

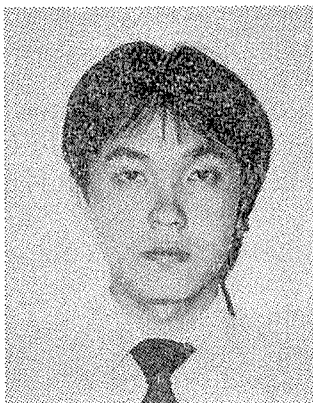
プレストレストコンクリート 港湾構造物のメンテナンス と耐久性について

横 井 聰 之
下 沢 治



Toshiyuki YOKOI

運輸省港湾技術研究所材料施工研究室長



Osamu SHIMOZAWA

運輸省港湾技術研究所材料施工研究室

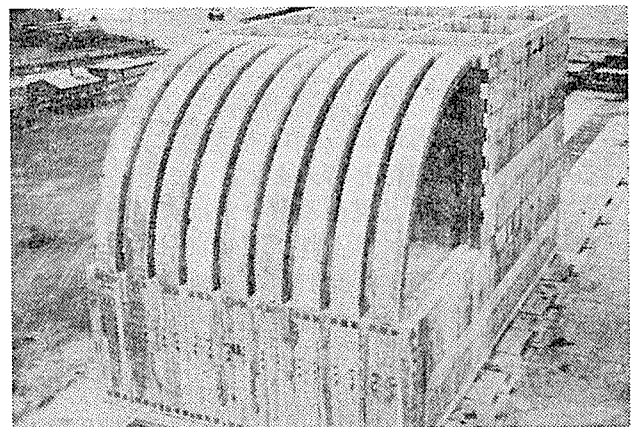
1. はじめに

我が国においては、ここ数年プレストレストコンクリート（以下 PC と略記する）を港湾構造物に適用しようとする試みが積極的になされている。従来はさん橋上部工などに使われているが、数多く用いられるというほどではなかった。これは港湾構造物には、重力式のけい船岸や防波堤構造のように、自己の重量によって外力に抵抗する構造形式のものが多く、PC の特徴を十分に発揮できるような形式の構造が少ないこと、および鋼材の腐食に対する環境条件が厳しいことから、万一 PC 鋼材が腐食により損傷をうけると、その影響は RC の鉄筋の腐食によるものよりもはるかに大きいことから、PC の採用に積極的になれなかったなどの理由によるものと思われる。

しかし、港湾の施設も、建設される地点が、たとえば沖合の水深が深く、波浪の大きいところや軟弱粘性土が厚く堆積した個所などのように、自然条件の厳しいところへと拡がってくると、そのような自然条件に対応できるように、また当然のことながら高くなる建設費をできるだけおさえるため、構造物の形式も従来のタイプにとどまらず、新しい形式のものを開発する試みがなされるようになった。

PC も、海外では大型の海中貯油タンクなどが建設されていることから、あらためて見直されるようになり、PC を用いた新しい港湾構造物が造られるようになった。たとえば、写真—1 に示す防波堤用の曲面スリットケーソンは、曲面梁のスリットにより防波堤堤体に作用する波圧と反射波の減少をはかろうとするものであるが、曲面梁には大きな引張力が働くため、これを PC 部材としたものである。

PC をさらに広く港湾構造物に適用するには、技術面では海洋環境下における PC 部材の力学的特性および耐



写真—1 曲面スリットケーソン

久性の解明，設計法の確立，施工法の検討などの問題があるが，なかでも耐久性が最も大きい問題である。

本文においては，最近の PC 港湾構造物の情勢，港湾構造物のメンテナンスの特徴および PC の耐久性試験の結果を中心に述べることにする。

2. 港湾構造物のメンテナンス

港湾構造物は，一般にその大部分が海中に没しているため，一度建設した構造物を後になって補修することは簡単ではない。

劣化した構造物を補修することもあるが，台風，地震などによる被災の復旧を除けば，通常行われている維持・補修関係の工事は，舗装や付属施設（防げん材，車止め，照明設備など）の補修が多い。

また，本体構造物に関してメンテナンスを前提としているものに，鋼矢板や鋼杭などの鋼材に対する電気防食などがあるが，一般にはメンテナンスを前提としていない。

メンテナンスに関するいま一つの問題として，港湾施設の維持管理に要する費用に対しては国費の補助がないという予算面の問題がある。

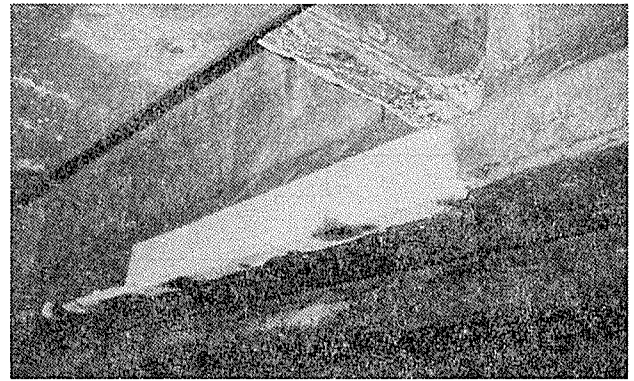
このように港湾構造物は，基本的にメンテナンスにできるだけ手をかけなくてすむように建設時から考慮しなければならない。この点からも耐久性が要求されるわけである。

しかし，今後は過去に建造した構造物が耐用年数を終るようになることもあり，構造物の維持・補修が問題となってくると予想される。このため運輸省では，港湾構造物のメンテナンス技術に関するワーキンググループを作り，検討をはじめている。

3. コンクリート港湾構造物の補修

コンクリート港湾構造物の補修のうち，比較的多いものがさん橋上部工のコンクリートの補修である。さん橋上部工の下面は，高潮位時には海面との距離が数 10 cm となることが多く，波浪条件によっては海水に接する状態になる。また，上部工下面は常時塩分を含んだ高湿度の外気に暴露されており，鋼材の腐食が生じやすい環境にあり，かぶりが不十分であったり，コンクリートの施工に難があったり，さらに建設時に想定した荷役機械よりも大型のものが使用されるなど，過大な荷役荷重が作用することなどが重なって，鉄筋の腐食，コンクリートのひびわれ，はく離が生じることがある。

このような場合の補修の方法としては，ひびわれに対してはエポキシ樹脂等の注入や，コンクリート表面への塗布などが行われる。またコンクリート表面が部分的に



写真—2 PC さん橋桁の補修

欠け落ちたり，はく離している場合は，劣化した部分のコンクリートを除去し，鉄筋の腐食が著しい場合には腐食部分を切断除去して，はつり出した鉄筋に新しい鉄筋を溶接あるいは重ね継手によって定着する。鉄筋表面をエポキシ樹脂やポリマーセメントで被覆することもある。表面部分の被覆は，コンクリートの充填，ショットクリート，セメントモルタル，エポキシモルタルなどによってコーティングする。

これらの補修工法も，事例が少ないことから，その効果は必ずしも明らかではない。

水中部分のコンクリートの補修はさらに困難である。

補修の事例については文献 1)，2)，3)などを参照されたい。

PC 港湾構造物の補修については，事例がさらに少ないが，RC 構造物や陸上の PC 構造物の場合を参考に工法を検討することになる。

写真—2 は PC のさん橋桁の表面にエポキシ樹脂を塗布した例であるが，この例では必ずしも十分な効果を発揮していない。

4. PC 港湾構造物のモニタリング

前述のように新しい PC 港湾構造物が建造されるようになったが，それらの構造物が期待した機能を発揮しているかを確認するため，また構造解析法のチェックのため，現地において計測を行っている事例がある。以下にそれらの概要を紹介する。

図—1，写真—3 は PC の浮防波堤である⁴⁾。この浮防波堤は，現在試験的に熊本港に設置されているが，表—1 に示すような各種の計測を行っている。計測の主目的は浮防波堤の機能の検証であるから，波浪，函体の挙動に関する計測が中心であるが，函体の部材応力も計測している。

次に，図—2 は最初に紹介した曲面スリットケーソン式防波堤であるが，これについても同様の計測を行っている⁵⁾ (図—3)。この場合も曲面梁および背後の壁面に

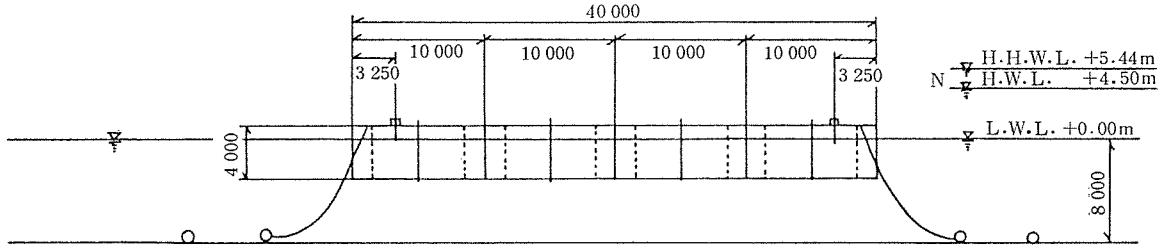


図-1 PC 浮防波堤

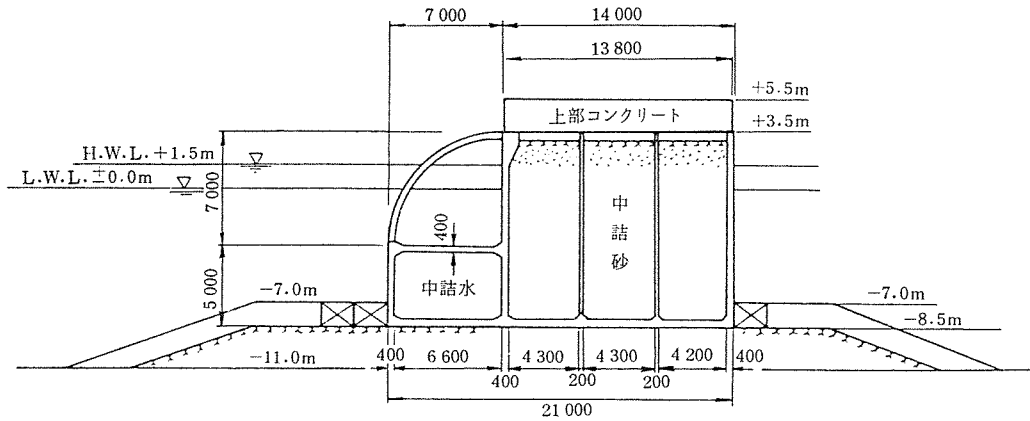


図-2 曲面スリットゲート式防波堤

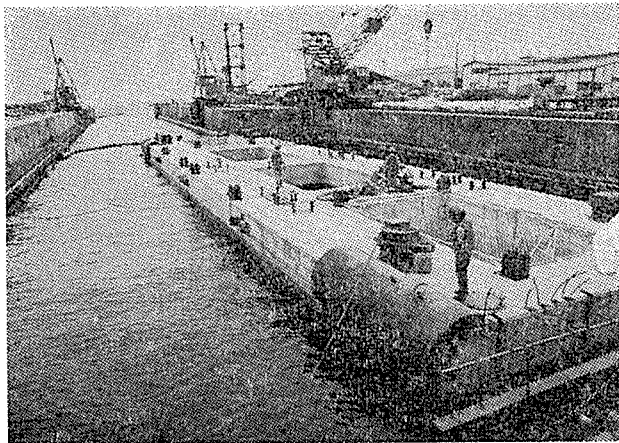


写真-3 PC 浮防波堤

表-1 浮防波堤計測器

計測項目	変換器	測定点数
波 圧	歪ゲージ式波圧計	3
部 材 応 力	歪ゲージ式鉄筋計 カールソン式歪計	12 2
係留チェーン張力	歪ゲージ式シャーピン型張力計	4
波 高	水圧式波高計 超音波式波高計	2 2
動 揺	サーボ型傾斜計 サーボ型加速度計	3 3

表-2 北海貯油タンク計測器

形 式	名 称	オペレーター	設置年	間隙水圧	土 圧	ストレインゲージ			沈 下	加 速 度 計	傾 斜 計	差 分 水 圧 計	衝 撃 圧 計	ほ ぞ 歪 計	温 度 計	
						スラブ	シャフト	スカート								
DORIS	Ekofisktank	Phillips	1973	×		×			×	×	×					
CONDEEP	Beryl A	Mobil	1975	×	×	×			×	×		×				
CONDEEP	Brent B	Shell	1975	×	×	×	×		×	×		×		×		
DORIS	Frigg CDP 1	Elf	1976	×					×	×						
SEA TANK CO	Frigg TP 1	Elf	1976	×			×		×	×		×				
DORIS	Frigg MCPC 1	Total	1976													
CONDEEP	Brent D	Shell	1976	×	×	×			×	×		×				
CONDEEP	Statfjord A	Mobil	1977	×	×	×	×		×	×	×	×		×		
ANDOC	Dunlin A	Shell	1977	×	×	×		×	×	×	×	×				
CONDEEP	Frigg TCP 2	Elf	1977	×	×	×	×		×	×	×	×	×			
SEA TANK CO	Cormorant A	Shell	1978	×	×			×	×	×	×			×		
SEA TANK CO	Brent C	Shell	1978	×			×		×	×		×				×
DORIS	Ninian	Chevron	1978	×		×		×	×	×	×					

波 圧 計 (WP) (PR)
 鉄 筋 計 (IS) (RR)
 P C 歪 計 (PC)
 カールソン歪計 (CS)
 速 度 計 (EQ)
 端 趾 圧 計 (EP)

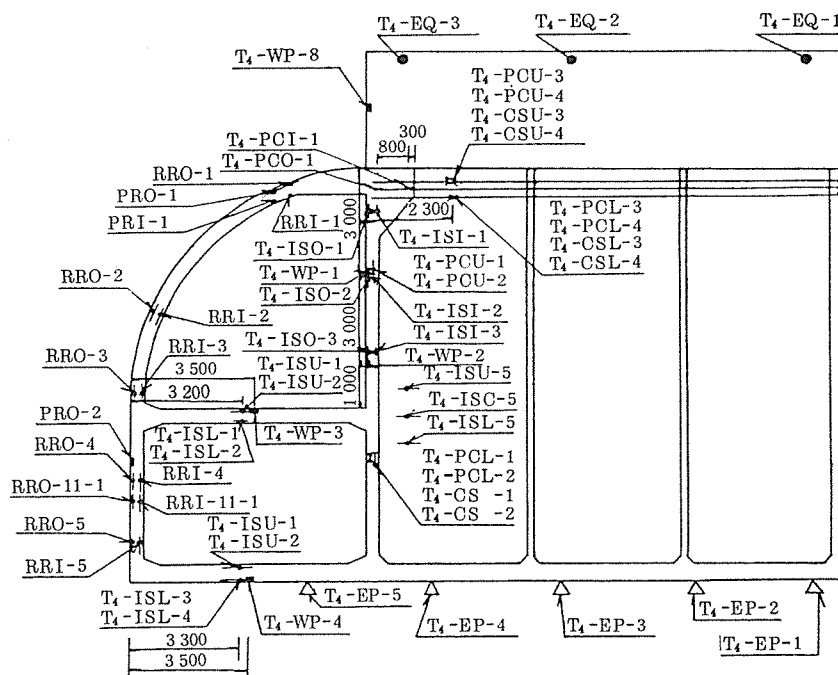


図-3 曲面スリットケーソン計測器配置図

作用する波圧を中心に計測しているが、PC 鋼材および鉄筋の応力も計測している。

以上の二例はいずれも現在計測を実施中である。

このような実構造物に対する計測は、北海の貯油タンクにおいても行われている⁶⁾。表-2 にその概要を示す。

表-3 PC 梁耐海水性試験の概要

A 梁 の 試 験 要 因	1	プレテンション方式か、 ポストテンション方式か	{ a プレテンション方式 b ポストテンション方式
	2	鉄筋 3cm かぶりは PC鋼より線 (プレテンション方式) いくらか PC鋼棒 (ポストテンション方式)	{ a 4cm b 7cm a 5.5cm b 6cm
3	特別な防食方法を用いているか	{ a 用いていない b エポキシ樹脂塗装している c 防錆剤を用いている	
4	接合部はあるか	{ a ない b エポキシ樹脂を用いた接合部がある	
B 暴 露 環 境 条 件	1	感潮部：海水循環水槽内で1日2回人工的に潮の干満作用を受ける環境である。	
	2	陸上部（海面大気中）：常時潮風を受け、台風時には飛沫、波を受ける環境である。	
	3	海中部：海水循環水槽内で、ほとんど常時海水中の環境である。	
C 試 験 項 目	1	目視による腐食状況の観察：PC梁よりPC鋼材、鉄筋等を取り出し腐食状況を観察する。	
	2	塩素含有量の測定：モルタル中の水溶性塩素量を測定する。	
	3	電気化学的測定：自然電極電位、動電位分極曲線、分極抵抗法による腐食電流密度の測定を行った。	

5. PC 梁の耐海水性試験

港湾技術研究所においては、PC 梁の海洋環境下における暴露試験を行っているが、7年間暴露した供試体の試験結果を発表している⁷⁾のでその概要を紹介する。詳細は原報告書⁷⁾を参照されたい。なお、この試験は20年間継続して行方予定である。

5.1 試験の概要

この試験は、次の3点の検討を目的としている。

① かぶり：工場製品のプレテンション方式のPC梁は、JIS規格のものも多く、品質管理もよいが、そのかぶりは2.5~4cmと小さいものが多く、かつ、その耐海水性に対する実証研究は少ない。港湾構造物に用いるかぶりとしての妥当性を検討する。またポストテンション方式のPC梁についてもあわせて検討する。

表-4 供試体一覧表

梁の種類	プレストレスの与え方	かぶり	特別な防食方法	暴露条件	梁の記号
R型	プレテンション方式	鉄筋 3cm PC鋼より線 (5.5cm 7cm)	用いていない	感潮部	R1A
				陸上部	R1C
			エポキシ樹脂塗装	感潮部	R1D
			防錆剤	感潮部	R1E
T型	プレテンション方式	鉄筋 3cm PC鋼より線 (4cm 7cm)	用いていない	感潮部	T1A
O型	ポストテンション方式	鉄筋 3cm シース (5cm 6cm)	用いていない	感潮部	O1A*
				海中部	O1B

* 印は O1A において接合部のあるもの、ないものを製作した。

論 説

② 新しい防食方法：PC の耐海水性を向上させるために、種々の防食方法があるが、長期の耐海水性が確認されているものは少ない。ここではコンクリート表面のエポキシ樹脂塗装および防錆剤を混入したコンクリートの防食性を検討した。

③ 接合部と定着部の保護方法：接合部と定着部にそれぞれ陸上構造物と同程度の保護を施した場合の耐海水性を検討した。

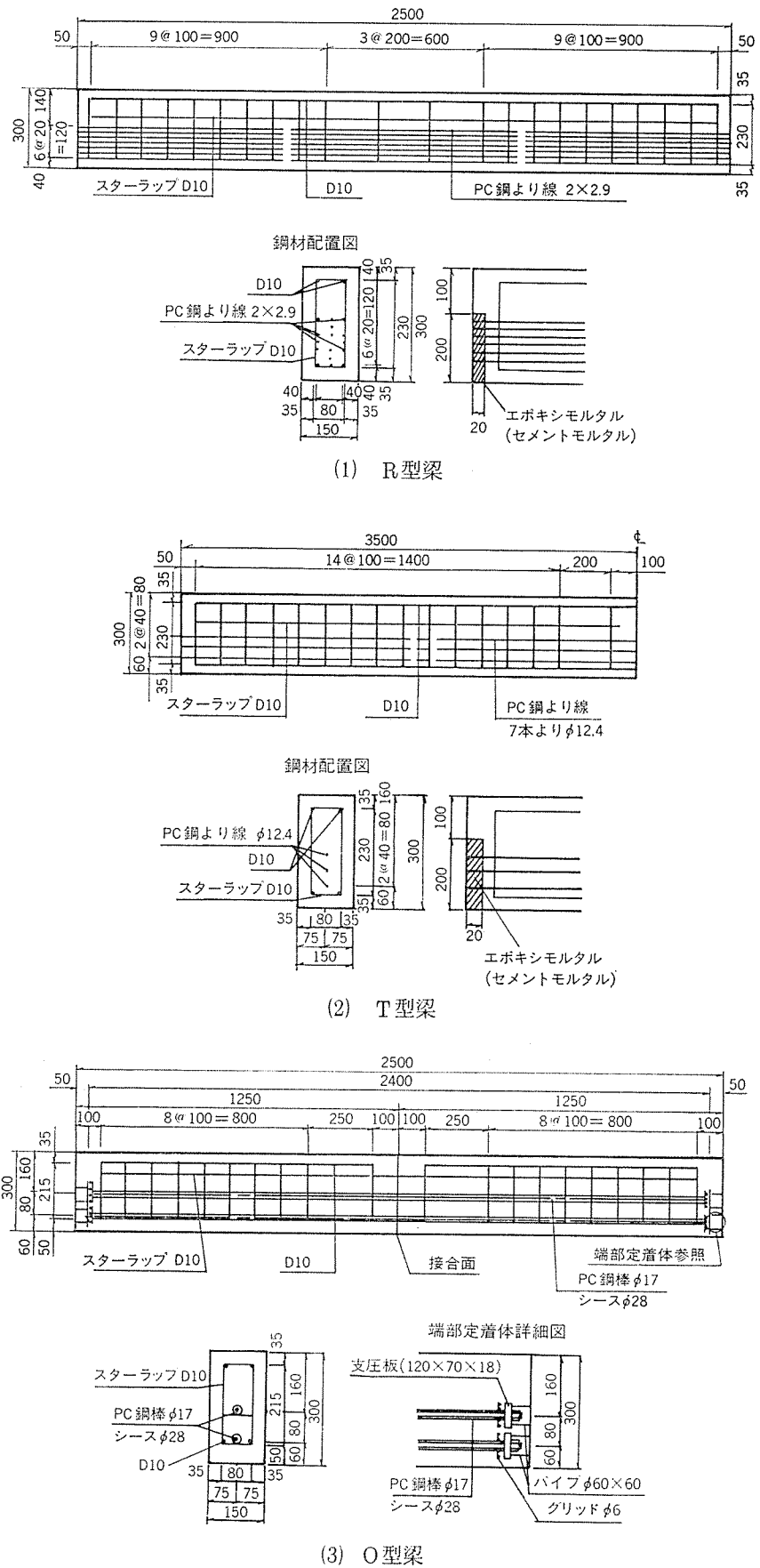
次にこの試験の試験要因を表—3 に示す。また、供試体の種類を表—4、図—4 に示す。供試体の製作に用いたコンクリート材料は、早強ポルトランドセメント、水道水、川砂、川砂利およびAE減水剤で、配合および圧縮強度試験結果は表—5 のとおりである。なお防錆剤は亜硝酸塩を主成分としたものを用い、コンクリート 1 m³ に 3 l 混入した。PC 鋼より線は、JIS G 3536 に定める SWPR 2.9 mm 2本より線および SWPR 7 A 7本より 12.9 mm であり、PC 鋼棒は JIS G 3109 に定める SBPR 80/95 φ 17 mm を用いた。定着部の保護は図—4 に示すように、プレテンション方式ではエポキシ樹脂モルタル (R1D および R1E) またはセメントモルタル (R1A および R1C) を充填し、ポストテンション方式ではエポキシ樹脂モルタルをパイプ内に充填した。O型梁の接合には、エポキシ樹脂を用いた。

供試体は海水循環水槽内に暴露した。

試験項目は、供試体より鋼材を取り出した後の目視による腐食状況観察、モルタルの塩素含有量および梁内部の鋼材の電気化学的測定である。

5.2 試験結果

R型梁の腐食状況の観察結果を図—5 に示す。梁中央部については、



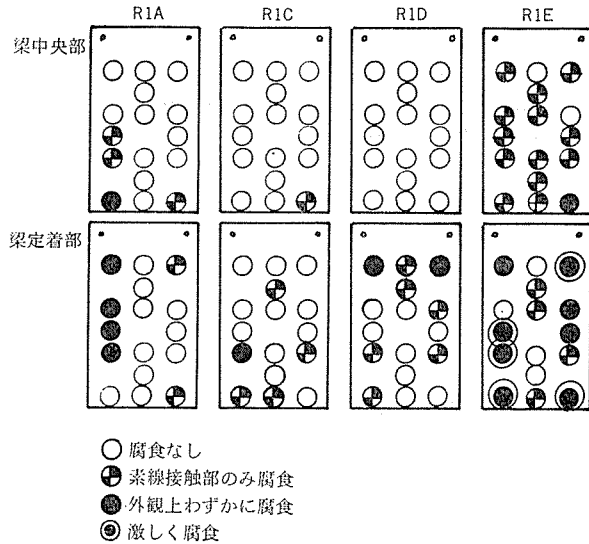
図—4 PC 梁概略図

表—5 コンクリートの示方配号および圧縮強度試験結果

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kgf/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	A E減水剤
20	5±1	4±1	37.0	40.5	167	460	710	1080	1.84

材 令 (日)	3	7	28
圧縮強度 (kgf/cm ²)	509	691	689

注：供試体3本の平均値



図—5 R型梁の腐食状況

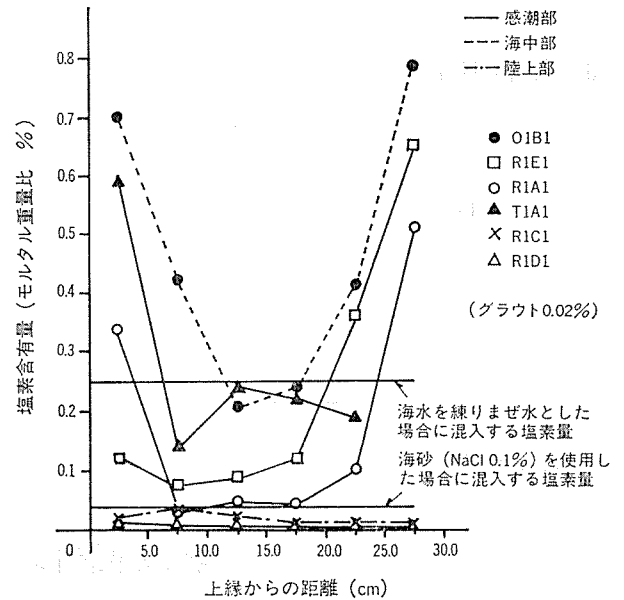
感潮部に暴露した R1A では外側の PC 鋼より線にわずかに腐食がみられ、陸上部に暴露した R1C およびエポキシ樹脂を塗布した R1D は殆んど、あるいは全く腐食がみられない。しかし、防錆剤を用いた R1E は内部のより線まで腐食している。定着部については、各供試体ともに、梁中央部よりも腐食が進行している。モルタルとコンクリートの継ぎ目部 (R1A, R1C) は深さ 2cm 程度まで中性化していた。また R1E の定着部では鋼材端部より赤錆が溶出しているのが認められた。

T型梁の中央部での PC 鋼より線は、外観上は腐食は認められなかったが、より線を7本の素線に分解すると、中心軸線は全面腐食であり、他の6本の接触部も腐食していた。

O型梁の中央部付近での PC 鋼棒の腐食状況は、グラウトで十分保護されていることもあり、全く腐食は認められなかった。シースはブリージングの影響と思われるうすい赤錆がシース下面に観察された。また接合部においても PC 鋼棒に腐食は全く見られなかった。

なお、PC 鋼より線よりもかぶりの小さな (3cm) 鉄筋の腐食程度は、ブリージングの影響と考えられるうすい赤錆が認められる程度で、大部分がかろうじて腐食が観察される状態だった。

また、定着部以外でのコンクリートの中性化は 1mm



図—6 塩素含有量

程度であった。

次に塩素含有量については、各梁の中央部においてモルタルを採取し、塩素含有量を測定したが、その結果を図—6 に示す。

電気化学的測定結果については、ここでは省略する。

5.3 試験の結論

この試験は、暴露期間が7年間であること、海水循環水槽で行ったこと、および梁に耐久性上重要な因子である曲げひびわれを発生させなかったこと、などの範囲で行ったものであるが、この範囲内で次のことが言えると考えられる。

① プレテンション方式 PC 梁内部の PC 鋼より線は、かぶりの同一のコンクリート中の鉄筋およびポストテンション方式 PC 梁の PC 鋼棒と比較してやや腐食しやすい。そのため工場製品であっても、少なくとも既往の RC 港湾構造物のかぶり (海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、および激しい潮風をうける部分 7cm、それ以外の部分 5cm) は確保する必要がある。

② 梁表面に施工したエポキシ樹脂塗装は、コンクリート中への塩素の浸透および鋼材の腐食を少なくし

て、防食上効果が認められた。しかし、コンクリート練りませ時に添加する防錆剤（亜硝酸ナトリウム系）については効果が認められなかった。

- ③ エポキシ樹脂接合は、曲げひびわれを発生させない範囲で PC 鋼材およびシースの腐食の観点からは弱点とはなっていなかった。また、現在一般的に用いられている定着部の保護方法による防食は不十分であり、より効果的な保護方法を用いる必要がある。

6. おわりに

すでに述べてきたように、近年 PC が港湾構造物に用いられるようになったが、今後さらにこれを拡大していくためには、PC の耐久性の確認が重要なポイントであると思われる。この方面の研究が一層進められなければ

ならない。また、メンテナンスの技術についても、現在殆んど指針となるべきものもないが、あわせて検討していかなければならない問題である。

参 考 文 献

- 1) 「コンクリート構造物の補修ハンドブック」技報堂, 1978
- 2) 「コンクリートのひびわれ調査・補修指針」日本コンクリート工学協会, 1980
- 3) 関, 大友:「海洋コンクリート・水中コンクリート」最新コンクリート技術選書, 山海堂, 1982
- 4) 「浮防波堤開発試験」第四港湾建設局, 1983
- 5) 「秋田港実験堤について」第一港湾建設局, 1981
- 6) “The inspection, maintenance and repair of concrete sea structures” FIP, 1982
- 7) 大即, 下沢:「7年間海洋環境下に暴露したプレストレストコンクリートはりの耐海水性について」港湾技術研究所報告, 第21巻2号, 1982

◀刊行物案内▶

第22回研究発表会講演概要

体 裁 : B 5 判 60 頁

定 価 : 15 000 円 送 料 : 250 円

内 容 : (1) PC 鋼材の品質に関する調査研究, (2) シースと PC 鋼材の摩擦試験, (3) プレストレストコンクリート部材の変形性状に関する研究 (そのⅠ 実験計画), (4) 同前 (そのⅡ 実験結果), (5) 同前 (そのⅢ 結果の考察), (6) 浮防波堤の設計と施工, (7) アンボンド PC 鋼材を用いたテーパースラブ構造に関する研究, (8) Ⅲ種 PC はりのせん断挙動と強度に及ぼすプレストレスの効果, (9) 純ねじりを受けるⅢ種 PC はりの強度と変形性状, (10) PRC スラブの曲げひびわれ幅算定方式の検討, (11) PRC 部材の内部ひびわれ形状について, (12) アンボンド PRC 梁の履歴曲線とその略算法について, (13) アンボンド PRC スラブの実用設計法, (14) PC 埋設型枠床版の耐荷性状に関する多角的調査研究, (15) 吊床版橋の実験について, (16) PC スノー (ロック) シェッドの載荷試験と施工について, (17) [特別講演] (省略), (18) 八代 PC セメントサイロの設計と施工について, (19) 急速施工 PC I 形の施工精度, (20) プレストレストコンクリート単弦補剛拱橋の設計と模型実験, (21) スノーフリー型 PC 桁の架設—五能線・笹内川 B—, (22) 新小田橋上部工の設計施工について, (23) 7 径間連続 PC 箱形桁押し出し工法<日豊本線駅館川橋梁の施工>, (24) 東関東自動車道栄町高架橋の移動支保工による施工について, (25) 中国自動車道宇佐川橋における流動化コンクリートの使用について, (26) 錦ヶ岡第三跨道橋 (PC 斜張橋) の設計・施工について, (27) 佐方第二橋の設計と施工について