

# コンクリート橋における塩害対策とその信頼性向上

渡辺 遼・大島義信・山本 将・石田雅博

## 1. はじめに

CAESARでは、道路橋に対する点検・診断・措置の信頼性を向上するため、種々の取り組みを行っている。コンクリート道路橋においては、塩害劣化が特に深刻であり、CAESARでも重点的に塩害対策の検討を行っている。図-1には、塩害劣化の初期・中期・後期において、それぞれ必要となる技術開発の課題を示している。点検プロセスの信頼性向上に関しては、各劣化段階における技術ニーズとして、例えば非破壊試験などの技術開発を行ってきた<sup>1)</sup>。また、診断プロセスの信頼性向上に関しては、劣化初期～中期の診断で重要となる劣化予測技術に焦点を当て、その基本データとなる塩分量の調査を実施している。また、劣化後期において重要となる、残存耐荷力の推定技術に対する研究を実施してきた。措置プロセスの信頼性向上に関しては、特に劣化中期で重要となる塩分抑制技術について焦点を当て、電気防食技術について研究を行っている。

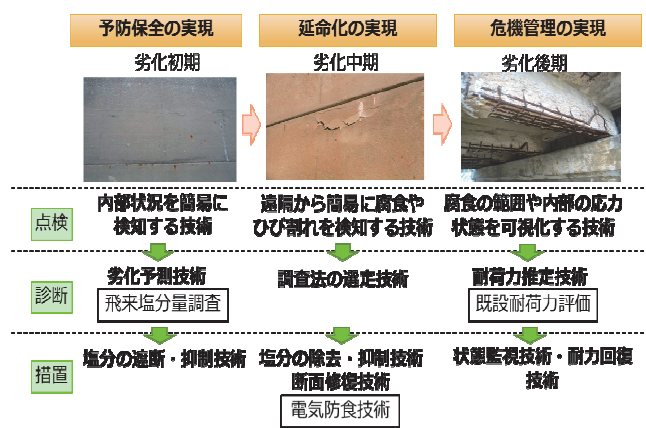


図-1 点検・診断・措置における技術ニーズ

## 2. 塩害環境にある橋梁の塩分量調査

### 2.1 塩害環境の想定と実態

塩害は、コンクリート内部の鋼材が塩化物イオンの浸透によって腐食する劣化現象である。この劣化現象は、塩分の供給量とその浸透しにくさの

バランスによって定まるが、これまで浸透のしにくさ（物質浸入抵抗性）に対する研究が盛んにおこなわれているものの、塩分供給量に対しては十分な知見が得られていない。CAESARでは、設計や維持管理における適切な塩分供給量の想定を実現するために、実構造物における塩分量調査を実施している。ここでは、沖縄県との協定により実施された塩分量調査の結果と今後の方向性について報告する。なお、本号の「現地レポート」は、同協定内で行われた暴露試験体による塩分量調査結果について述べている。

### 2.2 離島架橋での塩分量調査

#### 2.2.1 調査概要

沖縄県の宮古島と伊良部島を結ぶ橋長3,540mの離島架橋である伊良部大橋のP21、P41より、竣工当初から継続的にコンクリートコア採取を採取し、内在塩化物イオン濃度の経時的な変化を追跡する調査を行っている。伊良部大橋の全景を図-2に示す。調査は、両橋脚の竣工より概ね2年毎に行っている。調査年度を表-1に示す。



図-2 伊良部大橋全景

表-1 調査年度と経過年数

橋脚	調査年	竣工からの経過年数
P21	平成22年12月	0年7カ月（7ヶ月）
	平成26年2月	3年10カ月（46ヶ月）
	平成27年12月	5年7カ月（67ヶ月）
P41	平成25年2月	1年3カ月（15ヶ月）
	平成27年12月	4年1カ月（49ヶ月）

#### 2.2.2 調査結果

P21における塩化物イオン濃度の調査結果を、図-3に示す（なお、P41についてはほぼ同様の傾向のため今回は割愛する）。

主に表面付近の領域において、塩化物イオン濃度が経年的に増加していることがわかる。また、海面からの高さによって塩化物イオン濃度に差が

あり、同一構造物内においても塩害環境に差があることがうかがえる。その他、平成27年調査時には、高さ3.3mと5.6mの調査点において、最外縁の塩分量が内部の塩分量と比較して少なくなる塩分分布が見られた。EPMAによる元素分析<sup>2)</sup>の結果、表面付近の炭素濃度が高くなっていたことから、中性化による影響と推測される。

この結果から、外部からの塩分供給は標準値よりも大きく、さらに同一地点であっても高さに依存して異なることが明らかとなった。

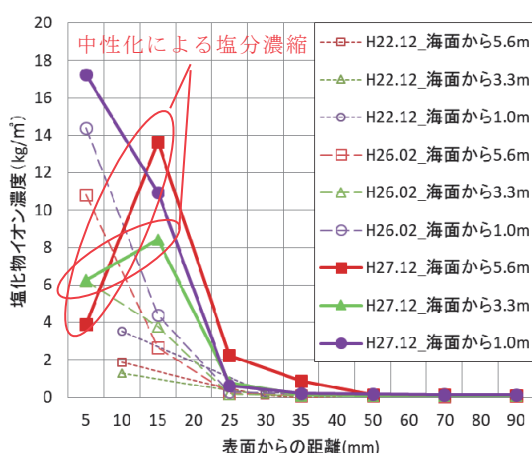


図-3 P21塩化物イオン濃度調査結果

### 2.3 今後の課題

今回の調査によって、同一構造物内でも塩分量が異なることが確認された。今後は、コンクリート側の抵抗性についての差異（密実性の差異）に対する研究とともに、構造物高さの違い、形状の違いなども考慮した塩化物イオン供給量の差別化が行えるよう、調査研究を進めていく予定である。

## 3. 塩害により損傷した橋梁の耐荷力

### 3.1 塩害による損傷と残存耐荷力

既設構造物の耐荷力評価では、部材単位の耐荷力だけでなく、上部構造全体としての耐荷力を適切に評価することが重要である。しかし、上部構造全体の耐荷力評価に対して、これまで実験的に確認された例はほとんどなく、既設構造物の耐荷力評価のための基礎データが不足していた。CAESARでは、撤去予定の橋梁を用いた実橋梁全体への載荷試験を行い<sup>3)</sup>、上部構造全体の耐荷力に関する重要なデータを得た。本報ではその概要を示す。

## 3.2 実橋耐荷力試験

### 3.2.1 調査概要

調査対象は、北海道開発局管内で塩害損傷と耐震性不足のため架替となった旧築別橋である。本橋は、海からの距離が約170mと飛来塩分の影響を受ける環境に位置し、塩害補修がなされるも、内部鋼材の腐食に起因する主桁のひび割れやコンクリートの剥離等の再劣化が生じていた。載荷試験時には隣接して新橋が建設され、本橋は通行止めの状況であった。

### 3.2.2 試験方法

載荷径間の全景を図-4に示す。載荷試験は、グラウンドアンカーによる載荷装置、及び計測機器の設置のため、河川敷のある第1径間で行った。載荷装置は、耐荷力2,500kNのグラウンドアンカー2本を施工して載荷反力を取り、2台の3,000kNセンターホールジャッキにより載荷を行う構造とした。また、桁の曲げ破壊を確実に生じさせるために、G1桁支間中央での集中載荷とした。



図-4 載荷径間の全景

### 3.2.3 試験結果

G1桁支間中央の荷重-鉛直変位関係を図-5に示す。載荷荷重は推定耐荷力の2,500kNを上回り、3,300kNに達した際に地覆に圧壊が生じ荷重の増加が見られなくなったため、終局と判断した。

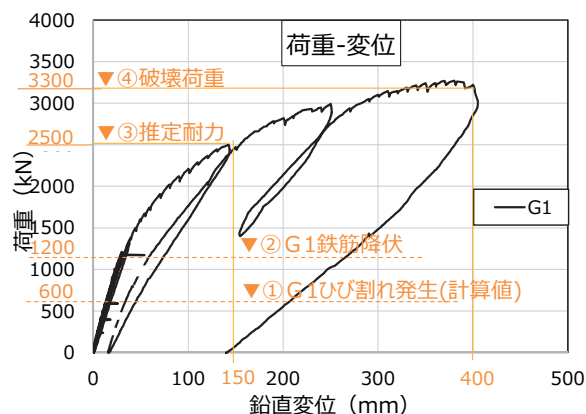


図-5 G1桁支間中央の荷重-鉛直変位



図-6 載荷点付近の破壊性状

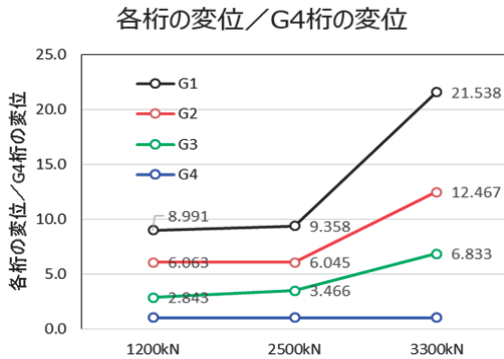


図-7 3300kN載荷時 変位分布

本試験での特徴的な破壊性状として、支間中央の横桁～隣接する横桁間を中心に、せん断力によるものと思われるひび割れがウェブに生じた（図-6）。また、各桁の端部付近にはねじりによるひび割れ、横桁には目開きが生じていた。

図-7は、各載荷段階におけるG4桁の変位に対する各桁変位の割合である。載荷が進むに従い、G1の変位が相対的に大きくなっていることがわかる。

以上より、推定耐荷力である2,500kNをこえてからは、複数主桁間での荷重分配を保ちつつも、G1の剛性が低下する傾向へと推移していることがうかがえた。

これより、上部構造全体としては、初期段階では格子構造として抵抗するが、局所的な破壊が進行すると、荷重再配分の効果が低下する傾向になることが確認された。

### 3.3 今後の課題

本実験の結果、桁単体の破壊機構とは異なる上部構造全体としての耐荷機構が発揮されることが確認された。今後は、上部構造全体の耐荷機構を評価できる適切な載荷方法について、引き続き検討を行っていく予定である。

## 4. 電気防食工法の維持管理に関する調査

### 4.1 電気防食工法を適用した橋梁の再劣化

塩害の生じたコンクリート構造物における有効な対策工法の一つに電気防食工法があるが、近年、電気防食を適用したにもかかわらず、コンクリート橋に再劣化が生じた事例が確認されている。CAESARと土木研究所先端材料資源研究センター（iMaRRC）では、不具合事例の調査及び、電気防食工法の維持管理の実態について橋梁管理者や電気防食工法を有するメーカーへのアンケート調査を行い、劣化実態に基づく電気防食工法に対する適切な維持管理方法の提案を行っている。ここでは、劣化事例の紹介と、その成果である維持管理マニュアルの概要を報告する。

### 4.2 劣化事例の調査

調査対象としたB橋では、試行的な工法比較として陽極材の形状等が異なる3方式が適用されている。①面状電極であるチタンメッシュ、②線状電極であるチタングリッド、③面状で外部電源を必要としない亜鉛シートであり、調査時点の各方式の通電状況は安定していた。

外観観察では、図-8に示すように各方式ともに被覆モルタルの剥落や浮きなどの損傷が発生していた。鋼材防食状態や表面電位分布の測定結果では、損傷部を含めて防食基準は確保されていたが、チタングリッド方式の被覆モルタル浮き部の補修を施したところ、補修前に比べ鋼材復極量が向上した（補修前:147mV→補修後:175mV）。このことから、防食効果は少なからず低下しており、これが被覆モルタルに何らかの影響を与えていた可能性も考えられる。

亜鉛シート方式においては、コンクリート桁に設置された陽極材（亜鉛シート）は、調査時点で約20年が経過しており、設計耐用年数15年で命を超過していたため、消耗量調査を実施した。最も消耗している箇所は塩害環境の厳しい下フランジ底面であり、陽極材の消耗量が大きい状況であった。

### 4.3 電気防食工法の維持管理

以上のように、電気防食工法の不具合は工法に特有のものが多く、それらの具体的な点検方法についても知見が少ないことが明らかとなった。そこで、電気防食の維持管理における留意点やポイ



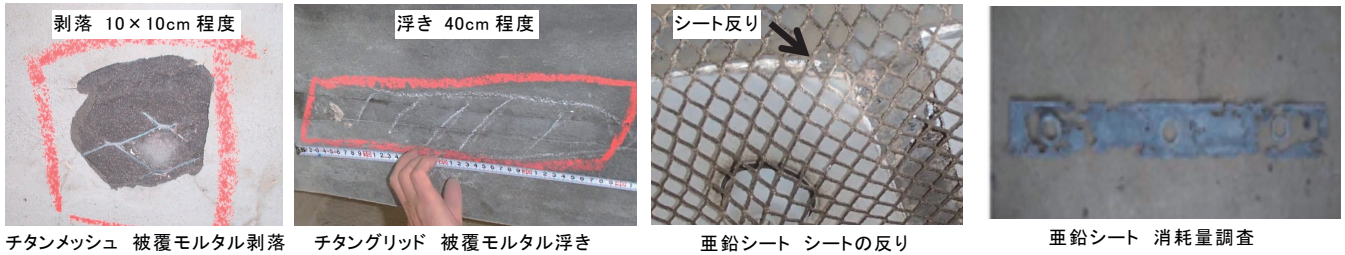


図-8 B橋の損傷状況

ントを取りまとめた「電気防食工法の維持管理マニュアル<sup>4)</sup>」を策定した。

劣化実態から、電気防食工法の「稼働状態」と「防食状態」の管理が重要であることが明らかとなった。マニュアルでは、主に稼働状態を確認する「通常点検」と、主に防食状態を確認する「初期点検」、「中間点検」、「定期点検」に区分して点検を実施することで、システムの信頼性を確保することが狙いとなっている。

#### 4.4 今後の課題

実橋での調査結果やアンケート調査の結果から、電気防食工法の防食効果を維持するために必要と考えられる点検内容や頻度をマニュアル案として提案することができた。一方、再劣化のメカニズムについては未だ不明確な部分もあり、今後検討が必要である。

### 5. おわりに

本報では、コンクリート道路橋において特に深刻な劣化現象である塩害の、劣化の各段階における診断・措置技術に関するCAESARでの取り組みとその成果について紹介した。これらの研究成果が、橋梁の塩害に対する効果的な対策に資することを期待する。

### 謝 辞

本報2章の離島架橋での塩分量調査は、沖縄県、

沖縄県建設技術センター、琉球大学との協力協定「沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト」の下に行われた。

本報3章の撤去橋梁を用いた載荷試験は、プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究、及び、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の一環として行われた。

本報4章の電気防食の維持管理マニュアル策定は、日本エルガード協会、コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会（CP工法研究会）、東北大学との共同研究により行われた。

また、いずれの取り組みにおいても、橋梁管理者には多大なるご協力を頂いた。

ご協力を頂いた関係各位に対し、ここに謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 中谷昌一、石田雅博、宇佐美惣、大島義信：橋梁の維持管理のための調査・監視技術の開発、土木技術資料、第58巻、第1号、pp.26~29、2016
- 2) 渡辺遼、大島義信、山口岳思、石田雅博：実橋調査との比較による塩分浸透予測の前提条件に関する一考察、コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集、第18巻、pp.773~778、2018
- 3) 石田雅博、大島義信、吉田英二、山口岳思、渡辺遼、北野勇一、國富康志：旧築別橋における実橋耐荷力試験、土木学会年次学術講演会講演概要集、第73巻、V-580、2018
- 4) 電気防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する共同研究報告書—電気防食工法の維持管理マニュアル（案）—、土木研究所共同研究報告書第501号、2018

渡辺 遼



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
交流研究員  
Ryo WATANABE

大島義信



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
主任研究員、博士（工学）  
Dr.Yoshinobu OSHIMA

山本 将



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
主任研究員  
Susumu YAMAMOTO

石田雅博



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
上席研究員  
Masahiro ISHIDA