土木学会西部支部沖縄会

第4回技術研究発表会

琉球大学 研究者交流会館・50 周年記念会館 2014 年 10 月 30 日

発表プログラム・概要集



土木学会西部支部沖縄会

会場案内



琉球大学西原口を入り、構内の信号を左に曲がり、左手すぐ。

○ 土木学会継続教育(CPD),CPDS 認定プログラム

発表プログラム

2014年10月30日

Time Table

Start	End	プログ	ラム			
8:30	9:00	受 付・C	PD登録			
9:00	9 : 10	開会式 〈Room:A〉 開会の挨拶:尾澤 卓思(沖縄会会長・沖縄総合事務局次長) 実施要項の説明:新垣 哲(沖縄会幹事長・沖縄総合事務局)				
9:10	9:20	Brea	ak			
9:20	10 : 50	Session 1〈Room:A〉9編 (環境・計画関連) 座長:琉球大学 神谷 大介	Session 2〈Room:B〉9編 (地盤・地下構造関連) 座長:(株)南伸 久米 仁司			
10 : 50	11:00	Break				
11 : 00	12 : 30	Session 3〈Room:A〉9編 (腐食・耐荷力) 座長:沖縄総合事務局 高井嘉親	Session 4〈Room:B〉9編 (材料劣化,維持管理) 座長:琉球大学 富山 潤			
12 : 30	13:00	Lunch				
13:00	14 : 30	Session 5〈Room:A〉9編 (振動・耐風・計測) 座長:琉球大学 藍壇 オメル	Session 6〈Room:B〉9編 (腐食・防食) 座長: 沖縄県 徳田 勲			
14 : 30	14 : 40	Brea	ak			
14 : 40	16 : 20	特別講演会 〈Room:A〉 「インフラの挙動を捉える最先端ICT計測技術」 座長:琉球大学 下里 哲弘				
16 : 20	16:30	Brea	ak			
16 : 30	16 : 45	閉会式 〈R 優秀発表者賞の表彰:尾澤 卓思(閉会の挨拶:徳田 勲(沖	(沖縄会会長:沖縄総合事務局次長)			

特別講演会 (Room-A 14:40~16:20)

「インフラの挙動を捉える最先端ICT計測技術」

【プログラム】

講演者 1:琉球大学 教授 藍壇オメル【30分】 「多重パラメータ動態観測モニタリングシステムの開発とその適用例について」

講演者 2:東京工業大学 准教授 佐々木栄一【30分】 「ワイアレスセンサによる橋梁の遠隔センシングシステムの構築」

講演者 3:株式会社 TTES 社長 菅沼久忠【30分】 「最新技術で実現した揚炭桟橋の計測」

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。

•10月30日 (木曜日)

ı		Room A	
		Session1:環境・計画関連	٠ ٪ /
		座長:神谷 大介(琉球大学	子)
	1.	都心商業地域での路上駐車のアイドリング行動に関する調査研究 ————— 北海学園大学 堂柿栄輔, 東海大学 梶田佳孝	10
	2.	地域観光政策と地域主導型観光に関する基礎的研究 -沖縄県北部地域の観光ガイドブック作成事業を事例として- 名桜大学 孫迎迎,大谷健太郎	16
	3.	竹富南航路の整備における環境配慮の取組について ————————————————————————————————————	22
	4.	那覇空港滑走路増設事業における貴重藻類の移植について —————— 沖縄総合事務局開発建設部 宇江城菜乃,照屋雅彦,鈴木真也	28
	5.		32
	6.	防災ワークショップの効果に関する一考察 - 国頭村与那区を対象として	36
	0.	琉球大学大学院 中山貴喜,神谷大介,中央建設コンサルタント 山中亮, 山口大学大学院 長曽我部まどか,榊原弘之,中央建設コンサルタント 宮国敏秋	30
	7.	沖縄本島河川の自然再生計画策定における目標設ため現状分析 ———————— 琉球大学 辻本真希,神谷大介,山口大学 赤松良久,沖縄県環境科学センター 宮良コ	
	8.	浸水深を考慮した害時避難の危険度に関する分析 ————————————————————————————————————	
9:20	9.	沖縄IT津梁パークにおける景観形成について — 沖縄県 呉屋則行	52
∫ 10:50		Room B	
10.50		Session2: 地盤・地下構造関連	开 /
		座長: 久米 仁司 (㈱南作	甲丿
	1.	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 —————	
		ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤	60
		ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 —————	60
		ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み	60 62
	2.	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み 琉球大学 土屋憲一,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用	60 62
	2.	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み 琉球大学 土屋憲一,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用	60 62 - 64
	2.	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也、藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み 琉球大学 土屋憲一、藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤 歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用 琉球大学 福長友弥、藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤 マッドペーストにおけるMud crack 生成パターンに関する実験的検討	60 62 64 70
	2.3.4.	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み 琉球大学 土屋憲一,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用 琉球大学 福長友弥,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 マッドペーストにおけるMud crack 生成パターンに関する実験的検討 琉球大学大学院 広瀬孝三郎,松原仁,原久夫 島尻層群泥岩の微生物風化に関する一考察 琉球大学大学院 松嵜史明,琉球大学大学院 広瀬孝三郎,琉球大学 松原仁,原久夫 圧密載荷時間が圧縮指数に与える影響に関す実験的研究	60 62 64 70 72
	 2. 3. 4. 6. 	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み 琉球大学 土屋憲一,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用 琉球大学 福長友弥,藍檀オメル,渡嘉敷直彦,富山潤 マッドペーストにおけるMud crack 生成パターンに関する実験的検討 琉球大学大学院 広瀬孝三郎,松原仁,原久夫 島尻層群泥岩の微生物風化に関する一考察 琉球大学大学院 松嵜史明,琉球大学大学院 広瀬孝三郎,琉球大学 松原仁,原久夫 圧密載荷時間が圧縮指数に与える影響に関す実験的研究 琉球大学大学院 山路伸悟,近藤慎吾,玉城侑,原久夫 儀間ダムにおける横坑の閉塞処理	60 62 64 70 72
	 2. 3. 4. 6. 	ロックアンカー・ロックボルトの非破壊試験法の開発 琉球大学 新城達也、藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤 トンネル掘削における発破振動計測の試み 琉球大学 土屋憲一、藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤 歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用 琉球大学 福長友弥、藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤 マッドペーストにおけるMud crack 生成パターンに関する実験的検討 琉球大学大学院 広瀬孝三郎、松原仁、原久夫 島尻層群泥岩の微生物風化に関する一考察 琉球大学大学院 松嵜史明、琉球大学大学院 広瀬孝三郎、琉球大学 松原仁、原久夫 圧密載荷時間が圧縮指数に与える影響に関す実験的研究 琉球大学大学院 山路伸悟、近藤慎吾、玉城侑、原久夫	60 62 64 70 72 74

Time		Room A
		Session3:腐食・耐荷力
		座長:高井 嘉親 (沖縄総合事務局)
	1.	高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する研究 — 96 ~実橋から切出した試験片によるすべり試験(その1)~
	2.	琉球大学 林田卓也,下里哲弘,有住康則,宮地エンジニアリング(株)山下修平 高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する研究 ————————————————————————————————————
	۷.	〜実橋から切出した試験片によるすべり試験(その2)〜 宮地エンジニアリング(株)山下修平,琉球大学 下里哲弘,有住康則,林田卓也
	3.	沖縄地方において30年経過した耐候性鋼橋のスマートレトロフィット(SRF) — 100 MKエンジニアリング(株) 竹渕敏郎,川田工業(株) 長坂康史, 木更津工業高等専門学校 田井政行,琉球大学 下里哲弘, 沖縄総合事務局北部ダム統合管理事務所 内里清一郎,与那覇忍
	4.	約30年間沖縄の環境下で暴露された耐候性橋梁における荷重載荷実験 102 川田工業(株) 長坂康史,琉球大学 下里哲弘,MKエンジニアリング(株) 竹渕敏郎, 木更津工業高等専門学校 田井政行, 内閣府沖縄総合事務局北部ダム統合管理事務所 内里清一郎,与那覇忍
	5.	実橋における高力ボルトの腐食減肉計測による残存軸力の推定104
	6.	木更津工業高等専門学校 田井政行,琉球大学 下里哲弘,有住康則 実腐食減厚分布を有する鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性に関する研究 — 106 (一社)沖縄しまたて協会 玉城喜章,琉球大学 下里哲弘,有住康則
	7.	腐食減肉した鋼管の残存圧縮耐力に関する解析的研究 ————————————————————————————————————
	8.	塩害劣化RCT 桁の主桁耐荷力に対する壁高欄の有効性に関する実験研究 — 114 (株)中央建設コンサルタント 砂川章次,(株)ホープ設計 金田一男,(株)南伸 久米仁司,(有)綜合設計コンサルタント 太田清志,琉球大学 下里哲弘,(社)沖縄しまたて協会 玉城喜章,琉球大学 淵脇秀晃,(株)金秀鉄工 長嶺由智
11:00 ∫	9.	RC円形橋脚の耐震性の寸法効果に関する検討
12:30		Room B
		Session4: 材料劣化,維持管理
		座長:富山 潤(琉球大学)
	1.	表面研磨法によるフライアッシュコンクリートの含有塩分量調査方法の提案 — 124 (一財)沖縄県建設技術センター 下地建,アール・アンド・エー 風間洋
	2.	コンクリートプリズム (CPT) を用いたASR 加速試験の遅延膨張性ASRへの 適応性に関する研究
		琉球やメント(株) 山口順圭,屋我晃,神谷和志,上里尚也
	3.	コンクリート橋上部工の付着塩分量に関する調査および塩害環境評価法に関する基礎研究 琉球大学 外間賢伍,松浦葵,藍檀オメル,富山潤 ————————————————————————————————————
	4.	ASR劣化したプレテンションPC桁橋の調査および損傷理論を導入したボクセルFEMを用いた膨張予測の基礎検討132 琉球大学大学院 松浦葵, 藍檀オメル, 富山潤, (株)大富建設コンサルタント 迫田泰治, 九州大学 浅井光輝
	5.	塩害により損傷を受けた鉄筋コンクリート桁の載荷試験(その1) — 136 琉球大学 辻翔平,下里哲弘,有住康則,本田博幸
	6.	塩害により損傷を受けた鉄筋コンクリート桁の載荷試験(その2) — 138 琉球大学大学院 本田博幸,下里哲弘,有住康則,辻翔平
	7.	北部国道管内の道路ストック総点検について ————————————————————————————————————
	8.	臨港道路(浦添線)の整備について
	9.	自然環境に配慮した新たな沖縄型の海岸整備について(嘉陽海岸高潮対策事業) —— 152 沖縄県土木建築部 又吉康之

Time		Room A
		Session5:振動・耐風・計測
		座長:藍壇 オメル (琉球大学)
	1.	伊良部大橋主航路部における耐久性向上と耐風安定性確保を目指した取組み —— 160 沖縄県企業局 山城明統,沖縄県宮古土木事務所 奥間正博
	2.	道路照明柱の台風応答計測 ————————————————————————————————————
	2	琉球大学 松村恭寛,下里哲弘,有住康則
	3.	亜熱帯環境下における火力発電所揚炭桟橋鋼管構造の診断モニタリング手法の開発研究
		株式会社TTES 勝山真規,琉球大学 下里哲弘,電源開発(株) 鷲尾朝昭,今岡知武, (株)TTES 菅沼久忠
	4.	コンクリート梁の振動特性に関する基礎研究 ————————————————————————————————————
	5.	塩害劣化したコンクリート橋梁の震動特性評価に関する基礎研究 ————— 172 琉球大学 吉次優祐,松浦葵,平田淳貴,松川博宣,富山潤,藍檀オメル,渡嘉敷直彦
	6.	モノレール駅の振動特性に関する基礎研究 ————————————————————————————————————
	7.	可動式渦流探傷プローブによる腐食鋼板残存板厚分布の評価 ——————————— 176
		東京工業大学大学院 田村洋,東京工業大学 富永理史, 東京工業大学大学院 佐々木栄一,峰沢ジョージヴゥルペ
	8.	レーザー計測による実腐食鋼板の腐食形状と腐食深さに関する考察180
	0	琉球大学 園田政和,下里哲弘,有住康則,川田工業(株) 長坂康史 三次元画像・計測による沈埋トンネルの維持管理 ————————————————————————————————————
	9.	
13:00		Room B
J		Session6: 腐食・防食
14:30		座長:徳田 勲(沖縄県)
	1.	3Dデータを適用した耐候性鋼材の外観評価用さびサンプルの試作 ————————————————————————————————————
	2.	腐食面に対するSmart ZIC工法の防食性に関する実験的研究 ————————————————————————————————————
	3.	Smart ZIC工法による高力ボルト継手部の防食性向上(その1:防食性能の検討) — 190 (株)横河ブリッジホールディングス 井口進,春日井俊博,(株)横河ブリッジ 清川昇悟,中東剛彦,東京ファブリック工業(株) 木村雅昭,橋都瑞城,琉球大学 下里哲弘
	4.	Smart ZIC工法による高力ボルト継手部の防食性向上(その2:継手性能の検討) — 192 (株)横河ブリッジ 清川昇悟,(株)横河ブリッジ 中東剛彦,(株)横河ブリッジホールディングス 井口進,春日井俊博,東京ファブリック工業(株) 木村雅昭,橋都瑞城,琉球大学 下里哲弘
	5.	耐候性鋼橋梁の部分補修塗装における端部処理方法に関する検討 — 194 日鉄住金防蝕(株) 今井篤実, 佐野 大樹, 山口大学大学院 麻生 稔彦, セントラルコンサルタント 空谷 謙吾
	6.	補修塗装された鋼橋の腐食状態 — 196 琉球大学 宇座徳人,琉球大学 下里哲弘,有住康則,淵脇秀晃
	7.	約30年暴露された無塗装仕様耐候性鋼橋の腐食状況 ————— 198
	_	琉球大学 淵脇秀晃,下里哲弘,有住康則,本田博幸
	8.	ポリイミド材料を用いた鋼橋防食方法に関する検討202 宇部興産機械(株) 川内康寛,後藤悟史,宇部興産(株) 寺田武史
	9.	橋梁用高機能外装板の防食性能と設計風荷重
		新日鉄住金エンジニアリング(株)藤川敬人、立花周作

発表概要集

-	8	-
---	---	---

Session 1:環境·計画関連

都心商業地域での路上駐車のアイドリング行動に関する調査研究

○土木学会正会員 堂柿栄輔¹,正会員 梶田佳孝²

1. 研究の目的

今日, 環境問題は社会, 経済, 技術等多くの分野 での主要課題となっているが, 社会資本整備を責務 とする土木工学においても全く同様である. この中 で, 道路交通の分野での環境対策は, 騒音や振動 の防止等多岐にわたるが、CO2の排出削減も大きな 課題である. これに対し低燃費化や電気自動車等の 開発が主に機械工学の分野で進められているが,交 通管理上の施策も重要であろう.

本研究は、路上駐車に伴うアイドリングの実態につ いて、調査データに基づき、いくつかの交通特性との 関連を統計的に分析し、その特徴を示した. 調査地 域は札幌市都心部の駐車場整備地区内(商業地域) である.

2. 既存研究について

地球温暖化問題に対し, 我が国では 1990 年に 「地球温暖化防止行動計画」(閣僚会議決定)が示さ れ、1998年には「地球温暖化対策の推進に関する 法律」が定められており、学術研究もこの時期を前後 に公表され始めた. 従来の研究は, 以下のように分 類されよう.

- ①都市の居住形態と交通機関利用(自動車・公共交 通)との関連をテーマとする分野. 都市のコンパクト 化や都市構造等をキーワードに、土地利用の観点か ら低炭素化社会の実現を意図した研究.
- ②公共交通等交通機関分担の工夫による低炭素化 社会の実現に関する分野. モーダルシフト, つまり個 別交通手段である自動車から公共交通への転換に よる CO2 削減をテーマとした研究.
- ③物流との関わりに関する分野. 共同デポやトラック 輸送,車両巡回計画等物流に係わる排出ガス対策 に関する研究.
- ④自動車の走行特性や燃料消費に関する分野:ガソ リン消費量モデルや道路整備,旅行速度をキーワー ドに, 道路走行環境と燃料消費等の関係を示す研

究.

- ⑤税制や推計の方法論, 航空機の CO2 排出に関す る分野:二酸化炭素排出量の推定に関する方法論 や, 税制度の関連に関する分野の研究.
- ⑥環境都市や地球温暖化についての報告資料. 学 術論文ではないが,専門学術誌での報告,論評及 び資料である. 雑誌「交通工学」では 2005 年, 2007 年及び 2009 年に地球温暖化と交通, 環境モデル都 市等のテーマで集中的な特集を行っている. また「国 際交通安全学会誌 では、1998 年、2004 年及び 2007年に規制・基準と環境・エネルギー、地球環境 時代の交通等の特集で論評や提言が行われてい

本研究は路上駐車のアイドリング現象に限った調 査研究であり直接の参考文献はないが、広くは④の 研究分野に位置づけられよう.

3. 調査の概要

1)プレート式連続調査

調査の概要を表-1に示す. 調査は平成 20 年と 平成 22 年に延べ 12 日間行った. 調査方法は, 8:00 ~ 19:00 の時間帯での連続時間(ナンバープレ ート) 調査であり, 両年計 3,493 台の記録を得た. 対 象は全ての四輪自動車である. 札幌市の駐車場整 備地区(商業地域)は都心部を中心に約 1.6 kmの方 形(PT調査での都心小ゾーン2つ)であり,調査場 所はほぼその中央に位置する延長約 800m の街路 である. 沿道施設の用途別床面積等は算出していな いが、平成20年は主に業務系、平成22年は商業 系地区での調査である. 写真-1は調査地区での路 上駐車(タクシーの客待ち駐車)の様子である.

2)調査項目とカテゴリー分類

調査では15項目ほどの駐車特性を記録したが、この うち本分析に関係する記録項目を表-2に示す.②~ ⑪はアイドリングの有無を説明するであろう変数である. 内容は以降の分析にて説明する.

キーワード 路上駐車,アイドリング,環境負荷

¹連絡先 〒064-0926札幌市中央区南26条西11丁目

北海学園大学工学部社会環境工学科

E-mail: dohgaki@cvl.hokkai-s-u.ac.jp

〒259-1292神奈川県平塚市北金目4-1-1 東海大学工学部十木環境工学科 ²連絡先

E-mail: yokaji@tokai-u.jp

4. 分析結果

1)アイドリングの現状

a)アイドリング駐車の分類と割合

図-1及び図-2に全車種のアイドリングの状況を示す。図-1は台単位の集計結果、図-2は台分単位の集計結果である。共に縦軸は、「(アイドリング)停止」、「(アイドリング)継続」、「(アイドリング)断続」3分類の構成比(%)であるが、「(アイドリング)継続」は更に「5分未満(アイドリング)」と「5分以上(アイドリング)」に分類した。また「(アイドリング)断続」は、特に長時間の駐車にみられるアイドリングの停止と継続の繰り返し駐車である。これらは少数ではあるが、アイドリング現象の実態として示した。横軸の「全」はアイドリング停止を含めた各分類の構成比(%)、「(アイドリング)継続」はアイドリング停止を除いた分類の構成比(%)である。これより、

①図-1「全」の「(アイドリング)停止」割合は 36.5%, 従って 63.5%, 約 2/3 の路上駐車はアイドリングを継続していることが分かる.ここで「(アイドリング)継続」では, 5 分未満の停車が 62.1%, 5 分以上の駐車(断続含む)は 37.9%である. 道路交通法では 5 分未満の停車は合法であり路上駐車規制の対象ではない. 従って非放置を対象とした現在の駐車規制では, アイドリング駐車の約 6 割は合法的に残り続けることになる.

表-1 調査の概要

	以
項	目 内 容
日時	平成 20 年 6 月~ 10 月平日 n=2,181 平成 22 年 9 月平日 n=1,312 調査時間帯 8:00 ~ 19:00
場所	札幌市都心部:駐車場整備地区 街路延長 約800m 平成20年度 業務系地区 平成22年度 商業系地区
調査 台数	平成 20 年度 2,181 台 平成 22 年度 1,312 台 計 3,493 台



写真-1 タクシーの客待ち路上駐車

表-2 記録項目とその分類

項目	カテゴリー分類
①アイト'リンク'	「継続」,「停止」他3分類
②駐車時間長	「着時刻」,「発時刻」
③車 種	「乗用車」,「トラック」他 7 分類
④ 目 的	「業務」,「配達」他9分類
⑤放置/ 非放置	「放置」,「非放置」他 3 分類
⑥荷扱い量	「少量」,「中量」,「多量」他 4 分類
⑦荷扱い回数	「1回」,「2回」他4分類
⑧用務先距離	「直近」,「他街区」他 4 分類
⑨自家用/ 事業用	「自家用」,「事業用」2 分類
⑩非常点滅 表示灯	「点灯」,「非点灯」他3分類
⑪ドライバー性別	「男性」,「女性」2分類

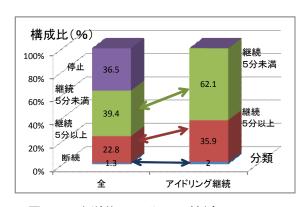


図-1 台単位のアイドリング割合

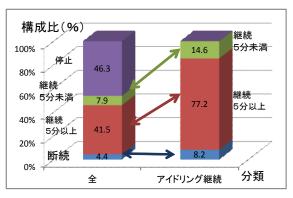


図-2 台分単位のアイドリング割合

②図-1「全」と図-2「全」の比較では、「継続 5 分未満」の割合が 39.4%から 7.9%に減少する. 台分単位の

集計は、台×駐車時間(分)の比較であり、台数が多くても駐車時間が短ければ値は小さくなり、この様な結果となる。一方「(アイドリング)停止」の割合は、図-1の36.5%から図-2では46.3%と増加する。これは「(アイドリング)停止」の駐車時間の平均値が、全体のそれより長いことを意味する。また図-1「全」で22.8%であった「5分以上(アイドリング)」駐車の割合は、図-2「全」では41.5%と1.8倍の値となる。本研究での観測方法は連続時間調査であるが、定時による断続調査では路上駐車の約4割がアイドリング状態と観測される。

③図-2「(アイドリング)継続」では、台単位で 35.9%である「継続 5 分以上(アイドリング)」の割合が 77.2%であり、「断続」も含めると 85.4%となる. これは長時間駐車のアイドリング時間量が大なることを顕著に示す.

b) 短時間駐車のアイドリング率

表-3に駐車時間 5 分未満の 1,952 台について,アイドリング「停止」,「継続」,「断続」3 分類の実数と構成比(%)を台及び台分単位の集計値で示す.これより,

①台単位での「停止」割合は 29.0%であり、図-1「全」の 36.5%より 7.5%少ない. 一般に 5 分程度の駐車では アイドリング継続が普通であることを考えれば、この値は 理解しやすい. 29.0%の大小評価は一概ではないが、5 分未満の短時間駐車でも約 3 割がアイドリング停止を 行っていることは、今後これを拡大しうる可能性を示唆する.

②台分単位での「停止」割合 42.3%は、台単位での29.0%より13.3%大きい、これは5分未満の短時間駐車の中でも、駐車時間がより長いものの「停止」割合が大きいことを意味する。平均停車時間は、「停止」が3.3分であり、「継続」は1.8分である。平均駐車時間の1.8倍(=3.3 ÷ 1.8)の増加が、アイドリング台数の2.4倍(=70.4 ÷ 29.0)の増加となっている。

表-3 5分未満の停車のアイドリング分類

分類	停止	継続	断続	計
【台単位】 実数(台) 構成比(%)	567 29.0	1.374 70.4	11 0.6	1,952 100
【台分単位】 実数(台分) 構成比(%)	1,868 42.3	2,508 56.8	38 0.9	4,414 100
平均停車 時間(分)	3.3	1.8	3.5	2.3

2)車種別アイドリング率

図-3に(a)車種構成比(%)と、(b)アイドリングを継続し

た車種構成比(%)を台単位集計で示す.車種は図示の5分類であり,路線バス・緊急車両・その他は除いた.横軸「(a)車種構成」は,路線バス等を除く観測3,345台の車種構成比(%)であり、「(b)アイドリング車種構成」はそのうちアイドリングを継続(=「継続」+「断続」)した2,076台の車種構成比(%)である.両者の構成比の比較では,乗用車,RV車及び商用車では大きな違いがないのに対し、タクシーとトラックでは値が異なる.この理由は、図ー4(車種別アイドリング割合)に示すように、タクシーのアイドリング率が42.0%と低いことによる.ここでアイドリング率は式(1a)とした.

アイドリング率 (%) =
$$\frac{A}{B}$$
 × 100 (1a)

ここで,

A:(「継続」+「断続」)台 or 台分

B:(A+「停止」)台 or 台分

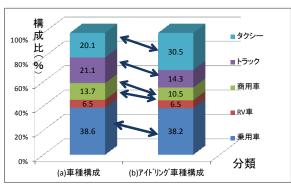


図-3 車種の構成割合

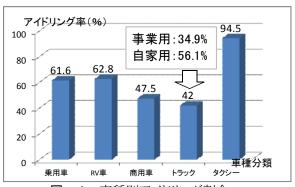


図-4 車種別アイドリング割合

トラックのアイドリング率の低さは、事業者による燃料費削減の自助努力や運輸業界全体でアイドリングストップが強く奨励された結果であろう。一方タクシーでのアイドリング率の高水準は、乗客のための冷房の必要性や客待ち行列の小刻みな移動のため、また事業費に占める燃料費の割合が小さいこと等が要因であろう。しかしトラックでも事業用のアイドリング率は自家用より20%(図ー4中事業用34.9%、自家用56.1%)程度低く、業

界全体として取り組むことの効果は大きい.

3)目的別アイドリング率

表-4に目的別(タクシーと路線バスを除く)駐車台数(台)の「構成比(%)」と、アイドリング率「R.idle(%)」及び平均駐車時間「Av.t(分)」を示す.平均駐車時間Av.tは、「停止」と「継続(断続を含む)」各々を示した.目的分類は、「その他」を含め8分類であるが、「業務」、「配達」、「工事作業」、「私用」、「送迎」の5分類で90.0%を占める.他に少数ではあるが「食事」、「休憩」等の分類も実態として示した。また図-5は各目的のアイドリング台及び台分集計の構成比(%)である.これより、

①「送迎」目的のアイドリング率は最も高く、85.9%である。この目的の駐車時間の平均は「停止」が 16.7 分,「継続」は 5.7 分であり、長時間の駐車では「停止」となる傾向がある。一般に「送迎」では、「送り」は降車のみであり短時間のアイドリング駐車となるが、「迎え」では待ち時間が長く「停止」となる割合が大きい。図ー5より全目的に占める「送迎」の台(数)割合は 26.2%であり、「配達」目的に準じる大きな割合を占める。平成 18 年より施行された民間監視員による違法駐車の確認は主に放置自動車が対象であり、ドライバーが乗車する長時間駐車は規制の対象となりにくい。このことは交通管理上の大きな問題である。

②「配達」目的でのアイドリング率は、43.1%であり平均54.1%より低い. 駐車時間は、「停止」及び「継続」ともに10分程度であり、効率的な路側占有である. しかし台分単位の構成比(図-5)は34%であり、路上駐車のアイドリングの大きな割合を占める.

③「業務」及び「私用」目的の駐車時間は、「停止」 12 分程度、「継続」 9 分前後と、ほぼ同様の値である。また台及び台分構成比(図-5)も大きな違いはなく、この 2 つの目的のアイドリン行動は同様の傾向を示すが、アイ

X : [17/7/7/001]E						
分類	構成	R.idle	A	v.t(分)		
	比(%)	(%)	「停止」	「継続」		
1. 業務	21.1	41.7	12.2	8.5		
2.配達 3.工事/	34.4 0.8	43.1 57.1	10.3 12.7	10.1 12.3		
作業 4.私用 5.送迎	17.2 16.5	48.5 85.9	12.1 16.7	9.0 5.7		
6.休憩 7.食事等 8.その他	7.0 0.1 2.9	72.4 25.0 83.3	12.7 20.0 11.3	8.8 6.0 6.9		
計	100	54.1	11.6	8.2		

表-4 目的別統計值

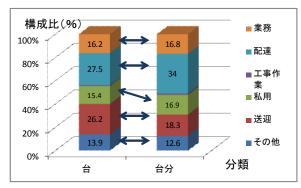


図-5 目的別アイドリング割合

ドリング率は「私用」のほうが 6.8%高い.

4)駐車時間長別アイドリング率

図ー6に駐車時間長別のアイドリング分類を示す.図の横軸は駐車時間長(分),縦軸はアイドリング分類の構成比(%)である.この集計では、車種を乗用車、RV車、商用車及びトラックの4つに限定し、アイドリング率の高いタクシーの影響は除いた.一般に駐車時間の長さとアイドリング率は負の相関が予想されるが、各駐車時間長でのアイドリング率は、「~5分」では61.8%、「~15分」では45.5%、「~30分」では45.6%、「~60分」では46.3%であり、5分~60分の駐車(破線楕円)でアイドリング率は45%前後とほぼ一定であることが分かった.さらに60分を超える駐車でもほぼ1/3がアイドリング状態(断続を含む)である.

また各駐車時間長毎のアイドリング時間を集計した数

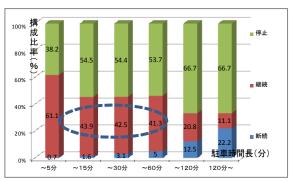


図-6 駐車時間長別アイドリング率

表-5 駐車時間長別のアイドリング台及び台分

時間長	-5	-15	-30	-60	60-	計	
【台単位】							
(n1)	881	376	118	56	11	1,442	
(n2)	61.1	26.1	8.2	3.9	0.8	100%	
 【台分単位】							
						11,522	
(m2)	16.9	30.2	21.8	21.2	5.0	100%	

値を表-5に示す.【台単位】の(n1)はアイドリングを継続(断続を含む)した台数(台)であり、(n2)はその構成比(%)である.【台分単位】の(m1)はアイドリングを継続した台分量、(m2)はその構成比(%)である.これより台単位で 61.1%を占める「~5分」の駐車の台分集計値が 16.9%であるのに対し、台単位で 26.1%の「~15分」の台分集計値は 30.2%、さらに「~30」~「~60分」のそれが計 43.0%であり、少数の長時間駐車によるアイドリング時間の量が指摘できる.

5. 駐車特性とアイドリング率の分散分析

表-6と図-7に車種別駐車時間長別アイドリング率を示す.この集計では、「断続」は除いた.車種分類の乗用車系は乗用車とRVである.これより、

①タクシーのアイドリング率の平均は 94.5 %であり, 駐車時間にかかわらず高い. 60 分を超える駐車でもアイドリング率は 75%である.

②乗用車系のアイドリング率の平均は 61.1%, 商用車では 47.4%, トラックでは 40.9%であり、人の運送の用に

表-6 車種別アイドリング率(%)
-----------------	----

分類	-5	-15	-30	-60	60-	平均
乗用車系	68.7	51.5	49.3	52.9	23.5	61.1
商用車	53.0	44.1	33.3	33.3	0	47.4
トラック	48.6	34.1	39.0	25.9	20.0	40.9
タクシー	95.7	91.4	95.2	94.6	75.0	94.5
平均	66.7	52.0	56.7	55.9	28.1	61.7

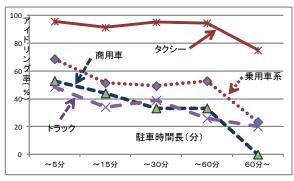


図-7 車種別アイドリング率(%)

表-7 分散分析表(*5%有意, **1%有意)

変動因	平方和	自由度	分散	分散比	
時間差 車種差 誤 差 全 体	5,339.9 8,566.7 1,065.1 14,971.7	4 3 12	1,335.0 2,855.6 88.8	15.0** 32.2**	

供する自動車のアイドリング率が貨物のそれより高い傾向がある.

③乗用車系,商用車及びトラックのアイドリング率は,駐車時間の増加に伴い減少するが,乗用車では 5 分~60 分の時間帯でアイドリング率はほぼ一定である. 一方トラックでは,「~15 分」より「~30 分」のアイドリング率が4.9%高い.

ここで、車種と駐車時間長によるアイドリング率の違い について、二元配置の分散分析結果を**表-7**に示す. これより.

④時間差と車種差のアイドリング率の違いが 1%で有意となった.これよりアイドリング率の説明変数として駐車時間と車種分類は有意であることが分かる.

6. まとめ

路上駐車に伴うアイドリング行動について,本論文の 研究成果を以下に示す.

(1)交通と環境(低炭素社会)に関わる研究は、関係法が公布された 1990 年前後に始まり、居住形態と交通機関利用、個別交通手段と大量交通機関の分担等いくつかの分野で成果を得ているが、路上駐車のアイドリングに関する事例はほとんどない.

(2)統計的分析より明らかになった路上駐車のアイドリング行動は,

①路上駐車のアイドリング率は台単位で 63.5%であり, ほぼ 3 台に 2 台がアイドリングを伴う駐車である。また 台分単位では 53.7%がアイドリングを継続する駐車であ り,路上駐車総時間の半分以上がアイドリングを伴う駐 車となっている。

②アイドリング駐車全体に占める 5 分未満の停車の割合は 62.1%である. これらの路上駐車は法的には排除できないが、台分単位での割合は 14.6%であり多くはない. またこの 5 分以下の停車でも 29.0%はアイドリングを停止しており、啓発活動等によりこの割合を増加させる余地はあろう.

③車種別のアイドリング特性では、タクシーのアイドリング率が 94.4%と高い. 客の乗降に伴う短時間駐車ではやむを得ないが、30分~60分程度の客待ち駐車でもアイドリング率は減少しない. またトラックのアイドリング率は車種分類中最も小さく、42.0%であり、特に事業用自動車のアイドリング率が小さいことが分かった.

④目的別のアイドリング率では、「送迎」のアイドリング率が 85.9%と高い、この目的のアイドリング継続時間の平均値は 5.7 分と長くはないが、アイドリング駐車(台単位)全体に占める割合は 26.2%であり、総量としては大きな値となる、「配達」目的のアイドリング率は全目的平均より 11.0%低い、荷捌き駐車は路上駐車の中で特に問題視されてきたが、環境対策では業界として自助努

力を行っている.「業務」及び「私用」は、アイドリング率やアイドリング時間が全体の平均値に近い.この2つの目的は全体に占める割合が大きくアイドリング行動の改善の効果は大きいが、トラック協会のような上部組織がなく規制・指導の方法が難しい.

- ⑤アイドリングの駐車時間分布では, 駐車時間 5 分~60 分のアイドリング率が 45.5%~46.3%とほぼ一定であり, 長時間駐車のアイドリング率が高い.
- (3)分散分析及び平均値の差に関する t 検定からは, 車種, 目的, 荷扱い量, 用務先までの距離, 放置・非放置の要因が, アイドリング率の説明変数として有意である.

路上駐車に伴うアイドリングは最も不要不急の燃料消費であるが、個々人にとってはその費用は実感しにくい、またそれが業務に伴う事業所等の負担であればなおである。道路交通法による駐車規制では、平成18年より民間の監視員による規制の強化が進められてきたが、これは放置自動車を対象としており、非放置の長時間駐車は排除できない。これは道路交通法による路上駐車管理の限界である。CO2の排出削減を国家的施策するならば、駐車に伴うアイドリングについても規制指導が必要であろう。

参考文献

- 1) 堂柿栄輔:路上駐車によるアイドリングの燃料消費量の推定,土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2009.3,土木学会西部支部
- 2) 堂柿栄輔, 梶田佳孝, 井上信昭: 路上駐車のアイドリング現象に関する調査研究, 土木学会西部支部研究 発表会講演概要集, 2012.3, 土木学会西部支部
- 3) 中道久美子, 村尾俊道, 義浦慶子, 谷口守: 転居前後の自動車利用変化とそれによる CO₂ 排出量削減のための意識啓発を考慮した都市コンパクト化施策の検討, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67 (2011), No.3, 300-310, 土木学会
- 4) 太田裕之,藤井聡:環境配慮行動における客観的 CO₂ 排出削減量事実情報提供の効果に関する実験研究, 土木学会論文集 G, Vol. 63(2007), No.2, 159-167,土木学会
- 5)工藤祐輝, 松橋啓介, 森口祐一, 近藤美則, 小林伸治:ガソリン乗用車の実燃費マクロ推計式の構築, 土木学会論文集 No.793/IV-63, 28-41, 2005.7, 土木学会
- 6)谷口守,橋本成仁,氏原岳人,安立光陽:低炭素社会に向けた個人の運転量半減化プランの構成分析,土木計画学研究・論文集27,No.3,431-436,2010.9,土木学会
- 7)鈴木崇正,室町泰徳:定期民間航空による CO₂ 排出量の現状と将来予測に関する基礎的研究, 土木計画

- 学研究·論文集 26, No.3, 490-497, 2009.9, 土木 学会
- 8) 大城温・松下雅行・並河良治: 将来の自動車排出ガス規制による大気質改善効果の予測, 土木計画学研究・論文集 22, No.2, 277-282, 2005.9, 土木学会
- 9) 中川大・村田洋介・青山吉隆・松中亮治: 算出方法 に着目した自動車交通部門における CO₂ 排出量の比 較分析, 土木計画学研究・論文集 21, No.2, 277-282, 2004.9, 土木学会
- 10) 平島浩一郎・古屋秀樹・河嶋弘尚:自動車排出ガス 量低減のための車両巡回計画問題に関する研究,土 木計画学研究・論文集 19, No.2, 275-282, 2002.9,土木学会
- 11) 宮田譲・佐藤浩樹: 二酸化炭素排出問題の動学一般均衡分析, 土木計画学研究・論文集 16, 431-442, 1999.9, 土木学会
- 12)鳴井聡・中村隆司・岩崎征人:家庭のガソリン消費と都市の形態に関する研究,土木計画学研究・論文集15,267-274,1998.9,土木学会
- 13) 伊藤雅・石田東生:ガソリン消費量モデルによる乗用車利用の地域・時系列特性の把握, 土木計画学研究・論文集13,525-534,1996.9,土木学会
- 14) 林良嗣・加藤博和・木本仁・菅原敏文: 都市旅客交通のモーダル・シフト政策に伴う CO₂ 排出量の削減効果の推計, 土木計画学研究・論文集 12, 277-282, 1995.8, 土木学会
- 15) 松橋啓介・米沢健一: 地域の旅行速度が乗用車からの CO₂ 排出量に与える中期的影響に関する研究,都市計画報告集 No8 . 64-69 , 2010.4 ,都市計画学会
- 16) 松本幸生: 公共交通利便性に着目したガソリン価格が交通行動・運転行動に及ぼす影響分析, 都市計画論文集 Vol.43-3. 523-528, 2009.10, 都市計画学会
- 17) 藤原章正・岡村敏之: 広島都市圏における都市形態が運輸エネルギー消費量に及ぼす影響, 都市計画論文集 37.151-156, 2002.10, 都市計画学会
- 18) 新田保次: 黄靖薫: 二酸化炭素排出量とアクセシビリティからみた自動車重視型道路配置地区の評価, 都市計画論文集 36. 547-552, 2001.10, 都市計画学会
- 19) 森本章倫・古池弘隆: 都市構造が運輸エネルギー に及ぼす影響に関する研究, 都市計画論文集 33. 685-691, 1998.10, 都市計画学会
- 20) 鄧英平・高田邦道・岐美宗: 都市内物流の削減と円 滑化のための共同物流デポ計画 - 特に、二酸化炭素 排出の少ない交通体系の形成の観点から-, 都市計 画論文集 29.67-72, 1994.10, 都市計画学会

地域観光政策と地域主導型観光に関する基礎的研究

ー沖縄県北部地域の観光ガイドブック作成事業を事例としてー

名桜大学大学院国際文化研究科 〇孫 迎迎* 沖縄会会員 名桜大学 大谷 健太郎**

1 はじめに

沖縄観光はリピーター比率が高く、近年では北部観光や離島観光が注目されており、リピーターを惹きつけるためには地元の生活に根付く「本物」の文化や開発レベルが低いありのままの自然を観光対象化して認知度を高める必要があると考えられる。沖縄県北部には認知度が高く顕在化された観光資源が多くあるが、潜在的な観光資源も存在し、北部地域の観光では、海洋博公園に所在する美ら海水族館や今帰仁城跡からの観光客を各地に立ち寄りまたは滞在させることが重要課題の一つと認識されている。

このように、沖縄観光に関する従来からの指摘として、沖縄観光における高リピート率、北部地域における観光資源の通過性、北部地域の認知度向上の必要性などをあげることができる。認知度を向上させて来訪を促進する方法としては、直接的なプロモーション活動に加えてインターネットや口コミ、雑誌、さらにパブリシティの活用などが一般的であろう。その観光事業の主体は民間となるが、観光地としては公的組織によるビジョン設定や主導体制が重要となる。地域固有の魅力発信という観点からは、市町村における外国人観光客を含む誘客戦略の構築や条件整備、基盤整備、観光案内ウェブページの充実化と多言語化等考えられが、国や県、市町村単位での役割を改めて再考し、市町村が主導する地域観光政策の役割を明示する必要がある。

したがって、本研究では沖縄県北部地域を事例とし、市町村を含む広域レベルの地域観光政策を考察する。地域における観光振興と地域主導の観光に関する基礎的理論を踏まえ、事例として大谷他(2014)による産官学連携の「沖縄県北部やんばる観光ガイドブック」調査研究を取り上げ、地域主導の観光資源の魅力発信方法および沖縄県北部地域における観光振興のひとつの方法を考察する。

2 背景

平成 26 年 10 月現在,沖縄観光における入域観光客数の推移をみると,平成 20 年度で約 593 万人に達したが,平成 21 年度においては世界的な経済不況などの影響を受け入域観光客数は約 569 万人と減少に転じた。東日本大震災の影響で平成 23 年度の入域客数は約 553 万人まで落ち込んだが,平成 24 年度には約 592 万人となった。平成 25 年度の観光客数は、658 万 300 人で過去最高となり、対前年度比 65 万 5600 人増、11.1%の増となった(沖縄県(2014))。

一方、『沖縄県観光振興基本計画』における北部圏域の展開基本方向は表1のようにまとめられる。

表1 北部圏域における展開の基本方向

体験・参加型観光の取り組み	滞在型観光や海洋レジャーなどの取組を促進する
リゾート施設と万国津梁館の活用	各地域や関係機関と連携した取り組みを促進する
多様な周遊ルート開発を促進する	研究教育機関と連携した取り組みを推進する
観光イメージや地域の魅力向上を図る	本部港岸壁の整備を推進する

出所:沖縄県(2012)

キーワード:地域観光政策、沖縄県北部地域、観光ガイドブック

^{*} 連絡先:〒905-8585 沖縄県名護市為又 1220-1 E-Mail:sunyingying8898@gmail.com

^{**} 連絡先: 〒905-8585 沖縄県名護市為又 1220-1 E-Mail: otani@meio-u.ac.jp

3 着地型観光と地域主導型観光

3.1 着地型観光の考え方

近年、広く認知されている着地型観光の概念であるが、尾家・金井(2008)、山村(2011)、海津(2011) およびJTB総合研究所観光用語集などを引用しつつ、大谷他(2014)と同様に地域と観光を考察する基本 概念として簡潔な概念説明を行う。

旅行形態には複数の観光地を広範囲に移動することで宿泊地を変える周遊型観光と、その環境下でしか得られない余暇活動を求めて行なわれる目的型観光がある(JTB 観光用語集)。従来の周遊型観光ではリピーターは満足できないことが考えられ、リピーターのニーズ対策や今後の発展のための手段として、新たな観光資源の活用方策が求められている。地域はそのニーズに柔軟に対応し、地域主導による集客型ビジネスの「着地型観光」に力を入れていく必要がある。すなわち、着地型観光とは、観光客や旅行者を受け入れる地域が主体となり『観光資源を生かして発掘、プログラム化し、旅行商品としてマーケットへ発信・集客を行う観光事業の一連の取り組み』(尾家・金井(2008))であり、観光地を拠点とした集客型ビジネスのことであり、ビジネスを地域振興に結びつけていくという考え方が強い。着地型に対する発地型観光とは、都市部の旅行会社が実施する従来の送客型ビジネスであり、観光地を拠点とした集客型ビジネスの着地型観光は旅行者を呼び込み、地元で消費してもらえるという利点がある。インターネットによる情報入手の容易化は直接的な情報発信を加速させ、着地型観光は飛躍的に増加した。今まで観光地向けではないと思われていた地域が観光の目的地になるようになったことで、発地の旅行会社が取り上げなかった地域・知名度の低い潜在的な地域も観光対象となったのである。

海津(2011)でも強調されているが、潜在的な地域資源の発掘と観光資源化は市場対応が難しい分、着地型観光は商品化と PR の強化が重要で、ロコミの宣伝効果によってさらなる観光客を呼び込むことができる。このように着地型観光は、リピーター増加にあたって周遊型観光から目的型観光へと変化した旅行形態に、圏域内における周遊型かつ目的型観光を確立することができるのである。

3.2 地域主導型観光

来訪者に対して画一的な対応を担ってきた多くの観光地において、新たな集客の手法と体制づくりが求められている。また旅行会社の視点からみると、到着地の人と組織が中心となって商品を組み立て来訪者の受入を担う形態への転換、新たな体制づくりに取り組みはじめている。現代の旅人は、地域の歴史や文化が体感できる深い体験や新鮮な感動を求めるようになり、旅の形態は「地域主導観光」が求められるようになった(原田(2014))。

原田(2014)は、コンテクストツーリズムという観点から地域主導のビジネスモデルを提唱している。 着地型観光や「ニューツーリズム」を、以前から旅行および観光の目的の中心である体験や行為を主に旅 行代理店という観光産業から捉える視点とし、その対比として地域起点の地域ツーリズムを考察している。

3.3 地域主導型観光と地域観光政策の基本的考え方

原田(2014)や大社(2013)が主張する「地域ビジネス」を円滑に発展させることが地域観光政策の役割の一つであるということに疑いの余地はない。ただ、原点として「地域起点」という要素があり、地域主体の組織やビジネスの成立を前提としている。地域主導の観光政策の基本的考え方としては寺崎(2008)の記述をあげることができる。寺崎(2009)では、観光振興基本計画を策定していない地域は多いと指摘されている。地域における観光振興の目的と目標、そして基本的な戦略・戦術を計画として明示した、そして観光まちづくりに要する時間から考えて10年程の長期期間とする観光基本計画を、行政、民間団体・事業者、そして住民等の協働により策定することが必要であると述べている。

一方、地域おける外国人観光客誘致に関する調査研究では、地域主導型観光の必要性を指摘した文脈が

多くみられる。たとえば、野方(2011)では伊豆地域を事例に、外国人観光客の受入に関する地域の現状から課題を指摘し、鈴木、石井、定平(2009)の研究では、川越市「観光ルネサンス事業」の事例を通じて、外国人観光向けのプロモーションを有効に行い、ITを中心とした広報戦略を活用して外国人の誘客を分析している。これらの研究は、地域における外国人観光客受け入れの課題や情報提供や誘客戦略に関する調査研究であるが、地域主導の観光政策の必要性を提示している。FIT (Foreign Independent Tourist)をキーワードに、小林(2013)では地域全体の「パイ」拡大を重要視する日本型DMO(Destination Marketing Organization)の具体的活動について言及している。FITをを呼び込むためのクラスター構成を分析すると、宿泊事業者や立寄観光施設、自然資源・温泉およびホスピタリティなどが地域の役割であることを指摘し、細野(2013)の研究でも着地型観光における観光情報提供の重要性に関して論じられている。

ここまで、地域主導型観光の考え方を簡潔に概観してきたが、市町村単位または広域における観光政策の役割に関しては地域主体の組織化および地域起点の魅力発信が重要となる。本研究では、この二点に着目した観光事業を沖縄県北部地域の事例を用いて考察する。

4 事例研究としての「やんばる観光ガイドブック」作成事業

4.1 事業の背景と目的

北部広域市町村圏事務組合による「やんばる観光ガイドブック事業」は、平成22年度から平成23年度の「ふるさと市町村圏基金事業」を活用して実施された。事業の詳細は大谷他(2014)の調査報告に譲り、本研究では地域主導型観光の実践に該当する部分のみ取り上げたい。

沖縄観光においては、レンタカー利用の増加、旅行ニーズの多様化、行動範囲の拡大などに対応して、 広域的に連携した整合性のとれた広域観光行政、観光施策の展開が必要になっている。そこで、国内外に おける観光地間競争が進む中、北部 12 市町村の連携により、観光資源を相互に結びつけ、個々の資源の魅力を相乗させ訴求力を高めていく必要がある。その方法のひとつが北部 12 市町村を網羅した「やんばる観光ガイドブック」の制作であり、平成 12 年度に発刊されたガイドブックが 10 年を経過し、内容を発展的に更新しなければならない。圏域内における周遊型の観光を確立し地域全体を目的型の観光化に発展させることで圏域全体の経済波及効果を高め、地域活性化に繋げることを目的としている。

事業を進める編集委員の構成は、北部地域 12 市町村の観光担当者 12 名、北部広域市町村圏事務組合から 2 名、特別編集委員(名桜大学国際学群観光産業専攻)1 名の計15 名で、事業委託として制作担当となった地域振興を中心とする NPO 法人の 2 名を加えた17 名で編集会議が行われることになった。前提として、国および県が取り組む観光政策の方針を整理し、市町村側からは各行政単位で策定された観光基本計画や観光政策をもとに取り組まれている観光施策についての方向性も確認した。

制作担当のNPO法人を中心として事務局と市町村担当者の調整会議を設定し、地域資源に関する市町村からの意向と要望確認、既存ガイドブックとの差別化を意識した地域資源の抽出、テーマおよびコースの決定を行うことで編集会議に諮っていく流れとなった。

4.2 公共主体による観光ガイドブックの特徴と産官学連携

観光に関するガイドブックを制作する主体は、民間と公共の二つに大別することができる。ガイドブックの制作主体が民間の場合、主に広告や事業者からの出資によって製作され、主体が公共の場合は、広告や特定事業者からの出資に依存しない性質を持つことが考えられる。この両主体にはそれぞれの特徴や強みがあるので、ガイドブックの制作目的によって主体を選定すれば良いのである。

公共ガイドブックは地域が主体となり、発信したい情報には地域からの要望と意向を強く反映することが可能であり、広告や事業者等の意向に左右されず、スポンサー収入に依存することなく観光資源の情報

を発信・紹介することができる。一方、利用者側のニーズや動向などへの対応の課題がしばしば指摘され、 地域からの一方的な情報発信に留まる可能性もある。すなわち、公共主体で制作されるガイドブックは地 域の意向を反映しつつ利用者のニーズにも配慮しなければならない。その際に、地域の代表で公共主体の 「官」、地域の大学は研究機関であり「シンクタンク」的役割を果たす「学」、そして利用者の視点や産業 的な理論を持つ「産」が連携することで、公共と民間という両主体の強みを発揮することが可能となる。

ただし、その公共と民間の連携の度合いには結びつきが緩やかなものから公共から民間への委託形式まで、ガイドブック制作の目的によって様々なレベルがある¹。本調査で扱う観光ガイドブックは公共主体であるので、民間の制作事業者と地域の大学がコンサルティングを行うことで産官学連携の観光ガイドブック制作事業に発展させることができる。平成23年度「やんばる観光ガイドブック事業」の改訂では、地元である名桜大学生による観光資源紹介ページなどを記載し、あくまで「地元目線」に特化した形での観光地を紹介することが可能で、民間のガイドブックとは性質を異にしているといえるであろう。

4.3 産官学連携による観光ガイドブック作成事業の意義と地域貢献

平成23年度の「やんばる観光ガイドブック事業」は当初、前年度に完成したガイドブックの情報更新と増刷が主目的であり、そのための小額の予算が組まれていたが、産官学の連携をより高めて「学」にあたる名桜大学観光産業専攻の関わりを強化し、情報更新に加えて学生が参加する企画が検討された。具体的には、平成23年度の事業に「地域の大学生という若者からの情報発信」というひとつの方針を加え、名桜大学の国際学群観光産業専攻の学生が協力して事業を行うこととなった。その協力方法には様々なものが考えられるが、「地元目線」で「学生目線」という単純な方向性を設定し、学生自らが地域の観光資源を調査して評価することで資源の魅力をガイドブックにて紹介する方法を採用した。このため、低額な予算のまま実行も可能になり、教育的効果と地域をフィールドにした活動による貢献を期待できるものとなった。まず、名桜大学国際学群の観光産業専攻専門演習(大谷ゼミ)において観光振興に関するフィールドワークを実施し、資源の魅力分析と情報発信のあり方について調査を行った。平成23年度版やんばる観光ガイドブックを作成するにあたり、北部12市町村の「やんばる南エリア、半島エリア、大やんばるエリア、離島エリア」の四つのエリアから観光資源を抽出し、第一段階として学生から魅力的と感じる資源を選択してもらった。その後、実際の観光地にて実地調査を行い、あくまで主観的ではあるが、ゼミの学生それぞれが観光スポットを評価し、観光資源としての魅力度を測定した。その魅力度に関してゼミ内で議論し、写真と紹介文という構成で原稿を作成した。

4.4 簡易的効果検証および課題抽出

やんばる観光ガイドブックは平成24年3月に改訂および増刷され、年間1万5千部配布されている。主な配布先は、北部広域市町村圏事務組合、道の駅許田、北部9市町村観光担当課窓口、中部広域圏事務組合、県外では東京の地域活性化センターとなっている。そこで、改訂および増刷を終えた平成24年度末に、詳細なマーケティング分析や経済効果の把握などは実施できないが、本事業の課題を抽出して今後の発展可能性に繋げるために効果検証として学生主体の利用者アンケート調査を行った。

公共主体のガイドブックの効果検証は、期間や精度に前提はあるが、1 社のレンタカー会社と道の駅許田の協力を仰ぎ、北部広域圏事務組合と共同で利用者アンケートを実施した。ガイドブックの形態や配布場所、部数などを検討して改善し、北部地域の観光効果を高め、地域振興につなげることが目的である。調査形式は、観光客の出発時にやんばる観光ガイドブックを渡し、レンタカー返却の際にアンケート票を回

¹ 代表的な事業には、国頭村と大宜味村、東村という沖縄県北部地域の三村と株式会社 JTB 沖縄が連携し、沖縄振興特別推進交付金事業(一括交付金)を活用した「やんばる地域情報発信事業」がある。

収するという、実際の利用者を対象としたモニター調査形式となる。モニター調査には OTS レンタカーに協力してもらい、観光客・レンタカー利用者を対象に平成 25 年 1 月 28 日から 2 月 15 日までの約 3 週間でアンケート調査を実施した。レンタカー受付時に配布し、旅程を追えたレンタカー返却時に回収する利用者モニター調査形式であったため、回収数は約 3 週間で 70 票に留まることになった。

ここでは、主にやんばる観光ガイドブックの評価と改善に関わる設問の結果を抜粋して考察することに する (図 1) 2 。

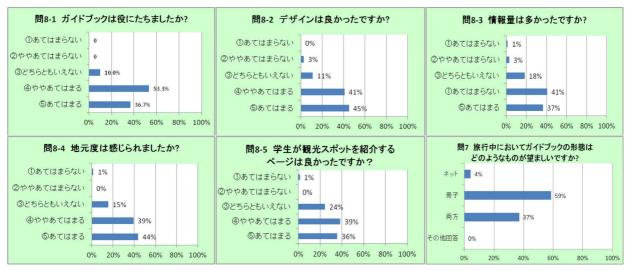


図1 ガイドブックに関する簡易アンケート結果

ガイドブックの利用に関する回答では、地元度や情報量などに関して肯定的評価が70%から80%となり、 おおむねの評価を得たと判断できるであろう。また、旅行中の情報やガイドブックの形態に関する回答で は、冊子としてのガイドブックの需要も一定程度はあるという結果が得られた3。

今回の利用者アンケートから、予算使用の費用と事業効果を客観的に評価する費用便益分析は困難であるが、利用者の主観的評価と改善点を参考として総合的な評価を行うことは可能であろう。また、上記に加えて事業者からは「QR コードやレンタカー対応のマップコードも有効」という意見をいただき、英語表記や中国語表記などの多言語化も大きな改善点となろう。冊子形態のガイドブックの一定需要を踏まえて、情報の分かりやすさと特徴、地域住民や学生などが関わり地元度を高めることができれば、今後も地域に特化した公共主体のガイドブックが、より効果的な媒体に発展する可能性があるといえるであろう。

5 おわりに 一まとめと今後の展開一

大社(2013)や原田(2014)は、従来の着地型観光や地域ツーリズムを批判的に捉え、地域主体のマーケティングや組織化の重要性を改めて指摘した。従来の地域観光政策の限界と疑問から、観光まちづくりのプラットフォームと日本版 DMO の位置づけに関しては長年指摘されていることである。

上記の考え方をもとに、本研究では沖縄県北部地域を事例として取り上げたが、今後は地域主導型観光の概念や考え方の実践的考察がより一層重要になる。大社 (2013) の地域主導型観光の概念から考えると、地域全体の観光振興の方向性を定める政策と実施主体である行政、民間、研究機関の連携を主導する組織

² 回答者属性では30代と40代がもっとも多く、回収数のうち観光目的が85%、5%は沖縄県内の在住者であり、北部地域を訪れた経験では1~4回で約56%、ガイドブックを利用して実際に北部を訪れた割合が約70%であった。本調査研究にまとめるアンケート結果は、あくまでこのような属性に基づいての結果であることに留意されたい。

³ JTB 広報室(2011)の調査では、情報入手源は圧倒的にインターネットであるがガイドブックは冊子が好まれる傾向が示されている。 しかし、高橋(2012)でも指摘されているようにガイドブックの入手は出発前が多く、配布に関する課題と捉えることができる。

の再構築が必要である。沖縄県北部地域には北部広域市町村事務組合が存在し、地域観光政策の立案と事業全体をコーディネートする役割を担う組織として捉えることができる。

地域観光の重要なクラスターである旅行会社は、民間から公的まで地域の様々な観光情報媒体を取りまとめ、観光者のニーズに合わせた電子ガイドブックを作成する事業に取り組むなど、集客や観光情報の発信に関して重要な位置づけにあることに変わりはない。また、平成26年度現在、国土交通省が主導する北部広域市町村圏事務組合の「やんばる観光連携推進事業」が継続して実施され、今後の外国人観光客誘致や地域主導の観光を発展させるため、地域の観光における産官学連携事業のさらなる発展が期待される。本稿の事例である「やんばる観光ガイドブック」はあくまで地域主導型観光事業の一例であるが、地域観光政策と地域の観光事業のあり方を今後も実践的に研究していきたい。

謝辞

本稿で扱った事例は大谷他(2014)をもとにしており、北部広域市町村圏事務組合による「やんばる観光ガイドブック制作事業」の活動を整理してまとめたものである。作成主体である北部広域市町村圏事務組合および北部 12 市町村、NPO 法人HICO(北部地域 IT まちづくり協働機構)、名桜大学国際学群観光産業専攻大谷ゼミの学生、大学院の学生など、この場を拝借して、あらためて各関係機関に感謝を申し上げます。

引用文献

原田保(2014)「「ニューツーリズム」と「地域ツーリズム」のコンテクスト転換ー「ツアー概念」から「トラベル概念」への "原点回帰"ー」、地域デザイン学会編『地域経済と観光ビジネス(地域デザイン学会誌「地域デザイン」第 3 号)』第 1 章 (論文 1)、pp.23-55、芙蓉書房出版

北部広域市町村圏事務組合(2012)『やんばる観光ガイドブック』

細野昌和(2013)「外国人旅行者への着地型観光情報提供の課題」、大藪多可志、中島恵、大江靖雄、細野昌和(2013)『観光と地域振興』第9章、pp.179-211、海文堂

JTB パブリッシング (2013) 『るるぶ やんばる沖縄北部』 るるぶ情報版

海津ゆりえ (2011) 「地域主導型観光・コミュニティがホスト役・」、山下編『観光学キーワード』77、pp.164·165

小林賢弘(2013)「FIT を見据えた地域活性化の可能性—日本型 DMO による「マーケティング」と「観光品質の向上」に向けて一」『観光文化』第 219 号、pp.11-15、公益財団法人日本交通公社

国頭村・大宜味村・東村 (2013) 『やんばる地域情報発信事業概要』

野方広 (2011) 『外国人観光客の動向と課題: 伊豆地域の事例を中心に』静岡大学経済研究 16(4)、pp.115-132

尾家建生・金井萬造 (2008) 『これでわかる!着地型観光-地域が主役のツーリズム-』学芸出版社

沖縄県(2012)『沖縄県観光振興基本計画(第5次)』

沖縄県(2014)『平成 25 年度入域観光客統計概況』

大社充(2013)『地域プラットフォームによる観光まちづくりーマーケティングの導入と推進体制のマネジメント』学芸出版社 大谷健太郎・比嘉和志・嘉手苅健・末吉司・石原輝久・新垣しおり・喜舎場千晶・七夕佳奈・孫迎迎(2014)「産学官連携に よる観光ガイドブック制作事業とその評価ー「やんばる観光ガイドブック」における地域貢献と教育的取り組みー」『名桜大 学紀要』第19号、pp.179·187

鈴木常恭・石井満・定平誠『観光プロモーションによる地域活性計画―川越観光ルネサンス事業を事例に―』尚美学園大学芸術情報研究、第15号、pp.43-52

高橋一夫 (2012)『観光のマーケティング・マネジメント〜ケースで学ぶ観光マーケティングの理論〜』JTB 能力開発 寺前秀一 (2009)『観光政策論』観光学全集第9巻、原書房

山村高淑 (2011)「まちづくり手法としてのツーリズムー「交流」の意味を考える一」、山下編『観光学キーワード』69、pp.148-149 山下晋司編 (2011) 『観光学キーワード』 有斐閣

参考サイト (平成26年10月14日閲覧)

JTB 広報室(2011)「旅先でのガイドブック利用に関するアンケート調査」『JTB Web アンケート調査結果』、Vol.64 http://www.jtb.co.jp/myjtb/tabiq/pdf/20111118.pdf

JTB 総合研究所 観光用語集 http://www.tourism.jp/

竹富南航路の整備における 環境配慮の取組について

久場 良也1

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

八重山諸島に位置するサンゴ礁海域(石西礁湖)内において、開発保全航路として約2.5kmを供用している。竹富南航路について、約52kmの延伸が平成23年7月に政令指定され、現在整備を進めている。

竹富南航路整備を行う石西礁湖は、日本国内最大のサンゴ礁の海域であり、定期船舶ダイビング、水中観光船、漁業活動等の多様な利用がなされている海域であり地域経済に果たしている役割も大きい海域であることから、サンゴの移設、環境対策には、十分配慮した整備事業を実施しているとともに、取組の周知を図っています。

キーワード 竹富南航路、開発保全航路、石西礁湖

1. はじめに

竹富南航路は、沖縄本島から約400km 南西にある八重山諸島に位置するサンゴ礁海域(石西礁湖)の狭水路となっており、石垣島から各周辺離島に通ずる最短コースとして以前より利用されてきた。しかしながら、以前は水深が浅く、幅が狭い為、満潮時のみ船舶の航行が利用可能で、大半は遠距離となる迂回路を利用している状況であった。

昭和 49 年の開発保全航路の政令指定を受け、本格的 に浚渫工事による航路整備を実施し、昭和 56 年度から延 長約 2.5 kmの供用を開始した。

竹富南航路の整備により、離島間の航行については、 大幅な時間短縮や安定運行が可能となったが、浚渫を行った区間以外の石西礁湖内は依然としてサンゴ礁海域特 有の浅瀬や暗礁が多く点在する複雑な海域となっている。

このため、船舶の運行時間は、浅瀬や暗礁を海面上から目視で確認できる昼間に限定され、様子が分からない 夜間や早朝・夕方、強雨等の荒天時は危険であることから、航行できない海域となっている。

こうした状況をうけ、八重山諸島間を結ぶ地域住民の 生活航路における船舶の安全性を確保するため、新たに 約52kmの延伸が平成23年7月に政令指定された。

竹富南航路延伸整備を行う石西礁湖は、日本国内はもとより世界的にも有数のサンゴ礁海域であり、定期船舶、漁業、観光といった多種多様な海域利用がなされており、さらに浅海域が大部分を占めるという特殊な海域であることから、環境対策には十分配慮しながら整備を行う必要がある。

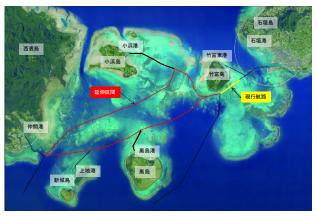


図-1 竹富南航路延伸整備計画図

2. 工事前の取組について

(1) サンゴ移設

竹富南航路は、ルート選定において、極力自然環境に 配慮しているが、一部のサンゴについては、航路浚渫区 域上に存在してしまう。このような工事の影響を受ける サンゴについては、なるべく移設元から近場で現状の状態に近い環境を探し、サンゴのストレスを軽減すべく移 設した。

石垣港湾事務所にて実施しているサンゴの移設方法 は、「群体移設」と「群集移設」の2工法である。

• 群体移設

岩盤等に固着しているサンゴを、ノミとハンマーを使用して採取し、移設適地に運搬後、水中ボンドにて岩盤に接着する。1つ1つの移設となることから個で表示。

• 群集移設

海底の砂礫等に散乱しているサンゴをカゴに集約し

移設適地に運搬後、海底面に並べる。お互いのサンゴ同士が絡み合い、面的に群集が安定する。面的に表示することから㎡で表示。



図-2 サンゴ移設実績

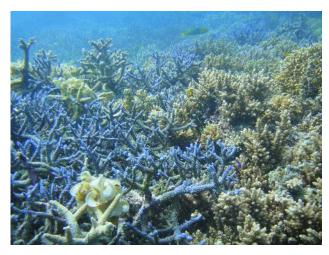


写真-1 平成23年度に移設したサンゴの状況

新たな取組として、石垣港湾事務所と環境省那覇自然環境事務所が連携し、航路の浚渫に伴い移設するサンゴをサンゴの群集の修復にも寄与する場所に移設した。また、移設したサンゴの成長促進を図るためサンゴを試験的に千鳥格子状に配置した。

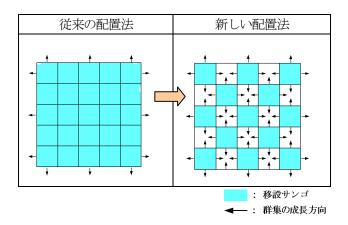


図-3 新たな配置法と群集の成長方向移設図

(2) サンゴモニタリング

移設後は、移設サンゴのみではなく、魚類や生物類等 の自然環境の変化について経過を観測している

また、観察結果は有識者へ報告し、助言を頂きながら実施している。

以下に代表地点(移設先 2-5)のモニタリング結果を 記載する。

図-4・5・6の各項目において、移設前よりも高い数値となっており、サンゴの被度についても移設直後より若干の増加となっている。

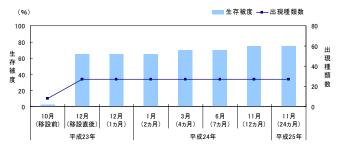


図-4 移設サンゴ群集の生存被度と種類数



図-5 魚類の出現種類数と総個体数

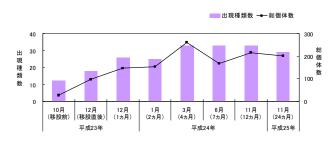


図-6 大型底生生物の出現種類数と総個体数

3. 工事中の取組について

(1) 浚渫工事

浚渫工事の環境対策については、周辺海域での漁業やもずく養殖業が盛んに営まれていることから、工事による濁り等の影響が無いように細心の対策を講じる必要がある。

具体的には、①浚渫工事での汚濁防止枠の設置、②浚渫 区域に汚濁防止膜の設置、③汚濁防止枠内での濁水処理 対策として沈殿処理システムを採用している。

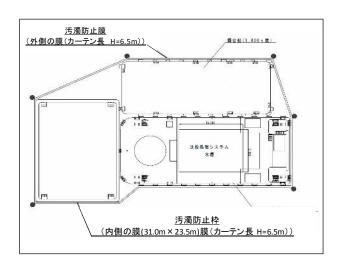


図-7 汚濁防止対策配置図

① 汚濁防止枠による対策

浚汚濁防止枠は、浚渫作業で生じる濁水を枠内にとどめるため、不陸によって生じる隙間からの濁水の漏洩を防止するため汚濁防止膜に不陸対策シートを取付けるとともに、膜と不陸対策シートをラップさせることにより不陸物との摩耗対策を行っている。

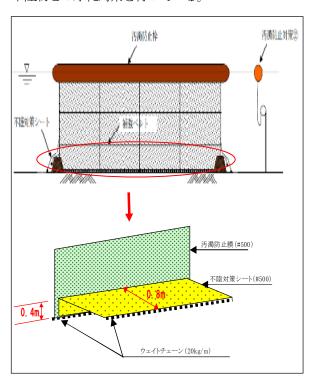


図-8 汚濁防止枠仕様図

②汚濁防止膜による対策

汚濁防止膜は船団全体を巻き込むことで、船団周辺で 生じる濁水の流出を防止する。

膜の下端には 50kg/m のウエイトチェーンを設置し、 潮流による浮き上がりを防止した。



写真-2 汚濁防止膜仕様

また、中間フロートを設けることで、潮位に追随し、かつ海底に接触することを防ぎ、膜の損傷を防止している。

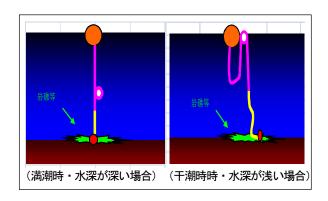


図-9 潮位差による損傷対策図

③沈殿処理システムによる対策

濁水処理として凝集剤を使った工法を行っている。 水中ポンプで揚水した濁水を作業船 (クレーン付台船) 水槽注水時に凝集剤を添加し、浮泥沈降後に上水のみ汚 濁防止枠内に戻す対策である。



写真-3 濁水システム水槽

新たな取組として土砂の汚濁防止枠の濁りが収束した段階で、枠の端部に積った土砂を水中ポンプで吸い上げた。

このため汚濁防止枠の巻上げ時(移動時)に、枠沿いに沈降した土粒子の再浮上によって発生する濁りを低減した。



写真-4 水中ポンプによる吸い上げ状況

(2) 浚渫工事における環境監視

①環境監視項目

浚渫工事時における環境監視調査について、以下のと おり実施している

調査名		調査項目	調査頻度	調査地点	調査目的
①汚濁防止対策効	水の濁り	濁度	浚渫施工期間中の		【汚濁防止対策効果の確認】
果確認調査		透明度(鉛直)	毎日。ただし、工 事休業日は除く。	: 1地点	【環境の監視】
			ずか未りは称く。	汚濁防止膜外	
				: 4地点	
				バックグラウンド	
				: 1地点	
②環境モニタリン	水の濁り	浮遊物質量 (SS)	毎月1回	浚渫城近傍点	【環境の監視】
グ調査		濁度			サンゴの生息環境として
		透明度(鉛直)			水質を調査
	海城	サンゴ	施工期間の前後	浚渫城近傍点	【環境の監視】
	生物	SPSS、藻類	各1回		工事によるサンゴへの
		浮泥堆積状況			影響を監視
	海域	底生生物	施工期間の前後	浚渫城近傍点	【環境の監視】
	生態系	大型底生生物	各1回		工事によるサンゴ礁生態系に
		魚類			依存する生物への影響を監視

表-1 環境監視調査の概要

② 環境監視基準

工事中の環境監視基準については、表-2に示すとおり設定した。環境監視基準の適用にあたっては、近年、石西礁湖においては、白化やオニヒトデによりサンゴが劣化している現状を踏まえ、本事業以外の要因により環境が劣化する可能性にも十分留意した。

当該基準に適合しない場合には、濁りが収束するまで 工事を一時中断し、原因究明も行っている。

	調査項目		環境監視基準	備考
①汚濁防止対策効果確認調査	水の濁り	浮遊物質量(SS) 濁度	B. G. +2mg/L以下	水産用水基準 (バックグラウン ド濃度+2mg/L) に準拠。 濁度についてはSSに換算し、監 視基準と比較。
	海域生物	サンゴ 海藻草類	影響評価時及び直	高水温、オニヒトデ、病気の罹 患等は対象外とするため、石西 確湖全域のサンゴの生息状況を 踏まえ評価する。
②環境モニタリング調査	海域生態系 (生態系の構成 要素)	底生生物 大型底生生物 魚類		

表-2 環境監視基準の概要

③汚濁防止対策効果確認調査

汚濁防止対策の効果を確認するため、濁りの調査を行った。

汚濁防止膜周囲4地点については、濁りが流出していないかを監視し、汚濁防止枠内1地点については、船団移動判断を行うために実施した。

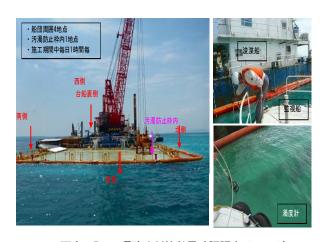


写真-5 汚濁防止対策効果確認調査イメージ

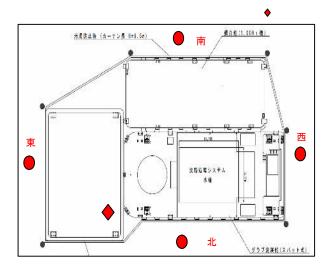


図-10 汚濁防止対策効果確認調査地点位置図

③ 調査結果

汚濁防止膜外 4 個所における観測は、平成 25 年 度においては、浚渫中の 98 日間実施した。

施工において、超過時の平均値は全体で 3.9~4.9mg/L であり、浚渫作業基準評価値の平均(2.4~2.5mg/L)と比較すると、浚渫作業基準評価値+1.5~2.4mg/L の超過が多かった。

超過回数は、全体の約1割程度と少ない状況であった。

	Ī	周査期日:平	成25年5月29日	日~11月11日		
調査日	数		98			
超過回数	全体	214	/2, 348	9.1%		
	東側	69	/2, 348	2. 9%		
	西側	45	/2, 348	1.9%		
	南側	69	/2, 348	2. 9%		
	北側	31	/2, 348	1.3%		
浚渫中断	浚渫中断時間 76時間55分					
浚渫時間		319時間43分				
観測結果		上層	中層	下層		
SS換算值	全体	0.9	0.9	1.0		
(mg/L)	東側	0.8	0.9	1.0		
通常時平均	西側	0.9	1.0	1.0		
	南側	0.8	0.9	0.9		
	北側	0.9	0.9	0.9		
SS換算值	全体	3. 9	4.4	4.9		
(mg/L)	東側	4.3	4.7	4.5		
超過時平均	西側	3.5	4. 1	4.5		
	南側	4. 1	4.4	5.4		
	北側	3. 5	3.9	5. 4		

表-3 施工期間中の水の濁り監視状況

汚濁防止膜外の4地点の内1地点でも濁りが基準を 超過した場合には、速やかに工事を中断し、濁りが沈静 化するまで再開しなかった。工事中断を徹底した。

⑤ 招渦状況例及びその要因

超過要因については、以下の2つの理由があることが 考えられた。

(ア) 浚渫作業時に発生する濁り

汚濁防止枠のすぐ下流側で極所的に生じる濁りが確認されることがあった。

ダイバーによる潜水確認をした結果、汚濁防止膜の着 底は確認されたが、死サンゴの層より発生し濁りが汚濁 防止膜外に流出していたことが分かった。これは、確認 できた場合でも短時間で収束し、またその濁度も比較的 低いものであった。

作業時に発生する濁りを示す事例として、平成25年9 月27日の状況を表-4、図-12に示した。

- ・枠No. 36 (浚渫時間 11:50~13:55)
- 浚渫作業基準評価値:上層2.3mg/L、中層2.1mg/L、下層2.3mg/L
- •工事中断時間:0時間
- ・満潮:13:21、干潮:17:51

対応策としては、サンゴ礫から濁水が滲み出る現象は、 事前の潜水調査では判断が難しいため浚渫作業中の水質 監視を徹底した。

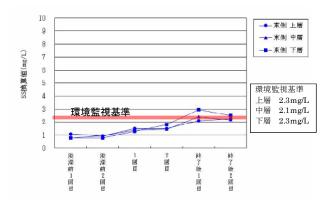


表-4 東側のSS換算値の変動状況

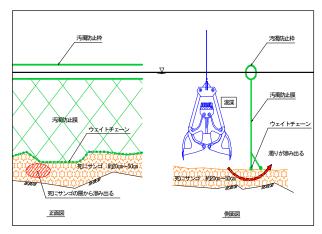


図-12 サンゴ礫から滲み出る現象

(イ) 浚渫後に沈降した土砂が汚濁防止膜外側で再浮上し発生した濁り

前日までに浚渫が完了した、海底もしくは汚濁防止枠 沿いに沈降した土粒子が、海水の流れ等より、再浮遊し 拡散していると考えられた。

事例として、平成25年6月26日の状況を表-5、図-13 に示した。

- ・枠No. 24(浚渫時間 16:46~18:55)
- ・ 浚渫作業基準評価値: 上層2.7mg/L、中層2.6mg/L、下層2.6mg/L
- ・工事中断時間:13:00~16:50
- ・満潮:8:42、干潮:15:38

当日の午前中は高波浪であり、汚濁防止膜の巻上前から濁りが発生していた。濁りの発生が確認されたのは図-13に示す通り、浚渫船団の南〜東側にかけての箇所からであった。なお、当日のバックグラウンド地点では上層0.7mg/L、中層0.6mg/L、下層0.6mg/Lであった。

対応策としては、工事終了後の移動前に汚濁防止膜点 検で沈積した土粒子を発見した場合、水中サンドポンプ を使用して潜水士により吸い取りを行い、確認後作業船 団の移動を行った。

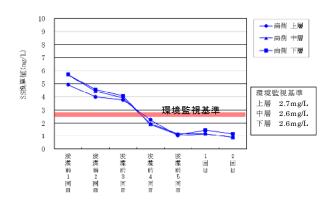


表-5 南側のSS換算値の変動状況

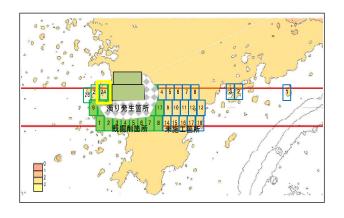


図-13 6月26日膜上げ前の濁りの状況

4. 工事後の取組について

(1) 移設サンゴ現地見学会

竹富南航路整備事業を広く一般の方々へ知って頂く ため、移設したサンゴの見学会を通して事業内容の説明 等を行っている。

見学会は、石垣各所で行われるサンゴウィーク(3月5日の周辺1週間)のイベントに併せて3日間、シュノーケリング方式にて実際に海に入り、移設したサンゴを確認する方法で行っている。



写真-6 事業内容説明の様子



写真-7 現地での見学会の様子

5. 今後の課題

(1)移設サンゴについて

新たなサンゴ配置法については、移設後の群集安定化に向けたプロセスや隙間を空けて移設した効果についても着目し、また、少数の移設サンゴの部分死がみられたが、病気の可能性のほか、オニヒトデやシロレイシダマシ類等の食害生物もみられることから、特にこれらに着目してモニタリングを実施する必要がある。

(2) 今後の浚渫工事について

平成 25 年度までの浚渫工事において、濁り流出防止対策については、良好な結果を得られたが、施工箇所が比較的浅く平坦な箇所での施工であったため、今後予定される法面箇所については、施工箇所の地形に応じた濁り流出防止対策の検討が必要である。

那覇空港滑走路増設事業における 貴重藻類の移植について

照屋 雅彦1・鈴木 真也1・宇江城 菜乃1

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

那覇空港滑走路増設事業は、平成25年度に環境影響評価や公有水面埋立等の諸手続を終えて既に現地に着工している。しかし、埋立工事の予定地には沖縄県RDB等に記載されているクビレミドロの生育が確認されており、本種については移植を行うことを環境保全措置として位置付けている。本種については、これまでの移植実験や室内試験等から様々な知見が得られているが、今回、移植の確実性・効率性の観点から新たな移植方法を開発し移植を実施した。その結果、1~2カ月経過した時点では生育が良好であることが確認された。今後、モニタリングを継続し、移植先での再生産の状況を確認し移植技術について検証していく必要がある。

キーワード:滑走路増設事業, クビレミドロ, 絶滅危惧種, 移植, 環境保全措置

1. はじめに

那覇空港滑走路増設事業では、将来の需要に適切に対応するとともに沖縄県の持続的振興発展に寄与すること、また、国内外航空ネットワークにおける拠点性を発揮することを目的として、那覇空港の沖合に2本目の滑走路を新設する.

新設する滑走路は空港の沖合に約160haの埋立地を造成し、既存の滑走路から1310m離して整備される.埋立地の造成により、護岸の勾配を勘案した海域を改変する面積は約180haである.これが本事業により、海域に直接影響を与える面積となり、この中に様々な海域植物・動物が生息し、その中には沖縄県のレッドデータブック(以下、RDB)に記載の絶滅危惧種であるクビレミドロも含まれている.本種は沖縄本島のみで生育が確認されている黄緑藻であり、その形態から「海のマリモ」等と称される海藻である。また、黄緑藻と緑藻の2つの形態を併せ持つ1属1種の藻類であるため、藻類の進化をたどる上で学術的に希少な種とされている.

本事業を実施するにあたり、環境影響評価法に基づき 実施した「那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価」の中で、クビレミドロは移植により保全を図ること と位置づけており、本事業により改変される区域内のク ビレミドロの一部を実行可能な範囲で移植するとともに、 移植後は環境監視委員会等で専門家の意見を踏まえた上 で適切な措置を講じることとなっている. 今回,新たに移植方法を開発し、移植を実施したので結果を報告する.



図-1 那覇空港滑走路増設事業概要

2. クビレミドロの特徴

(1) 生活史と形態

クビレミドロは、毎年冬季に出芽し夏季には藻体が消失する生活史を繰り返す1年藻である。図-2に示すように、水温が低くなる10~12月頃に底砂泥中で休眠していた卵が出芽し始め、11~1月頃には糸状体が伸長する。生長した藻体が12~2月にかけて群生域を形成し、2~4月にかけて成熟した藻体は枯死・流失すると同時に卵は再び底砂泥中に纏絡し休眠する。肉眼で確認することは難しいが、糸状体の1本1本にくびれがある。その糸状体

の藻がいくつも集まり、3~5cmほどのドーム状の藻体を形成する.



図-2 クビレミドロの生活環

(2) 生育条件

これまでの知見から、本種は表-1のような生育条件で 生育することが知られている. 那覇空港沖での生育環境 を本種の主な生育地である泡瀬・屋慶名地区の生育環境 と比べてみると、水深が深く、底質も細粒分が多い箇所

表-1 クビレミドロの生育条件

項目	環境条件(泡瀬,屋慶名)
快日	
水温	・泡瀬地区の生育域で平成 21 年度の測定結果は、 周年で 13.6~33℃,生育期は 13.6~25.4℃の範囲 にあった. ・屋外大型水槽の平成 20 年度の測定結果は、周年 で 13.0~33.5℃,生育期には 14.3~24.4℃の範囲
	であった.
底質	・細砂 (0.075~0.25mm) ~中砂 (0.25~0.85mm) が主体. ・礫分は10%前後,砂分80%前後,シルト・粘土分は7%前後,中央粒径0.2~0.7mm程度.
水質	 ・光合成を妨げない程度として、平常時において SS 2mg/L 程度. (水産用水基準) ・全窒素 0.2mg/L 前後、全リン 0.02mg/L 程度. ・恒常的に淡水の影響を受けない環境.
外力条件	・砂漣が形成されない程度(砂漣が形成されるような場では卵が流出する恐れがある). ・通常波浪時の底面せん断応力 τ <0.8N/㎡. ・高波浪時の海浜流速 U<0.1m/s. (※泡瀬地区の生育域での調査結果から夏眠期,生育期を通じて,流速は10cm/s以下.)
地盤高	・C.D.L.0~1.0mの範囲. ・泡瀬海域ではC.D.L.0.3~0.5mに濃生域が形成される. ・地盤高の変動が小さい場所.
その他	・マツバウミジグサ,ウミジグサ,コアマモ等と同所に生育. ・これら小型海草の被度5%未満~50%の分布範囲と重なる. ・卵は、5cm程度まで埋まっても出芽が確認されている

出典:平成21年度中城湾港海藻類保全検討調査業務報告書 (平成22年3月,那覇港湾·空港整備事務所) に生育しており、**図-2**で示したようなドーム状の藻体を 形成せず糸状体のままで生育している.

また、クビレミドロは卵として夏期に底砂泥中に概ね5cm以浅で休眠することから、高波浪や潮流により卵が流出しない外力条件が重要と考えられる.

3. 移植計画と移植の実施

(1) 移植計画

クビレミドロの移植については、先ず移植先の適地の 候補として、現況と増設事業が完成した後の波浪・潮流 シミュレーションから,表-1に示す流速が10cm/s以下の 場所を抽出した. その結果, 事業により沖合に空港島が 形成されれば、現空港との間の護岸近くや新設される護 岸近傍の箇所にクビレミドロの生育条件が整う場所が出 現する. また現状でも、北側海域に外力条件を満たす箇 所を確認している. なお, 平成24年度から試験的にプラ スチック容器を用いて北側海域や干潟域に移植したとこ ろ、北側海域への移植結果が良好であった. よって、北 側海域と空港島の護岸概成後に出現する静穏な海域2箇 所の合計3箇所を移植先として選定した。ただし、現時 点では護岸が概成していないことから、北側海域以外の 2箇所における移植は当面、陸上水槽に移植した本種の 生産を行い、種苗を安定的に確保し再移植を行う計画と した.

また、移植を行うクビレミドロは本事業で改変される 海域に生息している箇所から、移植の効率性を考慮し、 生育箇所の中でも比較的被度の高い場所を対象とした.

(2) 移植方法の開発

本格的なクビレミドロの移植にあたり、移植実験の中で効率的な移植方法を開発した.

平成24年12月に行った移植実験では、プラスチック容器を使用してクビレミドロの移植を行った。本移植実験では、藻体と卵を含んだ底泥をスコップですくい、プラスチック容器に入れて移植先まで運び移植を行った。この方法では、スコップで底泥をすくうために表層が撹乱し、卵が埋没・逸散することが懸念される。また、容器も小さく、作業の効率性が良いとは言えない状況であった。

そのため、平成25年度以降の移植に際しては、図-3に示す採取器具を開発して移植を行った。この採取器具は縦が44cm、横が36cmであり、この器具を用いると1個あたり約0.16㎡の移植が可能となる。また、採取器具の両側には蓋が取り付けられており、採取した底泥を簡単に密閉することができる。底泥を採取している様子を図-4に示す。さらに、採取した底泥を取り出す際には採取器具の片側から押し棒によって底泥を押し出すことができ、

撹乱を抑え、効率的に移植作業を行うことが可能となった.この採取器具を使用した際には1日当たり採取器具64個分の移植が可能であり、約10㎡を移植することができる.





(a) 蓋を装着した状況

(b) 蓋を外し、押し棒を 挿入した状況

図-3 クビレミドロの採取器具



(a) 底泥を採取する様子



(b) 底泥を押し出す様子 図-4 移植作業の様子

(3) 移植の実施

クビレミドロの移植時期は平成26年2月24日~3月19日 及び平成26年5月8日~6月8日に実施した.

移植元では、専用の採取器具の両側にある取っ手をダイバーが持ち、クビレミドロを底泥ごと採取し、蓋で容器内を密閉した後に船上に引き上げた。船上では水温低下を防ぐために採取器具を海水で満たしたケースの中に保管し、移植先まで運搬した。移植先では、3(2)で述べたように採取器具を海底に下ろし、押し棒で採取器具から底泥を押し出すことにより底泥を配置し、移植を行った。底泥の採取から運搬、移植先に底泥を配置するまでの一連の作業は1日で実施した。

移植先は空港の北側海域及び種苗を確保するための陸 上水槽とした. なお, 陸上水槽では常に水交換が行われ ており, 実海域の環境をある程度再現している.

移植後のクビレミドロに関しては、実海域と陸上水槽 共にモニタリングを行った。モニタリングは移植先内に 詳細観察枠を設定して、**表-2**に示す項目と方法にて行っ た.

表-2 モニタリング項目

項目	方法
移植先の概略分	潜水目視観察を行い,クビレミドロの生
布図	育範囲のスケッチと写真撮影を行う.
詳細枠による被	詳細枠(2m×2m)において,潜水目視観
度別分布図	察により本種藻体の被度分布状況のスケ
	ッチを行う.
詳細枠の代表箇	・詳細枠の中から,代表的な箇所(0.5m
所における群体	×0.5m)(5 箇所程度)内の群体数を計
数	数する.
	・生育期(5 月)に一部の藻体を採取
	し、その外部形態(造精器・生卵器)に
	ついて, 顕微鏡観察を行う.
	・衰退期(6 月)に代表的な箇所(1~2
	箇所程度) の泥中の卵数を計数する.
生育環境の把握	水深及び底質の概観を記録する.

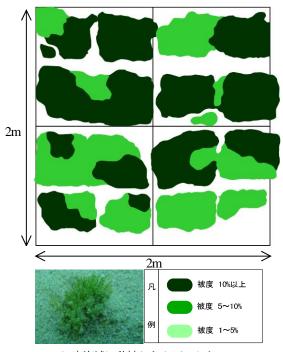
4. 移植の結果

本事業の環境保全措置において、平成25年度と平成26年度で移植目標の318㎡を達成した。平成25年度においては北側海域に809㎡、陸上水槽に40.4㎡の移植を行い、合計で121.3㎡の移植が完了している。また、平成26年度においては、北側海域に202㎡の移植が完了している。

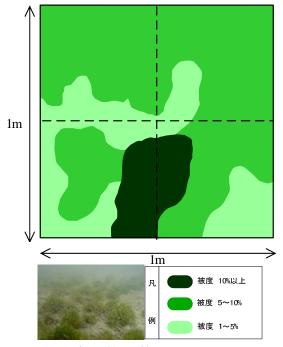
移植後の北側海域と陸上水槽のクビレミドロについて、 代表するモニタリング詳細観察枠の結果を図-5に示す. 北側海域への移植においては、海域が深場であるため移 植後1ヵ月経過しても移植元と同様にクビレミドロはド ーム状にはならず、糸状体のまま衰退した. それに対し 陸上水槽への移植においては、移植直後は糸状体であっ たクビレミドロは移植後1ヵ月経過するとドーム状の藻 体を形成した.

本事業の環境保全措置を行うにあたり、新たな移植方法を開発することにより1日で10㎡の移植が可能となり、移植作業の効率を上げることができた。また、平成24年度の移植実験時の移植方法と比較しても、クビレミドロの卵をより確実に採取することが可能となった。北側海域の移植直後と移植から1~2カ月後のモニタリングにお

いては、クビレミドロが急激に減少することなく生育していた。また、陸上水槽におけるモニタリングでもクビレミドロの生育が確認された。陸上水槽はクビレミドロの種苗を安定確保し、護岸が概成し実海域に再移植を行うまでの期間、また、増設滑走路を供用するまでの間に実海域のクビレミドロに問題が生じてしまった時のために保管しておくことができる。



(a)実海域に移植したクビレミドロ



(b)陸上水槽に移植したクビレミドロ 図-5 移植後の状況

5. 今後の課題

現時点では、本移植を行ってから1年が経過しておらず、今後もモニタリングを継続し、夏眠するクビレミドロの卵が移植先で冬季に再び発芽し、翌年以降も継続して安定的に再生産を行うことの確認をする.

また,護岸概成後に陸上水槽から閉鎖性海域に再移植を行う際にも,流況を確認しながら作業を行う必要がある.

なお,現在種苗を確保している陸上水槽は1つのみであるため,陸上水槽に不具合があった場合や種苗の大量確保を行う場合には、別の水槽を確保する必要が生じる.

6. おわりに

本事業を行うにあたり、環境保全措置の一環としてクビレミドロの移植を行った.その移植方法を新たに開発することにより、確実性や効率性の良い方法で実施することができた.今後は、モニタリングを継続するとともに、陸上水槽からの再移植により干潟域での本種の生育を確認していくこととする.

参考文献

1) 沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所:平成 21 年度中城湾港海藻類保全検討調査業務報告書, 2010.

金武ダムで起きた水質異常について

新城 晴伸1・照屋 淳2

¹沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 金武ダム管理支所長(〒904-1201沖縄県国頭郡金武町字金武 9 9 5 9)

²沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 金武ダム管理支所 管理係長 (〒904-1201沖縄県国頭郡金武町字金武 9 9 5 9)

水道専用の金武ダムを再開発した金武ダム(旧:億首ダム)は、下流部における洪水被害を防ぐ洪水調節の他、既得用水や河川維持用水の安定化等、水道用水及びかんがい用水の供給を目的とする多目的ダムである。本年度4月より供用を開始したところであるが、供用開始直後の4月18日、ダム貯水池内で魚が大量にへい死するという事故が起きた。この事態に対し北部ダム統合管理事務所は、速やかに異常事態に対する体制をとり現状把握を行うとともに、原因の究明に向け調査・分析を行ったので、今回その取り組み内容および今後の改善策等について報告する。

キーワード アオコ大量発生、魚類斃死、水質、危機管理マニュアル

1. はじめに

当ダムにおいて、ダム貯水池内の巡視中に魚の死骸が確認され、以降、事態が収束するまでにダム貯水池内および下流河川で約6,600尾の死骸を確認した。

今回のような魚の大量へい死は、北部ダム統合管理事務所のこれまでのダム管理において初めての事象であり、 状況に応じた判断に基づいた対応が求められた。

本論文では今回の事故への対応内容および今後の改善対策について報告する。

2. 主な経緯

◇4月18日

- ・13:30~14:25 ダム貯水池内で魚の死骸約40匹確認。
- ・14:30 北部ダム統合管理事務所注意体制発令
- ・14:35~15:40 本局内および外部関係者に第1報連絡
- ·15:10 沖縄県企業局取水停止(企業局判断)
- ・19:05 記者発表第1報(魚の斃死発生)

◇4月19日~21日

ダム貯水池内における魚のへい死継続および下流河川 で魚の大量へい死を確認

※5月19日までトータル約6600尾の死骸をダム貯水 池内の上下流で確認(5/14~5/19に下流で確認された死 骸は、ダム湖から越流した可能性が高い)

◇4月25日 記者発表第2報(水質の安全性確認)

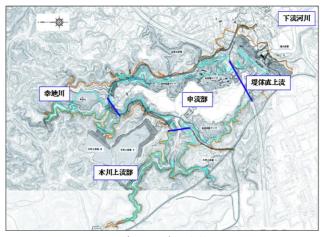


図-1 魚の死骸発生位置図

日時	本川上	流幸	地川	堤体直上流	中流部	下流河川	合計	備考
4月18	日 :	30	5	5	0	0	40	記者発表
4月19	日 4	54	99	4	2	7	566	
4月20	日	30	30	0	0	500	590	
4月21	日 14	14	21	26	0	657	848	
4月22	日 !	95	59	56	0	9	219	
4月23	日 1:	24	80	11	0	3	218	
4月24	日 :	51	41	0	0	5	97	1
4月25	日 18	39	76	9	0	0	274	記者発表
4月28	日 !	97	38	20	9	0	164	
4月30	日	39	22	48	5	0	144	
5月1	日 1:	23	58	56	36	0	273	
5月2	日	30	79	37	23	0	169	
5月7	日	22	47	4	6	0	79	
5月14	日	2	. 3	5	0	170	180	
5月15	日	0	. 0	0	0	1,550	1,550	
5月16	日	0	0	0	0	1,066	1,066	100
5月19	日	0	0	0	0	155	155	1 1 5
5月21	日	0	0	1	0	0	1	
計	1,4	90	658	282	81	4,122	6,633	

表-1 魚の死骸数量表



写真-1 アオコ・死骸発生状況

3. 事故発生後の対応

(1) 関係者への通知・一般への周知

事故発生後、ただちに関係者への連絡を行うとと もに、事態を一般へ周知するため、同日夜に記者クラ ブヘマスコミ発表を行った。

- ◇関係者への通知
- ①利水者(沖縄県企業局、金武町土地改良区)
- ②沖縄県中部福祉保健所
- ③ 金武町役場
- ④学識者
- ◇一般への周知

事態を一般へ周知するため、2回にわたり記者発表 を行った結果、県内新聞2紙で記事が掲載された。

※発表内容:①魚へい死の事実、②水質の安全性確認

制限なし

金武ダム貯水池で魚の死骸が見つかりました。

記者発表資料

本日午後、金武ダムにおいて、湖面巡視中に、魚の死骸が湖面に浮かんでいるの

を発見しました。 北部ダム統合管理事務所では、発見後直ちに沖縄県、沖縄県企業局及び企武町に 連絡するとともに、貯水池の採水及び下流初川の巡視等を行いました。 また、県中部福祉保健所及び県企業局においても、貯水池の採水を行いました。

を記され、米下田畑市状態が及び出土条列といっています。 今回の件に伴い、現企業別では、全成ダムからの取水について安全が確認される まで取水を停止することとしました。 同事務所においては、14:30に注意体制を執り、水質分析及び引き続き現地 の情報収集を行っているところです。

平成26年4月18日

記者発表資料① 魚へい死の事実



記者発表資料(1) 【 添付資料】死魚発見位置図

制限なし

「金武ダム貯水池で魚の死骸が見つかりました」 第2報 (水質の安全性を確認)

記者発表資料

金武ダムで魚の死骸が確認された件について、その後の巡視及び水質分析結果に ついて報告します。

貯水池及び下流河川の巡視により18日から25日までに確認した魚の死骸は、 町下電及びト院河川の過程により18日から25日までに確認した風の死骸は、 防水池内で約1,500匹(主な魚種はテラピア)、下流河川で約1,200匹(主 な魚種はボラ)でした。貯水池では23日以降、新たな死亡個体はほとんど確認さ れていません。下流河川では24日に新たな死亡。個体が確認されました。 また、魚の死骸が確認された貯水池及び下流河川から採水し、健康項目≈126項 目、生活環境項目≈2等16項目の水質分析を実施した結果、安全であることを確認

しました。

さらに、ダム管理支所内で水質監視のために設置している水槽(貯水池の水を循

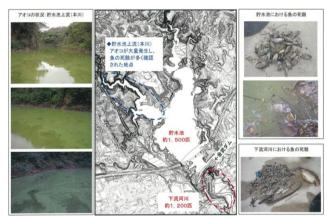
さらに、タム管理文所内で水質監視のために設施している水槽(貯水池の水を楣 類)の魚(テラピアとエビ)にも異常はみられていません。 今回、貯水池において魚が死んだ原因は、アオコの大量発生による酸素欠乏死が 原因と考えています。下流河川での原因については不明です。 なお、沖縄総合事務局では、今回の事象を踏まえて、今後、専門家の意見を伺い、

金武ダム貯水池における水質保全対策を検討してまいります。

人の健康の保護に関する環境基準 **2 生活環境の保全に関する環境基準

平成26年4月25日

記者発表資料② 水質の安全性確認



記者発表資料②【 添付資料】魚へい死確認状況

(2) 北部ダム統合管理事務所の体制

- ◇魚へい死の確認後ただちに注意体制を発令し、水質 の安全性を確認するまで体制を継続した。
- ◇事務所内職員による速やかな応援体制をとった。 (調査範囲・頻度の一時的な増に対応)
- ◇水質調査に先立ち、金武ダム管理支所内水槽の点検 による簡易な安全性確認を行った。
- ◇水質の安全性確認まで、巡視体制を強化した。 (巡視および水質等調査の頻度を増やした)
- ◇体制進行中、各担当職員が気がついたこと(良かっ た点、改善すべき点)を随時メモをとった。

(3) 原因究明のための調査及びその結果

①学識者へのヒヤリング

事故発生後速やかに水質の専門家に対応策について 相談した。また、主な水質調査結果が出た段階で魚 の専門家に原因についてヒヤリングを行った。

②金武ダム管理支所の対応

水質分析結果が全て判明するには日数が必要である

こと、また、魚のへい死が継続することから、毎日 ダム貯水池内におけるアオコの分布状況・魚の死骸 発生状況(日々回収)および魚死骸の新鮮度やエラ の状況を確認するとともに、水質の定点調査並びに 上下流河川のモニタリング監視を行った。

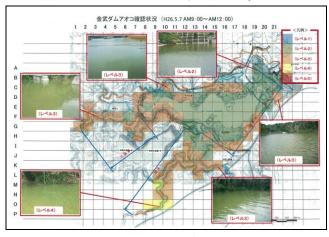


図-2 アオコ分布状況

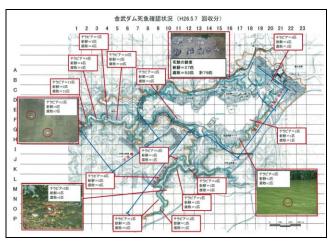


図-3 魚死骸発生状況 (ダム貯水池内)

また、アオコ大量発生による溶存酸素濃度の変化 を確認すべく、夜明け前における溶存酸素濃度 (DO) 測定を行なった。



図-4 溶存酸素濃度測定位置図

水深	本川	上流	幸地儿	川上流	堤体直上流	
小木	未明	昼間	未明	昼間	未明	昼間
0. 5m	7.49	10.96	14.07	15.55	15.9	12.29
2. 0m	8.65	10.16	19.86	13.71	8.68	10.75
5. 0m	3.74	4.42	13.76	13.77	3.63	5.22

表-2 溶存酸素濃度測定結果(4月23日)

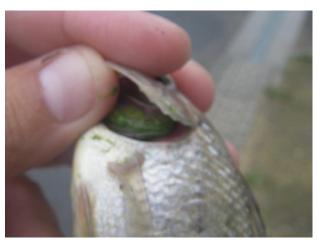


写真-2 魚死骸のエラ状況

- ◇アオコ濃度レベルの分布状況と魚の死骸の発生状況 から、アオコ濃度レベルが高い箇所において死骸の 数も多くなっており、そこで魚がへい死し、ダム貯 水池内へ拡散している状況が推測された。
- ◇未明と昼間の溶存酸素濃度(DO)の比較結果から、 アオコ濃度レベルが高い本川上流箇所で、夜間にお ける溶存酸素濃度(DO)の低下を確認した。
- ◇魚の死骸のエラ状況を目視確認したところ、エラに アオコが付着した状態の死骸がみられた。
- ③水質調査業者(コンサルによる水質分析)

業務委託している水質調査業者による緊急調査とし て、「生活環境項目」・「健康項目」・「生物異常 時調査項目」の分析を行った。

生	DO
項活	COD
目環境	SS
-56	T-N
W.	
	NH4-N
生	NO2-N
物	NO3-N
項異	T-P
目時調査	P04-P
	クロロフィル
	フェオフィチン
	アンチモン

	カト゛ミウム
皇	全シアン
1	鉛
Į	六価クロム
1	ヒ素
	総水銀
	アルキル水銀
	PCB(ポリ塩化ビフェニル)
	チラウム シマシ"ン チオヘ"ンカルフ
	シマジン
	チオヘ・ンカルフ
	セレン
	フッ素
	ホウ素
	トリクロロエチレン
	テトラクロロエチレン
	四塩化炭素
	ジクロロメタン
	ジクロロエタン
	トリクロロエタン
	トリクロロエタン
	ジクロロエチレン
	ジクロロエチレン
	ジクロロプロペン
	ベンゼン
	ジオキサン

表-3 水質分析項目

各項目の分析の結果、ダム貯水池内および下流河川 の水質に基準値を超過するような異常はみられなかった。

④沖縄県の対応

関係機関に対する異常事態の連絡後、沖縄県企業局が ダム貯水池内の水を採水し、水質の分析を行った。また、 沖縄県中部福祉保健所は水質の分析のみでなく、魚の死 骸の解剖調査も行った。その分析結果から水質に基準値 を超過するような異常はみられず、また農薬類も不検出 で「死因は不明。アオコ発生による周辺環境へ影響を及 ぼした可能性あり」との沖縄県中部福祉保健所の見解で あった。

なお、沖縄県企業局は、魚のへい死確認直後から水質の安全が確認できるまで、金武ダムからの取水を停止した。

(4) 魚鱉死の原因

①ダム湖内

水質の分析結果やモニタリング調査等の結果および学識者の見解も踏まえ、今回ダム貯水池内で魚がへい死した原因は、アオコの局所的な大量発生による夜間の溶存酸素濃度(DO)低下や、魚のエラへのアオコ付着による酸素欠乏死であると考えられる。

②河川内

ダム貯水池上流河川においては、モニタリング監視中一度も魚のへい死等の異常は確認できなかったが、ダム 貯水池下流河川において、ある時期にボラの稚魚等の大 量死が確認された。ダム貯水池と同様に緊急に水質分析 を実施したが、特に水質異常は見られず、いまだに原因 不明である。

また、降雨に伴い平常時満水位に達し、ダム貯水池内でへい死した魚がダム湖から越流し、下流河川で大量に確認されることもあった。



写真-3 減勢工副ダム直下の流出防止ネット

4. 事故対応を踏まえた改善策

ダムを運用するうえでの危機管理については、ダム操作規則や水質調査マニュアル、災害対策要領(風水害、地震・津波、水質事故等)等に運用ルールが定められているが、魚類へい死時におけるダム管理者の対応については詳細なマニュアルが整備されていなかった。

今回の事象で様々な課題が摘出され、事務所として今 後改善すべき点が明確となった。

【良かった点】

- ①異常事態の発覚後、利水者やその他関係機関に対して速やかな連絡が行えた。
- ②事務所内における職員の速やかな応援体制の確保ができた。
- ③水質調査の結果が出るまで、巡視を強化したことに より、迅速な状況把握が出来た。
- ④体制中、各担当職員がそれぞれ気がついた点をメモに残し、状況が落ち着いた時点で集約することにより、今後の対応に活かす材料を整理することが出来た。

【改善点】

- ① マニュアルを「水質事故」「魚斃死事故」「不発 弾・不審物等」など事象ごとに細分化する。
- ②保健所、河川管理者、米軍関係、警察、学識者、水 質調査業者等、緊急連絡先を追加する。
- ③職員直営による調査内容、水質調査項目、サンプル (水・斃死魚)の採取および保存方法等を整理する。
- ④体制入りや解除、記者発表のタイミングを例示する。
- ⑤上記すべてを踏まえ、北部ダム統合管理事務所の危機管理マニュアルを早急に改良する。

5. 今後の課題

金武ダムは上流から栄養塩類濃度の高い水が流入して くる為、今後も今回と同様なアオコの大量発生が予測されることから、ダム貯水池内での曝気装置の追加等による水質保全対策・運用方法や、効果的なアオコの回収方法等を検討する必要がある。

また、今後のダム経験者の減少に備え、今回のような 事例では、事態収束後に分かり易い事例集を作成・蓄積 することでノウハウを継承することも必要になると考え る。

<参考文献>

・金武ダムで発生した魚類のへい死事故について (沖縄県環境部 環境保全課長)

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 1:環境·計画関連

防災ワークショップの効果に関する一考察 -国頭村与那区を対象として-

○琉球大学大学院 中山貴喜 琉球大学 神谷大介 中央建設コンサルタント 山中亮 山口大学大学院 長曽我部まどか 山口大学大学院 榊原弘之 中央建設コンサルタント 宮国敏秋

はじめに

過去の低頻度大規模災害の経験から、ハード的防災の限界やソフト的減災、地域コミュニティにおける自発的な自助・共助の重要性が再認識された「1,2).また、2013年6月には災害対策基本法が改正され、地区居住者等が地区での防災活動に関する計画(地区防災計画)を市町村地域防災計画に定めることを提案することが出来るとした「1,3).これらのことと、今日、各地で甚大な被害を出している局所的な豪雨災害や、市町村合併による一基礎自治体の広域化による地域特性の多様化や行政対応の限界等 4の現状を踏まえると、人的被害最小化のためには地区レベルでの自助・共助や地区の災害脆弱性などを住民らで話し合い、地区の防災計画を検討する必要がある.

しかし、住民は災害・防災に関する知識経験が不十分であることが考えられ、地区の防災計画を住民のみで検討した場合は誤った対応を採ってしまうことが考えられる。一方、それらの知識・経験を所有している専門家(行政、研究者やコンサル等)は、地区の細かな災害履歴や地勢等の地区特性、住民間のつながり等の地区内の情報を多く所有していない。つまり、専門家が住民へ防災の知識等を教えるような一方向的な学習や住民のみで話し合うような取り組みではなく、住民と専門家が協同し地区の防災計画を検討する(互いに学び合う)ような取り組みを行うことが重要である。

2014年3月に示された地区防災計画ガイドラインでも、災害対応において住民が他の主体(自主防災組織や事業者等)と協力することを推奨している「ことから、今後、前述のような複数主体での災害に関するワークショップ(以下 WS)は多くの地域で行われるこ

とが予想される. このような防災 WS の効果を示した 研究はこれまでにも行われている. その多くはアンケートから WS 前後での防災意識等の変化をみるもので あり, WS の話の流れや発言者, 発言語句等に着目し, 効果を考察した研究は少ない.

以上の認識から、本研究は地区レベルの地域防災力向上を目的とした防災 WS を行う際に重要となる知見を把握することを目的とし、災害脆弱性の高い沿岸過疎地域である沖縄県国頭村与那を対象に、住民・専門家による WS を図-1 に示す流れで行った。そして、WS の話の流れや発言者、発言語句等に着目し、住民・専門家協同の防災 WS の効果を考察する。

2. 対象地の概要と想定される災害

(1) 国頭村与那区の概要

沖縄県国頭村は**図-2** に示すように沖縄本島の最北端に位置しており、20 集落から構成されている。人口は5089 人 5 (2014 年 5 月末現在)、面積は19482ha と県内で5 番目に広い。与那区は**図-2** に示したように西

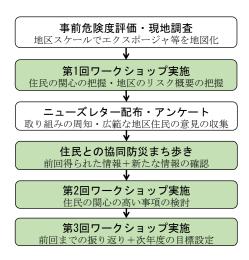


図-1 本研究の流れ

キーワード ワークショップ, 地区防災計画, ハザードマップ, テキストマイニング 連絡先〒903-0213 西原町字千原 1 番地 琉球大学大学院理工学研究科 E-mail: k138505@eve.u-ryukyu.ac.jp

海岸に位置しており、三方を山に囲まれている.人口は226人(90世帯)、高齢化率は33.2%と過疎高齢化の進んだ地区である⁶.

(2) 与那区で想定される災害

与那区は海に面していることから高潮および津波被害が想定されている。また集落周辺の山は急傾斜地崩壊危険個所、土石流危険渓流に指定されており、土砂災害の危険もある。与那ではこれらの現状と東日本大震災を受け、2011年以降、毎年津波を想定した避難訓練を行っており、2013年の参加者は84人(約4割)であった。以上の認識から、本研究では地震及びそれに誘発される津波・火災と常襲する風水害を対象とし、WSを行った。

3. 本研究で行った WS の概要

本章では図-1に示す本研究で行ったWSの各プロセスの概要を述べる。なお、WS等の参加者等の情報は表-1に示す。

(1) 各 WS の概要

a) 事前危険度評価·現地調査

WS において行政が持つエクスポージャ(津波浸水深等)などの科学的知見に基づいた情報を住民と共有するためには視覚的に把握可能なハザードマップ(以下 HM)を用いることが有効であると考える. しかし、市町村の HM の中には市町村スケールで作成されており、地区スケールでのエクスポージャの把握が困難な



図-2 沖縄県国頭村与那の位置

ものもある. また木造家屋や道路幅員等の物理的脆弱性は調査されていない. よって,ここではそれらの情報を整理・調査し,地区スケールで地震・津波に関する情報津波浸水想定,液状化危険個所等)と風水害に関する情報(高潮浸水想定,土石流危険渓流,急傾斜地崩壊危険個所等)とに分け地図化した. 次に地区の危険個所やWSの際に議論になりそうな事項の把握を目的とし,専門家らによる現地調査を行った. その結果,与那区では道路閉塞の危険性が考えられたため,集落内のすべてのブロック塀,道路を対象とし,塀の高さと幅員の計測および道路の中心がコンクリートの部分の把握を行い,表-2に示す判断基準を用い道路閉塞の危険度評価を行った.

b) 第1回ワークショップ

第1回WS はまず住民の関心がどこにあるのか、住民が危険だと感じているコト・場所はどこか等を把握することを主目的として行った。WS ははじめに事前危険度評価の結果等を講話形式で住民と共有し、その後、3 グループに分かれ、①過去の災害履歴(危険個所の把握)、②危険だと思うことや場所、被害を大きくさせる原因とそれに対する対策案、③これまでの取り組み(現在行っている災害対応等)や地域にある災害時役に立つもの(こと)、について話し合いを行った。住民から得られた情報は白地図または付箋に記入した。WS により得られた主な意見は表-3 に示す。WS では

表-1 ワークショップの概要

第1回WS	
実施日	2013年10月29日
参加人数,外部支援者	13人, 7人
第2回WS	
防災まち歩き	
実施日	2013年12月15日
参加人数,外部支援者	11人,10人
第3回WS	
実施日	2014年3月6日
参加人数,外部支援者	11人,9人

表-2 道路閉塞の危険性評価基準

No.	条件
1	片側の塀が幅員以上の高さ
2	両側の塀の高さの和が幅員以上
3	片側の塀が1m以上
4	その他の道路
(5)	①+道路の中心がコンクリート
6	②+道路の中心がコンクリート
7	③+道路の中心がコンクリート
(8)	④+道路の中心がコンクリート

避難行動要支援者(以下要支援者)に関し平日昼間, 支援可能者の多くが仕事で地区外に出ているため,平 日昼間の支援に不安があることや,空き家が多く管理 されていないため空き家倒壊の危険が高いこと,消火 資機材の劣化などの情報が得られた.地図に書き込ん だ情報は次節で述べる.

c) ニューズレター・アンケート

WS から得られた情報を WS 参加者以外の地区住民とも共有することと広範な意見の収集を目的とし、WS の結果をニューズレターにまとめ、アンケートも同封し、全世帯配布を行った.回収率は31.1% (90世帯中28世帯)であり、得られた意見の中には「避難場所に寝具を置く」など WS では出てこなかった持久力に関する意見等が得られた.

d) 防災まち歩き・第2回ワークショップ

WS から得られた情報の確認と新たな情報を収集する目的で住民と専門家による防災まち歩きを行った. その結果,新たに倒壊の危険のある家屋や,石積みの 塀が倒壊した場所,防火水槽・ポンプの位置などの把 握が行えた.

第1回WSでは主として住民がどのような事象に対して関心があるのかを把握した。第2回WSでは主と

表-3 ワークショップから得られた主な意見

項目	課題・問題点	対策案・強み	
高齢者・	高齢者が多い	声掛け避難の実施が必要	
要支援者	平日昼間若い人がいない	要支援者と支援者のマッチングが必要	
女人[6]	要支援者は今年と去年では違う	要支援者の把握	
炊き出し・		年中行事で炊き出しを行っている	
備蓄		炊き出しの際の肉・野菜は持ち寄り	
vm E		区で循環備蓄を行う	
`not ###	夜の道は暗い		
避難· 避難場所	チブヤーウイへの	避難路の手すりを付け替える	
地工 天社 200 171	階段の手すりが脆い		
停電	停電が2、3日続いたこともある	懐中電灯は各世帯にある	
厅电	F 电 2, 3 口 税 4 7 に こ こ 日 8 9 9	避難場所に発電機が必要	
ブロック塀 の倒壊	鉄筋が入っていない, 塀が高い	倒壊危険個所を避難路から除外	
空き家倒壊	人が住んでいない	空き家の調査	
全さ多因素	(管理されていない)	空き家の管理	
砂の被害	砂やがれきが風で飛ぶ	以前は防風林(アダンの木)があった	
浸水被害	ある箇所の排水溝が詰まることで	個人で排水溝を掃除している	
汉小双百	浸水被害が起きる	区の清掃作業で排水溝掃除を予定	
	腐食や砂詰りで		
火災	消火バルブが開かない	消火資機材の点検	
	消火ホースに穴が開いている		

して前回 WS やまち歩きの際に、特に住民の関心が高かった要支援者支援と空き家倒壊の危険、災害時の炊き出しに関して検討を行った. WS は前回同様 3 グループに分かれ、要支援者世帯、平日昼間支援可能者の把握、空き家の把握、災害時の炊き出しメニューの検討等を行った. 要支援者支援に関しては、地図での要支援者、支援可能者宅の把握に加え、表-4 に示すような要支援者名簿も作成し、WS で得られた 25 名の要支援者の歩行可能性や医療器具の使用の有無などの情報を整理した. このような情報を含んだ名簿は要支援者支援計画の策定に役立つと考える.

e) 第3回ワークショップ

第3回WSではこれまでの取り組みの振り返りを行い、次年度の目標設定を行った。その結果、①浸水被害の原因となる排水溝の掃除を行い、その際には消火資機材の点検を兼ねて消火ホースを使用する、②救助班や炊き出し班等の班分けを行い、自主防災組織の申請を行うことが決められた。なお、2014年6月現在の次年度目標の進捗状況としては①が行われた。

(2) ワークショップによるハザードマップの変化

ここではHMを支援ツールとし住民と専門家が協同し防災WSを行った結果、どのようにHMが変化したかを述べる. 風水害に関するHMの変化を図-3に示す. 図より、風水害に関するHMには浸水の原因となっている詰まる排水溝の位置や、浸水する箇所等、地区の細かな危険個所等の情報を落とし込むことが出来た. これらの情報が得られた理由としては住民が台風を多く経験しているためだと考えられる. 地震・津波に関するHMには要支援者・平日昼間支援可能者宅や空き家、防火水槽、湧水、避難訓練の際に避難している避難場所等の位置を加えることが出来た. なお、地震・津波に関するHMには空き家や要支援者宅などの個人情報が含まれるため、ここでは示さない.

表-4 要支援者名簿の例

世帯No.	班	氏名	年齢	性別	世帯構成	歩行状態	必要支援	身体特記事項	備考
,	1	1 Aさん	95	女	独居	押し車	歩行支援	難聴	娘が集落内に居住し、昼間もいる
	2	1 Bさん	72	男	高齢複居	徒歩	歩行支援	足悪い,ペースメーカー	シルバーカー使用
	2	1 Cさん	80	女	高齢複居	徒歩	担架(2人)	足悪い,酸素ボンベ	シルバーカー使用
1	5	4 Dさん	94	男	高齢複居	歩行不可能	担架(2人)	難聴,ペースメーカー	要援護者と2人暮らし. 歩行が困難で 支援者2人程度での支援が必要
1	7	4 Eさん	95	女	高齢複居	車いす	2人支援	足が悪い	娘(72)と同居しているが, 支援不可能.娘は昼もいる.

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 1:環境·計画関連

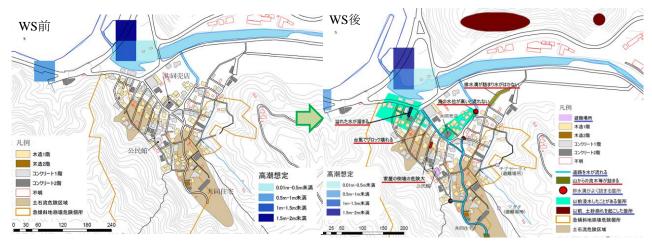


図-3 風水害に関する HM の比較図

4. WS の効果の考察

本章では前章で示した次年度目標や更新された HM 等の成果がなぜ得られたのか, その WS の効果を WS の発言の流れや発言者, 発言語句に着目し, 考察することとする. なお, 本稿ではページの関係上, 消火資機材の点検も兼ねた排水溝掃除という次年度目標と要支援者名簿の作成, 炊き出しメニューの検討の3つの成果を対象に考察を行う. 発言者と発言語句に着目しWS の効果をみる際にはテキストマイニング分析の頻度分布を用い定量的に考察する. 分析には KHCoderを用いた. はじめに WS の発言録を作成し, 品詞分解を行う. ここでは名詞, 副詞, 形容詞を対象とした. 次に抽出された語句を対象にコーディング (同義語を1 つの語句に統一すること)を行った. その例を表 5 に示す. それにより修正された発言録を対象に再度, 品詞分解を行い, 各語句の頻度分布を作成した.

(1) 次年度目標に対する考察

a) 排水溝掃除・消火資機材の点検

本項では発言の流れと発言者の属性(区長や消防団員等)に着目し、なぜ排水溝掃除・消火資機材の点検という次年度目標が設定されたのかを考察する.これにつながった発言の流れ図を図-4に示す.この図より、排水溝の掃除の発言は区長が発言しており、次年度目標を設定した第3回WSでも区長がそのことを発言している.火災に関する発言はファシリテーターの消火ホースの質問から消火資機材の話に移行し、そこで消防団員が消火ホースの劣化や消火バルブが開かないという情報を発言していることが分かる.そしてこの発言の流れと第1回WSででた排水溝掃除の発言とがつ

表-5 コーディングの例

単語	コーディング	単語	コーディング
吉五郎	人名	那覇	他地域
加代子おばあ	人名	ユシジョーグァー	屋号
おばあちゃん	高齢者	夜中	夜
年寄り	高齢者	夜間	夜
1班	N班	鍋	調理器具
1, 2	N	ジューシーメー	食料
フサトガー	湧水	冬瓜	食料
シーラガー	湧水		

ながり、消火ホースの点検も兼ねた排水溝掃除という 次年度目標が立てられたと考えられる.

以上のことから、WS には専門家が一般的に重要である事項について、地区の現状が分からず、そのことを質問することで、その知識を有した住民が専門家に教え、その過程が次年度目標という成果につながり地域防災力向上に寄与するという効果があると考えられる。また、火災に関する課題を発言したのが消防団員と区長のみであったことから、地区の火災対応は消防団員や区長がハブとなることが分かった。このようにWS にはそのような地区のある防災分野のハブとなる住民の把握とその人の持つ情報が共有でき、具体的な対策につながる効果があることを示すことが出来た。

b) 要支援者名簿の作成

WS ではすべての班において、平日昼間の要支援者 支援が困難なことが話されていた. これは毎年行われ ている避難訓練の際の反省会においてその課題が挙が っていたため、多くの地区住民でそのことが共有され ていたと考えられる. しかし、要支援者支援について、 WS 前にも要支援者名簿は作成されていたが、その名 簿は支援に必要な情報(要支援者の歩行可能性や医療 器具の有無等)が不十分であった. しかし、専門家が

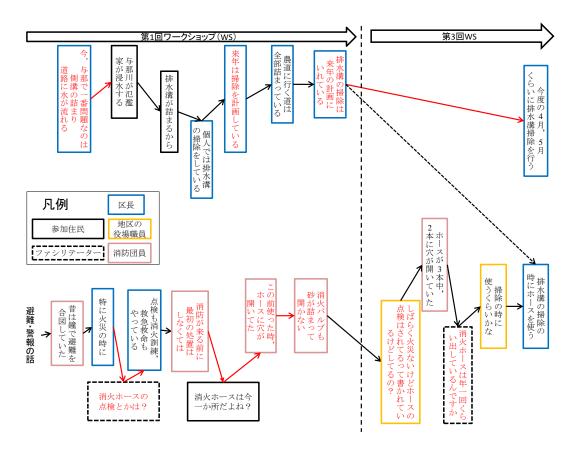


図-4 排水溝掃除・消火資機材の点検につながった話の流れ図

その状況を住民から教わり、今回、表-4に示したよう な要支援者支援につながるような名簿を協同し作成で きたことは WS の成果であると考える. そこで本項で は発言者の属性と発言語句に着目し、なぜその成果に つながったのかを考察する. 第2回WSにおいて、各 参加者が各要支援者世帯の情報を発言した世帯数を図 -5 に示す. 図より、民生委員や共同売店の方が多くの 要支援者世帯の情報を発言していることが分かる. ま たその班でしか出てこなかった要支援者数を比較した 場合, 男性の班は0人, 区長がいる班は1人なのに対 し、売店・民生委員の班は6人であった。つまり、売 店や民生委員の班は他の班に比べて多くの要支援者を 挙げていることが分かる. 以上の認識から, 共同売店 や民生委員は多くの要支援者情報を所有していると考 えられ、地区の要支援者支援を検討する際のハブとな る住民であると考えられる.

c) 炊き出しレシピの作成

女性の班において、第1回WSでは主に「行事の際は大釜で料理を作る」といった年中行事の際の炊き出しの話が主であった。しかし、第2回目WSでは「(災害時には)炊き込みご飯なら作れる」や「一度に70

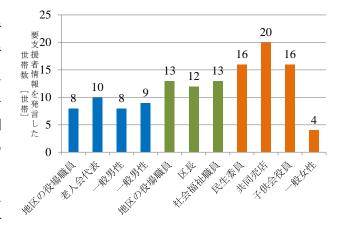


図-5 参加者が各要支援者の情報を発言した世帯数

から80食くらいは作れる」,「(津波の際は)山側の民家は浸水しないのでその家から食材をもらう」といったより災害を意識した炊き出しの話に変化していた. このように災害時の炊き出しを想定し話し合ったことは地域防災力向上につながると考えられる. なおページの関係上,これらの発言の流れ図は省略する.

班別, WS 別の炊き出しに関連する語句(食料,調理器具,備蓄,炊き出し)の頻度分布を図-6 に示す.これより,売店・民生委員がいる女性の班で多く炊き

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 1:環境·計画関連

出しに関する話がされており、他の班ではあまり話されていないことが分かる.このことから、繰り返し WS を行うことはある班では熟議されているが他の班では熟議されていなかった内容を共有できるメリットがあると考えられる.このことは住民が一団となり防災対応を行ううえでは重要である.

(2) WS の効果・意義のまとめ

前節の内容をまとめるとリスクコミュニケーション には以下のような効果・意義があると考えられる.

- 住民と専門家が双方の分からないことについて 所有している情報を教え合い共有し合うことで、 次年度の目標設定などの地域防災力向上に寄与 する成果を生み出す
- 区長や消防団員は地区の火災に関する防災対応 を検討するうえでハブになる
- 民生員や共同売店は地区の要支援者支援を考え るうえでハブになる
- 繰り返し話し合うことはより災害を意識した検 討につながり、またある班でしか出てこなかった 事項についても共有することが出来る

5. おわりに

本研究はコミュニティレベルでの自発的な自助・共助と、住民・専門家が協同し地区での防災計画の検討を行うことの重要性から、沖縄県国頭村与那でHMを支援ツールとして用いた住民・専門家による協同の防災 WS を行った。その結果、地区のより詳細な災害情報が載っているHMを住民とともに作成できたことや、排水溝の掃除といった次年度の目標が設定できたこと、要支援者支援につながる名簿の作成等の成果が得られた。また、これらの成果を対象に発言の流れや発言者、発言語句に着目しテキストマイニング分析等を用いWS の効果を考察した。その結果、4. (2)に示したような効果があることが示された。

また、そのような成果が得られた WS がなぜ開催できたかを考察した場合、それは地区住民と専門家という他主体をつなげる媒介者の存在が大きいと考える. 本研究での媒介者はその地区在住の役場職員であった. つまり、リスクコミュニケーションを行ううえではそのような他主体をつなげる媒介者もまた前述の消防団

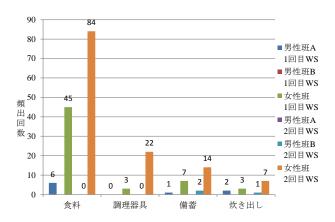


図-6 班別・WS 別の炊き出しに関連する語句の頻度分布

員や民生委員と同様重要であると考えられる.以上のような複数主体協同による防災 WS を行ううえで重要な知見を考察できたことは今後そのような WS を行う際の支援につながると考えられる.

今後の課題としては今回行った WS をより定量的・ 客観的に分析・検討を行い、さらなる具体的な知見を 抽出することや、他地域での WS との比較・検討を行 う必要があると考える.

謝辞: 今回の取り組みを行うにあたり、国頭村役場の 宮里幸助氏にはワークショップ日時調整など、大変お 世話になりました. 研究は(一財)第一生命財団の助 成を受けた. ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 内閣府:地区防災計画ガイドライン, 2014.
- 2) 鈴木猛康:巨大災害を乗り切る地域防災力,静岡学術出版, 2011.
- 3) 内閣府: 災害対策基本法等の一部を改正する法律, 2013, http://www.bousai.go.jp/taisaku/minaoshi/kihonhou_01.html (2013.12.29).
- 4) 室崎益輝,幸田雅治:市町村合併による防災力空洞化-東 日本大震災で露呈した弊害-,ミネルヴァ書房,2013.
- 5) 国頭村: 国頭村ホームページ,

http://www.vill.kunigami.okinawa.jp/ (2014.7.13).

 総務省統計局 e-Stat: 平成 22 年国勢調査, 2011, http://www.e-stat.go.jp.

沖縄本島河川の自然再生計画策定における目標設定のための現状分析

琉球大学 ○辻本真希 神谷大介 山口大学 赤松良久 沖縄県環境科学センター 宮良工

1. はじめに

1997年に河川法が改正され「河川環境の整備と保全」が目標に盛り込まれた。また 2002年に自然再生推進法が制定された。そのため多自然型川づくりや河川の自然再生事業が行なわれている。また住民主体の河川環境保全・再生活動が盛んに行われている。

沖縄県の長期目標である「沖縄 21 世紀ビジョン」の下で、失われた自然環境を取り戻すという目標があり、自然再生事業を実施する必要がある。自然再生事業を実施するためには、長期目標と自然再生事業の間をつなぐ基本計画が必要となる¹⁾. そのため、どこから事業を行うべきかを決めなければならず、それには優先順位をつけるための方法論が必要となる.

筆者らは、沖縄本島河川の自然再生についての優先順位をつけるための方法論の提案を大きな目標としている。本論文では、手始めとして、生体情報から河川の健全性を検討可能な魚類で河川の類型化を行い、水質と河川構造のどの指標が魚類に影響を与えているのか明らかにした²⁾.

2. 対象地域の概要と調査の概要

(1) 対象河川及び調査地点の概要

対象河川は、図-1 に示す沖縄本島における二級水系の本流二級河川とした.沖縄県管理の二級河川では流量観測を継続的に実施している河川でさえ少ない状況にあるため、対象河川の現状把握を目的とし水質調査および河川横断構造物の調査を実施した.水質の調査地点は、潮汐の影響が少なく、最大限の流域汚濁負荷がとらえられるよう河

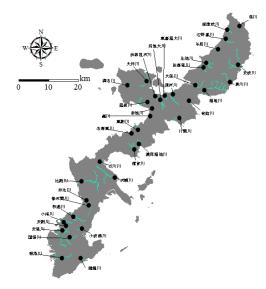


図-1 対象河川

川淡水区間最下流を原則とした.

(2)水質調査の概要と結果の考察

水質調査は、条件を統一するため出水の影響が無く、快晴が継続した平成25年8月6日~9日の短期間に実施した。調査には現地観測機器(東亜ディーケーケー社製多項目水質計WQC-24)を用い、DO(溶存酸素)、濁度を現地測定し、同一試料を用いてT-N(総窒素)、T-P(総リン)の室内分析を行った。水質調査結果の内、T-Nを図-2に示す。T-Nは、北部から南下するほど高くなっている。人口および産業の集中している中南部地域の方が、水質が悪化している。

(3)河川横断構造物の調査の概要

河川横断構造物調査を平成 26 年 5 月実施した. 位置座標は全て GPS を用いて記録した.河川横断構造物の種類は目視で確認した. さらに既往の調査結果³⁾ を加えて**図-3** に示す.

キーワード 水質 河川構造 魚類

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学理工学研究科 E-mail: k148476@eve.u-ryukyu.ac.jp

TN(mg/L) O.1mg/L以下 O.2mg/L以下 O.4mg/L以下 O.6mg/L以下 O.1mg/L以下

図-2 TN

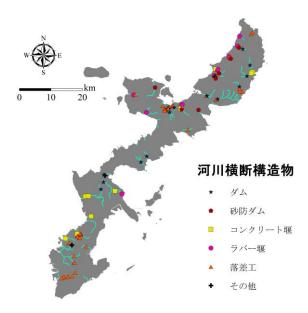


図-3 河川横断構造物

3. 魚類による河川の類型化

(1) 魚類調査の概要と結果の考察

嶋津の調査 4)では、沖縄本島の全河川における 魚類調査を行っており、外来種は 18 種、在来種は 周縁魚類を含めて 28 種を確認したとしている. た だし、環境省 RL^{5} 、沖縄県 RDB^{6} 、水産庁 DB^{7} の掲載の絶滅危惧種 13 種の分布河川情報は伏せ られている. 調査によって確認された魚類を表-1に示す.

このうち外来種8種は、池沼、湖沼、流れの緩い河川下流で生息する種である。また一部は、砂泥等に巣穴を作って繁殖する。そのため河道拡幅や落差工設置によって緩勾配になったことが、平常時の流速低下をもたらし定着を助長する一因になっていると考えられる。

在来種 28 種は,海と川を行き来して生活する両側回遊性種・降河回遊性種,また,海域・汽水域で生息しながら淡水域に侵入する周縁性種からなる.

従って,これらの出現種数が多いほど,河口から純淡水区間の確認地点まで,河口閉塞,河川横断構造物,瀬切れ・無水区間などの遡上障害が少ないと考えられる.

(2) クラスター分析による類型化

在来種数及び外来種数,在来種が各河川の出現 魚類に占める割合及び外来種が各河川の出現魚類 に占める割合を平均で除すことによって基準化し た数値を用いてクラスター分析を行った.なお,

T MAP ICS O CHEROCA WICKAS								
外来種	在来種							
カワスズメ属	イセゴイ	ナンヨウボウズハゼ属	ナガノゴリ	ユゴイ				
セルフィンプレコ属	ヨシノボリ属	ボウズハゼ	ギンユゴイ	ハゼ科				
ヒレナマズ属	オオクチユゴイ	ミナミハゼ属	クロダイ属	ミズン				
コイ	ゴンズイ	ギンガメアジ属	ツムギハゼ	ボラ科				
オオクチバス	オキナワフグ	タカサゴイシモチ属	カマス属					
ブルーギル	コトヒキ	ゴマフエダイ	テンジクダイ科					
インディアングラスフィッシュ	トビハゼ属	ヨウジウオ科	アイゴ属					
コウタイ	カワアナゴ属	クロホシマンジュウダイ	スズメダイ科]/				

表-1 嶋津4)によって確認された魚類

表-2 魚類の各河川グループ

グループ					統計	外来種数	在来種数	外来種が各河川で 占める割合(%)	在来種が各河川で 占める割合(%)	課題
de III III	北部	億首川 普天間川	天願川		中央値	3	3	60	40	多
安里川	中部	小湾川	比謝川	9						9
報得川	南部	安里川	国場川		範囲	3 ~ 6	1~5	37.5~75	25~62.5	
	(11) E(1)	雄樋川	報得川							
	U. den	真喜屋大川	羽地大川		中央値	2	7	25	75	
真喜屋大川	北部	幸地川	有銘川	10						-
大井川		我部祖河川 白比川	大井川 牧港川	10	範囲	2~3	4~9	20~33.3	66.7~80	
	中部	安謝川	石川川	1	#6 (21)	2 3		20 33.3	00.7	
		座津武川	新川川		中央値	1	5	12.5	87.5	1 ↓
座津武川	北部	大保川	名嘉真川		十大旭	1	3	12.3	87.3	
~	10,00	漢那福地川	轟川	8						
真謝川	.L. 4-n	真謝川			範囲	0~1	2 ~ 7	0~16.7	83.3~100	
	中部	小波津川 辺野喜川	比地川							-
		福地川	奥川		中央値	2	13	11.1	88.8	
辺野喜川	U. den	与那川	源河川		小人但			11.1		少
~ 安波川	北部	満名川	屋部川	11						1
女权川		汀間川	田嘉里川]	範囲	1~3	11~16	6.3~15.8	84.2~93.8	
		安波川								

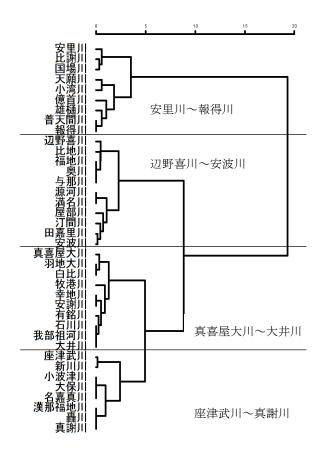


図-4 魚類のデンドログラム

類似度をユークリッド距離で定義し、ウォード法を用いた. 魚類のデンドログラムを図-4 に示す. 魚類による河川グループ分けの結果を表-2 に示す

図-4より類似度の距離を考慮して4つのグループに分けられた.各グループを示す表-2において、上のグループで外来種数、外来種の割合が共に多くなっている.上から2つ目と3つ目のグループは、在来種数、在来種の割合が共に多いが魚類の

表-3 河川環境を表す指標

x_1	DO
x_2	濁度
x_3	TN
x_4	TP
<i>x</i> ₅	流域面積
x_6	二級河川延長
<i>x</i> ₇	河川横断構造物数
<i>x</i> ₈	最大河床勾配
x_9	最大河床勾配までの長さ

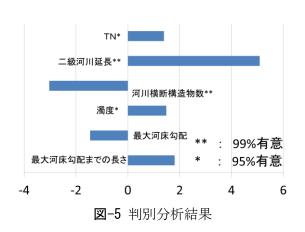
数が少なくなっている.下のグループは,在来種数,在来種の割合が共に多く魚類の数も多くなっている.

4. 判別分析による河川情報の分析

(1) 魚類種の判別モデル

外来種の多少に影響する要因を判別分析によって明らかにする⁸⁾. これは各種データに基づき人や物を判別する手法であり,説明変数には間隔尺度,目的変数には分類尺度を用いる. 本研究では線形判別関数と呼ばれる直線を用いて2群の判別を行い,変数選択はステップワイズ法で行う. なお,説明変数は表-3の指標,目的変数は外来種が多い河川(表-2の上のグループ),外来種が少ない河川(表-2の下3つのグループ)の2群とする.

データが 2 つ (x_1, x_2) である場合の線形判別 関数は式(1)で表される.



$$Z = a_0 + \sum_{i=1}^{2} a_i x_i \tag{1}$$

この式の Z は判別得点を表しており、この値に よって特定の群に判別される.

以下では、表-3の各指標の定義を示す.

 $x_1 \sim x_4$. 各水質指標(mg/L)

水質調査の結果を用いた.

*x*₅. 流域面積 A(km²)

既存のデータをもとに流域面積を算出した.データがない河川では、GIS(ArcGIS10.2.2)で地形データから河川の流域界の抽出を行い、流域面積を算出した.地形データは、国土地理院の10mメッシュDEMデータを用いた.

x₆. 二級河川延長(m)

沖縄県の二級河川指定一覧表を用いた.

x₇. 河川横断構造物数

二級河川区間にあるダム,砂防ダム,堰,落差 工の数とした.

xs. 最大河床勾配

DEM データを用いて河川の縦断面図を作成した. それから河川を 100m ごとに区切り, 100m ごとの標高を抽出し,100m ごとの河床勾配を算出した. その中で一番大きい勾配を最大河床勾配とした.

x₉. 最大河床勾配までの距離(m)

河口からx₈までの距離とした.

(2) 魚類種の判別結果

判別分析結果の標準判別係数を**図-5**に示す.標準化判別係数は判別に対する影響の大きさを表しており、この絶対値が大きいほど判別に与える影

響は大きいといえる. なお, 正が外来種が多い河川に影響する要因である. この結果の判別的中率は, 92%であり, χ 自乗検定による P 値は P<0.01 である. 判別精度は良好であると言える. この結果より, 外来種が多くなりやすい河川は, 二級河川延長が大きく,最大河床勾配までの長さが長く, TN と濁度が大きい河川であることが明らかになった.

5. おわりに

沖縄本島における二級水系の本流二級河川を対象に、クラスター分析を用いて魚類指標による河川分類を行った。そして水質と河川構造物が魚類にどのような影響を与えているのかを明らかにするため判別分析を行った。その結果、濁度と TN、二級河川延長と最大河床勾配までの長さが外来種の定着に影響を与えていることが示唆された。このことより自然再生を行うためには、汚水処理率の向上、畜舎廃水等による水質の改善が必要と考えられる。

謝辞:本研究の水質分析にあたっては、山口大学 理工学研究科高村紀彰氏に快く補助を引き受けて 頂いた.心より謝辞を述べる.

参考文献

1)吉川和広: 土木計画学 計画の手順と手法, 森北出版, 1975. 2)大石哲也,高岡広樹, 萱場祐一,原田守啓: 中小河川の効率的・ 適確な維持管理に向けて〜岐阜県の複数河川を対象にした河 道タイプの把握と成立要因の分析, 河川技術論文集 第18巻, 2012

3)環境調查技術研究所: 平成 16 年度 沖縄本島北部地域河川 再生調查検討業務 報告書

4)嶋津信彦: 2010 年夏沖縄島 300 水系における外来水生生物 と在来魚の分布記録, 保全生態学研究, Vol.16, pp.99-110, 2010. 5)環境省: レッドリスト (絶滅のおそれのある野生生物の種 リスト), 2007.

6)沖縄県: 改訂版 レッドデータおきなわ-動物編-, 2012.

7)水産庁:日本の希少な野生水生生物に関するデータ

8) 奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉澤正:多変量解析,日科 技連出版社,pp.259-324,1971.

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 1:環境·計画関連

浸水深を考慮した水害時避難の危険度に関する分析

琉球大学 〇峰翔太 神谷大介

山口大学 赤松良久

東京理科大学 大槻順朗 二瓶泰雄

1. はじめに

2010年奄美大島,2011年紀伊半島,2013年山口・島根および伊豆大島,2014年広島および四国等々,未曾有の豪雨災害が多発し,多くの尊い命が奪われている。これらの豪雨は気候変動により増加することが予測されており,豪雨災害対策は日本社会における重要な課題の1つとして位置づけられる。災害に対する備えはハードとソフトが相補的に機能することが重要であり,ソフト対策の基本は命を守る行動を選択することである。

近年の豪雨災害では、避難勧告が発令されなか ったことや遅かったことがしばしば指摘され, 2013年10月に内閣府は空振りを恐れず、積極的 に避難勧告を出すことを推奨している. 豪雨災害 に関する避難行動について、片田ら¹⁾は避難に係 る意思決定が状況依存しているとし、避難の勧誘 においては住民が避難勧告を取得することが有 効と指摘しており、達川ら²⁾は防災研修会とアン ケート調査を行い, 住民の防災意識を向上させる 方法を検証している. 2009 年兵庫県佐用町の水害 では避難中に水路に足をとられて命を落とした 方がいた3). また、著者らの奄美大島豪雨災害調 査4)では、そもそも集落内に安全な避難場所がな いところがあった. 既往研究の多くは、避難を促 すためのものが多いが, 避難すべき場所やそこへ 行くための経路に関する研究は津波災害に比べ てあまりなされていない.

以上の認識の下,本研究では,2013年7月山口・ 島根豪雨災害における萩市須佐を対象に,水害時 における道路ネットワークの利用可能性から見 た避難所配置に関する課題を明らかとするとと もに、浸水深を考慮した避難経路導出を目的とする.

2. 2013 年 7 月山口・島根豪雨災害時の須佐

山口県萩市須佐の家屋や避難所等の位置関係を図-1に示す。須佐は三方を山、一方を海に囲まれた小規模な集落である。全体的に平屋が多く、木造家屋も多い。萩市指定の避難所がは須佐緑地等管理センター(以下、管理センター)と須佐漁村センター、須佐総合事務所、須佐公民館・須佐文化センター(以下、公民館)、そして須佐中学校の5つである。図に示すように避難所は須佐川の右岸側にしか存在せず、左岸側の住民は川を渡っての避難という非常に危険な避難行動となることが分かる。

災害当時,須佐の降水量は2013年7月28日で351.0mm,最大1時間雨量が135.5mmを記録し,観測点における観測史上1位を更新した.7月28日における須佐の降水量を図-2に示す.この災害

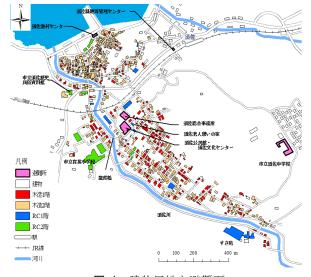


図-1 建物属性と避難所

キーワード 避難経路,避難所,豪雨災害

連絡先 〒903-0213 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部 E-mail:e115342@eve.u-ryukyu.ac.jp

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 1:環境·計画関連



図-2 2013年7月28日須佐の降水量と河川水位



により萩市で死者 2 名,行方不明者 1 名,床上・床下浸水 954 棟という甚大な被害をもたらされた の.避難勧告は 11 時に発令されているが,筆者ら の当時の住民避難の状況に関するアンケート調査 つによると,避難率は 30%程であった.その理由の多くは周囲の状況をみて避難の意思決定をしている.一方,避難しなかった人の多くは,気付くのが遅れたためと回答していた.つまり,避難勧告が発令された時点では,場所によっては避難すること自体が危険な状況になっていたと考えられる.避難した人の避難時間と当時の避難勧告時刻,累積雨量に基づく避難勧告発令基準に達した時刻を図-3 に示す つ.これより,避難勧告が発令される前に周囲の状況を見ながら避難をしている様子がうかがえる.

水害の進展過程について、大槻ら 8は被災地調査、ヒアリング調査、測量を行い、被災状況の再現解析を行っている。その内、氾濫解析より上述で示した時刻である 10:30 と 11:00 の結果を図-4、5 に示す。図より避難勧告発令時刻である 11:00

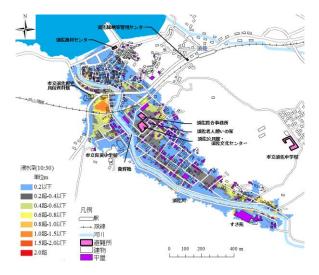


図-4 10時30分の浸水深8)

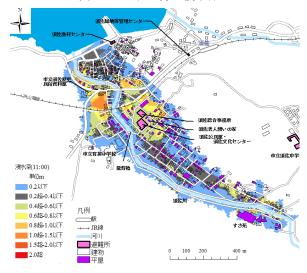


図-5 11時00分の浸水深8)

には公民館を中心に 60cm 以上の浸水深が広がっており、その周辺にある平屋は早期避難をしていないと危険であることが分かる.

以上の既往調査結果を基に、本研究では特に、 累積雨量に基づく避難勧告発令基準に達した 10:30⁷⁾と河川水位を基に発令された避難勧告発令 時刻の 11:00 に焦点を当て、避難所配置と避難経 路の危険度を評価する.

3. 避難可能性を考慮した避難所に関する分析

既存地図情報に加え、現地調査を基に地図に表されていない小規模街路も含めた道路ネットワークを作成した. さらに、各家屋の属性を木造およびRC造、階層を調査し、道路への接続関係も含めてGISデータベースを作成した. これに氾濫解析の結果を重ね合わせることで、道路ネットワ

ークの利用可能性を検討する. ここで, 浸水深さ については、自動車での避難を考慮し、自動車の マフラー高さより 20cm, および概ね膝程度の高 さである 40cm を基準として、ネットワークの繋 がりを評価する. これらの 10:30 および 11:00 の 評価結果を図-6 および図-7 に示す. この地区の 主たる避難所である須佐公民館周辺は 10:30 の時 点で浸水深が 20cm を超えていることから、自動 車による避難が困難になっていることがわかる. さらに避難勧告が発令された 11 時では公民館周 辺が浸水しており、避難所として利用できない状 況になっていた. すなわち, 主たる避難所が水害 に対しては非常に危険な立地であるとともに,避 難しにくい場所でもあることが理解できる. また, 図中に青丸で示す平屋周辺でも避難が困難な状 況が出ている. それは周囲に垂直避難可能な建物 が少なく, 11:00 には家屋周辺も浸水が 40cm 以下 となっている. 加えて公民館周辺の浸水状況も考 えると、避難を早めることが必要と言える。さら に須佐は高齢化率が高く, 高齢者のみの世帯が多 い地区であること, 平屋が多い地区であることを 考慮すれば、早期避難が重要であることは当然で あり、かつ、その場所から危険な箇所を通ること なく避難できる経路の選定や避難場所の配置が 重要であるといえる. その時, 豪雨時最も危険な 川を渡る行為は避けるべきである.この考えの下, 次章では避難行動からみた経路および避難所の

配置について検討する.

4. 浸水深を考慮した避難経路に関する分析

本章では安全な避難経路を以下の手順で分析を行った.①指定避難所を避難先として最短経路問題を解いた.②①と同様の避難所を避難先として,距離と浸水深を乗じた重み付き避難経路で最短経路問題を解き,最少危険度の避難経路を算出した.③左岸側に避難所を追加し,②と同様の条件で最少危険度の避難経路を求めた.なお,ページの関係上②と③の避難経路は災害当時の避難勧告時間である11:00の浸水深の結果だけを示すこととする.これらの結果を「避難距離」、「重み付き避難距離」「経路内最大浸水深」の3つの指標を用いて,比較・検討を行う.

(1) 最短経路問題としての最適避難経路

避難経路導出にあたり、全点間の最短距離を求めるためワーシャル・フロイド法を用いた。アルゴリズムは以下のとおりである。なお、Lは各リンクの距離、nはノードの総数、mは距離行列の行と列を示している。

手順
$$L_{ii}^{(0)} = L_{ii}, m = 1, (i, j = 1, 2, \dots, n)$$
 (1a)

手順2
$$L_{ij}^{(m)} = min(L_{ij}^{(m-1)}, L_{im}^{m-1)} + L_{mj}^{(m-1)})$$
 (1b)

手順3 L'''' ~ 0のとき終了

手順4m=nならば終了.

 $m \prec n$ ならば2)からm = m + 1として繰り返す

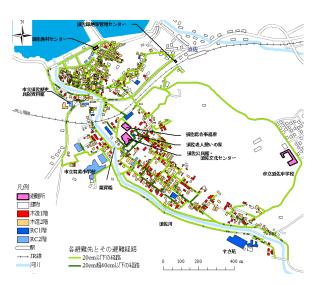


図-6 20cm 以下と 40cm 以下の避難経路 (10 時 30 分)

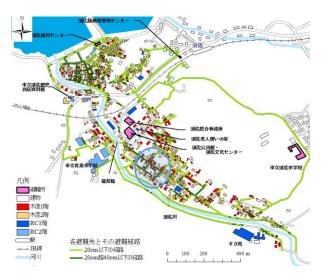


図-7 20cm 以下と 40cm 以下の避難経路 (11 時 00 分)

道路の交差点および家と道路の結節点にノードを作成し、道路ネットワークをもとにリンクを作成した。これらを基に距離行列を作成し、ワーシャル・フロイド法で最短経路を求めている。これにより全戸から全避難所への最短経路が導出される。この結果を図-8に示す。この図は各避難先で経路の色分け、避難所の番号を振っている。これより、公民館は250超の戸数の避難先となっていることから混雑の可能性が考えられる。加えて図-4、5で示したようにこの周辺は浸水が早いので公民館は避難先として危険であることが分かる。なお、左岸側の住民は川を渡っての避難となり、危険であることが分かる。

(2) 最少危険度問題としての避難経路

(a) 最少危険度評価の考え方

豪雨災害時,冠水した道路を通っての避難は危険であり,死亡に至る事例も存在している 3). 須佐においては家屋が密集しており,その間の流れが速くなることが予測される.よって,経路に浸水深を加味することで,浸水深を避けるような最少危険度の避難経路を導出することが重要であると考える.本研究では浸水深を考慮した避難経路を選定するため,ここでは下式を用いて決定する.

$$R_{ij} = L_{ij}(\alpha D_{ij} + 1) \tag{2}$$

 R_{ij} はノードij間の距離と浸水深を掛けた重み付き避難距離を表しており、単位は m^2 である. L_{ij} は 距離, D_{ij} は浸水深で、単位はどちらも m である. なお、浸水深がノードij間に複数存在する場合、最大値を用いる. 川を渡るリンクは、川を渡るのは危険であるという認識から浸水深の値を無限大としている. α はウェイトを示し、今回は一例として 10 としている. この重み付き避難距離を用いて最短経路問題として解くことで、避難経路を導出する.

(b) 現避難所での最少危険度避難経路

指定避難所を避難先として、また川を渡らないという条件の下、重み付き避難距離を用いて避難経路を算出した。その結果を図-9に示す。左岸側においては避難所が設けていないため、川を渡っての避難となることから避難不可能となり、左岸側には経路を示していない。右岸側においては各場所で避難先の変更が見受けられる。例として地点Aでは最短避難経路(図-8)において避難先が公民館(経路 4)であったが、最少危険度避難経路だと管理センター(経路 1)へと変化していることが分かる。図-5の浸水深と見比べても浸水深を避けるような経路となっていることが理解できる。



図-8 最短避難経路



図-9 浸水深を考慮した避難経路(11時00分)

(c) 避難所を追加した場合の最少危険度避難経路

次に上記の条件に付け加えて、左岸に新たな避難所を設けることを考える。このとき、避難所候補としてコンクリートの2階建てであり公的施設という条件とした場合、それらを満たす市立須佐歴史民俗資料館と市立育英小学校を避難所とした。これらを避難所として加えて分析を行った結果を図-10に示す。左岸側のほとんどは避難可能となったが、すさ苑周辺においてはコンクリートの2階建ての建物が存在しないために、近くに避難所が設けることが出来ず、避難不可能という結果となった。したがって、すさ苑周辺の住民は早期避難が絶対条件、あるいは高くて頑丈な建物の建造が必須であると考える。



図-10 避難所を設けた避難経路(11時00分)



図-11 地点 A での比較

(3) 最短避難経路と最少危険度避難経路の比較

図-8, 9, 10 に最短避難経路と最少危険度避難経路で避難先を変更する箇所として代表地点 A~Cを示している.この代表地点をもとに「避難距離」,「重み付き避難距離」,「経路内最大浸水深」の指標を用いて,最短避難経路と最少危険度避難経路との差を比較していく.図-11, 12, 13 は各代表地点と変更前後の避難先を拡大した図である.図中には3つの指標を表として設けてあり,最短避難経路(表中,最短距離)と最小危険度避難経路(表中,最少危険度)の各指標値を示している.地点A,Bともに最小危険度避難経路の方が避難距離は長く,重み付き避難距離の値が小さい.したがって,最小危険度避難経路は遠回りでも浸水深を避けた避難経路となっていることが



図-12 地点 B での比較

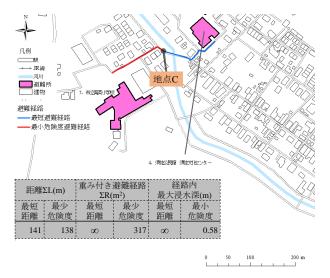


図-13 地点 C での比較

分かる.しかし、地点 A では最短避難経路よりも 経路内最大浸水深の値が大きい. つまり、最小危 険度避難経路は総合的に浸水している経路は避 けているものの、元の避難経路よりも浸水深の大 きい経路を通る危険性がある. 地点 C は新たに左 岸側に避難所を設けたため、避難距離は短くなっ ている. 最短避難経路は川を渡っての避難となる ため、重み付き浸水深と経路内最大浸水深は無限 大である. よって、最少危険度避難経路は豪雨時 川を渡る危険な避難行動がない避難経路と判断 できる.

5. おわり**に**

本論文では氾濫解析の結果を活用し、避難の安全性から見た避難所配置および避難経路の危険度を評価した.時間変化する浸水深より 20cm および 40cm という閾値を用いて道路ネットワークを表現した結果、最も主要な避難所が早期に避難不可能になることを示した.他にも避難困難な家屋を示した.さらに、安全な避難経路を求めるため、水深を考慮した最少危険度問題として算出した.この結果、最短経路ではなく、最少危険度問題として解くことにより、経路ごとに危険度を表現することを可能にした.

しかし、現時点では浸水深のウェイトを 10 とおいているが、この値を変えた場合、またある浸水深さを超えると道路が使えないことを想定したシミュレーションを行う必要がある。そのうえで、避難行動要支援者支援等へのアプローチを行うこととする。他にもミニサムの考え方によって、浸水深さが大きい経路を通る結果が出ていることからミニマックスを取り入れた最少危険度問題も検討していく必要がある。

謝辞:本研究では国土交通省 河川砂防技術開発 (流域計画・流域管理課題分野「行政と住民間の 連携を考慮した河川環境改善と水害リスク軽減 に関する研究」代表:神谷大介)および一般社団 法人中国建設弘済改技術開発に関する助成(「地 方小規模都市における豪雨災害に対する人的被 害軽減に関する研究」代表:赤松良久)の補助を 受けている.記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 片田敏孝・児玉誠・淺田純作・及川康・荒畑元就:東海豪雨災害を事例にした避難に係る意思決定の状況依存症に関する研究,水工学論文集,第46巻,pp.319-324,2002.
- 達川剛・財賀美希・藤井俊久・松見良晴・太田隆夫:住民の防災意識向上に有効な支援ツールの検証,土木学会論文集F6(安全問題), Vol.68, No.2, I_175-I_180,2012.
- 3)藤田一郎:平成21年台風9号による兵庫県佐用町河川災害について,2009.

http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/ndic/bunkakai/2hujita2009.pdf

- 4) 神谷大介・赤松良久・板持直希・竹林洋史・二瓶泰雄: 小規模集落における豪雨災害に対する課題と支援方策 ~奄美大島豪雨災害を事例として~, 土木学会論文集G (環境), Vol.68, No.5, I 305-I 312, 2012.
- 5) 萩市: 指定緊急避難場所 (旧・予定避難場所), 2014/10/13. http://www.city.hagi.lg.jp/soshiki/7/2476.html
- 6) 山口県:報道発表資料, 2013/8/14参照. http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/press/201308/025528_f1.p df
- 7) 神谷大介,赤松良久,渡邊学歩,大槻順朗,二瓶泰雄, 上鶴翔悟:小規模集ら気における豪雨災害に対する課題 と支援方策~萩市須佐地区を対象として~,2014.
- 8) 大槻順朗, 二瓶泰雄, 赤松良久: 2013年7月山口・島根豪雨による須佐川における被災状況調査と解析, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.I_1447-I_1452, 2014.

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 1:環境·計画関連

沖縄IT津梁パークにおける景観形成について

沖縄県 呉屋 則行

1 本論の概要

沖縄県では、「沖縄 21 世紀ビジョン」を 2010 年に策定しており、概ね 2030 年を目途とした沖縄の将来像と実現に向けた取り組みの方向性が示されている。この中で、「沖縄らしい自然と歴史、伝統、文化を大切にする島」「沖縄らしい風景・景観とまちづくり」が提示され、これを実現するために、沖縄らしい景観・風景を次世代へつなぎ、時間とともに価値が高まる「価値創造型のまちづくり」(景観 10 年、風景 100 年、風土 1000 年)を推進しているところである 1)。

このような沖縄らしい風景づくりが推進される中、合理的、機能的であればそれでよいとする側面もあり、これが景観形成のハードルになっているという現実がある。施設整備に携わる中で、特に、事務所や工場といった業務用施設の利用者にとっては、執務・作業空間が確



保され、セキュリティが万全で、機械設置のための床耐荷重があるなど、必要な機能を満たせば十分であるとの認識があり、景観形成への論理を必要としない側面があることを肌で感じるところである。 魅力的な風景づくりを進めるには、必要最低限満たすべき機能に加え、景観形成という「 $+\alpha$ 」を

どのように捉えるかがポイントとなると考える。ここでは、建築における機能面の重要性を理解した上で、景観形成、空間デザインも同様に重要であるという視座に立ち、この「+ α 」をいかに確保するかということについて検討を行っている。

本論では、米国ハワイ州に景観形成の事例を求め、建築物の外皮・沿道側外部空間に着目して調査を行うことで、リゾート的景観について考察を進めている。次に、ワーキング会議開催をとおして、沖縄IT津梁パークにおける景観形成ガイドライン作成し、これを本論の成果としている。

2 沖縄 I T津梁パークの概要

2. 1 整備コンセプト

沖縄県の情報通信産業は年々発展を遂げ、 2014年1月現在において、進出企業301社、 24,869人の雇用を創出し、観光産業に次ぐ第2 のリーディング産業となっている。

この情報通信産業の集積を図ることを目的に、2008年度から、うるま市の中城湾港新港地区において、沖縄IT津梁パーク(約20ha)の整備を進めており、リゾート性のある環境のもとでIT業務を行えるよう、「リゾート&IT」をコンセプトとした、施設整備を行っている²⁾。

特に、中核機能支援施設は、そのフラッグシップ施設となっている。





キーワード 景観形成、沖縄 I T津梁パーク、ハワイ州ホノルル、デザインガイドライン 連絡先 〒900-8570 那覇市泉崎 1-2-2 沖縄県商工労働部企業立地推進課 電話 098-866-2770

2.2 地理的現状

長時間にわたり室内で業務を行うことが多い IT従事者に対し、リゾートアメニティ環境を 提供することは、企業誘致・雇用創出を推進す る上で、沖縄県への企業進出インセンティブの ひとつとなっている。

しかしながら、沖縄IT津梁パークは工業地 帯に隣接し、リゾートとはかけ離れた印象があ るという現状があることから、リゾート的環境 をいかに確保するかということは、このエリア における課題であった。

2.3 民間主導の施設整備

沖縄IT津梁パークにおける施設整備は、民 間主導で進めることとしており、「リース方式」 を採用することで、賃料を安くすることができ るというメリットがある。

一方、この安い賃料というベクトルは、チー プな景観や、簡素な施設整備を促進する方向に あることから、景観的にも社会資本的にも不良 なストックとなる懸念があった。

この課題を解決するため、県側で景観形成ガ イドラインを作成することとし、その基礎資料 とするため、リゾート的景観に関する調査を米 国ハワイ州にて実施した。

3 米国ハワイ州における事例調査

3.1 調査の着眼点

リゾート的景観の構成要素を把握するため、 地理・気候が本県と類似している米国ハワイ州 を対象とし、2010年11~12月にかけての約2 週間、ホノルル市郡・ワイキキにおいて、調査 (文献調査、フィールドサーベイ及びヒアリン グ調査)を行った。

特にフィールドサーベイにおいては、建築物 と沿道側外部空間との関連性(あいだの状況) に着目し、景観構成要素(建築物、塀等の有無 や緑化等) のプロットを実施した。

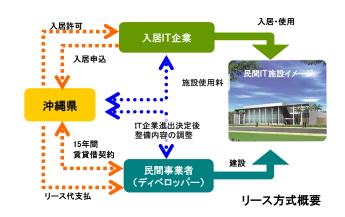
3.2 調査内容・結果

3.2.1 文献調査

ホノルル市郡にはまちづくりに関する7つの 特別地区があり、ここでは、改修・保全・再開

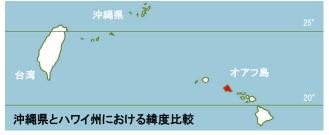


中城湾港新港地区俯瞰



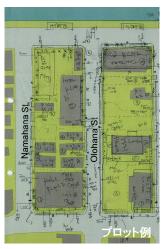








…セットバックなし



発等における整備指針(デザインガイドライン) が適用されている。調査対象としたワイキキは、 この特別地区を代表するエリアとなっている。

このガイドラインは、ハワイらしさ (Hawaiian Sense of Place) という概念を軸に構成されており、建築デザイン、壁面後退空間、緑化、看板、重要景観等に関する規制内容がわかりやすく示されている ³⁾。

3. 2. 2 フィールドサーベイ

東西約3km、南北約1kmのワイキキエリアを対象に、フィールドサーベイ(景観要素のプロット及び写真撮影)を行い(60街区、499棟)、その状況は以下のとおりであった。

建築物の特徴

色彩は、アースカラー(土等の自然素材をあらわす色彩)を中心とした落ち着いたものが多く、壁面に溶岩石をデザインする等、地域の自然素材の活用も多く見られた。

沿道側外部空間の状況

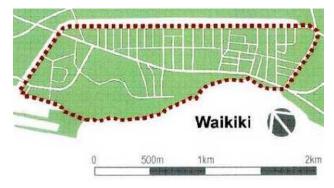
敷地境界線上に塀等のへだてがない事例が3 /4程度を占めており、歩道側と敷地側で一体 的な空間が形成されていた。このような空間が リゾート的なオープンな雰囲気を醸成している と感じた。また、道路側を緑化している事例が 多く、歩道の緑化あるいはセットバック空間に おいて積極的な緑化がみられた。

一方、平面駐車場を道路に面して設ける事例 もあり、そこは無味乾燥で景観上ネガティブ要 因となる印象を受けた。その解決策として、駐 車場の道路境界側に植栽帯を設け、歩行者の視 線に対して配慮している事例もあった。

また、外壁をセットバックし、緑化している 事例が多く見られ、特に歩道においては、ココヤシが連続しており、これがハワイのリゾート 的空間形成に寄与していると感じた。

3. 2. 3 ヒアリング調査

ホノルル市郡職員に対し、ハワイらしさ、許可手続き、植栽の維持管理等についてヒアリングを行った。ハワイらしさの空間概念は行政側の許可審査において重要視されており、デザインガイドラインの運用は厳格になされていることがわかった。また、歩道にある植栽は隣接す









る住民側に管理責任があり、メンテナンスは住 民が実施すること等がわかった。

3.3 得られた示唆

ワイキキは、開放的な沿道空間で構成されて おり、ココヤシ等による歩道緑化やセットバッ ク空間における緑化がリゾート景観を決定づけ ているという印象であった。このことから、建 築単体のデザインよりも、外部空間のあり方が 重要ではないかという示唆を得た。

4 景観形成ワーキング会議での検討

景観形成ガイドラインの作成にあたり、ワーキング会議を開催した。メンバーは、池田孝之琉球大学名誉教授、小野尋子琉球大学助教、施設入居予定企業、施設設計者、中核機能支援施設緑化計画担当者、うるま市都市計画課担当者、沖縄県(情報産業振興課、企業立地推進課、都市計画モノレール課)とし、景観形成に関する検討を行った。

4.1 景観形成の方針

通常の産業団地における施設整備では、周辺に配慮されていないことが課題であるとし、沖縄IT津梁パークでは、「リゾート&IT」の整備コンセプトを基軸に、パーク全体で一体感のある景観形成を目指すという結論を得た。

また、リゾート感のある自然環境を積極的に 形成し、安心して働き続けることができる就業 環境を提供することを景観形成の方針とした。

4. 2 整備基準

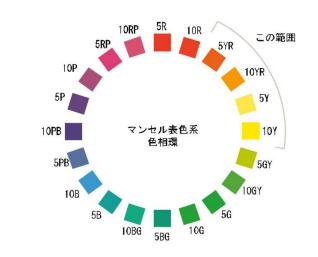
建築物の整備指針については、沖縄IT津梁パークの中核機能支援施設をベースに設定し、外壁後退、建築物高さ、壁面分割化、コントラストのある立面、壁面緑化、自然素材活用、色彩規制等について基準を設定した。

また、外部空間の指針では、駐車場における 配慮事項を明示し、憩いの小空間や敷地内通路 等、パーク内の歩行者ネットワークの形成、自 然素材を活用した舗装仕上を推奨する等とした。

緑化の指針では、緑地率や植栽帯の基準を設け、花が咲く植栽計画、リゾート的景観を演出するヤシ等の植栽、駐車場緑化の推奨等を設定した。









その他、サイン、屋外広告物や屋外照明についても基準を設けることとした。

景観形成デザインガイドラインは、2012年3月に作成を完了し⁴⁾、それ以降の沖縄IT津梁パークにおける施設整備については、当該基準を踏まえ実施されている。

4.3 公共側の役割に関する課題

当該ガイドラインは、敷地単位での整備という視点で検討を行ったところであるが、ワーキング会議において整備基準を検討する中で、「リゾート」整備は公共側で、「IT」整備は民間側で行ってはどうかという指摘があった。いわゆる、民間側に整備の負担を強いるのではなく、沿道緑地、水辺、公園などの基盤整備は公共側で行うべきとの意見である。

指摘のとおり、道路のような線的整備や、公園等の面的整備など、公共側の基盤整備における景観形成へのアプローチも課題であるが、敷地単位の民間整備のケースにおいて、公共側から、いかにサポートできるかについて検討することも重要な課題であると考えている。

沖縄県の都市計画・モノレール課では、「おきなわ景観素材 BOOK」を作成し 5)、琉球石灰岩や緑化手法等について情報を提供しており、「沖縄らしい風景づくり」のための人材育成にも取り組んでいるところである。

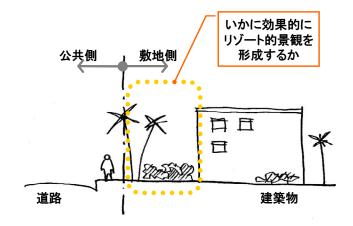
また、沖縄らしい風景づくりポータルサイト「風景結々」を開設し⁶、支援制度も含めて景観形成に関するサポート体制を整えている。

5 ガイドラインに沿った施設整備

以下、ガイドライン作成後(2012年度以降)の、沖縄 I T津梁パークや隣接工業地域における公共施設等の整備の状況について紹介する。

5.1 企業集積施設

リース方式を採用した沖縄 I T津梁パーク初の民間主導型整備のオフィスで、コールセンター系の企業が入居している。塀のないオープンな沿道景観を創出しており、建築物の色彩計画等についてもガイドラインに沿った整備を行っている(2012 年 5 月完成)。





おきなわ景観素材 BOOK



ポータルサイト「風景結々」



5.2 アジア | T研修センター

高度IT人材育成を目的とした業務用の公共施設で、「リゾート&IT」のデザインコンセプトを反映しており、琉球石灰岩を使用したエントランス外観、花ブロックの遮光ルーバーや、赤瓦屋根を採用している。また、建築内部においても木格子や池を整備することでリゾート感を演出している(2013年3月完成)。

5.3 情報通信機器検証拠点施設

情報通信機器等の組込システムの開発や検証 等を実施する企業を入居対象とした業務施設で、 沿道側にビロウを植栽し、沿道景観の形成に配 慮している(2013年8月完成)。

5. 4 高度技術製造業賃貸工場

中城湾港新港地区の工業地域における工場施設であり、沖縄IT津梁パークのガイドラインを参考に施設整備を行った。沿道景観や色彩に配慮した施設となっており、ヒンプンや憩いの外部空間も整備している(2013年8月完成)。

6 今後の展望

今回、景観形成に関する検討を進める中で、 公共側で解決すべき課題も把握できたところで あるが、景観の質を確保するためのガイドライ ンを作成し、施設整備に適用できたことは、ひ とつの成果であり、景観形成という「+α」の 思想の共有が、よりよいまちづくりにつながる と考える。

沖縄IT津梁パークでは、3棟目の民間主導の企業集積施設の整備に着手しており、隣接する工業地域においても賃貸工場の整備を進めているところである。中城湾港新港地区への企業立地・集積が進む中で、このような景観形成に配慮した取り組みが、魅力的な地域形成につながり、今後ますます価値が高まる業務エリアとなることを期待する。



- 1) 沖縄21世紀ビジョン基本計画(平成24年5月)
- 2) 沖縄 I T津梁パーク構想事業調査報告書(平成20年3月)
- 3) Waikiki Special District Design Guidelines
- 4) 沖縄 I T津梁パーク景観形成デザインガイドライン (平成24年3月)
- 5) おきなわ景観素材BOOK (平成25年3月)
- 6) 風景結々~沖縄らしい風景づくりポータルサイト









- 58	-
------	---

Session 2:地盤·地下構造関連

ロックアンカー・ロックボルトの健全性評価に対する非破壊試験法の開発

琉球大学 ○新城達也、琉球大学 正会員 藍檀オメル、渡嘉敷直彦、富山潤

1. はじめに

ロックアンカー、ロックボルトやアンカーボルトはトンネルや地下発電所、コンクリート構造物の補強材として使用されている。

現在既設構造物の健全性を評価することは日本を含めて各国において課題となっている。

上記の補強材の健全性評価には、引き抜き試験等は利用されているが、その費用や破断した場合の再打設は問題となっている。

本研究では、ロックアンカー、ロックボルトやアンカーボルトなどの健全性評価に関して 非破壊試験として衝撃を用いて非破壊的な試 験法の開発を目的とする。

2. 計測方法

小型振動計測システムを用いて、衝撃波を測定し、得られる周期や伝播速度結果の分析より健全性評価を行っている。実際の現場においてロックアンカー、ロックボルトやアンカーボルトの露出している端部に加速度センサーを取りつけて計測を行う(図1)。



図1 測定の様子

次に、特殊なシュミットハンマーを用いて端 部に衝撃波を与え、加速度応答を計測する。

利用しているシュミットハンマーは、アンカー頭部に一定の衝撃力を同一箇所で発生させることができる特徴を有するものである(図2)。



図2 従来のハンマーと特殊なシュミットハンマー

3. 結果の判定

波動論より周波数と伝播速度の間に下記の ような関係式を用いることができる(第一モー ド)。

$$\mathbf{V}_{1} = 2Lf \tag{1}$$

ここで、 V_1 :伝播速度(m/s) L:アンカーの長さ(m)f: 一次共振周波数(Hz)である。

縦波側と材料の弾性係数の間に下記のよう な関係式が存在する。

$$V_{p} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$
 (2)

ここで、 ρ :供試体の密度 (kg/m^3) ν :ポアソン比 $\mathbf{V_p}$:縦波速度(m/s) E:動弾性係数(GPa) (2)より測定構造物の動弾性係数を求めることができる。例えば、ポアソン比の値は0とすれば定式は下記のようになる。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{3}$$

Eはアンカーボルトのヤング係数である。計 測したEは健全時の Eo と比較した場合、下記 のような関係が成り立つならば

$$E_o > E$$
 (4)

アンカー材の劣化の程度を求めることができる。

キーワード ロックアンカー, ロックボルト, 非破壊試験, 衝撃波手法 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土木材料研究室

4. 計測結果および考察

4.1 付着有無の影響

図3は付着がない時の加速度応答を示す。この図からわかるように一定間隔で反射波が見受けられる。この応答からアンカー材の速度等が求められる。また、加速度波の振幅はほとんど同じである。このアンカー材のアンカー長は1547cmである。

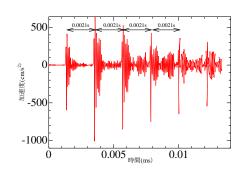


図3 ボルトだけのときの加速度応答

一方、ボルトは周辺の媒体に付着された場合 応答がかなり異なっている。図4は184cmのボルト体の加速度応答を示す。図一3における応答と図4における応答についてかなりの違いが見受けられる。一つは反射波の振幅が早い段階から減衰している。一般的なボルトは付着剤で覆われているので、健全性評価の際に波の減衰を考慮しなければならない。本来、同様な評価は得られる周波数特性においても可能であるが、ここで省略する。

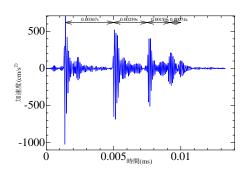


図4 付着があるときのボルトの加速度応答

4.2 健全性評価について数値解析の利用

実際のボルトやアンカーの幾何学形状や付着 状況は複雑であり、得られる観測結果を解釈す る際に数値解析による検討も必要である。 Aydan らは付着状況を考慮してアンカー体を Voigt 型の粘弾性媒体としてモデル化した数値 解析モデルを提案している。図 5 にその数値解 析モデルより得られた解析結果と計測データ を示す。若干、計測結果と解析結果に違いが見 受けられるが、反射波の到達時間を求めること が可能であると言える。

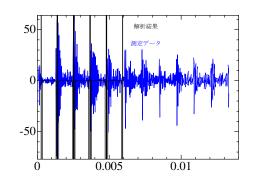


図5測定結果と理想的な波の比較例 最終的には部材の長さを入力すれば、理想的 な波を出力できるようにしたい。

4.3 傷や腐食の評価

傷や腐食がない場合、反射波は一定間隔で往復する。もし、測定結果に想定されているものと違う波が発生しているとその応答は傷や腐食による別な反射波であり、その到達時間より位置を振幅からその程度を把握することができるその一例を図6に示す。

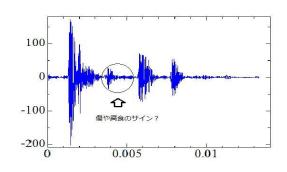


図6 傷や腐食が表れている波の例

5. まとめ

本研究で紹介した非破壊試験法よりロックアンカー・ロックボルトの付着状況・傷や腐食の場所や規模を推測することができる。

トンネル掘削における発破振動計測の試み

琉球大学 ○土屋憲一,正会員 藍壇オメル,渡嘉敷直彦,富山潤

1, 背景及び目的

発破は、一般的な掘削方法であるが、発破掘削では、振動によって周辺環境に影響を及ぼす。本研究で、小型加速度計を利用して、樽峠トンネルにおける、発破による振動の計測を目的とした。また、波動の伝達より周辺岩盤の弾性波速度の特性を計測し、その物性値の評価を行うことを試みた。さらに、発破後残孔の損傷からAydanが開発したBHDMを用いて地山に作用する初期地圧を推定する。

対象とした南アルプスに位置する中部横断自動車道樽峠トンネル(南工事-静岡県側-:延長 L=2,627m、全長 4,998m)においては、本坑坑口から 190m 程度入った本坑(下半)および避難連絡坑先端(坑口から 130m)の 2 回の発破時において、複数の小型加速度計をロックボルトプレートにつけ加速度を簡易に計測した。

2、 樽峠トンネルの概要

坑口区間数十mは、砂岩・泥岩の互層であり、それ以降は細礫岩となっている。計測時の切羽は坑口から 190mの位置である。切羽掘削時には影響はなかったが、露頭規模では破砕幅は小さいが弾性波探査の速度低下のため、図-1に示す F1~F3 断層の 3 箇所に大きな破砕帯の存在可能性を事前地質調査では示していた。

3, 計測方法

小型加速度計を用いて、避難連絡坑側壁、避難連絡坑トンネル、 トンネル本坑側壁に複数取り付ける。

この小型加速度計は、3 方向の加速度計測が可能であり、充電式内臓パッテリーで 48 時間程度までトリカートペール (今回 10Gal) に応じて、計測可能な写真 1 に示す小型タイプのものでロックボルトやプレート表面に容易に接着できるため現場での測定が簡易になる。

図 3 (a), (b) は、避難連絡坑トンネル発破における、発破地点より 23.5m離れた地点に計測器番号 S17 と 57m (PT02)離れた位置に設置された加速度計波形を示す。

図 4 (a), (b) は,トンネル本坑発破における、発破地点より 11.5m 離れた地点に計測番号 S20 と 109m離れた地点に計測番号 PT02 に設置された加速度計波形を示す。

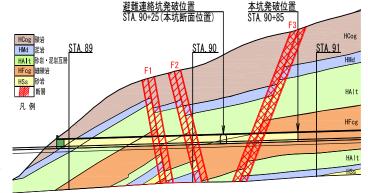


図1 (事前調査)地質縦断図 (本坑:坑口~250m 区間)

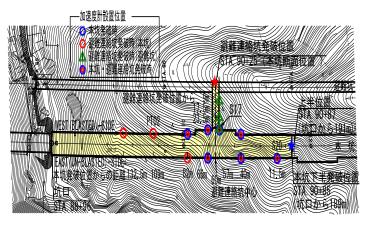


図2 発破切羽位置と計測箇所



写真1 トンネル本坑



写真 2 小型加速度計

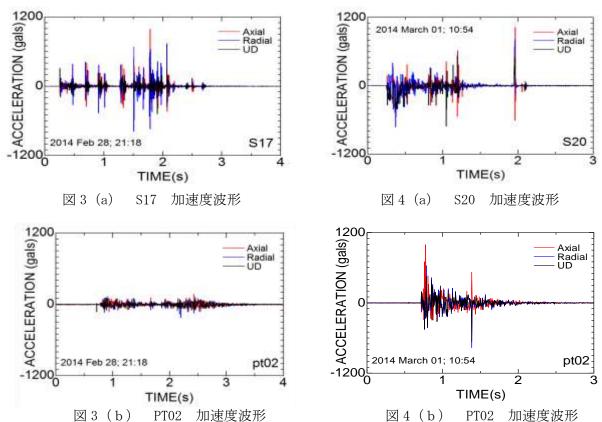
キーワード トンネル,発破振動,加速度,

連絡先 〒901-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TE098-895-8663

計測時におけるトンネル掘削は、図-2に示す避難連絡坑での全断面発破¹)及び本坑下半断面の発破掘削であり、避難連絡坑においては DS 雷管を用いた 10 段発破(Case-1)(含水爆薬 0.4~2.8kg)であり、本坑下半掘削は表 1に示す 4 段総薬量 30.4kgの発破(Case-2)であった。

表 1 掘削時の総薬量

	避難連絡坑	本坑(下半)上段:秒差(sec),下段:薬量(kg)					
	総薬量(kg)	1段	2段	3段	4段		
Case-1	71. 2						
Case-2		0	0.40	0.90	1.40		
		8.4	10.0	10.0	2. 0		



4, 計測結果

図3は、発破による振動が距離とともに大きく減衰し、加速度記録時間軸に対してはないことが分かる。

また、図4は、発破による最大加速度の距離減衰特性を示す。図によると、避難連絡坑発破時 と同様に、距離に比例して最大加速度の値は指数的に減少している。

加速度計の同期機能を用いて得られた岩盤の弾性波速度は、避難連絡坑の発破に関して 1.8-2.6km/s, 本坑の発破に対して 2.0-2.7km/s であった。

5, 結果及び今後の展望

この値は事前の物理探査で得られている値 2.5-3.0km/s に大変類似している為、発破振動でトンネル周辺の岩盤状況を把握することが可能である。また、発破後残孔の損傷からAydan 開発したBHDM を用いて地山に作用する初期地圧を推定する。

参考文献

Genis, M., Aydan, Ö., Derin, Z.: Monitoring Blasting-Induced Vibrations during Tunnelling and Its Effects on Adjacent Tunnels., Proc. of the 3rd Int. Symp. on Underground Excavations for Transportation, Istanbul, pp.210-217, 2013.

歴史的石積み構造物に対する多重パラメータ動態計測システムとその中城城址への適用

琉球大学 ○福長友弥, 琉球大学 藍檀オメル, 渡嘉敷直彦, 富山 潤

1.はじめに

琉球諸島には、城(グスク)を始めとする多くの石造文化財や岩盤構造物があり、これらの多くは、琉球石灰岩層上、あるいは層内に存在している。一般に、琉球石灰岩層の下部には基盤層の島尻層群が分布しており、琉球石灰岩層および島尻層群の劣化や風化現象により、上部琉球石灰岩層の長期的破壊が進行し、石造文化財や岩盤構造物の保存・維持が課題 1).2)となっている。世界遺産の一つである中城城址の南東側急崖斜面内には、連続した大きな亀裂が存在し、管理者の中城村役場は、急崖斜面上部にある城壁の長期的安定性に懸念を示しており、その対応を求めている。石造文化財や岩盤構造物の長期的安定性の動態を観測するため、多くの計測が可能な多重パラメータ(変位、AE、傾斜、加速度、温度、湿度、気圧)計測システムを開発した。このシステムを用いて、中城城址急崖斜面亀裂部の動態計測を実施した。本報告は、この多重パラメータ計測システムの概要を説明し、計測期間中に発生した地震時応答とともに計測結果を示す。

2. 中城城址南東側急崖斜面の概要

動態観測を実施した中城城址南東側急崖斜面の地質および急崖斜面亀裂部の状況を示す。まず、中城城址周辺の地質の状況を述べる。中城城址は、沖縄本島中部に位置しており、基盤層である島尻層群の上部に堆積する琉球石灰岩層上に造られている(図-1)、中城城址周辺の地質状況を図-2に示す。この付近の島尻層群は、主として泥岩(新里層・Ps2)、砂岩より構成され、層内には共役の断層が認めらで傾斜している。泥岩層の上部に琉球石灰岩層(D2B)の堆積が見られる。



図-1 中城城址南東側斜面位置

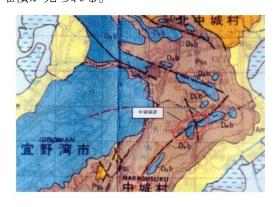


図-2 中城城址周辺の地質

キーワード:長期的多重パラメータ計測モニタリングシステム、琉球石灰岩層の構造

連絡先: 〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地 TEL 098-895-8663

次に、急崖斜面亀裂部の状況を述べる。中城城址南東側急崖斜面の状況を図-3 に示す。琉球石灰岩層 急崖斜面の高さは約 20m で、岩盤不連続面の調査の結果、層理面はさし目状態であり、断層による岩盤 ブロックが形成されているが、局所的な不安定性は認められない(図-4)。



図-3 中城城址南東側斜面の状況

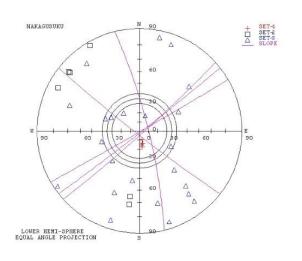


図-4 岩盤斜面不連続面の状況

図-5 に示すように、琉球石灰岩層の急崖斜面に生じている大きな縦亀裂は、斜面上部において 30~40cm 程度の開口が見られ、基盤層まで続いていると思われる。図-6 に、亀裂発生近傍の断面図を示す。亀裂発生は、基盤層である泥岩層・砂岩層の長期にわたる地下水の影響や風化作用が要因となり、上部の琉球石灰岩層に縦亀裂を生じさせていると推察される。同様の要因で分離したと考えられる岩塊の例を図-7 に示す。



図-5 斜面上部亀裂の状況

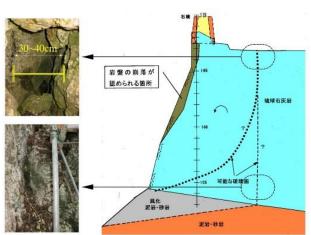


図-6 南東側斜面亀裂部断面図





図-7 琉球石灰岩急崖斜面より分離した岩塊の例

3. 多重パラメータ動態観測システムの概要

中城城址南東側急崖斜面亀裂部の長期的安定挙動を把握するため、亀裂部の変位、岩盤の傾斜、AE および地震発生時の加速度応答を計測する多重パラメータ動態観測システムを構築した。本計測システムの状況を、図-8 に示す。本計測システムは、亀裂部に設置した各種センサー、計測装置収納ボックスおよび電源を供給するソーラーパネルより構成されている。計測装置収納ボックスは、変位計、AE、傾斜計個々のアンプ・ロガー、およびソーラー電源システムのバッテリーと安定器・電源接続ターミナルより構成されている(図-9)。



図-8 多重パラメータ動態観測システム



図-9 計測装置収納ボックスの構成

急崖斜面亀裂部に設置した各種センサーの状況を図-10 に示す。亀裂部の左側が不安定岩盤、右側が固定岩盤である。亀裂を挟む不安定岩盤および固定岩盤の変位および傾斜を把握するため、それぞれの岩盤に特殊な治具を取り付け、変位センサー、傾斜計および加速度計を設置した。この治具の材料には、

温度の変化による変形の影響を抑える膨張性の小さい特殊鋼を用いている。 亀裂間の変位を計測するため、直行する 3 方向に変位計を設置した。また、岩盤の傾斜を測るため、それぞれの治具に傾斜計を水平に設置した。 AE センサーは、直接不安定な岩盤に固定した。 図-11 に、種々の構造物の加速度応答を安価で簡易に計測する目的で新たに開発したスタンドアローン型の加速度計を示す。本加速度計は、加速度センサー、データロガー(2GB)および内蔵バッテリーで構成され、長期の観測を考慮し、外部電源による蓄電も可能となっている。また、データ計測開始のトリガー設定、計測インターバル設定、計測時間設定などの各種機能を PC で簡易に設定できるようになっている。

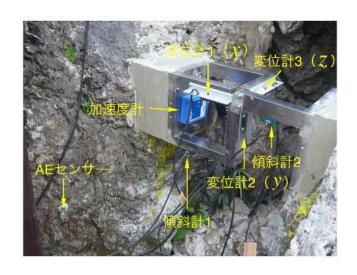


図-10 亀裂部における各種センサーの設置状況



図-11 開発した小型加速度計

4.計測結果

(1) 変形、傾斜、AE 挙動

中城城址南東側急崖斜面亀裂部に設置した多重パラメータ動態観測システムを用いて、2014年2月1日より観測を開始した。図-12に、観測開始後4月5日までに計測した亀裂の相対変位(3方向)と温度、湿度の変化を示す。亀裂部の相対変位の方向は、図-10に示す通りであり、水平方向(x,y方向)の相対変位は、開く傾向を示しているが、鉛直方向(z方向)の変位は、水平方向の比べて小さい。亀裂を挟む不安定岩盤が、固定岩盤から離れる方向に変位していることを示しており、これは、基盤層である島尻層群の地下水の変化が影響していると推察される。図-13に、傾斜計(重力計)によって計測された岩盤の傾斜の変動を示す。亀裂変位の変化と同様に、島尻層群の地下水の影響を受けて不安定岩盤の傾斜の変動が見られる。また、同図に重ね合わされた潮位(南城市知念)の変動に連動した傾向も認められ、岩盤の動態が、潮位の影響を受けることがわかる。不安定岩盤に設置したAEセンサー(図-10)によって計測された結果を図-14に示す。観測期間内に発生しているAEカウントの多くは、計測センサーを風雨から防護するカバーの風雨による震動発生が起因していると思われ、風雨によるAE発生を排除する対策を検討している。常時における岩盤のAEの発生は、ほとんど見られない。地震発生時のAE発生については、次節に示す。

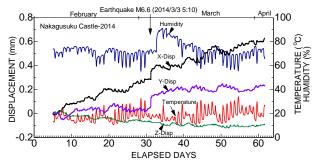


図-12 亀裂変位(3方向),温度,湿度の変化 (2014年2月1日~4月5日の計測結果)

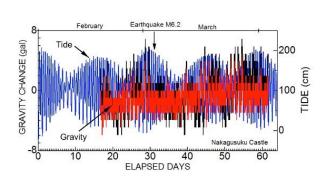


図-13 傾斜の変化(2014年2月1日~4 月5日の計測結果)

(2) 地震発生による影響

観測開始後、3月3日午前5時10分沖縄本島北西沖にてM6.6の地震が発生し、同日午前11時27分に、沖縄本島北西沖近海でM5.0の地震が続いて発生した。最初の地震によって中城城址近傍で観測された具志川観測点における加速度記録を図-15に示す。地震は、逆断層型であり、加速度の最大値は、いずれの方向も40gal以下であった。

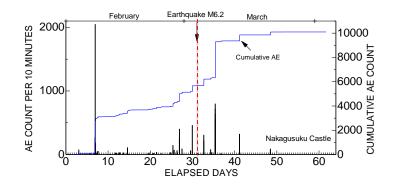


図-14 AE 挙動(2014年2月1日~4月5日の計測結果)

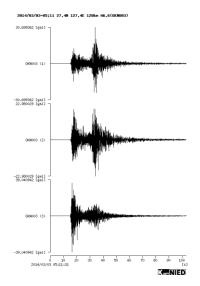
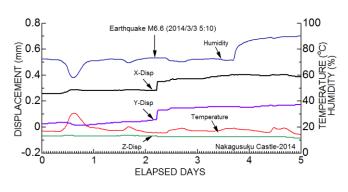


図-15 地震による加速度記録(具志川)

この地震発生前後における亀裂部の相対変位の変化を図-16に示す。地震発生によって、亀裂部水平方向に約 0.15mm の永久変位(開口)が生じた。地震発生に起因していると思われる AE の発生を図-17に示す。二つの地震発生時に、それぞれ岩盤の AE 発生が認められる。設置した加速度計のトリガーレベルのしきい値を上げて設定していたため、地震発生による加速度を記録することができなかった。このため、しきい値を再設定し、今後の地震発生時の加速度記録に備えている。



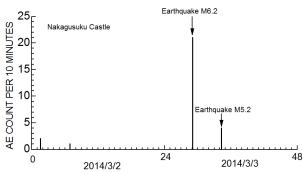


図-16 地震発生時前後の亀裂変位の変化

図-17 地震発生に起因した AE 発生

5.まとめ

石造文化財や岩盤構造物の長期的安定性に関わる動態を観測するため開発した多重パラメータ動態観測システムを用いて、中城城址急崖斜面亀裂部の動態計測を実施した。計測期間中に発生した地震時応答とともに計測結果を要約する。

- 1) 開発した多重パラメータ(変位、AE、傾斜、加速度、温度、湿度、気圧)計測システムは、長期間 におよぶ計測を可能とするため、ソーラーパネル電源供給と、多量のデータ記録が可能なデータロ ガーを有する計測装置を採用し、多種のデータ収録が行われている。
- 2) 急崖斜面亀裂部の変形性状は、水平方向の微少な相対変位(開口)が続いており、亀裂を挟む不安定 岩盤が、固定岩盤から離れる方向に変位していることを示している。鉛直方向への変位はほとんど見 られない。変位発生は、基盤層である島尻層群の地下水の変化が影響していると推察される。
- 3) 常時におけるAEの発生はほとんどなく、2014年3月3日の地震の発生時に、若干のAE発生があった。
- 4) 地震発生によって、亀裂部水平方向に約0.15mmの永久変形 (開口) が生じた。
- 5) 亀裂変位の変化と同様に、島尻層群の地下水の影響を受けて不安定岩盤の傾斜の変動が見られる。また、潮位(南城市知念)の変動に連動した傾向も認められ、岩盤の動態が、潮位の影響を受けることがわかった。

参考文献

- 1) 渡嘉敷直彦、藍檀オメル、Genis、 M、太田良巳:琉球石灰岩層における自然岩盤構造物の静的および動的挙動に関する研究、第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、土木学会、 Vol.39,pp.428 -433,2010.
- 2) 渡嘉敷直彦, アイダン オメル, 元村好彦, 照屋優, 湖城清, 上良卓: 琉球石灰岩層における自然 岩盤構造物の安定性評価に関する研究, 第12回岩の力学国内シンポジウム, CD-ROM, 2008.

マッドペーストにおける Mud crack 生成パターンに関する実験的検討

 琉球大学大学院
 学生会員
 ○広瀬 孝三郎

 琉球大学
 正会員
 松原 仁

 琉球大学
 正会員
 原 久夫

1. はじめに

田畑や干潟に発生する割れ目は Mud crack と呼ばれている. Mud crack にはいくつかの規則的なパターンがあり,古くから注目されているものの,き裂発生メカニズムに関する系統的な研究例は少なく,十分に理解されているとは言い難い状況がある.

Mud crack に関する研究は、乾燥前に振動等の外力を与え、き裂形状自体をコントロールする研究 1)、混合土の構成を変化させることにより内部構造を破壊し Mud crack に与える影響を観察した研究 2)等がある. しかしながら、土壌およびペーストの種類とき裂進展過程、き裂進展速度等との関連性は、未だ解明されていない.

そこで本研究では、Mud crack パターンの支配要因として、試料の層厚、Mud block の大きさ、粒径、塩分濃度、含水比、き裂長さに着目して実験的検討を行った.

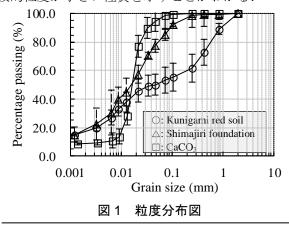
2. 実験方法

2.1 実験条件

本実験では、沖縄県に分布している国頭まあじおよび島尻層群泥岩を試料として用い、最大粒径 $425 \mu m \sigma$ ふるいを通過した紛体を使用した. $CaCO_3$ に関しては粒度調整済の試料を用いた. 容器には、容器と試料の摩擦を極力抑えるために、フッ素樹脂加工を施してある円形金属容器(直径:28cm、厚さ:5.3cm)を使用した.

試料は、温度 25°C、湿度 40%に設定した恒温器内に設置した. 試料の層厚は 10mm と 15mm、塩分濃度に関しては、0%と 10%の 2 パターンで行った.

本研究で用いた試料の粒度分布を図 1 に示す. 同図より, 国頭まあじに関しては砂分を多く含む試料であり, 島尻層群泥岩および $CaCO_3$ は国頭まあじに比べ比較的粒度が小さい性質を示すことがわかる.



2.2 評価方法

本研究での評価項目を以下に示す.

- ① 最終き裂パターンと最終含水比との関連性評価
- ② 経過時間とき裂進展長さの関連性評価

①に関しては、定点カメラにて撮影した画像および最終含水比をもとに比較検討を行った. ②に関しては、定点カメラの画像およびデジタル画像処理技術を利用して評価を行った. 本技術では、図 2 に示すように画像を読み込み、き裂を線で表示することでき裂の長さを算出することが可能である.

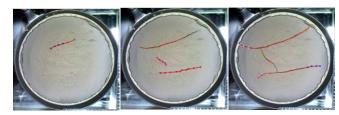


図2 き裂進展長さを求めるための手順

3. 実験結果

3.1 最終き裂パターンと最終含水比との関連性評価

各試料における24時間乾燥後の最終結果画像を図3,図4および図5に示す.同図より,Mud blockの大きさは層厚10mmの試料の方が層厚15mmの試料よりも小さいことが確認された.この傾向は,塩分を含んだ場合に顕著であった.塩分を含む試料の場合,内在塩分の結晶化に伴って試料内部の土の構造が破壊されるため,Mud crackが生じにくくなったためだと考えられる.また,最終含水比に関しては,試料の層厚が厚く,内在塩分を含む試料ほど,乾燥後も高い含水比を保持することがわかった.

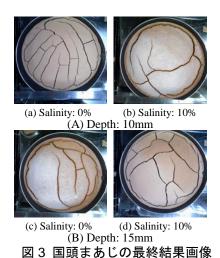
以上のように、内在塩分と含水比に関連性があることから、本研究では経過時間ごとの含水比の変化を観察した.経過時間と含水比の関係を図 6 に示す. 同図より、塩分を含んだ試料に関しては、高い含水比を保持することが確認された. 要因としては、塩分が水分を吸収すること、内在塩分の結晶化に伴い水分の蒸発が抑制されることが考えられた. 塩分が結晶化する現象に関しては、図 4(b)および(d)からも確認できる.

3.2 経過時間とき裂進展長さの関連性評価

経過時間とき裂進展長さの関係を図 7 に示す. 本研究では、き裂が発生してから 20 分間隔でき裂進展長さ

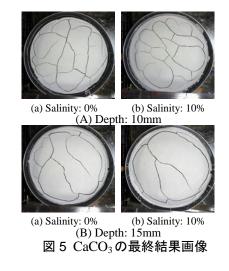
キーワード Mud crack, 塩分, 粒径, き裂進展長さ,

連絡先 〒903-0123 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 E-mail:k148653@eve.u-ryukyu.ac.jp



(a) Salinity: 0% (b) Salinity: 10% (A) Depth: 10mm

(a) Salinity: 0% (b) Salinity: 10% (B) Depth: 15mm
図4島尻層群泥岩の最終結果画像



60 Kunigami,Salt:0% Kunigami, Salt:10% 50 Shi majiri,Salt:0% Shi majiri, Salt: 10% Moisture content (%) CaCO3,Salt:0% 40 CaCO3, Salt: 10% 30 20 10 0 0 16 Elapsed time (hour)

図 6 経過時間と含水比の関係

を測定した. しかしながら, $CaCO_3$ に関しては, き裂進展が他の土壌に比べて早かったため 10 分間隔とした.

図 7(c)より $CaCO_3$ に関しては、塩分の有無によりき 裂進展に明確な違いがみられた。しかしながら、 $CaCO_3$ よりも比較的大きな粒径の紛体を含む島尻層群泥岩 (同図(b)) および砂分が多い国頭まあじ(同図(a)) に ついては、大きい粒径の紛体が含まれる程、 $CaCO_3$ にみられた明確な違いがみられなくなることがわかった。

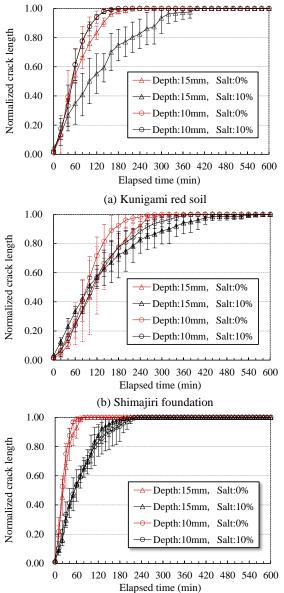
さらに、き裂進展速度に関しては、図6および図7より、乾燥後も高い含水比を保持する試料程、き裂進展に時間を要する傾向があることがわかった。以上のことから、Mud crack におけるき裂と粒径の構成には強い関連性があることがわかった。また、内在塩分は試料の含水比に対して非常に影響することから、き裂進展速度に影響を与えることがわかった。

4. おわりに

本研究では基礎的な実験に留まっている. 今後, 実 問題に適用することが必要である.

参考文献

1)Nakahara, A. and Matsuno, Y.: Imprinting memory into paste and its visualization as crack patterns in drying process, J. Phys. Soc. Japan 74 1362, 2005.



(c) CaCO₃ 図 7 経過時間とき裂長さの関係

2)伊藤寛之, 宮田雄一郎: マッドクラックのパターン形成実験, 地質学雑誌 104巻, pp.90-98,1998.

島尻層群泥岩の微生物風化に関する一考察

琉球大学大学院 学生会員 ○松嵜 史明 琉球大学大学院 学生会員 広瀬 孝三郎 琉球大学 正会員 松原 仁 琉球大学 正会員 原 久夫

1. はじめに

土の強度は地質・破砕状態・風化・亀裂・固結程 度・地盤の物理的特性・膨張性・湧水状態など多く の物理的・化学的・生物学的作用素によって特徴付 けられ、実社会においても考慮されている. しかし ながら,これらの考慮のほとんどは物理的外乱によ るものを対象としており、化学的・生物学的な作用 に関しては無視される場合が多い. 一見すると土の 強度評価に無関係とも思える微生物であるが、近年 の研究によりこれらが地形形成に与える影響は極め て大きいことが分かりつつある. $Song^{1)}$ らによると、 土壌に普遍的に存在するバクテリアの一つである Bacillus subtilis が花崗岩を風化させ、微細な穴を形成 させる. また、微生物を用いた地盤改良の研究²⁾な ども数多く行われてきている. 上記のことを踏まえ ると、微生物が自然界の土または地盤の力学挙動に 与える影響は大きいと考えられる. このことは、地 盤の浸食に関する配慮されるべきひとつの要因であ ることを示している.このような状況下において, 本研究では、土壌中の微生物が土の強度に及ぼす影 響度合いについて調査した. 具体的には、微生物の 存在と粘土供試体の一軸圧縮強さとの関連性を明ら かにする. なお、微生物は影響度合いの即効性を考 慮し、写真1に示す乳酸菌を用いることにした.

2. 実験方法

本研究では粘土試料として沖縄県に広く分布する 島尻層群泥岩(4.75mm ふるいを通過したもの), 微生 物は市販の乳酸菌を用いた. 供試体は突き固めによ る土の締め固め試験 (JIS A 1210)によって作成し,強 度評価は一軸圧縮試験(JIS A 1216)に従って行った.

供試体は乳酸菌ありと乳酸菌なしの 2 種類を作製し、供試体における乳酸菌の反応と時間経過による変化を比較するために、15 日間隔で 5 回の(15 日,30 日,45 日,60 日,75 日)試験を行った。また、1 回の試験で乳酸菌あり・なしでそれぞれ 5 個の供試体を使用し、データのばらつきを抑えるために、最大応力の平均値から遠い 2 個を除き、残る 3 個を有意とした。

3. 実験結果

3.1 含水比

本研究では、供試体中の水分の蒸発を防ぐために、 不透水性のラップにて供試体を保管した. 経過時間 と含水比との関係を図1に示す. なお, L は乳酸菌

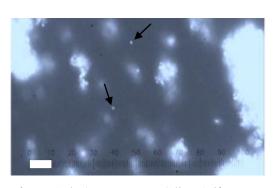
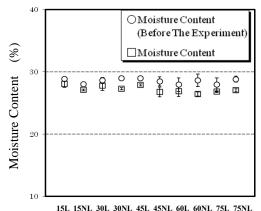


写真1 本実験で用いた乳酸菌,白線:0.1mm



Test Piece (Days)

図1 経過時間と含水比の関係

あり、NL は乳酸菌なしの供試体を表している.図1より、得られた含水比はほぼ一定であり、本手法にて水の蒸発を防げていることがわかる.

3.2 供試体

写真 2 に乳酸菌を注入した 15 日から 75 日までの供試体をそれぞれ 1 個ずつ,写真 3 にその破壊状況を示した.写真 2 より, 15 日の供試体のみ表面が粗くなっている様子がわかる.また,写真 3 より, 15 日の供試体の破壊は他と比較して激しく生じていることがわかる.

3.3 応力-ひずみ曲線の比較

一軸圧縮試験で得られた応力-ひずみ関係を図2に示す. (a)は乳酸菌あり, (b)は乳酸菌なしの場合である. 図2(a)より, 15 Lの最大応力は83 kPa であり, 30 L, 45 L, 60 L, 75 Lに関してはほぼ同値の最大応力(それぞれ209 kPa, 219 kPa, 209 kPa, 204 kPa) が得られた.

キーワード 島尻層群泥岩,乳酸菌,一軸圧縮試験,微生物溶解,チキソトロピー 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 k138515@eve.u-ryukyu.ac.jp

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 2:地盤·地下構造関連

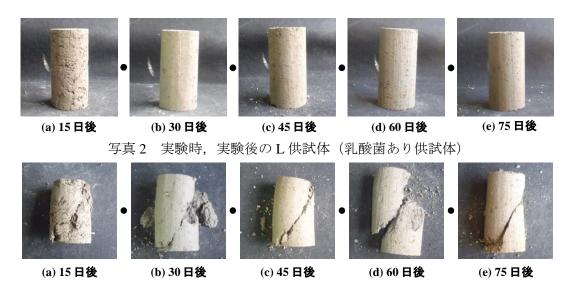
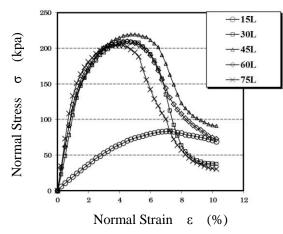
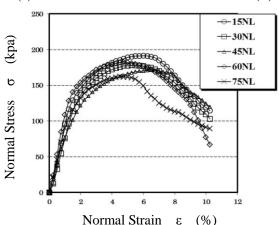


写真3 実験時,実験後のL供試体(乳酸菌あり供試体)



(a) Normal Stress – Normal strain curve (L)



(b) Normal Stress – Normal strain curve (NL)

図2 応力とひずみの関係

一方,図2(b)より,乳酸菌なしの場合は,経過時間に関わらず,ほぼ一定の最大応力値を示した.

図 2 (a)の 15 Lの最大応力のみが低いことに関して、乳酸菌が島尻層群泥岩を分解したためであると考えられた. 微生物による土壌の分解は、一般に微生物溶解(BMD) 31 として知られており、本研究においても島尻層群泥岩の土粒子間構造が破壊されることにより強度が低下したと考えられた. このことは写真 2

に示したトリミング時の 15 L の供試体の表面が 15 日以降の反応日数を有する供試体と比べて粗面になっていたということを考慮しても理解することができる. つぎに,図2(b)に対して図2(a)の30 L,45 L,60 L,75 Lの最大応力が高くなっている. この原因に関しては,微生物の溶解活動停止による粘性の増加ということが考えられる.

すなわち,15日以降の供試体では,乳酸菌が死滅し,そして,乳酸菌によって,分解された土粒子は,チキソトロピー4によって土粒子構造を再構築し,粘性が増加したと考えられた.乳酸菌が死滅することにより微生物の溶解活動が止まり,その後チキソトロピーにより強度が増加したと考えられる.

おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す.

- (1)粘土供試体に乳酸菌を注入すると 15 日目までは 一軸圧縮強さは下がった.これは微生物溶解によ り土粒子間の構造が破壊されたためだと考えられ る.
- (2)15 日目以降の乳酸菌を注入した粘土供試体は一軸圧縮強度が上がった.これは乳酸菌が死滅し,微生物溶解の活動が止まることで,チキソトロピーの効果が顕著に表れたと考えられる.

参考文献

- W. Song, N. Ogawa, C.T. Oguchi, T. Hatta,,
 Y. Matsukura, Effect of Bacillus on granite weathering, A laboratory experiment, 2007.
- 2) 土屋 慧, 細尾 誠, 畠 俊郎: 微生物機能を用いた土の強度増加に関する基礎的検討, 土木学会中部支部研究発表会, 2009.
- 3) 河野 元治,富田 克利:スメクタイトの微生物 溶解,地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 2003.
- 4) 林 唯一, チキソトロピーによる地盤の液状化ー 新潟地震噴砂・変形堆積構造を例としてー, 地質 学論集, No.27, pp.55-69, 1986.

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 2: 地盤·地下構造関連

圧密載荷時間が圧縮指数に与える影響に関する実験的研究

琉球大学 〇山路 伸悟 琉球大学 近藤 慎吾 琉球大学 玉城 侑 琉球大学 原 久夫

1. はじめに

標準圧密試験は試験を終了するまでに8日間を要し、土質試験法の中でも最も時間を要するものの1つである.著者らは試験時間の短縮を目的とし、これまでに、1段階での載荷時間の長短が圧密特性値に与える影響について調べてきた¹⁾.本論文では、練返し再圧密した島尻粘土について、載荷時間と圧縮指数との関係に着目してまとめた結果を報告する.載荷時間と圧縮指数の関係については小川²⁾らの報告例がある程度で研究例は少ないが既往の研究では、載荷時間が短くなると圧縮指数が大きくなることが示されている.

2. 実験方法

本実験で用いた試料は島尻層群泥岩を木槌で打ち砕き、 2000μ m ふるい通過分を含水比105%に調整して練返し、 425μ m のふるいに通して、直径 15cm のモールドに静かに流し

込み, 2 週間 50kPa で再圧密した島尻粘土を 用いた. 試験方法は JIS の規格に従い行った が,1 段階の載荷時間を 8,10,15,20,25, 30,40,1440 分に変更して合計 8 種類,計 26 回の実験を行った.表 1 には島尻粘土の物理 特性値を示す.表 2 には試験概要を示す.デ ータが複数あるものについては平均値をとっ ている. 以下に示すグラフの()内の数字はデ ータ数である.

表1 島尻粘土の物理特性値

土粒子の密度(g/cm³)	2.68
液性限界(%)	57.5
塑性限界(%)	20.8
塑性指数(%)	36.7
砂礫分(%)	15.3
シルト分(%)	41.3
粘土分(%)	43.4
分類名	粘土(CH)

表2 試験概要

1段階の載	凡例	データ数	初期含水比	初期間隙比	圧縮指数	膨潤指数	降伏応力
荷時間(min)	<u> </u>	/ 一ク 剱	$w_0(\%)$	e_0	Cc	Cs	$p_{\rm y}({\rm kN/m}^2)$
8	Δ	1	53.63	1.391	-0.409	-0.137	44.8
10		2	53.29	1.347	-0.424	-0.148	44.0
15	×	1	52.80	1.394	-0.392	-0.139	44.7
20	*	1	54.23	1.432	-0.406	-0.172	39.0
25	0	1	48.47	1.343	-0.388	-0.155	40.8
30	_	6	49.97	1.287	-0.372	-0.126	49.5
40		1	53.39	1.395	-0.431	-0.158	42.5
1440	+	13	48.16	1.257	-0.356	-0.126	47.0
平均	-	-	51.743	1.356	-0.397	-0.145	44.0

キーワード 島尻粘土 急速圧密試験 圧縮指数 連絡先 〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地 TEL.098-895-8672

3. 実験結果

図1に、圧縮指数Ccと供試体の初期間隙比 e_0 の関係を示す。本来e-logpの直線は負の傾きをもつため、ここではそのまま負号をつけて示している。図より強い相関性(-0.932)のあることがわかった。 e_0 のばらつきは供試体作成時の含水比、練返し条件などによるものと考える。図2に、載荷時間とCcとの関係を示す。間隙比の影響を無くすために初期間隙比の平均値で補正した圧縮指数の値を用いる。補正することにより、載荷時間がCcに与える影響は小さいことがわかる。膨潤指数Csについても同様にまとめた結果を図3.4に示す。

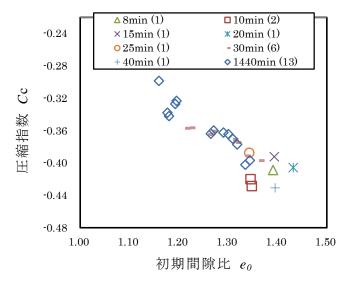


図 1 圧縮指数 Cc 一初期間隙比 e_0

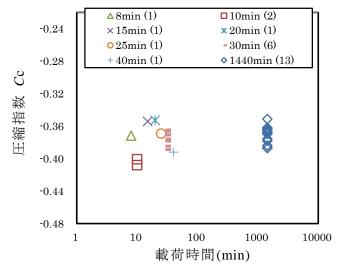


図2 圧縮指数Cc-載荷時間(min)

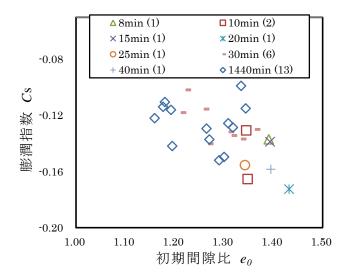


図3 膨潤指数 Cs 一初期間隙比 e_0

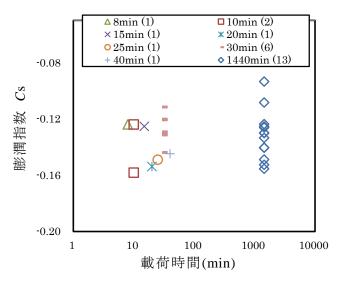


図4 膨潤指数 Cs-載荷時間(min)

4. まとめ

圧縮指数:載荷時間よりも初期間隙比が与 える影響が大きく初期間隙比が小さいほど小 さくなる.

膨潤指数:ばらつきが大きく判然としない が初期間隙比が大きいほど膨潤指数も大きい 傾向が若干みられる.

参考文献

- 酒井康司,原久夫:載荷速度が圧密特性値に与える影響に関する実験的研究, 2011年,土木学会西部支部研究発表会/Ⅲ -58,p463-464.
- 2) 小川富美子:載荷時間の圧密諸係数におよぼす影響について,1969年,港湾技術研究所報告/第8巻,第2号,p21-49.

儀間ダムにおける横坑の閉塞処理

沖縄県 土木建築部 沖縄県ダム事務所 建設班 ○小島 健太郎

1 はじめに

儀間ダムは、儀間川総合開発事業において久米島町の既設 儀間池堤体直下に、儀間川の洪水調節、既得用水と河川流量 の安定化、並びに新規水道用水の開発を目的として、平成19 年度に建設に着手した。

ダム本体工事の基礎掘削において、フィルダムの遮水性の確保のため最も重要な堤体コアゾーン (ゾーン 1) 敷基礎を横断し、施工済の洪水吐下位に位置する横坑が確認された。本稿では、儀間ダムの基礎地盤の特性をふまえて、基礎掘削時に確認された横坑の閉塞処理の実施について報告する。



図-1 位置図

2 儀間ダムの概要

(1) 工事の経緯

儀間ダムは、水道用水の補給を行っている 既設儀間池を供用しながら、その既設堤体の 前面に新たな堤体の建設を行った。

平成21年12月に取水塔、平成22年8月に 洪水吐が完成し、平成22年9月には完成した 洪水吐への転流を実施した。また、並行して 平成21年6月からは堤体の基礎掘削および 盛立を施工しており、平成25年7月には堤体 が概成した。現在は、平成26年2月から試験 湛水を行っている。儀間ダムの諸元を表-1に 示す。

(2)堤体構造

儀間ダム堤体は、基礎掘削土および近隣の材料山から採取される土質材料により構築する均一型フィルダムである。図-3に儀間ダムの標準断面図を示す。

堤体コアを形成するゾーン I は、遮水を目的とするものであり、ゾーンIII(III')は比較的透水性の高いゾーンである。ゾーン I とゾーンIIIの間のゾーンIIは、材

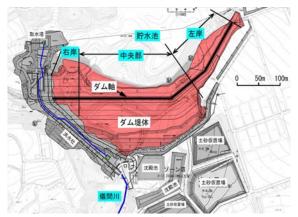


図-2 儀間ダム平面図

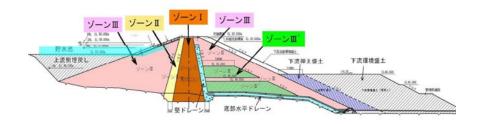
表-1 儀間ダム緒元

	型			式	均一型フィルダム
ダ	堤			⋼	24.5m
ム	堤	頂		長	539.0m
1	堤	体		積	480,000m ³
	集	水	面	積	1.40km ²
貯	堪	水	面	積	0.09km ²
水	総	貯水	容	量	575,000m ³
小	有	効 貯	水 容	量	545,000m ³
池	洪	水調質	節容	量	130,000m ³
	利	水	容	量	415,000m ³

料の粒度の急激な変化を避け、ゾーンIの浸透破壊を防ぐものとして、それぞれ採取される材料特性と賦存量を考慮した配置を行った。堤体表面は、貯水位変動、風浪、降雨等による浸食および材料の風化を防止するため、沖縄本島本部産の捨石によるリップラップ工による保護を行った。

キーワード フィルダム, 横坑閉塞, ボーリンググラウチング, 微粒子セメント 連絡先 〒900-0029 沖縄県那覇市旭町 116-37 沖縄県南部合同庁舎 9 階 沖縄県ダム事務所

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 2:地盤·地下構造関連



3 地質の概要

図-3 儀間ダム標準断面図

3.1 ダムサイトの地質分布

儀間ダム周辺の地質は、新生代新第三紀中新世の阿良岳累層、鮮新世の真謝層と山城層から成る。阿良岳累層は、安山岩溶岩(AAn)および安山岩質自破砕溶岩(AAb)を主体としている。真謝層は、泥質基質の泥質角礫岩(MBr)と、細粒の円礫を多く含む粗粒の礫質砂岩(MSsg)、山城層は、中粒砂岩(YSs)を主体として、礫岩(YCg)を含んでいる。

基礎地盤の岩級は概ね地質区分(岩種)と相関関係にあり、阿良岳累層がCM級、真謝層がCL級、山城層がD級となっている。ただし、表土付近では風化の影響により真謝層でもD級岩盤が存在する。

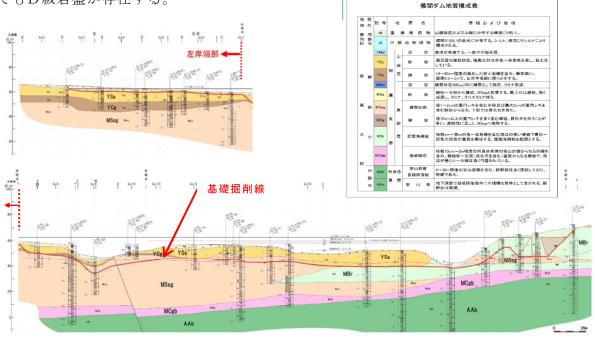


図-4 儀間ダム地質区分縦断図 (調査時)

基礎掘削線

(GN) CM 級
(OL) CL 級
(OH) DH 級
(OLH) DLH級
(OLL) DLL級

図-5 儀間ダム岩級区分縦断図(調査時)

3. 2 儀間ダムにおける基礎処理

(1) 基礎岩盤の透水性

ダム基礎は本来透水性を有するものがほとんどであり、貯水による大きな動水勾配により、ダム基礎のパイピングあるいは割れ目中の狭在物等の洗い出しやフィルダム堤体の基礎接触部付近の細粒材料流出による安定性の低下、貯留水の浸透流出による貯水効率の低下が生じる恐れがあることから、計画における遮水性の確保は非常に重要である。

儀間ダムでは、グラウチングによる基礎処理を実施した場合の改良目標値を参考に、基礎岩盤の透水性が 10 ルジオン**(以下「Lu」と表記)程度以下の場合には、天然の遮水ゾーンと見なすこととした。(注** ダム基礎地盤の透水性は、通常ルジオンテストで調査される。透水係数に換算すると、1 ルジオン $=1.3\times10^{-5}$ cm/s)

(2) ダムサイトの透水性状

儀間ダム基礎地盤の透水性状は以下の特徴を示す。

- ・ 山城層と真謝層は、全体的にルジオン値 10Lu 以下の値を示す。ただし、部分的に 10Lu を超える試験値も認められる。
- ・ 透水性の高い傾向にある深部の真謝層基底礫岩と阿良岳累層は、ダム基礎、湛水区 域、ダム下流側の地表面に露出しないため、貯水池からの水みちとなる可能性は低い。
- ・ 既設儀間池が十分な貯水機能を有しており、周辺の地質は遮水性が確保されている。
- ・ 堤体右岸端部については、基礎地盤付近で 10Lu よりも大きい値が比較的多く確認され、高透水部の上下流への連続性を否定できないため一部遮水対策を行う。

(3)基礎掘削線

フィルダム基礎として必要な強度、変形性および 遮水性から総合的に判断して基礎掘削線を決定した。

a) ゾーン I 敷

ゾーンI 敷基礎は、強度と透水性が 10Lu 以下の割合が高く遮水性に優れる CL 級岩盤の上面を主体とした。

b) ゾーンII・II敷

ゾーンⅡならびにゾーンⅢの盛立材料と同等程度



図-6 儀間ダムの遮水性状

の強度有する基礎岩盤は DLH 級に相当することから、表土や沖積層等を除去した DLH 級岩盤を基礎とした。

(3)基礎処理

ダムサイトの基礎地盤は、割れ目がほとんど発達せず、全体的に良く締まった堆積軟岩からなり、グラウチングが困難で、全体に透水性が低く天然の遮水ゾーンを形成し、基礎処理は必要ないと判断した。ただし、右岸端部は泥質角礫岩からなり、高透水部の連続性を否定できないため、堤体上流側に土質ブランケットを施工し遮水対策を行うこととした。

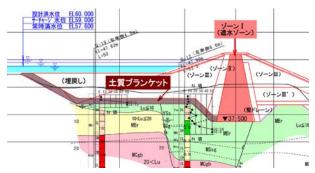


図-7 堤体横断図(土質ブランケット)

5 横坑の概要

5. 1 基礎掘削時に確認された横坑

儀間ダムで確認された横坑の位置を図-8に示す。横坑は、洪水吐下流側、基礎掘削施工中の堤体右岸上流側および堤体敷右岸端部の3箇所で確認された。そのうち、洪水吐下流側の横坑は、基礎掘削面より上位にあったため基礎掘削にて除去された。

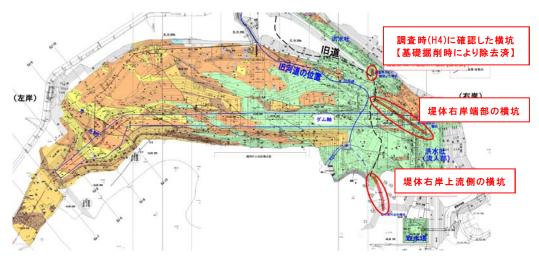


図-8 横坑位置図 (ダム堤体敷地質平面図)

5. 2 他の横坑が存在する可能性

基礎掘削時に確認された横坑以外に横坑が存在した場合、ダムの貯水機能に重大な影響が生じることが考えられるが、以下の状況から堤体敷に他の横坑が存在する可能性は低いと判断される。

- ・ 周辺は鉱業権の範囲であり、横抗周辺の泥質角礫岩は、金属を胚胎する自破砕溶岩 と類似。また、横坑内に木製支保工を確認したことから人工的な試掘坑と推定できる。
- ・ 横坑に隣接する旧河道より、ズリだしに用いられたと考えられる旧道と横坑が高い 位置にあり、泥質角礫岩の分布が右岸のみであることから、旧河道より左岸側に存在 する可能性は低い。

5.3 横坑対策の経緯

(1) 堤体右岸上流側の横坑

堤体敷より上流側に位置し、湛水域内 で最低水位より横坑標高が低く貯水位変 動の影響を受けないことから、ダム本体 への直接的な影響は小さいと考えられる。

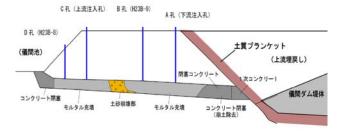


図-9 堤体右岸状側の横坑塞処工

しかしながら、横坑の一部が土質ブランケットの下位に位置していることから、空洞部や緩んだ状態の崩土の存在により、貯水位変動や地震等による長期的な土質ブランケットの安定性を損なうことが懸念されるため、モルタル充填による閉塞処理を行った。

(2) 堤体右岸端部の横坑

堤体右岸端部の横坑は、ダムの遮水性を確保する上で重要なコア敷基礎に位置し、コア敷を斜めに横断して既に完成している洪水吐下に至る箇所に存在する。堤体敷で確認さ

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 2:地盤·地下構造関連

れた横坑等の遮水性に対する弱部は開削除去が原則であるが、洪水吐が既に完成している ため、開削除去部ができない箇所は閉塞処理による対策を行った。次項でその対策の詳細 を示す。



図-10 基礎掘削時の坑口確認状況

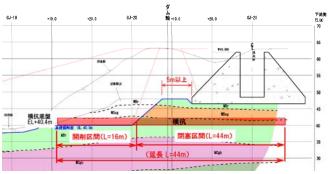


図-11 横抗沿い地質区分断面図

6 堤体右岸端部の横坑

6.1 横抗の調査結果

(1) 堤体基礎部 (開削区間)

既に完成している洪水吐の安定性を確保するため、躯体から5m以上離して開削除去を行った。開削時の状況調査では、底盤は水平でほぼ直線の線形、腐食した松丸太の木製支保工が約1m間隔で配置され、地質区分は泥質角礫岩が全面に分布していることが確認された。



図-12 開削除去部

(2) 洪水吐下位 (閉塞区間)

確実な閉塞が可能であるコンクリートによる閉塞を行 うため、横孔内の浮石等の除去後、支保工設置前に坑内 の状況を確認した。

- ・ 枝坑がないことを確認
- ・ 地質区分は、坑口から泥質角礫岩の粘土基質と砂質 粘土基質、坑奥は礫質砂岩が分布
- ・ 風化の程度は弱く、全体にCL級岩盤
- ・ 湧水量は、全体で2L/min 程度で少なく、基質が良く締まっていることから全体に難透水

型枠組立、コンクリート打設用バイブ配管 「開席コンクリート打設 「開席コンクリート打放 「中ルタル注入 「機環水によるクーリング 「機坑坑口側からの コンタクトグラウチング

ゆるみ等除去・支保工設置

裏込めモルタル及びコンタクトグラウチング 注入用パイプ配管

• 1

図-13 横坑対策工施エフロー

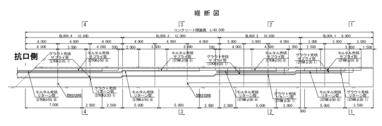
閉塞コンクリート上位部からの ボーリンググラウチング

7. 2 閉塞区間の遮水性への影響と対策工の検討

堤体右岸端部の横坑は、ダムの遮水上、最も重要な堤体 ゾーン I (コア) 敷基礎および洪水吐下位に位置し、ゾー ン I 敷を斜め上下流方向に貫いていることから、将来"水 みち"とならないよう確実に閉塞する必要がある。

閉塞工法は、確実な閉塞が可能である横坑全体のコンクリートによる閉塞を実施し、さらに閉塞コンクリート上位部からのボーリンググラウチングにより、閉塞コンクリートと 周辺岩盤境界部のグラウト注入を行うこととした。図-13 に対策工の施工フロー示す。

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 2: 地盤·地下構造関連



断面図

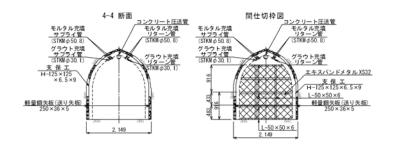


図-14 閉塞工施工図

7. 4 ボーリンググラウチングの施工仕様

(1)配置計画およびグラウト仕様

横坑調査および対策工の検討の結果、坑口側からのコンタクトグラウチングにより閉塞コンクリートと周辺地盤との空隙を充填するが、さらに、閉塞工の確実性と閉塞工施







図-15 閉塞区間施工状況

工による周辺岩盤のゆるみの有無を確認するためのボーリンググラウチングによる透水試験と、目標とする遮水性を確保するためのグラウト注入を計画した。完成済の洪水吐下位のグラウチングであることから、以下に留意して孔配置と仕様を決定した。

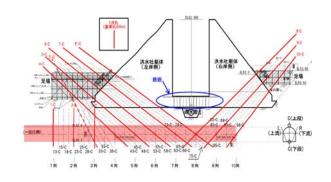
- ① 閉塞工周辺の確実なグラウチングを行うため、閉塞工断面に中央(上下段)と左右の3孔での透水性の確認およびグラウチングを行う。
- ② 洪水吐底盤の鉄筋を避けたボーリング削孔を行う。
- ③ 完成済の洪水吐躯体へのボーリンググラウチングであることから、追加孔が増えた場合、削孔間隔が密になり、隣接する削孔穴を貫通するクラック発生の原因となる。
- ④ 洪水吐を削孔する洪水吐下位のグラウチングは、洪水吐躯体への追加孔施工を極力抑え、閉塞工周辺岩盤への効果的、効率的な注入を目的として"微粒子セメント" を使用する。(坑口部は普通ポルトランドセメント)
- ⑤ 改良目標値は、堤体基礎岩盤と同等の透水性である 10Lu 程度以下とする。

(2) グラウト追加基準

ボーリンググラウチングの施工は、以下の基準に基づき内挿することとした。

- ① 1次孔で改良目標値(10Lu程度以下)を超える場合は、2m間隔で両側に2次孔を追加。(注入状況から10Lu以下でも2次孔を内挿を実施)
- ② 2次孔で改良目標値を超える場合は、1m 間隔でルジオン値の大きい側に3次孔を追加。
- ③ ルジオン値の大きい側で追加した3次孔で改良目標値が確認された場合は、当該3 次孔で完了。

- ④ ルジオン値の大きい側で追加した3 次孔で改良目標値を超える場合は、ル ジオン値の小さい側の3次孔を追加。
- ⑤ 3次孔で改良目標値を超える場合は、 改良目標値を超える孔の連続性と当該 孔までの改良目標値の非超過率 85% の達成状況により追加の必要性を判断。

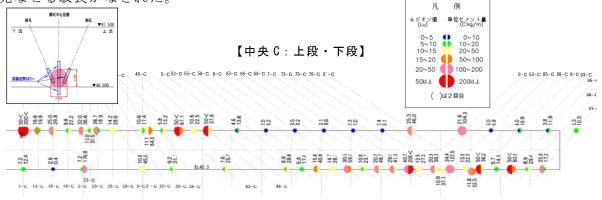


7.5 ボーリンググラウチングの施工評価

図-16 ボーリンググラウチング実施配置図

(1)改良目標値

図-17 にボーリンググラウチングの実績図を示す。施工実績から、改良目標値に達していない注入孔は連続して存在しておらず、全体として堤体基礎岩盤と同等の遮水ゾーンと見なせる改良がなされた。



【R-右岸(下流側)·L-左岸(上流側)】

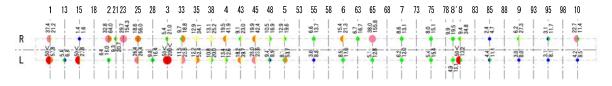


図-17 ボーリングクラウチング実績図(中央C:上段・下段)

(2) 注入状況

ルジオン値と単位セメント量の関係を**図-18** に示す。

- ・ ルジオン値と単位セメント量の関係から、ルジオン値が大きくなると単位セメント量も多くなる傾向が認められ、効果的なグラウト注入が行われたと考える。
- ・注入終了時の水セメント比の配合切替状況から、全108 切替中88(83%)が注入開始配合 と同じ W/C=1/10 で完了していることから、

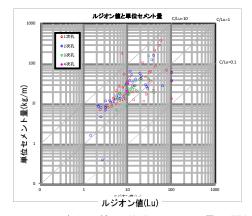


図-18 ルジオン値と単位セメント量の関係

低濃度配合のセメントミルクを多く注入する配合切替が妥当であったと判断できる。

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 2: 地盤·地下構造関連

(3) ルジオン値の非超過確率

ルジオン値の非超過確率を図-19(1)~(3)に示す。全ての配置箇所で最終次数孔での非超過確率 85%のルジオン値は 10Lu 程度である。(C 列上段:10.2Lu C 列下段:10.3Lu L 列:9.5Lu R 列:9.2Lu)

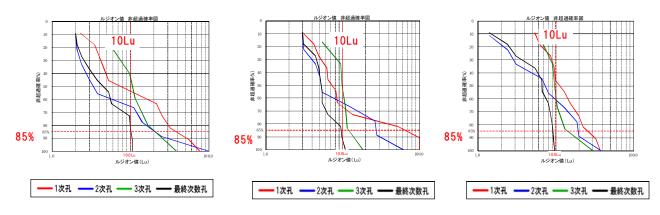


図-19(1) C列上段の非超過確率図

図-19(2) L列の非超過確率図

図-19(3) R列の非超過確率図

8 まとめ

今回、横坑の位置、ダムの遮水性や安定性への影響および施工性を横坑毎に検討することにより、合理的な対策と確実な対策を実施することができた。

堤体右岸端部の横坑では、ボーリンググラウチングにより横坑断面の4箇所を改良し、かつ、追加孔基準に基づき透水性を確認しながら施工することで、より確実な遮水性の確保が期待できると考える。

また、完成済の洪水吐への削孔をできる限り避けるため、周辺の地質を考慮して"微粒子セメント"を使用することにより、限られた追加孔で効率的なグラウト効果が発現して追加孔基準を満足する結果となったと考えられる。

施工においては、追加孔の施工にあたり、傾斜した洪水吐躯体からのボーリングを横抗 断面に確実に到達させるための配置と角度を検討し、ボーリング精度を高める工夫を行っ た結果、全ての孔で閉塞コンクリートへの到達が確認できた。

9 今後の課題

儀間ダムは、試験堪水を開始して8ヶ月が経過(平成26年10月現在)しており、平成26年5月に常時満水位到達して以降は概ね常時満水位を維持している。

堤体右岸端部横抗の閉塞効果について、新たな間隙 水圧計等の埋設計器や閉塞箇所のみを区分した漏水観 測による確認は困難であることから、現状の漏水観測 設備(左岸、中央、右岸の3区分)による漏水状況の 観測や周辺の外観観察を継続して行っている。



図-20 儀間ダム湛水状況

現在のところ、漏水量の貯水位との相関や周辺状況に異常は見られないことから、右岸 横坑の閉塞処理が十分に機能していると判断している。しかしながら、今後のさらなる水 位上昇時等の状況変化を確実に確認できる体制を継続していく。

港川高架橋下部工における スリムケーソン工法事例の紹介

那覇 出1・宮城 智章2

1南部国道事務所 工務課(〒900-0001 沖縄県那覇市港町2丁目8番14号)

2南部国道事務所 工務課 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町2丁目8番14号).

沖縄西海岸道路の浦添北道路で施工中の港川高架橋(橋長440m)の下部工12基のうち、海中部の下部工9基について、沖縄県内で施工実績のないスリムケーソン工法が採用された。

このスリムケーソン工法について、調査設計時における確認事項や施工留意点及 び現場での対応策、今後の検討課題について施工事例を踏まえて報告するものであ る。

キーワード ニューマチックケーソン,スリムケーソン,無人機械掘削

1 はじめに

本工事は、沖縄西海岸道路浦添北道路事業において計画されている港川高架橋の海中部に位置する9基の橋脚について、ニューマチックケーソン工法(潜函工法)の新技術であるスリムケーソン工法により構築するものである。

スリムケーソン工法は、通常のニューマチックケーソン工法では人力掘削でしか出来なかった掘削面積40m2以下のケーソンの施工を機械・無人掘削を可能とした工法で大深度(WL-40m以深)にも対応が可能な工法で、主な用途は橋梁下部工工事で、狭い場所・既設構造物に接近した土地・空頭制限がある場所や河川・海岸沿いで占有面積を小さくする必要のある場所での施工に有効な工法である。

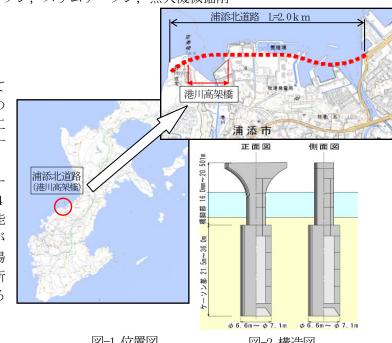


図-1 位置図 図-2 構造図 面 図 至 糸満 至 読谷 PD2 PD3 PD4 PD5 PD6 PD7 AD1 PD8 PD10 AD2 F:盛土層 Rs:現世珊瑚礁堆積物 ▽HHWL (高潮潮位)=EL+1. 480 TL:段丘石灰岩層 島尻層群(風化泥岩) TL:段丘石灰岩層 A:沖積層 Ac:沖積粘性土層 推定支持層線 推定支持層線 推定支持層線 w-Sm: 島尻層群(風化泥岩) Sm:島尻層群(泥岩) 平面図 至 読谷 AD1 PDÍ PD10 PD2 PD3 PD4 PD5 PD8

図-3 全体一般図

2. 工事施工フロー

港川高架橋におけるスリムケーソンを施工する海上部の施工箇所は水深約2.0~10.5mと変化する海底地形となっており、水深が浅い場合に適用される一般的な築島工法及び水深が深い場合に適用される鋼板で製作された鋼殻方式での施工を実施している。

下記に主な工事フローを示す。

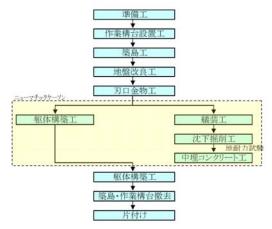


図-4施工フロー (築島方式)

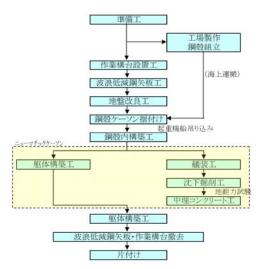


図-5 施工フロー(鋼殻方式)

(1) 築島工法

比較的水深の浅い海上部での施工に用いられる施工方法で、鋼矢板による一重締切りで施工した後に、盛り土を行って、ケーソンの構築を開始する工法です。



写真-1 築島工(刃口金物据付け)

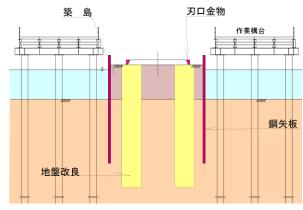


図-6 築島概略図

(2) 鋼殼方式

比較的水深の深い海上部では、事前に工場で分割製作された鋼殻ケーソンを現場付近のヤードにて組み立て、 大型起重機船により、吊り込み据付けを行った。

鋼殻ケーソン重量は約110 t (吊具含む) で、据付後にコンクリートを打設し海底面へ着底するものである。



写真-2 鋼殻ケーソン吊込み状況

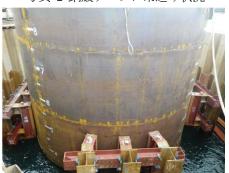


写真-3 鋼殼据付け状況

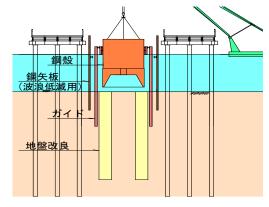


図-7 鋼殻据付け概念図

(3) ケーソン設備工

スリムケーソン工法は、送気設備、艤装設備、掘削設 備を設置し施工を行う。

各設備について以下に記す。

a) 送気設備

ケーソン作業室内に圧縮空気を送るため、電動式コンプレッサー等の送気設備を設置する。



写真-4 送気設備

b) 艤装設備

ケーソン掘削時の土砂搬出及び作業室内への出入りのために、艤装設備(ロック・シャフト)と呼ばれるものを設置する。一般的なケーソン工法では土砂搬出及び掘削機等の資機材搬出入と作業員の入退函用に各1基づつ計2基の専用ロック・シャフトを設置するが、スリムケーソン工法では1基(ペアロック・ペアシャフト)で行う。ペアロック・ペアシャフトは中心部が土砂や資機材等の搬出用で、その外環部が人員の昇降用螺旋階段となっており効率的な土砂搬出と安全な人員入出函が可能としている。

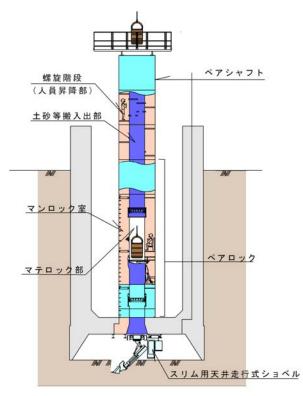


図-8 艤装設備概略図

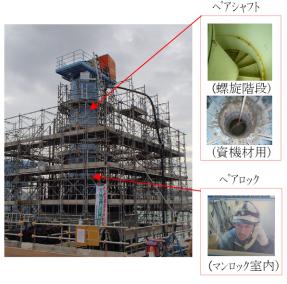


写真-5 艤装設備設置状況

c) 掘削設備

ケーソン作業は高気圧下での作業であるため、全て 電気により稼働する掘削機を使用している。本現場に おいても、スリム用天井走行式掘削機を1台配置し掘 削を行っている。



写真-6 邓小小川天井走行式掘削機

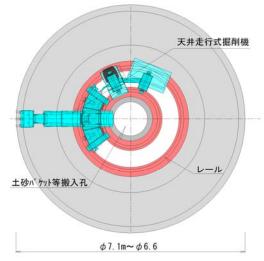


図-9 掘削機配置平面図

(4) ケーソン掘削沈下工

ケーソンの掘削沈下作業は、初期掘削段階及び 0.18MPaまでの有人機械掘削、0.18MPa以上での無人機械 掘削に分けられる。有人での掘削作業では、ケーソン沈 下に伴い作業室内の圧力(作業気圧)が上昇することに より、作業時間が短くなる。

その為、予め地上に設けた遠隔操作設備にて無人掘削 作業を行うことで、作業効率の低下を防ぐものである。

掘削は構築した本体構造物を順次沈下させるもので、 構築完了後のロットを沈下中に次のロットの構築を地上 部で行う。この繰り返しを行い、ケーソンを所定の深さ まで沈設する。



写真-7 無人機械掘削状況

(5) ケーソン沈下完了

前述のように、構築・掘削沈下を繰り返し行い、所 定の深さに達すると、沈下完了となる。

沈下完了後は、作業室内にて遠隔操作により地耐力 試験を実施して支持地盤の確認を行い、中埋めコンク リート打設にて完了となる。

3. 高気圧作業における安全性の確保

本工事では、掘削深さが最大約46mで、作業気圧が 0.453MPa (水深45m相当 PD8橋脚) の大深度施工である ため、圧気作業による減圧症 (潜函病) を防止するた めの安全性の確保を目的とした酸素減圧を0.18MPaか ら実施している。

減圧症とは、高気圧下での作業において窒素などの 不活性ガスが多く体内に取り込まれる。この状態で減 圧を実施すると、大気圧下で通常溶け込んでいる不活 性ガスの量よりも多くのガスが体内に存在することに なり、その程度が限界を超えると、ガスが気泡化する。 これに起因し関節部の激痛や重度の場合には中枢神経 への影響がでる症状である。



写真-8 酸素減圧状況

4. 施工中の問題点と対策

(1) スリムケーソン工法の施工留意点

一般的なスリムケーソン工法では、以下の様な施工時の留意点がある。

- ・小断面であることから掘削底面からの揚圧力(浮力)や沈下重量(駆体重量)が少なく周面摩擦力との相対比率が大きくなり、開口率を含めた綿密な沈下管理の必要がある。
- ・ケーソンの直径と駆体長の比率が大きいため、底面 での少しの傾斜が駆体全体では、大きな傾斜となるた め慎重な姿勢管理の必要がある。
- ・底面積が小さいため、土層の著しい傾斜や土質の硬 さの違いによりケーソンの傾斜や移動のきめ細かい管 理の必要がある。
- ・過沈下の恐れのがある軟弱な粘性土地盤においては地盤改良や付け刃口等の対策を行う必要がある。

なお、今回の工事における施工留意点としては、

- ・中硬岩を含んだ琉球石灰岩層(軟岩 I)の掘削。
- ・土層内に琉球石灰岩塊がケーソン刃口部に部分的に出現した場合の傾斜・移動。
- ・沿岸部施工による潮の干満での揚圧力の変化での異常沈下、傾斜。
- ・支持層である島尻泥岩層の掘削時の管理と確認。

以上に対する注意が重要と考えられていた。

(2) 留意点の対策と結果

施工時の留意点に対する対策として、今回工事において下記の対策を行い施工を行った。

・傾斜計による掘削沈下中での情報化施工と傾斜確認・移動及び回転状況の日々管理。



図-10 計測管理画面

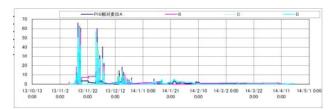


図-11 傾斜挙動系時変化

・周面摩擦や刃口反力計からの駆体情報と計画された 沈下管理を比較し次回掘削の沈下挙動を予測し掘削管 理を行う。

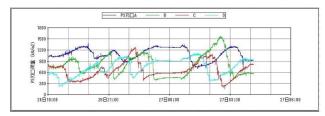


図-12 刃口反力系時変化

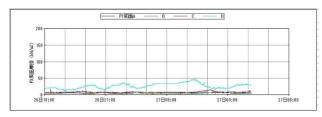


図-13 周面摩擦力系時変化

・上層に出現する軟弱粘性土の先行掘削による砕石置き換えを行う事により、異常沈下・傾斜及び過沈下 (開口率確保)の対策とする。



写真-9 改良状況

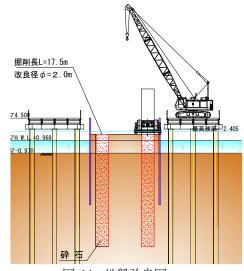


図-14 地盤改良図

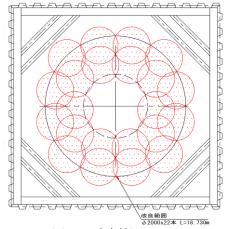


図-15 改良範囲

・スリムケーソンの沈下関係に大きく影響する周面 摩擦力を低減するため、逆止弁付滑材吐出口を増やす とともにNETISに登録されている海水(塩分)対 応可能な滑材を使用。



写真-10 滑材(塩分対応 ネメモール21)

・ 潮の干満差による沈下挙動を予測するため、荷重 水による先行荷重を実施し沈下挙動の把握に努め る。 ・最終泥岩層での地盤状況確認「クチャ」と呼ばれる非常にデリケートな泥岩掘削管理を実施。



写真-12 支持層掘削状況



写真-13 島尻泥岩整形

6. 今後の課題

現在、鋭意施工中の段階ではあるが、これまでの施工状況から、突然の岩塊の出現や、強度にバラツキのある琉球石灰岩層の性状を確認するため、また正確な沈下関係を予測するためのきめの細かい土質調査ボーリングと詳細な試験を行うとともに、その本数を増やすことにより適切なケーソン掘削工法を検討する必要がある。

今後も牧港高架橋を含めてスリムケーソン工法の 施工が行われるので、これまでの対策が有効に働くか の検証を行い、今後の同様な施工の基礎資料となれば 幸いである。

北部国道事務所におけるヤンバルクイナ ロードキル対策について

仲松 徳修1·金城 基樹2

¹沖縄総合事務局 北部国道事務所 調査課長(〒905-0019 沖縄県名護市大北4-28-34) ²沖縄総合事務局 北部国道事務所 調査課 調査係長(〒905-0019 沖縄県名護市大北4-28-34)

沖縄本島北部に位置する、「やんばる」の中でも、特に国頭村、大宜味村、東村には亜熱帯の森が広がっており、やんばるでしか野生の姿を見ることの出来ない多くの固有種が生息している。1981年に新種として確認され、環境省レッドリストで絶滅危惧 I A類に分類されている国指定天然記念物のヤンバルクイナもその一つであるが、野猫やマングースなどの外来種による、捕食や生息域の圧迫の他、道路横断時に交通事故《ロードキル》に遭う被害も確認されている。ここでは、北部国道事務所で実施しているヤンバルクイナのロードキル対策について紹介するものである。

キーワード ヤンバルクイナ、ロードキル、クイナフェンス、野生動物保全対策

1. はじめに

ヤンバルクイナは、やんばる(沖縄本島北部地域を指す俗称)の自然を象徴する飛べない鳥であり、国指定天然記念物や国内希少野生動植物種に指定されている。ヤンバルクイナは、フイリマングースやノネコの影響等により、その生息域や生息個体数が大きく減少し、近い将来の絶滅が危惧されている種である。

2004年(H16年)に国が策定したヤンバルクイナ保護増殖事業計画では、ヤンバルクイナの生息状況等の把握を行い、本種の生息に必要な環境の維持及び改善並びに生息を圧迫する要因の軽減及び除去等を図るとともに、人工繁殖技術を確立し、本種が自然状態で安定的に存続できる状態とすることを目標としている。

1985年(S60年)には約1,800羽生息していると推定されたヤンバルクイナだが、2004~2006年(H16年~H18年)に(財)山階鳥類研究所が行った調査によると、その数は1,000羽以下と推定された。近年では、フイリマングースの駆除を進めたこともあり、2012年(H24年)には1,500羽程度まで生息数が回復していると環境省が評価している。

生息数が増加している一方で、ヤンバルクイナが道路で交通事故にあうロードキルは、2005年(H17年)頃から増加傾向にあり、ヤンバルクイナ保全上の課題となっている。





写-1 ヤンバルクイナの道路出現状況

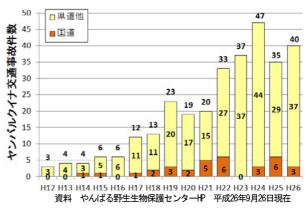


図-1 ヤンバルクイナロードキル発生件数



写-2 ロードキルに遭ったヤンバルクイナ

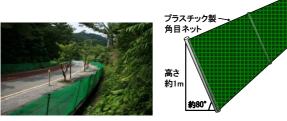
2. 北部国道事務所におけるヤンバルクイナの ロードキル対策

北部国道事務所では、ロードキル対策として、「ヤンバルクイナと自動車が出会わない道路構造」を検討し、ヤンバルクイナの道路出現やロードキルの多発地点に、クイナフェンス及びクイナトンネルを設置している。

また雛などが側溝に落下した場合に這い出せるようスロープの付いた小動物保護型側溝や、ドライバーへ、野生動物の飛び出し注意を促す標識も設置している。

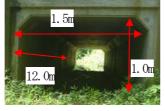
クイナフェンスは、高さ約1mで、緑色のプラスチック 製角目ネットを使用しており、平成19年から国道58号国 頭村奥~辺戸間の5区間において各区間250~400m程度 の範囲で設置している。

クイナフェンスは、ヤンバルクイナのロードキル防止 効果が期待される一方、自由な移動を阻害する可能性が あるため、2010年1月に3.8kPにおいて、移動分断対策と してクイナトンネルを設置した。



写-3 クイナフェンスの設置状況





写-4 クイナトンネルの設置状況





写-5 左:小動物保護型側溝 右:クイナ注意標識

3. ロードキル対策の効果

(1) クイナフェンスの対策効果

クイナフェンス設置区間において対策効果を把握する ために、ビデオカメラによるモニタリングを実施した。 ヤンバルクイナは跳躍力が高く、フェンスを飛越する事 例も見られたが、クイナフェンス設置後の道路侵入率 (侵入個体数/調査日数) は、設置前と比較し、いずれ の箇所でも5%以下と大幅に減少した。特に12.50個体/日と過剰な道路侵入状況が確認されていた3.8kP付近においても、クイナフェンスの侵入防止効果が高いことが確認された。

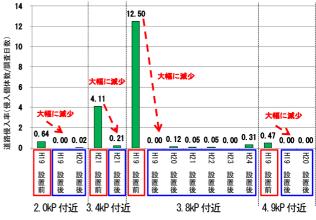


図-2 クイナフェンス設置前後の道路侵入率

(2) クイナトンネルの対策効果

これまでの定点観測カメラによるモニタリング調査では、0.63個体/日(平成22年度)、0.60個体/日(平成23年度)、0.75個体/日(平成24年度)のクイナトンネル通過が確認された。トンネル設置後、すぐにヤンバルクイナの移動経路の一部として認識され、道路下を横断させることでロードキルの危険を回避しつつ移動分断の影響改善を図ることができた。

また平成24年度の調査では親子でのクイナトンネル付近の出現、幼鳥のクイナトンネルの利用も確認され、繁殖期の個体に対しても有効な対策であることが確認された。

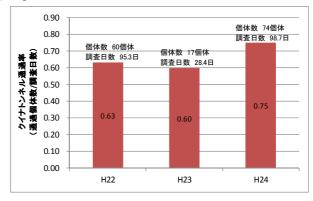


図-3 クイナトンネル通過率



写-6 クイナトンネルでのヤンバルクイナ出現状況

4. ロードキル対策の課題と対応策

(1) クイナフェンス開口部の課題

これまでクイナフェンスの高い道路侵入防止効果について確認されているが、現時点での課題として地形条件 や道路構造における以下の課題が挙げられる。

交差点などクイナフェンスの開口部となる箇所では、 ヤンバルクイナの道路侵入防止対策の弱点となっており、 3.2kPの開口部では、2012年5~8月の約3カ月の調査で、 98個体のヤンバルクイナ道路侵入・横断が確認された。

ヤンバルクイナは飛越能力は高いが、道路内に侵入した個体は、車が近づいた際にパニックとなりクイナフェンスに衝突して車道外に退避できなくなる状況が確認されており、ロードキルにつながる危険性があると考えられる。

また、クイナフェンス設置区間に侵入したヤンバルクイナが、カラスに襲撃された際に退避できない状況も確認されている。



写-7 クイナフェンス開口部

(2)課題への対応におけるクイナフェンス改良対策

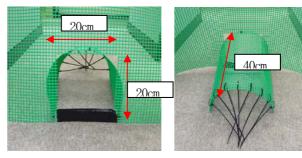
道路開口部やクイナトンネル設置が困難な箇所については、クイナフェンス設置区間の車道内にヤンバルクイナが侵入してしまう可能性がある。

そのため、クイナフェンスの高い道路侵入防止効果を 維持しながら、スムーズな車道外への退避が可能となる よう、クイナフェンスにワンウェイゲート構造を追加す ることとした。

ワンウェイゲート設置対策は3.2kPの開口部において 実施し、構造は以下に示す4つの構造を採用した。

a) フェンス下部退避場+ワンウェイゲート

ヤンバルクイナが一時的に退避できる空間を確保し、 退避場の出口に結束バンドによるソフトゲートを設置し、 車道外へのみ移動できる構造とした。退避場の構造は高 さ20cm×幅20cm×奥行40cmとした。



写-8 フェンス下部退避場+ワンウェイゲート

b) フェンス下部横開きワンウェイゲート

山側に横開きゲートをはりだし、更に結束バンドによるソフトゲートを設置し、車道外へのみ移動できる構造とした。フェンスの構造は高さ30cm×幅30cmとした。





写-9 フェンス下部横開きワンウェイゲート

c)フェンス下部縦開きワンウェイゲート

フェンスの開口ゲート(高さ20cm×20cm)に、やや幅 広のゲートを山側に吊り下げることによって、車道側へ のみ移動可能な構造とした。





写-10 フェンス下部縦開きワンウェイゲート

d) フェンス下部開口型ワンウェイゲート

フェンス裏側に小動物保護パネルがある箇所では、フェンス下部を高さ10cm程度山側に折り曲げることにより、車道外へ移動できる構造とした。フェンス裏側の開口高を若干低くすることにより、車道内に侵入しにくい構造とした。





写-11 フェンス下部開口部対策

(3) ワンウェイゲートモニタリング結果

2014年4月29日から国道3.2kPにおいてビデオカメラに よるモニタリングで、ワンウェイゲートの利用状況を確 認している。

6月11日現在の調査期間(約44日間)において、延べ87個体のヤンバルクイナが確認された。道路侵入した個体は7個体で、道路を横断した個体は12個体であった。

6月9日には、ワンウェイゲートを利用する個体が初めて確認された。利用したヤンバルクイナはフェンスの裏側に出現後、転落防護柵を飛越して車道内へ侵入したが、走行車両が接近したためワンウェイゲートを利用して、車道外へ退避した。利用したワンウェイゲートは横開きワンウェイゲートであった。その後、6月25日に下部開口型ワンウェイゲート、7月12日に再び横開きワンウェイゲートの通過を確認している。

このことからワンウェイゲート設置により、クイナフェンスの道路侵入防止効果を維持するとともに、車道外への退避対策として、ワンウェイゲートが機能することが確認された。

5. まとめ

北部国道事務所におけるヤンバルクイナロードキル対策として、クイナフェンスや移動分断対策としてのクイナトンネル設置対策については、2007年からのモニタリングにより十分な対策効果が確認されている。

クイナフェンスとクイナトンネルをセットで実施する ことによって、道路侵入抑制と安全な道路横断の両立が 確保できることも確認されている。

しかし、道路開口部となる箇所やクイナトンネルが 設置できない箇所においては、ヤンバルクイナが車道内 に侵入し、車が近づいた際などに退避できなくなる状況 が確認された。そのため 2012 年から緊急時に車道外へ 退避できるようクイナフェンスにワンウェイゲートを設 置し、モニタリングを実施した結果、ワンウェイゲート を利用する個体が確認され、ワンウェイゲートはクイナ フェンスの道路侵入防止効果を維持するとともに、車道 外への退避対策とし機能することが確認された。

ワンウェイゲートについては、今後もモニタリング を継続し、効果の程度や利用頻度の多い構造を把握して いく予定である。

国が策定したヤンバルクイナ保護増殖事業計画に基づく各関係機関及び地元の連携した取組により、ヤンバルクイナは少しずつ個体数が回復し、一時縮小した生息域も広がりを見せ始めたなかで、ロードキル対策実施区間での事故は減ったものの、未対策区間での事故範囲が

広がりつつあるため、今後も事故の危険性が高い箇所を 把握し、引き続きクイナフェンスワンウェイゲートなど の検証を行い、より効果的なロードキル対策を実施して いくことが重要である。









写-12 ヤンバルクイナのワンウェイゲート利用状況

- 94 -	
--------	--

Session 3: 腐食·耐荷力

腐食高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する研究 ~実橋から切出した試験片によるすべり試験(その1)~

琉球大学 〇林田卓也, 下里哲弘, 有住康則, 宮地エンジ゙ニアリング (株) 山下 修平

1.はじめに

鋼橋で腐食が生じやすいのは、角部が多く防錆塗装が難しい高力ボルト部である。その高力ボルトが腐食劣化した際、軸力低下を引き起こし摩擦接合継手部のすべり耐力に影響を及ぼす。そのため、摩擦接合継手の維持管理手法の構築が求められている。

そこで、腐食摩擦接合継手構造体としての耐荷力評価を目的とし、腐食した実橋から切り出した試験片を用いて図-1 に示す手順ですべり耐力実験が行われた. その結果、高力ボルトの軸力の標準値225kN 以上の軸力が得られた(表-1). しかし、経年的および腐食の進行により高力ボルトの軸力が増加したとは考え難い.

そこで本研究では、新材試験体を用いて図-1 に示す手順と同様な手順ですべり試験を実施し、摩擦接触面の表面粗さの変化を確認した上で、既存のすべり試験方法に関する検証を行う.

2.試験方法

2.1 試験体

新材すべり試験片は、実橋から切り出した試験片形状と同形状、同程度板厚とした. 試験片はショット材を用いたブラスト処理により、ISO8501-1 Sa 2.5 以上の除錆度を確保とした. 試験で使用したボルトは F10T、呼び径 M22 である.

2.2 すべり試験の概要

写真-1 に示すように試験体を引張試験機に垂直にセットし、すべりが発生するまで載荷を行った. すべりは、以下に示す(1) \sim (4) が発生した時とした.

- (1) すべり音が発生したとき
- (2) 引張試験機の指針が停止または下降したとき
- (3) 試験体のけがき線がずれたとき(写真-2)
- (4) クリップ変位計がずれたとき(写真-3)

試験体名	残存軸力(kN)
G1-P8-3-b	358.9
G1-P8-3-d	105.4
G1-P8-4-b	295.4
G1-P8-4-d	174.6
G1-P8-7-a	236.0
G1-P8-7-d	330.2
G1-P17-5-a	321.4
G1-P17-5-c	263.2
G3-P17-7-a	269.2
G3-P17-7-c	270.9

表-1: 腐食ボルト残存軸力

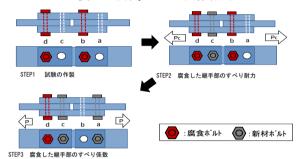


図-1: 試験手順

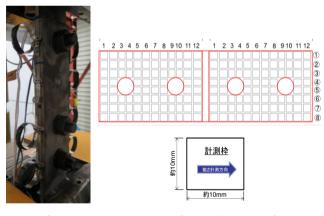


写真-1 図-3:粗さ計測テンプレート



写真-2: けがき線のずれ **写真-3**: クリップ変位計

キーワード: すべり試験 表面粗さ

連 絡 先:〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 環境建設工学科 TEL: 098-895-8666 FAX: 098-895-8677

2.3 表面粗さ計測

表面粗さ計測は、図-3 に示す 10mm×10mm の計測枠を設けたテンプレートを試験体に貼り付け、算術平均粗さ Ra の計測を行った. なお粗さ計測方向は、すべり試験の引張方向とした. また粗さ計測については、3回測定を行い算術平均粗さ Ra の平均値をその枠内の計測値とした.

2.4 ボルトの軸力の計測

高力ボルトの締め付け軸力は標準締め付け軸力 226kN とした. またボルト締め付け後からすべり 試験前までの間のボルト軸力のリラクゼーション を計測した. 高力ボルトの軸力は, ボルト頭部の ひずみを計測し、その値を軸力に換算して求めた.

3 試験結果

3.1 粗さ計測

図-4 に示すように、すべり対象ボルト a 周辺(ボルト挿入孔周辺)では、すべり試験後の粗さの低下があった。すべりの影響で擦れ、金属光沢が表れ(写真-4)、孔に近い箇所では大きい低下がみられた。b(ボルト無し孔周辺)では、粗さの低下はほとんどなく、すべり耐力の影響は少ないと考える。

3.2 ボルト軸力

ボルトの軸力のリラクゼーションの計測より, 17.56kN の減少があった.

4.まとめ

すべり試験の前後ですべり対象のボルト周り a(ボルト挿入孔周辺) の算術平均粗さ Ra の低下を確認できた. b(ボルト無し孔周辺) では、粗さの低下はほとんどなかった.

これより、すべり試験の方法は妥当であると考えられる。

今後は、対象ボルト・ボルト締め付け軸力を変化させ、すべり試験での摩擦の影響範囲やその他の摩擦係数に及ぼす影響に関して検証を行っていく.

【参考文献】

1) 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理 指針(案) 土木学会 2007

すべり耐力(kN)	ボルト導入軸力 (kN) (リラクゼーション 後)	
252.52	226.00 (222.39)	0.60

表-2: すべり試験の結果



写真-4: すべり試験後の試験片の摩擦面

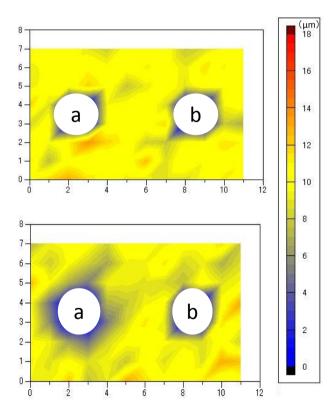


図-4: 粗さ計測結果(母材 - ナット側 a, b)

上: すべり試験前 下: すべり試験後

腐食高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する研究 ~実橋から切出した試験片によるすべり試験(その2)~

宮地エンジ゛ニアリング゛(株) 〇山下 修平, 琉球大学 下里 哲弘, 有住 康則, 林田 卓也

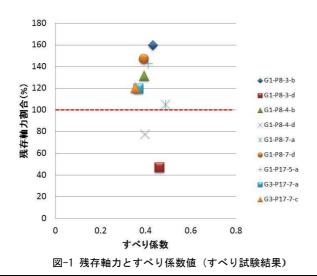
1. はじめに

腐食摩擦接合継手構造体としての耐荷力評価を目的として、腐食した無塗装耐候性鋼橋から切出した試験片を用いてすべり耐力実験を行った。すべり試験を行った結果、腐食高力ボルトの残存軸力が過大に評価される傾向であった(図・1). そのため、筆者らが提案したすべり試験手法においては、すべり耐力を評価するに当って何らかのキャリブレーションが必要であることが判った.

そこで、本稿では既往の研究²⁾により提案されている残存軸力推定法を用いて腐食ボルトの軸力を推定し、腐食した摩擦接合継手のすべり耐力に関して考察を加えることとした。

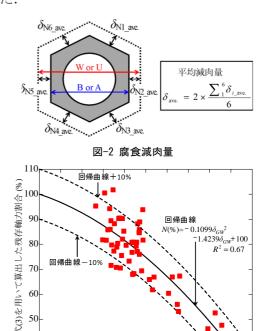
表-1 すべり試験片一覧

試験体 番号	着目した 腐食ボルト	腐食すべり試験片形状写真
G1-P8-3	b,d	d c b a c (-P\$) 3 (-P\$) 4 (-P\$) 5 (-P
G1-P8-4	þ,d	d c b a Gi-№ 4
G1-P8-7	a, d	d c b a
G1-P17-5	a,c	d c b a EF GI-PI7
G3-P17-7	a,c	а с b a 43-87 7 <mark>0</mark> 0 0 0 63-8 V



2. 腐食高力ボルト形状からの軸力の推定法

腐食減肉が激しい高力ボルトにおいては、超音波 ボルト軸力計や、電磁式軸力計等による直接的な軸 力計測は困難である. そのため下里ら 2 は、腐食し た高力ボルトの形状から残存軸力を推定する手法を 提案している. 腐食劣化した高力ボルトの頭部にお いては座金から 8mm まで, ナット部においては 12mm までの範囲における腐食減肉量を計測し、図-3 に示す回帰曲線により残存軸力を推定する. 本推定 法では、腐食減肉ボルトの残存軸力を±10%程度で評 価出来ている。腐食ボルトの形状計測は、ノギスと テーパーゲージを用いて簡易的に計測することが可 能である。個々の位置での腐食減肉量は、図-2 に示 すように健全時のナット面間距離 W と腐食減肉後の ナット面間距離 B との差を腐食減肉量とし計測結果 より算出した. さらに、軸力を推定する上で用いる 平均腐食減肉量は、各高さでの計測結果の平均値を ナット部とボルト頭部の座金近傍減肉量の合計 &w とした.



10 12 14

ナット部とボルト頭部の座金近傍減肉量の合計 δ_{GW} (mm) 図-3 残存軸力割合と座金近傍減肉量の関係 $^{2)}$

キーワード 摩擦接合継手、腐食高力ボルト、残存軸力

連絡先 〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地 宮地エンジニアリング(株) E-MAIL:yamashita.shuhei@miyaji-eng.co.jp

3. 腐食高力ボルトの残存軸力推定結果

3.1 腐食ボルトの形状

腐食した高力ボルトは、その形状から図-3 に示す4種類に分類した。また、その減肉量についてノギスとテーパーゲージを用いて計測した結果を用いて算出した平均腐食減肉量を表-2 に示す。すべり試験に用いた腐食高力ボルトは、13%~25%程度腐食減肉している状態であった。







図-4 腐食ボルトの形状計測状況 表-2 腐食高力ボルトの減肉量

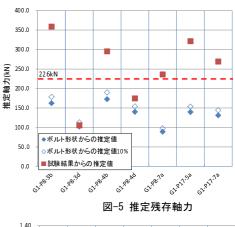
ボルトギ	>	座金	減肉比率		
7177174		ナット部	ボルト頭部	合計	减 内比率
G1-P8-3	b	6.81	3.98	10.79	15%
	d	7.85	8.88	16.73	23%
G1-P8-4	b	7.38	2.18	9.56	13%
	d	8.60	4.62	13.22	18%
G1-P8-7	а	8.13	9.76	17.89	25%
G1-P17-5	а	4.58	8.69	13.27	18%
G1-P17-7	а	5.70	8.42	14.12	20%

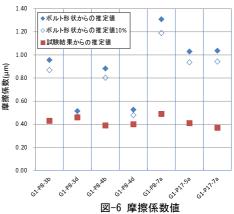
3.2 残存軸力推定結果

図-5 に腐食形状から算出した推定軸力を示す.推定軸力は回帰曲線+10%での推定軸力も併せて算出した. なお, 残存軸力を算出する際, 標準締付軸力226kNを100%の軸力としている.

腐食ボルトの形状からボルト軸力を算出した結果,健全時のボルトより軸力が 30%~50%程度減少していることが分った。また、その殆どがすべり試験により求めた軸力より低い値を示したが、G1-P8-3d,4dのボルトについては両手法により求めた推定軸力は近い値を示した。図-6には、「すべり試験より求めたすべり耐力」と「ボルト形状から求めた腐食高力ボルトの推定軸力」を用いて算出した摩擦係数を示す。

算出の結果,摩擦係数値は 0.51~1.31 を示した. 既往の研究結果から,ブラストを施した接触面の摩擦係数値は赤錆などの状態により変化するが 0.50~ 0.80 程度である. つまり,本推定での摩擦係数値は,若干高い値を示していると考えられる.





4. まとめと今後の課題

腐食ボルトの形状から残存軸力を推定し、腐食したすべり試験片の摩擦係数を算出した。腐食ボルトの軸力は健全時より 30%~50%程度減少していることが分った。また、推定した軸力を用いて算出した摩擦係数値は、真値に対して若干高い値を示していると推測した。今後、新材試験片を用いたすべり試験を行い、提案したすべり試験手法における摩擦の影響範囲やその他の摩擦係数に及ぼす影響に関して検証を行っていく。

【参考文献】

- 1) 土木学会:高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針 (案),2007.
- 2) 下里哲弘, 田井政行, 有住康則, 矢吹哲哉, 長嶺由智: 腐食劣 化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文 集, vol.59A, pp.725-735, 2013

沖縄地方において 30 年経過した耐候性鋼橋のスマートレトロフィット (SRF)

MK エンジニアリング(株) 正会員 ○竹渕敏郎 木更津工業高等専門学校 正会員 田井政行 内閣府沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所

1. はじめに

我が国の橋梁は、高度経済成長期を中心に大量に 建設され、その多くが40~50年経過することとな り、今後劣化損傷が多発する危険性が高まっている。 大型車交通の増加による疲労損傷や厳しい自然環 境下での腐食劣化による落橋の事例なども報告さ れており、対策の遅れにより重大事故を招くことが 懸念されている。

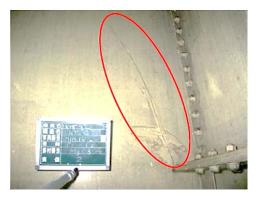


写真1 疲労き裂発生事例



写真2 腐食による落橋事例(沖縄県)

2. SRFの必要性

鋼橋の2大損傷要因である疲労と腐食は,橋梁の 特定部位に集中して進行する傾向があるため、対策 が遅れて重大事故を招くことが懸念される.

琉球大学と沖縄総合事務局は、沖縄県北部の架設から30年以上経過した耐候性鋼橋(以下 普久川ダム管理橋と称す)を対象として新しい鋼橋の維持管理法技術を検討している.

SRF(スマートレトロフィット)は、今後想定さ

川田工業株式会社 正会員 長坂康史 琉球大学 正会員 下里哲弘 内里清一郎 , 与那覇忍

れるインフラの維持管理数の増大に伴う対策費の 縮減を想定し、最小限の局所補修により橋梁全体の 耐久性を向上させ安全性を確保する技術である. 基 本理念図を以下に示す.



図1 スマートレトロフィット理念図

SRF を構築する主な要素技術を以下に挙げる.

- ①:適正な現状把握のための調査技術
- ②:現状を適正に反映した解析技術
- ③:調査解析結果を適正に評価した設計技術
- ④:性能回復を目的として適切な補修技術

これらを最小限(スマート)の労力において,損傷している部位に適用する維持管理(レトロフィット)について,普久川ダム管理橋において研究開発を行う.

3. 普久川ダム管理橋でのSRF技術開発

3-1. 普久川ダム管理橋の概要

対象橋梁は沖縄県北部に位置する普久川ダムに 架かる耐候性鋼材を用いた3主桁の鋼プレートガー ダー橋であり、製作より30年以上が経過した橋梁 である.(図2参照)

3-2. 普久川ダム管理橋の腐食環境

対象橋梁の腐食環境は、ダム上流の橋梁で琉球大 学が計測を行っており、以下の状況が確認されてい る.

腐食速度: 0.022 mm/y飛来塩分: 0.160 mdd

普久川ダム管理橋は、架橋位置がダム近傍(山中) にあることから腐食環境は、同程度と推定される。 今後、対象橋梁において腐食速度と飛来塩分につい ても計測予定である。

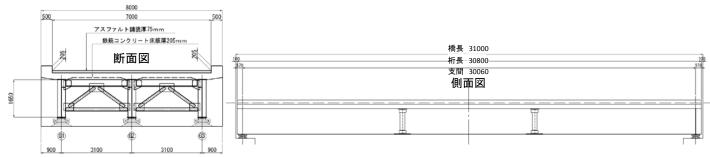


図2 普久川橋梁 構造一般図(再現図)

3-3. 設計諸元の再現

普久川ダム管理橋は、SRF の検討に必要な諸元の 把握として、設計条件や塗装仕様・使用鋼材を以下 の方法で確認した。

- ① 製作時の道路橋示方書基準による設計計算再 現と現行基準との比較
- ② 現地計測による概略の設計図面作成
- ③ コア採取・分析による使用鋼材と塗装仕様の 推定(コア採取は、桁端部ウェブ面の外桁、 内桁各1箇所にて実施)

上記項目を実施し,以下の事項を確認した.

- ① 使用鋼材は、SM 材である.
- ② 蛍光 X 線分析の結果,以下の Fe が半数を占め、 赤外分光法 (FT-IR) による分析の結果,ポリ ジアリルフタレートと類似のピーク挙動であ ることから、さび安定化補助処理にフタル酸系 塗料が施されていたものと推定される.

表1 表面粉末のX線分析結果(mass%)

	Fe	Ca	Si	Pb	Zn	Cl	\$	Al	Ti	Mn	Mg	K	Р	Cr	Cu
A2	63.8	14.5	12	2.23	2.12	1.25	0.943	0.812	0.658	0.528	0.34	0.318	0.217	0.165	0.138

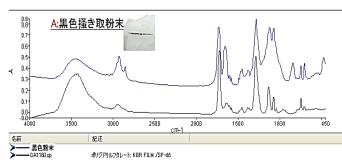


図3 表面塗膜のFT-IRスペクトル結果

3-4. 普久川ダム管理橋の損傷状況

普久川ダム管理橋の現状での損傷等について,調査を実施し以下の事項を確認した.

- ① 床板はひび割れ等無く健全な状況である
- ② 表面塩分を計測した結果,内桁部水平補剛材近 傍において,高い付着塩分値が確認された.こ れは,外桁部における雨水等の洗浄作用による ものと推定される.(図4参照)
- ③ 腐食等変状状況を部位毎に状況を列挙する.
 - ▶ 中央径間

主構造部, ボルト添接部, 対傾構共に健全

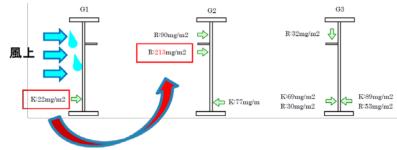


図 4 付着塩分計測結果概略図

- 桁端部 (写真 4) 主桁下フランジ層状腐食,横構及び対傾構については,断面欠損を伴う腐食を確認
- 支承部アンカーボルトが腐食



写真 4 桁端部状況写真(端対傾構, 下フランジ)

上記損傷状況より、SRFによる管理法開発を以下 の項目で実施する計画である.

- ① 耐荷力の適正な評価法開発
- ② 構造物の適正な安全性評価法を開発
- ③ 腐食減肉部の回復技術を開発

本研究に伴う成分分析は,新日鐵住金株式会社に ご協力いただきました.ここに記して感謝申し上げ ます.

参考文献

1)下里, 田井ほか:腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究,構造工学論文集, Vol.59A, pp.725-735, 2013.

約30年間沖縄の環境下で暴露された耐候性橋梁における荷重載荷実験

川田工業株式会社 正会員 ○長坂康史 MK エンジニアリング (株) 正会員 竹渕敏郎 内閣府沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所

琉球大学 正会員 下里哲弘 木更津工業高等専門学校 正会員 田井政行 内里清一郎 , 与那覇忍

1. はじめに

我が国の耐候性鋼材を使用した鋼橋は、供用開始され始めてから、40年が経過し、また、沖縄地区においても、既に30年以上が経過している。本土に比べて飛来塩分が多く、高温多湿の状態にあるため、保護性錆の生成が難しく、これまでに建設された耐候性橋梁は重防食途装による保護を施されているものが多い。

今回,沖縄地区供用から 31 年以上が経過した補修履歴のない,化成処理を施したと思われる耐候性鋼橋梁を利用して,スマートレトロフィット(以下,SRFと言う)の適正な現状把握の一環 ¹⁾として,荷重載荷実験をおこなった.本報告では,実施した載荷実験の結果,および再現設計に基づき実施した FEM 解析との整合についての検証を行い,SRF技術の構築に向けた要素分析を実施する.

2. 対象橋梁の諸元

対象橋梁は沖縄県北部に位置する普久川ダム下流の耐候性鋼材を使用した鋼プレートガーダー橋(以下,普久川ダム管理橋と言う)である.**図-1**に再現した対象橋梁の一般図を示す.また,本橋梁の諸元は下記の通りである.

【普久川ダム管理橋の橋梁諸元】

管理者:沖縄総合事務局

所在地:沖縄県国頭郡国頭村普久

形 式: 単純合成鋼鈑桁橋

床 板:鉄筋コンクリート床板

橋 長:31.0m 支間長:30.06m 全幅員:8.0m

対象橋梁の腐食環境は、これよりも上流にある琉球大学が計測した普久川橋(離岸距離 3.2km)の結果より、腐食速度及び飛来塩分量は、0.022mm/year 及び0.160mdd と同程度と判断でき、比較的厳しい環境下に位置している。この腐食環境下でありながら、架設から既に31年間暴露されているものの、桁端部以外では保護性錆の生成状況、添接部の高力ボルトの発生状態などから、比較的健全な状態にあると言える.

3. 荷重載荷試験

既設橋梁の簡易的な現状把握と解析的な耐荷力診断の手法確立の一環として、本橋梁において荷重載荷実験を行った。荷重車両の諸元および荷重載荷位置図を図-2に示す。計測個所は、①支間中央での中立軸の影響、②支点の回転性能の確認を主体とし、解析の妥当性を判断するためにひずみゲージの貼付位置を決定した。

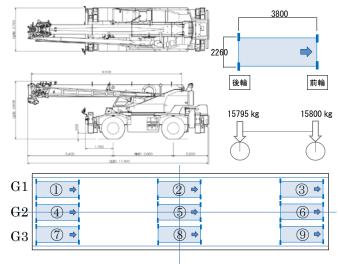


図-2 載荷車両諸元と荷重載荷位置図

荷重載荷実験の状況を写真-1に示す.

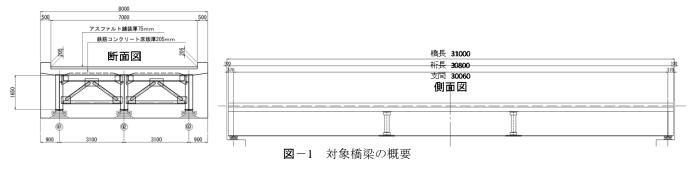




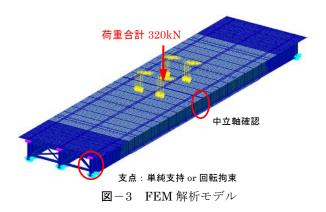
写真-1 荷重載荷試験状況

4. 載荷実験値と FEM 解析による再現値との比較

再現設計の情報を元に橋梁全体モデルの FEM 解析を行い、載荷実験で得られた応力ひずみの結果と解析値との比較を実施した. FEM 解析のモデル図を図-3に示す.



キーワード 耐候性鋼材,腐食,減肉量,FEM解析 連絡先 川田工業株式会社 四国工場 (〒764-8520 香川県仲多度郡多度津町西港町17)



4-1. 支間中央での中立軸整合性

桁の公称応力ひずみと中立軸の整合性を確認するため、支間中央における主桁の応力ひずみの実験値とFEM解析値の比較検討を実施した.一例として、支間中央での載荷ケース⑧における G3 桁中央部のひずみ値と解析値との比較を示す. ひずみゲージはウェブ面に 3 点,下フランジ下面に 2 点,桁軸方向に貼付した. 実験値と解析値の比較を表-1,図-4に示す.

試験結果 解析結果 平均 1回目 2回目 3回目 4回目 5回目 -44 -43 -44 -45 38 31 -11 ch 105 106 104 78 104 104 104 39 84 84 87 84 85 88 88

表-1 主桁中立軸用のひずみ値比較

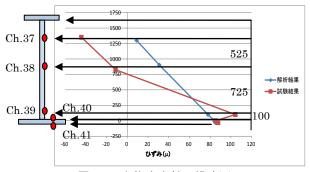


図-4 主桁中立軸の模式図

結果として、下フランジのひずみ値は概ね一致しているが、ウェブ面のひずみ値は大幅に差異が発生している. FEM 解析では理想的な合成桁としての挙動を示しているものの、実験結果では中立軸が主桁中心付近に位置し、合成桁の挙動を示していない. また、ウェブ下縁付近と下フランジの発生ひずみ値において、値の差異が生じており、今後、詳細な確認が必要である.

4-2. 支点付近の回転性能

桁端部での支点の回転拘束に対する影響を確認するため、端支点付近の応力ひずみの実験値と解析値の比較検討を実施した. 一例として、載荷ケース⑦におけるひずみ値と FEM 解析値との比較を表-2 に示す. ひずみゲージは、下フランジ近傍の主桁ウェブ面と支点上補剛材へ鉛直方向に貼付した. FEM 解析では図ー5 に示す通り、支点部の単純支持と回転拘束の2種類を行い、載荷実験とのひずみ値の比較を実施し、支承の機能が健全であるかの確認を行った.

結果として, 主桁ウェブ, 支点上補剛材ともに単純

支持の応力ひずみに比較的近く, ゴム体による回転性能は機能しているものと判断される. 参考までに, 別途, 計測した支承付近に設置の変位計の値は, 微量であるが変化しており, 支承の機能性を裏付けているものと判断できる.

表-2 支点部回転性能のひずみ比較

		解析	結果	試験結果							
		単純支持	完全固定	平均	108	2回目	3回目	40目	5回目		
	26	-89	-69	-88	-87	-88	-89	-88	-89		
ch	27	-91	-72	-80	-78	-79	-80	-81	-80		
番号	30	-123	-139	-75	-75	-75	-75	-75	-75		
	31	-127	-138	-78	-78	-79	-78	-78	-77		

		解析	結果	試験結果							
		CASE2-A	CASE2-B	平均	108	201	3回目	40 目	5回目		
境界	条件	単純支持	完全固定	十均	1000	2回日	II S	1 1	I J		
	25	-94	-60	-106	-106	-108	-104	-105	-107		
ch	28	-76	-99	-85	-84	-86	-85	-85	-88		
番号	29	-80	-103	-100	-99	-100	-100	-99	-102		
	32	-94	-63	-75	-74	-77	-73	-75	-77		

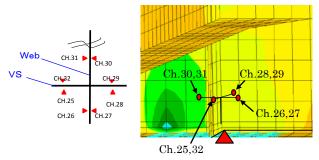


図-5 支点部回転性能の主応力コンタ図

5. まとめ

- (1) 支間中央での中立軸の整合性確認において,実験値と FEM 解析値で下フランジの公称応力ひずみは整合しているものの,中立軸は FEM 解析よりも実験結果の方が下方に推移しており,実橋梁は合成桁の挙動を示していないことが判明した.
- (2) ウェブ下縁付近と下フランジの応力ひずみに差 異が生じており、今後、詳細な確認が必要である と考えられる.
- (3) 支点付近の応力ひずみにおいて,実験結果では支 点部が単純支持を想定した FEM 解析の結果に近 く,支承部は比較的健全であることが判った.

その他、端対傾構や床板の健全性、横方向荷重などによる実験と解析を実施中である。今後、これらの成果と新たな知見を収集し、FEM解析や各種解析手法を駆使して、より簡易に比較検討を行えるスマートな既設橋梁の診断技術を構築したいと考えている。また、これに基づき、簡易で適切な補修・補強技術を検討し、スマートレトロフィット(SRF)技術の開発に繋げていく予定である。

参考文献

1) 竹渕, 長坂ほか: 沖縄地方において 30 年経過した耐候性 鋼橋のスマートレトロフィット(SRF), 第4回土木学会西 部支部沖縄会技術研究発表会, 2014.

実橋における高力ボルトの腐食減肉計測による残存軸力の推定

木更津工業高等専門学校 正会員 〇田井政行 川田工業株式会社 長坂康史、MK エンジニアリング株式会社 竹渕敏郎 琉球大学 下里哲弘,有住康則

1. はじめに

鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトは、腐食劣化が著 しい部位の一つである. 腐食劣化が著しく進行してい るものが見られる. 腐食した高力ボルトは、減肉によ って残存軸力が低下することが懸念されており 1), 橋 梁の適切な維持管理を行うためにも、腐食レベルに応 じた高力ボルトの残存軸力の評価が急務である.

本稿では鋼橋の耐荷力の適正な評価法開発の一環 2) として、沖縄県北部の普久川ダムに架かる架設から30 年以上経過した耐候性鋼橋の高力ボルトの腐食状況の 報告に加え、既往の研究 3)-5)に基づき、腐食高力ボル トの残存軸力の推定結果について報告を行う.

2. 対象橋梁の概要

図-1 に対象橋梁の概要を示す. 対象橋梁は沖縄県 北部に位置する普久川ダムに架かる耐候性鋼材を用い た鋼プレートガーダー橋である. 対象橋梁は離岸距離 約2.7kmに位置しており、これより上流の橋梁(離岸距 離約 3.2km)での腐食速度及び飛来塩分量は, 0.022mm/year 及び 0.160mdd と比較的厳しい腐食環境 であった. したがって対象橋梁においてもほぼ同程度 かそれ以上の腐食環境下において、架設から既に 30 年間以上暴露されているといえる.

3. 高力ボルトの腐食状況

対象橋梁の調査で確認された, 高力ボルト継手部の 代表的な腐食損傷例を写真-1に示す. 写真-1(a)は支 間 1/3 点の外桁外面の摩擦接合継手を示したもので、 ボルト部の腐食損傷はほとんど見られなかった. 写真 -1(b)は写真-1(a)の内面を示したもので、軽微ではあ るが外面と比べて腐食損傷が生じているといえる. 一 方,写真-1(c)及び(d)に示す桁端部内面の高力ボルト では、著しい腐食損傷が生じていた. とりわけ、がセ ット上面の高力ボルトでは、ナット角部を明確に確認 することはできないほど、顕著な減肉が生じていた.

このように、高力ボルトの腐食は、外面よりも内面、 桁中央部よりも桁端部で激しくなるといえる. これは 鋼橋の他の部位と同様、内面では雨水による付着塩分 の洗浄作用が期待できず、桁端部では湿気がこもりや すい環境に加え、漏水などによるものであると考えら れる.

4. 腐食高力ボルトの残存軸力推定

ナット部やボルト頭部の減肉に伴い, 高力ボルトに 導入された軸力が減少することが報告されている 1). 著者らは、実橋において腐食した高力ボルトの残存軸 力と減肉量の調査を行い, 腐食減肉量に基づく残存軸 力推定法の提案に取り組んできた 3)-5). 本章では,こ れまでの成果に基づき、写真-1(c)及び(d)で示した腐 食高力ボルトの残存軸力の推定を行った.

4.1. 腐食減肉量の計測

写真-2 に腐食減肉量の計測の様子を示す. 減肉が 顕著に生じていたナット部を対象とし、計測にはノギ



(a) 支間 1/3 点桁外面



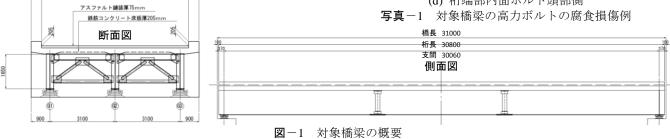
(b) 支間 1/3 点桁内面



(c) 桁端部内面ナット部側



(d) 桁端部内面ボルト頭部側



キーワード 高力ボルト, 残存軸力, 腐食, 減肉量 連絡先 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1)

表-1 形状計測結果と減肉量

ボルト番号	残存肉	厚(mm)	減!	平均減肉量		
ハルト番号	ナット部上面	座金境界部	ナット部上面	座金境界部	(mm)	
No.1	19.5	32.0	16.5	4.0	10.3	
No.2	23.0 31.0		13.0	5.0	9.0	
No.3	21.0	35.0	15.0	1.0	8.0	
No.4	22.0	32.5	14.0	3.5	8.8	
新材(M22)	36.0	36.0	-	_	_	

スを用いて、 $\mathbf{Z} - \mathbf{Z}$ に示すように座金との境界及びナット部上面の \mathbf{Z} か所で計測を行った.

計測結果を表-1に示す.減肉量は健全時のM22の高力ボルトの形状から減肉後の形状を差し引いた値とした.なお、平均減肉量は、座金部とナット部上面の2か所の平均値とした.これより、座金境界部と比べてナット部上面での腐食減肉が顕著であり、ナット部は台形型の形状に減肉したといえる.しかしながら、座金との境界部についても最大5mmの減肉が生じており、平均減肉量では9mmであった.新材のナット部の残存肉厚36mmよりボルト径22mmを差し引いた14mmと比較するとナット部の2/3程度が減肉により失われるほど激しい減肉が生じていたといえる.

4.2. 残存軸力の推定

著者らは M22 の高力ボルトを対象に、図-3 に示すような腐食減肉量より残存軸力を推定する手法の提案を行ってきた 2)・4). 本研究ではこの図を用いて対象とした高力ボルトの残存軸力評価を行った.

評価結果を図-3 に併せて示す. 図の縦軸は残存軸力の割合, 横軸はナット部とボルト頭部の平均減肉量の合計である. 図中の■は辺野喜橋の腐食高力ボルトの残存軸力と減肉量の関係を示したもので, 実線はその回帰曲線である. 対象橋梁のボルトの軸力はこの回帰曲線を用い, ナット部のみに腐食減肉が生じたと仮定して推定を行った. その結果, 対象橋梁の高力ボルトの推定残存軸力はバラツキを考慮しても70%程度は有しおり, 比較的健全であると考えられる. しかしながら, すべり面の状態や他の部位の腐食によって摩擦接合の耐荷力が低下している恐れもあるため, 今後より詳細な調査が必要であるといえる.

5. まとめ

- (1) 鋼プレートガーダーに用いられる高力ボルトは, 外面よりも内面,支間中央よりも桁端部における 腐食損傷が顕著になる傾向にある.
- (2) 腐食減肉量より推定した残存軸力割合は 70%程度であり、比較的健全であると考えられる. しかしながら摩擦面の状態や他の部位の腐食によって耐荷性能が低下することも考えられるので、より詳細な調査を行う必要があると考えられる.

今後は現場での残存軸力の計測を実施し、推定値との比較検討を行い、推定値の検証とよりスマートな(最小限の労力) 軸力推定法の提案を行いたいと考えている. また、それに基づき腐食劣化した摩擦接合継手の耐荷性能の評価手法の検討を行い、スマートレトロフィット(SRF)技術の開発に繋げていく予定である.

参考文献

1) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持



写真-2 桁端部高力ボルトの減肉量の計測例

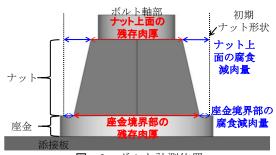


図-2 ボルト計測位置

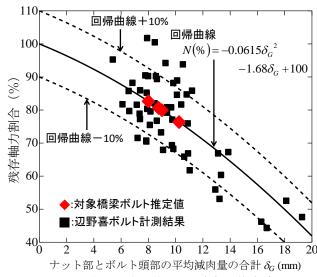


図-3 既往の研究に基づく残存軸力推定結果

管理指針(案), 2007.

- 2) 竹渕, 長坂ほか: 沖縄地方において 30 年経過した耐候性 鋼橋のスマートレトロフィット(SRF), 第4回土木学会西 部支部沖縄会技術研究発表会, 2014.
- 3) 下里, 田井ほか: 腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.725-735, 2013.
- 4) 田井, 下里ほか: 腐食高力ボルトの残存軸力評価法の実験的研究,第68回土木学会年次学術講演会,2013.
- 5) 田井, 小間ほか:腐食劣化した高力ボルトの減肉量に基づく残存軸力評価法の解析的検討,第69回土木学会年次学術講演会,2014.

実腐食減厚分布を有する鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性に関する研究

(一社) 沖縄しまたて協会 ○玉城喜章、琉球大学 下里哲弘、有住康則

1. 研究目的

腐食腹板のせん断耐荷力は、既往の研究より腐食形状の影響は小さく、板厚減少に応じて低下することが示されている ^{1),2)}. しかし、腹板中央腐食タイプの腐食減厚分布において、腐食減厚が激しい場合、最大せん断力が腹板の平均板厚の減少に比例せず極端に低下する場合があることを示した ³⁾. そこで、本研究の目的は、実環境下で腐食分布特性が明確に得られているプレートガーターを対象に、腹板の腐食減厚分布がプレートガーターのせん断耐荷力特性に及ぼす影響について検証を行い、その影響要因を分析する.

2. 実験概要

図-1 及び写真-1 に本研究で用いる実腐食腹板を採取した橋梁を示す.本橋は、架設 1981 年、橋長 35.0m、単純活荷重 RC 床版合成の鋼プレートガーダーであり、無塗装仕様の耐候性鋼橋である. 図-2 及び写真-2 に実腐食腹板を用いて製作した I 形断面の実大試験桁を示す. 試験桁は 2 つの腹板パネルと上下フランジで構成されており、その一つの腹板パネルに回収した腐食桁から切出した実腐食腹板 1 パネルを用いた. 試験桁腹板の腐食減厚計測には、大型レーザー変位計測装置を用いて、試験桁腹板を片面ずつ計測した. 図-3 に試験桁 4 体の残存板厚コンターを示す.

a)試験桁 A: 平均板厚が 8.13mm であり、著しく 腐食減厚する部位のないほぼ均一な腐食減 厚分布である. 以降「均一腐食 A」とする.

b)試験桁 B: 平均板厚が 7.47mm であり, 腹板上 半分は 9mm の設計板厚が多く残っている. 腐食減厚分布は腹板中央付近から下フラン ジ方向に腐食減厚が増加している特徴を有 している. 以降「下部腐食 B」とする.

c)試験桁 C1: 平均板厚が 7.93mm であり, 腐食減 厚分布は水平補剛材上部近傍の腹板と腹板

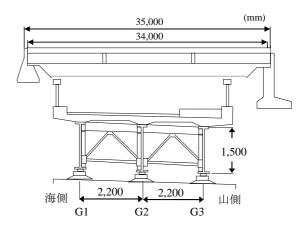


図-1 対象橋梁の側面図及び断面図



写真-1 対象橋梁全景

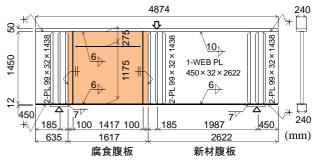


図-2 試験桁の寸法



写真-2 試験桁のセットアップ

キーワード せん断強度特性,大型載荷実験,腐食減厚分布,腐食腹板,FEM 弾塑性解析

連絡先 〒901-2122 浦添市勢理客 4-18-1 (一社) 沖縄しまたて協会 E-mail: tamaki-y@shimatate.or.jp

付近で板厚減少量が大きくなる特徴を有し, 下フランジ近傍の腹板でも腐食減厚がみられる. 以降「中央腐食 C1」とする

d)試験桁 C2: 平均板厚が 7.50mm であり, 試験桁 C1 と同様な腐食減厚分布であるが, 試験桁 C1 より著しい腐食減厚である. 以降「中央 腐食 C2」とする.

写真-2 に試験桁のセットアップ状況を示す. 試験桁の両支点はピン及びピンローラーの単純支持とし、横倒れ防止材を支点部近傍にセットした. 載荷には 6,000kN の大型試験機を使用し、試験桁の中央点に鉛直載荷した. 載荷初期段階は荷重制御、その後は変位制御にて実験を行った.

3. 実験結果

図-4 に実験で得られたせん断力 V と鉛直変位 δV の関係を示す.ここで,縦軸のせん断力 V は V=P/2 (P:載荷荷重)で算出し,横軸の鉛直変位 δV は試験桁スパン中央での下フランジの変位である.また,同図には最大せん断力 V_{max} を矢示した.図より,全ての試験桁の初期剛性はほぼ同等である。最大せん断力 V_{max} は小さい順に中央腐食 $C2(t0=7.50) \rightarrow$ 中央腐食 $C1(t0=7.93) \rightarrow$ 下部腐食 $B(t0=7.47) \rightarrow$ 均一腐食 A(t0=8.13) であり,いずれも腐食腹板の平均板厚の大きさの順にならず,腐食減厚分布の違いによる差が見られた.

図-5にせん断耐荷力 V」はと平均板厚の関係を示 す. ここで、図の縦軸は実験で得られた最大せん 断力 V_{max} をせん断耐荷力 V_{ult} として示し, 設計腹 板厚 9mm での FEM 弾塑性解析により求めたせん 断耐荷力 $V_{ult,FEM(t=9mm)}$ で除して無次元化した. 横 軸の平均板厚は腐食腹板全面の平均板厚 t0 を設 計板厚 9mm で除して無次元化した. なお, 同図 には腹板厚を一様減厚 (9mm, 8mm, 7mm) でモ デル化した FEM 弾塑性解析値とその近似直線を 併記した. ここで、FEM 弾塑性解析法は次節で述 べる。図-5 より均一腐食 A と下部腐食 B のせん 断耐荷力 Vult は FEM 弾塑性解析結果と同様に, 腹 板の平均板厚減少量に応じて低下した.一方,中 央腐食 C1 及び中央腐食 C2 のせん断耐荷力 Vult は、平均板厚減少量に応じて低下する FEM 弾塑 性解析でのせん断耐荷力 Vult.FEM よりも低下して おり, また同程度の平均板厚である均一腐食 A と

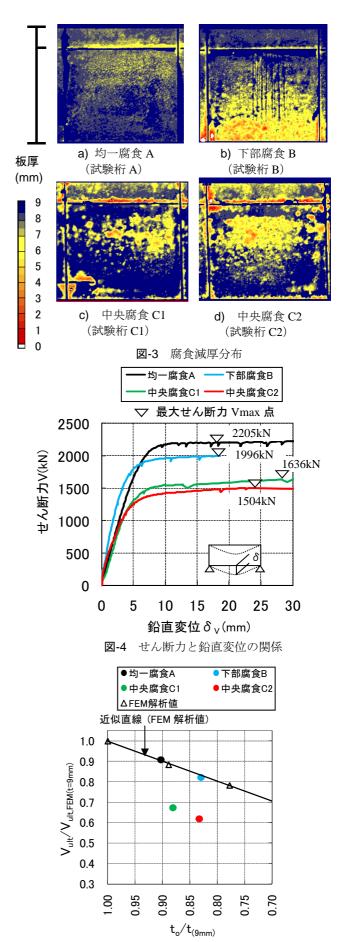


図-5 せん断耐荷力と平均板厚の関係

下部腐食 B よりも低下した.

以上のことより、本実験において均一腐食と下部腐食の腐食減厚分布を有する腹板のせん断耐荷力 V_{ult} は板厚減少量に応じて低下する特性を示し、水平補剛材近傍や腹板中央付近で腐食減厚する中央腐食腹板のせん断耐荷力 V_{ult} は板厚減少量に応じた低下よりも低くなる特性を示した.

図-6 に、一例として下部腐食 B のせん断座屈強度 V_{cr} の判定のためのせん断力 V と面外変位 δ_{H}^{2} の関係及びせん断力 V と最小主ひずみ ϵ_{min} の関係を示す。図より、 δ_{H}^{2} の変化から求めたせん断座屈強度 $V_{cr,\delta H}^{2}$ に比べて、主ひずみ ϵ_{min} の分岐から求めたせん断座屈強度 $V_{cr,\epsilon min}$ が同じか小さくなる傾向を示し、主ひずみの分岐が面外変位の変化より先に発生した。一般的に座屈荷重は最小荷重で定義されることから、本実験では最小主ひずみ ϵ_{min} の分岐から求めた値をせん断座屈強度 V_{cr} とした。

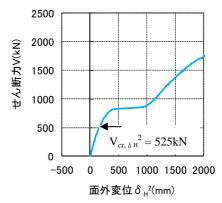
図-7 に図-6 で求めたせん断座屈強度 V_{cr} と実腐食腹板の平均板厚の関係を示す.ここで,縦軸は実験値 V_{cr} を設計板厚 9mm のせん断座屈理論値 $V_{cr,theory(t=9mm)}$ で除して無次元化し,横軸は腐食腹板の水平補剛材下方の腹板パネルの平均板厚 t1 を設計板厚 9mm で無次元化した.また,同図にはせん断座屈強度曲線 5 も併記した.図より,均一腐食 A と下部腐食 B の せん断座屈強度 V_{cr} は,板厚減少量に応じて低下するせん断座屈強度曲線とほぼ同等となった.一方,中央腐食 C1 及び C2 のせん断座屈強度 V_{cr} は,板厚減少量に応じて低下するせん断座屈強度 V_{cr} は,板厚減少量に応じて低下するせん断座屈強度 V_{cr} は,板厚減少量に応じて低下するせん断座屈強度曲線よりも低下した.

以上のことより、本実験において均一腐食 A と下部腐食 B の腐食減厚分布のせん断座屈強度 V_{cr} は、腐食減厚後の平均板厚を用いて 4 辺単純支持条件で求めたせん断座屈理論値 $^{5)}$ とほぼ同等となり、腐食減厚分布の影響はみられなかった。一方、中央腐食 C1 及び C2 の腐食減厚分布のせん断座屈強度 V_{cr} は、腐食減厚後の平均板厚と 4 辺単純支持条件で求めたせん断座屈理論値 $^{5)}$ よりも低下する結果となり、腐食減厚分布の影響を受けていたと考えられる。

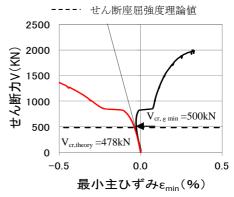
5. 解析概要

図-8 に解析モデル全体図および境界条件を示

す.解析モデルは、8 節点薄肉シェル要素を用いて作成した.腐食腹板部の寸法は、幅 1420mm、高さ 1450mm とし、腐食腹板の要素分割は鉛直方向 100mm、水平方向 100mm 間隔を基準に、水平補剛材の上下 200mm と下フランジから上方 200mm の範囲は、鉛直方向 10mm、水平方向 10mm



a) せん断力と面外変位の二乗の関係



b) せん断力と最小主ひずみの関係 図-6 下部腐食Bのせん断座屈強度

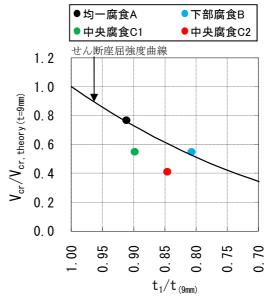


図-7 せん断座屈強度と平均板厚の関係

とした.境界条件は,実験と同様に両端部はピン及びローラーの単純支持とし,中央部に鉛直方向の強制変位を漸増載荷とした.降伏応力度と降伏ひずみは,材料試験結果よりそれぞれ σ_y =454 N/mm², ϵ_y =0.227%を用いた.また,弾性係数,ポアソン比は,それぞれ ϵ_y =2.0×10 ϵ_y N/mm², ϵ_y =0.3 とした.なお、ひずみ硬化を考慮せず,完全断塑性体と仮定した.残留応力は考慮しないものとした。降伏条件は von-Mises の降伏条件式に従うものとした.解析モデルの腐食腹板,鉛直補剛材,水平補剛材の板厚は,レーザー変位計およびキャリパーゲージの板厚計測結果に基づき各要素に反映した.各解析モデルの腐食減厚分布を図-9に示す.

6. 解析結果

図-10に4ケースの解析結果から得られたせん 断力と鉛直変位の関係を示す. ここで、縦軸のせ ん断力 V は V=P/2 (P:載荷荷重) で算出し, 横軸 の鉛直変位δVは試験桁スパン中央での下フラン ジの変位である. TypeA, TypeC1, TypeC2 にお いて,実験値と解析値の初期剛性が同等であった. また、TypeA(均一腐食)の場合、初期剛性から 最大せん断力に至るまでのせん断力と鉛直変位 の関係が実験値とほぼ一致している. TypeB(下 部腐食)の場合,初期剛性から最大せん断力に至 るまでのせん断力と鉛直変位の関係の傾向は実 験値と一致している. TypeC1(中央腐食)の場合, 解析値に比べ実験値の剛性低下時のせん断力が 大きく, TypeC1 の最大せん断力が実験値に比べ 大きくなった. TypeC2 (中央腐食) の場合, 解析 値と実験値の剛性低下時のせん断力は同等であ るが,剛性低下後の解析値は実値験に比べせん断 力の低下が小さく、TypeC2 の最大せん断力が実 験値に比べ大きくなった. よって, 本研究で用い た FEM 弾塑性解析モデルは、大型載荷実験を評 価できるものと考えられる.

図-11 に、せん断座屈 V_{cr} 時、せん断耐荷力 V_{ult} 時の相当応力分布特性を示す。相当応力は、コンター表示で青を $0N/mm^2$ 、黄を $450N/mm^2$ として示した。

a)せん断座屈強度 V_{cr}時

TypeA の場合, 弾性域であった. TypeB の場合,

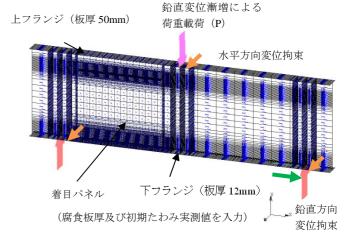


図-8 解析モデル及び境界条件

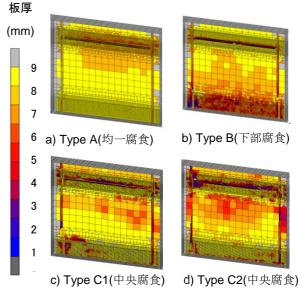


図-9 FEM モデル板厚入力値

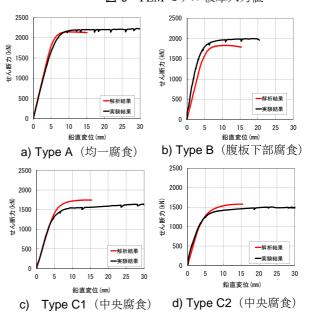


図-10 せん断力と鉛直変位の関係

弾性域であるが腐食減厚の激しい腹板下部の相 当応力が周辺部に比べ高くなる傾向が見られた. TypeC1 及び TypeC2 の場合,腐食減厚の激しい水 平補剛材上部腹板で相当応力が大きくなり,最も 腐食減厚の激しい部位に一部塑性域が生じた.

b) せん断耐荷力 Vult 時

TypeA の場合,腹板の斜め張力場領域で塑性域が発生しており,斜め張力場の幅が拡大した.
TypeB の場合,斜め張力場の幅が拡大しており,右下端アンカー部近傍の塑性域が上方に拡がる傾向が伺える.TypeC1 の場合,TypeA や TypeB に比べて斜め張力場の幅も小さくなった.また,左上端アンカー部近傍の塑性域が下方に移動する傾向が伺え,さらに腐食減厚の激しい水平補剛材上部腹板に塑性域が生じた.TypeC2 の場合,他の3Typeに比べて斜め張力場の幅が最も小さくなった.また,左上端アンカー部近傍の塑性域がTypeC1 に比べて下方に移動しており,水平補剛材より下方の腹板に斜め張力場が形成された.また,腐食減厚の激しい水平補剛材上部腹板に塑性域が生じた.

以上のことより、TypeAは、一般的な斜め張力場領域で塑性域が生じた。TypeBは、斜め張力場方向に塑性域が生じるものの、腹板下部の腐食減厚の影響を受け右下アンカー部が上方に拡大する特性を示した。TypeC1とTypeC2は、斜め張力場方向に塑性域が生じるものの、水平補剛材近傍腹板の腐食減厚が著しくなるほど、TypeAやTypeBに比べて斜め張力場の幅も小さくなり、左上アンカー部が鉛直補剛材に沿って下方に移動した。さらに、腐食減厚の激しい水平補剛材近傍で塑性化が進行する特性を示した。

図-12 にせん断座屈 V_{cr}時の面外変形を示す. なお、大きさはコンター表示で示した. コンター表示は、水平補剛材の設置面の面外変形を黄色、逆面を青色として表示しており、青を-4mm、黄を4mmとして示した. TypeA の場合、凸型状と凹型状の逆対称面外変形が腹板中央に生じていた. TypeB の場合、腹板中央付近に面外変形が生じており、腹板右側に面外変形が拡大する様子が伺える. TypeC1 の場合、面外変形が相当応力の最も大きい水平補剛材上部腹板の中央から腹板中央

の範囲に生じた. TypeC2 の場合, 凸型状と凹型 状の逆対称面外変形が水平補剛材の直下に生じ ており, 相当応力の最も大きい水平補剛材上部腹 板の右側部分の面外変形量が大きくなった.

図-13 に、せん断座屈時の腹板の X 軸方向の回転成分 \triangle θ x を示す。ここで、X 軸方向の回転成分は、右ねじ方向を正とし、0.02rad を黄色、-0.02rad を青のコンターで表示した。なお、X 軸方向は、水平補剛材の長辺方向である。TypeA 及び TypeB の場合、水平補剛材下方の腹板パネルに X 軸方向の回転成分 \triangle θ x が生じている。TypeC1 及び TypeC2 の場合、水平補剛材上部腹板近傍に

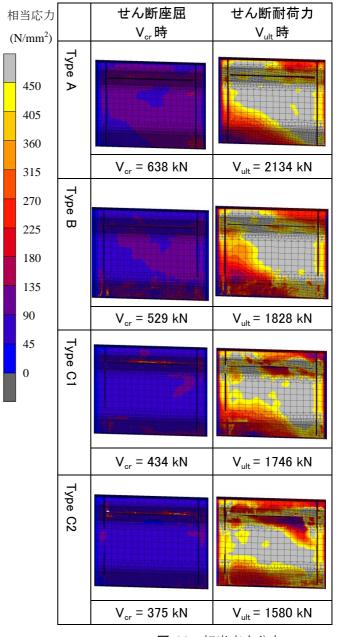


図-11 相当応力分布

おいて、面外変位量が大きい部位のX軸方向の回転成分 $\Delta\theta$ xが増加した.

以上より,水平補剛材上部腹板が減厚すると, せん断力の増加によって水平補剛材上部腹板が 塑性域に近い弾性域または塑性域に達する.この ため,水平補剛材下方の腹板パネルは,水平補剛 材上部の支持条件がピン支持のようになること で面外変形が生じやすくなり,せん断座屈強度が 低下することが示された.

7. まとめ

- (1)大型載荷実験から、均一腐食腹板と下部腐食腹板のせん断耐荷力 Vult は、弾塑性 FEM 解析で得られた板厚減少量に応じて低下するせん断耐荷力と同様に低下する特性を示した.一方、水平補剛材上部腹板と腹板中央付近で腐食減厚する中央腐食腹板のせん断耐荷力 Vult は、板厚減少量に応じて低下するせん断耐荷力よりも低くなる特性を示した.
- (2) 大型載荷実験から、均一腐食腹板と下部腐食のせん断座屈強度 V_{cr} は、平均板厚を用いて 4 辺単純支持で算出したせん断座屈強度理論値とほぼ同等となり、腐食減厚分布の影響は見られなかった。中央腐食腹板のせん断座屈強度 V_{cr} は、平均板厚を用いて 4 辺単純支持で算出したせん断座屈強度理論値より低下した.
- (3) FEM 弾塑性解析から、中央腐食腹板のせん断 耐荷力が板厚減少量より大きく低下する要因 は、水平補剛材上部腹板の板厚減少に応じて斜め張力場の左上アンカー部が上フランジから 垂直補剛材部に移動し、斜め張力場の幅も小さくなることから、せん断耐荷力が減少することを示した.
- (4) FEM 弾塑性解析から、中央腐食腹板のせん断 座屈強度が平均板厚を用いて 4 辺単純支持で 算出したせん断座屈強度理論値より大きく低

下する要因は,水平補剛材下部パネルの水平補 剛材近傍の支持条件が,腐食減厚の激しい水平 補剛材上部腹板において塑性域に近い弾性域 または塑性域に達することでピン支持の条件 となり,面外変形が生じやすくなるため,せん 断座屈強度が低下することを示した.

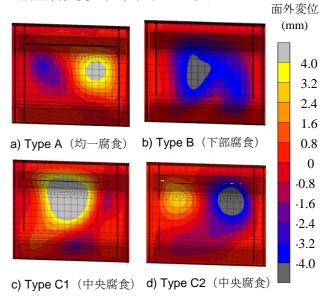
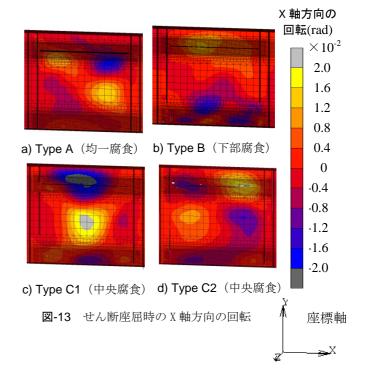


図-12 せん断座屈時の面外変位モード



参考文献

- 1) 海田辰将,藤井堅,原考志,中村秀治:腐食鋼板のせん断耐力とその評価法,構造工学論文集, Vol.50A, pp.121-130, 2004.3.
- 2) ボータンフン, 佐々木栄一, 市川篤司, 三木千壽: 腐食を模擬した模型桁のせん断耐力に関する実験および解析, 構造工学論文, Vol.48A, pp1099-1105, 2002.3.
- 3) 玉城喜章, 下里哲弘,有住康則, 矢吹哲哉: 実腐食分布を考慮したプレートガーダーのせん断耐荷力特性,鋼構造 論文集, 第19巻第73号, pp9-19, 2012.3.
- 4) 土木学会:座屈設計ガイドライン(2005年度版), 2005.10.

腐食減肉した鋼管の残存圧縮耐力に関する解析的研究

琉球大学 学生会員 ○塚原 雄介,琉球大学 正会員 下里 哲弘,有住 康則

1. 研究の背景と目的

港湾鋼構造物は非常に厳しい腐食環境下にある.鋼部材が腐食減肉すると、部材の強度が低下し、構造物の耐荷性能が低下する¹⁾.しかし、腐食鋼管の残存耐力評価法は確立されていない.

本研究では、**写真-1** に示す激しい腐食により撤去された橋脚鋼管を対象に、**写真-2** に示す Pulsed Eddy Current (パルス渦流計、以後 PEC と記す)を用いて計測した残存板厚²⁾を用いて弾塑性 FEM 解析により、腐食減肉した鋼管の残存圧縮耐力評価法の解析的検討を行った.

2. 解析方法

2.1 解析概要

FEM 解析には 4 節点 Solid 要素を用い、弾塑性有限変位解析を行った. 検討パラメータは設計板厚 14mmの健全鋼管と、図-1 に示す 6 試験体の減肉モデルとした. 図-2、図-3 に解析モデル、解析条件、応力-ひずみ関係を示す. 鋼管は外径 609mm、板厚 14mm、長さ約 1800mm~2000mm である. なお、腐食減肉量は PEC 計測データを用いて、Solid 節点に導入した. 2.2 モデル化手法

減肉モデルのモデル化はセッションファイルを用いた.セッションファイルとは、MSC.Patranの起動から停止までの作業内容をテキストで表記したファイルである. MSC.Patran 上で Solid 要素の節点の移動コマンドを実行後、セッションファイルに節点移動コマンドのテキストが表記される.このテキストをフォーマット化し、節点移動量、節点番号の変数をExcel上で加工し、MSC.Patranへ読込むことで、多数の節点を減肉分、移動させた.

3. 圧縮耐荷力特性と塑性域の拡がり特性

3.1 荷重-変位関係

減肉モデルの荷重-変位関係を図-4に示す.減肉モデルは健全モデルと比較して3割~4割程度,耐力の低下がみられた.



写真-1 撤去前の橋脚鋼管

写真-2 残存板厚計測状況

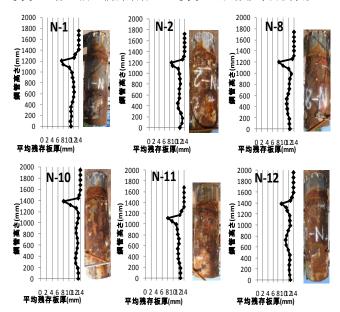


図-1 PEC 計測結果 残存板厚分布

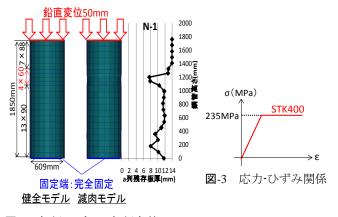


図-2 解析モデル,解析条件

3.2 変形図と塑性域の拡がり

健全と減肉モデル (N-1, N-12) において,変形図と塑性域の拡がりを図-5 に示す.

キーワード 腐食,鋼管,座屈,耐荷力,FEM解析 連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 環境建設工学科 TEL: 098-895-8666, FAX: 098-895-8677

1) 健全モデル

3mm 変位時で全断面が塑性化した後,4mm 変位時では基部で塑性化がみられた.15mm 変形時では基部付近の断面で応力低下がみられ,40mm 変位時では基部付近全体が塑性化し,「象の足座屈」がみられた.

2) N-1 モデル

残存板厚が薄い箇所から塑性化が広がり,塑 性座屈に至った.

3) N-12 モデル

残存板厚が薄い箇所から塑性域が広がり,2 箇所で塑性座屈が生じた.

3.3 腐食減肉した鋼管の残存圧縮耐力評価の検討 既存の圧縮応力を受ける座屈強度式 ³⁾を用いて,腐 食減肉した鋼管の残存圧縮耐力評価の検討を行った. 鋼管の座屈強度式を以下に示す.

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\rm v}} = 1.0 \quad (R_{\rm t} \le 0.091) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_v} = 0.665 + \frac{0.0304}{R_t} \quad \left(0.091 < R_t \le 0.355\right) \cdot \ \cdot \ (2)$$

使用しない (R_t ≤ 0.355)

ここで、 σ は圧縮強度、 σ_y は降伏応力、 R_t は径厚比パラメータ、r は鋼管の半径(中心から外径までの距離)、E はヤング率、t は板厚である.

径厚比パラメータ R_t に平均板厚を用いた場合を図 -6 に示す. 図-6 より,減肉モデルは R_t が増加するに従い耐荷力が減少する傾向がみられたが,座屈強度曲線との相関は低い.

4. まとめ

本稿では、弾塑性 FEM 解析により、腐食減肉した鋼管の残存圧縮耐力評価法の検討を行った.

以下に結論を示す.

- ①健全鋼管では基部で「象の足座屈」が生じることに対し、減肉鋼管では板厚が薄い箇所で塑性座屈が生じた.しかし、図-5のN-12の変形図のように、2 箇所で塑性座屈が生じるケースがみられた.
- ②腐食鋼管の平均板厚を用いて腐食鋼管の圧縮強度 評価を行った結果, 既存の座屈強度曲線との相関は みられなかった.

既存の座屈強度式を用いた, 腐食減肉した鋼管の残

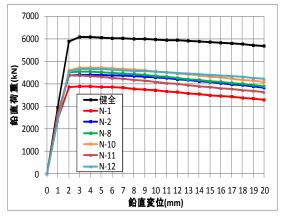


図-4 解析結果 荷重-変位

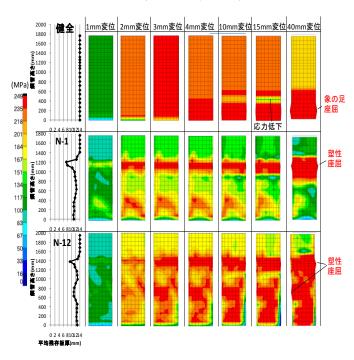


図-5 変形図と塑性域の拡がり

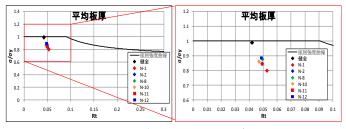


図-6 平均板厚を用いた場合

存圧縮耐力の評価方法が今後の課題である.

参考文献

- 1) 土木学会: 腐食した鋼構造物の残存性能評価および性能回復技術, 2007.5
- 2) 下里哲弘,有住康則,塚原雄介,中野裕二郎:海洋環境下で腐食 した鋼管構造物における渦流計測法の適用性に関する研究,土木 学会第69回年次学術講演会講演概要集,Vol.67, I-619, 2014
- 3) 土木学会:鋼構造物設計指針 PART A 一般構造物, 1987

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 3: 腐食·耐荷力

「塩害劣化 RCT 桁の主桁耐荷力に対する壁高欄の有効性に関する実験研究」

○(株)中央建設コンサルタント 砂川章次(株)ホ-プ設計 金田一男 (株)南伸 久米仁司 (有)綜合設計コンサルタント 太田清志 琉球大学 下里哲弘 社団法人 沖縄しまたて協会 玉城喜章 琉球大学 淵脇秀晃 (株)金秀鉄工 長嶺由智

1. はじめに

現在,供用されている道路橋の多くは塩害,中性化等に起因する劣化,損傷が生じている.また,それらに対する対策として補修・補強・架け替えが行われている.本研究対象橋梁は,厳しい塩害環境下で56年供用し撤去されたRCT桁の道路橋である.本研究は,土木学会西部支部沖縄会橋梁長寿命化小委員会(委員長 下里哲弘)の研究活動の一環として,塩害により著しく劣化した橋梁に対し調査・研究を行っている.本論文では,同橋梁から切り取ったRCT耳桁2本を対象に行った載荷実験結果により,設計では考慮しない壁高欄(防護柵)の主桁耐力への寄与について報告するものである.

2. 研究目的

既設橋においては、塩害等の影響によりかなり の損傷を受けているものも少なくない.

そのような状況の橋梁に対し現行の設計荷重 や損傷劣化を考慮し,設計計算により耐力照査を 行うと, 主桁の補強が必要であると判断される.

しかし、上部構造の設計では、壁高欄等の防護柵の耐力を付与することなく計算が行われている。そこで、壁高欄等の防護柵の耐力を付与することにより主桁の補強を回避、または縮小することが考えられるが、それには、主桁耐力への壁高欄の寄与の確認を目的とした試験データ等の蓄積と検証が必要である。

そこで、本研究では、壁高欄付耳桁2本を試験 対象とし、一方を付けたままの状態、もう一方は 壁高欄を切断した状態で載荷試験を行い、主桁コ ンクリート、および主鉄筋に貼り付けたひずみゲ ージの値、ひびわれの発生状況、および荷重変位 曲線等の比較により壁高欄の主桁耐力への寄与 を定量的に確認することを目的とした.

3. 橋梁および試験体の概要

3.1 橋梁概要および研究対象耳桁の位置

図-1 に示すように、研究対象橋梁は 2 径間の 単純 RCT 桁橋であり、橋長 15.20m、支間長 7.245m、有効幅員 8.18m である.本橋は沖縄復 帰前の旧米軍道路 1 号線の橋梁として建設され た 1 等橋(TL-20)であると推測される.本橋は中 間桁 3 本と耳桁 2 本計 5 本の RCT 桁から構成さ れ、耳桁は壁式コンクリートデザイン高欄と一体 化で造られている.供用中の下流側から見る橋梁 外観を写真-1 に示す(平成 22 年度撮影).

本研究対象の試験体は、図-1 および写真-1 に示す耳桁を対象とする.

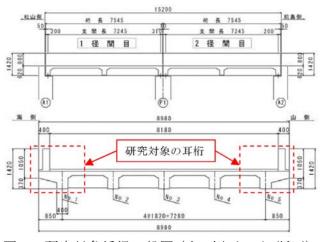


図-1 研究対象橋梁一般図(上:側面,下:断面)



写真-1 研究対象橋梁撤去前の外観状況

キーワード:壁高欄の有効性,主桁耐力への寄与,撤去桁,塩害,載荷試験

連絡先: 〒901-2126 沖縄県浦添市宮城 5 丁目 12 番 11 号 TEL:098-877-4390 FAX:098-876-2661

3.2 試験体概要

図-1 に示す位置から切り取った RCT 耳桁 (試験体W-3) の詳細形状,及び寸法を図-2 に示す. この試験体には高さ 850mm の変断面かつ開口部ありのコンクリート壁式高欄がある.この試験体については壁式高欄が着いたままで実験を行う.

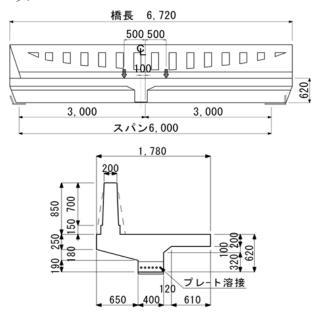


図-2 試験体W-3の形状・寸法

図-1 に示す位置から切り取ったもう一つのRCT 耳桁(試験体W-7)の詳細形状,及び寸法を図-3 に示す. 比較するために,試験体W-7の壁式高欄を切断した後に実験を行う.

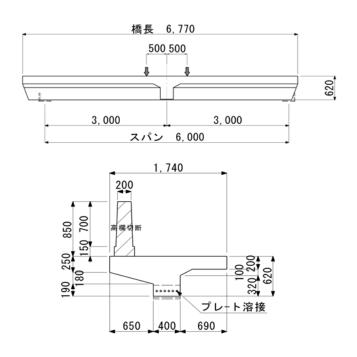


図-3 試験体W-7の形状・寸法

4. 試験体の劣化・損傷状況

4.1 外観および鉄筋の劣化状況

試験体W-3 およびW-7 の外観劣化状況を載荷 実験の直前に近接目視および叩きによって外観 調査を実施した. 図-4 および図-5 には, それぞ れの外観の劣化状況を表す. 以下に, 各試験体の 劣化状況を詳述する.

(1) 試験体W-3 の劣化状況 (劣化度:大)

図-4 および写真-2 から分かるように、この試験体においては、桁Web 下面のコンクリートかぶりが 3/4 程度剥落し、1 段目主鉄筋が露出している状況である. また、RCT 桁WEB 側面のコンクリートかぶりも剥落しスターラップの大半が破断している. 床版下面のコンクリートかぶりも局部的に剥落されている. 更に、写真-2 から分かるように、試験体W-3 のコンクリートかぶりの剥落により、主鉄筋の劣化が加速的に進み、露出している主鉄筋の断面欠損が確認できる.

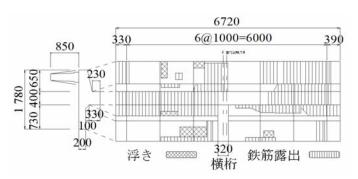


図-4 試験体W-3 の損傷図



写真-2 試験体W-3 の劣化状況

(2) 試験体W-7 の劣化状況 (劣化度:小)

図-5 および写真-3 から分かるように,この試験体に関しては,RCT 桁の桁下隅角部やWEB 側面のコンクリートかぶりが部分的に剥落し,床版下面のコンクリートかぶりも局部的に剥落している.また,写真-3 から分かるように,試験体W-7のコ-ナ-部コンクリートかぶりの剥落により,外側の2本の主鉄筋が部分的に腐食している.

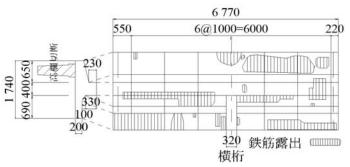


図-5 試験体W-7の損傷図









写真-3 試験体W-7 の劣化状況

5. 配筋状況及び鉄筋の機械的性質

図-6, および図-7に研究対象試験体の配筋模式図を示す.主鉄筋は、スパン中央付近で2段配筋、両端部において上の段の鉄筋が1箇所で3本ずつ2回に分けて折り曲げられている.各段には6本の主鉄筋が配置されているが、異形鉄筋と丸鋼鉄筋が混在している.主鉄筋の下面及び側面のかぶりが共に50mm,1段目と2段目の主鉄筋の間隔は45mmである.帯筋にはφ10の丸鋼鉄筋が使用され、スパン中央の3.0m範囲内では概ね300mmの間隔、それ以外の支点付近では200mmの間隔となっている.

また、図-6 に示すように、壁式高欄の主鉄筋 (縦方向)は、内側と外側共に ϕ 10 の丸鋼が配置され、基本ピッチ(開口部で間隔調整あり)が 250mm である。床版の上面・下面の鉄筋が両方向 共に ϕ 10 の丸鋼が使用されている。壁式高欄側には、張出コンクリートにハンチが付いており、コンクリートも厚く、 ϕ 10 の鉄筋が 3 本配置され、耳桁の残存耐力に寄与する可能性がある。対象 RCT 桁の鉄筋の機械的性質を表-1 に示す。

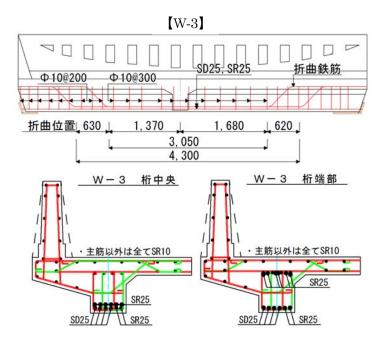


図-6 W-3 試験体の配筋模式図

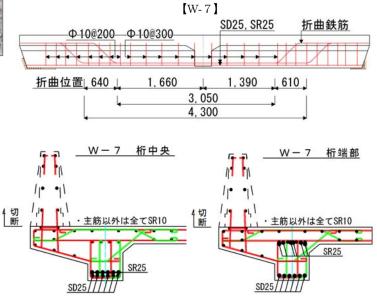


図-7 W-7 試験体の配筋模式図

表-1 から分かるように、試験体に使用されていた異形鉄筋と丸鋼鉄筋の引張試験結果は、幾分ばらついた値となってはいるが、平均値として評価すると、ほぼ同様な材質であることが伺える.

表-1 中桁に使用された鉄筋の機械的性質

f	跌筋	鉄筋径	降伏応力	破断応力	伸び率	弾性係数
	No.	(mm)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)	$x10^{5} (N/mm^{2})$
	SD1	24. 1	372. 9	529. 5	10.0	2. 27
異形	SD2	25. 2	351.1	525. 2	20.0	1. 78
鉄筋	SD3	25. 3	275. 6	467. 3	10.0	1.80
	平均値	24. 9	333. 2	507. 3	13. 3	2.00
	SR1	22. 7	370.8	513. 7	20.0	1.99
丸鋼鉄筋	SR2	22. 9	363. 4	488. 0	20.0	2. 18
35/ J/J	平均值	22. 8	367. 1	500. 85	20	2. 10

6. コンクリート試験

(1) コンクリートコア採取及び室内試験

載荷試験後に、コンクリートの圧縮試験、静弾性試験、および割裂試験に用いるコンクリートコアを採取した。これらのコアは載荷試験後であること、および試験体の損傷が激しい箇所があることから、比較的試験の影響が少ないと考えられるせん断スパン内の支点部付近、およびコアマシンの設置が可能な個所のWEB、床版および壁高欄から採取した。コアの直径は φ 65mm、長さは、直径の 2 倍以上となる 130mm 程度とした。圧縮試験実施前のコンクリートコアの 1 例を写真-4 に示す。

粗骨材については、現在、本部半島産の石灰岩に集約されているが、同写真から分かるように、本試験体においては1974頃まで使用されていた淡白色である本島中南部産の石灰岩の使用が確認できる。本島中南部産の石灰岩は、品質(密度・吸水等)の関係で1975年以降本部半島産の石灰岩へと使用が集約されている。表-2、表-3にW-3、W-7のコンクリート試験の結果を示す。参考までに中桁の結果¹⁾も併せて示す。



写真-4 圧縮試験用コアの1例

個々の試験結果を見てみると、各試験値ともに バラツキがある. 例えば, 圧縮強度においては, 最小値が 27.6 (N/mm²) であるのに対し、最大値は 40.3(N/mm²)である. その差は13(N/mm²)と大きな 差となっている. また, 静弾性係数においても同 様に最小値が 2.21×10⁴(N/mm²)であるのに対し、 最大値は $3.61 \times 10^4 (N/mm^2)$ と大きな差となって いる. 諸基準書等に圧縮強度と弾性係数の値が対 比する形で記載されているが,本試験体の圧縮試 験値に対する弾性係数の値は総じて小さい値で ある事が伺える. しかし, 試験結果を平均値とし て捉えると、W-7 を除きある程度近似的な値と なっているのが見て取れる.個々の試験値のバラ ツキ, および弾性係数が小さい事等には, その当 時の技術,施工条件,およびコンクリート打設時 の気候条件等,幾つかの要因があると思われる. 前記したが,試験体の粗骨材に本島中南部産の石 灰岩が使用されている. それが, 試験値のバラツ キの要因の1つであると考えられ、その石灰岩の 特性は、複雑で未だに解明されてない.

表-2 コンクリート試験結果(1)

コフ	採取試	験体	圧縮強度 (N/mm²)	静弾性係数 x10 ⁴ (N/mm ²)	備考
	載荷前	No.1	35.9	2.32	載荷後のコアNo.1
	東(利利	No.2	_	_	には、初期クラッ
W-1		No.1	21.3	2.73	クがあったため, 他のコアの試験結
	載荷後	No.1 21.3 2.73 力があった 他のコアの No.2 32.6 2.52 果より耐花 No.3 29.7 2.34 低かった. 対値 32.7 2.40 一載荷前 34.7 2.21	果より耐荷能力が		
		No.3	29.7	2.34	低かった.
	平均値		32.7	2.40	_
W-5	載荷	前	34.7	2.21	
	平均値		34.7	2.21	_
		No.1	27.6	2.44	高欄より採取
W-3	載荷後	No.2	29.3	2.74	ウェブより採取
		No.3	37.0	3.61	床版より採取
	平均値		31.3	2.93	_
W-7	載荷後	No.1	40.3	2.38	ウェブより採取
vv - /	製 刊 仮	No.2	39.3	2.84	床版より採取
	平均值		39.8	2.61	_

表-3 コンクリート試験結果(2)

	秋- 3	ユノク	ソート呼吸	
	v ★ 中 → +	\$ H	割裂試験	備考
17	′採取試際	庾14	$({ m N/mm}^2)$	
W-5	业 本		2.66	床版より採取
W-6	載荷前 平均値	_	1.79	床版より採取
平均値			2.23	_
W-3	載荷後	No.1	3.08	ウェブより採取
W-3	戦1月1万	No.2	1.70	床版より採取
	平均值		2.39	_
W-7	載荷後	No.1	1.96	ウェブより採取
VV - /	戦1月1万	No.2	2.79	床版より採取
	平均値		2.37	_

7. 載荷試験結果と壁高欄の主桁耐荷力への寄与 7.1 試験概要

実橋から切出したW-3, W-7のRCT 耳桁をスパン長 L=6.0mの試験体として端部処理し、対称 2 点集中荷重方式で静的曲げ試験を行った。載荷試験は、圧縮試験機(1000kN型)を用い、JIS A 5363 に準拠して行った。載荷点距離は中間横桁の影響を少なくなるために 2a=1.0m とし、支点から載荷点までの距離は b=2.5m とした。試験体の端部、スパン中央部と 1/4 スパン位置に変位計を配置し、桁のたわみを計測する。また、スパン中央の床版の両端部に変位計を配置し、主桁変位と床版の傾きを計測する。

RCT 桁の曲げ変形は,下面にも変位計を配置した. 載荷及び計測状況を図-8 に示す. 載荷方法は, 25kN 及び 50kN に 1 回ずつ,75kN に 2 回ずつ,200kN に 1 回載荷後に除荷した. その後 25kN ずつ載荷し, 桁 200kN に達した後は 50kN ずつ増荷する荷重制御 で破壊まで行った.

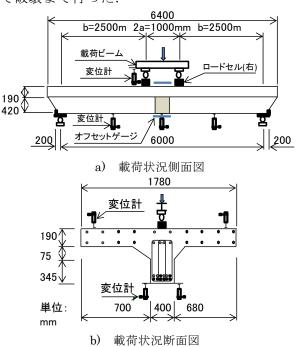


図-8 載荷及び計測状況の模式図

7.2 壁高欄の主桁耐荷力への寄与の評価

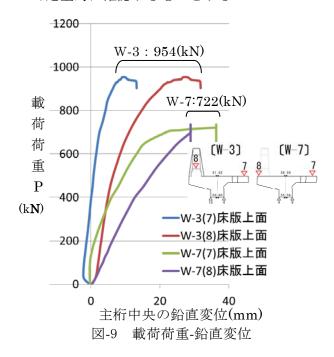
W-3, W-7 両試験体における載荷試験結果から壁 高欄の主桁耐力への寄与について定量的に確認し 考察する.

(1) 載荷荷重と鉛直変位

壁高欄付試験体W-3 と壁高欄を切断した試験体 W-7 の載荷荷重と鉛直変位の関係を図-9 に示す.

変位はスパン中央の床板上面端部に設置した変位計測器(図中7,8)により計測した値である.曲げ剛性の差異により,壁高欄と主桁の継ぎ目で切れ

る可能性が考えられるため、床板上面と高欄との相対変位の計測を目的とし、スパン中央部にPIゲジを設置し、スパンの 1/4 地点の両側にPIゲジを設置し、スパンの 1/4 地点の両側にPIゲジと変位計をセットした。その変位計による変位量は最大で 0.1mm 程度であった。載荷試験における最大載荷荷重は、W-3 が 954(kN)、W-7 が 722(kN)となり高欄付であるW-3 の方が 230(kN)程度大きい耐力を有している結果となった。この結果から主桁耐力への高欄の寄与が考えられる。よって、以降に載荷荷重時における主桁コンクリート、および鉄筋のひずみ値の比較等により高欄の主桁耐力への寄与について定量的に確認するものとする。



(2) 載荷荷重と応答ひずみ

1) 載荷荷重と主桁中央部のコンクリートひずみ

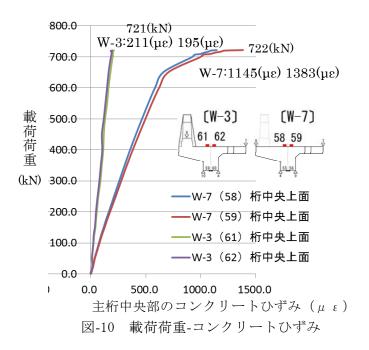
両試験体における載荷荷重と応答ひずみの関係を図-10 に示す. ひずみはスパン中央の床板上面にて計測した値であり, ひずみゲージ番号と貼付け位置を図-10 中の模式図に示す.

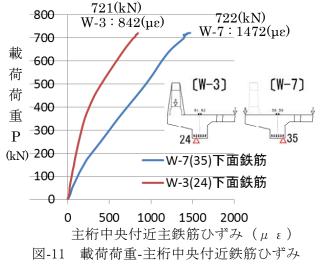
W-7 試験体の最大載荷荷重時 722 (kN) におけるひずみ値は $1145(\mu \epsilon)$, $1383(\mu \epsilon)$ であるであるのに対し,ほぼ同程度である載荷荷重 721 (kN) の時のW-3 のひずみ値は $211(\mu \epsilon)$, $195(\mu \epsilon)$ であった.同程度の荷重による比較の結果,W-3 の応答ひずみ値はW-7 の概ね $1/5\sim1/6$ 程度であった.

2) 載荷荷重と主桁中央付近の主鉄筋のひずみ

両試験体における載荷荷重と応答ひずみの関係を図-11 に示す. ひずみはスパン中央付近の主鉄筋にて計測した値であり, ひずみゲージ番号と貼付け位置を図-11 中の模式図に示す. W-7 試験体の最大載荷荷重時 722 (kN) におけるひずみ値は $1472 (\mu \epsilon)$

であるであるのに対し、ほぼ同程度である載荷荷重721(kN)の時のW-3のひずみ値は842(μ ϵ)であった。同程度の荷重による比較の結果、W-3の応答ひずみ値はW-7の概ね57%程度であった。

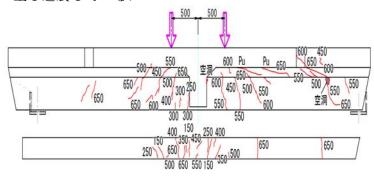




(3) 載荷荷重とひびわれの発生状況

載荷試験時における載荷荷重とひびわれ発生状況を図-12に示す. W-7 試験体は, 載荷荷重が 150kN に達した時に桁下に最初の曲げひび割れが発生した. 諸基準書の算出式にて算出すると曲げひび割れモ-メントMcは載荷荷重 130kN となるため概ね合致する. そして荷重の漸増とともにひび割れは増加し載荷荷重 300kN でウェブに発生, さらに荷重の漸増に伴い載荷位置に向かうひび割れが進展し722(kN)で構造系が不安定となり破壊に至った. W-3 試験体は, 桁下の被りコンクリートが全体的に剥落している. よって, ウェブから上側におけるひび

割れ観察とした. W-7と比べて載荷荷重 600kN と大きな載荷荷重でウェブに最初のひび割れが発生した. また, 荷重の漸増とともにW-7と同様な載荷位置へと向かうひび割れの進展が生じ, 壁高欄にも800kN からひび割れの発生を確認した. W-7と比較すると載荷荷重が大きくなってからひび割れが発生し進展している.



a) W-7 ひび割れ発生状況図

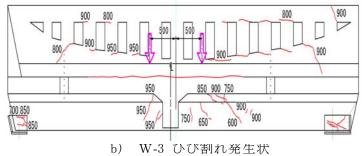


図-12 ひび割れ発生状況

8. まとめ

本研究から得られた結果を以下にまとめる.

- (1)今回の載荷試験結果から、壁高欄の主桁耐力への寄与は概ね30%程度であった.
- (2) W-3 の壁高欄表面には砂礫状の材質で吹付化粧がなされており塩害による損傷がなった. それが主桁耐力への寄与率が大きかった要因と考えられる.
- (3) 高欄の主桁耐力への寄与は、高欄と主桁の接触面を 介し主桁の曲げ変形に追従し得る高欄形状である かが重要であり、例えば、高欄の曲げ剛性が大きい 場合には、主桁の曲げ変形に追従しないことも考え られる.よって、今後は主桁耐力への寄与が考慮で きる、または、できない条件等について数値解析等 を用いて研究を進めていくものとする.

本論文は、土木学会西部支部沖縄会橋梁長寿命化 小委員会の活動の一環で作成したものであり、関係 委員の御協力に深謝します.

参考文献

1) 塩害により著しく劣化した RCT 桁の劣化度と残存 耐力 構造工学論文集 Vol. 60A 2014.3

RC 円形橋脚の耐震性の寸法効果に関する検討

岐阜大学 正会員 ○木下幸治,岐阜大学 山本翔吾

1. はじめに

従来, 実大模型に関する実験データがほと んど存在しなかった為、縮小模型実験により 実大 RC 橋脚の地震時の破壊特性や曲げ復元 力をどの程度正確に評価できるかは、ほとん ど検討されてこなかった1). しかし近年, 実 大の構造物を用いた震動台実験 2)や載荷実験 3)が可能となり実大構造物実験に基づいて寸 法効果が明らかになりつつある. このような 状況を受け本研究では文献 3)で行われた RC 円形橋脚の実大モデルと 1/2 縮小モデルの損 傷度比較の実験で使用した載荷実験の比較 から寸法効果の影響を明確することを目的 とし、第1著者の昨年度の研究⁴⁾で行われた 実橋脚の 1/10 縮小モデルの載荷実験(図-1, 表-1, 並び表-2 参照) に続き, 1/5 縮小モデ ルの載荷実験結果(1体:Type2)を報告する.

2. 載荷実験方法

図-2 に実験装置の外観図を示す. 軸力は実大モデルに作用された軸力 (1565kN) から縮尺率に従い 60kN とした. 載荷実験では主鉄筋が降伏するときの変位を δ_y とし、 $\pm 0.3\delta_y$ と $\pm 0.5\delta_y$ から始めて $\pm 0.5\delta_y$ ずつ増加させ各 1 サイクル載荷した. なお、本縮小モデルの降伏変位は鉄筋のひずみ計測が困難であるためファイバー要素解析により算出したものを用いた.

3. 載荷実験結果

図-3 にモルタルで製作した 1/5 縮小モデル (Type 2) の載荷履歴を示す (δ_y =4.76mm). 23.8mm ($5.0\delta_y$) の時に最大荷重 75.0kN となり,その後載荷に伴い荷重は徐々に減少し,35.7mm ($7.5\delta_v$) の時に大きく荷重が減少し

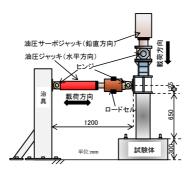




図-1 1/10 縮小モデルの試験システム及び外観図 ⁴⁾



図-2 1/5 縮小モデル実験装置の外観図

表-1 文献 3)と本研究のモデルの比較

試験体	実大モデル	1/2縮小モデル	1/5縮小モデル	1/10縮小モデル
円形橋脚の直径 (mm)	2000	1000	400	200
円形部の高さ (mm)	6900	3380	1350	650
主鉄筋 (試験部位)	D29 SD295	D16 SD295	D6 SD295	D6 SD295 D3 SD295
帯鉄筋 (試験部位)	Φ13 SR235	Φ6 SR235	Φ3.2 鉄線	Φ1.2 鉄線
作用軸力 (kN)	1565	359	60	15
終局耐力 (kN)	1297	333	51	13

表-2 本研究と既往研究4)のモデルの比較

計除体	1/5縮/	トモデル	1/10縮小モデル			
此例火件	粗骨材の 最大寸法15mm コンクリート モルタ 縮尺率に 縮尺率に	Type 2	Type 3	Type 4		
材料	最大寸法15mm	モルタル	モルタル	モルタル		
鉄筋		縮尺率に 合わせる	縮尺率に 合わせる	鉄筋比を 合わせる		

キーワード: 寸法効果, 載荷実験, 損傷度比較, RC 橋脚

連絡先: 〒501 - 1193 岐阜県岐阜市柳戸1番地1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 Tel: 058-293-2414

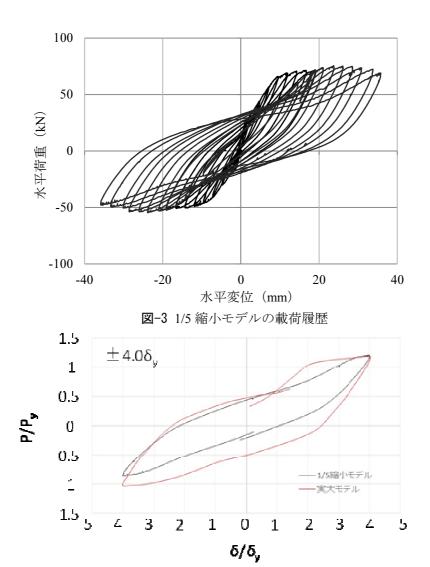


図-4 ±4.0δ_v サイクル時の履歴曲線

た. 1/5 縮小モデルの載荷終了時には載荷方向の橋脚上面,下面いずれもコンクリートの剥落が確認できた. 図-4 に実大モデルと 1/5 縮小モデルの±4.06y サイクル時の履歴曲線を示す. 図より, 1/5 縮小モデルと実大モデルの履歴曲線は良く一致しているが,ループの大きさに差異が見られた. この原因の一つとして, 1/5 縮小モデルと実大モデルに用いた主鉄筋のふしの形状と間隔が異なることが考えられる.

参考文献

- 1) 川島一彦,太田啓介,大矢智之,佐々木智大,松崎裕: RC 橋脚の曲げ塑性変形に及ぼす粗骨材 寸法及び鉄筋断面積の評価法の影響,土木学会論文集 A I (構造・地震工学), Vol.68, No.4, pp.543-pp.555, 2012.
- 2) 川島一彦, 佐々木智大, 右近大道, 梶原浩一, 運上茂樹, 堺淳一, 幸左賢二, 高橋良知, 矢部正明, 松崎裕: 現在の技術基準で設計した RC 橋脚の耐震性に関する実大震動台実験及びその解析, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.324-343, 2010.
- 3) 岩田秀治, 関雅樹, 上月隆史, 阿知波秀彦: 載荷実験による RC 円形橋脚の実大モデルと 1/2 縮小モデルの損傷度比較, 土木学会第 66 会年次学術講演概要集, 第 I 部門, pp.765-766, 2011.
- 4) 杉森克成,木下幸治,内田裕市:円形 RC 橋脚の耐震性における寸法効果に関する実験的検討, 第 69 回土木学会学術講演会,第 I 部門, I-285,大阪大学,2014.

Session 4: 材料劣化,維持管理

表面研磨法によるフライアッシュコンクリートの含有塩分量調査方法の提案

(一財)沖縄県建設技術センター ○下地 建 アール・アンド・エー 風間 洋

1. はじめに

伊良部大橋は100年供用を目指している離島架橋で あり、コンクリート構造物に対し各種耐久性向上対策 を施している。特に、塩害対策として上・下部工にエ ポキシ樹脂塗装鉄筋を使用し、下部工には塩害対策、 温度応力抑制およびアルカリ骨材反応(以下、ASRと 称す)抑制を目的にフライアッシュコンクリート(以 下、FAC と称す)を用いている。また、上部工では、 ASR 発生抑止のために細骨材を石灰岩砕砂のみとし ており、その結果ワーカビリティーが悪くなった事か ら、流動化剤的な効果を期待して FA を混和材として 配合している。

さらに、伊良部大橋では、維持管理の基礎資料とす ることを目的として、暴露試験を行っている(写真-1)。

本論文では、この暴露試験供試体を用い、新たに考 案したコンクリート表面塩分量調査方法を用いて FAC の塩分浸透抑制効果を確認したので、ここに報告 するものである。

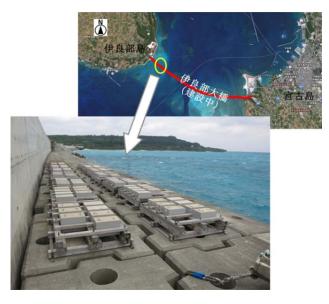


写真-1 暴露試験場

2. 暴露試験概要

2.1 暴露供試体

暴露供試体は、25×25×40cm の大きさで、上下面を

暴露面とし、側面は暴露面以外からの塩分浸透防止の ためアクリルゴム系樹脂を塗布している(図-1)。また、 下部エコンクリートの供試体には 9cm、上部工には 7cm と、実構造物と同じかぶりで鉄筋を配筋している。

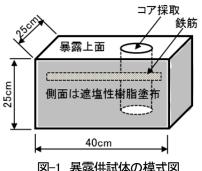


図-1 暴露供試体の模式図

2.2 コンクリートの配合

試験に用いた暴露供試体のコンクリート配合を表 -1 に示す。このうち、36FAC は、伊良部大橋下部工の 主航路部近傍橋脚で使用されている配合であり、FAを 内割で 20% (80kg/m³)、外割で 20kg/m³配合したもの である。36NC は、36FAC の FA を除いた普通コンク リート(以下、NCと称す)の配合であり、36FACと の比較検証のために作製したものである。なお下部工 の細骨材は、ASRを発生させる可能性のある新川産海 砂と本部産石灰岩砕砂を配合している。

伊良部大橋の上部工は、 脱型や吊り上げ時の初期 強度が求められる PC セグメントである事から、初期 強度の低下する FA 内割配合の FAC にできなかった。 よって、細骨材は本部産石灰岩砕砂のみとし、50 砕 NC して当初 18 セグメントの打設を行った。しかし、 石灰岩砕砂のみの配合はワーカビリティーが悪く、打 設が困難であったため、流動化剤として砕砂代替3% で FA を外割配合し、これを 50 外 FAC として 19番目 以降の全てのセグメントに使用している。

2.3 暴露試験のスケジュール

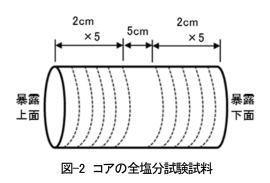
暴露供試体は平成19年度から平成21年度に作製し、 追跡調査は暴露 5 年目、10 年目の後、10 年毎に 100

キーワード 暴露試験、フライアッシュコンクリート、含有塩分量、表面研磨法 〒902-0064 那覇市寄宮 1-7-13 (一財)沖縄県建設技術センター試験研究部 TEL 098-832-8442 年目まで実施する予定である。今回の報告は、平成20年度に作製した供試体に対し、暴露5年目の平成25年度に調査したものである。

3. 調査方法

3.1 コアスライス法による含有塩分量分布調査

本調査は、コンクリート中の含有塩分量分布を確認するための一般的な方法であり、供試体からコアを採取し、図-2に示すように外側(上下面)から2cm毎(中央部のみ5cm)に切断し、それらを微粉砕してコンクリート中の全塩分量を分析する。分析方法は、JCI-SC5「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法」に準じて行う。



3.2 コンクリート表面塩分量調査

本調査は、FACのように遮塩性が高いコンクリートの表面部分の塩分を測定するために考案した手法であり、以下表面研磨法と称す。表面研磨法は、**写真-2**に

示すように、コンクリートの表面を薄く研磨できる集 塵機能付きディスクグラインダーで、厚さ 1.5mm×幅 100mm×長さ 350mm 程度を研磨し、採取された粉体 を用いて含有塩分量の定量分析を行う。分析方法は、 JCI-SC5 に準じて行う。



写真-2 表面研磨の作業及び供試体状況

3.3 EPMA(電子線マイクロアナライザー)試験

EPMA は、Electron Probe Micro Analyzer の略で、波長分散型 X 線分光器を搭載した分析装置で、コンクリート表面から内部 8cm までの塩素 (Cl) や珪素 (Si) 等の元素濃度を 0.2mm ピッチで測定するものである。本試験は、土木学会において EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法 (案) (JSCE-G 574-2010)を基準化しており、セメントペースト中の塩化物イオン量分布を正確に測定できるとされている。

4. 試験結果

4.1 コアスライス法および表面研磨法による含有塩分量分布

					12 1	外正	一八口八八十八	<i>"</i>		「マノ日に	- 🗆				
	設計基	目標ス	骨材最	水セメン	細骨材					単	单位量(k	g/m³)			
供試体名	準強度	ランプ	大寸法	ト比W/C		セメント	混和	巾材	水		細骨材		粗帽	骨材	混和剤
	(N/mm^2)	(cm)	(mm)	(%)	(%)	С	H-EX	F1	W	S1	S2	F2	G1	G2	Α
36FAC	36	12	40	39.0	35.4	323	_	80	157	295	302	20	693	462	(C+F1) × 0.85%
36NC	36	12	40	39.0	35.4	403	_	_	157	308	315	_	695	463	C×1.05%
50外FAC	50	18	20	33.5	42.9	446	20	_	156	0	723	22	1004	_	(C+H-EX) × 0.85%
50砕NC	50	18	20	33.5	42.9	446	20	_	156	0	745	_	1004	_	(C+H-EX) × 0.90%

表-1 暴露供試体のコンクリートの配合

材料	供試体名	36FAC	36NC	50外FAC	50砕NC		
	セメント	普通ポルトランドセメント(琉ョ	球セメント㈱製, 密度3.16kg/cr	m³, 全アルカリ0.62%, 塩化物イオン(0.008%)		
Big H-EX 膨張材 ハイパーエクスパン(太平洋マテリアル㈱製, 密度3.16kg/cm³, 全アルカリ0.17%, 塩化物イオン0.012%)							
/此个山171	F1						
水 上水道水(塩化物/オン0.004%)							
S1 沖縄県東村新川産 海砂(表乾密度2.61, 吸水率1.95%, F.M2.30, 塩化物量0.001NaCl%)							
細骨材	S2	沖縄県本部半島産(安和鉱	山) 砕砂(表乾密度2.66, 吸力	k率1.57%, F.M3.00)			
	F2	フライアッシュ Ⅱ 種 (株)ジェイヘ		cm ³)			
和古井	G1	沖縄県本部半島産(安和鉱	山) 砕石2005(表乾密度2.71	, 吸水率0.30%, 実績率59.0%)			
租育的	本 フライアッシュ II 種(㈱)・エイヘック石川かパニー、密度2.37kg/cm³) 水 上水道水(塩化物イか0.004%) S1 沖縄県東村新川産 海砂(表乾密度2.61、吸水率1.95%, F.M2.30、塩化物量0.001NaCl%) S2 沖縄県本部半島産(安和鉱山) 砕砂(表乾密度2.66、吸水率1.57%, F.M3.00) F2 フライアッシュ II 種(㈱)・エイヘック石川かパニー、密度2.37kg/cm³)						
;	混和剤						

コアスライス法および表面研磨法により採取された供試体の含有塩分量分布を図-3~4に示す。

同図から、全ての供試体で上面が下面より塩分浸透が多いことが判る。しかし、沖縄本島で実施された暴露試験 ¹⁾ により、直接波飛沫のかからない塩害環境のコンクリート供試体は、上面は雨による洗い流し効果を受けるため下面より浸透塩分量が少なくなることが判っている。この事から、本暴露試験場は、直接波飛沫の当たる激烈な環境であると考えられた。

次に、全ての供試体の上面および底面の表層 1.5mm の塩分量は、0-2cm の塩分量の 2 倍程度で、FAC、NC 共に同程度の塩分量であった。これが、FAC と NC の 2-4cm の塩分浸透量で見ると、NC には僅かながら塩分が認められたが、FAC では認められず塩分浸透が抑制されていることが判った。

これらの結果から、コアスライス試料による塩分量 分布は、FACの表層部の塩分量を正確に表していない と考えられた。

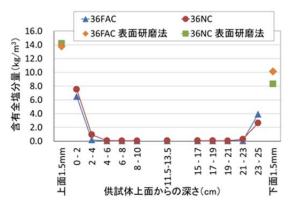


図-3 表面研磨法とコアスライス法の比較(36N/mm²)

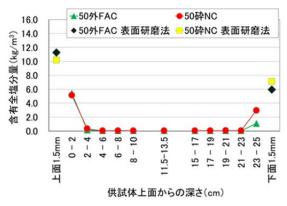


図-4 表面研磨法とコアスライス法の比較(50N/mm²)

4.2 EPMA 試験による含有塩分量分布

4.1 の結果を確認するため、各供試体から採取したコアの上面に対し EPMA 試験を行い、結果を特性 X 線強度分布画像として図-5~6 に示す。なお、本試験は、セメントペースト中の塩分量を測定するものであり、骨材は塩化物イオンが無いと表示される。

これらの図から、いずれの供試体でもコンクリート表面ほど塩化物イオン濃度が高いことが判る。また、FACとNCを比べると、36N/mm²、50N/mm²共にFACの方が塩分浸透は少なく、前述 JCI-SC5 による全塩分分析結果で見られたように FAC の遮塩効果が確認できた。

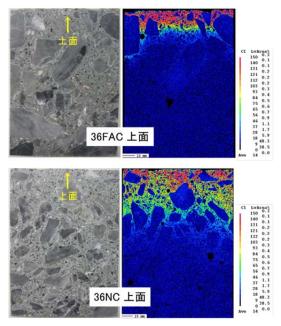


図-5 試料断面と同断面のCI 濃度分布状況(36N/mm²)

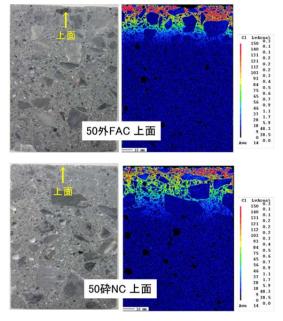


図-6 試料断面と同断面のCI 濃度分布状況(50N/mm²)

4.3 JCI-SC5による全塩分分析値とEPMA 試験による塩化物イオン分布の比較

EPMA 試験は、細かいピッチで正確な塩分量分布が確認できるため、JCI-SC5 分析結果と比較し、その精度を確認した。ただし、EPMA 試験はセメントペースト中の塩化物イオン量であるため、コンクリート中の絶対塩分量に補正し、比較した(図-7~8)。

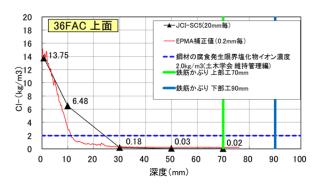
これらの図から、36FAC と 50 外 FAC 供試体では、表面から 30mm 付近まで EPMA 試験結果が JCI-SC5 分析値を下回っており、FAC の表層部においてはコアスライス法では含有塩分量分布が正確に表されないことが確認できた。これに対し、36NC と 50 砕 NC 供試体では、JCI-SC5 分析値と EPMA 試験結果がほぼ一致しており、NC では従来のコアスライス法により含有塩分量分布が確認できることが判った。

5. まとめ

本研究から得られた知見と今後の課題を以下に示す。

- (1) JCI-SC5 分析による含有塩分量分布試験の結果、 全ての供試体で上面が下面よりも塩分浸透量が 多く、本暴露試験場は雨の洗い流し効果を上回る 塩分量が来襲する激烈な塩害環境と判った。
- (2) 表面研磨法によりコンクリート表面 1.5mm の塩 分量を確認した結果、コアスライス法による 0-2cm の塩分量の2倍程度あり、コアスライス法 はコンクリート表面の塩分量を正確に表わして いないことが確認できた。
- (4) JCI-SC5 分析値と EPMA 試験結果を比較すると、 NC はコアスライス法で含有塩分量分布が確認で きるが、FAC は表層 0~30mm において確認でき ないことが判った。
- (5) 本試験は、暴露後5年のデータであるため、今後 も同手法も含めて暴露試験を継続し、より正確な FAC の含有塩分量分布調査方法を確立する必要 があると考える。

謝辞:本研究は、沖縄県宮古土木事務所の発注業務の 一環として行い、試験実施に当たっては、宮古土木事 務所伊良部大橋建設現場事務所の方々にご指導・ご助 言を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。



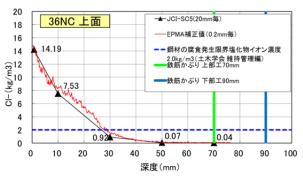
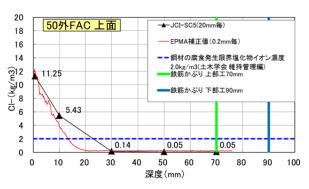


図-7 JCI-SC5 分析と EPMA 試験の結果比較 (36N/mm²)



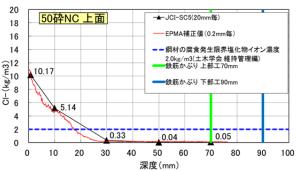


図-8 JCI-SC5 分析と EPMA 試験の結果比較 (50N/mm²)

参考文献

1) 沖縄県宮古土木事務所, 財団法人沖縄県建設技術センター: 伊良部大橋第7期コンクリート耐久性検討業務報告書, 2012.3

コンクリートプリズム(CPT)を用いた ASR 加速試験の遅延膨張性 ASR への 適応性に関する研究

琉球大学 〇亀川裕也,正会員 藍檀オメル,富山潤 琉球セメント(株) 山口順圭,屋我晃,神谷和志,上里尚也

1. はじめに

近年、沖縄県のコンクリート用骨材として使用されている新川沖産海砂に微晶質石英や隠微晶質石英などの有害鉱物が含まれており、それらが遅延膨張性のアルカリシリカ反応(ASR)を起こす可能性があることが明らかとなっている。国内における現行の試験方法である化学法およびモルタルバー法では、反応性の低い遅延膨張性骨材により生じる ASR の危険性を検出できない可能性があることは広く知られている。本研究では、RILEM の AAR-4.1「Detection of potential alkali-reactivity- 60° C test method for aggregate combinations using concrete prisms」を参考に、遅延膨張性鉱物を含む小型コンクリートプリズムを用いた遅延膨張性 ASR にこの加速試験方法 1° を適用し、その妥当性を検討する。また、フライアッシュの ASR 抑制効果の確認も同時に行う。

2. 試験概要

(1)供試体

沖縄県内の細骨材に使用されている海砂は、図-1から分かるように、遅延膨張性の ASR を生じる微晶質石英や隠微晶質石英を含む変成岩や堆積岩が 80%以上を占めている。海砂に起因した ASR の劣化状況としては、軽微でかつ限定的であるが、試験法の検討と抑制対策は必要である。 そこで本研究では、遅延膨張性 ASR に対する新しい試験法の適用性を検証するために、沖縄県のコンクリート用細骨材として使用されている本部産石灰岩砕砂と新川沖産海砂の混合砂(混合比を F.M=2.6(砕



図-1 海砂の岩種構成比

砂:海砂=65:35)) を用い供試体を作製した. 供試体は、水セメント比 W/C=50%、単位水量 $W=160 kg/m^3$ は一定とし、コンクリート中のアルカリ総量が $5.5 kg/m^3$ となるように特級試薬の水酸化ナトリウムまた はその水溶液を、あらかじめ練り混ぜ水に添加して調整した。表-1 に示した配合により、供試体の寸法: $75\times75\times250 mm$ (約 3.5 kg) のコンクリートプリズム(CPT)を作製した。また、ノーマルコンクリート(NC) とフライアッシュコンクリート(FC)の 2 種類を作製し、フライアッシュ(JIS II 種)の遅延膨張性 ASR への 抑制効果も同時に検討を行っている.

表-1 ノーマルコンクリートとフライアッシュコンクリートの配合

	50	8	10	糸田寸	計		20	
	水	セメント	FA	6卆至少	海砂	*且·骨*才	AE減水剤	
	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	
NO	160	320	О	535	285	1022	1.92	
FO	- 20 miles	256	64	-,3-3	200	1022	1.3/2	

(2)試験方法

本研究では、RILEM AAR-4.1 を元にした方法 $^{1)}$ で行った.脱型後から 30 ± 5 分間吸水させ、コンタクトゲージを用いてゲージプラグ間を測定し基長(200mm)とした.AAR-4.1 と異なる点として、測定後に 1.5mol の NaOH を 50g 含ませた不織布で供試体を覆い(写真 - 1)、その上からラップで覆い水を張った密

キーワード: ASR, コンクリートプリズム, 遅延膨張性骨材, RILEM AAR-4.1 連絡先:〒903-0213 西原町千原1番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TEL 098-895-8649

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 4: 材料劣化,維持管理

閉できるステンレス製容器に立てて格納した(写真 - 2). 養生は格納容器ごと行い, 湿度 90%以上, 温度 60 $^{\circ}$ $^{\circ}$







写真-2 ステンレス容器格納状況



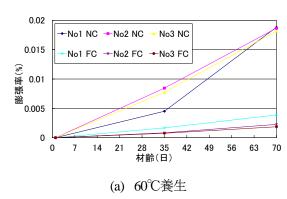
写真 - 3 養生狀況

(3)測定方法

測定を行う24±2時間前に、格納容器を養生槽から取り出し20±2℃に保った測定室で自然冷却を行う. 測定にはコンタクトゲージ法を用いた. 標準点距離を200mmとし、コンタクトゲージをゲージプラグに押し付けて測定した. 片面3回測定し、結果はその平均値を用いた. 測定の材齢は脱型時、5、10、15、20 および26 週に行う. 測定の際、供試体のひび割れ、ゲルの滲出など目視での変化にも注意する. 包装してある不織布は丁寧に取り除く. 不織布に含まれる溶液量は時間とともに減少するため、不織布の質量も測定し、減少した質量に等しい水道水を加える. 供試体を格納容器に戻す際、測定前と上下を逆にして格納する.

3. 試験結果

図-2 に材齢 10 週までの膨張試験の結果を示す。この図より、NC では、膨張傾向が確認できるが、FC は NC の約 10 分の 1 程度の膨張挙動となっている。また、材齢 10 週目時点は、養生温度 60° Cと 70° Cでは、 60° Cの方が大きな膨張挙動を示している。本報告では、試験初期(10 週)の段階であるため、今後も測定を継続し、所定の材齢 26 週まで試験を実施し、遅延膨張性 ASR に対する試験法の適用性とフライアッシュの ASR 抑制効果の検証を行う予定である。



0.02 0.015 No4 NC - No5 NC - No6 NC No4 FC - No5 FC - No6 FC の0.005 0 7 14 21 28 35 42 49 56 63 70 材齢(日)

(b) 70℃養生

図-2 10週目の測定結果

4. まとめ

本研究では、遅延膨張性骨材を使用した CPT を用い、ASR 加速試験を実施した. 材齢 10 週目の段階ではあるが、NC でわずかな膨張が確認でき、また、FC は、NC に比較し膨張が抑制されているのが確認できた. 今後も試験を継続し、詳細な検証を行う.

謝辞:本研究は、「沖縄県のアルカリ骨材反応に関する研究プロジェクト」の一環で行った。また、平成 26 年度沖縄県しまたて協会技術開発支援の補助を受けた。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献:

1)ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会: ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書, コンクリート工学会, pp.70-78, 2014.

コンクリート橋上部工の付着塩分量に関する調査および塩害環境評価法に関する基礎研究

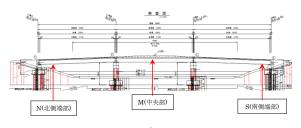
琉球大学 準会員 ○外間賢伍,松浦葵,琉球大学 正会員 富山潤,藍檀オメル

1. はじめに

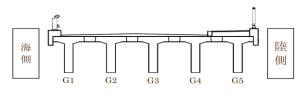
コンクリート構造物を計画的に維持管理していくためには、劣化予測の向上が必要とされる.コンクリートの劣化のひとつに塩害がある.四方を海に囲まれた島嶼である沖縄で塩害の大きな要因として海から飛来する飛来塩分がある.また、飛来塩分によるコンクリート構造物の劣化は、同一構造物においても気象条件、周辺環境、構造物の形状・寸法などにより、部材・部位ごとに劣化の程度が異なることが知られている.そこで本研究は、非常に塩害の厳しい沖縄本島北部東シナ海側に位置するコンクリート橋上部構造(主桁)を対象に、ガーゼ拭き取り法により付着塩分量の基礎的調査を行った.また、新たな塩害環境評価の方法として、モルタルチップを利用した方法の検討を紹介する.

2. 対象橋梁および周辺環境調査

2.1 橋梁概要



(a) 側面図

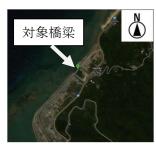


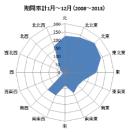
(b) 断面図

図-1 対象橋梁図面

2.2 気象データや周辺環境

飛来塩分を考える上で対象構造物の位置する場所と風向が重要となる。図-2 は、対象橋梁位置図と対象橋梁最寄りの伊是名気象観測所のデータ²⁾をもとにした風向別頻度を示す。この図より年間を通して北寄りの風向頻度が高い風況であることがわかる。特に冬季に季節風の影響を受ける環境にある。





(a) 対象橋位置図

(b) 風向別頻度

図-2 位置図と風向別頻度

3. 調査概要

コンクリート表面の付着塩分量の測定はガーゼ拭き取り法¹⁾により行った. 20cm×20cm の範囲内のコンクリート表面をガーゼで拭き取り(写真-1), 拭き取ったガーゼを規定量の脱イオン水に浸けて塩素イオン検知管を用いて塩素イオンを検出した(写真-2). 測定位置は,

図-1 の(a) に示す 橋梁南側端部とし、 G1 から G5 におい て図-3 のように拭 き取り調査を行った。

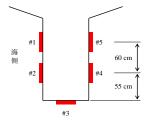


図-3 主桁の観測位置

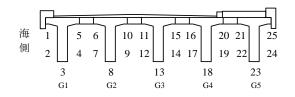




写真-1 拭き取りの様子

写真-2 塩分量測定

キーワード 塩害, 飛来塩分, ガーゼ拭き取り法, 塩害環境評価, モルタルチップ 連絡先 〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地 TEL098-895-8649



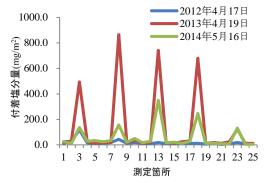


図-4 測定面ごとの付着塩分量

図-4 に測定面ごとの付着塩分量を示す.この図から付着塩分量が部材・部位ごとに異なることがわかる.特に主桁下面に多く付着する傾向があり、また、海側から2番目もしくは3番目の桁下面でピークとなり、陸側に向けて減少していく傾向を示した.

4. 塩害環境評価および塩分浸透量の検討

ガーゼ拭き取り法では測定できないコンク リート内部に浸透した塩分量を考慮していく ことがもとめられる. 写真-3 に示すモルタル チップを用いて塩害環境評価および塩分浸透 予測の境界条件の検討を行う.

モルタルチップは、新潟大学の佐伯ら 3が提案している方法で、ガーゼ拭き取り法と同様にコア採取などで構造物を傷つけることなく、飛来塩分に関する情報を得ることが可能である.

モルタルチップは、4×4×1cm の W/C=50%の 薄板状とした。初期水中養生期間は 28 日とす る。薄板供試体を用いたのは、浸透した塩化物 イオンの濃度分布ではなく総量に着目して行 うため、浸透量の測定は供試体全てを粉砕する。 なお実際には、供試体が薄くてもその内部には 濃度分布があると考えられるが、供試体内部を 均一考えた場合に生じる誤差は、長期的な塩分 浸透予測を行う際の多くの不確定要因の影響 に比べて小さいと考えた.

本研究では、ガーゼ拭き取り法を適用した構造物と同一のコンクリート橋において調査を行う. 測定位置は、図-1 (a) に示す橋梁両端部 $S \cdot N$ とし、それぞれの G1 から G5 において図-5 の位置に設置した。今後、2 カ月ほどの間隔でモルタルチップを取り換え、計測を行っていく予定である。

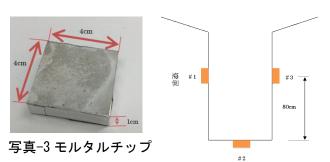


図-5 主桁の観測位置

5. まとめ

以下に本研究で得られた知見と今後の研究 方針を示す.

- 1) ガーゼ拭き取り法により同一構造物でも その部位によって付着塩分量に違いが出 ることが確認できた.
- 2) 今後の課題として、モルタルチップを用いた塩害環境評価法および塩分浸透予測の境界条件の検討を行う.また、塩分浸透予測として、3次元の有限要素法による非定常拡散解析コードを開発予定である.

謝辞: 研究の場を提供頂いた沖縄県大宜味村に 謝意を示す.

参考文献

- 1)日本道路協会:鋼道路橋塗装·防食便覧(付 属資料)
- 2) 国土交通省,気象庁,過去の気象データ(伊 是名気象観測所)
- 3) 佐伯竜彦, 能勢陽祐, 菊池道生: 薄板モルタルを用いたミクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, pp. 803-805, 2011

ASR 劣化したプレテンション PC 桁橋の調査および損傷理論を導入したボクセル FEM を用いた膨張予測 の基礎検討

○琉球大学大学院 学生会員 松浦葵,琉球大学 正会員 富山潤,藍檀オメル (株) 大富建設コンサルタント 非会員 迫田泰治,九州大学 正会員 浅井光輝

1. はじめに

ホロー桁において、静的載荷試験を実施すると弾性域から曲げ剛性が低下することが報告されているり。 ASR が生じたプレテンション PC ホロー桁に生じるひび割れ性状は、プレストレスによる軸方向力の影響を大きく受け、桁軸方向に沿ったひび割れが卓越して生じるのが特徴である。したがって、ひび割れがプレストレスの影響でさらに開く可能性が懸念される。またASR をはじめとしたさまざまな経年劣化の多くは、力学的要因と化学的要因が複雑に絡み合って発生している。今後の維持管理の面からみてもモニタリングおよび劣化メカニズムを詳細に把握することが求められている。

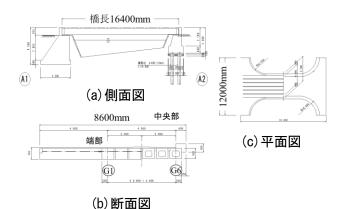
ASR(アルカリ骨材反応)が生じたプレテンションPC

そこで本研究では、プレテンション PC ホロー桁を 主部材とし、その主部材の軸方向に沿ったひび割れが 生じたコンクリート橋において、ひび割れの原因解明 およびひび割れ幅のモニタリングを行った。さらに ASR の連成解析を行うことで、ASR 現象の特徴的な損 傷である亀甲状のひび割れパターンを再現することを 目標とし、数値解析を試みた。

2. 橋梁概況および調査内容

2.1 橋梁概略および劣化状況

対象橋梁は1989年3月に供用開始された1径間プレテンションPCホロー桁橋(6連桁)である。図-1に橋梁概略図を示す。本橋梁は、供用開始から25年が経過し、ASRに起因すると思われる橋軸方向のひび割れが顕著に表れ(図-2)、耐久性や耐荷性能の低下が懸念されている。劣化の特徴として、川下側(G4,G5,G6)の3主桁のみに劣化が生じ、川上側(G1,G2,G3)の3主桁は外観上健全である。また、劣化桁においては、短期間でひび割れ本数が増えた。さらに、最大ひび割れ幅も0.8mmから4.0mmに広がり、ひび割れの進展が認められた。



図−1 橋梁概略図

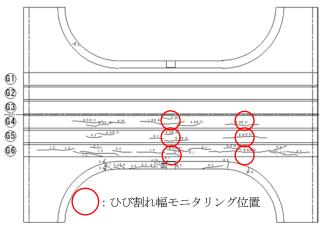


図-2 主桁下面のひび割れ図

2.2 調査概要

図-3 に示す位置からコアを採取し, **表-1** に示す試験を行った。

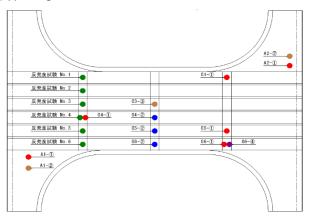


図-3 コア採取位置

キーワード アルカリ骨材反応,プレテンション PC ホロー桁,耐荷性能,モニタリング,ボクセル FEM 連絡先 7903-0213 西原町字千原 1 番地 工学部環境建設工学科 TEL098-895-8649

表-1 採取コアと試験項目との対応表

	コア採取の目的	個数
•	圧縮強度試験 静弾性係数試験 塩化物イオン濃度試験 中性化試験	6
	促進膨張試験	3
	SEM-EDS分析+促進膨張試験	1
	SEM-EDS分析	1
本	論では、図-2中の反発度試験は害	愛した.

(1) 圧縮試験および静弾性係数試験

圧縮強度試験および静弾性係数試験は,JIS A 1107 「コンクリートからのコアの採取方法および圧縮強度 試験方法」およびJIS A 1149「コンクリートの静弾性 係数試験方法」に準じた。

(2) 塩化物イオン濃度試験

塩化物イオン濃度は、JIS A 1154 により実施した。 分析用試料は、各コア試料の表面側から 2cm 間隔で 10cm の深度までの 5 層をスライスして各々取得した。

(3) 中性化試験

中性化試験は、JIS A 1152 に従い実施した。

(4) 促進膨張試験

ASR による潜在膨張性を確認するために、カナダ法 $(1N, 80^{\circ}C, NaOH 溶液浸漬)$ による促進膨張試験を 行った。

(5) ASR ゲルの確認(実体顕微鏡, SEM-EDS 分析)

ASR ゲルの確認のために、実体顕微鏡観察および SEM-EDS 分析を行った。

(6) ひび割れ幅のモニタリング

平成25年4月(初期値),6月,8月,10月の4回のひび割れ幅を,ひび割れを跨ぐようにゲージプラグを設置(基調100mm)し,コンタクトゲージにより測定した。設置位置を図-2に示し,測定番号を,No.1(G6端部),No.2(G5端部),No.3(G4端部),No.4(G6中央),No.5(G5中央),No.6(G4中央)とする。

3. 試験結果

(1) 圧縮試験および静弾性係数試験

表-2 圧縮強度および静弾性係数

調査		圧縮強度(N/m	m^2)		静弾性位	系数(N/mm	2)
箇所	測定値	設計基準強度	判定	測定値	標準値	低下率	判定
Gl-①	90.2		健全	38	38	99%	健全
G4-①	53.1	49	健全	10.9	34	32%	ASR∅
G5-①	53.1	49	健全	11	34	32%	可能性
G6-①	48.2		構造的に 問題なし	7.33	33	22%	あり

圧縮強度および静弾性係数を表-2に示す。この結果より G1 桁(健全)に比較し、G4、5、6 桁は材料劣化が確認できる。

(2) 塩化物イオン濃度試験および中性化試験

図-4 に G6 の塩分含有量試験と中性化試験の結果を示す。この結果より、ひび割れは塩害や中性化による鋼材腐食によるものではないことが予想される。

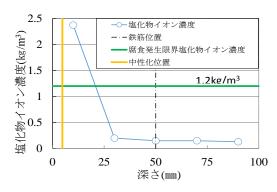


図-4 塩分含有量および中性化(G6)

(3) 促進膨張試験

図-5 に促進膨張試験の結果を示す。この結果より、 劣化桁(G6)のさらなる膨張と、外観上健全な桁(G3)の 膨張の可能性が懸念される。

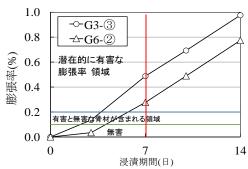


図-5 促進膨張試験結果(カナダ法)

(4) ASR ゲルの確認(実体顕微鏡観察、SEM-EDS 分析)

実体顕微鏡観察において、写真-1に示すように骨材の輪郭部に反応リムが認められた。 また、骨材周囲のペー

透明掺出物 反応リム <u>Imm</u>

スト上に、透明および 白色の滲出物が認めら

写真-1 実体顕微鏡観察

れた。SEM 観察ではG3, G6 両試料でASR ゲルを確認した。

(5) ひび割れ幅モニタリング

図-6 にひび割れモニタリング結果を示す。この結果からは、ひび割れが収束している可能性が確認できる。

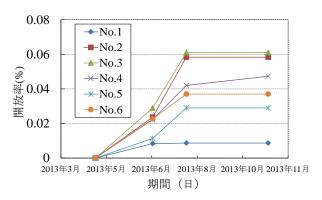


図-6 ひび割れモニタリング結果

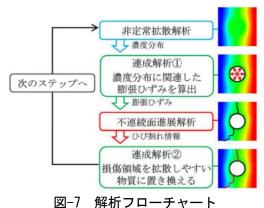
4. 解析手法概念 2)

ASR の劣化診断には、ASR に起因した膨張予測が必要となる。膨張予測の一つの方法として、数値解析的な予測は有力な方法であると考える。そこで本研究では、損傷理論を導入したボクセル有限要素法(FEM)を用いた予測手法の検討を行う。ここでは、解析方法の説明と簡単な問題を例に本手法の適用性を検討する。

4.1 解析方法

本解析は、ボクセル FEM をベースとし、非定常拡 散問題と非線形ひび割れ進展問題の両者を連成して行 う. ひび割れは、損傷に応じてボクセル要素の剛性を 現象させる損傷モデルを導入することで表現し、同時 に得られる損傷パラメータを用いて拡散問題における 物性値も段階的に変化さ、拡散問題と固体損傷の連成 解析手法である²⁾。

図-7 に解析フローチャートを示す。連成解析では,最初に非定常拡散問題を解き拡散物質(アルカリイオン)の空間分布を予測する。そして,濃度の空間分布から粗骨材の膨張力を決定する。この際,膨張力によって不連続面と判定される要素は,高い拡散係数に置換し,再び拡散問題を解く。これを繰り返すことで,浸透・拡散に伴う不連続面進展解析を実施する。



5.2 損傷モデル

損傷モデルでは連続体損傷力学を導入し、損傷変数

Dを用い、要素剛性を段階的に減少させる。損傷変数は $0 \le D \le 1$ であり、D = 0のときには健全な状態を示し、D = 1は最終的な破壊状態を表す。損傷に伴う微小空間の発達は材料の剛性低下を引き起こすため本研究では弾性係数の低下によって損傷状態を表す。 E_0 は非損傷状態の弾性係数、Eは損傷後の弾性係数である。

$$D = \frac{E_0 - E}{E_0}$$

損傷変数は以下に示す損傷進展式によって計算される。

$$D = 1 - \frac{\kappa_0}{\kappa} [1 - A + Aexp\{-B(\kappa - \kappa_0)\}]$$

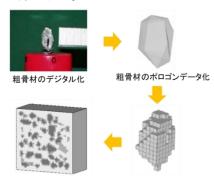
ここで、A、B は損傷の進展を表すパラメータ、 κ は材料が過去に受けた最大の相当ひずみである。 κ が κ_0 となると損傷が開始するものとする。コンクリートは引張応力に弱い材料であり、圧縮強度に比べて引張強度は約 1/10 程度である。そこで、圧縮域と引張域の相対的な影響度を考慮した相当ひずみを定義することが望ましい。本研究では次式の相当ひずみを用いて評価することにした。

$$\varepsilon_{eq} = \frac{m-1}{2m(1-2v)}I_1 + \frac{1}{2m}\sqrt{\left(\frac{m-1}{1-2v}I_1\right)^2 + \frac{2m}{(1+v)^2}J_2}$$

ここで、 I_1 はひずみの 1 次不変量、 I_2 は偏差ひずみの 2 次不変量であり、m はコンクリートの圧縮と引張強度の比を示す。損傷変数を参照しながら、拡散係数も損傷に相当した大きな値 cB へと段階的に変化させる。

5. コンクリートモデル作成

図-8 にコンクリートモデル作成方法の概念図を示す。まず、デジタル化した粗骨材をポリゴンデータ化にし、出来上がったポリゴンモデルをボクセル化する。ボクセル化したいくつかの粗骨材モデルをボクセルメッシュで分割された解析領域へ粗骨材量に応じて重ならないように挿入する。



粗骨材モデルを解析領域へ挿入 ポリゴンモデルをボクセル化

図-8 コンクリートモデル作成の概念図

6. 解析例

図-9 に解析に用いた 40×40×40mm のモデルを示す。 1 ボクセル 1mm³ であり、粗骨材量を 10%とした。

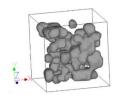


表-2 各種係数

	モルタル	粗骨材
拡散係数	$1.0 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$	$1.0 \times 10^{-12} \text{cm}^2/\text{s}$
弾性係数	20GPa	60GPa
引張強度	4.0MPa	破壊しない

図-9 解析モデル

表-2 に各種係数を示す。アルカリ量に応じた膨張ひずみを粗骨材に与え、ASR の膨張を表現した。境界条件は yz 面以外の面に対して面外方向の変位を拘束し、両 yz 面からアルカリを拡散浸透させている。

次に解析結果を示す。図-10,11 はそれぞれ中央断面の1日,25日,30日,75日のアルカリ浸透解析およびひび割れ進展解析の結果である。これよりアルカリの浸透とともに内部のひび割れの進展も確認できる。

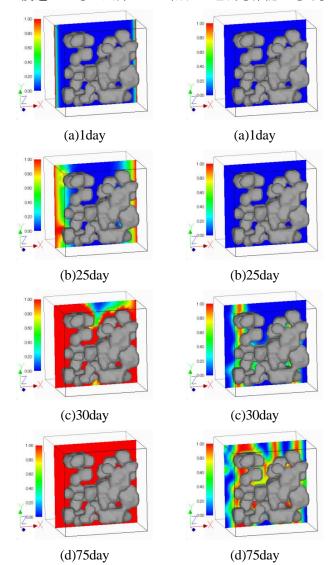


図-10 アルカリ浸透解析 図-11 ひび割れ解析

図-12 には表面ひび割れの状況を示す。反応した骨材の膨張に伴い、無拘束の X 方向に膨張が生じ、30日で Y 軸に沿ったひび割れが入る。そこからひび割れが進展し、亀甲状のひび割れが確認できる。しかし、今回の解析ではアルカリの消費を考えておらず、無限に膨張し、ASR の収束が考慮されていない。したがって、長期間にわたる解析では、信頼性の懸念があり、今後の課題である。

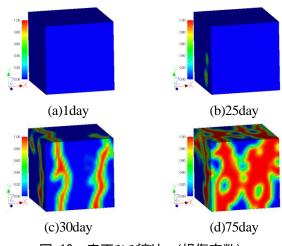


図-12 表面ひび割れ(損傷変数)

7. まとめ

今回の調査および数値解析より得られた知見を以下に示す。

- (1) 対象橋梁の劣化はASRであることが明らかとなった。しかし、対象橋梁は、劣化桁と健全桁がはっきり分かれているが、施工や周辺環境等を考慮してもここまで顕著な差が出るとは考えにくい。今後、詳細な岩石学的評価やモニタリングを実施し、原因究明を行う予定である。
- (2) 数値解析の結果より、粗骨材分布を考慮したアルカリイオンの浸透を表現できることを確認できた。また、アルカリの浸透状況に応じた粗骨材の膨張およびひび割れ進展解析が可能であり、アルカリ骨材反応特有の拘束条件が弱い場合に生じる亀甲状のひび割れの表現できた。

謝辞:本研究は JSPS 科研費 26420439 の助成を受けた ものである。

参考文献

- 1) 富山潤, 山田一夫, 金田一男, 伊良波繁雄, 大城武: ASR 劣化したプレテンション PC 桁の岩石学的検討 に基づく ASR 診断および耐荷性能の評価, 土木学会 論文集 E2, Vol.67, No.4, pp.578-595, 2011
- 2) 渡邉茜, 浅井光輝: 損傷モデルの概念を導入したボクセル FEM による物質拡散とひび割れ進展問題の連成解析, 計算力学論文集, Vol. 2013, p. 2013007, 2013

塩害により損傷を受けた鉄筋コンクリート桁の載荷試験(その1)

琉球大学 〇辻 翔平 大日本コンサルタント(株) 本田博幸 琉球大学 下里哲弘 琉球大学 有住康則

1. はじめに

本研究は、膨大な飛来塩分、高温・多湿という鋼材腐食にとって厳しい環境である亜熱帯島嶼環境の沖縄において、厳しい塩害環境下に約40年曝され、1)鉄筋腐食によるコンクリートのはく落、2)内部鉄筋の断面欠損、破断などの損傷により撤去された鉄筋コンクリートT桁橋(以下:撤去橋)を研究対象1)とし、各種調査・試験から実塩害橋梁の劣化状況を分析し、今後の適切な維持管理手法への技術資料の提供を目的としている。

本論文では、撤去橋に対して塩害により腐食した 鉄筋による浮きなどのコンクリートの劣化状況確認 を目的に、実施した外観目視調査の結果を報告する. また、力学性状を把握するために疲労載荷試験²⁾を 行っているが、その試験後の静的載荷試験および外 観状況の比較結果を用いて、劣化進行状況の分析を した.

2. 橋梁および試験体概要

撤去橋は、1972年に建設された3径間連続鉄筋コンクリートT桁橋である. 架橋位置は、沖縄本島の東海岸沿岸部の太平洋に面した河口から約150m上流地点の感潮に位置していた. また、橋長は25.0m、両側に歩道を有する5主桁橋である. 使用鋼材は異形鉄筋が使用されており、コンクリートの設計基準強度は建設された時期から21N/mm²と考えられる. 写真-1に調査橋梁の撤去前の状況を示す.

図-1に撤去橋の構造概要を示す.また,着色(赤)部を試験体として外観調査,静的載荷試験および疲労載荷試験を行った.なお,本稿の報告は,起点側海側G2桁(G202)とする.支間長4100mm,桁側面1975mm,桁高さ1020mmである.写真-2に試験体外観状況(展開図)を示す.



写真-1 撤去橋(撤去前状況)

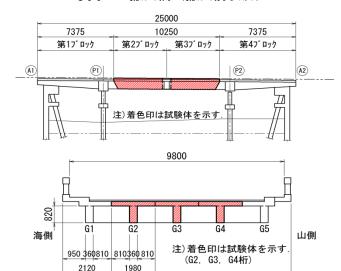


図-1 撤去橋構造概要

10350



海側 写真-2 試験体外観状況

キーワード:撤去桁,塩害,鉄筋腐食,外観目視調査,静的載荷試験

連絡 先:〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 TEL:098-895-8641 FAX:098-895-8677

3. 調査内容

1) 外観目視調査

コンクリートのひび割れ状況,鉄筋径計測,スターラップ状況および打音調査を行った.

2) 静的載荷試験

静的載荷試験は、支間長 4100mm の単純梁で1点集中荷重とした。また、基本荷重を輪荷重と衝撃を考慮して 140kN に設定した。なお、試験体の初期値を把握する目的で基本荷重まで載荷後、50万回ごとの疲労載荷試験後に静的載荷試験を行った。

4. 調査結果

1) 外観目視調査結果

コンクリートは、ひび割れ、浮き、はく落などの 損傷の確認ができた. **写真-2**に試験体の状況、**図-2** に損傷図を示す. 主桁側面海側では、ひび割れやは く落が確認でき、主鉄筋は2段目まで露出していた. 山側では、最下段鉄筋位置までで留まっており、ひ び割れ、浮きが確認できた. なお、疲労上限荷重を 200kNに増加した150万回目のみにひび割れ長さや 幅に進行が見られた.

鉄筋は、全体的に表面さびが発生しており腐食していた. **写真-3**に主桁下面の状況を示す. スターラップの多くは破断しており、断面減少も確認できた. なお、疲労載荷回数の増加による状態の変化は確認できなかった.

2) 静的載荷試驗結果

図-3 に支間中央における荷重-変位を示す. 損傷を受けない状態の理論値に対して載荷試験の変位が大きくなっている. これは, 供用時に受けた繰り返し荷重によるものと推測する. また, 疲労載荷回数の増加により変位が大きくなる傾向が確認できた. なお, 上限荷重を増加した 150 万回目には変位の増加が顕著であった. なお, 鉄筋ひずみについても同時に計測しているが, 変位と傾向が異なり, 理論値よりも小さい値であった.

5. まとめ

本研究から得られた結果を以下に示す.

- 1) 塩害損傷として、コンクリートのはく落、ひび割れ、浮き、鉄筋露出、破断が確認できた.
- 2) 疲労載荷回数の増加により、変位が大きくなる傾向が確認できた.

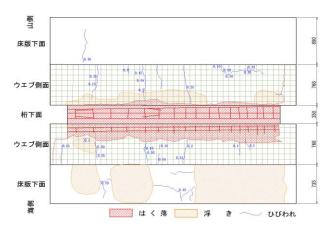


図-2 試験体損傷図

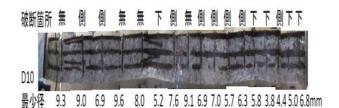


写真-3 主桁下面状況 (スターラップの破断)

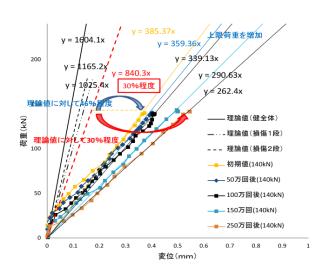


図-3 荷重-(支間中央)変位

なお、疲労載荷の上限荷重を増加した場合に変位の増加が顕著であり、主桁側面のひび割れは、 長さ、幅が進展した.

参考文献:

- 1) 本田, 下里, 有住, 砂川: 塩害により損傷を 受けた鉄筋コンクリート桁の劣化度分析と各 種非破壊試験の適用, 構造工学論文集, Vol. 59A, pp898-907, 2013. 4
- 2) 本田, 下里, 有住, 辻:塩害により損傷を受けた鉄筋コンクリート桁の載荷試験(その2), 土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会,2014.10

塩害により損傷を受けた鉄筋コンクリート桁の載荷試験(その2)

大日本コンサルタント(株) 〇本田博幸 琉球大学 辻 翔平 琉球大学 下里哲弘 琉球大学 有住康則

1. はじめに

わが国の橋梁は高度経済成長期の1950年代 後半から1980年代にかけて集中して建設され てきた.これらの橋梁の中には,維持管理が 十分に行われず塩害により崩落した事例が発 生しており,このような安全性に関わる問題 が顕在化し,大規模な補修・補強や更新が必 要な時期が集中することが危惧される.

本論文では、撤去された鉄筋コンクリート T 桁橋(以下:撤去橋)を研究対象 ^{1),2)}とし 力学性状を把握するために疲労載荷試験およ び静的載荷試験を行い、桁の耐久性能・耐荷 性能について分析した.

2. 橋梁および試験体概要

撤去橋^{1), 2)}は、1972年に建設された3径間連続鉄筋コンクリートT桁橋であり、太平洋に面した河口から約150m上流地点の感潮に位置していた。橋長は25.0m、両側に歩道を有する5主桁橋である。

図-1に撤去橋の構造概要を示す. なお,着色(赤)部のうち起点側海側G2桁(G202)を試験体として静的載荷試験および疲労載荷試験を行った.

3. 試験内容

載荷試験は、支間長4100mmの単純梁で1点集中荷重とし、基本荷重を輪荷重と衝撃より140kNに設定した.写真-1に載荷試験状況、図-2に鉄筋定着(鋼板に溶接)状況を示す.また、試験体の現状を把握する目的で基本荷重による静的載荷試験後、疲労載荷試験を行った.表-1に載荷回数、荷重を示す.なお、劣化進行状況を把握するため、疲労載荷試験の区切りにおいて静的載荷試験も行った.

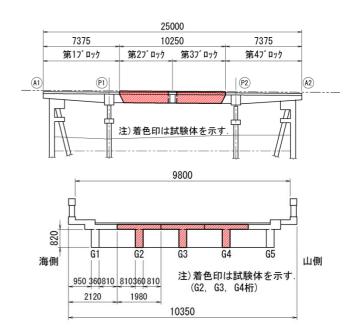


図-1 撤去橋構造概要



写真-1 載荷試験状況

図-2 定着詳細図

表-1 載荷方法,回数および荷重

方法	荷重	回数	速度	方法	荷重	回数	速度
静的	140kN	ALMSON.	100000	疲労	200kN	200万回	3Hz
用ザロソ	140KIN			静的	250kN		
疲労	140kN	50万回	3Hz	疲労	250kN	250万回	3Hz
静的	140kN			静的	250kN		
疲労	140kN	100万回	3Hz	疲労	250kN	300万回	3Hz
静的	250kN			静的	250kN		
疲労	200kN	150万回	3Hz	疲労	250kN	350万回	3Hz
静的	250kN			静的	250kN		

キーワード:撤去橋,塩害,鉄筋腐食,静的載荷試験,疲労載荷試験

連 絡 先:〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 TEL:098-895-8641 FAX:098-895-8677

図-3 にひずみゲージ設置位置を示す.また, 鉄筋へのひずみゲージの貼り付けは露出部と した.なお,変位計についても同様に試験体 支間を8等分した位置に設置した.

4. 試験結果

1)変位(支間中央)-載荷回数

図-4に支間中央部の変位と載荷回数の関係を示す.図より、疲労載荷上限荷重を140kNから200kNに増加したことで、静的載荷試験の変位が140kN載荷時,250kN載荷時ともに大きく増加した.ただし、上限荷重を200kNから250kNに増加した場合は、静的載荷試験の変位は250kN載荷時のみが大きく増加した.なお、上限荷重を増加させない場合の変位は載荷回数の増加に伴い緩やかに増加した.

2) 鉄筋ひずみ

図-5に鉄筋ひずみを示す.また,損傷状況との比較のため,試験体写真を同図に示した.図より,山側に位置した鉄筋12は,比較的,単純梁の1点集中荷重載荷の傾向が見受けられるが,他の鉄筋ひずみではその傾向が見受けられず異なる傾向を示した.これは,鉄筋12では比較的,側面のかぶりコンクリートが残っており,コンクリートと鉄筋が一体化して挙動しているものと推測する.

また、同図から浮き、はく落、ひびわれなどの損傷状況と発生ひずみとの関連性は見受けられなかった。なお、コンクリート面に貼り付けたひずみゲージからは、ひびわれなどの影響により正常な計測値は得られなかった。

4. まとめ

本研究から得られた結果を以下に示す.

- 1)変位は、疲労載荷回数の増加により大きくなる傾向が確認できた。ただし、一部では回数よりも上限荷重の影響が大きかった。
- 2)付近にかぶりコンクリートが残っている鉄筋と露出した鉄筋では定着状態の違いから 異なる傾向を示した.なお,外観の損傷状況のみではその差異の判別が困難であった.

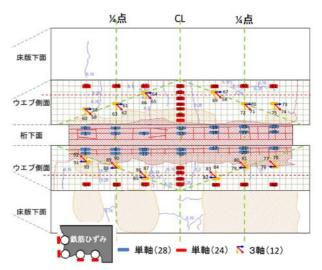


図-3 計測位置(ひずみゲージ設置位置)

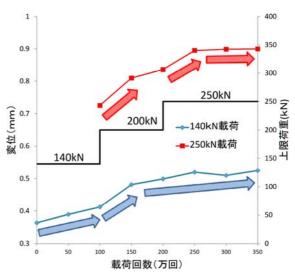
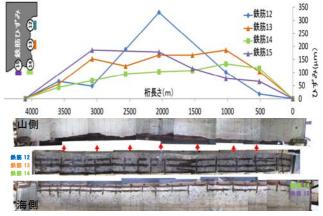


図-4 荷重-(支間中央)変位



図−5 鉄筋ひずみと試験体状況

参考文献:

- 1) 本田,下里,有住,砂川:塩害により損傷を受けた鉄 筋コンクリート桁の劣化度分析と各種非破壊試験の 適用,構造工学論文集,Vol.59A,pp898-907,2013.4
- 2) 辻,下里,有住,本田:塩害により損傷を受けた鉄筋 コンクリート桁の載荷試験(その1),土木学会西部支 部沖縄会 第4回技術研究発表会,2014.10

北部国道管内の道路ストック総点検について

比嘉 眞孝 1 · 宮城 福太朗 2

1、2沖縄総合事務局 北部国道事務所 管理第二課 (〒905-0019 沖縄県名護市大北4-28-34)

北部国道事務所では、橋梁、トンネル、道路舗装を重点的に維持管理することで、円滑な道路交通、第三者被害を予防してきた。しかし、2012年12月に起きた、中央自動車道笹子トンネルの天井板崩落事故は天井板の吊り金具の損傷が原因で重大事故につながったため、老朽化した道路施設等による第三者被害が懸念された。2013年9月に道路法の改正により、構造物の点検を含む維持修繕の実施が、新たに執行されることになった。本稿では、道路ストック総点検を実施し、管内の道路附属物の現状と管理施設の特徴分析をとりまとめたので報告する。

キーワード 道路ストック総点検,道路附属物,管理施設の特徴分析

1. はじめに

我が国の道路、橋梁、トンネルなどの社会インフラは1960年代の高度経済成長期に一斉に整備が進められ、それらの構造物が近々建設後50年を経過することから、全国的に施設の老朽化が懸念されている。2012年12月に、中央自動車道笹子トンネルの天井板が崩落した事故が発生、老朽化等(附属物腐食)による事故発生のおそれが現実的になってきた。

以上のことから、国土交通省をはじめとする全国地方 自治体において、倒壊・落下による道路利用者および第 三者の被害を防止する観点から、対象構造物や附属施設 の損傷状態を把握することを目的として、「道路ストッ ク総点検」の実施を行った。点検の対象施設は以下のと おりである。

- ・橋梁 (第三者被害が想定される部材、施設の近接 目視、打音、触診)
- ・トンネル (覆工、附属施設や取付金具の近接目視、 打音、触診)
- ・舗装(ポットホールや路面の変状等を目視点検)
- ・道路附属物(標識、照明等について近接目視、打 音、触診)
- ・法面、盛土、擁壁、その他土工物等(第三者被害につながる損傷の目視、打音、触診)

今回は、道路ストック総点検のうち、管理施設数が 膨大な道路附属物に着目し、点検結果の報告と、北部国 道事務所を代表する区間として、名護市周辺の道路附属 物の管理状況、劣化状況について分析した結果、現状の 課題、今後の展望について報告するものである。

2. 道路附属物点検の概要

(1) 北部国道事務所管内点検箇所

北部国道事務所が管理する国道 58 号、国道 329 号の延べ 135 km (図-1) について道路附属物の点検を行い、点検期間は 2013 年 5 月から 2014 年 3 月である。



図-1 北部国道事務所管内図

(2) 道路附属物の種類

今回、第三者被害が予想される、設置高が比較的高 く、落下物の危険性が高い、標識、照明施設、道路情報 管理施設を対象に点検を行った(表-1)。

表-1 道路附属物の種類1)

<u> </u>		
主に路側又は車道上空に設置され	設置高さの 比較的高い 構造物	・標識 ・照明施設 ・道路情報管理施設
るもの(柱		• 道路反射鏡
状のものが	設置高さの	• 視線誘導施設
多い)	比較的低い	• 防護柵
	構造物	・車止め
		• 距離標
	構造物以外	• 街路樹

(3) 点検の内容とポイント

点検については、高所作業車等を用いて、照明灯や標識等を構成する部材の全てを近接目視、打音、触診を実施した(写真-1)。照明灯はポール内部から腐食等の損傷が進行し、表面上ではその状況が把握できない可能性もあるため、電気系統の開口部を解放し、その内部を目視にて確認した(写真-2 左:柱内部)。また、次回点検時や道路パトロールの際にボルトのゆるみや脱落が目視にて確認できるようにボルトにアイマークを施工した(写真-2 右:アイマーク施工)。





写真-1 点検(左:照明点検 右:標識点検)



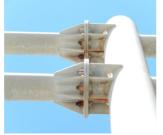


写真-2 点検(左:柱内部 右:アイマーク施工)

3. 著しい損傷が確認された事例

(1) 照明灯具の亀裂

遠望目視では顕著な腐食も生じていない照明施設である(写真-4 左:遠望目視)。しかしながら、高所作業車で照明灯の上側を確認すると、照明灯具の落下の恐れがある、き裂が確認された(写真-4 右:近接目視)。このような損傷は、道路パトロールや遠望目視の点検では発見困難であることから、近接目視点検の有効性がよく把握できる事例である。





写真-4 目視点検(左:遠望目視 右:近接目視)

(2) 照明柱基部の孔食

照明灯の支柱基部で腐食による支柱の孔食およびリブに板厚減少が確認された(写真-5)。

当該箇所は、土砂に埋まっている境界上に位置することから、乾湿繰返しにより腐食が発生しやすい環境条件にあることが原因で発生したものと考えられる。





写真-5 支柱基部孔食(左:遠望右:近接)

(3)標識仕口部の孔食

標識仕口部の下面に孔食が確認された(写真-6) 本事例は、損傷箇所が下面であることから、仕口部内部 に水が滞水し、梁内部から腐食が発生したと考えられる。 このため、外観上では孔食前に確認することが難しい損 傷と考えられる。また、該当箇所への水みちを抑制する 工夫を図り、同様の損傷が発生しないように取り組む必 要がある。

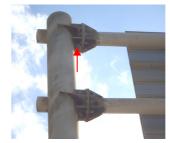




写真-6 標識仕口部の孔食(左:遠望 右:近接)

(4) 共架の標識板のバンドの破断と腐食

別の標識柱に2点のバンドで共架されている標識板のバンドの1点が破断している施設が確認された(写真 - 7 左:破断)。また、もう1点のバンドは腐食が発生していた(写真 - 7 右:腐食)。このような事例は、遠望目視でも確認が可能であることから、通常の道路パトロール等で日ごろから気にかけておくことが望ましい。

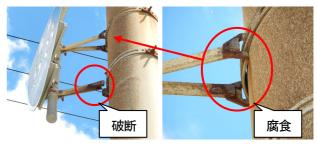


写真-7 供架バンドの損傷(左:破断 右:腐食)

4. 道路附属物の点検結果について

(1) 道路附属物総数について

北部国道事務所の道路附属物は3,765基確認され、 照明施設が大半を占めており、続いて標識、道路情報管 理施設となっている(図-2)。

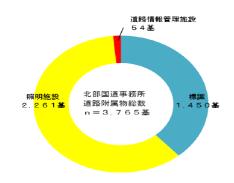


図-2 北部国道事務所の道路附属物総数

(2) 損傷の判定について

損傷度判定基準は、目視点検による、き裂、腐食、ゆるみ・脱落、破断、変形・欠損、帯水の損傷の程度により判定区分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと判定する(表-2)²⁾。

表-2 損傷度判定基準2)

判定区分	一般的状況
I	損傷が認められない。
П	損傷が認められる。
Ш	損傷が大きい。

(3) 北部国道事務所管内の道路附属物損傷判定状況

点検の結果、道路附属物総数3,765基のうち、439基(全体の約12%)に損傷が大きい損傷度Ⅲ判定の結果がでた(図−3)。その中から、道路附属物の損傷により今後、第三者被害が予想される道路附属物を対象にした、要対策箇所は85基(損傷度Ⅲ判定のうち19%)あることが判明した(図−4)。



図-3 北部国道事務所の道路附属物損傷判定状況



図-4 損傷度Ⅲ判定からの要対策箇所

5. 北部国道事務所管内の管理施設分析

本項では、点検結果の一部(国道58号の名護市周辺、延長26km)について点検結果を基に、管理施設の管理特性(管理施設の諸元や位置等の固有特性)と劣化特性(道路附属物の劣化傾向)について、分析を行った事例を報告する。

(1)管理特性

名護市周辺については、北部国道事務所管内でも交通量が多く、道路附属物総数のうち1,056基(全体の28%)が設置されている。今回は標識、照明施設の分析を行った。

これらは以下の管理特性がある。

- ・設置年が不明なものが多く、既に30年以上経過した標識、照明施設が4%程度存在(図-5)。
- ・標識、照明施設の66%は、海岸部(500m以内)¹⁾に設置されている(図-6)。

内陸部については、名護バイパス供用開始の影響もあり、設置年数は比較的新しい標識、照明施設が設置されている。一方、海岸部(500m以内)¹⁾については、比較的古い標識、照明施設が多く設置されていることが図ー6で確認できる。

図-7¹⁾、図-8¹⁾ に示すように、経年劣化が原因で撤去される標識、道路照明は設置から25年目以降に増加する傾向がある。名護市周辺の標識、照明施設は海岸部に比較的古い標識、照明施設が多く設置されており、今後、撤去等の対策が増加することが考えられる。

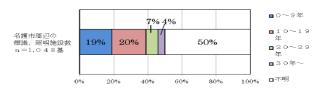


図-5 名護市周辺の標識、照明施設の設置年数

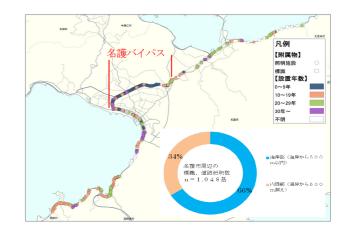


図-6 管理施設の設置年数と海岸線からの距離

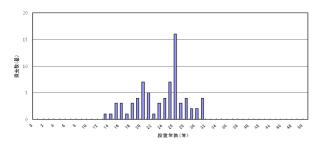


図-7 原因が経年劣化による標識の撤去状況1)

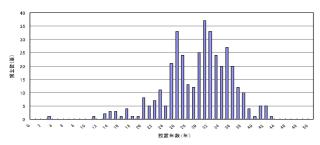


図-8 原因が経年劣化による照明施設の撤去状況1)

(2) 要対策箇所の割合

点検を実施した結果、名護市周辺の道路附属物の要対策箇所は23基(名護市周辺道路附属物の2%)あり、要対策箇所の96%は海岸部(500m以内)¹⁾にあることが判明した(図-9)。損傷の内訳は、腐食によるものが83%を占めており、海岸からの塩害だと考えられる(図-10)。台風などにより発生した疲労き裂が多く確認されることも想定していたが、今回は確認されなかった。

名護市周辺の要対策箇所は、前節より海岸部(500m以内)¹⁾の道路附属物施設の設置年数による劣化、塩害による腐食の影響から、要対策箇所になったと考えられる。

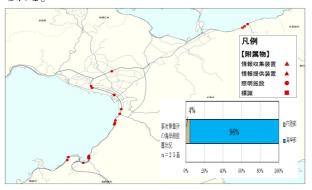


図-9 要対策箇所位置図

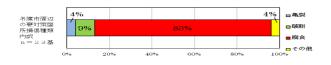


図-10 要対策箇所の損傷種類内訳

(3) 各施設に発生している損傷種類の割合

要対策以外の施設も含めた管理施設全体に発生している損傷の割合を(図-11)に整理した。この結果、もっとも多い損傷はいずれの施設についても腐食でありその割合はすべて過半数を占めている。全国調査(図-12)¹⁾と比較してみると、照明施設の腐食は全国の方が高が、腐食が発生している割合は、全国と比較しても高いことがわかる。

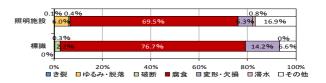


図-11 損傷種類内訳(今回点検分)

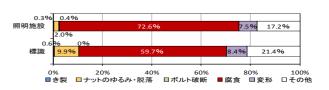


図-12 損傷種類内訳(全国調査分)1)

(4) 腐食発生状況分析

前節より、最も発生確率の高い腐食の発生状況について、損傷度別に整理を行った。その結果、海岸部(500m以内) $^{1)}$ は、内陸部(500m超え) $^{1)}$ よりも損傷度 \mathbf{II} の発生確率が3倍以上であり、損傷度 \mathbf{II} の発生確率は1.5倍程度であることが確認された(図-13)。一方で、全国調査の結果では海岸部(500m以内) $^{1)}$ と内陸部(500m超え) $^{1)}$ では、損傷度 \mathbf{III} の発生確率がほとんど大差がないことから、沖縄の海岸部(500m以内) $^{1)}$ は腐食が発生しやすい環境であることが実態として確認できた(図-14) $^{1)}$ 。

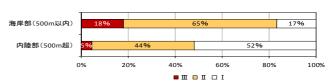


図-13 海岸部・内陸部別の腐食発生状況(今回点検 分)

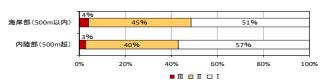


図-14 海岸部・内陸部別の腐食発生状況(全国調査 分)¹⁾

図-15に設置年数別の損傷度を整理した。内陸部 (500m超え) ¹⁾ は、30年超えのみで損傷度Ⅲが発生していることがわかった。一方、海岸部 (500m以内) ¹⁾ では、10年未満の施設でも損傷度Ⅲが発生しており、20年経過した時点で急激に損傷度Ⅲの割合が増加している。このため、海岸部 (500m以内) ¹⁾ に設置している施設は、設置後まもなくから確実に損傷状況を把握しておく必要がある。

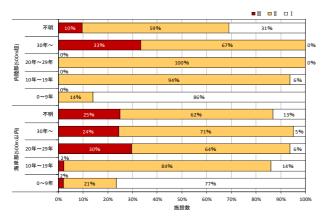


図-15 各施設の設置年別腐食の損傷度割合(今回点検分)

6. 今後の課題と対応

全国の道路附属物については、設置から25年経過した時点で撤去が増えるが、沖縄の海岸部(500m以内)の道路附属物について、設置から10年未満の道路附属物でも損傷度Ⅲの発生が確認されており、設置から10年未満でも補修等の対策が必要になってくる。そのため定期点検等、計画的な整備更新を行う必要がある。

今回は試行的に管内の名護市周辺での管理特性および 劣化特性分析を行い、ある程度の管理特性や劣化特性な どを把握することができた。今後は、管内全体で本分析 を実施し、その特性を把握し、管理リスクの明示化や維 持管理方針を検討していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所:「道路附属物 支柱等の劣化・損傷に関する調査 - 附属物(標 識、照明施設等)の点検要領(案)- 」
- 2) 国土交通省道路局国道・防災課:「附属物(標識、 照明施設等)の点検要領(案)」平成22年12 月

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 4:材料劣化,維持管理

臨港道路(浦添線)の整備について

吉平 健治¹·田中 克彦²

1,2 那覇港湾・空港整備事務所 第一工事課(〒901-2123 沖縄県浦添市西洲 1-1)

臨港道路(浦添線)は、沖縄県の拠点港、那覇港から沖縄中北部方面への物流機能を強化し、圏域の経済及び産業活動を支援するとともに、国道 58 号線等の周辺道路ネットワークを形成することにより、沖縄県中南部地域の渋滞緩和を目的に整備が進められている。

本報告は、現在施工が行われている橋梁上部工工事の整備手順を紹介するとともに温度応力によるひび割れ抑制対策のために実施したパイプクーリングについて報告する。

キーワード 橋梁上部工、架設用移動作業車、温度応力解析、パイプクーリング



1. はじめに

那覇港は、沖縄県の物流の中心拠点港湾として、 県の経済活動を支えているが、那覇港と本島中心部 への連絡は慢性的な交通渋滞が発生している市街地 を通過せざるを得ない状況である。そこで、本事業 は、市街部をバイパスしたアクセスを確保すること で、中北部方面への物流機能を強化し、圏域の経済 及び産業活動を支援するとともに、国道 58 号等の周 辺道路機能を補完し、中南部地域の渋滞緩和に寄与 することを目的としている。

臨港道路(浦添線)は浦添市港川から西洲までの延長2.5km(内、橋梁部区間は837m)であり、起点側は南部国道施工の浦添北道路と接続し、終点側は既設の臨港道路(港湾1号線)と接続する。臨港道路(浦添線)の道路諸元と構造諸元を表-1および表-2に示す。また、標準断面図とPC鋼材配置図を図-1および図-2に示す。

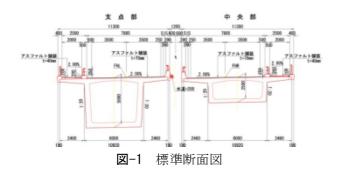
表-1 道路諸元

項目	諸 元
道路規格	第4種第1級(設計速度60km/h)
計画交通量	32, 100台/日(平成42年度)
総車線数	4車線

表-2 構造諸元

項	目	諸 元				
有効幅員		10.25m(車道7.75m、歩道2.50m)×2橋				
構造形式	上部工	PC11径間連続箱桁				
件坦形式	下部工	コンクリート、柱式橋脚				
橋長		837m				
支間割		49.5m+9@82.0m+49.5m				
勾配	縦断	1.0%(一部最大5.0%)				
AJEC	横断	2.0%				
橋台		逆T式橋台				

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 4: 材料劣化,維持管理



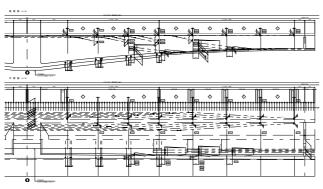


図-2 PC 鋼材配置図

2. 整備手順

臨港道路(浦添線)の上部工工事は、陸側が平成23年10月から、海側が平成24年10月から順次施工が進められている。橋梁上部工の施工フローを図-3に示す。また、各工種の施工状況を写真-1から写真-11に示す。

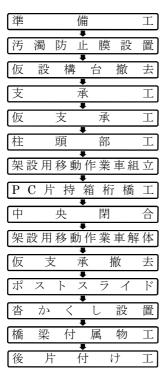


図-3 施工フロー

PC 片持箱桁橋工においては、張出し架設工法による施工を行っている。張出し架設工法とは、橋脚より橋の中央に向かって 2~5mのブロック毎に順次継ぎたし、張出していく工法である。張出した先端にはブロックを構築するための架設用移動作業車を設置して施工を行う。

この工法では、地上からの支えを必要としないため、建設する橋梁下の空間を侵すことなく、また地 形や利用状況に左右されず施工することができる。



写真-1 支承設置

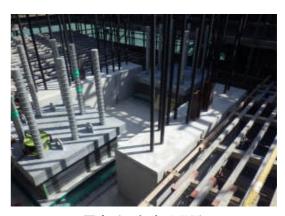


写真-2 仮支承設置



写真-3 柱頭部コンクリート打設



写真-4 架設用移動作業車組立





写真-5 張出部コンクリート打設



写真-9 仮支承撤去



写真-6 PC 緊張 (縦締め)



写真-10 ポストスライド



写真-7 PC 緊張 (横締め)



写真-11 浦添線全体写真 (H26. 3. 25 時点)

3. 温度応力によるひび割れ抑制対策

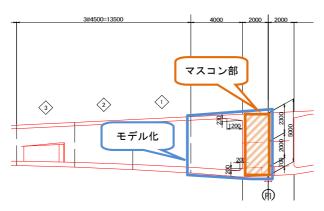
本橋梁の柱頭部はマスコンクリートに該当し、温度応力によるひび割れが懸念されるため、温度応力解析を実施した。解析には3次元温度応力解析プログラムを使用し、解析条件は「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008(公社)日本コンクリート工学会」に準拠した。

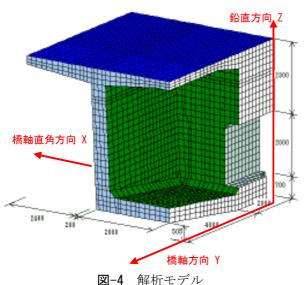
また、ひび割れ抑制対策としてコンクリート内外 の温度差を緩和するためにパイプクーリングの実施 を検討し、その効果についても解析を行い、実施工 との比較を行った。

(1)温度応力解析

1)解析条件

解析モデルは P1 橋脚の柱頭部とし、斜角および縦 横断勾配の影響を考慮しない 1/4 モデルとした。





2) 環境条件

外気温は那覇市における 1981 年~2010 年(30 年間)の各月の平均気温とした。また、コンクリート打込温度は過去の実績より、打込み予定月における外

気温に5℃を加えた温度とした。

3) 材料条件

今回使用するコンクリートの配合と物性値を表-4 および表-5 に示す。また、物性値を求めるための定 数等を表-6 から表-9 に示す。

表-4 コンクリート配合表

'ж-ш	W/B 単位量(kg/m3)						
適用	配合	(%)	W	С	S	G	膨張材
柱頭部リフト1, BL1	40-12-20N	41.5	160	386	825	969	0.0
柱頭部リフト2	40-12-20N(EX)	41.5	160	366	825	969	20.0

表-5 コンクリート物性値

		単位	算出方法	物性値
設計基準強度	fck(28)	N/mm ²	配合報告書より	40
セメントの種類		-		普通(N)
単位結合材量	В	kg/m ³	配合報告書より(膨張材含む)	386
熱伝導率	λ	W/m℃	コンクリート標準示方書より	2.700
比熱	Cc	kJ/kg℃	コンクリート標準示方書より	1.150
断熱温度上昇特性	Q	್ಥಿ	Q(t) = Q∞・{ 1- exp(-r・(t-t0)) } ・・・① Q∞、r は 表-6 のセメント種類と打込温度による	①式
コンクリート打込温度	T	$^{\circ}$	コンクリートは打設月平均気温+5℃と仮定	表-2
弾性係数	Ee	N/mm ²	$\text{Ee(te)} = \Phi(\text{te}) \times 6300 \times \{\text{f'c(te)}\} \ ^0.45 \cdots \textcircled{2}$	②式
圧縮強度	f°с	N/mm²	f c(te) = (te-Sf) / (a + b · (te-Sf)) × f c(28) … ③ a, b, Sf は 表-7 による te は JSCE有効村齢で、 te = Σ Δt, exp[13.65 - 4000 /(273+T(Δt) /T ₀)]	3式
引張強度	ft	N/mm ²	$ft(te) = 0.13 \times f'c(te) \ 0.85 \ \cdots \ 4$	④式
ポアソン比		-	コンクリート標準示方書より	0.200
線膨張係数		μ /℃	コンクリート標準示方書より	10.0
クリープ構成則	Φ	-	0.42: 最高温度に達する有効材齢(t _{max})まで 0.65:(t _{max} +1)日以降	有効弾性 係数法
膨張ひずみ**	εex	-	$\varepsilon \exp(te) = \varepsilon \exp \cdot (1 - \exp(-a \cdot (te - t_0)^b))$ …⑤ $\varepsilon \exp \infty$ 、a、b、t ₀ は 表-8 による	⑤式
自己収縮ひずみ	ε 'sh	-	ε 'sh(te) = $-\beta \cdot \varepsilon$ 'as $\infty \cdot \gamma$ (te) \cdots ⑥ γ (te) = $1 - \exp(-a \cdot (te - ts) \cdot b)$ β 、 ε as ∞ 、a、b、ts は 表-9 による	6式

※ 膨張ひずみは膨張材を混入した配合のみ考慮

表-6 熱特性に係る Q∞, r の標準値

セメント	打込温度	セメント	$Q(t) = Q \infty \{ 1 - \exp(-r \cdot (t-t0)) \}$						
の種類	71 込価及 Ta (°C)	量 C	Q∞=	a+b•Ta	r=g+	-h•Ta	t0=a·ex	p(-b • Ta)	
Vノ/1里 決貝	1a (C)	(kg/m^3)	a	b	g	h	a	b	
普通(N)	表-2	386	61.1	-0.027	0.373	0.054	0.627	0.074	

表-7 圧縮強度に係る定数 a, b, c の値

ſ	セメント種類	C/W	a	b	Sf	f'c(28)
ĺ	普通ポルトランドセメント	2.41	3.03	0.89	0.37	53.2

表-8 膨張ひずみに係る ε ex∞, a, b, to の値

セメント種類	ε ex∞	a	b	to
普通ポルトランドセメント	150	0.69	1.11	0.30

表-9 自己収縮ひずみに係る β , ϵ , as ∞ , a, b, ts の値

セメント種類	β	ε as∞*	W/C	a	b	ts
普通ポルトランドセメント	1.0	⑦式	0.415	0.22	0.71	0.30

 $\frac{1}{2} \times e^{3} = -3070 \times exp[-7.2*(W/C)] + 50 \times [1 - exp(-1.2 \times 10^{-6} \times (Tmax - 20)^{4})] \cdots ?$

4) ひび割れ指数の目標値

目標とするひび割れ指数は、引張強度と最大主引 張応力との比とし1.0以上とする。また、ひび割れ 指数とひび割れ発生確率の関係を図-5に示す。

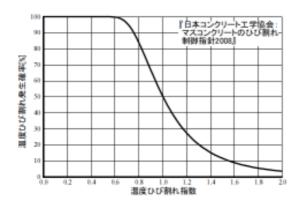


図-5 ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係

5) パイプクーリング

クーリングパイプ内径は 20 mm、通水開始時の水温は 20 °C、流量は毎分 3 リットルの通水設備をマスコンクリート 1 箇所あたり 4 設備とし、パイプ配置間隔は 500 mm 程度、通水期間は 5 日間(仮定値)とした。パイプクーリングの配置概略図と配置状況を図-6 および写真-12 に示す。

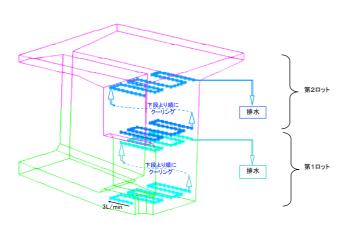


図-6 パイプクーリング配置概略図



写真-12 パイプクーリング配置状況

6)解析結果

解析結果を表-10 に示す。また、温度分布とひび割れ指数分布を図-7 および図-8 に示す。解析の結果、パイプクーリングの実施により、最大温度は約15 低下し、ひび割れ指数は1.0を下回る箇所がなくなった。以上より、パイプクーリングによるひび割れ抑制の効果は十分にあることが期待できる。

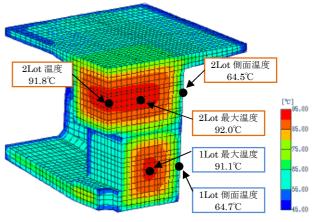
表-10 解析結果 【パイプクーリングなし】

打設箇所		コンクリート温度[℃]		ひび割れ指数の最小値			
打政	固別	最大温度 側面温度		1	2	3	4
P1	1Lot	91.1	64.7	1.12	1.13		
P1	2Lot	92.0	64.5	0.96	0.97	0.97	1.13

【パイプクーリングあり】

4-7-3-7L &X ;;C		コンクリート温度[℃]		ひび割れ指数の最小値			
打設箇所		最大温度	側面温度	1	2	3	4
D1	1Lot	74.3	62.1	2.50	3.61		
P1	2Lot	75.8	59.8	1.34	1.21	1.33	1.64

【パイプクーリングなし】



【パイプクーリングあり】

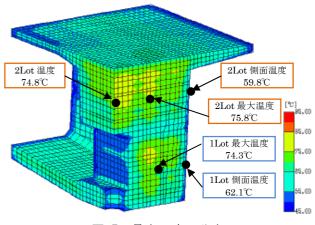


図-7 最大温度の分布

【パイプクーリングなし】 最小 Icr 0.96 Icr 1.13 Icr 0.97 Icr 0.97 Icr 1.12 Icr 1.12

【パイプクーリングあり】

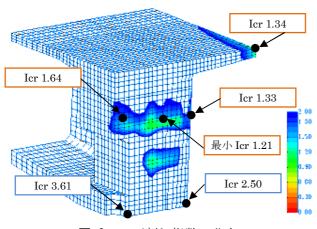


図-8 ひび割れ指数の分布

(2) パイプクーリングの実施と結果

温度応力解析の結果から、パイプクーリングの効果が期待されるため、実際にパイプクーリングを行い、事前の解析結果と実施結果の比較を行った。

図-9 はパイプクーリングを行った場合の解析と 実施の温度を比較したものであり、解析と実施の温 度の推移が概ね一致していることから、温度応力解 析の妥当性が確認できる。

図-10 はパイプクーリングを行った場合と行わなかった場合の温度変化を示したものであり、パイプクーリングによるコンクリート温度の低減が確認できる。

図-11 はパイプクーリングを行った場合と行わなかった場合のコンクリートの内外温度差を示したものである。この結果からパイプクーリングを行ったことによってコンクリートの最高温度は低下し、内外温度差も常に 20℃以下となった。

また、実施工においてもひび割れの発生は確認されず、温度応力によるひび割れ抑制対策として効果があったと言える。

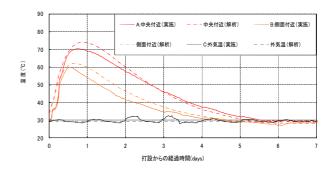


図-9 パイプクーリングを行った場合の解析と実施 の温度比較

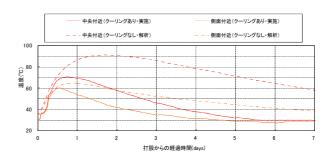


図-10 パイプクーリング有無の温度比較

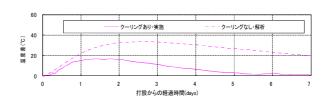


図-11 パイプクーリング有無の内外温度差の比較

5. まとめ

本報告では、臨港道路(浦添線)の整備手順と本橋梁で採用した張出し架設工法について紹介した。また、温度応力によるひび割れ抑制対策として行ったパイプクーリングについても温度応力解析と実施結果について報告した。

現在施工が行われている陸側の上部工工事については平成26年8月末、海側については平成27年6月末、そして浦添線全体としては今後、舗装工および道路取付部等の施工を行い平成28年度末の完成を目指し、各工事の工程管理はもちろん、隣接工事との調整を密に行い、全体工程の遅れがないよう、今後も無事故・無災害で施工を進めていきたい。

参考文献

(公社) 日本コンクリート工学会:マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008

自然環境に配慮した新たな沖縄型の海岸整備について(嘉陽海岸高潮対策事業)

沖縄県十木建築部技術管理課 〇又吉 康之

1. はじめに

名護市嘉陽海岸は、ウミガメが産卵する砂浜やジュゴンの餌場となる藻場等の良好な海岸環境が残っている.しかし、近年の大型台風により顕著な高潮浸水被害が発生しており、背後の国道、集落地への飛砂被害も度々発生している.

本論文では、早急な高潮対策の事業実施を望む地元住民と、自然環境保護のため慎重な調査検討を求める環境保護団体の双方の意見を踏まえ、新たな沖縄型の海岸整備の事例となることを目標とした嘉陽海岸高潮対策事業の報告を行う.

2. 事業概要

嘉陽海岸高潮対策事業の概要を図-1 に示す. 嘉陽海岸は,琉球政府時代に護岸が整備されていたが,平成19年台風4号により顕著な高潮浸水被害が発生した. その後,嘉陽区と名護市の要請を受け,平成22年度から事業に着手し,平成22~24年度に環境

事 業 名:嘉陽海岸高潮対策事業 事業期間:平成22年度~平成26年度 事業延長: 0.5 km 主要工事:石積護岸



図-1 事業概要



写真-1 H24年台風 16号浸水被害状况

調査, 測量設計を行った.

平成24年9月の台風16号により,平成19年台風4号を上回る浸水被害が発生した(写真-1).その後,平成24年12月から護岸工事に着手し,現在,嘉陽集落前の護岸工L=270mが完成している。今後は,平成25~26年度に旧嘉陽小学校側及び嘉陽橋付近の護岸工事と飛砂・飛沫防止帯の植栽工を予定している。

3. 海岸の特徴と海岸整備の課題

3. 1 海岸環境

嘉陽海岸の海岸環境の主な特徴は、以下の通りである。海岸整備にあたり、①、②は環境への配慮、④、⑤は高潮、飛砂等の防災上の重要な課題となっている。

- ① ウミガメが産卵する砂浜がある(図-2).
- ② 海岸前面のイノー内に、ジュゴンの重要な餌場である海草藻場がある(図-3).
- ③ 嘉陽川河口があるが海域の水質, 底質は比較 的清浄である(海浜流の影響と推定).

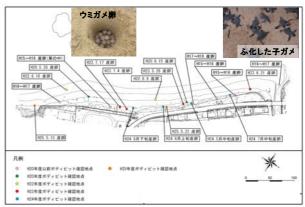


図-2 嘉陽海岸のウミガメ産卵位置図



図-3 海草藻場調査結果図(H22年度)

キーワード 高潮対策,環境保全,波浪変形,リーフ 連絡先 〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎 1-2-2 沖縄県土木建築部技術管理課 E-mail: matayoya@pref.okinawa.lg.jp

- ④ 既設護岸が砂に埋没し、その上に海岸林が繁茂したため、海岸林、地被類、砂浜、海域に至る陸から海へ連続した良好な自然海岸的な環境・景観を有する(写真-2).
- ⑤ 既設護岸背後保安林の在来種樹木は,近年の 大型台風により林密度,生育が悪化(写真-2).

3. 2 防災上の海岸特性

嘉陽海岸で、近年、台風による顕著な高潮被害が 発生している主な要因は、以下の通りである.

- ①特異なリーフ形状により,台風時の水位上昇量, 波高が高くなるため, 既設護岸の天端高 (EL+5.0m)が不足(△1.3m).
- ②既設護岸が砂で埋没し、波が遡上し易いスロープ状の海浜形状へ変化(写真-2).
- ③過去の道路工事や台風による影響等により、保 安林の面積が減少、林密度が低下した.

図-4に深浅測量による海底地形断面図,図-5に波浪変形,水位上昇の特性説明図を示す.嘉陽海岸沖のリーフ外には円形浅瀬が存在しており,それを回り込む波が重複して波高が増大する.次にリーフ斜面断面が複雑かつ急勾配のため,波高が増大し,嘉陽川前面にリーフの切れ目(クチ)で波浪が嘉陽集落方向へ曲がり,直進してきた波と重複し海岸付近で波高が増大する.さらに旧嘉陽小学校前面の岩場の背後で回り込む波が重複し波高が増大する.

大きな波が砕波してリーフ内に伝播すると、外海に波が引きにくくなるため、嘉陽海岸周辺のリーフ内では、岸付近の水位が上昇する(リーフ上の砕波による平均水位上昇).

また、図-5 に示す航空写真のリーフ内の筋、砂の 堆積状況より、東側から西側へ海浜流が流れており、 リーフ内で水位上昇した海水は、水位上昇が少ない リーフのクチに流れると推定される。 嘉陽海岸は海 浜流の水衝部となるため、海浜流による水位上昇と、 短い海岸線で砂浜の侵食と堆積が生じている。

なお、水位上昇量が高いほど、波高も増大することから、嘉陽海岸ではこの2つの現象により顕著な高潮浸水被害が発生していると推測される.

4. 海岸整備目標と基本方針

嘉陽海岸の整備目標は、防護機能の強化・向上を図るとともに、ウミガメ等多様な生物を育む自然環境の保全、住民の休息・散策・祭祀や海レク活動の利用環境を将来にわたり維持することである。

環境保全上の基本方針は、以下のとおりとした。 ①極力海岸域の地形の改変を抑えた工法を用いる。

- ②ウミガメ等の海生生物に配慮した防護施設検討.
- ③眺望を確保するため護岸高さに配慮する.
- ④地域の自然景観と調和した工法を用いる.

また,住民の利用環境維持のための基本方針は以下の通りとした.

- ①海浜への連絡通路を確保する.
- ②現況の海浜スペースの確保に努める.

その他に,住民等からの意見を踏まえ,以下事項 も基本方針に追加した.

- ①海岸岸植生や保安林の機能向上(護岸と一体的に防護).
- ②アンケート・住民説明会等による幅広い住民意見の反映.
- ③環境調査の結果を取り入れた設計,施工計画を 行う.

嘉陽海岸の整備目標, 基本方針は, 沖縄21世紀ビ



写真-2 整備前状況写真(H24年7月)



図-4 深浅測量による海底地形断面図

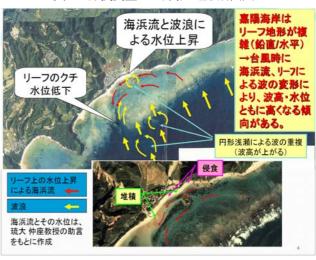


図-5 波浪変形, 水位上昇の特性説明図

ジョン基本計画の施策展開「景観や生態系などの自然環境に配慮した海岸施設,防風・防潮林の整備を推進」に位置づけられ、特に自然環境への配慮が必要な海岸での先進的な取り組み事例となるものと考えている.

5. 環境調査概要と環境への配慮事項

図-6 に当初の環境調査位置,図-7 に嘉陽海岸住民参加型エコ・コースト推進協議会(以下協議会と称す)及び環境保護団体の意見を踏まえ追加した環境調査位置を示す.協議会では諸喜田琉球大学名誉教授から,今後の砂浜変形調査の基礎資料として海浜,リーフ内の砂の成分,有孔虫の調査追加の意見があり,追加調査を実施した.

また、環境保護団体から、藻場、海域環境と関連 の深い陸からの地下水、海底湧水調査追加の意見が あり、同団体から紹介された(株)海藻研究所所長新 井章吾氏の助言をもとに追加調査を実施した.

海底湧水は、陸からの地下浸透水や海水を海底地盤で濾過して水質を浄化し、藻場の海草藻類へ栄養塩を供給している可能性があり、海底湧水調査の結果でも、嘉陽海岸のリーフ内海底で湧水が採取でき、その塩分は、満潮時は現場海水より濃く、干潮時は薄い傾向があった。硝酸態窒素、リン酸態リンの栄養塩は、現場海水より濃い傾向があった。

地下水,海底湧水と藻場との関係は、明確ではないが、今後,嘉陽海岸の調査結果を踏まえ、重要な藻場付近の海岸環境調査における地下水、海底湧水調査手法や配慮事項の検討が、環境生態系を維持するために必要である.

事前の環境調査結果による施工時の主な環境配慮 事項としては、ウミガメ、オカヤドカリに配慮し、 産卵ピーク期 (6~7月) は海浜部の工事を避けるこ と、ウミガメ、ジュゴンに配慮し、夜間工事は実施 せず、夜間の保安灯に注意することである. なお、 環境保護団体から、ジュゴンが夕方にリーフ内に入り、夜間に藻場で食餌し早朝に外海に出ていること へのさらなる配慮の意見を受け、早朝、日没前の作業を避けるため施工時間(冬季8~17時、春季8時~18時)を設定して工事を行った.

6. 護岸法線, 護岸形式について

平成22年度事業着手時の海岸整備計画において、ウミガメ産卵域、藻場等の良好な生態系への影響を最小限とするため、一般的な整備手法である突堤や養浜による面的整備手法や緩傾斜護岸は採用せず、護岸改良のみでの整備計画とした.

当初,護岸計画は、ウミガメ産卵域を可能な限り 確保するため、海岸林付近の既設護岸前に、環境・ 景観に配慮し、直立護岸を覆土するかくれ護岸とし ていた(図-8).

しかし、その断面案は、覆土部の植栽生育までの間、以下①~③の課題があり、実施設計では、詳細な波浪解析による護岸設計と併せて、さらに砂浜、海域環境への影響を抑えながら、利用環境・景観に



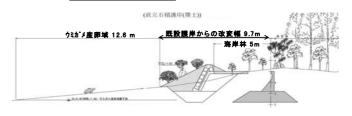
図-6 当初の環境調査位置図



図-7 追加環境調查位置図

表-1 施工時の環境配慮事項

	オカヤドカリ	•	工事は、繁殖期(ピーク6~7月)を避ける 工事前に工区内のオカヤドカリを捕獲し工区外適地に移動 工事区域にオカヤドカリ類の侵入防止柵等を設置
	ウミガメ		工事は、 <u>ウミガメの産卵期(ピーク6~7月)を避ける。</u> 光に敏感なため夜間工事は実施しない。保安灯等にも注意。 工事箇所で産卵が確認された場合には、専門家等の助言を 受けて、安全な場所に移動
) [ジュゴン・ル		工事箇所周囲に大型土のうを設置し、濁水流出防止を図る 工事中は、土のうの点検を徹底。異常あれば速やかに補修
37.37	· 薬質生		湯水は土のう締切内で浸透処理。降雨時は施工を行わない 夜間工事は実施しない。早朝、日没の作業も避ける(ジュゴ



物 ンの夜間の食餌に配慮)

図-8 当初整備計画の護岸標準断面図

も配慮した断面案を検討することとした.

- ①砂浜, 藻場への覆土の流出(ウミガメ産卵域, ジュゴン食餌への影響).
- ②覆土の傾斜が緩い(勾配 1:2) ため, 海浜部の改変が大きい.
- ③防護上、波が遡上しやすい形状で、飛砂発生の 要因となる恐れがある.

図-9 に実施設計で採用した集落前の護岸平面図, 図-10 に断面図を示す。実施設計では、さらにウミガメ産卵域の改変を避けて、護岸前の海岸林内に収まるように、覆土を無くし、水叩きを護岸背後洗掘防止の基準上の必要最小幅 1m とし、階段式石積護岸(1:1 勾配)を既設護岸前面に接するように配置した。

表のり被覆石は、かみ合わせや石を背面側に下げる傾斜等について伝統的石積工法(土佐積)を参考とした階段型2層積とし、設計以上の波浪に対し粘り強くし、オカヤドカリ等小動物対策に皿型側溝を採用するとともに、海岸利用者の緊急避難が可能な構造とした。

水叩き, 胴込コンクリートはポーラスコンクリートを採用し, 既設護岸上部の撤去など地下水浸透に配慮し, 藻場への海底湧水, 海浜の含水比(ウミガメ孵化, 植生と関連)への影響の低減を図った.

使用石材は、小動物の移動と生息、植生及び地下 水浸透に配慮し、多孔質で透水性が高く、砂浜景観 との調和に優れる琉球石灰岩(白石)を採用した.

嘉陽海岸で初めて採用された階段型石積護岸は、砂浜改変面積が緩傾斜護岸よりも小さく、緩傾斜式と直立式双方の利点を有し、防護、環境、利用の調和のとれた新たな沖縄型の護岸形式として、今後の海岸整備において参考となると考えている(写真-3).



図-9 集落前護岸平面図

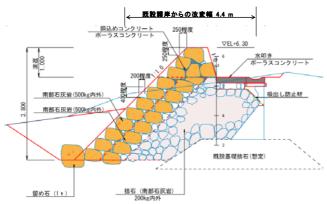


図-10 実施設計採用護岸断面(集落前)

なお,護岸前に残っていたアダン群落を保存して もらいたいとの住民意見を踏まえ,既設護岸より前 に出す法線とし,その区間については,砂浜の改変 を抑えるため,護岸勾配を1:0.5 とした(写真-4).

旧嘉陽小学校側区間のグラウンド側は、琉球大学 仲座教授の提言を踏まえ、セットバック護岸を採用 した、セットバック護岸は、護岸前面の砂浜、陸域 等で波を減衰されることから、護岸高、規模を低減 し、海から陸へ連続した自然環境を残すことができ るため、海岸環境の保全と経済性の面で有利である、 ウミガメ産卵域海浜、海岸林の環境保全の**た**め、



写真-3 階段型石積護岸



写真-4 多自然型石積護岸



写真-5 セットバック護岸位置・模型

背後地の土地利用状況,海岸環境の保全,経済性等を考慮の上,護岸整備位置を陸側へセットバックした結果,嘉陽海岸においても,既設位置整備護岸と比較すると護岸天端高が60cm 低減でき,断面規模も縮小されるため,経済的にも有利である. なお,断面は集落前と同様な階段式石積護岸とした(写真-5,図-11,図-12).

ただし、セットバック護岸は、背後の土地利用等で採用条件が厳しくなるため、嘉陽海岸の集落前区間では、保安林幅が狭く、背後は道路、民家があることから、セットバック護岸は採用が困難であった。

海岸付近まで開発と土地利用が進んだ本県の海岸の再整備において、セットバック護岸導入する場合には、用地補償を伴うため現行の海岸の法令、基準の枠組みを超えた新たな土地利用規制、予算制度の検討が必要と思われる.

旧嘉陽小学校東側の起点側区間は、琉球政府時代の既設護岸があり、背後保安林内の侵食が進んでいる。そのため、耐久性、侵食等の防護の面で問題があることから、セットバック護岸及び既設護岸補強案と保安林区域内の侵食、高潮被害を1つの護岸で防護する直立式護岸案を比較した。その結果、砂浜消失が1m未満と小さく、ウミガメ産卵域と保安林への影響も少ない直立式護岸を採用した。

このように嘉陽海岸では、同一海岸内で、条件に 応じきめ細かく護岸形式を使い分ける護岸断面のセ グメント化を行った.

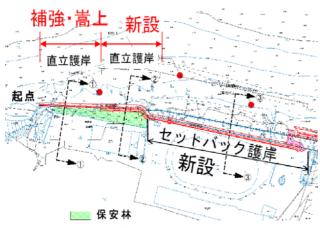


図-11 旧嘉陽小学校側護岸平面図

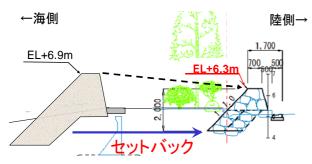


図-12 セットバック護岸イメージ図

7. 飛砂・飛沫防止帯(植栽設計)

嘉陽海岸の砂の中央粒径は 0.3mm と一般的な養浜砂の 0.6mm より小さいため、台風襲来の度に飛砂被害を受けている (写真-6). 飛砂、飛沫は護岸では防護できないため、その対策は植栽による飛砂・飛沫防止帯を設置する必要がある.

しかし、海岸は気象条件や基盤の条件が劣悪で、 植物の生育にとって厳しい環境のため、植栽設計に あたっては、適切な樹種の選択と植栽計画・設計方 法の検討が重要となる.

嘉陽海岸では、現在に自生している「樹種(在来種のみ)」のグンバイヒルガオ、テリハクサトベラ、モンパノキ、アダン、オオハマボウを基本樹種に選定し、嘉陽海岸に自生している植物の海からの「植順」を植栽の基本方針とした。また、海浜部への飛砂・飛沫防止帯設置は、ウミガメ産卵域への配慮のため十分な幅がとれないことから、護岸前面の植栽と共に、護岸背後保安林と海岸保全区域を重複指定協議し、保安林内に海岸保全施設の飛砂・飛沫防止帯を海岸管理者で整備する方針とした。

護岸前面の植栽は、平成19年台風4号、平成24年台風16号において、漂砂による侵食、砂堆積で大きな被害を受けたことから、現在の植生下限値(植生が自生していた砂浜地盤高の下限)を調査した.

その調査結果から、各樹種(在来種)の植生下限 値と現況地盤高に対応した植栽設計とし、植樹幅に



写真-6 H24 年台風 17 号飛砂被害(国道 331 号)

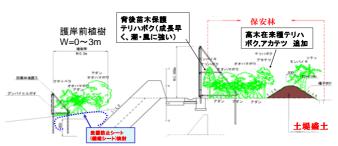


図-13 飛砂・飛沫防止帯植栽計画図(集落前)

ついて、0m (グンバイヒルガオのみ植栽), 1m, 3m の3タイプを設定した。また、嘉陽海岸には在来種高木が無く、防災林機能に劣る外来種のモクマオウのみのため、モクマオウにかわる高木植栽(アカテツ、テリハボク)を追加した。

なお、協議会での学識経験者意見を踏まえ、植栽活着を確実にするため、繊維シートによる植生基盤 侵食防止対策も検討している(図-13).

8. 地域住民, 学識経験者及び環境保護団体幅広 い意見の取り入れ

当事業では、平成21年度から協議会を5回開催し、地元代表者、海生生物学識者の意見を聴取した.協議会では、各学識経験者が住民の立場を十分理解した上で専門的な意見を出し、事業者は各意見を踏まえて計画設計案を策定して協議を重ねた結果、地元代表者における嘉陽海岸の環境の重要性と防災上の課題の十分な理解や、計画・設計案の円滑な地元合意形成に繋がった。

なお、協議会には海岸工学の学識経験者が入って いないため、琉球大学工学部仲座教授から、適時技 術的な助言を受け、設計等に反映した.

また,嘉陽区民へのアンケート実施や住民説明会を過去3回開催し,協議員の地元代表者から,県推 奨案や協議会での意見について補足説明等の協力も 頂きながら,地元合意形成を図る取り組みも行った.

平成23年度の実施設計時から,当事業に関する環境保護団体からの意見,情報提供依頼が増加した.そのため,さらなる調査,予測実施と慎重な整備を求める同団体と,早急に高潮対策の実施を求める地元住民の要望の間で,工事着手後の平成24年度末まで,同団体との机上,現地での意見交換,資料提供等の対応に追われた.

平成25年度からは、同団体の意見も反映した当事業に一定の評価が得られ、同団体開催のシンポジウム「沖縄の海岸(沿岸域)の未来について」に、仲座教授、新井氏等の学識経験者と共に本県担当者も参加し、嘉陽海岸の事例報告と意見交換を行った。

なお、今後の海岸事業で幅広い意見の取り込みを 行う際は、事業着手後の円滑な事業実施のために、 協議会に海岸工学の学識経験者を入れること、事業 化前から地元代表者、学識経験者に環境保護団体も 交えた意見交換の場を設ける検討が望まれる.

9. まとめ

嘉陽海岸の事例で今後の海岸整備と参考となる主 な項目を以下に挙げる.

- ① 計画段階から自然環境を十分な把握と配慮に努め、砂浜、海域を極力改変しない手法を採用.
- ② 地元住民, 学識経験者, 環境保護団体等幅広い意見を聴取し, 計画・設計・施工に反映.
- ③ 海岸整備の環境調査で、藻場等と地下水、海底湧水の関係に着目し調査検討を開始.
- ④ 階段式石積護岸(1:1 勾配)は、砂浜改変面積は 緩傾斜護岸より少なく、緩傾斜式護岸と直立式護 岸の利点を有し、自然環境、景観、利用面の調和 がよい。
- ⑤ 一連海岸内で,海岸特性条件に応じて細かく護岸 形式を使い分け(セグメント化).
- ⑥ 琉球石灰岩(白石)の護岸は、環境面で優れると ともに砂浜海岸景観の調和がよい. 次に、今後の課題を以下に挙げる.
- ① 嘉陽海岸の整備後の長期的なモニタリングの実施(今後のパークット事業と位置付け).
 - ・防災面,環境面(沖縄美ら島財団,環境保護団体,地元ウミガメ研究者と協働)
- ② セットバック護岸に対応した新たな制度,事業手法の検討.
- ③ 新たな沖縄型の海岸整備の手引きの策定(環境調査、計画、設計手法).
 - ・自治体,民間技術者で今後の沖縄の海岸整備の 調査、設計手法の共有を図る.
- ④ 地域住民,海岸利用者等と協働した海岸管理(防護,環境,利用の維持).
 - ・住民等の日常管理と地元住民,海岸利用者,各 団体と協働した海岸ルール作り.

10. 今後の展開

嘉陽海岸は、ジュゴン、ウミガメ、オカヤドカリ等の海生生物、海岸植生等の陸と海の相互に関係した多様な生物環境が残り、住民は、魚、貝を捕り、海から来訪する神を砂浜で迎える祭祀を継承している。沖縄で失われつつある、陸から海まで連続した良好な自然環境と伝統的な人と自然の繋がりが嘉陽海岸には残されている。

本事業は、その多様な生物、利用環境へ配慮した 海岸整備を行っており、今後の海岸整備における生 物多様性の保全の取り組みで活用できる可能性があ る。

整備後の将来に渡り嘉陽海岸の良好な海岸環境を残しつつ、防護機能、海岸利用を維持すること、また、今回報告事例を新たな沖縄型の海岸整備へ活用していくことについて、今後、沖縄県土木建築部海岸防災課と北部土木事務所で連携し、各関係者と共に取り組んでいく必要がある.

	-
--	---

Session 5:振動·耐風·計測

伊良部大橋主航路部における耐久性向上と耐風安定性確保を目指した取組み

沖縄県 企業局 建設計画課 〇山城明統 沖縄県 宮古土木事務所 伊良部大橋建設現場事務所 奥間正博

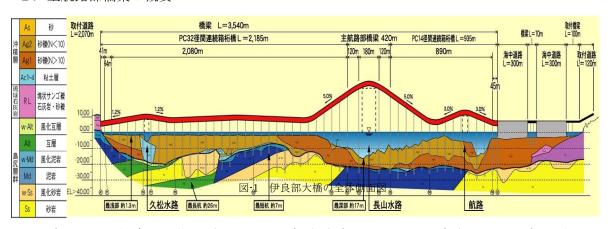
1. はじめに

伊良部大橋橋梁整備事業は、宮古島と伊良部島を結ぶ総延長 4.3km の離島架橋であり、本橋部が 3.5km、海中道路部が 800m である。橋梁形式は、2000t 級の貨物船や旅客船の航路(長山水路)を跨ぐ主航路部橋梁の 3 径間連続鋼床版箱桁(橋長:420m、支間:120m+180m+120m、有効幅員 8.5m)と、その両側に位置する PC 連続箱桁橋(宮古島側:2185m、伊良部島側:935m)の一般部から構成されている(図·1)。

本橋は、亜熱帯地域の高温多湿な環境で開けた海上に位置し、また、主航路部橋梁は高所に架かるため設計風速が大きく、鋼橋には過酷な環境である。そのため、主航路部橋梁では、防錆防食に配慮した高耐久化や、耐風安定性の確保に取り組んできた。本稿では、主航路部橋梁の完成を間近に控え、工場製作から現場架設までをとおし、鋼橋上部工の耐久性向上と耐風安定性確保に向けた取り組みについて報告するものである。

2. 主航路部橋梁の概要

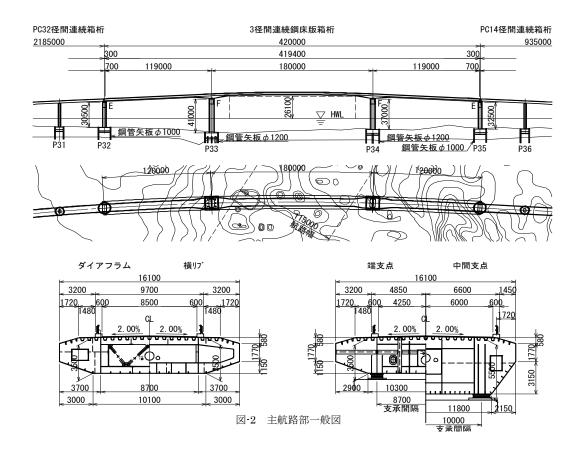
連絡先



平成 13~14 年度の予備設計において、鋼中路式アーチ橋が選定された。平成 15 年に来襲した台風 14 号の経験を踏まえ、設計風速の再検証及び耐風安定性を検証するため、風洞実験を実施したところ、アーチリブ頂上で 80~90cm の振幅で振動することが判明した。そのため、平成 19~20 年度に橋種検討を実施し、鋼床版箱桁橋、鋼床版箱桁橋 V 脚、PC エクストラドーズド橋の 3 案の最終案から、耐久性、経済性、施工の確実性と品質の確保、維持管理の容易さ、景観性を考慮し、鋼床版箱桁橋を採用するに至った。図・2 に主航路部橋梁の一般図を示す。

キーワード 伊良部大橋、主航路部、防食、耐風

〒906-0015 沖縄県宮古島市平良字久貝 771-2 TEL:0980-73-9111



3. 防食設計

3. 1 アルミニウム・マグネシウム合 金溶射の採用

鋼橋においては、塗装の塗替えが維持 管理上の最も大きな負担となっており、 海上に位置する厳しい塩害環境にある 本橋においては、塗装寿命の長期化は最 も重要な要素となる。そこで、現在の知

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m²)	膜厚 (μm)
素地調整ブラスト処理 ISO Sa2.5→Sa3.0 に表面知さ Ra8 μ m 以上 Rz50 μ m 以				
梁製作	金属溶射	A195-Mg5 合金溶射	_	150~500
作	封孔処理	金属溶射封孔処理剤	200	_
工場	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120
場	中塗	ふっ素樹脂塗料中塗	170	30
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25

図-3 塗装仕様

見で最も長期耐久性が期待できるアルミニウム・マグネシウム合金(Al-Mg5%)溶射(以下 Al-Mg 溶射)を防食下地として採用した(図-3)。

3. 2 桁外面ボルト継手の排除

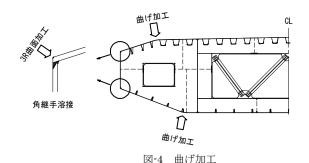
ボルト継手部は、凹凸部分への飛来塩分の付着やナット部の塗膜厚の確保が困難なことから、腐食しやすい部位となっている。耐久性向上の課題となる外面のボルト継手を無くし、溶接継手とするとともに溶接ビードは平坦仕上げとし凹凸のない外面とした。(写真-1)。

3. 3 部材角部の形状



写真-1 外面の状況

部材の角部は、部材切断切削仕上げにより鋭いエッジになっていると、その部分に塗装をしても薄膜仕上げとなり早期発錆につながることから、本橋では、フランジの角折れ部を曲げ加工とし、フランジとウェブの溶接を角溶接とした。また、すべての外面部材の角部に対して、R=3mmの局面加工を採用した(図-4)。



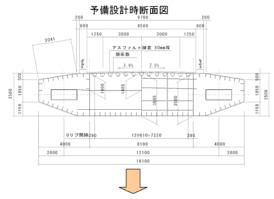
4 耐風安定性の確保

4. 1 耐風設計

鋼橋のように薄肉な部材で構成されるたわみやすい橋梁においては、風による振動に対応する設計が重要である。また、本橋は開けた海上の33mという高所に位置することから、82.2m/sという高い設計風速となっており、複数案の橋種を検討し風洞実験を行った結果、有害な動的振動が発生しない8角形断面の鋼床版箱桁橋を採用した。箱桁の断面形状についても、より耐風安定性の高い形状とするため、鋼床版及び下フランジの張出部については、角度の微調整を行った(図-5)。これにより、鋼床版箱桁では高い安定性が確保されることとなった。

4. 2 現地における風観測

風洞実験で仮定している、傾斜角、乱れ強さなどの風の特性値を確認するため約2年にわたる現地の風観測を実施し現地の風速が実験値との乖離がないことを確認した。



変更断面図 (風洞実験推奨案)

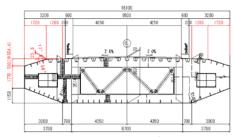


図-5 断面の修正

4. 3 防護柵形状

交通安全上の観点から、実施設計時点より防護柵を250mm 嵩上げした形状になっている。

現在の断面で風洞実験を行ったところ、迎角 0° ± 3° 、設計風速 82.2m/s の範囲内で有意な振動は発生しないことを確認している。今後は、実橋において設計値・実験値を満足していることを確認する必要がある。



写真-3 風洞実験

5 実施段階での取り組み

5. 1 設計・施工時における指導助言

本橋の設計時から施工に際し、発注者への指導・助言を行う伊良部大橋主航路部設計施工 委員会をこれまで 4 回開催している。今後 100 年間の供用を確実に達成する主航路部の設 計・施工を目標に議論を重ね、発注者への指導助言を始め施工者の能力を最大限に引き出す 成果を得た。

5. 2 工場製作

平成 22 年 10 月~平成 24 年 3 月にかけて、香川県、千葉県、三重県の各工場で 140m の 鋼桁を製作した。

特に工場製作における、金属溶射、ヤード溶接については重点管理項目とし現場技術員を確保し立ち会いの頻度を多くした。溶射管理マニュアルを作成し重点管理項目の設定を行うとともに、断面の溶接箇所には全数の非破壊検査を実施し問題となる欠陥がないことを確認した。

5.3 輸送

輸送時には、波浪に伴う鋼桁疲労の影響を把握するため、ひずみゲージによる測定を行った。測定は、波浪の影響が大きいと考えられる沖縄本島~宮古島の区間とした。結果、3 ブロック共に応力範囲は一定振幅の打ち切り限界を下回っていることと、外観検査にお



写真-4 輸送状況

いて損傷は無いことから、輸送時に疲労損傷が起こっていないことが確認できた。

5. 4 FC 一括架設

主航路部橋梁においては、高所の海上部における強風下での溶接・溶射作業効率の低下、 それに伴う工期の延長などが懸念されたため、小型 FC によるベント架設、台船からの吊上 げ架設を比較した結果、大型 FC による一括架設が採用された。

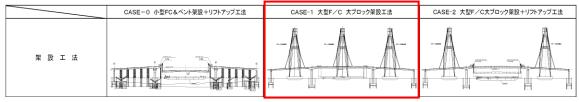


図-6 架設工法の比較

架設は、国内最大級 4000t の吊上げ能力を持つ大型 FC (W=44m、L=120m、H=140m) により行われた。 平良港に接岸された台船又は仮置きした岸壁から、直接 FC にて吊上げ、架設地点まで約 5km の吊曳航の後、所定の橋脚位置に据付けた。 航路の幅が狭く、 航路部以外の浅瀬にはサンゴ礁が点在しているため、曳航と係留を慎重に行う必要があり、また、気象条件に左右



写真-5 中央径間架設状況

されやすい環境であるため、流れの緩やかな小潮で、かつ平均風速 10m/s、波高 0.5m 以下

の条件が必要であった。台風の影響により作業は順延したものの、最終的に平成 25 年 4 月 16 日に中央径間の架設が完了した。

FC 一括架設により、現場溶接・溶射作業の最小限化が図られたことで、ブロック継手部の品質向上に繋がった。

5.5 現場継手溶接

5. 5. 1 現場溶接環境

ブロックの大型化により、現場溶接箇所は、3 ブロックの継手部分の 2 箇所に最小化されたが、 その品質確保が重要課題となった。風防設備は、 足場兼用で架設後すぐに設置できるよう、スライ ド型の設備をヤードにて取り付けた。板張り防護 の内側からシート貼付・目張りを行うことで、溶 接に適した環境とした。なお、ヤードにおいて現

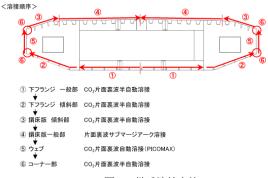


図-7 継手溶接方法

地の設備を再現した試験施工を実施し、試験片により溶接品質に問題ないことを確認した上で現場施工を行った。

5. 5. 2 現場溶接施工試験

大ブロック継手部において、セッティングビームの構造特性等により、仕口にねじり力が働いたことから、最大で15mm程度の目違い及びルートギャップが確認された。これを許容値内に収めるため、一部はつりとりを行って調整する必要が生じたが、この調整方法の妥当性を確認するため、実際の測定値を反映させた試験体を作成し、現場溶接施工試験を実施した。放射線透過試験、超音波探傷試験、引張試験、型曲げ試験、マクロ試験の各種試験を行い、調整方法に問題が無いことを確認した上で現地施工を行った。

5. 6 現場溶射

最も長期耐久性が期待できる防食下地として採用した Al-Mg 溶射については、密着力の確保が重要とされ、作業環境の厳しい現場において品質を確保するためには、溶射付着面の粗さ管理、溶射膜厚の管理を厳しく行うことが求められた。さらに、現場溶射においては、ブラスト作業後速やかに環境遮断を行うため、工場施工の半分の 2 時間で規定の溶射膜厚を確保する必要があった。

ブラスト作業時は環境遮断及びブラスト材の飛散防止のため、板張り及び目張りにより密閉し、風防設備内は作業員 1 名により作業を行った。その後の溶射作業においては 2 時間以内に作業を完了するため、1回当りの溶射面積を少なくし、



写真-5 継手溶接状況



写真-6 溶接施工試験状況



写真-7 風防設備

2 パーティ、午前・午後の 2 サイクルで計 4 箇所(平均 6m2 程度)を 1 日の施工サイクルとした。

除錆度、清浄度、粗さ、溶射膜厚の確認については、監督職員による全数立会とし、スイープブラスト完了後2時間の溶射を効率よく作業するため、現場にほぼ常駐して管理を行った。1日当り約6m2の溶射施工量で、品質を重視した施工



写真-8 溶射状況

を行い、1ヶ月半で主航路部架設後の現場溶射約 208m2 を実施した。施工時に3回渡り現場溶射箇所において作成した試験片で密着力試験を実施したところ、工場施工時と同等の試験結果を得ており、現場においても高耐久化を実現する溶射作業を行うことができた。

5. 7 実橋による振動計測及び加振実験

架設が完了し、実橋における観測が可能となったことから、設計・実験時に設定した諸条件及び実際の振動特性の把握を目的として、短期的な振動計測と風観測を実施した。短期計測により常時微動を観測し、固有振動数及び構造減衰率等を確認、併せて実施する風観測により、振動と風との相対性を確認する。さらに、常時微動では、構造減衰率の確認精度を向上するため、トレーラーによる加振実験を行っている。

5.8 大気暴露試験によるモニタリング

今後、実橋における耐風安定性の確認及び溶射・塗装の劣化状況を確認するための暴露供 試体のモニタリングにより、これまで取り組んできた高耐久化の実現を確認したい。

6. まとめ

伊良部大橋主航路部橋梁上部工の施工をとおし、以下の結果を得た。

- ・ 現場溶接の最小限化を図る FC 一括架設の成功により、設計段階で想定していた品質 向上が実現できた。
- ・ 溶接環境を確保することで、現場においても高品質な溶接が可能である。
- ・ 溶接施工試験は現場溶接の品質を確認する手段の一つとなる。
- ・ 風防設備などで溶射環境を確保すること、入念な素地調整・溶射膜厚管理により、現場においても Al-Mg 溶射の品質確保が可能である。
- ・ 溶射マニュアルに基づき管理を重点的に行うことで金属溶射の品質を確保することが 可能である。
- ・ 風洞実験で耐風安定性の高い断面を選定することが可能である。その成果は、風観測、 実橋での構造減衰確認をもってより確実なものとなる。
- ・ 委員会の実施により、発注者の指導助言を始め施工者の能力を最大限に引き出すこと ができた。

道路照明柱の台風応答計測

琉球大学 ○松村恭寛, 下里哲弘, 有住康則

1.はじめに

2011年に発生した台風9号(最大風速50m/s)により、沖縄県南部地域の高架橋に設置された照明柱が3基倒壊した。しかし倒壊した原因は未だに不明である。本研究では、道路橋に設置された照明柱の台風時の応答を計測し、破壊原因を推定することを目的とする。

2.実験方法

沖縄県浦添市の沿岸部にある実際の高架橋に設置されている照明柱にひずみゲージを貼り付け、動ひずみデータロガーによって計測を行った。図 2 に示すようにひずみゲージは照明柱基部の 4 つのリブ上端溶接の 10mm 上に貼り付けた。なお照明柱に作用する曲げ応力分布を計測するために縦方向に 2 つ貼り付け、さらに車両の振動を受けにくい土工部の照明柱にゲージを設置した。図 3 に使用する計測機器を示す。これらの機器を近くの電気ボックスに格納し、ひずみゲージからデータロガーまでは 40m の延長ケーブルを用いて接続した。計測期間は 2014 年8 月 14 日からスタートしサンプリング間隔100Hz で 24 時間連続計測を行った。

3.計測結果

(1)周期特性

図4に示す計測した波形より、周期データを20個取り出し分析した(図5)。分析結果から約0.784秒と約0.130秒の固有周期が得られた。また土工部に設置された照明柱の計測結果より約0.784秒の固有周期が得られた。このことから風荷重による照明柱の固有周期はおよそ0.784秒と予測できる。また、もう一つの周期が短い0.130秒に関しては橋梁の交通振動から受ける振動であると予測できる。



図1 実験現場

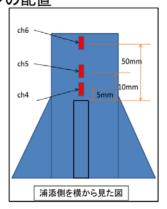


図2 貼り付け位置

計測機器&計測機器設置スペース







図3動ひずみ計と計測機器を格納する場所

キーワード:耐荷力評価, 照明柱

連絡先:〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 環境建設工学科 TEL: 098-895-8666, FAX: 098-895-8677

(2)疲労特性

計測結果から最大振幅を取り出し、その結果が疲労打ち切り限界に到達するか調査する。照明柱の疲労強度等級は、面外ガセット継手すみ肉溶接のため、G等級を用いる。計測結果と比較すると、打ち切り限界を超えるデータを得ていることが分かった。よって今回の計測データから疲労破壊が起こりうると判断できる。最大応力が計測される周期は0.784秒であった(図6)。

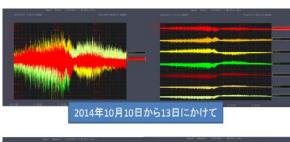
4.まとめと今後の予定

以下に得られた結果をまとめる。

- ①実橋上の照明柱基部においてひずみの計測により、周期と振幅を観測できた。
- ②降伏点に到達するひずみは計測されなかった。 次の目的はレインフロー法を用いた高サイク ル疲労による寿命の評価を行う。

5.謝辞

本研究は、沖縄総合事務局と琉球大学工学部との「包括的連携、協力に関する協定」に基づき、沖縄総合事務局と協同で実施するものである。実験の実施においては、沖縄総合事務局管轄内の実験現場の提供、および計測機器取付けにおいて協力いただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。



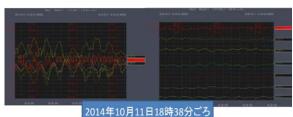
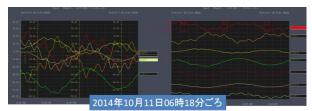


図 4 計測データ・1



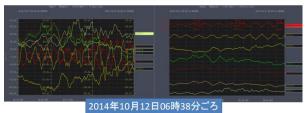
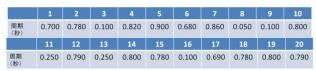


図 4 計測データ・2



約0.130秒付近と約0.784秒付近の周期中心

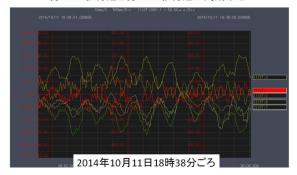


図5 2種類の周期

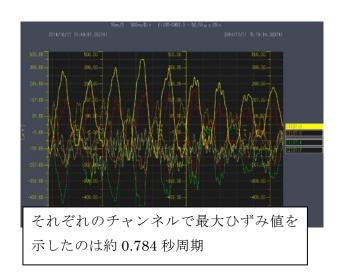


図 6 周期と最大振幅の関係

亜熱帯環境下における火力発電所揚炭桟橋鋼管構造の診断モニタリング手法の開発研究

1. はじめに

インフラの経年劣化問題は揚炭桟橋においても顕在化してきており、揚炭桟橋の予防保全による維持管理の必要性が高まってきている. 揚炭桟橋の劣化損傷は、鋼管杭の腐食減厚、床版コンクリートの浮き・剥落等が報告されており、これらは飛来塩分を主要因とする塩害と、亜熱帯環境特有の勢力の強い台風による影響等、様々な要因で発生していると考えられる. 当該損傷に対する原因究明や補修・補強方法の研究開発は火力発電所の長期持続にとって重要である.

本研究では、今後の維持管理のための第一段階として、後述する各種センサを設置し、モニタリングで得られたデータを分析することで、各外力が揚炭桟橋に与える影響を明らかにすることを目的とした。ここで、対象とした外力は、「通常時」、「石炭船接岸時」、「アンローダー稼働時」、「台風時(異常時)」の4ケースである。モニタリング概要および結果を以下に示す。

2. モニタリング概要

本研究で設置したモニタリングセンサ配置図の一例を**図1**に示す.損傷が多く報告され,台風時にアンローダーが固定されるブロック 3,4 を中心にセンサを設置した.上記外力作用時における桟

橋の挙動を把握するために、「鋼管杭のひずみ」、「鋼管杭ー床版接合部のひずみ」「床版のひずみ」、「床版間の変位」等のモニタリングを実施した.

2-1.有線式センサ

有線式のセンサは全て電気式のひずみ計,変位計,加速度計等を使用した.損傷が多く報告されていた鋼管杭ー床版間はひび割れが多く従来のひずみゲージでは測定ができない.そこで,図2に示す特殊な固定治具を利用した測線式ひずみ測定手法を用いて固定転点間の平均ひずみを測定した1).

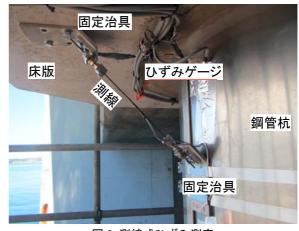
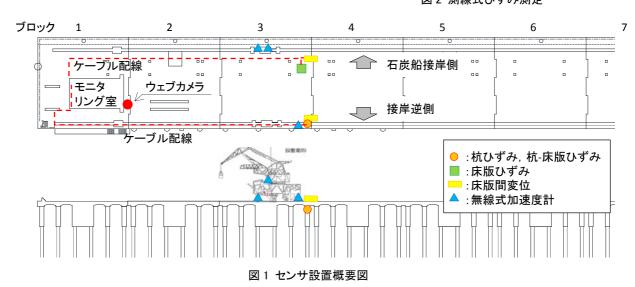


図2 測線式ひずみ測定



キーワード 腐食、塩害、モニタリング、無線、Wi-SUN、

連絡先 〒152-0034 東京都目黒区上目黒 3-30-8 S-2 (株) T T E S TEL:03-5724-4011

2-2. 無線(Wi-Sun)式センサ

有線式のセンサは豊富な実績がある一方,配線作業の煩雑さ,線の劣化等の問題点も有している.そこで,本研究ではこれらの問題点を解決するために無線式の加速度計(図3)を開発し,適用した.用いた無線通信規格は2013年に国際標準規格化された「Wi-SUN」と呼ばれているもので,Wi-FiやZigBeeなどの無線と比較して省電力で広範な通信エリアを確保できる特徴がある.設定によっては,単3乾電池3本で10年以上動作が可能である.また,遠隔操作により,通信頻度やサンプリング周波数の変更が可能である.

3. 結果

モニタリング結果の一例として、石炭船接岸時 および台風時(2014年10月中旬発生の台風19号) の橋軸方向床版間変位をそれぞれ図4,5に示す. 石炭船接岸時やアンローダー稼働時に発生する床 版間変位よりも台風時の方が大きな変位を示していることが確認できる.

図 6 に台風時の測線式ひずみゲージ測定結果を示す. なお,この図の横軸は図 5 の横軸と一致している. 図 5,6 より両グラフのピーク位置はほぼ一致していることから,床版間変位と杭-床版間のひずみは何らかの相関があると想定される.

また、無線式加速度系の取得データの一例としてアンローダー上に設置した鉛直方向加速度比較結果を**図7**に示す。台風時は、石炭船接岸時よりもアンローダーに大きな揺れが発生していること



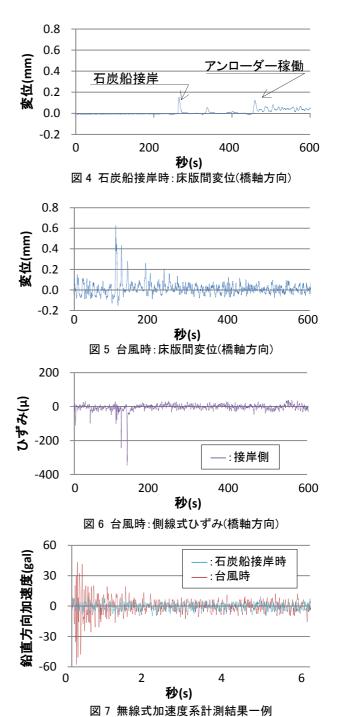
図3 無線式(Wi-SUN)加速度計

が確認された.

4. まとめ

以上より、台風が揚炭桟橋に与える影響は、石 炭船接岸時と比較して大きいことが確認され、各 センサの値は、相関があることがわかった.

本計測は、琉球大学、電源開発、TTES3者による共同開発の成果である。今後詳細なデータ分析を行う予定である。



参考文献

1) 菅沼, 下里ら: "光ファイバセンサを活用した塩害劣化 RC 橋の長期耐荷性能評価に関する研究",土木学会西部支部沖縄会, 第 2 回研究発表会,2012.9

コンクリート梁の振動特性に関する基礎研究

○琉球大学 準会員 平田淳貴,吉次優祐,琉球大学大学院 松浦葵琉球大学 正会員 藍檀オメル,富山潤

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの橋梁に、塩害や中性化、疲労などによるコンクリートの劣化現象が生じている。今後このような橋梁は飛躍的に増加すると考えられる。一方で、わが国の経済状況は厳しく合理的な維持管理が非常に重要となる。本研究は、維持管理に必要な健全度評価法として、橋梁の振動特性を利用した安価で、かつ容易に劣化度を算定可能な試験方法の確立と、健全性の指標を作成することを目的としている。本稿では、提案する試験方法を検討するため、鉄筋コンクリート梁(RC梁)の供試体を用いた衝撃荷重の載荷試験(落下試験)を行い、理論式や数値解析と比較した結果を示す。

2. 試験体および実験概要

試験体の形状を図-1 に示す。断面が 120×200 [mm], スパン長 1600[mm]の RC 梁を用いた。

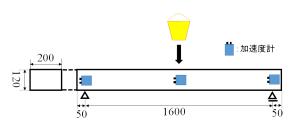


図-1 試験体図[mm]

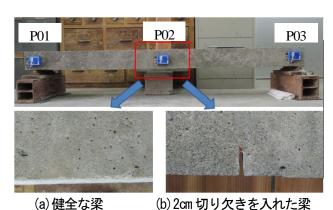


写真-1 試験体概要

落下試験では、衝撃荷重として、梁中央に 10kg および 20kg の砂袋を、高さは 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm か

ら自由落下させる方法を採用した。砂袋を重りに採用するメリットとして、衝撃荷重を反動なく正確に与えることができるため、比較的安定した波形が得られる点や、衝撃荷重の大きさを自由にコントロールできることで、大小さまざまな構造物に適用可能である点などが挙げられる。なお、振動特性の測定は、写真-1に示す3成分測定可能な加速度計を用いた。測定位置は、梁中央部および両端部の3か所とし、設置位置を梁の左からP01、P02、P03とした。今回は上記に示した実験ケースの中から、(a)健全な梁、(b)劣化を模擬するために梁の中央下面に2cmの切り欠きを入れた梁、さらに、(c)落下試験の過程で中央部の切り欠きからひび割れが生じた梁の3ケースで検討を行う。

3. 理論式による検討

単純梁における固有周波数 f を求める算定式を式(1)に示す。

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{\lambda_n^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$
 式(1)

λn:n次モード, L:スパン, E:弾性係数 I:断面二次モーメント, ρ:密度, A:断面積 なお, 算定式には表-1に示す値を採用した。式(1)より求められる健全な単純梁の固有周波数はf=67.4Hz となった。

表-1 使用した材料係数

スパン	L	1.6m	
1次モード	λ_1	π	
弾性係数	Е	$2.36 \times 10^7 \text{kN/m}^2$	
断面2次モーメント	I	$2.88 \times 10^{-5} \text{m}^4$	
密度	ρ	23.0kN/m ³	
断面積	A	$0.024m^2$	

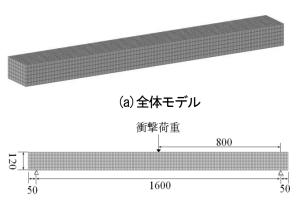
4. FEM 解析

本研究では、3次元構造解析ソフト midas-Civil¹⁾を用いて時刻歴応答解析を行った。解析モデルおよび解析条件

キーワード 振動特性、フーリエスペクトル、固有周波数、加速度計

連絡先 〒903-0213 沖縄県西原町千原 1 番地 琉球大学工学部 TEL: 098-895-8663

を図-2 に示す。コンクリート部は六面体ソリッド要素を採用した。今回は、実験で使用する供試体の弾性係数を求めていないため、一般的なコンクリートの弾性係数 2.36×10⁷[kN/m²]を用いた。解析モデルの要素数は、10,200 要素である。



(b) 解析モデル側面図[mm] 図-2 解析モデル

5. 実験結果および考察

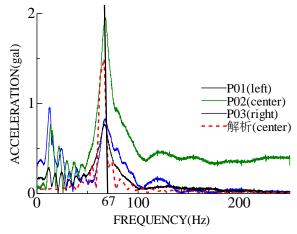
図-3(a), (b) は、ひび割れのない健全な梁と梁の中央下面に 2cm の切り欠きを入れた梁に、10kg の砂袋を落下させ計測した各点の加速度をフーリエスペクトルに変換した結果と FEM 解析結果を示す。今回の実験結果から、それぞれの固有周波数は、健全で 67Hz、2cm 切り欠きでは 63Hz と減少した。固有周波数の逆数が固有周期であり、切り欠きが入ったことにより固有周期が長くなることが確認できた。また、FEM 解析では健全な梁で 66.4Hz、2cm 切り欠きを入れた梁で 62.5Hz という結果が得られた。今後、本実験で使用した供試体の弾性係数を実際に求め、解析や理論式で用いた弾性係数との整合性を検証する。

さらに、図-3(c)は健全な梁および落下試験の過程で中央部の切り欠きからひび割れが生じた梁のフーリエスペクトルの比較を示している。ひび割れした梁は健全な梁に比べ、固有周波数が低く、波が多数発生している。これは、落下振動によって梁を伝わる波の一部が中央のひび割れによって反射されているためだと考えられる。

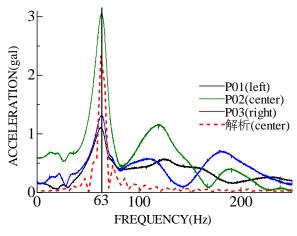
6. まとめ

今回の実験および数値解析において、劣化した梁は健全な梁に比べて固有周期が長くなることが確認できた。さらに、ひび割れの進展が進むほど複数の波が現れ、波形に乱れを起こすことも確認できた。このような波形の変化を捉えることで、将来的には目視できない内部のひび割れ等の存在を推定することが可能であると考えられる。今後、様々な要因で劣化した梁やひび割れの程度の違う梁、PC 梁などでも落下試験と数値解析を行い、より

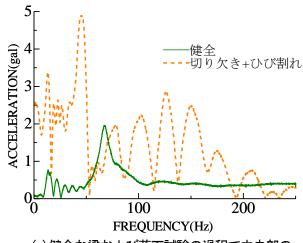
実用的な試験方法および劣化度の指標を作成していく予 定である。



(a) 健全(ひび割れなし)と解析の比較



(b) 2cm 切り欠きと解析の比較



(c) 健全な梁および落下試験の過程で中央部の 切り欠きからひび割れが生じた梁の比較 図-3 フーリエスペクトル

参之士献

1)MIDAS IT :midas-Civil Analysis & Design Manual(理論マニュアル)

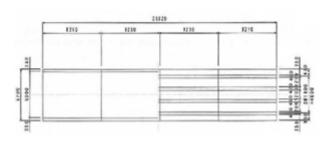
塩害劣化したコンクリート橋梁の震動特性評価に関する基礎研究

琉球大学 ○吉次優祐,松浦葵,平田淳貴,松川博宣 琉球大学 正会員 富山潤,藍檀オメル,渡嘉敷直彦

1. はじめに

沖縄県は亜熱帯海洋性気候で高温多湿な地域である。また、海に囲まれた島嶼であるため構造物にとって、過酷な塩害環境といえる。したがって、劣化した構造物の健全度評価を確立させる必要がある。

今回研究橋梁は名護市呉我に位置する1962年(昭和36年)に竣工された4径間RC単純T桁橋(4連桁)である。対象橋梁は造られて50年経過し、現状としては塩害劣化による損傷が激しいため通行止めされている状態である。



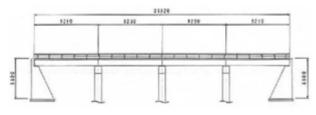


図1 対象橋梁概略図

2. 研究の目的

橋の振動特性を知ることで、橋の健全さや劣化状況を評価することができるり。その際に構造物がもつ固有周波数 f、固有周期 T を知ることができる。一般的に構造物が劣化すれば固有周波数が低下する傾向がある 2)。今回の研究では加速度計を用いて構造物の周波数解析(f:固有周波数、T:固有周期)による基礎的検証を行った。また、健全な場合の橋梁の固有周波数、固有周期を知るために対象橋梁の有限要素解析(FEM 解析)を行い、劣化橋梁の結果と比較した。

3. 実験概要

測定では、手動式クレーンを用い、砂袋をコンクリート桁の中央で自由落下させることで衝撃荷重を与えた。加速度計は桁の両端、衝撃荷重位置の主桁、砂袋の4つに設置する(図2参照)。落下試験は5回行い、落下高さは全て地面から100cmの位置とし、重さは20kg(1回目)、30kg(2,3回目)、40kg(4,5回目)と変更し測定を行った。

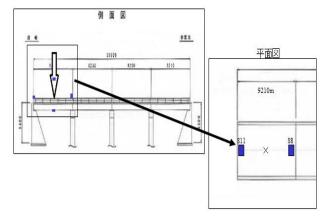


図2 加速度計設置箇所

4. 測定結果

加速度計を用いた測定を行い、今回は1回目の両端、3回目の両端、1~5回目の右端(s11)をそれぞれ重ね合わせたフーリエスペクトルグラフを表示し、対象橋梁のもつ固有周波数、固有周期を求めた。

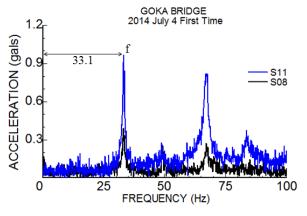


図3 フーリエスペクトル1回目(10kg)

キーワード:塩害、健全度評価、振動特性、周波数解析、フーリエスペクトル 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 TEL:098-895-8663

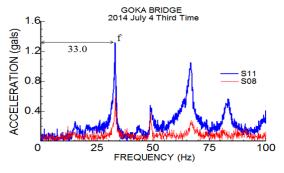


図4 フーリエスペクトル3回目(30kg)

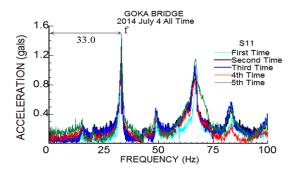


図5 フーリエスペクトル全回(S11)

図3、図4、図5より、すべてのケースおよび 位置で固有周波数 f=33.0Hz、固有周期 T=1/f=0.030s と同程度の数値となることが分かった。また、図3、図4のグラフにおいて s08と s11でグラフの形が異なるのは左右で境界条件や劣化状況が異なることが原因であると考えられる。しかし、図5より、自由落下させる砂袋の重さが異なっても対象橋梁の振動特性はほとんど変化しないことが分かる。なお、今回の実験では、主桁の加速度は測定できなかったため、今後実験を継続し、適切な実験方法の確立を図る。

5. 有限要素解析

対象橋梁が健全な場合の振動特性が不明であるため、FEM 解析ソフト(midas Civil)を用いて、健全な場合を想定した対象橋梁が持つ振動特性を求めた。図 6 は対象橋梁の1 径間をモデル化したものである。境界条件は、対象橋梁の支持条件を参考に両端を面拘束とした。

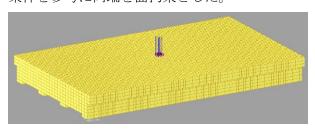


図6 解析モデル(六面体ソリッド要素)

図6の中央部に衝撃荷重を与え、固有値解析を行い、図2で示した加速度計を設置した箇所でのフーリエスペクトルのグラフを求めた。なお、材料特性は、コンクリートの一般的な値を用いている。図7に結果を示す。図中の実線(Kenzen)がFEM解析である。比較のため、実測値も示している。この図から固有周波数f=58.6Hz、固有周期T=0.017sとなる。図7より、劣化した対象橋梁と健全なモデルを比較すると劣化した対象橋梁の方が固有周波数は低下して、固有周期は長くなる。この結果から、健全構造物を表現した数値解析(FEM解析)と劣化した実構造物の実測値を比較することで、健全性評価が可能であることが示された。

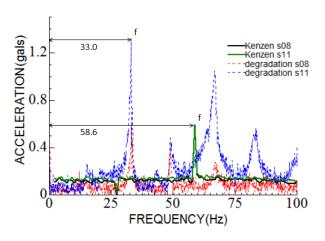


図7 モデルと劣化橋梁の比較

6. まとめ

本研究では、劣化した橋梁の周波数解析と健全な場合のFEM解析を行い、両結果を比較した健全性評価の可能性が示された。これらの精度を高めるために、今後、継続的に劣化橋梁の振動特性を測定していく予定である。

参考文献

- 1) 固有振動数を用いた構造物の健全度診断: http://park5.wakwak.com/~noudokyou/H23_314.pdf
- 2) 大西弘志, 岡田裕昭, 内田慎哉, 鎌田敏郎: 道路橋R C 床版における疲労劣化と振動特性の 関係に関する基礎的研究, コンクリート工学年 次論文集, Vol. 29, No. 3, pp. 1693-1698, 2007

モノレール駅の振動特性に関する基礎研究

琉球大学 〇松川博宣, 琉球大学 正会員 藍檀オメル, 渡嘉敷直彦, 富山潤

1. はじめに

沖縄都市モノレールは、県内の重要構造物のひと つであり、長期にわたり県民生活や観光客の交通手 段を支えなくてはならない。したがって、モノレー ルの維持管理手法を確立する事は非常に重要な課題 であり、維持管理には健全性評価が必要である。近 年、構造物の健全性を構造物自身の振動特性から評 価する方法の検討が行われている。本研究はモノレール下部工(橋脚)・本体を対象に、橋脚に加速度計 を設置し、振動特性を求め、モノレール橋脚の健全 性評価の可能性を検証することを目的とする。今回 の測定・分析結果をもとにモノレール、特に橋脚の 維持管理に適用可能かどうか検討する。

2. 調査対象および測定位置・方法

駅近傍に大きなカーブがあり、車両が進入する際に大きな振動が予測できる古島駅を調査対象とする。 測定は小型加速度計(3成分測定)を用いて行う。 図-1、2に加速度計の設置位置を示す。

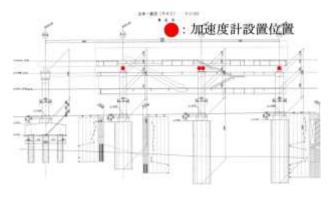


図-1 設置状況概略図 (その1)

小型加速度計は磁石により取り付けられる。磁石による設置のため、装置はヒンジ・スライダー部分に設置した。本実験に用いられる加速度計の特徴として①4×5×1cm程度で小型②内部電源で2日のバッテリー駆動可能③外部バッテリーを使えば1ヶ月の計測が可能④振動を自動で感知・計測が可能(トリガーモード)⑤連続計測が可能であることがあげ

られる。本実験の測定期間は平成 26 年 4 月 25 日金曜日 0時 5 分から 4 月 26 日 0時 5 分までの 24 時間である。

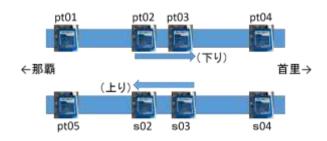


図-2 設置状況概略図 (その2)

3. 計測結果

計測結果としては加速度計の作動する値を上り線,下り線で試験的に変えていたが,結果として,測定できたデータのほとんどは下り線であった。さらに,駅の下の柱に取り付けた加速度計は風の影響を受けたノイズが大半であった。また,当日は金曜日だったためかデータの大半は午前中の出勤時間帯に集まっていた。データの数が多いため一部を紹介する。図-3はpt02下り線(午前5時52分)の加速度記録のフーリエスペクトルを求めたものである。

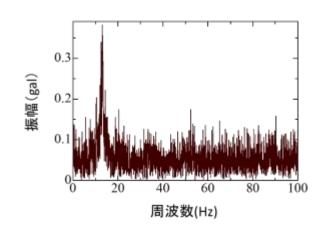


図-3 pt02 下り線(午前5時52分)

このとき、下り線にモノレールは進入していないが 上り線にモノレールが進入していたため、その際の 駅全体の揺れを観測したのではないかと考えられる。

キーワード 小型加速度計,モノレール,固有周波数,フーリエスペクトル,長期モニタリング連絡先 $\overline{}$ $\overline{}$ $\overline{}$ 西原町千原 1 番地 琉球大学工学部 $\overline{}$ $\overline{\phantom{$

また、図-3 から固有周波数が 13Hz 程度ということがわかる。次に、図-4 は pt02 下り線(午前 6 時 22分)にモノレールが来た場合の加速度記録のフーリエスペクトルを求めたものである。

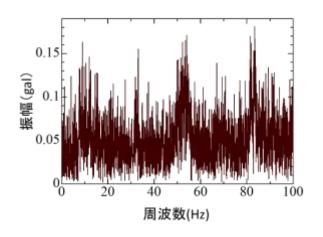


図-4 pt02 下り線(午前6時22分)

上述の図-3とは形と振幅が明らかに違うことが読み取れる。同時に周期性も認められ、多少のバラつきはあるが、固有周波数が10~15Hzであることもわかる。別のパターンとして、pt03下り線(午後3時13分)のデータに同様の処理をしたものを図-5に示す。

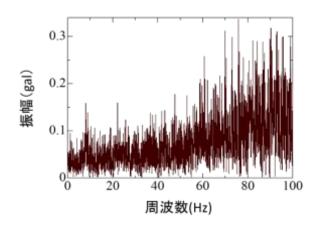


図-5 pt02 下り線(午後3時13分)

前述の図-4と同様に周波数の低いエリアには周期性が見られるが、グラフ右側の高い周波数帯域に振幅の大きいものが集中している様子が見られる。

最後に、モノレール本体につけた加速度計の加速 度データを見る。那覇空港駅から古島駅までの連続 計測の結果を図-6に示す。図に示すように波形から 上下振動、路線の形状、駅での発進・停車など様々 な情報を読み取ることが出来る。

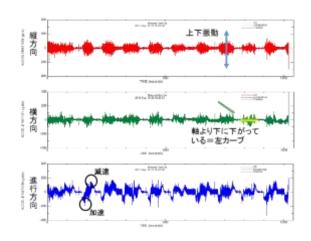


図-6 那覇-古島間 24 分間の連続測定

4. 考察

今回紹介した例は、3つだがデータのほとんどは朝の時間帯に集中していた。これは通勤時間帯で大勢の人が乗降したことが原因だと思われる。フーリエ変換後に綺麗に固有周波数が読みよれたデータは実際には数が少なく、3番目に紹介したデータのように80~100Hzに振幅の大きいものが集中しているデータがおおかった。当日の気象条件を調べたところ、この日は月平均5.1m/sに対して、平均7.5m/s、最大16.6m/sの風が吹いていたため、上部の揺れが支持部に伝わったことが考えられる。また、ヒンジ・スライダー部のような比較的小さく剛性が高い場所(固有周波数が高い)に密着した状態で測定したことにも原因がある事が考えられる。

5. 今後の予定・展望

今後の予定としては、同駅の測定場所の変更、古島駅は相対式ホームと呼ばれる形状のため、島方ホームの場所の測定を考えている。本実験は初の試みであり、目的は健全性評価の可能性の検討だが、現時点では設置場所の問題等がある。これは実験を重ねていき改善していく必要がある。また、装置の改良も期待でき、バッテリー駆動による短期モニタリングではなく、電源接続による長期モニタリングを可能にすることで構造物と一体化し異常をいち早く発見できるシステムの構築が可能であると考える。

参考文献

 西村照彦,羽矢洋:衝撃振動試験による橋脚の 健全度判定法,土木学会誌,pp. 41-49, 1989.
 8

可動式渦流探傷プローブによる腐食鋼板残存板厚分布の評価

東京工業大学大学院 ○田村洋 東京工業大学 富永理史 東京工業大学大学院 佐々木栄一 東京工業大学大学院 峰沢ジョージヴゥルペ

1. はじめに

腐食劣化した鋼板の残存耐荷力評価が橋梁の維持管理において重要な課題となっている。特に,残存耐荷力は腐食鋼板内部の健全層厚さ(以下,残存板厚)の分布形状に依存することから^{1,2)},その推定においては実橋腐食部の残存板厚に関する面的な把握が必要となる。現在のところ,膜厚計によるさび厚の評価手法³⁾が用いられているが,①あくまでもさび厚の評価であるため層状剥離等により表層が剥がれ落ちた腐食部の残存板厚評価には適用しにくい,②面的な分布を得るためには多数の計測が必要となる,などの課題がある。

本研究では、非破壊検査で使用される渦流探傷法に着目し、腐食鋼板の残存板厚分布を少ない計測回数で評価する手法を提案する.これは、鋼板表面付近においてプローブを面内方向に運動させることで、渦電流が発生する健全層の位置を一度の計測で線的に推定する手法である.まずキャリブレーション用鋼板を用いて使用プローブの特性を把握し、続いて腐食した鋼板の2表面に対して健全層位置の推定を行い、他の手法で評価した結果と比較した.

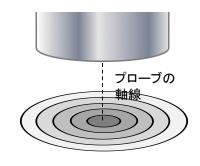
2. 使用プローブ特性の把握

渦流探傷法は導体表層の欠陥検出手法として良く知られているが、 検出信号の強度がプローブ直下から導体までの距離、すなわちリフトオフに依存するため導体を覆う不導体厚さの評価にも使用される. ただし、その性質から評価値は一定の領域に対する平均的な値となる.そこで、まず、リニアアクチュエータに GE 社製渦流探傷プローブ 700P07A (表1に諸元を示す)を取り付けて製作した可動式プローブの検知領域の大きさや領域内部の感度分布を把握した.また、信号強度とリフトオフの関係も使用プローブによって異なるためその評価も行った.

図1は、検知領域の大きさと感度分布を評価するための手法を説明したものである。プローブ軸を中心として感度は同心円状に変化し、キャリブレーション用鋼板の段差をプローブが通過した際の検出信号(起電力変化)は微小面積に感度係数を乗じた値を段差前方の検知領域内で積分した値に比例するという仮定の下、段差通過時の起電力変化から検知領域の大きさと感度分布を評価した。電流周

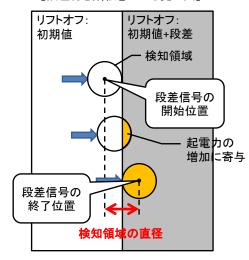
表1 使用プローブの諸元

形式	円筒型差動式
筐体	鋼製
対応周波数帯	1kHz∼100kHz
直径	7.0mm
高さ	48mm



(a) 仮定 1: 感度分布

【段差付き鋼板を上から見た図】

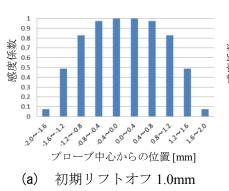


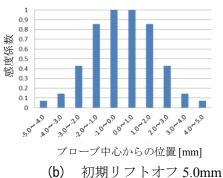
(b) 仮定2:

プローブ移動に伴う起電力変化

図1 検知領域の大きさと 感度分布の評価方法

キーワード 維持管理, 残存板厚評価, 渦流探傷法, 層状剥離さび 連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-23 TEL03-5734-3099





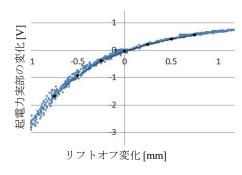
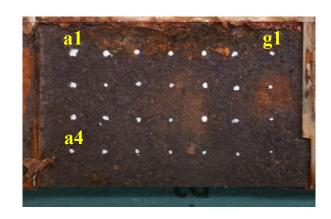
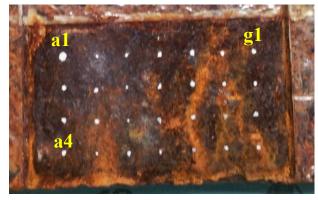


図2 同定された使用プローブの感度分布

図3 信号強度-リフトオフ関係 (初期リフトオフ 2.0mm)









(a) 面 A (層状剥離層なし)

(b) 面 B (層状剥離層あり)

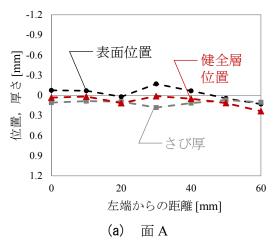
図4 計測に使用した鋼材腐食面

波数 15kHz, 段差の高さ 0.6mm の場合の計測から推定された感度分布を図 2 に示す. 感度分布は同心円の半径方向に 5 段階で評価し、上述の仮定から推定される起電力変化が実測と一致するように 5 つの感度係数を同定し得たもので、最大の感度を 1 として正規化している. 図 2 は、初期リフトオフが大きいほど検知領域は増大するが、初期リフトオフが 5.0mm であっても高感度領域は中心から直径 3~4mm の範囲に過ぎないことを示している. このサイズは後で推定される残存板厚分布と比較してもその変化を捉えるのに十分な小ささであり、使用プローブが目的に適したものであることを裏付けている.

図3は、信号強度とリフトオフの関係の一例として初期リフトオフ2.0mmの場合の起電力実部の変化を示している。キャリブレーション用鋼板の平坦部でプローブを上下移動させて得た関係図である。図には多直線近似によりモデル化した信号強度-リフトオフ関係も示している。次節に示す健全層位置の推定図は、このようにモデル化した信号強度-リフトオフ関係に基づき信号強度からリフトオフを逆解析して得たものである。

3. 実腐食面に対する健全層の位置推定

実腐食面として、 \mathbf{Z} 4 に示す面 \mathbf{A} と面 \mathbf{B} を使用した。面 \mathbf{A} は層状剥離層が剥がれ落ちているが面 \mathbf{B} では残されている。比較のためレーザー変位計と渦電流式膜厚計による計測も行っており、表面にマーキングされた



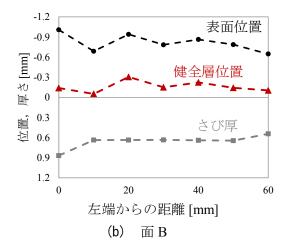


図6 レーザー変位計と膜厚計による腐食面の計測結果(走査線1:al→gl)

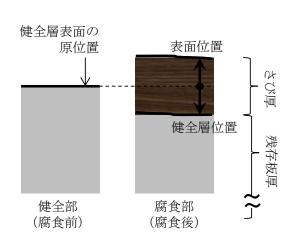




図5 表面位置とさび厚の定義

図7 可動式プローブによる腐食面計測のセットアップ

点 (10mm 間隔) はその計測点である。レーザー変位計では表面位置を,膜厚計ではさび厚を計測しており(それぞれの定義は \mathbf{Z} 5 を参照),それらを足し合わせることで健全部の表面(健全層表面の原位置に対応)を基準とした健全層位置が評価される。計測結果の一例を \mathbf{Z} 6 に示す。面 \mathbf{Z} では健全層位置が負の値を示しているが,これはさび層が層状剥離によって間隙を含み膨張していることを示している。

プローブによる腐食面の計測は**図 7** のようなセットアップで実施した. プローブの可動方向は $al \rightarrow gl$ 方向 としており、プローブ位置はレーザー変位計で計測した. フライス盤は供試体の位置調整・移動のためのもの であり、前節の計測でも使用している.

図8は、初期リフトオフが 2.0mm、5.0mm の場合の計測結果に基づく健全層位置の推定図である. 計測は健全部の表面をリフトオフの基準面とし、 $al \rightarrow gl$ 方向に 4線に対して行っており、横軸は可動プローブの走査線上の位置を表している. また、同図にはレーザー変位計と膜厚計の併用による推定結果もプロットしている. 図8は、面A、B どちらにおいても可動式プローブによる推定結果はレーザー変位計と膜厚計の併用による推定結果に比較的近いものとなっていることを示している. 面A については、2 つの手法による推定結果に多少のかい離があり初期リフトオフの影響も見受けられる. これは面 A は健全層表層が深く腐食面上でのリフトオフが増加しているためと推察される. よって、健全層が深いと予想される場合はできるだけ表面に近い位置で計測することが好ましいと考えられる. また、どちらの手法についてもいえることであるが、層状剥離層が残存している面 B では健全層位置の推定値が負の値を示しており、腐食前よりも板厚が増加したという誤った推定を与える可能性が示唆されている. これは、剥離層内部に導電性を有する部分が残されており、そこに渦電流が発生したためである可能性がある. 計測前には剥離層を除去しておく必要があるといえる.

土木学会西部支部沖縄会 第4回技術研究発表会 Session 5:振動·耐風·計測

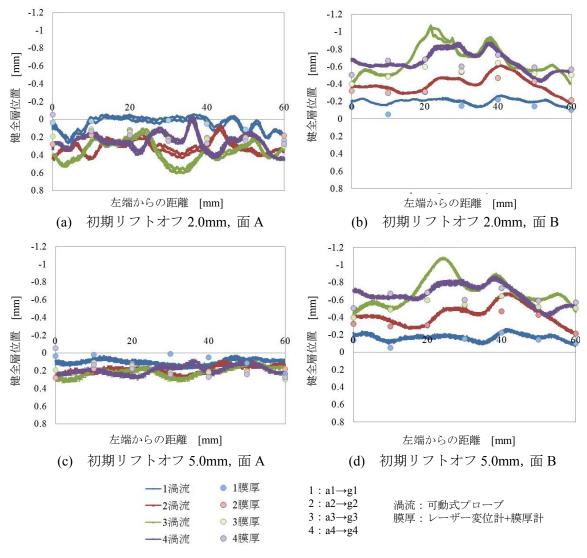


図8 可動式プローブによる健全層位置の推定結果

4. 結論

本研究では、腐食鋼板の残存板厚を連続的に評価できる手法の確立を目指し、可動式渦流探傷プローブによる鋼板の健全層位置の推定を試みた.得られた主な知見を以下に列挙する.

- ・ 段差通過時の検出起電力変化に基づき、プローブの検知領域と感度分布を推定することができる.
- ・ 提案する手法により、残存板厚の連続的な評価が膜厚計とレーザー変位計を併用した場合と同程度の精度 で実施できる可能性がある.
- ・ 健全層が深いとリフトオフが増大するため、できるだけ表面に近い位置で計測することが好ましい.
- ・ 腐食面の層状剥離層は、誤推定要因となるため計測に先立って除去する必要がある.

なお、本研究では単一プローブを用い線的な計測を行ったが、マルチプローブを採用することで一度に面的な 計測が実施でき更に作業量を縮減できる余地を残している。また、鋼板両面で腐食が顕著な場合は両面から健 全層位置を推定し残存板厚を評価する必要があると考えられるが、その場合の精度評価も今後検討したい。

参考文献

- 1)ボー タン フン, 佐々木 栄一, 市川 篤司, 三木 千壽: 腐食を模擬した模型桁のせん断耐力に関する実験 および解析, 構造力学論文集, Vol. 48A, pp. 1099-1105, 2002.
- 2)下里 哲弘, 玉城 喜章, 有住 康則, 丸山 直人, 矢吹 哲哉, 小野 秀一: 腐食劣化した鋼 I 桁のせん断耐荷 力実験 (その1), 土木学会第66回年次学術講演会, I-523, 2011.
- 3) 日本道路橋協会:鋼道路橋防食便覧,付 III-5,2014.

レーザー計測による実腐食鋼板の腐食形状と腐食深さに関する考察

琉球大学 ○園田政和、下里哲弘、有住康則、川田工業(株) 長坂康史

1. はじめに

現在、我が国は高度経済成長期に建設された多くの橋梁の劣化が問題となっており、今後は維持管理が重要となる。劣化の一つとして腐食が挙げられる。特に写真1に示す様に鋼橋の腐食は桁端部に置いて最も多く発生しその損傷度も激しい。

また鋼橋の適切な維持管理をしていく上で、腐食 形状と腐食深さに応じて補修方法を適用することが 重要であり、その補修効果を検証する必要がある。

そこで本研究では、レーザー計測を用いて実腐食 鋼板の腐食の形状と深さを測定し、その分類を行い、 相関性を評価し、今後の補修効果確認実験の基礎デ ータとすることを目的としている。



2.1 測定機器

写真 2 に計測に用いたレーザーシステムを示す。 写真 3 にレーザー変位計を示す。X、Y軸を移動し、レーザー変位計から得られる Z軸方向の変位を計 測する構成となっている。計測範囲は X 軸方向 220mm、Y 軸方向 220mm である。使用したレーザー変位計の仕様は、基準距離 80mm、測定範囲 ±15mm、最小表示単位は 0.01µm である。

2.2 試験体

写真4に計測対象の実腐食試験鋼板を示す。腐食 劣化により撤去した実鋼桁から切り出したもので、 試験鋼板数は19体である。試験体の寸法は横幅約 700mm、縦幅約100mm、設計板厚9mmである。

2.3 計測方法

写真 5 にレーザー計測範囲の 400mm を示す。左 右測定は 200mm に分けて行った。測定ではレーザーが試験体に設置してある 3 つの基準点に通るようにして調整して行った。

2.4 データ補正及び腐食形状

まず、計測結果補正として平面の方程式 (ax+by+cz+d=0)を用いて、3つの基準点の計測点を 用いて基準面を作成する。



写真1 桁端部の腐食





写真 2 レーザーシステム 写真 3 ヘッド(LK-G80)

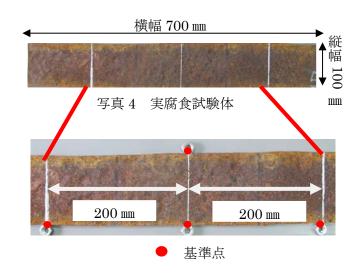


写真 5 基準点と計測範囲

キーワード:レーザー測定 腐食形状 腐食深さ 分類 連絡先:〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1 番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 環境建設工学科 TEL:098-895-8666 FAX:098-895-8677

その後、図1のように各点の値から基準面の値の 差分にして、腐食形状を算出する。

3. 腐食形状及び腐食深さの算出

3.1 腐食深さの算出と評価

算出した腐食形状を用いて腐食深さを求める。図1のように腐食深さは表面形状の最大値から各点の表面形状の値の差分で各点の腐食深さを求める。また、腐食深さのMAX、MIN、AVERAGE、標準偏差を求める。この際に図2に示す様な腐食深さのヒストグラムと図3に示す様な腐食深さのコン

ター図を作成する。 3.2 腐食深さの分類

図 5 に縦軸を平均腐食深さ、横軸を標準偏差の関係を示す。

図4のグラフの近似曲線より R² = 0.8423 と大きな値を示している。これより腐食深さの標準偏差が大きくなるにつれ平均腐食深さも大きくなり相関関係がある。

以上のことから、標準偏差によって腐食状態の分類を行った。表1に腐食深さの分類の表を示す。

4. まとめ

- ①レーザー計測器を用いて実腐食鋼板の計測から、 腐食形状と腐食深さの算出ヒストグラムおよび コンター図の作成を行い補修効果確認実験の基 礎データを作成した。
- ②平均腐食深さと標準偏差には強い正の相関関係がある。
- ③平均腐食深さと標準偏差から腐食状態の分類が可能である。
- ④今後の研究計画は、計測を行った実腐食鋼板を用いて腐食の形状、腐食の分類に応じた試験片に金属パテ、炭素繊維を貼り、腐食形状と腐食深さが異なる腐食試験体の補修効果確認実験を行う。

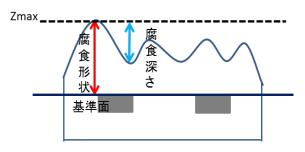


図1 腐食形状と深さ

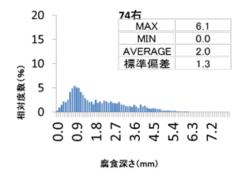


図2 腐食深さヒストグラム

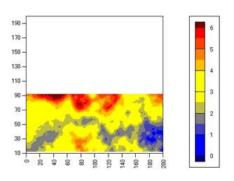


図3 腐食深さコンター図

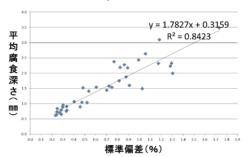


図4 近似曲線と近似地



図 5 標準偏差を用いた腐食深さの分類

表1 腐食深さの分類

グループ名	グループ1	グループ2
標準偏差	0.0以上0.5未満	0.5以上1.0未満
腐食形状	一様腐食	一様腐食と局 部腐食の混合
グループ名	グループ3	グループ4
標準偏差	1.0以上1.5未満	1.5以上
腐食形状	局部腐食	激しい腐食

三次元画像・計測による沈埋トンネルの維持管理

首都高技術株式会社 構造管理部 日和裕介

1. はじめに

近年、土木業界では CIM の活用が推進され設計・施工、検査、メンテナンスのサイクルで三次元座標データを運用する流れが加速している。そのような背景の中、既設の構造物に対しても三次元座標データを取得し、平面図・縦横断図面作成や形状寸法計測が行われ維持管理の基礎資料作成に活用されている。本稿では、三次元座標データを建設から 20 年経過した全長約 2.0km 海底沈埋トンネルの維持管理へ活用に向けた基礎的検討について報告する。

2. 三次元座標データ計測手法

三次元座標データは、三次元レーザースキャナーにより取得される。三次元レーザースキャナーは小型のハンディ型、三脚据置き型、車載型と様々な種類があるが、今回は供用中の路線であるため、交通規制を伴わず三次元座標データの取得が可能な車載型移動計測(モビールマッピングシステム(以下 MMS))を使用した。今回使用した MMS の特徴は下記の通りである。

- ・ 空間的情報を三次元座標で取得できるので、断面形状を精度よく三次元 で計測可能である。
- ・ 上記の特徴によって定期観測による経時変化を捉えることが可能。
- ・ 長距離かつ全断面を素早く調査できる (スピード性)。
- ・ システムは車載型で機動性に優れ、交通規制が不要である。
- ・ レーザーの反射を捉えるため補助照明が一切不要である。
- ・ 結果を三次元で表示できるため、変位の特徴などを直感的に捉えること ができる。

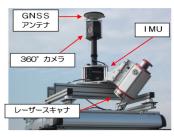


図-1 計測機器



図-2 計測車両

3 三次元座標データの精度検証

MMS を用いた計測の場合、車上に設置している GNSS アンテナで衛星からの信号を受信し、車体の位置情報を取得している。トンネル内では衛星からの信号を受信できないため、別途 IMU(慣性航行装置)で姿勢修正を行っているため坑口以降の位置情報の精度について検証する必要がある。

(1) 精度確認用基準点の設定

精度を検証する上で利用した既知点は、平成25年8月に別途、トータルステーション(以下TS)で計測された避難路内の計測点とした。これらは、トンネル起終点の立坑内に設置された基準点、および周辺に設置された水準点を基準としているもので、すでに精度検証済みである。点数は31点設置した。

(図-3)

(2) 精度検証

MMSで取得した三次元点群データの軌跡解析結果と基準点を座標で比較・評価を行った。比較結果を図-4に示す。

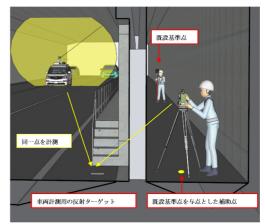


図-3 基準点の設定

キーワード 三次元座標データ、MMS、維持管理

連絡先 〒221-0045 神奈川県横浜市神奈川区神奈川 2-6-4 首都高技術株式会社 構造管理部管理第三課 E-mail hiwa@shutoko-eng.jp

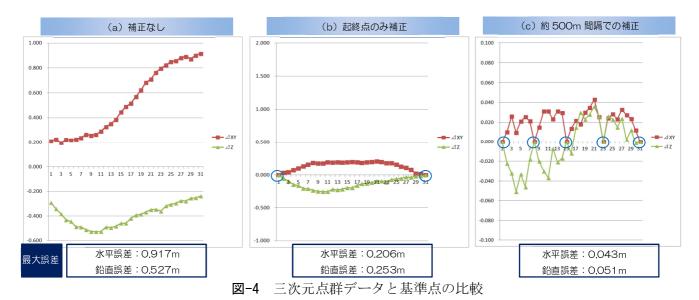


図-4 は、各 31 点の基準点における既知データとの水平誤差($\triangle XY$)と鉛直誤差($\triangle Z$)である。補正のない(a)のグラフでは片押し的な累積誤差が発生している。この誤差の要因は GNSS 衛星の長時間未取得によるもので当然の結果である。

GNSS 衛星の長時間未取得による誤差を解消するために補正点を設置し計測を行った。(b) と(c) のグラフについては、補正点間隔を変えて計測した結果である。(b) の結果は計測の起終点に補正点となるターゲットを設置し、計測した事例である。最大誤差は最大 $25\,\mathrm{c}$ mほど発生しており測量としての精度は確保されていない。(c) の結果は補正点を $500\,\mathrm{m}$ 程度の間隔でターゲットを設置した場合であり、その間に発生する誤差は最大約 $5\,\mathrm{c}$ m程度になることが確認できた。約 $2.0\,\mathrm{km}$ 程度の延長のトンネルで、TSの実測誤差は $2\,\mathrm{c}$ m程度発生しうることを考慮すれば、補正後は十分良好な精度を確保できると言える。(3) まとめ

- ・トンネル計測の場合は、GNSS 衛星の捕捉がトンネル出入口のみとなるため、事前にトンネル内部に TSによる実測点(補正点)を設けて、点群データを補正(すり付け)する必要がある
- ・補正点を 500 m程度の間隔で設置した場合、その間に発生する誤差は最大約 5 c m程度である。これ 以下の間隔で設置すれば、5 c m未満となる。補正後は十分良好な精度を確保できると言える。

4 沈埋トンネル維持管理への活用

(1) 縦断測量・横断測量への適用

精度検証において、過年度の縦断測量結果と比較し、補正点の設置により十分な精度が得られることが確認された。MMSは交通規制の必要もなく、得られる三次元座標データを縦断方向、横断方向と視点を変えるだけで様々な測量結果へ変換することが可能である。

(2) トンネルモニタリングへの適用

トンネル縦断方向の線形を三次元座標データから作図することができるため、函体相互のズレや折れ、またトンネル全体の大きな変位を視覚的に簡易に確認可能である。また、定期観測することで経年変位を評価することも可能である

(3) 地震時・異常時変位の比較検証への適用

大地震が発生した後の沈埋トンネル函体の動きや、トンネル坑内 にて火災、爆破等や沈埋トンネル上の浚渫後等の異常事態後の函体



図-5 3 次元点群データ

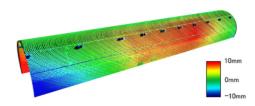


図-6 トンネル内空変状コンター図

の動きを、健全な状態と三次元で比較することにより、沈埋トンネルの健全性を評価することが可能である。

- 184	-
-------	---

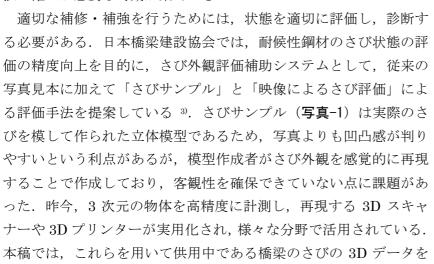
Session 6: 腐食·防食

3D データを適用した耐候性鋼材の外観評価用さびサンプルの試作

一般社団法人 日本橋梁建設協会 正会員 岩川 貴志 正会員 ○阿部 浩志 正会員 志賀 弘明 正会員 鈴木 克弥

1. はじめに

耐候性鋼橋梁は、公共工事の LCC の削減が強く求められる昨今の社会情勢 に後押しされ、その実績を増やしてきた、鋼橋全体の中に占める耐候性鋼橋梁 の比率は年々増加を続けており、2010年時点で鋼橋全体の約25%の割合まで 増加している 1). しかし、耐候性鋼橋梁の適用環境や桁端塗装なども含めた構 造詳細の指針が整備され浸透してきたのはこの 10 年程度であり、それ以前に 建設された橋梁の中には、維持管理が十分になされていないことも重なり、損 傷した事例も報告されている²⁾. 今, それらに対する補修・補強や維持管理手 写真-1 さびサンプル (従来型) 法の確立が必要な時期が来ている.



3D プリンターおよび 3D スキャナーの概要

試みた内容について報告する.

3D プリンターは、3 D データを基に立体形状を断面にスライス して一層ずつ積層造形する装置であり、造形時に切削加工のような 制限がほとんど無く、複雑な形状も造形が可能である. 3D スキャ ナーは、物体の3次元形状を計測する装置であり、従来、さびのよ

採取し、3D オブジェクトとして造形して、さびサンプルの作成を



表-1 3D プリンター仕様表

X : 60 / / / / E/NX						
ProJet [®] 3500 HD Max						
材料	アクリル・ブラスチック、100%リアルワックス					
装置サイズ	749×1194×1511					
造形可能サイズ	298×185×203mm (最大)					
造形スピード	5mm/hr(最大)					
積層ピッチ	0.016~0.032mm					

表-2 3Dスキャナー仕様表

Artec Spider	
色情報取り込み	可(色数:24bpp)
3D解像度(最大)	0.1 mm
3D精度(最大)	0.03 mm
被写体距離3D精度(最大)	0.03% (100cm)
テクスチャー精度	1.3mp
作業範囲	0.17m - 0.35m
撮影範囲(H×W)	90×70mm-180×140mm
撮影範囲(角度)	30x21°
ビデオフレームレート	7.5 fps
露光時間	0.0005 s
データ取得速度(最大)	1,000,000点/秒
寸法(H/D/W)	190×100×130mm
重量	0.85kg

うに精微なものを対象にする場合,大型の装置が必要であり,計測用に小型ピースを準備する必要があった. しかし、近年は軽量・小型・高性能化が進み、ハンディタイプの小型 3D スキャナーにおいても高精度な計 測が可能となっている. 今回用いた 3D スキャナーは、3 つの CCD カメラを異なる位置、角度に設置するこ とによって計測エリアの死角を減らし、青色 LED の光源と組み合わせることでシャープエッジや微小な溝 形状なども計測が可能である.またテクスチャカメラによって色情報をテクスチャマッピングした状態で3D データを保存可能である.表-1,表-2に3Dプリンターおよび3Dスキャナーの仕様表を示す.

データ計測および 3D プリント

さび 3D データは,四国地方にある耐候性鋼橋梁の現場にて採取した.**写真-2** のように採取する鋼材面に キーワード 耐候性鋼材,維持管理,さび評価,点検,3D プリンター,3D スキャナー

連絡先 〒105-0003 東京都港区西新橋 6-11 西新橋光和ビル 9 階(社)日本橋梁建設協会 TEL03-3507-5225

対して真正面にスキャナーを向けながら,スキャナーを鋼材面に対して平行に 動かし、計測対象範囲を読み取り後、スキャナーを傾けて浮きさびの裏側部分 についても極力データを取得するようにした. 計測対象範囲は、ビニールテー プで 15cm 四方の正方形を作り、目印として使用した. 計測状況は、スキャナ ーと接続した PC の画面で確認しながら作業している. **写真-3** は、今回さび サンプルの試作品を造形するにあたって使用した評点 3 の中でもやや評点 2 よりと評価された下フランジ下面である. 図-1 は、写真-3 に示す部位から採 取したさびの 3D データである. なお、評点 2 (うろこ状さび) から採取した 3D データは図-2 のように評点 3 との凹凸感の違いがよりはっきりと確認で きる.

これらの採取したさびの 3D データを 3D プリンターで造形した. 造形にあ たり採取したデータの再現性が重要となる. 再現性を確保するためにさび片の 最小厚さは極力薄いほうが有利と考えられるが,一方で模型全体として強度を 確保する必要があり、また、うろこ状のさび片の重複部分が少ない箇所で形状 が保持できないといった問題が生じる. そこで最小厚さを 0.5mm と 0.3mm 写真-3 データ取得面(評点 3) として模型を試作した. 造形材料は UV 硬化型の ABS ライクプラスチックで ある. 試作した結果として最小厚さ 0.5mm とすると CAD 画面上に表現され た評点の違いによる凹凸感が模型上に表現され、さらに強度的にも問題無い結 果が得られた. なお浮きさびの裏側部分については、計測困難箇所として計測 時に注意したが、データの欠落が生じており、欠落部分は CAD 上で補間を行 った. これはデータ採取時にスキャナーをより深い角度で対象箇所を計測する ことによって、データの欠落を回避することが可能であると考えられるが、計 測の要領については今後も検討を行う必要がある. 写真-3 のさび面から造形 したさびサンプルを写真-4 に示す.

4. まとめ

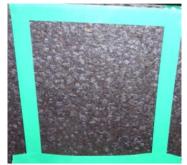
ハンディタイプの 3D スキャナーによって実橋のさび 3D データを採取し、 3D プリンターで造形することで、実橋に発生したさび状態を人為的な観点の 介入なく,直接的にさびサンプルを作成できたと考える.

今回のさびサンプルの作成はコストを考え, テクスチャマッピングされた色 彩情報は使用せずに単色の材料を使用したが、造形物に着色ができる 3D プリ ンターも開発されており、形状のみならず色彩も含めて再現が可能である.

また、得られたさび3Dデータは、さびサンプルの製作という目的だけに



写真-2 3D データ取得状況



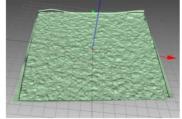


図-1 さび 3D データ(評点 3)

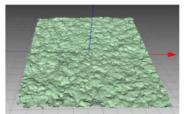


図-2 さび 3D データ(評点 2)



さびサンプル (3D データ) 写真-4

留まらず、実橋のさび状態の記録として、維持管理にも活用できると考える. 今後の展開として 3D データ の数値を基に表面形状を分析することによって腐食量の推定や、より定量的な外観評価について検討を行う 必要がある. さらに定期的に 3D データを取得することによって,経年変化の状況をより正確に把握するこ とが可能になると考えられ、専門家による遠隔診断などにも繋がると考えている.

謝辞:本検討にあたり兼松エレクトロニクス(株),(株)データ・デザイン,(株)イグアスの皆様に多大なる ご協力を頂きました. ここに深甚の謝意を表します.

参考文献

1) 一般社団法人 日本橋梁建設協会:耐候性鋼橋梁の手引き,平成25年4月 2) 山口他:九州・山口地 区における耐候性鋼橋梁の実態調査, 土木学会論文集 A Vol.62 No.2, pp.243-254, 2006.4 3) 岩川他: 耐 候性鋼材のさび外観評価補助システムの開発,土木学会第68回年次学術講演会,I-189,2013.9

腐食面に対する Smart ZIC 工法の防食性に関する実験的研究

琉球大学 〇水流宗孝 下里哲弘 有住康則 (㈱横河ブリッジ 井口進、清川昇吾、東京ファブリック工業㈱ 木村 雅昭

1. はじめに

現在最も一般的に用いられている防錆処理としてあげられる方法は、塗装である。しかし、沖縄のような腐食環境の厳しい地域では、短期間で塗装が劣化するため、塗り替えを行う必要がある。その際、腐食面への塗装の際、錆の除去が必要である。しかしながら、現場において錆を完全に除去することは難しく経済的にも劣る。そこで本研究では、錆を残置した状況を許容できる防食法の開発を目的に、腐食した鋼板表面に Smart ZIC 工法による SZ の犠牲防食作用により、被膜内部の腐食の進行防止の検証試験を行う。

2. 試験方法

2-1. アドヒージョンテスト

研究に用いる実腐食した試験体を図1に示す。3 体の試験体に対し、1試験体につき2点測定を行う。 測定条件は、写真4で示す密着力測定器を使い、 直径20mmドリーを用いて1.0MPa/sの引張速度で 行う。

2-2. SEM による断面観察

試験体を加工し、SEM を用いて亜鉛被膜内部の 状態を観察する。

2-3. 複合サイクル試験

写真 2 の恒温恒湿機を用いて、湿潤状態と乾燥 状態を繰り返し、1 日 1 回塩水塗布を行う。試験条件は 1 サイクル (8 時間)を 3 サイクル (24 時間) で設定し、3 サイクルに 1 回塩水塗布を行う。温度、 湿度は 35 $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ 90%を 2 時間、40 $^{\circ}$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ 50%を 6 時間 で 1 サイクルとする。

また、写真3の食塩水で塗布し、塩水濃度は0.5%、 1%、5%とする。以上の条件で試験体表面の観察を 行う。

3. 試験結果

3-1. アドヒージョンテスト

写真 5 で示すようにドリーを設置し測定した ところ、3 体の試験体の平均値は密着力 15.76MPa、 膜厚 227μm、密着力 11.86MPa、膜厚 204.4μm、密 着力 12.09MPa、膜厚 143.1μm であった。

また、エポキシ系塗料と比較すると平均値は、 5.91MPa、膜厚 $159.2\mu m$ であり、SZ の方が密着力が 2 倍以上高いことがわかった。



写真1 腐食劣化した塗装



図1 試験体概要



写真 2 恒温恒湿機



写真3 塗布用食塩水



写真 4 密着力測定器



写真5 ドリー設置状態

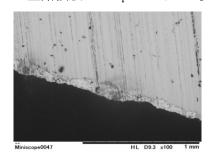
キーワード: コールドスプレー 犠牲防食 SZ

連絡先: 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

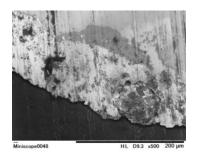
国立大学法人 琉球大学 工学部 環境建設工学科 TEL: 098-895-8666, FAX: 098-895-8677

3-2. SEM による断面観察

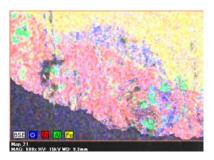
SEM による観察の結果、図 2 に示す様に 100 倍 拡大画像より亜鉛被膜が母材表面に形成され、500 倍拡大画像のマッピングより残存する錆が閉じ込められている様子が分かる。また、錆は 47μm、亜鉛被膜は 104μm であった。



拡大画像(×100)



拡大画像(×500) 図 2 SEM 拡大画像



マッピング画像

3-3 複合サイクル試験

現在、恒温恒湿機にて複合サイクル試験を384時間行っているが、図4で示すように5%食塩水塗布の試験体が白く変色した。また、錆の発生は現在のところ認められない。

4. まとめ

アドヒージョンテストでは図3に示すコールドスプレーにより高速で金属粉体を母材に衝突させているため、より密に接着し、一般的な塗装より密着力が高いと考えられる。また、SEM 画像より亜鉛被膜内に錆が留まっている状態が確認でき、今後は腐食促進後と比較し検証する。複合サイクル試験では、現在384時間経過したが、5%食塩水を塗布した試験体が白く変色し、亜鉛被膜の犠牲防食作用と思われる反応が出た。このまま試験を続行し変化の様子を観察する。

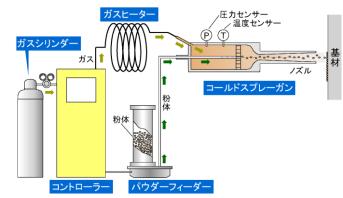


図3 コールドスプレーの仕組み

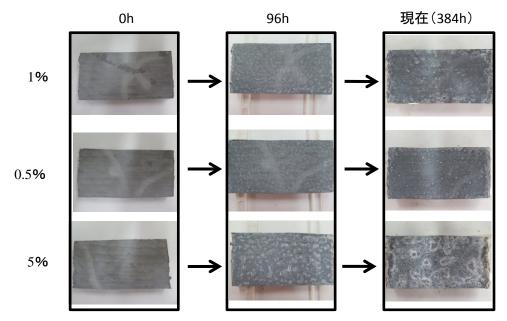


図4 複合サイクル試験体状況

Smart ZIC 工法による高力ボルト継手部の防食性向上(その1:防食性能の検討)

(株)横河ブリッジホールディングス 正会員 ○井口 進 春日井俊博 (株)横河ブリッジ 正会員 清川昇悟 中東剛彦 東京ファブリック工業(株) 木村雅昭 橋都瑞城 琉球大学 正会員 下里哲弘

1. はじめに

鋼橋の高力ボルト継手部は、防食上の弱点部の一つである(写真-1)。高力ボルト継手部の凹凸部で十分な塗膜厚が確保しにくいこと、高力ボルトの塗装仕様に、高い犠牲防食機能を有するジンクリッチペイントが塗布されてこなかったことが原因として挙げられる。

筆者らは、高力ボルト継手部の防食性能向上の方策として、コールドスプレー技術¹⁾に基づいた「Smart ZIC (以下、SZ) 工法」の適用を検討している。SZ は、ボルト表面に亜鉛皮膜を強力に付着させ、犠牲防食機能を有する防食下地として付与するものである。本文では、SZ の特長を述べるとともに、SZ により生成した亜鉛皮膜の防食性と現場での施工性について述べる。

2. SZの概要と特長

SZ は、1980 年代にロシア科学アカデミーのA.Papyrin らによって発見された、コールドスプレー技術を利用している(図-1)。皮膜材料の融点または軟化以下で加熱したガスを専用のスプレーガン内部で超音速域まで加速させ、そのガス内部に皮膜材料の粉体(パウダー)を投入し、粉体が基材に衝突するエネルギーにより付着し、皮膜体を生成するものである。

コールドスプレー技術で生成できる皮膜は、亜鉛のほか、アルミニウムや銅、ステンレスなどの金属合金、ふっ素樹脂、ポリエチレン樹脂など多岐にわたる。SZ工法では、皮膜材料として亜鉛を採用し、ボルト表面への犠牲防食皮膜を形成する。

SZ工法の特長を挙げると、以下のとおりである。

- ①皮膜生成時の粉体の温度は 200℃程度であり、熱影響による高力ボルトの変質や強度低下を抑制できる。
- ②亜鉛粉体にアルミナ (Al_2O_3) を混入させることで、 皮膜生成前の素地調整を同時に行える。
- ③粉体の付着効率が良いため、凹凸を有する基材面で も十分な皮膜を確保できる(数μm~数+ mm)。
- ④生成皮膜の微細孔容積率は 5%未満であり、高密度 の皮膜を形成できる。

3. SZ 亜鉛皮膜の防食性の検証

3.1 鋼板供試体による検証

SZ で生成した亜鉛皮膜の防食性能を確認するため、鋼板供試体を用いた塩水噴霧試験を実施した。鋼板は、腐食したものと腐食がないものを用意し、SZ を施工した($Zn:Al_2O_3=50:50$ 、重量比)。 $\mathbf{Z}-2$ に 816 時間経



写真-1 高力ボルト継手部の腐食事例

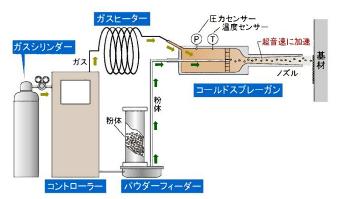


図-1 SZ の概要

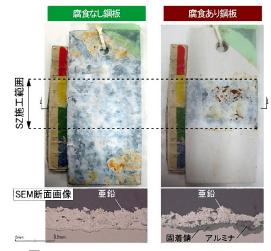


図-2 塩水噴霧試験結果(816時間経過後)

過後の状況を示す。腐食なし鋼板の供試体は、全体的 に犠牲防食作用による白色生成物が見られるが、発錆 は見当たらない。一方、腐食鋼板の供試体では、SZ 施

Keywords: 防食、高力ボルト継手部、コールドスプレー

連絡先:(株)横河ブリッジホールディングス総合技術研究所 〒261-0002 千葉市美浜区新港 88 TEL: 043-271-8411 FAX: 043-247-8412

工部分から部分的に発錆が確認された。塩水噴霧試験は、1,680時間まで継続したが、腐食なし鋼板の供試体から錆は発生しなかった。図-2 下段に、試験後の SZ 施工部分の SEM 切断画像を示す。腐食あり供試体では、固着錆が残存しており、亜鉛皮膜に被覆されているように見えるが、これが発錆の原因になったと考えられる。腐食した鋼材へ SZ を適用する場合は、アルミナによる適切な下地処理方法について検討する必要がある。

3.2 高力ボルト供試体による検証

高力ボルトを用いた供試体による塩水噴霧試験を実施した。供試体は、①高力ボルト締め付け後に SZ を施工したもの、②防錆処理ボルト締め付け後に SZ を施工したものに加え、③防錆処理ボルト、④高力ボルト締め付け後に有機ジンクリッチペイントを施工したもの、⑤高耐食溶融亜鉛めっき(5%Al+1%Mg+Zn)ボルト、⑥溶融亜鉛めっきボルトとした。なお、いずれも新品のボルト(無塗装)を供試体としている。

1,512 時間経過後の供試体の状況を図-3 に示す。③ 防錆処理ボルトおよび④有機ジンクリッチペイントを施したボルト④は、ナットと座金の界面や凸部となるねじ山から発錆している。⑥溶融亜鉛めっきボルト⑥は、ナット角部からの発錆が認められ、ボルト締付け時に生じた角部のきずが原因と考えられる。一方、SZを施工したボルト(①、②)は、犠牲防食による腐食生成物が析出しているものの発錆は認められず、高い防食性が確認できた。また、⑤高耐食溶融亜鉛めっきボルトからも発錆は認められなかった。

4. 実橋での試験施工

SZ の実構造物への適用性を確認するために、実構造物の高力ボルト継手部を対象とした 2 つの試験施工 (A および B) を行った。

試験施工 A では、腐食した高力ボルトを対象に SZ を施工した (写真-2)。SZ 施工後、高力ボルト表面は、アルミナの素地調整効果により錆が除去され、孔食による凹凸が露出した上に亜鉛皮膜が形成している (図-3)。SZ 施工後、亜鉛皮膜上には塗装を施さず 1 年間暴露した (期間中の最大飛来塩分量:0.98mdd) が、錆が再発することはなかった。一方で、ウェブに近いフランジのボルトといった、狭隘で SZ の施工が困難な部位で、部分的に錆が再発した (図-4)。現在、スプレーガンの小型化やノズルの改良によって、このような施工困難部を解消していく検討を行っている。

試験施工 B は、新設・既設構造物を対象とした場合の施工能率を調査することを目的に、横桁や横構ガセット部の継手部を対象に実施した。その結果、新設(錆・塗装なし)・既設想定箇所とも、トルシア型高力ボルトナット部で約4分/箇所、頭部で約2分/箇所の施工能率であった。

5. まとめ

SZ による亜鉛皮膜が有する高い防食性を塩水噴霧 試験により確認した。また、実構造物での試験施工に より SZ の施工能率と今後の改善点について確認した。

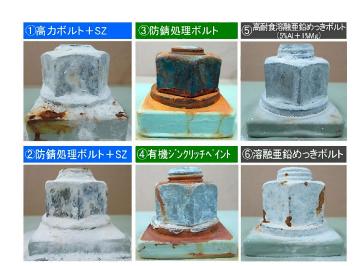


図-3 塩水噴霧試験結果(1,512時間経過後)



写真-2 SZの施工状況(試験施工 A)



図-3 SZ 施工後の状況(試験施工 A)



図-4 SZ の施工困難部とボルト頭部の発錆

(参考文献)

1) 榊和彦: コールドスプレーの概要ならびにその軽金属皮膜、 軽金属 第56巻 第7号、pp.376-385、2006.7

Smart ZIC 工法による高力ボルト継手部の防食性向上(その2:継手性能の検討)

(株)横河ブリッジ 正会員 ○清川昇悟 中東剛彦 (株)横河ブリッジホールディングス 正会員 井口 進 春日井俊博 東京ファブリック工業 (株) 木村雅昭 橋都瑞城 琉球大学 正会員 下里哲弘

1. はじめに

鋼橋において錆が発生しやすい防食上の弱点部である高力ボルト部の防食性能を向上させるため、筆者らはコールドスプレー技術に基づく金属皮膜形成方法「Smart ZIC (以下、SZ) 工法」を開発した (写真-1)。前報では、SZ 工法の概要とその防食性能、現場での施工性について報告した。

SZ は、融点以下で温めた金属粉体を超音速で吹き付ける技術であり、粉体の衝突エネルギーで基材はある程度発熱する。SZ を高力ボルト継手部に適用する場合、高力ボルトの上昇温度が強度に悪影響を与えない範囲であるかを確認しておく必要がある。

本報では、SZ が高力ボルトの機械的性質に与える影響について検討するため、SZ 施工時の温度性状、施工後のボルト引張強度、およびリラクセーション性状について調査した結果について報告する。

2. SZ 施工時の温度計測

赤外線サーモグラフィを用いて SZ 施工時のボルト 温度を測定した。トルシア型高力ボルト M22 (強度区 分 S10T) を板厚 9mm の鋼板に締付け、ボルト頭側及 びナット側両方に SZ を施工し、施工中の温度分布を 計測した。

図-1 に計測画像を示す。計測された施工中の最高温度はナット側で 204.8℃、頭側で 222.6℃であった。サーモグラフィで測定された温度はボルト本体の温度ではなく亜鉛皮膜自体の温度と考えるのが妥当であるが、ボルト本体の表面温度は亜鉛皮膜と同程度と考えられ、これらのことからボルト表面の最高温度はボルトの焼き戻し温度である 400℃以下 ¹)であったと推察される。

次に、ボルト軸部と被締結材表面の施工時の温度を 熱電対で計測した結果を**図−2** に示すが、ボルト軸部の 最高温度は 112.5℃、被締結材の最高温度は 199.1℃で あった。

以上より、SZ 施工時の熱影響は高力ボルトの焼き戻 し温度以下であり、高力ボルトの機械的性質が変化す る可能性は低いと言える。

3. ボルトの引張試験

高力ボルトの引張強度への影響を調べる目的で、引 張試験を実施した。使用したボルトはトルシア型高力 ボルト M22×110 (強度区分 S10T) であり、SZ 施工の



写真-1 Smart ZIC 工法

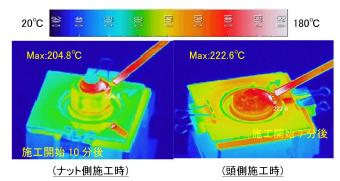


図-1 サーモグラフィ計測結果

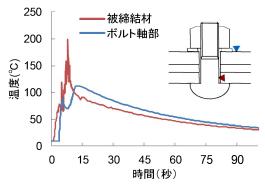


図-2 SZ 施工時の温度履歴

有無と施工回数、施工部位をパラメータとした。実験方法は JSS 規格 ²⁾に準じた。なお、リファレンスのため、溶融亜鉛めっきボルト (F8T) も試験ケースに含めている。試験ケースと得られた引張強度を表-1 に示す

Keywords:高力ボルト、コールドスプレー、熱影響、引張強度、リラクセーション連絡先:(株)横河ブリッジ技術計画室〒550-0004大阪市西区靱本町 1-4-12TEL: 06-6479-8588FAX: 06-6441-7527

が、いずれのケースも規格値を満足しており、SZ 施工の影響は見られなかった。

4. リラクセーション試験

高力ボルトのリラクセーションの原因としては被締結材のへたりや陥没、ボルト軸部のクリープ等が挙げられる。SZは施工により基材が発熱するため、熱影響でこれらの要因が促進され、リラクセーションに影響を与えることが懸念された。そこで、ボルトにひずみゲージを貼付け、SZを施工したボルトの長期軸力を測定した。

実験では SZ 施工の有無、施工時期、塗装の有無をパラメータとした。実験結果を図-3 に示す。SZ を施工しない、塗装ありの試験体 (No.1) は90 日後の軸力残存率が 86.7%となった。SZ を2回施工した試験体No.2 は、1回目の施工直後に軸力が約5%低下し、その後の軸力値はほぼ一定となった。49 日後の施工時にはあまり軸力低下がみられなかった。90 日後の軸力残存率は87.5%でありNo.1 とほぼ同程度となった。塗装のない試験体(No.3)の軸力残存率は92.8%であり、No.1 に比べてリラクセーションは小さい。このことから、リラクセーションには塗装の有無が大きく影響することがわかる3。塗装なしでSZ を施工したNo.4の場合、施工前後の軸力低下はNo.2 に比べて小さい。

この結果から、SZ の施工前後に見られる軸力の低下は塗装のクリープが施工時の熱影響で促進されることが主な原因と推察される。SZ を施工しない場合でも緩やかにクリープが進行して軸力の低下が生じ、90 日を超えるような長期的な軸力残存率は SZ 施工の有無によらず同程度となる。

5. まとめ

SZ 施工による温度上昇はボルトの焼き戻し温度以下であり、引張強度への影響は見られなかった。また、リラクセーションによる長期的な軸力残存率は SZ 施

表-1 ボルトの引張荷重

No	実験ケース	引張荷	重(kN)
INO	天吹グース	実験値	規格値
	トルシアボルト	330.8	
1	M22(S10T)	330.9	
	SZ なし	332.7	
	トルシアボルト	329.6	
2	M22(S10T)	336.9	
	SZ 頭側 1コート	336.6	
	トルシアボルト	329.7	
3	M22 (S10T)	343.4	303以上
	SZ 頭側 2コート	341.9	
	トルシアボルト	331.9	
4	M22 (S10T)	339.8	
	SZ 頭側+ナット側 1コート	328.3	
	トルシアボルト	332.2	
5	M22 (S10T)	336.3	
	SZ 頭側+ナット側 2コート	336.4	
	溶融亜鉛めっきボルト	269.1	
6	M22 (F8T)	274.7	243以上
	SZなし	274.3	

*1 コートとは膜厚 100µm で 1 回吹き付けることを示す

工の有無によらず同程度であった。これらの結果により、SZ施工したボルトは熱影響による強度低下を起こすことなく、通常の強度区分で使用できると考えられる。

(参考文献)

- 1) 阪口ら: 高温加熱を受けた高力ボルトのロックウェル硬さ に関する実験的研究、機関誌 GBRC、Vol.37、No.1、pp.20-26、 2012.1
- 2) (社) 日本鋼構造協会規格:構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット, JSS II 09-1996
- 3) 日本鋼構造協会 接合小委員会編:鋼構造接合資料集成ー リベット接合・高力ボルト接合ー、技報堂出版,1977.3

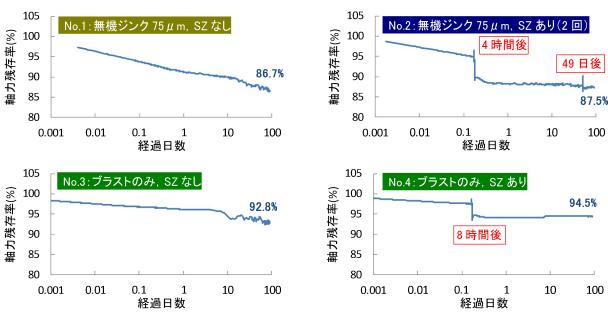


図-3 リラクセーション試験結果

耐候性鋼橋梁の部分補修塗装における端部処理方法に関する検討

日鉄住金防蝕 正会員 ○今井 篤実

正会員 佐野 大樹

山口大学大学院 正会員 麻生 稔彦

セントラルコンサルタント 正会員 空谷 謙吾

1. はじめに

既存の耐候性鋼橋梁の多くは、腐食速度の低下をも たらす保護性さびが生成され、良好な使用状態にある. 一方で、飛来塩分の多い海浜地域や多くの凍結防止剤 が散布される内陸地域では、局部的に異常さびが発生 している事例も報告されている. このような異常さび が発生した場合の対策法としては、異常さび発生原因 が確実にかつ長期間にわたって排除可能と判断できる 場合には、補修塗装と同様にSa 2 1/2相当かつ付着塩 分量50mg/m²以下まで素地調整を行い,無塗装耐候性 鋼として継続することも選択肢の一つである. しかし ながら, 異常さび発生原因の排除が困難あるいは一時 的である場合には、補修用一次素地調整後に二次調整 としてブラスト処理と高圧水洗を行い、Sa 2 1/2相当 かつ付着塩分量が50mg/m²以下の下地とし、有機ジン クリッチペイント,下塗,中塗,上塗塗料を塗装する 方法が確立しつつある 1).

耐候性鋼橋梁における補修塗装は、異常さびが発生している部分のみを対象に実施することから、従来から行われている塗装橋梁の全面塗り替えではなく部分補修塗装となる。部分補修では、塗装と無塗装部の境界部分が防食機能上の弱点となりやすく、点検の際には境界部からの塗膜下への腐食の進行が懸念される。したがって、部分塗装範囲をできる限り環境の良好なところまで広げ、境界部が無塗装で問題ない位置とするのが良いとされている²⁾。しかしながら、耐候性鋼橋梁の塗装端部の処理に対する方法やその評価方法は確立されていない。そこで、本報では、耐候性鋼材の塗装端部に適した方法を確立することを目指し、耐候性鋼材の塗装端部試験片を作製後、塩水散布試験や曝露試験を実施し、その評価結果について検討する。

2. 試験概要

本報では異常さびが発生した耐候性鋼材の補修塗装 方法として、以下の2通りとした.

Case-A 耐候性鋼用Rc-I 塗装系による補修塗装 Case-B 耐候性鋼用Rc-Ⅲ塗装系による補修塗装

耐候性鋼材の塗装端部試験片は,図-1に示すような,さび部分と塗装部分の間に素地調整をおこなった余白部分を設けた試験片と余白部分を設けない試験片の2種類を用意した.この試験片を用いて,山口大学構内および沖縄本島で日陰曝露試験をおこなった.山口大学構内における塩水散布試験は,密封箱内にて,1日1回,0.2wt%および0.01wt%NaCl水溶液の散布を475日間行った.

沖縄本島における日陰曝露試験は,離岸距離は20m, 平均飛来塩分量0.40mddの環境下にて409日間行った. 試験片の曝露方向は腐食事例が多く報告されている橋梁フランジを想定して水平方向に設置した³⁾.

曝露試験終了後,塗装端部の防食機能を評価するため,塗膜物性試験をおこなった.塗膜物性試験は,塗膜密着力試験⁴および塗装端部のはつり試験を実施した.

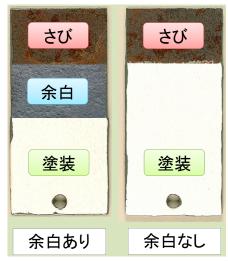
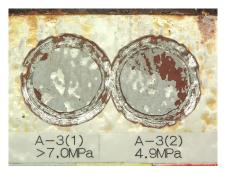


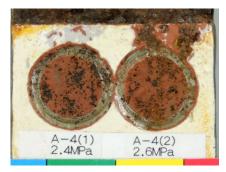
図-1 塗装端部試験片外観

キーワード 耐候性鋼材,補修,塗装,腐食

連絡先 〒292-1141 千葉県君津市君津 1 番地(新日鐵住金株式会社君津製鐵所構内) 日鉄住金防蝕(株) 技術開発部 TEL 0439-57-0985



(a) Rc- I 塗装系 余白あり



(b) Rc-Ⅲ塗装系 余白あり

写真 - 1 塗膜物性試験後外観 (山口大学構内 0.2wt%NaCl 散布)

3. 試験結果

塗膜物性試験後外観の例として山口大学構内 (0.2wt%-NaCl 塩水散布) の試験片の外観を写真 - 1 に、途膜密着力試験結果を図-2に示す. Rc-I 塗装系 の端部塗装試験片では、約80%が上塗、中塗塗装での 凝集破壊となっており、密着力は平均 5.5MPa を示し た. Rc-Ⅲ塗装系を施した端部塗装試験片では、約20% が素地界面、さび面の界面剥離と、約80%の下塗り塗 装での凝集破壊となっており、密着力は平均 4.4MPa を示した. この結果より Rc- I 塗装系の方が破壊形態. 密着力共に、Rc-Ⅲ塗装系よりも、良好な防食機能を示 した. この差は、Rc- I 塗装系(ブラスト処理 Sa 2 1/2) と Rc-Ⅲ塗装系(動力工具処理 St 2)の素地調整の違い によるものと考えられる. また, 試験環境による防食 機能の差は Rc- I 塗装系では、大きな差は見られなか ったのに対し、Rc-Ⅲ塗装系では差が見られ、山口大学 構内(0.2wt%-NaCl 塩水散布)における差が顕著であ った.

塗装端部のはつり試験結果を表 - 1 に示す. 塗装端部のはつり試験では、Rc-I 塗装系を施した端部塗装試験片では、試験条件や余白部分の有無に関わらず境界部分の塗膜下に腐食の進行は見られなかった. 一方、Rc-Ⅲ塗装系を施した端部塗装試験片では、山口大学構

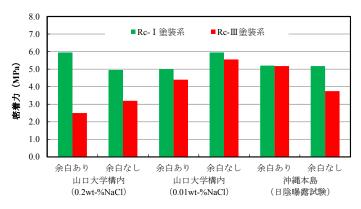


図-2 塗膜密着力試験結果

表 - 1 塗装端部のはつり試験結果

	Rc- I	塗装系	Rc-Ⅲ塗装系		
	余白あり	余白なし	余白あり	余白なし	
山大曝露 (箱内:塩水0.2%)	0	0	×	×	
山大曝露 (箱内:塩水0.01%)	0	0	0	0	
沖縄曝露 (大気:噴霧なし)	0	0	0	×	

〇:腐食が進行していない

×:腐食が進行している

内(0.2-wt%NaCl 塩水散布)において、余白部分の有無に関わらず境界部分の塗膜下に腐食の進行が見られた.

以上の結果から、塗装端部の処理としては、Rc- I 塗装系を施した方が塗膜の防食機能が良好であることが確認された. Rc- I 塗装系での余白部分の有効性については、今後継続した評価を行っていく.

4. まとめ

異常さびが発生した耐候性鋼材の塗装端部に適した方法としては、Rc-I塗装系を施した方が塗膜の防食機能が良好であることが確認された.

参考文献

- 今井篤実、山本哲也、麻生稔彦:耐候性鋼橋梁の防食補修塗装法の実施に関する一考察、土木学会論文集 A1(構造・地震工学)、Vol.68、No.2、347-355、2012.
- 2)(社)日本道路協会:鋼道路橋塗装·防食便覧, pp.Ⅲ-33-Ⅲ-45, 2005.
- 3)(社)日本鋼構造協会: テクニカルレポート No.73「耐候性鋼橋 梁の可能性と新しい技術」, 2006.
- 4) JIS K 5600-5-7: 塗料一般試験方法,プルオフ法,1999.

補修塗装された鋼橋の腐食状態調査

琉球大学 〇字座徳人、下里哲弘、有住康則、淵脇秀晃

1. はじめに

沖縄地域は、飛来塩分量が年間を通して非常に 多く、高温・多湿の特色を有する亜熱帯島嶼環境 である。これは、構造物にとって非常に厳しい腐 食環境である。

本研究では、**写真**1に示す補修塗装された沖縄 地域の鋼橋を対象に腐食状態を評価し、腐食環境 特性と比較検証することを目的とする。

2. 対象橋梁の概要

対象となる橋梁は**写真 2** に示すように離岸距離約 300m に位置し、河川に面している。海と対象橋梁との間に障害物は少なく、潮風の影響を直接受けるため、厳しい環境であることが予測される。

図 1 は対象橋梁の断面図であり、海側より順に 桁番号を G-1 とし、最も山側の桁を G-17 とする。 写真 3(1)は G-8、G-9 の桁間であり、他の桁間と 構造が異なることから中間地点とする。 G-13、 G-14 間にはジョイントによる継ぎ目があり、写 真 3(2)に示すように、桁間が狭くなっている。

対象橋梁の特徴としては、**写真**4に示すように、 支承部付近に塗装塗り替えの痕跡が有り、補修歴 があることがわかる。しかし、現在の状況として 補修された筒所が腐食している。

3. 調査結果

3.1 腐食桁の特定

桁別の腐食状態を外観目視により評価し、腐食の激しい桁を特定する。調査箇所は図2に示すように山側の下フランジを対象とし、桁端部を17カ所、端部1m地点を17カ所、合計34カ所を調査した。評価方法としては、以下の3段階で評価する。

評価 A: ほぼ健全

評価 B: 塗装の剥がれ、層状錆の発生

評価 C:腐食減肉、腐食断面欠損

評価例を写真5に示す。



約300m | 約300m | 地図:google

写真1 対象橋梁全景

写真 2 離岸距離

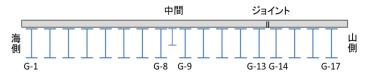


図1 対象橋梁 断面図

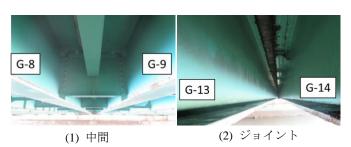
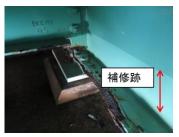


写真3 桁間構造



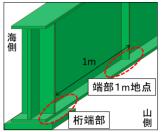


写真4 補修された痕跡

図2 調査箇所



写真 5 評価基準

キーワード:補修塗装、腐食

連絡 先: 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 土木技術職員室 TEL: 098-895-8641

FAX: 098-895-8677

	海側							人	間 7			ジ	こうしょう フ	ント フ			山側
部位	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	G-11	G-12	G-13	G-14	G-15	G-16	G-17
桁端部	С	С	В	В	В	В	С	В	В	Α	В	Α	С	С	В	В	С
端部1m地点	В	В	Α	Α	Α	Α	В	С	Α	Α	Α	Α	С	С	В	В	С

調査結果の評価一覧を図4に示す。図4より、 桁端部では評価 B 及び C が多く、端部 1m 地 点では評価 A が多かった。

評価 C となった腐食の要因として、G-1、G-2、G-17 は外側に位置する事から潮風の影響によるものだと考えられる。G-13、G-14 はその間にあるジョイント部からの漏水によるもの、また、G-7、G-8 に関しては、中間地点の複雑な桁間構造が何らかの影響を及ぼしていると考えられる。以上の結果より、対象橋梁内で最も腐食環境が厳しい場所はジョイント部の G-13、G-14 付近だと予測される。

3.2 腐食部位の特定

G-13 の海側を対象とし、端部付近での腐食 状態を部位別に調査した。評価基準は 3. 1 と 同様に 3 段階で評価する。調査箇所を写真 6(a) に、調査結果を写真 6(b)~(f)に示す。写真 6(b) 及び(c)より、上フランジ下部・ウェブ上部・ 鉛直補剛材上部は比較的健全といえる。一方、 写真 6(d)~(f)に示すように、下フランジ上面・ 鉛直補剛材下部は腐食が激しかった。写真 6(d) より、支承は塗装の剥がれもなく健全であった。 以上の結果より、腐食が最も著しい部位は下フ ランジ上面といえる。

3.3 腐食形状の検証

下フランジの腐食形状としては、写真 7(1) に示すように、角から錆が発生していることがわかる。さらに腐食が進行すると写真 7(2)に示すように、層状錆の発錆、塗装の剥がれを引き起こす。よって、腐食の発生源である下フランジ角についてはより確実な補修施工が必要である。

4. まとめと今後の課題

調査結果より、桁・部位で腐食の度合いにばらつきがあることがわかった。今後は、ジョイント付近の腐食環境として、温湿度・飛来塩分量・錆厚・腐食減耗量・錆成分を調査し、実際の腐食状況と比較し検証を行う。

図 4 腐食状態 評価一覧



写真 6 G-13 海側 端部付近

④ 評価C

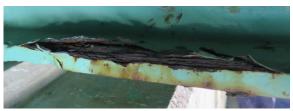
(e)

⑤ 評価B

(f)



(1) G-10 海側



(2) G-8 山側

写真7 下フランジ 腐食例

約30年暴露された無塗装仕様耐候性鋼橋の腐食状況

琉球大学 〇淵脇秀晃, 下里哲弘, 有住康則, 本田博幸

1. はじめに

耐候性鋼は、大気環境にさらされると緻密なさびを形成し、腐食の進行を著しく遅らせるすぐれた鋼材である。しかし、海塩粒子が多く飛来する地域など腐食環境の厳しい地点では、その緻密な

 M
 F

 K
 橋

表 1 調查対象橋梁

さびが形成されず,腐食劣化が進行することが知られている。耐候性鋼の道路橋への適用において,現行基準(1)では,飛来塩分量が0.05mdd以下で無塗装で適用可としている。海塩粒子が多く飛来する沖縄では,飛来塩分量の測定が必要な地域である。沖縄においても無塗装仕様の耐候性鋼橋の架橋事例があり,どのような腐食環境で,現在どの程度の腐食状況なのかを把握することは重要である。本研究では,供用から約30年経過した無塗装仕様の耐候性鋼橋を対象に部位別に腐食状況を調査し評価を行った。

2. 調査概要

(1) 対象橋梁

本研究で対象とする無塗装耐候性橋梁は、表1に示すとおり、供用開始から約30年経過したMK橋、FS橋、BN橋の3橋であり、それぞれ河川上、市街地、沿岸部にかかる橋梁である。

(2) 腐食環境調査

腐食環境要因である気温,湿度を USB 温湿度データロガーで計測するとともに,飛来塩分を JIS Z 2382 に準じてガーゼ法により写真 1 に示すように下フランジ上部で捕集し,1 か月ごとにガーゼを交換した。捕集期間はおよそ1年である。ただし BN 橋においては調査開始から崩落に至るまでの約半年の結果である。

(3) 腐食状況調査

腐食状況調査は、外観目視とさび厚計測による評点評価⁽²⁾ を行った。さび厚計測は、写真 2 に示す電磁膜厚計により実施した。計測値のば

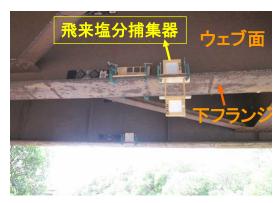


写真 1 飛来塩分捕集状況

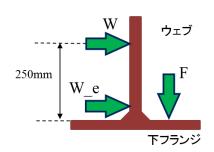


図 1 腐食状況調査位置



写真 2 電磁膜厚計

キーワード: 耐候性鋼橋,腐食状況,さび厚評価,腐食環境,連絡 先:〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

国立大学法人 琉球大学 工学部 土木技術職員室 TEL: 098-895-8641, FAX: 098-895-8677

表 2 平均気温, 平均湿度

	MK橋	FS橋	BN橋
平均気温 (°C)	24.6	24.1	21.5
平均湿度 (%)	73.5	77.2	77.9

表 3 飛来塩分量(NaCl: mdd)

	MK	橋	FS	橋	BN橋		
設置桁	G2桁	G3桁	陸向き桁	海向き桁	海向き桁	陸向き桁	
平均値	0.059	0.034	0.079	0.102	0.987	0.756	
最大値	0.150	0.085	0.210	0.242	1.949	1.134	
最小値	0.027	0.009	0.017	0.010	0.593	0.482	

らつきを考慮して、80×100mm の範囲を全体 的に 10 回計測し、その平均値を採用した。計 測位置は、既往の研究(3)での支間中央部に加 え、橋台支点部または橋脚支点部の2断面を対 象とし、図1に示すように一般部位で腐食の進 行が速い下フランジ上面, ウェブ下端, および 比較としてウェブ下端から 250mm 上部とした。

3. 腐食環境調査結果

表2に各橋梁地点での平均気温,平均湿度を 示す。平均気温は 20~25℃, 平均湿度は 73~ 78%であった。

表3に各橋梁架橋地点での飛来塩分量を示す。 MK 橋での飛来塩分量は平均で 0.06mdd, 最大 で 0.15mdd であった。FS 橋での飛来塩分量は 平均で0.102mdd, 最大で0.242mdd であった。 BN 橋の飛来塩分量は平均で 0.99mdd、最大で 1.95mdd であった。

4. 腐食状況

図 2~図 4 に各橋梁の腐食状況外観写真とさ び厚値およびさび厚による評点を示す。

(1) MK 橋

図 2(A)に MK 橋支間中央の腐食状況を示す。 全体的に錆安定化処理剤であるウェザーコート が残っており、ウェブ下端において細かいさび がわずかに生じている程度であった。さび厚計 測においては, 錆安定化処理剤の塗膜も同時に 計測している恐れがあるため参考値とした。よ って、錆評点は5とした。

図 2(B)に橋脚部付近の腐食状況を示す。支間 中央と同様に、錆安定化処理剤の塗膜が残って おり、細かいさびがわずかに生じている程度の ため, さび厚値は参考値とし, 錆評点5とした。

(2) FS 橋

図 3(A)に FS 橋支間中央の腐食状況を示す。 ウェブ部下端から 250mm 上部は細かいさびを 生じる程度で錆厚は $100 \mu \text{ m} \sim 275 \mu \text{ m}$, ほとん どさび厚評点5であった。ウェブ下端部は所々 粒径の大きなさびを生じており、さび厚で115 μ m~300 μ m, さび厚評点で 5~3 が混在して

G1 North South G2-W-s G2-W-e-s G3-W-s G2-F-s G3-F-s ウェブ 250mm 上部 G3-W-n 133µm 評点5 G1-W-s 153µm 評点5 ウェブ 下端部 G2-W-e-s 360um 評点5 G3-W-e-s 214um 評点5

下フラン ジ上面

G3-F-n 633µm 評点5

(A)支間中央部

G2-F-s 172µm 評点5

ウェブ 250mm 上部

G3-W-n 115µm 評点5

G2-W-s 138µm 評点5

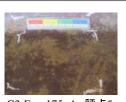
ウェブ 下端部



G3-W-e-n 189µm 評点5

G2-W-e-s 170µm 評点5

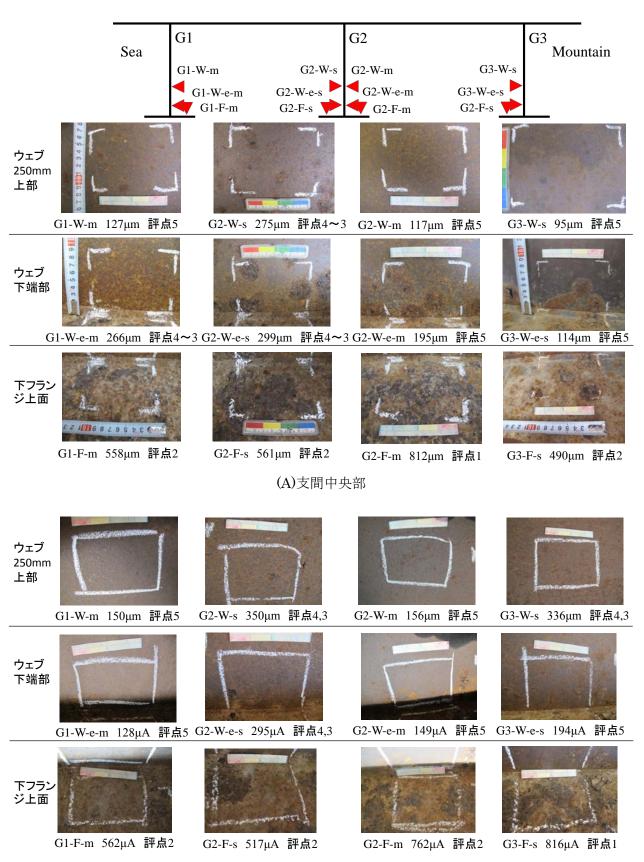
下フラン ジ上面



G3-F-n 989µm 評点5

G2-F-s 175µA 評点5

(B) 支点部付近 図 2 MK 橋の腐食状況



(B) 支点部付近

図3 FS 橋の腐食状況

いる。下フランジ上面は、うろこ状のさびを生 じており, さび厚で $500 \mu \,\mathrm{m} \sim 800 \,\mu \,\mathrm{m}$, さび厚 評点は2,または評点1であった。

ブ部下端から 250mm 上部は細かいさびを生じ ており, さび厚で $150 \,\mu$ m から $350 \,\mu$ m, さび 厚評点は5,または評点4,3であった。下フラ 図 3(B)に支点部付近の腐食状況を示す。ウェ ンジ上面では、うろこ状のさびを生じており、

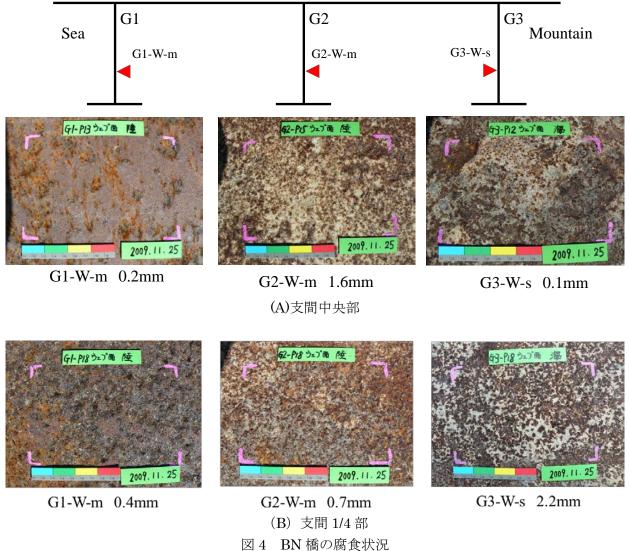


図 4 DN 間の腐良仏(a) マナバ原型よりよよ (a) 河

さび厚が $520 \, \mu$ m~ $820 \, \mu$ m でさび厚評点 2 または評点 1 であった。支点部付近では海岸方向に面した桁面の腐食が進行していた。支間中央部と支点部付近で大きな差異はみられなかった

(3) BN 橋

BN 橋においては、崩落撤去後の計測のため、 表面の浮きさびなどは、衝撃で剥落した可能性 があるため、錆厚は元の板厚値から、計測した 残存板厚を差引いた減耗厚を示した。

図 4(A)に BN 橋の支間中央の腐食状況を示す。 減耗厚で 0.1~1.6mm であった。

図 4(B)に BN 橋の支間 1/4 地点での腐食状況 を示す。減耗厚は 0.4~2.2mm であった。

5. まとめ

以下に本研究の結果をまとめる。

(1) 市街地に架かる橋梁では、飛来塩分量が 0.06mdd で、錆安定化処理剤が残っており、腐 食がほとんど進行していなかった。

- (2) 河川上に架かる橋梁では、飛来塩分量が 0.102mdd で、下フランジ上面の腐食が進んで おり、ウェブ部は下端部で少し腐食が進行する 程度であった。
- (3)沿岸部に架かる橋梁では、飛来塩分量が 0.99mdd で、ウェブ部の減耗厚が $0.1\sim2.2$ mm で、腐食が進行した状態であった。

【参考文献】

- (1) 道路橋示方書·同解説 Ⅱ鋼橋編,(社)日本 道路協会,平成24年3月.
- (2) 道路橋塗装·防食便覧, (社)日本道路協会, 平成 17 年 12 月.
- (3) 下里哲弘,本田博幸,有住康則,淵脇秀晃: 約30年曝された無塗装仕様耐候性鋼橋の さび評価と腐食減耗特性,鋼構造論文集, Vol.21, No.81, 2014.1.

ポリイミド材料を用いた鋼橋防食方法に関する検討

宇部興産機械(株) 〇川内 康寛 宇部興産機械(株) 後藤 悟史 宇部興産(株) 寺田 武史

1. はじめに

膜厚が確保しにくい部材角部や経年劣化した伸縮装置からの漏水等が起こりやすく腐食環境が厳しい桁端部は、一般部と比較し、発錆しやすい部位である。このような弱点となる部位を耐久性の高い材料で被覆すれば、鋼橋全体の防食性を向上させ、LCC(ライフサイクルコスト)を低減することができる。本検討では、航空宇宙材料としても使用されているポリイミド材料を用いた鋼橋の新しい防食方法の開発を目的とし、同材料と塗料との付着性を確認するとともに、ポリイミド層を追加したことによる防食効果について、サイクル試験により検討した。

2. ポリイミド材料

ポリイミドとは、繰り返し単位にイミド結合をもつ高分子化合物のことであり、高強度(引張強度200~400N/mm²以上)、高防食性(耐酸性、耐アルカリ性、耐紫外線性、耐放射線性)等の特徴を持つ耐久性の高い材料である。また、材料と製法を調整することで鋼と同じ線膨張係数(12×10⁻⁶)とすることができ、他の耐久性材料に比べ安価な材料である。宇部興産(株)ではフィルムタイプや被膜タイプ等のポリイミド材料を開発しており、液晶テレビや携帯電話等の家電製品や通信機器のプリ

ント基板等に広く使用されている。また、耐熱性にも優れていることから航空宇宙分野でも多用されており、小惑星探査機「はやぶさ」の特殊断熱材(サーマルブランケット)として使用された実績も有している。ポリイミド材料は、過酷な環境においても高い耐久性を有しており、新しい防食材料としての活用も期待できる。

3. 防食仕様

本検討で使用する防食仕様を表-1および図-1に示す.ポリイミド材料は、フィルムタイプのUPILEX®(宇部興産製)と被膜タイプのU-ワニス(宇部興産製)の2種類を用いることとした.ポリイミド層の形成は、フィルムタイプは接着材により、被膜タイプは液体状のU-ワニスを塗布し、高温焼成して製膜する方法により行った.

4. プルオフ法による付着性試験

1) 試験要領

エポキシ樹脂塗料下塗とポリイミド層との付着強度を確認するため、プルオフ法による付着性試験(JIS K 5600-5-7)を行った。本検討では、試験片の防食仕様を表-1 の下塗までとし、ポリイミド層との付着に無関係な中塗および上塗は省略した。フィルムタイプの試験片は、耐熱性に優れて

衣一 I 的良仁惊						
	工程	塗 料 名	使用量 (g/m²)	膜厚 (μm)		
	素地調整	ブラスト処理(ISO Sa 2 1/2)	-	_		
工	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75		
場	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	-		
勿		ポリイミドフィル	ム			
塗		もしくは ポリイミト	被膜			
-	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120		
装	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30		
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25		
	合計	•		262. 5		

表-1 防食仕様

ポリイミドフィルム(接着材で貼付)、 ポリイミド被膜(ワニス焼成)

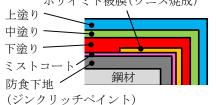


図-1 防食被覆構成

キーワード ポリイミド、接着剤、焼成、エポキシ樹脂塗料

連絡先 〒 755-8633 山口県宇部市大字小串字沖ノ山 1980 E-mail: 31856u@ube-ind.co.jp

いる基本グレードの UPILEX®-S と樹脂との接着性を向上させた UPILEX®-CA とし、接着には汎用両面粘着テープ NP203 (Dexerials (株)、 50μ m)を用いた。被膜タイプの試験片は、耐熱性や引張強度等に優れている高耐熱性タイプの U-ワニス-S と、S タイプに比べ低温・短時間で焼成が可能で、柔軟性や耐アルカリ性に優れている一般耐熱性タイプの U-ワニス-A とし、それぞれ 200 Cと 350 Cで焼成した。鋼道路橋塗装・防食便覧 「)には接着剤を用いた防食層の付着強度に関する規定がないため、塗料メーカーの自主基準値 $(2.0N/mm^2$ 以上)を本検討での評価基準とした。

2) 試験結果および考察

フィルムタイプの試験結果の一覧を表-2に示

す. 粘着テープを用いた試験片ではミストコートとポリイミドとの接着層全面で剥離し、塗膜に比べ、使用した粘着テープの付着強度が著しく低いことがわかった. 本検討で用いたテープは、汎用性の高い安価な製品であるため、今後、材料の選定方法について検討する必要がある.

また、エポキシ樹脂塗料とポリイミド層との付着強度の確認ができなかったため、フィルムの接着に強力接着剤を用いた試験片を作製した。その際、着目する界面に無関係な防食下地とミストコートは省略した。強力接着剤を用いた試験片ではエポキシ樹脂塗装の内部で剥離し、付着強度はUPILEX®-Sが 2.4N/mm²、UPILEX®- CA が 2.7N/mm²で、いずれも評価基準を上回った。試験

表一2 ノルオノ法による付着性試験結果(ノイルムダイブ)							
種類	UPILEX-S (12.5μm)	UPILEX-CA (12.5μm)	UPILEX-S (12.5μm)	UPILEX-CA (12.5μm)			
接着材	粘着	テープ	強力	接着剤			
写真 (代表)		0	2.5	3.(
剥離面 (模式図)	下塗り ミストコート 防食下地 鋼	強力接着剤 ポリイミド フィルム 粘着テープ	下塗り	強力接着剤 ポリイミド フィルム 強力接着剤			
付着強度 (平均)	0.8 N/mm2	0.8 N/mm2	2.4 N/mm2	2.7 N/mm2			
評価結果	_	8	0	0			

表-2 プルオフ法による付着性試験結果(フィルムタイプ)

表-3 プルオフ法による付着性試験結果(被膜タイプ)

品名	U-ワニス-S(200℃)	U-ワニス-S(350°C)	U-ワニス-A (200℃)	U-ワニス-A (350°C)
写真 (代表)	00	Q _s ,		
剥離面 (模式図)	下塗り ミストコート 防食下地 鋼	強力接着剤 ポリイミド被膜 (ワニス焼成)	下塗り ミストコート 防食下地 鋼	強力接着剤 ポリイミド被膜 (ワニス焼成)
付着強度 (平均)	5.6 N/mm2	4.7 N/mm2	4.9 N/mm2	6.2 N/mm2
評価結果	0	0	0	0

の結果より、防食層全体としての付着強度が接着 層に大きく影響を受けるものの、ポリイミド層と エポキシ樹脂塗膜との付着性は全く問題がないこ とがわかった.

被膜タイプの試験結果の一覧を表-3 に示す. すべてのタイプにおいて, エポキシ樹脂塗装の内部または強力接着層界面から剥離し, 付着強度は4.0N/mm²以上で評価基準を大きく上回った. フィルムタイプの強度の2倍程度であるが, これは試験片の塗装を異なる日に行ったため, エポキシ樹脂塗膜の厚さや乾燥程度に違いが生じたためではないかと考えられる. 被膜タイプの結果からも, ポリイミド層とエポキシ樹脂塗装との付着性は全く問題がなく, 防食被膜として構成できることがわかった.

5. 塩水噴霧サイクル試験

1) 試験要領

ポリイミド層の追加による防食性能の確認のため、めっきの耐食性試験方法(JIS H 8502)である塩水噴霧サイクル試験を行った。本試験では、ポリイミド材料を追加したトータルとしての被膜の耐久性を評価するため、表-1の防食仕様の上塗まで施工した試験片と、標準試験片(C5 塗装系)との比較によって評価することとした。

サイクル試験は表-4 に示すとおり、塩水噴霧:2時間、乾燥:4時間、湿潤:2時間を1サイクルとして実施した. 試験片は表-5 に示すとおり、標準試験片および4. と同様のポリイミドタイプとした. また、昨今、地球環境への影響を考慮し、低 VOC 塗料として水性塗料の積極的な開

発が期待されている背景を踏まえ、U-ワニス-S と U-ワニス-A の溶媒 NMP (N-メチル-2-ピロリドン) を水溶媒とした U-ワニス-1 と U-ワニス-2 を、 さらに、U-ワニス-S と U-ワニス-A の引張強度や耐アルカリ性等の平均的な性質を有している U-ワニス S+A を追加した.

2) 試験結果および考察

標準試験片とあわせ、特に高い防食性を発揮した試験片の試験結果を表-6 に示す. フィルムタイプではフィルムにより剥離部が引っ張られて連続化しているように見られ、それに起因して剥離が広がりやすいと考えられる. また、被膜タイプでも剥離部の連続化がみられるが、フィルムタイプより程度が小さい. ただし、標準試験片と比較し、ポリイミド層を追加したタイプはいずれも、さびの進展が小さかった.

また、3D スキャナーを使用し、表面形状(凹凸)を計測した結果を表 - 7 に示す. 計測する表面形状は、試験片洗浄後の塗膜の膨れ(高さ 0.1mm 以上)と、塗膜除去・ブラスト後の地鉄の欠損(深さ -0.2mm 以下)とし、それぞれ最大高さ(または深さ)、面積および体積を計測した.

計測の結果、フィルムタイプの UPILEX®-S では膨れ体積が、フィルムタイプの UPILEX®-CA では膨れの最大高さおよび体積が、標準試験片より大きな値となった。被覆タイプの U-ワニス-1 と U-ワニス-2 では、膨れの面積が標準試験片より大きな値となった。しかし、断面欠損に関しては、全ての試験片で標準試験片より小さくなっており、欠損率は 50%以下となっている。

サイクル試験の結果、ポリイミド層を追加する

表-4 試験条件

	項目	条件
1	塩水噴霧	5%NaCl 35°C 2hr
サイク	乾燥	20~30%R.H. 60°C 4hr
ル	湿潤	95%R.H. 50℃ 2hr

表-5 試験片一覧

No.	仕様	焼成 温度(℃)	溶媒	下地	
1	溶融亜鉛めっき	かっき -		_	
2	C-5塗装	_	-		
3	UPILEX-CA	_	-	ブラスト処理	
4	UPILEX-S	_	1	(ISO Sa 2.5)	
5	U-ワニス -S	350	NMP	+	
6	U-ワニス-A	350	NMP	無機ジンクリッチ	
7	U-ワニス-A	200	NMP	ペイント75μm	
8	U-ワニス-1	350	水	+	
9	U-ワニス-2	200	水	ミストコート	
10	U-ワニスS+A	350	NMP		

※No.3~10の下塗り,中塗り,上塗りは, C-5塗装系と同様とする.

ことで、腐食により塗膜が膨れやすい傾向にあるが、断面欠損の程度は標準試験片より大きく改善されることがわかった.

6. まとめ

ポリイミド材料自体と標準塗膜との付着性能 に問題はないことがわかった. また, ポリイミド を用いた防食材料は, 腐食の進行により塗膜が剥 離しやすい可能性があるが,防食性は大幅に向上することが期待できる.今後は,ポリイミドフィルムを貼り付ける接着材の選定や,ポリイミド被膜の焼成時の防食下地およびミストコートへの影響について検討する予定である.

参考文献

1)日本道路協会:鋼道路橋塗装・防食便覧,2007

表-6 サイクル試験結果一覧表

衣一0 サイクル試験結果一見衣									
試験No.	2	3	4	8	9				
タイプ	標準試験片	ポリイミ	ドフィルム	ポリイミ	ミド被膜				
217	C-5塗装系	UPILEX-CA	UPILEX-S	U-ワニス-1	U-ワニス-2				
1176hr	2 -		4	8 .					
2232hr	2	3 .	4	8	9				
3936hr	2	3.	4	8	9.				

表-7 表面形状(凹凸)の計測結果

		塗膜の膨れ(高さ0.1mm以上)			地鉄の欠損(深さ-0.2mm以下)		
No.	種類	最大高さ (mm)	面積 (mm²)	体積 (mm³)	最大深さ (mm)	面積 (mm²)	体積 (mm³)
2	標準	2.138	991	511	-0.781	237	68
3	UPILEX-S	1.733	810	519	-0.570	44	12
4	UPILEX-CA	2.236	965	681	-0.673	98	30
8	U-ワニス-1	1.315	1106	436	-0.504	26	7
9	U-ワニス-2	1.125	1089	375	-0.325	21	5

※着色部は標準試験片より優位なデータ得られた箇所を示す.

橋梁用高機能外装板の防食性能と設計風荷重

新日鉄住金エンジニアリング㈱ 〇藤川敬人 新日鉄住金エンジニアリング㈱ 立花周作

1. はじめに

鋼橋の維持管理において防食は非常に重要であり、従来は塗装や金属溶射などの環境 遮断被膜による直接的な防食が広く適用されてきた。特に沖縄や日本海沿岸などの厳し い塩害地では長期耐久防食は困難であった。また、平成26年7月1日施行の国交省令「道 路法施行規制の一部を改正する省令」で橋梁は5年に1度の近接目視点検がルール化され、 橋梁には点検・維持管理しやすい構造が求められている。筆者らは、高耐久の外装材に よって箱桁内面のような準密閉空間を作り、腐食環境を緩和することで間接的に防食す る機能とともに点検・維持管理用の足場防護工の機能を有する橋梁用高機能外装板を開 発した。これまで羽田空港D滑走路の桟橋・連絡橋(写真-1)や東京外環自動車道東北 線跨線橋(写真-2)などに適用され、長期耐久防食と恒久足場防護工の機能により構造 物の長寿命化に貢献してきた。この度、沖縄地区でも初採用(久米島町の銭田橋)され、 現在施工中である。

本報告では高機能外装板を最初に適用した千葉県君津市の製鉄所構内橋の内部空間で 実施中の鋼材暴露試験の10年目の評価をもとに防食性能について述べる。また、高機能 外装板の設計では風荷重が支配的になるため、羽田空港 D 滑走路工事において実施した 風洞実験などに基づき算定した高機能外装板の設計風荷重について報告する。





写真 - 1 羽田空港 D 滑走路桟橋・連絡橋の高機能外装板







写真 - 2 東京外環自動車道東北線跨線橋の高機能外装板

キーワード:外装板,防食,足場,風荷重,長寿命化

連絡先:〒141-8604 東京都品川区大崎 1-5-1 新日鉄住金エンジニアリング㈱ TEL03-6665-3370

2. 高機能外装板の概要

高機能外装板の足場材となる裏面パネルの断面を図-1、仕様を表-1に示す。高機能外装板は外皮材が高耐食の金属薄板(チタン・塗装ステンレスなど)、内皮材がガルバリウム塗装鋼板でその金属薄板の間にポリイソシアヌレート製などを成がが充填されたパネルと軽量形鋼などを成が充填されたパネルと軽量形鋼などを成けれる。パネル相互や床版、橋脚などを開れる。パネル相互や床版、橋脚などに関いる。パネル相互や床版、橋脚など同材質の高耐食金属製の目地板構造で所定の気密



図 - 1 裏面パネルの断面

名 称	内皮材	外皮材	芯材	寸 法	単位重量
チタンパネル		純チタン板 (0.4mm)		働き幅1000mm	10.0kg/m ²
ステンレス パネル	塗装鋼板	SUS塗装鋼板 (0.4mm)	ポリイソシアヌ レートフォーム	製品厚73mm	12.0kg/m²
ガルバリウム パネル	(0.6mm)	ガルバリウム 塗装鋼板 (0.4mm)		(設計寸法に切断)	12.0kg/m²

表 - 1 裏面パネルの仕様

性を確保できる構造となっている。本外装板の主な機能を以下に示す。

1) 防食機能

高耐食のパネルで鋼桁を覆い、風雨、飛来塩分、紫外線等の鋼材腐食・塗膜劣化因子を遮断し、かつパネルの断熱機能で結露を抑制することで内部空間の腐食環境を緩和して腐食を抑制する。

2) 恒久足場·防護工機能

鋼桁や床版下面、添加物などの近接目視点検やタッチアップなどの補修作業が常時可能な環境を提供でき、ボルトや剥落コンクリートなどの落下防止対策にもなる。予防保全型の維持管理が重要視されるようになっており、平成24年度改定の道路橋示方書には、維持管理の容易さに加えて、その確実性を考慮すること、供用期間中に予定する維持管理の方法や必要となる設備等について、橋の設計段階から適切に考慮することが規定されており、この高機能外装板はこのようなニーズに対応するものである。

3. 高機能外装板の防食性能

1) 防食性能確認実験の概要

調査対象橋の新日鐵住金㈱君津製鉄所構内 L-8 橋の現場状況を写真-3 に示す。本橋は 原料岸壁横の海水取水路上にあり、飛来塩分や粉塵が非常に多い、過酷な腐食環境にあ る。橋梁諸元を以下に示す。

構造形式:単純合成床版橋 (パネルブリッジ)、床版:鋼・コンクリート合成床版

橋長:13.640m、全幅員:5.600m、使用鋼材:SM400A、SM490Y

防食:高機能外装板 (チタン仕様) +変性エポキシ樹脂塗料 120 μ m×2 層





写真 - 3 調査対象橋の現場状況

本橋は2003年10月に完成し、1年間は外装板の内部、外部の温度、湿度のモニタリングを実施した。また、内部空間で腐食速度を観測するために、表-2に示す表面処理をした暴露試験片を各4枚設置し、現在も継続中である。(写真-4)

表 - 2 暴露試験材の仕様

	表面処理
試験片1	ブラスト (SS400 裸材)
試験片 2	無機ジンクリッチプライマー15μm
試験片3	変性エポキシ樹脂塗装

2) 温度・湿度の状況

外装材で覆われた内部空間と桁外の 平均温度の年変化はほぼ同様であるが、 日変化は内部空間の方が小さく、急激な 温度変化が生じにくく、結露が発生しに くいことが確認できた。図-2 に内外の 相対湿度の年間変化を青線は外部,黒線 は内部を示す。測定当初1ヶ月間は、桁 端部から外装材内に漏水があったため、 内部空間の相対湿度は 95%程度の高い 状態であったが、漏水対策と家庭用除湿



写真-4 試験片の設置状況(2003.10)

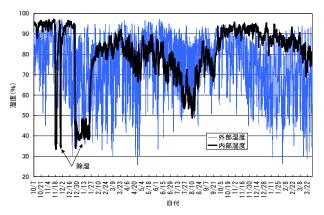


図-2 内外の相対湿度の年変化

機により除湿を図り漏水影響を除去した。1年を通して、外部の相対湿度が約30~95%と変化しているのに比べて、内部の相対湿度は約50~90%と変化幅は小さい。桁内外の温度差などで生じる圧力差によって水蒸気(湿気)や空気の移動があると考えられる。

3) 防塩機能

飛来塩分に対する遮断性能を確認するために、外装板で覆われた内部空間と外面(側面、底面)の付着塩分を表面塩分計と拭取法により測定した。その測定結果を表-3に示す。測定方法によって結果に相違はあるが、外装材の外面に大量の塩分付着を確認したが、内部空間の飛来塩分の侵入は高機能外装板により防いでいる。

4) 鋼材暴露試験

写真 - 5 に試験片 1 の 10 年間の外観変化を示す。若干の点さびが発生、増加しているが、腐食の進展が極めて遅いことがわかる。一方、無機ジンクリッチプライマーや塗装を施した試験片は、10 年間で外観の変化もなく、マイクロスコープ観察でも塗装の劣化による微細クラックやチョーキング

表-3 塩分付着量 (単位:mg/m²)

	内部空間	外面
表面塩分計	0~22	460~2000
拭取法	0~47	498~647







2003.12

2004.12

2013.8

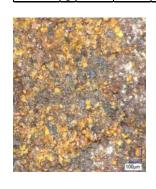
写真 - 5 試験片1の腐食変化

も認められなかった。試験片1について、 初期と回収・洗浄後の重量変化量と、試験 片面積 (239.4c ㎡)、暴露年数 (9.6 年) か ら全面が均一に腐食したと仮定した場合の 減肉量と腐食速度を表 - 4 に示す。腐食速度 は、年間 1μm 未満であり、100 年に単純換 算しても減肉量は 0.1mm 未満となる。

一般的に、大気中における鋼材腐食は、 大気に曝される期間が長くなるにつれて、 さびが、点状→島状→皮膜状→層状と徐々 に成長していくが、今回の試験片は約 10 年間暴露したにも関わらず、さびは島状であり、さびの横方向への成長は遅い。写真-6 に島状さびをマイクロスコープにより観察 した表面の詳細状況を示す。洗浄前では球

表 - 4 試験片1の減肉量と腐食速度

仕様	番		重量(g)		重量変化(g)	減肉量	腐食速度
1上作来	ଟ	初期	回収後	除錆後	(初期-洗浄後)	(µ m)	(µ m/年)
ブラスト処理	1	256.925	256.8551	256.673	0.252	1.44	0.15
(Sa2.5)	2	256.839	255.7639	255.6123	1.227	7.02	0.73





洗浄前

洗浄後

写真 - 6 試験片1の表面詳細

状の腐食生成物が確認できた。腐食生成物を洗浄した後は、ブラスト処理によって形成された高さ $20\sim30\mu m$ 程度の凹凸(アンカーパターン)が確認でき、腐食によって生じたと区別できるような食孔は確認できなかった。島状さび部での腐食による減肉の程度は、大きくても 10 年間で $20\sim30\mu$ m 程度と考えられ、深さ方向への腐食の進行も極めて遅いと推測できる。

5) 防食性能評価

重量変化から求めた腐食速度は、全面が均一に腐食したと仮定して算出した場合、 $1\mu m$ /年未満であり、ISO9223 で分類される腐食度のカテゴリーとしては、最も腐食環境がマイルドな C_1 ($1.3\mu m$ /年以下) に分類される。腐食度のカテゴリーが C_1 の場合、同 ISO でカテゴリー分類されている鋼材のぬれ時間は、 $\tau_1:10$ 時間/年未満もしくは、 $\tau_2:10$ ~250 時間/年未満となる。海に面し、しかも製鉄所構内に設置されている L-8 橋は、腐食を促進する海塩粒子や SO_2 、 NO_X 、 H_2S 等に曝されているはずであるが、高機能外装板がそれらの腐食因子の侵入を遮断し、断熱効果により結露抑制によりぬれ時間も短くなることから、腐食が抑制されたと判断できる。

鋼箱桁内部の腐食環境に関する既往報告 2)~4)では場合により相対湿度が 100%に達することがあるが、鋼材表面に飛来塩分など不純物付着量が少ない準密閉空間では鋼材の腐食速度は非常に小さいことが確認されている。高機能外装板で囲われた内部には不純物の侵入がほぼ完全に遮断され、断熱効果により相対湿度も最大 95%程度以下で鋼材表面のぬれ時間が極めて短く、より防食性能が高い。

4. 高機能外装板の設計風荷重

橋梁の側面、裏面部に設置される高機能外装板の設計では風荷重が支配的になる。日本道路協会の道路橋示方書および道路橋耐風設計便覧には、橋梁本体構造を設計するための水平方向の風荷重が定められているが、局所風圧が問題となる外装材などの規定はない。一方、日本建築学会の建築物荷重指針・同解説(以下、指針とする)では屋根材、壁材などの外装材の風荷重が規定されている。指針の外装材用の風荷重算定法は 2004 年

に大幅に改定され、基本的な建築物の屋根、壁各部位についてピーク外圧係数の標準値が与えられている。羽田空港D滑走路工事においては、橋梁の特徴を把握するために写-7 に示す風洞実験を実施し風荷重を算定した。高機能外装板の設計風荷重(図-3)は指針や実験結果にもとに標準化し、側面部のピーク外圧係数は風上側・正圧 3.0、風下側負圧 1.5 とした。側面部下端から剥離した流れが作る渦の影響がある裏面部の端部は最大の負圧 4.0、一般部は 1.5、裏面部端部の範囲は指針と同様に構造幅(全幅 B)の 10%範囲とした。





写真 - 7 風洞実験による風圧測定

写真 - 8 側面パネルの風圧試験

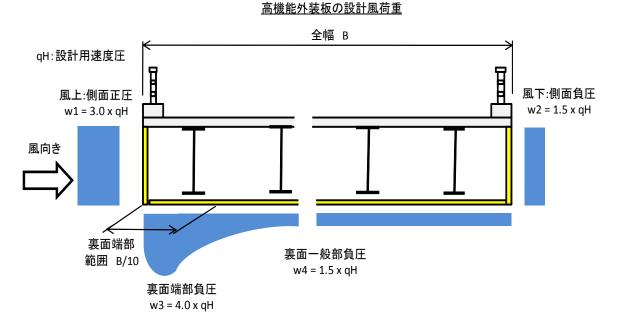


図-3 高機能外装板の設計風荷重

以下に沖縄地区の以下の条件の橋梁の高機能外装板の設計風荷重算定例を示す。

1) 橋梁立地条件

道路橋耐風設計便覧の高度および地表粗度に関する補正係数

15m<高度(z) ≦20m, 地表粗度区分= I (海岸・海上) E1=1.29

2) 設計基準風速 Ud

基本風速,沖縄地区 U10=45m/s より

$$Ud = U_{10} \times E_1 = 45 \times 1.29 = 58m/s$$

3) 設計用速度圧

$$q_H = \frac{1}{2} \times \rho \times Ud^2$$

ここに、ρ:空気密度=0.125kgf·s²/m⁴

$$q_H = \frac{1}{2} \times 0.125 \times 58^2 = 210 kgf / m^2 = 2.06 kN / m^2$$

となる。

4) 設計風荷重

側面正圧 $w1 = 3.0 \times q_H = 3.0 \times 2.06 = 6.18kN/m^2$

側面負圧 $w2=1.5\times q_H=1.5\times 2.06=3.09kN/m^2$

裏面端部負圧 $w3=4.0\times q_H=4.0\times 2.06=8.24kN/m^2$

裏面一般部負圧 $w4=1.5\times q_H=1.5\times 2.06=3.09kN/m^2$

上記のとおり、局所風圧を想定した高機能外装板の設計風圧は平均的な風圧を想定した橋梁本体の風荷重より、かなり大きな値となる。写真-8 に側面パネルの風圧荷重試験の状況を示す。高機能外装板はパネルの耐力に応じて支持金具を配置することで上記の大きな設計風圧を考慮した設計が可能である。

5. おわりに

以上、高機能外装板を適用した鋼橋の防食性能と高機能外装板の耐風設計について述べた。鋼橋を多機能外装板で覆う新しい構造形式は、構造体を防食や景観性への制約を無くして最適化することができ、新設橋だけでなく既設橋の補修・補強を行う上でも有用である。また、従来の化粧板などの華奢な構造と違い、提案する耐風設計法で沖縄地区など台風襲来地でも適用可能である。恒久足場・防護工機能により、維持管理性能にも優れる本技術が鋼橋の日々の保守活動の安全確保に役立ち、LCC削減、長寿命化にも貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 藤川敬人,野呂直以,七浦恒康,石原達也,野口孝俊:新しい鋼橋防食法としてのチタンカバープレート工法の性能確認,橋梁と基礎,2008 年 6 月号
- 2) 廖金孫,松井繁憲,串田守可,篠原正,藤野陽三:準密閉環境における一般構造用鋼の大気腐食,材料と環境 54,pp.383~390(2005)
- 3) 藤野陽三,上田雅俊,遠藤遵:鋼ボックス内部の腐食環境と防錆について,構造工学論文集, Vol.36A, pp.1021~1033 (1990.3)
- 4) 松井繁憲, 寺西功, 三田哲也, 藤野陽三: 鋼箱桁内部防錆実験の報告, 鋼構造論文集, 第2巻 第7号, pp.63~71
- 5) 藤川敬人:鋼橋長寿命化への一提案, 土木施工 51(5), pp.13~16, (2010-05)
- 6) 藤川敬人, 岡本有造, 石原孟, 野口孝俊:羽田D滑走路桟橋部カバープレートの風荷 重算定について, 土木学会第62回年次学術講演会(平成19年9月)
- 7) 建築物荷重指針・同解説 日本建築学会(2004)