

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

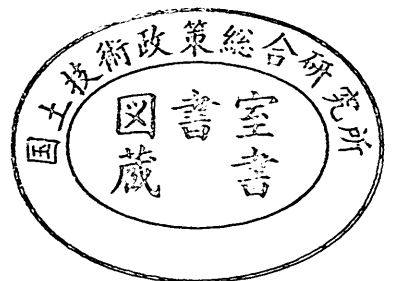
---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 21      NO. 2      JUNE 1982

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第 21 卷 第 2 号 (Vol. 21, No. 2), 1982 年 6 月 (June 1982)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Theoretical Properties of Oblique Waves Generated by Serpent-type Wave-makers .....Tomotsuka TAKAYAMA..... 3  
(造波機によって発生する斜め波の特性について .....高山知司)
2. レーザー・ドップラー流速計による碎波帯内の流速場の構造の解明  
.....灘岡和夫・近藤隆道・田中則男..... 49  
(The Structure of Velocity Field within the Surf Zone Revealed by Means of Laser-Doppler Anemometry  
.....Kazuo NADAOKA, Takamichi KONDOH and Norio TANAKA)
3. プイ係留船舶の荒天時の振れ回り運動.....鈴木康正・諸石一幸..... 107  
(On the Slow Motions of Ships Moored to Single-point Mooring Systems  
..... Yasumasa SUZUKI and Kazuyuki MOROISHI)
4. 各種消波工による越波流量の減少効果  
.....高山知司・永井紀彦・西田一彦..... 151  
(Decrease of Wave Overtopping Amount due to Seawalls of Low Crest Types  
..... Tomotsuka TAKAYAMA, Toshihiko NAGAI and Kazuhiko NISHIDA)
5. コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能  
.....福手 勤・八谷好高・山崎英男..... 207  
(Efficiency of Load Transfer at Joints in Concrete Pavements  
..... Tsutomu FUKUTE, Yoshitaka HACHIYA and Hideo YAMAZAKI)
6. 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.....大即信明・下沢 治..... 237  
(The Study on the Durability of PC beams after 7 Years' Exposure in Marine En-  
vironment.....Nobuaki OHTSUKI and Osamu SHIMOZAWA)
7. 港湾経済効果の計測手法.....中野 勉・稲村 肇..... 261  
(Development and Application of Synthetic Economic Evaluation Model for Port  
Planning .....Tsutomu NAKANO and Hajime INAMURA)
8. 付着油除去システムの開発実験.....奥出 律・松本 茂..... 315  
(Development of Removal System for Spilt Oil Sticking to Beaches and Coastal  
Structures .....Tadasu OKUDE and Shigeru MATSUMOTO)

## 6. 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

大 即 信 明\*・下 沢 治\*\*

### 要 旨

近年、我が国においては、PCを用いた港湾構造物の調査および設計の実施例が数多くなされるようになり、施工も行われるようになった。しかしながら、PCを港湾構造物に用いるに際して、いまだ未解決の問題がある。それらの問題のなかでもPCの耐海水性に関する問題は特に重要である。

本研究は、PCの耐海水性のなかでコンクリート内部のPC鋼材の腐食に焦点をあわせ、設計施工上から至急何らかの知見が必要とされる問題の中で下記の3点について検討を行うものである。

- ① かぶりの問題：工場製品のプレテンション方式PCはりのかぶりを、港湾におけるRC（鉄筋コンクリート）はりのかぶりより小さくしてよいか。
- ② 新しいタイプの防食方法の問題：コンクリート表面のエポキシ樹脂塗装あるいはコンクリートに混入する防錆剤は有効か。
- ③ 接合部と定着部の保護の問題：接合部のエポキシ樹脂処理あるいは定着部のエポキシ樹脂モルタルまたはセメントモルタルを用いた処理は防食上の保護として有効か。

の3点である。

供試体はりの試験要因としては、上記の問題点を検討するために、PC鋼材のかぶり、特別な防食方法の有無、プレテンション方式とポストテンション方式の別などを考えた。なお、供試体はりに曲げひびわれ等は発生させなかった。

試験項目としては、目視による腐食状況の観察、塩素含有量の測定、電気化学的測定などを行った。

上記の供試体はりを、主として最も腐食環境として厳しいと考えられる感潮部に7年間暴露した後、試験を行った。その試験結果の範囲で次の結論がいえる。

- ① プレテンションPCはりではPC鋼より線は、ポストテンションPCはりのPC鋼棒や鉄筋に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プレテンション方式PCはりのかぶりが小さければ防食上不利と判断され、少なくとも既往の鉄筋コンクリートのかぶりは確保することが望まれる。
- ② 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くし、防食上効果が認められた。また、防錆剤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PC鋼材およびシースの腐食という観点からは弱点となっていなかった。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。

\* 構造部 主任研究官（コンクリート担当）

\*\* 構造部 材料施工研究室

## 6. The Study on the Durability of PC beams after 7 years' Exposure in Marine Environment

Nobuaki OHTSUKI\*  
Osamu SHIMOZAWA\*\*

### Synopsis

In these years, the use of PC for port and harbour structures has become active. Therefore, it is more necessary to get the information on the durability of PC in marine environment.

This paper reports the investigation on the three unanswered questions which are necessary to be answered as soon as possible. The three unanswered questions are as follows:

- (1) The question about the cover depth; Can we allow the cover depth of the embedded steels in the PC members which are manufactured at the JIS factories to be less than that of the ordinary members?
- (2) The question about the new method of corrosion prevention of the embedded steels; Is the epoxy resin coating on the PC beams or the use of admixtures for corrosion prevention effective?
- (3) The question about the joints and the anchorages; Is the protection of epoxy resin mortar or cement mortar for the joints or anchorages sufficient?

The PC beam specimens include such factors, as the cover depth of the embedded steels, the method of tensioning (pre-tensioned or post-tensioned), with or without special corrosion prevention method, and with or without joint.

After 7 years' exposure of the PC beams in marine environment, mainly in the sea condition of ebb and flow, the observation of the corrosion states of the embedded steels, the measurements of the chloride contents of the mortar, and the electrochemical measurements are made.

The experimental results obtained so far are as follows:

- (1) The reduction of the cover depth of the embedded steels in the pre-tensioned PC members can't be permitted from the viewpoint of corrosion prevention.
- (2) The epoxy coating on the PC beam is effective for corrosion prevention, but the use of admixture isn't.
- (3) The epoxy resin joint is sufficient, but the anchorages using epoxy resin mortar or cement mortar isn't sufficient for corrosion prevention.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Member of the Materials Laboratory, Structures Division

## 目 次

要 旨 .....	237
1. ま え が き .....	243
2. PC はり耐海水性試験の概要 .....	243
3. PC はりの製作および耐海水性試験方法 .....	246
3.1 供試体の製作.....	246
3.2 暴 露 条 件.....	248
3.3 試 験 方 法.....	249
4. 7 年暴露後の試験結果 .....	249
4.1 腐食状況の観察.....	249
4.2 塩素含有量.....	251
4.3 電気化学的測定.....	251
5. PC はりの耐海水性に関する考察 .....	256
5.1 かぶりについて.....	256
5.2 新しいタイプの防食方法について.....	257
5.3 接合部と定着部について.....	258
6. 結 論 .....	258
参 考 文 献 .....	258

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



写真-2  
RIA(端部保護モルタル)

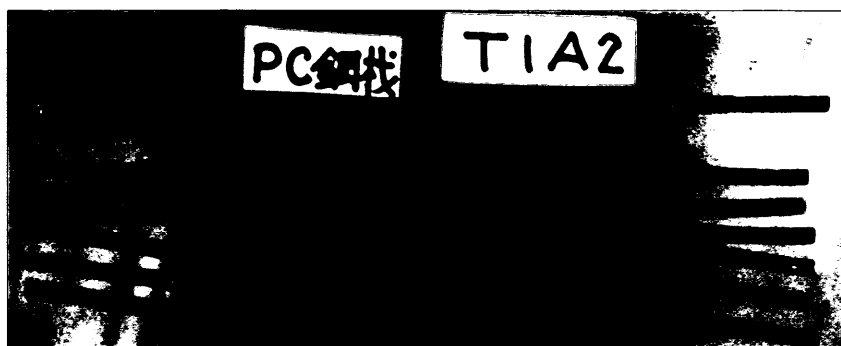


写真-4 TIA中央部(PC鋼7本より線)

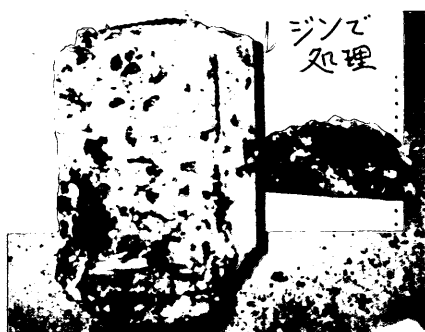


写真-3 RIE(端部)



写真-5 TIA(端部)



写真-6 TIA端部(PC鋼7本より線)

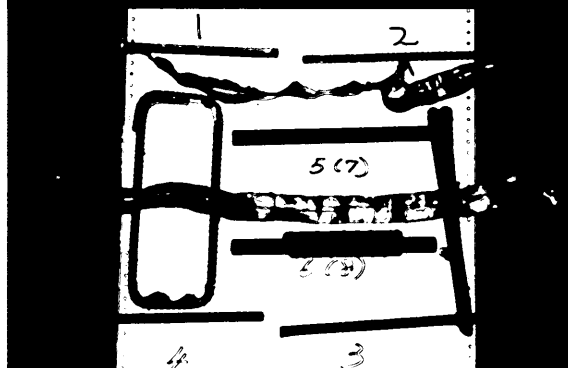


写真-7 OIA(シース内部の錆)

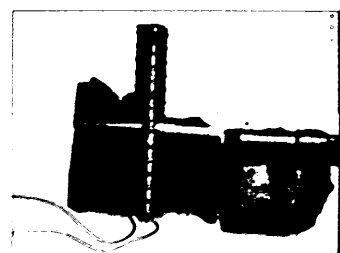


写真-8 OIA(接合部)

## 1. まえがき

近年、我が国においては、プレストレストコンクリート（以下 PC と略記する）を用いた港湾構造物の調査および設計の実施例が数多くなされるようになり、施工も行われるようになった。しかしながら、PC を港湾構造物に用いるに際して、いまだ未解決の問題がある。それらの問題のなかでも PC の耐海水性に関する問題は特に重要である。

本研究は、PC の耐海水性のなかでコンクリート内部の PC 鋼材の腐食に焦点をあわせ、設計施工上から至急何らかの知見が必要とされる問題の中で下記の3点について検討を行うものである。

### ① かぶりの問題

工場製品のプレテンション方式 PC はりは、JIS 規格のものも多く、品質管理等も十分であるので、耐海水性も十分であろうという推察のもとに港湾工事にも用いられている。しかし、そのかぶりは 2.5~4 cm と小さなものが多く、かつ、その耐海水性に対する実証研究も行われていない。このため、工場製品ということでかぶりの小さなものをそのまま港湾構造物に用いることを認めえるか検討する。

### ② 新しいタイプの防食方法の問題

海洋環境下での PC の耐海水性をよくするために、種々の防食方法が考案されているが、長期の耐海水性が確認されているものは少ない。本研究では、コンクリート表面のエポキシ樹脂塗装あるいは防錆剤を混入したコンクリートは防食上の有効性を検討する。

### ③ 接合部と定着部の保護の問題

PC を用いる場合にはプレキャスト部材として用いることが多く、それらの部材を接合して構造物とするため、接合部を避けることはできない。また、部材には、PC 鋼材を定着するための定着部が必ずある。本研究では、接合部と定着部にそれぞれ陸上構造物に用いると同程度の保護を用いて、その耐海水性を検討した。

なお、著者の調査した範囲では、我が国においてこれらの項目について長期の暴露試験より論じたものはない。

## 2. PC はり耐海水性試験の概要

前節で述べた問題点を検討するために、供試体はりの製作を行い、所定の海洋環境下に暴露し、その後はり内部の鋼材の腐食について検討した。供試体はり製作に関する試験要因、暴露条件および試験項目の概略を表-1 に示す。

表-1 試験の概略

A. はりの試験要因	
1. プレテンション方式か	ポストテンション方式か
	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. プレテンション方式</li> <li>b. ポストテンション方式</li> </ul>
2. かぶりはいくらか	
	鉄筋 3 cm PC 鋼より線 (プレテンション方式) <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 4 cm</li> <li>b. 7 cm</li> </ul> PC 鋼棒 (ポストテンション方式) <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 5.5 cm</li> <li>b. 6.0 cm</li> </ul>
3. 特別な防食方法を用いているか	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 用いていない</li> <li>b. エポキシ樹脂塗装している。</li> <li>c. 防錆剤を用いている。</li> </ul>
4. 接合部はあるか	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. ない</li> <li>b. エポキシ樹脂を用いた接合部がある。</li> </ul>
B. 暴露環境条件	
1. 感潮部:	図-1 に示す当所海水循環水棺内で1日2回人工的に潮の干渉作用を受ける環境である。
2. 陸上部 (海面大気中):	図-1 に陸上部と記してある場所で、常時潮風をうけ、台風時には、しぶき、波を受ける環境である。
3. 海中部:	図-1 に示す当所海水循環水棺内でほとんど常時海中の環境である。

C. 試 験 項 目

1. 目視による腐食状況の観察： PC はりより 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。

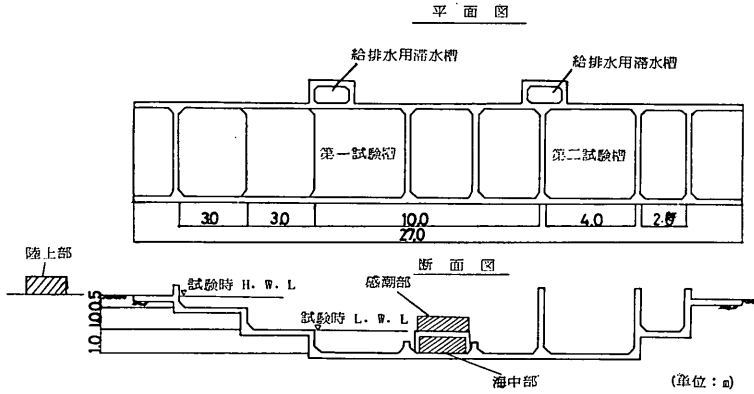


図-1 循環水槽供試体設置図

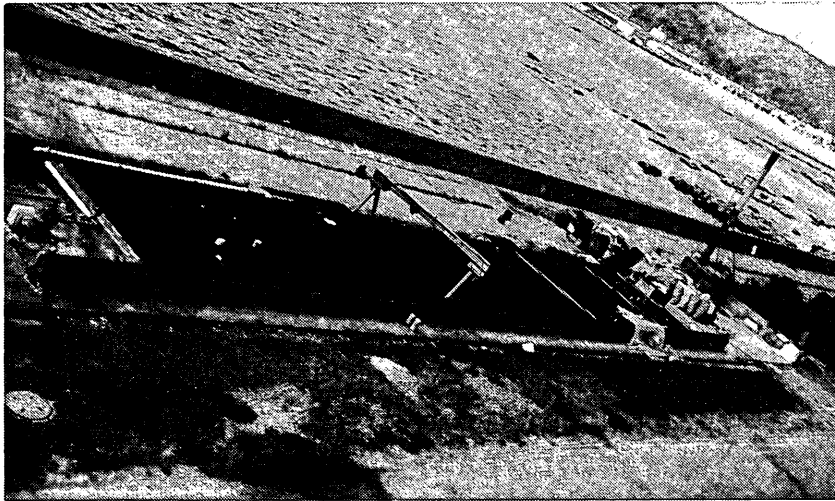


写真-1 海水循環水槽

すなわち，はり製作時に考慮した試験要因は，①プレストレスの与え方（プレテンション方式，ポストテンション方式の別），②かぶり，③特別な防食方法の有無，および，④接合部の有無，である。なお，定着部を含むほかの要因，すなわち，コンクリート強度，初期養生等は全部のはりではほぼ同一である。

次に，暴露条件は，主として当所の海水循環水槽内の

最も腐食環境としては厳しいと考えられる感潮部を用い，比較用として，陸上部，海中部分も用いた（図-1，写真-1）。

また，長期（7年間）暴露後の試験項目は，① PC はりより鋼材を取り出した後の，目視による腐食状況観察，② はり内部への鋼材の腐食上最も有害とされる塩素がどの程度浸透しているかを知るための水溶性塩素量測



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

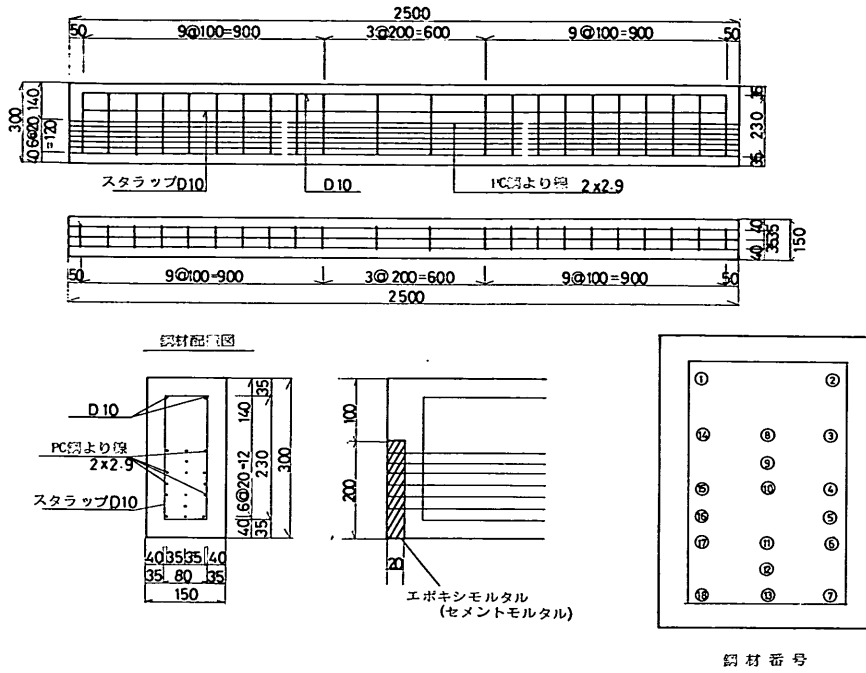


図-2 供試体の概略 (1) R型はり

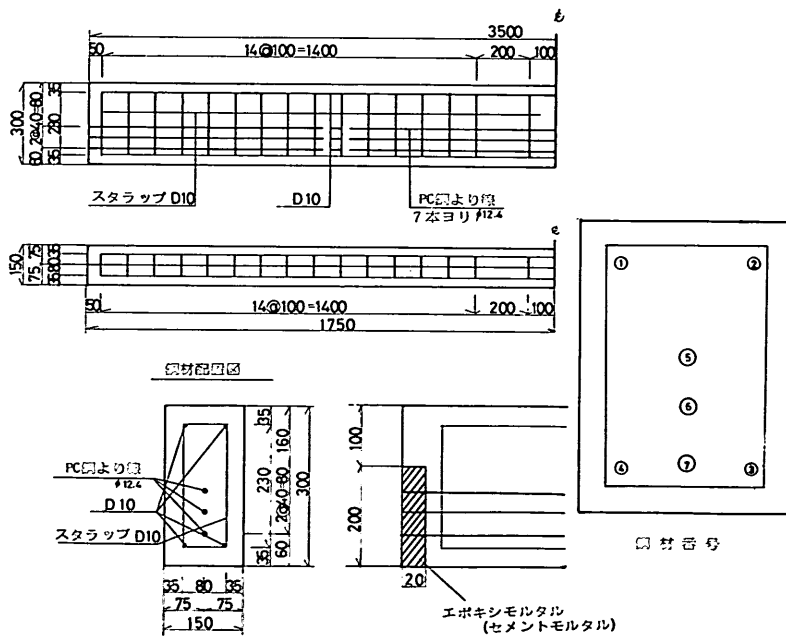


図-2 供試体の概略 (2) T型はり

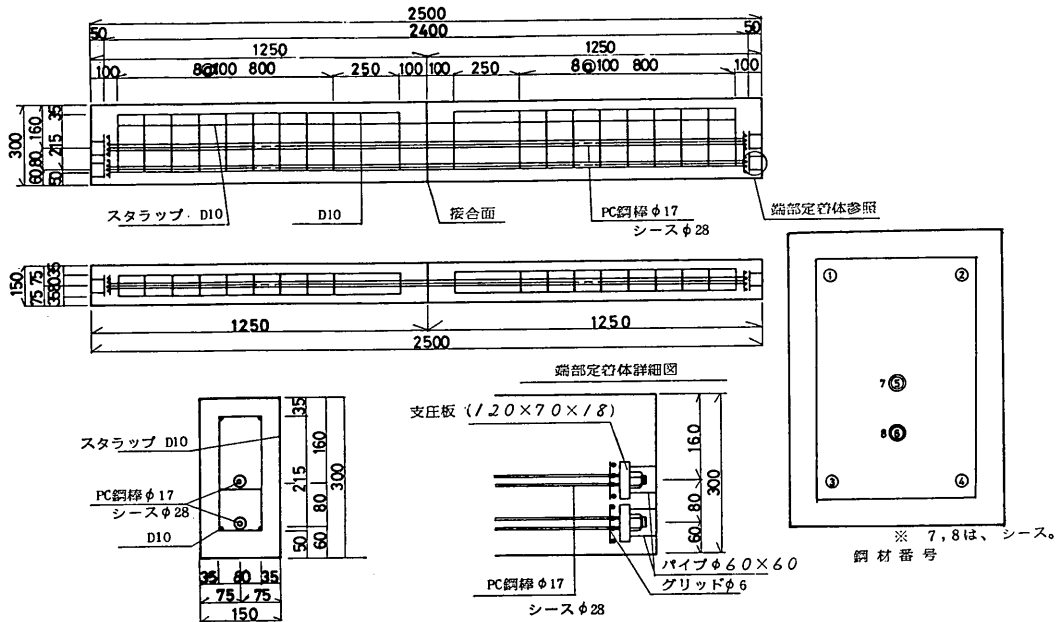


図-2 供試体の概略 (3) O型はり

表-2 はりの試験要因

はりの種類	プレストレスの与え方	かぶり	特別な防食方法	暴露条件	はりの記号
R 型	プレテンション方式	鉄筋 3 cm PC 鋼より線 (5.5 cm 7 cm)	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 3 cm PC 鋼より線 (4 cm 7 cm)	用いていない	感潮部	T1A
O 型	ポストテンション方式	鉄筋 3 cm シース (5 cm 6 cm)	用いていない	感潮部	O1A*
				海中部	O1B

\* O1A において接合部の有るもの、無いものを製作した。

定、および、③ コンクリート内部の鋼材の電気化学的測定 (鋼材の自然電極電位、動電位分極曲線、および、分極抵抗法による腐食電流密度測定) を行った。

これらの試験結果をもとに、PC はりの耐海水性の検討を行った。

なお、本暴露試験はさらに長期材令 (20年を予定) ま

で継続する予定である。

### 3. PC はりの製作および耐海水性試験方法

#### 3.1 供試体の製作

##### (1) 供試体の種類

供試体の種類は大きく分けて、R型、T型、および、

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

表-3 セメント試験成績表

比重	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝 結			安定性	フロー値	曲げ強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )			圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		水量 (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)			3日	7日	28日	3日	7日	28日
3.12	4110	29.9	2-40	3-52	良	246	46	59	74	223	333	449

表-4 骨材の物理試験結果

細骨材	比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	洗い試験 (%)	有機不純物	フルイ (mm) を通過する百分率						粗粒率
							5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
							2.65	2.30	1624	38.7	2.21	良	

粗骨材	比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	洗い試験 (%)	フルイ (mm) を通過する百分率 (%)						粗粒率
						25	20	15	10	5	2.5	
						2.75	1.04	1690	38.6	0.96	100	

表-5 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (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 <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
20	5±1	4±1	37.0	40.5	167	460	710	1080	1.84

○型の3種類である。R型は長さ 250 cm のプレテンションはりであり、T型は長さ 350 cm のプレテンションはりであり、O型は長さ 250 cm のポストテンションはりである。これら3種のはりの断面、定着部、および接合部の概略を 図-2 に示す。

これら3種についての試験要因を表-2 に示す。すなわち、かぶりの影響は3種のいずれでも検討し、R型では特に、エポキシ樹脂塗装、防錆剤および感潮部と陸上部の差を検討し、O型では、接合部の有無による差を検討する。

(2) 使用材料

a) コンクリート

供試体製作に使用したコンクリート材料は、早強ポルトランドセメント(日本セメント(株)製)、水道水、川砂および川砂利(砕石を含む、神奈川県酒匂川産)およびAE減水剤(プラスチック)である。セメント

表-6 コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

材 令 (日)	3	7	28
圧 縮 強 度	509	601	689

\* 供試体3本の平均値

および骨材の試験成績を表-3、表-4 に示す。コンクリートの配合条件は、配合張度 500 kgf/cm<sup>2</sup>、粗骨材最大寸法 20 mm、スランプ 5±1 cm、空気量 4±1% である。コンクリートの示方配合を表-5 に示す。管理供試体の材令 3日、7日、28日の圧縮強度試験結果を表-6 に示す。防錆剤は、亜硝酸ナトリウムを主成分としたものを用いた。なお、防錆剤は、コンクリート 1 m<sup>3</sup> につき 3 l 混入した。

b) PC 鈎材および鉄筋

用いた PC 鈎材は、R型、T型はそれぞれ JISG 3536

に定める SWPR2 2.9mm 2本より線および SWPR 7A 7本より 12.9mm であり、O型には JISG 3109 に定める SBPR 80/95φ 17mm である。

また、組立て用鉄筋およびスターラップには、JISG 3112 に定める SD 30D 10 を用いた。

なお、PC 鋼材、鉄筋ともにコンクリート打設前には、10% クエン酸アンモニウム溶液等で表面処理をして、光沢状態として用いた。

c) エポキシ樹脂およびエポキシ樹脂モルタル

エポキシ樹脂としては、二液混合型のシーカガード 62 (シーカ(株)製)を用いた。O型の接合部にはエポキシ樹脂のみを 10mm 厚程度に塗布した。また、各はりの端部での定着具の保護には、エポキシモルタル (配合を表-7 に示す) を 20mm 厚程度に塗布して用いた。

表-7 エポキシ樹脂およびエポキシ樹脂モルタルの配合

エポキシ樹脂 (重量配合比)		エポキシ樹脂モルタル (重量配合比)		
主剤 A	硬化剤 B	主剤 A	硬化剤 B	砂
3	1	3	1	3

さらに、R1D では、エポキシ樹脂塗装として全コンクリート表面にエポキシ樹脂を 3~5mm 厚に塗布した。

(3) コンクリートの打設および接合

コンクリートは、工場 ((株)PS コンクリート鴨宮工場) 内のパッチャープラントにおいて練りませ、フォークリフトによって運搬し打設した。一本の供試体のコンクリートは同一バッチのものとした。コンクリートのスランプおよび空気量は打設の直前に試験し、配合条件を満足していることを確認した。コンクリートの締め固めは棒状バイブレーターにより行った。3時間前置きしたのち、蒸気養生を 図-3 に示す手順で行い、その後は屋外養生とし、コンクリート打設後 28日に所定の暴露環境に設置した。

エポキシ樹脂接合の製作方法は、蒸気養生後に接合面の表面処理を行い、エポキシ樹脂を塗布(10mm 厚)し、接合面を突き合わせすぐにプレストレスを導入した。

また、プレストレスは、土木学会のプレレストレストコンクリート標準示方書に準じて導入した。初期緊張力は、PC 鋼材の降伏点荷重の 8割とした。その結果得られる有効プレストレスの計算値は表-8 に示すとおりである。

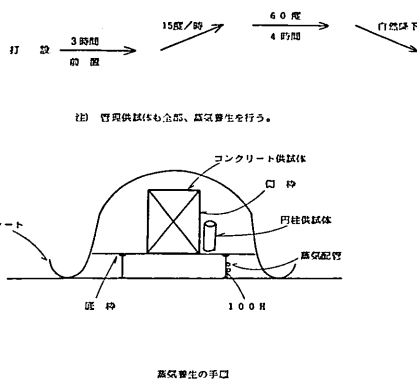


図-3 蒸気養生の手順

表-8 PC はりの有効プレストレスの計算値

はりの種類	有効プレストレス $\sigma_{ce}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
R 型	124
T 型	120
O 型	120

ある。

(4) 定着部の処理 (図-2 参照)

各はり定着部は 図-2 に示すように、プレテンション方式では、端部より 2cm で PC 鋼より線を切断し、2cm 厚にエポキシ樹脂モルタル (R1D および R1E)、セメントモルタル (R1A および R1C) で保護した。

ポストテンション方式では、図に示すように支圧板およびナットで PC 鋼棒を、パイプ内に固定したのち、パイプ内にエポキシ樹脂モルタルを充填した。

3.2 暴露条件

所定の蒸気養生を完了した供試体は、その後屋外養生とし、材令 28 日より海洋環境下に暴露した。海洋環境としては、陸上部 (海面大気中)、感潮部、海中部の 3つとした。

ここでいう陸上部とは、海岸線より 15m 程度離れ、気温は年平均 5°C 程度で、四季を通じて激しい潮風を受ける上に、年間数日は荒天時に海水のしぶきを浴びる場所である。感潮部および海中部は、ともに当所海水循環水槽中であって、感潮部は 1日 2回人工的に潮の干満作用をうける場所であり、海中部はほとんど常時海中にある場所である (図-1, 写真-1)。

なお、一般に最も腐食環境として厳しいのは感潮部である。

### 3.3 試験方法

本研究では、供試体を7年間所定の海洋環境下に暴露した後、① 目視による腐食状況の観察、② 塩素含有量の測定、および、③ 電気化学的測定、を行った。それらの試験方法を述べる。

#### (1) 目視による腐食状況の観察

供試体より鋼材を取り出し、観察し、腐食の程度を分類した。また、同時に写真撮影を行った。

PC 鋼棒、シース、および鉄筋の肉眼観察に関しては、腐食の程度を H (明瞭に腐食が観察されその程度が著しいもの)、L (かろうじて腐食が観察されるか、または鋼材表面に変色が認められるもの)、N (腐食の観察されぬもの) の3種に分類した<sup>1)</sup>。

PC 鋼より線に関しては、外観上 N と判断されるものにおいても、PC 鋼より線を素線に分解すると、素線相互の接触部に線上の腐食が認められる。これを考慮し、かつ、PC 鋼棒等の分類に準じて、腐食の程度を H (外観上からも明瞭に腐食が観察されその程度が著しいもの)、L<sub>1</sub> (外観上からかろうじて腐食が観察されるか、または鋼材表面に変色が認められるもの)、L<sub>2</sub> (外観上からは腐食は観察されないが、素線接触部には腐食が観察されるもの)、N (外観上も、素線接触部にも腐食の観察されぬもの) の4種に分類した。

#### (2) 塩素含有量の測定

コンクリート中の塩素含有量の測定値は、いかなる状態の塩素をいかなる測定法で測定するのかわかる。

すなわち、いかなる状態の塩素を対象とするかという点に関しては、化合物として固定されているものまですべてを対象とするのか、あるいは水溶性のもののみを対象とするのかわかる。さらに、水溶性のものといっても、20°Cの水に溶けるものなのか、80°Cの水(湯)に溶けるものかわかり、さらに時間的な要素も考えると現状では一義的に対象とする塩素を定めることはできない。

本研究では、ひとつの考えとして、コンクリート中のモルタル部を5~10g程度採取し微粉碎した試料を80°Cの湯に5分入れることによって塩素を抽出する水溶性塩素を、モルタルに対する重量百分率で示すこととした。

また、測定法にも、JIS、建築学会、土木学会およびセメント協会等の方法があり、それぞれ一長一短があると思われる。

本研究では、微量塩素の定量に比較的適しているとい

われるセメント協会の方法<sup>2)</sup>を用いた。この方法は、着色剤としてチオシアン酸第2水銀を用いた吸光光度法である。

#### (3) 電気化学的測定

供試体はりを、長さ方向に長さ20cmに切断し、片面の鋼材切断面にリード線を半田づけし、その後にはり切断面をエポキシコーティングして、電気化学的測定用供試体とし、以下の項目を測定した。なお、測定時には供試体が海水中に完全に浸っているようにした。

##### a) 自然電極電位

電気化学的測定用供試体を用い、鋼材の自然電極電位を、基準電極として海水塩化銀電極を用いて測定した。

##### b) 動電位分極曲線

動電位分極曲線を、基準電極として甘コウ電極を用い、対極としてステンレス鋼を用いて測定した。測定は電位を自然電極電位から掃引速度40mV/minでスタートさせ、-1000mVまで陰分極させ、その後逆に+1000mVまで陽分極させ、その間の電流を測定した。

なお、測定にはポテンショスタットおよび関数発生器を用いた。

##### c) 腐食電流の計算(分極抵抗法による)<sup>3)</sup>

電気化学の理論より、鋼材が均一腐食する場合の理論式として、腐食電流を、 $I_{corr}$ 、自然電極電位からの電位のズレを  $\Delta E$ 、その時流れる電流を  $i$  とすれば、

$$i = I_{corr} \cdot \exp(K_a \cdot \Delta E) - I_{corr} \cdot \exp(-K_c \cdot \Delta E)$$

( $K_a$ ,  $K_c$  は定数)

がある。文献3)ではこの式で  $\exp$  を近似して ( $e^x = 1+x$  とし、 $\Delta E$  を20mV以下とする)整理すると、

$$I_{corr} = \{2.3(K_a + K_c)\}^{-1} \cdot i/\Delta E$$

とおくことができる。 $K_a$ ,  $K_c$  としては、これも厳密ではないが  $K_a=120$  mV,  $K_c=60$  mV (誤差は多くて20%)として、結局、

$$I_{corr} = 17.39 \cdot i/\Delta E$$

として求めた。

## 4. 7年暴露後の試験結果

### 4.1 腐食状況の観察

(1) R型はりにおける観察(図-4に概略を示す)

a) R1A (特別な防食をせず感潮部に暴露したもの) はり中央部でのPC鋼より線( $\phi 2.9$  mm 2本より線)の腐食状況は、16本中12本がN(全く腐食が認められない)、3本がL<sub>2</sub>(素線接触部のみ腐食)、1本がL<sub>1</sub>(外観上わずかに腐食している)であった(図-4参照)。

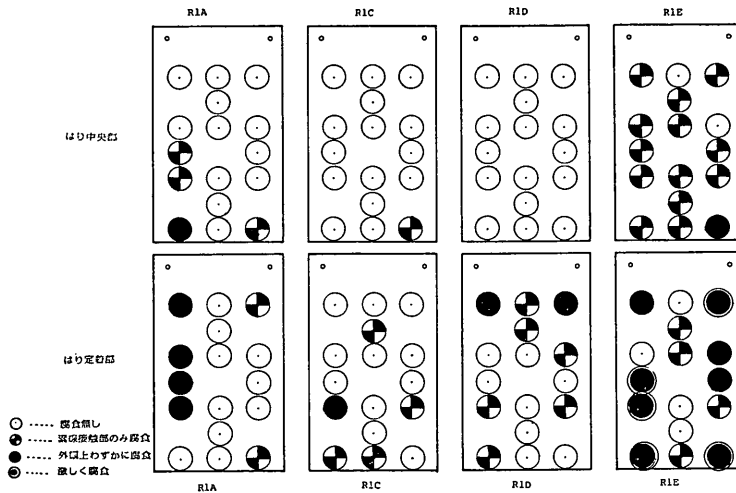


図-4 R型はりにおける腐食状況の概略

腐食状況 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> のものかぶりはいずれも 4 cm であり, L<sub>1</sub> のものははり隅角部にあった。

また, 定着部 (セメントモルタル処理) 付近の鋼材は端部から約 10 cm の間は, 他の部分に比較して腐食が多いことが認められた。すなわち, 16 本中 10 本が N, 2 本が L<sub>2</sub>, 4 本が L<sub>1</sub> であった。腐食状況 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> のものかぶりは, いずれも 4 cm であった。

なお, この観察と同時にを行ったフェノールフタレイン溶液を用いた中性化試験によると, 定着部以外での中性化は, 1 mm 以下であるが, 定着部ではモルタルとコンクリートの継目部が深さ 2 cm にわたり中性化していた (写真-2)。

また, 鉄筋の腐食状況は最も腐食の多いと判断されるスターラップの曲り部分 (かぶり 3 cm) を含めて L (わずかに腐食している) が大部分であった。

b) R1C (特別な防食をせず陸上部に暴露したもの) はり中央部での PC 鋼より線の腐食状況は, 16 本中 1 本のみ L<sub>2</sub> であとはすべて N であった。腐食状況 L<sub>2</sub> のものかぶりは 4 cm でしかも隅角部のものであった。

また, 定着部 (セメントモルタル処理) 付近の鋼材は端部から約 10 cm の間は, ほかの部分に比較して腐食が多いことが認められた。すなわち, 16 本中 11 本が N, 4 本が L<sub>2</sub>, 1 本が L<sub>1</sub>, であった。腐食状況 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> のものかぶりはほとんどが 4 cm であったが 1 本のかぶりは 7 cm であった。

なお, 定着部のモルタルとコンクリート間は R1A のものと同様に中性化していた。

鉄筋の腐食状況は, ほとんど L であった。

c) R1D (エポキシ塗装を行い感潮部に暴露したもの) はり中央部での PC 鋼より線の腐食状況は 16 本全部が N であった。

しかし, 定着部 (エポキシモルタル処理後打継目を含め全体をエポキシ樹脂で塗装) 付近では端部より 10 cm, 特にスターラップとの接触部において腐食が認められた。すなわち, 16 本中 9 本が N, L<sub>2</sub> が 5 本, L<sub>1</sub> が 2 本であった。

なお, 継目部のコンクリートは中性化していなかったが, 当然のことながらエポキシモルタルは中性である。

また, 鉄筋については, 定着部付近のスターラップ曲がり部および組立て筋の下部にブリージングの影響とみられるうすい錆がある以外は, 錆は認められなかった。

d) R1E (防錆剤を用い感潮部に暴露したもの)

はり中央部での PC 鋼より線の腐食状況は, 16 本中 2 本が N, L<sub>2</sub> が 13 本, L<sub>1</sub> が 1 本であった。腐食状況 L<sub>1</sub> のものかぶりは 4 cm で隅角部にあった。

また, 定着部 (エポキシモルタル処理) 付近の鋼材の腐食は多いことが認められた。すなわち, 16 本中 N が 4 本, L<sub>2</sub> が 4 本, L<sub>1</sub> が 3 本, H が 5 本であった。腐食状況 H のものかぶりはすべて 4 cm であった。また, 鋼材端部より, 赤錆がエポキシモルタルとコンクリートの継目を流れ出しているのが観察された (写真-2)。

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

また、鉄筋については、ほとんどのものが L であって、H のものは皆無であった。

なお、以上 a), b), c), d) の観察については、はり中央部、はり端部のほかに、端より約 50 cm, 1.0 m の部分についても観察を行った。その 1 例を R1E について示す (図-5)。

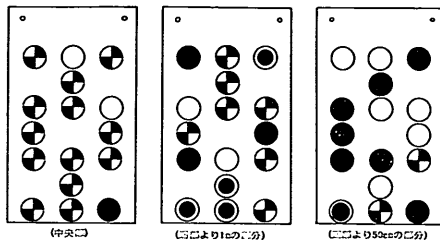


図-5 R1E における腐食状況の概略

(2) T型はりにおける観察

T型はりには、T1A (特別な防食をせず感潮部に暴露したものの) のみの試験を行った。

はり中央部での PC 鋼より線 ( $\phi 2.9$  mm 7 本より線) の腐食状況は、3 本ともに外観上は全くなかったが、7 本のより線を分解すると中心軸線は全面腐食であり、ほかの 6 本も内側は全面腐食であった (写真-4)。

なお、鉄筋については、スターラップ折曲げ部および組立て筋にブリージングの影響によるうすい錆がある以外は腐食は観察されなかった。

また、定着部 (エポキシモルタル処理) については、エポキシモルタルとコンクリート間の接着はほとんどない状態であり (写真-5)、PC 鋼より線 3 本のうちかぶりが 5.5 cm のものは端部より 10 cm の腐食状況が H (写真-6) であり、ほかの 2 本はそれぞれ L, N であった。鉄筋については、スターラップ折曲げ部および組立て筋にうすい赤錆がわずかに観察される程度であった。

(3) O型はりにおける観察

a) O1A (特別な防食をせず感潮部に暴露し、かつ、接合部を有しないもの)

はり中央部での腐食状況は、シースは下側にブリージングの影響が大きいと思われるうすい赤褐色の錆が発生していた (腐食状況 L)、また、シースの内側においても下側に赤褐色のさびが発生していた (写真-7)。PC 鋼棒は、シースおよびグラウトによって保護されていることもあり、全く腐食は観察されなかった。

また、鉄筋の腐食状況は、ほとんど L であった。

定着部は、エポキシモルタルとコンクリートの付着が

ほとんどなくなっており、定着部の鋼板に赤さびが発生していた (腐食状況 H)。

b) O1A\* (特別な防食をせず感潮部に暴露し、かつ、接合部を有するもの)

接合部においては、シースの接合部よりわずかにエポキシ樹脂がシース内部に浸透している他は、接合部を有しないはりと同様の腐食状況であった (写真-8)。

c) O1B (特別な防食をせず海中部に暴露したもの) はり中央部では、シースの外側および PC 鋼棒には全く腐食は認められなかった。しかし、シースの内側下部および鉄筋の下部には、うすい赤褐色の錆が認められた。定着部の状況は O1A とほぼ同様であった。

4.2 塩素含有量

各はり中央部において、図-5 に示すように、上縁から 2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5 cm 付近のモルタルを採取し、塩素含有量を測定した。測定結果を図-6 に示す。

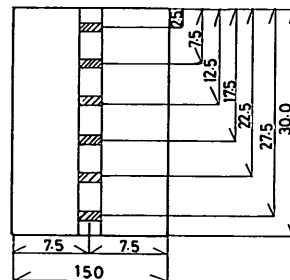


図-6 モルタル採取位置

概略の傾向としては、海中部のものが最も多く、感潮部が続き、陸上部の塩素含有量は少ない。また、エポキシ塗装の効果は非常に大きいことがわかる。

4.3 電気化学的測定

(1) 自然電極電位

自然電極電位の測定結果を図-8、表-9 に示す。同一のはり内においても、自然電極電位は非常にばらついている。しかし、R1D (エポキシ塗装) は、電位が比較的高く、しかも、値のばらつきが小さなことが注目される。また、各々の変動係数は R1A 0.14, R1C 0.26, R1D 0.13, R1E 0.35 であった。

(2) 動電位分極曲線

動電位分極曲線のパターンは概略 図-9 に示すように 4 つに分類できる。このパターンについて述べると、a: 腐食している可能性大、b: 不動態が形成されていて、腐食反応が遅くなっている、c: 不動態の存在は明確で

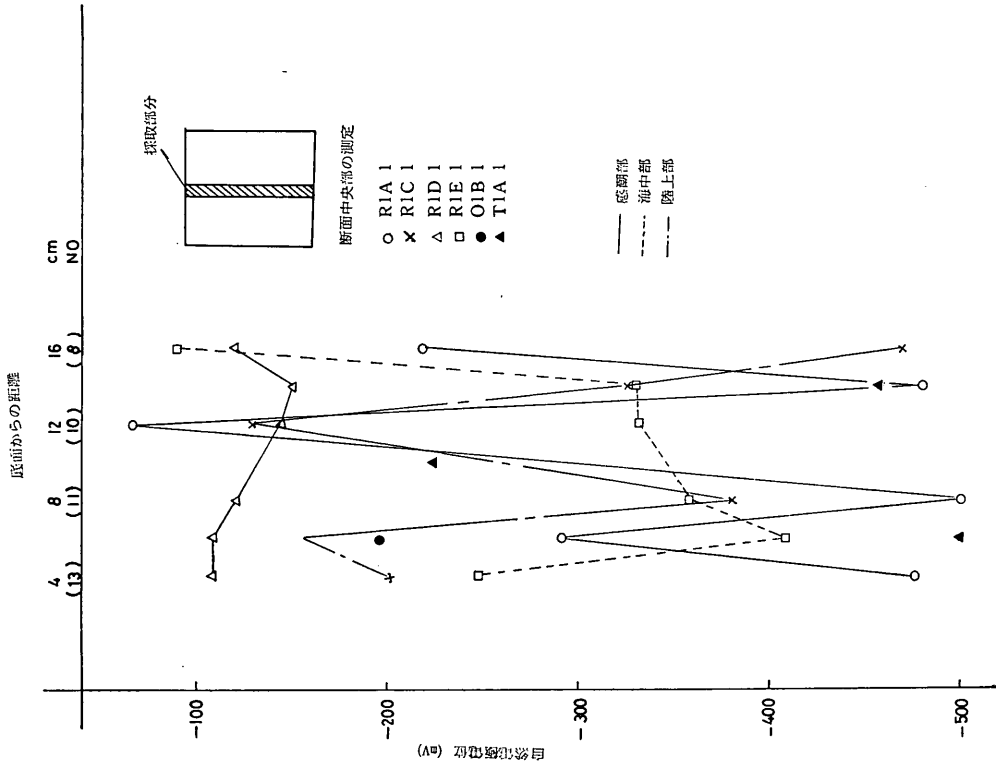


図-8 自然電位測定結果

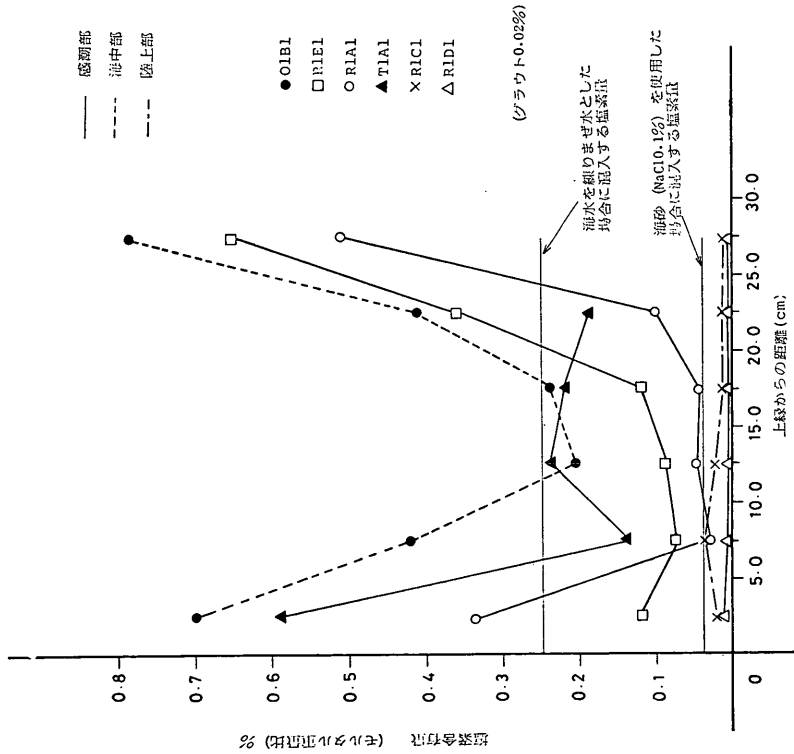


図-7 塩素含有量測定結果 (各はりにおける塩素含有量と採取位置との関係)



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

表-9 各供試体中鋼材の自然電極電位 (mV, vs, 海水塩化銀電極)

はり名 測定点	R1A	R1C	R1D	R1E	T1A	O1A	O1A 接合部あり	O1B
1	-196	-463	-272	-305	-393	-408	-514	-440
2	-196	-463	-272	-305	-284	-574	-514	-341
3	-196	-463	-272	-305	-396	-511	-514	-341
4	-160	-463	-103	-319	-396	-574	-514	-341
5	-200	-463	-100	-305	-458	-203	-130	-522
6	-200	-463	-272	-305	-225	-350	-407	-196
7	-200	-270	-107	-297	-500	-118	-121	—
8	-218	-469	-121	-90		-514	-130	—
9	-481	-325	-151	-330				
10	-66	-149	-145	-331				
11	-500	-380	-121	-358				
12	-291	-156	-110	-409				
13	-476	-201	-109	-246				
14	-69	-496	-272	-191				
15	-36	-496	-121	-129				
16	-38	-515	-272	-81				
17	-200	-470	-107	-105				
18	-200	-463	-96	-298				

※ についての平均および変動係数

はり名	R1A	R1C	R1D	R1E
平均	-339	-280	-126	-294
変動係数 V	0.47	0.26	0.127	0.35

ないが、腐食反応は遅くなっている、d: ほとんど腐食していない、である。今回測定したものの例を図-10に示すが、bに属するものはほとんどなく、a, c, dに属するものが大部分であった。a, c, dの定量的な区分は明確ではないが、一応の目安として、a: 電流密度  $\phi$  が  $-10 \mu\text{A}/\text{cm}^2 < \phi < 10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  となる区間がおおよそ 500 mV 以下であるもの、d: 電流密度  $\phi$  が  $-0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

$< \phi < 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  となる区間がおおよそ 500 mV 以上であるもの、c: a, b, d 以外のもの、として区分した。その結果を表-10に示す。

(3) 腐食電流の計算

分極抵抗法により腐食電流を求め、その結果を表-11に示す。

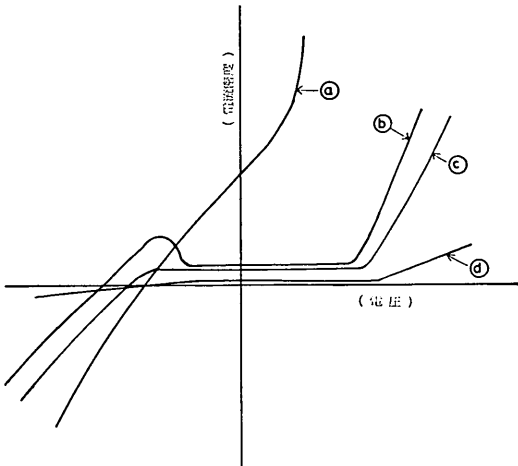


図-9 動電位分極曲線パターン概略図

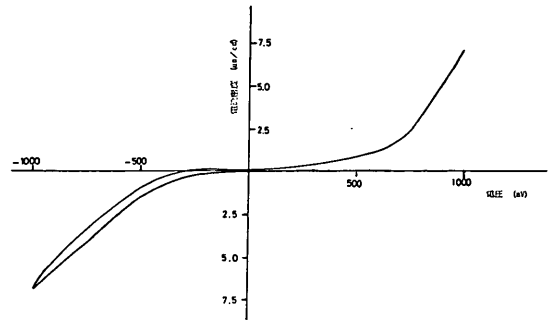


図-10 (3) R1D No. 10 動電位分極曲線  
(パターン c に属すると考えられるもの)

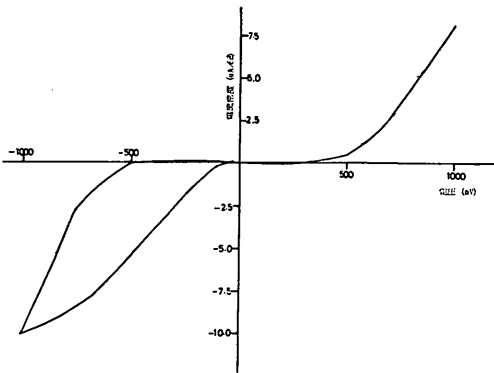


図-10 (1) R1A No. 10 動電位分極曲線  
(パターン c に属すると考えられるもの)

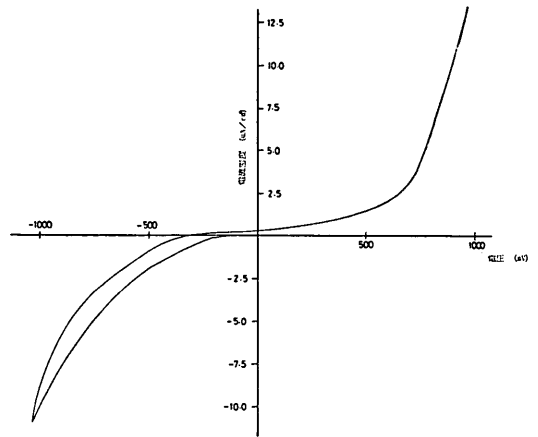


図-10 (4) R1E No. 10 動電位分極曲線  
(パターン c に属すると考えられるもの)

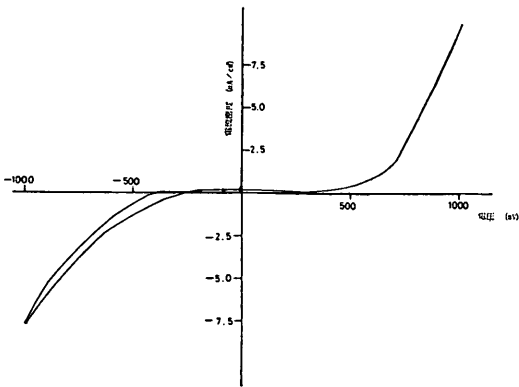


図-10 (2) R1C No. 10 動電位分極曲線  
(パターン c に属すると考えられるもの)

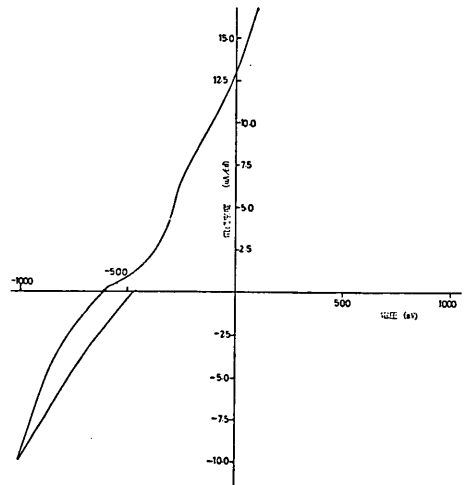


図-10 (5) T1A No. 5 PC 鋼7本より線  
(パターン a に属すると考えられるもの)

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

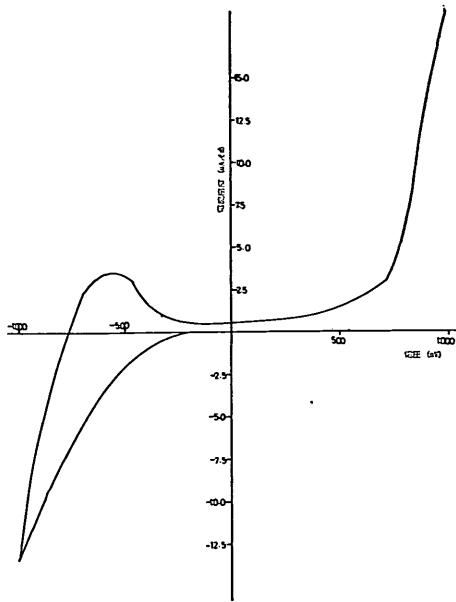


図-10 (6) O1A No. 7, シース, 動電位分極曲線  
(パターン b に属すると考えられるもの)

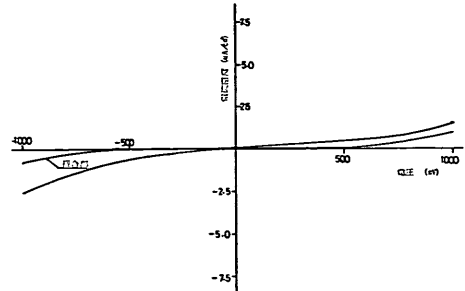


図-10 (7) O1A No. 6, PC 鋼棒, 動電位分極曲線  
(パターン d に属すると考えられるもの)

表-10 動電位分極曲線のパターン分類

はり名 測定点	R1A	R1C	R1D	R1E	T1A	O1A	O1A*	O1B
1	c	c	c	c	c	a	c	c
2	c	c	c	c	c	c	c	c
3	c	c	c	c	c	c	c	c
4	c	c	c	c	a	c	c	c
5	c	c	c	c	a	d	d	c
6	c	d	c	c	c	d	c	c
7	c	c	d	c	a	b	b	c
8	c	c	d	d		b	d	c
9	c	d	d	d				
10	d	d	c	c				
11	c	d	c	c				
12	c	d	d	c				
13	c	d	c	c				
14	c	c	c	c				
15	c	c	d	c				
16	c	c	c	c				
17	c	c	c	c				
18	c	c	c	c				

a: 腐食している可能性が大である。  
 b: 不働態が形成されていて、腐食反応が遅くなっている。  
 c: 不働態の存在は明確でないが、腐食反応は遅くなっている。  
 d: ほとんど腐食していない。  
 \* 接合部を有するもの。

表-11 分極抵抗による腐食電流 ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )

測定点 \ はり	R1A	R1C	R1D	R1E	T1A	O1B	O1A	継目 O1A
1	0.523*	0.080*	0.013*	0.389*	0.840*	—	0.507*	0.300*
2	0.523*	0.080*	0.013*	0.389*	0.840*	—	0.507*	0.300*
3	0.523*	0.080*	0.013*	0.389*	0.840*	—	0.507*	0.300*
4	0.523*	0.080*	0.047	0.389*	0.840*	—	0.507*	0.300*
5	0.523*	0.080*	—	0.217	1.016	0.285	0.018	0.001
6	0.523*	0.002*	0.013*	0.389*	0.042	0.081	0.020	0.067
7	0.523*	0.080	0.043	0.378	1.994	0.094**	0.032	0.07
8	0.243	0.004	0.047	0.109		0.284**	0.115	0.001
9	—	0.004	—	0.096				
10	0.195	0.004	0.033	0.174				
11	—	0.005	—	0.048				
12	—	0.005	—	0.048				
13	0.329	0.005	0.029	0.161				
14	—	0.080*	—	0.270				
15	—	0.080*	—	0.039				
16	0.410	0.080*	0.013*	0.652				
17	0.523*	0.080*	0.047	0.048				
18	0.523*	0.080*	0.043	0.389				

\* 互いにスターラップを通じて接触しているもの

\*\* シース 0.0116 mm/y/ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 

## 5. PC はりの耐海水性に関する考察

試験結果に基づき、本研究の目的である ①: かぶりの問題, ②: 新しいタイプの防食方法の問題, および, ③: 接合部と定着部の問題, について考察を加える。

### 5.1 かぶりについて (定着部, 接合部は除く)

プレテンション方式では, PC 鋼より線を使用するが, PC 鋼より線では, 素線の接触部が腐食しやすい傾向にある。R 型では, 2本より線を用いたが, かぶり 4 cm のもので, 何ら防食方法を用いていないものは, 軽いさびを生じているものがある (図-4)。これを, 同一はりのかぶり 3 cm の鉄筋と比較すると, かぶりの小さな鉄筋の腐食の方がむしろ軽微と判断された。

T 型では, 7本より線を用いたが, 感潮部に暴露したかぶり 7 cm においても, 素線接触部の腐食は明瞭で, 特に中心軸の素線はほとんど全面腐食であった。

また, ポストテンション方式と比較すると, ポストテンション方式の PC 鋼棒は, シースおよびグラウトによって保護されていることもあり, 全く腐食していず, プレテンション方式の PC 鋼より線より防食上優れていた。

この PC 鋼より線の腐食状況を, 著者らが行った  $W/C \approx 50\%$ ,  $\sigma_{28} \approx 400 \text{ kgf}/\text{cm}^2$  のコンクリート中に設置した鉄筋 ( $\phi 9 \text{ mm}$  丸鋼) の 10 年間感潮部暴露後の腐食状況<sup>4)</sup>と比較する。この試験結果の一部を表-12 に示す。この鉄筋はかぶり 2 cm, 4 cm では若干の腐食が

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

表-12 鉄筋の腐食状況 (鉄筋端部も含んだもの)

用いたセメントの種類	腐食状況			かぶり 4 cm			かぶり 7 cm		
	かぶり 2 cm			N	L	H	N	L	H
普通ポルトランドセメント	0/3	3/3	0/3	2/3	1/3	0/3	3/3	0/3	0/3

W/C=53,  $\sigma_{28}=366$ , 感潮部暴露 10年, 供試体 3本

表-13 コンクリート供試体中の塩素含有量

セメントの種類	かぶり	水溶性塩素 (%)	
		水道水練り	海水練り
普通ポルトランドセメント	2	1.63	1.40
	4	1.48	1.25
	7	1.15	1.60
早強ポルトランドセメント	2	1.60	2.13
	4	0.90	1.55
	7	1.40	1.43
B種高炉セメント	2	0.90	1.33
	4	0.64	0.85
	7	0.33	0.87

認められるが、かぶり 7 cm では全く腐食が認められなかった。これは、全く同一の暴露条件下にある R1A はりの PC 鋼より線と同程度以上の防食状態であると判断された。

これらのことより、プレテンション方式の PC 鋼より線は、鉄筋、ポストテンション方式の PC 鋼棒と比較して、防食上不利とは言えないまでも有利とは認め難い。

次に、PC はり中に浸透する塩分についても、腐食状況と同様に著者らが行った W/C=55%,  $\sigma_{28}=400$  kgf/cm<sup>2</sup> のコンクリート供試体中の塩素含有量 (表-13) と比較する。暴露期間が7年と10年と異なるため、直接的な比較は困難であるが、やや PC はり中の塩素含有量が少ないことが認められるが、大きな差はない。

さらに、動電位分極曲線についても、R1A はりとはほぼ同一条件下に10年暴露したかぶり 4 cm, 7 cm のパターンは、普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを用いた供試体中の4本すべてがcに属し、ほぼ R1A の PC 鋼より線 (14 本中 13 本が c で 1 本が d) のものとはほぼ同程度と考えられた。

このことより、PC においても通常のプレストレスの導入されないコンクリート中と大差ない塩分が浸透し、電気化学的にも通常のコンクリート中の鉄筋に比べ有利とは認め難い。

以上のことより、プレテンション PC はり内部の PC 鋼より線は、鉄筋コンクリート内部の鉄筋、ポストテンション方式 PC はり内部の PC 鋼棒に比較してやや腐食しやすい。また、PC 鋼材は常時大きな引張応力が作用しており、少しの錆でも、応力腐食によって急速に破断するという不安がある。さらに、今回の試験ではかぶり 4 cm で比較的錆の発生が多く、7 cm ではほとんど発生していないことより、かぶり 4 cm では腐食の進行の不安が大きく、7 cm では小さいということもいえる。

すなわち、工場製品であってもプレテンション PC はりは PC 鋼より線のかぶりが 4 cm では防食上不十分であり、また、RC に比較して防食上有利ということは全く認められなかった。そのため、プレテンション方式 PC はり内部の PC 鋼より線は、少くとも既往の RC 港湾構造物のかぶり (直接海水に接触する部分 7 cm, そうでない部分 5 cm) は確保する必要がある。

## 5.2 新しいタイプの防食方法について

### (1) エポキシ樹脂塗装 (コンクリート表面に塗装するもの)

R型の感潮部のものについて、エポキシ樹脂塗装したもの (R1D) と無処理のもの (R1A) の比較を行う。

PC 鋼より線の腐食状況については、図-4 より R1D がすべて N であるのに対し、R1A では L<sub>1</sub> が3本、L<sub>2</sub> が1本あり、エポキシ樹脂塗装の効果が認められる。

塩素含有量については、図-6 より、R1D の内部には R1A に比較するとほとんど塩素は浸透してはず、この点に関しては、エポキシ塗装の効果は著しいといえる。

さらに、電気化学的測定において、自然電極電位では R1D の電位は、貴かつパラツキが少なく、動電位分極曲線では、dタイプ (ほとんど腐食していない) に属するものが R1A の 1 に対して 5 であり、さらに、腐食

電流密度も R1A が  $0.1 \sim 1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  程度であるのに対し、R1D は  $0.01 \sim 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  程度であり、R1D の方がかなり小さい。

以上のことから、エポキシ樹脂塗装は本研究のようにひびわれの発生していない範囲で、防食上効果が認められる。

## (2) 防 錆 剤

R 型の感潮部のものについて、防錆剤を混入（メーカー指定量  $3 \text{ l}/\text{m}^3$  混入）したもの（R1E）と無処理のもの（R1A）の比較を行う。

PC 鋼より線の腐食状況（図-4）より、R1A では、 $L_1$  が 3 本、 $L_2$  が 1 本であるのに対し、R1E では、 $L_1$  が 13 本、 $L_2$  が 2 本であり、本研究の範囲では、防錆剤が防食上有利とは認められなかった。

## 5.3 接合部と定着部について

### (1) 接合部について

本研究では、ポストテンション方式の O 型において、フルプレストレスの条件下（常時接合部には圧縮応力がかかっている）で、エポキシ樹脂を約 10 mm 厚に塗り接合部を作製した。

接合部を有するもの（O1A\*）と接合部のないもの（O1A）の比較を行う。

腐食状況を比較すると、O1A と O1A\* の鉄筋、シースおよび PC 鋼棒の腐食状況には、ほとんど相違がなかった。すなわち、鉄筋およびシースの腐食状況は L であり、PC 鋼棒は N であった。

電気化学的測定においても、自然電極電位、動電位分極曲線および腐食電流密度ともに大きな差はない。

以上のことから、本研究の範囲では、エポキシ樹脂を用いた接合部は防食上問題がないと判断される。

### (2) 定着部について

プレテンション方式では、エポキシ樹脂モルタル、セメントモルタルいずれも、継ぎ目部が 2 cm 程度中性化しており、定着部付近の PC 鋼より線はより中央部付近のものに比較して腐食が多いと認められた。したがって、既往の定着部処理方法で防食上問題がある。

ポストテンション方式では、端部の鉄パイプおよび支圧版が著しく腐食しており、防食上問題がある。

これらの対策として、本研究で防食性能の良好であったエポキシ樹脂塗装を定着部全体に施すことが考えられる。

## 6. 結 論

本研究は、① 7 年間という暴露期間であること、② 当所海水循環水槽（神奈川県久里浜）で行ったこと、および、③ はり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が、この範囲内で次のことがいえよう。

1) プレテンション方式 PC はり内部の PC 鋼より線は、かぶりが同一のコンクリート中の鉄筋、ポストテンション方式 PC はりの PC 鋼棒等と比較して腐食しやすい。そのため、同一かぶりやより小なかぶりでは、工場製品であってもプレテンション方式 PC はりは防食上不利と判断され、少くとも既往の鉄筋コンクリートのかぶりは確保する必要がある。

2) はり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くし、防食上効果が認められた。また、コンクリート練りませ時に添加する防錆剤（今回使用したのは、亜硝酸ナトリウム系防錆剤）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という観点からは弱点となっていない。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。

(1982 年 3 月 30 日受付)

## 謝 辞

本報告は、7 年間に及ぶ長期試験の結果を取りまとめたものである。試験の基本計画の作成および供試体の製作は、関博氏（早稲田大学、元材料施工研究室長）および古賀尚宏氏（PS コンクリート（株）、元材料施工研究室研修生）が実施した。当所の耐海水性試験の開始および海水循環水槽の設置は、赤塚雄三氏（アジア開発銀行、元材料施工研究室長）の尽力によるところが大きい。また、構造部善一章主任研究官および森好生氏（青森港工事々務所長、元材料施工研究室長）には試験手法、鋼材の腐食などに関して有益な御助言をいただいた。さらに、供試体の維持・管理は、元研究員の藤沢孝夫氏、堀井義一氏が、継続的に担当した。ここに、これらの方々に謹んで感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 関 博, 丸山 浩: 長期間海水作用を受けたコンクリートはりのひびわれと内部鉄筋の腐食について,

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, Vol. 12, No. 3, pp. 203~225, 1973年9月

- 2) セメント協会コンクリート専門委員会: 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告, No. F-18, pp. 354~411, 1967年9月
- 3) 工藤矩弘, 伊部 博: 海砂使用鉄筋コンクリートに

用いる防錆剤, セメント・コンクリート, No. 350, pp. 28~37, 1976年4月

- 4) 森 好生, 大即信明, 下沢 治: 海水練りコンクリートの耐海水性試験, 港湾技研資料, No. 378, 21 pp., 1981年6月