kgf/cm}^2)$ の範囲の結果であるが、いずれの有効側圧においても軸差応力は軸ひずみとともに増加し、明確なピークを示し破壊に至っている。一方、体積ひずみ-軸ひずみ関係では体積ひずみは収縮を示し、その収縮傾向は軸差応力がピークに至るまで継続している。せん断に伴う体積収縮は負のダイレイタンシーによるものであって、一般の過圧密粘土とはダイレイタンシー挙動が異なり、島尻層泥岩の特徴である。ピーク強度に達した後は破壊に伴って軸差応力は急激に減少し、一方体積ひずみは膨張に転じている。

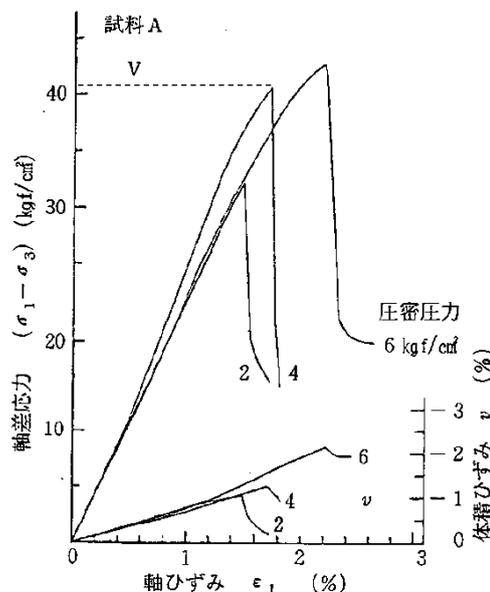


図2 圧密排水三軸試験(CD試験)による応力-ひずみ関係¹²⁾

図3は図2の同様な供試体について実施した圧密非排水三軸試験(CU-Bar試験)による応力-ひずみ関係である¹²⁾。圧密圧力 $490\text{kN/m}^2 (5\text{kgf/cm}^2)$ の範囲の結果であるが、いずれの圧密圧力においても軸差応力は軸ひずみの増加とともにピークに達し、間隙水圧も軸差応力のピーク時付近まで継続して上昇している。このピーク強度に至るまでの正の間隙水圧挙動は非排水条件下でせん断に伴う負のダイレイタンシー挙動によるものであり、図2に示した圧密排水せん断試験におけるピーク強度時までの間の

体積収縮挙動に対応している。

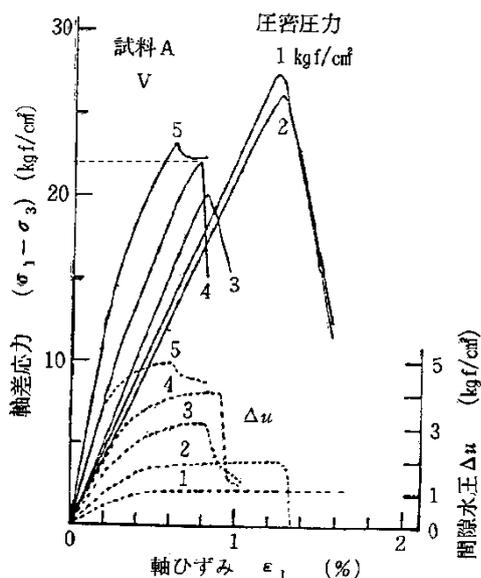


図3 圧密非排水圧縮試験 (CU-Bar 試験) による応力-ひずみ関係¹²⁾
(1kg/cm²=98kN/m²)

図4 は図2と図3の圧密圧力 $\sigma'_3=392\text{kN/m}^2(4\text{kgf/cm}^2)$ の場合の圧密排水三軸圧縮試験 (CD 試験) と圧密非排水三軸圧縮試験 (CU-Bar 試験) のそれぞれの有効応力経路をせん断応力 $\tau=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ と平均有効応力 $\sigma_n=(\sigma'_1+\sigma'_3)/2$ の関係で比較したものである¹²⁾。圧密非排水三軸圧縮試験 (CU-Bar 試験) の有効応力経路は、せん断に伴って間隙水圧が増加するので、平均有効応力を減じてせん断強度 τ_{cu} に至っている。一方、圧密排水三軸圧縮試験 (CD 試験) では有効応力経路は、間隙水圧の上昇がなく平均有効応力の増加に伴うせん断強度 τ_{cd} に至っている。島尻層泥岩は負のダイレイタンスを示す地盤であり、排水条件下では排水により体積は密になるので、排水時のせん断強度 τ_{cd} が非排水時のせん断強度 τ_{cu} より大きな値を示している。

一般に知られている超過圧密粘土のせん断特性は、人工的に再構成した過圧密粘土 (過圧密比 24) に関するものであり¹³⁾、そのせん断挙動は正のダイレイタンスが顕著で、非排水状態のせん断強度 τ_{cu} が排水状態のせん断強度 τ_{cd} に比して大きいことが特徴である。これに対し、島尻層泥岩では堆積過程において圧密効果のほかにセメンテーション作用など土粒子間結合力の発達により骨格構造が形成

されていて、その骨格構造は除荷後の過圧密状態においても維持されている。このような骨格構造が発達した島尻層泥岩のせん断挙動は負のダイレイタンスを示すのが特徴であり、図4に示すようにせん断強度は非排水状態のせん断強度 τ_{cu} より排水状態のせん断強度 τ_{cd} の方が大きい。

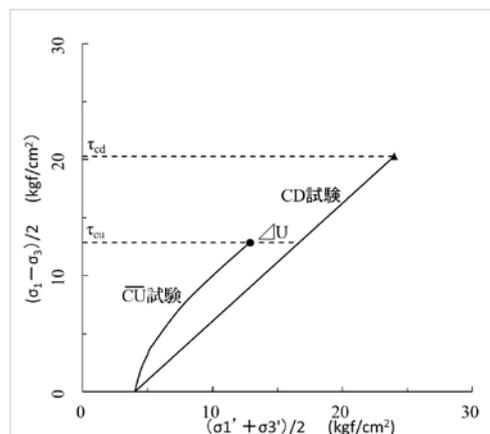


図4 有効応力経路の比較(文献12)に加筆

図5 は圧密排水三軸圧縮試験結果 (CD 試験) に基づく最大強度における破壊包絡線を有効応力で示したものである¹¹⁾。有効側圧は $2450\text{kN/m}^2(25\text{kgf/cm}^2)$ の広範にまたがっているが、破壊包絡線は上に凸の非線形となり、せん断抵抗角 ϕ_d は拘束圧とともに減少し、応力依存性を示している。

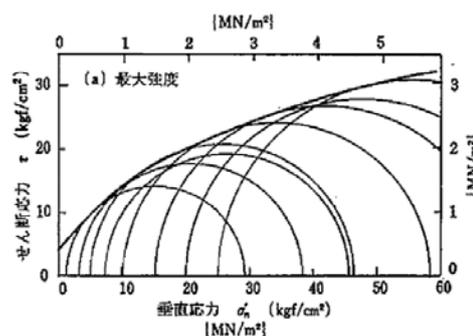


図5 非排水せん断強度と圧密圧力の関係 (文献10)に加筆
1kg/cm²=98kN/m²)

4. 支持力の推定

島尻層泥岩では力学特性を考慮すると、設計に用いる支持力は非排水状態における支持力が対象になるが、ここでは非排水と排水状態のそれぞれの支持力の推定値を求め、比較検討する。

極限支持力の推定には次式の Terzaghi 系の支持力公式を基本として、非排水と排水状態に対応する支持力式を検討する。剛な帯状基礎の鉛直荷重の極限支持力 q_f は次式のようなのである。

$$q_f = cN_c + \gamma_1 DN_q + \frac{1}{2} \gamma_2 BN_\gamma \quad (1)$$

ここに、 c : 土の粘着力成分、 γ_1 : 基礎荷重面より上にある土の単位体積重量、 D : 根入れ深さ、 γ_2 : 基礎荷重面下にある土の単位体積荷重、 B : 基礎幅、 N_c, N_q, N_γ : 支持力係数。

(1) 非排水状態の極限支持力

非排水状態では破壊条件として全応力表示による非排水せん断強度 $\tau_f = c_u$ ($\phi_u = 0$) を適用する。非排水状態の極限鉛直支持力 q_u は、式 (1) において c を c_u と置き、 ϕ は 0 とするが、 $\phi = 0$ の場合 $N_c = 4.14$ 、 $N_q = 1$ 、 $N_\gamma = 0$ であり、次式で推定する。なお、「地盤の種類の違いを考慮する係数は指針に準じて考慮しない。

$$q_u = 5.14c_u + \gamma_1 D \quad (2)$$

(2) 排水状態の極限支持力

排水状態では載荷荷重による全応力は有効応力として作用するので、式 (1) にせん断強度定数に有効応力表示による強度定数 c' と ϕ' を適用する。また、図 5 に示すように、破壊包絡線は非線形にあって、せん断抵抗角 ϕ' は拘束圧の増加に伴って減少し、応力依存性を示すことから、「寸法効果に関する補正係数」を考慮した平成 14 年度の道路橋示方書⁵⁾の式

(3) に示す支持力公式を適用する (平成 29 年度の「地盤の種類の違いを考慮する係数」を導入した支持力公式の適用については別に検討する)。

$$q_d = c' N_c S_c + \gamma_1 DN_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_2 BN_\gamma S_\gamma \quad (3)$$

ここに、 S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果による補正係数。

(3) 平板載荷試験による実測支持力度と支持力式による計算支持力度の対比³⁾

図 6(a) は平板載荷試験による実測支持力度と非排水せん断強度 c_u ($\phi_u = 0$) による非排水状態の計算支持力度 (式 (2) において $D=0$) を比較した事例であ

る³⁾。実測支持力度の結果と計算支持力度はほぼ一致している。この結果は、島尻層泥岩における極限支持力は非排水状態の支持力として求められること、および平板載荷試験は非排水状態で試験が実施されていることを示唆している。

一方、図 6(b) は、平板載荷試験による実測支持力度と有効応力表示によるせん断強度定数 c' と ϕ' を用いた計算支持力度を比較したものである。ここで、実測支持力度は図(a)の平板載荷試験による結果と同じ値であり、非排水状態の支持力に相当している。計算支持力度は式(1)で $c \rightarrow c'$ および $\phi \rightarrow \phi'$ に置き換えて求めた結果であり、排水状態の支持力に相当している。実測支持力度が小さい場合その値は計算支持力度とほぼ一致している (図中喜屋武) が、多くは実測支持力度に比べて計算支持力度は大きな関係にある。しかし、この関係は単に非排水状態と排水状態の支持力計算値を比較したものであり、それぞれの支持力の支持機構は異にしている⁸⁾。

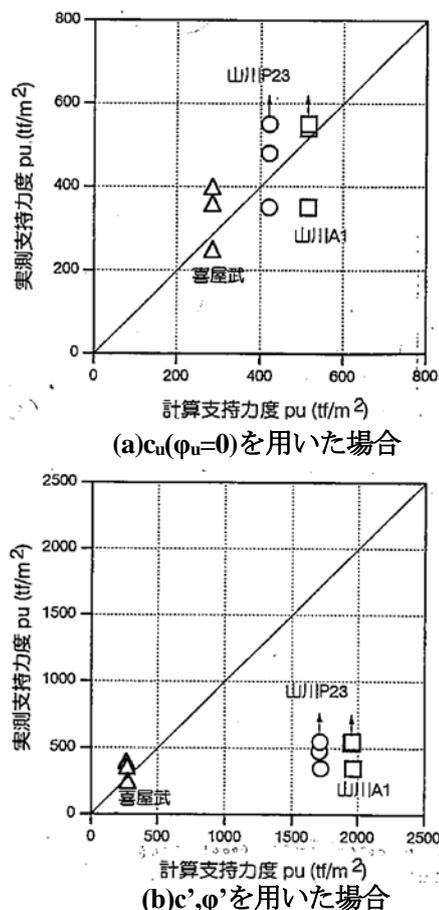


図 6 実測支持力度～計算支持力度関係³⁾

次に、平成 29 年度版道路橋示方書の支持力公式に導入された「地盤の種類の違いを考慮する係数」を適用するには、島尻層泥岩では排水条件での平板載荷試験による実測支持力度と計算支持力度の対比・検討が必要であるが、排水状態の平板載荷試験の実施は著しく困難と考えられる。このことから、島尻層泥岩における排水状態の支持力推定には式(3)を適用することにする。

(4) 設計極限支持力の推定

非圧密非排水三軸試験(UU 試験)と圧密非排水三軸試験(CU-Bar 試験)を同時に実施した地点を例³⁾に、数値例により非排水状態と排水状態における極限支持力を求め、いずれの極限支持力を安定問題の対象にするかについて比較検討する。

表 1 はボーリング地点における非排水せん断強度 c_u と有効応力表示による強度定数 $c'(\phi_d)$ を示したものである^{3,14)}。なお、表中の非排水せん断強度 c_u は側圧を変化させて実施した非圧密非排水三軸試験(UU 試験)結果の平均値である。また、山川 A1 と安里 20m は $N > 50$ 以上の未風化層であるが、喜屋武は $N = 40$ で風化層である。

表 1 島尻層泥岩のせん断強度定数の例(文献 3,14)に加筆)

採取地	N 値	UU 試験		CU-Bar 試験	
		c_u kN/m ² (kgf/cm ²)	c' kN/m ² (kgf/cm ²)	ϕ (°)	
山川 A1	70	757 (7.73)	196 (2.0)	40	
喜屋武	40	418 (4.27)	26 (0.27)	40	
安里 (深さ 20m)	>100	1370 (14.0)	911 (9.3)	27.2	

数値例の基礎形式は水平地盤上の帯状基礎であり、根入れ深さ $D=0$ とし基礎幅 $B=1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 15.0$ m の場合について式 (2) と式 (3) により非排水状態と排水状態のそれぞれの極限鉛直支持力を推定した。図 7 は推定した極限鉛直支持力と基礎幅 B の関係を示したものである。山川 A1 と安里地点のように、N 値 50 以上の未風化層では極限鉛直支持力は非排水状態に比べて排水状態の方が大きな値を示し、設計支持力は非排水状態の支持力値が対象

になる。一方、喜屋武地点の N 値 50 以下の風化層では、基礎幅が小さい場合非排水支持力の方が排水支持力より大きいことがあるいはほぼ同じである。風化層では力学挙動は正のダイレイタンスーを示すようになり、排水状態の支持力が非排水状態の支持力よりも低下したとも考えられる。このような場合は排水状態の支持力が設計支持力の対象となる。N 値 50 以上の未風化層では非排水状態の支持力が設計支持力となるが、N 値 50 以下の風化層では設計支持力の設定には非排水状態の支持力と排水状態の支持力について比較検討が必要である。

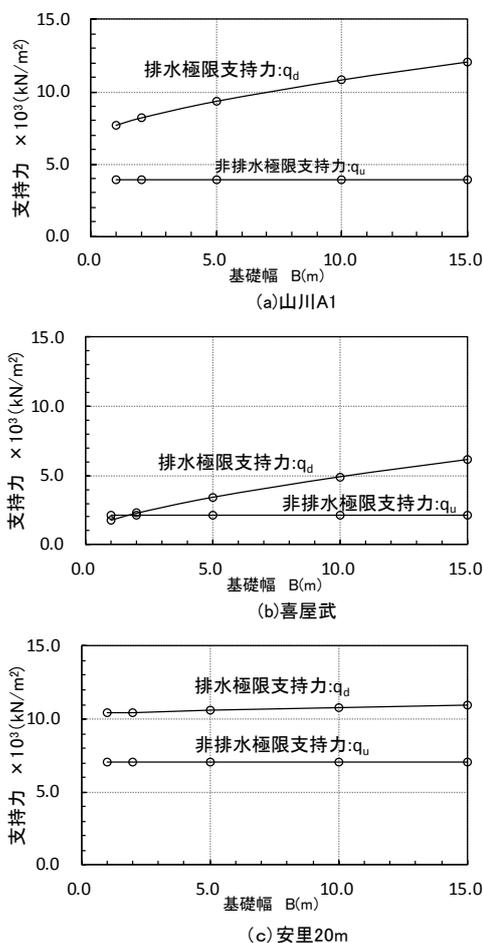


図 7 非排水極限支持力と排水極限支持力の比較

5. 非排水せん断強度を適用した場合の支持力評価の課題

非排水せん断強度を適用した島尻層泥岩の直接基礎の支持力について、平板載荷試験の実測支持力値

と非排水せん断強度による計算支持力値を比較し、道路橋示方書に採用された「寸法効果に関する補正係数」および「地盤の種類の違いを考慮する係数」の適用性を確認する必要がある。その目的のために、

- (1) 載荷板の寸法を変えた平板載荷試験の実施による「寸法効果に関する補正係数」の確認。
- (2) 平板載荷試験と非圧密非排水三軸試験(UU試験)による計算支持力値を比較し「地盤の種類の違いを考慮する係数」の確認。
- (3) 風化層の島尻層泥岩については、ダイレイタンシー特性等の力学挙動の解明。

等が必要である。

6. まとめ

難透水性の島尻層泥岩における直接基礎の支持力について、島尻層泥岩の強度変形特性を考慮し、非排水状態と排水状態のそれぞれの極限支持力について検討した。主な結果は以下のようである。

- (1) 粘性土地盤の直接基礎の安定問題では、非排水状態および排水状態における極限支持力が重要である。
- (2) 島尻層泥岩は、一般的な超過圧密粘性土のせん断挙動とは異なり、ピーク強度に至るまでのせん断過程では体積収縮を示し、負のダイレイタンシー挙動が顕著である。
- (3) 非排水状態における極限支持力の推定には地盤強度として非排水せん断強度 c_u を適用する。一方、排水状態における極限支持力の推定には有効応力表示の強度定数 $c'(c_d)$, $\varphi'(\varphi_d)$ を用い、平成14年度道路橋示方書の支持力公式⁶⁾を利用する。
- (4) 島尻層泥岩の未風化層では極限支持力は非排水状態よりも排水状態のそれの方が大きいので、設計支持力は非排水状態の支持力を用いる。風化層では非排水状態と排水状態の支持力を比較検討し、低い方の値を設計値に選定する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針・直接基礎の設計編，1968.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980.
- 3) 沖縄総合事務局南部国道事務所：島尻泥岩上の橋梁基礎工設計・施工指針（案），参考資料，1998.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2002.
- 5) 前田良刀，日下部治，大内正敏：密なスコリア層における大型三次元基礎の支持力特性，土木学会論文集，No.430，III-15，pp.97-106，1991.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2017.
- 7) 独立行政法人土木研究所：性能規定体系における直接基礎の安定照査法に関する研究，土木研究所資料，第4255号，pp.132-134，2014.
- 8) 柴田徹・関口英雄：地盤の支持力，鹿島出版会，1995，p.84-92.
- 9) 新城俊也：土質材料としての泥質堆積岩の力学特性に関する研究，学位請求論文，1981.
- 10) 新城俊也：島尻層泥岩，九州・沖縄の特殊土，九州大学出版会，pp.227-237，1983.
- 11) 地盤工学会：堆積軟岩の工学的性質とその応用，pp.69-116，1998.
- 12) 小宮康明・新城俊也：新第三紀島尻層泥岩の強度特性と風化に伴う強度低下，農業土木学会九州支部シンポジウム論文集，pp.29-37，1987.
- 13) 例えば，石原研而：土質力学，pp.158-160，丸善，2018.
- 14) 新城俊也・小宮康明：島尻層泥岩地盤の工学的特性，土と基礎，40-11，pp.13-18，1992.

自主防災活動に繋がる防災ワークショップの発話分析

琉球大学 ○吉濱佑太 神谷大介 琉球大学大学院 山中亮 我部新 赤星拓哉
沖縄県 城間聖 中央建設コンサルタント 金城太一
鳥取大学大学院 長曾我部まどか 山口大学大学院 榊原弘之

1. はじめに

近年の気象・地象災害の経験から、自助・共助の重要性が指摘され、地域の共助力を向上させるために、全国各地で防災ワークショップ(以下WS)が実施され、自主防災組織が結成されている。しかし、沖縄県の組織活動カバー率は29.9%であり、全国最低となっている。

著者らは、地区における自主防災組織の結成及び自主防災活動を目的とする防災WSを国頭村14地区において実施してきた。本研究では、目的の達成とWSでの発話の関係に着目し、自主防災活動につながるWS運営及びファシリテーションについて考察する。

2. 防災WSと発話分析の概要

2.1 WSの概要

与那, 安田, 辺野喜, 伊地, 鏡地, 安波, 宇嘉, 桃原, 浜, 佐手, 楚洲, 半地, 謝敷, 辺戸の14地区でWSを実施した。WSの流れを図1に示す。ここでは、14地区における第2回WSまでの内容について分析を行う。

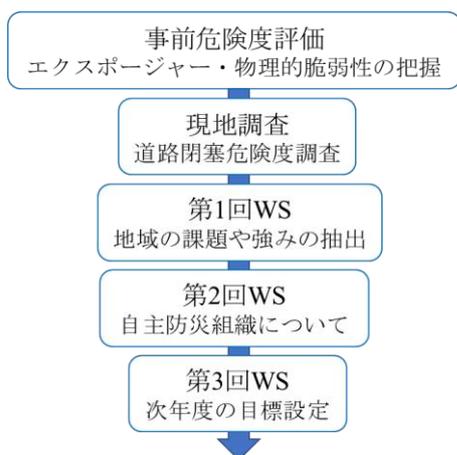


図1 WSの流れ

2.2 発話分析

防災活動は、地区の関心事から取り組むことで活動が始まりやすいと考える。本研究では、WSでの全発言を文字起こしたテキストを基に、国頭村の各地区の関心事をトピックとして明らかにするためにトピックモデルを用いた分析を行う。トピックモデルとは、文書が生成される過程を、確率を用いてグラフ化した確率モデルである。トピックモデルを用いることで、大量の文書集合から話題になっているトピックを抽出することができる²⁾。トピックモデルによる分析を行うにあたり、WSでの全発言を文字起こしたデータの品詞分解を行い、単独で意味を成す自立語(名詞, 動詞, 形容詞, 形容動詞)を抽出し、さらにその中から意味をなさない不要な語を削除する。

トピックモデルを適用する際、テキストを一定の語数で分割し、文書の長さを定義する必要がある。設定した語数が妥当であるかを調べるためにトピック数Kと文書あたり語数Uを設定する必要がある。そのため、KとUの組み合わせについてグリッドリサーチを行い、対数尤度の最大値を与える組み合わせでトピックモデルの分析を進めていく。

3. 分析結果と考察

テキストの品詞分解を行うため、本研究では形態素解析システムであるChasenを用いる。これにより1つの文章を品詞ごとに分解することができる。品詞分解の結果、分析対象語は109842語、語彙数は667語、最小頻度は18回となった。これらの語数でトピックモデルの分析を行う。

グリッドリサーチによるトピック数Kと文書

キーワード 過疎集落, 防災WS, 発話分析,

連絡先 〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail : e165309@eve.u-ryukyu.ac.jp

当たり語数 U の組み合わせの結果を表 1 に示す。これより, K=29, U=52 で尤度が最大の値をとる。

トピックモデルによる分析結果から, 自主防災組織の有無とトピックの関係から組織の結成に繋がる防災 WS について考察する。なお, 与那, 辺野喜, 安波は防災 WS 後に自主防災組織が結成され, 安田と辺戸は防災 WS 時点で既に自主防災組織が結成されていた。

各地区のトピックの重みを平均値に標準偏差を加えた値, 平均値から標準偏差を減らした値と比較し, それぞれを上回ったトピック数, 下回ったトピック数を表 2 に示す。これより, 辺野喜, 与那, 安波では平均値+ σ を上回ったトピック数が他に比べて多くなっていることが分かる。さらに, 平均値- σ を下回ったトピック数に着目すると, 0 もしくは 1 と少ない。つまり, 自主防災組織の結成および自主防災活動へつながる WS とは, 幅広い議論と関心事への深い議論が重要であるといえる。

次に, 災害種別に関わらず必要な備えに関するトピックとして「備品・炊き出し」に着目する。地区別の重みを図 2 に示す。これにおいても, 辺野喜, 与那, 安波の 3 地区の重みが大きくなっていることが分かる。

自主防災組織を結成している地区でも安田, 辺戸は自主防災組織を結成している他の 3 地区, 自主防災組織を結成していない地区と比較した際, 異なる傾向にあることが分かる。これは, 安田, 辺戸の自主防災組織が防災 WS 以前に結成していたことに起因すると考えられる。

4. おわりに

防災 WS の発話分析より, 自主防災活動へつながる WS とは幅広い議論と備品・炊き出しのような強い関心を持つ議論の両方が必要であることが明らかになった。今後は, 地区別の共同売店や小学校の有無, 祭事などの地域活動とトピックとの関連を分析することとする。

表 1 トピック数と文書あたり語数の組み合わせ探索

U\K	27	28	29	30
50	-525659	-524221	-525492	-534585
51	-525726	-523454	-526232	-525038
52	-526570	-524549	-523209	-525055
53	-526626	-524976	-525026	-524115
54	-526946	-525085	-524666	-525579

表 2 地区ごとでのトピックの重みと平均値・標準偏差からなる値との比較 (トピック数)

	平均+ σ 以上	平均- σ 未満
辺野喜	17	0
与那	9	1
安波	16	0
安田	0	9
辺戸	0	9
鏡地	4	1
伊地	5	1
桃原	5	2
宇嘉	0	2
浜	2	0
佐手	3	3
楚洲	0	6
半地	2	5
謝敷	2	9

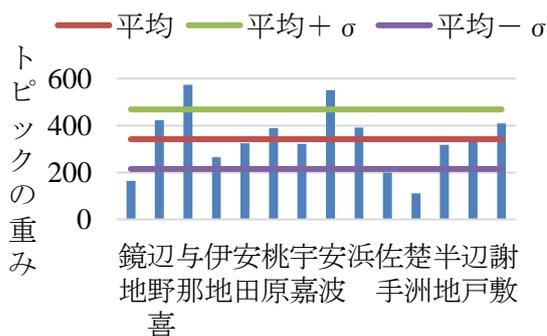


図 2 備品・炊き出し (トピック 20)

参考文献

- 1) 総務省消防庁：平成 30 年版消防白書
- 2) 岩田具治：トピックモデル, 講談社, 2015.

被災経験・自主防災活動と水害時避難の関係に関する分析
2017年九州北部豪雨を対象として

琉球大学 学生員 ○赤星 拓哉 正会員 神谷 大介

1. はじめに

近年は、人的被害を伴う甚大な水害が多発している。これを引き起こす豪雨は今後も増加することが示唆されており¹⁾、豪雨災害は我が国の喫緊の課題である。この課題に対する研究は多く存在する。その中で本研究では Rogers²⁾による防護動機理論に着目し、この過程を図-1 に示す。この理論に、被災経験と自主防災組織の活動を加えて新たな避難意識形成モデルを作成する。また、実際の避難行動を加えることで既往研究に見られない独自の視点で避難促進要因を評価することが出来る。このため、今回は被災経験・自主防災活動と避難有無の関係を明らかにする。

2. 対象地域と調査の概要

2.1. 対象地域の概要

九州北部豪雨で被災した大分県日田市の花月川周辺を対象地域とする。日田市は、人口が6万人程度で高齢化率が32.7%、1級河川である花月川が横断している。この浸水域を図-2 に示す。2012年に2回、2017年に1回の計3回も被災した。また、大分県の防災士の人数は全国で3番目に多いことから、日田市でも自主防災組織に力を入れていると考えられる。

2.2. 防護動機理論による質問紙調査

防護動機理論は、脅威評価と対処評価によって個人の防護動機を説明するものである。脅威評価は深刻さ認知、恐怖、内的・外的報酬認知から、対処評価は自己効力認知、効果性認知コスト認知より構成される。個人の健康行動を説明する理論として多くの既往研究があり、本研究の対象である災害リスクへの備えや対応行動でも幾つか既往研究がある。変数は三橋⁴⁾を参考にした。

質問紙調査は2017年7月九州北部豪雨の後に花月川周辺の全戸配布の郵送回収を行った。配布数は5,000枚、回収数は814枚であることから回収率

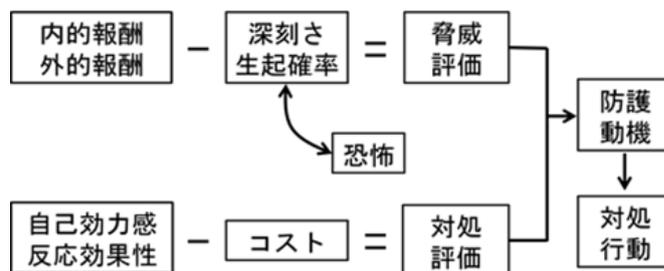


図-1 防護動機理論の認知媒介過程²⁾

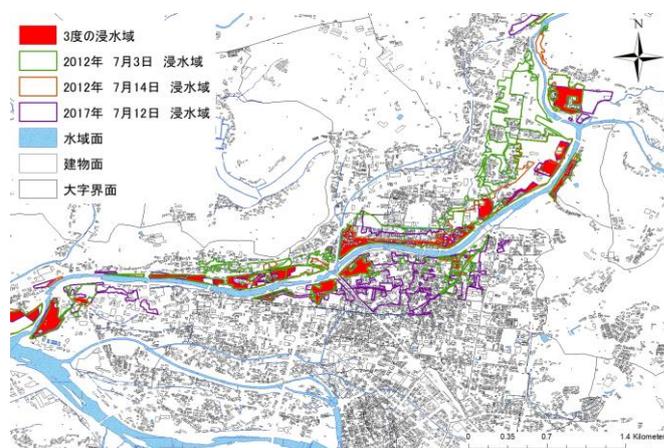


図-2 大分県日田市の花月川周辺の浸水域³⁾

は16.3%になる。調査項目は、個人属性や被災経験、地域住民との付き合いや避難有無などである。

3. 調査結果と考察

回答者の平均年齢は64歳、家族の平均人数は2.4人、同居する家族で65歳以上の方がいると答えた割合は54.4%であることから、高齢者夫婦の1世帯で生活している方が多い。

質問紙調査の単純集計結果を表-1 に示す。これより、反応効果性と地域協力、声かけの平均値が高かった。また、空間とタイミングの行政情報の平均値も続いて高かった。よって、日田市全体において避難することは自身の身を守ることに繋がると考えており、災害時では近隣住民と協力する必要性があると感じている。しかし、自主防活動では標準偏差が1.52で最も大きかったことから、選択肢の1から5で偏りが見られる。

キーワード：被災経験、自主防災活動、避難意識、クロス集計
連絡先 〒901-2214 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地
Tell : 080-6439-8957 E-mail : k198471@eve.u-ryukyuu.ac.jp

表-1 調査概要及び回答者の特徴

変数名	質問文	選択肢	平均	標準偏差	平均 避難無	平均 避難有	
脅威 評価	深刻さ	大雨が降ると自宅の居住が困難になると思う	1.思わない～5.思う	3.35	1.41	3.12	4.20
	反応効果 性	避難することは自分の身を守ること に繋がると思う	1.思わない～5.思う	4.42	0.96	4.30	4.83
対処 評価	面倒さ	避難所まで行くことは面倒だと思 う	1.思わない～5.思う	3.45	1.37	3.57	2.92
	空間	行政の避難指示や勧告は適切な地域 に出ていると思う	1.思わない～5.思う	3.65	1.24	3.59	3.86
信頼	タイミン グ	行政からの避難指示や勧告は適切な タイミングで出ていると思う	1.思わない～5.思う	3.64	1.17	3.60	3.79
	地域活動	日ごろ、自治会・老人会・子供会な ど、地域の活動に参加していますか	1.全く参加していな い～ 5.積極的に参加	3.42	1.41	3.32	3.81
活動	自主防活 動	日ごろ、自主防災組織の活動に参加 していますか	1.全く参加していな い～ 5.積極的に参加	2.84	1.52	2.74	3.23
	地域協力	地域の人と協力して、防災・減災に 取り組もうと思いませんか	1.思わない～5.思う	4.35	0.90	4.32	4.50
協力	声かけ	行政や気象台からの災害情報を知っ た時、近所の方へ伝えようと思う	1.思わない～5.思う	3.97	1.14	3.84	4.43
	被災有無	平成 24 年水害でのご自宅の被害につ いて教えてください	1.被害なし 2.被害あり	1.40	0.49	1.34	1.60
体験	避難有無	7月5日の夕方までに避難しましたか	1.避難してない 2.避難した	1.21	0.41	—	—

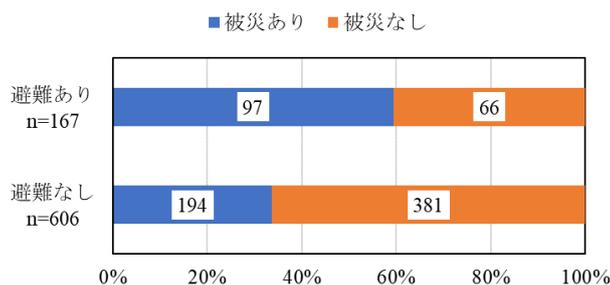


図-3 避難有無と被災有無のクロス集計

次に、単純集計では自主防活動の回答にばらつきが見られたため、避難有無とのクロス集計を行った。この結果を表-1の右側に示した。これより、面倒さを除く全ての変数において避難有の平均値が高かった。また、面倒さの値が小さいことは避難を面倒と感じないため、全ての項目において避難行動に対しプラスの影響を与えていることが明らかになった。

避難有無と被災有無のクロス集計を図-3に示す。これより、被災経験があることで避難促進に繋がっていることが分かった。自主防活動は避難無の標準偏差が1.50、避難有は1.56であることから更に分析を進める必要性がある。

4. おわりに

本研究では、大分県日田市を対象に単純集計と

クロス集計を用いて避難経験・自主防災活動と避難有無の関係を明らかにした。日田市全体は被災を経験した人が半数を切っており、自主防災活動は回答にばらつきが見られ、避難率も低かった。しかし、避難有無で属性分けを行うことで被災経験が避難行動に影響を与えていることが明らかになった。今後の課題として、自主防災活動は標準偏差の値が高かったことから判別分析を行う必要性がある。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動レポート，2014。
- 2) Rogers,R.W : Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change : A revised theory of protection motivation, In : Social Psychophysiology : A Sourcebook(J.T.Cacioppo ed.,R.Petty),Guilford, pp153-177,1983.
- 3) 特定非営利活動法人ひた水環境ネットワークセンター：水防災に関する意識調査報告書，2017。
- 4) 三橋洗道，神谷大介，吉田護，峰翔太，柿本竜治，赤松良久，二瓶泰雄：複数情報源に着目した避難意図醸成のための要因分析，土木学会論文集D3,Vol74,No.4,pp275-286,2018。

Session 4 : 交通・計画・景観

調査による手数料支払い行動の変化について

○北海学園大学 堂柿栄輔, 東海大学 梶田佳孝

1. 研究の目的

本研究では、時間制限駐車区間に設置されるパーキング・チケットの手数料支払い行動について、調査が支払い行動に与える影響を、通常の調査と覆面調査により比較した。一般に路上駐車に関する調査は、連続調査(プレート式連続調査)、断続調査及びアンケート調査による方法があるが、調査の効率や観測可能項目を考慮し連続調査が用いられることが多い。ここで連続調査(写真1)では調査員が街路上で駐車する自動車の属性(駐車開始時刻、目的、車種等)を直接観察記録する。一方、通常の路上駐車では違法行為も多く、自らの駐車行動が観察されていることを意識する運転者は、駐車行動を変化させる可能性がある。本研究ではパーキング・チケットの手数料支払い行動について、通常の連続調査と覆面調査での観察結果の比較を行った。本研究の覆面調査は、調査員は一歩行者を装い(調査票、筆記具等を持たず立ち止まらない)、調査を知られずに連続調査を行うものである。調査票への記入は他の場所(街区側面等)へ移動し1台毎に記録した。



写真1 連続調査の様子

2. 研究の方法と調査

(1)研究の方法

通常の連続調査(写真1)と覆面調査から得られた手数料支払い行動の違いを、駐車目的、車種、性別等属性の関連から統計的に比較した。

(2)調査の概要

調査の概要を表-1に示す。通常調査、覆面調査共に平成30年6月～11月の平日10:00～16:00の時間帯で行った。調査箇所は同じであり、札幌市都心部(商業地域、駐車場整備地区)、道路延長100m区間2カ所である。データ数は通常調査626台、覆面調査525台である。表-2に2つの調査の調査項目(○印)を示す。通常調査の調査項目15に対し、覆面調査では6である。覆面調査では歩行者を装う観察であり、調

表-1 調査の概要

項目	通常調査	覆面調査
調査日	平成30年	平成30年
	6月～7月平日	10月～11月平日
時間帯	10時～16時	10時～16時
調査項目	15	6
対象地区	区間200m	区間200m
データ数	626	525

表-2 調査項目

項目	通常調査	覆面調査
駐車分類	○	○
支払分類	○	○
到着時刻	○	×
出発時刻	○	×
車種	○	○
性別	○	○
非放置・放置	○	○
乗降人数	○	×
取扱荷量	○	×
目的	○	○
二重駐車	○	×
用務先	○	×
自家・事業用	○	×
アイドリング	○	×
ハザード	○	×

キーワード 路上駐車, 調査, 行動変化

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南26西11丁目 北海学園大学工学部社会環境工学科
E-mail dohgaki@cvl.hokkai-s-u.ac.jp

査表への記入は他の場所で行うことから、到着時刻や出発時刻は記録していない。

3. 分析

(1)性別の支払率

表-3に2つの調査の性別の支払い行動の集計値を示す。女性運転者は男性の1/5～1/6程度であった。ここで総数(台)はパーキング・チケットの標示線(枠)を占有した台数、支払い数(人)は手数料を支払った人数である。男性の支払率は、通常調査51.7%、覆面調査40.5%であり2つの調査で10.2%の差があった。また女性では通常調査69.4%、覆面調査70.5%であり1.1%の差である。女性の支払率は両調査共に男性より20%～30%高い。表-4に2つの調査での支払率の差の統計的有意性を示す。「2つの調査による支払率に差が無い」なる仮説に対し、その確率は男性では0.01～0.02、女性では0.92～0.93となり、有意水準5%で男性の支払率の同一性は否定される。

表-3 性別の支払率

性別	調査	総数(台)	支払数(人)	支払率(%)
男	通常調査	234	121	51.7%
	覆面調査	227	92	40.5%
女	通常調査	36	25	69.4%
	覆面調査	44	31	70.5%

表-4 比率の検定

性別	調査	支払率(%)	確率
男	通常調査	51.7%	0.01<P<0.02
	覆面調査	40.5%	
女	通常調査	69.4%	0.92<P<0.93
	覆面調査	70.5%	

男性と女性の支払い行動の違いを以下に推測する。

- ①男性は調査員の存在を意識し支払行動を変える、つまり観察者が居るときは支払うが、居ないときは支払わないことになる。しかし「通常調査」の調査員は学生であり、交通管理者や道路事業者ではないことは一見して分かる。それでもなお調査員を意識し行動を変えるのか、その理由は「男性は、本来手数料は支払うべきであることを強く意識しており、手数料を支払わないことに漠然とした後ろめたさを感じている」ことによるものではないか。
- ②一方女性ではその様なことが無く支払率はほぼ

同じである。女性の支払い率に違いが無い理由は二通り考えられる。一つは観察者に気がつかない、もう一つは観察者に気がついても意識しないかである。可能性としては後者と考える。女性の支払率は2つの調査共に高く70%程度である。これらは支払う強い意志を持つ固定層である。一方残り30%は状況にかかわらず支払わない層である。従ってこの30%は見られている、いないに関わらず手数料は支払わない。

(2)非放置・放置の支払率

表-5に非放置と放置別の手数料支払率を示す。道路交通法では駐車と停車は駐車時間の長さで運転者の有無により厳密に定義されているが、我が国では非放置の駐車は停車と見なされることが一般的である。

①「非放置」での通常調査の支払率は12.0%、覆面調査では9.1%であり、2つの調査では支払率に有意な差は無い。これは非放置状態での手数料支払い意識が低いことによる。我が国では非放置の駐車は停車と考えられる傾向が強く、従って駐車時間の長さにかかわらず標示線(枠)の占有に対し代価を支払う意識も低い。

②「放置」では有意水準10%で有意な差がある。性別での考察同様、放置行動では調査員を意識する通常調査での支払率は高い。

表-5 非放置・放置別支払率

分類	調査	支払率(%)	確率
非 置	通常調査	12.0%	0.62<P<0.63
	覆面調査	9.1%	
放 置	通常調査	63.3%	0.06<P<0.07
	覆面調査	54.6%	

4. まとめ

調査員の可視の有無による駐停車行動の違いは、研究の当初は仮説であったがその違いを統計的に確かめることができたことは意外であった。また非放置の支払い行動では、道路交通法によらない駐車と停車の定義も示唆された。今後は調査事例を増やし、他の属性についても比較検証したい。

参考文献

- 1) 堂柿栄輔, 梶田佳孝: パーキング・チケットの手数料支払率改善による収入の推計, 交通工学論文集(特集号)第5巻2019, 交通工学研究会

バス利便性の違いからみた利用意図に関する基礎的考察

琉球大学 ○大城 好奈 正会員 神谷 大介

1. はじめに

沖縄県中南部地域の混雑時平均旅行速度は東京23区と同等の低い水準となっている。この解決のための施策としてバス利用促進が挙げられ、沖縄県では交通量の多い那覇～コザ間における基幹バスの導入や国道58号のバスレーン延伸などの取り組みが行われている。その他にも数多くの施策が講じられているが、バス利用率増加に大きな効果を出しているとは言い難い。また、アンケート調査も実施されてきたが、平均値的議論に終始し、利用者のタイプ別分析はほとんど行われていない。

以上の認識の下、本研究では起終点共に国道58号または330号沿線という県内では非常に利便性が高い人に着目し、バス利用の有無に関する要因を考察する。ここでは、沖縄県公共交通活性化推進協議会が2018年に実施したアンケート調査²⁾を用いる。

2. バス停の認知度に関する分析

回答者の居住地が那覇市・浦添市・宜野湾市・北中城村・北谷町・沖縄市・うるま市の2460サンプルを用い、正しく最寄りバス停を認知している度合いを図-1に示す。なお、サンプル数が5以上の町丁字を対象とする。これより、国道58号沿線に面している町丁字でのバス停の認知度が高いことが分かる。次に、国道58号および330号沿線とその他に居住地を分け、バス停認知度を表-1に示す（うるま市を除く2272サンプル）。これより、バス利便性が高い国道58号沿線居住者の認知度が76.7%と最も高く、次いで330号、その他、となった。

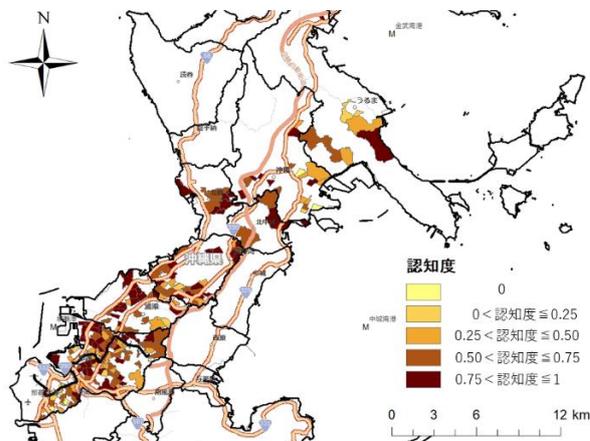


図-1 居住地における町丁字別最寄りのバス停認知度

表-1 居住地における最寄りのバス停認知度

居住地	認知度
国道58号	76.7%
国道330号	64.4%
その他	61.7%
全体	64.6%

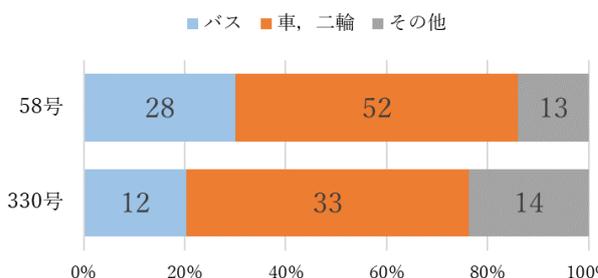


図-2 主要幹線道路における移動手段

3. バス利用に関する分析

ここでは、バス利便性が高いと考えられる国道58号および330号沿線に居住地と目的地がある回答者に着目して分析を行う。

1) バス利用率

沿線別の通勤・通学における交通手段を図-2に示す。これより、最もバス利便性が高い国道58号沿線にODがある回答者のバス利用率が高いことが分かる。しかしながら、それでも3割程度であ

キーワード：国道58号，国道330号，認知度，バス利用

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

Tell:090-6869-5075 E-mail:e165344@eve.u-ryukyuu.ac.jp

り、自家用車・自動二輪車の割合が過半数となっている。つまり、バス運行頻度やネットワークはバス利用に影響を及ぼす要因であるものの、これ以外の要因が大きく影響していることが示唆される。

2) 通勤手当及びバスに対する理解度の分析

バス利便性と通勤手当からみたバス利用率について分析する。利便性について、居住地のみ国道 58 号、国道 330 号沿線の方を「居住地 58」, 「居住地 330」, 居住地と目的地が共に国道 58 号、国道 330 号沿線の方を「OD58」, 「OD330」とする。目的地までの移動において、バスの乗り換えがある方を「乗換」とする。バス利便性 5 分類別・通勤手当で支給別のバス利用率を図-3 に示す。なお、この分析は免許保有者のみを対象とする。全てにおいて、通勤手当全額支給者のバス利用率が高い。特に利便性が高い OD では、通勤手当による差異が大きくなることが示された。

利便性が高くともバスを利用していない方の意識を、バス利用の促進策および社会的効果への理解度の関係より分析した結果を図-4 に示す。具体的には、OD58 と乗換でのバス利用有無に着目して考察する。この結果、乗り換えでバス利用している方は全ての項目で理解度が最も高く、OD58 でバス利用していない方は「健康増進」「CO₂削減」の項目以外では最も理解度が低い。総じて、バス利用者は環境などの社会的効果および健康に対する理解度が高いことが分かる。

4. おわりに

本研究では、バス利用に関してバス停認知度、通勤手当、バスに対する理解度に着目して分析した。バス利便性は利用率増加につながるが、通勤手当の支給やバス利用の社会的効果の理解も重要であることが示された。今後は、バス利用に関する判別および因果モデルの構築を行うこととする。

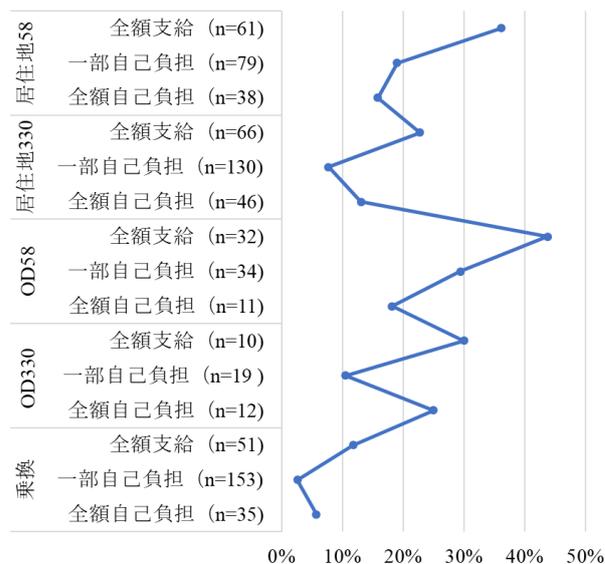


図-3 バス利便性・通勤手当支給別バス利用率

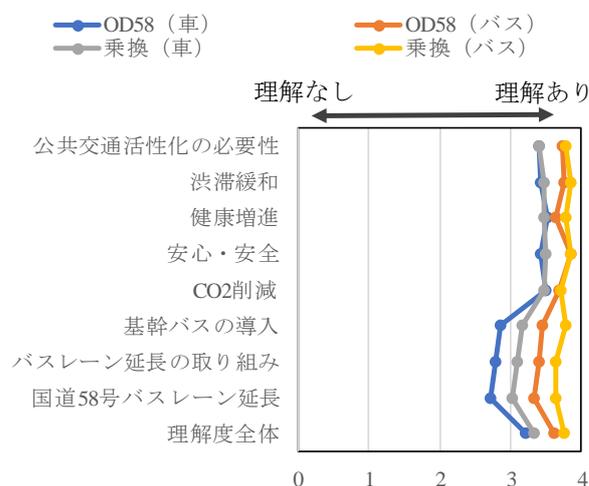


図-4 バス利用促進に関する理解度

参考文献

- 1) 沖縄県土木建築部：沖縄県の道路，P.5，2017
- 2) 沖縄県企画部交通政策課：よりよい沖縄のために～公共交通活性化の取り組み～，2018

Wi-Fi パケットセンサーを用いた八重山地域の離島周遊観光実態調査

琉球大学 ○好田徹 神谷大介 琉球大学大学院 山中亮 我部新 赤星拓哉
中央建設コンサルタント 岩崎竜馬 東京工業大学大学院 福田大輔 地域未来研究所 菅芳樹

1. はじめに

近年、国内の主要な観光地で Wi-Fi パケットセンサーを用いた交通調査が行われている。2018 年には沖縄本島で同様の調査が実施されており、周遊観光実態が報告されている¹⁾が、離島地域における適用事例はみられない。

また、西表島は世界自然遺産登録へ申請されたが、観光管理計画が不十分であるとして、これが取り下げられた。この計画策定のためには、観光周遊の実態把握が必要であるが、アンケート調査ではサンプル数や詳細な履歴を把握することが困難である。

以上の認識の下、八重山諸島における観光周遊行動の実態把握および観光管理計画への基礎情報取得を目的として、Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査を実施した。本研究では、この調査法の適用可能性および離島間周遊行動の実態把握を目的とする。

2. 調査の概要

2019 年 8 月 11 日～9 月 28 日の 49 日間に、**図 1** に示す八重山地域内の石垣離島ターミナルや竹富島といった交通結節点および主要観光地に **図 2** に示す Wi-Fi パケットセンサーを設置した。本稿では離島周遊に着目するため、石垣空港・離島ターミナルと各離島での取得データを基に分析する。

この調査機器では、一般的なモバイル端末が Wi-Fi オン時に数秒から数分間隔で発する Probe Request (以下 PR) を捕捉できる。また、本調査機器では PR 取得と同時に MAC アドレスの秘匿処理がなされ、その上で PR が記録される。本研究では秘匿処理された MAC アドレスをユニーク ID と称し、ユニーク ID、PR 受信時刻、機器番号の情報をを用いて分析を行う。なお、調査を行う際、施設管理者に対するプライバシーポリシーの開示・説明を行った。



図 1 調査機器設置地点



図 2 Wi-Fi パケットセンサー

3. 国内観光客特定のための条件設定

取得した元データには、観光客以外の方が保有するモバイル端末から受信したデータも含まれている。**図 3** より 7～9 月期の国内観光客の滞在日数は、1泊2日～5泊6日で全体の9割以上を占めていることより、ユニーク ID 取得期間が 2～6 日以内のデータのみを分析対象とする。さらに、最初と最後に空港で取得、2か所以上の地点で取得という条件を加え、国内観光客のユニーク ID を特定した。このプロセスを **図 4** に示す。この処理により得られたユニーク ID 数は 27,320 個である。

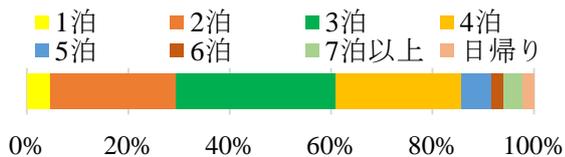


図3 2018年度の国内観光客の宿泊日数²⁾

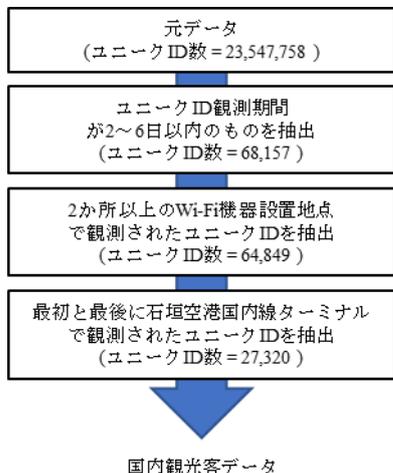


図4 観光周遊データのクレンジング手順

4. 離島観光周遊分析

1) 取得データの適用可能性の検討

今回の調査で得られたユニークID数と竹富町で公表されている2019年9月の入域観光客数を比較した結果を図5に示す。これより、竹富島が最も多く、黒島が最も少ないなど、同様の傾向があることが確認できる。

2) 国内観光客の離島周遊分析

ここでは、国内観光客のユニークIDの中から、竹富町の離島で観測されたユニークID 6,752個を用いて、周遊実態を分析する。まず、表1に離島訪問割合を示す。これより、離島を訪れている観光客の約6割が竹富島を訪れていることが分かる。また、図6より離島を訪問している観光客の約7割が、1島のみの訪問であり、平均訪問離島数は1.27であった。

表2に観光客の島間OD交通量を示す。これより、石垣島-竹富島間ODが最も多く、全体の約4割を占めている。竹富町内では、小浜島や西表島から竹富島へ向かう移動が多いことが分かる。

5. おわりに

本研究では、Wi-Fiパケットセンサーを用いた離島周遊観光調査を行った。データ取得割合と既存統計資料との比較より、本調査法が離島

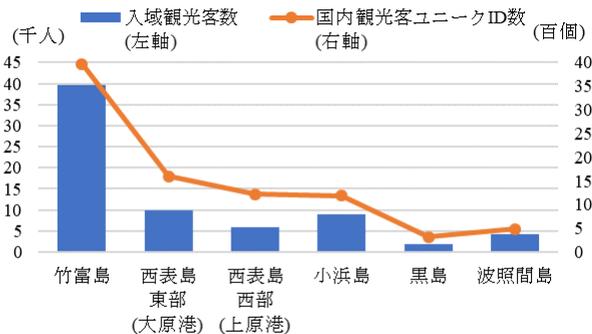


図5 ユニークID数と入域観光客数の比較³⁾

表1 国内観光客の離島訪問割合

来訪地	ユニークID数	割合
竹富島	3,992	0.59
西表島	2,594	0.38
小浜島	1,194	0.18
黒島	316	0.05
波照間島	488	0.07

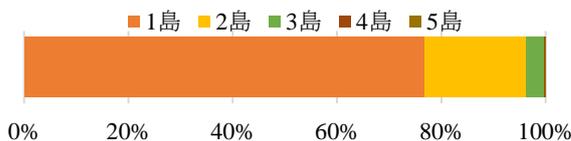


図6 訪問離島数別ユニークID数割合

表2 国内観光客の島間OD交通量

O \ D	石垣離島T	竹富島	西表島	小浜島	黒島	波照間島	合計
石垣離島T		2,441	1,846	692	206	277	5,462
竹富島	1,973		13	26	5	0	2,017
西表島	1,070	336		120	2	31	1,559
小浜島	471	188	28		7	0	694
黒島	128	3	1	5		0	137
波照間島	199	2	14	0	0		215
合計	3,841	2,970	1,902	843	220	308	10,084

地域においても適用可能であることが示された。今後は図1で示した地点間の分析を行うことにより、詳細な周遊観光実態を明らかにすることとする。さらに、国際線観光客やクルーズ利用観光客の周遊観光との比較を行う。

参考文献

- 1) 田中謙大, 神谷大介, 我部新, 福田大輔, 中西航, 五百蔵夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹, 山中亮: 沖縄本島内の主要観光地における滞留・回遊特性に関する分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.57, 2018
- 2) 沖縄県: 平成30年度観光統計実態調査
- 3) 竹富町: 令和元年(平成31年)竹富町入域観光客数(月別)

IoT デバイスを用いた旅行速度計測実験 西表島を対象として

琉球大学大学院 ○我部 新 琉球大学 神谷 大介
琉球大学大学院 赤星 拓哉 琉球大学 好田 徹
中央建設コンサルタント 岩崎 竜馬 琉球大学大学院 山中 亮
東京工業大学 福田 大輔 地域未来研究所 菅 芳樹

1. はじめに

近年、高速自動車道路¹⁾や一般国道において Bluetooth (以下、BT) スキャナを用いた交通量調査が行われ、人や車の流動について定量的に計測可能である事例が報告されている。また、西表島では世界自然遺産登録に向けた各種施策が講じられている。しかしながら、イリオモテヤマネコの交通死亡事故(ロードキル)が多数発生しており、「希少野生生物の交通事故対策」が遺産登録のための重要な課題として指摘されている。

現状において、西表島で交通量調査は実施されておらず、車両速度は地元ボランティアによる計測がなされているだけであり、継続的な調査や高速走行が予想される深夜から早朝にかけての調査は実施されていない。以上の認識の下、本研究では西表島におけるロードキル対策に資することを意図した BT を用いた旅行速度調査を実施し、県道 215 号を通行する車両の旅行速度を分析することで、西表島内における速度超過箇所を明らかにすることを目的とする。

2. Bluetooth スキャナを用いた調査

本研究では図-1 に示す BT スキャナを用い、図-2 に示す西表島内 15 か所に機器を設置した。BT スキャナによって得られるデータには、通信機器の持つ固有の MAC アドレス (以下、ユニーク ID) を含むため、ハッシュ化処理を施した。

3. 基礎分析

通過交通量とユニーク ID 数の関係を図-3 に示す。概ね 5~10% 程度の取得率であった。なお、国道 58 号那覇-宜野湾間で実施した BT 調査では 15~20% の取得率²⁾であり、地方部の方では取得率が低くなる傾向があると考えられる。

表-1 に機器設置区間の延長、および法定速度での所要時間と区間平均速度を示す。所要時間及び旅行速度を分析するにあたり、立ち寄り交通などの不必要なデータを除去するため、以下の①~⑤の処理を行う。

- ① ユニーク ID が複数地点で観測されたものを抽出。
- ② 対象区間の両端で捕捉されたユニーク ID から、



図-1 Bluetooth スキャナ



図-2 調査位置図

キーワード : Bluetooth スキャナ, ロードキル対策, 交通量調査, 旅行速度調査
連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原千原 1 番地 地域創生総合研究棟 6F 609B
TEL : 098-895-8653 E-mail : k188481@eve.u-ryukyu.ac.jp

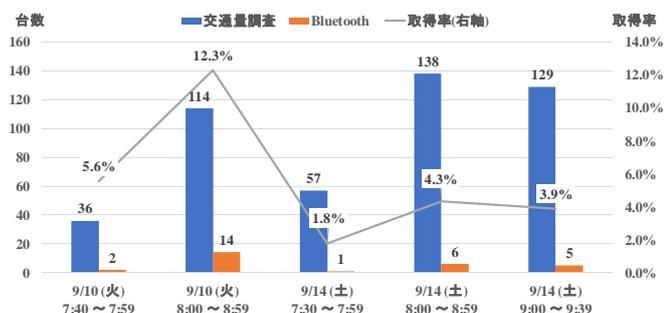


図-3 交通量調査との比較

表-1 所要時間及び区間速度

区間	延長 (km)	所要時間 (分:秒)	区間速度 (km/h)
南風見～南風見仲	1.5	02:32	35.6
南風見仲～古見1	5.0	07:41	39.1
古見1～古見2	1.3	02:33	30.6
古見2～古見3	3.2	04:48	40.0
古見3～高那1	6.0	09:00	40.0
高那1～高那2	4.1	06:09	40.0
高那2～高那3	4.0	06:00	40.0
高那3～上原1	3.0	04:30	40.0
上原1～上原2	6.1	09:37	38.0
上原2～上原3	2.6	04:06	38.0
上原3～上原4	1.0	01:30	40.0
上原4～上原5	1.9	02:51	40.0
上原5～西表1	2.5	03:45	40.0
西表1～西表2	4.9	07:39	38.4

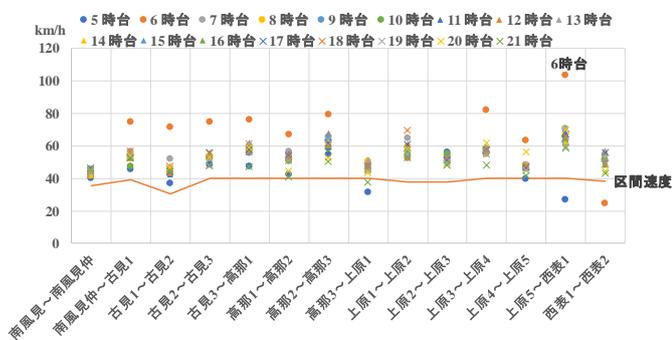


図-4 区間・時間帯別上位 15 パーセントイル値

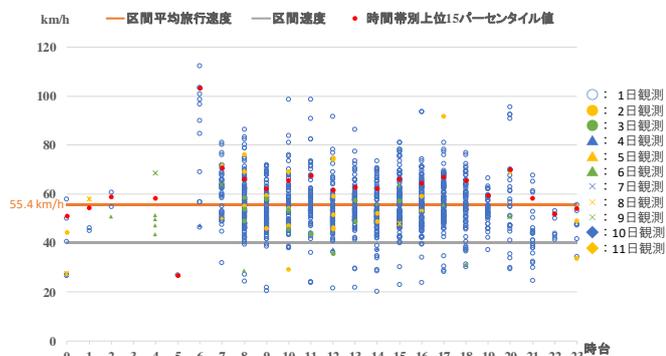


図-5 上原 5～西表 1 区間の旅行速度分布

区間を通過するためにかかる所要時間を整理。

- ③ 区間長に応じて旅行速度を算出。

- ④ 所要時間の閾値を表-1 の所要時間の倍を上限とし、その値を超えるデータを削除。
- ⑤ ユニーク ID は異なるが、観測時間及び所要時間の両方が一致するデータが存在した場合、重複を削除。

4. 区間・時間帯別分析

区間別時間帯別で旅行速度の上位 15 パーセントイル値の整理を行った。この値を用いて、区間・時間帯別の速度超過の様子を明らかにする。本研究では、平均旅行速度が区間速度を超えたものを速度超過とする。

区間・時間帯別上位 15 パーセントイル値の分布を図-4 に示す。これより、西表島内の全区間において、速度超過が顕在化していることが分かった。また、上原 5～西表 1 の区間において顕著な速度超過が現れた。この区間は道路線形が直線的で速度を出しやすい道路環境であることが要因と思われる。

上原 5～西表 1 区間の旅行速度分布を図-5 に示す。6 時台において、旅行速度が 100km/h を超える車両を 4 件観測した。当区間は速度の出しやすい道路線形に加え、早朝の道路利用者が少ない時間帯であることが旅行速度を高めた要因であると思われる。

5. おわりに

本研究では、西表島の交通環境においても詳細な旅行速度が把握可能であることが示された。県道 215 号を細かい区間に分けることで、速度超過が顕著な区間、時間帯を明らかにすることができた。

今後の展望として、イリオモテヤマネコのロードキル発生箇所と速度超過区間を重ねた分析を行うことで、ロードキル重点対策箇所の抽出や対策後の効果検証等を行うことが可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社 : Bluetooth (R) を用いた所要時間提供システムの開発と本格導入について ～工事規制による影響の最小化に向けた取り組み～, <http://www.c-nexco.co.jp/> (最終確認日:2019年12月6日)
- 2) 山中亮, 我部新, 神谷大介, 宮国敏秋, 菅芳樹, 米須俊彦:Bluetooth を活用した一般道路における旅行時間計測技術の研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.59, 2019.

大型連休期間における沖縄県北部地域の渋滞緩和に向けた実証実験について

平敷 健太¹・渡久山 雄一²・森山 正三³

¹内閣府 沖縄総合事務局 北部国道事務所 調査課 (〒905-0019 名護市大北4丁目28-34)

²内閣府 沖縄総合事務局 北部国道事務所 (〒905-0019 名護市大北4丁目28-34)

³内閣府 沖縄総合事務局 北部国道事務所 調査課 (〒905-0019 名護市大北4丁目28-34)

沖縄県北部地域の観光繁忙期の交通混雑の解消・低減のため、経路・時間分散実証実験を平成24年から継続的に実施している。本論文では、実証実験に至った経緯、実証実験の実施内容を踏まえ、2019年度の春の観光繁忙期（ゴールデンウィーク）に実施した実証実験結果について報告する。

キーワード 経路分散、観光繁忙期、交通量調査、観光客アンケート調査

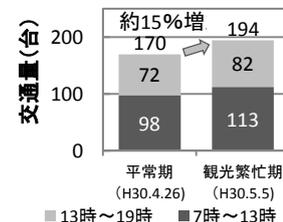
1. はじめに

沖縄県では、年間県内入城観光客1,200万人（平成30年は、999.9万人）を目指し、観光戦略のもと様々な施策に取り組んでいる。一方、観光客の来訪を牽引する北部地域では、主に観光シーズンや大型連休、イベント時において県内外からの観光客が自動車（自家用車・レンタカー）で移動するため、一時的に極めて深刻な交通混雑が発生している。

沖縄県の来訪観光客の満足度の向上、更なる観光客の来訪を促すため、交通混雑を緩和する事を目的とした、経路案内等の交通円滑化ソフト施策を2012年から継続的に実施している（表-1）。本年度も、北部地域への交通需要がピークとなるゴールデンウィーク（以下、GWと記載）に効果的な情報提供を行うことによる、観光ピーク時の経路分散・時間分散実証実験を行った。

表-1 経路分散社会実験の実施経緯

内容	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
大型連休時（ゴールデンウィーク）（5月）					●	●	●	○
海洋博公園花火大会（7月）	●	●	●			●		
大型連休時（シルバーウィーク）（9月）				●				



2. 沖縄県北部地域の観光繁忙期の交通課題

2-1 国道58号の交通混雑

（沖縄自動車道〔許田料金所〕～世富慶）

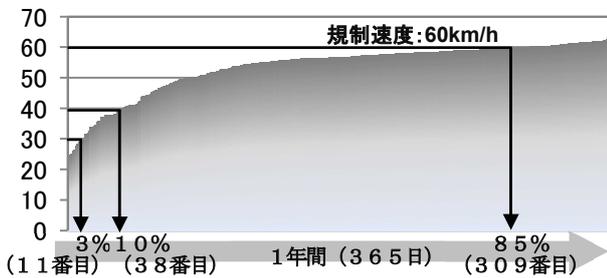
北部地域においては、道路網の不足から、沖縄自動車道に接続している国道58号に集中する道路ネットワークとなっており、平常期の約15%増¹⁾の交通量となる。

図-1 経路分散対象箇所・交通状況

2017年のGWでは、日中の平均旅行速度が約22.7 km/hと年間で最も低く、慢性的な交通混雑が発生した。一方、当該路線の交通状況は、GW、夏の観光シーズンを除く約9割の期間については、40 km/h以上で走行可能な区間となっており、限定的な交通混雑となって

いる(図-1,2)²⁾。

この交通混雑の対策として、混雑期間が大型連休、お盆等といった限定的であることを念頭におくと、大規模な道路整備ではなく、交通混雑が発生している国道58号に対する経路分散ソフト施策が効果的であると考



ワーストランク	速度	日付	平・休区分	備考
1	22.7	5月4日	休日	GW(2日目/5日間)
2	24.7	9月5日	平日	お盆(沖縄)
3	25.2	10月2日	平日	
4	25.9	2月12日	休日	建国記念日の翌日
5	26.4	4月29日	休日	昭和の日
6	27.8	1月29日	休日	
7	28.2	7月16日	休日	3連休(2日目/3日間)
8	28.9	9月3日	休日	お盆(沖縄)
9	29.1	8月16日	平日	お盆
10	29.5	5月5日	休日	GW(3日目/5日間)
11	29.5	10月8日	休日	3連休(2日目/3日間)

図-2 国道58号(許田~世富慶間)の速度状況

2-2 時間帯による目的地到達時間の違い

GWにおける那覇市から海洋博記念公園(沖縄美ら海水族館)までの旅行時間を見ると、7時台と10時の出発で、約30分の時間差が発生しており、交通集中が10時から12時の間で発生していることがわかる(図-3)³⁾。このため、交通集中する時間帯のピークカットを促すことを目的に、経路分散ソフト施策に加え、時間分散ソフト施策の併用が効果的であると考



図-3 那覇市~美ら海水族館出発時間帯別所要時間許田~世富慶間の所要時間

2-3 観光繁忙期の迂回路の交通混雑

昨年度(2018年度)の経路分散・時間分散実証実験においては、宜野座ICからの迂回交通により、一時的に国道329号(宜野座改良)接続部を先頭に宜野座ICのOFFランプ部まで渋滞が発生し、その後の国道329号の松田(北)交

差点、久志交差点においても渋滞が発生しており、迂回路として設定している国道329号が使いにくい状況が発生していた。効果的な経路分散を行うためには、国道329号の交通円滑化施策も必要である。

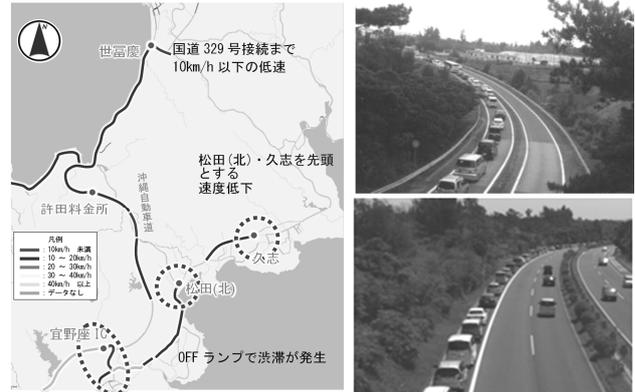


図-4 平成30年度の速度状況³⁾

3. 経路分散・時間分散実証実験の実施

3-1 経路分散実証実験の内容

経路分散実証実験では、利用者に対し、効果的な経路誘導を促すため、新たに迂回路として金武ICの活用、事前の情報提供、当日の情報提供に分けて実施する。事前の情報提供では、GWの観光客の約8割が沖縄県内である(図-4)⁴⁾ことから、地域に密着した、新聞やラジオといった媒体での情報提供を実施した。当日の情報提供では、沖縄自動車道での横断幕の設置、一般道での看板による経路誘導を実施した。

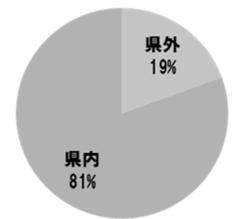


図-4 観光客の内訳

3-2 時間分散実証実験の内容

時間分散実証実験では、上記の経路分散実証実験の事前の情報提供と同様の媒体を活用し情報提供を実施した。

表-2 経路分散メニュー一覧

施策メニュー	目的	
横断幕・看板の設置	沖縄自動車道・一般道に設置し高速道路利用者の経路誘導を促す。	経路分散
国道329号交差点の信号現時調整	経路分散の更なる促進のための迂回路走行性の向上	
道路情報誌による情報提供	内閣府が発行している道路情報誌アシナビの増刷・配布(日本語・英語・韓国語・中国語)	時間分散 経路分散
新聞広告・ラジオによる情報提供	主に沖縄県民を対象とした情報提供。	
観光施設HPを活用した情報提供	主に沖縄県外・国外の観光客を対象とした情報提供。	



図-6 横断幕・看板



図-5 新聞広告



図-6 道路情報誌アシナビー(左)
観光施設HPを活用した情報提供用チラシ(右)

4. 経路分散・時間分散実証実験の結果

4-1 交通状況

交通状況の変化として、昨年の同時期と比較すると、国道58号・国道329号における断面交通量の時間変動パターンが7・8・9時帯の割合が増加していることから、早朝から移動を開始する「時間分散効果」が発揮されていると考えられる(図-7)⁵⁾。

また、国道58号および国道329号の交通分担率の変化を見ると、目的地に向かうと考えられる、7時帯から13時帯の国道329号の交通分担率が増加していることより、「経路分散施策」についても効果は発揮されていると考えられる(図-8)⁵⁾。

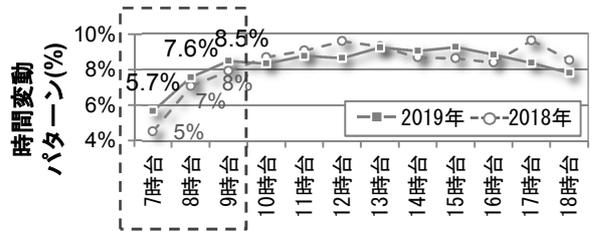


図-7 国道58号・国道329号断面交通量の時間変動パターンの変化 (H30・R1)

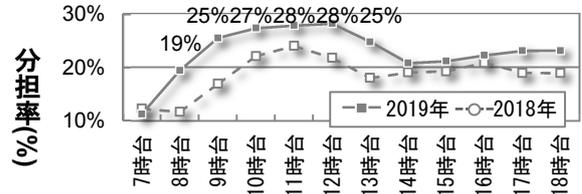


図-8 国道329号の交通分担率 (H30・R1)

4-2 経路分散・時間分散メニューの実施効果

(1) 経路分散・時間分散効果

今回の実証実験で転換した利用者は、全体の約17%であった。経路分散・時間分散にそれぞれ、大きな効果を示した施策メニューは、経路分散では、横断幕、立て看板、時間分散では、事前のラジオ放送・新聞広告、インターネットでの迂回路情報となっていた(図-9, 10, 11)⁶⁾。

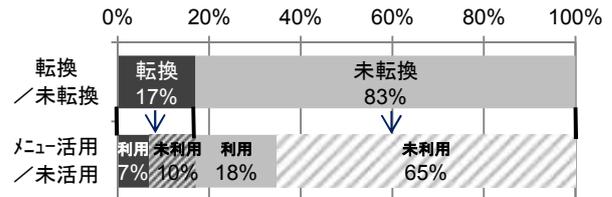


図-9 経路分散状況

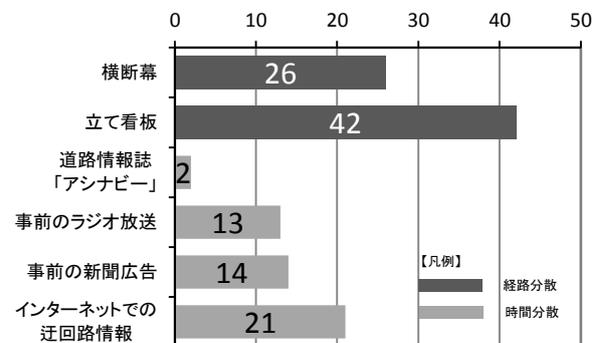


図-10 経路分散活用メニュー

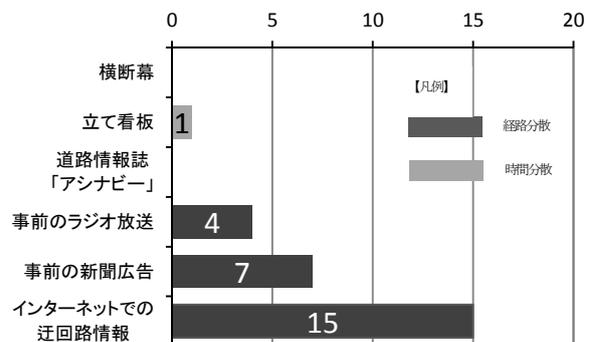


図-11 時間分散活用メニュー

(2) 新聞広告による効果

今年度に新たな施策として実施した新聞広告の認知度を見ると、認知の程度は、約11%となっており、認知の程度は低い状況となっていた。また、その内訳をみると、沖縄県中部圏域・南部圏域で約65%となっており、更に、県外観光客に対しても、約15%の認知効果があった(図-12)⁶⁾。活用実態としては、主に経路分散に対して効果があることが明らかになった(図-13)⁶⁾。

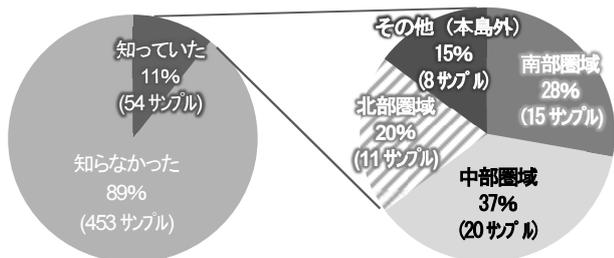


図-12 新聞広告の認知度およびエリア

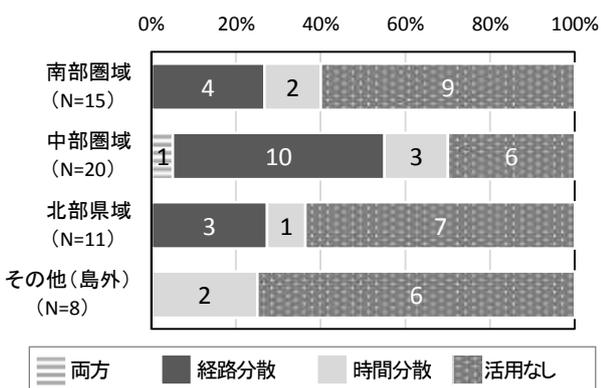


図-13 新聞広告の活用実態

4-3 国道329号交差点の信号現時調整効果

松田(北)交差点において、繁忙期の交通混雑を緩和させるための信号現示の変更(主方向の青時間を延長:1Φの青時間を10秒延長)を実施した(表-3)。

信号現示変更による効果を見ると、同規模交通量において、青時間の延長により、10分間あたりの捌け交通量が8台(約50台/時)増加した。この結果、最大渋滞長(最大渋滞長:約4,600m)に変化は確認できなかったが、大規模な渋滞(渋滞長2,000m以上)の継続時間が約2時間に短縮されており(表-4、図-14)⁷⁾、一定の効果は確認された。

表-3 信号現示の変更状況

1Φ: 青: 58s 黄: 4s 赤: 2s 2Φ: 青: 21s 黄: 3s 赤: 2s サイクル長: 90s	1Φ: 青: 68s 黄: 4s 赤: 2s 2Φ: 青: 21s 黄: 3s 赤: 2s サイクル長: 100s

表-4 信号現示の変更状況

	12時間交通量	捌け交通量
2017年度	7,651台/12時間	140台/10分間
2019年度	7,645台/12時間	148台/10分間
判定	同等	8台/10分増加(約50台/時)

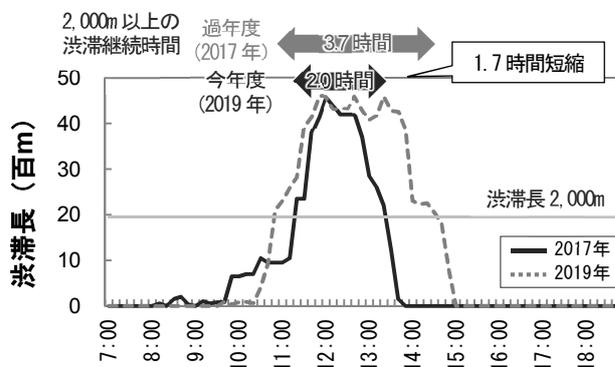


図-14 渋滞長の変化

5. おわりに

今回の経路分散・時間分散実証実験により、北部地域の春の観光繁忙期(GW)における交通の経路分散・時間分散に対しては、一定の効果が確認できた。

しかしながら、国道58号および迂回路である国道329号の交通混雑は依然として発生しており、今後も更なる施策の強化が必要となる。

今後は、それぞれの効果が大きかったメニューの強化、及び効果の少なかったメニューの見直しを行うとともに、更なる交通混雑緩和を目指し、公共交通等(バス、船舶等)を活用した、「手段の変更」も加えた施策内容の検討を実施し、今後の沖縄県北部地域の観光繁忙期の円滑な移動に資する取組を実施したいと考えている。

参考文献の引用とリスト

- 1) 北部国道事務所 交通量調査結果
観測箇所: 世富慶交差点
観測日: 平常期: 2018年4月26日、
観光繁忙期: 2018年5月5日
- 2) 民間プローブデータ (2017年1月-12月)
- 3) 民間プローブデータ (2019年5月4日)
- 4) 北部国道事務所 アンケート調査結果 (2018年5月5日)
- 5) 北部国道事務所 交通量調査結果
観測箇所: 世富慶交差点、松田(北)交差点
観測日: 2018年5月5日、2019年5月4日
- 6) 北部国道事務所 アンケート調査結果 (2019年5月5日)
- 7) 北部国道事務所 交通量調査結果
観測箇所: 松田(北)交差点
観測日: 2017年5月4日、2019年5月4日

訪日外国人レンタカーへの ピンポイント事故対策について

具志堅 清一¹・濱川 昌丈²

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

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

沖縄県は、観光客1,200万人誘致(外国人400万人)を目標に掲げ、観光客数は年々増加し、外国人観光客数も増加傾向にある。それに伴い、外国人観光客受け入れの課題が考えられる。

本研究では、ETC2.0プローブデータを用い、外国人特有と想定される事故危険箇所の特定をすると共に、対策の検討・立案を行った。

今回、外国人特有の事故危険箇所として特定した箇所へ、ピンポイント事故対策を行い、効果検証結果と、今後の取り組み内容を報告するものである。

キーワード 地域道路経済戦略研究会(沖縄地方研究会)、ETC2.0、ピンポイント事故対策

1. はじめに

(1) 背景と目的

沖縄県において、入域観光客数数は年々増加傾向であり、平成30年度では999.9万人となった。また、平成29年3月に沖縄県は第5次沖縄県観光振興計画改訂版の中で、平成33年度までに入域観光客を1,200万(内外国人400万人)の誘致の目標を掲げた。

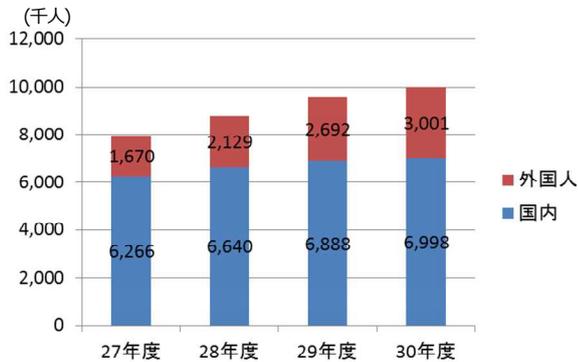


図-1 沖縄県入域観光客数の推移

また、国土交通省道路局は、情報通信技術や多様なビッグデータを最大限に利活用し、道路を賢く使い、道路空間の有効活用による地域経済活性化戦略と、これを実現するための社会実験、実装について研究を行うことを目的に、有識者からなる「地域道路経済戦略研究会」を設立した。その中で、沖縄県においては「観光」をテーマに観光客の渋滞回避について、地域の道路を活かした政策や、道路空間の有効活用による地域経済活性化戦略と、これを実現するための社会実験・実装についての研究(施策)を行うことを目的に「地域道路経済戦略研究

会(沖縄地方研究会)」(以下、沖縄地方研究会)を設立した。

(2) 沖縄観光(本島)が抱える課題

沖縄地方研究会において、「観光」をテーマに各関係者へヒアリング調査を実施し、観光資源が豊富で観光客も多い沖縄本島では、「安全」・「快適」・「円滑」の観点から、解決すべき様々な課題を抱えていることを明らかとした。

a) 安全

入域観光客の増加に伴い、外国人観光客も増加し、日本の交通ルールに不慣れな外国人レンタカー利用者の事故が急増している。外国人レンタカーの事故件数が年々増加傾向であるが、その一方で、その危険箇所は定量的に把握出来ていないのが現状である。

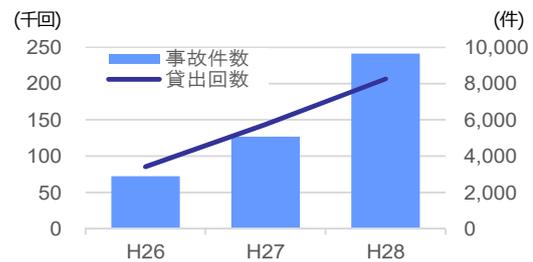


図-2 外国人レンタカー利用者と事故件数

b) 快適(満足)

沖縄本島は、海洋博公園(沖縄美ら海水族館)や、世界遺産、海浜リゾートなど、著名で魅力的な観光資源が多数存在するが、特定の観光地に集中し渋滞が発生している。

c) 円滑

都市内の慢性的な渋滞に加え、観光シーズンには観光

交通が集中し地方部でも交通混雑・渋滞が発生している。



図-3 慢性的な渋滞(左)と観光シーズン時の渋滞(右)
(左: 国道58号那覇市松山、右: 国道58号名護市世富慶向け)

沖縄地方研究会では、様々な課題を抱えている沖縄本島を対象に、更なる観光振興や満足度向上に伴う地域経済活性化を目的として、沖縄観光の沖縄観光の行動(周遊パターン)を把握するため、持続的に交通ビッグデータの収集・分析を行い、活用方策について検討・提言を行った。

今回、「安全」に係る外国人レンタカーの安全性の向上に着目し、ETC2.0プローブデータを用い、外国人特有と想定される事故危険箇所の特定し、対策の検討・立案を行うと共に、対策の効果検証結果と今後の取組み内容を報告するものである。

2. 外国人特有の事故危険箇所の特定

事故危険箇所の特定には、ETC2.0プローブ情報を活用し、危険挙動(急ブレーキ)が多発している箇所を特定した。また、外国人レンタカーと沖縄県民のETC2.0プローブデータの、走行台数あたりの急挙動発生件数(急挙動発生割合(件/千台))を比較し、外国人特有と想定される事故危険箇所の特定を表-1のとおり行った。

表-1 急挙動の発生状況

交差点名称	外国人観光客 (特定プローブ:H29.05~12)			沖縄県民 (ETC2.0プローブ:H29.04~10)		
	急挙動 件数	走行 台数	急挙動 発生割合 (件/千台)	急挙動 件数	走行 台数	急挙動 発生割合 (件/千台)
地点1	30	215	139.5	17	411	41.4
具志堅西	23	180	127.8	6	297	20.2
地点2	17	202	84.2	1	311	3.2
大浜	26	381	68.2	19	874	21.7
地点3	8	118	67.8	24	1,357	17.7
地点4	11	163	67.5	8	407	19.7
...

3. ピンポイント事故対策

外国人特有の事故危険箇所を特定し、それぞれの挙動発生状況及び車両の走行状況を踏まえ、ピンポイント事故対策を行った。

(1) 地点1交差点における急挙動発生状況と対策内容

交差点直前での急挙動の約7割は古宇利島方面からの

進入車両(17/25件)で、その9割が右側通行の台湾・韓国からの観光客であった。右側通行の台湾・韓国では標識等が道路の右側にあり、日本の左側にある一時停止(止まれ)の標識を見落としていることが想定。そのことから、注意を促す看板を右側に設置し対策を行った。



図-4 急挙動の発生状況



図-5 ピンポイント対策(看板設置箇所)

(2) 具志堅西交差点における急挙動発生状況と対策内容

急挙動は古宇利島方面と、沖縄美ら海水族館方面での移動で多く発生していた。そのうち古宇利島から沖縄美ら海水族館方面へ向かう車が半数であった(22件中11件)。また、交差点付近で発生している急挙動は、国籍には関係無く、周辺では美ら海水族館へ向かう車両のうろつきが確認出来た。このことから、美ら海水族館への案内標識が統一されていないことを想定し、交差点付近に水族館を英語及びピクトで表示した、案内看板を設置した。



図-6 急挙動の発生状況



図7 ピンポイント対策

(3) 浦崎交差点における急挙動発生状況と対策内容

具志堅西交差点と同様、沖縄美ら海水族館への分岐部である「浦崎交差点」においても交差点手前での急挙動や、車両のうろつきが確認出来た。また、同様に本箇所でも美ら海水族館への案内標識が統一されていないことが想定される。そのため、交差点付近に、水族館を英語及びピクトで表現した、案内看板を設置。



図8 急挙動の発生状況



図9 ピンポイント対策

4. 効果検証方法及び検証結果

(1) 効果検証方法

a) ETC2.0プローブデータの急挙動・走行状況の比較

外国人レンタカープローブデータも元に集計を行った。また、対策前は2017年5月～2018年6月15日間のデータ、対策後は2018年6月13日～2019年1月31日間のデータを使用した。

b) ビデオ観測調査による走行状況の比較(地点1のみ)

■調査日時

《対策前》H30.6.6(水) 12:00～18:00

《対策後》H30.8.8(水) 12:00～18:00

■調査項目

- ・車両情報：レンタカー(外国人/日本人)*1/一般車(沖縄県民)
- ・走行状況：単独・先頭/後続車
- ・進行方向：左折/右折
- ・断面通過時刻：①停止線手前(10m), ②停止線, ③横断歩道端
- ・交差点での停止*2の有無
 - *1 レンタカーのステッカーにて判断
 - *2 2断面間の速度 10km/h未満

c) アンケート調査

■場所：沖縄美ら海水族館

■調査日時

・H30.9.11(火), 12(水) 10:00～17:00

■調査項目

- ・対策に関する評価：対策箇所の通過の有無, 対策内容に対する評価, 有効な対策の方向性 など
- ・属性情報：年齢, 国籍, 来訪回数, 運転頻度

(2) 地点1の事故対策の効果検証結果

a) ETC2.0プローブデータの急挙動・走行状況の比較

ETC2.0プローブデータでの解析では、効果は見られなかった。解析結果より、ETC2.0は200m単位のデータであり、局所的な区間の速度変化を適切に評価出来ない可能性が分かった。

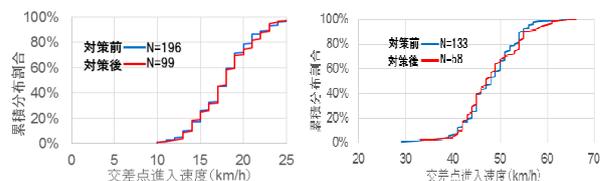


図-10 交差点付近(交差点より40m区間)の速度分布(左), 交差点付近(交差点より170m地点30m区間)の速度分布(右)

b) ビデオ観測調査による走行状況の比較

対策前後で外国人レンタカーの、交差点への進入速度の低下が確認出来た(日本人ドライバーと同程度)。特に外国人レンタカーが後続車両として右折する場合において、停止割合が大幅に増加(3割程度)し、外国人ドライバーに対し、一時停止交差点での注意喚起に効果があることが確認出来た。

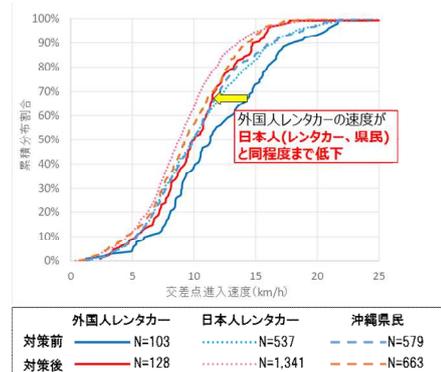


図-11 交差点進入速度(停止線から横断歩道端)

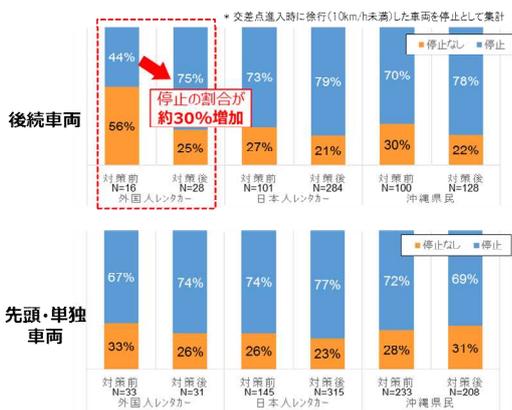


図-12 右折車両の交差点手前での停止状況

c) アンケート調査結果

本対策箇所を通過した方(50人)の50%(25人)が看板を認知し、そのうち88%(22人)が一時停止の認識を行っていたことが確認出来た。また、看板の設置位置(5割)より、英語表記(7割)に対する評価が高いことが分かった。同時に、外国人ドライバーに注意を促す方法として、「標識にSTOPの追加」、「STOPの路面標示」、「カラー舗装」が有効だという意見も多いことが分かった。

国籍	回答者数	通過者数	認知者数 (気づいた)
台湾	77人	39人	25人
韓国	33人	7人	0人
香港	5人	1人	0人
米国	3人	0人	0人
その他	14人	3人	0人
合計	125人	50人	25人

図-13 国別安全対策(看板)の認知状況

(3) 具志堅西・浦崎交差点の事故対策の効果検証結果

a) ETC2.0プローブデータによる急挙動・走行状況の比較

具志堅西交差点では、外国人ドライバーの急挙動の発生割合が対策前後で約1割、減少したのが確認出来た。また、両交差点において迷走車両の割合が低下したのが分かった。



図-14 具志堅西交差点における迷走車両の状況



図-15 具志堅西交差点における迷走車両の状況

b) アンケート調査結果

本対策箇所を通過した方(116人)の40%(46人)が看板を認知し、そのうち83%(38人)が一時停止の認識を行っていたのを確認出来た。また、英語表記(7割)に対する評価が高いことが分かった。同時に、「ピクトサインの追加」、「英語表示拡大」、「観光施設名での道案内」が有効だという意見も多いことが分かった。

5. まとめ

本稿では、ETC2.0プローブデータより外国人特有とされる事故危険箇所を特定し、各箇所の状況毎にピンポイント事故対策を行い、その有効性を確認することができ、かつ、より有効で恒久的な対策方法も確認することが出来た。地点1においては、国籍に左右されないように、路面表示とカラー舗装を組み合わせるなど、直感的(視覚的)に注意を引く対策(認知)と、英語表記の追加の様に内容を周知する対策(理解)が有効なことが分かった。また、具志堅西・浦崎交差点においては、ピクトサインの追加、英語表示の拡大により、案内標識のわかりやすさを改善し利用効率を向上させる方法が有効なことが分かった。については、一時停止交差点の注意喚起(図-17)や、道路標識におけるピクトサインの追加、英語表示の拡大、美ら海水族館の標記・案内の統一に向け(図-18)、各関係機関との調整を進め、今後安全対策に取り組んで行く。



図-16 交差点「地点1」の恒久的な安全対策のイメージ



図-17 道路標識の改善イメージ

平良港国際クルーズ拠点整備事業における 岸壁部の景観検討について

○新垣 大¹ 石橋 透¹・

¹沖縄総合事務局 平良港湾事務所 整備保全課 (〒906-0012 沖縄県宮古島市平良字西里7-21)

近年、国際クルーズ船の寄港回数は増加傾向にあり、特に宮古島においては、2018年に143回の寄港実績を数え、宮古圏域の観光振興においてその重要度は大きくなっている。

本論文では、平良港で整備が進む国際クルーズ拠点整備事業における岸壁部に関する景観検討について報告するものである。今回の対象岸壁の景観検討は利用形態・環境条件を考慮しつつ、海に浮かぶ岸壁を船上から俯瞰する見え方に重視し、宮古らしさを印象づける景観を形成するための検討を行ったものである。また、検討結果については、宮古島市の景観審議会に諮り、宮古島市景観アドバイザーとの協議・調整を行っており、島内周辺の景観との調和も図られたものとなっている。

キーワード 国際クルーズ船、景観形成、宮古らしさ、景観審議会

1. はじめに

宮古圏域は独自の伝統文化がはぐくまれ、豊かな自然環境や歴史的・文化的特性を有する魅力的な観光リゾート地域である。近年では、東アジアはもとより世界各地から平良港への国際クルーズ船の寄港が著しく増加し、2019年においても180回を超える寄港が予定されている。しかしながら、平良港にはクルーズ船に対応した岸壁が無く、クルーズ客の安全や利便性に対応できていない。平良港湾事務所では、こうした背景のもと、クルーズ船の大型化や需要増大に対応したターミナル機能強化や観光客と市民の交流機会の形成の為に観光レクリエーション機能拡充などを目的として、平良港漲水地区の整備を港湾管理者である宮古島市と共に進めており、その一環として大型旅客船岸壁の整備を行っている。

この大型旅客船岸壁は漲水地区の防波堤沖側に整備され、陸地とは独立した位置関係にある。まさに観光客が宮古島にはじめて降り立つ場所であるため、島内及び航路からの中近景に対し、周辺環境（美しい海・空、みどり）との調和を図りつつ宮古らしさを印象付ける景観をつくり、これからの楽しい時間を期待させる宮古島らしい「はじまりの場所」を演出することが、本景観検討のねらいとするところである。

(1) 主な景観検討事項

- 海に浮かぶ岸壁を船上から俯瞰する際の見え方を重視し、宮古島らしさを印象づける景観検討
- 岸壁の機能や利用形態に対して、必然性や整合性と経済性の調和のとれたデザインを検討



図-1 検討対象位置図

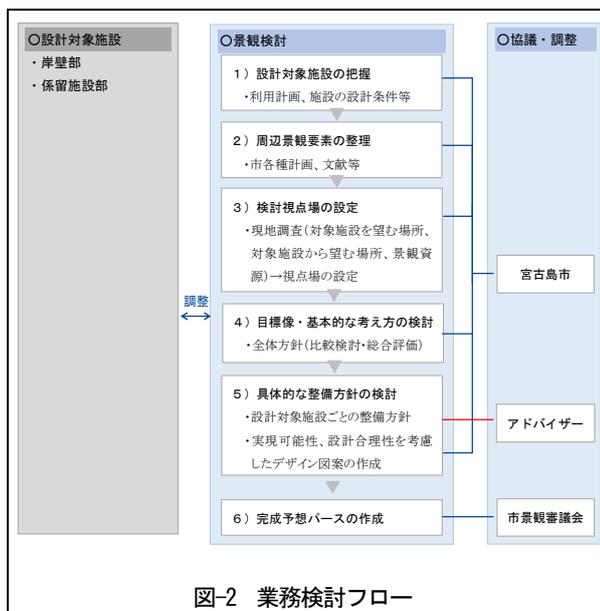
2. 検討の流れ

実施した景観検討の流れを図-2に示す。

まず、岸壁部の利用形態を確認し、施設的设计条件から景観検討の対象施設を把握する。次に、宮古島市の各種計画や文献等から周辺環境の現状と周辺景観要素を整理した。その後、現地調査で対象施設を望む場所、対象施設から望む場所、景観資源を確認し、近景・中景・遠景の検討視点場を設定した。

以上を踏まえ景観における目標像と全体方針を定め、そこから設計対象施設ごとの具体的な整備方針を確認し、デザイン図案を作成した。検討にあたっては宮古島市及びアドバイザーへ意見を聞きつつ検討を進め、検討結果については、宮古島市の景観審議会へも諮り実施設計にフィードバックした。

表-1 設計対象施設の設計条件の把握



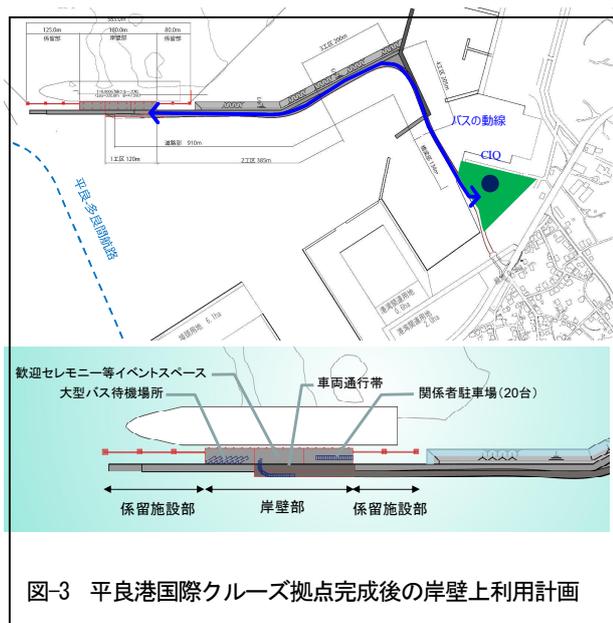
3. 漲水地区全体の景観の検討

今回の設計対象施設は岸壁部、臨港道路部となるが、以下にフローに沿った検討結果を示す。

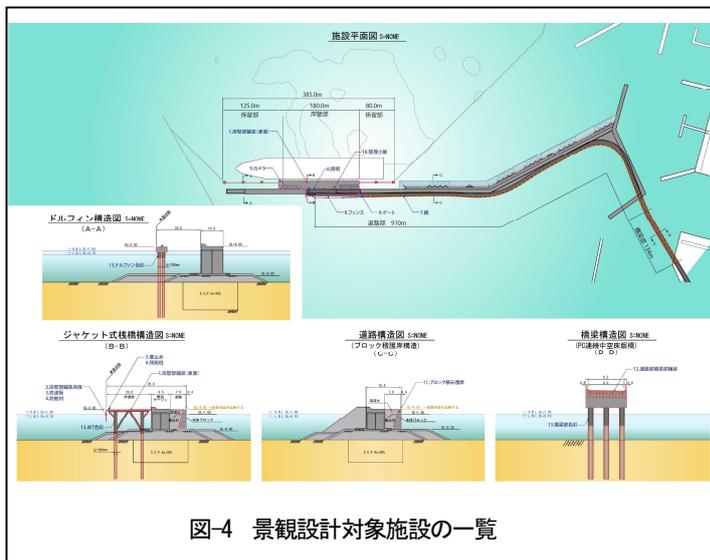
(1) 設計対象施設の把握

岸壁部完成後は保安エリアとなり、一般市民は入れない場所で独立した空間となる。但し、歓迎セレモニー等のイベントを実施することは想定される。なお、クルーズ船利用者は下船後、シャトルバスに乗ってターミナルへ移動を行う。

以下に岸壁部分の本体及び付属物、臨港道路部の景観設計対象施設毎について整理した設計条件を表-1、図-4に示す。



景観設計対象施設	設計条件
1. 岸壁部舗装 (表層)	・岸壁部では、歓迎セレモニー等のイベントを実施することも想定されている。 ・大型車両は運用上、送迎時など、岸壁全体を駐車場(転回・滞留)として利用する
2. 岸壁部舗装 (床版)	・標準設計では、通常コンクリートを使用する。
3. 防波版	・標準設計では、通常コンクリートを使用する。
4. 防眩材	・標準設計では、黒色(標準色)の製品を使用する。
5. 車止め	・標準設計では、標準色(黄、黒)で塗装された製品を使用する。
6. 係船柱	・標準設計では、赤茶色(標準色)の塗装とする。
7. 柵	・厳しい環境圧に耐え、維持管理性能が高い構造とすることが必要である
8. 照明	・厳しい環境圧に耐え、維持管理性能が高い構造とすることが必要である
9. 岸壁部その他施設 (フェンス・ゲート・カメラ)	・管理者との協議の上、検討する。
10. 岸壁部その他施設 (管理小屋)	・管理者との協議の上、検討する。
11. ブロック積み護岸	・標準設計では、通常コンクリート製作したブロックを使用する。
12. 道路部橋梁部舗装	・標準設計では、アスファルト舗装を使用する。
13. 橋梁	・標準設計では、通常コンクリートを使用する。
14. 色彩 (ジャケット・ドルフィン)	・標準設計では、濃灰色(標準色)を使用する。



(2) 周辺景観要素の整理

島内全域から景観形成に配慮すべき事項を確認し、視点場を設定するため、現地及び周辺(圏域内)で現況把握調査を行った結果、防波堤、埠頭用地、漁港が繋がる場所で、市街地とは独立した空間として認識できることを確認した。また、海岸線には穏やかな海と白い砂浜や断崖絶壁が連なり、海の「青」、砂の「白」、崖の「灰、緑」の組み合わせが宮古島の水際を象徴する自然風景となっていることがわかった。(図-5参照)

市街地周辺においては、舗装や石積み、護岸などあらゆる所で琉球石灰岩が使われており、また、宮古上布の柄をデザインモチーフとした舗装パターンもあることが分かった。(図-6 参照)

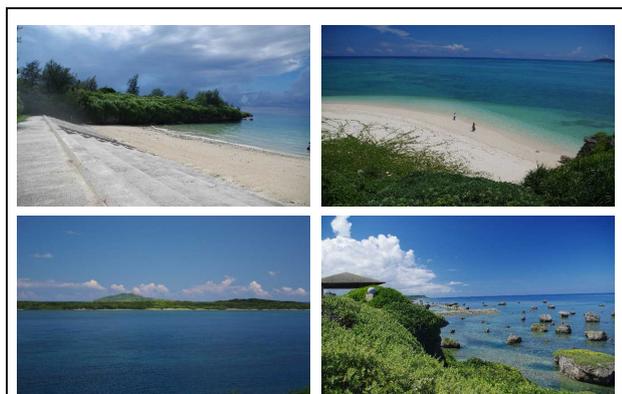


図-5 宮古島の水際を象徴する自然風景

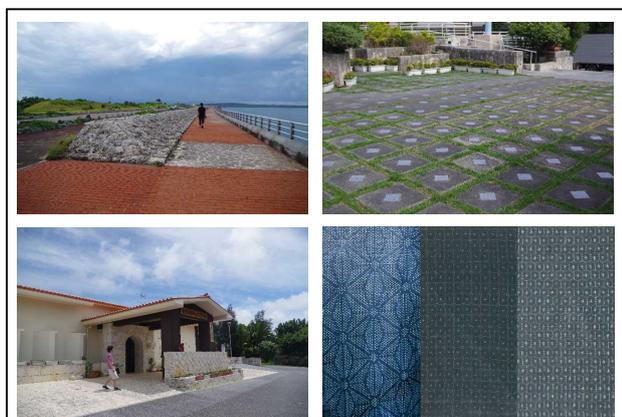


図-6 宮古島らしい素材 (琉球石灰岩・宮古上布)

(3) 視点場の設定

現地調査で把握した視点場について、地区全体が把握できる中景・遠景の視点場は「伊良部島」「佐良浜港」「牧山展望台」であり、岸壁部は市街地からほとんど認識されないことが分かった。一方、岸壁部からは市街地全景や海、山並みなどの各施設の詳細を認識することができた。

このことから、岸壁自体の景観検討の視点場は「クルーズ船上」「岸壁及び臨港道路上」からの見え方を重視し、中景では、岸壁や臨港道路側面の外形や色彩が確認できる程度であるため、背景の眺めとの調和を重視することとした。

4. 目標像・基本的な考え方の方針

以上を踏まえ、『これからの楽しい時間を期待させる宮古島らしい「はじまりの場所」』を実現することを目的とした景観方針を次のとおりを設定した。

- 岸壁の機能や利用形態に対して、必然性や整合正と経済性の調和のとれたデザインを検討する。

- 厳しい塩害環境に対し、整備当初の景観形成の意図を将来にわたり維持しやすくすることを念頭に置くとともに、一定の劣化補修や設備交換などの維持管理の合理性などを考慮したデザインを検討する。
- 宮古島に最初に降り立つ場として期待感が感じられ、かつ島内で楽しい時間(旅・観光)を過ごす中で、まちと岸壁とがつながるような(宮古島の良さが再発見できるような)デザインを検討する。

5. 目標像・具体的な整備方針の検討

(1) 岸壁エプロン部の景観形成の考え方

前章までの検討を踏まえ、岸壁エプロン部の景観形成範囲を図-7に示す箇所に設定し、エプロン部のデザインパターンの考え方を整理した。

a) 舗装デザイン

地域性との共通点を持たせてデザイン意図を伝わりやすくするため、織物(宮古上布)をモチーフにして宮古らしさを演出する。また宮古島や沖縄を印象づける色彩(宮古上布の藍色、砂浜の乳白色、琉球石灰岩のベンガラ色)を用いる。

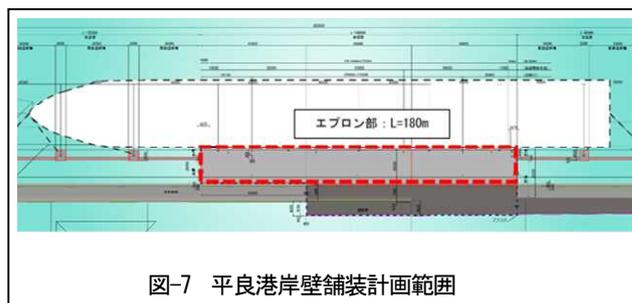


図-7 平良港岸壁舗装計画範囲

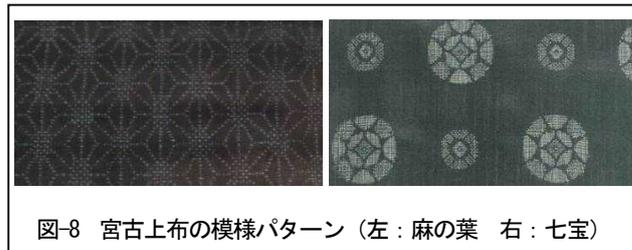


図-8 宮古上布の模様パターン (左: 麻の葉 右: 七宝)

さらに、岸壁エプロン部の景観形成を踏まえ、岸壁全体で表現するデザイン案を作成し、比較した。

(図-9参照)

- 航路から岸壁を見るとき、接岸して岸壁を俯瞰する際に、宮古島にはじめて降り立つ場として期待感を演出することが大事であり、全体の岸壁ベース色を、珊瑚礁でできた白い砂浜をイメージした乳白色に設定。
- 岸壁の模様には宮古上布をイメージさせる柄を採用し、地域性を表現した。模様色は沖縄らしい華やかさ、高揚感を演出するベンガラ色を採用

することで、周りの海の青色にも映える配色となっている。

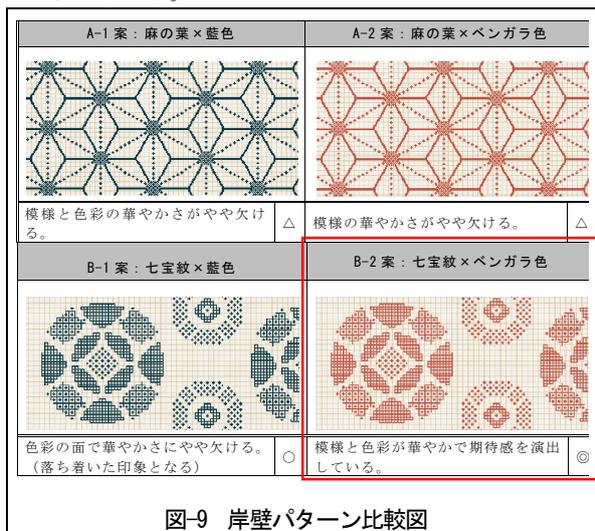


図-9 岸壁パターン比較図

(2) 設計対象施設の具体的な景観設計の内容

岸壁エプロン部の景観形成の考え方をもとに、各設計対象施設について具体的に設定した景観設計を下記に示す。(図-10、図-11、図-12参照)

a) エプロン部舗装

エプロン部舗装はクルーズ船上からの見え方を重視するため、大型車両等の乗り入れに対する耐久性を考慮したコンクリート床版を用い、素材による着色により、乳白色、ベンガラ色を使い分けて、大型の宮古上布模様を表現する。製品選定によるインターロッキングブロック舗装により、着色による色落ちを防ぐことで、模様と色彩の華やかさを保つことができる。

b) 防波版

岸壁舗装のベース色と同様に乳白色で統一する。

c) 防舷材

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

d) 車止め・係船柱

来訪者が最初に足を踏み入れる岸壁の海際の部分であるため、舗装のベンガラ色と調和する藍色を採用する。

e) 柵

岸壁部の景観形成上は大きな影響はならないため、一般的な経済性を重視した2次製品を選定する。

f) ジャケット前面・内部

防舷材と同等の色彩を意識し、濃灰色を採用する。

g) その他

ドルフィン部は岸壁とは離して配置するため、目立たない色彩とする。

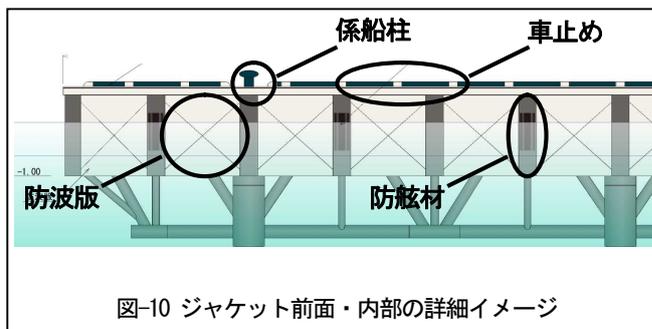


図-10 ジャケット前面・内部の詳細イメージ

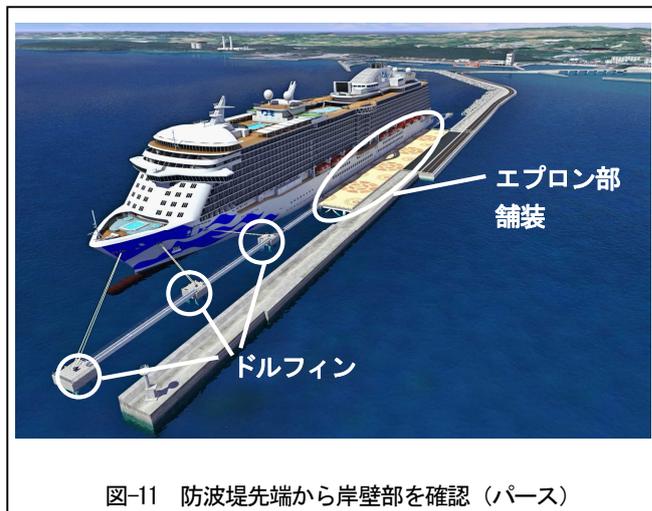


図-11 防波堤先端から岸壁部を確認 (パース)



図-12 船上から岸壁部を確認 (パース)

6. まとめ及び今後の課題

本検討は、対象施設と連続する地区全体での景観のあるべき姿ととらえ、地元関係者や景観審議会に諮るかたちで検討を進めた。その結果、岸壁の機能や利用形態に対して、必然性や整合性と経済性の調和のとれた地元にも受け入れられるデザインを取りまとめられたと考える。今後は、旅客ターミナル施設や滞水地区全体の市の整備においても、本検討結果の継承や、連携した景観形成に向けた取り組みが進み、沖縄特有かつ宮古らしさのある景観に配慮した施設整備が実現していくことを期待する。

沖縄県の景観形成～沖縄らしい風景づくり～

沖縄県 土木建築部 都市計画・モノレール課 志良堂 貴紘

1. はじめに

赤瓦建物に代表される沖縄らしいまちなみ風景は、1889年に「敷地家屋制限令」が解除され身分に関係なく瓦葺きが可能となったことから形成された。第二次世界大戦前の沖縄には、首里のみならず写真-1に示すような美しい風景が各地にあったが、残念ながら先の大戦でその多くが失われてしまった。

また、1972年の本土復帰後においては社会資本整備や民間の開発等が進められ、県民生活が飛躍的に向上する一方で沖縄らしい風景が失われつつあった（写真-2）。



写真-1 1940年頃的那覇市街地の風景¹⁾



写真-2 現在の那覇のまちなみ



写真-3 座間味村の青い海



写真-4 モノレールのある風景

以上の背景から、沖縄県は地域の特性を生かした優れた景観を守り育て、快適で魅力あるふるさと沖縄の創出に寄与することを目的として、平成6年に「沖縄県景観形成条例」（以下「条例」という）を制定した。一部の自治体ではすでに景観に関する条例などによ

キーワード 沖縄らしい風景, 景観形成, 景観行政

連絡先 〒900-8570 那覇市泉崎 1-2-2 沖縄県土木建築部都市計画モノレール課

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

り施策を進めていたが、多くの県民や事業者の理解、市町村の取組みはこれからという状況であった。

その後、国は、平成15年に「美しい国づくり政策大綱」を示し、平成16年に「景観法」を制定した。国土交通省所管の公共事業では、「国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針(案)」に基づき景観に配慮された施設の整備が進められており、国全体として景観形成に取り組む方向性や制度的な枠組みが整えられてきている。

そこで、本論では、沖縄県における景観行政の現状と課題を述べ、この課題を解決するために取り組んでいる「沖縄らしい風景づくり促進事業」を紹介する。そして、公共事業における景観形成の必要性に触れ、最後に今後の課題を述べる。

2. 沖縄県の景観行政

沖縄県の景観施策は、平成4年度に企画開発部振興開発室リゾート班において景観形成施策を検討したことに始まる。平成6年度に「沖縄県景観形成条例」が公布され、平成8年度に土木建築部へ景観形成業務が移管された。当時は景観行政の取組みに対して法的な後ろ盾が無い状況だった。また、一部市町村では、すでに景観に関する独自の条例を制定するなど、景観施策を進めていたが、多くの県民や事業者の理解、市町村の取組みはこれからという状況だった。

その後、「景観法」が制定されたことや「沖縄振興特別措置法」に『良好な景観の形成』が盛り込まれたことを背景に「21世紀ビジョン基本計画」に基づき、平成24年度から現在まで「沖縄らしい風景づくり促進事業」を実施している。景観行政の課題である①沖縄らしい風景をつくりこと、②住民の合意形成、③景観施策を支える仕組みづくりの3つを解決することを目的としている。

3. 沖縄県の景観施策（沖縄らしい風景づくり促進事業）

「沖縄らしい風景づくり促進事業」では、主に①広報・啓発、②風景づくりに貢献する人材育成、③景観評価システム本格運用支援に取り組んでいる。以下にその内容を紹介する。

1) 広報・啓発

県民や事業者の風景づくりに対する意識、関心を高めるため、シンポジウムをはじめ、モノレールを活用した広告や古民家を活用した体験型イベント等を行っている。シンポジウムは、例年10月下旬に開催し、毎年200名程度の参加をいただいている。

また、ICTを活用した広報・啓発活動として、風景づくりに係るさまざまな情報を県民に広く発信する「風景結々」^{ゆいゆい}ポータルサイトを立ち上げ、各地域の古写真や県・市町村の景観施策等の情報を掲載している。



図-1 シンポジウムの開催



図-2 ポータルサイト「風景結々」
<http://www.fukei-okinawa.jp/>

2) 風景づくりに貢献する人材育成

良好なまちなみ景観形成にあたっては、地域の景観のルールづくりと景観を維持管理する体制整備が必要なため、地域住民を対象とした地域人材の育成に取り組んでいる。また、景観法では景観施策は市町村が主体となって実施することになっており、市町村職員を対象とした人材の育成も行っている。その他、小学生を対象とした風景学習も実施している。これまでに延べ約 3,000 人以上が上記の取組みに参加している。

表-1 人材育成の内容

風景づくりサポーター (対象者:地域住民)	景観に関する地域活動に参加する幅広い世代の住民で、ワークショップを開催し、各地域の景観のあり方や、そのためにどのような活動が必要かを話し合ってもらい、その中で提案された活動（花壇の整備や美化活動、地域の特色を生かした風景づくりの取り組みなど）に対し、概ね4年を目途に活動費の助成や講師の派遣などを行っている。
地域景観リーダー (対象者:地域住民)	地域の意見をまとめ、風景づくりの活動を推進していくキーマンで、風景づくりサポーターの中から人材を発掘し、学習会や情報交流会を行うなど、地域間のネットワークの構築にも取り組んでいる。
景観行政コーディネーター (対象者:市町村職員)	市町村職員を対象とし、住民と行政とが協力して地域の風景づくりに取り組めるよう、景観地区指定や地域住民の合意形成の手法など景観施策の実施に関する知識やノウハウを習得するため、研修会や先進地視察などを行っている。

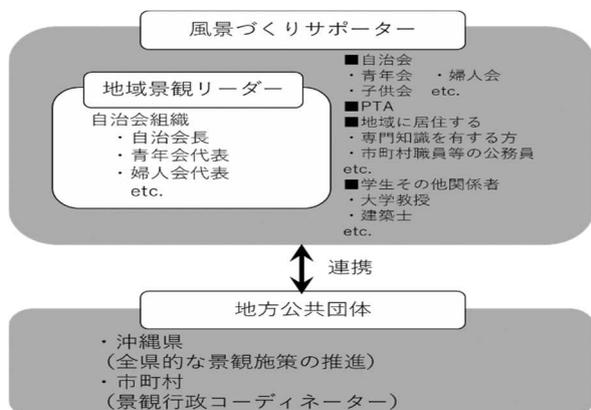


図-3 人材育成の取組みイメージ



写真-5 風景づくりサポーター育成



写真-6 景観行政コーディネーター研修



写真-7 風景学習

4) 沖縄県景観評価システム（公共事業における景観アセスメント）

公共事業は地域の景観に与える影響が大きく、景観形成を先導する役割を持つと考えられる²⁾ことから、公共事業のサイクル全体を通じて景観評価を行うシステムが必要とされている。そのため、公共事業において維持管理を含めた事業サイクル全体を通じて“景観”を評価項目の1つとして織り込むことにより、景観に配慮された公共空間を創出する。

沖縄県景観評価システムは、公共事業で事業者が景観に関して検討し、事業内容に反映する仕組みである。景観に関する検討の過程で有識者のアドバイスを受けることが可能である。沖縄県土木建築部では、平成29年度から所管する公共事業のうち事業採択された案件を対象としている³⁾。平成29年度までに試行も含めて38案件で実施した。

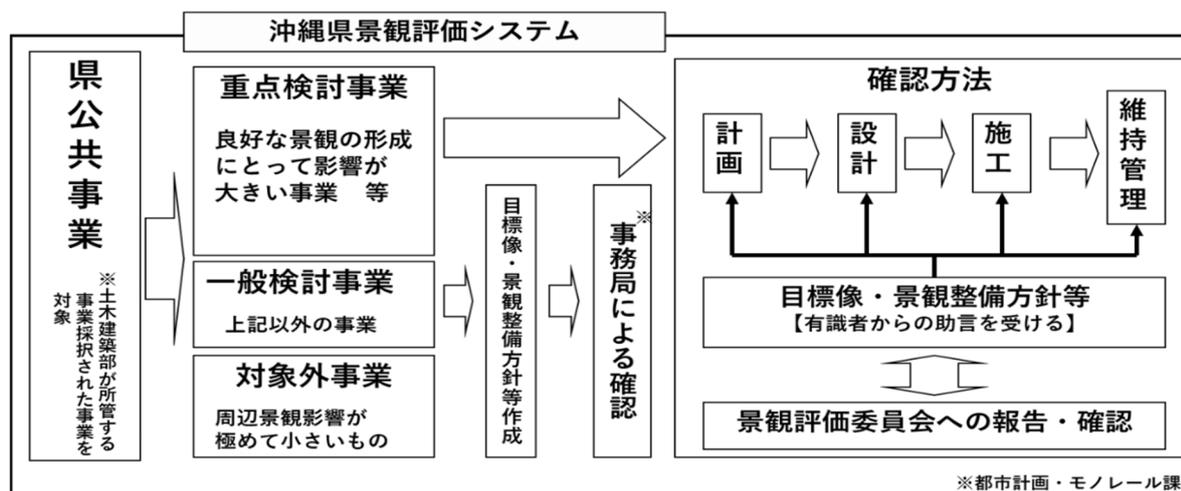


図-4 沖縄県景観評価システムのイメージ

沖縄県では、事業担当者や設計コンサルタント担当者が景観の検討を円滑に進めるためのツールとして道路など5事業の「景観チェックリスト」とその解説書を整理した。それぞれの解説書では、景観を検討する際の手順や考え方が示されており、これまでの景観関連指針である「沖縄県土木施設景観形成技術指針（案）」や「沖縄県公共建築物景観形成マ

ニューアル」などの内容も反映されている。写真-8 および写真 9 に示した龍潭線（県道 29 号線）では、実施設計で景観評価システムを活用し、現在整備が進められている。

表-2 景観チェックリストおよび解説書

事業分野	景観チェックリスト及び景観チェックリスト等解説書の有無
道路	○
河川	○
港湾	○
海岸	○
公共建築	○
公園	－（道路と公共建築で対応）
ダム	－（公共建築で対応）
砂防	－（河川で対応）
空港	－（公共建築で対応）
下水道	－（公共建築で対応）



図-5 解説書の内容



写真-8 整備前



写真-9 整備後

5. 公共事業における景観形成の必要性

沖縄県の景観施策や「沖縄県景観評価システム」を紹介したところで、改めて公共事業における景観形成の必要性について述べたい。

「国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針(案)」によると、『景観に配慮した社会資本整備により形成される良質な公共空間は、地域の価値を向上させ、地域住民に

精神的な豊かさをもたらすとともに、後世における資産となるべきものである。』と示されている。

また、沖縄県景観形成懇談会は、『景観について検討し取り組むことの意義は、それが地域のもつ資質を高め、地域づくりの目標となり、人々の地域への関心と愛着を育て、これを支える連帯や仕組の形成を促すところにある。』⁵⁾と示している。

一方、県民意識調査（暮らしについてのアンケート）³⁾の充足が高まった項目で「自分の住む町の景観、町並みが美しい」

(H24: 30.8%→H30: 38.3%), 「沖縄独特のまちなみ景観がある」(H24: 4.3%→H30: 5.1%) となっており、同調査における社会資本の機能面（例えば、「安心して家庭で水が使える」(H30: 80.1%), 「目的地まで円滑に移動できる」(H30: 53.9%) など）に関する項目より低い結果となっている。

さらに観光統計実態調査⁴⁾では、観光客は沖縄らしい風景に大きな期待を寄せており、沖縄の景観向上が旅行全体の満足度を大きく左右する要因となっている(図-6)。つまり、沖縄らしく美しいまちなみや景観を創出することが県民生活の質の向上や観光資源としての役割を果たすことになると言える。引き続き社会資本の整備が必要とされている(図-7) ことから公共事業における景観形成が重要となる。

6. さいごに

時間とともに価値が高まる「価値創造のまちづくり」の基本理念の一つに「景観10年、風景100年、風土1000年」という言葉もあるとおり、景観形成には時間を要する。沖縄県景観評価システムについては、これまでに仕組みの構築から試行段階を経て本格運用を開始したが、今後も持続的な取組みとして回すことが必要となる。

参考文献

- 1) 那覇市歴史博物館。
- 2) 沖縄県公共事業等景観形成指針，沖縄県土木建築部，1995。
- 3) 平成30年度県民意識調査，沖縄企画調整課，2018。
- 4) 平成30年度観光統計実態調査，沖縄県観光政策課，2018。

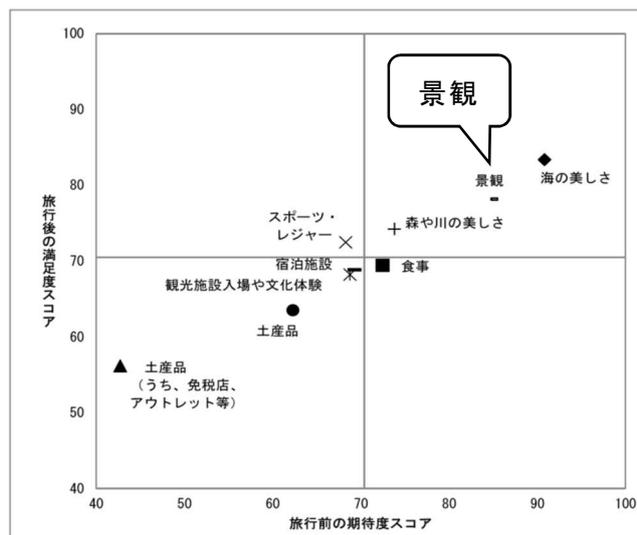


図-6 旅行の期待度と満足度の関係

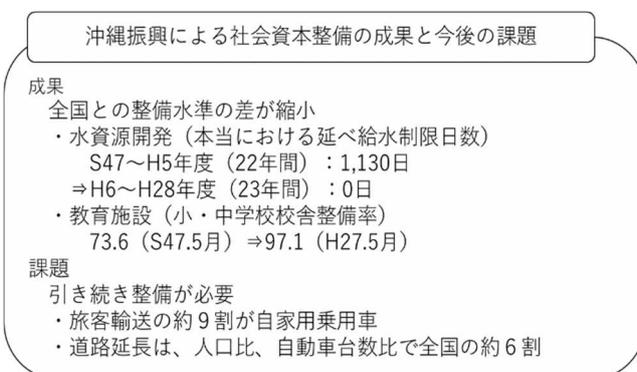


図-7 「沖縄の振興 2017」(内閣府) 参考

Session 5 : 計測・IoT

強風環境下における橋梁高欄トップレールの振動特性に関する研究

琉球大学 ○正岡亮 下里哲弘 田井政行

1. はじめに

橋梁の高欄トップレール（以下、高欄）は、橋梁利用者の安全を確保する上で重要な構造物の一つである。近年、海上橋にて高欄の支間や接合部に複数のき裂の発生が報告されている（図1）。その原因はまだ解明されていないが、橋梁が設置されている環境から、強風による振動であると推測されている。このき裂が進展すると、高欄が破断し、橋梁利用者に被害をもたらす可能性があると考えられる。それゆえ、この高欄の損傷要因を明らかにすると共に、き裂発生防止策を検討する必要がある。

そこで本研究では、風に伴う振動に焦点を置き、強風による高欄の振動を明らかにすると共に振動の抑制手法の検討を目的とする。検討にあたっては実高欄の現地計測を行い、振動の大きさやその周波数特性の検討を行った。

2. 対象高欄の特徴及び計測環境

計測を行った高欄の特徴及び計測環境を表1に示す。なお、計測対象高欄の寸法及び現地の風向に関しては図1・2にも記載する。

表1 高欄の特徴及び計測環境

材質	A6063S-T5 (アルミニウム合金)
断面形状	半楕円型
断面寸法	h:50mm d:80mm
支間寸法(L)	1907mm
天候	晴れ
風向・風速	東北東 9~13m/s

3. 高欄トップレールの振動特性

1) 計測方法

高欄の振動特性を明らかにするため、無線加速度センサ（図3）を用いた計測を行った。図4に示すように、高欄の端から $1/2L$ の位置（高欄支間中央）に無線加速度センサを設置し、高欄の加速度を計測した。なお、橋軸直角方向・橋軸方向・鉛直方向の三軸の加速度を計測し、無線加速度センサのサンプリングレートを 512Hz とした。また、無線加速度センサの質量は 130g であった。

2) 計測結果

計測結果を図5に示す（縦軸：加速度(G)、横軸：計測時間(sec)) 橋軸方向(青)・橋軸直角方向(赤)・鉛直方向(緑)の加速度は、それぞれ $\pm 0.1G$ 、 $\pm 0.8G$ 、 $\pm 0.3G$ であった。よって、高欄は橋軸直角方向の振動が支配的であることが確認できる。

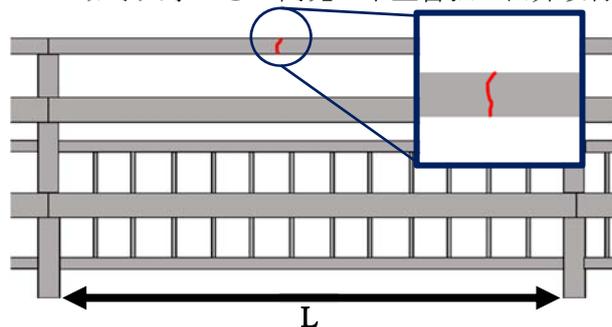


図1 高欄のき裂 [イメージ]

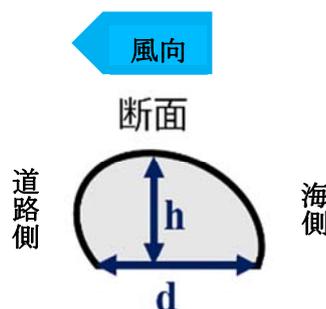


図2 高欄断面・風向



図3 使用機器〔左〕無線加速度センサ〔右〕親機〕



図4 無線加速度センサ 設置位置

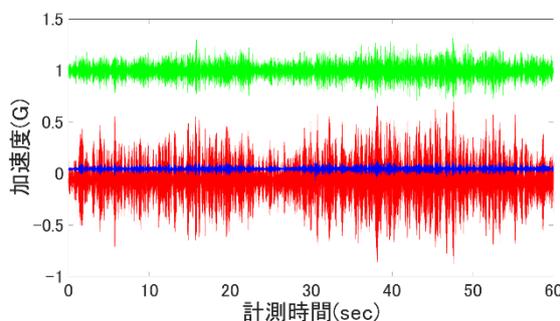


図5 現状構造 加速度

キーワード：高欄トップレール 加速度センサ 強風 渦励振

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原一番地

国立大学法人琉球大学 工学部環境建設工学科 E-Mail: e165338@eve.u-ryukyu.ac.jp

図6に加速度データを高速フーリエ変換によってスペクトル解析を行った結果を示す(縦軸: 振幅 $|P1(f)|$, 横軸: 振動 $f(\text{Hz})$)。その結果から高欄の卓越振動数は約29Hzであることがわかる。得られた加速度データを二回積分し、変位を表したプロットを図7-1に示す(縦軸: 鉛直方向変位(mm), 横軸: 水平方向変位(mm))。高欄は図7-2の赤矢印の方向に振動していたと考えられる。

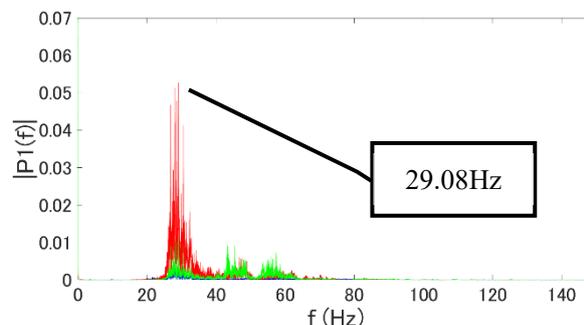


図6 現状構造 加速度 FFT

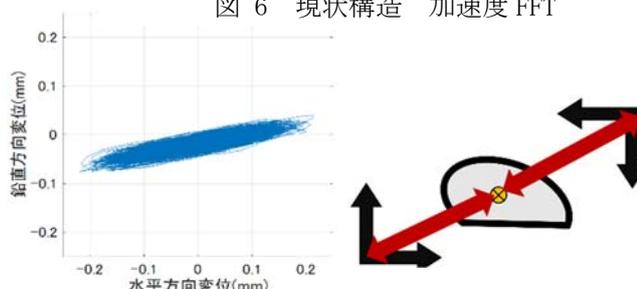


図7-1 現状構造 変位 図7-2 高欄の動きイメージ

4. 振動抑制案

高欄の振動を引き起こす外乱の一つとして渦励振が考えられる。その抑制法として、2つの方法を検討した。1つ目は、高欄の支間中央を荷締めベルトで他の高欄と固定することで、高欄のスパンを縮小し、構造体の固有振動数を変える案(以下、支間縮小案)である(図8)。2つ目は高欄にロープで巻き付け、高欄表面に凹凸を設けて、カルマン渦の発生を抑制する案(以下、渦抑制案)である(図9)。なお、支間縮小案に関しては無線加速度センサを1/4Lの位置に設置した。

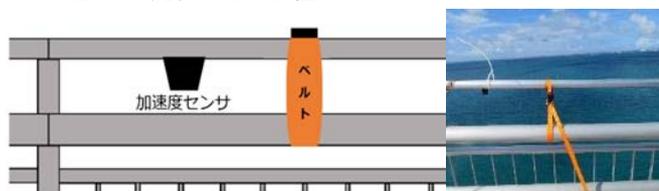


図8 支間縮小案概要

両案の加速度をそれぞれ図10と図11に示す。支間縮小案は、主に鉛直方向が固定されているため、図4と比較すると、鉛直方向の振動を抑えられたものの、橋軸直角方向の振動抑制には効果がなかった(橋軸方向(青) $\pm 0.07G$, 橋軸直角方向(赤) $\pm 0.5G$, 鉛直方向(緑) $\pm 0.1G$)。一方渦抑制案は、ロープを巻き付けるすなわち高欄の形状を変え、渦励振が生じにくい形状となったことで、橋軸直角・鉛直方向共に振動を抑制することができた(橋軸方向(青) $\pm 0.04G$, 橋軸直角方向(赤) $\pm 0.2G$, 鉛直方向(緑) $\pm 0.1G$)。よって、今回の風況環境下では振動を抑制するには渦抑制案が効果的であった。

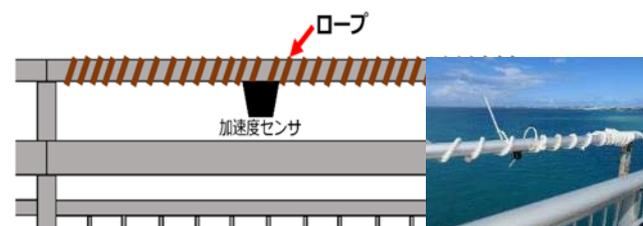


図9 渦抑制案概要

5. まとめ

本研究では、橋梁の高欄を対象とし、強風による振動特性を確認し、それを抑制するために2つの抑制案を挙げ検証した。以下に本研究のまとめを示す。

- ① 今回の計測条件下では、高欄は橋軸直角方向に大きく振動した。
- ② 支間縮小案では鉛直方向の振動を抑制できるが、橋軸直角方向の振動の抑制効果は期待できない。すなわち、一軸方向のみ固定しても、全軸の抑制に期待できない。
- ③ 表面に凹凸を設けることで、カルマン渦の発生が抑制され、高欄の振動を抑制できる可能性がある。

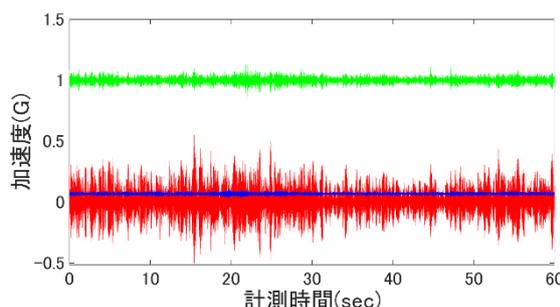


図10 支間縮小案 加速度

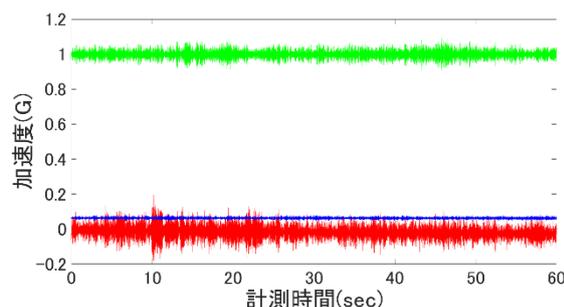


図11 渦抑制案 加速度

鋼製アンカーボルトの腐食減肉計測技術に関する研究

琉球大学 ○富永泰志 淵脇秀晃 下里哲弘 田井政行

1. はじめに

照明柱や標識柱の固定に利用するアンカーボルトがベースプレートとコンクリートの境界部において、図1のように腐食減肉する事例が報告されている。そのため、風による共振や地震といった強い外的作用により、倒壊する危険性がある。現在、超音波探傷検査によりアンカーボルトの腐食減肉位置の把握が可能となっている。しかしながら、腐食減肉量の計測はベースプレートの取り外しや交通規制により、点検を行う必要がある。その際、多くの時間と労力を費やすため、効率的なアンカーボルトの腐食減肉量の点検技術が求められる。

本研究では、現場における照明柱、標識柱のアンカーボルトの腐食減肉量評価方法の構築を目的とし、アンカーボルトの腐食部の電気抵抗値の変化量から腐食減肉量を評価する電気抵抗法の適用性を実験的に研究した。

2. 電気抵抗法による腐食減肉量の推定法

本章では、コンクリートに埋設されたΦ24mmのアンカーボルトを対象とし、腐食減肉を模した試験体の電気抵抗値を利用した腐食減肉量の推定法を示す。

2.1. アンカーボルトの計測パラメータ

現場でのアンカーボルトを想定し、定電流電解試験によりアンカーボルトを人工減肉させた。定電流電解試験とは図2のようにアンカーボルトをNaCl水溶液に入れて、ガルバノスタットより電流を流し、腐食範囲以外をシリコンコーティングして溶解防止し、腐食範囲を強制的に溶かす試験である。試験体パラメータとして、アンカーボルトのネジ部を図3に示すような腐食試験体(2パターン)を作成した。

2.2. 電気抵抗法による減肉量の計測法

現場での電気抵抗法の適用性を検討するために、アンカーボルトの腐食減肉過程における電気抵抗値を計測する必要がある。本研究において、電気抵抗値の計測は図4に示す四端子法測定法を用いて計測を行った。抵抗計測には、写真1の試験端子を用い、写真2のように測定端子をアンカーボルト上部と腐食範囲中間部において、電気抵抗値の計測を行った。この計測時の注意事項を下記に示す。

- ① ボルト表面にある絶縁体の錆、被膜を除去する必要がある。
- ② 電気抵抗値の大きな誤差を無くすために、端子を十分に固定する必要がある。
- ③ 電気抵抗値の大きな誤差を無くすために、計測時、計測端子の接触法を揃える必要がある。

また、電気抵抗法の妥当性の検討のために、電気抵抗値計測と同位置において、直接的に腐食減肉量を計測するために、ノギス計測を行った。

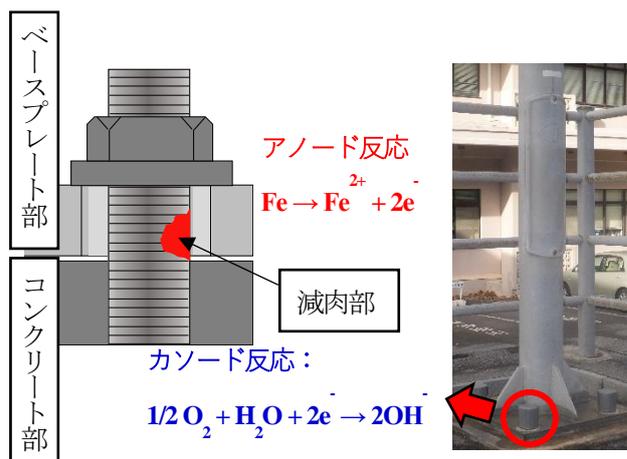


図1 埋設されたアンカーボルトの腐食減肉部

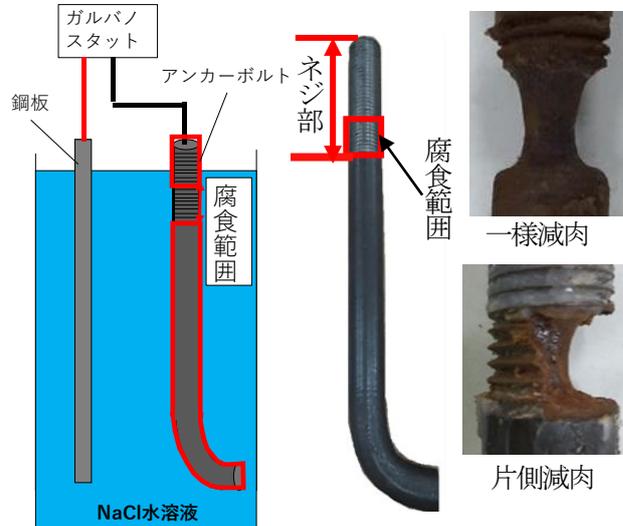


図2 定電流電解試験

図3 試験体パラメータ

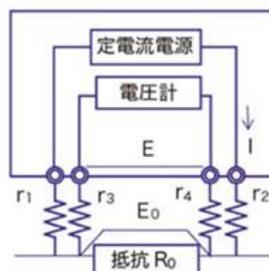


図4 四端子法簡易図



写真1 試験端子



写真2 電気抵抗値の計測の様子

キーワード 鋼製アンカーボルト・腐食減肉量点検・電気抵抗法

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学院 理工学研究科 E-mail : k198474@u-ryukyu. ac. jp

3. 電気抵抗法による腐食減肉量の評価

本章では、電気抵抗法により計測された電気抵抗値から推定された減肉量とノギス計測により計測された減肉量との比較検証を行った。

3.1. 電気抵抗値からの腐食減肉量推定式

前章の計測法によりアンカーボルトの減肉量は下記の式(式 3.1-1)を用いて推定を行った。

$$\Delta r_c = r_0 - \sqrt{\frac{\rho L'_c}{\pi(R - \rho \frac{L_1}{A_0})}} \quad \dots (式 3.1-1)$$

Δr_c : 減肉量, r_0 : 初期半径, ρ : 電気抵抗率,
 L'_c : 計測端子位置, R : 電気抵抗値(計測地)
 L_1 : 健全全部長さ, A_0 : 初期断面積

3.2. 電気抵抗法による腐食減肉量の妥当性

図5, 図6は図2.1-2で示したアンカーボルトの一樣減肉と片側減肉の電気抵抗値計測により推定した減肉量と、ノギス計測で計測した減肉量の比較である。図5のネジ部一樣減肉時の結果より、電気抵抗値計測により推定した減肉量とノギス計測で計測した減肉量は概ね同様の値となり、誤差が20%程度の結果となった。図6のネジ部片側減肉時の結果より、電気抵抗値計測により推定した減肉量と、ノギス計測で計測した減肉量は推定値が実測値を超え、誤差は20%を超える結果となった。誤差の要因として、計測された電気抵抗値の精度によるものと考察される。

以上より、現場での電気抵抗法を用いたアンカーボルトの減肉量評価は誤差範囲に応じて適応可能である。

4. まとめ

本研究では、現場における照明柱、標識柱のアンカーボルトの腐食減肉量評価方法の構築を目的とし、定電流電解法により人工減肉させたアンカーボルトの減肉量を電気抵抗法により推定し、その妥当性の検討を行った。以下に本研究で得られた知見を示す。

- 1) 電気抵抗法は計測時の注意事項を満たすことにより、減肉量の精度が向上し、適用可能である。
- 2) アンカーボルトの一樣減肉や部分減肉といった形状状態に関係なく誤差範囲に応じて減肉量の計測が可能である。

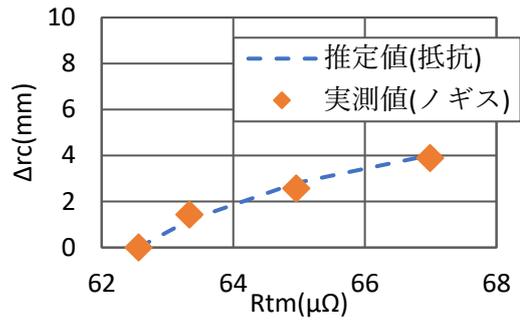
5. 今後の展望

電気抵抗法により減肉量を推定するにあたり、精度向上のための課題を以下に示す。

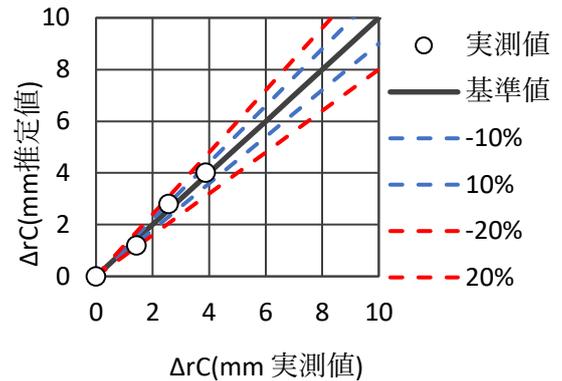
- 1) 腐食減肉量の値を明瞭化するために、電気抵抗値の計測値誤差を減少させる。
- 2) アンカーボルトとベースプレートの隙間より端子を挿入し計測を行うため、計測に効果的な端子の先端を開発し、実用化に向ける。
- 3) 電気抵抗法の現場での適用性の確認のために、現場を模した実験を行う。

参考文献

- 1) Hioki 電気HP

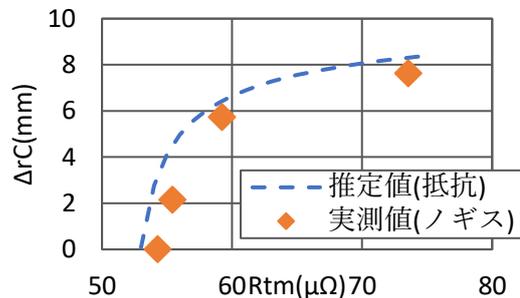


ネジ部一樣減肉時の推定値の整合性

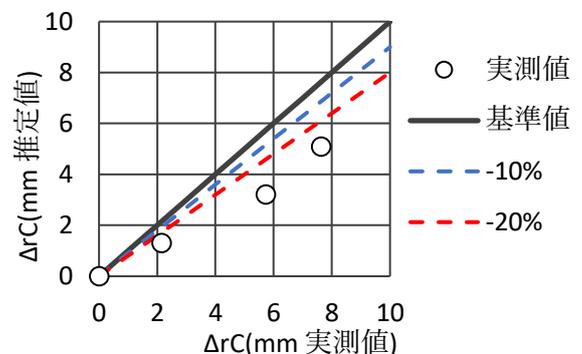


ネジ部一樣減肉時の推定値の誤差

図5 ネジ部一樣減肉時の推定結果



ネジ部片側減肉時の推定値の整合性



ネジ部片側減肉時の推定値の妥当性

図6 ネジ部片側減肉時の推定結果

音伝播特性を用いた機械学習による塗膜上からの疲労き裂検出技術に関する研究

琉球大学 ○山本修大, 田井政行, 下里哲弘, 東京工科大学 天野直紀

1. はじめに

鋼構造物の溶接継手の止端部には, 図1に示すような疲労き裂が発生しやすい. 疲労き裂が進展することにより, 構造物の耐久性や耐荷力に大きな影響を与えるため, 早期発見が重要となる. 一般的に既存の疲労き裂検出技術として, 対象箇所の塗膜を除去して行う磁粉探傷試験(MT)が用いられる. しかし, 塗膜を除去することに時間もコストも要すること, 点検後再塗装が必要であることから, 塗膜鋼板上からの点検が求められている.

2. 音伝播特性を用いたき裂検出方法

既往研究¹⁾において, 鋼板上に直接マイクとスピーカーを図2のように設置し, スピーカーから音を出し, マイクで集音された音データの違い(図3)を機械学習により, き裂の有無が判定できる可能性が示唆されている. しかしながら, これは塗装無し鋼板上で計測された結果であり, 塗膜鋼板上からの計測結果による判定の可否については検討されていない.

本研究では, 溶接止端部の疲労き裂検出において, 音の伝播特性に着目し, 機械学習を用いることで, 塗膜鋼板上からの疲労き裂の検知の可能性について検討を行った.

3. 疲労試験による機械学習データの収集法

塗膜鋼板上からの疲労き裂検出性能を検討するために疲労試験を実施した. 試験体を図4に示す. 試験体は面外ガセット溶接継手, 塗装仕様はC5 塗装系(合計塗膜厚 372 μ m)とした.

3-1. 計測機器

音伝播の計測には図5に示す計測機器を使用した. 圧電スピーカー(SPT15)とMEMSマイク(SPU0414HR5H-SB), マイコン及びPCを使用し, スピーカーから可聴音のド(262Hz), ミ(339Hz), シ(494Hz)の3音を発信し, 発信中の音圧をサンプリングレート256Hzで計測した. 計測機器の設置位置はき裂発生部(溶接止端部)を挟む形でマイクとスピーカーを設置した(図5). マイクとスピーカーはき裂発生部に応じて, 決まった組み合わせのものを使用した. なお, マイクとスピーカーは, 疲労試験中の脱着は行わずに計測を行った.

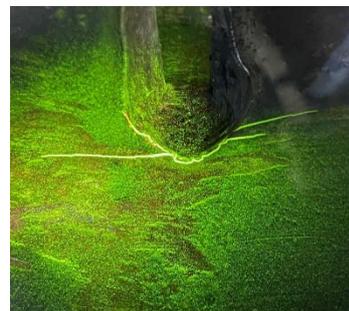


図1 溶接継手部に発生する疲労き裂

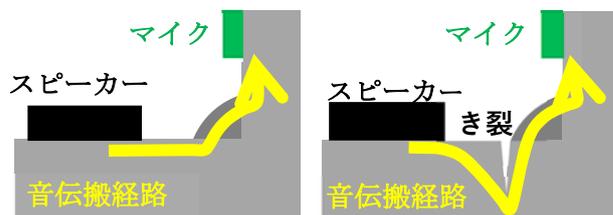


図2 音伝播経路

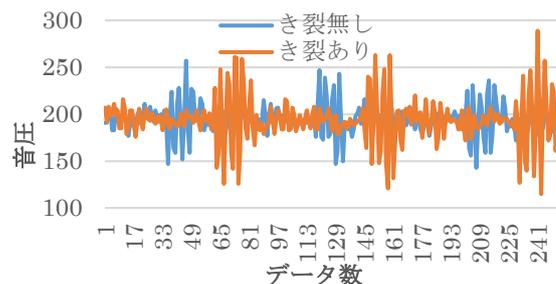


図3 音圧の違い

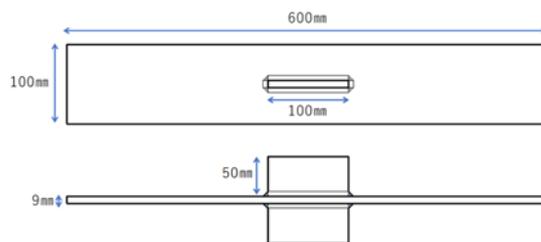


図4 面外ガセット溶接継手

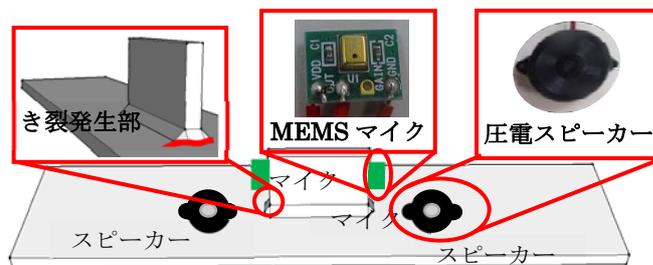


図5 計測機器の設置位置

キーワード: 機械学習, 疲労き裂, 音伝播特性, One-Class Support Vector Machine

連絡先: 〒901-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 琉球大学工学部 環境建設工学科

3-2. 試験手順

試験手順を図6に示す。まず疲労試験機による繰返引張荷重の载荷を行う。次に、音データの計測を行う。そして、音データ計測時のき裂深さが分かるようにビーチマーク载荷を行う。これを試験体が破断するまで繰り返し行い、得られた音データとビーチマーク载荷によりできた破面図をもとに機械学習を行う。

4. 疲労き裂検出法と適用性の評価

疲労試験により計測したデータの評価については、Microsoft Azure Machine Learning Studioを利用した。アルゴリズムには、One-Class Support Vector Machine (以下 One-Class SVM) を使用した。One-Class SVM は異常検知のために使われる方法であり、正常なデータをもとに学習したモデルを用いた、未知のデータが正常であるのか、異常であるのかを判定する手法である。本研究では、計測した正常値 (疲労試験開始時) のデータの75%を学習に用い、正常値の残りの25%と、異常データの25%を評価用として機械学習を行った (図7)。異常データは試験体の破面図から測定した各き裂深さの時のデータを使用する。

図8に異常検知の判定結果を示す。データ数は正常時 (疲労試験開始時) のデータ528個、各き裂深さ時のデータがそれぞれ528個ずつである。図8により、き裂深さが深くなるに従い、異常検知率が増加しており、塗膜鋼板上からでもき裂の有無が判定できると考えられる。また、き裂深さが1mmであれば35%程度であった異常検知率が、き裂深さ1.5mm以上であれば90%以上の確率で異常、すなわちき裂の発生を検知できた結果となっており、高精度でき裂検出できる可能性が示唆された。

5. まとめと今後の展望

- 1) 溶接止端部に発生する疲労き裂に対して、塗膜鋼板上より計測した音伝播特性の違いによりき裂の有無を判定できると考えられる。
- 2) 本研究で対象とした疲労き裂ではき裂深さが1.5mm以上であれば、90%以上の精度でき裂検出できる可能性が示唆された。

今後の展望として、塗膜が割れているのに対し、塗膜の中にき裂が確認されていないこともあるため、塗膜の中のき裂の有無が判定できるのか検討を行う予定である。また、点検手法としてセンサーの脱着による影響についても検討を行う必要があるといえる。

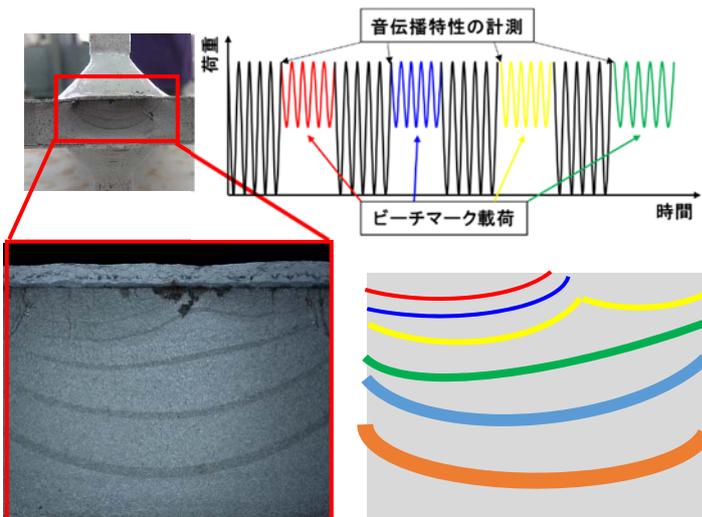


図6 破面と試験手順

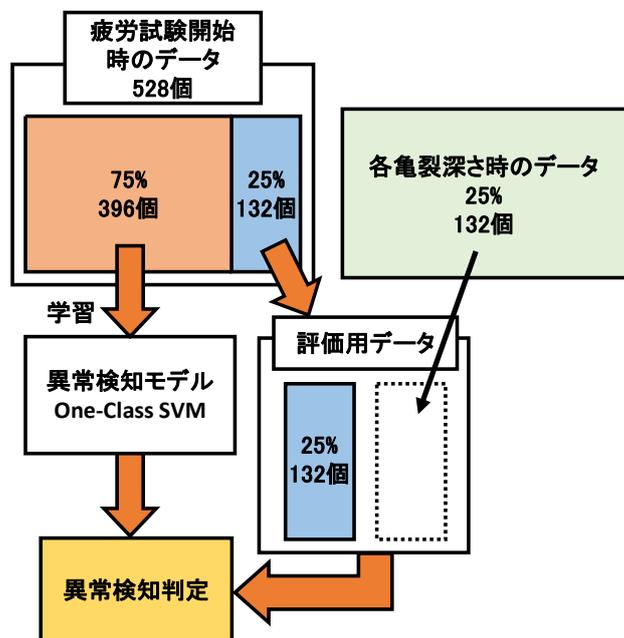


図7 機械学習のアルゴリズム

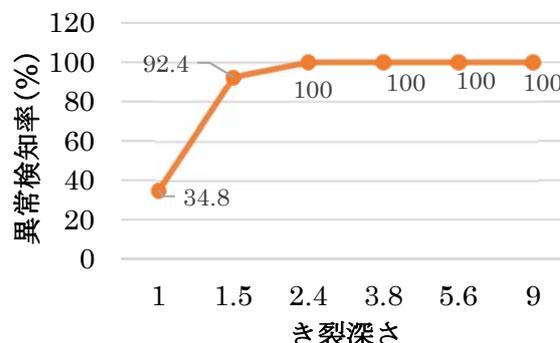


図8 異常検知率のグラフ

参考文献

- 1) 櫻井絵里加、天野直紀、田井政行、下里哲弘、久米仁司: 音伝播特性を用いた機械学習による疲労き裂検出技術に関する研究, 第8回土木学会西部支部沖繩会技術研究発表会

ASR 劣化したコンクリート構造物の詳細調査に対する X 線回折法の適用性検証

琉球大学 ○古田泰祐, 富山 潤, 須田裕哉, 藍檀オメル, (株) 沖縄建設技研 牧野敏明, 宮城敏明
(株) オリエンタルコンサルタンツ 黒川直哉, 田中樹由
パルステック工業 (株) 青野嘉幸, 山口 真

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (以下, ASR) 劣化したコンクリート構造物の補修, 補強を検討する際, 最も重要なことは, 膨張が今後も進むか, あるいは収束しているかということである. それを確認するための現在の方法として, 岩石学的試験¹⁾による方法がある. しかし, その方法では, 膨張力がどの程度構造物に作用しているのか確認することはできない.

そこで本研究では, 金属などの結晶格子を持つ材料の残留応力を測可能な X 線回折法^{2),3)}に着目し, コンクリート構造物への適用性を検証した. なお, 今回の検証では, ASR 劣化したコンクリート橋台内部の鉄筋を対象とした.

2. 調査概要

2.1 調査項目

表-1 に調査項目と目的を示す. 本稿では, No7 の鉄筋の残留応力測定の結果と, No.1,2,8 以外の結果を示す.

表-1 調査項目および目的

No	調査項目	方法	目的
1	外観調査の整理	2 回の点検結果の比較	ひび割れの進行程度の確認
2	促進膨張試験	80℃1N-NaOH 溶液浸漬法 (カナダ法)	潜在膨張性の確認
3	圧縮強度試験	JIS A 1107, 1108	材料劣化の推定
4	静弾性係数試験	JIS A 1149	材料劣化の推定
5	中性化試験	JIS A 1152	中性化の進行程度確認
6	全塩分量試験	JIS A 1154	塩害の可能性の確認
7	X 線回折法による鉄筋の残留応力度測定	参考資料参照 (以前お送りし他論文など)	ひび割れの進展による鉄筋への残留応力度の確認
8	ひび割れ画像解析等	大成建設開発ひび割れ画像解析技術	

2.2 X 線回折法による残留応力測定原理

一般に, 金属材料は無数の結晶粒の集合体であり, 格子面間隔は金属原子固有のものである. そこに

力が加われば, 図-1 に示すように, 応力に応じた格子面間隔が変化する. X 線を入射させると, 散乱する際に, Bragg の法則を満たすように X 線がリング状に回折してくる. これをデバイリングと言ひ, 無応力試料におけるデバイリングを基準とし, 測定試料のデバイリングとの差を求めることで格子面間隔の変化を測定し, 発生している応力を推定する方法が X 線回折法である^{2),3)}. この原理をコンクリート分野へ適用した基礎的な検討事例も報告され, その有効性が示されている⁴⁾.

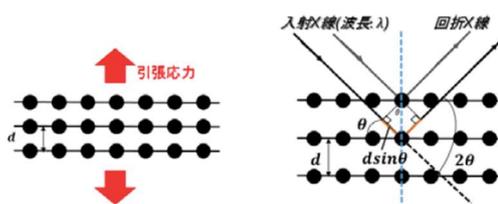


図-1 X 線回折法の原理⁴⁾

2.3 残留応力測定器概要

使用した測定器を図-2 に示す. この測定器は, X 線を用いた残留応力推定手法の一つである $\cos\alpha$ 法を採用した装置⁵⁾である. この方法の特徴は, X 線の単一入射のみで応力を測定でき, 従来の測定器に比べ小型化, 測定時間の短縮化を実現したことから, 現場計測が可能である点である. なお, 本稿では残留応力を, 現在鋼材に生じている応力と定義する.



図-2 ポータブル型 X 線残留応力測定装置

キーワード : 維持管理, 応力測定, X 線回折法, アルカリシリカ反応 (ASR), 状態把握
連絡先 : 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地
E-mail : k198477@eve.u-ryukyu.ac.jp

2.4 調査箇所

図-3にコア採取場所と鉄筋の残留応力測定のためのはつり箇所(2箇所)を示す。また、対象としたコンクリート橋台は、亀甲状のひび割れが全面に生じている。ひび割れ幅0.4mm~0.5mmの箇所で採取したコアのひび割れ深さは12cm~17cmであった。



図-3 ひび割れ状況及び調査箇所

3. 調査結果および考察

3.1 中性化試験, 全塩分量試験

中性化試験の結果は、かぶり深さ90~120mmに対して、平均6.5mm, 10.3mmであった。また、鉄筋位置での全塩分量試験の結果は、0.3kg/m³, 0.2kg/m³であった。腐食発生限界塩化物イオン濃度を1.2kg/m³とした場合、コンクリート表面のひび割れは中性化や塩害に起因した鋼材腐食に伴うひび割れでないといえる。

3.2 圧縮強度試験, 静弾性係数試験

図-4に圧縮強度試験と静弾性係数試験の関係を示す。比較のため、一般的なコンクリートの値も同時に示す。これより、2-①において、圧縮強度に比較し、静弾性係数が低下していることがわかる。これはASR劣化の特徴である。

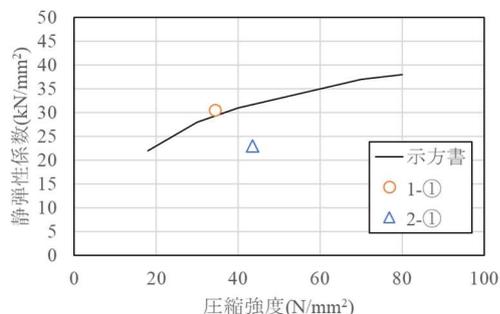


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

3.3 X線回折法による鉄筋の残留応力測定

図-5に測定箇所を示す。測定は北側および南側2カ所とした。また、写真-1に測定状況を示す。

鉄筋の測定は、主筋(縦鉄筋)2カ所、配力筋

(横筋)2カ所を測定した。その結果を表-2に示す。この結果より、北側、南側の両方とも主筋に引張の応力が生じていることがわかる。ヤング係数比 $n=7$ 程度と考えると、コンクリートに生じた応力度は、約5.3~14.7N/mm²とコンクリートの一般的な引張強度の値を超えるものであることがわかる。したがって、ASR劣化したコンクリート構造物に対するX線回折法による鉄筋の残留応力測定は、状態確認のための有力な測定技術となりえると考えられる。



(a) 北側

(b) 南側

図-5 鉄筋状況



写真-1 X線回折法による筋残留応力測定

表-2 鉄筋の残留応力測定結果(3回測定の平均)

	北側		南側		
	箇所	σ_x (N/mm ²)	箇所	σ_x (N/mm ²)	
北側	主筋1	37.3	南側	主筋1	58.0
	主筋2	50.0		主筋2	102.6
	配力3	7.0		配力3	0.3
	配力4	5.0		配力4	-18.0

4. まとめ

ASR劣化したコンクリート橋台の現状把握として、従来の調査方法に加え、X線回折法を用いた鉄筋の残留応力測定法を検討し、その有効性を確認した。今後は、より多くの劣化構造物に対して本手法を適用し、適用範囲、精度検証および評価方法の検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、現場を提供して頂いた管理者にこの場を借りて感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 鳥居和之, 山田一夫, ほか: コンクリート診断-ASRの的確な診断/抑制対策/岩石学的評価, 森北出版, 2017.4
- 2) 田中啓介, 鈴木賢治, 秋庭義明: 残留応力のX線評価, 養賢堂, 2006
- 3) 郡亜美, 高久泰弘, 鈴木健次, 中代雅士: $\cos \alpha$ 法を用いた残留応力測定の有効性の確認, IIC REVIEW, No.53, pp.48-53, 2015
- 4) 小田切勝也, 田中樹由, 野末秀和, 岩波光保: X線回折法による鉄筋の残留応力推定手法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1867-1872, 2017
- 5) パルステック工業 HP: <https://www.pulstec.co.jp/>

住宅 IoT による構造変化推定のための振動計測性能評価

東京工科大学 王 誠 ・ 東京工科大学 天野 直紀
京都大学 中川 貴文 ・ SMRC 株式会社 半澤 和夫

1 はじめに

日本では地震や台風などの自然災害がよく発生し、人々の生活に危機感を与えている。自然災害は人々がコントロールすることができないという特徴があり、どのように自然災害の中で人々への損害をできるだけ削減するかという問題点が出てくる。

日本では古い建物もたくさんあるため、地震が発生する時に、住宅が倒壊である危険がある。したがって、常時、建物の構造健全性を監視することが重要な分野である¹⁾。本研究では戸建て住宅を対象とし、安価・簡易に振動の影響を計測するためのシステム構成について論じる。

2 提案手法とその実装

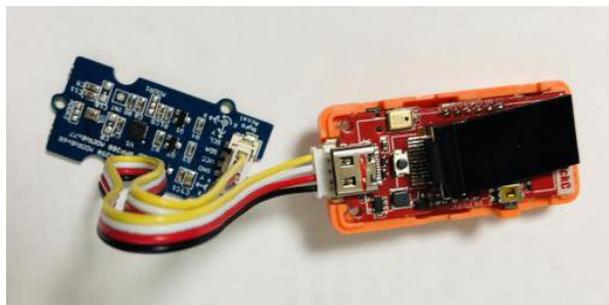
2.1 システム構成

複数の計測・通信装置が 100Hz で各装置の加速度データを常時、計測する。振動がしきい値以上に達したとき、ルーターを経由してサーバーへデータを送信する。記録時間は振動開始後の 3 分間であり、その期間内に更にしきい値以上に達した場合には、3 分間の振動データをもう一度記録する。計測・通信装置間での同期をせずに直接サーバーへデータを送信する。時刻同期を NTP で行う。



2.2 計測・通信装置

計測・通信装置は、ESP32 マイコンと加速度センサー (GROVE-IMU 10DOF v2.0, ±16g, 16 bit) により構成する。ESP32 は Wi-Fi と Bluetooth を内蔵する低コスト、低消費電力な SoC のマイクロコントローラである。



本研究は主に震度 3 以上の振動測定に用いる。したがって、震度 3 のしきい値 8 Gal に設定する。

3 実験評価

3.1 安全性 (消費電力と動作温度)

USB 電流電圧テスターを用いて得られる計測・通信装置の電圧電流はそれぞれ 5.0V と 0.1A である。ルーターの電圧電流はそれぞれ 12.0V と 0.5A である。電気料金の計算により、2 つのデバイスの毎月の大体の消費料金は 86.5 円となる。

赤外線サーモグラフィカメラを用いて得られる計測・通信装置の温度変化範囲は 29.3°C~30.6°C である。ルーターの温度変化範囲は 22.8°C~26.5°C である。

	電圧 V	電流 A	温度変化 範囲	消費料金 (毎月)
計測・通信 装置	5.0	0.1	29.3~ 30.6°C	86.5
ルーター	12	0.5	22.8~ 26.5°C	

3.2 同期性能

ここで用いた NTP による時刻同期が振動計測として妥当かどうか評価するため、10 台を板の上に固定する。電源投入タイミングを 1 分以上ランダムにずらす (NTP 同期タイミングをずらす)。更に 1 分後に、手動で揺らしてデータ計測して、波形の類似性からデバイス間のずれを評価する。

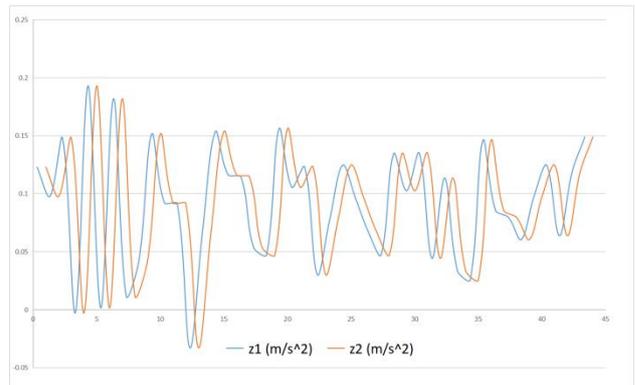
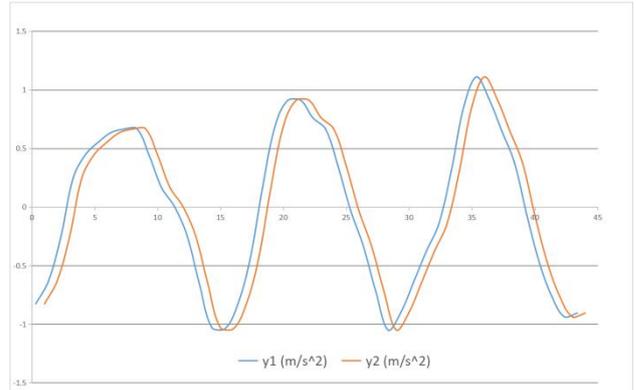
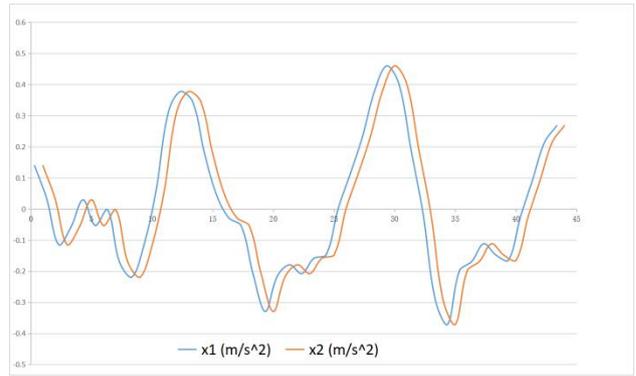
キーワード：振動、IoT、加速度センサー

連絡先： 〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1 E-mail: jm-kmgakumu@stf.teu.ac.jp



表は上述の振動実験を 10 回行った時の、それぞれの装置間での時刻のずれの最大値を示したものである。ずれの最大値は 22m s であり、構造変化推定に充分であると考えられる。

装置 ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0									
2	19	0								
3	14	17	0							
4	12	18	15	0						
5	14	19	15	16	0					
6	20	22	18	15	18	0				
7	17	15	14	16	12	11	0			
8	18	14	11	11	14	18	15	0		
9	17	15	17	19	15	17	14	16	0	
10	15	15	14	17	21	13	18	14	13	0



4 おわりに

提案手法によって構造解析に必要な振動データを計測できを確認した。今後は実際の住宅での計測実験を予定している。

5 謝辞

本研究は SMRC 株式会社との共同研究の一部として実施しました。関係者各位に深く感謝します。

6 参考文献

- 1) 圓 幸史朗, 池ヶ谷 靖, 中村 充, 柳瀬 仁. : スマートセンサーと無線ネットワークを用いた構造ヘルスマニタリングシステムの開発, 日本地震工学会論文集, Vol. 7, No. 6, pp. 17-30, 20

音伝播特性に基づいた PIC フォームの含浸率の推定

○東京工科大学・丁宇浩, 東京工科大学・李昊宇, 東京工科大学・天野直紀,
マテラス青梅工業株式会社・斯真田隆一, マテラス青梅工業株式会社・鶴田健

1. はじめに

現在, インフラの老朽化が大きな社会問題になっている。2016年国土交通省の報告によると, 高度成長期以降に整備された道路橋, トンネル, 河川, 下水道, 港湾等について, 今後20年で建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる¹⁾。したがって, 今後, 構造物をより頑健に構築・修復する技術が重要になる。その中で PIC フォームは一つの解決策となる。PIC フォームは硬化コンクリートの微細な空隙に, 樹脂のモノマーを含浸, 重合させポリマー化し, ち密にした複合強化材料である。このコンクリートは耐衝撃性, 耐磨耗性, 耐腐食性といった利点があるので, 将来的に広く適用されると考えられる。

2. 実験概要

2.1 関連研究と提案方法

従来のコンクリート内部状態の検査手法は様々ある。主には電磁波の伝播・受信特性を利用して, クラックや空洞の位置検出・計測する手法²⁾, 赤外線を利用し, うきや剥離などの内部欠陥と健全部分の温度差を発見する手法³⁾, あるいは X線・超音波などでの非破壊検査手法などがある。

一方, PIC フォームの含浸率については従来, ポリマー化前と後の質量から算出している。このような全体的な手法に対し, より詳細に場所を特定して含浸率を推定することができれば, PIC フォームの安全性をより高めることができる。このため, 本研究は可聴音の音伝播特性⁴⁾を用いて含浸率を推定する。この手法では高価な設備と複雑な操作が不要で, 簡易な計測装置

のできる。

研究手法は, スピーカーとマイクで PIC フォームを挟んで音声データを録音する。その録音データからパワースペクトルを求め, 機械学習によって含浸率を推定する。

2.2 実験方法

本実験に使用した PIC フォームの実験体は4つである。その含浸率を表1に示す。

表1 実験体の含浸率

実験体	含浸率
1	0%
2	2.4%
3	3.4%
4	4.9%

実験体をスピーカー (LC-dolida ポータブルスピーカー) とマイク (GeoSafari® Sonic Sleuth) で挟み, スピーカーから周波数 1kHz の音を鳴らし, マイクで記録した (図1)。

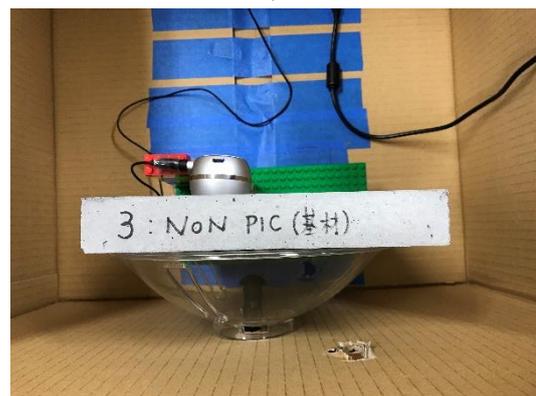


図1 実験図

1つの実験体に対して, 9箇所の音声データを記録し, 毎箇所30回のデータを記録した (図2)。毎回の録音は3秒間行い, 不安定な前後を取り除

キーワード : PIC フォーム, 音伝播特性, 非破壊検査, 含浸率

連絡先 〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1 東京工科大学 g51190295c@edu.teu.ac.jp

いた真ん中の 2 秒間を実験データとした。4 つの実験体のデータのうち、3 つをトレーニングデータとし、残る 1 つを推定対象とした。隠れ層は 2048 の 3 層とし、繰り返し回数 1,000 回として機械学習を行って含浸率の推定について評価する。

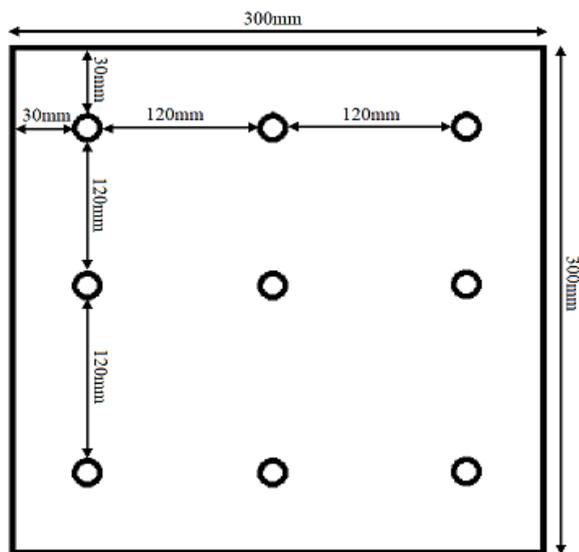


図 2 9つの計測点

2.3 結果評価

実験時の環境は気温 22℃、湿度 56%であった。結果を表 2 に示す。

表 2 含浸率の予測結果

実験体	真の含浸率	推定値 (平均)
1	0%	0.44%
2	2.4%	3.01%
3	3.4%	3.44%
4	4.9%	4.23%

重量ベースについての予測結果を表 3 に示す。予測の PIC 後重量と実際の PIC 後の重量の差値は 12.7g, 18.6g, 0.2g, 19.9g である。それに対しての正確率は 99.6%, 99.3%, 99.9%, 99.3% である。この結果から音伝播特性の変化に基づいて、コンクリートの含浸率を推定できることが確認できた。

表 3 重量の予測結果

実験体	PIC 前の重量(g)	PIC 後の重量(g)	予測の PIC 後重量(g)
1	2886.8	2886.8	2899.5
2	2880.8	2948.9	2967.5
3	2913.3	3013.3	3013.5
4	2886.4	3028.4	3008.5

3. 終わりに

今回、PIC フォームの含浸率の推定を実験した。音伝播特性を機械学習することで含浸率を推定できるという結果を得た。

今後は温度、湿度、音量、距離、厚さなどの実験環境の相違が実験結果にどのように影響することを検証する予定である。更に推定精度を高めることとともに信頼性を向上させ、実際の工場内での実現を目標とする。

謝辞

本研究はマテラス青梅工業株式会社との共同研究の一部として実施しました。関係者各位に深く感謝します。

参考文献

- 1) 資本の老朽化の現状と将来予測, 国土交通省 2016 年
- 2) 田中正吾, 山田実: 信号伝播モデルに基づく電磁波レーダによるコンクリート構造物の非破壊検査, 計測自動制御学会論文集, 39 巻, 5 号, pp. 432-440, 2003
- 3) 藤田悠介, 三谷芳弘, 浜本義彦: 画像処理によるコンクリート表面のひび割れ抽出法, 非破壊検査, 56 巻, 7 号, pp. 371-377, 007
- 4) 小林誠治, 天野直紀, 田井政行, 下里哲弘, 久米仁司: 音伝播特性に着目した照明柱の劣化検出の可能性, 東京工科大学, 2019

BIM/CIMの活用報告 (小禄道路橋梁詳細設計) について

松川 剛¹・原田 圭大²

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

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

小禄道路の内、終点側約1.1km区間(沖縄県那覇市瀬長～同県豊見城市名嘉地)は、既存道路である国道331号一般部の上空に架かる橋梁であり、その橋脚は国道331号一般部の中央分離帯に設置される計画となっている。従って、交差点や沿道施設との橋脚位置の取り合いや、施工時における現道交通や沿道施設に対する負荷軽減が大きな課題であり、関係機関とのスムーズな合意形成が事業推進の上で特に重要となる。また、早期供用につなげるため、工事段階での手戻りを防止し、かつ、設計自体を迅速に行うことも重要である。本稿では、これらの課題について、BIM/CIMを活用した事例と今後の展望について報告を行う。

キーワード BIM/CIM, 関係機関協議, 広域統合モデル, 施工ステップモデル

1. 事業概要

国道506号那覇空港自動車道小禄道路は、沖縄県那覇市鏡水と豊見城市名嘉地を結ぶ延長約5.7kmの高規格幹線道路である(図-1)。



図-1 国道506号那覇空港自動車道小禄道路路線図

小禄道路と並行する国道331号は、那覇市内と沖縄本島南部地域を結ぶ唯一の直轄国道であるため、那覇市内へ向かう交通が集中し、渋滞の著しい区間となっているが、小禄道路の開通により、国道331号および周辺地域の渋滞緩和が期待される。

また、小禄道路の開通により、那覇空港と沖縄自動車道が接続され、広域交通ネットワークを形成することで本島北部および中南部から那覇空港間の定時性、高速性を確保するとともに都市部の交通混雑緩和、沿道環境の改善、観光支援等が期待されている。

2. BIM/CIM活用の目的

小禄道路の内、終点側約1.1km区間(沖縄県那覇市瀬長～同県豊見城市名嘉地)は、国道331号一般部上空に路線が計画されていることから、全長にわたり橋梁区間となり、橋脚の殆どは現道中央分離帯内に設置する計画となっている。

そのため、橋梁計画に際しては、交差点および沿道施設と橋脚位置の取り合いや、工事段階での施工重機配置や現道切り回し形態等において、警察、交差道路管理者(豊見城市)、地元関係者(沿道施設、地元自治会)等多くの関係者と協議を重ねていく必要がある。また、早期供用につなげるため、工事段階での手戻りを防止し、かつ、設計自体を迅速に行うことも重要である。ここでは、これらの課題に対し、BIM/CIMを活用し取り組んだ事項を紹介する。

3. BIM/CIMモデルの作成

(1) BIM/CIMモデル種類

本事業では、以下2種類のBIM/CIMモデルを作成する。

1) 広域統合モデル

橋梁と交差点や沿道施設の取り合いを確認するため、また関係機関協議にて事業計画をスムーズに伝達するため、広域統合モデルを作成する。

2) 施工ステップモデル

施工時の現道切り回しや沿道施設の出入口との取り合いを確認するため、また関係機関協議にて施工計画をスムーズに伝達するため、施工ステップモデルを作成する。

(2) BIM/CIMモデル作成範囲

小禄道路の内、国道331号一般部上空に路線が計画されている沖縄県那覇市瀬長～同県豊見城市名嘉地（区間長約1.1km）を対象とする（図-2）。



図-2 BIM/CIM活用範囲

(3) BIM/CIMモデル作成対象

BIM/CIMモデルの作成する対象物は、表-1および図-3に示す通りとする。

表-1 BIM/CIMモデル作成対象

統合モデルの構造	備考
線形	道路中心線
地形	国土地理院・基盤地図情報(5mメッシュ)
オルソ画像	航空写真
構造物	橋梁上部構造、下部構造、基礎構造
仮設物	ベント、重機(クレーン等)
周辺構造物	周辺の家屋、国道331号一般部他



図-3 BIM/CIMモデル作成対象

(4) 構造物の詳細度

BIM/CIMモデルにおける設計対象構造物（橋梁）の詳細度は、広域統合モデルおよび施工ステップモデルともに詳細度300とした。表-2のとおり。

表-2 橋梁構造物における詳細度

詳細度	共通定義	工種別の定義	
		構造物(橋梁)のモデル化	サンプル
300 鋼橋上部工構造物	付属物等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル(橋梁)計算結果を基に主構造をモデル化する。主構造は鋼板桁であれば床版、主桁、横桁、横構、対傾構を指す。	
300 RC下部工構造物		主構造の形状が正確なモデル 下部工は外形状及び配置を正確にモデル化。橋台(下部工)であれば、壁、底版、翼壁、パラペット、基礎(杭)を指す。(踏掛板を含む) 橋脚(下部工)であれば、柱、底版、はり、基礎(杭)を指す。鉄筋についてはモデル化しない。	

4. BIM/CIM活用内容

橋梁計画に際し、警察、交差道路管理者である豊見城市、沿道の商業施設、地元自治会等、多くの関係者と議論を重ね合意形成する必要がある。関係者の多くは、土木専門知識を有さない一般の方であり、専門的な図面等では橋梁計画を理解するのに時間を要すこと、更には、誤解が生じることが懸念される。そこで、BIM/CIMによる統合モデルを作成し、視覚的に橋梁計画を理解してもらうことを試みることにした（図-4）。

また合せて、事業者や設計コンサルタントにおいても、橋梁計画の妥当性確認にBIM/CIMモデルを活用した。

(1) 広域統合モデルの作成

モデル利用の主目的は関係者協議であり、横断歩道や停止線等の交差点形状と橋脚位置の取り合いについては、特に留意し精度よくモデル化した（図-5）。また、協議時によりスムーズに橋梁計画の理解を得るため、事業計画の全体概要が分かるアニメーションも作成した。

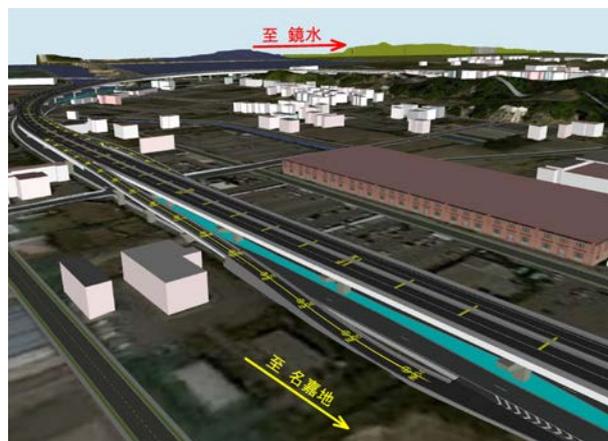


図-4 広域統合モデル（鳥瞰）



図-5 広域統合モデル (交差点部)

供用中である既存構造物を実構造物からモデル化することにより、より現実性の高いBIM/CIMモデルを可能とし、関係者協議への活用、施工段階へのスムーズな引継ぎに努めた。

(2) 施工ステップモデルの作成

小禄道路は、供用中の国道331号一般部上空に架設される橋梁であり、施工段階において現道利用者や沿道の商業施設、周辺の住民に与える影響が大きい。前述の通り、国道331号一般部はその位置付けや利用状況より、通行止めや大規模な規制は現実的ではない。施工計画の立案に際しては、現道切り回し等を行うことで極力4車線を確保するものとし、交通規制は限定的なものに留める計画としている。施工計画についても、関係者との合意形成は必須であり、施工状況を正確かつ明瞭に伝達する手法としてBIM/CIMモデルを活用した。

また合せて、事業者や設計コンサルタントにおいても、施工計画の妥当性確認にBIM/CIMモデルを活用した。

(3) 施工ステップモデルの事例

図では、施工ステップモデルの一例として、基礎工および下部工施工ステップを紹介する。

ステップ1は、現道4車線を外側に切り回し、中央部分を施工ヤードとして張出式橋脚の基礎・柱施工を行っている状況を示す(図-6)。ステップ2は、現道4車線を内側に切り回し、両外側部分を施工ヤードとして門型橋脚の基礎・柱施工を行っている状況を示す(図-7)。

また、モデル内のオレンジ色帯部分は、用地境界を示しており、施工時における資機材配置が用地内に収まっていることを視覚的に検証・説明できるように工夫している。

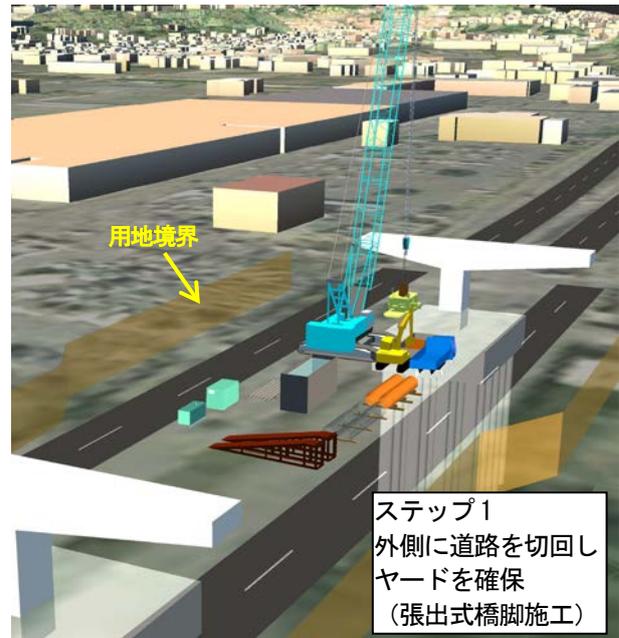


図-6 施工ステップモデル (ステップ1)



ステップ2
内側に道路を切り回し
ヤードを確保
(門型橋脚施工)

図-7 施工ステップモデル (ステップ2)

5. BIM/CIM活用による効果と今後の展望

本設計業務における効果として、まずはBIM/CIMモデルを活用することで受発注者間協議においてスムーズに共通認識を得ることができた。今後行われる関係者協議においても、BIM/CIM活用の効果が大きいと期待できる。

また、施工段階においても、より事業がスムーズに進むよう以下事項についても取り組んだ内容・今後取り組みたいと考えていることについて紹介する。

(1) AR (Augmented Reality) を用いた関係機関協議

現場映像と仮想映像を融合させたアニメーション等を用いることで、関係者により現実的な事業計画を伝達することを試みた。

(2) 交通シミュレーションの反映

施工時の渋滞予測を交通シミュレーションにて実施し、その結果をCIMを用いたアニメーションで表現することにより、施工時状況について視覚的に第三者に伝達することが期待される。また、切り回し道路から交差道路への右折行為をドライバー視点のアニメーションを作成することで、迂回道路の安全性検証に利用できる。

(3) 4D施工モデル

本路線は早期供用を目指し、短期に集中し工事を発注する計画であり、多くの工事が錯綜することが懸念される。路線全体の施工ステップモデルに時間軸を持たせた4D施工モデルを作成し、工事間の錯綜を未然に把握し対策を講じることで、スムーズな事業推進に繋げる。

(4) 埋設管情報のBIM/CIMモデル反映

施工中の埋設物（占用物等）確認は、深さ等不確実なものが多く非常に困難である。今後は、地中の3D化も維持管理面として取り組む。

参考文献

- 1) 国土交通省：CIM導入ガイドライン（案）第5編 橋梁編。

Session 6 : 塩害・腐食

コンクリートにおける表面被覆材の塩害防止効果

石垣 里彦¹・富田 和之¹

¹内閣府沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 技術調査室（〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2-6-11）

那覇港の臨港道路において、海洋環境に 30 年程度の間暴露した 5 種類の表面被覆を行ったコンクリート試験体および実橋（波の上橋）において被覆材の性能およびコンクリートの劣化状況に関する調査を行った。コンクリート試験体および実橋（波の上橋）の調査の結果、被覆材の表面では劣化の程度にはばらつきがあったが、各種被覆材はコンクリート試験体では 30 年、実橋（波の上橋）では 26 年にわたりコンクリート中への塩化物イオンの侵入を防いでおり、高い防食効果を確保していたことが確認された。また、塗膜自体の遮塩性についても 30 年程度経過した後において、高い性能を保持していたことが確認された。

キーワード 海洋環境, 暴露試験体, 塩害, 表面被覆, 遮塩性, 実橋

1. はじめに

海洋環境下に位置するコンクリートの劣化は、主に塩害による鉄筋腐食が原因である。この鉄筋腐食を開始させる要因は、外部から侵入してくる塩化物イオンである。鉄筋の腐食開始を防ぐ、もしくは開始時期を遅らせるためには、塩化物イオンの侵入を防ぐことが重要である。この塩化物イオンの侵入は、コンクリート表面を塗装材などで被覆することで防ぐことが可能となる。

今回の調査対象である波の上橋は、那覇港の那覇ふ頭～泊ふ頭～新港ふ頭～浦添ふ頭を結ぶ幹線道路である臨港道路港湾 1 号線の一部を形成する橋梁で 1980～1982 年に施工された。PC 橋である波の上橋は、海上に位置し、常時波しぶきや潮風の影響を受ける厳しい塩害環境であるにもかかわらず、「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説¹⁾」が刊行される前であったため、かぶりが 3.5cm で施工されていた。この状態ではコンクリートが高品質であっても長期耐久性の確保は困難であるため、塩害対策

としてコンクリートに表面被覆を実施することが決定された。しかし、当時表面被覆の選定基準などは明確ではなかったため、選定の際の基礎資料となるデータを収集することを目的として、コンクリート表面に 6 種類の表面被覆を施した試験体の暴露試験が 1988 年に開始された。暴露開始後 15、30 年時においては、これらの表面被覆材の塩害防止効果を評価するため、試験体を解体し、詳細調査が行われた。また、実橋への試験施工（6 種類）が 1992 年に実施された。

2017 年に実施したコンクリート試験体の調査では、30 年にわたり各種被覆材はコンクリート中への塩化物イオンの侵入を防いでおり、高い防食効果を確保していたことが確認された²⁾。

本稿では、2018 年に実施した実橋（波の上橋）での調査結果（2018 年で 26 年経過）を報告する。また、コンクリート試験体の調査結果及び実橋（波の上橋）での調査結果から得られた知見についてもとりまとめて報告する。



図一 波の上橋位置図

2. 実橋（波の上橋）の概要

(1) 構造物に関する履歴

波の上橋に関する履歴を下記に示す。かぶり（設計値）は、PC 鋼材：側面 75mm 底面 85mm，スターラップ：側面 35mm 底面 55mm であった。側面図、断面図を図-2 に示す。

- ・竣工（上部工）：1980-1981 年度
- ・調査（塩化物イオンの侵入状況確認等）：1989 年度等。
- ・表面被覆の適用

A1-P1 桁 1991.11.15~1992.3.31（竣工から 11 年経過と仮定），P1-P3 桁 1992.12.5~1993.3.31

- ・昨年度調査：2018.10.30-10.31（竣工から 37 年経過，表面被覆適用から 26 年経過）

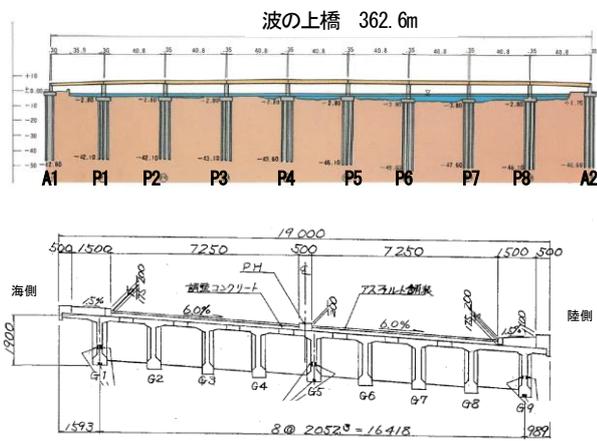


図-2 波の上橋側面図・断面図

(2) 表面被覆材およびその適用状況

実橋に適用された表面被覆材一覧を表-1 に示す。なお、被覆材 B は暴露試験体にも適用されていたが、実橋では試験体とは異なり、「補強用のシート」が中塗り内に挿入されている。伸びに対する抵抗性を増加させるためと推測される。また、表面被覆の実施時に制定された、那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格（案）を表-2 に示す。なお、この規格は、施工前の材料に適用されるものであり、長期経過後においても満足しなければならないものではない。

区間毎の仕様を表-3 に、試験施工区間を含む A1-P1 桁の仕様を表-4 に示す。

表-1 実橋に適用された表面被覆材

表面被覆材仕様	工程	使用材料	標準使用量 (kg/m ²)	本施工への適用
A	下地調整	アクリル系ホリマーセメント	-	○
	プライマー	エポキシ樹脂	0.30	
	中塗	アクリルゴム	2.00	
	上塗	アクリルウレタン樹脂	0.30	
B	下地調整	ゴムテックス混入セメントペースト	4.30	○
	下塗	エポキシ変性合成樹脂	0.14	
	中塗	クロロレンゴム (補強材:シート)	1.15	
	上塗	クロロフルオロ化ホリエチレン	0.58	
C	プライマー	エポキシ樹脂	0.11	×
	パテ	無溶剤形エポキシパテ	0.60	
	中塗	弾性ウレタンゴム系	0.60	
	上塗	ふっ素樹脂	0.15	
D	プライマー	-	0.15	×
	パテ	-	0.40	
	中塗	-	0.60	
	上塗	-	0.30	
E	プライマー	-	1.80	×
	下地調整	-	1.70	
	中塗	無機質弾性塗料	2.10	
	上塗	-	0.40	
F	プライマー	エポキシ樹脂	0.10	×
	パテ	エポキシ樹脂系パテ	0.50	
	中塗	超柔軟型エポキシ樹脂系	1.05	
	上塗	柔軟アクリルウレタン樹脂系	0.12	

表-2 那覇港臨港道路における表面被覆材の品質規格（案）
（「平成 5 年度那覇港コンクリート構造物劣化度調査委託報告書」より引用）

項目	品質規格値(案)	試験方法
塗膜の外観	塗膜が均一で、流れ・むら・われ・はがれがないこと	JIS K 5400
耐水性	促進耐水性試験を300時間行ったのち、白濁化がほとんどなく、塗膜にわれ・はがれがないこと。	JIS K 5400
塩溶性	塗膜の塩素イオン透過量が 1.0×10^{-10} mg/cm ² ・日以下であること	
防水性(水透過阻止性)	塗膜の透水率が $20 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下であること	
耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、塗膜にわれ・はがれ・軟化・剥離がないこと。	JIS K 5400
コンクリートとの付着強さ	塗膜とコンクリートとの付着強さが $A \text{ N/mm}^2$ 以上であること。(Aが2以上: 優, 1~2: 良, 0.3~1: 可と判定)	JIS A 6910 (建築付着力試験)
ひび割れ追従性	0.6mm以上	日本道路協会方式(ゼロスパン伸び試験)
透湿性	水蒸気の透過量が $A \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$ 以下であること。(Aが15以上: 可, 5~15: 良, 5以下: 優と判定)	

表-3 区間毎の被覆材仕様

	施工年	仕様	平均塗膜厚(μ m)
A1-P1	H3.11.15-H4.3.31	試験塗装	-
P1-P2	H4.12.5-H5.3.31	B	-
P2-P3		A	-
P3-P4	H6.10.1-H7.3.30	A	2507
P4-P5		B	406
P5-P6	H5.10.1-H6.3.25	B	403
P6-P7			
P7-P8			
P8-A2			

表-4 A1-P1 桁の被覆材仕様

		海側								
A1側		F						G1	P1側	
		A	B	C	D	E	F			G2
		D								G3
		A								G4
		F								G5
		B								G6
		C								G7
		E								G8
		B								G9
				陸側						

3. 調査内容

実橋における試料採取箇所を図-3に示す。桁のウェブ(側面)からコアを採取した。以下、調査・試験の概要を述べる。

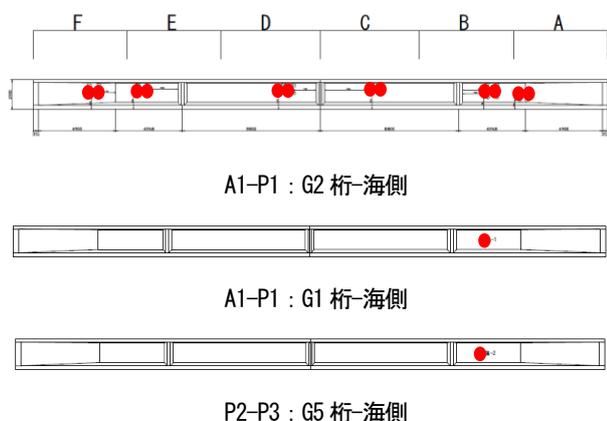


図-3 試料採取位置図

(1) 外観観察

実橋における被覆材のはがれ、はく離、ひび割れの状況を目視により観察した。腐食ひび割れの状況も観察した。

(2) 付着性に関する試験(付着強度試験)

引張用治具(40×40mm 鋼製付着子)を実桁ウェブの表面に接着させ、塗膜面に対して垂直に引っ張り、その際の付着強度を測定した。試験の実施箇所は、図-3の試料採取位置の近傍である。

(3) ひび割れ追従性に関する試験

採取したコアの表面から25×40×10mmで切り出した試験片に一部切込み(中央部のみ)を入れて長軸方向に引っ張り、その際の被覆材の伸びを測定した(図-4参照)。

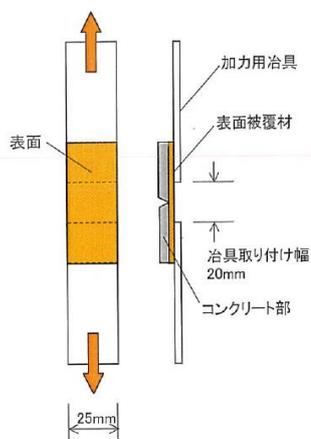


図-4 ひび割れ追従性試験

(4) 被覆材の劣化状況に関する試験 (FT-IR 試験)

FT-IR 分析とは、物質に赤外光を照射し、透過または反射した光を測定することで、試料の構造解析や定量を行う分析手法である。なお、分析試料はA, Bの2種類について実施した。

(5) 被覆材の遮塩性に関する試験

被覆材の遮塩性を調べるため、遮塩性試験、EPMA 測定を行った。

① 遮塩性試験

採取したコア(φ75mm)から、塗装とコンクリートを両方含んだ厚さ1cm程度の試料を切り出し、図-5のようにセットした後、3%NaCl 溶液側から蒸留水側に透過した塩化物イオン量を測定した。なお、測定時期は30日後である。これにより、塗装自体の遮塩性を評価可能となる。

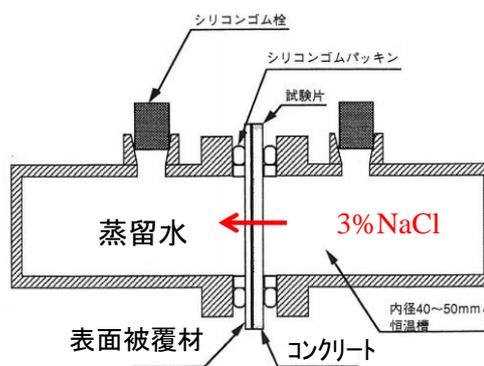


図-5 遮塩性試験

② 電子線マイクロアナライザー (EPMA)

この試験は被覆材およびコンクリート中に含まれる元素の存在量の分布を調べるものである。今回は測定対象範囲を5mm角とし、Cl, S, K, Caの4元素について行った。なお、分析試料はA, B, E, Fの4種類について実施した。

(6) 被覆効果の確認(全塩化物イオン量分析)

図-3の「A1-P1: G1 桁-海側」および「P2-P3: G5 桁-海側」の2か所からコアを採取し、コンクリート表面からの塩化物イオン濃度分布(4~5点)の測定を行った。また、ひび割れ追従性試験および遮塩性試験のために「A1-P1: G2 桁-海側」から採取したコアの、表面から35mm(30~40mmの中点位置)の位置の試料についても行った。被覆材Aは最もA1側であり、被覆材Fは最もP1側である。

4. 調査結果

(1) 外観観察

P2-P3 桁のごく一部に、腐食ひび割れが確認された。この桁のウェブの海側面でコア採取+塩化物イオン濃度調査を行っている。

A1-P1 桁, P2-P3 桁のコア採取位置周辺の状況の一例を写真-1 に示す。特に顕著な変状 (はがれ, 膨れ等) は確認されなかった。



A1-P1:G1 桁-海側 (仕様F) P2-P3:G5 桁-海側 (仕様A)

写真-1 コア採取位置

(2) 付着性 (付着強度試験)

図-6 に付着強度試験結果の関係を示す。なお、図中には主な破壊箇所を示した。今回の実構造物調査結果において、いずれも $1\text{N}/\text{mm}^2$ を上回っていた。表面被覆の実施時に制定された「那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格 (案)」によると、全て「良」以上と判定される。

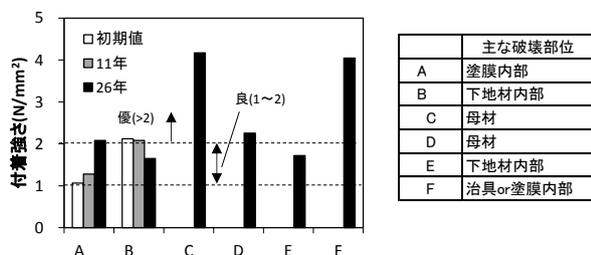


図-6 付着強度試験結果 (凡例は破壊面)

(3) ひび割れ追従性に関する試験

図-7 に破断時の伸びの値を示す。波の上橋に適用されている仕様である A および B は、26 年後においても高い伸び性能を有していた。なお、B においては試験体の結果と大きく異なるが、これは、実部材には補強用のシートが用いられているためと考えられる。また、「那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格 (案)」の値 (0.6mm)、および「栈橋劣化調査・補修マニュアル³⁾」の品質規格値 (0.4mm) をいずれも上回った。一方、被覆材 C~F については 0.4mm を満足していなかった。

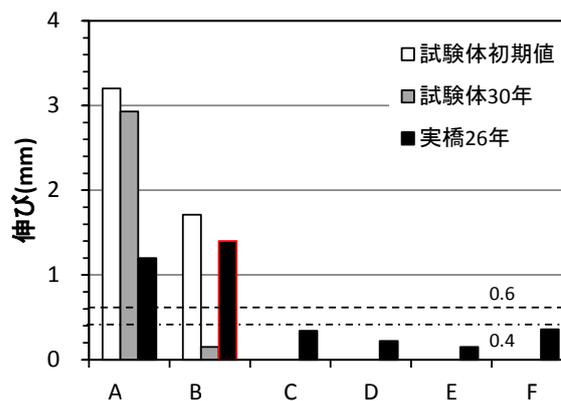
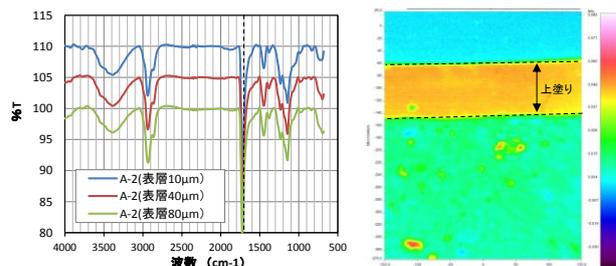


図-7 ひび割れ追従性試験結果

(4) FT-IR 試験

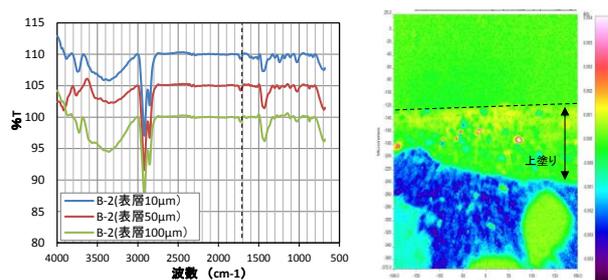
図-8 に被覆材 A および B の FTIR 分析結果を示す。なお、分析結果を見えやすくするため、A-2 ($10,40\mu\text{m}$)、B-2 ($10,50\mu\text{m}$) の結果については、上方へシフトさせている。上塗り内の表層部と内部で、材料の組成の顕著な変化は見られなかった。よって、塗膜表層部は、長期間 (26 年間) 経過しても、特に劣化が進行していないと考えられる。



(a) スペクトル分析

(b) 波数 1700cm^{-1} 付近の吸収光強度分布

(被覆材 A)



(a) スペクトル分析

(b) 波数 1700cm^{-1} 付近の吸収光強度分布

(被覆材 B)

図-8 FT-IR 分析結果

(5) 被覆材の遮塩性に関する試験

被覆材の遮塩性を調べるため、遮塩性試験、EPMA 測定を行った。

① 遮塩性試験

図-9 に遮塩性試験結果を示す。いずれも、「那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格(案)」の値 (10^{-3} mg/cm²/日) を上回った。なお、この規格値は、「道路橋の塩害対策指針(案)¹⁾」の C 種(長期防錆型)における品質規格値と同じである。しかし、「道路橋の塩害対策指針(案)¹⁾」の A 種(プレストレストコンクリート部材用)および B 種(鉄筋コンクリート部材用)における品質規格値 (10^{-2} mg/cm²/日) は概ね満足していた。30 年経過しても高い遮塩性を確保していたことが分かる。なお、B においては「試験体 30 年」の結果と大きく異なっている。この理由としては、実部材には補強用のシート(布状)が内部に用いられており、この繊維部および界面部を試験液(NaCl 溶液)が通りやすかったことも考えられる。

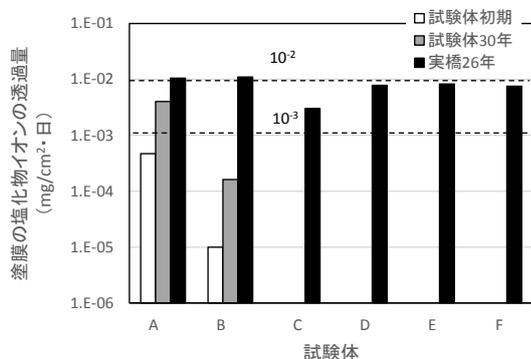


図-9 遮塩性試験結果

② 電子線マイクロアナライザー (EPMA) 測定結果

Cl の結果をグラフ化したものを図-10 に示す。グラフを基に考察を行う。なお、今回の試料は、表面被覆の適用前に塩分がある程度侵入しているため、その影響を踏まえて考察を行う。また、比較として、内在塩分の無い試験体の場合のデータ(2017年に実施)を図-11 に示した。

A は、被覆材の内部(ごく表層部を除く)には Cl は確認されなかった。モルタル層(下地材)内にはごく表層付近にのみ Cl が確認された。この Cl は、メーカーヒアリングにより、プライマー中に含まれていた Cl に由来したものと推測された。また、コンクリート部表層部には、高濃度の Cl は確認されなかった。

B は、被覆材中に Cl が多量に確認された。これは元々素材中に含まれていたものである。モルタル層(下地材)内には、A 同様、ごく表層付近にのみ Cl が確認された。この Cl は、メーカーヒアリングにより、当時使用されていたプライマー中に含まれていた Cl に由来したものと推測された。また、コンクリート部表層部には、高濃度の Cl は確認されなかった。

E は、被覆材の内部(ごく表層部を除く)には Cl は確認されなかった。モルタル層(下地材)内には高濃度の

Cl が見られたが、一定値を示しているため、外部から濃度勾配を持ちつつ浸透したものではなく、材料中に元々内在していたものと推測される。また、コンクリート部表層部には、高濃度の Cl は確認されなかった。

F は、被覆材部は分析の前処理時に剥離し、計測ができなかった。なお、コンクリート部表層部には高濃度の Cl は確認されなかった。

以上の結果より、外部からの Cl は、塗膜およびモルタル内を透過していない、少なくともコンクリート中までは浸透していないと推測される。この結果は、今回の被覆材は、26 年間の長期にわたり、コンクリート内への塩分浸透を抑制していたことを示すものである。なお、文献4)において、海岸高架橋に適用され28年間経過した表面被覆材に対し EPMA 分析を実施しているが、その場合においても塗膜内への Cl の浸透が確認されていない。

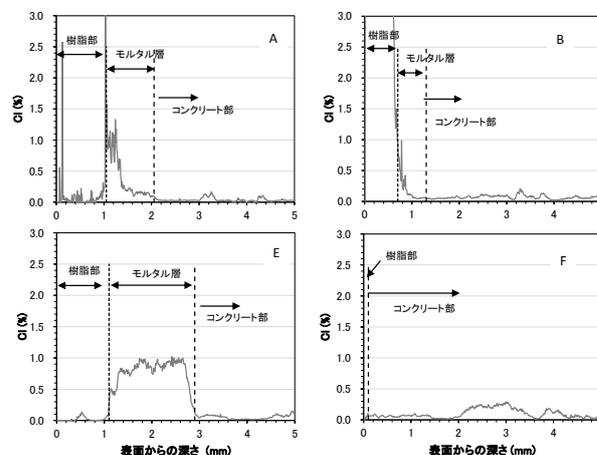


図-10 塗膜内の Cl 濃度分布 (26 年) : 実橋

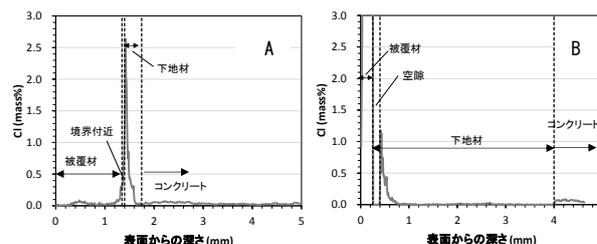
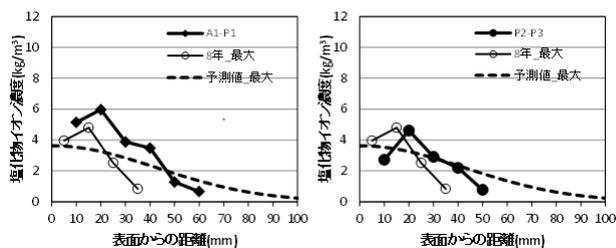


図-11 塗膜内の Cl 濃度分布 (30 年) : 試験体

(6) 被覆効果の確認(全塩化物イオン量分析)

図-12 に、「①A1-P1 : G1 桁-海側」および「②P2-P3 : G5 桁-海側」における、被覆適用 26 年後の塩化物イオン濃度分布を示す(図中●◆)。EPMA の結果より、塩化物イオンは塗膜および下地材中を透過していないと判断されたため、ここで測定されたものは、被覆適用前に侵入していた塩化物イオンが、コンクリート内部での濃度拡散により、高濃度であった表層から低濃度であった内部へ移動したものと考えられる。



①A1-P1:G1 桁-海側 (仕様F) ②P2-P3:G5 桁-海側 (仕様A)
図-12 コア中の塩化物イオン濃度分布

また、図中の「予測値_最大」とは、平成元年度調査で含有塩分量が最大であった「A1-P1 : G9 桁-海側」での実測値 (図-12 中の「8年_最大」) を基にした予測結果である。過去の調査の最大値を基にしたこの予測値は、図-12 の内部 (かぶり 40-60mm 付近) における実測値と概ね同様な値を示した。①と②の位置における被覆適用前の塩化物イオン濃度は、「8年_最大」の測定値 (図中○) と同程度であったと推測される。

図-13 に A1-P1 : G2 桁-海側の塩化物イオン濃度 (かぶり 35mm : 鉄筋位置) を示す。かぶり 35mm の位置については、被覆材 A の位置 (A1-P1 間の最も A1 側) で 2.0kg/m^3 を上回る塩化物イオンが存在しており、鉄筋が腐食する可能性の高い環境となっている。被覆材 B~F (測定点 12 点のうち 10 点 (=10/12=38.3%)) の位置については、限界値を大きく下回っており、腐食の可能性は低い。前述したように、場所によっては、被覆適用前に多量の塩分が既に存在していた可能性がある。

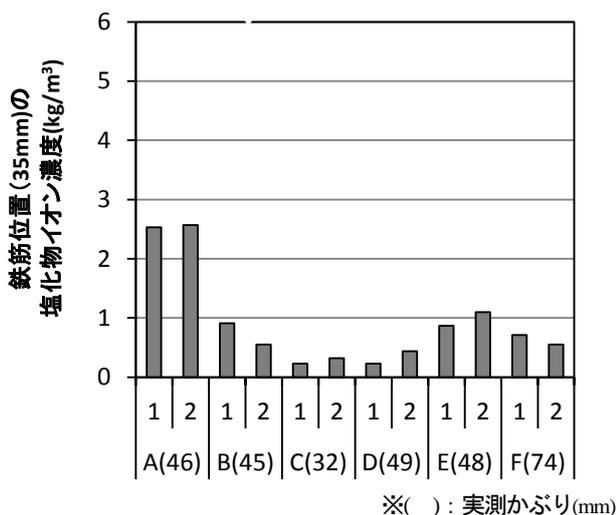


図-13 A1-P1 : G2 桁-海側の塩化物イオン濃度
(かぶり 35mm : 鉄筋位置)

5. まとめ

波の上橋の P C 桁に供用約 11 年が経過した後各種表面被覆を行い、海上大気中で 26 年経過後に、被覆材の性能およびコンクリートの劣化状況に関する調査を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 現存している被覆材自体には、顕著な劣化は確認されなかった。
- (2) 各種被覆材の遮塩性は、26 年後も基準値を概ね保持していた。結果として、塩分は塗膜及び下地材中を浸透していなかった。
- (3) 解析結果によると、被覆材が外部からの塩分の浸透を完全に抑制した際の塩分浸透抑制効果は明確である。一方、今回の実構造物での調査結果においては、(2) に示すように、外部から塩分が浸透していないと推測された。すなわち、波の上橋の実橋において、表面被覆の適用により、塩分浸透を抑制する効果は発揮されていたと判断できる。

以上のことから、多量の塩化物イオンが侵入していない初期段階において、コンクリートに適切な表面被覆を行うことは塩害対策として非常に有効であり、今回のような条件 (被覆材仕様、施工条件、暴露環境等) においては、26 年程度 (暴露試験体の場合は 30 年) の長期においてもその効果が維持されることが確認された。

表面被覆の適用後 26 年が経過した今回の結果においては、実橋の大半の部分においては、再塗装が不要な状態であった。この結果より、多量の塩化物イオンが侵入していない段階において、コンクリートに適切な表面被覆を行うことは塩害対策として非常に有効であり、その効果 (期待耐用年数) は一般的に言われている 10~15 年程度を大きく上回ることが示唆された。

今後については、既設ケーソン、栈橋上部工等のように、コンクリートが湿潤環境にある場合の耐久性、また、コンクリート中に塩化物イオンが含まれている場合の効果について、実構造物調査を基にした調査を行うことが望まれる。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会 : 道路橋の塩害対策指針 (案) ・同解説,
- 2) 山路徹・富山潤・金城信之 : 海上大気中に 30 年間暴露されたコンクリートにおける表面被覆材の塩害防止効果, コンクリート年次論文集, Vol. 40, pp. 699-704, 2018.
- 3) 東京港埠頭株式会社 : 栈橋劣化調査・補修マニュアル, 2012.
- 4) 加藤真一, 東田典雅, 斉藤正司, 小川正幸, 野上克宏 : 海岸高架橋に適用したコンクリート塗装等の 28 年目の評価, 土木学会第 71 回学術講演会概要集, V-393, pp. 785-786, 2016.

台風により供給される塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害に及ぼす影響

琉球大学 ○尾崎睦, 富山潤, 須田裕哉, 藍檀オメル

1. はじめに

多くの社会インフラ構造物を占めるコンクリート構造物の塩害劣化は、我が国に多大な経済損失を与えており、その対応が急務となっている。その主な劣化要因は、海から運ばれる塩化物イオン（飛来塩分）である。また、近年、台風の本土襲来数が増えている。台風は海から大量の塩化物イオンを含む暴風や豪雨とともに襲来する。このため、これまで塩害被害の少なかった地域においても塩害劣化の速度が速くなる可能性が懸念される。しかし、台風により短期間に供給される大量の塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害劣化にどの程度影響を与えるかは明らかではない。

そこで本研究では、台風時の短期間に供給される大量の塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害劣化に与える影響を解析的に検討する。

2. 数値解析手法の概要

図-1 に土研式飛来塩分捕集器（4方向捕集用）により調査した結果を示す。このように台風時に大量の飛来塩分が供給されていることがわかる。

本解析では、式(2.1)に示す非定常拡散方程式を解いている。また、境界条件としてコンクリート表面の浸透塩化物イオン量は、山田モデル¹⁾を用いた。山田モデルは、コンクリートに到達する飛来塩化物イオンの全てがコンクリートに浸透するのではなく、飛来塩化物イオン量と浸透塩化物イオン量の関係に、Langmuir 吸着理論の考え方を適用したモデルである。図-2 に山田モデルの概念図を示す。

本研究では、調査結果を参考に後述する仮想的な飛来塩分環境を入力とし、鉄筋の腐食発生時期に焦点をあて、台風がコンクリート構造物の塩害に与える影響を検討した。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.1)$$

ここで、初期条件: $C|_{t=0} = C_i$

$$\text{境界条件: } I_t|_{x=0} = W, \quad \left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=end} = 0$$

t:経過時間 x:コンクリート表面からの距離(cm)

C: 飛来塩化物イオン量(mg/dm²/day)

$$W = \frac{mkV_0q}{V_0+kq} \quad (2.2)$$

W: 浸透塩化物イオン濃度(mg/cm²/day), m: 飽和面積率(%), q: 飛来塩化物イオン(kg/m³), k: 比例定数, V₀: 単位時間の離脱(mg/cm²/year)

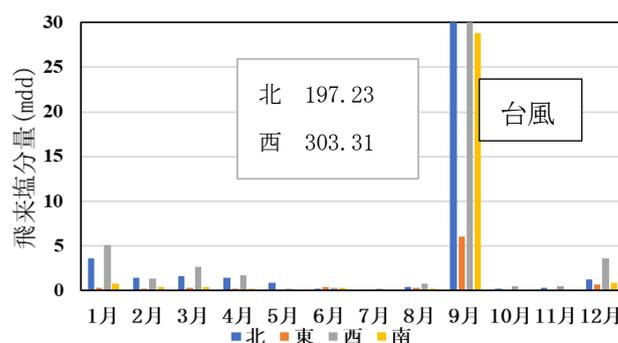


図-1 飛来塩分の測定結果の一例(2018年, 辺野喜)

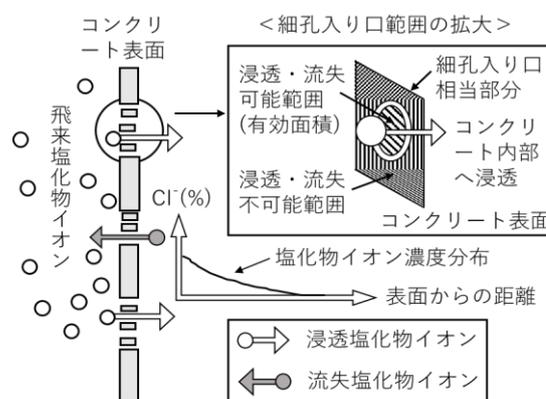


図-2 山田モデルの概念図¹⁾

3. 解析的検討

3.1 共通条件

解析を行う共通条件を表-1に示す。なお、見かけの拡散係数および鋼材腐食発錆限界濃度は、コンクリート標準示方書²⁾から水セメントを用いて算出した。

キーワード: 台風, 飛来塩分, 腐食発生時期, コンクリート構造物, 塩害

連絡先: 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 建設材料学研究室

E-mail: e165306@eve.u-ryukyu.ac.jp

表-1 共通条件

セメント	普通ポルトランドセメント
水セメント比	50%
かぶり	5cm, 7cm
見かけの拡散係数	0.501cm ² /年
鋼材腐食発生限界濃度	1.9kg/m ³

3.2 検討ケース

検討は、Case1：塩害がほとんどない地域、Case2：塩害がマイルドな地域、Case3：塩害が厳しい地域、の3ケースを想定した。検討ケースの詳細を表-2に示す。

表-2 検討ケース

Case1-0	飛来塩分が年間を通して一定(0.5mdd)
Case1-1	Case1-0 に対し台風を考慮し、10月の飛来塩分量を100mddとする
Case1-2	Case1-0 に対し台風を考慮し、10月のある3日間の飛来塩分量を1000mddとする
Case2-0	飛来塩分が年間を通して一定(1mdd)
Case2-1	Case2-0 に対し台風を考慮し、10月の飛来塩分量を100mddとする
Case2-2	Case1-0 に対し台風を考慮し、10月のある3日間の飛来塩分量を1000mddとする
Case3-0	飛来塩分が年間を通して一定(5mdd)
Case3-1	Case3-0 に対し台風を考慮し、10月の飛来塩分量を100mddとする
Case3-2	Case1-0 に対し台風を考慮し、10月のある3日間の飛来塩分量を1000mddとする

4. 解析結果および考察

図-3 にコンクリート表面と鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化の例として、Case1のかぶり5cmの結果を示す。図から、コンクリート表面および鉄筋位置での塩化物イオン濃度が、台風の影響のないCase1-0では、腐食発生時期が19.25年なのに対して、台風を考慮したCase1-1では、腐食発生時期が16.5年と早くなっている。しかし、塩化物イオン濃度の供給期間をさらに短期化したCase1-2の腐食発生時期は、Case1-1と1年の塩化物イオン総量はほぼ同じであるが、台風の影響のないCase1-0とほぼ同じである。これは外部から供給される大量の塩化物イオンの一部がコンクリート内部に浸透するとする山田モデルを境界条件に採用しているからである。しかし、山田モデルは理論と実現象に基づき構築されているため¹⁾、実現象でも同様のことが生じていると考えられる。

次に、各ケースの腐食発生時期について検討する。図-4にかぶり5cm、図-5にかぶり7cmに対するすべてのケースの腐食発生時期を示す。図-4、5より、腐

食発生時期を比較すると常時の飛来塩分が少ない地域ほど台風の影響を受ける可能性があることが分かる。

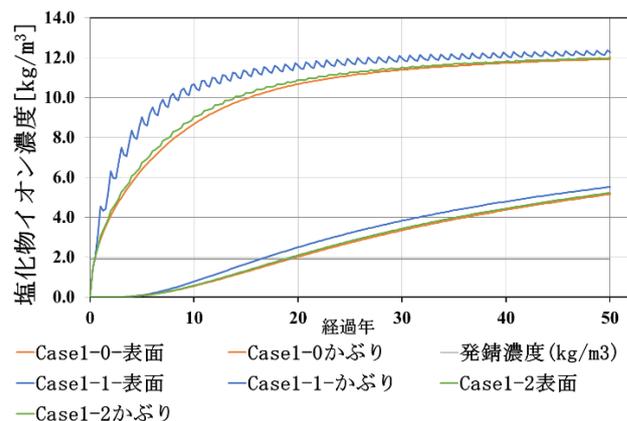


図-3 塩化物イオン濃度の経時変化

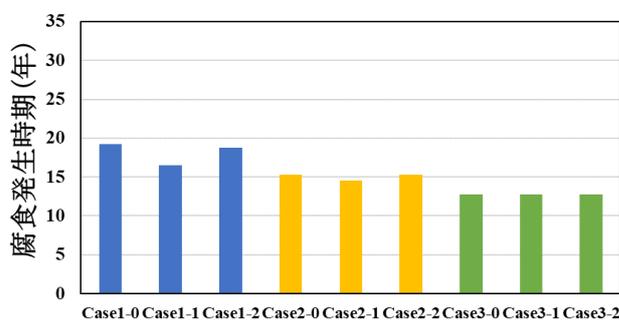


図-4 腐食発生時期(かぶり 5cm)

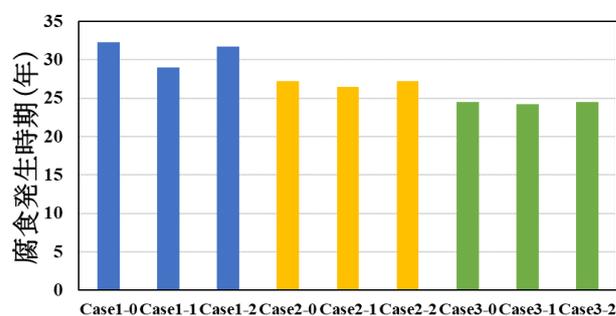


図-5 腐食発生時期(かぶり 7cm)

5. まとめ

台風時の短期間に供給される大量の塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害劣化に与える影響について数値解析的な基礎検討を行った。その結果、台風時の塩化物イオンのコンクリート構造物へ与える影響は、常時の飛来塩分環境と大量の飛来塩分供給期間に関係する傾向が示された。今後は、台風のレベルも考慮した定量的な評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 山田義智, 大城武, 梶田佳寛: 塩害環境下におけるコンクリート中への塩化物イオンの浸透に関する解析的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第501号, pp. 13-18.
- 2) 土木学会: 土木学会コンクリート標準示方書(2018年制定), 維持管理編, pp145.

コンクリート表面の付着塩分洗浄に対するウルトラファインバブル水の適用性検証

琉球大学 ○金城聡一郎, 富山 潤, 須田裕哉, 藍檀オメル, マルヤマエクセル (株) 高橋永治,
(株) ティ・エス・プランニング 佐藤 智, オリエンタル白石 (株) 渡瀬 博

1. 研究の背景および目的

沖縄県は、四方を海で囲まれた島嶼環境であり、高温多湿で大量の塩分が飛来している。コンクリート構造物に塩分が付着するとコンクリート内部に塩化物イオンが浸透するため、コンクリート構造物の塩害を引き起こす原因の一つとなっている。そのため、コンクリート構造物の塩害を抑制するにはコンクリート中に塩化物イオンを浸透させないことが最も有効である。

本研究では、洗浄力が高いことが知られているウルトラファインバブル水 (以下, UFB 水) ¹⁾ をコンクリート表面の付着塩化物イオンの洗浄水に適用し、洗浄効果を検証する。比較のため、塩素イオンを除去したイオン交換水 (以下, IEW) とそれに UFB を含ませた UFB 水を洗浄水に用いた。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

本試験では、60×300×300(mm) のコンクリート平板 (JIS A 5371-2010, W/C=40%) ²⁾ を用いた。

2.2 ウルトラファインバブル (UFB)

UFB とは、直径が 100 μ m 以下の気泡 (ファインバブル) の中でも、直径が 1 μ m 以下の超微細気泡のことをいい、肉眼で不可視、浮力がほとんどなく水中に長期間残存、負に帯電している、泡の内部気圧が 30 気圧 (約 3MPa)、表面張力が小さいなどの特性を持っている。また、洗浄効果、触媒効果、脱臭効果、微粒子吸着効果、生態活性効果、摩擦力低減効果などの効果も確認されている¹⁾。

本研究では、UFB をシバタ UFB 技術 (「急激な減圧沸騰による連続キャビテーション方式」)³⁾ を採用しているマルヤマエクセル製の UFB ポンプユニットを用いて UFB 水を生成した。本ユニットは、1 パスで約 30 億個/ml の UFB を 20ml/mim

で生成することが可能であり、本研究では、10 パスで生成した UFB 水を用いた (写真-1)。

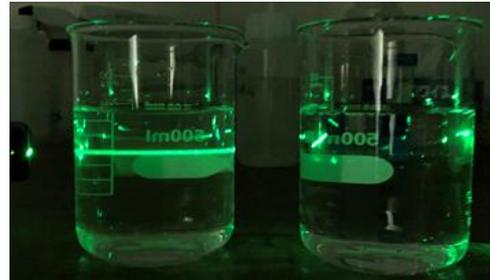


写真-1 UFB の確認 (左 UFB 有, 右 UFB 無)

2.3 室内実験

a) 供試体 (No.1~No.14) 表面に霧吹きスプレーで塩水 (10%) を吹きかけ (図-1), 表面水分率 6% 前後になるまで自然乾燥させ、供試体表面の塩化物イオン濃度測定を行う。測定箇所は四隅と真ん中の五箇所行う (図-2)。塩化物イオンの測定は、洗浄前および洗浄後の同一箇所を測定可能な蛍光 X 線分析装置 (オリンパス製ハンドヘルド蛍光 X 線分析計) を用いた (写真-2)。

b) その後、供試体表面をビーカー洗浄 (500ml) し (写真-3), 表面水分率が 6% 前後になるまで自然乾燥させる。No.1~No.7 の供試体をイオン交換水で、No.8~No.14 の供試体を UFB 水で洗浄した。その後、蛍光 X 分析装置で供試体表面の塩化物イオン濃度測定を行い、以下に示す式(1)を用いて洗浄率 R を算出する。

なお、今回の検証は 1 回の洗浄による効果を対象に検証した。

$$R(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 C_1 は洗浄前の塩化物イオン量(%), C_2 は洗浄後の塩化物イオン量(%)である。

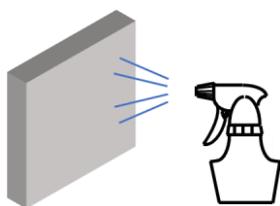


図-1 塩分吹きかけ図

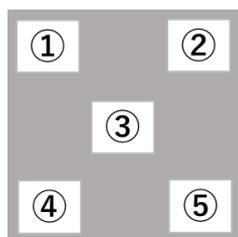


図-2 測定位置



写真-2 蛍光 X 線分析装置



写真-3 洗浄写真

3. 室内実験結果および考察

各試験体の塩化物イオンの洗浄率を示す。図-3に図-2の測定位置①, ②, ③, ④, ⑤のうち, 中央の③における洗浄率を例に示す。図-4には, すべての測定箇所の洗浄率について, ~0 (マイナス), 0~10, 10~20, 20~30, 30~(%)の範囲に対するUFBとIEWの頻度分布を示す。図-3のNo.5のように洗浄率がマイナスとなる場合がある。これは洗浄水が留まったことが原因か蛍光X線分析装置の測定位置がわずかにずれていた可能性がある。図-4より, UFB水の洗浄率は, 30%を上回るものが5箇所, IEWは1箇所のみである。10%以上20%未満においてもUFB水の方が高い洗浄効果を示している。したがって本研究の範囲で, UFB水を用いたコンクリート表面の塩化物イオンの洗浄は有効であることが確認できた。

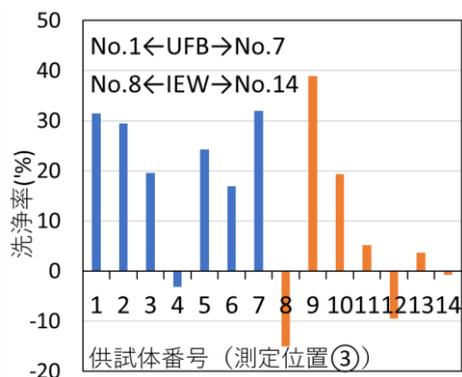


図-3 ③の洗浄率

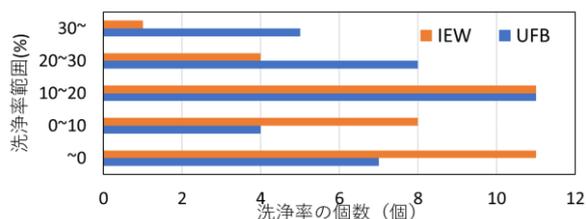


図-4 洗浄率範囲における個数

4. 実構造物における塩分洗浄効果

ここでは, コンクリート橋の上部工に対して, 塩分洗浄効果の確認を行った結果を示す。洗浄水は, 室内実験と同様, UFB水とIEWである。また, 洗浄方法は100mlの洗浄水を用いて洗浄した。写真-4, 写真-5に洗浄状況および測定状況を示す。図-5に各回の塩化物イオンの変化を示す。これよりUFB水を用いた場合は, 洗浄前3.89%あった塩化物イオンが4回洗浄で0.58%まで低下していることがわかる。IEWを用いた場合では, 5.02%から1.59%まで低下していることがわかる。このため, 実構造物を対象とした洗浄効果は, UFB水とIEWでは同等であった。



写真-4 洗浄状況



写真-5 測定状況

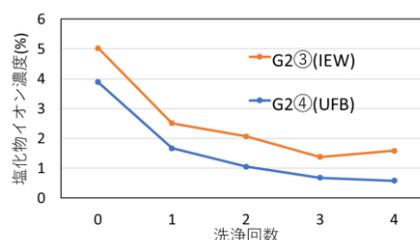


図-5 実構造物での洗浄効果確認

5. まとめ

室内試験では, UFB水の洗浄効果の有効性が確認できたが, 実構造物においてはIEWと同等であった。今後も継続して検討を続ける。

参考文献

- 1) ファインバブル学会連合. <http://www.fb-union.org/>
- 2) 株式会社ユーコウ商会. <https://www.u-kou.co.jp/mortar/mortar-size-kikaku/jisa6024-60300300/>
- 3) 株式会社丸山製作所. <https://premium.ipros.jp/maruyama/product/detail/2000380552/>

鋼 I 桁橋内外面の腐食環境要因に関する研究

琉球大学 ○前原匡 下里哲弘 淵脇秀晃 田井政行

1.はじめに

一般的に鋼 I 桁橋では外面より内面の方が腐食の進行が速い. その理由として、内外面の温湿度の差や降雨によって付着塩分量が低くなっているからだと考えられている. しかし、鋼 I 桁橋内外面の腐食環境要因の差は十分に検討されていない.

本研究では、付着塩分計、降雨量計、温湿度ロガー、膜厚計測から得られたデータを桁各部位で比較し、鋼 I 桁橋内外面の腐食環境要因の差を検討することを目的とする.

2 試験概要

2.1 試験桁及び設置位置

試験桁は A 桁, B 桁の C5 塗装系, ジンク系に分かれており, 本研究では A 桁の C5 塗装系に着目して評価を行った(写真 2.1, 2.2). 試験桁の設置位置は, 離岸距離約 2.5km の琉球大学校内の暴露場とし, 2019 年 3 月から 11 月まで計測結果を報告する.

2.2 評価項目及び方法

評価項目は, 飛来塩分量や付着塩分量, 降雨量, 温湿度, 濡れ時間, さび厚とした. 降雨量は暴露場に転倒ます型雨量計を設置し計測した. 図 2.1 に示す試験桁の各部位について, ドライガーゼ法を外面の①と内面の①~④, 付着塩分計は内外面①~⑤, 温湿度ロガーを内外面の④, 膜厚計を内外面の①~⑤で計測を行った. なお, 本研究では付着塩分量, 降雨量, 温湿度, 濡れ時間, さび厚に着目して評価を行った.

3.試験結果

(1)温湿度ロガー

図 3.1 図 3.2 及び図 3.3 は試験桁の C5 塗装系内外面の下フランジ上面に設置した温湿度ロガーで得られたデータである. 図から分かるように 4 月から 9 月までは, 内外面に気温, 湿度, 濡れ時間の差は見られなかったが, 気温が下がり, 桁外部の湿度も下がることで桁内部はこもった状態となり 10 月, 11 月は, 内外面に湿度, 濡れ時間に差が見られた.

(2)さび厚, 付着塩分量と降雨による洗浄効果

一般的な鋼 I 桁橋では外面より内面の方が腐食の進行が速い傾向にあるが, 本研究で試験桁に設置したワッペン鋼板は 2019 年 11 月 28 日現在で外面の腐食が進行していた. 内外面の各部位に着目してみると, 外面では降雨に当たりにくい部位であるウェブ上, 下フランジ下面, 付着塩分と降雨による水分が溜まりやすい下フランジ上面でさび厚が増加していた. 内面では付着塩分量が増えるにつれてさび厚も増加していた. 最もさび厚が進行していた下フランジ上面に着目すると, 外面は降雨による水分の



写真 2.1 正面



写真 2.2 側面

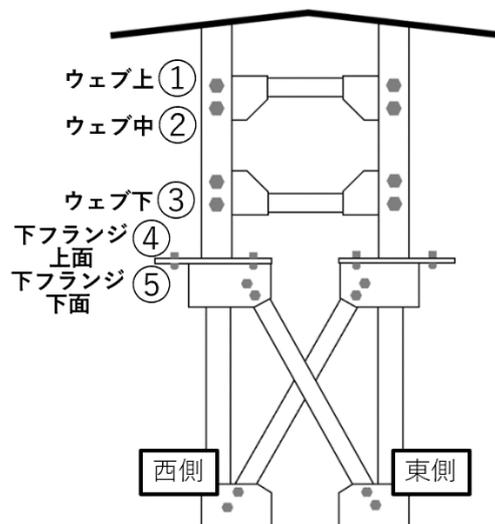


図 2.1 桁各部位

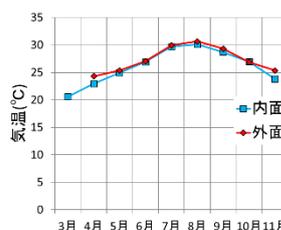


図 3.1 気温

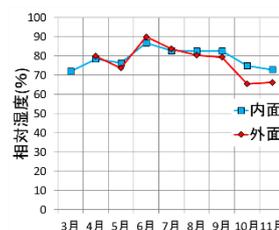


図 3.2 湿度

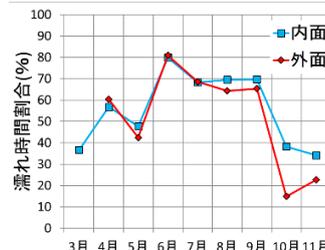


図 3.3 濡れ時間

キーワード: 鋼 I 桁橋, 腐食環境, 付着塩分, さび厚, 降雨

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

供給が多いので赤さびが発生し、さび厚が153.3 μm 、内面では水分の供給が少ないので黒さびが発生し、さび厚が96.6 μm となっていた(図3.4)。

図3.5及び図3.6は試験桁各部位の1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月の期間で測定した内外面の付着塩分量とさび厚のデータである。内外面の付着塩分量に着目すると、6ヶ月の付着塩分量が急激に増加しており、その理由として、8月4日、9月2日、9月20日に上陸した台風による影響が考えられる。そして、内面では付着塩分量は蓄積されていることが分かるが、外面ではウェブ中、ウェブ下、下フランジ上面で付着塩分量が蓄積されない部位も見られた。

この内外面の差異について検討するために、試験桁のウェブの付着塩分量を降雨前(2019年11月17日)、降雨後(2019年11月20日)で測定した結果、降雨によって付着塩分が洗い流されていることが見て取れた(表3.1)(図3.7)。これよりウェブ中、ウェブ下、下フランジ上面における内外面の付着塩分量の差は、降雨による洗浄効果が影響しているといえる。

(3)内外面のさび厚と付着塩分量の関係

図3.7は1ヶ月のさび厚と1ヶ月の付着塩分の増加量を表したグラフである。内外面のさび厚と付着塩分の増加量の間には明確な相関関係は見られなかった(図3.8)。しかしながら、図3.8の赤丸で示されている腐食環境が他の部位と異なっていた下フランジ上面を除いた場合、外面のさび厚と付着塩分の増加量の間には相関関係が得られた。つまり、外面の下フランジ上面を除き、さび厚と付着塩分の増加量の間には相関関係を有する傾向にあるといえる。下フランジ上面が他の部位と腐食環境が違った要因としては、付着塩分や降雨による水分が溜まりやすい部位だからであると推察される。

4.結論と今後の展望

- 1) 内外面に気温、湿度、濡れ時間の差は見られなかったが、気温が下がるにつれて湿度、濡れ時間に差が見られた。
- 2) 内面は付着塩分が蓄積されることで、さび厚も増加する。さび厚と付着塩分量の関係をみると相関関係が見られた。
- 3) 外面は蓄積されない部位もある。その理由は降雨によって付着塩分が洗い流されているからである。さび厚と付着塩分量の関係をみると、外面は相関関係が見られない。一方、下フランジ上面を抜いた外面のさび厚と付着塩分量の関係をみると、内面と同系の相関関係が見られた。

今後の展望としては、内外面に湿度、濡れ時間の差が見られる期間のさび厚や付着塩分の測定を行い、今回やこれから得られる結果をもとに試験桁のモデルで促進試験を行い、外面より内面の腐食が進行した際に、どのような結果になっていくのかを計測していく必要がある。

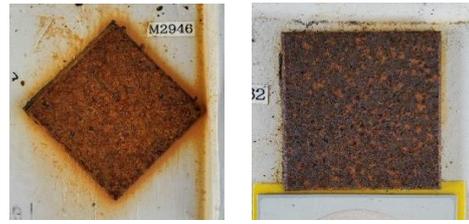


図3.4 ワッペン鋼板 (左から外面、内面)

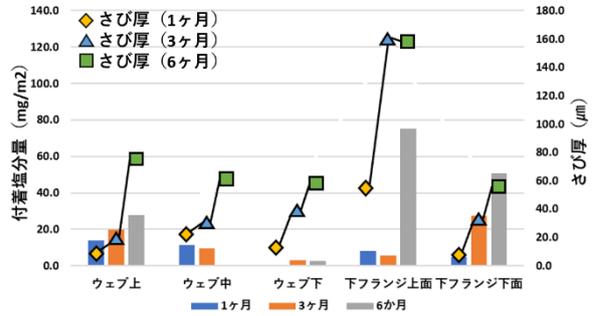


図3.5 A桁外面 (付着塩分とさび厚)

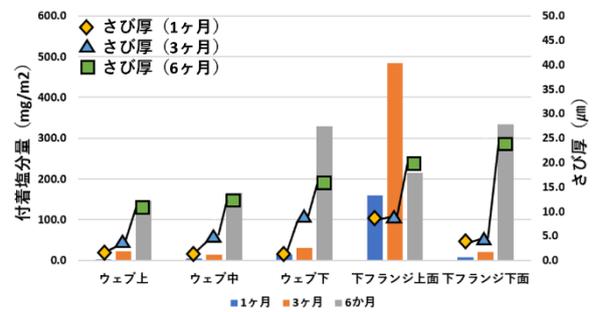


図3.6 A桁内面 (付着塩分とさび厚)

表3.1 降雨前(2019年11月17日)、降雨後(2019年11月20日)の付着塩分量

	ウェブ①	ウェブ②
降雨前(2019年11月17日)	4.4(mg/m ²)	6.3(mg/m ²)
降雨後(2019年11月20日)	2.0(mg/m ²)	2.7(mg/m ²)

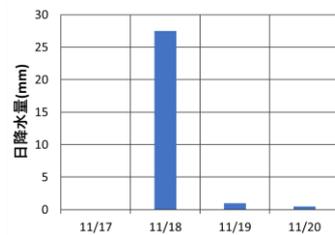


図3.7 日降水量(2019年11月17日から2019年11月20日)

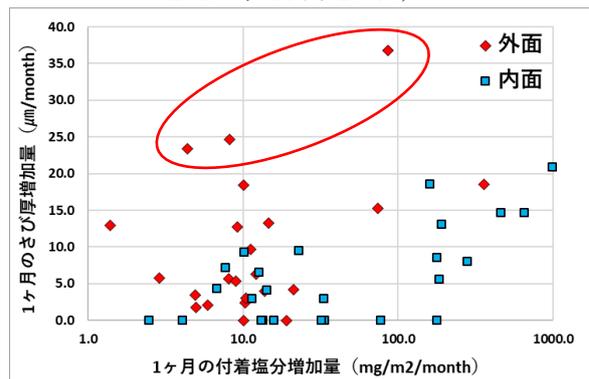


図3.8 さび厚と付着塩分量の関係

高力ボルトの透明型防錆キャップの耐候性に関する研究

琉球大学 ○井上佳紀, 田井政行, 下里哲弘, 淵脇秀晃
IHI 岩本達志

1 はじめに

鋼構造物の摩擦接合継手部に使用される高力ボルトは、他の部位に比べ発錆しやすく(写真1)、それを防止するため、ボルト頭部・ナット部に軟質塩化ビニル製のキャップ(写真2)を有色のシリコン変性エポキシ系接着剤で取り付け、発錆を防止する対策が実施されている。

これまで防錆キャップは構造物の色に合わせて着色されたものを使用するのが一般的であったが、有色ではキャップ内のボルトの状況が確認できないという課題があった。また、キャップの接着方法もキャップ内に接着剤を全充填するものであったため、定期点検や、塗装の塗り替え作業時など取り外しが困難といった、維持管理の面で課題があった。

そこで、透明な軟質塩化ビニルのキャップ(写真3)が開発され、内部が確認可能且つ取り外しを容易にするために透明シリコン系シーリング材(以下接着剤)をつばのみに充填する手法が提案されている。しかしながら、透明の軟質塩化ビニル製品や接着剤は紫外線により材料劣化が生じる場合があるため、これらの材料の紫外線に対する耐候性を検証する必要がある。

そこで本研究では、透明型防錆キャップの耐候性を評価することを目的とし、視認性に着目して試験を行った。また、キャップ施工時に用いられる接着剤の密着力についても検証した。

2 接着剤耐久試験

2-1 試験方法

透明型防錆キャップを接着する際に使用する接着剤の紫外線に対する耐久性を検証するために簡易的な引張試験を行った。試験体(写真4-(a))を作成し、接着剤でアクリル板に施工した。写真5に示すようにボルトを貫通させ、ナット部にロープを巻き付けて載荷した。載荷には水を使用し、段階的に重量を計測できるようにした。また促進試験を行い、促進試験前と後で接着剤の耐荷力を比較した。促進試験には琉球大学暴露場の約55倍(1日当たり51840kJ/m²)の紫外線量をもつメタルハイドランプ(写真6)を使用した。

2-2 結果

促進試験前

透明型防錆キャップに45kgの重さを載荷したところ、キャップ頭部が引張られ、キャップ自体の変形は見られたが、接着面は剥がれることなく健全な状態を保っていた。

促進試験後

試験体にメタルハイドランプを用いて、キャップ頭部の真上から紫外線を300時間照射し促進試験を行った(写真4-(b))。なお、キャップ頭部は



写真1 高力ボルトの腐食状況



写真2 従来のキャップ



写真3 透明型防錆キャップ

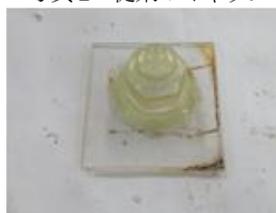


写真4-(a) 接着した透明型防錆キャップ



写真4-(b) 300 h照射後のキャップの状態



写真5 試験方法



写真6 メタルハイドランプ

キーワード: 透明型防錆キャップ 視認性 透過率 促進試験

連絡先 琉球大学工学部環境建設工学科土木コース (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地)

ランプとの距離が近かったため黒く焼けていたが、つば部分は黄変しており、紫外線による劣化が見られた。45 kgの重さを載荷したがこちらも促進試験前と同様に、変形を見せるが接着面が剥がれることはなかった。載荷中の頭部の様子を写真7に示す。

これらのことから、どちらも少なくとも45 kgの荷重に対して接着剤は剥離しないことが確認された。キャップの重さは0.02 kg、高力ボルトはセットで約0.5 kg程(M20、首下長さ100mm)であることを考えると、実環境下でキャップに対し45 kgを超えるような荷重が加わることは生じがたいといえる。以上の結果より今回適用した接着剤は紫外線による劣化が生じたとしても十分な密着力を有していると推察され、実環境下においても適用性が高いと考えられる。



写真7 キャップの変形 (左, 載荷無し 右, 45 kg載荷)

3 透明型防錆キャップの耐候性試験

3-1 紫外線照射促進試験方法

紫外線促進試験を行うために、透明型防錆キャップと同じ材質のシート(写真8)を作成した。ランプを用いて紫外線をシートに照射し、シートの視認性を外観目視、透過率で評価を行った。



写真8 透明シート



写真9 分光光度計

3-2 透過率の計測方法

シートの紫外線劣化による透過率の変化を定量的に評価するために、分光光度計(写真9)を用いて計測を行った。なお、紫外線照射時間100時間ごとに正透過率の計測を行った。



初期値 500h

写真10 紫外線劣化による外観変状

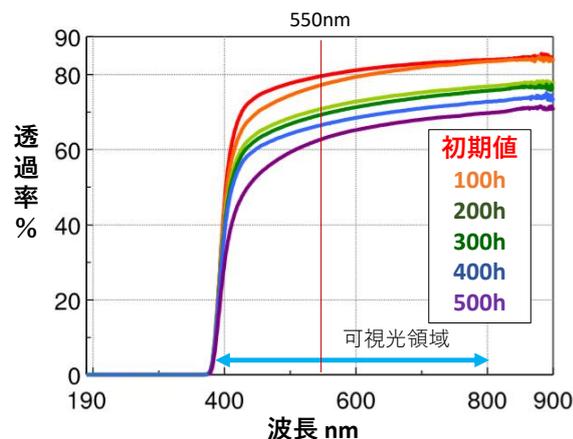
3-3 結果

紫外線照射時間100~200時間経過した状態では、目視では初期状態との違いが確認できなかったが、300時間経過したあたりから僅かな黄変が確認できた。500時間経過後は写真10に示すように黄変がはっきりと表れるようになったが、視認性は良好であった。

分光光度計による分析結果をグラフ1に示す。500時間紫外線を照射したところ、徐々に透過率が低下して行くことが確認出来た。400nmから上限の900nmにかけて低下していく傾向が見られ、この後も同じような低下傾向を示すと思われる。しかし透過率は62%(550nm)であり、依然視認性も良好であった。

4 まとめ

- (1) 接着試験の結果、促進試験前、300時間の促進試験後の接着剤は45 kgの荷重にも耐えることが確認され、実環境下において耐久力の面では十分な適用性を有していると言える。
- (2) メタルハイドランプを用いて促進試験を行った結果、透過率は各波長一様に減少する傾向があることがわかった。
- (3) 500時間経過後はシートに黄変がみられたが、視認性は良好であった。
- (4) 透過率約60%以上では視認性は確保されることが確認された。



グラフ1 促進試験結果

鋼橋の高力ボルト継手部に対する防食皮膜性能に関する基礎的研究

琉球大学 ○坂崎 稜, 下里 哲弘, 田井 政行 JFE エンジニアリング 熊野 拓志

1. はじめに

写真 1 に示すように高力ボルト継手部は鋼橋の中で腐食損傷しやすい。その原因として一般部と比べ角の多いボルトネジ部, ナット部等は塗膜厚の確保がしづらいことに加えて, 防食下地処理として適用される無機系亜鉛処理が予め工場で処理できないためであると考えられている。高力ボルト継手部の腐食は, 劣化状況によっては橋の安全性が損なわれる可能性があるため, 現場適用可能な防食下地が求められている。そのような背景の下, 現場適用可能なジंकリッチペイントとして水性無機ジंकリッチペイント (以下, 水性無機ジंक) が開発されている。そこで本研究では, 水性無機ジंकの防食性能を明らかにすることを目的とする。

2. 試験概要

2.1 試験体パラメータと各断面図

使用試験体 (寸法 130×50×6mm) を写真 2 に示す。防食下地には, 水性無機ジंक, 比較検証用に無機ジंकリッチペイント及び有機ジंकリッチペイントの 3 種類を用いた。防食下地の目標膜厚は, 無機ジंकリッチペイントでは標準膜厚の 75 μm , その他のパラメータでは, 下地膜厚による防食性の違いを評価するために膜厚 75 μm に加え, 膜厚 300 μm とした。

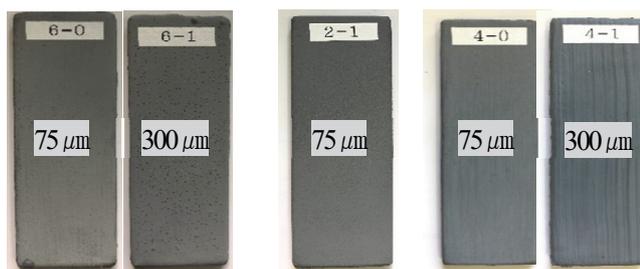
防食下地の積層状況を把握するために, 腐食促進試験前の試験体に対し SEM-EDX を用いて, 断面観察を行った。各試験体の断面観察結果 (倍率×200, ×1500) を図 1 に示す。図 1 (1) より水性無機ジंकでは Zn (亜鉛) が密に積層されており, 空隙はほとんど見られなかった。図 1 (2) より無機ジंकでは主に Zn の反応がみられ, 空隙を多く含むような傾向がみられた。図 1 (3) より有機ジंकでは主にエポキシ樹脂中の C (炭素) まわりに Zn の反応がみられ, 空隙も確認できた。

2.2 自然電位計測

防食下地の防食性能を定量的に評価するために, 自然電位計測を行った。自然電位計測は, 各試験片に対して電極 (写真 3, 測定部 37×10mm, それ以外の個所はシーリング処理) を作成し, 3mass%NaCl 溶液中 (大気開放条件, 室温平均 20°C) にて約 20min 浸漬後の自然電位を測



写真 1 高力ボルト継手部の腐食損傷事例



(1) 水性無機ジंक (2) 無機ジंक (3) 有機ジंक

写真 2 使用試験体

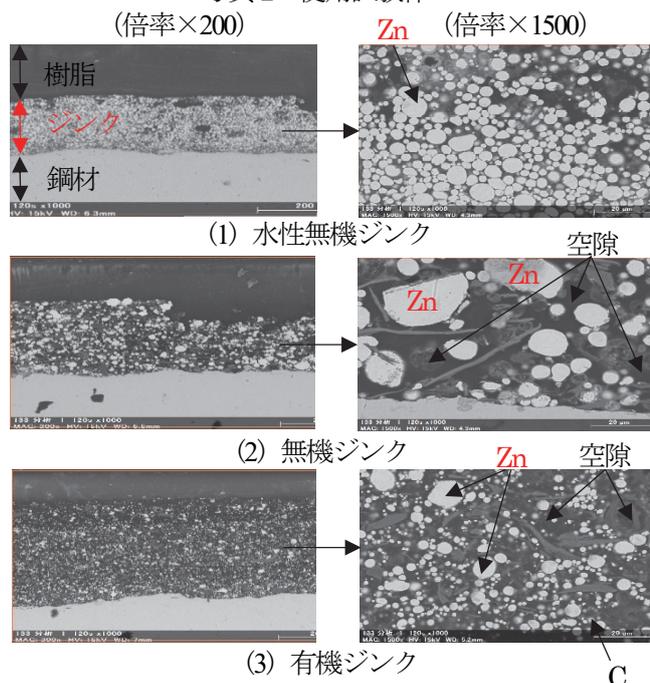


図 1 各試験体断面 (膜厚 75 μm)



写真 3 使用電極

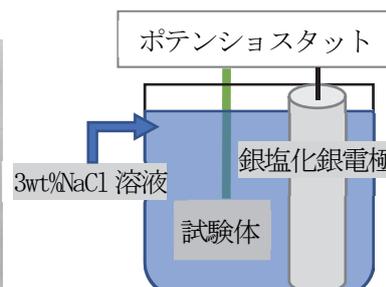


図 2 自然電位計測モデル

キーワード: 防食下地, 犠牲防食, 水性無機ジंकリッチペイント, 自然電位, 腐食促進試験
連絡先: 〒901-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地 琉球大学工学部 環境建設工学科

定した。参照電極は銀塩化銀電極を用いた。自然電位計測モデルを図2に示す。

2.3 腐食促進試験

さらに外観観察として各防食下地の防食性能を比較するために、各試験片に対し乾湿繰り返し複合サイクルによる腐食促進試験(192時間)を実施した。促進試験サイクルの概要を図3に示す。試験片の表面に5mass%NaClを1.5ml/枚塗布後、湿潤条件(35°C, 90%RH:2時間)、乾燥条件(40°C, 50%RH:6時間)を1cycle(合計8時間)とし、3cycle(合計24時間)毎に5mass%NaClを繰り返し塗布した。試験片には、犠牲防食効果の違いが明確になるよう直径30mmの丸形カットを入れ、外観観察を行った。

3. 防食性能評価

3.1 自然電位計測結果

促進試験開始時(0サイクル, カットなし)の試験片を用いて、自然電位計測を行った結果を図4に示す。水性無機ジンクは膜厚75 μm の試験体で約-0.97V vs. SSCE, 膜厚300 μm の試験体で約-0.88V vs. SSCEを示した。犠牲防食効果を有する無機ジンクと同程度の自然電位であったことから、水性無機ジンクは無機ジンク同等の犠牲防食効果が期待できると考えられる。無機ジンクは、約-0.89V vs. SSCEと亜鉛同等の自然電位を示した。有機ジンクにおいては、膜厚75 μm , 300 μm の試験体共に約0V vs. SSCEに近い値を示していることから、これらの試験体では、防食下地と鉄素地の導通が取れていない(断面観察においてZnがエポキシ樹脂中で反応した)ことが考えられるため、有機ジンクには犠牲防食効果は期待できないと推察される。

3.2 腐食促進試験結果

腐食促進試験結果を写真4に示す。試験体の外観について、促進試験時間0, 48, 120, 192時間の結果を示す。写真4(1)より水性無機ジンクは(2)の無機ジンクに次いでさびに対して強いことが分かる。自然電位計測の結果も踏まえ犠牲防食性能は良好である。写真4(2)より無機ジンクは目立った変化はみられなかったことから、亜鉛による犠牲防食効果が確認できる。写真4(3)より有機ジンクでは192時間経過後の膜厚75 μm , 300 μm の試験片において、カット部表面のさびの進展により防食性能が低下していることが分かる。

4. まとめ

本研究で評価した水性無機ジンクの防食性能についてまとめを示す。

水性無機ジンクでは自然電位計測より、無機ジンクと同程度の犠牲防食効果が期待できることが確認された。腐食促進試験においても、カット部に点錆が生じていたものの犠牲防食効果が期待できることがわかった。

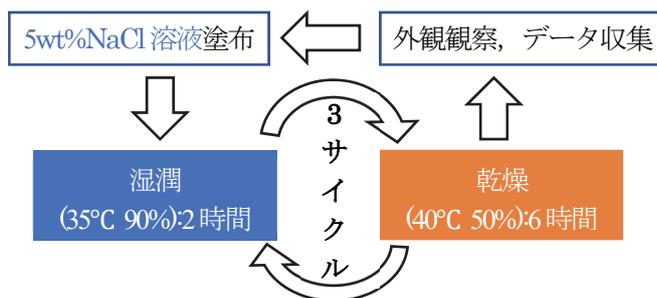


図3 試験サイクル

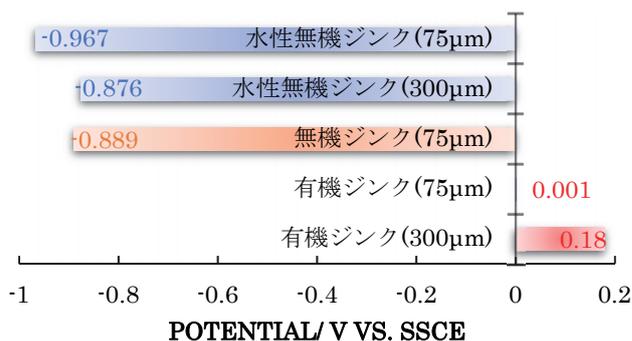


図4 自然電位計測結果

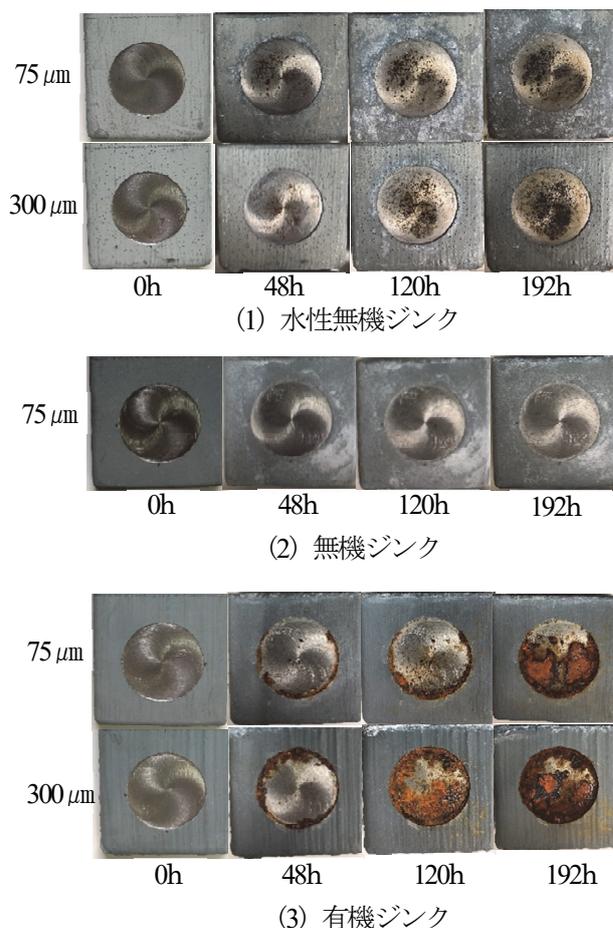


写真4 腐食促進試験結果

各種めっきボルトの防食性能評価

琉球大学 ○江田英輔, 田井政行, 淵脇秀晃, 下里哲弘, 東京ファブリック工業(株)木村雅昭

1. はじめに

橋梁支承部のボルト部は腐食しやすい部材の一部である。土砂や雨水が帯水するため、腐食環境が厳しく、締め付け時に生じる疵等により、写真1のように腐食が生じる場合が多い。現在、多くの橋梁支承部で溶融亜鉛めっきボルトは多く使用されているが、今まで以上に長耐久化が求められている。本研究では、合金の溶融めっき系・電気めっき系に着目し、現行で使用されている溶融亜鉛めっきと比較することで、各種めっきボルトの防食性能評価を行った。

2. めっきの説明

溶融めっきと電気めっきのめっき方法を図1に、各種めっき鋼板の外観と断面、元素分析を図2に示す。

溶融めっきは、溶融金属中に被めっき金属を浸漬してめっきを形成する方法である。厚膜化が容易であり、厚いめっき層が成膜される。溶融めっき系の A-1:溶融亜鉛めっきは Zn100%で構成しており、B-1:溶融亜鉛合金めっきは Zn94%、Al5%、Mg1%で構成している。

電気めっきは被めっき金属を陰極、めっき金属を陽極とし、電気分解により、析出する金属で被膜を形成する方法である。厚膜化が困難で、比較的薄いめっき層が成膜される。電気めっき系の C-1: Zn-Ni,Si 多層めっきは Zn-Ni 合金の電気めっきと表層の Si で構成しており、C-2:Zn-Ni,Si,Al 多層めっきは Zn-Ni 合金めっきと表層に Si と Al を有し構成している。

3. 犠牲防食の検証

3.1. 自然電位測定

各種めっき鋼板の自然電位を測定し、犠牲防食効果を検証した。

3.2. 試験体

写真2の上部のような各種めっき鋼板で初期状態自然電位を測定した。また、締め付け時の疵を想定した鉄素地の露出による犠牲防食効果を検証するため、下部のめっき鋼板にフライス盤で幅1.5mm、深さ0.2mmの溝を作り、自然電位を測定した。

3.3. 試験方法

鋼板上部をはんだ付けし、写真2に示すように最終露出部が10×10mmの1cm²になるようにシーリングした電位測定用試験片を作製した。作製した試験片を3wt%NaCl溶液中に約20分間浸漬後、銀塩化銀電極(SSCE)、ポテンシオスタットを用いて自然電位を測定した(図3)。

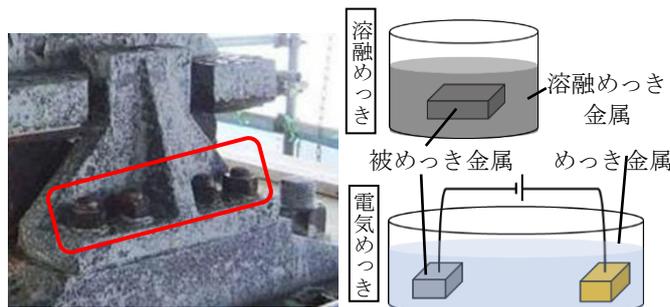


写真1 橋梁支承部の腐食ボルト 図1 めっき方法簡易図

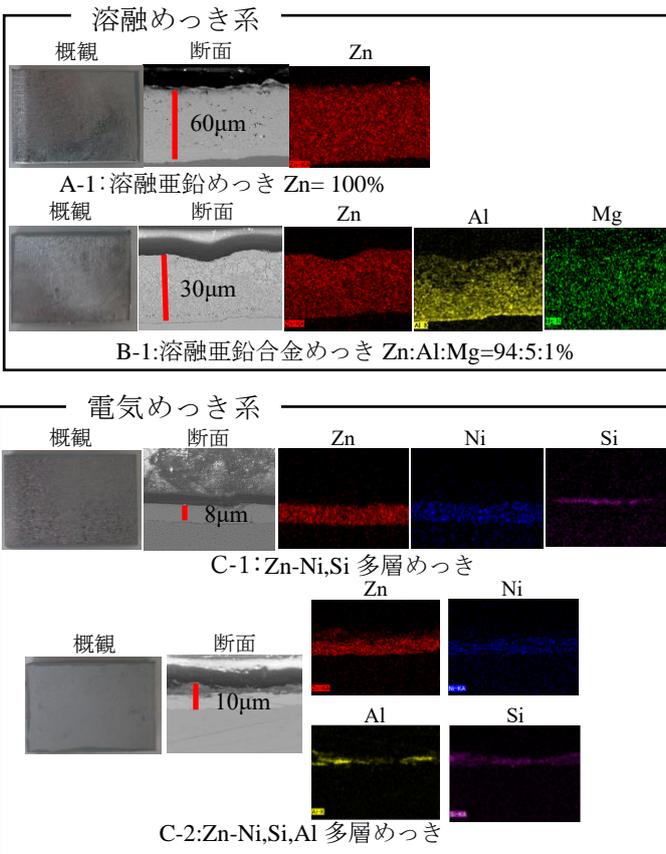


図2 初期状態試験体(外観, 断面, 元素分析)

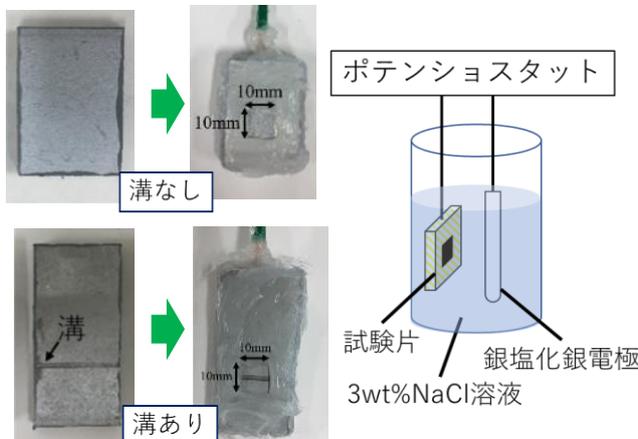


写真2 電位測定用試験体 図3 電位測定試験簡易図

キーワード めっきボルト, 防食性能, 自然電位, 腐食促進試験

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

3. 4. 結果と考察

自然電位測定結果を図4に示す。Znの電位は約-1.0Vvs.SSCEであることから、溝なしでは、すべての試験体の電位がZnの電位と近似していることがわかった。溝ありでは、A-1,B-1,C-1で溝なしの電位とほぼ同じであり、Znの犠牲防食効果が顕著であることがわかった。C-2では電位が溝なしと比べ0.034VvsSSCE 貴な電位となったが、誤差の範囲内と考慮する。

4. 恒温恒湿器を用いた防食性能の検証

各種めっきボルト試験体に対し、恒温恒湿器を用いて、乾湿繰り返し複合サイクルによる腐食促進試験を実施し、防食性能を検証した。

4. 1. 試験体と試験機器

パラメータは写真3のようにボルトの頭を想定したもの、ナットを想定したもの、ボルトの締め付け時に生じる疵をグラインダーで再現したダメージで試験を行った。

4. 2. 試験方法

湿潤を想定した温度35°C・湿度90%を2h、乾燥を想定した温度40°C・湿度50%を6hのサイクルを1サイクルとし、3サイクル毎に5% NaCl溶液4mlをはけを使って塗布する(写真4)。この工程を繰り返す腐食促進試験を行った。

4. 3. 結果と考察

腐食促進試験結果を表1、試験経過状況を写真5に示す。パラメータの中でダメージが他と比べ顕著に腐食が進行したため、ここではダメージのみの結果を示す。現行で使用されているA-1では試験時間168hで白錆が発生し、336hで赤錆が発生した。B-1では336hで白錆が発生した。C-1は672hで白錆、1680hで赤錆が発生した。C-2は840hで白錆が発生したが、3024h経過してもなお白錆を抑制していた。A-1と比較すると、B-1,C-1,C-2ともに高い防食性を示したが、C-1は赤錆発生から赤錆の進展が顕著であった。特に防食性能が高かったC-2はAlを含有していることが影響しているとみられる。

5. まとめ

自然電位測定試験の結果から、溝なしではすべての試験体でZnの電位に近似した電位であり、Znによる犠牲防食を示した。溝ありでは、C-2で溝なしと比べわずかに貴な電位となったが、全ての試験体で溝なしと同じようにZnの犠牲防食が優位に働くと推測される。

腐食促進試験では、熔融亜鉛めっきと比べ、熔融亜鉛合金めっきと電気めっきの防食性能が高いことを示し、特にC-2がパラメータの中で最も高い防食性能を発揮した。電気めっき内では、C-1の赤錆の進展が顕著であったことに対し、C-2では軽微な白錆のみみられた程度であった。これはAlの含有が影響していると推測されるが、詳細な検討が必要であるといえる。

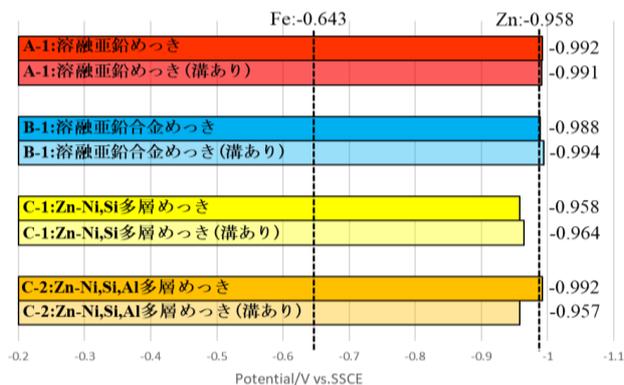


図4 自然電位測定結果

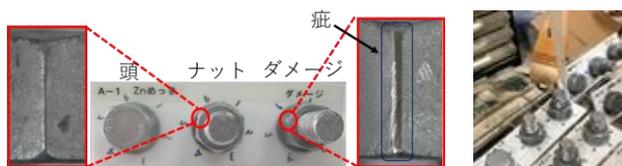


図3 パラメータ



写真4 塩水塗布

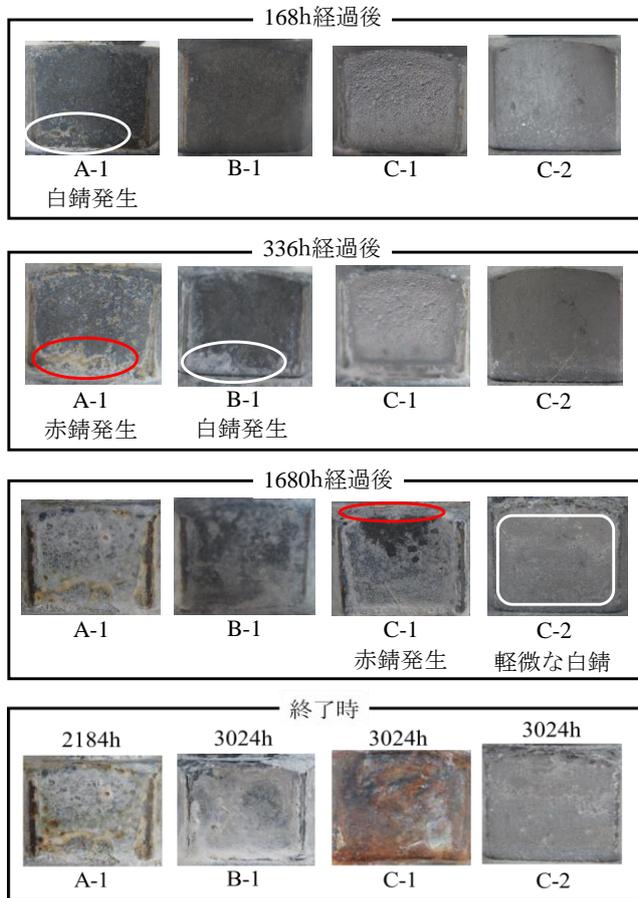


写真5 腐食促進試験経過状況

表1 腐食促進試験結果

試験体	時間(h)	初期状態						
		168	336	672	840	1680	2184	3024
A-1 熔融亜鉛めっき Zn=100%		白錆発生	赤錆発生				撤去 (試験終了)	—
B-1 熔融亜鉛合金めっき Zn:Al:Mg=94:5:1%			白錆発生					撤去 (試験終了)
C-1 Zn-Ni,Si多層めっき				白錆発生		赤錆発生		撤去 (試験終了)
C-2 Zn-Ni,Si,Al多層めっき					白錆発生			撤去 (試験終了)

厳しい腐食環境下における橋梁支承モデルの大気暴露試験 -125 ヶ月経過の報告-

琉球大学 正会員 下里哲弘
琉球大学 正会員 田井政行
琉球大学 学生会員 江田英輔
東京ファブリック工業(株) ○ 木村雅昭

1. はじめに

現在、鋼橋では塗装、溶融亜鉛めっき、溶射などの各種被覆防錆法¹⁾が適用されている。本研究では、沖縄特有の高温多湿かつ飛来塩分量の多い腐食環境下において、橋梁支承モデルを用いた大気暴露試験を行って、長期腐食耐久性を調査し、劣化度及び防食効果の特性を把握することを目的としている。試験は、2009年5月に開始され、33ヶ月経過後(約3年)の結果が報告されている²⁾。

今回は、125ヶ月(約10年)経過後の調査結果を報告するものである。

2. 試験概要

2.1. 試験方法

暴露試験場は、琉球大学構内暴露試験場(海岸まで東方面約2km、北西方面約4kmに位置、以下 内陸部)及び那覇港暴露試験場(海岸まで西方面50m未満に位置、以下 海岸部)の2箇所を実施した。

2.2. 大気暴露試験モデル

試験体は、ゴム支承をモデル化して鋼板類、取付ボルト及び桁を模したT型プレートと組み合わせた。試験体の設置は、T型プレートを南北に向けて、T型プレートと上沓及びゴム支承本体を取付ボルトで一体とし、下沓とベースプレートは被覆接触部の観察用に重ね合わせて設置した。T型プレートには、50mm×50mmの被覆防錆が施され、クロスカット部4箇所を設けた。また、飛来塩分及び雨水による洗浄の違いを確認するため、ひさしの有無で雨がかり無し、有りとした。



写真-1 内陸部試験体設置状況



写真-2 海岸部試験体設置状況

2.3. 各種被覆防錆法

被覆防錆法は、塗装及び溶融めっきを対象とし、溶融亜鉛めっき(以下、めっきA)、溶融亜鉛アルミニウム合金めっき(以下、めっきB)、ふっ素樹脂塗料を中塗・上塗とするC-5塗装系(以下、塗装E)、溶融亜鉛アルミニウム合金めっき下地にナイロン12コーティング(以下、塗装F)³⁾の4種類とした。

表-1 各種被覆防錆法

工法	溶融めっき工法		塗装工法		
	めっきA	めっきB	塗装E	塗装F	
成分	100%Zn	5%Al-1%Mg-94%Zn	防食下地 : 無機ジンク 下塗 : エポキシ樹脂 中塗・上塗 : ふっ素樹脂	防食下地 : めっきB 粉体塗装 : ナイロン12	
曝露試験体モデル					
付着量 or 膜厚	550g/m ² 以上 (膜厚 : 76μm以上)	350g/m ² 以上 (膜厚 : 50μm以上)	250μm以上	250μm以上	
実際の膜厚	琉大雨有	113μm	68μm	343μm	551μm
	琉大雨無	118μm	66μm	385μm	602μm
	那覇港雨無	102μm	78μm	397μm	526μm

キーワード 被覆防錆法, 大気暴露試験, 長期腐食耐久性, ナイロンコート

連絡先 〒163-0429 東京都新宿区西新宿 2-1-1 東京ファブリック工業株式会社 TEL : 03-5339-0839

3. 試験結果

3.1. 外観観察



写真-3 観察部位

表-2 試験体腐食状況一覧表

試験体 調査部位	めっきA (溶融亜鉛めっき)						めっきB (Zn・Al合金めっき)					
	琉球大学構内(内陸部)				那覇港(海岸部)		琉球大学構内(内陸部)				那覇港(海岸部)	
	雨ががり有		雨ががり無		雨ががり無		雨ががり有		雨ががり無		雨ががり無	
	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月
①一般平面部南側	○	○	○	○								
②一般平面部裏面	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
③コンクリート面					-	-					-	-
④ベースプレート下面				○	-	-					○	-
⑤ベースプレート上面	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	-
⑥下沓下面	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	
⑦下沓上面	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
⑧側面非防錆部	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
⑨裏面非防錆部	○	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
⑩ウェブクロスカット部												
⑪フランジクロスカット部												
⑫ボルト頭部	○	○	○	●	○	○			○	○		

試験体 調査部位	塗装E (C-5系塗装)						塗装F (ST-SGN12)					
	琉球大学構内(内陸部)				那覇港(海岸部)		琉球大学構内(内陸部)				那覇港(海岸部)	
	雨ががり有		雨ががり無		雨ががり無		雨ががり有		雨ががり無		雨ががり無	
	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月	33ヶ月	125ヶ月
①一般平面部南側												
②一般平面部裏面												
③コンクリート面					-	-					-	-
④ベースプレート下面				●	-	-						
⑤ベースプレート上面				●	-	-						
⑥下沓下面				●		●						
⑦下沓上面		●		●		○						
⑧側面非防錆部	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
⑨裏面非防錆部	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
⑩ウェブクロスカット部	●	●	●	●	●	●						
⑪フランジクロスカット部	●◇	●◆	●◇	●◆	●◇	●◆						
⑫ボルト頭部	●◆	●	●◆	●◆	●◆	●◆						

<記号説明> ○: 白錆 (腐食生成物) ◇: ふくれ (塗膜のふくれ)
●: 錆 (赤錆の発生あり) ◆: 割れ (塗膜の割れ)
-: 未調査

一般平面部 (南側) に関して, 33ヶ月観察から125ヶ月経過観察で大きな変化は無かった. しかし, 塗装Eの雨ががり有りでチョーキングが確認された. チョーキングは一般平面部 (ウェブ) よりフランジ上面のほうが激しかった. また, 塗装Eの雨ががり無しの試験体でも若干のチョーキングが確認された.

平面部裏面（被覆接触面）に関して、めっき A、めっき B は雨がかりの有無ともに腐食生成物（炭酸亜鉛又は塩基性炭酸亜鉛）が観られたが、大きな変状は確認されなかった。塗装 E は、125 ヶ月後の観察で、ボルト孔付近で錆の発生が確認された。塗装 F については、変状が観察されなかった。

非防錆部（母材部）に関して、塗装 E は母材部全体の赤錆が進行しているが、めっき A、めっき B 及び塗装 F は、赤錆の進行が抑制され、溶融亜鉛めっき及び溶融亜鉛アルミニウム合金めっきによる犠牲防食性能が確認された。

クロスカット部に関しては、塗装 E が塗膜下の錆の発生より、塗膜のふくれが確認されていたが、125 ヶ月では、進行が進み、塗膜の割れも観察された。めっき A、めっき B、塗装 F は、変状が見られなかった。

ボルト頭部に関して、33 ヶ月観察でめっき A に腐食生成物が観察されていたが、125 ヶ月でその進行が確認された。また、塗装 E では、塗膜内部よりの錆により塗膜のふくれが観察されていたが、その後の進行により塗膜の割れが観察されている。



写真-4 一般平面部の錆進行状況

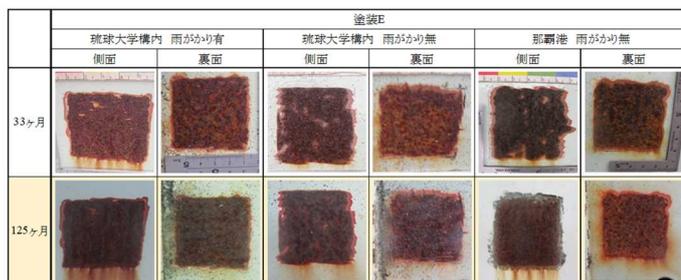


写真-5 塗装 E の非防錆部の錆の進行状態

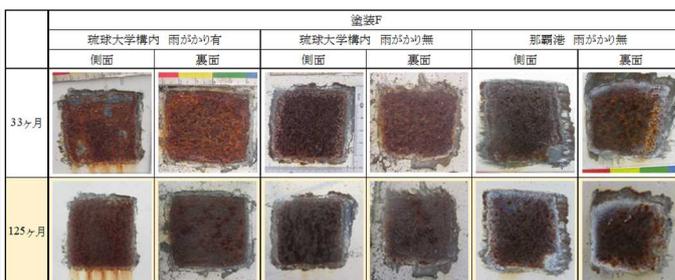


写真-6 塗装 F の非防錆部の錆の抑制状態



写真-7 塗装 E のクロスカット部の錆の進行状態



写真-8 めっき A 及び塗装 E のボルト頭部の錆進行

3.2. 塗装 F (ナイロンコート) の表面硬度測定

塗装 F は、防錆下地 (亜鉛アルミニウム合金めっき) 上にナイロン 12 を流動浸漬によりコーティングした塗装工法であり、外観検査では顕著な変状が観察されなかった。しかし、ナイロンコートの劣化進行を確認する必要があると考えて硬度測定を行った。ナイロンの劣化は、1) 熱による劣化 2) 光による劣化 3) 放射線による劣化 4) 化学薬品による劣化が知られている。大気暴露による劣化は、光による劣化が主体的と考えられる。また、紫外線による劣化は、結晶化度を低下させることが知られ、表面硬化を招く可能性がある。

一般的に使用される硬度測定装置は、測定方法が試験片または製品から採取したサンプルで行われる方式が多いが、本調査では、直接製品の表面硬度が測定できるデュロメータ硬度計を用いて表面硬度測定を行った。

デュロメータ硬度計は、ゴム・エラストマーで使用される硬度計であり、ゴム・エラストマーはタイプ A (円柱状圧子)、硬質ゴム・プラスチックはタイプ D (円錐状圧子) が用いられる。硬さは、圧子の加圧反発力が平衡状態になった時の、押し込み量で表す。試験片の厚みは、タイプ A で 6mm 以上が推奨されているが、タイプ D では推奨される厚みの規定がない。薄膜の測定では、図-1 で示すモデルが考えられる。

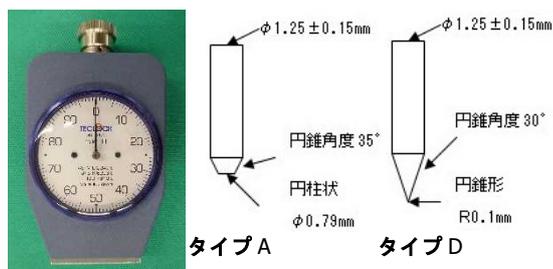


写真-9 デュロメータ

ナイロンコートの膜厚は、300~900 μm であるが、膜厚が適度に厚い場合は、材料 (コーティング材) の特性値として安定した硬度が得られる。しかし、膜厚が薄くなるに従い圧子は素地 (鋼板) の影響を受け、徐々に高い値を示すことになる。

材料の特性値は、材料の種類や製造ロットで異なり、また測定時の表面温度によっても異なると考えられる。

図-2 は、同時期に製造された試験片の約 14 年の暴露老化品と初期品の硬度をプロットしたものである。このグラフに今回の大気暴露試験体 (塗装 F) の硬度を載せると、雨がかり有り試験体が老化品のプロットラインよりも高い箇所に位置し (○), 雨がかり無し試験体は、ほぼ初期品ライン上にある。このことでナイロンコートの劣化が飛来塩分量よりも太陽光による紫外線劣化であると推察できる。

4. まとめ

- めっき A (熔融亜鉛めっき)、めっき B (合金めっき) は、腐食生成物の進行は有るが、大きな変状は観られなかった。
- 塗装 E (C-5 塗装系) は、傷の無い平面部で腐食が確認されなかったが、雨がかり有りでは、チョーキングが顕著であった。
- 塗装 F (合金めっき+ナイロンコート) は、変状が確認されなかった。しかし、硬度測定により、太陽光による劣化の兆候が確認された。

5. あとがき

本研究における大気暴露試験期間は 125 ヶ月で、試験体ごとの劣化の進行度合いの差が確認できた。また、塗装 F (合金めっき+ナイロンコート) の高い防錆能力が確認されたが、劣化因子も確認されたことにより、大気暴露試験を継続するとともに促進劣化試験を実施して、耐用年数の推定を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧 (平成 26 年 3 月)
- 2) 土木学会第 67 回年次学術講演会：I-157「厳しい腐食環境下における被覆防錆法の大気暴露試験」(平成 24 年)
- 3) 沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部：沖縄地区鋼橋防食マニュアル (平成 31 年 3 月) p43~p44

膜厚と硬度の関係モデル

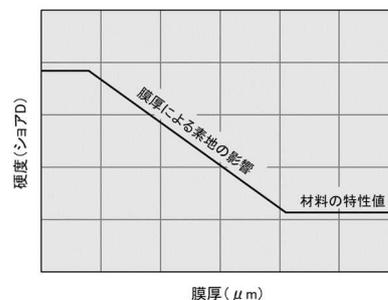


図-1 膜厚硬度のモデル化

膜厚と硬度の関係 (初期値と老化)

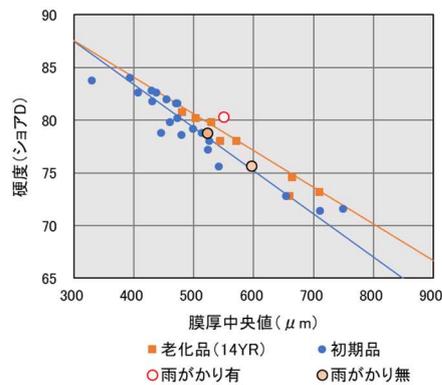


図-2 試験体の硬度