

戦-56 塩害橋の予防保全に向けた診断手法の高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 25

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：木村嘉富、田中良樹、
花井拓

【要旨】

塩害環境下にある橋梁の鋼材腐食に起因する損傷については、従来の研究により劣化予測手法が提案されているが、劣化機構については未だ解明されていないところも少なくはない。予防保全に向けた的確な診断を行うためには一定の信頼性を有する予測手法の確立が急務である。本研究課題では、塩害環境の厳しい場所に建設されている橋梁に着目した調査を通じて、劣化予測手法の検証とさらなる高度化に取り組んでいる。平成 22 年度は、新設橋脚の初期物性値の取得、既設橋脚の鉄筋腐食状況の確認、コンクリート橋上部構造への付着塩分と海象・気象条件との関係について調査を実施した。

キーワード：塩害、予防保全、沖縄、劣化予測、鋼材腐食

1. はじめに

塩害環境下にある橋梁の鋼材腐食に起因する損傷については、従来の研究により、コンクリート内部への塩分浸透や鉄筋の腐食進行といった劣化の予測手法が提案されているが、未だ解明されていないところも少なくはない。予防保全に向けた的確な診断を行うためには一定の信頼性を有する予測手法の確立が急務である。このためには、個別の橋梁に関して、劣化に関する初期の品質・現地の環境条件はもとより長期にわたる状態観測結果が不可欠となるが、そのような一貫したデータ蓄積はほとんどされていない。したがって、橋梁の建設時から必要な初期データを獲得しつつ、あわせて長期にわたる状態観測結果が得られる環境整備を行うとともに、多数の実橋梁に対する臨床的アプローチにより塩害実態に関するデータを集積・分析し、既往の劣化予測手法の検証及び高度化について検討を行う必要がある。

土木研究所は、平成 21 年度より沖縄県の塩害環境下の橋梁を 100 年以上にわたって供用するための維持管理手法を確立することを目的として、同県と協力協定を結んでいる。この協力協定の下で、沖縄県が多数保有している離島架橋を調査フィールドの一つとして研究を進めることとした。

本研究課題では、前述したようなデータの集積と分析を行い、劣化予測手法の検証とさらなる高度化に取り組んでいる。平成 22 年度は、新設橋脚の初期物性値の取得、既設橋脚の鉄筋腐食状況の確認、コンクリート橋上部構造への付着塩分と海象・気象条件との関係につい

て調査を実施した。

2. 新設橋脚の初期物性値の取得

沖縄県の宮古島と伊良部島を結ぶ離島架橋、伊良部大橋は現在建設中であるが、当該橋においては、経年的な材料物性の変化をモニタリングすることを目的として、将来コアサンプリングが可能となるように一部の橋脚（P21、P41）でかぶり厚を厚く（+120mm）している。



写真-1 試料採取前の伊良部大橋 P21 橋脚

この P21 橋脚（写真-1）のかぶり部分からコアを採取（コンクリート打設より約 1 年経過）し、コンクリートの初期物性について調査を行った。主に、外来塩分の内部浸透に影響を及ぼす物性を調査対象とし、以下の調査を実施した。

- 1) 圧縮強度試験（静弾性係数も測定）
- 2) 塩化物イオン濃度（JISA 1154 全塩化物イオン）

- 3) RCPT 試験
- 4) 中性化深さ
- 5) 細孔量測定
- 6) 細孔径分布

圧縮強度は平均で 47.6N/mm^2 で設計基準強度 (27N/mm^2) を満足しており、静弾性係数の平均値 31.5kN/mm^2 も、圧縮強度に対して一般的な値となっていた。

中性化深さは $1.0\sim 3.0\text{mm}$ で、新設橋ということもありほとんど進行していないが、コンクリート標準示方書⁹⁾に示される中性化速度から求められる中性化深さ (2.3mm) よりも若干大きい値を示す場所もあった。

図-1 に採取したコアを分析することによって得られた塩化物イオン濃度分布を示す。それぞれのコアの採取位置は、海面 (H.W.L) より $+1\text{m}$ 、 $+3.3\text{m}$ 、 $+5.6\text{m}$ である。完成後間もないため、深い位置では塩分浸透はほとんど見られないが、海面付近の方が、それよりも高い位置に比べて表面付近の塩化物イオン量が高いことが見て取れる。

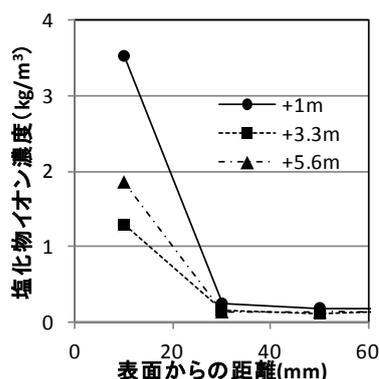


図-1 塩化物イオン濃度分布

平成 23 年度は、新たに施工される P41 橋脚での初期値の取得を計画している。

3. 既設橋脚の鋼材腐食状況調査

沖縄本島北西部の離島架橋である S 橋 (S59 完成) は、冬場の季節風などにより厳しい塩害環境にさらされており、その橋脚には塩害によって鉄筋の腐食、かぶりコンクリートの浮きが生じている (写真-2)。平成 21 年度は、海岸線付近に位置する P11 橋脚を対象とし、高さ方向、周方向の違いによる、橋脚内部の塩化物イオン濃度分布、表面付着塩分についての調査を実施した。当該橋脚で浮きの生じていたコンクリート部分については、平成 22 年度に実施された耐震補強工事の際に、撤去・断面修復

が行われた。この機会を利用し、浮き部の内部鉄筋の腐食状況について調査を実施した。



写真-2 調査対象の橋脚 (S 橋)

平成 21 年度に実施した塩分調査結果と、浮きが確認された箇所と比較を図-2 に示す。鉄筋近傍位置 ($60\sim 80\text{mm}$ 、実際の純かぶりは帯鉄筋で約 $75\sim 85\text{mm}$ 、主筋で約 95mm) の塩分量が 2.5kg/m^3 以上の箇所では浮きが生じていたことが確認できる。

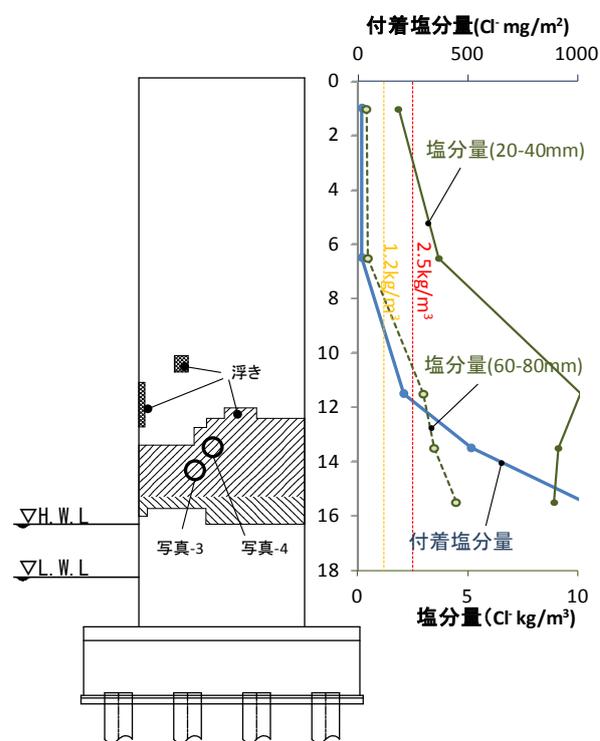


図-2 P11 浮きの範囲と塩分量分布 (海側)
(グラフの高さ方向の単位は m)

鉄筋の腐食状況調査では、目視（写真撮影）と、ノギスによる残存鉄筋径の計測を実施した。調査箇所は、海側、陸側それぞれの大きにかぶりが浮いている範囲（橋脚天端-12～-16m）とした。写真-3に、鉄筋の腐食状況を示す。一部の帯鉄筋では既に断面が消失していた。表-1に、ノギスにより計測した直径の最小値から求めた残存面積、公称直径から求めた公称面積により、断面減少率を算出した結果をまとめる。主筋に対して、帯鉄筋の断面減少率が多い。これは、帯鉄筋のかぶりが小さいことに加えて、主筋径 D19 に対して帯鉄筋径 D13 と、帯鉄筋の方が比表面積が高く、腐食の進行による断面欠損が早かったことが想定される。



写真-3 鉄筋腐食の状況（海側天端-15m 付近）

表-1 鉄筋断面減少率（海側）（%）

	主筋	帯鉄筋
最小	2.0	3.1
最大	46.3	89.8
平均	20.9	50.2

浮きの確認された箇所では、主に鉄筋の配置面に沿った面的なひび割れが生じていたが、当該範囲の上部では、鉄筋直上のコンクリート表面に鉄筋に沿ったひび割れが出ているケースも確認された（写真-4）。鉄筋腐食に伴うひび割れの発生原理やひびわれ性状に関する研究は多く行われているが、主鉄筋が密に配置されたはりのような場合は、鉄筋配置面に沿った面的なひび割れが生じることを確認している事例もある²⁾。当該橋梁の浮きの確認された範囲は、橋脚の断落とし部に位置しており、密に配筋されている下部（主筋ピッチ 125mm）では面的な浮き、上部（同 250mm）では鉄筋に沿ったひび割れが生じていると考えられる。

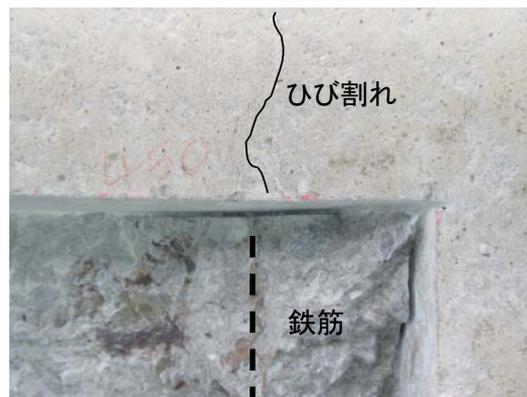


写真-4 主筋に沿ったひび割れ（海側天端-13m 付近）

4. コンクリート橋上部構造への付着塩分と気象・海象条件の関係調査

H 橋は、沖縄北西部の海岸線に架かる PC 橋であり、冬期には北からの季節風の影響もあり激しい塩害環境にある。当該橋においては、平成 21～22 年度に、上部構造の表面付着塩分量調査を行うと同時に、風向風速計による風観測、ビデオによる波浪のモニタリングを実施した。周辺地形の状況と計測機器の設置位置を写真-5に示す。風観測・ビデオ観測の期間は平成 22 年 3 月 25 日から平成 23 年 2 月 16 日とした。



写真-5 H 橋周辺地形と計測機器設置箇所
（ビデオの△の向きは撮影方向を示す）

（出典：Google Map）

ビデオモニタリングでは、飛来塩分と関連しそうな白波の発生状況に着眼し、6時から18時の間の毎正時後1分間程度の間白波発生の有無を整理した。写真-6はビデオモニタリングで確認された白波の発生状況である。図-3は、モニタリング期間中に白波の観測された回数を風向・風速別に整理したものである。白波の観測は北東から北西の風の時に主に観測されており、特に北北東から北の風の時に多く確認されている。



写真-6 白波の発生状況 (潮位: 187cm、風速 10.1m/s)

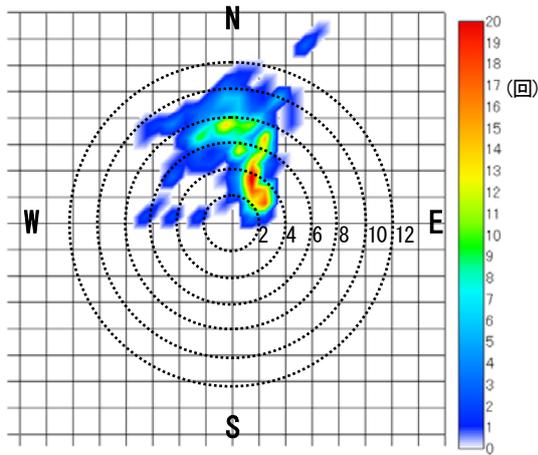


図-3 白波確認頻度 (風向・風速で整理)

図-4 は観測期間中の風向別の積算風量(60分間の平均風速に3600秒を乗じた値を風向別に積算したもの)と観測頻度を示す。観測期間を通じて、南よりや東北東の風が発生しているものの、積算風量としては北北東から北北西が卓越しており、冬期のこの風向が高い風速で吹いていることが分かる。

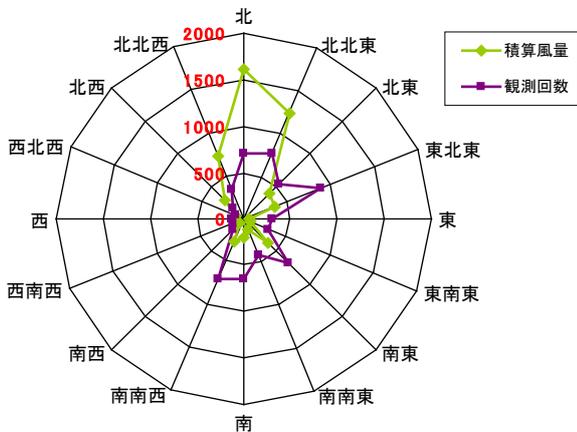


図-4 風向別積算風量 (m/s・s)

図-5 に付着塩分量の調査観測点を示す。調査は、蒸留水に浸したガーゼでの拭き取りによる。図-6 は、平成22年3月の拭き取り後、約10ヶ月後の平成23年1月時の表面付着塩分量である。両桁端とも海側のウェブと下フランジの塩分量が多くなっている。これは図-3、図-4にあるように、橋の手前(海側)で海水飛沫を生じるような白波が発生することや、強風の発生が北よりの風によって生じることが原因と考えられる。また、桁端部の比較では、A2側の付着塩分量がA1側に比べて高くなっている。これは、図-7にあるように同橋が斜橋(斜角約70°)となっており、北北東から北北西にかけての風がA1橋台の影になって、A1側の桁端部に当たりにくいためと考えられる。

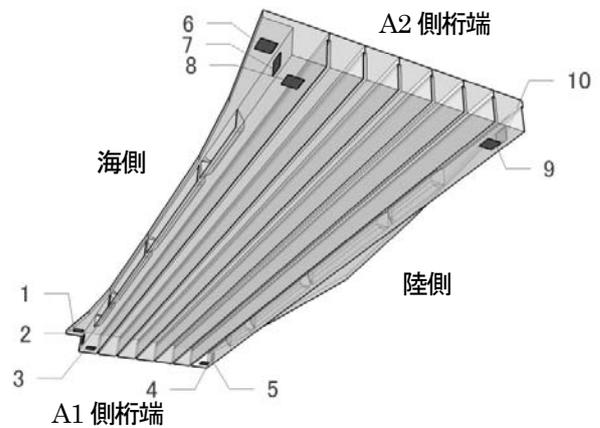


図-5 表面付着塩分採取箇所

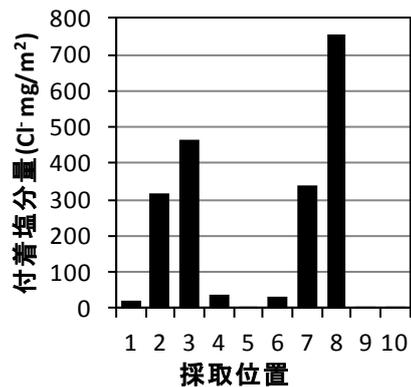


図-6 表面付着塩分量

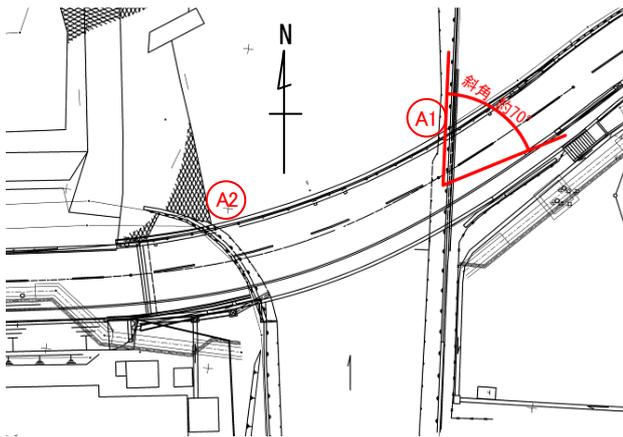


図-7 H橋平面図

5. おわりに

新設橋脚の物性値については、伊良部大橋のP21より試料を採取し計測を行ったが、平成22年度に施工されるP41についても同様の調査を行い、今後の物性値の変化についてモニタリングして行く上での基礎資料とする予定である。

既設橋脚の含有塩分量等と劣化の関係について調査を実施し、当該橋脚においては含有塩分量とコンクリートかぶり剥離に相関があることが確認された。今後は、異なる環境における橋脚での調査を行い、気象・海象条件、周辺地形条件などが、橋脚への塩分付着にどのように影響するかを確認する計画としている。

上部構造についても、付着塩分量と、砕波による白波の発生、積算風量との関係について調査した。今後は、異なる環境下にある橋梁での付着塩分量について調査するとともに、室内試験によって実橋の付着塩分量を再現し、これがどのようにコンクリート内部に浸透していくのか、また水洗いなどによって、どの程度この浸透が抑えられるのかといった視点で調査を進めていく予定である。

謝辞：沖縄県の方々をはじめ、本調査にご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2007
- 2) 松島学，関博，横田優：塩害を受けるコンクリート構造物の劣化予測，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，2002，1507-1512

STUDY ON ENHANCED DIAGNOSTICS TOWARD PREVENTIVE MAINTENANCE OF BRIDGES AGAINST CHLORIDE-INDUCED DETERIORATION

Abstract : Previous researches introduced some prediction methods for deterioration caused by corrosion of steel members of bridges under chloride environment. However, the deterioration mechanism, such as chloride penetration and corrosion rate of steel member, is not fully understood. In order to provide diagnosis toward preventive maintenance, establishment of the prediction methods with certain reliability is expected. This research project tackles the verification and enhancement of the prediction methods through studies focusing on the bridges under severe environment. In FY2010, surveys of initial material property of newly constructed bridge pier, corrosion state of reinforcing bars in existing bridge pier, and relation between chloride contents on the surface of superstructure of concrete bridge and meteorological or maritime environment, were conducted.

Key words : chloride-induced deterioration, preventive maintenance, Okinawa, deterioration prediction, corrosion of steel members