

## 6章 総括

本章では、今回の塩害調査および既往の調査結果の分析等を通じて分かった、塩害予測に関する今後の課題や、塩害調査を行う上での注意事項について総括する。

### 6.1 塩害予測手法の確立に向けての課題

本研究では、4章・5章に示すように海からの飛来塩分に着目した塩害予測手法について検討を行い、その評価を行ったが、様々な条件におかれた橋梁の塩害を予測するためには未だ検討すべき課題が多く残されている。ここでは橋梁の塩害予測手法の確立に向けて今後調査が必要な事項について示す。

#### 6.1.1 海からの飛来塩分に起因する塩害

##### (1) 予測精度の向上

4章では、海からの飛来塩分による塩害に対して、現在までの被害状況のある程度説明可能な塩害予測式を提示したが、予測式の精度を向上し、適用性を拡大するためには、今後以下のような課題について取り組む必要があることが明らかとなった。

##### ① 支配的な因子の精度向上

予測式における位置づけが明確でかつ支配的な影響をもつ因子について、設定値の精度は予測精度の大きく影響する。例えば、以下の因子については、実構造物に着目して定量的に把握することで予測精度の向上が見込まれることからその手法の確立が望まれる。

表-6.1.1 精度よく定量的に把握することが望まれる因子の例

項目		課題
初期塩化物イオン量	Cinit	・個々の条件に応じて実構造物の初期塩化物イオン量を精度よく設定
拡散係数	Dc	・実構造物の水セメント比を把握するなど、関連する因子との関係から精度よく設定
コンクリート表面の塩化物イオン量	Co	・部位との関係 (洗い流し部、吹き溜まり部等) ・構造形式との関係 (T桁、箱桁等)
飛来塩分量	Cair	・架橋環境 (気象条件、地形の高低差、汽水域等) に応じた定量的評価の精度向上

##### ② 現在の予測式に考慮されていない因子の評価

塩害過程に影響することが疑われるものの、現在の予測式では必ずしも適切に考慮されていない影響因子については、塩害予測式にこれを取り込むことで精度向上と流用性の拡大が期待できる。

表-6.1.2に提案した予測式では必ずしも適切に考慮されていないと考えられる影響因子の例について示す。

表-6.1.2 今後、適切に考慮することが必要と考えられる影響因子の例

項目		課題
腐食発生限界塩化物イオン量	Clim	・鉄筋位置における水分や酸素量との関係の解明
コンクリートのひびわれ		・実構造物のひび割れが塩分浸透におよぼす影響の把握
拡散過程以外に塩化物イオンの移動に寄与すると考えられる事象		・移流拡散等の濃度拡散以外による移動の影響 ・温度変化や温度勾配の影響 ・中性化、アルカリ骨材反応、凍害によるコンクリートの変質による影響

### 6.1.2 その他の要因に起因する塩害

今回の4章・5章の分析で適用した予測式は、海からの飛来塩分を対象としている。しかし、それ以外にも様々な要因（例えば、凍結防止剤の散布等）によって塩害が生じている可能性があり、構造物の耐久性を評価するためには、それらについても適切にその影響を考慮しなければならない。しかし、人為的に散布される凍結防止剤の影響を考慮した塩害予測の考え方は現在のところ確立されておらず、現地のデータも把握されていないのが実状である。

とくに、今回の調査では凍結防止剤による塩害は確認できなかったが、スパイクタイヤの使用禁止が法制化されて以来凍結防止剤の散布量自体は増えており、今後凍結防止剤に起因する塩害被害が顕在化することが懸念される。

今後、塩害に着目した調査・研究を行うにあたっては、凍結防止剤の種類・散布量・散布頻度・飛散状況、あるいは部材・部位の塩分濃度分布の把握、凍結防止剤を散布する地域において塩害が生じているかどうかの把握を行って幅広くデータを蓄積することが必要である。

### 6.2 塩害調査について（今後の塩害調査を実施する上での注意事項）

3章に示すとおり、本研究では前回調査（2000年塩害調査）の結果も踏まえて、塩害に関する全国的な調査を行ったが、これらの結果も踏まえて、今後橋梁の塩害に着目した調査を行う場合に留意すべき事項について検討した。以下に既往調査における問題点とその改善策の案を表-6.2に示す。

表-6.2 2000年塩害調査で浮上した問題点及びその改善案

項目	問題点	改善案
①損傷要因の判定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塩害であるとの判断基準にバラツキがあった</li> <li>・施工に起因している損傷も塩害として判断されている事例があったように見受けられた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地のできる簡便な損傷要因の判定基準の確立</li> </ul>
②構造形式別による塩害実態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造形式と塩害の受けやすさの関係について評価できなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・評価する内容に応じて必要な条件を満たす橋梁を対象として抽出するなど目的に応じた詳細調査の実施</li> </ul>
③部位別による塩害実態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部位別による塩害実態状況の確認が十分できなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・詳細な具体例の提示</li> <li>・部位の正確な把握が可能な調査の実施</li> </ul>

<具体的方法>

・①については、例えば3章の写真-3.2に示すような施工不良（かぶり不足）が原因で早期に劣化が進んでいると考えられる塩害と一般的に想定される塩害と見極めるためには、非破壊検査によりかぶり厚を明らかにする必要がある。また、写真-3.3、3.4に示すような施工不良（乾燥収縮）もしくはその他の劣化（凍害等）が原因で早期に劣化が進んでいると考えられる塩害と一般的に想定される塩害と区別するためには、例えばひび割れ性状（ひび割れ部に錆汁を伴っているか等）を注意深く目視し、鋼材位置における塩分量の測定を実施する必要がある。それらのことを実施することで、施工不良がどの程度影響しているのかの判断ができると考えられる。

・②については、構造形式の違いによる塩害の受けやすさについて評価するためには、例えば海岸線からの距離・気象条件・桁下高等の諸条件のできるだけ同じ橋梁で構造形式（T桁、箱桁等）だけが異なるもの同士で塩害調査を実施することで適切に評価できると思われる。

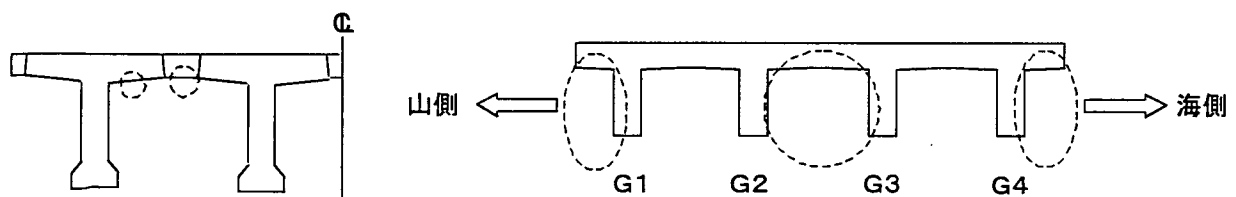


図-6.1 調査を実施すべきと思われる部位（T桁橋）

・③については、例えばT桁橋において、図-6.1左に示すような点線で囲んだコンクリート強度の異なる床版間詰部下面と上フランジ下面の部位が明確に特定できるような方法で調査を実施することで、コンクリート強度の違いによる塩害の受けやすさについて適切に評価できるものと考えられる。さらに、多主桁構造のT桁橋が沿岸部で架橋されているような場合（図-6.1右参照）、点線で囲っている海側のG4桁部、山

側の G1 桁部及び内側部分 (G2 と G3 の間) の損傷実態が把握できるような調査を実施することで、空間位置の違いによる塩害の受けやすさについて適切に評価できると考えられる。

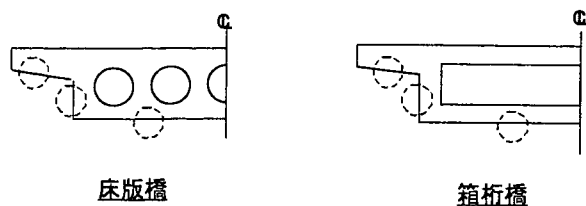


図-6.2 調査を実施する際にあらかじめ明確にしておくべき部位 (床版橋・箱桁橋)

「3.4 まとめ」でも述べたが今回の調査方法における問題点として、床版橋や箱桁橋の部位の定義が明確にされてなかったため、今回の調査シートに「桁下面」「床版下面」に損傷有と記入されていたものは具体的にどこの部位を指しているのか判断し難いところがあった。今後、同様な塩害調査を実施する場合には、特に図-6.2に示す点線で囲った部位の定義を明確にした上で調査を実施する必要がある。

また、今回の調査で調査シートの記入欄 (壁高欄、はり、柱) に無記入のものがあつた。それは、損傷が無いことなのか、それともその部位が存在しないことなのか判断し難いところがあつた。今後、同様な調査を実施する際は、その辺りのルールを目的に応じて適切に設定し調査方法を定める必要がある。

## 謝 辞

本調査研究は、各種基礎データの収集にあたり、以下に示す関係各機関からの情報提供をはじめ、各関係者の多大なご協力を得て実施することができました。この場をかりて深く感謝を申し上げる次第です。

国土交通省ほか
国土交通省道路局、北海道開発局、東北地方整備局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局、沖縄総合事務局
公団
日本道路公団
地方自治体
青森県、秋田県、山形県、岩手県、宮城県、新潟県、石川県、福井県、茨城県、千葉県、静岡県、愛知県、三重県、京都府、兵庫県、和歌山県、島根県、広島県、山口県、岡山県、鳥取県、愛媛県、高知県、香川県、徳島県、福岡県、長崎県、大分県、熊本県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

### ○国土交通省国土技術政策総合研究所

#### ・道路研究部橋梁研究室

交流研究員	志道 昭郎	
交流研究員	重松 勝司	
交流研究員	谷脇 秀樹	
元交流研究員	伊藤 公彦	(H11.4 ~ H13.3)
元交流研究員	続石 孝之	(H12.4 ~ H13.3)

### ○独立行政法人土木研究所

#### ・技術推進本部構造物マネジメント技術

主席研究員	河野 広隆	
主任研究員	渡辺 博志	
元研究員	田中 良樹	(~ H14.3、現企画部研究企画課)

#### ・構造物研究グループ基礎チーム

上席研究員	福井 次郎	
主任研究員	西谷 雅弘	

## 【参考文献】

### まえがき・1章

- 1.1) 小林一輔：コンクリートが危ない、岩波新書、1999
- 1.2) 例えば、塩害補修材料の試験施工追跡調査結果等、土木研究所資料、H5.3 など
- 1.3) 例えば、鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向、土木学会、コンクリート技術シリーズ 26、1997.12、コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書、日本コンクリート工学会、1988.10 など
- 1.4) コンクリート委員会、凍結防止剤 WG：我が国のコンクリート構造物における凍結防止剤の影響、土木学会論文集、No.490、1994

### 2章

- 2.1) 池田道政：塩害によるコンクリート橋の損傷状況調査結果、道路、日本道路協会、1984.2
- 2.2) 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、(社)日本道路協会、S59.2
- 2.3) 大即信明ほか、塩害(I)、コンクリート構造物の耐久性シリーズ、技報堂、1986.5

### 4章

- 4.1) 飛来塩分量全国調査(IV)-飛来塩分量の分布特性と風の関係-, 土木研究所, 土木研究所資料第 3175 号, H5.3
- 4.2) コンクリート標準示方書、施工編、(社)土木学会、2000
- 4.3) 耐久性照査型コンクリート標準示方書、施工編、改定資料、コンクリートライブラリー 99、(社)土木学会、2000
- 4.4) 丸屋剛、宇治公隆；コンクリートへの塩分の拡散浸透に関する表面塩分量の定式化、コンクリート工学年次論文報告集、11-1、1989
- 4.5) ミニмумメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅲ)-PC 橋の塩害対策に関する検討-, 土木研究所, PC 建設業協会, 共同研究報告書 270 号, H13.3
- 4.6) ミニмумメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ)-コンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討-, 土木研究所, PC 建設業協会, 共同研究報告書 258 号, H12.12
- 4.7) 前記 2.3 と同じ
- 4.8) 現場打ち高強度コンクリート部材の設計施工法に関する共同研究報告書、-高強度コンクリートの設計施工マニュアル(案)-、国土交通省、(社)PC 建設業協会、共同研究報告書第 266 号、2001.3
- 4.9) 田中良樹、藤田学、河野宏隆、渡辺博志：高強度コンクリートの塩分浸透抵抗性、コンクリート工学年次論文報告集、2001
- 4.10) コンクリート構造物の耐久設計指針(案)、コンクリートライブラリー 82、土木学会、1995.11

4.11) 土木学会：コンクリート標準示方書改訂に関する中長期ビジョンーコンクリート委員会・示方書小委員会幹事会報告一、コンクリート技術シリーズ 32、1999

4.12) 武若耕司：海洋環境下のコンクリートの含有塩分に関する既往調査結果の整理と分析、土木学会第 43 回年次学術講演会概要集 V、1988

4.13) 上記 2.1 と同じ