

# 論文 海岸線付近にある鉄道構造物の塩分量調査と簡易測定法の適用性に対する検討

井上 裕司\*1・曾我部 正道\*2・長谷川 雅志\*3・谷村 幸裕\*4

要旨： 既設コンクリート構造物を適切に維持・管理していくためには，実用性の高いコンクリート構造物健全度診断システムの開発が必要不可欠である．コンクリートに含まれる塩分量は，JCI-SC4<sup>1)</sup>にしたがって分析されるのが一般的であるが，この手法を多くの既設の構造物の維持管理に適用しようとする，費用，試料採取，分析時間など，様々な面から制約を受けることとなる．そこで本研究では，既に提案されているコンクリートハンマードリルを用いた簡易な試料採取方法とフレッシュコンクリート用の塩分量測定機を用いた簡易な分析方法に着目し，実鉄道構造物への適用性の観点から含有塩分量に関する調査を実施した．

キーワード： 維持管理，塩分量分析，ドリル法，簡易法，JCI 法

## 1. はじめに

近年，高度経済成長期に建設された既設コンクリート構造物の経年劣化が社会問題になっているが，こうした莫大な量の既設コンクリート構造物を適切に維持管理していくためには，効率的で信頼性の高い検査手法を確立していく必要がある．

鉄筋の腐食劣化の要因の 1 つである塩害について検討するためには，コンクリート内の塩分量を測定する必要があるが，コンクリート内に含まれる塩分量は，一般的にコア抜きした試料を粉砕し，これを JCI-SC4<sup>1)</sup>（以下，JCI 法）で分析し求めることができる．この手法に関しては，既に高い測定精度が確認されているものの，現場作業に時間がかかること，分析費用が高いことなどから，既設構造物に適用していくには数量的な制約を受けざるを得ない．

既に，コンクリート内の塩分量を，JCI 法を補間する形で簡易に測定する手法が幾つか提案されているが，本研究では，湯浅・笠井・松井の研究<sup>2)</sup>に着目し，コンクリートハンマードリル

を用いた採取方法（以下，ドリル法）とフレッシュコンクリート用の塩分量測定器を用いた簡易測定法（以下，簡易法）の実鉄道構造物への適用性について検討を行った．また，この方法を用いて，実構造物の塩分量の分布傾向なども調査した．

## 2. 測定方法

### 2.1 試料の採取方法

試料の採取には湯浅らの提案するドリル法を用いた．ドリル法は，市販の安価な道具で試料採取ができること，鉄筋探査が不要であること，試料採取が効率的であること，断面欠損が小さく構造物に与える影響が小さいこと，補修が容易なことなど，様々な利点がある．一方，コアよりも局所的な試料採取となるため，試料が平均組成のコンクリートとならず，測定誤差が大きくなるのではという懸念もある．

ドリル法による試料の採取状況を写真 - 1 に示す．(a)は市販のドリルに集塵カバーをつけて試料を収集するタイプのもので，集塵カバーな

\*1 (株)BMC 工修 (正会員)

\*2 (財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学 (正会員)

\*3 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術開発研究部 コンクリート構造 (正会員)

\*4 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術開発研究部 コンクリート構造 工修 (正会員)



(a)市販のドリルに集塵カバーをつけたもの



(b)集塵タイプのドリルに専用の試料収集装置を備えたもの

写真 - 1 試料の採取状況

ど手作業による製作をとまなうものの、安価である。(b)は市販されている集塵タイプのドリルに専用の採取装置を備え付けたもので、やや高価であるものの、1人でも作業ができる。

分析には、ドリル削孔にともなう出るコンクリート粉を用いる。試料は測定する深さごとに採取し、保管する。同手法によって、20分程度で、コンクリート表面から150mm程度の深さまで10mm刻みで試料を採取できた。

今回の調査では、多めに試料を収集するために、18mmと20mmのドリルを用いた。20mmで3孔を削孔すると深さ10mm当たり20gの試料が採取できる。

また、採取方法の適否を検証するため55mmのコアも併せて採取した。

## 2.2 分析方法

塩分量の分析も湯浅らの提案<sup>2)</sup>する簡易法に従い実施した。分析手順の概略を以下に示す。

- (1)試料を乳鉢で細かくすりつぶす
- (2)試料1gを水5ccに溶かす



写真 - 2 振動恒温水槽



写真 - 3 塩分測定器

- (3)水溶液を50℃の湯煎で10分間攪拌させる
- (4)攪拌後の水溶液塩分量を分析器で測定する

(1)の作業は、試料に混ざっているコンクリート片が識別できなくなるまで、数分程度おこなう。塩分は恒温水槽で振動攪拌することによって抽出する。振動恒温水槽を写真-2に示す。

塩分分析に用いた電極電流方式の塩化物イオン測定装置を写真-3に示す。電極電流方式では塩化物イオン以外のイオンの影響も受けるため、溶媒には妨害イオン抑制剤を混ぜたものを用いている。

## 2.3 調査地点

今回、試料を採取した構造物の地域・経年・海岸からの距離を表-1に示す。構造物はいずれも橋脚で、構造物Aと構造物Bは河口部に立地している。

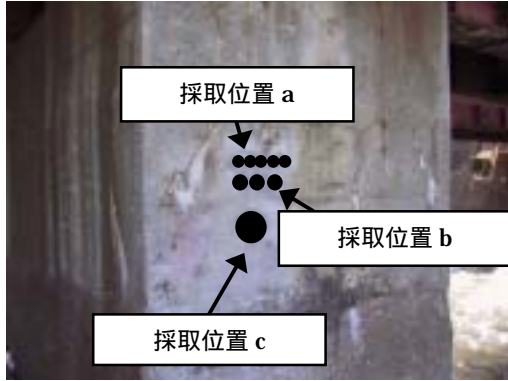
## 3. 測定結果

### 3.1 採取方法に関する検討

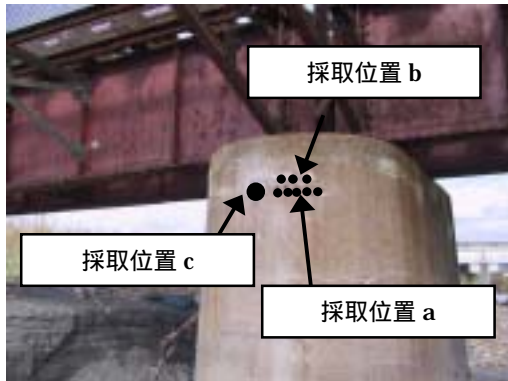
採取方法の違いを検証するため、構造物Aと

表 - 1 試料採取地点

地域	構造物名称	経年	海岸からの距離
北海道	構造物 A	28 年	汀線
	構造物 B	70 年	40m
宮崎	構造物 C	24 年	300m



(a) 構造物 A



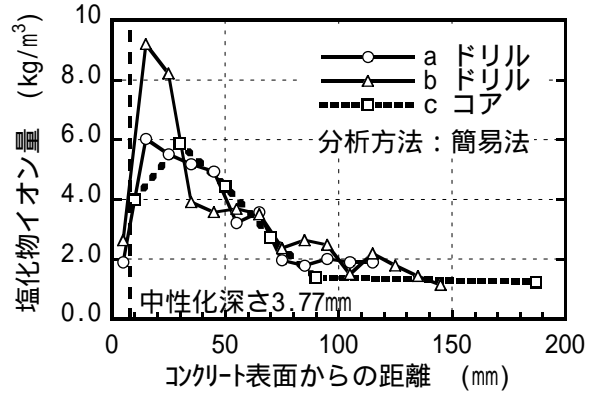
(b) 構造物 B

写真 - 4 試料の採取位置

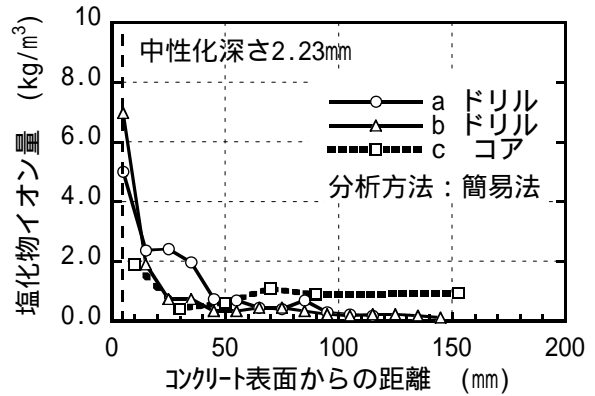
構造物 B より、ごく近傍における試料を複数点採取し、a,b,c の全ての試料を前述の簡易法及び JCI 法（全塩分量）で分析した。試料の採取位置を写真 - 4 に示す。採取位置 a と b はドリル法、c はコアにより試料を採取したものである。c の試料はスライスして微粉碎したものを分析に用いた。各採取位置の距離は 100 ~ 200mm 程度である。

また採取位置の近傍において、ドリル法による中性化深さを測定<sup>3)</sup>した。ここでは、3 回測定の平均値をその点での中性化深さとした。

採取方法に関する簡易法による検討結果を図 - 1 に示す。3 つの測点（測定方法）で差が生じているが、これらは採取位置の差異、コンクリ



(a) 構造物 A



(b) 構造物 B

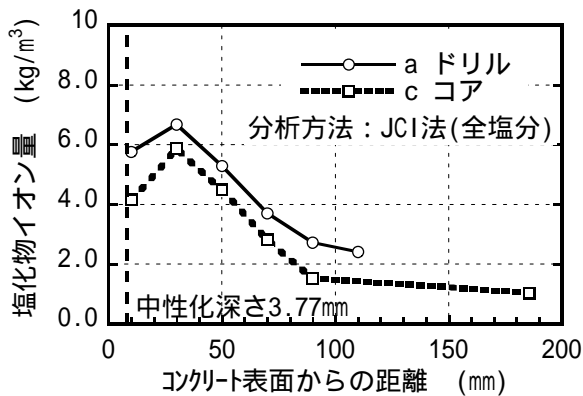
図 - 1 採取方法に関する検討（簡易法）

ート組成の不均一性、分析誤差などに起因すると考えられる。なお、構造物 B は、経年 70 年であるが中性化が少ない。これは河川からの水分によってコンクリート内への二酸化炭素の進行が妨げられるためと考えられる。

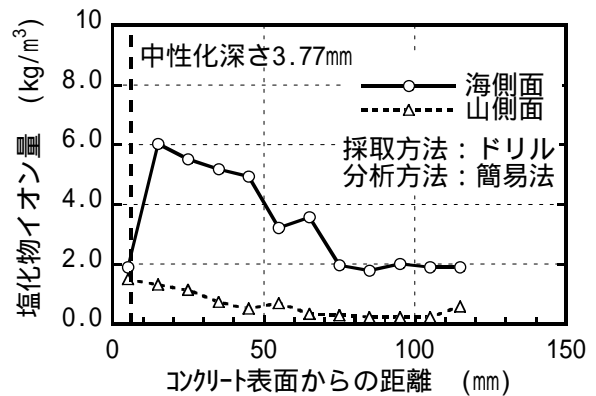
採取方法に関する JCI 法（全塩分）による検討結果を図 - 2 に示す。

図 - 2 から、構造物 A では全体的な傾向は同じであるもののドリル法による採取試料の方が塩分量がやや多く、構造物 B では傾向も一致しないことがわかる。

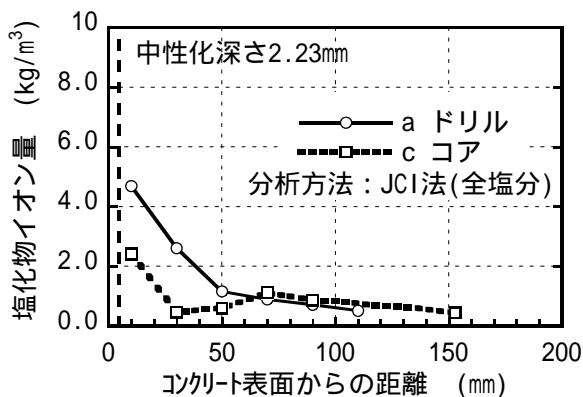
一般に、ドリル法では骨材全部を貫通する確率が低く、コアよりも塩分量が高く判定される傾向にあるとされている<sup>2)</sup>。構造物 B の 10 ~ 50mm では、コアの値がドリルの値より小さくなっており、上記の傾向をあらわしているとも考えられるものの、50mm 以深では逆にドリル法の測定値の方が小さくなっており、本研究で



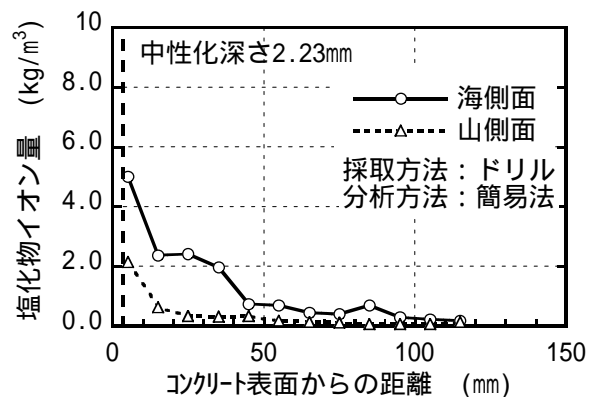
(a) 構造部 A



(a) 構造物 A



(b) 構造物 B



(b) 構造物 B

図 - 2 採取方法に関する検討 (JCI 法：全塩分)

図 - 3 採取位置に関する検討

は明確にこの傾向を確認できなかった 構造物 B では採取したコア自体にやや大きな粗骨材が混入しており、これも誤差の原因と考えられる。

この他に、ごく近傍であっても塩分量に差がみられる原因として、コンクリート組成の不均一性や中性化深さのばらつきが考えられる。中性化深さは骨材や環境の影響によってばらつき、その差は 10mm 以上になる場合もある<sup>4)</sup>。

しかしながらドリルによる試料採取は、図 - 1, 2 において、コンクリート表面からの塩分の浸透や中性化による塩分濃縮などの傾向を良く捉えており、一次判定に用いる簡易測定法としては十分に実用的な手法と判断できる。

### 3.2 採取位置に関する検討

構造物 A と B はともに河口付近に立地しているが、このことから海側面と山側面では飛沫や海風により浸透していく塩分量に差があると予想される。そこで両構造物の海側面と山側面で

ドリル法によりそれぞれ試料を採取し、簡易法で塩分量を分析した結果を図 - 3 に示す。

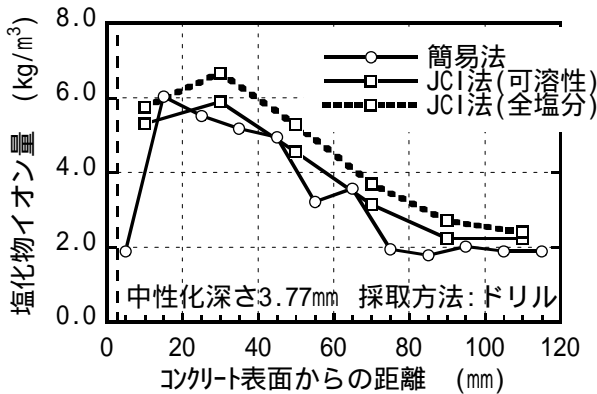
海側面と比べると山側面の塩分量はきわめて少ない結果となった。表面付近で、山側面は海側面の 1/2 ~ 1/3 程度の塩分しか含有していないことがわかる。

含有塩分量のバラツキは、微視的には材質による影響があり、巨視的には環境による影響が大きい。塩分量の調査試料を採取する場合は、周辺的环境から塩分がもっとも飛来、付着しやすいところを的確に判断する必要がある。

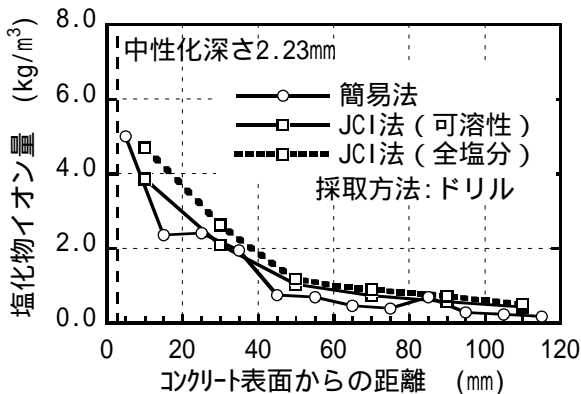
### 3.3 分析方法に関する検討

JCI 法と簡易法の分析誤差を確認するために、同じ試料を JCI 法と簡易法で分析し比較した。測定結果を図 - 4 に示す。JCI 法では全塩分と可溶性塩分の 2 種類の分析を行った。

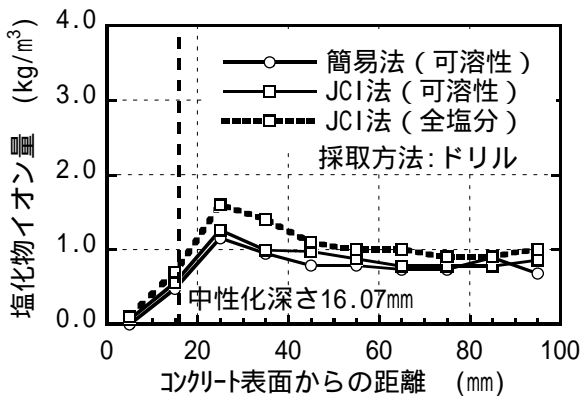
図 - 4 より、簡易法による測定値と JCI 法による可溶性塩分測定値はほぼ一致しており、簡



(a) 構造物 A



(b) 構造物 B



(c) 構造物 C

図 - 4 分析方法による測定値の差異

易法による分析でも、JCI 法の可溶性塩分量と同程度の精度が得られると考えられる。

簡易法によって分析される塩分量は、分析方法の性格上、可溶性塩分となる。一方、コンクリート標準示方書 [維持管理編]<sup>5)</sup>ではコンクリート中に含まれる塩分量が全塩分で規定されている。従って、簡易法の分析結果を維持管理に役立てるためには、簡易法による可溶性塩分量の測定値と JCI 法による全塩分量との関係を把

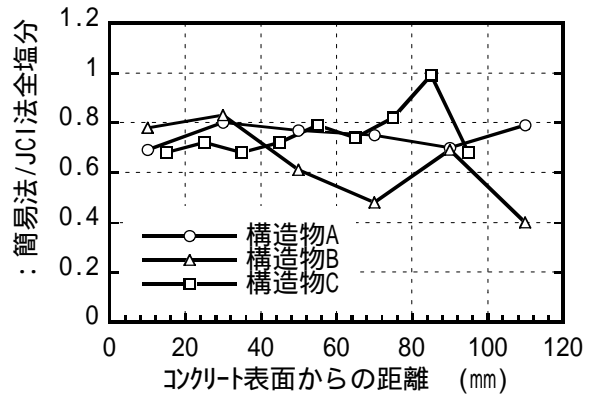


図 - 5 JCI 法全塩分測定値に対する簡易法可溶性塩分量の割合

握しておく必要がある。

JCI 法による全塩分測定値と簡易法による測定値との割合を図 - 5 に示す。一般的に、普通ポルトランドセメントではセメント重量の約 0.4% がフリーデル氏塩として固定されるとされており<sup>6)</sup>、これによると通常の配合において可溶性塩分量は全塩分量の 60 ~ 70% 程度となる。

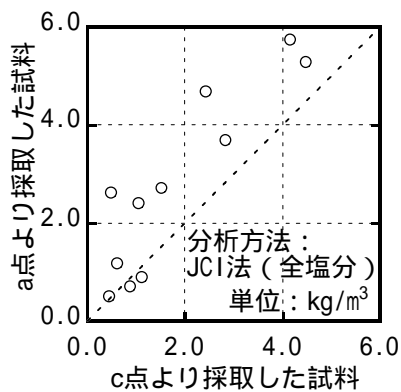
今回の検討では、可溶性塩分量の全塩分量に占める割合が 70 ~ 80% 程度となっており、比較的大きいことがわかる。この原因としては、対象が橋脚構造で貧配合のコンクリートが使われている可能性が高く、従ってセメント量が少なく固定化される塩分量が少ないこと、浸透してくる塩分量が非常に多く、セメントが吸着できる塩分量の限度を超えてしまっていることなどが考えられる。構造物 C における比率が他と比べて小さな値となっているのは、塩分量が少ない箇所であったためと考えられる。

測定される可溶性塩分量を全塩分量に換算するためには、今後更に検証データを蓄積して行く必要があると考えられる。

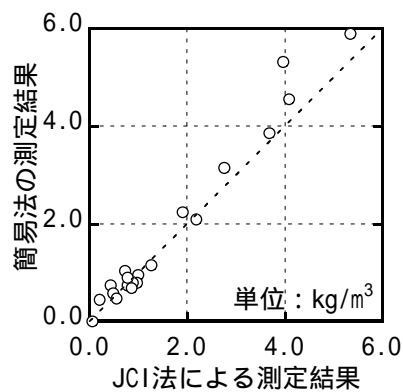
### 3.4 塩分量と誤差相関

採取方法及び分析方法について、塩分量の観点から相関を示したものを図 - 6 に示す。

図 - 6 より、採取方法が異なる場合は塩分濃度によらず全体に相関が悪く、また分析方法が異なっても塩分濃度によらず比較的相関がよいことがわかる。簡易測定法は、分析方法の違い



(a) 採取方法の違いによる相関



(b) 分析方法の違いによる相関

図 - 6 塩分量と誤差相関

よりはむしろ、採取方法の違いによる影響を受け易いことが分かる。

#### 4. まとめ

今回の実構造物を対象とした調査より、得られた知見を以下にまとめる。

- (1)ドリルによる試料採取とコアによる試料採取では、採取位置の違い、コンクリート組成の不均一性などにより分析結果に差が生じたが、一次判定として用いる簡易測定法としては十分な精度を有していると考えられる。
- (2)簡易法による塩分量分析でも、JCI法とほぼ同様の分析結果が得られ、簡易分析法が実構造物に対して有効であることが確認できた。
- (3)簡易分析法の可溶性塩分量を維持管理に役立てるためには、全塩分量に換算する必要があるが、その比率はコンクリートの品質と含有塩分量により左右される。従ってこれらの測定データを蓄積しておく必要がある。

現在、代表的な地方、代表的な鉄道構造物を選定し現地試験を実施しているところであるが、今後もデータを収集するとともに、簡易測定法の精度、適用方法などについて検証していきたいと考えている。

#### 謝辞

コンクリートハンマードリルを用いた塩分量・中性化の簡易測定法については、日本大学

の湯浅先生に貴重なご指導、ご助言を賜った。

また吸塵タイプのドリルについては、富士物産株式会社に、塩分分析については、吉川産業株式会社にそれぞれご協力を頂いた。

ここに深甚の謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) (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規準(案), JCI-SC4, pp.14-37, 1987.4
- 2) 湯浅ら：ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法の提案, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, 1999
- 3) 笠井ら：コンクリートの中性化とその簡易な試験方法の提案, 非破壊検査第47巻9号, 1998
- 4) 長谷川ら：RCラーメン高架橋の中性化深さに関する調査, 土木学会年次学術講演会講演概要集, pp584-585, 2001.10
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編], pp.97-112, 2001.1
- 6) Browne, R. D. : Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design, Inspection and Repair of Offshore and Coastal Structure, ACI SP-65, P.179, 1980