

論文 14年経過した実 RC 建造物の塩害調査

依田彰彦*¹・横室 隆*²

要旨：海岸沿いに建築されて14年経過した実RC建造物の打ち放し外壁コンクリートの表面部・深さ3cm・深さ6cmに、塩化物イオンがどの程度浸透したのかを知るためにモール法、電位差滴定法、吸光光度法によって測定した。その結果、 Cl^- として表面部は $0.31 \sim 0.59\text{kg/m}^3$ 、深さ3cmは $0.16 \sim 0.33\text{kg/m}^3$ 、深さ6cmは 0.14kg/m^3 以下であった。また、併せて測定した平均中性化深さは $2.7 \sim 16.7\text{mm}$ とばらついていたが、躯体コンクリート中の鉄筋の発せいは認められなかった。

キーワード：外壁コンクリート、塩化物イオン量、モール法、電位差滴定法、吸光光度法

1. はじめに

海岸沿いに建築され、14年経過した実RC建造物の打ち放し外壁コンクリートに塩化物がどの程度、浸透したのかを知ることを目的として塩害調査したので報告する。

2. 調査した実RC建造物の概要

- (1) 位置：北緯30度、東経141度の太平洋際（海岸より50m前後）
- (2) 調査時における実RC建造物の経過年数：14年
- (3) 躯体コンクリートの主な仕様：①種類：普通ポルトランドセメントを用いた砂・砂利・AE減水剤コンクリート ②設計基準強度 24N/mm^2 ③水セメント比：55% ④鉄筋に対するコンクリートの最小かぶり厚さ 50mm ⑤フレッシュコンクリートの推定塩化物イオン(Cl^-)量 0.09kg/m^3
- (4) 災害の有無：建設後、災害は一度も受けていない。

3. 試料の作り方

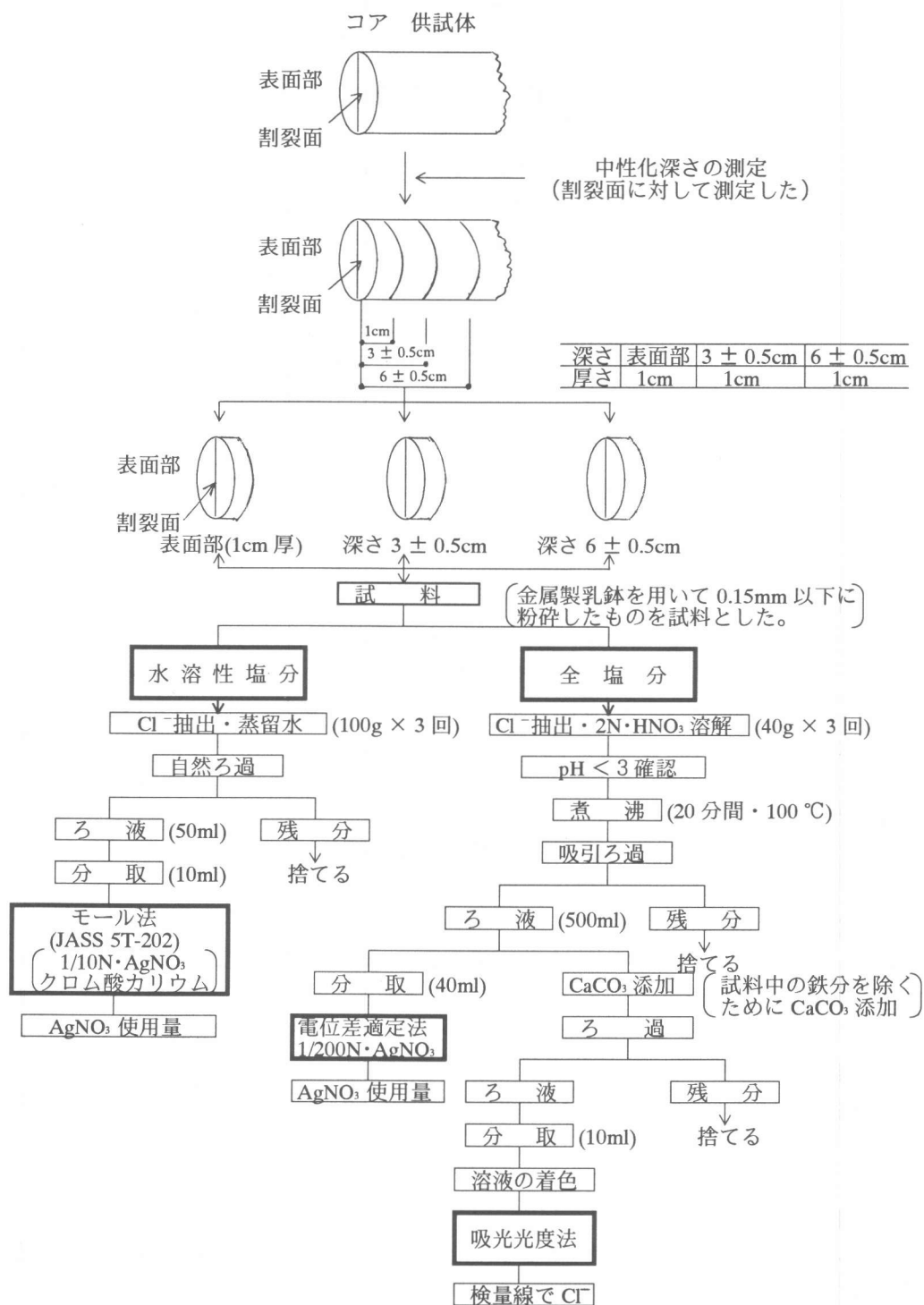
試料の採取はダイヤモンドドリルを用いて建造物の外壁コンクリートより直径5cm 深さ10cm程度のコアを採取し、図-1に示すように表面部、深さ3cm、深さ6cmを試料とした。なお、ボーリングや切断作業時に水を使用すると試料用コアの周りの塩化物が洗い流されるおそれがあるので無水工法によってボーリング・切断した。また、採取した穴部分の補修は採取した翌日に無収縮性の硬練りモルタルを用いて入念に施し、既設コンクリート表面との色合わせにも注意した。

4. 測定の項目と方法

測定した項目は塩化物イオン(Cl^-)量と中性化深さのみに絞り、その試験方法は次に示す通りである。

*1 足利工業大学教授 工学部建築学科、工博（正会員）

*2 足利工業大学助教授 工学部建築学科、（正会員）



(1) 『モール法』の定量法

原理	pH 6.8 ~ 10.5 の範囲内で、クロム酸カリウム K_2CrO_4 を指示薬とし、塩化物イオン Cl^- を硝酸銀 $AgNO_3$ 溶液で滴定する。終点を過ぎ、過剰となった Ag^+ は、赤褐色のクロム酸銀 Ag_2CrO_4 を生成する。 $Cl^- + Ag^+ \rightarrow AgCl \text{ (白色沈殿)}$ $Ag^+ + CrO_4^{2-} \rightarrow Ag_2CrO_4 \text{ (赤褐色)}$
特徴	・操作が簡便である。 ・pH が低いと Ag_2CrO_4 の溶解度が大きくなり、終点が見にくくなる。 ・pH が高すぎると Ag_2O、Ag_2CO_3 を生成し滴定誤差を生じる。 ・妨害イオン Br^-、I^-、SCN^-、CN^-、S^{2-}、還元性物質

(2) 『電位差滴定法』の定量法 (図-2 参照)

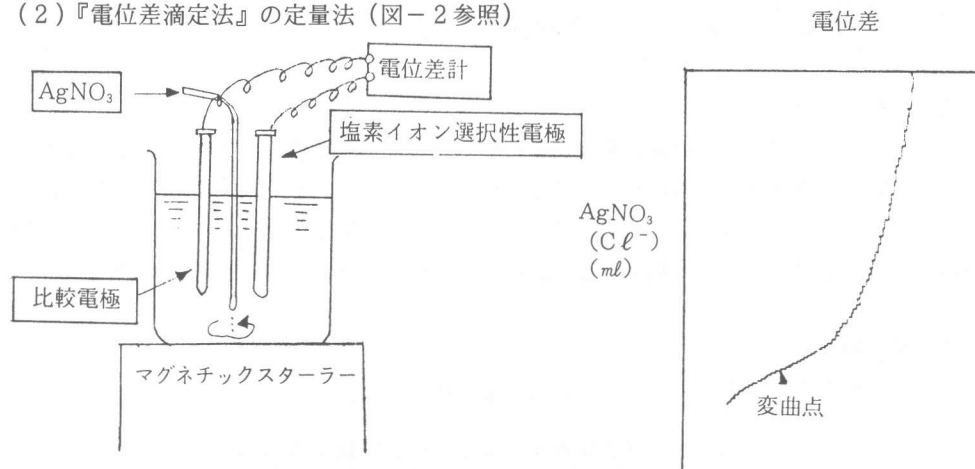


図-2 『電位差滴定法』

原理	塩化物イオン選択性電極を指示電極とし、カロメル電極を比較電極として、硝酸銀溶液で沈殿滴定する。「滴定量-電極電位」の滴定曲線を作図し、変曲点を求め、塩化物イオン Cl^- 濃度を算出する。 $Cl^- + Ag^+ \rightarrow AgCl$ 溶解度積 $[Ag^+][Cl^-] = 1.56 \times 10^{-10} \text{ (25 } ^\circ\text{C)}$
特徴	・混濁液、着色液も分析可能。 ・個人誤差が小さくなる。 ・滴定速度が精度に大きく影響する。 ・希薄溶液で O_2、CO_2 の影響を受けやすい。 ・妨害イオン、モール法と同じ。

(3) 『吸光光度法』(図-3 参照)

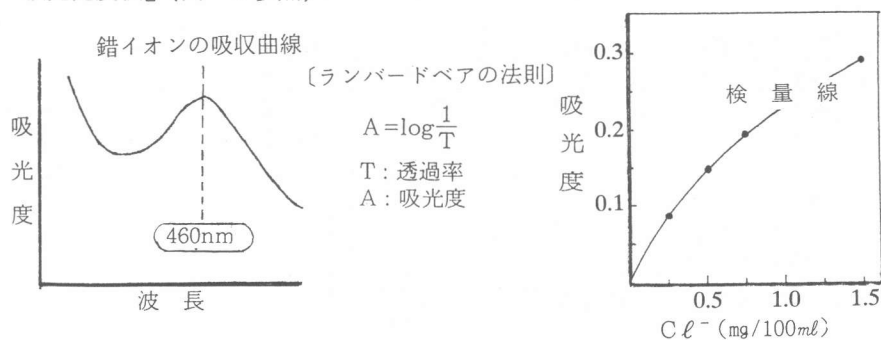


図-3 『吸光光度法』

原理	試料溶液にチオシアン酸水銀(II)を加え、溶存する塩化物イオンを塩化水銀(II)とする。この時遊離するチオシアン酸イオン SCN^- と予め加えてある硫酸鉄(III)アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ の鉄(III)イオン Fe^{3+} が反応して生成する錯イオン(橙色)を波長 460nm でその吸光度を測定する。 $2\text{Cl}^- + \text{Hg}(\text{SCN})_2 \rightarrow \text{HgCl}_2 + 2\text{SCN}^-$ $\text{SCN}^- + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{FeSCN}^{2+}$ なお、図－1 にも示したが、試料中の鉄分を除くために CaCO_3 を添加した。
特徴	・反応が鋭敏の為、微量分析ができる。 ・個人誤差が小さくなる。 ・高純度の水を必要とする。 ・妨害イオン Br^-、I^-、CN^-、還元性物質

4. 2 中性化深さ

図－1 に示したようにコア供試体の割裂面に対してフェノールフタレインアルコール溶液（1 %溶液）を噴霧し、赤紫色にならなかった部分は中性化したものと判定し、その部分をトレスングペーパーに写しとって最大、最小の中性化深さをノギスで測定し、さらにプランメーターを用いて面積を測定してからノギスで幅を測定し、その幅で除して平均の中性化深さを算出した。

5. 調査結果と検討

表－1 に調査結果の一覧を示し、表－2 と図－4 に検討した。

表－1 14年経過した実RC構造物から採取した試料の調査測定結果

試料	採取	塩化物イオン(Cl ⁻)量 ⁽¹⁾ (kg/m ³)			中性化深さ			備考	
		水溶性塩分	全塩分		(mm)				
	箇所	モール法	電位差滴定法	吸光光度法	最大	平均	最小		
Na.1 北側 高さ 11.8m	表面	0.66	0.62	0.55	23.4	16.6	5.5	かぶり 100mm 径 D16(発せいなし)	
	3cm	0.34	0.35	0.31					
	6cm	< 0.13	0.09	0.09					
Na.2 東側(海沿) 高さ 24.4m	表面	0.48	0.47	0.44	8.6	4.4	1.1	—	
	3cm	< 0.13	0.19	0.16					
	6cm	< 0.13	0.09	0.09					
Na.3 東側(海沿) 高さ 14.3m	表面	0.42	0.32	0.30	20.6	16.7	12.0	—	
	3cm	0.34	0.28	0.26					
	6cm	< 0.13	0.13	0.13					
Na.4 東側(海沿) 高さ 22.8m	表面	0.51	0.50	0.46	7.0	4.3	2.0	—	
	3cm	< 0.13	0.24	0.24					
	6cm	< 0.13	0.13	0.15					
Na.5 北側 高さ 11.8m	表面	0.34	0.30	0.31	5.8	2.7	0	かぶり 120cm 径 D35(発せいなし)	
	3cm	< 0.13	0.16	0.16					
	6cm	< 0.13	0.09	0.09					
Na.6 西側(山沿) 高さ 11.7m	表面	0.38	0.30	0.35	15.6	6.4	0	—	
	3cm	< 0.13	0.18	0.18					
	6cm	< 0.13	0.09	0.11					

[注] (1) Cl^- それぞれの値は3回測定したものを平均した。

5. 1 塩化物イオン(Cl^-)量

(1) 今回測定した3つの方法のうち、水溶性塩分のモール法(JASS 5T-202)では海砂のように濃い塩化物に対しては適するが、今回のように塩化物イオン(Cl^-)量が比較的少ない場合、とくに深さ6cmの箇所では検出限界(0.13kg/m^3)を下廻った。

以下に考察する内容は全塩分を測定し、しかも結果が近似している『電位差滴定法』と『吸光度法』によることにした。

(2) 躯体コンクリート中の塩化物イオン(Cl^-)量は各調査箇所とも外壁の表面部ほど多く、以下3cm、6cmの順である。また、方位では海沿いの東側が一般に多く、以下北側で、山沿いの西側が最も少ないようである。構造物の高さ別による塩化物イオン(Cl^-)量は海沿いの東側で見ると、高いほど若干多い。これは海水のしぶきや潮風の影響と考える。

(3) 表-1の塩化物イオン(Cl^-)量はコンクリートに対するものである。これらの結果に対して1997年版JASS 5の3.8aでは『コンクリートに含まれる塩化物量は、塩化物イオン量として 0.30kg/m^3 以下とする。やむを得ずこれを超える場合は、鉄筋防せい(錆)上有効な対策を講じるものとし、その方法は特記による。この場合においても、塩化物量は塩化物イオン量として 0.60kg/m^3 を超えないものとする。』と規定されている。

この規定にあてはめると表-2のようになり、外壁の表面部は、いずれも判定『B』の『鉄筋防せい(錆)上有効な対策を講じる』の結果になった。

表-2 塩化物イオン(Cl^-)量の結果から鉄筋防せい(錆)措置の必要性の区分

試料	採取箇所	Cl^- (kg/m^3)	判 定
No.1 北 側 高 さ 11.8m	表 面	0.59	B
	3cm	0.33	B
	6cm	0.09	A
No.2 東 側 (海 沿) 高 さ 24.4m	表 面	0.46	B
	3cm	0.18	A
	6cm	0.09	A
No.3 東 側 (海 沿) 高 さ 14.3m	表 面	0.31	B
	3cm	0.24	A
	6cm	0.13	A
No.4 東 側 (海 沿) 高 さ 22.8m	表 面	0.48	B
	3cm	0.24	A
	6cm	0.14	A
No.5 北 側 高 さ 11.8m	表 面	0.31	B
	3cm	0.16	A
	6cm	0.08	A
No.6 西 側 (山 沿) 高 さ 11.7m	表 面	0.33	B
	3cm	0.18	A
	6cm	0.10	A

[注] 本表は表-1の電位差滴定法及び吸光度法の値を平均して区分した。

判定に用いた『A』『B』の意味は次の通り。

『A』: Cl^- が 0.30kg/m^3 以下(異常なし)

『B』: Cl^- が0.30を超え 0.60kg/m^3 以下(鉄筋防せい(錆)措置をする)

5. 2 中性化深さ

打ち放し躯体コンクリートの中性化深さは通常の場合、経年するほど、中性化深さは大きくなる。14年経過している実RC構造物の平均中性化深さは2.7～16.7mmであった。いま、平均

中性化深さのうち、16.7mm の値を用い、鉄筋に対するコンクリートの最小かぶり厚さを 50mm と想定した場合、今後平均中性化深さが仮に 50mm に到達する年数を推定すると図-4 に示すように 125 年程度となる。なお、経過年数 14 年における一般地域の平均中性化深さは 14.5mm 程度である (図-4)。

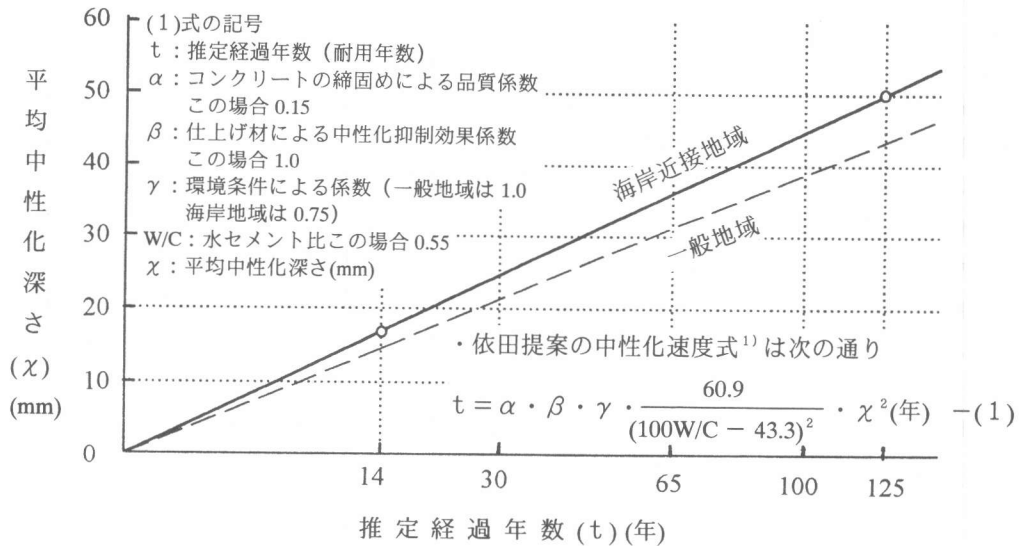


図-4 実RC構造物の外壁コンクリートの平均中性化深さが、最小かぶり厚 50mm に到達する推定年数

6. 結論

14 年経過した海岸沿いの実RC構造物の外壁コンクリートについて塩害調査試験をした。結論として次のようなことがいえる。

(1) 微量な塩化物を測定する場合は水溶性塩分のモール法より、全塩分の電位差滴定法や吸光度法が適する。

(2) 塩化物イオン(Cl^-)量は外壁コンクリートの表面部は Cl^- として 0.31 を超え 0.59kg/m^3 以下、深さ 3cm は $0.16 \sim 0.33\text{kg/m}^3$ の範囲で浸透していたが、深さ 6cm は、すべてが 0.14kg/m^3 以下なので (2. (3) ⑤ 参照)、塩化物の浸透はほとんどなかった。

塩化物はコンクリート表面部から海水のしぶきや潮風による外部からの浸透によるものと思われる塩化物が検出されたが、構造体へ及ぼす悪影響は現在のところ小さい。

(3) 躯体コンクリートの中性化深さは 14 年経過に伴う特異な傾向が認められなかった。総合的に判断すれば一般地域における打ち放しコンクリート建築物の場合と同程度の値である。なお、鉄筋はコア 6 試料のうち、2 試料のみに埋込まれていたが、いずれも発せいは認められなかった。

参考文献

- [1] 依田彰彦; 30 年間自然暴露した高炉セメントコンクリートの中性化と仕上げ材の効果、セメント・コンクリート論文集 No. 46、pp.552 - 557、1992