

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

－暴露14年経過後までの研究成果とコンクリート構造物の
塩害対策マニュアル(案)－

平成12年12月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

Copyright © (2001) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

－暴露14年経過後までの研究成果とコンクリート構造物の
塩害対策マニュアル(案)－

建設省土木研究所 材料施工部化学研究室

室 長 明 嵐 政 司

主任研究員 守 屋 進

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

大井川沖暴露試験共同研究委員会

要 旨

コンクリートの塩害対策技術を確立するため、昭和57年度から開始した飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する共同研究を駿河湾の海洋技術総合研究施設において、各種防食技術の試験を行っている。

本報告書は、暴露14年までの各種防食技術の調査結果を取りまとめた。また、この結果に基づいて「コンクリート構造物の塩害対策マニュアル(案)」を作成した。

キーワード：コンクリート構造物、海洋環境、塩害、防食技術、塩害対策

まえがき

コンクリート構造物の設計施工に際しては強度を主とした力学的性質はもちろんのこと耐久性も重要な検討事項である。しかしながら、耐久性に関する配慮が十分でなかった。このため、昭和50年代後半から日本海沿岸や沖縄などの海岸付近のコンクリート構造物の塩害が表面化して以来、関係各機関で研究が行われているが、耐久性の問題は経験的要素の集積に基づく判断が多く、その解決にはさらに長期にわたる研究を待たねばならない。

コンクリート構造物の塩害対策としては、現在、「道路橋の塩害対策指針（案）」（（社）日本道路協会）昭和59年2月発行があり、密実なコンクリートを作ることなどを基本対策とし、コンクリート塗装、エポキシ樹脂塗装鉄筋等の対策がある。しかしこれらは経過的な措置として定められたものであり、より確実な防食方法を確立することが求められている。

本報告は、大井川沖にある海洋技術総合研究施設を用いて行われている防食技術に関する暴露12年及び14年の調査結果をとりまとめたものである。また、これらの成果及びこれまでの知見を基に「コンクリート構造物の塩害対策マニュアル（案）」を作成した。

本格的な高齢化社会を迎える我が国では、良質で耐久性に優れた社会資本が益々求められている。本報告書および「コンクリート構造物の塩害対策マニュアル（案）」が、重要な社会資本であるコンクリート構造物の耐久性向上に役立つことを確信している。

目 次

まえがき

I. 研究概要	1
1. 共同研究の目的・経緯	1
2. 研究項目	4
3. 研究場所と研究施設	5
4. 暴露試験体の種類	7
II. 研究結果	9
1. 暴露12年の調査結果	9
2. 暴露14年の調査結果	44
あとがき	89

参考資料	91
研究発表：CONSEC'98	91

付属資料	1
コンクリート構造物の塩害対策マニュアル（案）	1
1. 新設コンクリート構造物の塩害対策	9
1. 1 総則	9
1. 2 設計	19
1. 3 材料	25
1. 4 施工	31
1. 5 支承・橋梁付属物・橋面	
2. 塩害を受けたコンクリート構造物の調査および補修	35
2. 1 総則	35
2. 2 点検・調査	40
2. 3 劣化度の評価と判定	44
2. 4 補修方法	49
2. 5 追跡点検	65

I. 研究概要

1. 共同研究の目的・経緯

1. 1 官民共同研究開始の経緯と進め方

科学技術庁では、昭和57年度から科学技術振興調整費によって「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」を5箇年計画としてスタートさせた。これに含まれる研究項目は、次のとおりである。

- ①海洋構造物の設計・施工等に必要な自然環境を把握する技術の開発
- ②大型の浮遊式海洋構造物の建設基礎技術の開発
- ③厳しい波浪から海洋構造物を守る波浪制御技術の開発
- ④防食等による海洋構造物の耐久性向上技術の開発
- ⑤大波浪海域における海洋構造物の実海域実施研究

上記のうち、建設省土木研究所が担当することになった研究計画は、④の「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術の開発」研究である。

この研究を実施するにあたって、民間の技術力の参加を得て、官民による共同研究として、これを進めることになった。そしてこの研究の暴露試験は、「海洋技術総合研究施設」を利用して実施することになった。

共同研究の実施機関は、次のとおりである。

（官側） 建設省土木研究所

（民側） 社団法人鋼材倶楽部

社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会

財団法人土木研究センター

ただ、この研究は、「耐久性の向上」をめざしており、耐久性に関する試験は、これまでの内外の例をみても比較的長期の実験となっているので、実海域での数年間の短期的暴露試験では、本来的な目的が達成されないことが明らかであるので、科学技術庁が設定した5箇年の期間（昭和57年～61年）が終了した後、すなわち昭和62年以降も暴露試験を継続することとしてスタートした。本年度で暴露14年経過したが、当面暴露20年（平成16年、2004年）を目途としている。

1. 2 共同研究の目的

海洋技術総合研究施設を用いて、海洋構造物を対象とする高度な防食技術の開発およびそれらの長期耐久性評価を行うことを目的とする。

1. 3 共同研究の名称と分担

共同研究の名称「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」

共同研究の研究項目別分担等を表-1.1に示す。

表-1.1 共同研究課題と分担

研 究 項 目	研 究 細 目	研究分担
1 飛沫部及び干満部における鋼構造物の防食技術に関する研究	1) 防食被覆材料の適用試験（本体） 2) 防食被覆材料の耐久性試験（防食供試体）	A B B
2 飛沫部におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究	1) コンクリート中の鋼材の防食技術の開発 2) 耐海水コンクリート部材の設計技術の開発	A C
3 海中部における電気防食設計技術に関する研究	1) 構造形状に応じた電気防食設計法の開発試験 2) 塗装併用電気防食設計技術の開発実験	A D
4 海上大気部の長期防錆型塗装技術に関する研究	1) 長期防錆型塗装系の適用試験 2) 長期防錆型塗装系の耐久性試験	A D
5 研究成果のまとめ		A B C D

注）A：土木研究所、 B：鋼材倶楽部、 C：プレストレスト・コンクリート建設業協会、
D：土木研究センター

1. 4 共同研究の運営体制

海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究協定を建設省土木研究所と民間3団体とで、毎年締結する。

共同研究を円滑かつ効果的に運営して行くため、次の組織を設けて業務を推進する。

①防錆防食技術開発委員会（開発委員会）

- ・ 研究計画の審議
- ・ 研究成果報告の審議

②共同研究連絡調整会議（連絡調整会議）

- ・ 研究運営の連絡調整

③共同研究分科会（第一、第二、第三の3分科会とする。）

（各分科会内で、さらに組織を分けることがある。）

共同研究 第2分科会 構成員

建設省土木研究所 材料施工部化学研究室 室長 明嵐 政司

材料施工部化学研究室 主任研究員 守屋 進

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

(大井川沖暴露試験共同研究委員会 委員)

(株)ピー・エス 町田 武

オリエンタル建設(株) 狩野誠一郎

(株)ピー・エス 川本 幸広

オリエンタル建設(株) 近藤 順

(株)富士ピー・エス 佐々木 健

住友建設(株) 藤田 学

住友建設(株) 迎 邦博

(株)富士ピー・エス 吉田 光秀

(財) 土木研究センター 研究開発四部 部長 鷹取 勲

2. 研究項目

海洋環境におけるコンクリート構造物の塩害対策は、（社）日本道路協会の「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」や建設省の総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」等によって技術的な対応は一応確立されている。

しかし、塩害対策の長期的な耐久性の確認、新材料を利用した防食技術、コンクリートの品質向上等、今後さらに研究していかなければならない課題も数多く残されている。

そこで、海岸環境下でも特に腐食条件が厳しいといわれている飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術の確立を目的に研究を実施した。

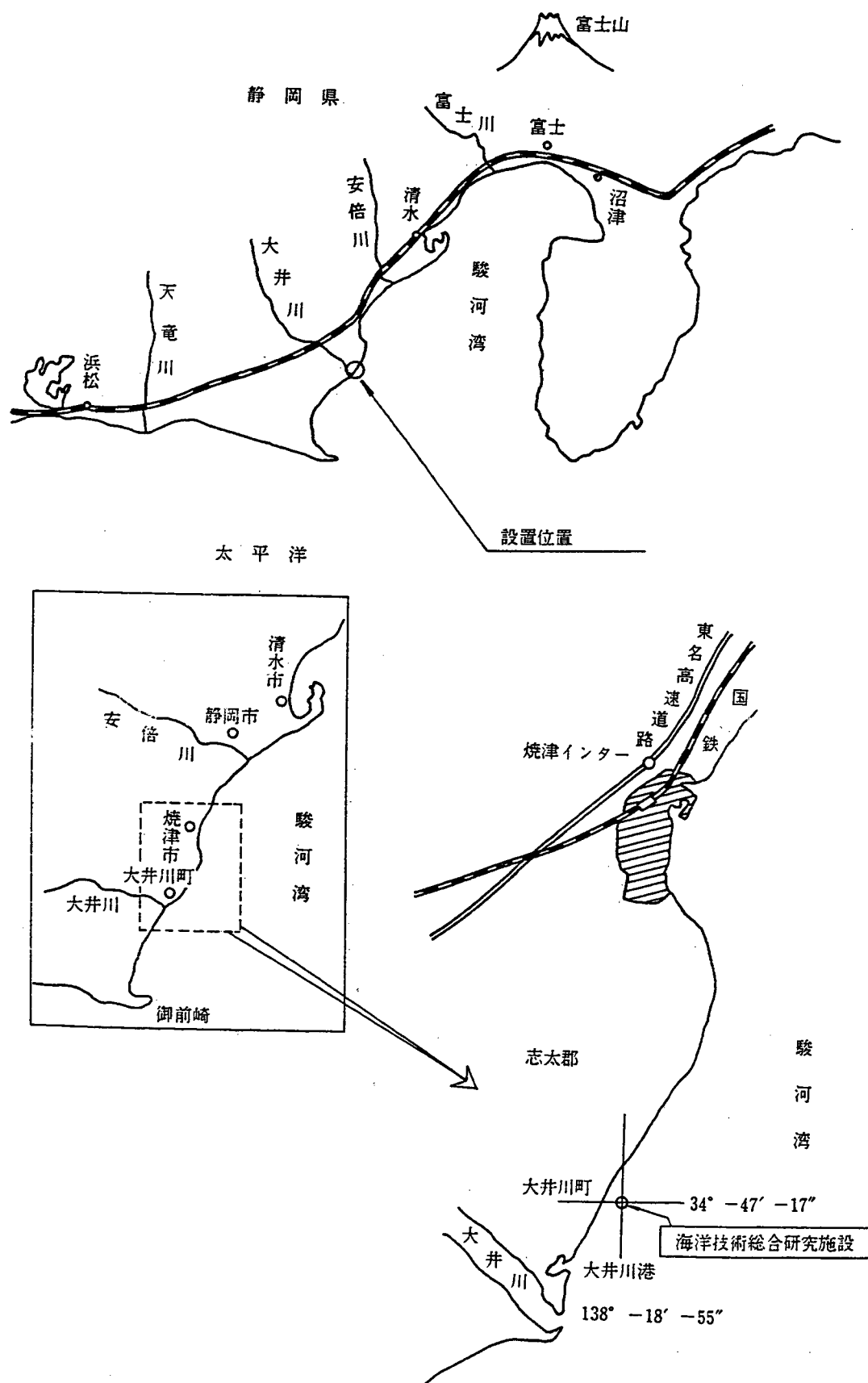
具体的な研究項目およびそれらの内容は、表-1.2のとおりである。

表-1.2 研究項目と内容

大項目	中項目	小項目	研究内容
飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究	コンクリートの防食技術の基本	コンクリートのかぶりと配合	セメントの種類とかぶり及び水セメント比による防食効果を把握する。
		コンクリートの内部組織と防食性能の把握	コンクリートのポロシチーと水密養生による防食効果を把握する。
		腐食調査と補修技術の開発	腐食進行を経時的に把握し、補修材料の開発を促進する。
	コンクリート中の鋼材の防食技術	樹脂塗装鉄筋の実用化	樹脂の品質と施工性を確認する。
		P C鋼材の防塩処理材料の開発	ポリエチレンシースを開発し、防食性能を確認する。
	耐海水コンクリート部材の設計技術	塗膜系塗料の実用化	塗膜系塗料の開発を促進する。
		含浸系塗料の実用化	含浸系塗料の開発を促進する。
		耐塩性コンクリートの開発	コンクリート用混和材料を開発する。

3. 試験場所と研究施設

試験実施場所は、静岡県志太郡大井川町高新田地先沖合250mである（図-1.1参照）。



試験体を暴露する施設として、図-1.2に示す海洋技術総合研究施設第2・第3デッキを使用した。

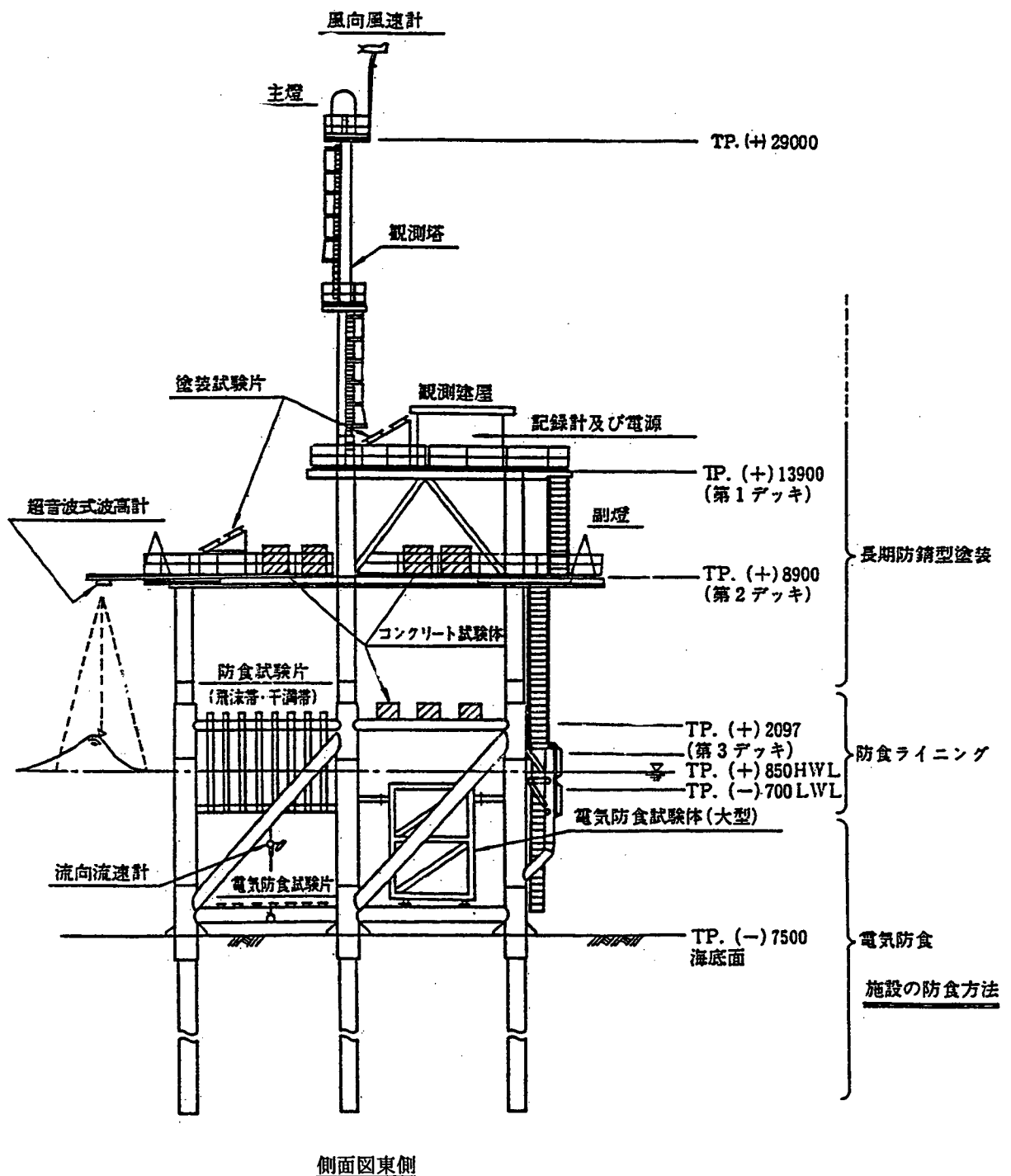


図-1.2 海洋技術総合研究施設 (海洋暴露試験施設)

4. 暴露試験体の種類

暴露試験体の種類を表-1.3および表-1.4に示す。

表-1.3 コンクリート試験体数量総括表

試験体 分類項目		数 量			
		小試験体	中試験体	大試験体	合 計
基 準 系		23	10	0	33
防食処理系	塗 装 鉄 筋	10	0	0	10
	コ ン ク リ ー ト 塗 装	30	0	0	30
	含 浸 系 塗 装	12	0	0	12
	ポ リ エ チ レ ン シ ー ス	0	2	0	2
	耐 塩 性 コ ン ク リ ー ト	3	0	0	3
腐 食 調 査 ・ 補 修 技 術 系		20	4	6	30
合 計		98	16	6	120

上記試験体のうち、

外 観 調 査 ----- 120ヶ

自然電位分布調査 ----- 78ヶ（コンクリート塗装，塗装鉄筋使用分は除く）

について調査を行った。

表-1.4 コンクリート試験体の種類

			セメント	普通セメント									早強セメント						高炉B種		
			水セメント比	40 %			50 %			40 %			50 %			50 %					
				2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年			
基準系試験体	小	2.5cm	A001	A002	A003	A004	A005	A006	A007	A008	A009	A010	A011	A012	A013	A014	A015				
		3.5cm		A016	A017		A018	A019		A020	A021		A022	A023		A024	A025				
		5.0cm		A026	A027		A028	A029		A030	A031		A032	A033		A034	A035				
	中	7.0cm		A036	A037		A038	A039		A040	A041		A042	A043		A044	A045				
			プレ			RC			プレ			RC			RC						
防食処理系試験体	塗装鉄筋	粉体樹脂塗装	1	2.5cm							B001	B002	小RC								
			2								B003	B004									
			3								B005	B006									
		亜鉛めっき		2.5cm								B007	B008								
				5.0cm								B009	B010								
		塗膜欠陥	クラック	2.5cm								B013	B014								
			ピンホール								B015	B016									
	海外比較品	3M								B017	B018										
	コンクリート塗装	A 種	エポキシ	2.5cm							B019	B020	B021	小プレ							
			B 種		1 柔軟エポ							B022	B023		B024						
					2 柔軟ウレタン							B025	B026		B027						
		C 種	1 厚膜エポキシ								B028	B029	B030								
			2 ビニルエステル								B031	B032	B033								
		その他の塗装 (次世代塗装)	1 超厚膜エポ									B034	B035	小RC							
			2 超厚膜ウレタン									B036	B037								
			3 超柔軟ウレタン									B038	B039								
			4 変性エポ									B040	B041								
			5 セメント系									B042	B043								
			6 ウレタン									B044	B045								
			7 シリコンゴム									B046	B047								
			8 アクリルゴム									B048	B049								
			9 無機系									B050	B051								
			10 有機無機複合									B052	B053								
		含浸系塗装	1 シリコン系									B054	B055	B056	小プレ						
			2 アクリル系									B057	B058	B059							
	3 シリコン系										B060	B061	B062								
	4 有機無機複合										B063	B064	B065								
	5 アクリル系										B066	B067	B068								
6 ビニルエステル系										B069	B070	B071									
7 ポリエステル系										B094	B095	B096									
ポリエチレンシース(塗装鉄筋使用)		3.5cm									B092	B093	中ボスト								
耐塩性コンクリート		2.5cm	D001		D002	D003	小RC	シリカフェーム 水セメント比30%													
		5.0cm		D004	D005																
腐食調査試験体	プレテンション		2.5cm							C001, C002, C003, C004	小プレ	大プレ									
	ポストテンション		3.5cm							C005, C006, C007, C008	中ボスト										
	鉄筋引張力	80N/mm ² (800kg/cm ²)	3.5cm							C009, C010, C011, C012	小RC										
		100N/mm ² (1000kg/cm ²)								C013, C014, C015, C016											
		120N/mm ² (1200kg/cm ²)								C017, C018, C019, C020											
		140N/mm ² (1400kg/cm ²)								C021, C022, C023, C024											
	プレテンション T桁 (5316型)		2.5cm							C025, C026, C027	σ _{ck} =50N/mm ² (500kg/cm ²)										
	プレテンションスラブ桁		3.5cm							C028	σ _{ck} =50N/mm ² (500kg/cm ²)										
プレテンション T桁 (ST型)		5.0cm							C029	σ _{ck} =50N/mm ² (500kg/cm ²)											
ポストテンション T桁 (ST型)		7.0cm							C030	σ _{ck} =40N/mm ² (400kg/cm ²)				大ボスト							

注) プレ:プレテンション方式試験体 小プレ:プレテンション方式小試験体 大プレ:プレテンション方式大試験体
中ボスト:ポストテンション方式中試験体 大ボスト:ポストテンション方式大試験体

試験体は、昭和58年度に製作された。

Ⅱ．研究結果

1．暴露 12 年の調査結果

これまでの調査結果として、前回平成 8 年度に行なわれた暴露 12 年目の「外観調査」、「自然電位分布による鋼材の腐食調査」、「塩分含有量測定」の結果を以下に示す。

1. 1 外観調査

1. 1. 1 調査方法

本調査は、主としてコンクリート中の鋼材の発錆によるコンクリートの劣化の程度を、目視により外観調査するものである。以下、その方法を示す。

1) 展開図の作成

各試験体について別紙 1～別紙 5 のような展開図を作成した。

2) この展開図に以下の項目を調査して、詳細に記入した。

① 錆汁の有無

② ひびわれの有無

ひびわれのある場合は、その位置と最大ひびわれ幅を記入した。なお、暴露前あるいは直後において発生したひびわれも記入した。

③ はく離

コンクリートのはく離が認められる場合は、その状況を記入した。また、コンクリートがはく離して鉄筋が露出している場合には、錆の程度として浮き錆、腐食のいずれかを記録するとともに、主筋、スターラップの別を記入した（今年度の調査では、鉄筋が露出しているものはなかった）。

④ コンクリート表面に塗布された塗料の膨れ、割れ、はがれ等を記した。

⑤ コンクリート表面をハンマーにより打撃し、コンクリートの変状の有無を調査し記入した。

⑥ その他

コンクリート表面のスケーリング、ポップアウト等の変状が認められる場合は、その状況を記入した（今年度の調査では変状は見られなかった）。

1. 1. 2 調査結果の評価方法

外観調査の結果は、ひびわれ、はく離、錆汁や塗膜の膨れ、割れ、はがれなどといった変状として観察、記録される。

調査によってこれらの変状が把握されることは明らかであるが、各種の試験体に対して全体的な状況を見たり変状の種類やその程度を他の試験体と比較するために、変状に関するある程度統一した評価区分を用いて評価しておく必要がある。

本調査では、一般的なコンクリート構造物について健全性を評価する際の変状の程度を念頭にして、外観調査結果の評価を次のように行った。

(1) ひびわれに対する評価

コンクリートに発生するひびわれの量は、試験体の寸法、ひびわれの数、長さおよび幅によって把握できる。本調査では、ひびわれの発生状況の指標として、ひびわれ係数（k）を単位面積当たりのひびわれ量とし、以下のように定義した。

$$\text{ひびわれ係数 (k)} = \frac{\Sigma (\text{ひびわれ長さ} \times \text{ひびわれ幅})}{\text{試験体の調査面積}}$$

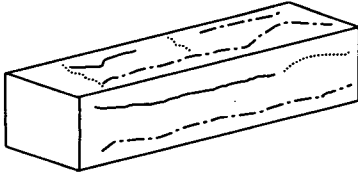
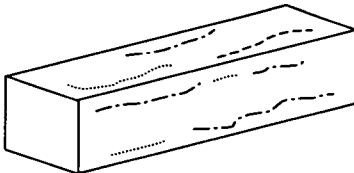
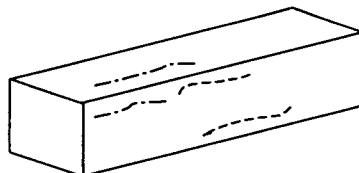
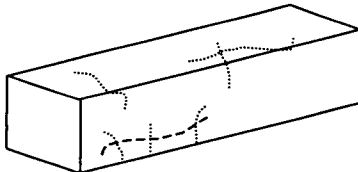
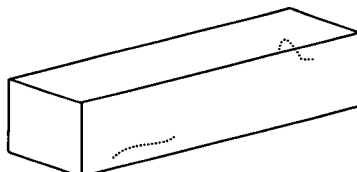
ひびわれ係数に対する評価点は、5段階に区分して表-2.1に示す評価区分とした。

表-2.1 ひびわれに対する評価点

ひびわれ係数 (×10)	評 価 点		変状の程度
	錆汁なし	錆汁あり	
$k > 1.5$	4	4	大
$0.5 < k \leq 1.5$	3	4	中
$0.2 < k \leq 0.5$	2	3	小
$0.05 < k \leq 0.2$	1	2	軽微
$k \leq 0.05$	0	1	なし又はごく軽重

注) 本表における各評価水準のひびわれ発生状態は表-2.2のようである。

表-2.2 各評価水準のひびわれ発生状態

評価点	4	3	2																																		
状 態 お よ び 試算結果	試験体に広い範囲にひびわれが激しく発生し、最大ひびわれ幅が 1mm を越える状態。コンクリート表面から、錆汁や鉄筋の腐食に伴うはく離が著しい。 	試験体に広い範囲にひびわれが発生し、最大ひびわれ幅は 0.5mm 程度である。部分的に錆汁も認められる。 	ひびわれが部分的に発生し、最大ひびわれ幅は 0.3mm 程度である。 																																		
	幅 (mm) ×長さ (m) <table><tr><td>1.0</td><td>100</td></tr><tr><td>0.5</td><td>100</td></tr><tr><td>0.3</td><td>100</td></tr><tr><td>0.1</td><td>100</td></tr><tr><td>0.05</td><td>100</td></tr></table> $k=1.9 \times 10^{-3}$	1.0	100	0.5	100	0.3	100	0.1	100	0.05	100	幅 (mm) ×長さ (m) <table><tr><td>1.0</td><td>—</td></tr><tr><td>0.5</td><td>50</td></tr><tr><td>0.3</td><td>100</td></tr><tr><td>0.1</td><td>100</td></tr><tr><td>0.05</td><td>100</td></tr></table> $k=0.7 \times 10^{-3}$	1.0	—	0.5	50	0.3	100	0.1	100	0.05	100	幅 (mm) ×長さ (m) <table><tr><td>1.0</td><td>—</td></tr><tr><td>0.5</td><td>—</td></tr><tr><td>0.3</td><td>100</td></tr><tr><td>0.1</td><td>100</td></tr><tr><td>0.05</td><td>100</td></tr></table> $k=0.3 \times 10^{-3}$	1.0	—	0.5	—	0.3	100	0.1	100	0.05	100				
1.0	100																																				
0.5	100																																				
0.3	100																																				
0.1	100																																				
0.05	100																																				
1.0	—																																				
0.5	50																																				
0.3	100																																				
0.1	100																																				
0.05	100																																				
1.0	—																																				
0.5	—																																				
0.3	100																																				
0.1	100																																				
0.05	100																																				
評価点	1	0																																			
状 態 お よ び 試算結果	局所的にひびわれが発生し、最大ひびわれ幅も 0.1~0.2mm 程度である。 	ひびわれはほとんどなく、あっても幅 0.1 mm 未満の微細なものである。 	* 表中のひびわれ長さは、小試験体(200×200×1200)におけるもの。																																		
	幅 (mm) ×長さ (m) <table><tr><td>1.0</td><td>—</td></tr><tr><td>0.5</td><td>—</td></tr><tr><td>0.3</td><td>—</td></tr><tr><td>0.1</td><td>50</td></tr><tr><td>0.05</td><td>100</td></tr></table> $k=0.1 \times 10^{-3}$	1.0	—	0.5	—	0.3	—	0.1	50	0.05	100	幅 (mm) ×長さ (m) <table><tr><td>1.0</td><td>—</td></tr><tr><td>0.5</td><td>—</td></tr><tr><td>0.3</td><td>—</td></tr><tr><td>0.1</td><td>—</td></tr><tr><td>0.05</td><td>50</td></tr></table> $k=0.03 \times 10^{-3}$	1.0	—	0.5	—	0.3	—	0.1	—	0.05	50	ひびわれの凡例 <table><tr><td>—————</td><td>ひびわれ幅</td><td>1.0mm</td></tr><tr><td>=====</td><td>"</td><td>0.5mm</td></tr><tr><td>- - - - -</td><td>"</td><td>0.3mm</td></tr><tr><td>.....</td><td>"</td><td>0.1mm</td></tr><tr><td>.....</td><td>"</td><td>0.05mm</td></tr></table>	—————	ひびわれ幅	1.0mm	=====	"	0.5mm	- - - - -	"	0.3mm		"	0.1mm		"
1.0	—																																				
0.5	—																																				
0.3	—																																				
0.1	50																																				
0.05	100																																				
1.0	—																																				
0.5	—																																				
0.3	—																																				
0.1	—																																				
0.05	50																																				
—————	ひびわれ幅	1.0mm																																			
=====	"	0.5mm																																			
- - - - -	"	0.3mm																																			
.....	"	0.1mm																																			
.....	"	0.05mm																																			

(2) はく離・欠落

はく離・欠落に対する評価は、試験体の単位面積に発生する面積率を指標として、表-2.3に示す評価区分とした。

表-2.3 はく離・欠落に対する評価点

はく離・欠落の 面積率 (%)	評 価 点		変状の程度
	鉄筋露出なし	鉄筋露出あり	
$k > 10$	4	4	大
$5 < k \leq 10$	3	4	中
$1 < k \leq 5$	2	3	小
$0.3 < k \leq 1$	1	2	軽微
$k \leq 0.3$	0	1	なし又はごく軽重

注) 本表における各評価水準のはく離・欠落発生状態は表-2.5のようである。

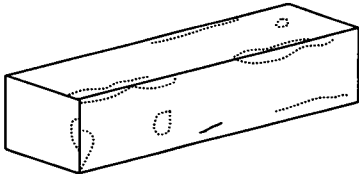
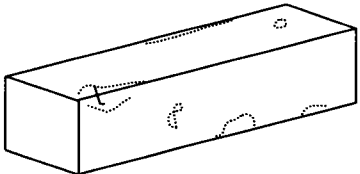
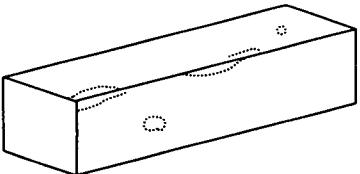
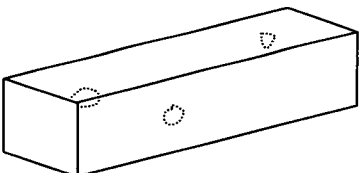
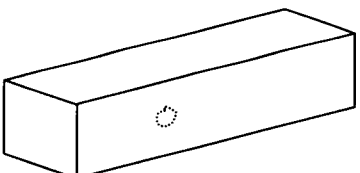
(3) 塗膜の異常

防食処理系試験体として、表面に塗装を施した試験体において、塗膜の割れ、膨れ、はがれなどの異状が発生している場合には、その発生量をコンクリート表面における面積比率に換算して、表-2.4に示す評価区分によって評価した。

表-2.4 塗膜の異状の評価区分

塗膜異状の面積率 (%)	評 価 点	変状の程度
$k > 10$	4	大
$3 < k \leq 10$	3	中
$1 < k \leq 3$	2	小
$0.03 < k \leq 1$	1	軽微
$k \leq 0.03$	0	なし又はごく軽重

表-2.5 各評価水準のはく離・欠落発生状態

評価点	4	3	2
状態 および 試算結果	はく離・欠落の程度が試験体全体に激しく生じている。または、多くの個所で鉄筋が露出している。  はく離・欠落総面積 面積率 1500cm² 14.4%	はく離・欠落の深さは 5mm 程度と小さいが、試験他の広い範囲に分布する。または、鉄筋が露出するほどのものが複数の箇所で認められる。  はく離・欠落総面積 面積率 700cm² 6.7%	はく離・欠落の深さは 5mm 程度と小さいものが目立つ。または、部分的に鉄筋が露出するほどのものが認められる。  はく離・欠落総面積 面積率 250cm² 2.4%
評価点	1	0	
状態 および 試算結果	はく離・欠落の小さいものが局所的に発生しているが、鉄筋の露出しているものはほとんどない。  はく離・欠落総面積 面積率 80cm² 0.8%	はく離・欠落はない。または、あってもごくわずかで、深さも 5mm 以内である。  はく離・欠落総面積 面積率 20cm² 0.2%	* 表中のはく離・欠落は、 小試験体 (200×200×1200) におけるもの。

1. 1. 3 調査結果

外観調査の結果から表-2.6(1)～(4)に各試験体のひびわれ、錆汁、はく離、欠落、塗膜の異常等の発生状態とその評価点を整理して示す。

表-2.6(1) 外観調査結果一覧表〔基準系試験体〕 (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	ふびわれ						はく離					評価 A + B	塗膜			
									幅	長さ	面積	係数	錆	評価	面積	深さ	面積率	鉄筋露出	評価		膨れ	割れ	はがれ	評価
									mm	cm	cm ²	1E-3	汁	A	cm ²	cm	%		B		れ	れ	れ	価
無処理	無処理	無処理	小プレ	普通	40	10	2.5	A 003	0.60	20	0.12	0.02	無	0	6.0	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	普通	50	10	2.5	A 006	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	A 009	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	早強	50	10	2.5	A 012	1.50	177	2.75	0.38	有	3	0.0	0.0	0.0	無	0	3	0	0	0	0
"	"	"	小RC	高炉	50	10	2.5	A 015	0.20	7	0.14	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	普通	40	5	3.5	A 016	0.00	0	0.00	0.00	有	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	普通	40	10	3.5	A 017	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	小RC	普通	50	10	3.5	A 019	0.00	0	0.00	0.00	無	0	2.0	0.2	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	早強	40	5	3.5	A 020	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	早強	40	10	3.5	A 021	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	早強	50	5	3.5	A 022	0.30	4	0.13	0.02	無	0	32.0	0.2	0.4	無	1	1	0	0	0	0
"	"	"	小RC	早強	50	10	3.5	A 023	0.00	0	0.00	0.00	無	0	8.3	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	高炉	50	10	3.5	A 025	0.15	5	0.08	0.01	有	1	7.0	0.2	0.1	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	普通	40	5	5.0	A 026	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	普通	40	10	5.0	A 027	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	普通	50	5	5.0	A 028	0.40	52	3.50	0.49	無	2	18.5	0.3	0.3	無	0	2	0	0	0	0
"	"	"	小RC	普通	50	10	5.0	A 029	0.00	0	0.00	0.00	無	1	20.5	0.3	0.3	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	早強	40	5	5.0	A 030	0.00	0	0.00	0.00	無	0	7.0	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小プレ	早強	40	10	5.0	A 031	0.00	0	0.00	0.00	無	0	31.9	0.3	0.4	無	1	1	0	0	0	0
"	"	"	小RC	早強	50	5	5.0	A 032	0.00	0	0.00	0.00	無	0	4.8	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	早強	50	10	5.0	A 033	0.08	3	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	小RC	高炉	50	5	5.0	A 034	0.10	130	0.78	0.11	無	1	22.1	0.3	0.3	無	1	2	0	0	0	0
"	"	"	小RC	高炉	50	10	5.0	A 035	0.30	72	0.75	0.10	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	中プレ	普通	40	5	7.0	A 036	0.10	2	0.02	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	中プレ	普通	40	10	7.0	A 037	0.00	0	0.00	0.00	無	0	3.0	0.3	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	中RC	普通	50	5	7.0	A 038	0.05	22	0.10	0.01	無	0	78.4	0.3	0.4	無	1	1	0	0	0	0
"	"	"	中RC	普通	50	10	7.0	A 039	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	中プレ	早強	40	5	7.0	A 040	0.04	10	0.04	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	中プレ	早強	40	10	7.0	A 041	0.08	9	0.07	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	中RC	早強	50	5	7.0	A 042	0.04	24	0.39	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
"	"	"	中RC	早強	50	10	7.0	A 043	0.30	41	0.54	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
"	"	"	中RC	高炉	50	5	7.0	A 044	0.04	20	0.08	0.00	無	0	98.7	0.5	0.5	無	1	1	0	0	0	0
"	"	"	中RC	高炉	50	10	7.0	A 045	0.08	41	0.20	0.01	無	0	43.0	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0	0

表-2.6(2) 外観調査結果一覧表 [防食処理系試験体] (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	ふびわれ						はく離				評価 A + B	塗膜				
									幅 mm	長さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	錆 汁	評価 A	面積 cm ²	深さ cm	面積率 %	鉄筋露出		評価 B	膨れ	割れ	はがれ	評価
塗装鉄筋	粉体樹脂塗装	無処理	小RC	早強	40	10	2.5	B 002	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.8	0.2	0.0	無	0	1	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 004	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	早強	40	5	2.5	B 005	0.00	0	0.00	0.00	無	0	1.8	0.2	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 006	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
〃	亜鉛めっき		小RC	早強	40	10	2.5	B 008	0.04	33	0.13	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	1	1
〃	〃	〃	小RC	早強	40	5	2.5	B 009	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 010	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
〃	塗膜欠陥	クラック	小RC	早強	40	10	2.5	B 014	0.05	6	0.03	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	ピンホール	小RC	早強	40	10	2.5	B 016	0.04	60	0.24	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	海外比較品	3M	小RC	早強	40	10	2.5	B 018	0.05	60	0.25	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
コンクリート塗装	(A種)	エポキシ	小プレ	早強	40	5	2.5	B 020	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	B 021	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	(B種)	柔軟エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B 023	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 024	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	柔軟ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 026	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 027	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	(C種)	厚膜エポキシ	小RC	早強	40	5	2.5	B 029	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 030	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	ビニルエステル	小RC	早強	40	5	2.5	B 032	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	3	2	5
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 033	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	4	1	5
〃	その他の塗装	超厚膜エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B 034	0.00	0	0.00	0.00	無	0	48.0	0.5	0.7	無	1	1	0	0	2	2
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 035	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	超厚膜ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 036	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 037	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	超柔軟ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 038	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 039	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	変性エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B 040	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 041	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	3	3
〃	〃	セメント系	小RC	早強	40	5	2.5	B 042	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 043	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 044	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 045	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	シリコンゴム	小RC	早強	40	5	2.5	B 046	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2

表-2.6(3) 外観調査結果一覧表 〔防食処理系試験体〕 (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	ふびわれ						はく離					評価 A + B	塗膜			
									幅 mm	長さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	錆 汁	評価 A	面積 cm ²	深さ cm	面積率 %	鉄筋露出	評価 B		膨れ	割れ	はがれ	評価
コンクリート塗装	その他の塗装	シリコンゴム	小RC	早強	40	10	2.5	B 047	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	アクリルゴム	小RC	早強	40	5	2.5	B 048	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 049	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	1	1	2
〃	〃	無機系	小RC	早強	40	5	2.5	B 050	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	3	3
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 051	0.00	0	0.00	0.02	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	4	4
〃	〃	有機無機	小RC	早強	40	5	2.5	B 052	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	〃	小RC	早強	40	10	2.5	B 053	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
含浸系塗装	無処理	シリコン系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 055	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	B 056	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	アクリル系	小プレ	早強	40	10	2.5	B 059	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
〃	〃	シリコン系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 061	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	B 062	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	有機無機	小プレ	早強	40	5	2.5	B 064	0.00	0	0.00	0.00	無	0	2.0	0.1	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	B 065	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	アクリル系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 067	0.00	0	0.00	0.00	無	0	2.0	0.1	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	B 068	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	ビニルエステル	小プレ	早強	40	5	2.5	B 070	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	B 071	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	ポリエステル系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 095	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
ポリエチレンシース	〃	無処理	中ポスト	早強	40	10	3.5	B 092	0.30	37	0.86	0.05	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	B 093	0.30	110	1.79	0.10	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
耐塩性コンクリート	〃	〃	小RC	シカ	30	10	2.5	D 003	0.00	0	0.00	0.00	無	0	85.0	1.0	1.2	無	2	2	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	シカ	30	5	5.0	D 004	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	シカ	30	10	5.0	D 005	0.35	4	0.13	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0

表-2.6(4) 外観調査結果一覧表 [防食処理系試験体] (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	ふびわれ					はく離					評価 A + B	塗膜				
									幅 mm	長さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	錆 汁	評価 A	面積 cm ²	深さ cm	面積率 %	鉄筋露出 評価 B		膨れ	割れ	はがれ	評価	
プレテンション	無処理	無処理	小プレ	早強	40	10	2.5	C 001	0.00	0	0.00	0.00	無	0	7.0	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	C 002	0.00	0	0.00	0.00	無	0	15.0	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	C 003	0.00	0	0.00	0.00	無	0	17.0	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	C 004	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
ポストテンション	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 005	0.00	0	0.00	0.02	有	1	12.9	0.3	0.1	無	0	1	0	0	0	0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 006	0.00	0	0.00	0.00	無	0	18.6	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 007	0.00	0	0.00	0.00	有	0	24.5	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 008	0.30	32	0.35	0.02	無	0	29.4	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0	0
鉄筋引張力 800	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 009	0.10	22	0.17	0.02	無	0	0.8	1.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 010	0.06	8	0.05	0.01	無	0	14.5	0.5	0.2	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 011	0.08	8	0.06	0.01	無	0	7.6	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 012	0.06	8	0.05	0.01	無	0	5.9	0.5	0.1	無	0	0	0	0	2	2
鉄筋引張力 1000	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 013	0.06	21	0.11	0.02	無	0	20.2	0.5	0.3	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 014	0.00	0	0.00	0.00	無	0	10.5	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 015	0.10	34	0.21	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 016	0.06	4	0.02	0.00	無	0	3.1	0.5	0.0	無	0	0	0	0	0	0
鉄筋引張力 1200	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 017	0.06	31	0.19	0.03	無	0	23.1	0.5	0.3	無	1	1	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 018	0.06	23	0.14	0.02	無	0	9.3	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 019	0.04	30	0.12	0.02	無	0	5.6	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 020	0.06	33	0.17	0.02	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
鉄筋引張力 1400	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 021	0.45	19	0.30	0.04	無	0	3.1	0.3	0.0	無	0	0	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 022	0.15	42	0.54	0.11	無	1	12.0	0.2	0.3	無	0	1	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 023	0.30	59	0.97	0.20	無	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0	0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 024	0.40	78	1.41	0.29	無	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0	0
プレテンション T桁(5316型)	〃	〃	大プレ	早強	40	10	2.5	C 025	0.25	2218	11.30	0.08	無	1	20.0	0.5	0.0	無	0	1	0	0	0	0
〃	〃	〃	大プレ	早強	40	10	2.5	C 026	0.15	2765	15.27	0.11	有	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0	0
〃	〃	〃	大プレ	早強	40	10	2.5	C 027	0.50	2840	20.52	0.15	有	2	28.5	1.0	0.0	無	0	2	0	0	0	0
プレテンション スラブ桁	〃	〃	大プレ	早強	40	10	3.5	C 028	0.30	1265	11.56	0.15	無	1	98.5	0.5	0.1	無	0	1	0	0	0	0
プレテンション T桁(ST型)	〃	〃	大プレ	早強	40	10	5.0	C 029	0.20	1139	22.44	0.13	無	1	99.5	0.5	0.1	無	0	1	0	0	0	0
ポストテンション T桁(ST型)	〃	〃	大ポスト	早強	40	10	7.0	C 030	0.20	1210	13.19	0.08	無	1	99.8	1.0	0.1	無	0	1	0	0	0	0

1. 1. 4 調査結果のまとめ

外観調査の結果、試験体に発生した変状を、

- ・基準系試験体
- ・防食処理系試験体
- ・腐食調査試験体

に分類して以下に説明する。

(1) 基準系試験体

基準系試験体に生ずる変状とその評価は次のとおりである。

1) ひびわれ・錆汁

基準系試験体のひびわれ・錆汁に関する評価を表-2.7に示す。今回調査では、評価点1の試験体が33試験体のうち9試験体、評価点2の試験体が1試験体あった。評価点1となった試験体の多くは、コンクリート表面に1、2ヶ所程度錆汁が認められるものもあるが、内部の鉄筋が腐食して生じたものであるかどうかは明かではなかった。

変状が進んでいるのは、第3デッキの最下段に据え付けられた試験体に集中している。そのうちの多くは、試験体の中央付近に短辺方向にコンクリートひびわれが発生しているものである。このひびわれは、その発生形態から劣化に伴ったものというよりも、曲げ応力に起因しているように考えられ、波浪によってもたらされたものと推定される。

表-2.7 ひびわれ・錆汁に関する評価点

評価点	変状の程度	試験体数
4	大	0
3	中	1
2	小	1
1	軽微	9
0	なし又はごく軽微	22
計	—	33

今回の調査で、評価点1から評価点2となったA028試験体（小RC、普通セメント、W/C=50%、かぶり5.0cm）は、軸直角方向のひびわれが増加したことに加えて、新たに軸方向ひびわれが発生し、最大ひびわれ幅も0.4mmに成長している。ひびわれの進行は顕著であり、錆汁は認められないが内部の鉄筋が腐食していると推定される。

評価点3となったA012試験体（小RC、早強セメント、W/C=50%、かぶり2.5cm）には、鉄筋に沿って最大幅1.5mmのひびわれが発生し、10年目のひびわれに比べると最大幅は増加していないが、ひびわれ延長が約30cm増加している（総延長177cm）。その位置では錆汁が認められ、明らかに内部の鉄筋の腐食が進行している。

2) はく離・欠落

基準系試験体（33試験体）において、はく離・欠落が生じ、その評価点が1点（軽微）以上のものは、次の5試験体であり、前回調査に比べて変化がない。

番号	種類	セメント	かぶり (cm)	評価点	(程度)
A022	小RC	早強	3.5	1	(軽微)

A031	小プレ	早強	5.0	1	(軽微)
A034	小R C	高炉	5.0	1	(軽微)
A038	中R C	普通	7.0	1	(軽微)
A044	中R C	高炉	7.0	1	(軽微)

ごく局所的にはく離・欠落を生じており、発生箇所が仕上面ののろの部分やスパーサー取付部に生じているものと、先述した第3デッキに据え付けられたブロックで試験体の隅角部が一部欠落しているのが特徴である。はく離は、さほど大きなものではなく、鉄筋の露出したものもない。

(2) 防食処理系試験体

防食処理系試験体では、以下に示す種類の処理が施された試験体について調査を行った。

塗装鉄筋	10 試験体
コンクリート塗装	30 試験体
含浸系塗装	13 試験体
ポリエチレンシース	2 試験体
耐塩性コンクリート	3 試験体

防食処理の種類ごとに生じた変状とその評価を以下に記す。

1) 塗装鉄筋

塗装鉄筋を使用した10試験体において、ひびわれを生じたものは、4試験体である。今回新たにひびわれが発生したものはない。ひびわれ幅は0.05mm以下である。ひびわれ・錆汁に関する評価点が1点（軽微な変状）とされたものは、4試験体であり、今回新たに評価点が1点になったものはない。試験体の表面に局所的な錆汁が1、2ヶ所認められるものと、先述した第3デッキに据え付けられたブロックで試験体の短辺方向にひびわれが生じているものであり、鉄筋の腐食した結果生じたものではない。

はく離・欠落の生じているものは2試験体あるが、今回調査で新たに発生したものはない。どの試験体も深さが2～3mm程度であり、ごく表層のものである。

以上のように、塗装鉄筋を使用した試験体の変状はごく軽微なものである。

2) コンクリート塗装

コンクリート塗装を施した30試験体に、ひびわれ・錆汁は生じていないが、表-2.9に示すように25試験体において塗膜にはがれや割れが生じている。また、前回調査と比較すると、評価点の増加したものは2試験体である。割れが生じているのは、ビニルエステル系を使用した2試験体と柔軟ウレタン系の1試験体およびアクリルゴム系の1試験体である。塗膜のはがれの大きいものは、変性エポキシを使用したものと、セメント系を使用したもので、塗膜がよれるようにしてはがれている。その他の塗装では、膜厚の上層のみがはがれたものが多く、コンクリート表面が露出したものはない。

3) 含浸系塗装

含浸系塗装を実施した13試験体では、前回調査までに認められた局所的なはく離のある2試験

体を除けば、ひびわれ、錆汁、はく離および鉄筋露出といった損傷は発生していない。全試験体の評価点は0点（変状なし又はごく軽微）であり、一般的に健全な状態を保っている。ただし、アクリル系塗料を使用した2試験体と有機無機複合塗料を使用した1試験体では、4つの表面のうち1面あるいは2面が斑点状に白色化して薄くはがれているような部分もみられる。原因は明かでないが、コンクリート表面のレイタンスの多い所に塗布した場合に生じているのではないかと考えられる。

4) ポリエチレンシース

ポストテンション中試験体である2試験体の両端部付近にひびわれが発生している。ひびわれの最大幅は両試験体とも0.3mmであり、前回調査に同じである。はく離・欠落や錆汁・鉄筋露出などは発生しておらず評価も1点以下である。

5) 耐塩性コンクリート

シリカフュームを混合（w/c=30%）したRC小試験体では、前回調査までに確認されている変状であるが、2試験体で浅いはく離、または局所的な錆汁によって評価が1～2点（軽微な変状）になっている。他の1試験体は評価点が0点（変状なし又は軽微）であった。今回の調査では変化が認められない。

表-2.8 防食処理系試験体における塗膜のはがれ

※ 全30試験体中25試験体

試験体 番 号	処 理 条 件	評 価 点										備 考
		年 数	1	2	3	4	5	6	8	10	12	
B 021	塩害対策指針 (A種) エポキシ		1	2	2	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ
B 024	塩害対策指針 (B種) 柔軟エポキシ		0	0	0	0	1	1	1	1	1	はがれ
B 027	塩害対策指針 (B種) 柔軟ウレタン		0	2	2	2	2	2	2	2	2	割 れ
B 029	塩害対策指針 (C種) 厚膜エポキシ		0	1	1	1	1	1	1	1	1	上 面 はがれ
B 030	塩害対策指針 (C種) 厚膜エポキシ		0	0	0	0	0	0	1	1	1	上 面 はがれ
B 032	塩害対策指針 (C種) ビニルエステル		0	0	2	5	5	5	5	5	5	割 れ ③ はがれ②
B 033	塩害対策指針 (C種) ビニルエステル		0	0	0	4	5	5	5	5	5	割 れ ④ はがれ①
B 034	その他の塗装 超厚膜エポキシ		2	2	2	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ
B 035	その他の塗装 超厚膜エポキシ		2	2	2	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ
B 036	その他の塗装 超厚膜ウレタン		0	0	0	0	0	0	0	1	1	上 面 はがれ
B 037	その他の塗装 超厚膜ウレタン		2	2	2	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ
B 038	その他の塗装 超柔軟ウレタン		0	0	0	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ
B 039	その他の塗装 超柔軟ウレタン		2	2	2	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ
B 040	その他の塗装 変性エポキシ		2	2	2	2	2	2	2	2	2	はがれ
B 041	その他の塗装 変性エポキシ		2	2	2	2	2	3	3	3	3	はがれ
B 042	その他の塗装 セメント系		2	2	2	2	2	2	2	2	2	はがれ
B 043	その他の塗装 セメント系		0	2	2	2	2	2	2	2	2	はがれ
B 046	その他の塗装 シリコンゴム		0	0	0	0	0	0	1	1	2	変 色
B 047	その他の塗装 シリコンゴム		2	2	2	2	2	2	2	2	2	変 色
B 048	その他の塗装 アクリルゴム		0	0	0	0	0	0	0	1	1	はがれ
B 049	その他の塗装 アクリルゴム		0	0	0	0	0	2	2	2	2	割 れ ① はがれ①
B 050	その他の塗装 無機系		2	2	2	2	3	3	3	3	3	上 面 はがれ
B 051	その他の塗装 無機系		2	2	2	2	3	3	3	3	4	上 面 はがれ
B 052	その他の塗装 有機無機		0	0	0	0	0	1	2	2	2	はがれ
B 053	その他の塗装 有機無機		0	2	2	2	2	2	2	2	2	上 面 はがれ

注 1) 試験体の条件; 小試験体, 早強セメント, W/C=40%, かぶり 2.5cm

注 2) 膜の割れ, はがれに対する評価点と発生面積率

評価点 0: 0~0.03%	評価点3: 3~10%
評価点 1: 0.03~1%	評価点4: 10%を超える
評価点 2: 1~3%	

(3) 腐食調査試験体

1) プレテンション小試験体

プレテンション小試験体である4試験体の評価点は、0点（変状なし又はごく軽微）であった。前回調査に比べて劣化状態に変化はない。

2) ポストテンション中試験体

ポストテンション中試験体である4試験体の評価点は、1試験体で局所的な錆汁によって1点（軽微な変状）であるほかは、ひびわれ・錆汁およびはく離・欠落については、それぞれ0点（変状なし又はごく軽微）であった。前回調査に比べて劣化状態に変化はない。本試験体においては、試験体製作時の底面に取付けられたスペーサ部の位置で、表面的なはく離が生じている点が特徴的である。

3) 鉄筋に引張応力を発生させたRC試験体

本試験体に発生した変状とその評価結果を表-2.9に示す。

表-2.9 鉄筋に引張応力を発生させたRC試験体の変状と評価

鉄筋引張 応 力	ひ び わ れ			はく離・欠落			備 考
	最大幅 (mm)	係 数 ($\times 10^{-3}$)	評 価	深 さ (cm)	面積率 (%)	評 価	
80N/mm ² (800kg/cm ²)	0.10	0.02	0	1.0	0.0	0	
	0.06	0.01	0	0.5	0.2	0	
	0.08	0.01	0	0.3	0.1	0	
	0.06	0.01	0	0.5	0.1	0	
100N/mm ² (1000kg/cm ²)	0.06	0.02	0	0.5	0.3	0	
	0.00	0.00	0	0.5	0.1	0	
	0.10	0.03	0	0.0	0.0	0	
	0.06	0.03	0	0.5	0.0	0	
120N/mm ² (1200kg/cm ²)	0.06	0.03	0	0.5	0.3	1	
	0.06	0.02	0	0.5	0.1	0	
	0.04	0.02	0	0.5	0.1	0	
	0.06	0.02	0	0.0	0.0	0	
140N/mm ² (1400kg/cm ²)	0.45	0.04	0	0.3	0.0	0	
	0.15	0.11	1	0.2	0.3	0	
	0.30	0.20	2	0.0	0.0	0	
	0.40	0.29	2	0.0	0.0	0	

注1) 試験体の条件：RC小試験体、普通ポルトランド、W/C=50%、かぶり3.5cm

試験体のほとんどにひびわれとはく離・欠落が生じている。その発生比率は、ひびわれが100%、はく離・欠落が75%である。

ひびわれは、強制的に曲げモーメントを発生させて鉄筋に引張応力を生じさせているので、長さ中央付近に試験体の軸直角方向に発生する例が多い。

ひびわれの最大幅は、0.04mmから0.45mmの範囲にあり、最大幅は、鉄筋の引張応力が大きくなるほど大きい傾向にある。今年度においては、ひびわれの進行はほとんど認められなかった。ひびわれ・錆汁に対する評価点は、鉄筋の引張応力が80N/mm²(800kg/cm²)から120N/mm²(1200kg/cm²)のものは0点(変状なし又はごく軽微)であり、140N/mm²(1400kg/cm²)のものは1試験体が1点(軽微)、2試験体が2点(変状の程度が小)であった。

はく離は、ほとんどの試験体で仕上面に生じており、その深さは1cm以内と浅く、局所的なものが散在する状態である。これに対する評価点は、15試験体が0点(変状なし又はごく軽微)で、1試験体が1点(軽微)であった。はく離の発生量は前回調査に比べて変化がなかった。

4) プレテンションT桁大試験体

本試験体に発生した変状とその評価結果を表-2.10に示す。全試験体にひびわれが発生している。局所的な錆汁が認められたために、2試験体で評価点が2点(変状の程度が小)となっている。ひびわれは、断面が変化する隅角部に沿って生じており、その幅は、0.04mmから0.1mmと比較的小さなもので、1年目以降は変化が小さい。仕上面である試験体上面のひびわれは、軸直角方向に発生し、ひびわれ深さは小さい。

一方、はく離・欠落に対する評価点は0点(変状なし又はごく軽微)で、変化がない。

表-2.10 プレテンションT桁大試験体の変状と評価

試験体 番 号	ひ び わ れ			はく離・欠落			備 考
	最大幅 (mm)	係 数 ($\times 10^{-3}$)	評 価	深 さ (cm)	面積率 (%)	評 価	
C025	0.25	0.08	1	0.5	0.0	0	
C026	0.15	0.11	2	0.0	0.0	0	
C027	0.50	0.15	2	1.0	0.0	0	

5) プレテンションスラブ桁大試験体

ひびわれが上面全体と両側面に継がった格好で発生している。ひびわれは、0.04mm～0.30mmの幅を有し、上面の全幅に軸直角方向に発生しているが、前回調査に比べて変化がない。ひびわれ間隔は20cm前後になっている。ひびわれに対する評価点は1点(軽微)である。錆汁やはく離・欠落はごく微か発生している。

6) プレテンションT桁(ST型)大試験体

断面が変化する隅角部に沿って幅0.2mmのひびわれが発生しているが、前回調査に比べて変化

がない。上面の端部付近にひびわれが数本発生している。幅は0.2mm程度であり、長さは数10cm程度で表面的なもので変化がない。また、上面には、ロープ孔の縁に局所的な欠落が発生している。

ひびわれに対する評価点は1点（軽微）であり、はく離・欠落に対する評価点は0点（変状なし又はごく軽微）である。

7) ポストテンションT桁（ST型）大試験体

断面が変化する隅角部に沿って幅0.1mm前後のひびわれが発生しているが、前回調査に比べて変化がない。上面では局所的な欠落が散在し、端部付近に発生したひびわれの周辺にも微細なひびわれが増加している。

ひびわれに対する評価点は1点（軽微）であり、はく離・欠落に対する評価点は0点（変状なし又はごく軽微）である。

1. 2 自然電位分布による鋼材の腐食調査

1. 2. 1 調査方法

本調査は、自然電位分布を測定することにより、鋼材の腐食位置や腐食傾向を推定するものである。
以下に試験方法を示す。

①下準備

コンクリート面を清掃し、マーカを用いて鋼材位置をメッシュで描いた。

②電位差計

電位差計からの電線端末(+)を鉄筋に接続したキャプタイヤケーブルの端末にクリップで接続した。電線端末(-)は電極に接続した。

③電極

硫酸銅電極 (CSE) をプラスチックケースに納めたものである。

④測定

電極をコンクリート表面のメッシュをなぞりながら、電位差計 (DVM) のデジタル値を読み取った。

1. 2. 2 調査結果の評価方法

コンクリート中の鉄筋の腐食は、コンクリート表面と鉄筋との間に生ずる自然電位を測ることによって、間接的に推定される。ASTM C876-80では、その関係を以下のように定めている。

(1)電位が-0.20Vより小さい場合 (-0.01Vに近いこと)

測定を行った時点で、腐食の発生していない確率が90%又はそれ以上であること。

(2)電位が-0.20Vから-0.35Vの範囲にある場合

結論は出ない。

(3)電位が-0.35Vより大きい場合 (-0.90Vに近いこと)

測定を行った時点で、腐食の進行中である確率が90%又はそれ以上であること。

1. 2. 3 調査結果

表-2.12(1)～(4)に自然電位測定結果を最大値・最小値・平均値・評価点等について整理して示す。
 なお、自然電位分布測定結果に対する評価点は、表-2.11に示す評価区分としている。

表-2.11 評価点の区分とASTMの判定基準

自然電位 (mV)	評価点と平均自然電位の 分布範囲	ASTM判定基準
-100	0	腐食の発生していない 確率が90%以上
-200	-200	-200
-280	1	不 確 定
-300	2	-350
-350	3	腐食の進行中である 確率が90%以上
-400		

表-2.12(1) 自然電位分布調査結果一覧表 【基準系試験体】 (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率		
									最大 (mV)	最小 (mV)	平均 (mV)	評価	E>-200mV (%)	-200mV>E>-350mV (%)	-350mV>E (%)
無処理	無処理	無処理	小ブレ	普通	40	10	2.5	A 003	-160	-200	-179	0	95.8	4.2	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	2.5	A 006	-170	-260	-215	1	16.7	83.3	0.0
〃	〃	〃	小ブレ	早強	40	10	2.5	A 009	-120	-170	-145	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	早強	50	10	2.5	A 012	-300	-550	-413	3	0.0	12.5	87.5
〃	〃	〃	小RC	高炉	50	10	2.5	A 015	-150	-200	-176	0	87.5	12.5	0.0
〃	〃	〃	小ブレ	普通	40	5	3.5	A 016	-210	-420	-280	1	0.0	91.7	8.3
〃	〃	〃	小ブレ	普通	40	10	3.5	A 017	-140	-210	-175	0	83.3	16.7	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	A 019	-160	-200	-176	0	80.0	20.0	0.0
〃	〃	〃	小ブレ	早強	40	5	3.5	A 020	-230	-300	-276	1	0.0	100.0	0.0
〃	〃	〃	小ブレ	早強	40	10	3.5	A 021	-80	-180	-113	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	早強	50	5	3.5	A 022	-250	-600	-456	3	0.0	8.3	91.7
〃	〃	〃	小RC	早強	50	10	3.5	A 023	-150	-280	-199	0	45.8	54.2	0.0
〃	〃	〃	小RC	高炉	50	10	3.5	A 025	0	-50	-28	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小ブレ	普通	40	5	5.0	A 026	-90	-160	-123	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小ブレ	普通	40	10	5.0	A 027	-100	-170	-140	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	5	5.0	A 028	-340	-500	-424	3	0.0	4.2	95.8
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	5.0	A 029	-380	-500	-433	3	0.0	0.0	100.0
〃	〃	〃	小ブレ	早強	40	5	5.0	A 030	-230	-380	-295	2	0.0	87.5	12.5
〃	〃	〃	小ブレ	早強	40	10	5.0	A 031	-120	-170	-150	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	早強	50	5	5.0	A 032	-90	-200	-163	0	83.3	16.7	0.0
〃	〃	〃	小RC	早強	50	10	5.0	A 033	-250	-370	-299	2	0.0	95.8	4.2
〃	〃	〃	小RC	高炉	50	5	5.0	A 034	-270	-380	-326	2	0.0	79.2	20.8
〃	〃	〃	小RC	高炉	50	10	5.0	A 035	-190	-400	-257	1	12.5	75.0	12.5
〃	〃	〃	中ブレ	普通	40	5	7.0	A 036	-40	-100	-71	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中ブレ	普通	40	10	7.0	A 037	0	-60	-6	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中RC	普通	50	5	7.0	A 038	0	-130	-57	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中RC	普通	50	10	7.0	A 039	0	-10	-1	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中ブレ	早強	40	5	7.0	A 040	-100	-230	-157	0	72.5	27.5	0.0
〃	〃	〃	中ブレ	早強	40	10	7.0	A 041	0	-90	-32	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中RC	早強	50	5	7.0	A 042	-100	-280	-214	1	17.5	82.5	0.0
〃	〃	〃	中RC	早強	50	10	7.0	A 043	0	-40	-13	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中RC	高炉	50	5	7.0	A 044	-50	-140	-85	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中RC	高炉	50	10	7.0	A 045	0	-40	-4	0	100.0	0.0	0.0

表-2.12(2) 自然電位分布調査結果一覧表 【防食処理系試験体】 (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率		
									最大 (mV)	最小 (mV)	平均 (mV)	評価	E>-200mV (%)	-200mV>E>-350mV (%)	-350mV>E (%)
塗装鉄筋	粉体樹脂塗装	無処理	小RC	早強	40	10	2.5	B 002	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 004	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	5	2.5	B 005	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 006	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	亜鉛メッキ	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 008	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 009	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 010	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	塗膜欠陥	クラック	小RC	早強	40	10	2.5	B 014	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	ピンホール	小RC	早強	40	10	2.5	B 016	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	海外比較品	3M	小RC	早強	40	10	2.5	B 018	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
コンクリート塗装	(A種)	エポキシ	小プレ	早強	40	5	2.5	B 020	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	B 021	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	(B種)	柔軟エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B 023	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 024	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	柔軟ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 026	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 027	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	(C種)	厚膜エポキシ	小RC	早強	40	5	2.5	B 029	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 030	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	ビニールエステル	小RC	早強	40	5	2.5	B 032	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 033	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	その他の塗装	超厚膜エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B 034	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 035	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	超厚膜ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 036	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 037	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	超柔軟ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B 038	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 039	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	変性エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B 040	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 041	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	セメント系	小RC	早強	40	5	2.5	B 042	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	中RC	早強	40	10	2.5	B 043	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	ウレタン	中RC	早強	40	5	2.5	B 044	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	中RC	早強	40	10	2.5	B 045	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	シリコンゴム	中RC	早強	40	5	2.5	B 046	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0

表 - 2.12(3) 自然電位分布調査結果一覧表 [防食処理系試験体] (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率		
									最大 (mV)	最小 (mV)	平均 (mV)	評価	E>-200mV (%)	-200mV>E<-350mV (%)	-350mV>E (%)
コンクリート塗装	その他の塗装	シリコンゴム	小RC	早強	40	10	2.5	B 047	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	アクリルゴム	小RC	早強	40	5	2.5	B 048	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 049	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	無機系	小RC	早強	40	5	2.5	B 050	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 051	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	有機無機	小RC	早強	40	5	2.5	B 052	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	小RC	早強	40	10	2.5	B 053	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
含浸系塗装	無処理	シリコン系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 055	-200	-360	-248	1	0.0	95.8	4.2
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	B 056	-100	-170	-136	0	100.0	0.0	0.0
"	"	アクリル系	小プレ	早強	40	10	2.5	B 059	0	-20	-17	0	100.0	0.0	0.0
"	"	シリコン系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 061	-200	-410	-280	1	0.0	87.5	12.5
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	B 062	-70	-110	-82	0	100.0	0.0	0.0
"	"	有機無機	小プレ	早強	40	5	2.5	B 064	-520	-610	-573	3	0.0	0.0	100.0
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	B 065	-220	-310	-267	1	0.0	100.0	0.0
"	"	アクリル系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 067	-190	-250	-227	1	8.3	91.7	0.0
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	B 068	-80	-160	-119	0	100.0	0.0	0.0
"	"	ビニルエステル	小プレ	早強	40	5	2.5	B 070	-310	-590	-460	3	0.0	4.2	95.8
"	"	"	小プレ	早強	40	10	2.5	B 071	-120	-240	-186	0	54.2	45.8	0.0
"	"	ポリエステル系	小プレ	早強	40	5	2.5	B 095	-310	-480	-390	3	0.0	16.7	83.3
ポリエステルシーサー	"	無処理	中ポスト	早強	40	5	3.5	B 092	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
"	"	"	中ポスト	早強	40	10	3.5	B 093	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
耐塩性コンクリート	"	"	小RC	シリカ	30	10	2.5	D 003	-240	-440	-280	2	0.0	95.8	4.2
"	"	"	小RC	シリカ	30	5	5.0	D 004	-100	-280	-175	0	58.3	41.7	0.0
"	"	"	小RC	シリカ	30	10	5.0	D 005	-30	-180	-95	0	100.0	0.0	0.0

表 - 2.12(4) 自然電位分布調査結果一覧表 【防食処理系試験体】 (12年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W / C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率		
									最大 (mV)	最小 (mV)	平均 (mV)	評価	E>-200mV (%)	-200mV>E>-350mV (%)	-350mV>E (%)
プレテンション	無処理	無処理	小プレ	早強	40	10	2.5	C 001	0	-10	-2	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	C 002	0	-20	-4	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	C 003	0	-20	-4	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小プレ	早強	40	10	2.5	C 004	0	-40	-15	0	100.0	0.0	0.0
ポストテンション	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 005	0	-30	-2	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 006	0	-30	-2	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 007	0	-20	-2	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	中ポスト	早強	40	10	3.5	C 008	0	-30	-4	0	100.0	0.0	0.0
鉄筋引張力 800	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 009	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 010	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小プレ	普通	50	10	3.5	C 011	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小プレ	普通	50	10	3.5	C 012	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
鉄筋引張力 1000	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 013	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 014	0	-40	-26	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 015	0	-20	-8	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 016	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
鉄筋引張力 1200	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 017	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 018	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 019	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 020	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
鉄筋引張力 1400	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 021	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 022	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 023	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	小RC	普通	50	10	3.5	C 024	0	-10	-3	0	100.0	0.0	0.0
プレテンション T桁(5316型)	〃	〃	大プレ	早強	40	10	2.5	C 025	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	大プレ	早強	40	10	2.5	C 026	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
〃	〃	〃	大プレ	早強	40	10	2.5	C 027	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0
プレテンションスラブ'桁	〃	〃	大プレ	早強	40	10	3.5	C 028	0	-100	-11	0	100.0	0.0	0.0
プレテンションスラブ' T桁(ST型)	〃	〃	大プレ	早強	40	10	5.0	C 029	0	-40	-4	0	100.0	0.0	0.0
ポストテンションスラブ' T桁(ST型)	〃	〃	大フポスト	早強	40	10	7.0	C 030	0	-100	-20	0	100.0	0.0	0.0

1. 2. 4 調査結果のまとめ

自然電位分布測定の結果を、①基準系試験体、②防食処理系試験体、③腐食調査試験体についてまとめ、以下に記す。

(1) 基準系試験体

1) 自然電位の変化傾向

基準系試験体のうち、コアが採取されていない26試験体における自然電位分布測定の評価結果を表-2.13に示す。基準系試験体の評価点は、全体の65%が0点、8%が1点であり、12%が2点、評価点がASTMの基準で腐食が進行する確率が90%以上のものとされる評価点が3点のものは15%であった。

表-2.13 自然電位分布測定評価

評価点	平均自然電位	試験体数
3	$E < -350\text{mV}$	4
2	$-350\text{mV} < E < -280\text{mV}$	3
1	$-280\text{mV} < E < -200\text{mV}$	2
0	$E > -200\text{mV}$	17
計	—	26

暴露経過10年目に比べて評価点が上がった(劣化が進行したと思われる)ものは6試験体、評価点が下がったものが6試験体あった。

2) 設置位置と自然電位

前回調査までに、試験体の設置位置(デッキ)の違いによって自然電位に差があることを指摘している。本調査結果もこの点について整理し、その状況と変化について述べる。

試験体は、第2デッキ(T.P+8.900)と第3デッキ(T.P+2.097)に据え付けられており、その高低差は約7mである。設置状況を図-4.1に示すとともに、各デッキに据え付けられた試験体の種類を表-2.14にまとめている。

第3デッキには、基準系試験体と防食処理系試験体の大半である78体の小試験体があり、第2デッキには、基準系試験体と防食処理系試験体の一部、および腐食調査試験体の全部、合計42体の小、中、大試験体がある。

図-2.1は第2デッキと第3デッキのコアが採取されていない試験体に発生した平均自然電位の発生頻度を評価点ごとに示したものである。第2デッキの基準系試験体5試験体はすべて評価点0点(平均自然電位 $E > -200\text{mV}$)であった。第3デッキの試験体30試験体は評価点が0点から3点の範囲に分布しており、0点が57%、1点が10%、2点が14%、3点が19%となっている。前回調査までと同様、第2デッキと第3デッキでは自然電位に差が生じ、海面に近い第3デッキ(H.W.L+1.247m)に据え付けられた試験体の方が、第2デッキ(H.W.L+8.050m)に据え付けられた方より電位が卑になる傾向は変わっていない。

表-2.14 第2デッキと第3デッキに据え付けた試験体の種類

種別	基準系試験体	防食処理系試験体	腐食調査試験体	合計
第2デッキ	かぶり7cmの中試験体	ポリエチレンシースの中試験体	プレテンションの小試験体 ポストテンションの中試験体 鉄筋に引張力を発生させた小試験体 プレテンションT桁の大試験体(5316型) プレテンションスラブ桁の大試験体(5316型) プレテンションT桁の大試験体(ST型) ポストテンションT桁の大試験体(ST型)	
数量	10	2	30	42
第3デッキ	かぶり2～5cmの小試験体	塗装鉄筋の小試験体 コンクリート塗装の小試験体 含浸系塗装の小試験体 耐塩性コンクリートの小試験体		
数量	23	55	0	78

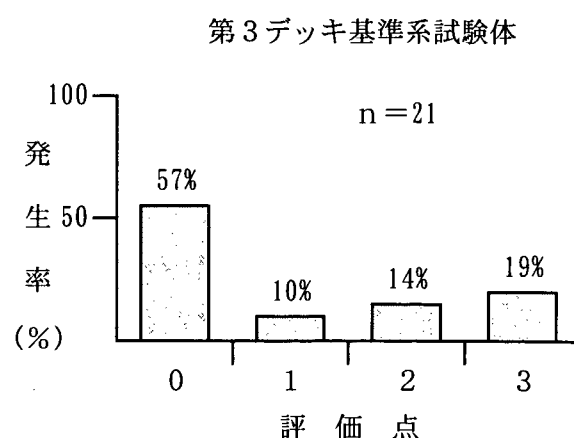
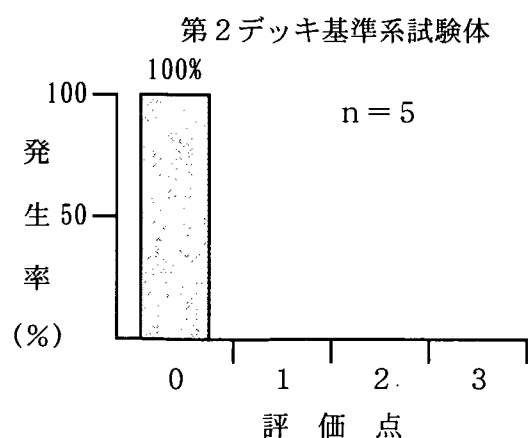


図-2.1 第2デッキと第3デッキの基準系試験体に発生する自然電位の比較

3) 各種条件と自然電位

図-2.1に示されるように、基準系試験体のうち、第2デッキに据え付けられたかぶり7cmの中試験体の100%が評価点0点である。第3デッキの試験体は、0点から3点の範囲に分布している。

基準系試験体の付加条件には、①試験体の種類（プレテンション・RC）、②セメント種類、③かぶりの3種類がある。以下、この条件と自然電位の発生状態との関係について記す。ただし、第2デッキの試験体は、第3デッキの試験体に比べて自然電位の変化があまりないので除外した。

①試験体の種類

表-2.15 にプレテンション試験体とRC試験体に発生した自然電位の評価をまとめて示す。プレテンション試験体は0～2であり、ほとんどが0点であるが、RC試験体は0点が39%であり、1点が15%、2点が15%で3点が31%あり、両者に差が認められる。

表-2.15 自然電位の評価のまとめ

試験体の種類	点数	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
プレテンション	8	7	0	1	0	88	0	12	0
RC	13	5	2	2	4	39	15	15	31

②セメントの種類

表-2.16にセメントの種類別に発生した自然電位の評価を示す。普通セメントと早強セメントの試験体で評価点3点が認められる。

表-2.16 自然電位の評価のまとめ

セメントの種類	点数	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
普 通	8	5	1	0	2	63	12	0	25
早 強	9	5	0	2	2	56	0	22	22
高炉B	4	2	1	1	0	50	25	25	0

③かぶり

表-2.17 に自然電位の評価をかぶりで区別して示す。先にも述べたが、かぶりが7cmのものはすべての試験体が評価点0点である。これは、試験体が他の試験体に比べて海面より高い位置（第2デッキ）に暴露されているので、他の試験体と比較しにくい。第3デッキに暴露されてい

る試験体のかぶりは、2.5cm、3.5cm、5.0cmである。今のところ、かぶりが2.5cmから5.0cmの範囲顕著な差は認められない。

表-2.17 自然電位の評価のまとめ

かぶり (cm)	点数	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
2.5	5	3	1	0	1	60	20	0	20
3.5	6	5	0	0	1	83	0	0	17
5.0	10	4	1	3	2	40	10	30	20
7.0	5	5	0	0	0	100	0	0	0

(2) 防食処理系試験体の自然電位

1) 含浸系塗装

試験体の評価点を整理して表-2.18に示す。どの塗装系も0～1点の範囲にあり、大きな変化はない。

表-2.18 自然電位の評価のまとめ

処理方法 評価点	シリコン系 (1)	アクリル系 (1)	シリコン系 (2)	有機無機複合	アクリル系 (2)	ビニルエステル
0	1	2	1	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

単位：試験体

2) 耐塩性コンクリート

耐塩性コンクリートとしてシリカフェームを使用した2試験体のうち1試験体は評価点2点である。他の1試験体は0点であり、大きな変化はない。

(3) 腐食調査試験体の自然電位

表-2.19 に自然電位の評価を腐食試験体の種類別に示す。

腐食調査試験体は、全種類に関して前回調査と同様、評価点 0 点に該当し、変化がない。

試験体付加条件、

*寸法条件 ; ①小試験体, ②中試験体, ③大試験体

*種 類 ; ①RC, ②プレテンション, ③ポストテンション

*セメント ; ①普通ポルトランド, ②早強ポルトランド

*かぶり ; ① 2.5cm, ② 3.5cm, ③ 5.0cm, ④ 7.0cm

*そ の 他 ; 鉄筋に引張応力 (1000~1400kg f / cm²) を導入

が、個々に組合わさっているにも拘らず、第3デッキに暴露された試験体が評価点 0 点から 3 点の範囲に分布しているのとは明らかに異なっている。この結果は、前述したように、腐食調査試験体に対して第3デッキより環境のよい第2デッキに暴露されたことによるものと推定される。また、平均自然電位は前回調査と比較しても変化が小さい。

表-2.19 腐食調査試験体の自然電位の評価のまとめ

処 理 条 件		試験体数	個 数				比 率 (%)			
			0	1	2	3	1	2	3	4
腐食調査試験体	全 体	30	30	0	0	0	100	0	0	0
	プレテンション	4	4	0	0	0	100	0	0	0
	ポストテンション	4	4	0	0	0	100	0	0	0
	鉄 筋 引 張 力	16	16	0	0	0	100	0	0	0
	その他大試験体	6	6	0	0	0	100	0	0	0

1. 3 塩分含有測定

1. 3. 1 塩分含有量測定結果

各試験体のコンクリート中の塩分含有量の測定結果を表-2.20と図-2.2(1)～(2)に示す。

表-2.20 塩分含有量測定結果

試験体名	かぶり (cm)	セメント の種類	水セメント比 (%)	コ ア の向き	塩分含有量 (Cl ⁻ kg/m ³)			
					コア切断箇所			
					0～1cm	1～2cm	2～4cm	4～7cm
A016	3.5	普 通	40	上 面	8.930	3.525	0.282	0.071
				下 面	2.820	0.235	0.188	0.094
				側面 1	7.990	2.820	0.423	0.094
				側面 2	11.985	4.935	0.893	0.141
A020	3.5	早 強	40	上 面	7.990	3.760	0.658	0.447
				下 面	8.930	3.290	0.823	0.165
				側面 1	9.165	3.290	0.776	0.188
				側面 2	6.345	2.820	1.222	0.400
A022	3.5	早 強	50	上 面	8.225	7.050	3.525	0.588
				下 面	13.160	10.810	6.815	1.034
				側面 1	8.695	7.285	4.935	0.494
				側面 2	9.165	8.460	5.875	1.786
A029	5.0	普 通	50	上 面	14.570	7.990	3.290	0.588
				下 面	11.515	7.990	3.525	0.752
				側面 1	7.755	4.465	1.974	0.682
				側面 2	10.575	6.345	2.115	1.645
A034	5.0	高炉B	50	上 面	12.455	8.930	1.622	0.353
				下 面	12.455	7.285	1.410	0.447
				側面 1	12.690	8.930	2.350	0.729
				側面 2	7.285	4.935	1.387	0.893
D004	5	シリカ	30	上 面	9.165	0.729	0.329	0.141
				下 面	6.345	1.152	0.470	0.329
				側面 1	8.225	1.246	0.447	0.235
				側面 2	13.395	0.423	0.282	0.259

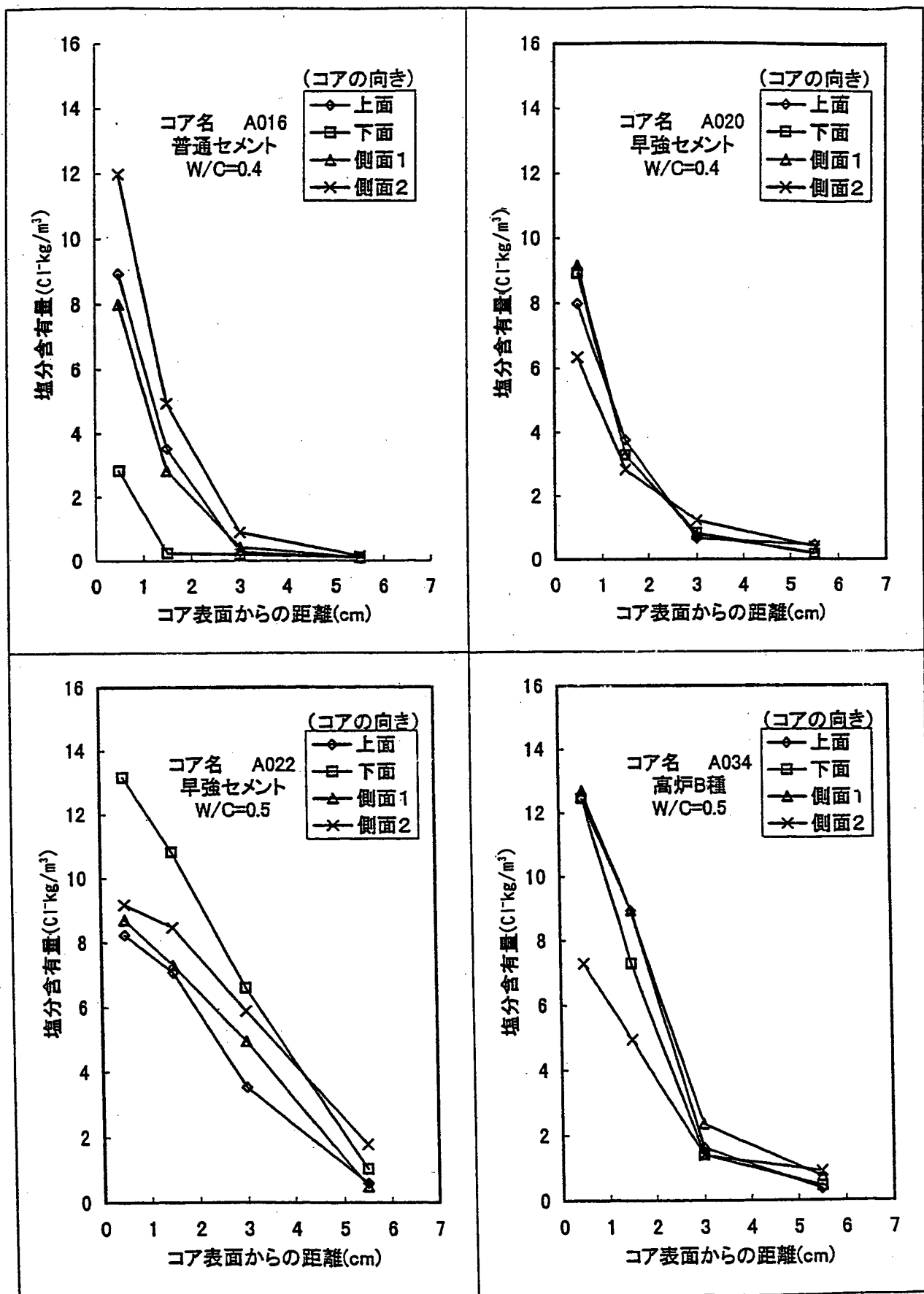


図-2.2 (1) 塩分含有量測定結果

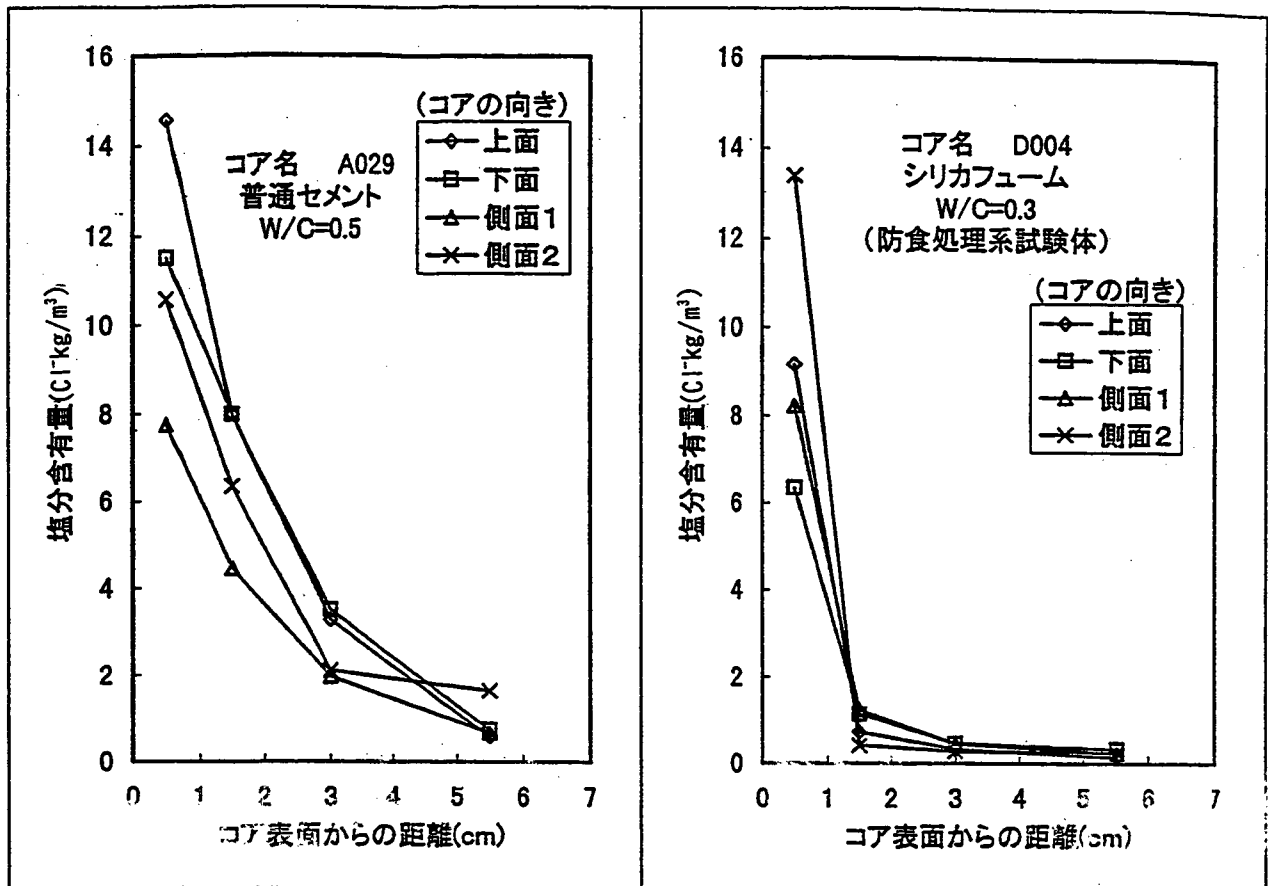


図-2.2 (2) 塩分含有量測定結果

1. 3. 2 塩分含有量の分布状況

図-2.2に示すように、塩分含有量は表面で最大を示し、深部へ向けて減少している。表面の方向の違いによる影響は明らかでない。

各表面の塩分含有量を表面からの距離毎に平均した結果を表-2.21および図-2.3に示す。表面からの距離が1 cmから7 cm範囲で塩分含有量が最大なのは、試験体A022（早強セメント，W/C=50%）である。水セメント比が50%の試験体の塩分含有量が全体的に大きく、表面からの距離が大きくなるほど減少しているが、4 cmから7 cmの範囲でも塩分含有量が $0.606 \sim 0.976 \text{ Cl}^- \text{ kg/m}^3$ （許容塩化物規制値 $0.6 \text{ Cl}^- \text{ kg/m}^3$ ）であり、他の試験体に比べても大きい。水セメント比40%の試験体は、50%の試験体に比べて表面からの距離1 cmから2 cmの範囲で約40%である。4 cmから7 cmの範囲では、 0.100 、 $0.300 \text{ Cl}^- \text{ kg/m}^3$ であるので、塩分はほとんど到達していないと考えられる。最も塩分含有量の小さいのは試験体D004（シリカフォーム，W/C=30%）であり、表面から2 cm以深では塩分はほとんど到達していない。

表-2.21 平均塩分含有量の分布

試験体	かぶり (cm)	セメント の種類	水セメント 比 (%)	塩分含有量 ($\text{Cl}^- \text{ kg/m}^3$)			
				コア切断箇所			
				0 ~ 1 cm	1 ~ 2 cm	2 ~ 4 cm	4 ~ 7 cm
A016	3.5	普 通	40	7.931	2.879	0.447	0.100
A020	3.5	早 強	40	8.108	3.290	0.870	0.300
A022	3.5	早 強	50	9.811	8.401	5.288	0.976
A029	5.0	普 通	50	11.104	6.698	2.726	0.917
A034	5.0	高炉B	50	11.221	7.520	1.692	0.606
D004	5.0	シリカ	30	9.283	0.888	0.382	0.241

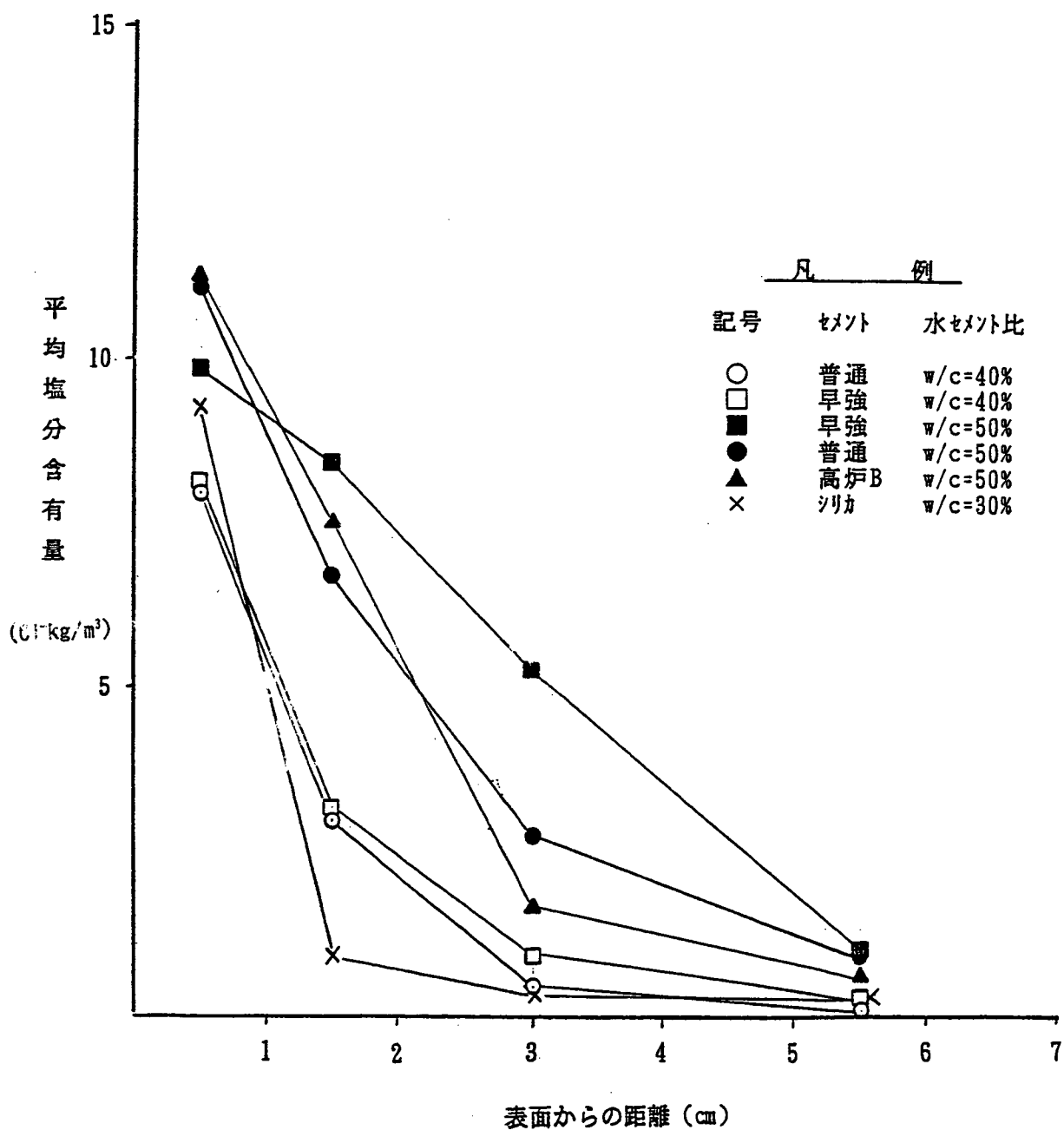


図-2.3 平均塩分含有量の分布

1. 4 まとめ

(1) 外観調査

暴露試験が12年経過して、ひびわれや錆汁、あるいははく離・欠落などは多くの試験体に発生しているが、これらの変状に対する評価結果は表-2.22のようであり、全般的には、変状はあってもごく軽微なものであった。ただし、第3デッキに据え付けられている基準系試験体のなかには、波浪の影響と考えられる曲げひびわれがあるのに加えて、内部の鉄筋が腐食した結果、ひびわれや錆汁が発生している試験体が認められている。

表-2.22 全試験体における変状の程度

評価点	変状の程度	ひびわれ・錆汁	はく離・欠落
0	なし, ごく軽微	93ヶ (77%)	112ヶ (93%)
1	軽 微	23ヶ (19%)	7ヶ (6%)
2	小	3ヶ (3%)	1ヶ (1%)
3	中	1ヶ (1%)	0ヶ (0%)
4	大	0ヶ (0%)	0ヶ (0%)
合 計	—	120ヶ (100%)	120ヶ (100%)

試験体の種類ごとに変状の発生状況を以下にまとめる。

1) 基準系試験体 (33試験体)

ひびわれ・錆汁に対して評価点が1点(軽微)のものが9試験体、評価点が2点(小)と3点(中)のものが各1試験体ある。はく離・欠落を生じたものも多いが、スペーサ取付部や仕上面ののろの部分に表面的に生じており、前回調査に比べて変化がなく、その程度は軽微なものといえる。今回調査では、波浪の影響と考えられる曲げひびわれや欠落が発生したひびわれが第3デッキの試験体に認められ、内部の鉄筋が腐食し、鉄筋に沿ったひびわれと錆汁が増加している。

2) 防食処理系試験体 (57試験体)

塗装鉄筋を使用した試験体の変状はごく軽微なものである。コンクリート塗装を施した30試験体にひびわれ・錆汁は生じていないが、25試験体において塗膜にはがれや割れが生じている。その他の試験体の劣化もごく軽微なものである。

3) 腐食調査試験体 (30試験体)

この種の試験体は、第2デッキに据え付けられており、ほとんどの試験体の変状はない。その中で変状のある試験体は、鉄筋に曲げ引張応力を生じさせるものであるが、変状の程度は軽微で小さいに相当し、前回の調査結果と比べても変化が小さい。

(2) 自然電位分布測定

1) 基準系試験体

基準系試験体の評価点は、全体の65%が0点 ($E > -200\text{mV}$)、8%が1点 ($-280\text{mV} < E < -200\text{mV}$)、12%が2点 ($-350\text{mV} < E < -280\text{mV}$)であり、ASTMの基準で腐食が進行する確率が90%以上のものとされる評価点3点 ($E < -350\text{mV}$)のものが15%認められた。

10年目に比べて評価点が増加したものが6試験体、減少したものが6試験体であった。また、前回調査と同様第2デッキと第3デッキでは自然電位に差が生じ、海面に近い第3デッキ (H.W.L. +1.247m) に据え付けられた試験体の方が、第2デッキ (H.W.L. +8.050m) に据え付けられた方より電位が卑になる傾向がある。

セメントの種類やかぶりの条件の違いによる自然電位の差は大きくないが、RC試験体の方がプレテンション試験体に比べて評価点の高いが多い。

2) 防食処理系試験体

含浸系塗装および耐塩性コンクリートの試験体は、ともに前回に比べて変化が小さい。

3) 腐食調査試験体

第2デッキに据え付けられている腐食調査試験体は、全種類に関して前回調査と同様評価点0点である。

試験体の付加条件が、個々に組合わさっているにも拘らず、第3デッキに暴露された試験体が評価点0点から3点の範囲に分布しているのとは明らかに異なっている。

(3) 塩分含有量測定

塩分が最も深部へ到達しているのは、水セメント比が50%の試験体であり、表面からの距離が大きくなるほど減少しているが、4cmから7cmの範囲でも塩分含有量は $0.606 \sim 0.976\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$ (許容塩化物規制値 $0.6\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$) である。水セメント比40%の試験体は、同じ深度では、ほとんど塩分は到達していない。シリカフューム (W/C=30%) の試験体は、表面から2cm以深では塩分がほとんど到達していない。

2. 暴露14年の調査結果

平成10年度暴露14年目に行なわれた「外観調査」，「含有塩分量測定」，「解体調査（かぶり厚さ測定，鉄筋腐食度調査）」の調査結果を以下に示す。

また、今回調査対象とした暴露試験体と調査項目を表－2.23に示す。

表－2.23 試験体と調査項目

仕 様		試験体No.	外観調査	含有塩分測定	解体調査
基 準 系	普通セメント	A016	○	○	○
		A026	○	○	○
		A028	○	○	○
	早強セメント	A020	○	○	○
		A030	○	○	○
		A022	○	○	○
		A032	○	○	○
	高 炉 B 種	—			
		A034	○	○	○
防食処理系	塗 装 鉄 筋	B005	○		
		B008	○		
		B009	○		
	コンクリート塗装	B020	○		
		B023	○		
		B026	○		
		B029	○		
		B032	○		
		B034	○		
		B036	○		
		B038	○		
		B040	○		
		B042	○		
		B046	○		
		B048	○		
		B050	○		
		—			
	含 浸 系 塗 装	B055	○		
		—			
		B061	○		
		B061	○		
		B064	○		
		B070	○		
		—			
	耐塩性コンクリート	D004	○	○	○

2. 1 外観調査

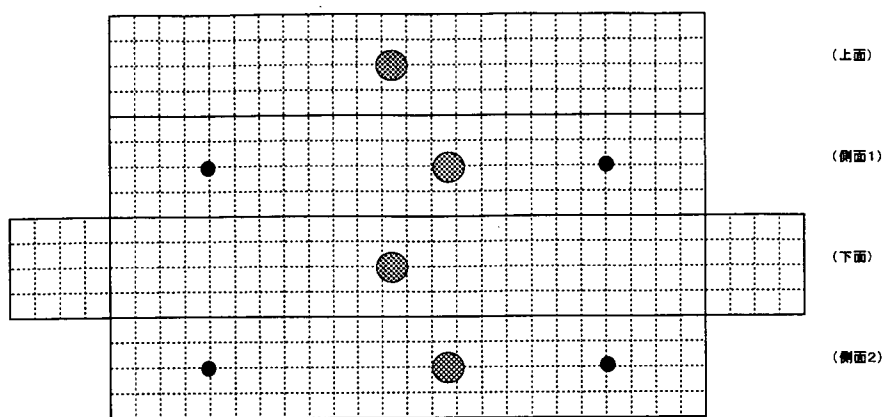
2. 1. 1 調査結果

外観調査結果を表-2.24にまとめた。また、試験体ごとに損傷展開図を次頁以降に示す。

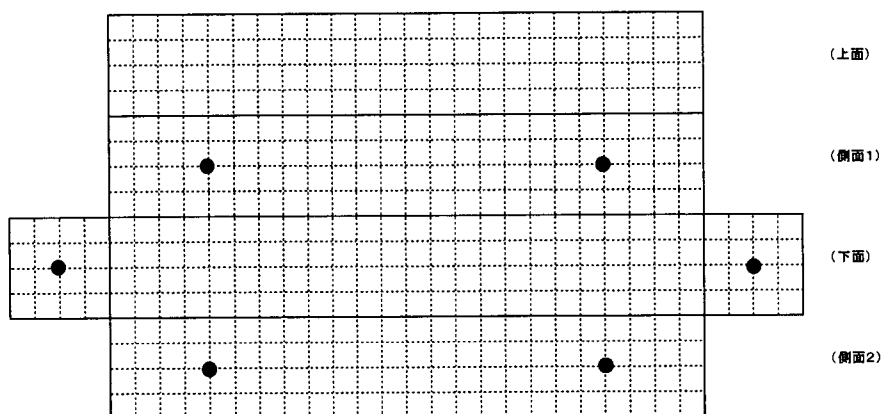
表-2.24 外観目視結果

仕 様		試験体No.	損傷状況	判定
基 準 系	普通セメント	A016	無 傷	○
		A026	無 傷	○
		A028	ひびわれ多少あり	Ⅲ
	早強セメント	A020	無 傷	○
		A030	無 傷	○
		A022	ひびわれ多少あり	Ⅲ
		A032	無 傷	○
	高 炉 B 種	—		
		A034	ひびわれ多少あり	Ⅲ
防食処理系	塗 装 鉄 筋	B005	無 傷	○
		B008	ひびわれ多少あり	Ⅳ
		B009	無 傷	○
	コンクリート塗装	B020	塗膜のはがれ多少あり	Ⅲ
		B023	同 上	Ⅲ
		B026	同 上	Ⅲ
		B029	塗膜のはがれわずかあり	Ⅳ
		B032	塗膜のはがれ多少あり	Ⅲ
		B034	塗膜のはがれわずかあり	Ⅳ
		B036	同 上	Ⅳ
		B038	塗膜のはがれ多少あり	Ⅲ
		B040	同 上	
		B042	無 傷	○
		B046	塗膜のはがれ多少あり	Ⅲ
		B048	塗膜のはがれわずかあり	Ⅳ
		B050	塗膜のはがれ多少あり	Ⅱ
		—		
	含 浸 系 塗 装	B055	無 傷	○
		—		
		B061	ヘヤークラック側面1に多くあり	Ⅳ
		B064	無 傷	○
		B067	無 傷	○
		B070	ヘヤークラック下面に多くあり	Ⅳ
		—		
	耐塩性コンクリート	D004	無 傷	○

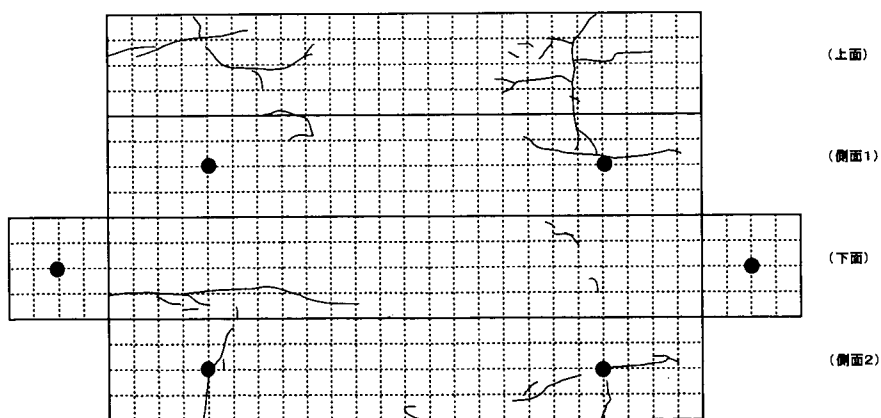
判定基準 無傷 : ○, わずかに損傷あり : Ⅳ, 多少あり : Ⅲ, 多くあり : Ⅱ



基準系 普通セメント 供試体 A016



基準系 普通セメント 供試体 A026



基準系 普通セメント 供試体 A028

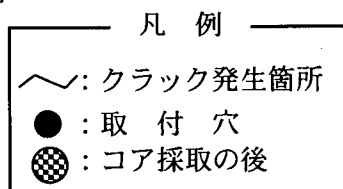
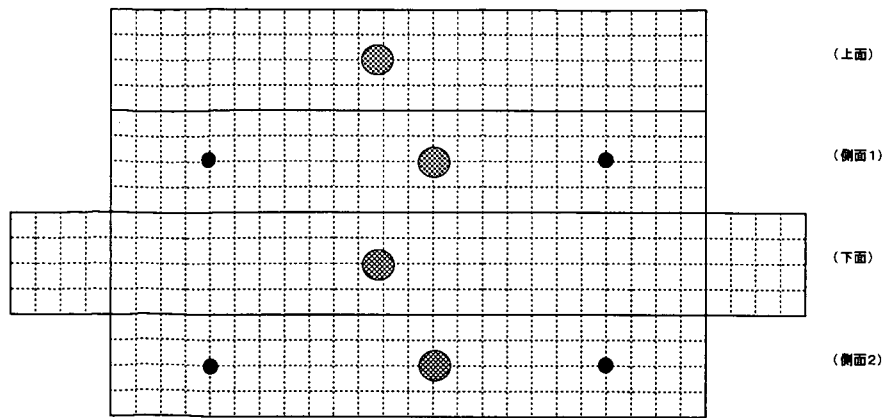
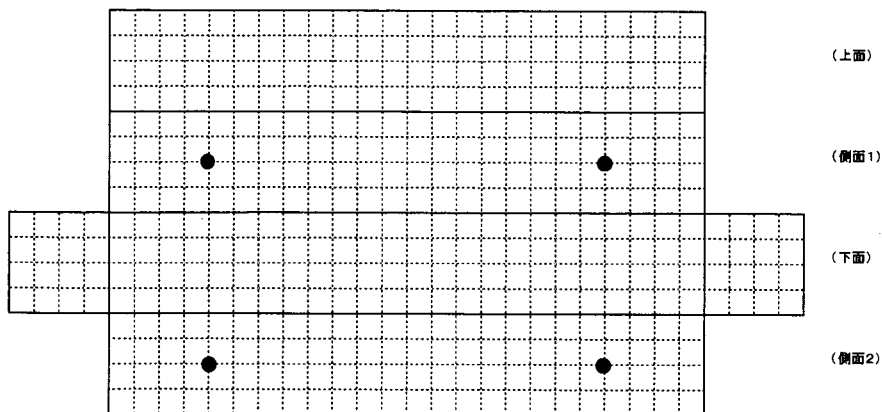


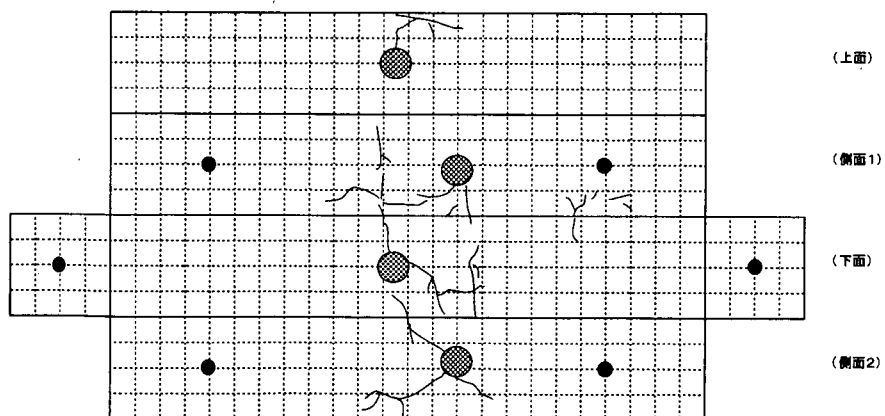
図-2.4(1) 試験体 A016, A026, A028 損傷展開図



基準系 早強セメント 供試体 A020



基準系 早強セメント 供試体 A030



基準系 早強セメント 供試体 A022

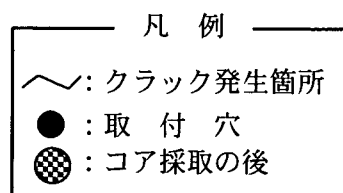
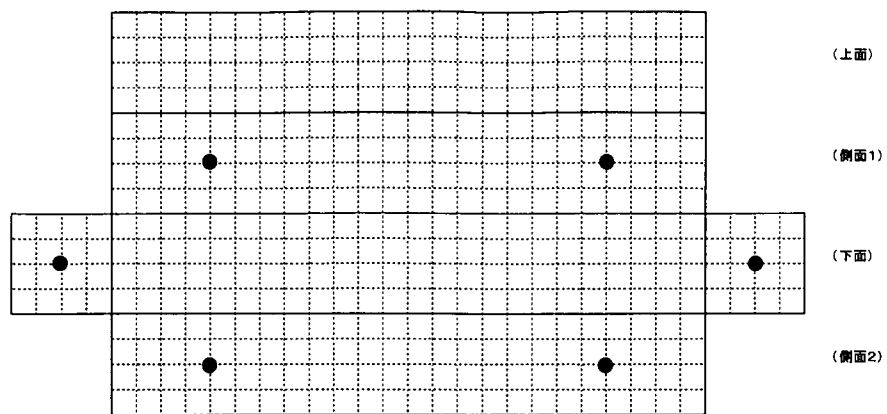
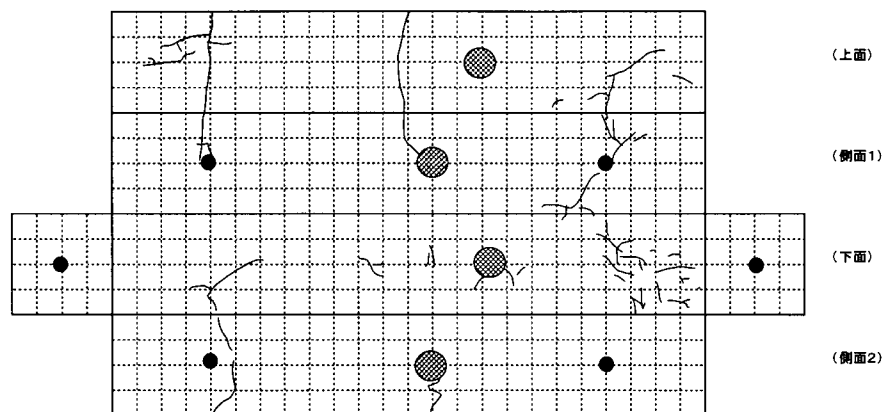


図-2.4(2) 試験体 A020, A030, A022 損傷展開図



基準系 早強セメント 供試体 A032



基準系 高炉B種 供試体 A034

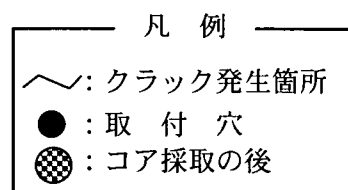
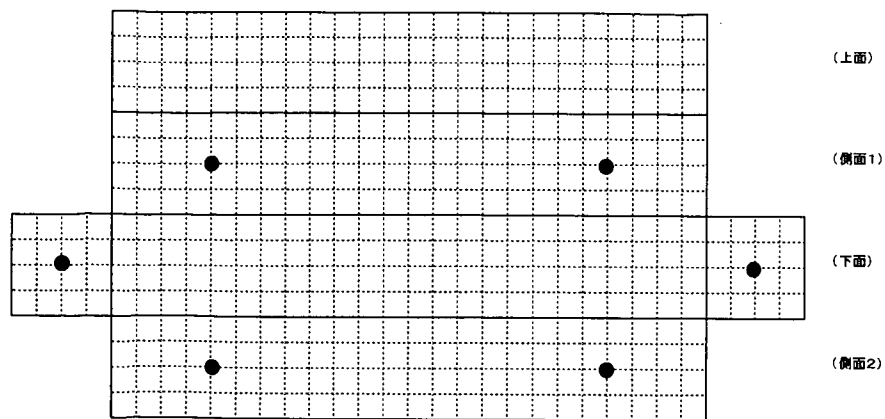
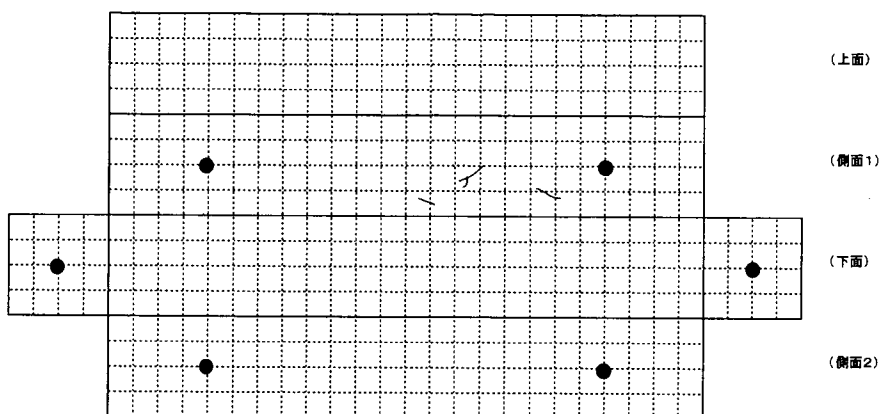


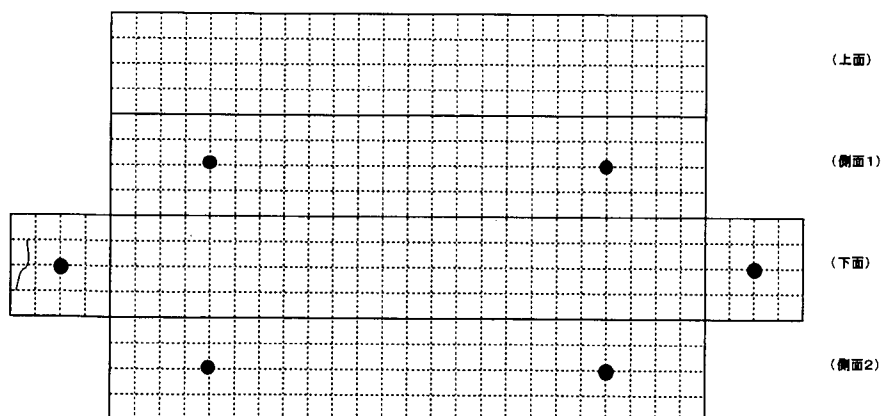
図-2.4(3) 試験体 A032, A034 損傷展開図



防食処理系 塗装鉄筋 供試体 B0005



防食処理系 塗装鉄筋 供試体 B008



防食処理系 塗装鉄筋 供試体 B009

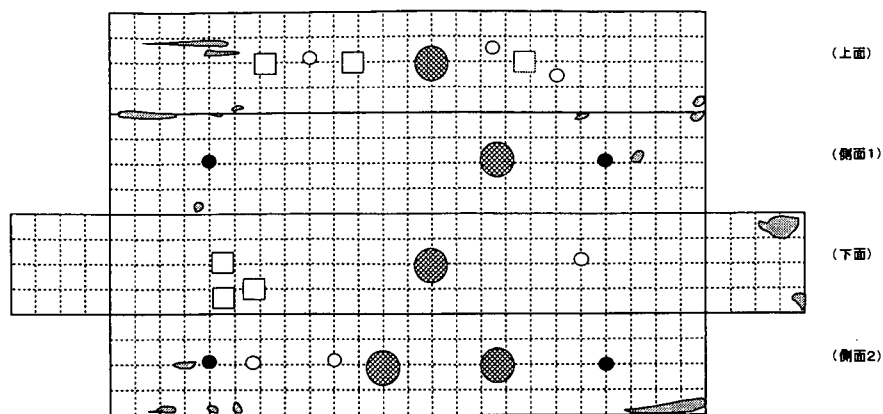
凡 例

〰: クラック発生箇所

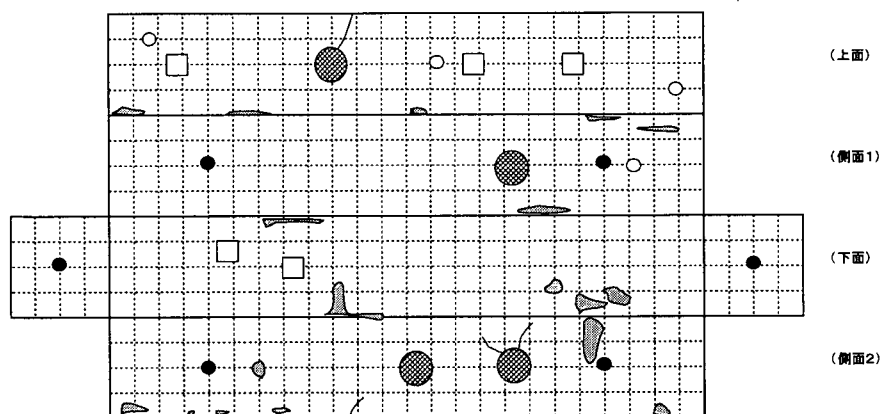
●: 取 付 穴

⊗: コア採取の後

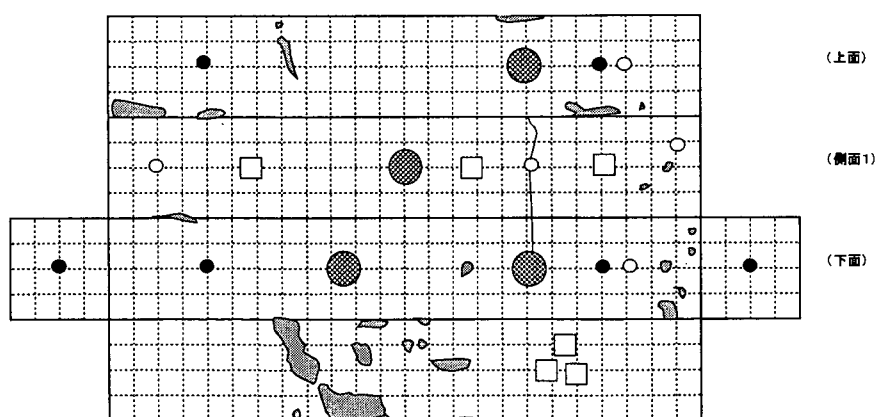
図-2.4(4) 試験体 B005, B008, B009 損傷展開図



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B020



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B023



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B026

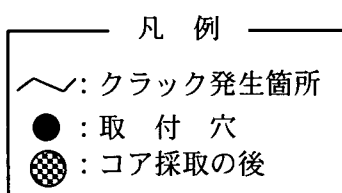
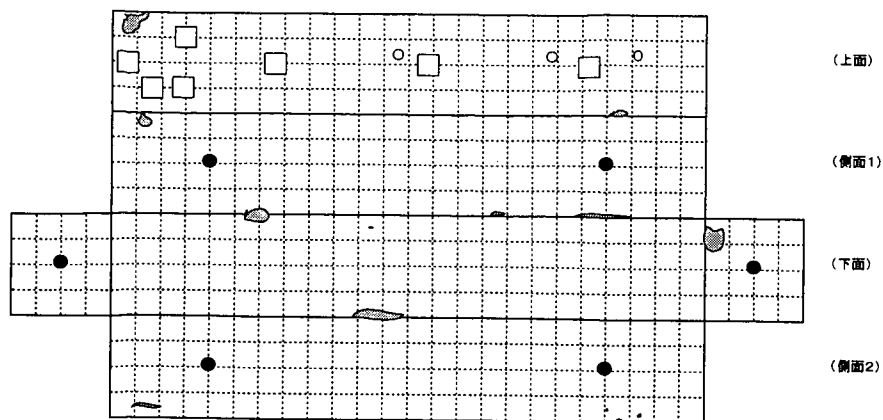
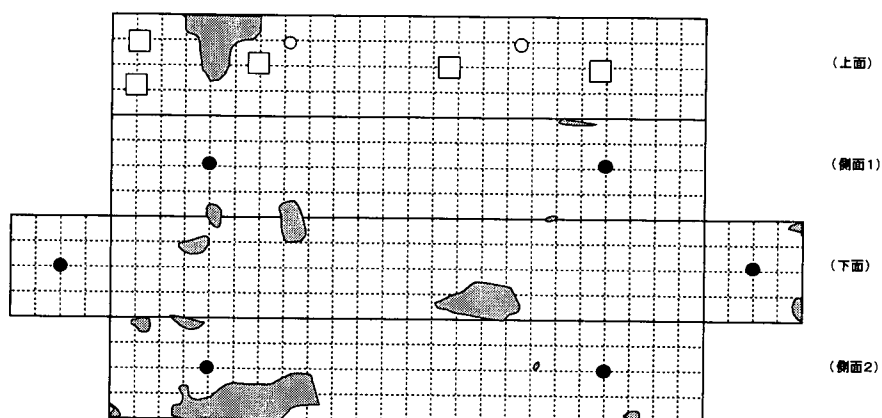


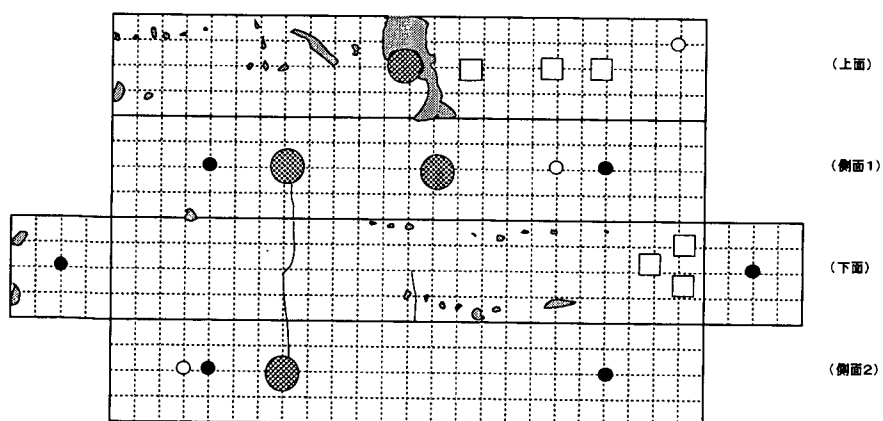
図-2.4(5) 試験体 B020, B023, B026 損傷展開図



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B029



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B032



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B034

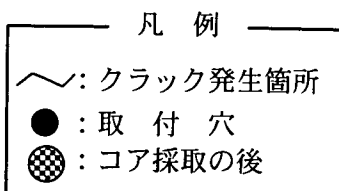
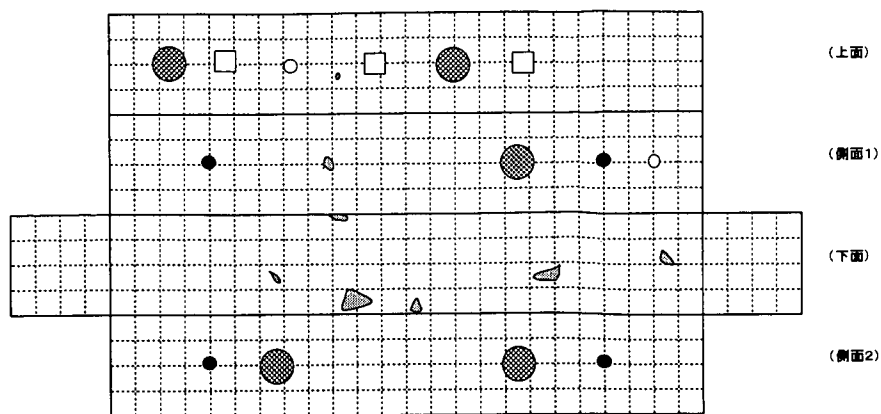
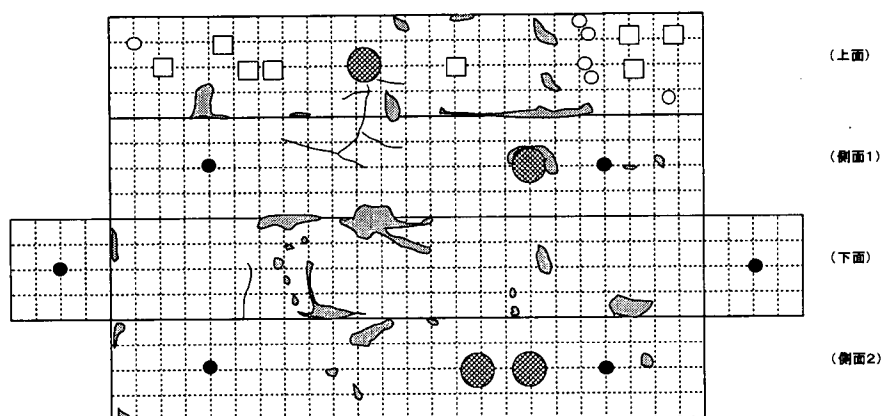


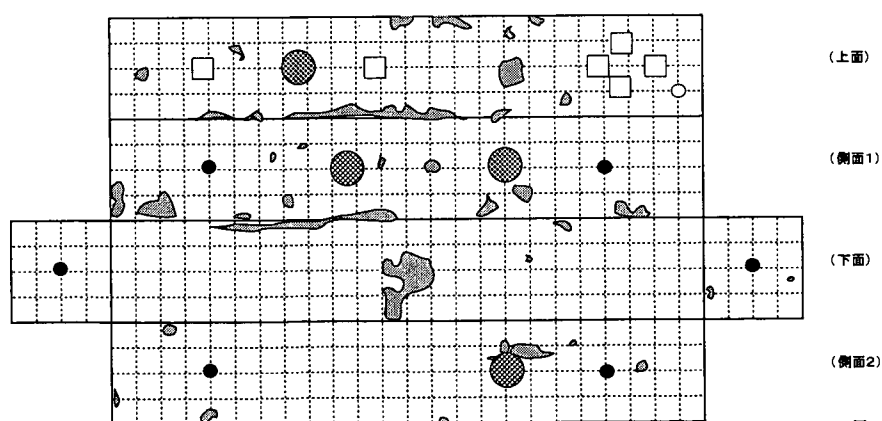
図-2.4(6) 試験体 B029, B032, B034 損傷展開図



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B036



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B038



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B040

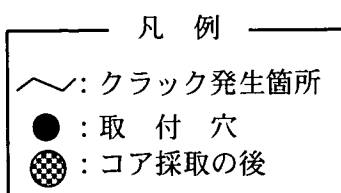
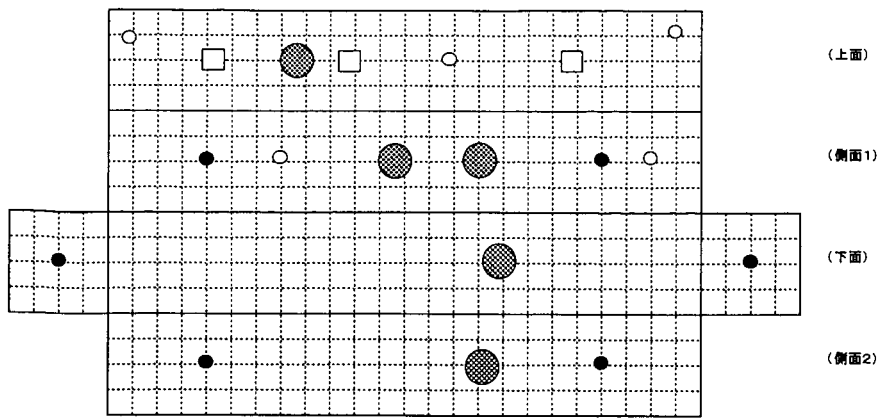
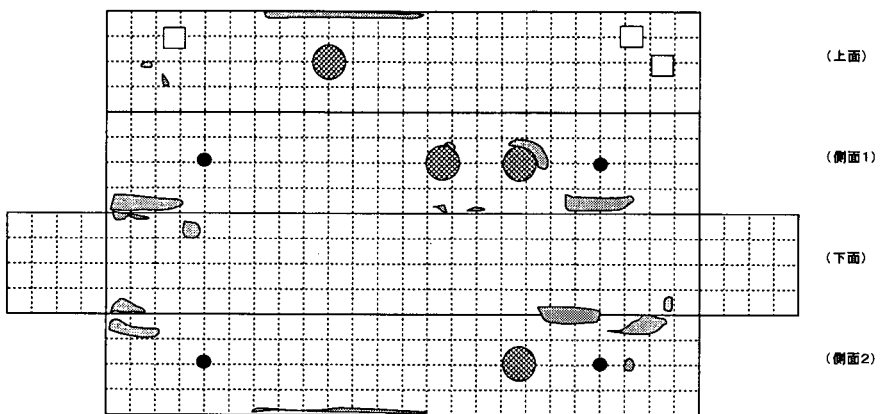


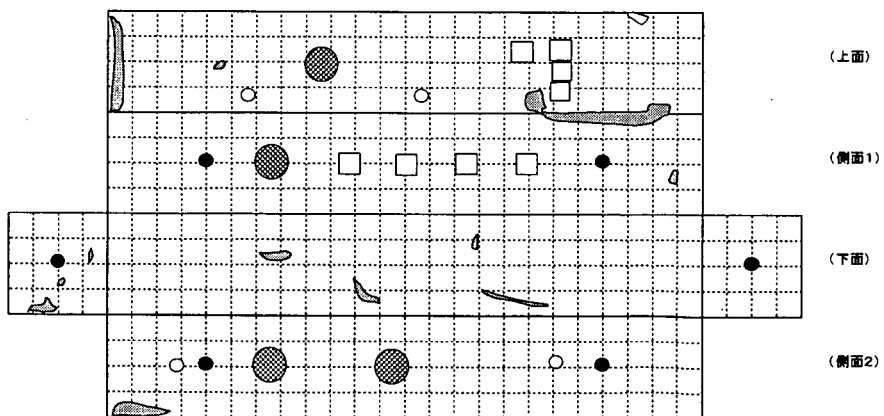
図-2.4(7) 試験体 B036, B038, B040 損傷展開図



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B042



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B046



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B048

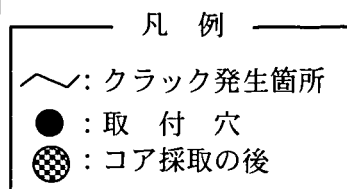
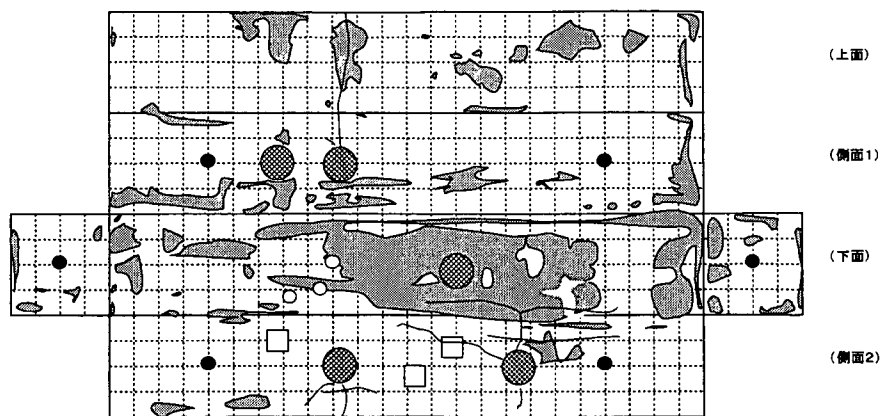
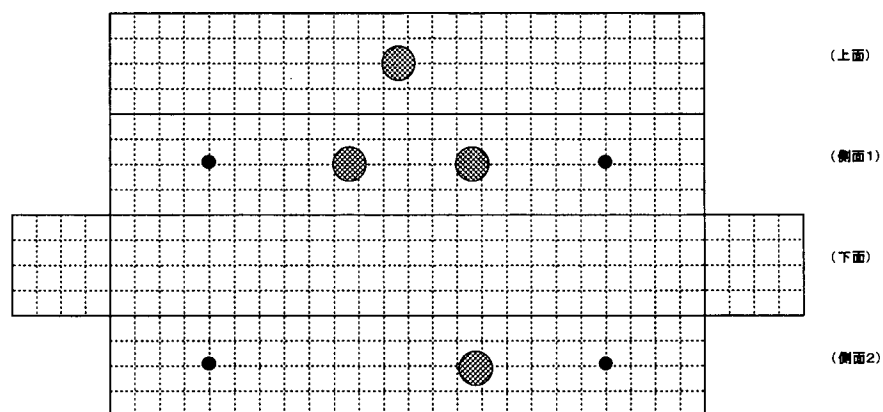


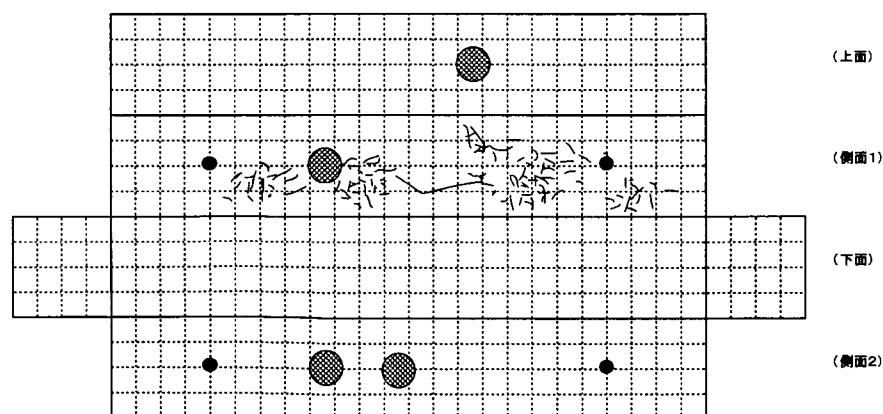
図-2.4(8) 試験体 B042, B046, B048 損傷展開図



防食処理系 コンクリート塗装 供試体 B050



防食処理系 浸透系塗装 供試体 B055



防食処理系 浸透系塗装 供試体 B061

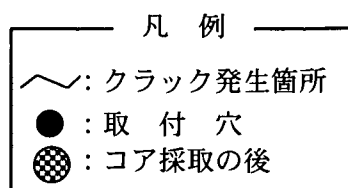
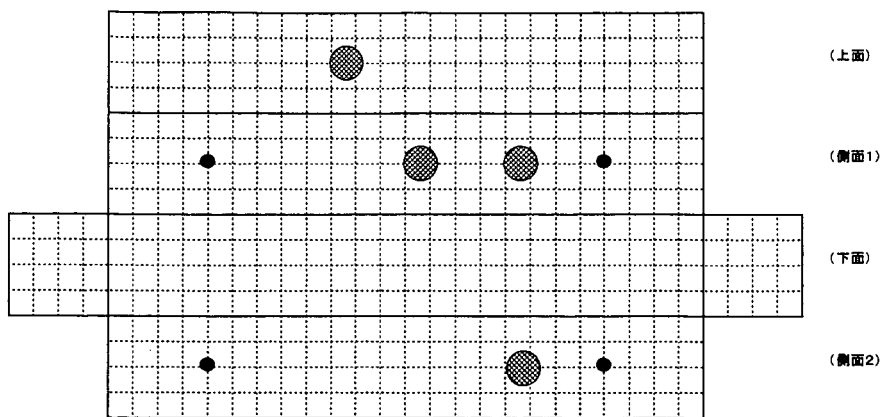
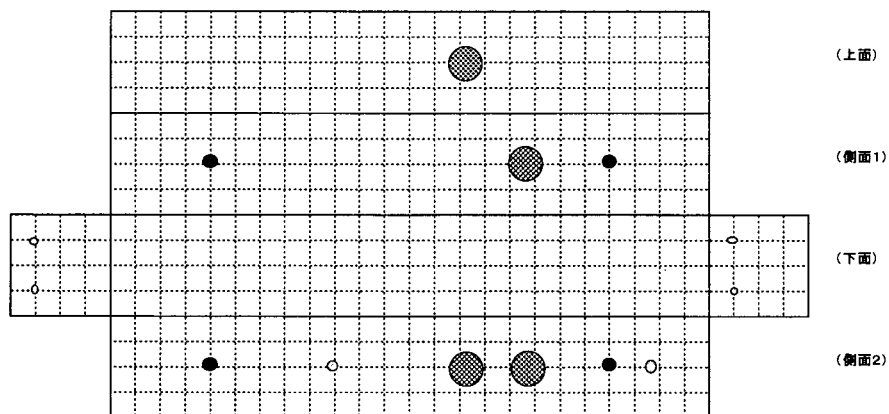


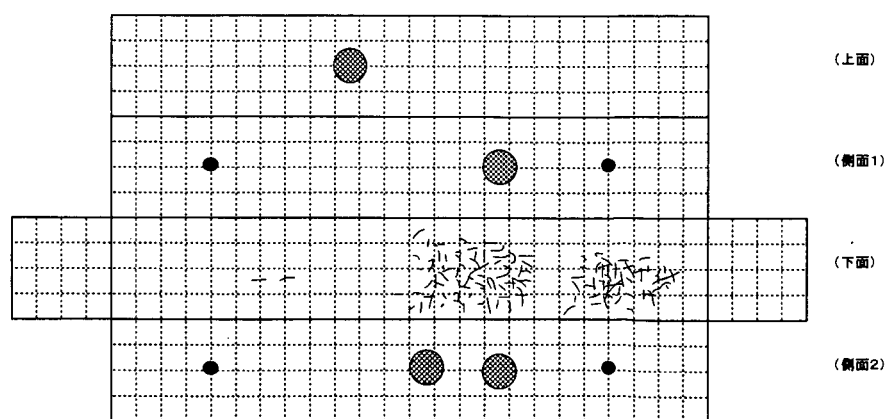
図-2.4(9) 試験体 B050, B055, B061 損傷展開図



防食処理系 浸透系塗装 供試体 B064



防食処理系 浸透系塗装 供試体 B067



防食処理系 浸透系塗装 供試体 B070

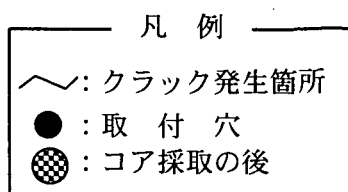
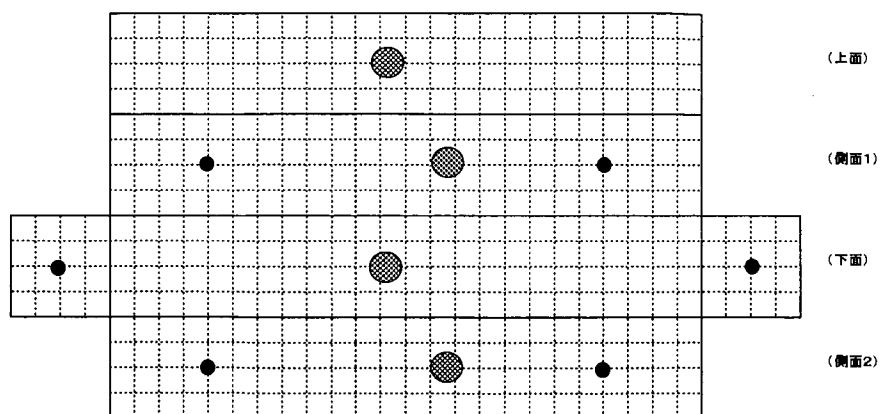


図-2.4(10) 試験体 B064, B067, B070 損傷展開図



防食処理系 耐塩性コンクリート 供試体 D004

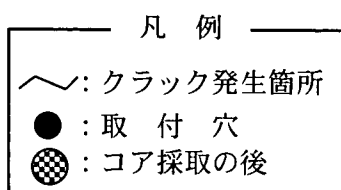


図-2.4(11) 試験体 D004 損傷展開図

2. 2 含有塩分量測定

2. 2. 1 調査結果

各試験体の調査結果を表-2.25に示す。また、各深さ位置での平均塩分含有量を表-2.26と図-2.5に示す。

表-2.25 塩分含有量測定結果

試験体名	かぶり (cm)	水セメント の種類	水セメント比 (%)	コア の向き	塩分含有量($\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$)			
					コア切断箇所			
					0～1cm	1～2cm	2～4cm	4～7cm
A016	3.5	普通セメント	40	上 面	5.266	2.937	0.490	0.128
				下 面	7.800	3.236	0.669	0.086
				側面 1	11.767	4.975	1.075	0.333
				側面 2	14.700	5.027	1.120	0.146
A026	3.5	普通セメント	40	上 面	9.959	1.237	0.462	0.071
				下 面	10.232	4.927	0.804	0.123
				側面 1	11.655	5.174	1.082	0.180
				側面 2	13.032	4.344	0.812	0.217
A028	5.0	普通セメント	50	上 面	8.598	7.851	4.156	0.797
				下 面	9.407	8.459	4.543	0.900
				側面 1	12.709	8.112	3.377	0.618
				側面 2	6.518	6.360	2.880	0.990
A020	3.5	早強セメント	40	上 面	16.725	5.900	0.988	0.189
				下 面	7.336	3.720	0.975	0.152
				側面 1	9.247	4.604	1.148	0.088
				側面 2	4.236	2.118	1.359	0.300
A030	5.0	早強セメント	40	上 面	10.249	4.578	1.159	0.580
				下 面	6.919	6.353	2.415	0.583
				側面 1	5.267	5.265	2.209	0.630
				側面 2	6.458	7.170	3.617	0.838
A022	3.5	早強セメント	50	上 面	8.450	7.334	3.468	0.704
				下 面	9.092	8.172	3.796	0.891
				側面 1	7.071	8.885	6.308	1.919
				側面 2	10.282	8.008	4.257	1.086
A032	5.0	早強セメント	50	上 面	10.197	7.965	4.680	1.036
				下 面	5.695	4.515	2.803	1.007
				側面 1	7.133	7.234	4.876	1.281
				側面 2	11.417	9.316	5.054	1.830
A034	5.0	高炉B種	50	上 面	7.290	8.517	2.307	0.052
				下 面	11.813	9.416	2.836	0.105
				側面 1	5.324	7.156	1.415	0.067
				側面 2	9.780	8.947	2.116	0.050
D004	5.0	耐塩性 コンクリート	30	上 面	9.893	1.393	0.118	0.183
				下 面	11.800	1.867	0.449	0.333
				側面 1	9.810	0.660	0.419	0.120
				側面 2	6.642	0.471	1.880	0.070

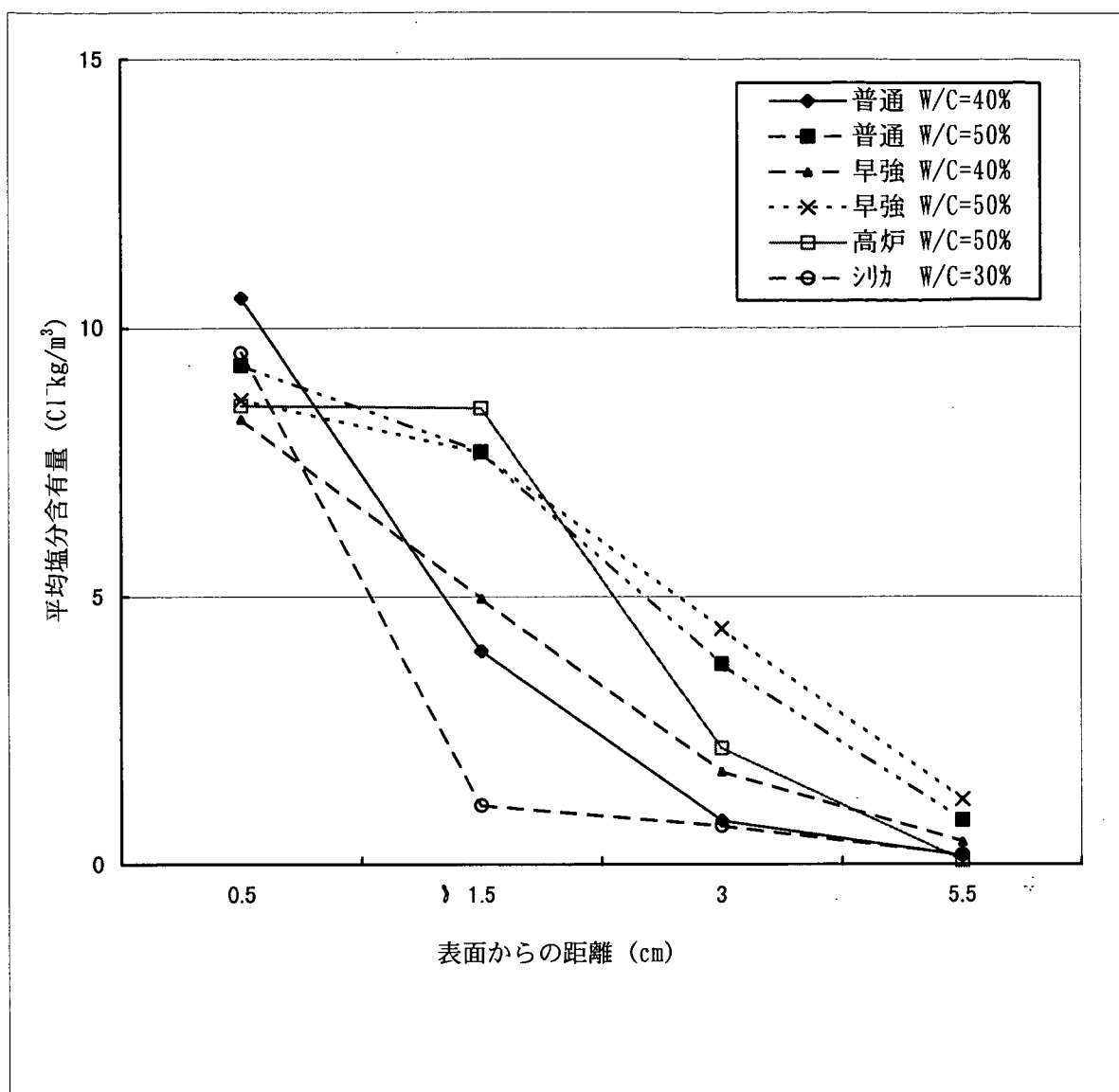


図-2.5 平均塩分含有量の分布

表-2.26 平均塩分含有量の分布

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

セメントの種類	表面からの距離 (cm)			
	0.5	1.5	3	5.5
普通 W/C=40%	10.563	3.982	0.841	0.161
普通 W/C=50%	9.308	7.696	3.739	0.826
早強 W/C=40%	8.305	4.964	1.734	0.421
早強 W/C=50%	8.667	7.679	4.405	1.219
高炉 W/C=50%	8.552	8.509	2.169	0.069
シリカ W/C=30%	9.536	1.098	0.717	0.177

2. 2. 2 含有塩分量の経年変化

塩分含有量の測定は暴露開始以来2年ごとに行なってきた。それらのデーターを表-2.27にまとめた。また、それぞれ経年変化をグラフ化したものを次頁以降に示す。

表-2.27 塩分含有量の経年変化

セメントの種類	水セメント比 (%)	試験体 No.	経過年数	塩分含有量 (Cl ⁻ kg/m ³)				暴露デッキ
				コア切断箇所 (cm)				
				* 0～2 (2年目)		2～4	4～7	
				0～1	1～2			
普通セメント	40	A001	2	3.906		0.100		3
		A001	6	10.337	4.380	0.958	0.096	
		A002	8	10.409	5.016	1.050	0.096	
		A002	10	11.476	5.738	1.275	0.077	
		A016	12	7.931	2.878	0.446	0.100	
		A016	14	9.883	4.044	0.839	0.173	
		A026	14	11.242	3.921	0.790	0.148	
	50	A004	2	4.177		0.371		3
		A005	6	8.992	6.851	3.564	0.360	
		A018	8	9.337	5.901	3.465	0.283	
		A005	10	12.663	7.360	3.597	0.605	
		A029	12	11.203	6.697	2.726	0.916	
A028	14	9.308	7.696	3.739	0.826			
早強セメント	40	A007	2	2.309		0.100		3
		A007	6	5.536	3.102	0.617	0.067	
		A008	8	8.103	3.042	1.105	0.053	
		A008	10	7.150	2.225	0.794	0.071	
		A020	12	8.107	3.290	0.869	0.300	
		A020	14	9.386	4.086	1.118	0.185	
		A030	14	7.223	5.842	2.350	0.658	
	50	A010	2	3.378		0.336		3
		A010	6	5.178	4.780	1.365	0.209	
		A011	8	10.202	10.031	4.221	0.723	
		A011	10	8.557	5.809	2.905	0.539	
		A022	12	9.811	8.401	5.287	0.629	
		A022	14	8.724	8.100	4.457	1.150	
		A032	14	8.611	7.258	4.353	1.289	
高炉B種	50	A013	2	5.731		0.513		3
		A013	6	10.264	5.705	1.204	0.315	
		A024	8	7.856	5.574	1.548	0.100	
		A014	10	11.091	7.610	2.123	0.379	
		A034	12	11.221	7.520	1.692	0.605	
		A034	14	8.552	8.509	2.169	0.069	
シリカフォーム	30	D001	2	2.110		0.029		3
		D001	6	6.669	1.317	0.145	0.081	
		D002	8	9.386	1.064	0.079	0.096	
		D002	10	8.670	1.750	0.378	0.127	
		D004	12	9.282	0.887	1.528	0.241	
		D004	14	9.536	1.098	0.717	0.177	

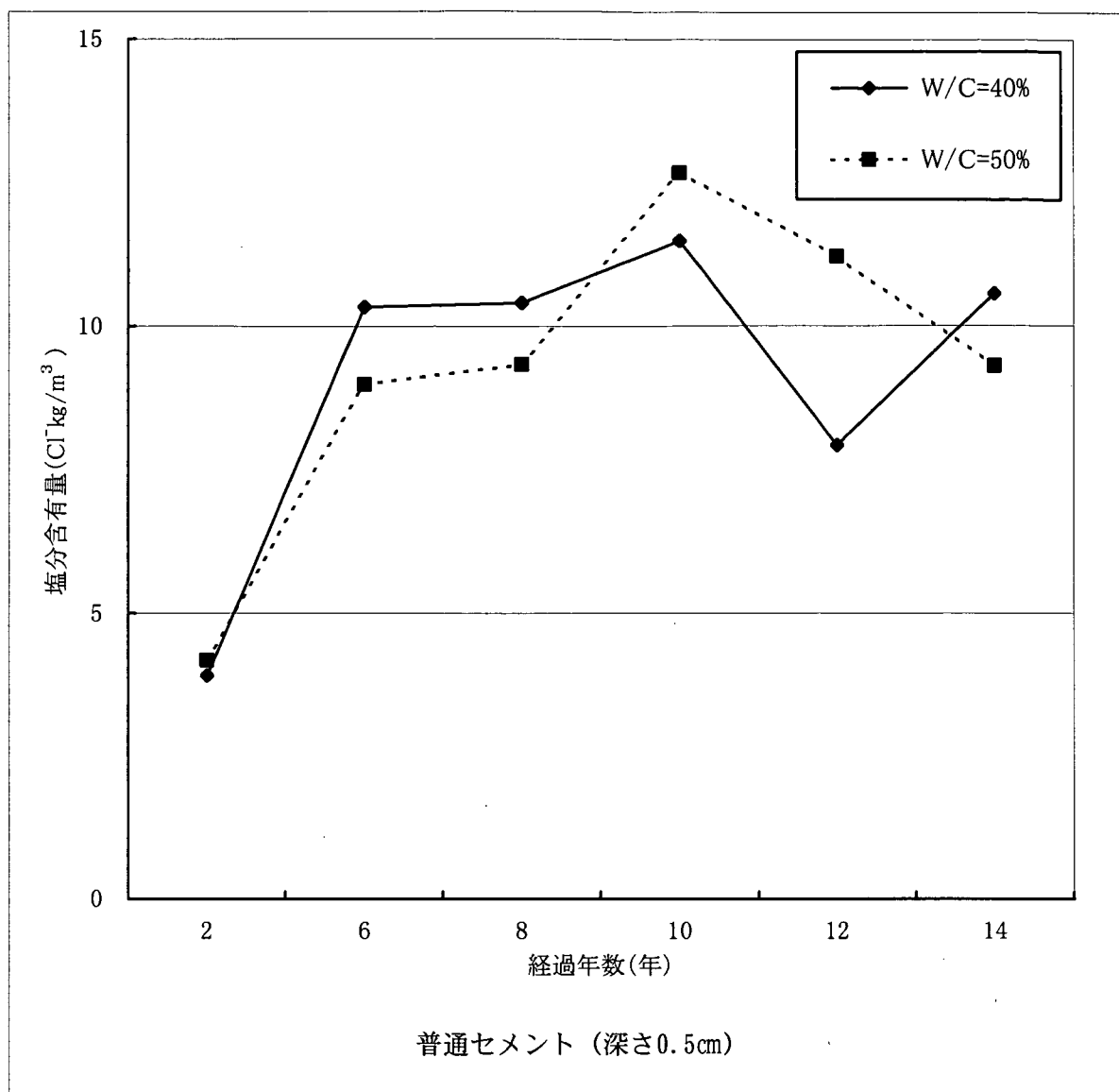


図-2.6(1) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 0.5cm）

表-2.28(1) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 0.5cm）

単位: Cl⁻ kg/m³

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	3.906	10.337	10.409	11.476	7.931	10.563
W/C=50%	4.177	8.992	9.337	12.663	11.203	9.308

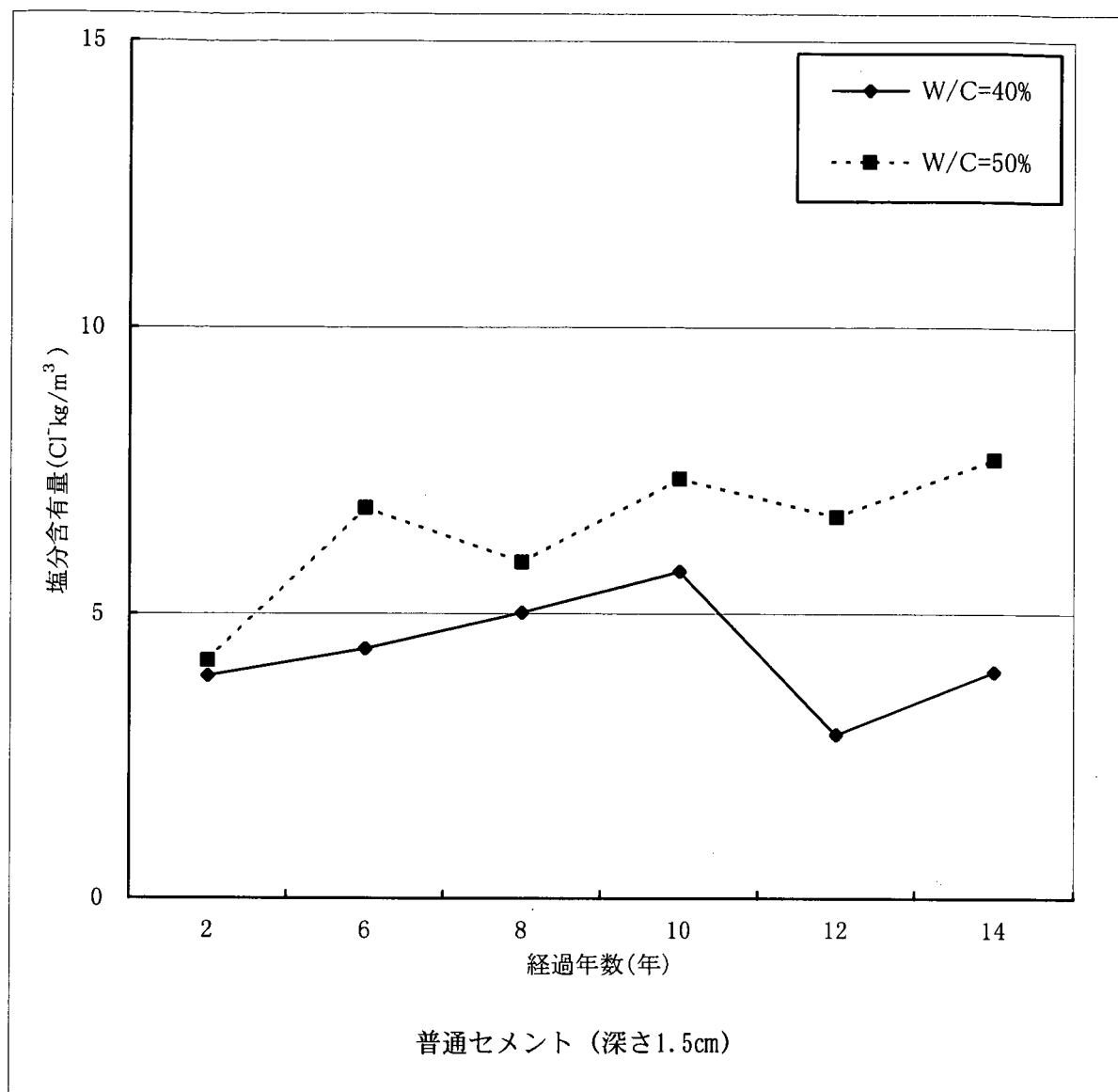


図-2.6(2) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 1.5cm）

表-2.28(2) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 1.5cm）

単位: Cl⁻ kg/m³

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	3.906	4.380	5.016	5.738	2.878	3.982
W/C=50%	4.177	6.851	5.901	7.360	6.697	7.696

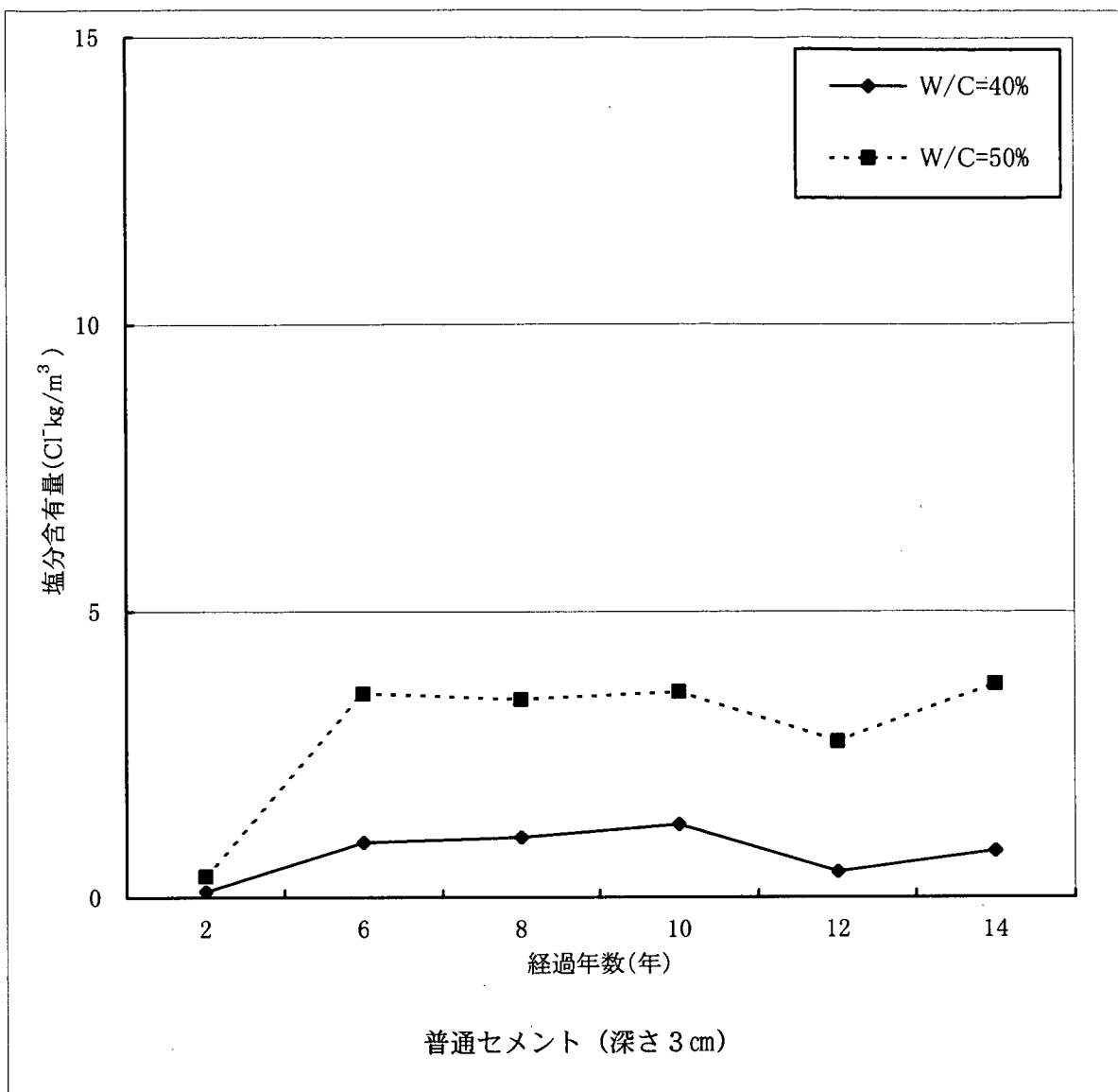


図-2.6(3) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 3 cm）

表-2.28(3) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 3 cm）

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	0.100	0.958	1.050	1.275	0.446	0.814
W/C=50%	0.371	3.564	3.465	3.597	2.726	3.739

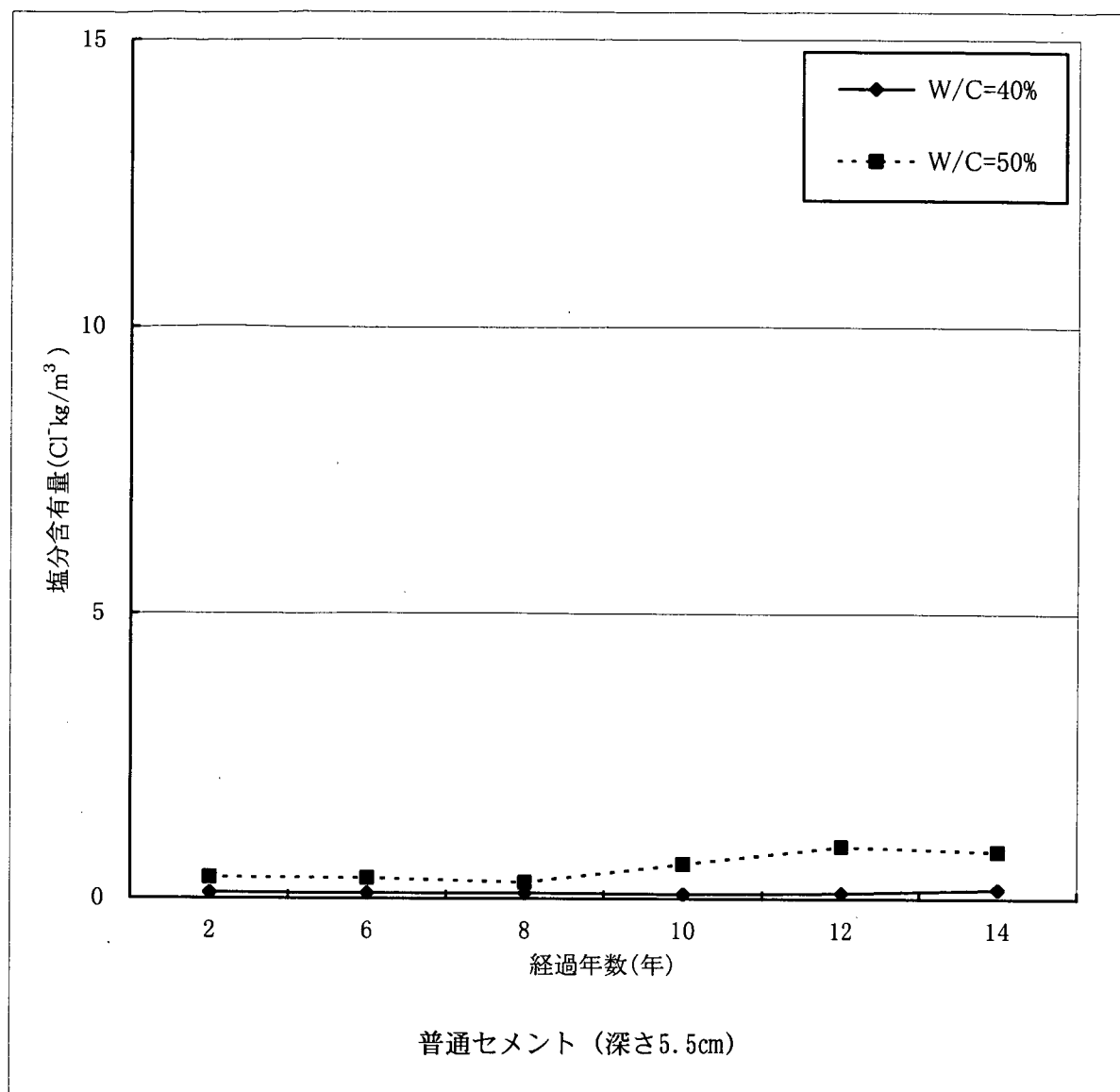


図-2.6(4) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 5.5cm）

表-2.28(4) 普通セメントの塩分含有量経年変化（深さ 5.5cm）

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	0.100	0.096	0.096	0.077	0.100	0.161
W/C=50%	0.371	0.360	0.283	0.605	0.916	0.826

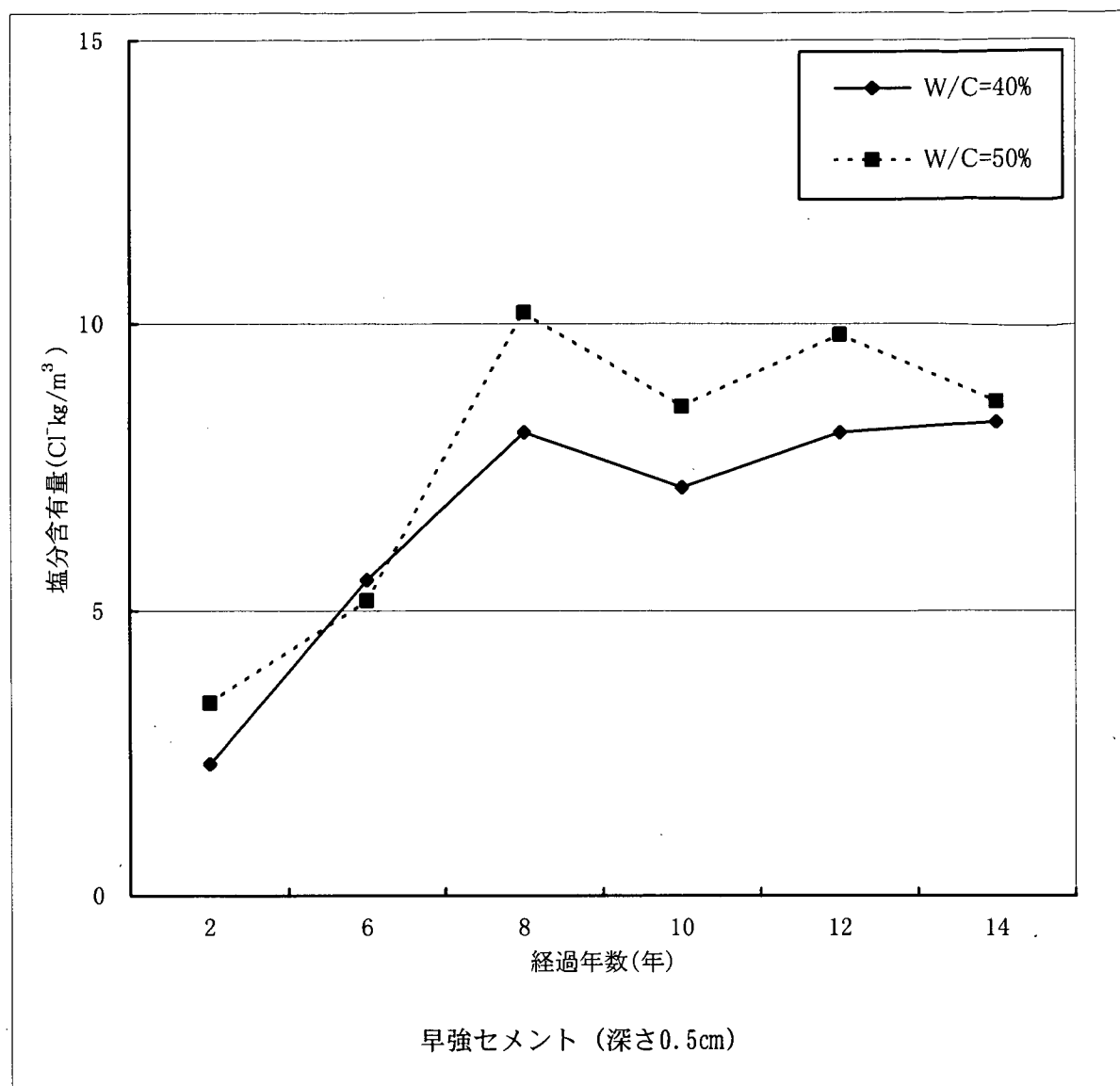


図-2.7(1) 早強セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 0.5cm)

表-2.29(1) 早強セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 0.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	2.309	5.536	8.103	7.150	8.107	8.305
W/C=50%	3.378	5.178	10.202	8.557	9.811	8.667

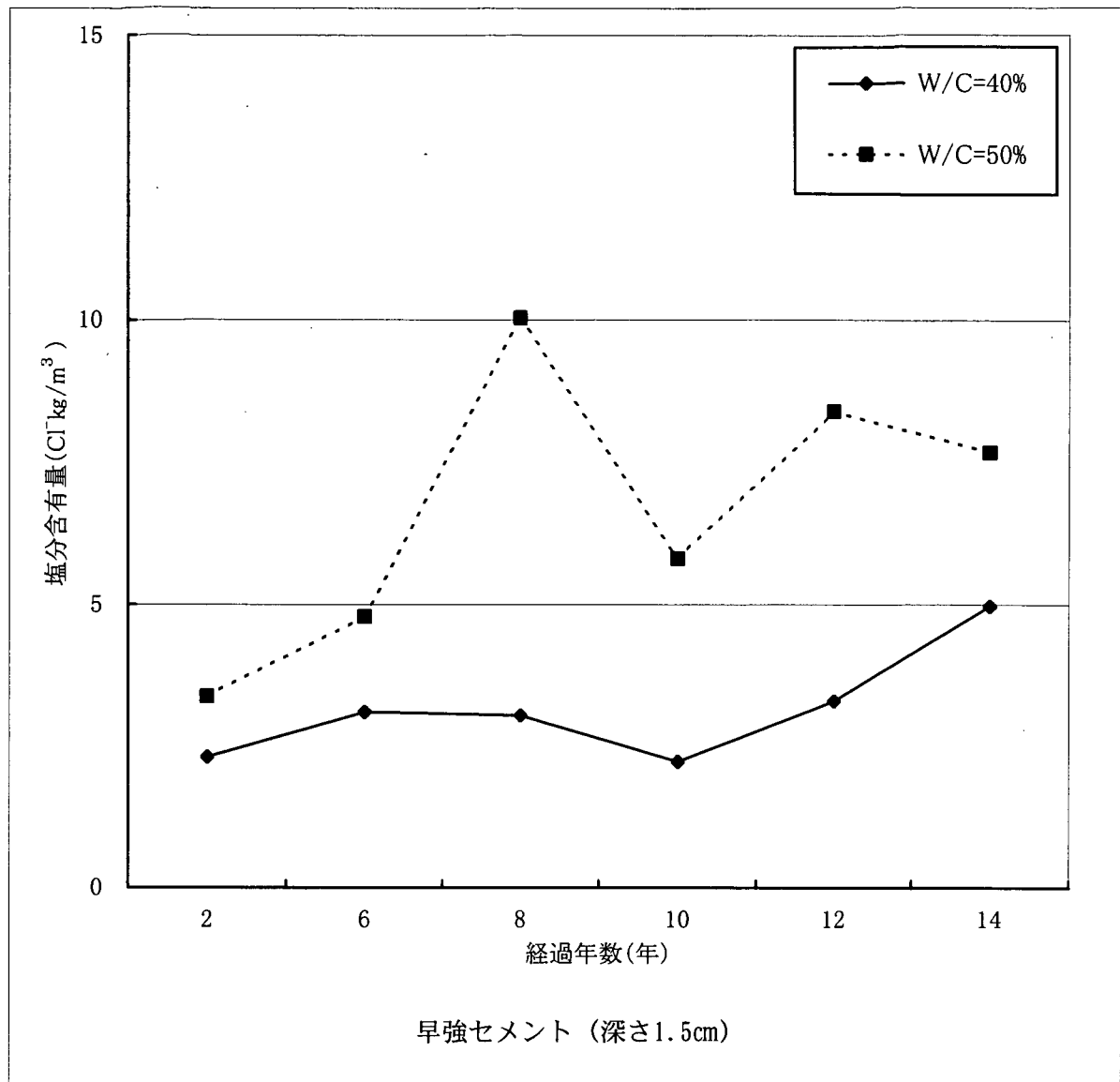


図-2.7(2) 早強セメントの塩分含有量経年変化（深さ 1.5cm）

表-2.29(2) 早強セメントの塩分含有量経年変化（深さ 1.5cm）

単位: Cl⁻ kg/m³

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	2.309	3.102	3.042	2.225	3.290	4.964
W/C=50%	3.378	4.780	10.031	5.809	8.401	7.679

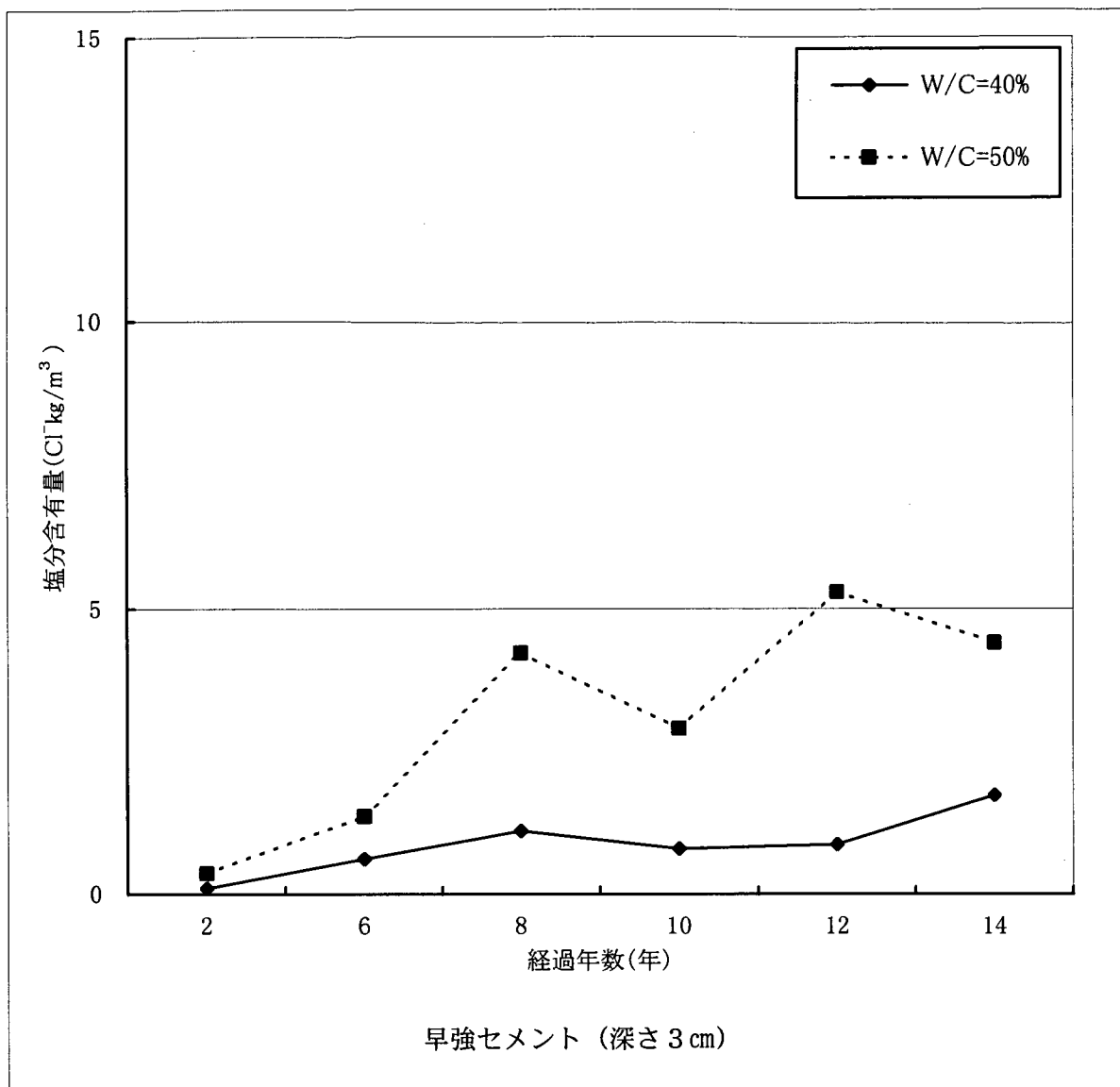


図-2.7(3) 早強セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 3 cm)

表-2.29(3) 早強セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 3 cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	0.100	0.617	1.105	0.794	0.869	1.734
W/C=50%	0.366	1.365	4.221	2.905	5.287	4.405

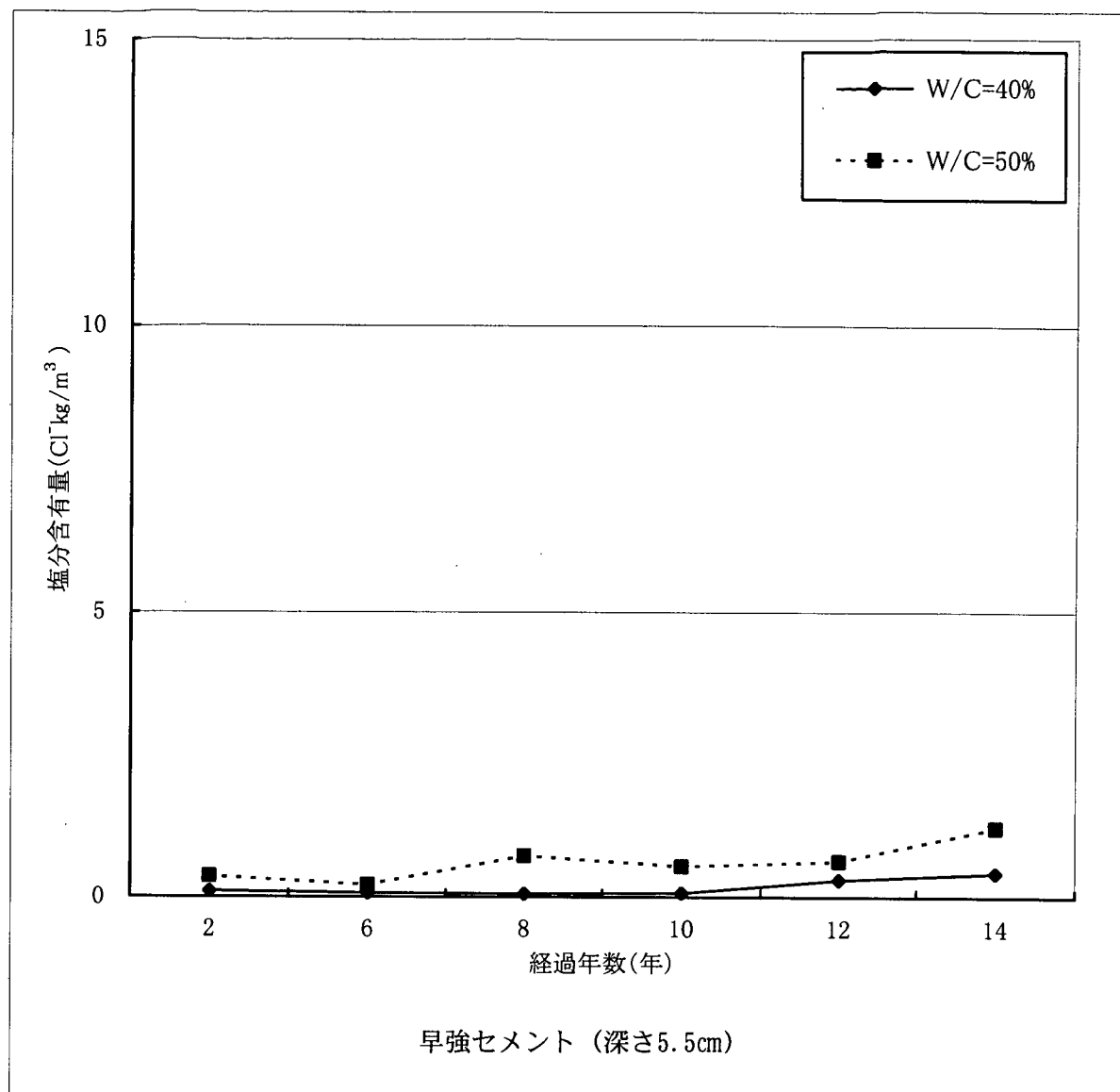


図-2.7(4) 早強セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 5.5cm)

表-2.29(4) 早強セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 5.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=40%	0.100	0.067	0.053	0.071	0.300	0.421
W/C=50%	0.366	0.209	0.723	0.539	0.629	1.219

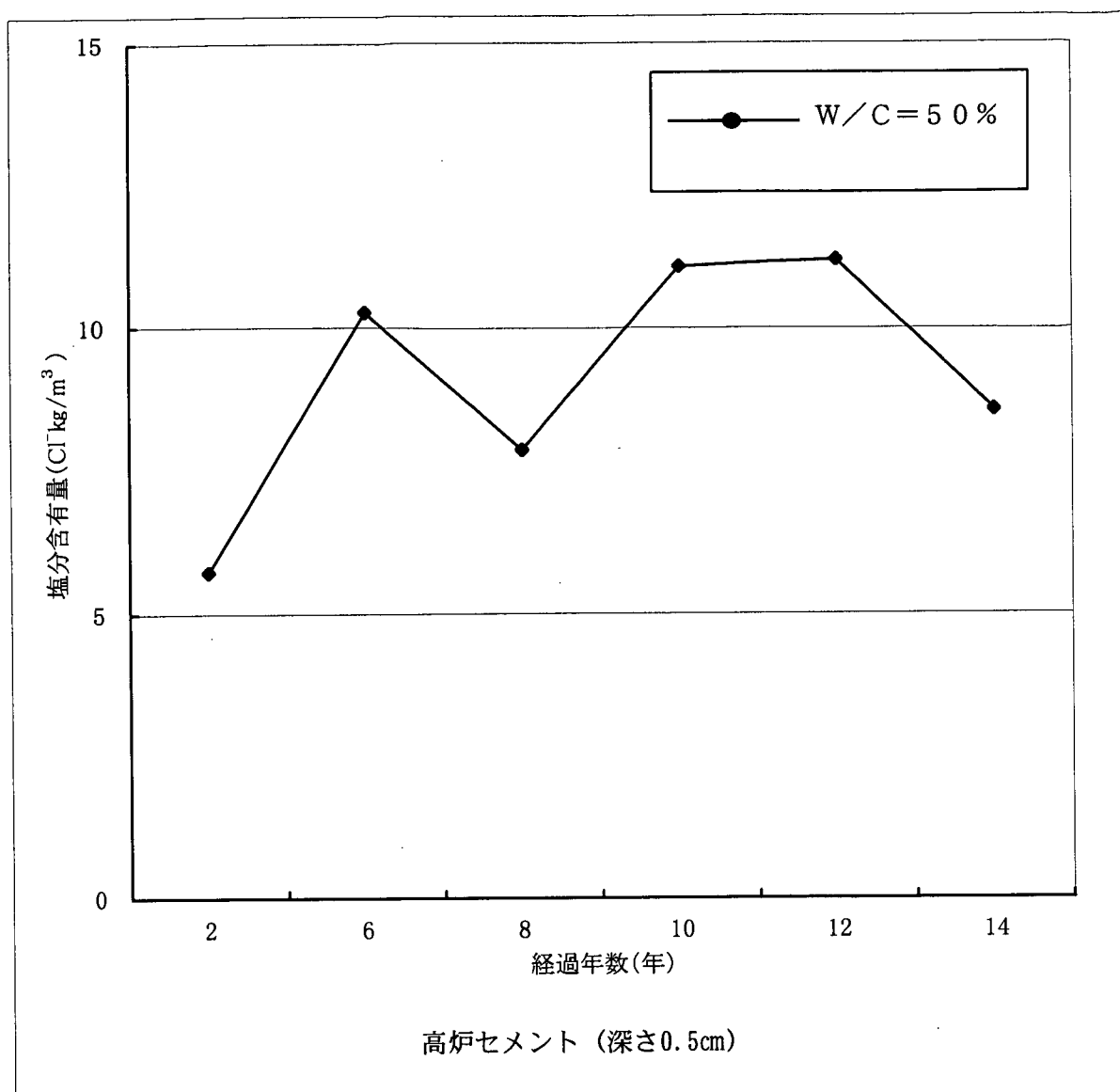


図-2.8(1) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 0.5cm)

表-2.30(1) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 0.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数 (年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	5.731	10.264	7.856	11.091	11.221	8.552

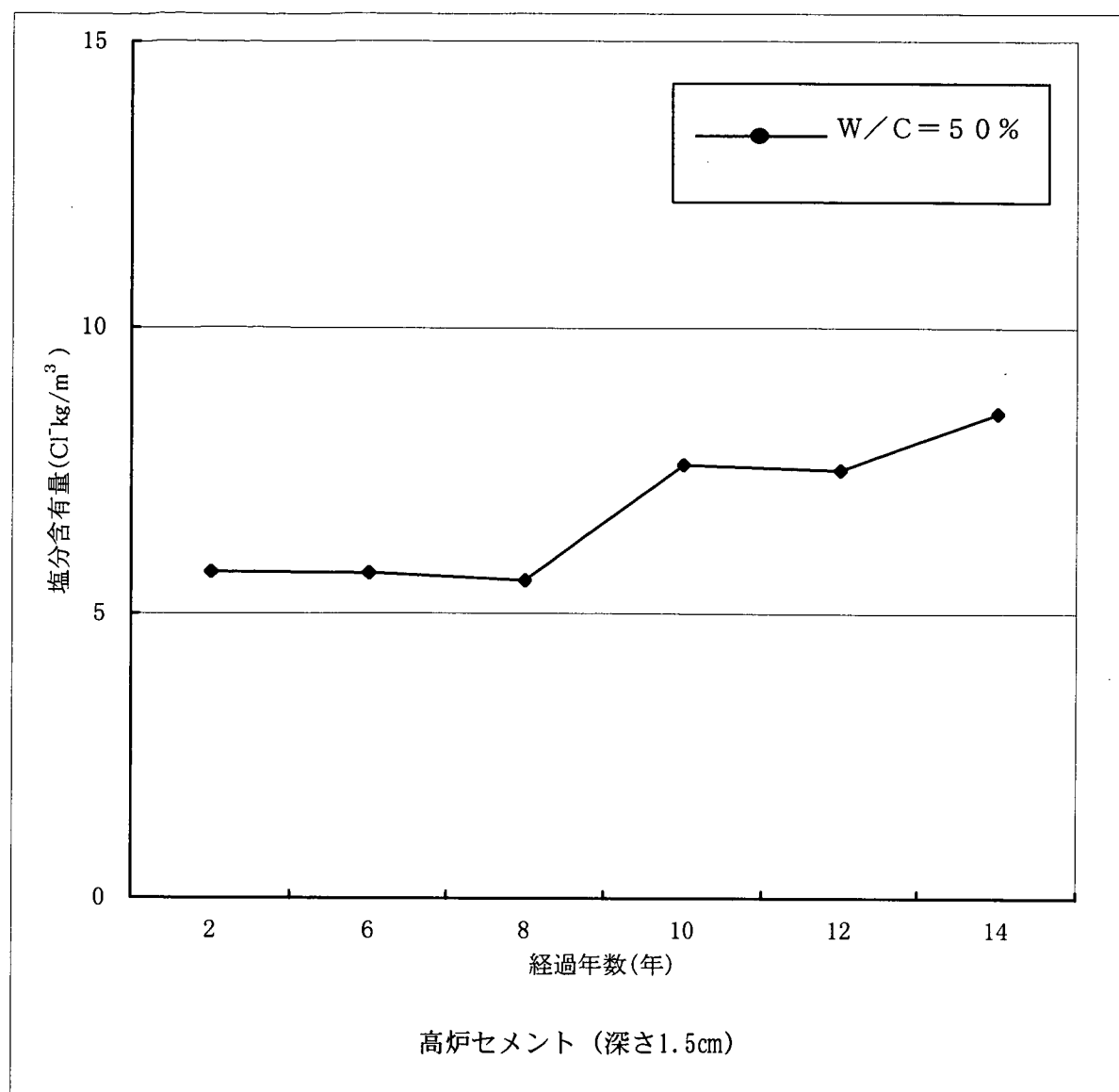


図-2.8(2) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 1.5cm)

表-2.30(2) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 1.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	5.731	5.705	5.574	7.610	7.520	8.509

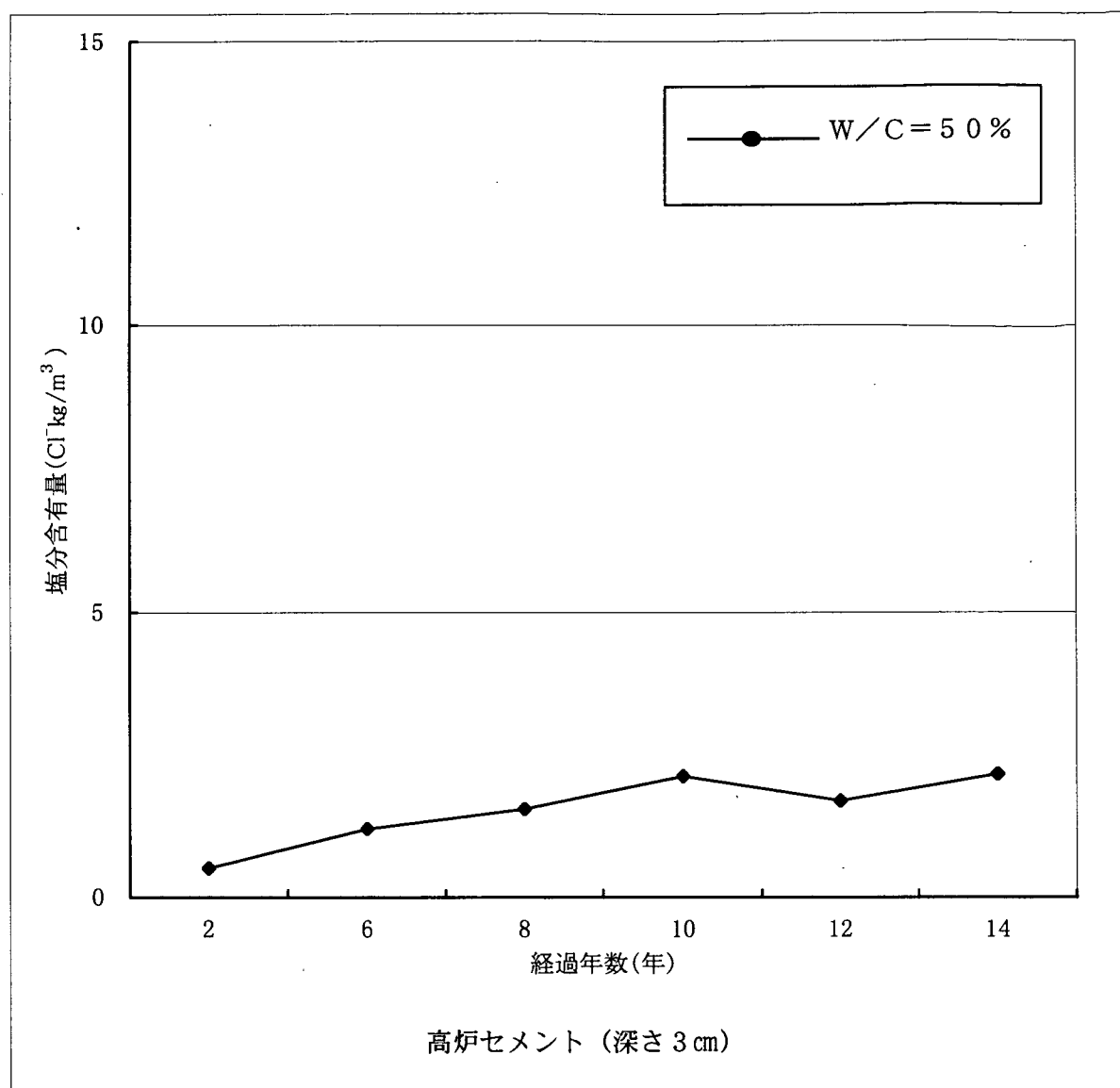


図-2.8(3) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 3 cm)

表-2.30(3) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 3 cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	0.513	1.204	1.548	2.123	1.692	2.169

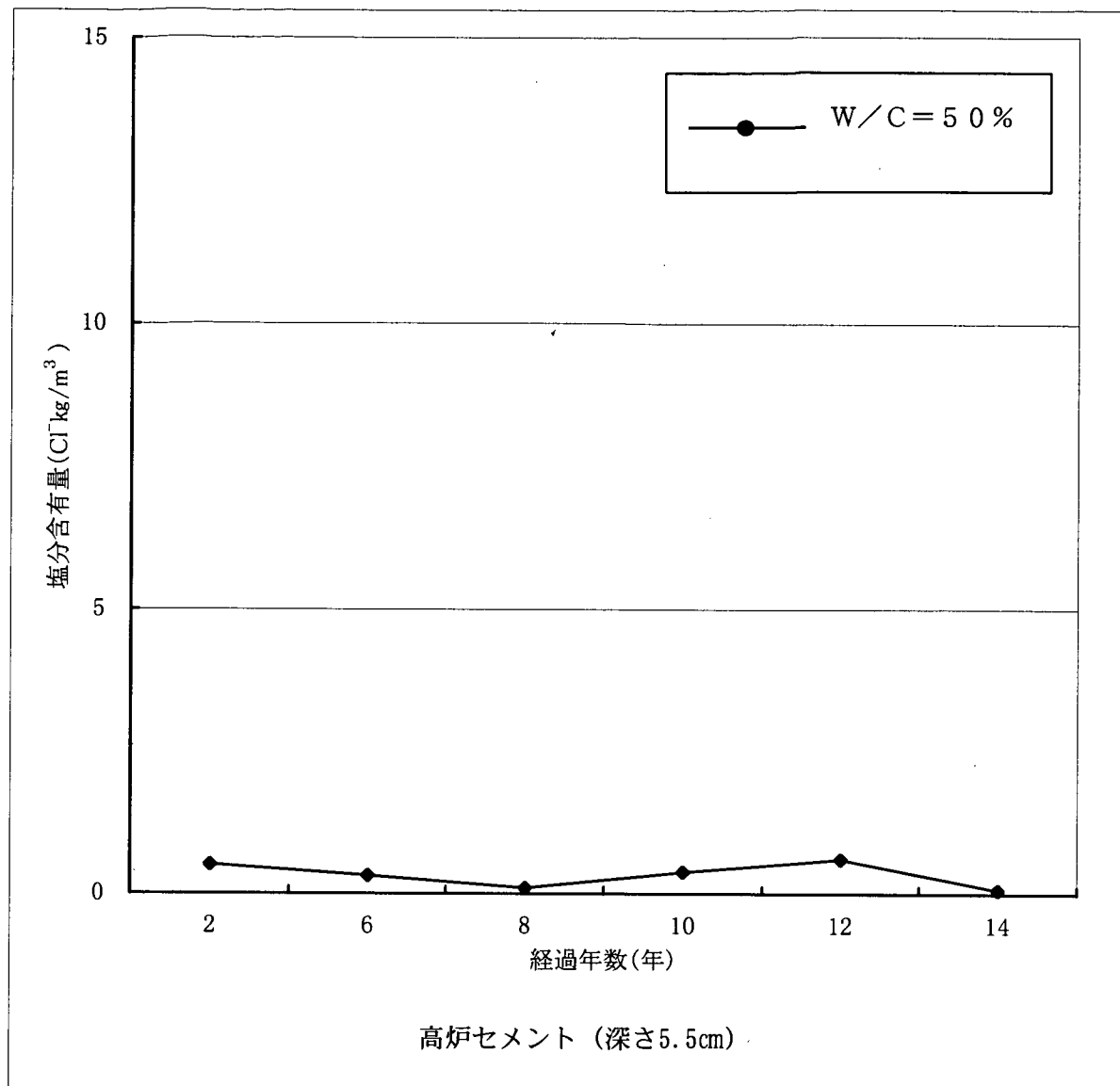


図-2.8(4) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 5.5cm)

表-2.30(4) 高炉セメントの塩分含有量経年変化 (深さ 5.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	0.513	0.315	0.100	0.379	0.605	0.069

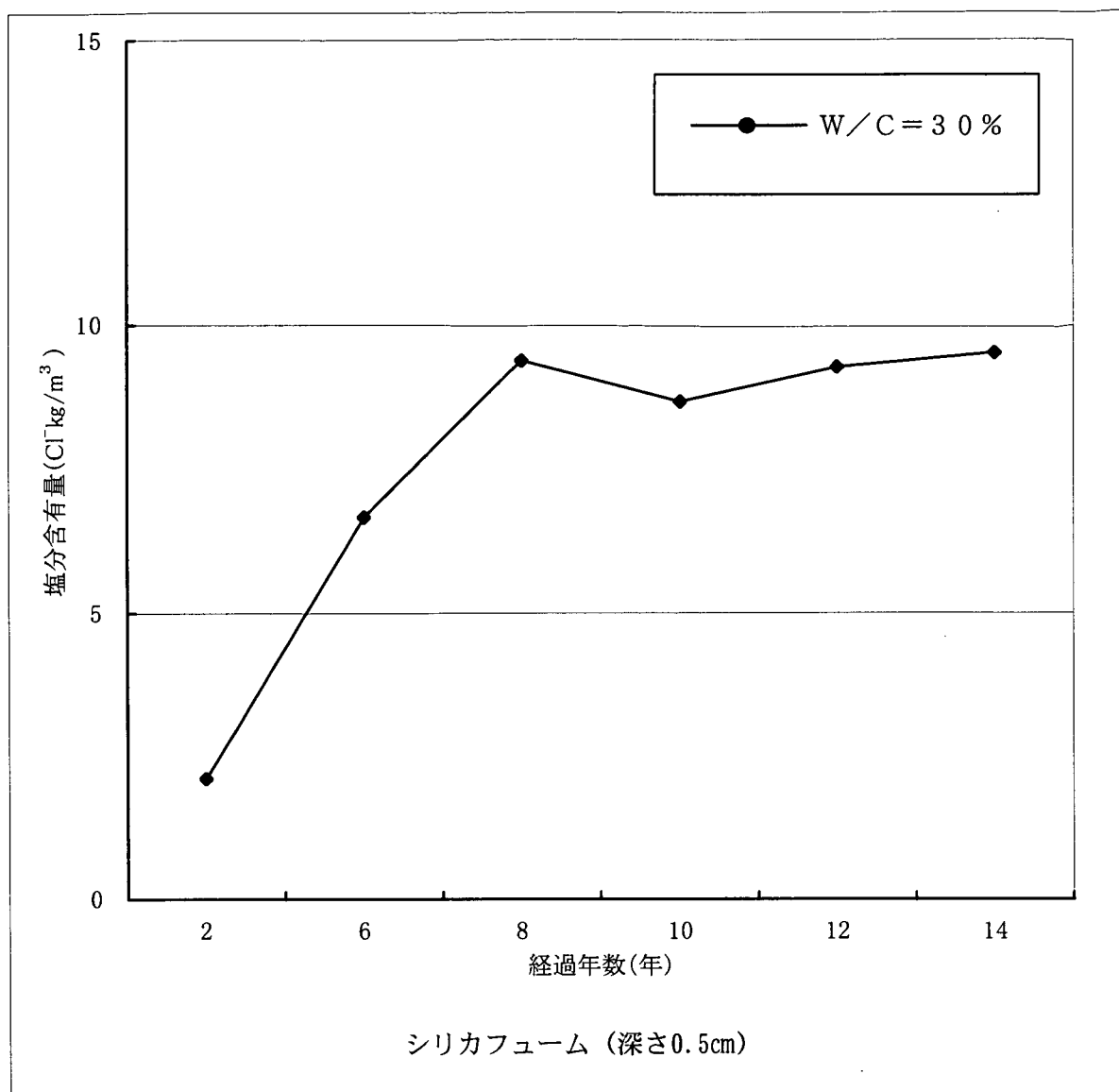


図-2.9(1) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 0.5cm)

表-2.31(1) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 0.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=30%	2.110	6.669	9.386	8.670	9.282	9.536

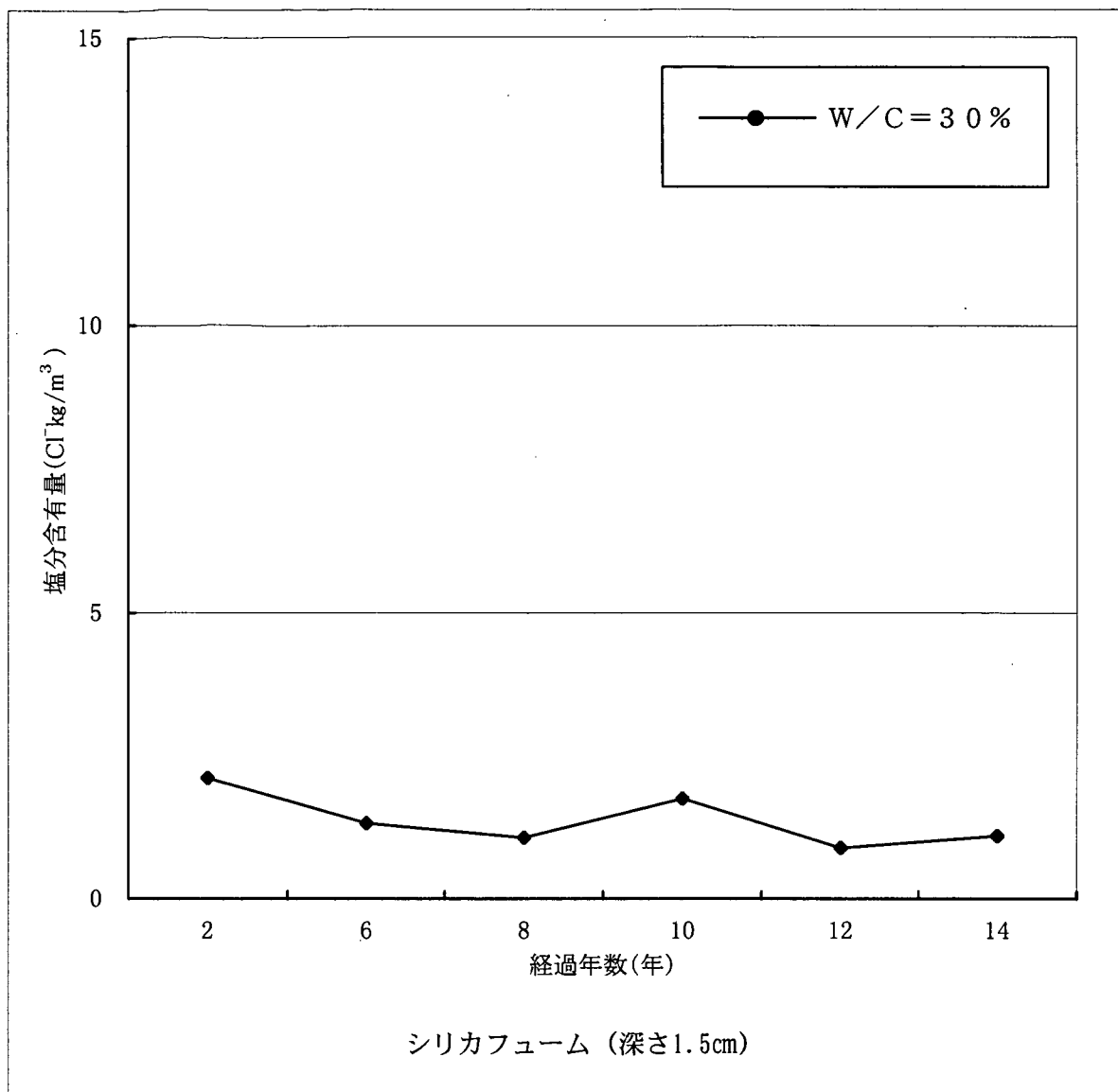


図-2.9(2) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 1.5cm)

表-2.31(2) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 1.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	2.110	1.317	1.064	1.750	0.887	1.098

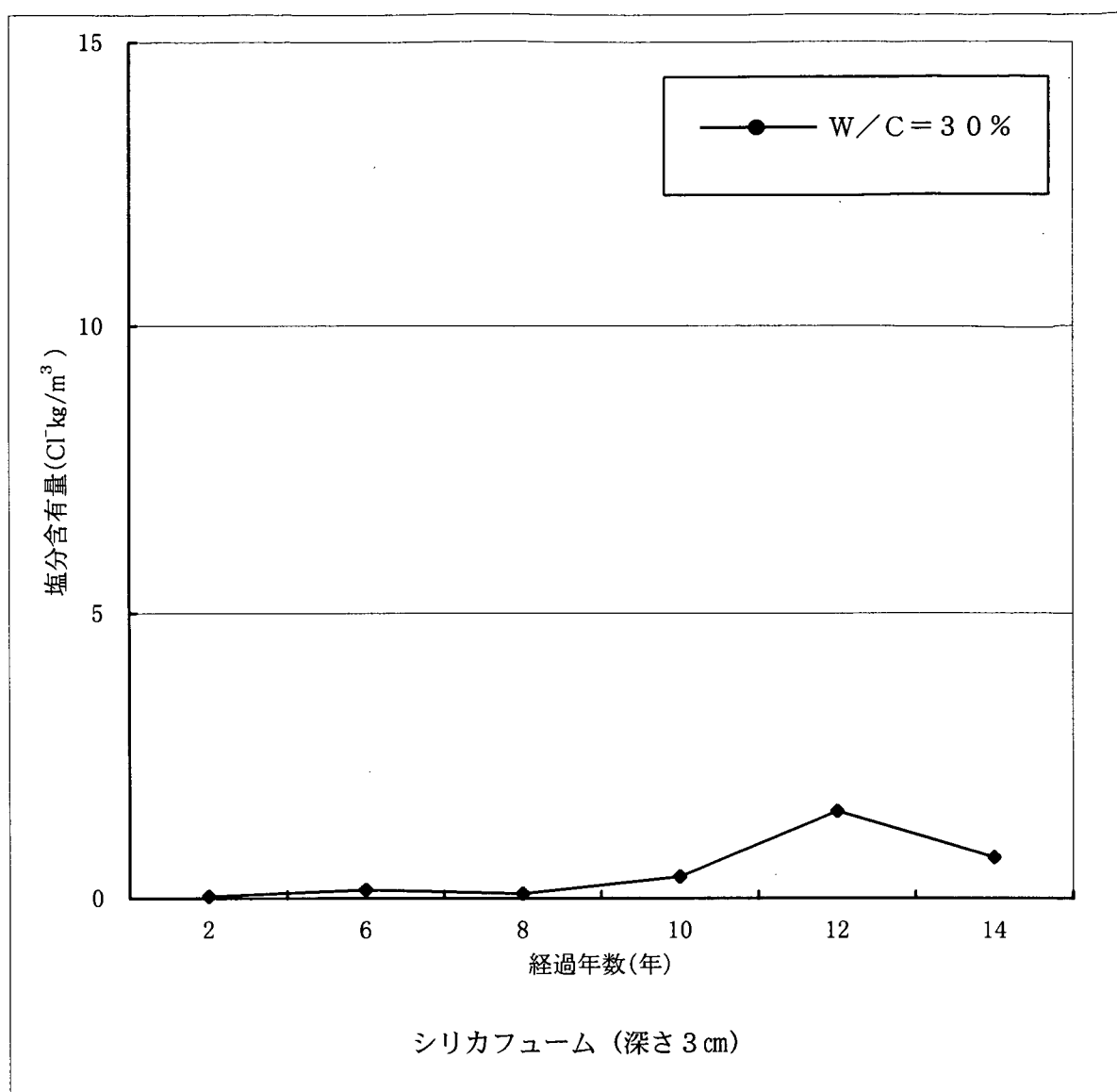


図-2.9(3) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 3 cm)

表-2.31(3) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 3 cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	0.029	0.145	0.079	0.378	1.528	0.717

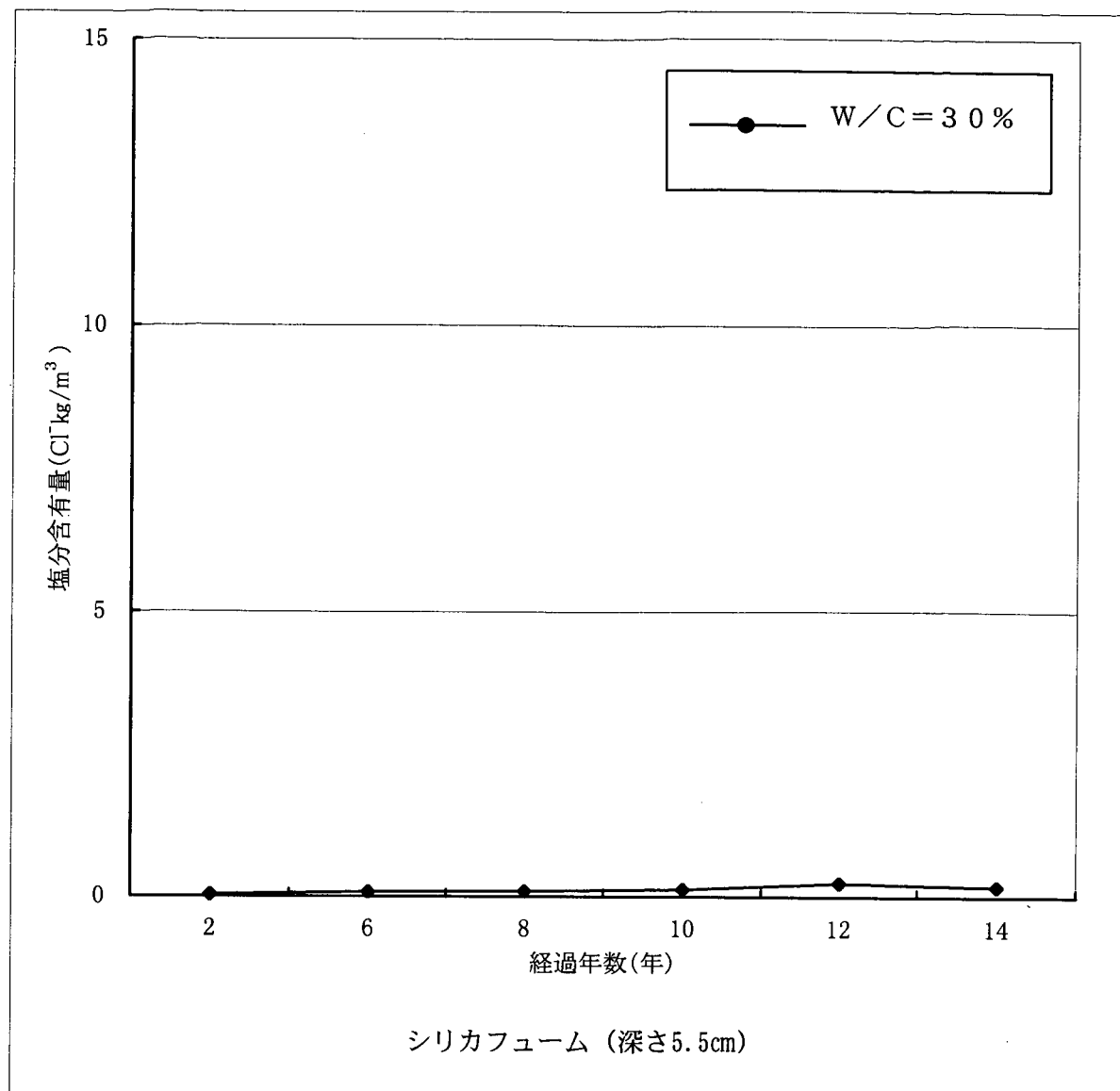


図-2.9(4) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 5.5cm)

表-2.31(4) シリカフュームの塩分含有量経年変化 (深さ 5.5cm)

単位: $\text{Cl}^- \text{kg/m}^3$

W/C	経過年数(年)					
	2	6	8	10	12	14
W/C=50%	0.029	0.081	0.096	0.127	0.241	0.177

2. 3 解体調査

暴露台上にて外観目視調査、塩分含有量測定用コア採取を行った後、試験体（約120kg）を半分に切断し軽くしてから陸上に搬送し解体調査を行った。コンクリートブレーカーで解体しながら鉄筋のかぶり厚を測り、取り出した鉄筋の腐食状況を記録しその腐食度を判定した。

2. 3. 1 かぶり厚測定

測定位置を下記に示す。また測定結果を表-2.32に示す。

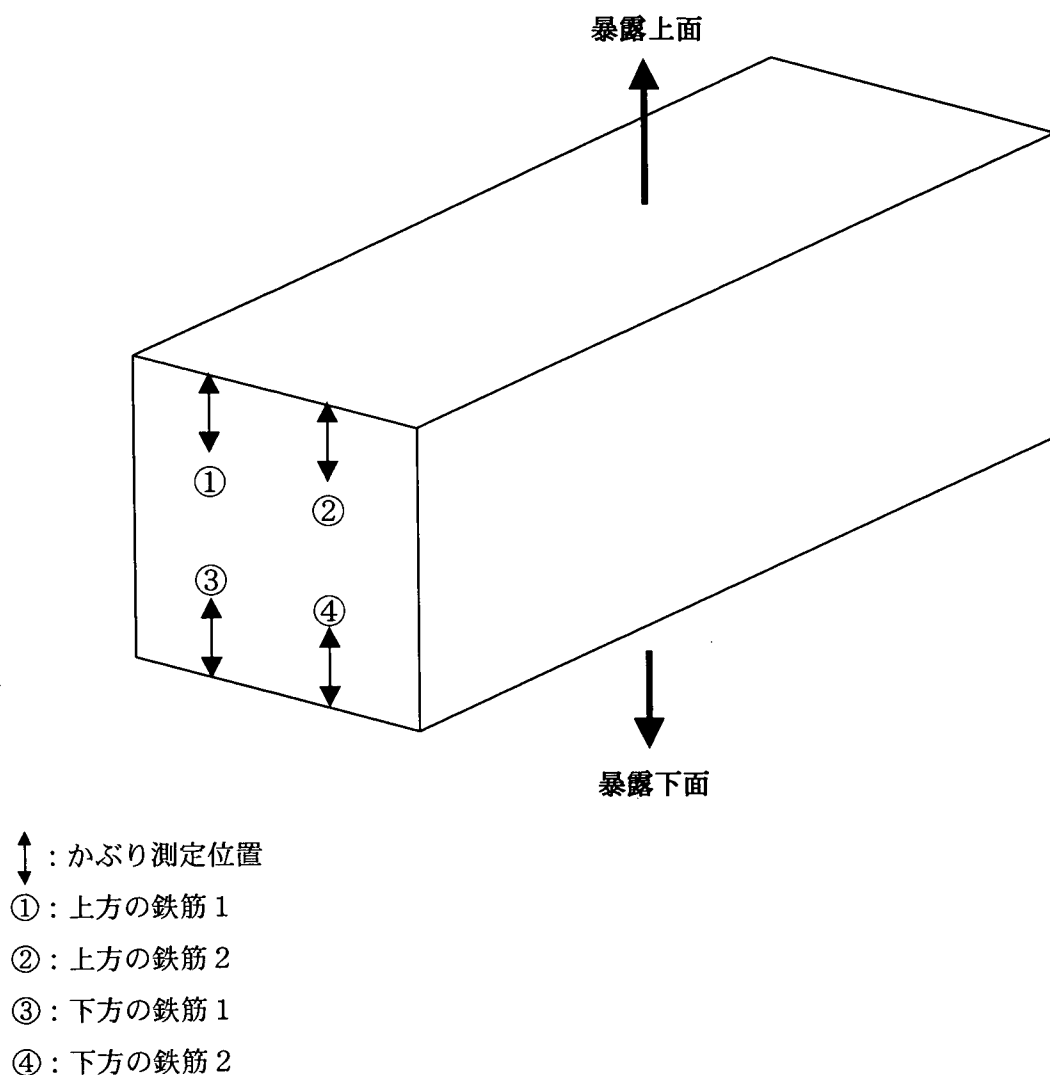


図-2.10 試験体暴露面と鉄筋かぶり測定位置

なお測定は、試験体のほぼ中央の断面で、鉄筋の表面までの距離を測定している。

表-2.32 かぶり厚さ測定結果

単位 : cm

試験体 No.	セメント の種類	水セメント 比 W/C (%)	設計 かぶり (mm)	測定箇所	測 定 結 果				
					上方の 鉄筋 1	上方の 鉄筋 2	下方の 鉄筋 1	下方の 鉄筋 2	平均
A016	普 通 セメント	4 0	3.5	①	4.0	4.5	4.4	4.5	4.3
				②	4.6	4.2	4.4	4.4	4.4
				平 均	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4
A026	普 通 セメント	4 0	5.0	①	6.1	6.1	5.9	6.0	6.0
				②	6.0	6.0	5.8	5.9	5.9
				平 均	6.0	6.0	5.9	5.9	6.0
A028	普 通 セメント	5 0	5.0	①	5.9	5.9	6.1	6.0	6.0
				②	5.9	5.8	5.9	5.8	5.8
				平 均	5.9	5.9	6.0	5.9	5.9
A020	早 強 セメント	4 0	3.5	①	4.1	4.5	4.2	4.3	4.3
				②	4.3	4.3	4.2	4.4	4.3
				平 均	4.2	4.4	4.2	4.4	4.3
A030	早 強 セメント	4 0	5.0	①	5.9	6.2	6.0	6.1	6.1
				②	6.0	6.1	6.0	6.0	6.0
				平 均	6.0	6.2	6.0	6.0	6.1
A022	早 強 セメント	5 0	3.5	①	4.4	4.1	4.3	4.5	4.3
				②	4.3	4.3	4.2	4.1	4.2
				平 均	4.4	4.2	4.2	4.3	4.3
A032	早 強 セメント	5 0	5.0	①	5.4	5.6	5.9	5.7	5.7
				②	5.5	5.7	5.6	5.9	5.7
				平 均	5.4	5.7	5.8	5.8	5.7
A034	高炉B種	5 0	5.0	①	5.9	5.9	6.1	5.9	5.9
				②	5.8	6.1	6.0	6.1	6.0
				平 均	5.8	6.0	6.0	6.0	6.0
D004	耐塩性 コンクリー ト	3 0	5.0	①	5.6	5.7	5.5	5.9	5.7
				②	5.0	4.9	5.9	5.8	5.4
				平 均	5.3	5.3	5.7	5.9	5.5

2. 3. 2 鉄筋腐食調査

前術したように、試験体を半分に切断後陸上に搬出、鉄筋を取り出しその腐食状況を観察した。表-2.33に各鉄筋の腐食度を示す。また、次頁より腐食状況を示す。

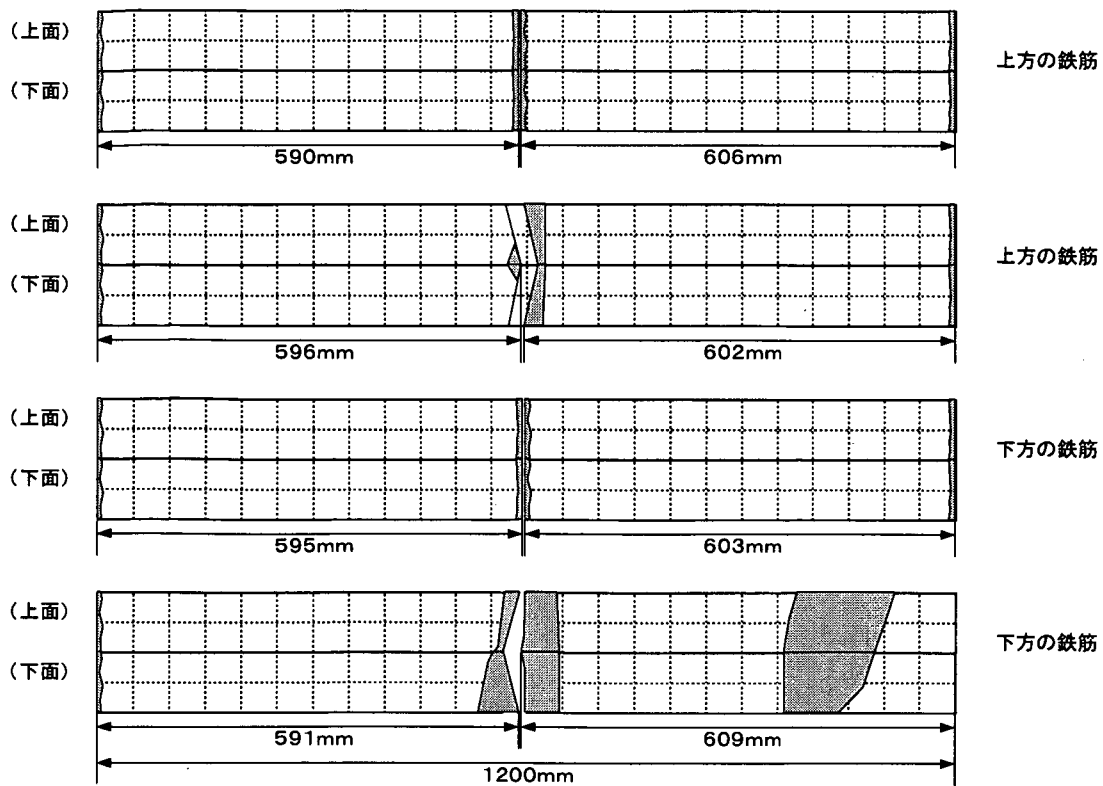
表-2.33 鉄筋の腐食度一覧表

仕様	試験体名	上方の鉄筋		下方の鉄筋		平均
		①	②	①	②	
普通セメント	A016	A	A	A	B	A
	A026	B	A	A	A	A
	A028	B	B	B	B	B
早強セメント	A020	A	B	B	A	A
	A030	A	B	A	A	A
	A022	B	B	B	B	B
	A032	A	A	B	B	B
高炉B	A034	B	B	C	C	C
シリカフェーム	D003	A	A	B	B	A

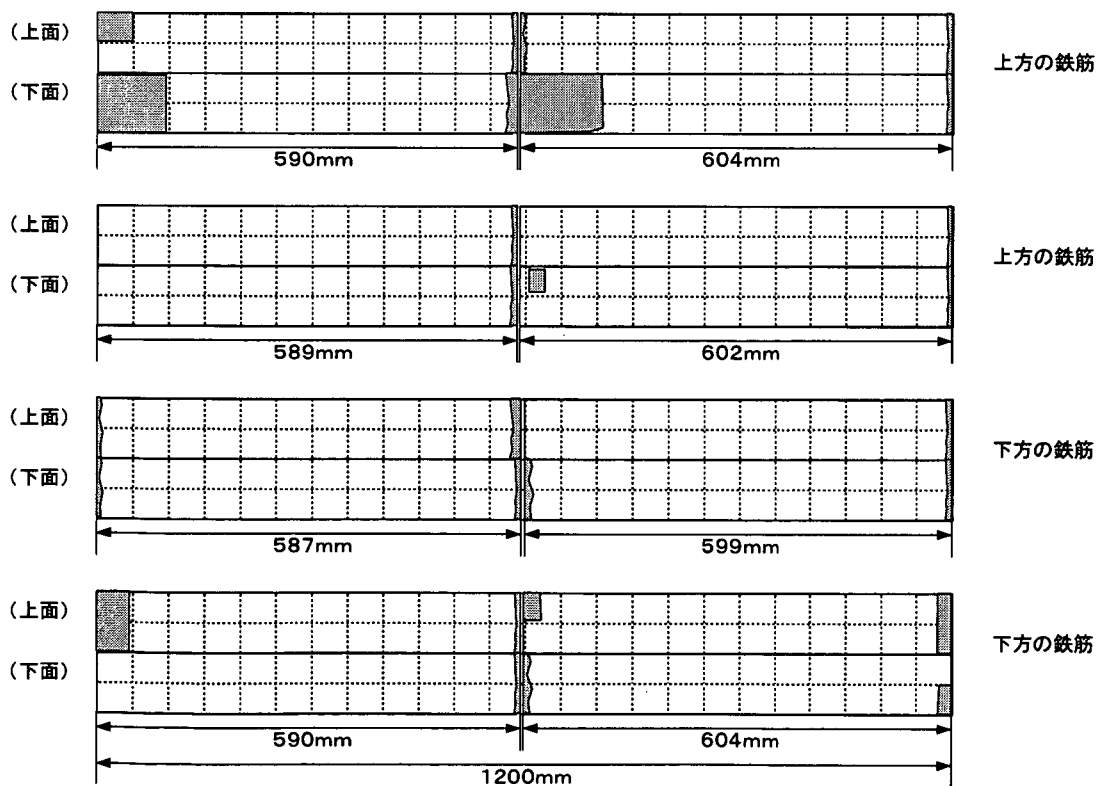
腐食度は下記の基準にもとづき判定した。

腐食度	判定基準
A	腐食無し
B	ごく表面的な腐食
C	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
D	断面欠損が著しい腐食

建設省総合技術開発プロジェクト 平成元年5月
塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）より



基準系 普通セメント 供試体 A016



基準系 普通セメント 供試体 A026

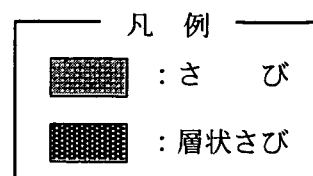
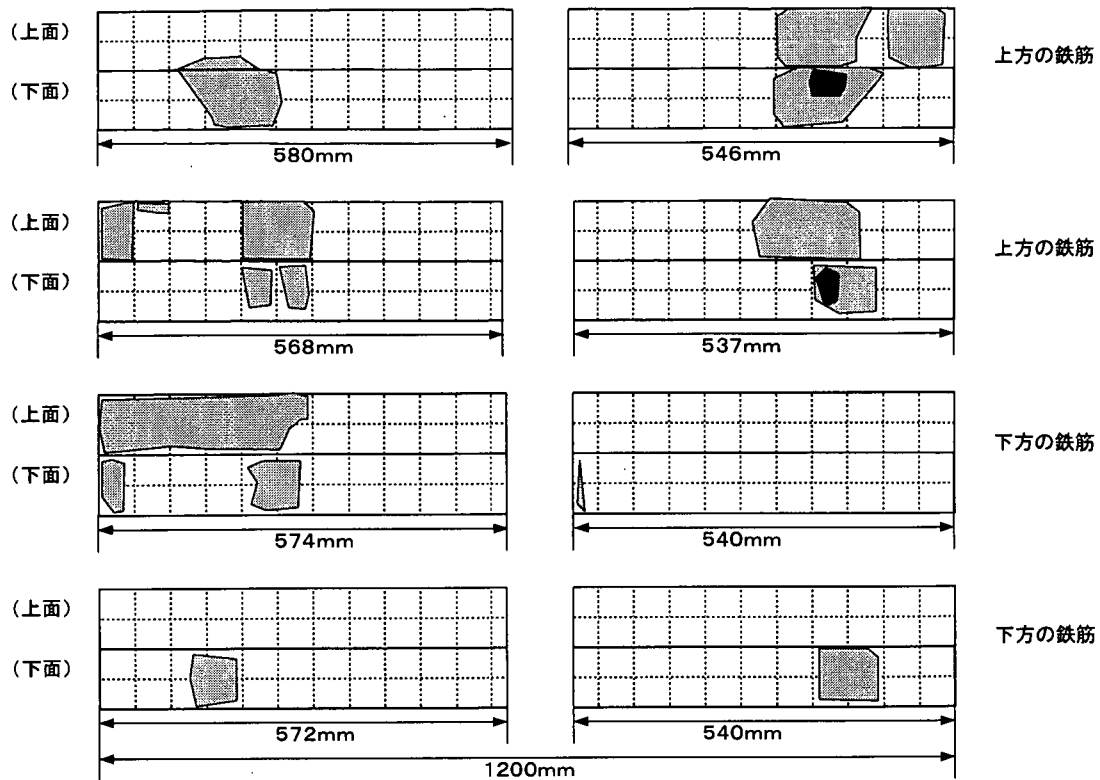
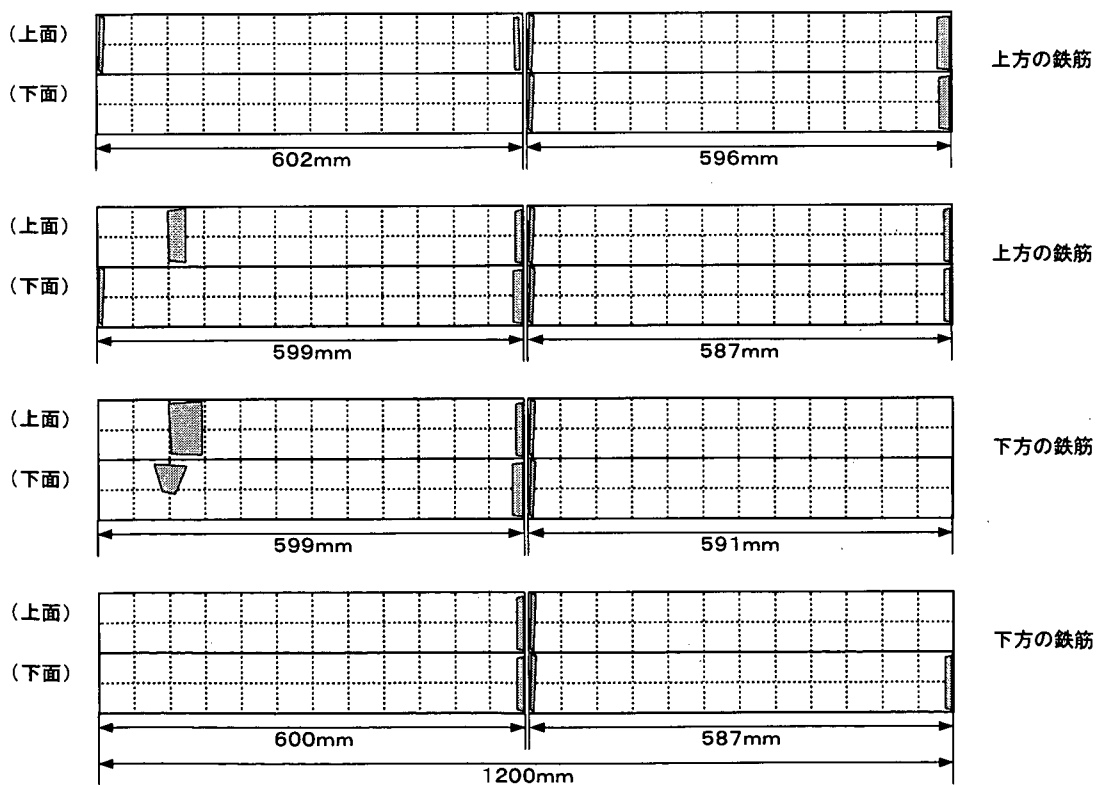


図-2.11(1) 試験体A016, A026 腐食状況図



基準系 普通セメント 供試体 A028



基準系 早強セメント 供試体 A020

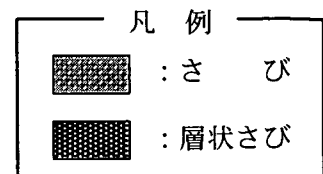
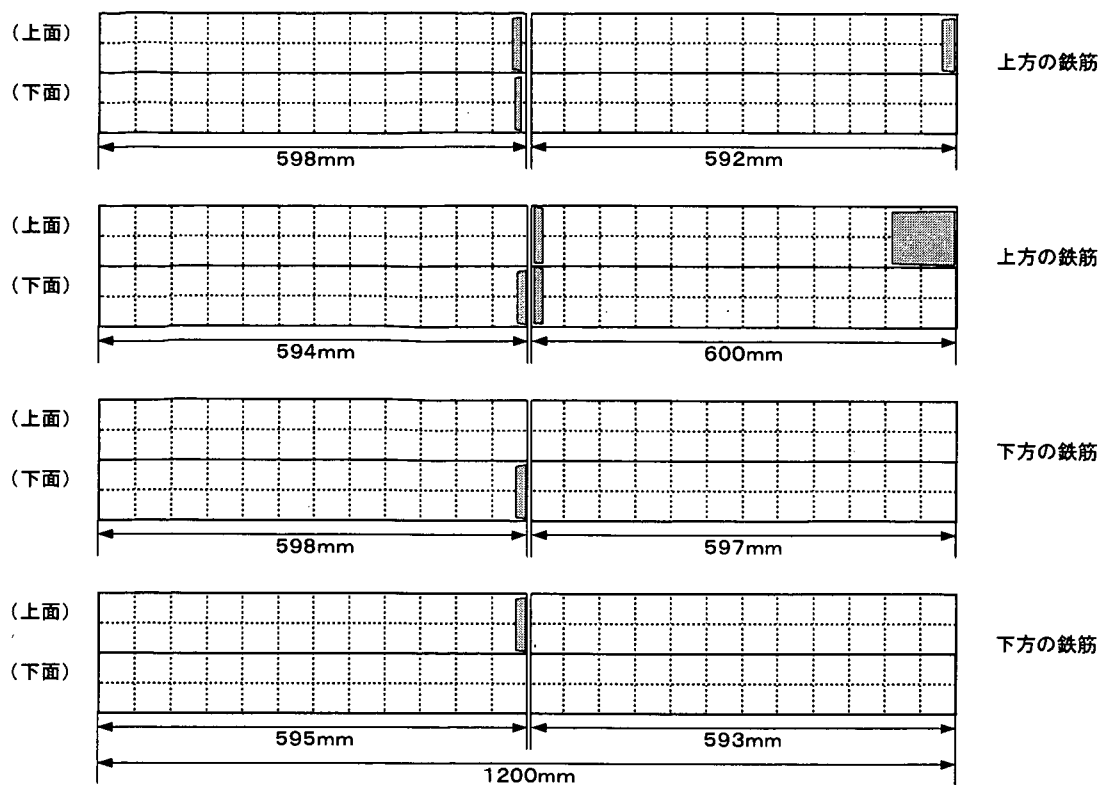
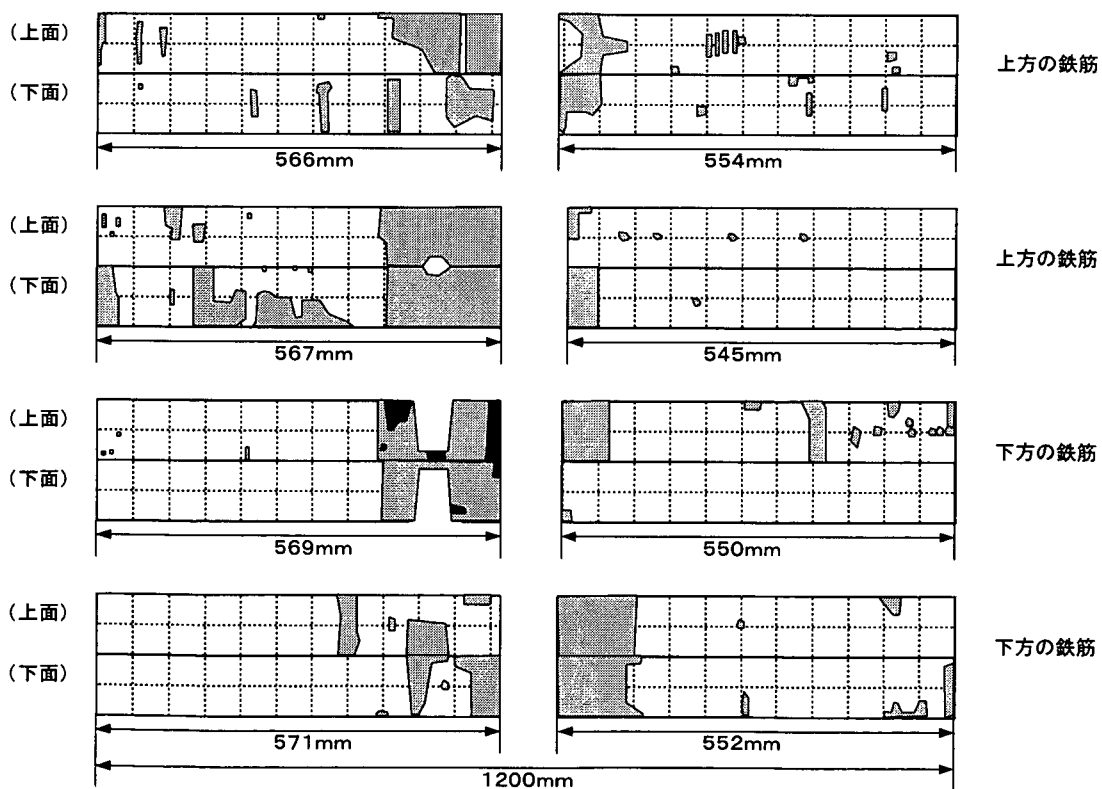


図-2.11(2) 試験体 A028, A020 腐食状況図



基準系 早強セメント 供試体 A030



基準系 早強セメント 供試体 A022

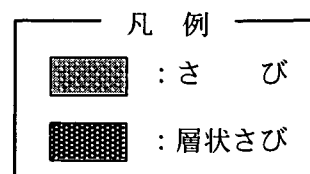
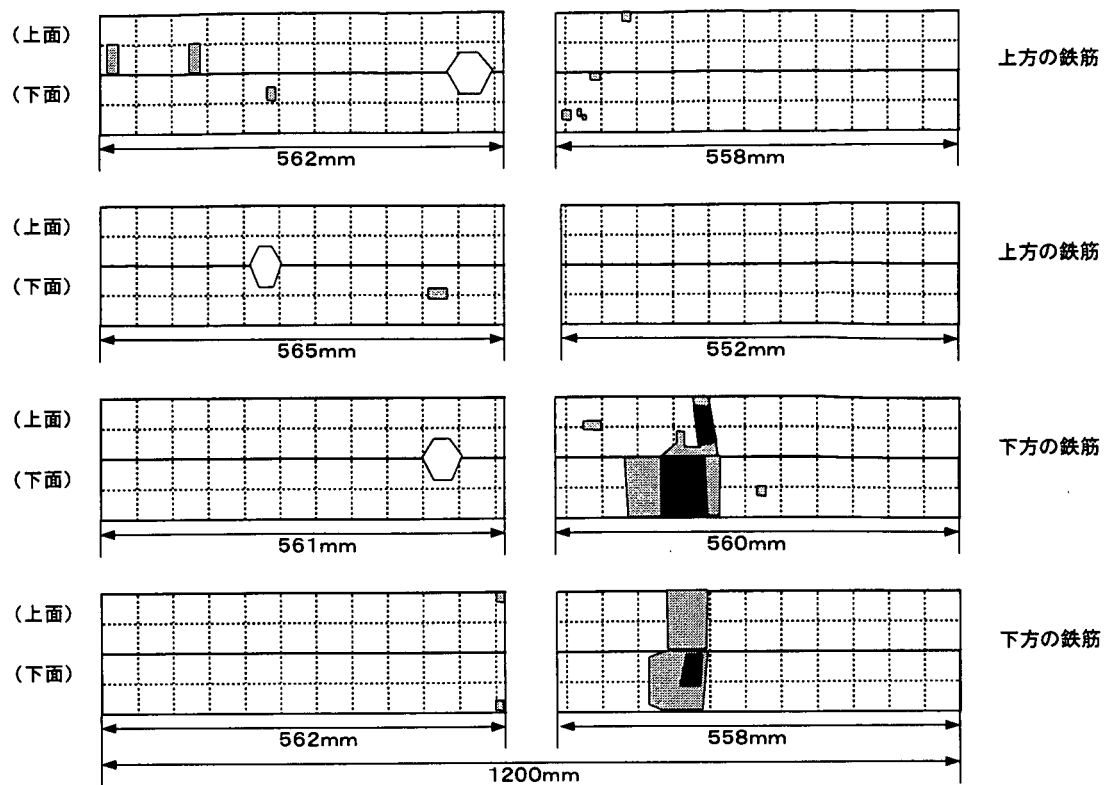
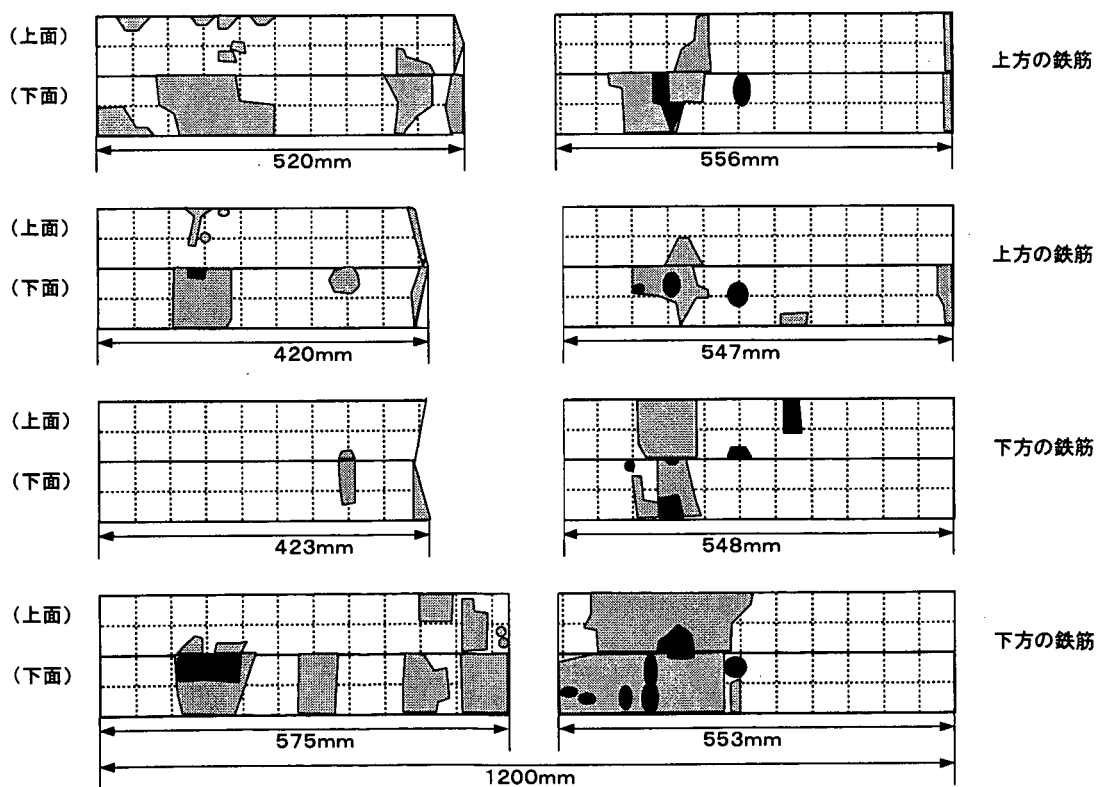


図-2.11(3) 試験体A30, A022 腐食状況図



基準系 早強セメント 供試体 A032



基準系 高炉B種 供試体 A034

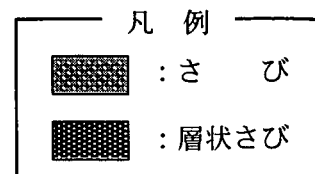
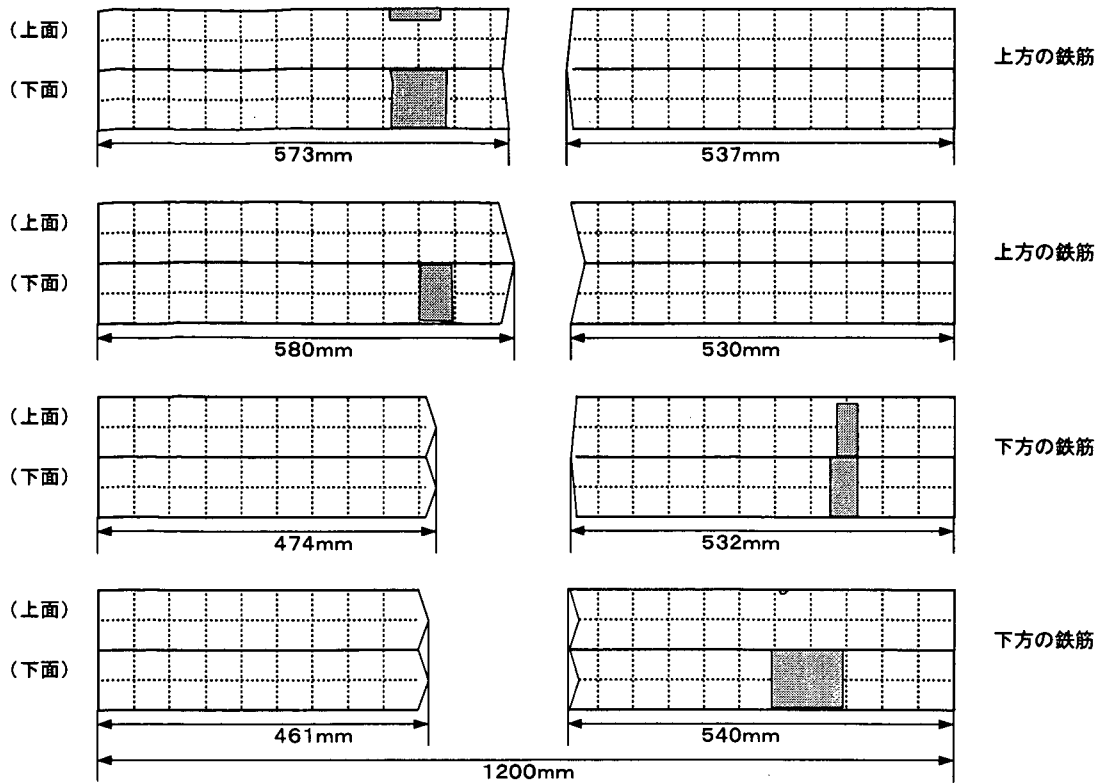


図-2.11(4) 試験体A032, A034 腐食状況図



防食処理系 耐塩性コンクリート 供試体 D044

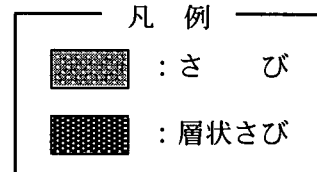


図-2.11(5) 試験体D004 腐食状況図

2. 4 まとめ

2. 4. 1 調査結果一覧表

調査結果をまとめ、表-2.34に示す。

表-2.34 調査結果一覧表

試験体	セメントの種類	水セメント比 cm	設計かぶり cm	実際かぶり cm	塩分量 (2~4cm) (4~7cm) kg/m ³ Cl ⁻		外 観 劣化度	鉄 筋 腐食度
A016	普通	40	3.5	4.4	0.838	0.173	○	A
A026	普通	40	5.0	6.0	0.790	0.148	○	A
A028	普通	50	5.0	5.9	3.739	0.826	Ⅲ	B
A020	早強	40	3.5	4.3	1.117	0.185	○	A
A030	早強	40	5.0	6.1	2.350	0.658	○	A
A022	早強	50	3.5	4.3	4.457	1.150	Ⅲ	B
A032	早強	50	5.0	5.7	4.353	1.289	○	B
A034	高炉B種	50	5.0	6.0	2.168	0.069	Ⅲ	C
D004	シリカフェウム	30	5.0	5.5	0.717	0.177	○	A

外観劣化度	判 定 基 準
○	無傷
Ⅳ	わずかに損傷あり
Ⅲ	多少あり
Ⅱ	多くあり

腐食度	判 定 基 準
A	腐食無し
B	ごく表面的な腐食
C	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
D	断面欠損が著しい腐食

2. 4. 2 考察

(1) 塩分量の経年変化

深さ 3 cmにおける塩分量の経年変化を表-2.35と図-2.12に示す。

表-2.35 塩分量の経年変化

(普通セメント使用コンクリート)

塩分含有量 kg/m^3		
W/C	経過年数	第3デッキ
40%	2	0.10
	6	0.96
	8	1.05
	10	1.28
	12	0.44
	14	0.814
50%	2	0.37
	6	3.56
	8	3.47
	10	3.60
	12	2.72
	14	3.739

(早強セメント使用コンクリート)

塩分含有量 kg/m^3		
W/C	経過年数	第3デッキ
40%	2	0.10
	6	0.62
	8	1.11
	10	0.79
	12	0.86
	14	1.733
50%	2	0.36
	6	1.90
	8	4.22
	10	2.61
	12	5.28
	14	3.311

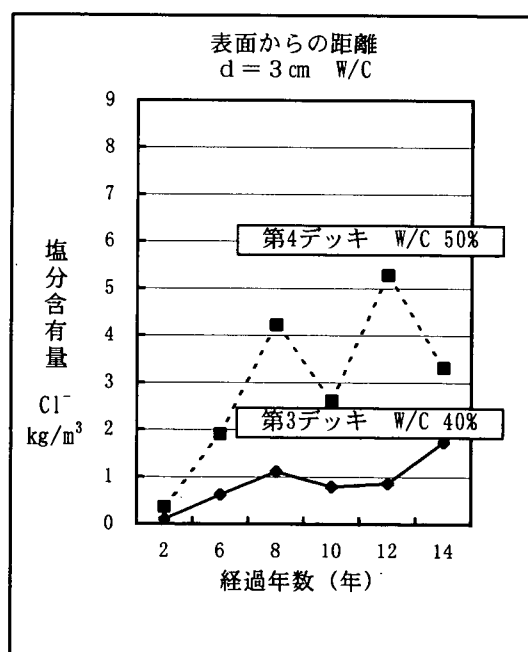
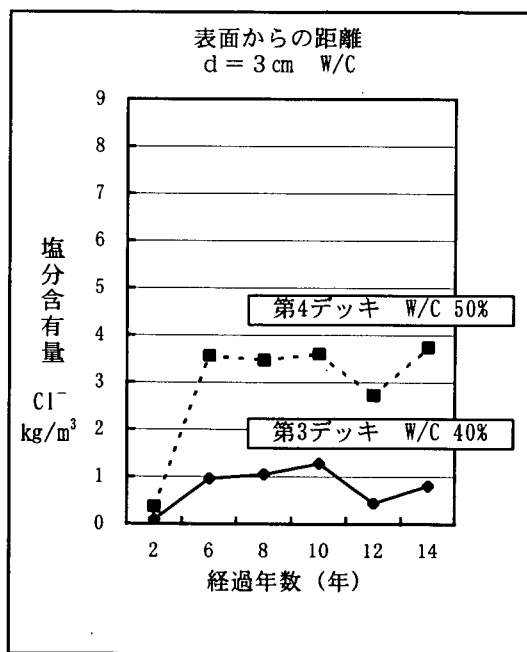


図-2.12 コンクリートの塩分量と経過年数の関係

- ・普通セメント、早強セメント共にW/C=50%より40%の方が塩分の含有量は少ない。
- ・普通セメント供試体の塩分含有量は暴露6年目以降は増加していない。
- ・しかし早強セメント供試体の方は増加傾向にある。
- ・含有塩分量は普通セメント、早強セメント間に顕著な差は見られない。

(2) セメントの種類と塩分量

セメントの種類と塩分量（深さ 3 cm）の相関関係を図-2.13に示す。

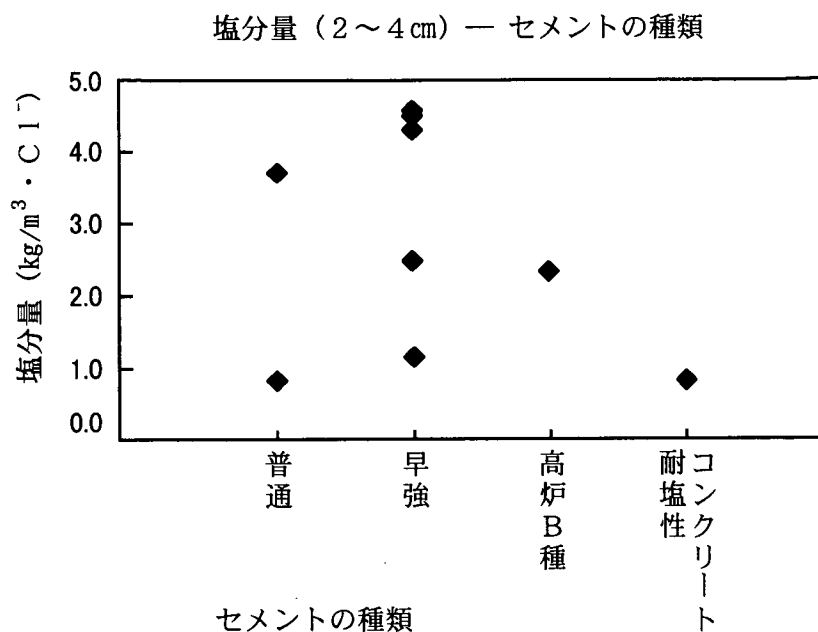


図-2.13 セメントの種類—塩分量

・塩分含有量の多い順に並べると、早強セメント、普通セメント、高炉B種、耐塩性コンクリート（シリカフェーム）となる。

(3) 水セメント比と塩分量

水セメント比と塩分量（深さ 3 cm）の相関関係を図-2.14に示す。

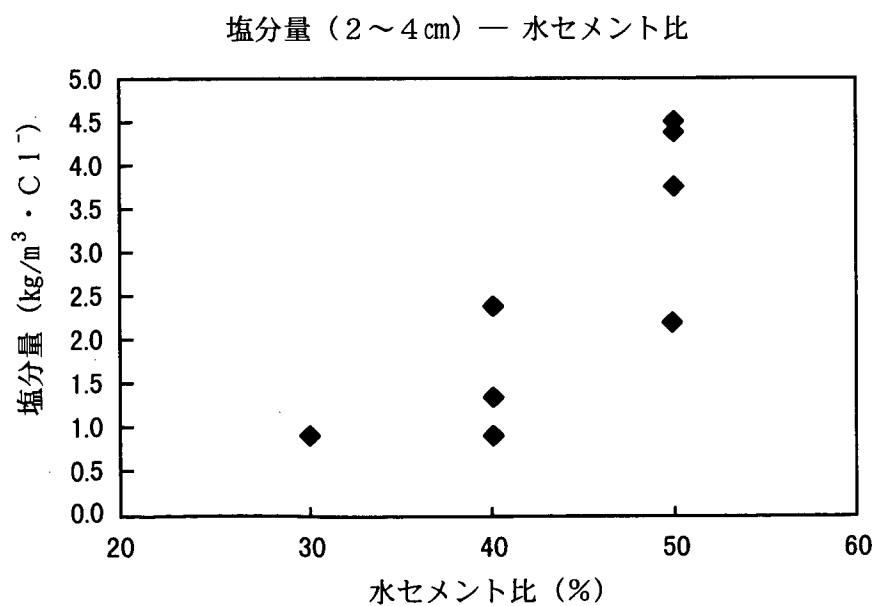


図-2.14 セメントの種類—塩分量

・水セメント比が大きいほど塩分含有量が大きくなることを顕著に示している。

(4) 塩分量と鉄筋腐食度

塩分量（深さ5.5cm）と鉄筋腐食度の相関関係を図-2.15に示す。

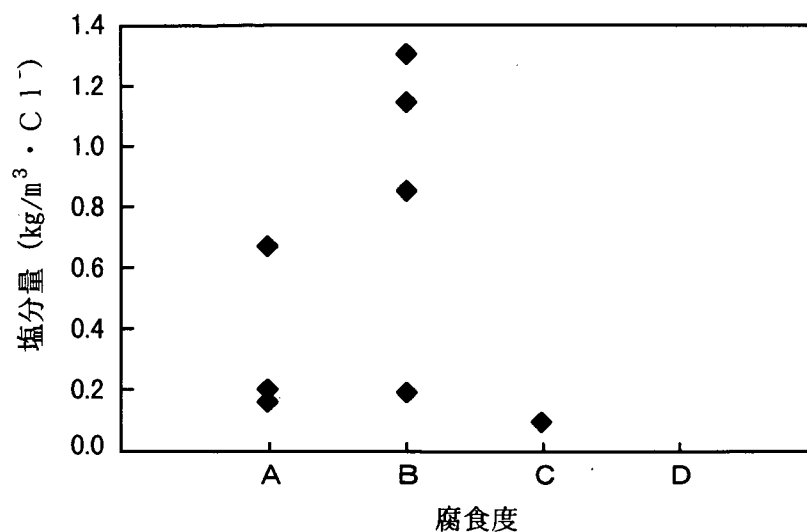


図-2.15 塩分量 — 腐食度

・腐食度Cを除けば、塩分含有量大なれば腐食度大なりの傾向が示されている。

(5) かぶりと腐食度

実際かぶりと鉄筋腐食度の相関関係を図-2.16に示す。

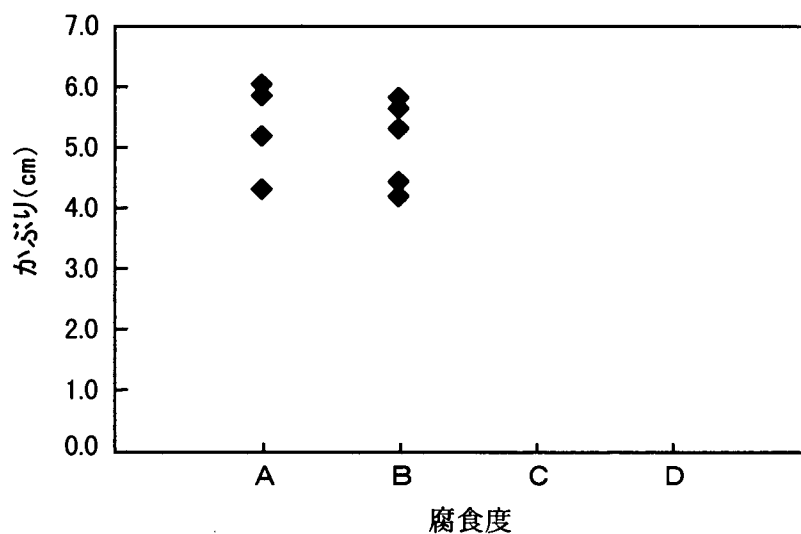


図-2.16 かぶり — 腐食度

・ここではかぶりによる腐食度の差は顕著に示されていない。

(6) 外観劣化度と鉄筋腐食度

外観劣化度と鉄筋腐食度の相関関係を図-2.17に示す。

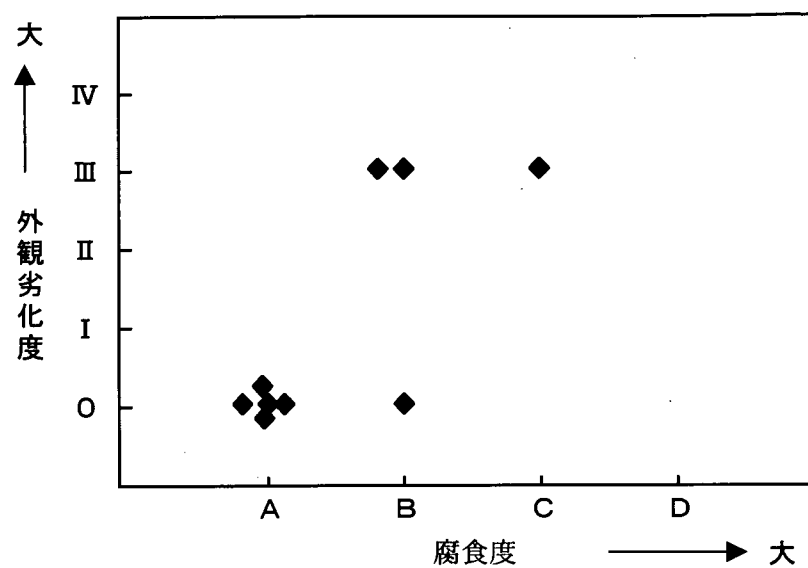


図-2.17 劣化度 — 腐食度

- ・外観劣化度大であれば鉄筋の腐食度大であるとの傾向がわずかに示されている。

あとがき

道路橋塩害対策指針（案）以後の新たな試験データや知見に基づいて作成したコンクリート構造物の塩害対策マニュアル（案）が、コンクリート構造物の塩害対策に役立つことを期待する。

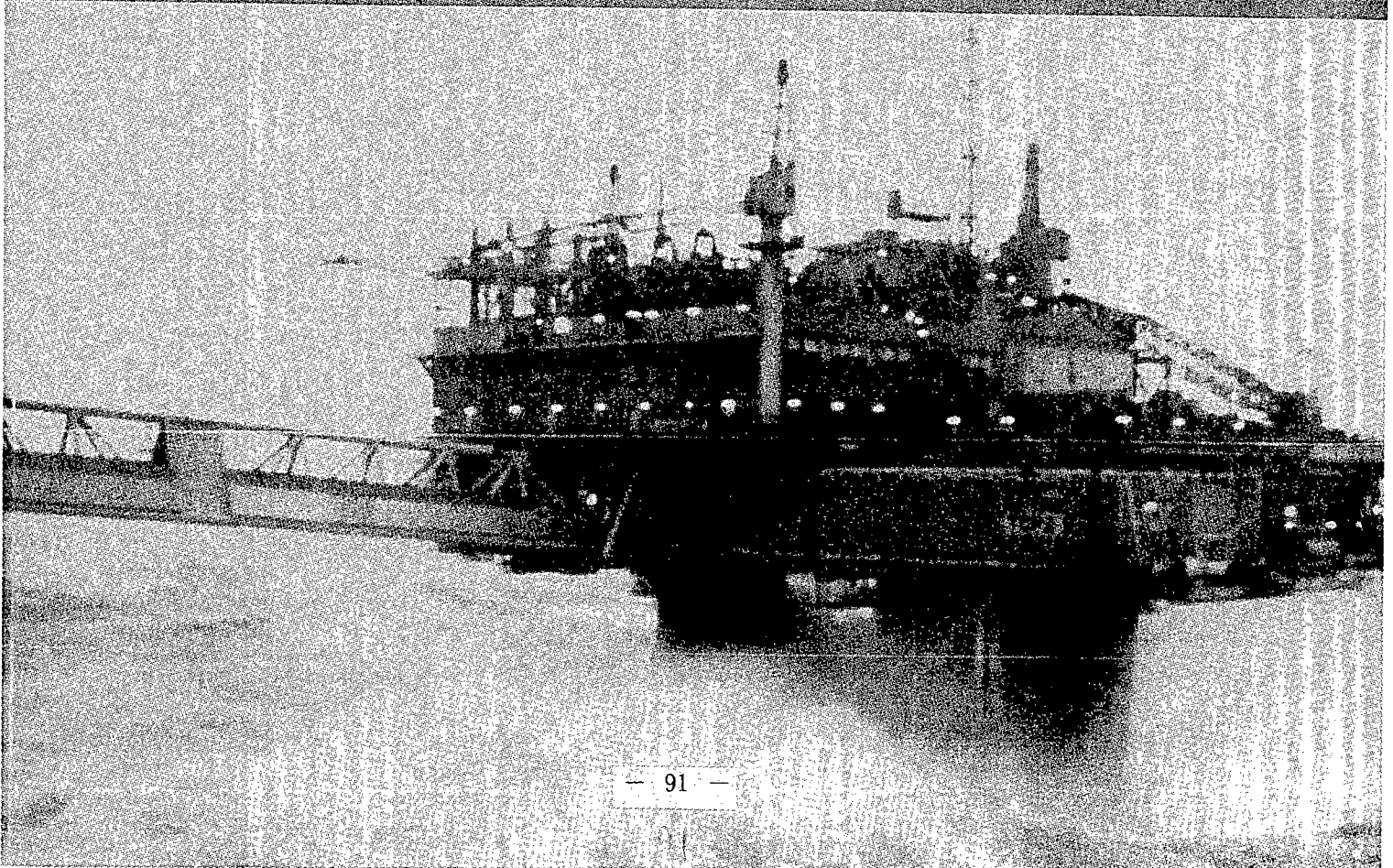
謝辞

本共同研究においてコンクリート供試体の暴露を行っている海洋技術総合研究施設を維持管理されている建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所の関係各位に謝意を表します。

Edited by O.E. GjØrv, K. Sakai and N. Banthia

CONCRETE UNDER SEVERE CONDITIONS 2

Environment and Loading



Concrete Under Severe Conditions 2

Environment and Loading

Proceedings of the Second International Conference on
Concrete under Severe Conditions
CONSEC '98

Tromsø, Norway
June 21–24, 1998

Volume One

EDITED BY

O.E. GjØrv

*Norwegian Institute of Technology,
Trondheim, Norway*

K. Sakai

*Civil Engineering Research Institute,
Hokkaido Development bureau, Japan*

N. Banthia

*University of British Columbia,
Vancouver, Canada*

E & FN Spon
An Imprint of Routledge

London and New York

RESEARCH ON ANTICORROSION TECHNOLOGY FOR CONCRETE STRUCTURES IN SPLASH ZONES

H. SAKAMOTO

Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan

K. TSUNO, M. FUJITA, Y. KAWAMOTO

Japan Prestressed Concrete Construction Association, Tokyo, Japan

Abstract

With the aim of developing advanced anti-corrosion technologies for marine structures and to test their long-term durability, exposure tests were carried out over a period of 12 years on over 150 concrete member test pieces at a facility located 250 meters offshore.

The test pieces were treated with various anti-corrosion techniques, including painted reinforcement, concrete painting, impregnation painting, polyethylene sheaths, salt-resistant concrete etc. This paper reports on the results and findings to date of visual inspections, natural electrical potential measurement, measurement of chloride levels, measurement of reinforcement corrosion levels, investigation of paint deterioration etc. of 120 test pieces after 12 years of exposure.

Keyword: anticorrosion technology, splash zone, marine structure, durability, exposure test

1 Introduction

The authors have carried out marine environment exposure tests using prestressed and reinforced concrete test pieces, with the aim of developing corrosion protection technology for concrete structures in marine environments [1].

Corrosion of steel in concrete exposed to a marine environment is induced mainly by chloride ingress into the concrete. The purpose of this study is to investigate the relationship between chloride ingress and exposure conditions, quality of concrete (cement type, W/C ratio, use of admixtures), concrete cover and surface treatment material.

2 Experimental

The test pieces were divided into groups with and without surface treatment (paint and impregnation coating), and groups with epoxy coated reinforcement and plastic sheaths. The exposure conditions are given in table 1, and the test piece groups are listed in table 2. Fig. 1 and 2 show the location of the exposure tests.

Table 1: Exposure conditions for concrete specimens

Exposure deck	Exposure conditions	Test pieces	Exposure site
Deck 3	2.1 m above sea level; deck sometimes washed over completely by sea water	With / without surface treatment	250 m off the coast of Oigawa, Shizuoka Prefecture
Deck 2	8.9 m above sea level; sea water sometimes reaches the deck	Without surface treatment	

Table 2: Numbers of concrete test pieces

Category	Quantity			
	Small	Medium	Large	Total
Control pieces	23	10	0	33
Treated pieces:				
Painted reinforcement	10	0	0	10
Concrete painted	30	0	0	30
Impregnation painting	12	0	0	12
Polyethylene sheath	0	2	0	2
Salt-resistant concrete	3	0	0	3
Test pieces for corrosion study / repair techniques	20	4	6	30
Total	98	16	6	120

Of the test pieces listed above, 120 were examined by visual inspection, and 78 (excluding concrete painted and painted reinforcement pieces) were also examined by corrosion potential measurement.

Inspection items and methods used were as follows:

1) Visual inspection:

Test pieces were visually inspected for presence of rust water, surface cracking and peeling, and cracking, stripping or deterioration of coating film.

2) Corrosion potential measurement:

The corrosion potential of steel in concrete was measured with a high impedance voltmeter, to assess steel corrosion in accordance with the criteria given in ASTM C876.

3) Corrosion of steel in concrete:

Reinforced and prestressed concrete test pieces exposed on Deck 3 were broken up and visually inspected for steel corrosion.

4) Chloride penetration in concrete:

Core samples were taken from the test pieces and broken up, and the chloride content was determined by potentiometric titration.



Fig. 1: Combined marine technology research facility

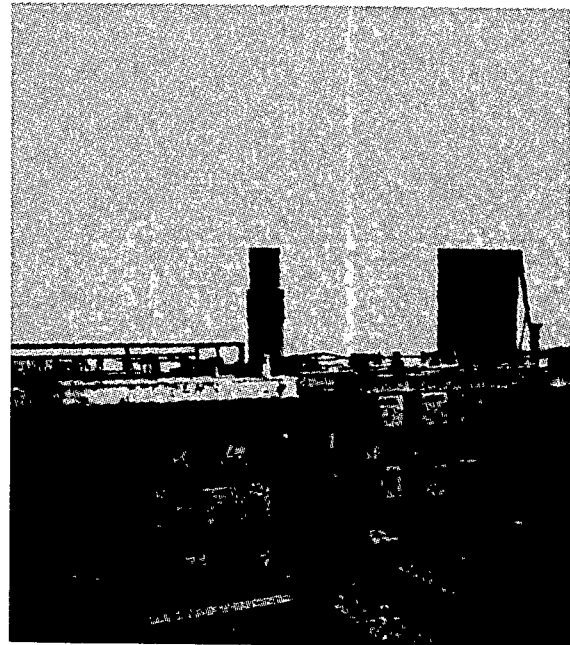


Fig. 2: Deck 3 (painted test pieces, corrosion-protected reinforcement)

3 Test Results

3.1 Visual inspection

After 12 years of exposure, a number of test pieces showed cracking, rust water, peeling, stripping etc., although the overall levels of deterioration were very minor, according to the evaluation given in table 3. Some of the control pieces exposed on Deck 3, however, showed cracking thought to be the result of wave action, together with cracking and rust water caused by corrosion of internal steel.

Table 3: Overall levels of deterioration of test pieces

Level of deterioration	Cracking, rust water		Peeling, stripping	
None / negligible	93	(77%)	112	(93%)
Minor	23	(19%)	7	(6%)
Low	3	(3%)	1	(1%)
Medium	1	(1%)	0	(0%)
Severe	0	(0%)	0	(0%)
Total	120	(100%)	120	(100%)

Details of deterioration for each test piece category are given below.

3.1.1 Control pieces (33 pcs.)

Nine test pieces were assessed as showing minor cracking and rust water; one piece

each showed low or medium deterioration. Peeling and stripping by wave action were common, but these were found around the spacer attachments and on the whitewashed surface; this deterioration was only minor, and no change was found from the previous inspection two years before. During the present inspection, flexural cracking and cracking with attendant stripping was found in some test pieces on Deck 3, apparently the result of wave action; corrosion had occurred in the internal steel, and an increase was noted in cracking and rust water along the reinforcement.

3.1.2 Treated pieces

Test pieces treated with various forms of corrosion proofing were inspected, as follows:

Painted reinforcement: 10 pcs
Concrete painted: 30 pcs
Impregnation painting: ~~13~~¹² pcs
Polyethylene sheath: 2 pcs
Salt-resistant concrete: 3 pcs

Details of deterioration for each treatment category are given below.

1) Painted reinforcement

Four of the 10 test pieces with painted reinforcement showed cracking. No new cracking was found in the present inspection. Crack widths were less than 0.05 mm. Four pieces were assessed as showing minor cracking and rust water; no new cases were added in this inspection. These comprised one or two cases of localized, surface rust water, and cracking along the short sides of test pieces in the block placed on Deck 3, as described above; in no case was the deterioration caused by reinforcement corrosion.

Peeling and stripping was noted in two test pieces, but no new cases were discovered during this inspection. In each case the peeling or stripping affected the surface layers only, to a depth of 2-3 mm.

Deterioration in test pieces using painted reinforcement was thus found to be negligible.

2) Concrete painting

No cracking or rust water was found in the 30 test pieces treated by concrete painting, although scaling and cracking of the paint film were found in 25 pieces. In two pieces, deterioration was found to have advanced since the previous inspection. Cracking had occurred in 2 pieces treated with vinylester-based paint, 1 piece treated with flexible urethane-based paint, and 1 piece treated with acrylic rubber paint. Significant peeling of the paint film was found in pieces treated with modified epoxy resin paints or cement, where the paint film had twisted and scaled. In paint films of other types, scaling was found mostly in the top layers of the paint film only, without exposing the concrete surface.

3) Impregnation painting

In the 13 test pieces treated with impregnation painting, with the exception of localized peeling in two pieces identified in the previous inspection, no cracking, rust water, peeling or exposure of reinforcement was found. Deterioration in all test pieces overall was either negligible or entirely absent, and overall the pieces were in sound condition. In two pieces treated with acrylic paints and one piece

treated with an organo-mineral compound paint, spots of blushing with slight scaling were found on one or two of four surfaces. The cause of this is unclear, although it may be the result of painting over areas of the concrete surface with severe laitance.

4) Polyethylene sheath

Cracking was found at both ends of two post-tensioned test pieces. Maximum crack width in both pieces was 0.3 mm, unchanged from the previous inspection. No peeling, stripping, rust water, reinforcement exposure etc. were noted.

5) Salt-resistant concrete

In small reinforced concrete test pieces using a silica fume mix (w/c = 30%), the deterioration noted in the previous inspection was found, where two pieces showed shallow peeling or localized rust water, assessed as minor deterioration. The third test piece in this group showed negligible or no deterioration. No change was found in this inspection.

3.1.3 Test pieces for corrosion study (30 pcs)

These test pieces were placed on Deck 2, and almost no deterioration was noted. Although deterioration causing bending tensile stress was found in test pieces where deterioration was present, the level of deterioration was classed as minor, and little change was noted since the previous inspection.

3.2 Corrosion potential measurement

The results of corrosion potential measurement are summarized below for control pieces, treated pieces and corrosion study pieces.

3.2.1 Control pieces

1) Variation in corrosion potential

The assessments for corrosion potential measurement in 26 control test pieces from which core samples were not extracted are given in table 4. Sixty-five percent of the control pieces were assessed at 0 points, 8% at 1 point, and 12% at 2 points; 15% were assessed at 3 points, the level at which the probability of corrosion advancing is 90% or more according to the ASTM standards.

Six test pieces were assessed at a higher level than during the previous inspection after ten years of exposure, and six were assessed at a lower level.

Table 4: Corrosion potential assessments

Points	Average corrosion potential	No. of pcs.
3	$E < -350 \text{ mV}$	4
2	$-350 \text{ mV} < E < -280 \text{ mV}$	3
1	$-280 \text{ mV} < E < -200 \text{ mV}$	2
0	$E > -200 \text{ mV}$	17
Total		26

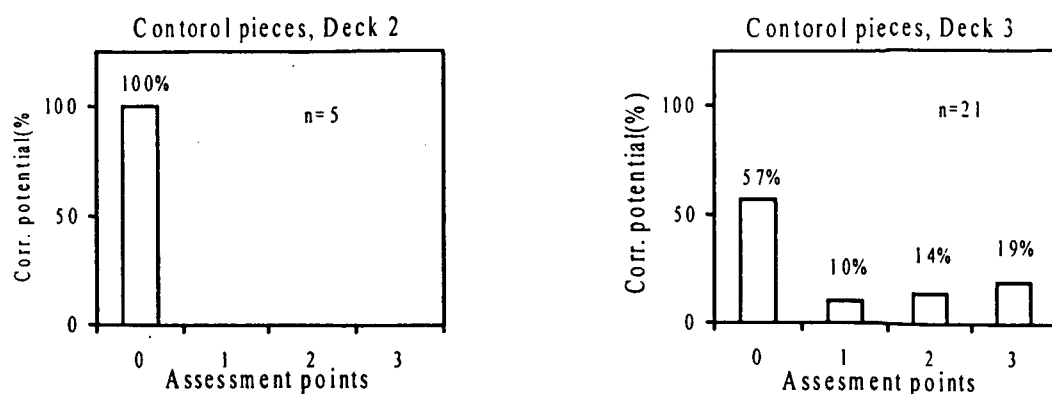


Fig. 3: Comparison of corrosion potential scores for control pieces on Decks 2 and 3

2) Test conditions and corrosion potential

Fig. 3 shows that 100% of the medium-size control pieces on Deck 2 with a concrete cover of 7 cm scored 0 points for corrosion potential, while the test pieces on Deck 3 scored between 0 and 3 points.

Three test parameters were applied to control pieces: a) type of test piece (pretensioned or reinforced); b) cement type; c) concrete cover. The relationships between these parameters and the incidences of corrosion potential are examined below. The test pieces on Deck 2 are not considered here, as only minimal change

in corrosion potential was found compared to the Deck 3 pieces.

a) Test piece type

Table 5 summarizes the corrosion potential scores for pretensioned and reinforced concrete test pieces. The results for pretensioned pieces were in the range 0-2, with a predominant value of 0, while among the reinforced pieces, 39% were assessed at 0 points, 15% at 1 point, 15% at 2 points and 31% at 3 points, thus different results were found for the two types.

Table 5: Corrosion potential scores

Test piece type	Score (points)	No. of pcs.				(%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
Pretensioned	8	7	0	1	0	88	0	12	0
Reinforced	13	5	2	2	4	39	15	15	31

b) Cement type

Table 6 gives corrosion potential scores for the different types of cement used in test pieces. Scores of 3 points were found for some of the test pieces using ordinary and early-high-strength cement.

Table 6: Corrosion potential scores

Cement type	Score (points)	No. of pcs.				(%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
Ordinary	8	5	1	0	2	63	12	0	25
EHS	9	5	0	2	2	56	0	22	22
Blast-furnace slag	4	2	1	1	0	50	25	25	0

c) Concrete cover

Table 7 gives corrosion potential scores categorized by concrete cover. As noted above, all test pieces with a concrete cover of 7 cm showed a corrosion potential score of 0. This however is the result of the test pieces in question being exposed higher above sea level (Deck 2) than the other test pieces, therefore the results are not directly comparable. Test pieces exposed on Deck 3 had concrete covers of 2.5 cm, 3.5 cm and 5.0 cm. No significant difference is evident at present within the range of 2.5-5.0 cm.

Table 7: Corrosion potential scores

Concrete cover (cm)	Score (points)	No. of pcs.				(%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
2.5	5	3	1	0	1	60	20	0	20
3.5	6	5	0	0	1	83	0	02	17
5.0	10	4	1	3	2	40	10	30	20
7.0	5	5	0	0	0	100	0	0	0

3.2.2 Corrosion potential in treated test pieces

1) Impregnation painted

Corrosion potential scores of test pieces are summarized in table 8. The scores for all paint types were in the range 0-1, with no significant variation.

Table 8: Corrosion potential scores

Score (points)	Silicon (1)	Acrylic (1)	Silicon (2)	Organo-mineral compound	Acrylic (2)	Vinylester
0	1	2	1	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0

(units: no. of pcs.)

2) Salt-resistant concrete

No major change was found in the salt-resistant concrete test pieces using silica

fume; one piece gave a score of 2 points, while the other scored 0 points.

3.3 Corrosion of steel in concrete

The extent of corrosion of steel in concrete after ten years of exposure was examined; results are given in table 9.

Table 9: Corrosion of steel in concrete

Test piece	Cement type	w/c (%)	Corrosion of steel after removal of concrete (concrete cover = 2.5 cm)
PC	Ordinary	40	No rusting
RC	"	50	Severe corrosion, major partial section loss
PC	EHS	40	No corrosion in prestressing steel wires
RC	"	50	Some rusting, no section loss
RC	Blast-furnace slag	50	Localized rusting
RC	EHS	40	No corrosion found on epoxy-coated bars after removal of coating
RC	EHS + silica fume	30	No rusting

3.4 Chloride penetration in concrete

Table 10 shows that chloride levels are highest on the surface and decrease at greater depths. No clear difference was found relating to core orientation.

Table 10 and fig. 4 show the average chloride levels at each core depth for each surface. The highest chloride level in a core depth range of 1-7 cm was found in test piece A022 (EHS cement, w/c = 50%). Chloride levels were high overall in test pieces with w/c = 50%, and although chloride levels decrease with depth, levels of 0.606-0.976 cl-k/m³ (reference value 0.6 cl-k/m³ allowable chloride level) were still found at depths of 4-7 cm, higher than for other test pieces. Chloride levels in w/c = 40% test pieces were around 40% of levels in w/c = 50% pieces at depths of 1-2 cm, and at depths of 4-7 cm levels were down to 0.100-0.300 cl-k/m³, indicating minimal chloride penetration. The lowest chloride levels were measured in test piece D004 (silica fume, w/c = 30%), where almost no chloride penetration was found below 2 cm depth.

Table 10: Average chloride level distribution

Test piece	Cover (cm)	Cement type	w/c (%)	Chloride level (cl-k/m ³)			
				Core cut depth			
				0-1 cm	1-2 cm	2-4 cm	4-7 cm
PC	3.5	Ordinary	40	7.981	2.879	0.447	0.100
PC	3.5	EHS	40	8.108	3.290	0.870	0.300
RC	3.5	EHS	50	9.811	8.401	5.288	0.976
RC	5.0	Ordinary	50	11.104	6.698	2.726	0.917
RC	5.0	Blast-furnace slag	50	11.221	7.520	1.692	0.606
RC	5.0	silica fume	30	9.283	0.888	0.382	0.241

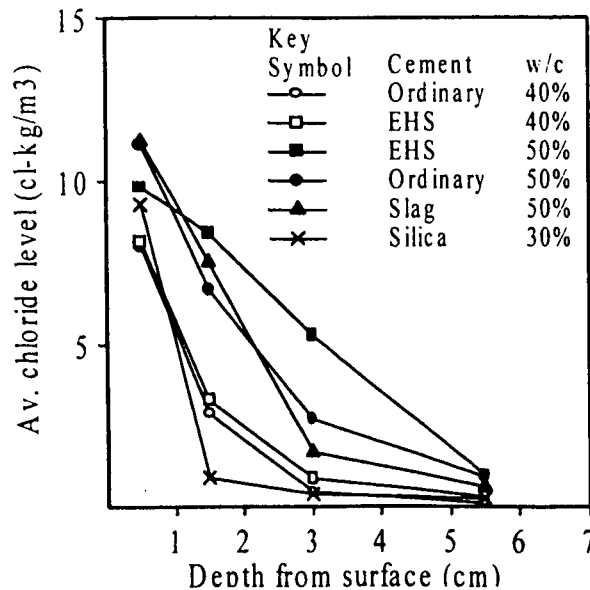


Fig. 4: Average chloride level distribution

4 Conclusion

After twelve years of exposure, cracking, rust water, peeling stripping etc. were found in a number of test pieces, although overall levels of deterioration were negligible.

Deterioration in test pieces using coated reinforcement was negligible. No cracking or rust water was found in the 30 pieces with concrete painting, although in 25 of these pieces the paint film showed scaling and cracking. Deterioration in the other test pieces was also negligible.

Differences were found in the corrosion potential of test pieces on Deck 2 and Deck 3, with higher corrosion potential found for Deck 3 (H.W.L. +1.247 m) than for Deck 2 (H.W.L. +8.050 m).

No major differences in corrosion potential were found between the various cement types and cover depths used, although reinforced test pieces gained higher corrosion potential scores than pretensioned pieces.

The deepest chloride penetration was found in test pieces with a w/c ratio of 50%, where levels of 0.606-0.976 cl-k/m³ (reference value 0.6 cl-k/m³ allowable chloride level) were found at depths of 4-7 cm, although chloride levels decrease with depth. Almost no chloride penetration was found at these depths in test pieces where w/c = 40%. In the silica fume test pieces (w/c = 30%), almost no chloride penetration was found at depths greater than 2 cm.

5 Reference

1. K. Katawaki, H. Sakamoto, K. Tsuno, T. Machida and K. Ishii (1993) Development of Corrosion Protection Technology for Prestress Concrete Structure through the Large Scale Exposure Test, FIP Symposium, Kyoto, Japan Oct. 1993

付属資料 コンクリート構造物の塩害対策マニュアル(案)

コンクリート構造物の塩害対策 マニュアル(案)

平成12年12月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

海岸地域に建設される鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリート橋は、飛来塩分によって塩害を生ずる。これらの対策については「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（昭和59年2月、社団法人日本道路協会発行）や建設省総合技術開発プロジェクトにおける「コンクリートの耐久性向上技術の開発」に塩害を受けたコンクリート橋の補修工法や新設時における設計上の留意事項などが示されている。

一方、建設省土木研究所、（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会および（財）土木研究センターの3者は、コンクリートの塩害対策として昭和57年度から「飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術」に関する共同研究を、駿河湾の海洋技術総合研究施設を用いて、各種の防食技術の試験を行っている。

今回、これらの共同研究成果と従来からの知見に基づいて、コンクリート橋の塩害対策マニュアル（案）を作成した。本マニュアル（案）は、第1章 新設コンクリート橋の塩害対策と、第2章 塩害を受けたコンクリート橋の調査および補修、で構成されており、その主たる特徴としては以下のとおりである。

第1章では、①対策区分として、過酷な環境（対策区分S）を新たに設け、対策区分Sに該当する過酷環境下にある場合は、かぶりのみによる対策では困難と判断し、対策手法から除外することとした。その対策としては、非腐食鋼材（エポキシ樹脂塗装鉄筋、連続繊維補強材、エポキシ樹脂塗装PC鋼材、プラスチックシースなど）、コンクリート表面被覆や電気防食を用いることにしている。②対策区分ⅠまたはⅡでは、従来どおりかぶりによる対策手法も取り上げている。また、かぶり増の代わりに非腐食鋼材、コンクリート表面被覆や電気防食などを比較検討対策としてとりあげている。

第2章では、①補修の選定基準として、劣化度の判定を定期点検と詳細調査に分け、2段階で実施する。そして、詳細調査においては劣化度を数値化し、その点数に応じて補修対策工法を選定できるようにしている。②新しい工法として、電気防食工法の適用についてもとりあげている。

本マニュアル（案）を活用することにより、コンクリート橋の新設および既設の塩害対策における耐久性向上が図られることを望む次第である。

第二分科会 コンクリート構造物の塩害対策マニュアル検討委員会

委員長	町田 武	(株) ピー・エス (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 (大井川沖暴露試験共同研究委員会)
委 員	明嵐 政司	建設省土木研究所材料施工部化学研究室 室長
委 員	守屋 進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室 主任研究員
委 員	近藤 順	オリエンタル建設 (株) (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 (大井川沖暴露試験共同研究委員会)
委 員	狩野誠一郎	オリエンタル建設 (株) (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 (大井川沖暴露試験共同研究委員会)
委 員	迎 邦博	住友建設 (株) (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 (大井川沖暴露試験共同研究委員会)
委 員	藤田 学	住友建設 (株) (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 (大井川沖暴露試験共同研究委員会)
前委員	寺田 剛	建設省土木研究所材料施工部化学研究室 研究員 (現 建設省土木研究所 道路部舗装研究室 研究員)
前委員	坂本 浩行	前 (財) 土木研究センター技術研究所調査試験二部 部長 (元 建設省土木研究所材料施工部化学研究室長)

前委員 川本 幸広 (株) ピー・エス
(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会
(大井川沖暴露試験共同研究委員会)

前委員 吉田 光秀 (株) 富士ピー・エス
(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会
(大井川沖暴露試験共同研究委員会)

目 次

1. 新設コンクリート橋の塩害対策	9
1. 1 総則	9
1. 1. 1 適用の範囲	9
1. 1. 2 対策の基本	9
1. 1. 3 対策の区分	12
1. 1. 4 用語の定義	18
1. 2 設計	19
1. 2. 1 一般	19
1. 2. 2 構造物の形状	19
1. 2. 3 鋼材のかぶり	20
1. 2. 4 コンクリートのひびわれ	23
1. 3 材料	25
1. 3. 1 コンクリート	25
1. 3. 2 鋼材およびシース	27
1. 3. 3 その他の材料	30
1. 4 施工	31
1. 4. 1 エポキシ樹脂塗装鉄筋・プラスチックシースの施工	31
1. 4. 2 P C グラウト	31
1. 4. 3 その他	31
1. 5 支承・橋梁付属物・橋面	31
1. 5. 1 支承	33
1. 5. 2 橋梁付属物	33
1. 5. 3 橋面	33
2. 塩害を受けたコンクリート構造物の調査および補修	35
2. 1 総則	35
2. 1. 1 適用の範囲	35
2. 1. 2 用語の定義	36
2. 1. 3 補修の目的	37
2. 1. 4 補修の基本	38
2. 2 点検・調査	40
2. 2. 1 一般	40
2. 2. 2 点検・調査の種類と点検・調査項目	40
2. 2. 3 定期点検	41
2. 2. 4 詳細調査	42
2. 2. 5 点検・調査頻度	43
2. 3 劣化度の評価と判定	44
2. 3. 1 一般	44

2. 3. 2	劣化度の評価	44
2. 3. 3	劣化度の判定	47
2. 4	補修方法	49
2. 4. 1	一般	49
2. 4. 2	軽微な補修	50
2. 4. 3	補修	53
2. 4. 4	電気防食工	60
2. 4. 5	記録	63
2. 5	追跡点検	65

第1章 新設コンクリート橋の塩害対策

1. 1 総則

1. 1. 1 適用の範囲

本章は、海岸線付近にあって波しぶきや潮風の影響を受ける道路橋の塩害を防止または軽減するために必要な設計・施工上の規定を示すものである。

[解説]

海岸線付近のコンクリート構造物においては、完成後、海からの潮風や波しぶきにより塩分が飛来付着し、経年とともにコンクリート内部に浸透する。このことによってコンクリート内部の鋼材が腐食し、錆により鋼材が体積膨張してコンクリートにはくりやひびわれを発生させる場合がある。さらに、はくりやひびわれが生じると鋼材の腐食が一層促進されることになる。特に、P C鋼材は常に高い引張応力度のもとで使用されており、腐食が発生するとその影響が大きいといえる。以上の現象は塩害と呼ばれているが、本マニュアルでは、このような作用の結果生じるコンクリート構造物の損傷を有効かつ経済的に防止または軽減するために、道路橋の設計・施工上特に必要となる事項について規定したものである。このほか、塩害には、海砂その他コンクリート材料に含まれる塩分によって生じるものと、塩化カルシウム等凍結防止剤の散布によって生じるものがあるが、本マニュアルでは波しぶきや潮風によってコンクリート表面に塩分が付着し、これが浸透して内部の鋼材が腐食する現象のみを塩害と称している。

1. 1. 2 対策の基本

- (1) 本章は、道路橋の塩害対策指針(案)・同解説に示す地域にある橋で道路橋示方書が適用される新設橋のコンクリート構造物(無筋コンクリート構造物を除く)の部分のうち、直接外気に接する部分の設計施工に適用する。ただし、同指針に示す地域以外にある橋であっても、塩分の飛来により塩害を受ける可能性が認められる場合は、本マニュアルを準用することができる。
- (2) 本マニュアルに示していない事項については道路橋示方書によるものとする。
- (3) 塩害対策は、地形および海岸線からの距離、気象・海象などの状況を十分把握し、これらの条件に応じて設計、材料の選定、施工を適切に実施し、コンクリート構造物が所要の耐久性を確保するよう有効かつ経済的に行わなければならない。
- (4) 塩害対策は、次に示す事項を配慮して行うことを原則とする。
 - 1) 対策工法に適したかぶり
 - 2) 対策工法の信頼性と維持管理
 - 3) コンクリートのひびわれ制御

- 4) コンクリートの材料
- 5) コンクリートの配合
- 6) 施 工

〔解説〕

(1) 塩害は、海岸線付近の橋梁のうち、鋼材のかぶりが薄いコンクリート橋上部構造に多く発生しているが、大気中にある下部構造にも生じていることがある。そこで、本マニュアルの適用構造物としては、海岸付近の塩分の影響を受ける地域のコンクリート構造物、すなわちプレストレストコンクリート橋・鉄筋コンクリート橋・鋼橋の鉄筋コンクリート床版・基礎およびフーチングを含めた鉄筋コンクリート橋脚・橋台等のうち直接外気に接する部分とした。したがって、直接外気に接しない中空床版や箱けたの内面、基礎やフーチングおよび橋台等のうち常に水中にある部分や直接土に接する部分および無筋コンクリート構造物は除外する。

また塩害対策を必要とする地域は、道路橋の塩害対策指針(案)・同解説にしたがって表-解1.1.1および表-解1.1.2に示すように全国の海岸線付近を3地域に区分し、海岸線からの距離によって設定した。

表-解1.1.1 塩害対策を必要とする地域

地域区分	地 域
A	沖縄県
B	表-解1.1.2に示す地域のうち、海上部および海岸線から200mまでの部分
C	上記以外の地域のうち、海上部および海岸線から100mまでの部分

表-解1.1.2 地域区分B対象地域

北海道のうち稚内市、留萌市、小樽市、猿払市、豊富市、礼文町、利尻町、東利尻町（宗谷支庁）、留萌支庁、石狩支庁、後志支庁、桧山支庁、松前町（渡島支庁）
 青森県のうち、蟹田町、今別町、平館村、三厩村（東津軽郡）、北津軽郡、西津軽郡、大間町、佐井村、脇野沢村（下北郡）、秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県

地域区分Aの沖縄県は、温度・湿度が高く亜熱帯海洋性気候であり、また台風の常襲地域であるために腐食環境が厳しく、コンクリート橋の塩害による損傷が内陸部まで及んでいることなどにより、全島にわたって対策を行うこととした。

また、表-解1.1.2に示す地域区分Bの地域は、冬期に海からの季節風が卓越し、強い潮風、波しぶきを受ける状況にある。さらに、これらの地域の海岸付近は、特に損傷を受けている橋梁の発生割合

が大きくなっており、また海岸線からある程度離れた場所にある橋梁についても、塩害を受けているものがあるので、海岸線から200mまでを対象地域とした。

このA、B以外の地域はすべてC区分としたが、この地域は地域区分A、Bの地域に比べて損傷橋梁の発生割合が小さく、損傷を受けた橋梁のほとんどが海岸線から比較的近い場所に集中したので、対象地域を海岸線から100mまでとした。

(2) このマニュアルは塩害対策に限定したものであり、ここに示していない事項については、従来どおり道路橋示方書に従うものとする。

(3) 塩害は、飛来した海塩粒子がコンクリート構造物の表面に付着し、コンクリート中に浸透して内部の鋼材を腐食させることによって生じるが、それぞれの過程において表-解1.1.3 に示すようなさまざまな要因が複雑に作用していると考えられる。

表-解1.1.3 コンクリート構造物の塩害に影響を与える主な要因

過程	海塩粒子の発生 および飛来	付 着	浸 透	鋼材の腐食
	1. 気象条件 2. 海象条件 3. 海岸状況、地形、 海岸線からの距離	1. 構造物の形状 2. コンクリート 表面状態	1. コンクリートの 健全度 2. コンクリートの 密実性 3. 供用年数	1. 鋼材のかぶり 2. 鋼材の種類 3. コンクリートの密実性 4. 供用年数 5. 温度・湿度

架橋地点の地形や海岸からの距離等の自然条件に応じて、塩害対策を有効かつ経済的に行うために、次に示すような事項について事前に状況を把握しておくのがよい。

1) 地 形：海浜の形状、架橋地点と海岸線との間の障害物の有無およびその程度、海岸線からの距離および海面からの高さ等

2) 気象・海象：温度・湿度、海からの風の頻度およびその風速、架橋地点での波しぶきの有無、またはその程度（飛来塩分量）、潮位等

3) そ の 他：架橋地点付近の既存コンクリート構造物の塩害による損傷状況調査等

(4) 従来の塩害対策は、構造物の環境条件に応じてかぶりを大きくし、劣化因子がコンクリート表面から鋼材位置まで浸透する時間を長くすることで対策が可能と考えられてきた。しかし最近に研究によれば、飛沫帯のような環境下においては、構造物の耐用年数を100年程度とした場合、従来のかぶりでは対応できないことが判明してきていることから、環境条件の最も厳しい地域での対策では不十分と判断し、特有の対策工法を推奨することとした。その際、工法に適した適切なかぶりを確保するものとした。また対策工法によっては、現在のところ十分な信頼性が保証されていないものや、特殊な維持管理を必要とするものもあるので、これらの事項について十分配慮しなければならない。

1. 1. 3 対策区分

対策区分は、地域区分と海岸からの距離に基づいて、表-1.1.1の分類を標準とする。ただし架橋地点の地形、気象・海象の状況、付近のコンクリート構造物の塩害状況を勘案して、表-1.1.1の対策区分を1段階変更することができる。

表-1.1.1 対 策 区 分

地域区分	地 域		対策区分
A	沖縄県	海上部および海岸線付近で海水飛沫が直接かかる場所	S
		海上部および海岸線から100mまで	I
		上記以外の範囲	II
B	表-解1.1.1 に示す地域	海上部および海岸線付近で海水飛沫が直接かかる場所	S
		海上部および海岸線から100mまで	I
		100mをこえて200mまで	II
C	上記以外の地域	海上部	I
		海岸線をこえて100mまで	II

[解説]

(1) 対策区分

表-解1.1.1 に示す地域の中においても、腐食環境は厳しいものから軽度のものまで架橋地点によって異なるものと考えられる。したがって、本マニュアルにおいては、環境の厳しさに応じて表-1.1.1のように対策区分を設定し、塩害対策の程度を変えることにより、有効かつ経済的に対応することとした。すなわち、対策区分Sは、地域区分Aおよび地域区分Bにおいて、海上部および海岸線から100mまでのなかで海水飛沫が直接かかる範囲とした。

対策区分Iは、地域区分Aおよび地域区分Bにおいては、調査の結果、特に損傷を受けている橋梁の割合が大きな海岸線から100mまでの範囲とした（図-解1.1.1）。また、地域区分Cについては、一般に潮風がそれほど強くないと判断でき、全体的に損傷の発生割合が小さいことから、海上部のみを対策区分Iとした（図-解1.1.2）。

対策区分Ⅱは、直接波しぶきはかかるとはならないが、潮風により相当量塩分が付着し、塩害もかなり生じている範囲に設定した。地域区分Aについては、亜熱帯海洋性気候であることや台風の常襲地帯であることおよびコンクリート橋の塩害による損傷が内陸部まで及んでいることから、対策区分Ⅰの範囲を除く全島とした。また地域区分Bおよび地域区分Cについては図-解1.1.1 および図-解1.1.2 を参考に対策区分Ⅱは、それぞれ海岸線から100 mをこえて200 mまでの範囲とした。

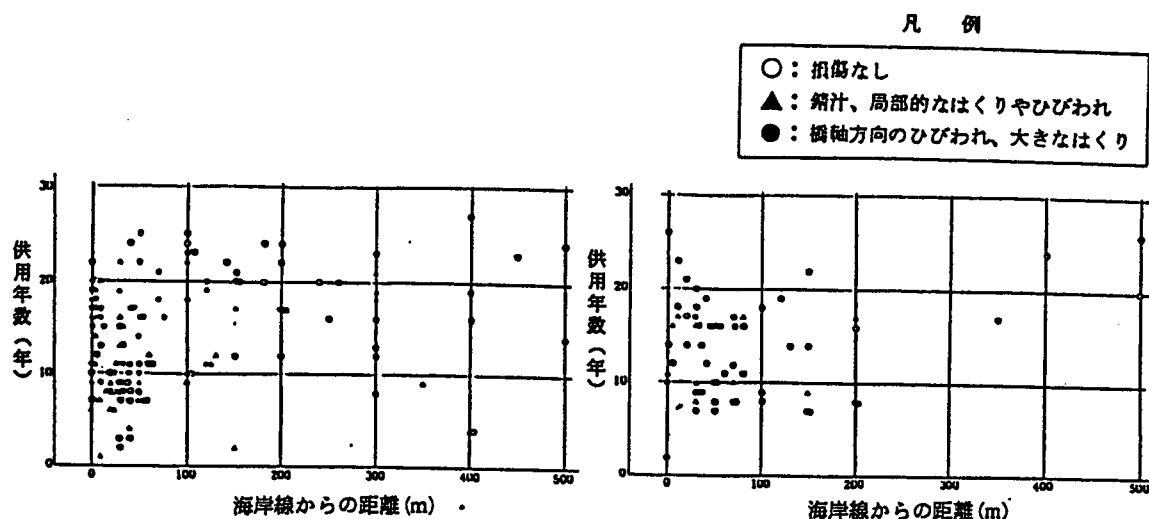


図-解1.1.1 地域区分AおよびBにおける塩害状況

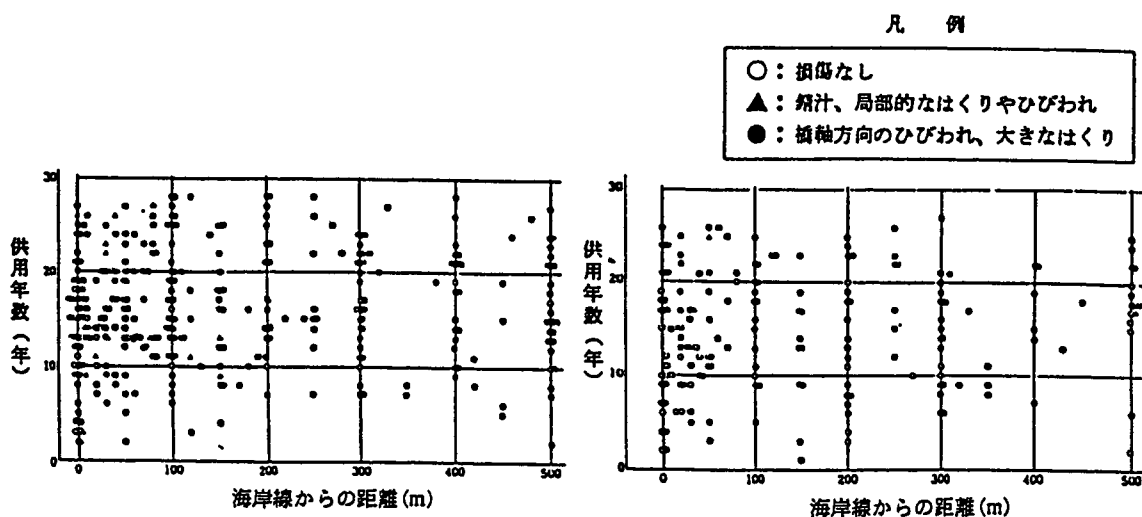


図-解1.1.2 地域区分Cにおける塩害状況

〔出典：沿岸土木構造物の設計・施工指針（案）コンクリートの耐久性向上技術の開発（財）土木研究センター〕

ただし、気象・海象条件および地形条件等によっては、海からの波しぶきの発生が小さい場合や障害物等により波しぶきや潮風がさえぎられる場合がある。このように、塩分の付着が少なく塩害が生じる度合が少ないことが明らかな場合には、対策区分ⅠにあってはⅡに、Ⅱにあっては道路橋示方書の規定にそれぞれ区分を変更することができる。

また、飛沫の影響を受ける海面からの高さは、文献等から高さ15～20 m程度までと推定されるが、調査結果の範囲では標高と損傷程度の間には明確な関係がみられなかったことから、ここでは高さによる緩和規定は特に設けないこととした。したがって、各々の架橋地点において調査の結果、波しぶきを受けない高さにあると確認されたコンクリート構造物の部分は対策区分を1段階下げることが出来る。

これとは逆に、対策区分Ⅱの範囲、あるいは表-解1.1.1 に示す塩害対策を必要とする地域以外であっても、海岸の状態や地形によっては多くの塩分量が飛来する場合もある。したがって、架橋地点において調査の結果、架橋地点周辺に塩害により損傷を受けた既存コンクリート構造物がある場合、常時波しぶきを受ける状況にある場合、あるいは多量の飛来塩分がある場合には、当該地点の環境はさらに厳しいと予測されるため、対策区分を1段階上げることが望ましい。

(2) 対策工法

塩害対策としては、一般的に次の方法が考えられる。

- 1) 塩分の付着を少なくするために、橋の構造等に配慮する。
- 2) 塩分の浸透を阻止ないしは抑制するためには一般に次に示す事項に対して対策が施される。
 - ①鋼材のかぶりを増し、到達時間を遅らせる。
 - ②ひびわれを制御して浸透を抑制する。
 - ③コンクリートの品質を向上させ、浸透速度を抑える。
 - ④コンクリート表面被覆を行い、部材の表面で浸透を阻止ないし抑制する。
- 3) 鋼材に防食加工（エポキシ樹脂塗装鉄筋、プラスチックシース）等を施し、腐食を生じさせない。
- 4) 鋼材の代わりに腐食しない連続繊維補強材を使用する。
- 5) 電気防食等を行い、腐食反応を阻止ないしは抑制する。

これらの方法について現時点における信頼性および経済性等を検討した結果、本マニュアルでは以下に示す方針で塩害対策を行うこととした。

- 1) 鋼材の最小かぶりを従来より大きくする。
- 2) コンクリートのひびわれの発生を抑制する。
- 3) コンクリート材料中の塩分量を減ずる。
- 4) コンクリートの密実性を高める。
- 5) 防食性を高めるため施工上の配慮を行う。

各対策区分に対応する対策手法および手順のフローを図-解1.1.3に示す。

対策区分Sにおいては、非腐食鋼材の適用、コンクリートの表面塗装および電気防食の3種類の中から、表-解1.1.4に示すような維持管理手法を想定し、適切な対策手法を選択するのがよい。一般に

は、対策区分Sのような過酷環境下においても、かぶりを十分確保し、鋼材を腐食から保護するのが通常の対策手法である。鋼材の劣化因子である塩化物イオンは、時間の経過とともに表面からコンクリート中へ浸透する。その速度や濃度は、コンクリート表面の塩分濃度やコンクリートの品質によって異なるものの、ある時間が経過すればいずれ鋼材の腐食が始まる。ここで問題となるのはその時間であり、従来の既往の経験で知られているような数センチのかぶり厚では、きびしい環境に置かれた場合、数十年で鋼材の腐食が始まることが知られている。コンクリート表面における塩化物イオン濃度と浸透速度の関係や鋼材が腐食を開始する濃度などについては必ずしも十分解明されているとはいえないが、土木学会・平成11年版コンクリート標準示方書〔施工編〕では、簡易な手法を用いて、設計耐用期間に鋼材の腐食が生じることのないよう耐久設計を行うことや施工で用いるコンクリートの品質が耐久設計の仮定を上回るように義務づけている。これにより試算すれば、設計耐用年数を100年、環境条件を最も厳しい飛沫帯とした場合、その期間に鋼材の腐食が生じないための必要なかぶり厚さは、20cm以上必要となり、従来の断面よりは大幅に大きくなり、自重増加やかぶり部の自重による剥離や剥落、などの問題が生じることが予想され、現実的ではないと判断される。一方、シリカフュームや高炉スラグ微粉末などの粉体を混和材として用いてコンクリートの密実性を高め、塩化物イオンの浸透速度を遅くすることで耐久性を高める研究が行われているが、現在のところ必ずしも十分に性能を評価できるまでには至っていない。したがって、本マニュアルでは対策区分Sに該当する過酷環境下にある場合は、かぶりのみによる対策では困難と判断し、対策手法から除外することとした。

なお、対策区分I、またはIIでは、従来どおりかぶりによる対策手法も取り上げている。その際、かぶり厚の決定方法は、従来のみなし規定による決定方法と、上述したような塩化物イオンの侵入を見かけの拡散係数を用いて検討する簡易な方法、さらには鋼材腐食を引き起こす各種因子のコンクリート内移動を解析的に評価する精緻な方法などがある。

なお、非腐食鋼材としては、エポキシ樹脂塗装鉄筋、連続繊維補強材、エポキシ樹脂塗装PC鋼材、プラスチックシースなどがある。

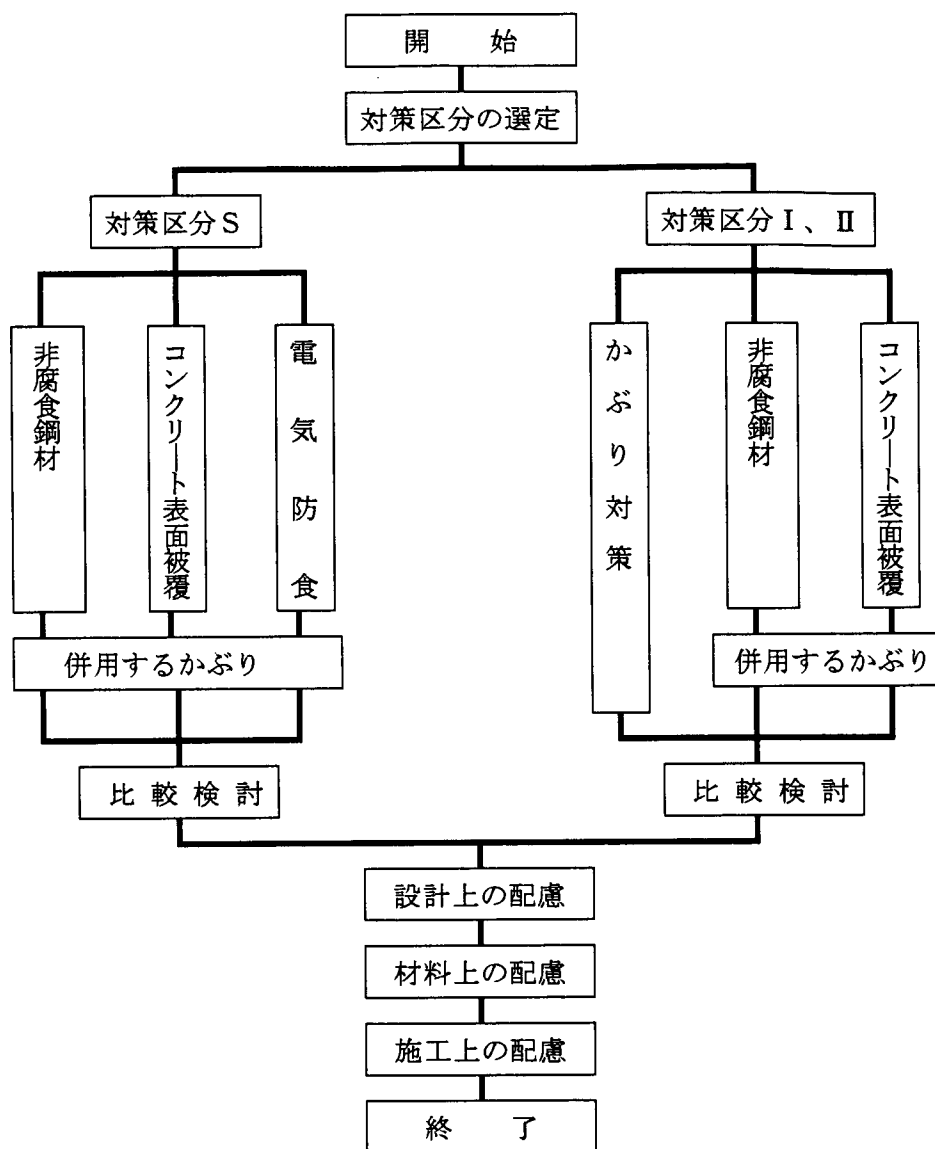


図-解1.1.3 塩害対策の工法および手法

各種の塩害対策を施した場合のかぶりは表-解1.1.4に示すとおりとする。なお、各種対策に使用する材料の品質は基準を満足するものであることを原則とする。

- 1) 電気防食：「新設コンクリート橋の電気防食マニュアル（案）」を参考にして行うものとする。
- 2) コンクリート表面被覆：日本道路協会「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」の付属資料「コンクリート塗装の設計・施工・品質基準（案）」に示す品質を満足するものである。
- 3) エポキシ樹脂塗装鉄筋：土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準」に適合したものであることを原則とする。エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリート部材の設計および施工については、

土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）」がある。

4) プラスチックシース：その品質、設計および施工については、プレストレスト・コンクリート建設業協会「ポリエチレン製シースの品質・設計・施工マニュアル(案)」がある。

5) 連続繊維補強材：その品質は土木学会「連続繊維補強材の品質規格（案）」に適合したものであることを原則とする。なお、連続繊維補強材の適用については土木学会「連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用」がある。

表-解1.1.4 各種対策方法を併用した場合のかぶり

対策方法	使用するかぶり			対策上の留意点	維持管理
	対策区分 S	対策区分 I	対策区分 II		
電気防食	3.5cm	—	—	・対策範囲（全面は不可能） ・メンテナンスおよび信頼性 ・施工性 ・電気システムの耐久性	・電流、電位のモニタリング（年1～2回程度） ・電気システムの更新（20年に1回程度）
コンクリート表面被覆	7cm	5cm	3.5cm	・対策範囲（全面は不可能） ・再塗装有無の判断 ・塗装のグレード ・施工時の第三者障害	・点検が必要 ・10年に1回程度更新
非腐食鋼材	7cm	5cm	3.5cm	・エポキシ樹脂の信頼性 ・新素材の材料特性 ・プラスチックシース併用	・定期点検

表-解1.1.5 かぶり対策によるかぶり

対策方法		使用するかぶり			対策上の留意点	維持管理
		対策区分 S	対策区分 I	対策区分 II		
かぶり	コンクリート*標準示方書	—	解析	解析	・重量増 ・かぶり部剥落	・点検が必要 ・必要に応じて健全度調査
	見なし規定	—	7cm	5cm	・確実なかぶり確保	

*【平成11年度版】コンクリート標準示方書—耐久性照査型—〔施工編〕土木学会

1. 1. 4 用語の定義

- (1) 海岸線：海岸保全施設設計便覧改訂版(土木学会：昭和58年度)の定義による。なお、護岸構造物等がなく海岸線が明確でない場合は、海岸保全区域の陸側境界線を海岸線とみなしてもよい。
- (2) エポキシ樹脂塗装鉄筋：静電粉体塗装法を用いてエポキシ樹脂塗装を施した鉄筋。エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質は土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質基準」に適合したものであることを原則とする。なお、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリート部材の設計および施工については、土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）」がある。
- (3) コンクリート表面被覆：腐食要因の遮断効果が期待できる材料でコンクリート表面を被覆すること。コンクリート中の鋼材の腐食を防止するためにコンクリート表面を被覆するもので、日本道路協会「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」の付属資料「コンクリート塗装の設計・施工・品質基準（案）」に示す品質を満足するものである。
- (4) プラスチックシース：ダクトを形成するためのプラスチックからなる筒。プラスチックシースの材質はポリエチレンから成り、その品質、設計および施工については、プレストレスト・コンクリート建設業協会「ポリエチレン製シースの品質・設計・施工マニュアル(案)」がある。
- (5) 連続繊維補強材：コンクリート補強用の連続した繊維（炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維等）に繊維結合材を含浸、硬化させて成形し、コンクリートを補強する目的で使用する一方向強化材や連続繊維のみをたばねた、または織ったもの。その品質は土木学会「連続繊維補強材の品質規格（案）」に適合したものであることを原則とする。なお、連続繊維補強材の適用については土木学会「連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用」がある。
- (6) 電気防食：鉄筋に直流電流を負荷することにより鉄筋の電位を実質的に腐食しない領域までシフトさせる方法。電気防食工は、「新設コンクリート橋の電気防食マニュアル（案）」を参考にして行うものとする。
- (7) エポキシ樹脂塗装PC鋼材：被覆材であるエポキシ樹脂を静電粉体塗装により鋼材に密着させたもの。
- (8) 永久型枠：コンクリート・ポリマー複合体からなる防食型枠で、内部コンクリートおよび鉄筋の保護層の役目をする。

1. 2 設計

1. 2. 1 一般

- (1) 塩害に対して耐久性のある構造物を実現するためには、設計の詳細、材料の選定および施工方法について、設計の段階において総合的に検討しなければならない。
- (2) 塩害対策において、設計で考慮する事項は、主に構造物の形状、鋼材のかぶり、コンクリートのひびわれとする。

[解説]

(1) 塩害対策として有効な材料にはエポキシ樹脂塗装鉄筋、エポキシ樹脂塗装P C鋼材、プラスチックシース等（ポリエチレン製シース）、亜鉛めっき鉄筋、連続繊維補強材、永久型枠等がある。これらの材料の使用にあたっては、構造物の置かれた環境、表-1.1.1 に示す対策区分を考慮して、適切に材料を選択し、さらに、使用期間に伴う材料特性の変化を考慮した設計をする必要がある。

また、コンクリート構造物は、施工の良否によって塩害の影響を受けやすいので、配筋作業や締固め作業の難易、密実なコンクリートの使用等施工を考慮した設計を行わなければならない。この他、環境条件の厳しい場所では、コンクリート表面被覆や電気防食等の対策を講ずる等、個々の構造物に対応した効率的な維持管理ができるよう設計する必要がある。なお、コンクリート表面被覆や電気防食を採用する場合に考慮すべき事項については、「第2章 塩害を受けたコンクリート構造物の調査および補修」に準ずるものとする。

(2) 設計において考慮する事項は、主に構造物の形状、鋼材のかぶり、ひびわれである。設計は、これらの項目について、構造物の置かれた環境、重要度を考慮し、また、場合によっては、新材料との組合せを行う等をして塩害対策を行うのが良い。

1. 2. 2 構造物の形状

構造物の各部は、塩分が容易に付着しない形状で、かつコンクリートの打込み、締固めが容易な形状とするのがよい。

[解説]

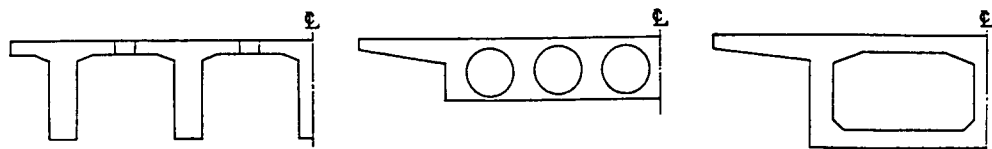
コンクリート橋の塩害による損傷は、一般に床版橋や箱げた橋に比べ、Tげた橋およびIげた橋に多く生じている。

また、構造各部の中で損傷は、けた下フランジ隅角部に多くみられる。これは、隅角部がコンクリートの打込み、締固め等施工上の弱点になり易いこと、および隅角部は水平・鉛直の2方向から塩分が浸透し、他の部分より塩分量の割合が大きくなることなどの理由によるものと考えられる。

したがって、塩害を受けにくい構造とするためには、図-解1.2.1に示すようにコンクリートの打込

みや締固めが容易な構造にするとともに、できるだけ隅角部を少なくし、塩分の付着面積を少なくするなどの配慮を行うことが望ましい。また、隅角部付近においては、鉄筋の曲げ半径を大きくとるなどしてかぶりを大きくする等配筋方法についても配慮することが望ましい。

橋面に波しぶきがかかるような橋梁では、海水が床版に浸透し、塩化物によって床版コンクリート中の鉄筋が腐食する可能性がある。したがって、床版上面に排水勾配をつけ、防水工を行う等配慮することが重要である。また、支承近傍においても同様の配慮することが望ましい。



〔出典：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説（社）日本道路協会〕

図-解1.2.1 塩害に配慮した構造例

1. 2. 3 鋼材のかぶり

(1) 鋼材のかぶりは、表-1.2.1 の値以上、かつ鉄筋の直径以上としなければならない。

表-1.2.1 最小かぶり (cm)

対策区分	上 部 構 造			下 部 構 造	
	床版下面 地覆・高欄	け た		梁	柱
		プレテンション方式によるプレキャストPCげた	左記以外のけた		
I	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0
II	4.0	3.5	5.0	5.0	5.0

(2) 鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋や、鉄筋の代替としての連続繊維補強材等を使用した場合、また、緊張材に連続繊維補強材を使用した場合、さらに、コンクリート表面被覆を行った場合等のかぶりは、防食処理を行っているので道路橋示方書の規定値としてよい。

ただし、エポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いる場合には、ポストテンションげたについてはプラスチックシースを、プレテンションげたについては連続繊維補強材等を緊張材としてそれぞれ併用して用いることを原則とする。

(3) この規定は、コンクリート部材内部に配置される主鉄筋、スターラップ、組立て用鉄筋、PC

鋼材、シースおよび定着具をはじめ施工用補助鋼材等すべての鋼材に適用する。

【解説】

(1) 鋼材を被覆しているかぶり部分のコンクリートは、表面より浸透し、鋼材の腐食を発生させる原因となる塩分、酸素、水を遮へいする機能を有する。このため、コンクリートはできるだけ空隙の少ない密実な品質であることのほか、通常よりかぶりを大きくすることが防食上有利となる。

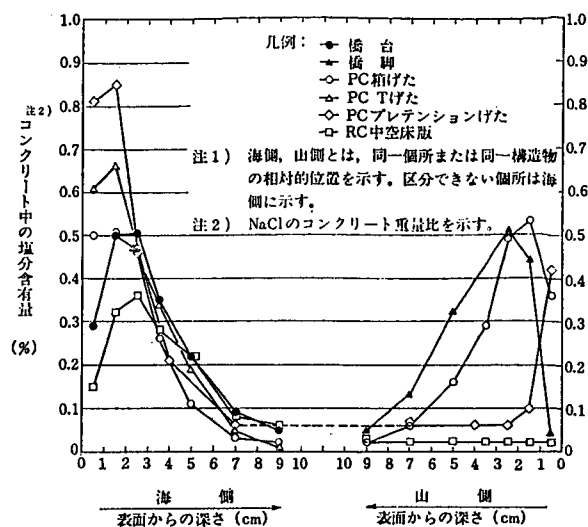
コンクリート構造物において、塩害環境下では、まず、かぶりが少ない鉄筋や金属製スペーサーなどの鋼材が発錆し、コンクリートのはくり、ひびわれが生じるが、従来の設計かぶり（塩害を考慮していないかぶり）が確保されていても、鋼材が腐食している場合も認められている。

また、図解-1.2.1 に建設後約10年間経過した橋梁について、コンクリート中の塩分量を測定した結果を示しているが、年が経過するとともに外部からの塩分がコンクリート内部に浸透していることがわかる。以上のことから、鋼材のかぶりは、従来の値より大きくする必要があると考えられる。したがって、過去の塩害調査結果等に基づいて総合的に判断し、鋼材のかぶりは塩害環境の厳しさに対して設定された対策区分に応じて表-1.2.1 のように規定したものである。表中に示す対策区分Sについては、対策区分Iのなかでも直接海水飛沫を受ける等厳しい環境に対処するために設定された区分で、鋼材の防食性能を対策区分Iよりさらに向上させるため、かぶりを規定するとともに防食材を併用して用いることとした。

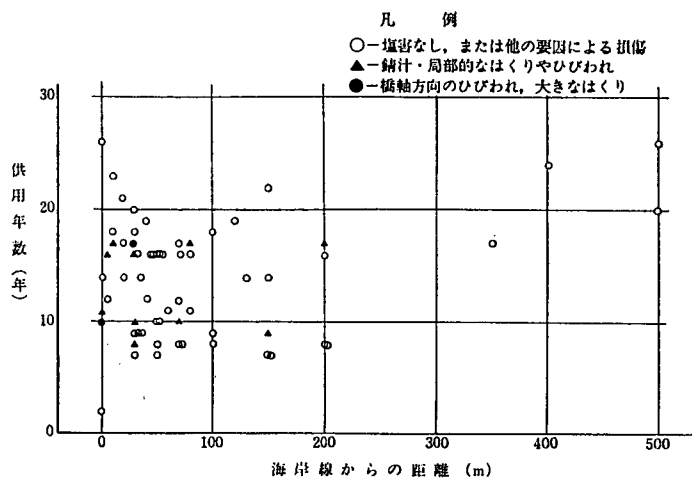
なお、表-1.2.1 において、床版は張出し部分を除き被害例が比較的少ないことから、他の部材に対して1段階下げた値とし、地覆・高欄についてもこれに準ずることとした。

また、プレテンションげたも、ポストテンションげたやRCけた等の他のけたと比較して損傷が少なかったので（図解1.1.1、図解1.1.2、図解1.2.2、図解1.2.3、図解1.2.4）、表-1.2.1 の最小かぶりの規定を1段階小さな値とした。損傷が少なかった理由としては、工場製作によるため十分な施工管理が期待でき施工誤差が少ないことおよび水セメント比の小さい高強度のコンクリートが使用されていることなどがあげられる。なお、塩害の影響をほとんど受けない区分は、道路橋示方書の規定値と同じかぶりとした。

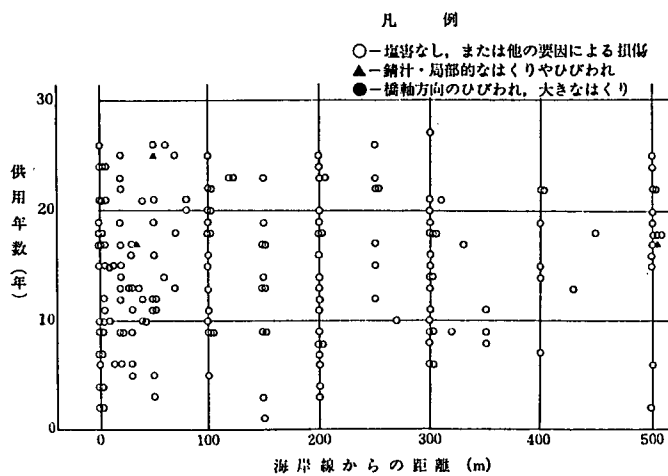
このほか、PC鋼材は鉄筋に比べて腐食の影響が大きいので、最小かぶりを鉄筋より大きくとることが望ましいと考えられるが、通常は、スターラップの内側に配置されているので、鉄筋の最小かぶりの規定値よりも1.0～1.5 cm以上大きなかぶりとなる。したがって、特に鋼材のかぶりについては、規定しないこととした。



(出典：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説 (社)日本道路協会)
図-解1.2.2 コンクリート中の塩分量測定例



(出典：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説 (社)日本道路協会)
図-解1.2.3 プレテンションげたの塩害状況(地域区分AおよびB)



(出典：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説 (社)日本道路協会)
図-解1.2.4 プレテンションげたの塩害状況(地域区分C)

(2) エポキシ樹脂塗装鉄筋やコンクリート表面被覆を用いる方法による場合には、かぶりを特に大きくする必要がないので、道路橋示方書の規定を適用するものとした。ただし、連続繊維補強材は一般に耐食性に優れているので、これを鉄筋の代替材もしくは緊張材として用いることは塩害に対して有効な手段となる。その使用にあたっては、特に塩害について考慮する必要はなく、一般の環境と見なし、道路橋示方書の規定によるかぶり厚と同じとした。（関連基準：土木学会コンクリートライブラリー88「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」）

ただし、これら防食材を用いる場合は、次のことを考慮するものとする。一般に鉄筋、P C鋼材、シースは各々接触しており、塩害により鉄筋が腐食すればシース、P C鋼材まで影響を受ける。したがって、表-解1.2.1 に示すようにプレテンションげたで防食鉄筋を用いる場合は、防食緊張材を用い、ポストテンションげたで防食鉄筋を用いる場合は、プラスチックシースを用い、防食性能を確実に発揮できるように規定した。この場合、ポストテンションげたのP C鋼材については特に規定していないが、特別に環境の厳しい場合においては、エポキシ樹脂塗装P C鋼材や連続繊維補強材等の防食緊張材を用い、さらに防食性能を高めるのがよい。

なお、エポキシ樹脂塗装P C鋼材を用いる場合、防錆効果が確認されているものについては、一般の環境とみなしてよく、道路橋示方書の規定によるものとした。ただし、使用に際してはそれぞれの関連する規準等を参照するものとする。

表-解1.2.1 防食材料の組み合わせ

ケース	防 食 材 料		
	鉄 筋	シース	P C鋼材
表面被覆	特に規定なし	特に規定なし	特に規定なし
ポストテンションげた	エポキシ樹脂塗装鉄筋等の防食鉄筋	プラスチックシース	特に規定なし
プレテンションげた	エポキシ樹脂塗装鉄筋等の防食鉄筋	————	連続繊維補強材等の防食緊張材

1. 2. 4 コンクリートのひびわれ

コンクリート構造物の設計にあたっては、コンクリートに有害なひびわれが発生しないように配慮しなければならない。

【解説】

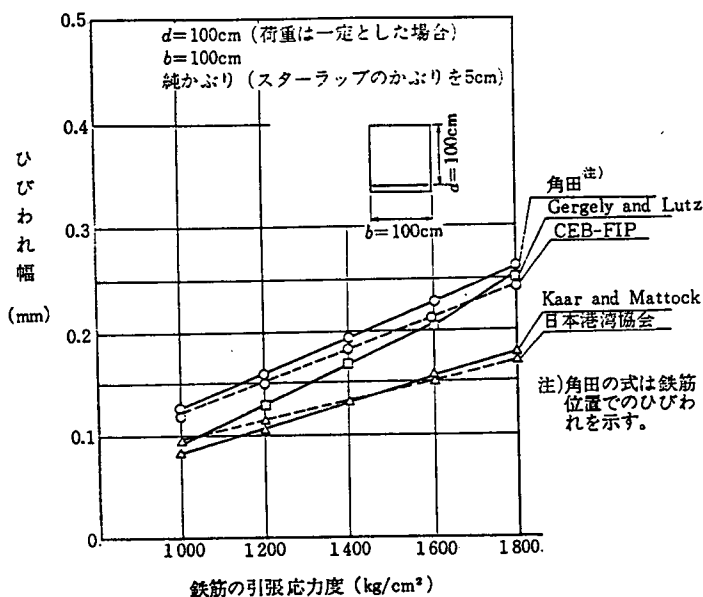
一般に、表面のひびわれ幅が小さいほどコンクリート内部の鋼材は腐食しにくく、また発錆までの期間は長くなる。したがって、塩害対策としてはひびわれを生じさせないようにするのが最もよいが、

コンクリートは引張強度が小さく、乾燥収縮、施工等種々の要因によりひびわれの発生を完全に防止することはできない。

ひびわれ幅の許容値をどの程度にするかは難しい問題であるが、これまでの各種の調査結果から判断すると、ひびわれ幅0.1 mmないし0.2 mm程度が有害な腐食の分岐点とみなしてもよいと考えられる。

また、ひびわれ幅と鉄筋の応力度や配置等との関係式は、CEB-FIPの式、Gergely-Lutzの式、あるいは角田の式等多数提案されているが、どの式も図解-1.2.5の計算例に示すように、ひびわれ幅は鉄筋応力度に比例して大きくなっている。したがって、ひびわれ幅を低減させるための一般的な方法は、常時作用する荷重に対して鉄筋の許容応力度を低く規制するか、あるいはプレストレスを導入することが有効であると考えられる。

現在、道路橋示方書Ⅲ「3.2.2 鉄筋の許容応力度」の解説では、死荷重のみが作用するときの鉄筋の応力度は、98 N/mm²以下とすることが望ましいとしている。したがって、本マニュアルが適用される構造物においても、プレストレストコンクリートとするか、あるいは鉄筋コンクリートとする場合は、死荷重による鉄筋の応力度を98 N/mm²程度以下にして有害なひびわれの発生を防止するのがよい。また、エポキシ樹脂塗装鉄筋やコンクリート表面被覆の使用は、有害なひびわれに対して効果があり、施工実績も多く見られるが、死荷重による鉄筋の許容応力度は上述と同程度としておくのがよい。



[出典：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説 (社)日本道路協会]

図-解1.2.5 ひびわれ幅と鉄筋の引張応力度の試算例

1. 3 材料

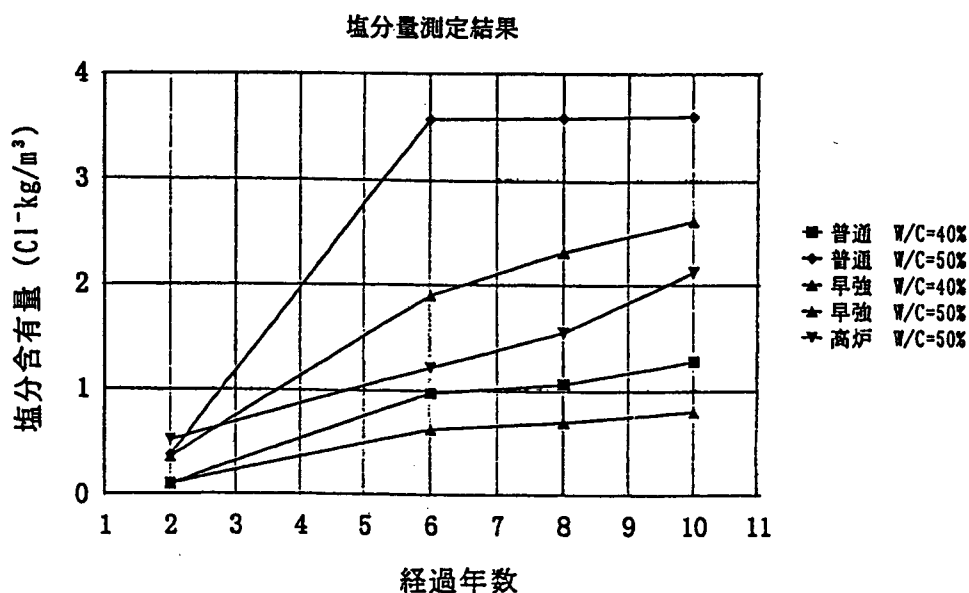
1. 3. 1 コンクリート

- (1)セメントは、原則としてJISに適合するポルトランドセメント、高炉セメントを用いるものとする。
- (2)コンクリートの水セメント比は50%以下を標準とする。
- (3)コンクリートのスランブは8 cmを標準とする。
- (4)コンクリートに用いる水、骨材、混和材料は、有害な塩分量を含んではならない。

[解説]

(1) 海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書（飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究 第2分科会）※（以後、海洋暴露試験とする）では、図-解1.3.1に示すように普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメントで暴露試験を行っている。コンクリート中に浸透する塩化物の含有量は水セメント比50%のもので高炉セメントが少なく、早強セメント、普通セメントの順に多くなる結果となっている。自然電位分布については、セメントの種類の違いによる電位の差は小さい。

暴露試験が12年経過してひびわれや錆汁あるいは欠落・はくりなどが発生している試験体もあるが、これらはごく軽微なものでありコンクリート種別による変状の差はほとんど見られない。よって、JISに適合するセメントを用いれば問題はないと考えられる。



暴露位置はHWLより1250 mm、表面から3 cmの位置

図-解1.3.1 塩分量測定結果※

(2) 海洋暴露試験では3種類のセメントにおいて水セメント比を40%、50%とし試験体を製作し、暴露試験を行っている。表-解1.3.1および図-解1.3.2はその結果を示したものであるが、どのセメントに

おいても水セメント比が小さいほど塩分浸透深さは小さくなっている。暴露期間12年の試験体のなかで塩分が最も深部へ到達しているものは、水セメント比が最大の50%の試験体である。コンクリート表面から4~7 cmの範囲では塩分0.61~0.97 Cl⁻kg/m³である。水セメント比40%の試験体は、4~7 cmの深度ではほとんど塩分は到達していない。また、シリカフューム (W/C=30%) の試験体は、表面から2 cm以深では塩分がほとんど到達していない。

ACIやFIPの海洋コンクリートに関する基準で、最大水セメント比は45%の記述が見られるが、海洋暴露試験の結果を考慮し水セメント比は50%以下を標準とした。なお、高流動コンクリートについては、別途考慮する。

表-解1.3.1 平均塩分含有量の分布 (暴露12年) ※

セメントの種類	水セメント比 (%)	塩分含有量(Cl ⁻ kg/m ³)			
		コア切断箇所			
		0~1cm	1~2cm	2~4cm	4~7cm
普通	40	7.931	2.879	0.447	0.100
早強	40	8.108	3.290	0.870	0.300
早強	50	9.811	8.401	5.288	0.976
普通	50	11.104	6.698	2.726	0.917
高炉B	50	11.211	7.520	1.692	0.609
シリカ	30	9.238	0.888	0.382	0.241

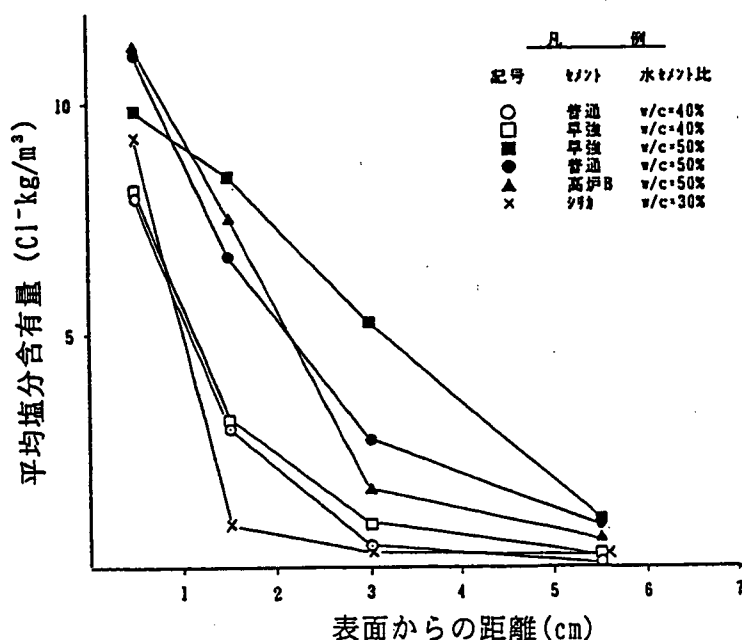


図-解1.3.2 平均塩分含有量の分布 (暴露12年) ※

※ 建設省土木研究所材料施工部化学研究室、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会が昭和59年より静岡県駿河湾大井川沖で共同で行っている暴露試験

(3) 海洋暴露試験ではシリカフュームを用いたコンクリート以外の試験体では実測スランプは6~8cmであった。これらの試験体のなかで乾燥収縮によるひびわれと考えられる試験体もあり、コンクリートの乾燥収縮量を小さくし、かつコンクリートを密実にすることが大切である。そこで、本マニュアルでは道路橋の塩害対策指針（案）・同解説と同様に、スランプは8 cmを標準とすることとした。また、流動化剤等を用いる場合でも同様に、ベースコンクリートのスランプは8 cmとした。なお、高流動コンクリートについては別途考慮する。

1. 3. 2 鋼材およびシース

- (1) 対策区分 S においてはエポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いるものとする。対策区分 I で、かぶりが確保できない場合や海水飛沫がある場合はエポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いるものとする。その他の対策区分においてもかぶりを確保できない場合もエポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いるものとする。
- (2) エポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いる場合のシースはプラスチックシースを用いることを原則とする。

[解説]

(1) 海洋暴露試験の外観調査で、直接波浪が作用する環境に暴露された試験体のなかには種々の要因から、その中央付近にひびわれが発生しているものもある。直接海水が付着するなど、海水飛沫の厳しい対策区分 S ではエポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いるものとした。対策区分 I の場合でも環境条件によっては海水飛沫が見られる場合もあり、このような環境条件に建設される場合はエポキシ樹脂塗装鉄筋等を用いるものとした。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は静電粉体塗装により塗装厚 $200 \pm 50 \mu\text{m}$ のエポキシ樹脂塗装を施した鉄筋である。防錆処理を施した鉄筋には他に亜鉛めっき鉄筋もある。土木学会コンクリートライブラリー58号に示される、エポキシ樹脂塗装鉄筋に要求される品質と検査を示す。

1) 品質

- ① 耐久性・・・外観、塗膜厚、ピンホール数、耐アルカリ性、耐食性
- ② 施工性・・・曲げ加工性、耐衝撃性
- ③ 設計・・・付着強度

2) 検査

検査は事前検査、ロット検査、定期検査の3種類に分類される。各試験と試験項目との関係を以下に示す。

- ① 事前検査・・・・・・全項目
- ② ロット検査・・・・・・外観、塗膜厚、ピンホール数、曲げ加工性、耐食性
- ③ 定期検査・・・・・・耐アルカリ性、耐食性、付着強度

(2) 海洋暴露試験の暴露12年調査ではP C鋼材の腐食による錆汁は確認されていないが、塩分含有量分布状況や自然電位分布状況の調査結果からP C鋼材位置まで塩分が浸透していると判断できる。そのため、対策区分Sや対策区分Iにおいてエポキシ樹脂塗装鉄筋等を使用する場合はシースにもプラスチックシースを用いることを原則とした。

所定かぶりが確保できる場合でも、使用環境が厳しい状況においてはプラスチックシースを使用することが望ましい。プラスチックシースの一種であるポリエチレン製シースについては以下の項目が確認されており、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会でポリエチレン製シース実用化試験報告書(表-解1.3.2, 表-解1.3.3, 図-解1.3.3)が作成されている。

1) 温度変化に対する追従性

- ・温度変化によるひびわれ試験で、7～60℃の温度変化でもひびわれ発生がなかったことが確認されている。

2) 緊張時のすり減り抵抗性

- ・プラスチックシースの摩擦抵抗は鋼製シースの64%程度であり、緊張時の摩擦によりプラスチックシースの壁面に損傷の発生がないことが確認されている。

3) シースの付着性能

- ・押し抜きせん断試験で、プラスチックシースが鋼製シースと同程度の付着性能を有していることが確認されている。

4) ひびわれ挙動

- ・載荷ひびわれ挙動比較試験ではプラスチックシースおよび鋼製シースを使用したP Cげたのひびわれ発生挙動には大差ないことが確認されている。

5) 局所的な外力に対する耐荷力および曲率半径

- ・土木学会「コンクリート標準示方書 平成8年制定」施工編27章 27.10.4 シースの品質管理および検査について確認試験を行い、局所的な外力に対する耐荷力および曲率半径に関して問題がないことが確認されている。その他に鋼製シースにみられる電気溶接時の火花による「穴あき」もプラスチックシースには発生しないことが確認されている。

表-解1.3.2 ポリエチレン製シースの形状および品質基準（案）

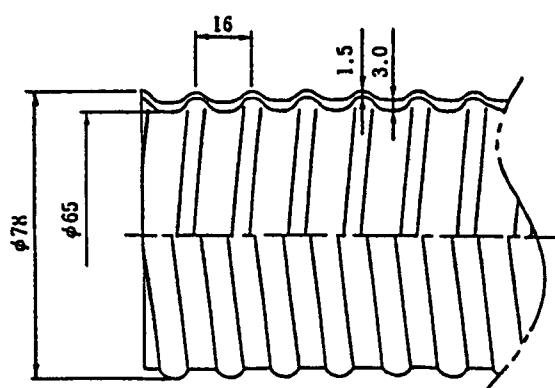
（出典：ポリエチレン製シース実用化試験報告書（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会）

項 目	特 性	備 考
密度(g/cm ³)	0.942以上	JIS K 6760
引張強さ (N/mm ²)	19.6 [200(kgf/cm ²)] 以上	JIS K 6760
引張破断伸び(%)	300以上	JIS K 6760
脆化温度(℃)	-60	JIS K 6723
熱膨張率(deg ⁻¹)	1.0×10 ⁻⁴	ASTM D 696
引裂強度 (N/mm ²)	16.7 [170(kgf/cm ²)]	ASTM K 1004
加熱老化抗張力残率(%)	80%以上	JIS K 6723 100℃×120hr
耐環境亀裂性(hr)	200 hr以上	modified ASTM D 1693 60

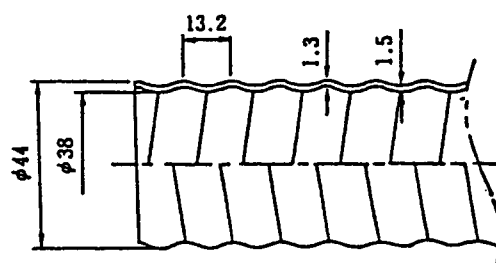
表-解1.3.3 ポリエチレン製シース

（出典：ポリエチレン製シース実用化試験報告書（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会）

シース幹部					ジョイントシース			
内径 (mm)	外径 (mm)	肉厚 (mm)	換算質量 (kg/m)	定尺長さ (m)	内径 (mm)	外径 (mm)	肉厚 (mm)	長さ (m)
38	44	1.3～1.5	0.21	4.0	43	49	1.3～1.5	200
65	78	1.3～3.0	0.55	4.0	75	85.8	1.4～2.2	220



φ65 ポリエチレン製シース



φ38 ポリエチレン製シース

（出典：ポリエチレン製シース実用化試験報告書（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会）

図-解1.3.3 ポリエチレン製シースの形状

1. 3. 3 その他の材料

その他の材料としては以下に示すものがある。

- (1) エポキシ樹脂塗装P C鋼材
- (2) 連続繊維補強材
- (3) 永久型枠

[解説]

(1) エポキシ樹脂塗装鉄筋と同様にエポキシ樹脂塗装P C鋼材も有効な材料の一つである。エポキシ樹脂塗装P C鋼材は500～600 μ mのエポキシ樹脂塗装を施した鋼材であり、その使用に際しては定着具の防錆等の配慮が必要となる。

(2) 連続繊維補強材は、単独あるいは従来のP C鋼材や鉄筋などと併用して用いられている。鉄筋と併用する場合はエポキシ樹脂塗装鉄筋と併用する。連続繊維補強材としては炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などがよく用いられる。連続繊維補強材はまだ新しい材料であるため、使用実績の少ない種類や品質のものもあり、使用効果を高めるには品質の確かなものを使用する。

(3) コンクリート構造物に適用される塩害対策工法として永久型枠を用いる工法もある。型枠に使用する材料は、普通コンクリートの他にポリマーセメントコンクリート、GRC（ガラス繊維補強コンクリート）、PIC（ポリマー含浸コンクリート）、CFRP（炭素繊維補強コンクリート）などがある。永久型枠は構造部材として考慮する場合と考慮しない場合がある。15～20 mm程度の薄い永久型枠は構造部材として考慮しない場合が多い。

1. 4 施工

1. 4. 1 エポキシ樹脂塗装鉄筋・プラスチックシースの施工

- (1) エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工時においては塗装面を傷つけないように十分注意しなければならない。
- (2) プラスチックシースの接合部はシース内にセメントペーストが流入しないように確実に組み立てるものとする。

[解説]

(1) エポキシ樹脂塗装鉄筋の切断には塗膜に損傷を与えないような治具を用いる必要がある。曲げ加工は5℃以上の気温で加工することを原則とし、5℃以下で加工する場合は周囲の温度を高くする等の対策を講じることが望ましい。エポキシ樹脂塗装鉄筋は滑りやすく結束方法によっては堅固に組み立てるのが困難な場合がある。そのため二方向のたすき掛けに結束したり、結束数を多くする。塗膜の損傷箇所や切断部は有害な錆が発生する前に補修用材料で補修を行う。塗膜の損傷を発見するための検査方法としては目視検査とする。

(2) プラスチックシースは鋼製シースに比べ肉厚が厚いため、特に接続部の保持鉄筋の高さ管理には注意する。プラスチックシースの接続部は粘着性テープを巻くことによりセメントペーストがシース内に流入しないようにする。ブロックげたにプラスチックシースを用いる場合、ブロック目地部の施工は入念に行う。

1. 4. 2 PCグラウト

- (1) 使用するセメント、水、混和剤には有害な塩分量を含んではならない。
- (2) ノンブリージング粘性タイプを使用することを原則とする。
- (3) 作業は適切な訓練を受けた者が実施することを原則とする。

[解説]

(3) 高品質のPCグラウトを得るためには、作業者の技量が高い水準に達していることが不可欠である。確実なグラウトは作業手順の確実さと適切な訓練が必要である。

1. 4. 3 その他

- (1) 添加物、足場取り付けに使用するインサートはセラミックス製のものを使用する。
- (2) スペーサーはモルタル製のものを使用する。
- (3) 型枠セパレーターは防錆処理を施したものを使用する。

(4) 緊張部の後埋め部分の施工ではP C鋼材定着具の防錆等に十分な配慮を行う。

〔解説〕

- (1) 添加物の取り付けや施工時に必要なインサートは錆を発生させないセラミックス製のものを使用することとした。
- (2) モルタル製スペーサーは本体コンクリートと同等以上の品質を有するものを使用する。プラスチック製スペーサーは軽量で錆びることはないが、コンクリートとの熱膨張率の相違により一体性に欠ける。ステンレス製は異種金属間接触腐食などの問題点があるため、本マニュアルでは使用しないこととした。
- (3) 型枠セパレーター部の鋼材が腐食し、構造物の弱点となることも多い。本マニュアルではセパレーターについても防錆処理を施したものを使用することとした。
- (4) 緊張部ではけた部分のコンクリートと後埋めコンクリートの継ぎ目から塩分等の浸透が考えられる。そこで、P C鋼材定着具に防錆剤の塗布等の防錆処理を行うことが望ましい。

1. 5 支承，橋梁付属物，橋面

1. 5. 1 支 承

支承は、塩害対策を行ったコンクリート構造物と同等以上の耐久性を確保するものとする。

[解説]

支承が設置される個所は、一般に風通しが悪く、また目地部からの漏水などにより腐食し易い条件となっている。したがって、塩害対策を行う橋梁に鋼製支承を用いる場合は、風通しをよくするなど環境の改善をはかるとともに、高い防食性能を有する方法を用いて防食を行う必要がある。また、鋼製支承の場合、日常の維持点検管理が耐久性を高めるうえで効果が大きいので、以下の要領で点検管理を行うことが望ましい。

- 1) 定期点検
- 2) 定期的な支承周辺の清掃
- 3) 発錆部の部分的な早期補修塗り
- 4) 付近の鋼橋と同程度の期間で全面塗替え

なお、ゴム支承の鋼製金物についても同様に扱うことが望ましい。

このほか、点検管理のための検査路等の点検用設備についても、その設置に十分配慮することが望ましい。

1. 5. 2 橋梁付属物

橋梁付属物は、コンクリート構造物の耐久性を損なわないよう適切に配慮するものとする。

[解説]

排水管、鋼製高欄、防音壁等の橋梁付属物は、一般に鋼製の取付け金具にてコンクリート構造物に設置される。したがって、これらの金具についても適切に防錆処理を行うとともに、設置位置等も配慮し、コンクリート構造物の耐久性を損なわないようにする必要がある。

伸縮継手および落橋防止装置については、高い防食性能を有する方法を用いて防食を行うか、あるいは耐食性に優れた材質のものを使用する必要がある。

1. 5. 3 橋 面

橋面に波しぶきがかかる場合は、床版上面に適切な橋面防水工を行うものとする。

〔解説〕

塩害環境下の橋梁では、橋面からの漏水中にも塩分が含まれる場合が多く、下面部からの飛来塩分を遮断しても橋面からの浸透を防止しなければ効果が上がらない。

健全なアスファルト舗装は、かなりの防水性を有している。しかし、実際の橋梁では舗装のひびわれあるいは路肩や中央分離帯で舗装との境界などがあるため、アスファルト層だけではコンクリート床版面への水の浸透を完全に防止することは難しいといえる。したがって、橋面に波しぶきがかかるような橋梁では、海水が床版に浸透し、塩化物によって床版コンクリート中の鉄筋が腐食する可能性がある。このような場合の耐久性を考慮して、全面に橋面防水工を施工することが望ましいとした。

橋面防水工の選定にあたっては、日本道路協会「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料」を参考とする。

第2章 塩害を受けたコンクリート橋の調査および補修

2. 1 総則

2. 1. 1 適用の範囲

本章は、塩害損傷を受けた既設コンクリート橋における調査および補修に適用する。

[解説]

本マニュアルは、定期点検を通して既設コンクリート橋の塩害の有無を確認し、塩害が発生しているならば詳細調査における劣化度を点数評価し、その点数により補修方法を選定できるようになっている。また、補修後の状況についても追跡点検により評価できるようになっている。しかし、塩害劣化の評価と補修は、コンクリート橋の環境、経年数、施工方法、今後のコンクリート橋のあり方および社会情勢等の事項も考慮の上、最終的な決定をすることが肝要である。なお、補強および取替のような大規模な対策には、本マニュアルは適用範囲外とした。

また、本マニュアルに規定していない事項については、必要に応じて下記の技術基準等を参考に検討することが望ましい。

- ・「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（日本道路協会）昭和59年2月
- ・「維持修繕要領・橋梁編」（日本道路公団）昭和63年5月
- ・「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）平成8年12月
- ・「塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」（コンクリートの耐久性向上技術の開発・土木研究センター）平成元年5月
- ・「コンクリート構造物の表面保護工便覧（案）・同解説」（阪神高速道路公団、日本材料学会）平成元年3月
- ・「建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果）アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）」平成元年5月
- ・「塩害調査手引き（案）」（北陸自動車道コンクリート橋塩害対策検討（その3）報告書・日本道路公団金沢管理局）平成5年3月
- ・「塩害補修手引き（案）」（北陸自動車道コンクリート橋塩害対策検討（その3）報告書・日本道路公団金沢管理局）平成5年3月
- ・「コンクリート橋塩害調査マニュアル（案）」（沖縄開発庁開発建設部）平成8年4月
- ・「コンクリート橋塩害補修設計マニュアル（案）」（沖縄開発庁開発建設部）平成8年4月
- ・「劣化防止・補修マニュアル（案）」（港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する技術調査・（財）沿岸開発技術研究センター）昭和62年9月

2. 1. 2 用語の定義

- (1) 塩 害 補 修：コンクリート中の塩素イオン量が 0.3 kg/m^3 を超え、外観に変状を生じて損傷し、塩害進展期から劣化期へと進む可能性の高いコンクリート橋に対して行うもので、耐久性の向上を図る。
- (2) 定 期 点 検：損傷の早期発見を図るため定期的実施するもので、詳細調査の必要性の判定を行う。
- (3) 詳 細 調 査：定期点検の結果を受け必要に応じて実施するもので、補修・補強の必要性の判定および補修の程度を決定する。
- (4) 追 跡 点 検：対策を実施したコンクリート橋に対して、外観観察および埋設照合電極による内部鉄筋の電位測定により補修効果を長期的に確認するものである。
- (5) 環 境 調 査：コンクリート橋の外的条件を把握するために実施する調査である。
- (6) 外 観 調 査：目視によりコンクリート橋の状況を外的に把握する調査であり、ひびわれ図の作成などがこれに当たる。
- (7) た た き 調 査：コンクリート橋に直接接触してコンクリート面をたたき、目視では判断しにくい浮き・はくり等の損傷を定量的把握するための調査である。
- (8) 含有塩分量調査：コンクリート中の塩化物量を測定するものである。
- (9) は つ り 調 査：コンクリート橋のかぶりコンクリートを取り除いて鉄筋を露出させ、鉄筋の腐食程度とかぶりを確認するための調査である。
- (10) 自然電位調査：コンクリート中の鉄筋の電位を測定し、鉄筋の腐食状況を把握する非破壊試験である。
- (11) 補 修 設 計：コンクリート橋の補修に際して、その目的と程度に応じた適切な材料と工法を選定し、計画を行うものである。
- (12) 補 修 工 事：決定された補修設計にしたがって、補修作業を確実に実施するものである。
- (13) 軽 微 な 補 修：コンクリート中の含有塩分量の蓄積が少なく、外観変状がほとんど認められない軽度な損傷に対する補修で、劣化度の判定において総合評価が3点以下の場合の補修である。表面被覆工を指す。
- (14) 補 修：コンクリート中の含有塩分量の蓄積が多く、外観変状が著しい重度な損傷に対する補修で、劣化度の判定において総合評価が4点以上22点以下の場合の補修である。表面被覆工と断面修復工の併用補修とする。
- (15) 表 面 被 覆 工：塗装工あるいはライニング工とも呼ばれている工法で、腐食要因の遮断効果やコンクリートのひびわれに対する追従性が期待できる材料でコンクリート表面を被覆する工法である。

- (16)素 地 調 整 工：コンクリート表面に付着している塩分の除去、およびコンクリート表面の脆弱部の除去を目的として実施されるもので、ブラスト等により素地を調整する工法である。
- (17)下 地 処 理 工：素地調整後にコンクリート表面に現れる気泡、豆板、凹凸等を修正し、平滑面に処理する工法である。
- (18)断 面 修 復 工：内部鋼材の腐食膨張により欠損したコンクリートの断面を修復する工法で、その程度および工法に応じて、小断面修復工と大断面修復工に分けられる。
- (19)小 断 面 修 復 工：一般に欠損部分が比較的小さな場合で、型枠を用いないコテ仕上げ等によるモルタル工法がこれに相当する。
- (20)大 断 面 修 復 工：一般に欠損部分が比較的大きな場合で、型枠使用の打継ぎコンクリート工法がこれに相当する。
- (21)打 継 ぎ
コンクリート工法：設置した型枠内にコンクリートを充填する工法である。
- (22)モ ル タ ル 工 法：コテ、ヘラあるいは指によってモルタル等を塗り込む工法である。
- (23)電 気 防 食 工 法：鉄筋に直流電流を負荷することにより鉄筋の電位を実質的に腐食しない領域までシフトさせる工法。

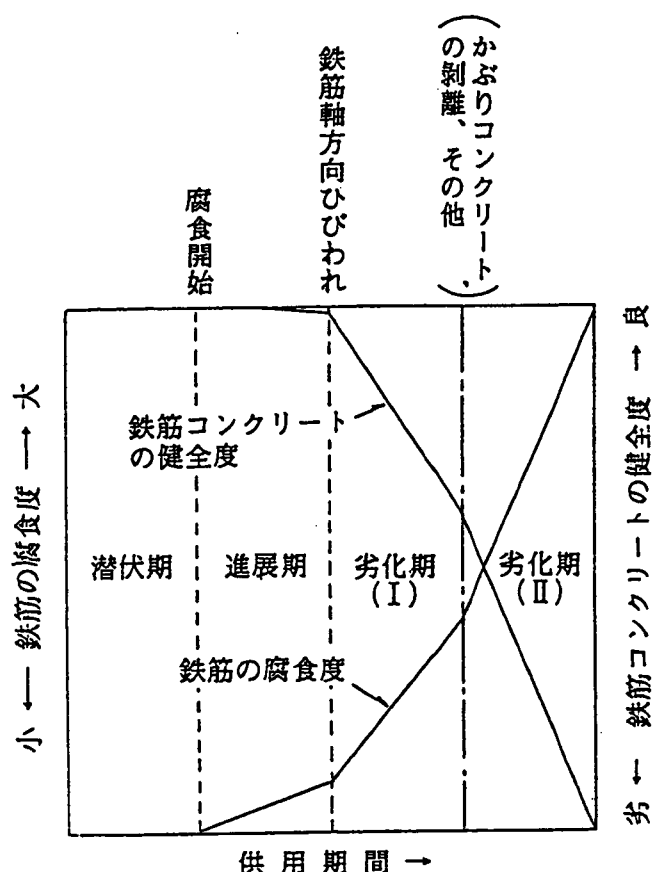
2. 1. 3 補修の目的

塩害がコンクリート橋に及ぼす影響は、橋梁の耐荷力を低下させるなど致命的な損傷に至る進行性のものであり、塩害補修はこのような損傷状況になる以前に実施し、コンクリート橋の耐久性を向上させることを目的とする。

[解説]

塩害補修は、コンクリート中の含有塩分量の蓄積が少なく、外観変状がほとんど認められない軽度な損傷に対する補修（軽補修）と、コンクリート中の含有塩分量の蓄積が多く、外観変状が著しい重度な損傷に対する補修（重補修、電気防食）とに分けられる。

特に、後者は、コンクリートの表面被覆、断面修復および電気防食の組み合わせを標準とした対策で、コンクリート中に浸透した塩素イオン量が 0.3 kg/m^3 を超え、外観に変状を生じて損傷し、図-解2.1.1 に示す進展期から劣化期へと進む可能性の高いコンクリート橋に対して行うもので、耐久性の向上を図るものである。



内容		
項目	腐食現象	機能損傷
潜伏期	かぶりコンクリート中への塩素イオンの浸透、蓄積	健全
進展期	- 腐食生成物の生成、蓄積 - 鉄筋軸方向ひびわれ(内部)のかぶりコンクリート表面への進展	ほぼ健全
劣化期	- かぶりコンクリート表面における鉄筋軸方向ひびわれの発生、伸展 - 腐食生成物の流出 - かぶりコンクリートのはく落	- かぶりコンクリート表面と鉄筋との一体性消失 - 破壊型式の変化 - 耐力の低下

(出典：耐久性の評価 既存橋梁の耐荷力と耐久性、土木学会関西支部、宮川豊章、1985. 7)

図-解2. 1. 1 鉄筋コンクリート構造物の腐食劣化過程

2. 1. 4 補修の基本

- (1)点検、調査で、コンクリート橋に損傷が認められ、補修が必要と判断された場合は、速やかに補修を行うものとする。
- (2)補修は、点検、調査による劣化度判定をもとに、適切な補修工法および補修材料を選定するものとする。
- (3)補修後は、原則として追跡点検を行うものとする。

[解説]

補修は、点検および調査などの業務と連携を図って実施しなければならない。点検、調査、補修の業務間の流れを図-解2. 1. 2に示す。

定期点検の評価がN0であり詳細調査の必要が無いと判断されても、5～10年に一度は、詳細調査を実施するのが好ましい。

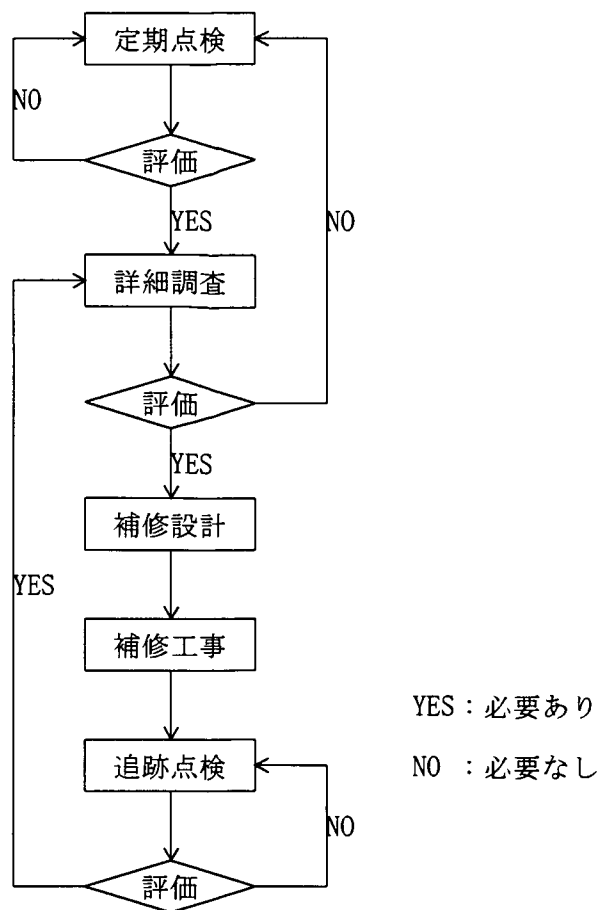


図-解2.1.2 塩害対策フローチャート

2. 2 点検・調査

2. 2. 1 一般

- (1) 点検・調査は、塩害環境下にある構造物の損傷現況を調査によりの確に把握し、劣化の程度・進行度を早期に発見するとともに、その進行程度から将来の状況を予測し、計画的に補修工事ができるように行う。
- (2) 点検・調査の実施にあたっては、既存の図書・補修経歴資料等を考慮して効率的かつ効果的に点検・調査が実施でき、複数の対象橋梁を考慮した全体計画書を立案・作成することが望ましい。

[解説]

- (1) 波しぶきが直接かかる構造物、飛来塩分の多い構造物は入念な点検が必要である。また、塩害によって劣化損傷が生じた場合、対策が遅れると補修に要する費用や労力が大きくなり、しかも補修効果は得られにくくなる。したがって、対象橋梁が所要の性能を満足するためには、期間ごとに点検・調査を実施すると共に、必要に応じて補修や補強などの対策を講じるのがよい。
- (2) 点検・調査にかかる費用を考慮すると一度に多くの橋梁に対し調査できない場合があるので、予め長期計画を立案し、効率的に実施する必要がある。地域区分、構造物の重要度、費用等によるランクづけを行い、劣化損傷の程度あるいは形態に応じた方法を用いて補修することが必要である。補修方法の選定等に点検結果が利用できるように、損傷度合いが同じ区間ごとに記録を行うとよい。

2. 2. 2 点検・調査の種類と点検・調査項目

- (1) 塩害に対する点検・調査の種類には、定期点検と詳細調査の2つがある。
- (2) 定期点検および詳細調査に対する点検・調査項目は、表-2.2.1 を標準とする。

表-2.2.1 点検・調査の種類と点検・調査項目

	定期点検	詳細調査
環 境 調 査	○	○
外 観 調 査	○	○
た た き 調 査	○	○
含有塩分量調査		○
は つ り 調 査		○
自然電位調査		○
か ぶ り		○
中 性 化		○

〔解説〕

(1) 定期点検とは、特に足場を設けないで行うものであり、損傷の早期発見を図るために定期的を実施するものである。定期点検は、簡易的な調査で、主としてハンマーによるたたき調査および目視による外観調査をいう。この定期点検の結果に基づき、点検の目的の一つである複数の橋梁の補修着工順序を決める。

詳細調査とは、一部もしくは全面に足場を設けて行うものであり、点検器械・器具を用い定期点検よりさらに詳しく調べる調査をいい、定期点検よりも点検頻度が少ない。この詳細調査により、補修の数量を算出し補修工法の選定を行う。また、定期点検やすでに補修を行った箇所の追跡点検において外観に変状が認められた場合にも詳細調査を実施する。

(2) 定期点検において実施する点検項目は、環境調査、外観調査、たたき調査を標準とする。詳細調査において実施する点検項目は、環境調査、外観調査、たたき調査のほか、含有塩分量調査、はつり調査、自然電位調査、かぶり、中性化、ひびわれ深さも実施することとした。

2. 2. 3 定期点検

定期点検は、表-2.2.2 に基づいて実施するものとする。

表-2.2.2 定期点検項目と点検方法

定期点検項目	定期点検方法	同一環境当たりの点検数量
環 境 調 査	設計図書、現地調査	全面
外 観 調 査 たたき調査	コンクリート表面のハンマーによるたたきと目視により、ひびわれ、錆汁、はくり、はく落、および鉄筋露出等の変状を、特に足場を使用しない程度に調査し構造物の展開図に記録する。	全面

〔解説〕

定期点検で行う環境調査は、海岸の距離、気温、湿度、風向き、風力等の自然条件およびコンクリートの品質、かぶり、鉄筋量、組立時のスペーサー、構造形式等の構造物の条件について調べる。外観調査については、漏水、錆汁、ひびわれ、浮き、はくり、はく落等を調査する。表-2.2.2 に示す同一環境当たりとは、補修対象とする構造物の種類や形状、環境条件、劣化状況により、例えば、1橋当たり、1径間当たり、1けた当たり等、各々決定するものとする。コンクリート構造物の塩害による劣化損傷の代表的なものは、錆汁、鋼材に沿ったひびわれ、コンクリートのはくりやはく落等で、床版下面、はり部材の下フランジの側面部および隅角部に多く発生することが多い。点検時は、これらの位置に注目し、接近可能な場合はたたき調査を行い、はくり等の確認を行うこととする。

2. 2. 4 詳細調査

詳細調査は、表-2.2.3 に基づいて実施するものとする。

表-2.2.3 詳細調査項目と方法

詳細調査項目	詳細調査方法	同一環境当たりの調査数量
環境調査	設計図書、現地調査（波しぶきがかかりやすい環境の調査）	
外観調査 たたき調査	たたきおよび目視により、ひびわれ、錆汁、はくり、および鉄筋露出等の変状を調査し、構造物の展開図に記録する。	全面
含有塩分量	含有塩分量の測定方法は、コア採取による電位差滴定法によるものとする（コンクリート工学協会の方法）。部位によってコア採取が困難な箇所については、電動ドリルにより試料を採取し、含有塩分量の測定を行う。この場合一箇所当たりの採取試料が少ないので、複数箇所から採取する。	3ヶ所
はつり調査	かぶり厚および鉄筋の腐食状況を調査し、ランクづけをする。また、フェノールフタレイン法によるコンクリートの中性化深さについてもあわせて行う。	
自然電位調査	コンクリートの内部鋼材の腐食状況を判定する非破壊試験である。自然電位調査は、電線の片側端末（+）を露出させた鉄筋（電極用鉄筋）に接続し、もう一方の電線端末（-）を照合電極に接続する。この照合電極をコンクリート表面に当て、電位差を測定する。照合電極としては一般には、飽和硫酸銅電極を用いるが、銀塩化銀電極、飽和甘汞電極等でも良い。この場合、測定した値を飽和硫酸銅電極の値に換算して評価を行う。	4 m ² ×3ヶ所

[解説]

詳細調査における「外観調査とたたき調査」の調査方法および調査内容は、定期点検と同じであるが、詳細調査においては確実な足場等を用いて、詳細に、丁寧に調査するものとする。詳細調査項目のうち、はつり調査では、かぶり厚の測定を行うが、はつりを行わない箇所のかぶりについては、電磁誘導法等による非破壊検査によって測定するものとする。また、はつり調査で鉄筋の腐食状況を調査し、ランク付けを行うが、例として表-解2.2.1 の判定基準がある。詳細調査にあたっては、調査の必要性を考慮して、調査区間、数量を決定する。含有塩分量調査、はつり調査、自然電位調査、かぶり、中性化については、表-2.2.3 に記す調査要領で行うものとする。また、自然電位調査方法を図-解2.2.1に示す。

表-解2.2.1 鉄筋腐食度のランク付け

腐食度	判定基準
A	腐食無し
B	ごく表面的な腐食
C	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
D	断面欠損が著しい腐食

(出典：建設省総合技術開発プロジェクト・コンクリートの耐久性向上技術の開発)

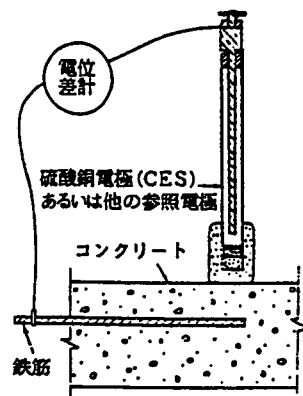


図-解2.2.1 自然電位測定概要

2.2.5 点検・調査頻度

定期点検および詳細調査の点検・調査頻度は、表-2.2.4 を標準とする。

表-2.2.4 点検・調査頻度

	点検頻度
定期点検	1回／1～3年
詳細調査	1回／5～10年、または異常時

[解説]

塩害は、橋梁の耐荷力を低下させるなど致命的な損傷に進展することから、この進行過程を把握し構造物の損傷度をとらえ、維持管理に役立てることが重要である。塩害による劣化損傷は、一旦発生すると損傷進行速度は早くなる傾向にある。塩害環境下にある場合は、少なくとも1年に1～3度程度点検を行う必要がある。新設橋梁についても外観上の変状が認められた場合は、手遅れとなるおそれがあるので早めに最初の点検を実施し、損傷があれば早期に対処するのがよい。地域区分、構造物の重要度、点検項目、費用等によるランク付け等調査の必要性を整理し、点検頻度を設定するのがよい。

2. 3 劣化度の評価と判定

2. 3. 1 一般

- (1) 本基準は、調査結果に基づいて塩害を受けたコンクリート橋の劣化度を評価・判定し、補修工法の選定を行うことを目的とする。
- (2) 塩害を受けたコンクリート橋の劣化状況は、定期点検結果および詳細調査結果に基づく評価・判定の2段階で実施するものとする。

[解説]

- (1) 塩害による損傷を受けた構造物は、その劣化過程にあわせて調査・補修を実施することが望ましい。
- (2) 定期点検項目および詳細調査項目に対する劣化評価の基準はA～Dの4段階とする。定期点検については、その4段階評価の結果によって詳細調査の要否を判定し、詳細調査については、各項目の4段階評価の点数の合計からその補修方法を判定する。なお、定期点検において異常が確認されたコンクリート橋は、補修工事の実施を前提とし、その着工手順を考慮しながら詳細調査を実施するのが望ましい。

2. 3. 2 劣化度の評価

(1) 定期点検の評価

定期点検による結果は、表-2.3.1 に基づいて評価するものとする。

表-2.3.1 定期点検による評価の基準

評価項目 区分	A	B	C	D
外 観 調 査 たたき調査	ひびわれは0.3mm以上のものを含み、多数発生している 鉄筋の腐食や浮き錆が多く見られる はくり、はく落が著しい	ひびわれは0.3mm以上のものを含み、かなり多く発生している 錆汁が多く見られる 一部にはくりやはく落が見られる	ひびわれは0.2mm以上のものを含み、やや多く発生している 一部に錆汁が見られる はくりの前兆であるコンクリートかぶりの浮きがみられる。ただし、はくりやはく落は無い	ひびわれは無い か、一部に0.2mm以下のものがみられる程度である 鉄筋の腐食は無い か、コンクリート表面に点錆が見られる程度である はくりやはく落は無い

(2) 詳細調査の評価

詳細調査による結果は、表-2.3.2 に基づいて評価するものとする。

表-2.3.2 詳細調査による評価の基準

評価 区分 項目	A	B	C	D
外 観 調 査 たたき調査	ひびわれは0.3mm以上 のものを含み、 多数発生している 鉄筋の腐食や浮き 錆が多く見られる はくり、はく落 が著しい	ひびわれは0.3mm以上 のものを含み、 かなり多く発生し ている 錆汁が多く見られ る 一部にはくりやは く落が見られる	ひびわれは0.2mm以上 のものを含み、 やや多く発生して いる 一部に錆汁が見ら れる はくりの前兆であ るコンクリートか ぶりの浮きが見ら れる はくりやはく落は 無い	ひびわれは無い か、一部に0.2mm以 下のものがみられ る程度である 鉄筋の腐食は無い か、コンクリート 表面に点錆が見ら れる程度である はくりやはく落は 無い
含有塩分量*	—	1.2 kg/m ³ 以上	1.2～0.3 kg/m ³	0.3 kg/m ³ 以下
はつり調査	鉄筋やP C鋼材の 腐食による破断、 およびその鋼材性 能がほとんど期待 できない程の激し い損傷がみられる	鉄筋やP C鋼材の 著しい腐食による 損傷がみられる	鉄筋やP C鋼材の 軽度な腐食による 損傷がみられる	鉄筋やP C鋼材の 腐食による損傷は みられない
自 然 電 位 調 査	—	－350mV未満	－350mV以上 －200mV未満	－200mV以上

*ここに示す塩分含有量の値は、鋼材位置の塩化物量を塩素イオン (Cl⁻) 量に換算した値である。

[解説]

(1) 定期点検における外観調査・たたき調査の評価方法の基本は、その区分の劣化状況がわずかでも確認されたなら、その測定箇所はその区分の劣化と評価する。つまり、区分Cを示す要素が一つでも確認できたならば、その評価はCとする。劣化を起こしている箇所は、詳細調査後、優先的に補修工事を着工して行くのが望ましい。

ひびわれは、ひびわれ幅の大きさとひびわれの発生量により評価する。ひびわれ幅には、コンクリート橋の性能と耐久性にとって問題になるものとあまり問題とならないものがある。本マニュアルにおいてはその両者ひびわれ幅の境界値を0.2 mmとした。また、対象となるコンクリート橋が、かなり深刻な劣化状態であることを示すひびわれ幅の値として0.3 mmを規定した。

錆汁の発生は、コンクリート橋内部の鋼材が発錆・腐食を引き起こしていることを示しており、さらに、鋼材断面欠損が進行していることも示している。

たたき調査において、たたき音に異常が確認されたならば、はくりの前兆であるかぶりコンクリートの浮きがあると考えられるので、外見上異常が認められなくても、その箇所の劣化評価には慎重な対応が必要である。

(2) 詳細調査の外観たたき調査は、(1)と同じである。ただし、これは定期点検の評価がD以外の場合に実施されるのでA～Cの3段階評価とし、定期点検の外観たたき調査よりも慎重かつ広範囲に調査するものとする。

コンクリート中の全塩化物量は、大即、佐伯、宮川、大和らの種々の実験によって、 $0.5 \sim 1.2 \text{ kg/m}^3$ を越えると錆が発生することが分かっており、また、渡辺らの報告によると、 0.35 kg/m^3 以下の場合にはP C鋼材に生ずる錆の進行は少なくなるとしている（コンクリートライブラリー No.61）。したがって、これら既往の研究や調査結果に基づき、鋼材の発錆限界量または鋼材発錆しても構造物の劣化を容認できる程度以下に抑え得る実現可能な値として、土木学会 コンクリート標準示方書において、建設時のフレッシュコンクリートでは、塩化物量の総量規制が敷かれており、その規制値は 0.3 kg/m^3 とされている。よって、本マニュアルにおいては、含有塩分量評価の区分を土木学会の規制値の 0.3 kg/m^3 と上記既往研究により発錆確実な数値である 1.2 kg/m^3 の値を基準に3段階に分類分けした。含有塩分量の評価を塩化物イオン量としたのは、実際に 鋼材の腐食に関与するのは塩化物中の塩素イオン (Cl^-) であること、塩化物に含まれている塩素イオンの割合は塩化物の種類によって相違すること、等を考慮して塩化物の量を塩素イオンに換算して表すこととした（コンクリート標準示方書）。

含有塩分量調査は、塩害対象地域の限られた数点でしか実施されていないこと、サンプリング方法によって測定点にばらつきが多いのでその実施にあたっては十分な注意を要する。

はつり調査は、鉄筋やP C鋼材の腐食状況を直接的に観察できるため、補修方法を含め判定しやすい調査項目である。また、はつり調査やはつりを伴う補修を実施した場合には、鋼材の腐食と鋼材のかぶり、コンクリートのひびわれ状況、含有塩分量およびたたき調査結果などの関連を整理し、非破壊による調査項目との相関性をできる限り明確にしていくことが望まれる。本マニュアルでは、腐食により鋼材が極端に痩せ細るような状況のように、鋼材性能がほとんど期待できないほどの鋼材腐食状況を含めた4段階評価とした。

自然電位の測定による腐食状況の評価は、表-解2.3.1 に示すASTM-C876の鉄筋腐食評価を目安とすることができる。ただし、実施に際しては各測定面ごとに検証として部分的にはつり調査を行い、鉄筋腐食状況を目視確認する。この結果とASTM-C876の腐食評価と照らし合わせ、橋梁全体の腐食状態を

推定する必要がある。ただし、通常、表面被覆材は不導体であるので、コンクリート表面に表面被覆材があるところの測定は実施できない。

表-解2.3.1 ASTM-C876による鉄筋の腐食評価（飽和硫酸銅電極基準）

測定電位の範囲	コンクリート中の鋼材腐食の可能性
(A) $-200\text{mV} \leq E$	90%以上の確率で腐食なし
(B) $-350\text{mV} \leq E < -200\text{mV}$	不確定
(C) $E < -350\text{mV}$	90%以上の確率で腐食あり

2.3.3 劣化度の判定

(1) 定期点検の判定

定期点検の評価は、表-2.3.3に基づいて判定するものとする。

表-2.3.3 定期点検評価の判定基準

評価の 項目	A	B	C	D
外観調査 たたき調査	詳細調査の対象とする			定期点検の対象とする

(2) 詳細調査の評価

詳細調査による結果は、表-2.3.4に基づいて評価するものとする。

表-2.3.4 詳細調査評価の判定基準

評価の 項目	A	B	C	D
外観調査 たたき調査	10点	4点	0点	—
含有塩分量	—	4点	1点	0点
はつり調査	23点	4点	1点	0点
自然電位 調査	—	4点	1点	0点

表-2.3.4の判定基準の合計値を総合評価とし、その値と表-2.3.5と照らし合わせることで、補修および劣化防止対策の基準とする。

表-2.3.5 補修の選定基準

項目 \ 総合評価	23点以上	22点以下	3点以下	0点
対策	補強または取替	補修		対策不要
適用補修工法		重補修 電気防食	軽微な補修	

〔解説〕

(1) 定期点検評価の内、D以外はすべて詳細調査の対象とした。つまり、異常のあるものはすべて詳細調査を実施しなければならない。

(2) 表-2.3.5 に示した軽微な補修および補修は、以下に示すとおりとする。

軽微な補修……事前保全として実施するもので、表面被覆工を指す。

補修……事後保全として実施するもので、大断面修復（型枠使用）と小断面修復（コテ仕上げ）および表面被覆工の併用とする。

はつり調査でA評価（23点）となったものは補修の限界を越えているとの判定となり、補強および取替の対策を施すことを基準とした。また、外観調査・たたき調査でC評価であっても、含有塩分量調査、はつり調査、自然電位測定がD評価であれば、対策不要とした（0点）。

基本的に軽微な劣化においては軽微な補修とし、激しい劣化においては補修、あるいは補修と電気防食の併用とした。この場合の目安として、10年以内で桁の取替えが予想されるものは補修のみとし、10年以上の供用が見込まれるものは補修と電気防食を実施することを原則とする。

補修および劣化防止対策は、表-2.3.5 に示す各項目の数値の合計（総合評価）を表-2.3.6 と照らし合わせることにより行うことを基本とするが、その最適な補修方法は環境、経年数、施工方法、構造物の重要度、残存供用年数および社会情勢等の事項も十分に考慮の上、最終的な決定をすることが必要である。

2. 4 補修方法

2. 4. 1 一般

- (1) 補修は、劣化度の判定結果を基本に補修工法を選定し、適切な補修設計を行なうとともに確実な施工を実施しなければならない。
- (2) 補修設計は、経済的で十分な耐久性が得られるように適切な工法および材料を選定し行うものとする。
- (3) 施工は、施工計画に則り実施するものとし、施工計画の策定にあたっては、施工時期や防護設備に十分配慮するものとする。また、使用する材料の受け入れにあたっては、その品質を確認すると同時に、品質管理や工程管理を適切に行うものとする。
- (4) 劣化が非常に進み、安全なはつりを行うことが困難で、そのままでは多量の塩分を残してしまい、コンクリート表面被覆工が効果を発揮できないと判断される場合は、電気防食の適用について検討することとする。

[解説]

- (1) 補修の効果を十分に得るには、「2. 3. 3 劣化度の判定」の劣化度判定に適合した補修工事を確実に実施することが重要である。そのためには、劣化状況と材料特性を十分に考慮した補修設計を行い、現場の気象・海象を把握した施工計画を立案する必要がある。
- (2) 軽微な補修および補修における補修設計は、最新の技術情報を収集し、遮塩性等の機能を長期間発揮して耐久性に優れた適切な材料・工法を選定して、作業を進めるものとする。また、塩害補修技術の開発は日進月歩であり、たとえば亜硝酸塩等による浸透性防錆材や電気化学的脱塩工法等の最新の技術も適宜計画へ盛り込むことも有効であるが、その採用にあたっては構造型式実験や試験施工を踏まえ、十分な検討を行うことが望ましい。
- (3) 塩害補修の施工時期は、季節風などによって飛来塩分量が増大する時期、および材料の使用条件を越えるような気象条件（例えば、気温摂氏5℃以下）が続くと予想される時期は、なるべく避けるのがよい。そのためには、施工に先だって、施工時の降雨、降雪、温度、湿度、風等の気象条件や波高等の海象条件について十分に把握しておくことが必要である。やむを得ず施工を行わなければならない場合には、風よけ板や覆い等の防護設備あるいは養生設備を配置するなどの配慮が必要である。また、立地条件を考慮して、施工に伴って発生する廃棄物や粉塵、飛散物等の処理の方法についても十分に検討しておくことが必要である。たとえば、足場を用いた場合には、その撤去後に鋼製アンカー等有害なものが残らないようすることが必要である。材料の受け入れにあたっては、試験成績表によって「2. 4. 3 補修」に規定する品質を満足しているかどうかを確認することが必要である。また、材料は一般に温度、湿度等の影響を受け易いので、その保管や取扱には注意を払う必要がある。塩害補修の施工は、個々の材料工法の使用基準や注意事項を熟知し、適切な材料や工法を用いることは言うまでもなく、施工後の長期耐久性を確保するよう、施工に先立って施工計画を十分に検討する

ことが必要である。

(4) 橋梁の劣化損傷が非常に進み、劣化したコンクリートや有害な量の塩分を含んだコンクリートの除去によって、鋼材とコンクリートとの一体性や耐荷力の低下等を招く恐れがある場合には、断面修復を適切に行うことが困難となる。したがって、鋼材の周囲には腐食の進行が避けられない濃度の塩素イオンが残存することになるため、コンクリート表面被覆工により外部からの塩分の浸入を防いでも腐食は進行する。よって、コンクリート表面被覆が効果を発揮できないと判断されることとなり、このような場合には、コンクリート構造物の電気防食工法の適用について検討することとした。

2. 4. 2 軽微な補修

(1) 概要

- 1) 軽微な補修は、塩害対策の実施されていないコンクリート橋に対する、塩分の浸透抑止を目的としたコンクリート表面被覆工とする。
- 2) 軽微な補修の実施にあたっては、事前に調査を行い、コンクリート表面の状況を適切に把握するものとする。
- 3) 軽微な補修は、直接外気に接するコンクリート全表面に対して行うことを原則とする。
- 4) 軽微な補修の効果を高めるために、橋面防水工を実施することが望ましい。
- 5) 軽微な補修の効果を確認するために、補修時に追跡点検用照合電極を埋設し、自然電位を測定する。

(2) 軽微な補修の設計

軽微な補修で使用する材料は、表-2.4.1 の規格の被覆系 1 種を満足するものとし、適切なひびわれ追従性が得られる表面被覆工の膜厚とする。

表-2.4.1 コンクリート表面被覆材料の品質^{*)}

被覆系 項 目 (試験方法)	1 種	2 種
	腐食環境が厳しい場合および再補修が困難な場合	1 種に該当しない場合
耐 候 性 (JIS K 5400 6.17)	促進耐候性試験を300時間行ったのち、白亜化がほとんどなく被覆にわれ、はがれがないこと	
遮 塩 性	塩素イオン透過量が 1×10^{-3} (mg/cm ² /日) 以下であること	塩素イオン透過量が 1×10^{-2} (mg/cm ² /日) 以下であること
耐 ア ル カ リ 性 (JIS K 5400 7.4)	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬後、塗膜に変状がないこと	
コンクリートとの付着性 (JIS A 6910)	界面破壊がないこと	

ひびわれ追従性 梁供試体の曲げ 載荷試験	P C 用	コンクリートのひびわれ幅が0.1mmまで被覆に欠陥が生じないこと
	R C 用	コンクリートのひびわれ幅が0.2mmまで被覆に欠陥が生じないこと

＊) 建設省総合技術開発プロジェクト

コンクリートの耐久性向上技術の開発（平成元年5月）

(3) 軽微な補修の施工

- 1) 軽微な補修の実施にあたっては、コンクリート表面等のブラスト処理による素地調整工および下地処理工を行うものとする。
- 2) 軽微な補修は、使用する材料および工法の特性に応じて適切に行うものとする。

[解説]

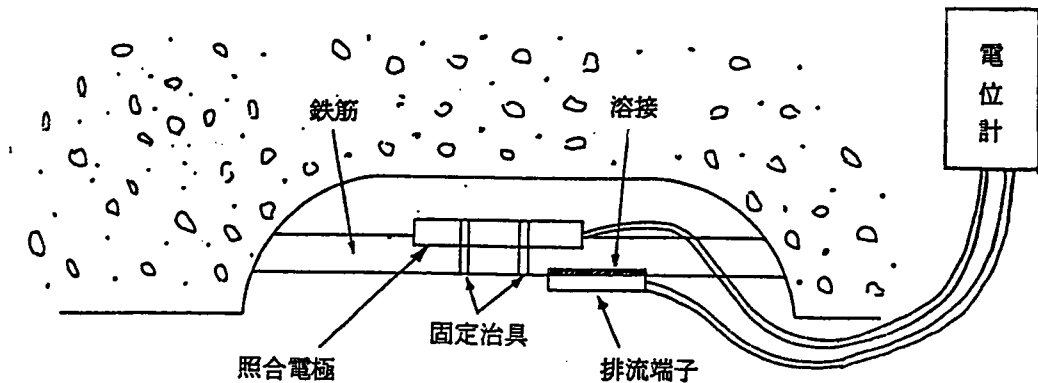
(1)

- 1) 未対策のコンクリート橋については、塩害の直接の原因である塩分の浸透を抑止し、図-解2.1.1に示されている潜伏期あるいは進展期の段階で対策を講じることが、耐久性を保持する上で最も重要である。
- 2) 表面被覆工の実施にあたっては、たたき調査等を実施してコンクリート表面部の状況（浮き、はくり等）を適切に把握することが重要である。これは、詳細調査の結果を用いるか、必要な場合別途調査を実施するものとする。この結果は、コンクリート表面被覆後の塗膜の管理に対して有用なデータとなるため、適切に記録や保存を行うものとする。
- 3) 軽微な補修では、コンクリート表面に被覆されない部分があると、そこから塩分、水分、酸素の侵入を招き、十分な補修効果を得られないこともある。そのため、直接外気に接する全表面に行うことを原則とした。また、壁高欄や地覆の被覆についても、適切な処置を行うものとする。ただし、コンクリート内に水分が多く含まれている場合は、補修後でも脱水作用を阻害させないために間詰め床版下面の被覆を省いても良い。なお、コンクリート表面被覆工が実施できないけた端部においては、伸縮装置の非排水化や、けた側面の遊間部からの雨水の侵入を防ぐ対策を講じることが望ましい。また、打ち継ぎ部には、止水防水処置をする必要がある。
- 4) 塩害環境下の橋梁では、橋面からの浸透水にも塩分が含まれる場合が多い。したがって、橋面防水工を実施していない橋梁には、軽補修の施工前に橋面防水工を施工することが望ましい。橋面防水工の選定にあたっては、下記の技術基準を参考にすることが望ましい。

「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料」（社）日本道路協会 昭和62年1月

- 5) 補修効果のモニタリング調査は、既に補修を行った橋梁に対して行うもので、判定は、外観観察とコンクリート内部に埋設した照合電極による内部鉄筋の自然電位測定によるものとしている。なお、この自然電位測定結果は、表-解2.3.1の鉄筋腐食評価に照らし合わせることで内部鉄

筋の腐食状況を推察できる。ここでは既往の埋設例を図-解2.4.1 に模式的に示す。照合電極の埋設数は1橋梁あたり（または1径間あたり）2～3本とし、それらの埋設位置は、詳細調査で最も環境の厳しいと思われる箇所、最も環境が穏やかな箇所とする。



（出典：コンクリート橋、塩害調査・塩害補修設計マニュアル（案）、（社）沖縄建設弘済会 平成8年4月）

図-解2.4.1 埋設型照合電極の埋設位置の例

- (2) 軽微な補修には、塩分、水分、酸素等の浸透を抑制できる性能のほか、耐候性、コンクリートとの付着性、耐アルカリ性、ひびわれ追従性等が要求される。遮塩性の試験は、「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（昭和59年2月、日本道路協会）の付属資料2、付録「コンクリート塗装材料の品質試験方法（案）」に示されている方法に準じて行うのがよい。また、ひびわれ追従性の試験は、10×10×100 cm程度の寸法をもつ供試体を用いて行うのがよい。

現在一般に用いられている表面被覆材料を示すと次のとおりである。

- ・合成樹脂系被覆工法：エポキシ樹脂、ビニルエステル樹脂、シリコン樹脂、
ポリウレタン樹脂、フッ素樹脂、アクリルゴム系樹脂、
ポリブタジエン系樹脂、クロロプレンゴム系樹脂
- ・ポリマーセメント：SBR系ポリマーセメント、アクリル系ポリマーセメント
（モルタル被覆工法）

本マニュアルにおける、塩害対策に使用するコンクリート表面被覆材料の品質規格については、建設省総合開発プロジェクト『コンクリートの耐久性向上技術の開発「土木構造物に関する研究成果、塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」平成元年5月』に基づいている。

(3)

- 1) コンクリート表面被覆工の一般的な作業手順を図-解2.4.2 に示す。

・ブラスト処理

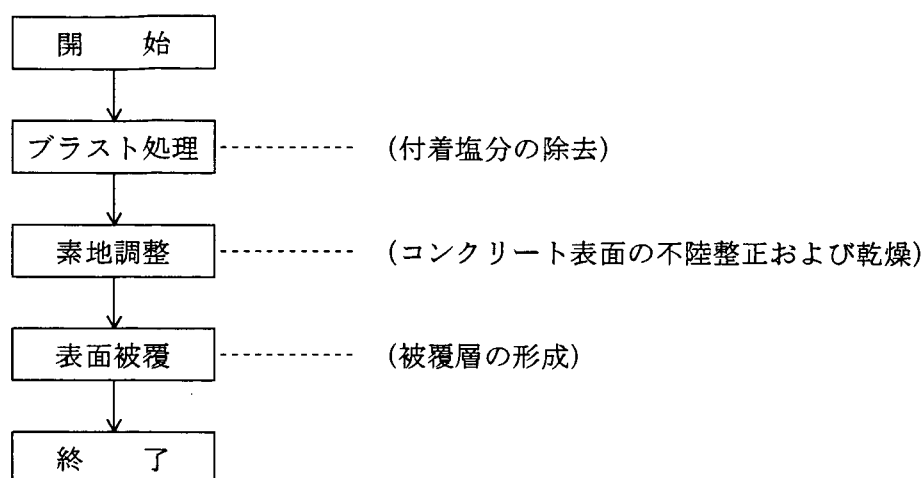
サンドブラストあるいはショットブラスト等によってコンクリート表面に付着している塩分、錆汁、油脂類、ゴミ、ホコリ等を十分に取り除くことが大切である。

・素地調整

素地調整は、被覆層の素地にあたるコンクリート表面の仕上げのために行う作業で、一般に次

のような要領で行われる。

- ①ディスクサンダー等を用いて素地面を平坦に仕上げる。
- ②コンクリートの表面水分量が10%以下であることを確認後、プライマー処理を行う。
- ③コンクリートの欠損部等がある場合は、モルタル（パテ材料）等を用いて平坦にする。



（出典：建設省総合開発プロジェクト『コンクリートの耐久性向上技術の開発』、（財）土木研究センター 平成元年5月）

図-解2.4.2 表面被覆の一般的な作業手順

2) 被覆作業は、材料の使用基準に従って、目標被覆厚が均一に確保できるように行うことが大切である。塗装方法としては、刷毛塗り、ローラー塗り、コテ塗り、エアレススプレー等多くのものがあるが、使用材料、構造物の形状、施工部位、足場の状況に応じて使い分けするのがよい。また、使用する材料および工法に関する管理項目については、表-2.4.2 を基準とする。これは、建設省総合開発プロジェクト『コンクリートの耐久性向上技術の開発「土木構造物に関する研究成果、塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」平成元年5月』に基づいているが、適宜、『道路橋の塩害対策指針（案）・同解説、日本道路協会 昭和59年2月』の塗装の施工管理を準用するものとする。被覆層の密着性および健全な被覆層の形成が得られるように、材料の特性に応じた塗布間隔を保って作業を行う。以下のような場合は、被覆作業をなるべく中止するのがよい。

- ①砂ぼこり等がある場合
- ②気温、湿気が材料の使用基準の範囲外の場合
- ③表面水分、表面塩分、表面PH値が使用基準の範囲外の場合

2.4.3 補修

(1) 概要

- 1) 補修は、コンクリートのひびわれ、はくり、はく落部に対する断面修復工と、塩分の浸透を抑

止するコンクリート表面被覆工の組み合わせによって行うものを標準とする。

2) 補修の実施にあたっては、詳細調査のたたき調査結果を参考に、橋梁の損傷状況を十分に把握するものとする。ただし、詳細調査結果だけでは劣化状況の把握が困難である場合には、必要に応じてたたき調査を別途実施するものとする。

3) 補修の効果を確認するために、補修時に追跡点検用照合電極を埋設し、自然電位を測定する。

(2) 補修設計

1) 断面修復工は、コンクリートに生じたひびわれ、浮き、はくり部の位置や形態により適切なはつり範囲を設定し構造物の種類を考慮して選定するのがよい。

2) 断面修復に用いる材料は、表-2.4.2、表-2.4.3 の規格を満足するものとする。

表-2.4.2 硬化したコンクリートの品質規格

項 目	品 質 規 格	試 験 方 法
圧縮強度	1.92 N/mm ² 以上	土木学会規準「プレパックドコンクリートの圧縮強度試験方法」及び「コンクリートの圧縮強度試験方法」
乾燥収縮度	5×10 ⁻⁴ 以下 (3ヶ月)	土木学会規準「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」

表-2.4.3 硬化したモルタルの品質規格

項 目	品 質 規 格	試 験 方 法
圧縮強度	1.92 N/mm ² 以上	土木学会規準「セメントの物理試験方法」
乾燥収縮度	20×10 ⁻⁴ 以下 (3ヶ月)	土木学会規準「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」

＊) 建設省総合技術開発プロジェクト

コンクリートの耐久性向上技術の開発（平成元年5月）

(3) 補修施工

1) 断面修復工の実施にあたっては、劣化損傷部のコンクリートのはつり、はつり面のブラスト処理、鋼材の防錆処理を行うものとする。

2) 断面修復工は使用する材料および工法の特성에応じて適切に行うものとする。

〔解説〕

(1)

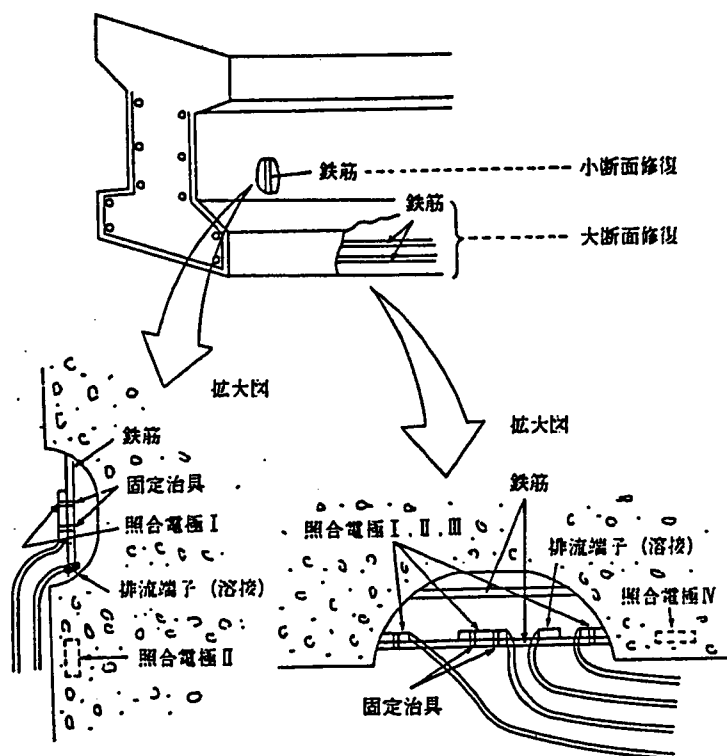
1) 補修設計の基本は、コンクリートのひびわれ、浮き、はくり部等に対する断面修復工と塩分の浸透を抑止するコンクリート表面被覆工の組み合わせで行い、鋼材の腐食の進行を抑制して耐久性の向上を図るものとした。設計にあたっては、以下の項目について検討する。

- ①劣化したコンクリートや有害な量の塩分を含んだコンクリートの除去
- ②自然電位調査で腐食の可能性のある鋼材や腐食した鋼材すべてのはつり出しと有害な量の塩分を含んだコンクリートから鋼材の隔離、および露出した鋼材の防錆
- ③コンクリートの除去部および欠損部の断面修復
- ④断面修復後における塩分の浸透防止

ただし、有害な量の塩分を含んだコンクリートの除去は實際上極めて困難であり、また、構造上安全性を損なう程のはつりを実施することは避けなければならない。したがって、補修後も有害と判断される塩分がコンクリート中に残存する場合には、電気防食を行い、再塩害を防ぐのが望ましい。

なお、コンクリートの表面被覆工は「2. 4. 2 軽微な補修」の項に準拠する。

- 2) 補修の実施にあたっては、損傷状況に合わせて臨機応変な対応が求められる場合が多い。よって、詳細調査のみでは補修直前の現況が把握できないと判断される場合には、補修工事に先行して事前に調査を行うものとする。このようにして得られたデータは、補修工事の量を決定するだけでなく、補修工事施工後の管理に対して有用なデータとなるため、適切に記録や保存を行うものとする。
- 3) 「2. 4. 2 軽微な補修【解説】(1)」と同じ。ただし、既往の埋設例を図-解2. 4. 3 に模式的に示す。



(出典：コンクリート橋、塩害調査・塩害補修設計マニュアル(案)、(社)沖縄建設弘済会 平成8年4月)

図-解2. 4. 3 埋設型照合電極の埋設位置の例

照合電極の埋設にあたっては、図-2.4.3 を参考にして行うが、大断面修復と小断面修復を行う橋梁においては、大断面修復箇所への埋設を優先して行う。埋設数は1橋あたり2～4本を基準とする。

①大断面修復の場合に埋設する照合電極は、それぞれ下記に示す位置に埋設する。

- ・照合電極Ⅰ、Ⅲ：大断面修復箇所の両端部
- ・照合電極Ⅱ：大断面修復箇所の中央部
- ・照合電極Ⅳ：鉄筋がまだ腐食していない健全なコンクリート表面部をドリルで穿孔し、埋設する。

②小断面修復の場合に埋設する照合電極は、それぞれ下記に示す位置に埋設する。

- ・照合電極Ⅰ：小断面修復箇所の近傍
- ・照合電極Ⅳ：鉄筋がまだ腐食していない健全なコンクリート表面部をドリルで穿孔し、埋設する。

ここで、図-解2.4.3 に示す大断面修復は、コンクリートのはつり箇所に型枠を設置して行う打継ぎコンクリート（モルタル）工法で行うものを言い、小断面修復は、型枠を設置せずに左官コテやヘラを用いたモルタル工法で行うものを言う。

(2)

- 1) はつり工の範囲は、はくり部周辺に50 mm程度の余裕幅を取り、深さ10 mm程度のカッター目地を入れて切削範囲を限定する。はくり部周辺に50 mm程度の余裕幅を取るのは、鉄筋かぶりとはつり深さなどを勘案し、実績的に定めたものである。また、はつり範囲に深さ10 mm 程度のカッター目地を入れるのは、断面修復部にフェザーエッジ（鋭角なはつり角）となる弱点部を残さないためと、はつり範囲を限定して損傷が顕在化していない健全なコンクリート部分まではつり範囲を拡大させないためである。カッター目地深さを10 mm程度としたのは実績からの目安によるものであり、かぶりが不足している場合にも鉄筋にカッターが当たらないことを勘案したものである。断面修復工は、一般に以下に示すような打ち継ぎコンクリート工法、モルタル工法に大きく分類される。断面修復は、これらの工法の特徴を十分理解のうえで、コンクリートの劣化損傷の部位や範囲、構造物の種類に適した工法を選定して行うのがよい。

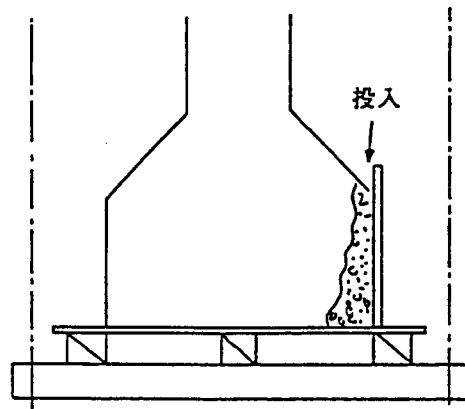
①打継ぎコンクリート（モルタル）工法

打継ぎコンクリート（モルタル）工法は、一般に、欠損断面が比較的大きく、下向きの作業が可能な場合に用いられる工法であり、その一例を図-解2.4.4 に示す。この工法による施工は、型枠の設置、コンクリート（モルタル）の充填の順序で行われる。また、上向きの作業の場合でも型枠を組んで行う場合がある。

②モルタル工法

モルタル工法は、一般に欠損部分が比較的小さな場合や、他の工法を適用しにくい場合に用いられる。この工法を用いた場合には、コテ、ヘラあるいは指によってモルタル等を塗り込

む作業が中心となる。



（出典：建設省総合開発プロジェクト『コンクリートの耐久性向上技術の開発』、（財）土木研究センター 平成元年5月）

図-解2.4.4 打継ぎコンクリート（モルタル）工法

2) 断面修復の材料に必要とされる主だった性能等を示すと次のようになる。

硬化したコンクリートおよび硬化したモルタル

- ・表面被覆材との優れた密着性を有すること。
- ・既存コンクリート面や表面被覆材との優れた密着性を有すること。一般に、この性能は、(社)日本コンクリート工学協会が提案されている「ポリマーセメントモルタル試験方法基準(案)」における付着性試験の方法を準用して確認するのがよい。
- ・硬化後に十分な密実性を有すること。
- ・硬化後の収縮量が少ないこと。

参考として、現在一般に用いられている断面修復材料を示すと次のようになる。

SBR系ポリマーセメントコンクリート(モルタル)

アクリル系ポリマーセメントコンクリート(モルタル)

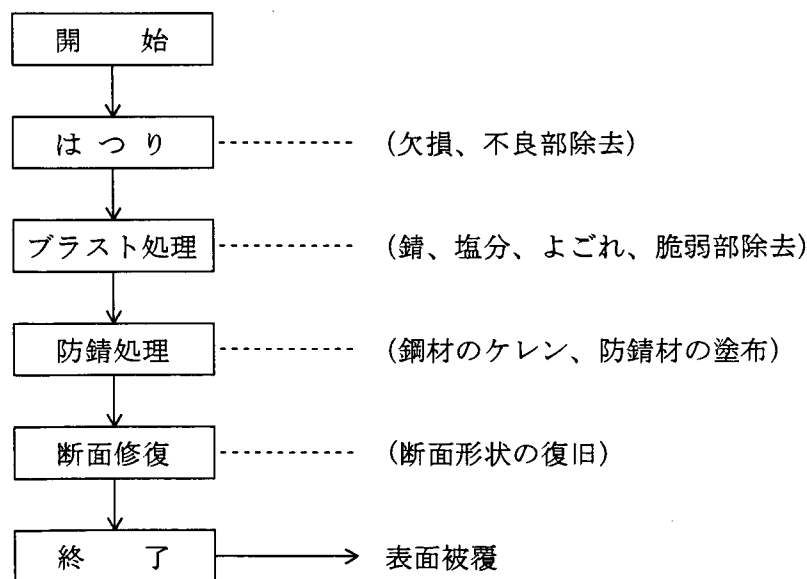
エポキシ系ポリマーセメントコンクリート(モルタル)

無収縮セメントコンクリート(モルタル)

なお、鋼材の防錆材料としては、エポキシ樹脂、アルキッド樹脂、ウレタン樹脂、ポリエチレンテレフタレート樹脂およびポリマーセメントモルタル等が一般に用いられている。

(3)

1) 断面修復の標準的な作業手順を図-解2.4.5に示す。



(出典：建設省総合開発プロジェクト『コンクリートの耐久性向上技術の開発』、(財)土木研究センター 平成元年5月)

図-解2.4.5 断面修復の一般的な作業手順

ここで、はつり、ブラスト処理、鋼材の防錆処理を行う場合の留意点を示すと次のとおりである。

①はつり

はくり、ひびわれ、豆板等が生じているコンクリートや塩分を多量 (2.4 kg/m^3 以上) に含んでいるコンクリートは、できるかぎり除去するのがよい。ただし、その際には健全な部分に損傷を与えないように注意する必要がある。また、はつり部分が多くなり、構造物の耐荷力に影響を与える可能性がある場合は、はつりの順序等に注意する必要がある。

②ブラスト処理

断面修復部と既存コンクリート部の境界面に、塩分が多く付着していたり、コンクリートの脆弱層が残ると、その影響で修復部がはがれ易くなったり塩分が侵入し易くなる。したがって、はつり面はサンドブラストやショットブラスト等の方法を用いて適切に処理する必要がある。なお、はつり面が小規模の場合はディスクサンダー等で行ってもよい。

③鋼材の防錆処理

ブラスト処理後の鋼材は発錆し易い状態にあり、特に塩害環境下では、数時間で発錆することがある。したがって、ブラスト処理後は速やかに適切な方法で鋼材の防錆処理を施しておくことが必要である。

2) 設計の〔解説〕で示しているように断面修復の方法にはプレパックドコンクリート工法、打ち継ぎコンクリート工法、およびモルタル工法がある。ここで、各工法の施工上の留意点を示すと次のとおりである。なお、はつり面の乾燥度は、使用材料によって異なるので注意が必要である。一般に有機系の材料を用いる場合には、はつり面を乾燥状態に、無機系材料を用いる場合には、はつり面を湿潤状態にすることが多い。使用する材料および工法に関する管理項目については、表-解2.4.1を参考にとよい。

①打ち継ぎコンクリート工法

充填作業は、材料を少量ずつ投入し、空隙が残らないように型枠の外側から木づち等でたたきながら行うのがよい。粗骨材の最大寸法は、欠損部の大きさを考慮して定めるのがよい。一般にその最大寸法は欠損部の最小断面寸法の約1/3程度以下とするのがよい。

②モルタル工法

施工方法によっては、自重や振動等の影響により硬化前のモルタルがはく落することがある。また、材料によっては、厚塗りすると収縮ひびわれを生ずる場合がある。したがって、モルタル工法を用いて断面修復を行う場合には、その塗り厚さや塗り重ね間隔に十分注意する必要がある。

表-解2.4.1 断面修復における標準的な管理項目

工 程		管 理 項 目	管 理 方 法
一 般		作業環境、作業時間 温度、湿度 材料の種類、配合	記録 記録 記録
断面 修復	は っ り	はっりの状況 はっりの容積	記録 記録
	ブラスト処理	鋼材の除錆程度	記録
	防錆処理	材料使用量	空缶数量検査、記録
	断面修復	材料使用量 形状寸法（出来形） 品質規格	空缶数量検査、記録 目視、記録 材料試験、記録

（出典：建設省総合開発プロジェクト『コンクリートの耐久性向上技術の開発』、（財）土木研究センター 平成元年5月）

2. 4. 4 電気防食工

(1) 概要

- 1) 電気防食は、コンクリートのひびわれ、はくり、およびはく落部などに対する断面修復工との組み合わせにより行うものを基本とする。
- 2) 電気防食の実施にあたっては、詳細調査のたたき調査結果を参考に、橋梁の損傷状況を十分に把握するものとする。ただし、詳細調査結果だけでは劣化状況の把握が困難である場合には、必要に応じてたたき調査を別途実施するものとする。
- 3) 電気防食による防食効果や電気防食の作動状況を確認するために、電気防食施工時に追跡調査用照合電極を埋設し鋼材電位を測定しなければならない。

(2) 電気防食工の設計

電気防食工法は数種類あり、それぞれ特徴があるので、対象構造物やその置かれた環境などを考慮して選択するのがよい。

(3) 電気防食工の施工

電気防食は使用する工法の特성에応じて適切な手順に従って行うものとする。

[解説]

(1)

1) 電気防食工における断面修復工は、「2. 4. 3 補修」と多少異なる。電気防食の特徴の一つに塩化物を多量に含んだコンクリートを除去することなく鋼材の防食が可能であることが挙げられる。したがって、ひびわれ、はくり、およびはく落部などのコンクリートを鉄筋裏側までではなく、鉄筋位置まで除去する。コンクリート除去後、サンドブラストや高圧ウオータージェットなどを用いてコンクリートの素地調整を行うが、鋼材への防錆材の塗布や打継ぎ目処理用の樹脂やプライマーの塗布は行わないのがよい。

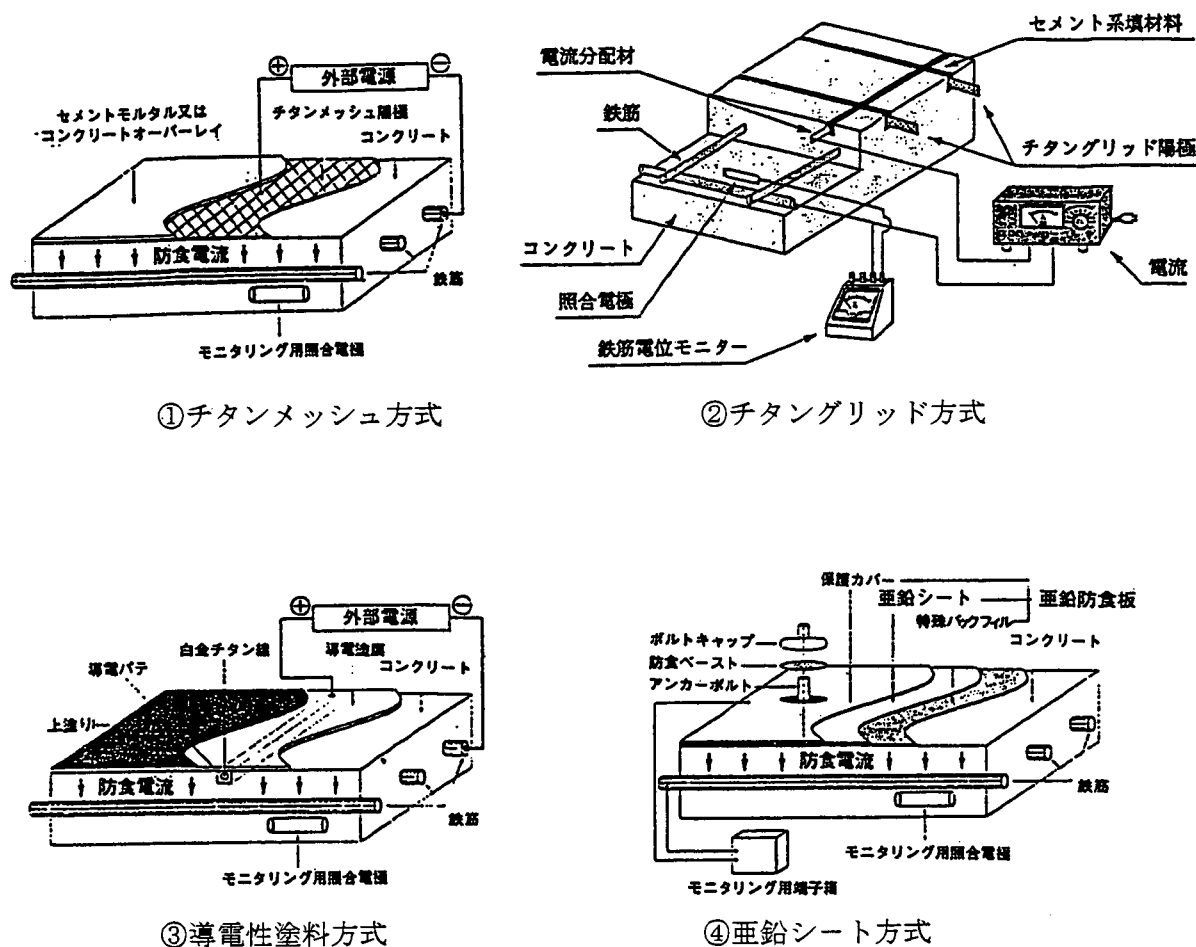
断面修復に使用する材料は、電気防食の効果に影響を与えないことが重要であり、表-2. 4. 2と表-2. 4. 3 に示す品質規格に加えて、旧コンクリートと同程度の電氣的抵抗を有する材料を用いることが望ましい。

2) 電気防食工の実施にあたっては、たたき調査などを実施してコンクリートの劣化部（浮きやはくりなど）を適切に把握することが重要である。また、陽極と防食対象であるコンクリート中鋼材との短絡は電気防食の作動に影響を及ぼすために、コンクリート表面に露出したセパレーターや組立鉄筋などの金属を把握することが重要である。よって、詳細調査のみでは補修直前の現状が把握できないと判断される場合には、補修工事に先行して事前に調査を行うものとする。このようにして得られたデータは、補修工事の量を決定するだけでなく、補修工事施工後の管理に対して有用なデータとなるために、適切に記録、保存を行うものとする。

3) 電気防食の特徴の一つとして、コンクリート中に埋設された照合電極を用い鋼材電位を測定することにより、電気防食による防食効果や電気防食の作動状況を定期的に把握することにある。落雷などによる不意の事故によりコンクリート中鋼材への電流の供給が遮断した場合には、鋼材は防食されていない状態にある。また、P C構造物の場合には、過防食（電流の過供給）が原因でP C鋼材の水素脆化の危険性が考えられる。したがって、定期的に照合電極を用い鋼材電位を測定することにより電気防食による防食効果や作動状況を把握する必要がある。照合電極の埋設方法は、図-2. 4. 1 に示した方法と同様であり、埋設する照合電極の数や位置および鋼材電位の測定結果から電気防食による防食効果の判定に関しては、「大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル（案）一」（平成6年3月、東京港埠頭公社）や「コンクリート構造物の電気防食法研究委員会報告書」（平成6年10月、日本コンクリート工学協会）に準じて行うのがよい。

(2)

1) 電気防食工法には、外部電源を使用し電流を供給するチタンメッシュ方式、チタングリッド方式、および、導電性塗料方式などがあり、外部電源を使用せず鋼材と陽極との電位差を用いて電流を供給する亜鉛シート方式がある。これらの電気防食方式は、各方式が標準とする材料を用いることを基本としており、図-解2.4.6 に各方式の構成の概要を示す。



(出典：コンクリート構造物の電気科学的補修工法 設計・施工マニュアル、コンクリート構造物の電気科学的補修工法研究会 平成10年1月)

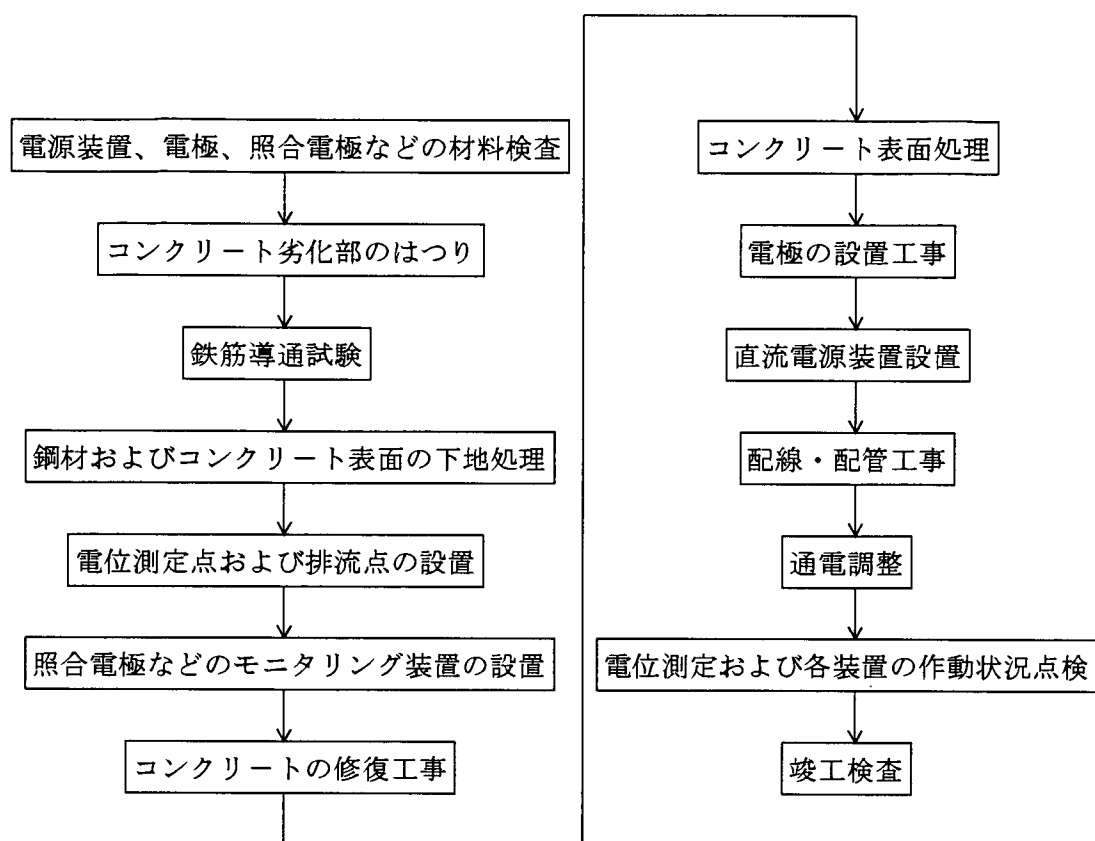
図-解2.4.6 各電気防食方式の構成

外部電源を用いる方式は、鋼材に任意の電流量を調整し供給することが可能であるために、構造物の置かれている環境条件に影響されることが少なく適用することができ、一方、外部電源を用いない方式は、構造物の置かれている環境条件に影響されることがあるものの、商用電源を使用できない箇所に置かれている構造物には特に有効である。

このように各電気防食方式にはそれぞれ特徴を有しており、それらの選択にあたっては、対象構造物の種類、その置かれた環境、気象条件、コンクリートの電気的抵抗、商用電源の有無、および、維持管理などを考慮して選択する必要がある。

(3) 電気防食の標準的な作業手順を図-解2.4.7 に示す。なお、各作業工程の詳細に関しては、「コン

クリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書」（建設省土木研究所 他、昭和63年8月）、
「大井埠頭棧橋劣化調査・補修 マニュアル（案）」（平成6年3月）や「コンクリート構造物
の電気防食法研究委員会報告書」（平成6年10月、日本コンクリート工学協会）などを参考にすると
よい。



（出典：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書、建設省土木研究所 他 昭和63年8月）

図-解2.4.7 電気防食の標準的な作業手順

2. 4. 5 記録

- (1) 塩害補修工事の記録は、構造物の損傷状況、補修状況の把握と今後の調査、補修計画の立案のための各種情報保存を目的として行うものとする。
- (2) 補修工事記録は、詳細な補修対策内容を網羅して取りまとめるものとし、構造物の経時的な損傷状況を把握するため必要事項を図化およびファイル化するものとする。

(1) 塩害補修工事記録は、「工事記録報告書」としてとりまとめ、それらの要点を塩害調査結果と関連させて、塩害台帳に補修履歴として記録し、保存するものとする。

(2)

1) 補修工事記録の構成

補修工事記録は、工事発注単位で整理し、橋梁の補修状況を把握するとともに、今後の調査・補修時期などの判定資料となるものである。

- ① 工事概要
- ② 実施工程
- ③ 材料
- ④ 主要機械
- ⑤ 調査・設計
- ⑥ 施工
- ⑦ 問題点と対策
- ⑧ 参考資料

2) 施工記録の標示

補修工事完了後は、施工面に表-解2.4.2 に示す記録を標示することとする。なお、予防的補修など断面修復工を伴わない場合や電気防食工法を行わない場合には、標示からそれらの項は削除して表示することとする。

表-解2.4.2 施工記録表

構 造 物 名		
年 月		
断 面 修 復	防 錆 材 料 断面修復材料	
コンクリート 表面被覆	プライマー 不 陸 調 整 中 塗 り 上 塗 り	
使 用 材 料 製 造 会 社		
電 気 防 食	防 食 方 法 電 極 装 置	
使 用 材 料 製 造 会 社		
施 工 会 社		

2. 5 追跡点検

- (1) 既に塩害補修を行ったコンクリート橋においては、補修効果の確認を行うために追跡点検を実施しなければならない。追跡点検の結果、再損傷やその可能性が認められた場合は、詳細調査を行うものとする。
- (2) 追跡点検方法および劣化度の判定は、補修工法に応じて適切に選定しなければならない。
- (3) 追跡点検の調査結果は、記録、保管しなければならない。

〔解説〕

(1) 一度損傷した橋梁は、内部に多量の塩分が浸透している場合が多く、再損傷の可能性がある。そこで、再損傷に至る前に内部鉄筋の腐食の進行を早期に発見するために、表-解2.5.1に示す頻度で追跡点検を実施するのがよい。

表-解2.5.1 調査の頻度

	海岸線から100 m以内	100 mより内陸部
補修効果 モニタリング調査	1回／5年 (1回／1年)	1回／7年 (1回／3～5年)
	()内は、内部鉄筋の電位変化モニタリング	

(2)

1) 軽微な補修の追跡点検

軽微な補修として表面被覆工法を用いた場合の追跡点検は、表-解2.5.2に示す外観調査や表-解2.5.3示す電位調査により、表-解2.5.4に示す判定基準により再損傷度を判定するものとする。

点検方法は、外観調査による塗膜劣化調査および補修の際に埋設した照合電極による内部鉄筋の電位測定調査により行うものとする。判定は、外観調査によるひびわれや塗膜劣化の確認調査およびコンクリート内部に埋め込んだ照合電極（「2. 4. 2 軽微な補修」参照）による鉄筋電位測定により行う。この結果、塗膜に浮き、はがれ等の異常が現れている場合や、鉄筋の電位が低くなり、内部鉄筋の腐食を示す値が得られた場合は、再詳細調査を行い、内部鉄筋の腐食状況を確認する。

表-解2.5.2 外観調査による塗膜劣化度の判定の基準

判定の区分	I	II	III
外観調査	塗膜にひびわれ、ふくれ、錆汁等の変状が多数認められる	塗膜にひびわれ、ふくれ、錆汁等の変状が認められる	塗膜には変状が認められない

表-解2.5.3 表面被覆工法の電位モニタリング調査による基準*

判定の区分	I	II	III
電位モニタリング調査 (mV:CSE)	測定電位が-350mV未満	測定電位が-350mV以上あり、かつ-200mV未満である	測定電位が-200mV以上

* 自然電位調査のASTM-C876の評価基準より

表-解2.5.4 表面被覆工法の追跡点検の判定区分の基準

追跡点検の判定により移動する次のステップ	追跡点検		備 考
	調査項目	判 定	
再追跡点検	外観調査	II、III	塗膜に著しい劣化損傷がなく、
	自然電位調査	II、III	内部鉄筋の腐食は認められない
詳細調査	外観調査	I	塗膜に著しい劣化損傷があり、
	自然電位調査	I	内部鉄筋の腐食が認められる

2) 電気防食工法の追跡点検

電気防食工法を用いた場合の追跡点検は、表-解2.5.5に示す外観調査や表-解2.5.6示す電位調査により、表-解2.5.7に示す判定基準により再損傷度を判定するものとする。点検方法は、外観調査および埋設照合電極による鉄筋電位で行うものとする。

表-解2.5.5 外観調査による電気防食工法の判定の基準

判定の区分	I	II	III
外観調査	構成材料の劣化損傷が著しく、防食機能に問題がある可能性が考えられる	構成材料等に浮き等が見られるが防食機能は維持している	構成材料全体に損傷は認められない

表-解2.5.6 電気防食工法の電位モニタリング調査による基準**

判定の区分	I	II	III
電位モニタリング調査(mV:CSE)	インスタントオフ電位が-1100mV以下で過防食状態にあり、分極量が100mVに満たない	インスタントオフ電位が-1100mV以下で過防食状態にあるが、分極量は100mVを満足している	過防食もなく、分極量も維持している

** コンクリート構造物中の鋼材の電気防食要領（案）より
建設省土木研究所、（財）土木研究センター

表-解2.5.7 電気防食工法の追跡点検の判定区分の基準

追跡点検の判定により移動する次のステップ	追跡点検		備 考
	調査項目	判 定	
再追跡点検	外観調査	II、III	構成材料に著しい劣化損傷がなく、過防食・分極量不足が認められない
	電位調査	III	
電気防食専門調査	外観調査	I	構成材料に著しい劣化損傷があり、過防食・分極量不足が認められる
	電位調査	I、II	

(3) 補修効果や補修後の経時変化をきめ細かく把握し、詳細調査の必要性を判定する資料とするものである。

参考資料

研究発表：CONSEC '98

Concrete Under Severe Conditions 2 (1998年6月ノルウェー)