

論文 ドリルを用いた塩分量簡易測定法の実構造物への適用に関する研究

東川 孝治^{*1} 曾我部正道^{*2} 井上 裕司^{*3} 谷村 幸裕^{*4}

要旨： 本研究では、硬化コンクリートに含まれる塩化物イオン量の測定方法について、ドリルを用いた試料採取法と様々な分析法に着目し、実構造物への適用性の観点から検討を行った。具体的には、海岸付近 24 箇所の実鉄道構造物に対して検証試験を行い、従来法（コアー電位差滴定法）との比較検討を行った。試料採取については、ドリルとコアという採取法の違いのほか、実構造物では試料採取位置の 500mm 程度の違いも測定結果に影響を及ぼしていること、分析法については、分析法がいずれの場合も一定の精度を有していることなどを明らかにした。

キーワード： 維持管理、塩化物イオン量測定、ドリル法、電極電流法、吸光光度法

1. はじめに

コンクリート構造物が耐久性を損なう要因の一つとして、塩化物イオンによる鋼材の腐食がある。海岸付近に建設される構造物は建設時に混入される塩化物イオンに加え、飛来してくる海塩粒子に含まれる塩化物イオンの付着、浸透により影響を受けるため、塩化物イオンによる鋼材腐食が生じやすい。鋼材位置での塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 になると構造物として問題になる鋼材腐食が発生しやすいとされている¹⁾。

したがって、海岸付近における既設コンクリート構造物の維持管理にあたっては、コンクリート内部の塩化物イオン濃度分布を測定し、現時点および将来の評価を行わなければならない。

具体的な塩化物イオン量の測定手法としては、JCI-SC8²⁾ によりコンクリートコア試料を採取（以下、コア法）し、JCI-SC4²⁾ の電位差滴定法（以下、電位差滴定法）を用いて分析するのが一般的である。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が、現場作業に時間を要すること、分析操作が煩雑であること、分析費用が高いことなどから、既設構造物の維持管理に適用していくには数量的な制約を受けざるを得ない。

そこで本研究では、コア法および電位差滴定法を補完するかたちで提案されている測定手法に着目し、実鉄道構造物への適用性の観点から検討した。採取方法としては、湯浅らのドリルを用いた簡易な方法³⁾（以下、ドリル法）を検討対象とした。分析方法は、簡易な方法として湯浅らのフレッシュコンクリート用の方法³⁾（以下、電極電流法）及び水質試験等に適用されている吸光光度法を検討対象とし、その他硝酸等の溶液による抽出をしないため廃液処理が不要な蛍光 X 線法も検討対象とした。

2. 検討方法

2.1 試料の採取方法

試料採取は、ドリル法とコア法により行った。

ドリル法は、市販の比較的な安価な機器類で効率的に試料採取ができること、鉄筋探査が不要であること、断面欠損が小さいため構造物に与える影響が小さく補修も容易であること等の利点を有している。一方で、コア法よりも局部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にならず、測定誤差が大きくなるといった懸念^{3) 4)}もある。

*1 (株) 鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室 研究員 (正会員)

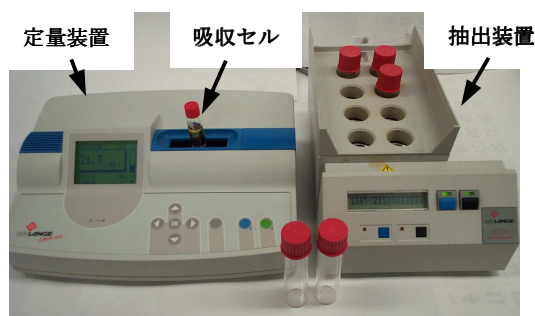
*2 (株) 鉄道総合技術研究所 構造力学研究室 副主任研究員 (正会員)

*3 中央復建コンサルタンツ (株) 工修 (正会員)

*4 (株) 鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室 主任研究員 工修 (正会員)



写真－１ ドリル法による試料採取状況



写真－２ 吸光光度法による
塩化物イオン量の分析装置

写真－１は、ドリル法による試料の採取状況である。ドリルの種類は問わないが、市販されている集塵タイプのものに専用の採取装置を取りつけたもので、１人による作業も可能である。

分析試料には、ドリル削孔にともなって出てくるコンクリート粉末を用いる。試料は、コンクリート表面から深さ方向に 40mm までは 10mm 間隔、40mm 以深では 20mm 間隔で採取した。ドリルの刃はφ20mm とし、３孔ずつ採取した。ドリル孔間隔は 50mm 程度とした。

また、近傍においてドリル法により中性化深さを測定⁵⁾した。

コア法は JCI-SC8 に準拠し、ドリル孔から 100～200mm 離れた位置でコンクリートコア抜きを行い、ドリル法と同じ間隔にスライスしたあと、全量粉碎し分析に供した。

2.2 分析方法

塩化物イオン量の定量は、(1)～(4)に示す方法で行った。

- (1) 電位差滴定法
- (2) 吸光光度法

表－１ 構造物データ

名称※ ¹	地方	海域	種別	経年 (年)	中性化 (mm)	距離※ ² (m)
A-02	北海道	日本海	橋脚	28	3.8	汀線付近
A-05	北海道	日本海	橋脚	29	12.3	汀線付近
B-10	中部	日本海	橋脚	35	0.0	30
B-11	中部	日本海	橋脚	35	4.1	30
B-12	中部	日本海	橋脚	35	2.6	30
B-13	中部	日本海	橋脚	35	3.5	30
B-14	中部	日本海	橋脚	36	6.7	汀線付近
B-19	中部	日本海	橋脚	33	0.7	150
B-20	中部	日本海	橋脚	33	0.8	150
B-26	中部	日本海	橋脚	34	9.0	100
C-04	中国	日本海	橋脚	54	8.3	汀線付近
C-06	中国	日本海	橋脚	69	0.0	飛沫帯
C-08	中国	日本海	橋台	70	12.0	30
E-09	北海道	太平洋	橋脚	30	2.3	950
E-09②	北海道	太平洋	橋脚	30	2.3	950
E-13	北海道	太平洋	橋脚	71	0.0	40
E-14	北海道	太平洋	橋脚	21	0.0	40
E-16	北海道	太平洋	橋台	38	0.0	70
E-17	北海道	太平洋	橋脚	69	0.0	80
H-01	中部	太平洋	護岸壁	79	2.0	70
H-02	中部	太平洋	護岸壁	88	18.6	50
H-06	中部	太平洋	護岸壁	88	21.9	50
I-03	近畿	太平洋	橋台	34	12.7	80
I-12	近畿	太平洋	橋脚	65	10.1	汀線付近
J-02	四国	太平洋	橋脚	63	0.3	20
J-04	四国	瀬戸内海	橋脚	63	3.0	300
J-06	四国	太平洋	橋脚	31	8.0	50
N-04	四国	瀬戸内海	橋脚	66	3.0	20
N-05	四国	瀬戸内海	橋脚	15	10.6	10

※¹ 名称は、他の研究との整合性から定めている。
欠番の試料は、本研究とは無関係である。

※² 海岸線からの距離

(3) 電極電流法

(4) 蛍光 X 線法

(1)、(2)は JCI-SC4 に準拠して行い、全塩化物イオンを抽出した。ただし、(2)の方法では定量試薬にクロム酸銀ではなく、チオシアン酸水銀(Ⅱ)を用いている。写真－２に分析装置を示す。吸収セル(塩化物イオンを抽出した濾過液と試薬を混入したもの)を定量装置に挿入すると、自動的に塩化物イオン量を得ることができる。

(3)は湯浅らの提案する簡易な方法で行い、可溶性塩化物イオンを抽出した。この方法では、塩化物イオン以外のイオンの影響を受けるため、溶媒には妨害イオン抑制剤を混ぜたものを用いた。

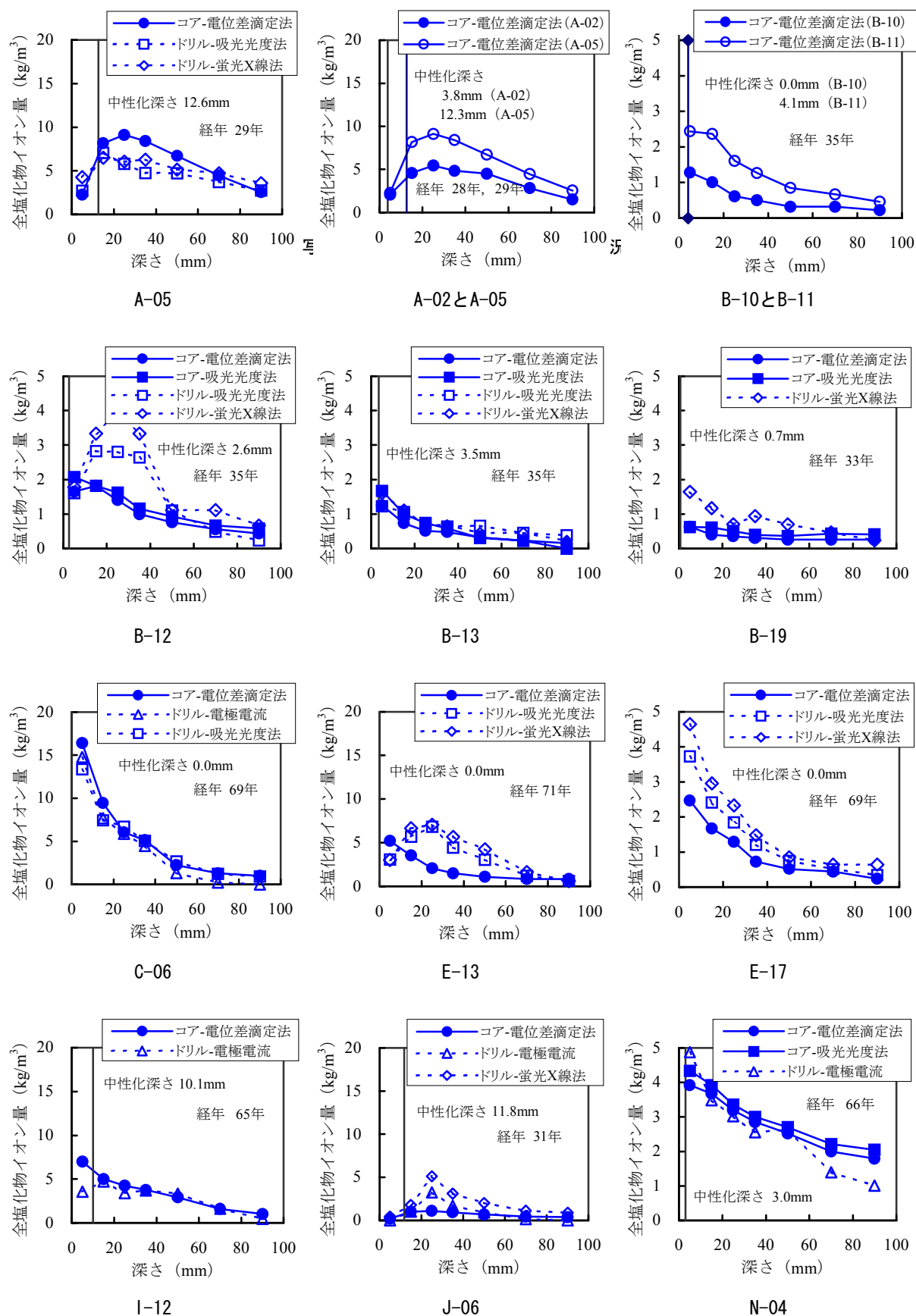


図-2 測定箇所ごとの深さ方向の全塩化物イオン量分布

(4) は、ドリル粉末を乳鉢で微粉碎し加圧成形により $\phi 20\text{mm}$ 、厚さ 2mm の分析試料を作製して、蛍光 X 線分析器に入れて全塩化物イオン量を定量する方法である。

析に要する 1 サンプルあたりの作業時間は、(3)、(4) が 20～30 分程度であるのに対し、(1)、(2) は抽出に加熱および濾過処理を要するため、さらに (2) では 30 分～1 時間、(1) で 1～数時間長くなる。

2.3 測定構造物

表 1 に、試料を採取した構造物の地理的位置、経年、中性化深さを示す。試料採取は構造物の地表面から 1.0～1.5m の高さで行った。No.A-02 と A-05、B-10 と B-11、E-09 と E-09② は同一構造物の同一面内で 140～720mm 離れた位置関係にある。

3. 測定結果

3.1 塩化物イオン量分布

図 2 に、24 箇所のうち代表的な 12 箇所について、測定箇所ごとの塩化物イオン量の測定結果を示す。電極電流法で測定した可溶性塩化物イオン量は、0.7 で除して全塩化物イオン量に換算⁴⁾してある。

いずれの採取方法、分析方法の組合せの測定結果も、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透や中性化による塩化物イオンの濃縮傾向を良く捉えている。ただし、No.B-12 や E-13 のように、分析方法に関わらず同一試料であれば分布傾向が同じであるが、採取方法が異なれば分布傾向が異なる例もある。

なお、塩化物イオン量は、コンクリートコアのうち塩化物イオン量分析に用いなかった切片を 105°C で調整した、コンクリートの絶乾単位容積質量あたりの重さで求めた。ドリル法の分析では、一般的に、コンクリートの単位容積質量 $2,300\text{kg/m}^3$ を用いるのが良いと考えられるが、今回は近傍のコンクリートコアの値を用いた。その平均値は $2,220\text{kg/m}^3$ であった。

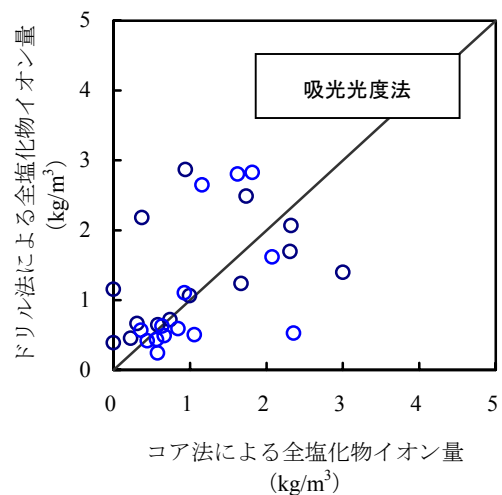
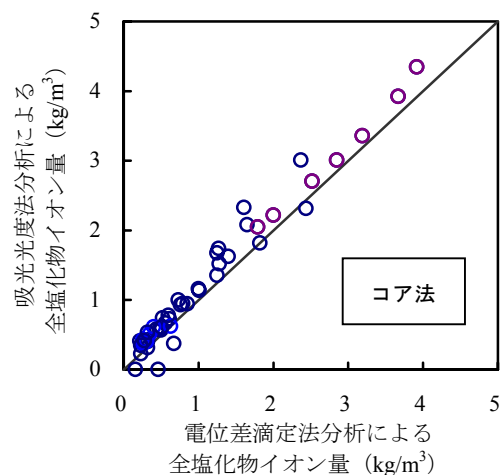
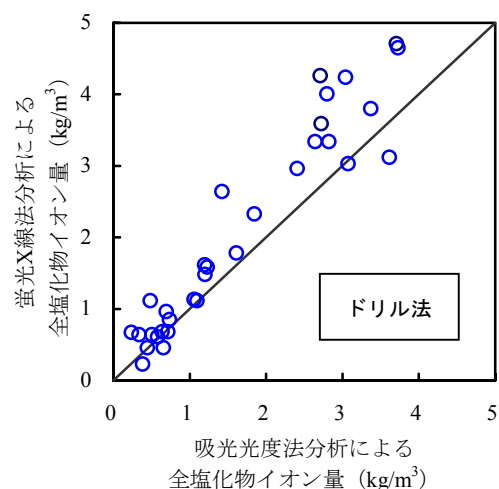


図 3 採取方法に関する検討



(a) 電位差滴定法と吸光光度法



(b) 吸光光度法と蛍光 X 線法

図 4 分析方法に関する検討

3.2 採取方法に関する検討

図-3は、コア法およびドリル法で採取した試料をいずれも吸光光度法で分析した結果を比較したものである。測定値の差は最大 1.93kg/m^3 で大きくばらついている。井上らによる電位差滴定法⁴⁾や湯浅らの電極電流法³⁾による結果では、ドリル法の方がコア法よりも測定値が大きくなるとされているが、逆の結果も現れた。

3.3 分析方法に関する検討

図-4に、同一試料を相違なる方法で分析した結果を比較したものを示す。

(a)はコア法で採取した試料について検討したものである。電位差滴定法に比べて吸光光度法の方の測定値がやや大きい、ほぼ一致している。

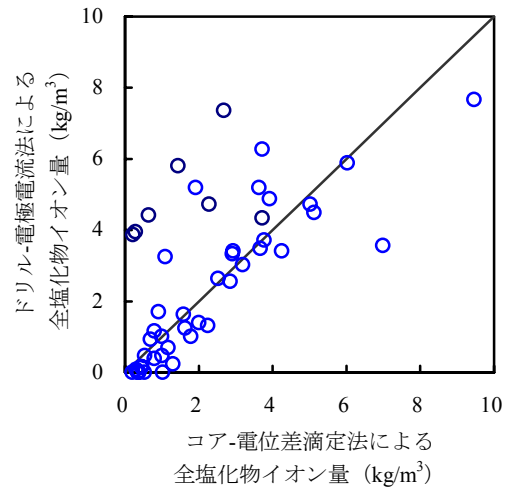
(b)はドリル法で採取した試料について検討したものである。吸光光度法に比べて蛍光X線法の測定値が大きく、その差は最大 1.55kg/m^3 であった。

4. 全体精度に関する考察

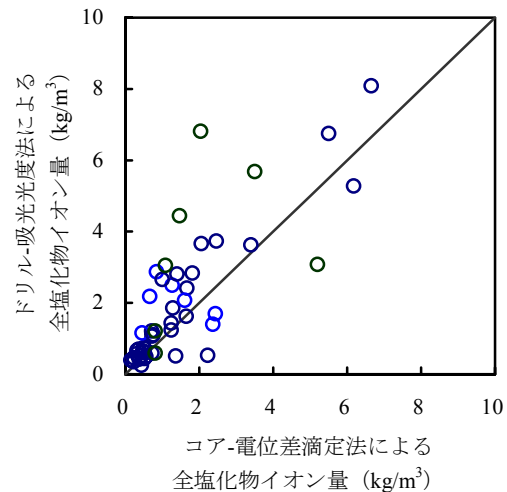
図-5に、コア法で採取した試料の電位差滴定法分析、即ち、従来一般的に用いられてきた測定方法とその他の測定方法との相関を示す。採取方法、分析方法ともに異なると、測定値の差は最大 4.73kg/m^3 と大きくばらつく。

従来、ドリル法で試料採取を行うと、ドリルが骨材を避けセメントペースト分が多く削られることにより、コア法試料よりも骨材率が小さくなり塩化物イオン量が多くなるといわれてきた。

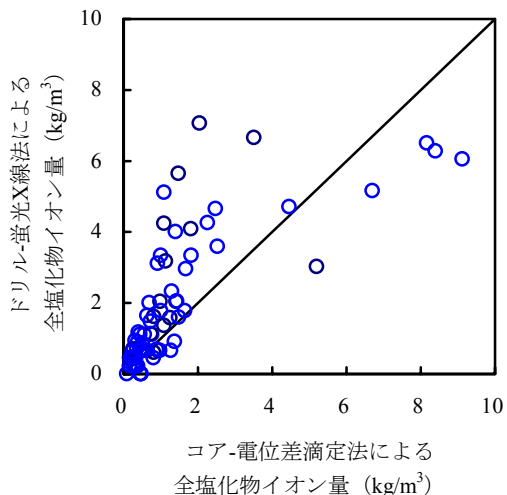
そこで、図-5(c)で比較したドリル法試料のうち、コア法との差が大きい35サンプルについて、セメント協会法 F-18⁶⁾に準拠し、塩酸に対する不溶解残分から骨材率を測定して検証を行った。その結果、骨材率は $64.4\sim 90.5\%$ (平均 78.4%) でばらつきがみられたため、これに基づき塩化物イオン量の補正を行ったが、従来



(a) ドリル-電極電流法



(b) ドリル-吸光光度法



(c) ドリル-蛍光X線法

図-5 従来法に対する検討

法に対するばらつきはさほど小さくならなかった。

つぎに、採取位置の違いについて、3 構造物において検証を行った。同一構造物の同一面内で、水平方向に 0～720mm、鉛直方向に 0～690mm 離れた位置（一方を位置 P、他方を位置 Q とする）において、従来法により採取・分析を行い比較した。図－6 に検討結果を示す。同一の方法によって採取・分析しても、採取位置が異なれば、塩化物イオン量のばらつきが生じていることがわかる。同じ面内においても塩化物イオンの浸透の度合いが位置により差が生じていることを示唆していると考えられる。

つまり、図－3、図－4、図－5 にみられた採取方法、分析方法の違いによる塩化物イオン量のばらつきには、試料を採取する位置の違いによる影響も含んでいると考えられる。

5. まとめ

本研究では、実構造物への適用性の観点から、4 つの分析方法に関する検討を行った。

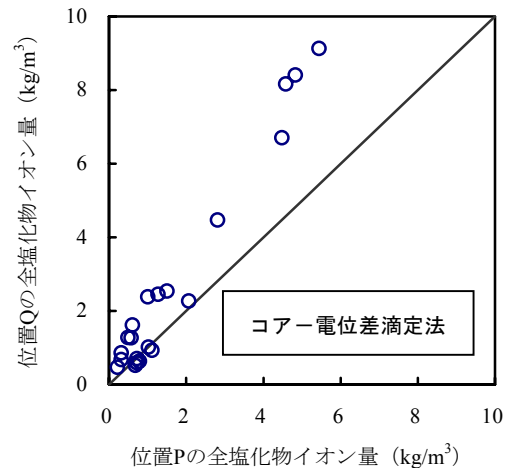
本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 塩化物イオン量の分析方法は、電位差滴定法のほか、簡易な電極電流法、吸光光度法あるいは蛍光 X 線法のいずれを用いても、一定の精度を有している。
- (2) 同一構造物、同一面内における、同一方法で得られた測定値には差が生じていた。このことから、採取方法の違いのほか、採取位置に影響されることが考えられる。

本研究の結果が、今後の鉄道構造物における耐久性設計及び維持管理の一助となれば幸いである。

謝辞

コンクリートハンマードリルを用いた塩化物イオン量、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



図－6 同一構造物・同一面内での差異

った。また、電極電流法については、吉川産業株式会社、吸光光度法については、富士物産株式会社および富士技研株式会社にそれぞれご協力を頂いた。

ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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），pp.17-37，pp.57-58，1987.4
- 3) 湯浅昇ほか：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，No2，pp.1303-1308，1999.
- 4) 井上裕司ほか：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1503-1508，2002
- 5) 笠井芳夫ほか：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，pp.643-648 1998.
- 6) セメント協会：硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告，コンクリート専門委員会報告 F-18，pp.353-378，1967.9.