

## 海洋暴露30年経過した水セメント比の異なるコンクリートの調査報告

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 工修 ○三加 崇  
 (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 工修 梅本 洋平  
 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 博(工) 櫻庭 浩樹  
 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 博(工) 佐々木 巖

### 1. はじめに

コンクリート構造物の力学的特性および耐久性は、設計施工に際して重要な検討項目である。高度成長期以降において各地で塩害による鋼材腐食によってコンクリートの損傷が見られたことから、塩害が予想される道路橋の設計・施工に対する対策として、1984年(昭和59年)に「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」が発刊された。鋼材のかぶりを厚くすることや、密実なコンクリートの施工を基本対策として、コンクリート塗装や鉄筋塗装等が推奨されていた。しかし、当時としては耐久性に関する多くの知見が得られていなかったことから、長期的な耐久性に関する研究が求められた。このような背景から、海上飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に確立を目的として、1984年から、海洋構造物の耐久性向上研究委員会の一環として、大井川沖に設置されている海洋技術総合研究施設で長期暴露を実施している。検討項目は、(1)コンクリートのかぶりおよび配合の影響、(2)コンクリート中の鋼材の防食技術として、樹脂塗装鉄筋やPC鋼材の防塩処理材料の検討、(3)塗膜系塗料・含浸系塗料および耐海塩コンクリートの検討などである。

本報告では、今回調査した暴露30年を経過した試験体のうち、水セメント比の違いによる塩分浸透性および電気化学的測定から得られた腐食調査結果を報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体のコンクリート配合を表-1、試験体の種類を表-2、試験体の形状を図-1、図-2に示す。

No.1~No.4は、コンクリートの配合による影響を確認するための中型試験体である。No.5~No.7は、実構造物を模擬したT型のPC梁の大型試験体である。中型試験体に使用したセメントは、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントの2種類とし、水セメント比は40%と50%とした。試験体の形状は300mm×300mm×2000mmで、純かぶりが70mmである。構造形式は、No.2とNo.4が主鉄筋にD13を使用したRC構造と、1T12.4のPC鋼より線でプレテンション方式でプレストレスを導入したPC構造の2種類である。帯鉄筋は、両試験体ともD10である。No.5~No.7は、早強ポルトランドセメン

表-1 試験体のコンクリート配合

配合	セメント種類	W/C (%)	Gmax (mm)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	セメント (kg/m³)	水 (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	
①	普通	40	25	38	8	4.5	405	162	667	1147	
②	ポルトランドセメント	50		42			308	154	780	1135	
③	早強	38		40			420	158	713	1123	
④		ポルトランドセメント		40			38	415	166	659	1133
⑤		45		39			360	162	699	1152	
⑥		50		42			316	158	772	1122	

表-2 試験体の種類

試験体 No.	供試体形状	構造形式	純かぶり	配合	セメント	水セメント比 (%)
No.1	中型試験体 300mm×300mm×2000mm	PC構造(プレテンション)	70	①	普通	40
No.2		RC構造				50
No.3		PC構造(プレテンション)				40
No.4		RC構造				50
No.5	大型試験体 750mm×600mm×5000mm	PC構造(プレテンション)	25	③	早強	38
No.6	大型試験体 1200mm×800mm×5000mm	PC構造(プレテンション)	50			
No.7	PC構造(ポストテンション)	70	⑤			

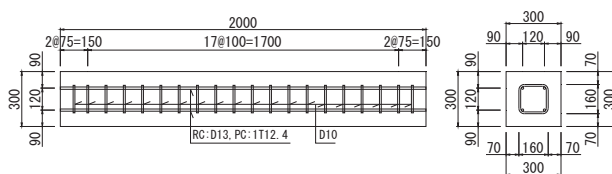


図-1 試験体形状 (中型試験体) (No. 1~No. 4)

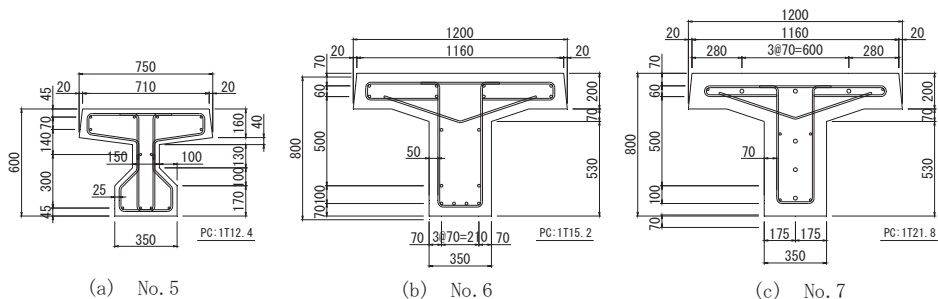
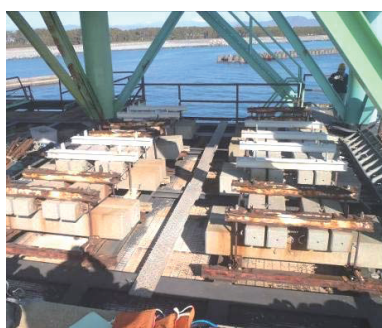


図-2 試験体形状 (大型試験体)



(a) 暴露施設状況



(b) 中型試験体



(c) 大型試験体

写真-1 暴露状況

トを使用し、水セメント比は38%と45%である。純かぶりは25mm, 50mm, 70mmの3種類である。試験体はT型のPC構造であり、No. 5とNo. 6がプレテンション方式, No. 7がポストテンション方式とした。使用したPC鋼より線は, No. 5が1T12.4, No. 6が1T15.2, No. 7が1T21.8で帯鉄筋は, 両試験体ともD10である。

2.2 暴露状況

試験体は、静岡県駿河海岸の沖合250mに位置する海洋技術総合研究施設で暴露を行った。試験体の暴露状況を写真-1に示す。海面から8.9mの高さに位置するデッキ上に設置した。現在で暴露30年である。

2.3 調査方法

試験体の調査項目を表-3に示す。調査は、外観調査、塩化物量調査、電気化学的調査を実施した。

(1) 外観調査

試験体の外観調査は、錆汁、ひび割れ、はく離およびはく落について目視観察を実施した。

(2) 塩化物量調査

試験体からφ45mmのコアを採取し、表層から1cm間隔で4層の試験試料に対して塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法により定量した。各試験体について、2箇所もしくは4箇所を測定した。

表-3 調査対象

試験体 No.	外観調査	塩化物量調査	電気化学的調査
No. 1	○	2箇所	
No. 2	○	2箇所	
No. 3	○	2箇所	
No. 4	○	2箇所	
No. 5	○	4箇所	2列
No. 6	○	4箇所	2列
No. 7	○	4箇所	2列

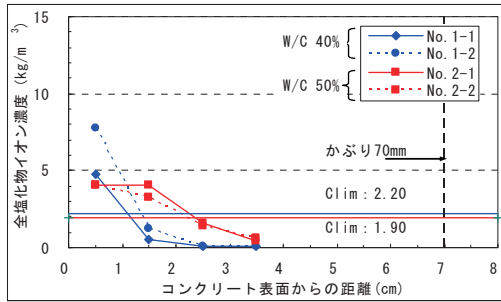


図-3 全塩化物イオン濃度分布 (No. 1, 2)

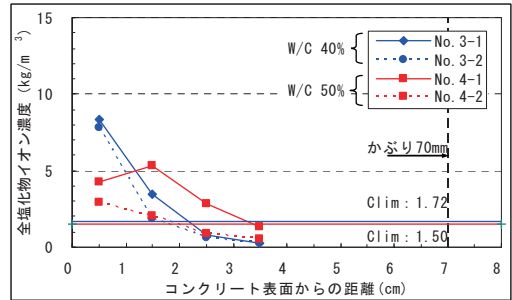


図-4 全塩化物イオン濃度分布 (No. 3, 4)

(3) 電気化学的調査

電気化学的調査は、コンクリート内部の鉄筋の腐食状況の有無を非破壊で確認することを目的とし、コンクリート内部の自然電位と分極抵抗の測定を行った。自然電位測定位置は、下端から70mmと270mmの側面で測定を行った。

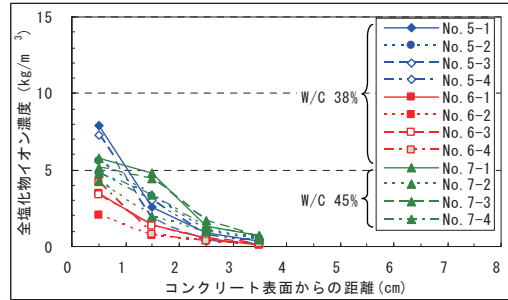


図-5 全塩化物イオン濃度分布 (No. 5~7)

3. 実験結果および考察

3.1 外観調査

試験体の外観調査を行った結果、全ての試験体で若干のひび割れが確認されたが、鋼材の腐食が想定される錆汁等は確認できなかった。

3.2 塩化物イオン濃度

試験体No. 1~No. 7の全塩化物イオン濃度とコンクリート表面からの距離との関係を図-3~図-5に示す。普通セメント，早強セメントのいずれも0cm~1cmの測定結果は、水セメント比が小さい試験体と比較して高い傾向であり、1cm~4cmでは、反対に水セメント比が小さい試験体で低くなる傾向がみられた。これは、組織が緻密化されることで塩化物イオンの浸透を抑制したものと考えられる。

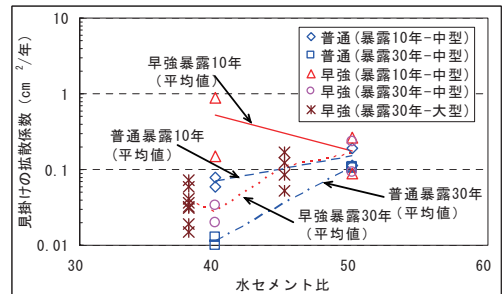


図-6 見掛けの拡散係数と水セメント比

表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数を、Fickの拡散方程式の解を用いた近似曲線から算出した。近似曲線は、各測定値と解析値の二乗和が最小となる最小二乗法により求めた。水セメント比と塩化物イオンの見かけの拡散係数の関係を図-6に示す。

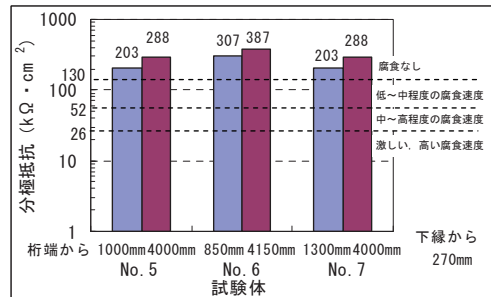


図-7 分極抵抗測定結果

図中には、普通セメントおよび早強セメントについて過去に調査した暴露10年と今回調査した暴露30年の結果を示す。早強セメントの暴露10年を除き、塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、暴露期間に関係なく、水セメント比が小さくなると、拡散係数も小さくなる傾向が見られた。

3.3 電気化学的調査

試験体No. 5~No. 7の分極抵抗の測定結果を図-7、軸方向位置における自然電位の測定結果を図-

8に示す。分極抵抗は、全ての試験体でCEBによる腐食速度の判定基準で、不動態状態の領域にあり、腐食の可能性が小さいものと考えられる。自然電位についても、全ての試験体でASTM-C876の規準から判定すると、90%以上の確率で腐食なしの領域にあり、軸方向位置のばらつきも小さいことから、鋼材に腐食が生じている可能性が小さいことが考えられる。電気化学的調査の結果を確認するために、No. 6の1箇所をはつり調査した結果、写真-2に示すように鉄筋およびPC鋼より線は、腐食が見られず暴露30年においても健全であることを確認した。

4. まとめ

本報告では、以下の知見が得られた。

(1) コンクリートの水セメント比が小さくなると、塩化物イオン濃度の内部分布が低くなる傾向が見られたことから、暴露30年を経過した状態でも、水セメント比が小さいと遮塩性が高いことを確認した。

(2) 塩化物イオンの見かけの拡散係数は、暴露年数によらず水セメント比が50%よりも40%で小さくなることを確認した。

(3) 大型試験体の分極抵抗および自然電位を測定した結果、腐食の可能性が小さいと判断される結果となり、コンクリートをはつり出した内部鋼材にも腐食が見られず、暴露30年では健全であった。

本研究では、現在も暴露試験を継続しており、今後も定期的に試験体を調査し、報告を行う予定である。

**謝辞** 本暴露試験を行っている海洋技術総合研究施設を長期間にわたって維持管理をしていただきありがとうございます国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所の関係各位に深く謝辞を表します。

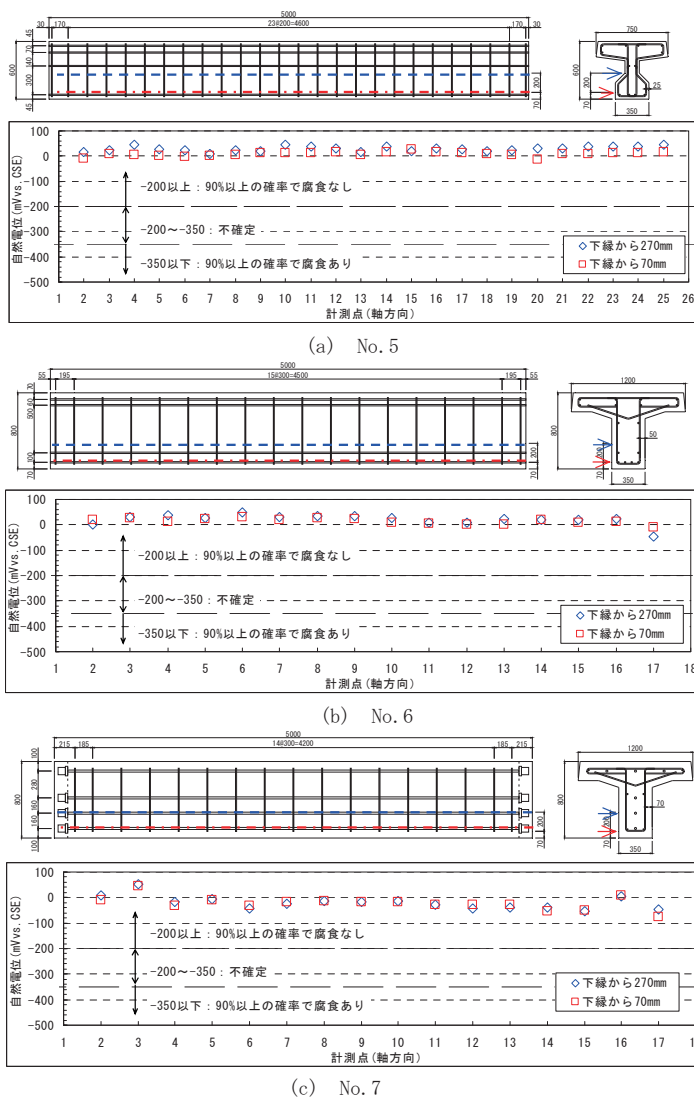


図-8 自然電位測定結果



写真-2 内部鋼材状況 (No. 6)