

沖縄県の橋梁維持管理の取組み

長嶺 明・比嘉正也・砂川勇二

1. はじめに

沖縄県は、高温多湿かつ周囲を海に囲まれ、冬季季節風や台風により多くの飛来塩分が内陸部まで到達する等、構造物の劣化に対し厳しい自然環境にある。

このような厳しい環境下で沖縄県が管理する道路橋は約670橋あり、その多くは1972年の本土復帰を境に精力的に建設が進められた橋梁である。

そのうち、建設後50年以上の橋梁は現時点では約1割であるが、30年後には約6割となる。また、定期点検の結果、「道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態」である区分Ⅲ早期措置段階と診断された橋梁の割合は2018年5月時点で約13%であり、経年とともに大規模修繕や架け替えが増加していくことが懸念されている。

このような状況を踏まえ、対処療法的な「事後保全型」維持管理から、劣化・損傷が発生する前の段階やそれらが軽微な段階で修繕を実施する「予防保全型」維持管理への移行により、橋梁の長寿命化、維持管理費用の縮減・平準化を図る目的で沖縄県橋梁長寿命化修繕計画を策定し、計画的な維持管理に取り組んでいるところである。

また、実橋の劣化予測や長寿命化修繕計画の更新等に活用する目的で、実橋と同じコンクリートを用いて作製した供試体を実橋と同じ環境で暴露し、その劣化・損傷状況の追跡調査も並行して実施している。調査データは、沖縄県、国立研究開発法人土木研究所（以下「土木研究所」という。）及び一般財団法人沖縄県建設技術センター（以下「沖縄県建設技術センター」という。）の三者で2009年に締結した「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」において共有・活用している。

本稿は、塩害環境下で橋梁を100年供用するための維持管理手法や技術基準の確立を目指した沖

縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト（以下「本プロジェクト」という。）の取組みと、本プロジェクトにおいて報告した暴露供試体20年目調査の概要について紹介する。

2. 沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト

2.1 土木研究所等との協力協定及びその目的

沖縄県では、コンクリートの耐久性並びに劣化予測に関する基礎データを取得・分析することにより、塩害環境下において橋梁を100年余供用するための維持管理手法の確立を図るとともに、諸技術基準の確立に資することを目的として、土木研究所及び沖縄県建設技術センターの三者で『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』を締結している（図-1参照）。

2.2 プロジェクトの取組み

本プロジェクトでは、協定の目的を達成するため、以下の事項について相互に協力を行っている。

- コンクリート道路橋の橋桁及び橋脚の健全度を把握するための調査方法及び健全度を保つための維持管理、補修技術に関する情報の共有
- 健全度調査の実施及び調査結果の分析、活用及びこれらの情報の共有
- その他両者が協議して必要と認める事項

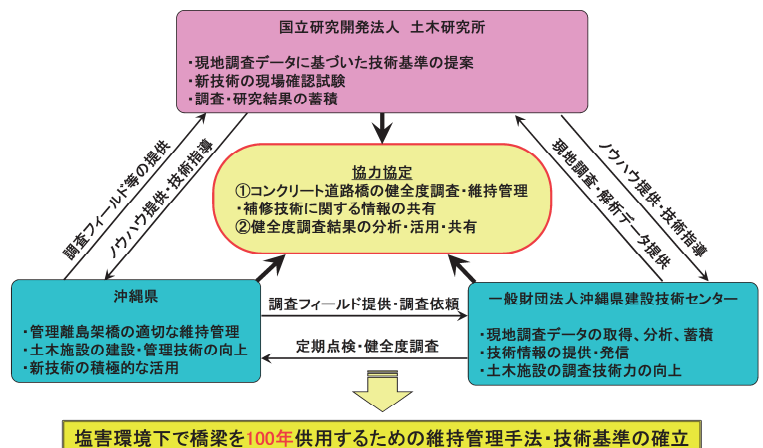


図-1 沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクトに関する協力協定の概要

また、連携及び協力の円滑な推進を図るため、定期的に「沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト連絡会議」（以下「連絡会議」という。）を設置し、継続的に調査・研究、情報の共有等を行っている。

2.3 「連絡会議」

連絡会議は毎年1回開催されており、土木研究所構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）、沖縄県建設技術センター、沖縄県の三者の職員に加え、国立大学法人琉球大学工学部工学科（以下「琉球大学」という。）の学識経験者を含めたメンバーで構成されている。

2018年度は9月18日、19日に第9回連絡会議を開催し、表-1に示す調査・研究内容等を報告し共有した。

当連絡会議で報告した平安座海中大橋暴露試験（暴露20年追跡調査）の概要について、以下に紹介する。

表-1 第9回連絡会議議題

沖縄県離島架橋等での臨床研究について	①
平成30年度伊良部大橋におけるCAESAR臨床研究について	①
琉球石灰岩を基礎として利用できるか	②
沖縄県の塩害環境調査と3次元塩害シミュレータの紹介	②
セメント硬化体の品質の変化に及ぼす養生・環境作 用の影響とフライアッシュの効果	②
平安座海中大橋暴露試験（暴露20年追跡試験）	③

①土木研究所、②琉球大学、③沖縄県建設技術センター

3. 平安座海中大橋暴露試験

3.1 調査目的

暴露供試体の追跡調査は、長期供用が求められる離島架橋や内陸部の長大橋において実施しており、環境別の塩害劣化進行速度や使用骨材によるアルカリ骨材反応の発生状況及び発生原因の確認を行い、予防的修繕時期や工法検討の基礎資料とすることを目的としている。

3.2 暴露20年目調査概要

沖縄本島と平安座島を結ぶ平安座海中大橋は、1997年に開通した離島架橋であり、かぶりによる塩害対策に加え¹⁾、上部工主航路部及び下部工コンクリートに表面被覆工法が施されている²⁾。建設時に実橋と同配合のコンクリートで塗装の有無やかぶりの異なる供試体を作成し、実橋と同環境で暴露試験を実施している。

表-2は、供試体の一覧であり、これらは実橋の上部工（35-12-20）及び下部工（27-8-40）と同じ配合である。供試体形状は25cm×25cm×50cmの直方体で、各配合でかぶり、鉄筋の種類、塗装の有無や塗装系等を組み合わせて作成している。塗装仕様を表-3に示す。

3.3 調査方法

(1) 外観調査

塗装供試体10体と無塗装供試体16体の2調査を行った。

(2) 付着塩分量分析

配合や塗装の有無など条件の異なる各供試体から代表1体を選定し、接地面を除く上面25cm×

表-2 供試体一覧

供試体 No.	塗装の有無 または種類	配合	かぶり (cm)	鉄筋 種類	供試体 No.	塗装の有無 または種類	配合	かぶり (cm)	鉄筋 種類	供試体 No.	塗装の有無 または種類	配合	かぶり (cm)	鉄筋 種類
1	A	35-12-20	7	普通 鉄筋	21	A	35-12-20	3.5	普通 鉄筋	42	無	35-12-20	2	普通 鉄筋
2					22					43				
3					23					44				
4					24					45				
5					25					46				
6	B	27-8-40	7	普通 鉄筋	26	B	27-8-40	3.5	普通 鉄筋	47	無	27-8-40	2	普通 鉄筋
7					27					48				
8					28					49				
9					29									
10	無	35-12-20	7	普通 鉄筋	30	無	35-12-20	3.5	普通 鉄筋					
11					31									
12					32									
13					33									
14	無	27-8-40	7	普通 鉄筋	34	無	27-8-40	3.5	普通 鉄筋					
15					35									
16					36									
17					37									
18	無	27-8-40	7	普通 鉄筋	38	無	27-8-40	3.5	エポキ ン樹脂 塗装 鉄筋					
19					39									
20					40									

☒ : 過去調査で破壊された供試体
 A : A種塗装系
 B : B種塗装系
 配合 : 設計基準強度(N/mm²)—スランプ(cm)
 —粗骨材の最大寸法(mm)

注) No.41 供試体は紛失

表-3 塗装仕様

分類	工程	使用材料	塗装条件		
			目標膜厚(μ)	標準使用量(kg/m ²)	塗装方法
A種	前処理	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	エアレススプレー(はけ, ローラー)
		パテ	—	0.30	へら
	中塗り	エポキシ樹脂塗料中塗り	60	0.32(0.26)	エアレススプレー(はけ, ローラー)
	上塗り	エポキシ樹脂塗料上塗り	30	0.15(0.12)	エアレススプレー(はけ)
B種	前処理	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	エアレススプレー(はけ, ローラー)
		パテ	—	0.30	へら
	中塗り	柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗り	60	0.32(0.26)	エアレススプレー(はけ, ローラー)
	上塗り	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.15(0.12)	エアレススプレー(はけ)

25cm (625cm²) と東西南北25cm×50cm (1,250cm²) の5面についてガーゼ拭き取り法³⁾により行った。塩分量分析は電位差滴定法で行った。

(3) コア採取

供試体の塩分浸透状況を確認するため、風向きを考慮し供試体の南北方向に貫通コアを採取した。

(4) 含有塩分量分析

コア表面から80mmまで10mm間隔、中心部は20mm間隔で3試料採取し、微粉碎したものを分析試料とした。分析方法は、JCI SC-5「硬化コンクリート中に含まれる塩分の簡易分析方法」⁴⁾に準じた。

(5) 鉄筋腐食状況調査

計12体の供試体から内部鉄筋を研りだし、腐食状況を確認した⁵⁾。

(6) 塩分浸透の将来予測

塩化物イオンの拡散の予測は、2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に示される「対象の構造物における点検結果を用いる方法(以下「点検結果を用いる方法」という。))及び「類似の環境および構造物の点検結果、既往の研究実績に基づく方法(以下「研究実績に基づく方法」という。))を用いて、表面塩化物イオン濃度C₀(kg/m³)および見かけの拡散係数D_{ap}(cm²/年)を算定し、鉄筋かぶり位置が腐食発生限界塩化物イオン濃度C_{lim}(kg/m³)に達する年数について将来予測を行った⁶⁾。

3.4 調査結果

(1) 外観調査

1) 塗装供試体外観調査

塗装の種類に関わらず全ての供試体塗膜に紫外線劣化による白亜化が認められたが、ひび割れ、ふくれ等の劣化は確認できなかった。

2) 無塗装供試体外観調査

かぶり7cmの供試体は6体全て健全、かぶり3.5cmの6体のうち1体に角部に軽微なひび割れ、かぶり2cmの4体のうち2体にひび割れ、浮きが確認された。浮き部は簡単に剥落し、内部鉄筋は表面の大部分が腐食していた。

(2) 付着塩分量分析

塗装供試体では100~700mg/m²の付着塩分が採取されたが、無塗装供試体では殆ど得られなかった。無塗装供試体は、表面が粗面でありガーゼによる拭き取りが十分にできないことや付着した塩分が内部へ浸透していることが考えられた。

実橋においても付着塩分を採取し供試体と比較した結果、無塗装供試体と同程度であった。

(3) 鉄筋腐食状況調査

腐食が認められたのは、無塗装供試体4体であった。ひび割れ及び浮きが確認されていたかぶり2cm供試体2体の東西南北4面で腐食度Ⅱ(a)「表面の大部分が腐食している」、かぶり3.5cm供試体では北面及び東面で腐食度Ⅰ「部分的な腐食が認められる」であった。また、外観調査ではひび割れが認められなかった上部工と同配合の供試体1体の北面で腐食度Ⅰが認められた。

(4) 含有塩分量分析

塗装供試体はコンクリート表面から中心部まで殆ど塩分の浸透が認められない。無塗装供試体は、中心部では殆ど塩分量は認められないが、南北面の表面付近では4~7kg/m³程度の塩分浸透が認められた。下部工と同配合の供試体では南北両面で6cmまで浸透しており、W/Cが大きい配合は塩分浸透量が多いことが確認できた(図-2参照)。

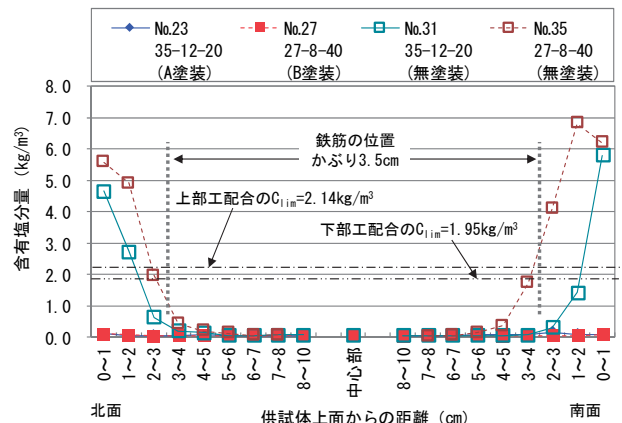


図-2 暴露20年目の含有塩分量分析結果

暴露6年目（2003年）無塗装供試体と比較すると、塩分浸透及び浸透深さが増加していた。

2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に示される式から C_{lim} を算定すると、上部工配合では $C_{lim}=2.14\text{kg/m}^3$ 、下部工配合では $C_{lim}=1.95\text{kg/m}^3$ となった。この値と前述の鉄筋腐食状況を比較すると、下部工配合のかぶり2cmの鉄筋位置では C_{lim} を超えており、鉄筋の表面の大部分が腐食していた。これに対し、下部工配合のかぶり3.5cmの鉄筋位置では C_{lim} 程度であったことから、部分的に腐食が発生していた程度で腐食発錆限界濃度算定方法の妥当性が確認できた。

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$$

C_{lim} ：鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度
(kg/m^3)

W/C ：水セメント比

3.5 塩分浸透の将来予測

点検結果を用いる方法及び研究実績に基づく方法により C_0 および D_{ap} を算定し、鉄筋かぶり位置が C_{lim} に達する年数について将来予測を行った。研究実績に基づく方法で予測した場合、下部工配合では26年、上部工配合では44年で C_{lim} を超えることがわかった。一方、点検結果を用いる方法で予測した場合、下部工配合では91年経過で C_{lim} を超え、上部工配合では100年以上経過しても C_{lim} を超えないことがわかった。これは、平安座海中大橋は海上橋で過酷な塩害環境にあるが、供試体が平常時は直接波飛沫がかからない場所にあることや、付着塩分の一部が浸透前に雨により洗い流された可能性があるなど、実際の環境条件が算定結果の差異に繋がったと考えられる。

以上の結果から、今回調査した環境条件では研究実績に基づく方法は点検結果を用いる方法より塩分浸透が早くなる結果が得られることがわかった。しかし、実調査においても暴露20年で下部

工配合のかぶり3.5cmの供試体で鉄筋に腐食が発生しているため、点検結果を用いる方法では実際の塩分浸透速度より遅くなる予測になり、研究実績に基づく方法では早くなる予測となる可能性があることがわかった。

4. まとめ

沖縄県では、紹介した平安座海中大橋意外の橋梁においても追跡調査を行っている。これらの調査・研究を継続してコンクリートの耐久性並びに劣化予測に関する基礎データを蓄積し、塩害環境下で橋梁を100年余供用するための維持管理手法や諸技術基準の確立を図っていきたい。また、ある一定の成果が得られた時点で公開時期や方法等を検討したいと考えている。

謝 辞

本稿の執筆にあたり、沖縄県建設技術センターに多くの助言やご協力を頂きました。また、本プロジェクトの実施にあたり、土木研究所構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）、琉球大学工学部工学科に多大なるご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、pp.12～13、1984.2
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、pp.51～54、1984.2
- 3) (社) 日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧(付属資料) 付Ⅱ、pp.119～120、2005
- 4) (社) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準(案)、pp.39～42
- 5) (社) 日本コンクリート工学協会：海洋コンクリート構造物の防食指針(案)、p.103、1983.2
- 6) 土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書、維持管理編、pp.170～176

長嶺 明



沖縄県土木建築部道路管理課
主任技師
Akira NAGAMINE

比嘉正也



(一財) 沖縄県建設技術センター
試験研究部主任技師
Masaya HIGA

砂川勇二



沖縄県土木建築部道路管理課
班長
Yuuji SUNAKAWA