

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 21 年度は、撤去橋脚を用いた鉄筋腐食調査、海岸線付近の橋梁の塩分調査を実施した。

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。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 年余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、塩害環境の厳しい場所に建設されている橋梁に着目し、実橋梁に関して初期の品質・現地の環境条件、長期にわたる部位・部材の状態観測を行う環境整備、既往の多数の実橋梁に関する塩害の実態について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 21 年度は、撤去橋脚を用いた鉄筋腐食調査、海岸

線付近の橋梁の塩分調査を実施した。また、沖縄県との連携プロジェクトにおいて、本課題における検討の方向性を示した。

2. 撤去橋脚を用いた鉄筋腐食調査¹⁾

塩害対策において、適切なかぶりの確保は、鉄筋位置の塩化物イオン濃度を一定期間内に腐食発生限界値以下に抑制するという点で重要である。かぶりの重要性のもう一つの視点として、上部構造と下部構造のかぶりの違いのように、かぶりが大きく異なる場合に、単に塩化物イオンの到達時間の違いだけでなく、酸素供給量の違いによる腐食発生限界値の違いが生じる可能性も考えられるが、その実態は必ずしも明確でない。

この点について検討するため、沿岸部から撤去された橋脚を用いて、下部構造の鉄筋腐食調査を実施した。写真-1 に示す橋脚は、日本海沿岸部に架設された PC 橋の橋脚であり、上部構造の塩害により竣工後 34 年目に撤去された。写真は供用終了後の外観である。橋脚柱部に腐食による浮きや剥離が見られた。撤去に際して、図中の破線部を入手して、主鉄筋 D25,40 本、帯鉄筋 D16,41 本を橋脚側面の四方八方からコア抜きにより取り出し、鉄筋周囲のコンクリート中の塩化物イオン濃度、かぶり、鉄筋の腐食状況について調査を行った。塩化物イオン濃度(全塩分)は、鉄筋の前後 26mm(主鉄筋は 30mm)のコンクリートを切り出して測定した。かぶりは、採取したコアの側面で測定した。

図-1 に、それらの結果を示す。鉄筋の腐食程度は、か

なり重度、重度、軽度、ごく軽度(施工時のものと考えられるものを含む)の4段階に分類した。図中、個々の記号に黒丸を重ねたものは、コア採取した箇所に浮きが生じていたことを示す。また、図-2に、海側及び陸側の塩化物イオン濃度分布の測定結果を示す。この橋脚の場合、コンクリート中への塩化物イオンの浸透は、海側、陸側で顕著な差が見られなかった。帯鉄筋のかぶりは25~151mmであり、組み立てられた鉄筋と型枠の位置が大きくずれていたようである。剥離が見られた面は、かぶりが相対的に小さかった部分であった。当然ながら、塩化物イオン濃度はかぶりが小さいほど高い傾向にある。塩化物イオン濃度が2.5kg/m³以下では外来塩分によると考えられる腐食は見られなかった。2.5~6 kg/m³の範囲では、かぶりが大きい方が腐食の程度が軽微である傾向が見られた。



写真-1 撤去直前の橋脚の損傷状況と撤去後のブロック

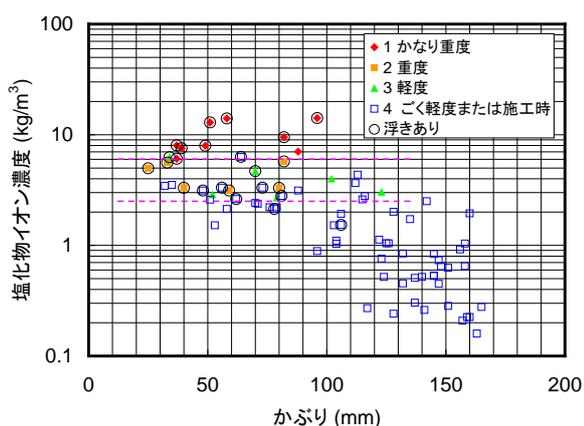


図-1 撤去橋脚のコア抜き調査結果(鉄筋周囲の塩化物イオン濃度、かぶり)と鉄筋の腐食状況の関係

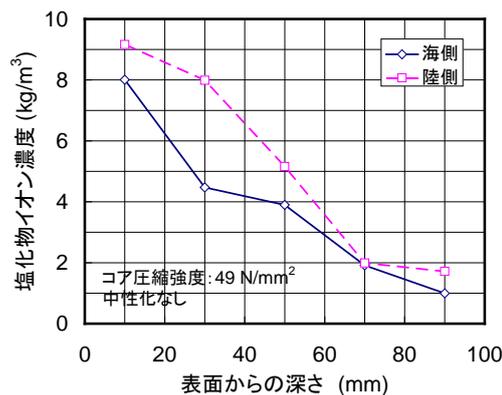


図-2 撤去橋脚の塩化物イオン濃度分布

3. 海岸線付近の橋梁の塩分調査

海岸線付近のコンクリート構造物において、飛沫帯付近及び、飛沫帯からの高さ方向についての塩分分布は、予測式の中の表面塩化物イオン濃度 C_0 の分布として与えられている²⁾。実際には、様々な塩害環境によって塩分の分布は変化するものと考えられる。こういった、汀線からの離隔による塩分状況調査を調査する目的で、沖縄県の海峡部に建設されている橋脚、海岸線に沿って建設されているコンクリート橋上部工における塩分状況の調査を開始した。

3.1 海中橋脚の調査

写真-2に調査対象とした橋脚と橋梁の全景を示す。調査内容は、コア採取による内在塩分量、中性化深さの確認、ガーゼ拭き取りによる表面付着塩化物測定とした。調査位置を図-3に示す。



写真-2 調査対象の橋脚 (S橋)

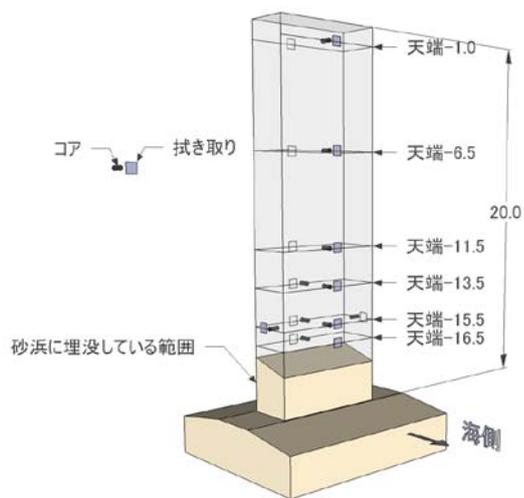


図-3 内在塩分量・中性化深さ・表面付着塩化物
の調査位置図 (単位: m)

(1) 高さ方向の塩分分布

調査結果の高さ方向分布を図-4に示す。海側面と陸側面について、それぞれ表面塩分濃度 C_0 、拡散係数 D_c 、付着塩分量、中性化深さについて整理した。 C_0 、 D_c については、調査によって得られた深さ方向の塩分分布をFickの拡散則に則った分布式(以下、「Fick分布式」)に近似させて求めた。 C_0 、 D_c 、表面塩化物量ともに海面からの高さが高くなるに従って減少する傾向は一致している。逆に、中性化深さは、海面からの高さが高くなるに従って高くなる傾向にある。中性化は、コンクリートが乾燥した状態で進行することが知られており、今回の調査結果と整合している。

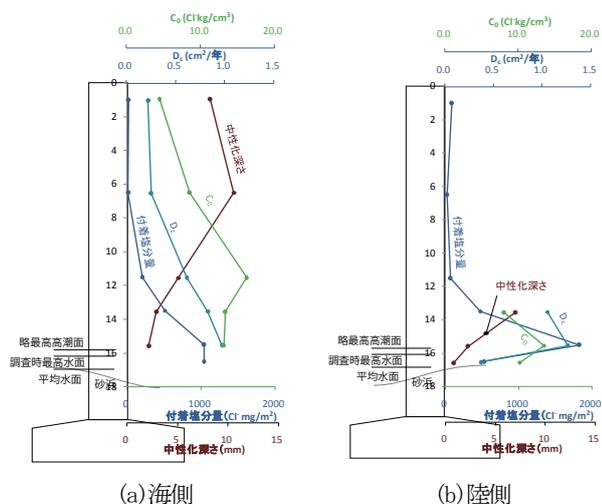


図-4 表面塩分濃度 C_0 、拡散係数 D_c 、表面付着塩分量、
中性化深さの高さ方向分布

(2) 周方向の塩分分布

橋脚天端から-15.5mの位置での各面の調査結果を図-5に示す。 C_0 は方向によらず一定の値であったが、 D_c は南側で小さな値を示している。

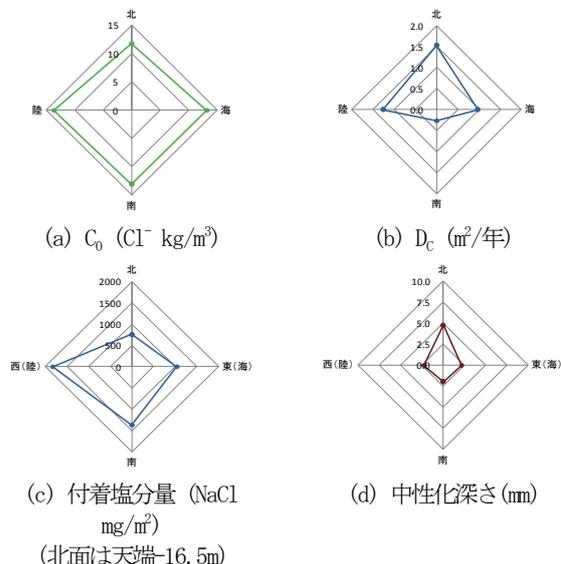


図-5 表面塩分濃度 C_0 、拡散係数 D_c 、表面付着塩分量、
中性化深さの周方向分布

3.2 上部構造の調査

コンクリート橋上部構造の表面に付着する塩分量に関連があると考えられる、地形的要因、構造物の幾何形状、気象条件などの影響を調べるために、沖縄本島北部の海岸部の橋梁上部構造で、表面塩化物の拭き取り調査を行った。調査対象橋梁は北向きの海岸線上にあり、冬季の季節風にさらされるため、非常に厳しい塩害環境にある橋梁であると言える。

調査では、ガーゼ拭き取りにより表面付着塩分量を1ヶ月おきに計測した。調査対象橋梁の周辺地形状況を図-6に、調査位置を図-7に示す。



図-6 調査対象橋梁周辺地形の状況 (H橋)

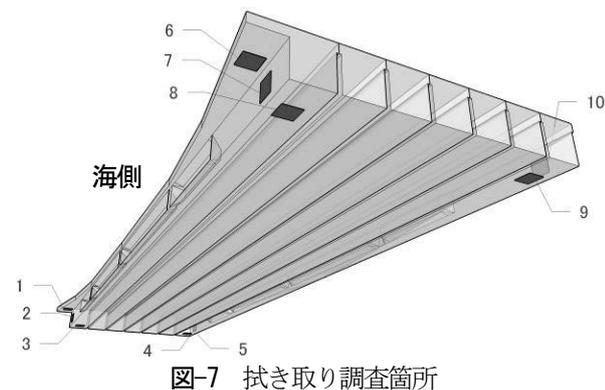


図-7 拭き取り調査箇所

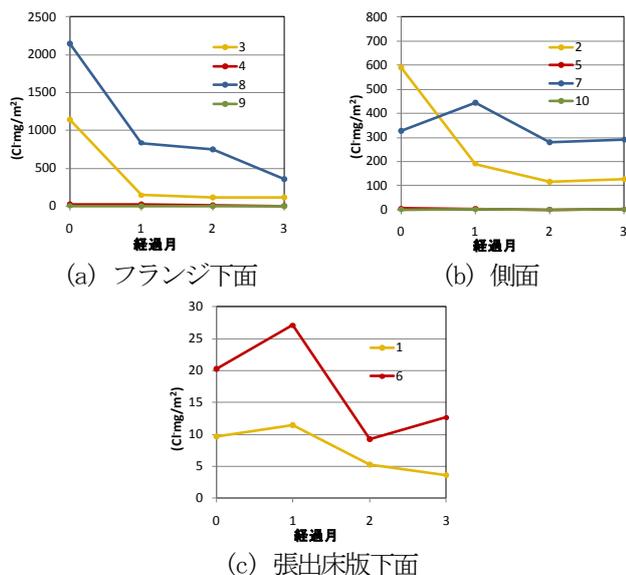


図-8 表面付着塩分量の調査結果

(1) 調査結果

図-8 に、表面付着塩分量の調査結果を部位毎に示す。海側のフランジ下面 (3、8)、側面 (2、7) ではかなり高い塩分が検出された。

4. 沖縄県との連携プロジェクト

4.1 プロジェクトの概要²⁾

「沖縄県離島架橋 100 年耐久性検証プロジェクト」は、沖縄県が整備・管理する離島架橋の健全度調査を通して、100 年余供用するための維持管理手法・技術基準の確立を目指し、沖縄県、(財) 沖縄県建設技術センター、土木研究所の三者が締結した協力協定である。

4.2 離島架橋の長寿命化

「道路橋の塩害対策指針(案) (1984 年) が制定される以前に、沿岸部の厳しい塩分環境に建設された橋のこれまでの傾向として、上部構造で 10~15 年程度で塩害による錆汁やひび割れが見られ始めるのに対して、下部構

造では、30~40 年程度で顕在化している¹⁾。道路橋の下部構造が上部構造よりも塩害に対する耐久性が高かったのは、かぶりの違いが大きい(図-9)。

規定	1984年(指針案)		2002年(道示改訂)
	上部 30 mm 下部 70 mm*	上部 70 mm 下部 70 mm	上部 70 mm+塗装鉄筋等 下部 90 mm+塗装鉄筋等
上部構造	かぶり規定どおり 10~15年で塩害顕在化 30年程度で架換え	かぶり規定どおり 劣化の兆候なし または軽微	かぶり規定どおり
下部構造	かぶり70~80mm程度 30~40年で塩害顕在化		かぶり規定どおり

維持管理において注意が必要

*) 1980年以前はコンクリート標準示方書による

図-9 既設コンクリート橋のかぶりと塩害劣化のイメージ(塩害対策地域 A、B、海上部及び海岸線から 100m までの範囲)

沖縄県では、1979 年以降に建設された、多くの離島架橋の長寿命化を実現していく必要がある。海洋環境であることから、塩害対策が長寿命化の最優先課題である。特に、沖縄の離島架橋は、比較的浅瀬に多数のコンクリート橋脚を建設したものが多い(写真-3)。CAESAR では、図-9 に示した背景や本研究における調査結果を踏まえて、塩害に対する予防保全、効率的な補修・補強の優先順位付けを検討する。

また、沖縄県においても、既設の離島架橋やその近傍に設置された暴露供試体を用いて、コンクリートの耐久性検討のための調査を予定している。



写真-3 離島架橋の橋脚群(上: 池間大橋、下: 来間大橋)

4.3 伊良部大橋における調査計画

沖縄県の宮古島と伊良部島を結ぶ離島架橋、伊良部大

橋が現在建設中である。沖縄県との連携プロジェクトにおいて、この伊良部大橋を利用してコンクリート性能長期モニタリングを行う計画としている。

(1) 暴露試験体の設置

塩害およびASRに着目し、伊良部大橋の実工事と同じ生コンを用いた供試体を作製し、実橋と同様の塩害を受ける環境で長期暴露を行い、耐久性に関する調査を行う。

設置場所は、伊良部大橋海中道路部被覆ブロック上を予定している(図-10)。暴露期間は100年を予定しており、当初、5年目、10年目、その後は10年ごとに計測を行う。調査項目は、外観調査、超音波伝播速度、コンクリート膨張量、鉄筋の腐食状況、含有塩化物量、アルカリ量、中性化深さ、圧縮強度および静弾性係数である。



図-10 暴露試験体設置予定箇所

供試体は実橋の上部工(50N/mm²)、下部工(27N/mm²、36N/mm²)で使用したコンクリートと同じ材料、同じ配合のものをプレーン供試体とし、さらに塩化物調整供試体(CaCl₂により塩化物量を2.5kg/m³とした)、塩化物+アルカリ調整供試体(NaClとCaCl₂により等価アルカリ量を6.0kg/m³とした)を作製する。鉄筋は、実橋と同様エポキシ樹脂塗装鉄筋及び普通黒皮鉄筋を用いた。供試体寸法は幅250mm×高さ250mm×長さ400mm、暴露用として計181体作製する。

(2) 将来のサンプリングを想定した橋脚かぶりの増厚

コンクリートの品質や外部からの物質の侵入程度の経

年変化を確認するために、一部の橋脚(P21、P41)のかぶり厚を厚く(+120mm)しておき、将来コアサンプリングが可能となるように計画している(図-11)。

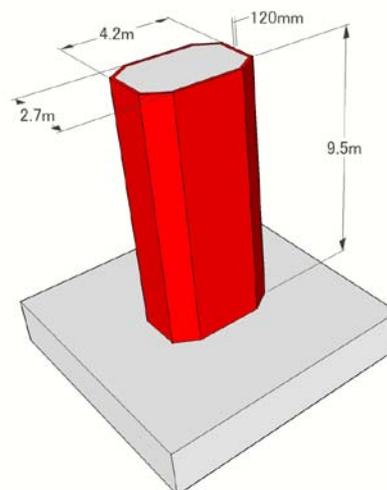


図-11 P21 橋脚(着色部分がかぶり増厚分)

5. おわりに

本研究では、上記の調査などのほか、コンクリートの透気係数測定による品質管理に関する調査、著しく中性化したコンクリートの塩害環境下での暴露試験を開始した。

謝辞: 国土交通省東北地方整備局の関係事務所、出張所及び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) 木村嘉富、田中良樹: 塩害に対するPC道路橋の維持管理と設計へのフィードバック、プレストレストコンクリート, 52-2, 43-48, 2010.
- 2) 宮田弘和: 「沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト」に関する協力協定を締結、土木技術資料, p.42, 2009.6.

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 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 FY2009, studies on chloride contents in piers on shore, chloride environment of a pier in sea of Okinawa, and chloride contents on the surface of superstructures, were conducted.

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