

報告 海岸線付近にあるコンクリート構造物の簡易法による塩分量調査

桐山 和也*1・渡邊 義規*2・服部 啓二*3・梅原 秀哲*4

要旨:塩害に対するコンクリート構造物の維持管理を行なうための資料を得ることを目的に、愛知県内の海岸線付近にあるコンクリート構造物の塩分量調査を行なうとともに、ドリル粉末とフレッシュコンクリート中の塩分量測定計(試験紙)を用いた簡易測定法¹⁾の適用性を検討した。その結果簡易測定法は、既設構造物の維持管理や一次調査に用いる測定法として十分に実用的な手法であることが分かった。また、地域特性として南方向に海を臨む愛知県蒲郡地区三河湾側では塩分の蓄積がほとんど確認されなかったが、北西方向に海を臨む愛知県知多地区伊勢湾側では調査を行なった構造物の半数で塩分の蓄積が確認された。

キーワード:飛来塩分, 塩分量測定計, モール法, ドリル法, JCI法

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化は、鋼材の腐食が開始するまでの潜伏期、腐食開始から腐食ひび割れ発生までの進展期、腐食ひび割れの影響で腐食速度が大幅に増加する加速期、および鋼材の大幅な断面減少などが起こる劣化期という過程に分けて考えることができる。塩害による鉄筋コンクリート構造物の変状は、腐食ひび割れや剥離・剥落が発生する加速期になって現れるため、通常行われる点検(外観目視検査)では劣化の早期発見・早期対策が困難であるのが現状である。そこで、劣化の早期発見には、塩害劣化進行過程における潜伏期(鋼材のかぶり位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度 1.2kg/m^3 に達するまでの期間)の予測が重要となる。この潜伏期を予測するには、コンクリート中の塩化物イオン量を調査する必要がある。調査は通常、コンクリートコアを採取して JCI-SC4 により分析を行なう場合が多い。この方法は、分析方法としては優れているが、試料の採取や調整・分析に多くの労力・費用を必要とするため、コンクリート構造物の維持管理

に適用し難いのが現状である。このため、調査現場で、既設コンクリート構造物の塩化物イオン量を比較的簡単に測定する方法が幾つか提案されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

そこで本研究では、国土交通省土木研究所の共同研究報告書(第 269 号)¹⁾に示されているドリル粉末とフレッシュコンクリート中の塩分量測定計(試験紙)を用いた簡易測定法に着目し、愛知県の海岸線付近にあるコンクリート構造物の塩分量調査を行いその適用性について検討を行なった。

2. 調査方法

2.1 塩分量の測定方法

(1) 塩分量測定計

塩分量の測定には、フレッシュコンクリート中の塩分量測定用の試験紙を使用した。この試験紙は、モール法により塩分量を測定するものである。試験紙は塩化物イオン濃度に対応して、塩分感知部分が茶褐色から白色(淡黄色)変色する。測定はこの変色した部分の目盛りを読み取り、換算表を用いて塩化物イオン濃度を求める。

*1 矢作建設工業(株) 土木技術部 調査課 (正会員)

*2 矢作建設工業(株) 土木技術部 調査課

*3 矢作建設工業(株) 土木技術部 次長 (正会員)

*4 名古屋工業大学大学院教授 都市循環システム工学専攻 Ph.D (正会員)

表 - 1 調査方法(簡易測定法)

作 業	内 容
試料の採取	コンクリートドリルを使用して削孔し、2cm ごとに最大 10cm の深さまでコンクリート粉末を採取する。粉末は近接する 10 箇所程度から採取し、1 試料とした。
試料の計量	表面から深さごとに採取したコンクリート粉末から 10g を量り取り、ポリ容器に入れる。
塩分の抽出	10g の水道水(20)をコンクリート粉末に加え、5 分間よくかき混ぜ 10 分間静置する。
塩化物イオン濃度の測定	所定の時間静置した試料に塩分量測定計を差込み、試薬が白色に変化した目盛りを読み取る。換算表を用いて塩化物イオン濃度(%)に換算する。
塩化物イオン量への換算	換算した塩化物イオン濃度(%)にコンクリートの単位容積質量(2300kg/m ³)をかけ、コンクリート 1m ³ あたりの塩化物イオン量(kg/m ³)に換算する。



写真 - 1 携帯型ドリルと刃



写真 - 2 試料の採取状況

測定計は 1 試料につき 3 本使用する。

(2) 測定方法

簡易測定法による調査の方法を表 - 1 に示す。試料の採取には、携帯型のドリルと 10m のコンクリート用ドリル刃を使用した(写真 - 1)。ドリルの刃は、2cm ごとにあらかじめ削孔深さをマーキングし、試料採取深さごとに刃を取り替えた。試料の採取状況を写真 - 2 に示す。塩分測定計ならびに塩分の測定状況を写真 - 3 に示す。



写真 - 3 塩分測定計ならびに測定状況

2.2 調査地点および調査項目

(1) 調査地点

調査を行なったコンクリート構造物の位置を図 - 1 に示す。調査地点は愛知県蒲郡地区の三河湾側(1 ~ 11)、愛知県知多地区の伊勢湾側(12 ~ 16, 19 ~ 29)ならびに愛知県知多地区の三河湾側(17 ~ 18)である。

(2) 調査項目

調査項目は、構造物海側面での簡易測定法による塩分量の測定、ならびに中性化深さの測定である。構造物(12,19,21,22,27) についてはコア

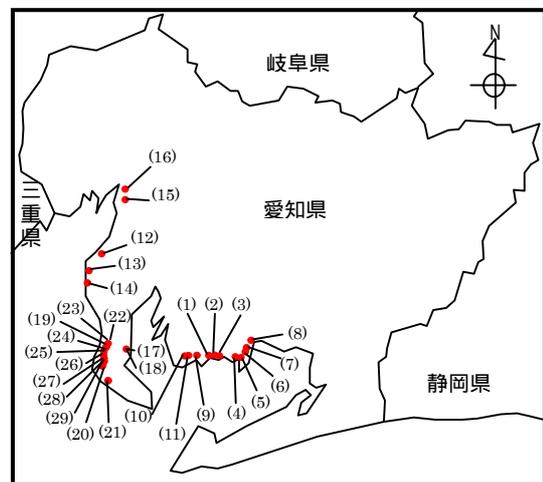


図 - 1 調査位置

表 - 2 調査構造物概要と簡易測定法による調査結果

地区	番号	種別	材齢(年)	海岸からの距離(km)	中性化(mm)	簡易測定法による塩化物イオン量(kg/m ³)					JCI-S C4
						0-2cm	2-4cm	4-6cm	6-8cm	8-10cm	
A	(1)	高欄	20	0.2km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(2)	橋台	67	0.1km	-	0.11	0.10	0.12	0.21	0.20	-
	(3)	橋台	67	0.8km	-	0.10	0.11	0.13	-	-	-
	(4)	ボックス	67	0.5km	-	0.20	0.21	0.30	0.78	0.88	-
	(5)	橋台	67	0.1km	-	0.20	<0.1	<0.1	-	-	-
	(6)	橋台	67	0.4km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(7)	擁壁	32	0.4km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(8)	橋脚	67	1.0km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(9)	橋台	74	0.3km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(10)	橋台	75	1.0km	-	0.36	0.99	0.51	0.36	0.21	-
	(11)	橋台	75	1.0km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
B	(12)	橋脚	82	0.5km	20.9	0.44	2.28	2.09	1.63	1.42	-
	(13)	橋脚	82	0.5km	16.5	0.60	0.82	0.56	0.46	0.36	-
	(14)	高欄	22	0.5km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(15)	橋台	40	1.0km	-	0.21	<0.1	<0.1	-	-	-
	(16)	橋台	47	1.0km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(17)	橋台	71	0.5km	-	<0.1	<0.1	0.22	-	-	-
C	(18)	橋台	30	0.5km	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(19)	橋脚	30	0.6km	19.6	0.10	0.28	0.80	0.58	0.20	-
B	(20)	橋脚	29	1.3km	20.5	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	(21)	橋脚	23	1.0km	21.4	0.45	0.74	0.88	0.20	0.20	-
	(22)	橋台	30	0.9km	25.8	0.22	0.92	0.70	0.33	0.28	-
	(23)	橋台	30	0.9km	18.7	0.11	0.29	0.12	<0.1	<0.1	-
	(24)	ボックス	15	0.4km	6.3	0.12	<0.1	<0.1	-	-	-
	(25)	橋台	30	0.7km	34.9	<0.1	0.17	0.25	0.12	<0.1	-
	(26)	橋脚	29	0.7km	17.7	0.18	0.55	0.40	0.24	0.15	-
	(27)	橋台	29	0.8km	10.2	0.36	1.32	1.32	1.03	0.83	-
	(28)	橋台	29	1.3km	8.2	0.45	0.55	0.55	0.43	0.43	-
	(29)	橋台	29	1.3km	15.9	<0.1	0.12	0.12	0.12	0.12	-
備考	A:愛知県蒲郡地区三河湾側, B:愛知県知多地区伊勢湾側, C:愛知県知多地区三河湾側										

試料を採取して JCI-SC4(全塩分量)にて分析し、簡易測定法の結果と対比した。JCI 法では、コア試料を 2cm ごとにスライスして微粉碎したものを分析に用いた。構造物(13)では試料採取位置の違いによる影響について検討するため、ドリル法にて海側と山側で試料を採取し、簡易測定法により分析を行なった。中性化深さは、塩化物分析試料採取箇所近傍にてドリル法により測定した。

3. 調査結果

調査を行なった構造物の概要と簡易測定法による塩分量の調査結果を表 - 2 に示す。

3.1 塩害の地域特性

簡易測定法の結果(表 - 2)により 0.3kg/m³ を上回る塩化物イオン量が測定された構造物は、

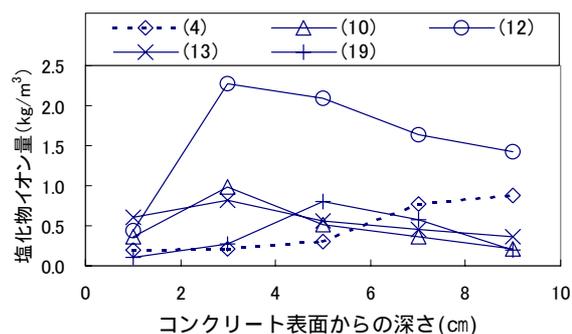


図 - 2 深さと塩化物イオン量の関係(簡易法)

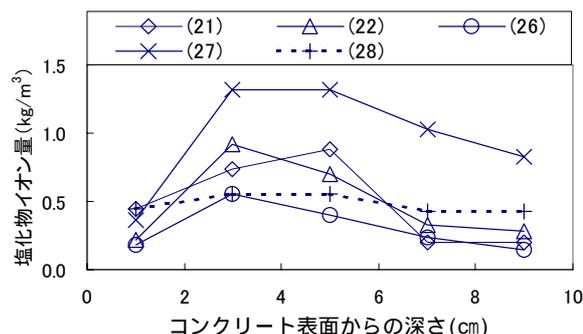


図 - 3 深さと塩化物イオン量の関係(簡易法)

蒲郡地区で2構造物(4,10), 知多地区伊勢湾側で8構造物(12,13,19,21,22,26,27,28)であった。これらのコンクリート表面からの深さと塩化物イオン量の関係を図-2ならびに図-3に示す。塩化物イオンは, 外部環境から供給される場合と, コンクリート製造時に材料から供給される場合がある。これらを考慮すると, (4)ならびに(28)は, 深さ方向に浸透蓄積したと考えられる明確な濃度勾配がみられず, 製造時に材料等から供給された塩化物であると推測される。よって, 今回の調査対象において外部環境から供給されたと考えられる塩分(飛来塩分)が確認されたのは, 蒲郡地区三河湾側が9%(1/11), 知多地区伊勢湾側が50%(7/14)となり, 地域による差異が認められた。

一般に飛来塩分に地域差が生じる一要因として風の影響があげられている⁵⁾。そこで南知多ならびに伊良湖における風向の卓越状況について整理した風向別出現率の一例⁶⁾(2002年2月,5月,8月,11月)を図-4に, 風向の測定地点を図-5に示す。図より両地区とも夏季にはESE~SSWの風が, 冬季にはWNW~NNWの風が優勢となっていた。また, 年間の状況をみると, WNW~NNWの風が卓越していた。よって, 知多地区伊勢湾側が蒲郡地区三河湾側より飛来塩分の影響を受ける頻度が高いのは, 伊勢湾ならびに三河湾では北西方向からの季節風が卓越するためであると考えられる。

3.2 簡易測定法の測定精度

簡易測定法とJCI法の分析誤差を確認するために, ドリル試料を採取した箇所の近傍よりコア試料を採取し, JCI-SC4(全塩分量)により分析を行なった。結果を図-6~図-10に示す。図より, 簡易測定法による分析結果とJCI法(全塩分量)による分析結果は深さ方向にほぼ同様の傾向を示しているが, 簡易測定法により測定される塩分量はJCI法より少ない。これは簡易測定法により測定される塩分量が, 可溶性塩分となるためである。一般にコンクリート構造物に含まれる塩分量の評価は, 全塩分量で規定されてい

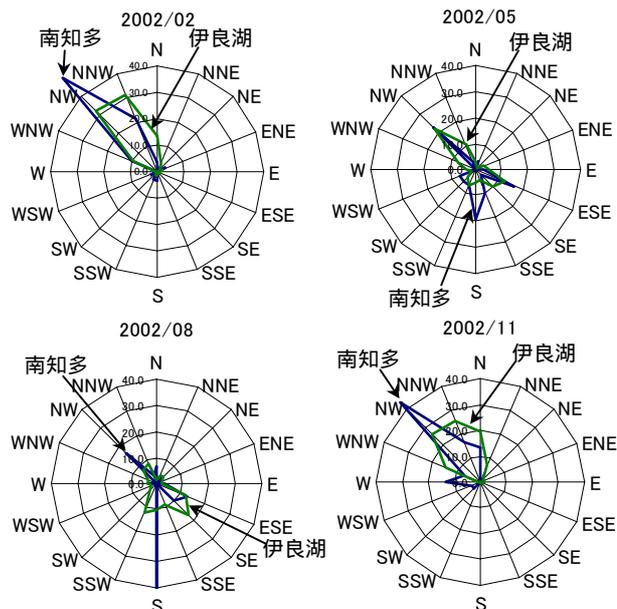


図-4 風向別出現率(南知多・伊良湖)

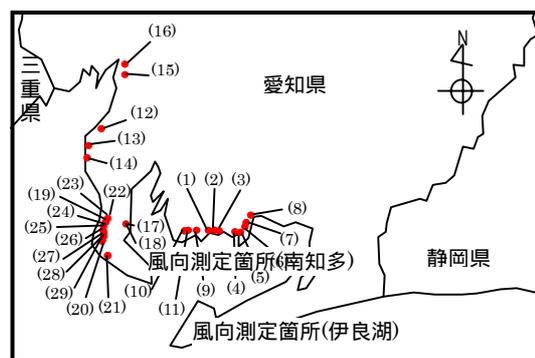


図-5 風向きの測定箇所

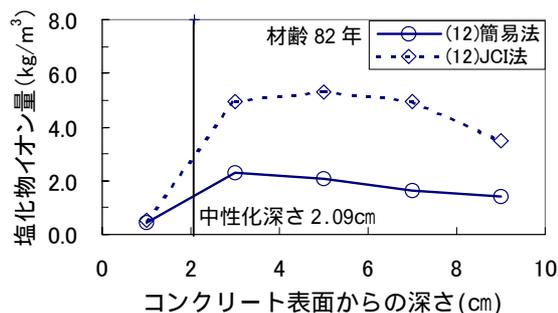


図-6 簡易法とJCI法の塩分量測定結果

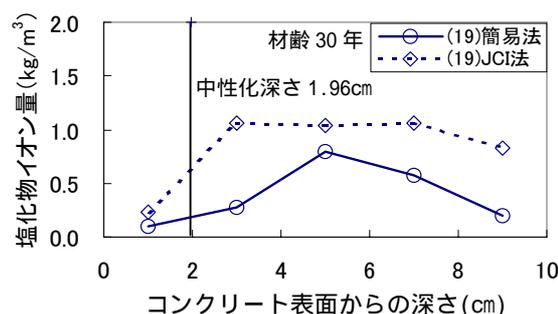


図-7 簡易法とJCI法の塩分量測定結果

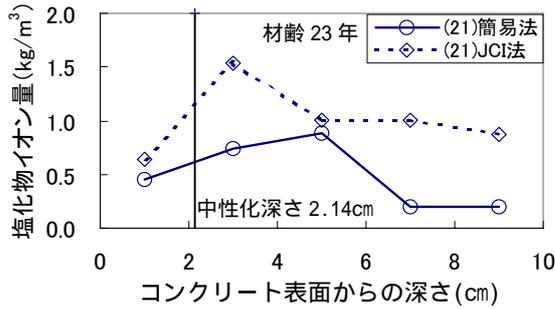


図 - 8 簡易法と JCI 法の塩分量測定結果

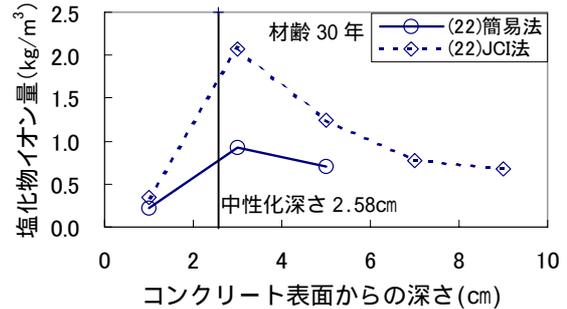


図 - 9 簡易法と JCI 法の塩分量測定結果

る⁷⁾⁸⁾。したがって、簡易測定法で得られる可溶性塩分量と JCI 法による全塩分量の関係を把握することにより、簡易測定法の分析結果を維持管理や一次調査に活用することができると考えられる。

簡易測定法と JCI 法の分析結果を対比したものを図 - 11 に示す。図より簡易測定法による測定値は、JCI 法による値と良い相関を示した。よって簡易測定法は一定の精度を有しており、詳細な分析の必要性を検討する一次判定用の測定法として十分に実用的な手法であると考えられる。

JCI 法全塩分測定値に対する簡易測定法可溶性塩分割合の頻度を図 - 12 に示す。簡易測定法により検出された塩化物イオン量は、JCI 法(全塩分)の 40 ~ 50% 程度の値を示す頻度が多かった。一般に、コンクリート中においては、塩化物イオンがセメント鉱物と反応し固定され、固定される量は 40 ~ 50% 程度とされている⁹⁾。これによると可溶性塩分量は、全塩分量の 50 ~ 60% となる。このことを考慮すると、今回の簡易測定法による分析結果は比較的小さな値となった。この要因として、今回の簡易測定法では 20 の水に可溶性塩分量を測定しているためであると考えられる。また、今後も継続してデータを蓄積し、簡易測定法と JCI 法の関係を把握する必要があると考えられる。

3.3 試料採取位置の違い

同一構造物の海側に面する部位と山側に面する部位にて、ドリル試料を採取し簡易測定法にて分析を行なった。試料は、同一高さの対象と

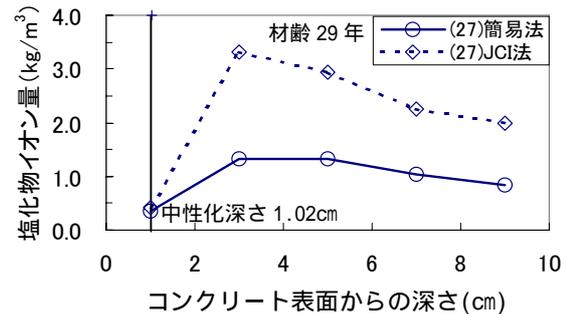


図 - 10 簡易法と JCI 法の塩分量測定結果

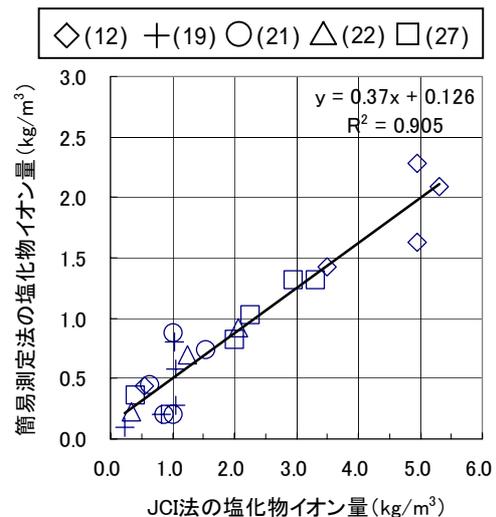


図 - 11 JCI 法と簡易測定法の関係

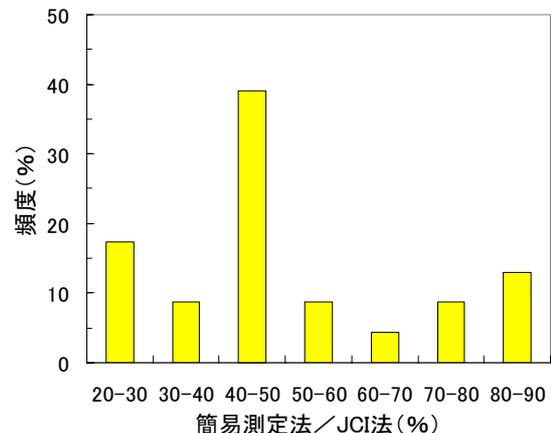


図 - 12 JCI 法全塩分量測定値に対する簡易測定法可溶性塩分割合の頻度

なる位置にて採取した。測定結果を図 - 13 に示す。結果をみると、海側と比べ山側の塩分量は小さい値となった。したがって、周辺の環境を含めた構造物の立地条件を考慮して、調査試料を採取する場所を決定することが重要である。

4. まとめ

ドリル粉末とフレッシュコンクリート中の塩分量測定計(試験紙)を用いた簡易測定法に着目し、愛知県の海岸線付近にあるコンクリート構造物の塩分量調査を行いその適用性について検討した結果、本研究の範囲内で以下の結論が得られた。

- (1) 今回の調査対象において、飛来塩分の蓄積が確認されたのは、愛知県蒲郡地区三河湾側が9%、知多地区伊勢湾側が50%となり、地域による差異が認められた。
- (2) 愛知県知多地区伊勢湾側が蒲郡地区三河湾側より飛来塩分の影響を受ける頻度が高いのは、伊勢湾ならびに三河湾では北西方向からの季節風が卓越するためである。
- (3) 簡易測定法は一定の精度を有しており、詳細な分析の必要性を検討する一次判定用の測定法として、十分に実用的な手法である。
- (4) 今回の調査結果の範囲では、簡易測定法により検出された塩化物イオン量は、JCI法(全塩分)の40~50%程度の値を示す頻度が多かった。
- (5) 塩分量の調査試料を採取する場合、周辺の環境を含めた構造物の立地条件を考慮して、採取位置を決定することが重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省土木研究所材料施工部コンクリート研究室，日本構造物診断技術協会：コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書，共同研究報告書第269号，pp.131-134，2001.6
- 2) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：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

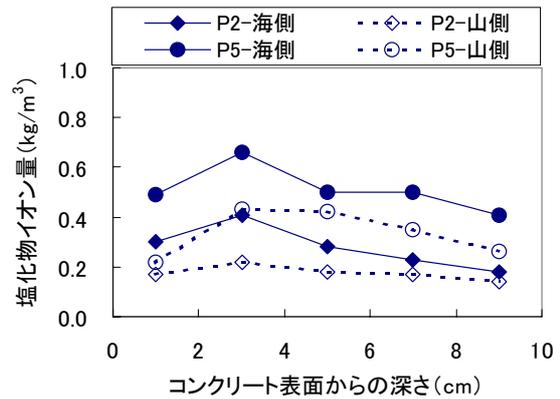


図 - 13 海側と山側の塩分量測定結果

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，pp.1303-1308，1999.6

- 3) 井上裕司，曾我部正道，長谷川雅志，谷村幸裕：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.1503-1508，2002.6
- 4) 東川孝治，曾我部正道，井上裕司，谷村幸裕：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1607-1612，2003.6
- 5) 国土交通省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：飛来塩分量全国調査()，土木研究所資料第3175号，1993.3
- 6) 矢作建設工業株式会社技術企画部，三重大学工学部エネルギー環境工学研究室：愛知県渥美町伊良湖地区の風況精査報告書，2003.1
- 7) 国土交通省土木研究所材料施工部コンクリート研究室，日本構造物診断技術協会：コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書，共同研究報告書第195号，1998.3
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，2001.1
- 9) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'03[基礎編]，2003.1