



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報告書

—暴露期間 6 年経過後までの研究結果—

平成 4 年 6 月

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

[Copyright © (1992) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated 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、本報告書の全部又は一部の転載、
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。」

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報告書

—暴露期間6年経過後までの研究結果—

Cooperative Investigation on Protective Technologies for
Concrete Structures in Marine Environment.

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

要 旨

海洋環境下でも特に腐食条件が厳しい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、各種の塩害対策を施したコンクリート供試体を実海域（海洋技術総合研究施設）に暴露して防食効果を調査した。

暴露試験における主な研究項目は次の通りである。

- 1) コンクリートの防食技術の基本。
- 2) コンクリートの鋼材の防食技術。
- 3) 耐海水コンクリート部材の設計技術。

暴露期間6年経過後の調査結果、外観観察では一部のコンクリート供試体に剥離や角かけが生じたものもあるが、損傷程度としては軽微であった。しかし、コンクリート中の塩化物を分析した結果、その中にはかなりの濃度の塩化物の浸透が認められた。

なお、表面被覆したものはコンクリート中への塩分浸透がほとんど認められず、遮塩効果が良好であった。

また、コンクリート解体調査の結果では、かぶり3cmの鉄筋及びプレストレスト・コンクリート中の鋼材には、さびが生じていなかった。

キーワード：海洋環境、塩害、暴露試験、防食技術、表面被覆材、含浸系塗装、コンクリート供試体、鉄筋コンクリート、プレストレスト・コンクリート。

まえがき

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は、科学技術振興調整費（昭和57～61年度）による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」に関して、静岡県大井川町沖合に設置された海洋技術総合研究施設を利用して実施しているものである。

研究体制としては、建設省土木研究所、（社）鋼材倶楽部（第1分科会）、（社）プレストレスト・コンクリート協会（第2分科会）及び（財）土木研究所センター（第3分科会）との間で「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」という名称で共同研究を行っている。

各分科会の研究内容は、次の通りである。

第1分科会：「飛沫帯及び干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究」

第2分科会：「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3分科会：「海中部における電気防食設計技術に関する研究」及び「海上大気中長期防錆型塗料技術に関する研究」

また、各分科会は、研究の相互調整のために（財）土木研究所センターに委員会を設置し研究を進めている。このうち、第2分科会の「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」は、建設省土木研究所と（社）プレストレスト・コンクリート協会との共同研究で実施しているものである。

研究内容は、海洋環境下でも特に腐食条件が厳しいと言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実施するもので、これらの主な研究項目は次の通りである。

- 1) コンクリートの防食技術の基本
- 2) コンクリートの鋼材の防食技術
- 3) 耐海水コンクリート部材の設計技術

これらの研究成果は、海洋環境におけるコンクリート構造物の防食設計技術基準等の参考資料として利用することを目的としている。

本研究は、コンクリート供試体の暴露期間を当面10年を目標に、昭和59年6月より現地暴露を開始し、その後経時的に外観腐食状況、コンクリート中の鉄筋の自然電位等の調査を実施してきている。今回、暴露6年後においてコンクリートの解体調査を含めて鉄筋の腐食状況や被覆材料の防食性等を調査した。

本報告書は、これらの現地暴露6年経過後までのコンクリート供試体の防食技術に関する調査結果のとりまとめを行ったものである。

さらに、これらの結果をもとに、今後の計画全体の見直しを図って行くことにしている。

なお、研究のとりまとめに当っては、「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委員会」を設けた。

飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術 に関する共同研究委員会構成

（敬称略，順不同）

主 査	津 野 和 夫	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会委員長
前主査	大 西 清 治	前（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会委員長
委 員	井 上 純 三	前建設省土木研究所企画部橋梁計画官 （現本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所技術課長代理）
〃	片 脇 清	建設省土木研究所地質化学部化学研究室長
〃	小 林 茂 敏	前建設省土木研究所地質化学部コンクリート研究室長 （現建設省土木研究所地質化学部長）
〃	河 野 広 隆	建設省土木研究所地質化学部コンクリート研究室長
〃	佐 伯 彰 一	元建設省土木研究所構造橋梁部長 （現本州四国連絡橋公団第一建設局長）
〃	藤 原 稔	前建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室長 （現建設省土木研究所構造橋梁部長）
〃	西 川 和 廣	建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室長
〃	武 藤 徳 一	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会専務理事
〃	太 田 稔	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会委員
幹事長	坂 本 浩 行	建設省土木研究所地質化学部化学研究室主任研究員
幹 事	高 橋 弘 人	建設省土木研究所地質化学部コンクリート研究室研究員
〃	箕 作 光 一	前建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室主任研究員 （現国土庁地方振興局特別地域振興課長補佐）
〃	町 田 武	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会幹事
〃	近 藤 順	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会幹事
〃	佐久間 隆 夫	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会幹事
〃	迎 邦 博	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会幹事

目 次

まえがき

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委員会構成

1. 研究目的	1
2. コンクリート防食技術の現状	2
2.1 過去の研究経緯	2
2.2 塩害に対する防食基準	4
2.3 コンクリート防食方法	5
2.4 現状の問題点	7
3. 実海域における暴露試験	9
3.1 全体計画	9
3.2 年次計画	17
3.3 調査項目及び調査方法	18
4. 研究結果及び考察	23
4.1 外観調査	23
4.2 自然電位測定	31
4.3 塩分量の測定	36
4.4 内部鉄筋の腐食状況	53
4.5 中性化測定	54
4.6 圧縮強度測定	56
4.7 細孔径分布測定	57
4.8 塗膜劣化状況調査	59
4.9 透水性測定	60
4.10 飛来塩分調査	61
5. 研究結果の総括	64
あとがき	66
〔附属資料〕	
I 暴露供試体の製作仕様	67

1. 研究目的

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、海洋環境下でも特に腐食条件が厳しいと言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。これらの主な研究項目は次の通りである。

1) コンクリートの防食技術の基本

- ① コンクリートのかぶりと配合。
- ② コンクリートの内部組織と防食性能の把握。
- ③ 腐食調査と補修技術の開発。

2) コンクリートの鋼材の防食技術

- ① 樹脂塗装鉄筋の実用化。
- ② PC鋼材の防塩処理材料の開発。

3) 耐海水コンクリート部材の設計技術

- ① 塗膜系塗料の実用化。
- ② 含浸系塗料の開発。
- ③ 耐塩性コンクリートの開発。

2. コンクリート防食技術の現状

コンクリート構造物の耐久性を損なう要因を分析すると、外的要因として飛来塩分、凍結防止剤散布によるコンクリートの塩害、凍結融解や湿潤・乾燥といった気象条件、飛砂によるすりへり損傷、過積載車両の交通等によるものがある。一方、内的要因としては、反応性骨材、海砂の使用、混和剤に含まれる塩分等による化学的な損傷、更には、設計・施工の面で耐久性を損なう要因を内存させている場合も考えられる。

コンクリートは、従来メンテナンスフリーな材料として、発展を遂げてきており、社会基盤整備の推進にともない、その利用は増大の一途をたどっていると同時に、そのストック量も膨大なものとなっており、これらの維持管理が重要な課題になっている。

近年、海岸地域とくに気象条件の厳しい日本海沿岸地域や沖縄地域等においては、飛来塩分によるコンクリート構造物の損傷が見られ、維持管理上、設計・施工上の対応が不可欠なものとなって来ている。

このような現状に鑑み、(社)日本道路協会では、コンクリート構造物の防食を図るため「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」を昭和59年2年に制定した。ここでの対策としては、対応地域の選定、必要かぶりの確保、W/Cの制限、施工上の配慮、防食を目的とした塗装材適用の提案が主となっている。

しかし、同指針でも述べられているごとく、気象、環境条件に対応した経時特性の把握や塩害対策の具体的な技術の資料不足は否めず、今後の長期的展望にたった観測・点検・調査にまたねばならぬ多くの課題が残されている。

また、塗装鉄筋、コンクリート塗装の利用については、その実績が少なく技術開発の途上であり、最適材料の開発、実験討議、施工実績の積み上げを行い、確立させていく必要がある。

本来、コンクリート防食技術はコンクリート自身による防食とすべきであるが、腐食環境の厳しい場合はこれと併行して、耐塩性の鉄筋、プラスチックシース、炭素繊維やアラミド繊維等の新素材の利用による防食方法についても検討し実用化を図る必要があるといえよう。

2.1 過去の研究経緯

コンクリート構造物の塩害調査を、昭和57年度に建設省土木研究所が中止となり関係各機関による全国調査が行われた。

各研究機関による独自の塩害に対する調査研究についての発表はなされているが、統一的に実施されたのはこれが最初と考えられる。

その後、昭和60～62年度にかけて建設省が実施した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」により、成果の取りまとめが行われた。

以下に各研究機関と研究内容について示す。

研究年	研究者	研究内容
S. 57	- 建設省土木研究所 - 建設省東北地方建設局	補修工法検討の一環として「コンクリート橋の塩害対策に関する暴露試験調査」を日本海沿岸で実施された。 実施内容は以下のごとくである。 1. 塗装材料の耐久性（無筋コンクリートへの塗装） 2. 塩分含有鉄筋コンクリートでの各種外部塗装材の評価 3. ひびわれ樹脂注入と各種外部塗装材併用による効果の評価
S. 57～	- 建設省北陸地方建設局 - PC建設業協会	新設PC橋と、塩害PC橋における補修工法の施工性及び、補修費の追跡調査を行い、併せて暴露供試体による追跡調査も行っている。
S. 58～60	- 土木学会北海道支部 - 大森大橋塗装材質調査委員会	・大森大橋の塗装材質に関する調査 「道路橋の塩害対策指針（案）」、「海洋コンクリート構造物の防食指針（案）」に対して、積雪寒冷地における具体的な対応策についての再検討が行われた。 内容は、新設橋に対する表面被膜工法の実証試験及び樹脂塗装鉄筋による塩害防止対策に最適な塗装材料の選定と設計仕様を定めることを目的に実施。
S. 59	PC建設業協会	・コンクリート橋の塩害補修に関する実態調査報告 S. 56年、飛沫帯技術対策委員会を設置し、S. 57年にPC橋の塩害実態調査を全国規模で実施した。 さらに、本調査では、汀線より2km以内の既に実橋において実施された、補修結果の実態を把握するために実施されたものである。
S. 62	- 沖縄総合事務局 - 沿岸開発技術センター	「那覇港臨海道路PC橋の劣化診断調査委託」により提案され、実橋のモニタリングと塗装材料の相対評価の目的で実施された。
S. 60～63	- 建設省土木研究所 - PC建設業協会	総プロの一環として「塩害により損傷をうけたコンクリート構造物の補修方法に関する研究」として実施された。 内容は、無機系の材料を中心とした断面修復工法の施工法、ならびに有機系及び無機系材料を用いた表面被覆工法の施工性を把握する事を目的に実施された。 昭和60年、昭和61年に実橋における補修試験を行い、併せて室内試験供試体による暴露試験をも実施している。

2.2 塩害に対する防食基準

塩害に対する防食基準について国内では、塩化物総量規制値、沿岸構造物の設計・施工、被害を受けた構造物の補修・補強技術等に関して、いくつかの指針(案)・マニュアル(案)がまとめられた。以下にこれらの防食基準名を示す。

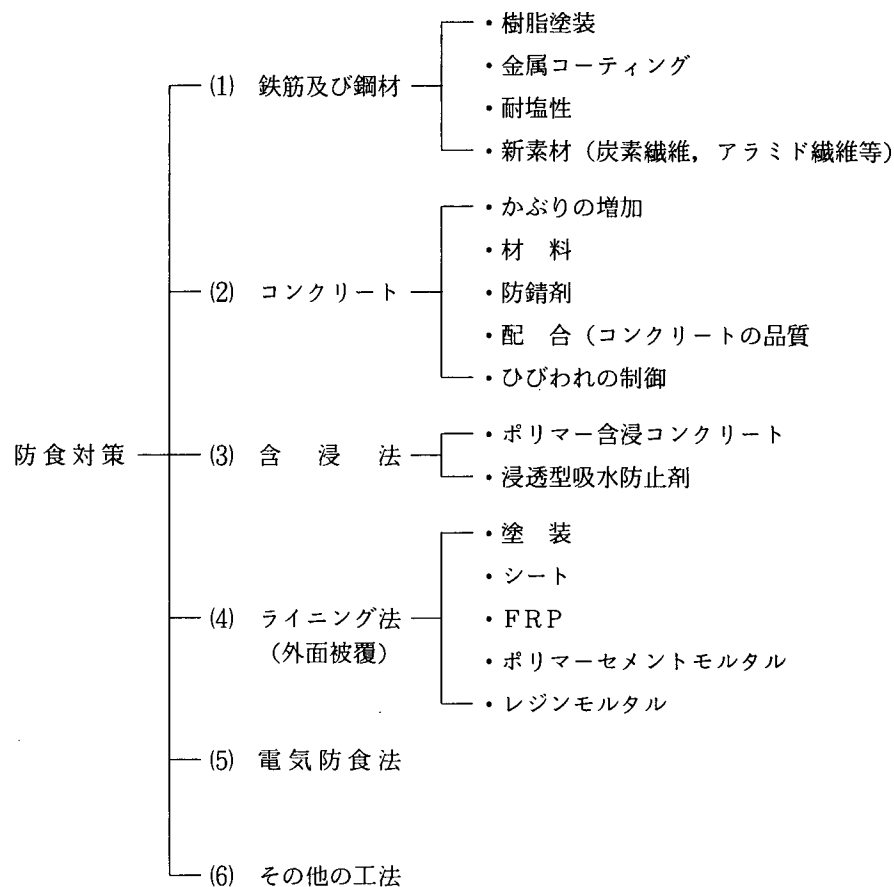
指 針 名	発 行 年	発 行 部 署
道路橋の塩害対策指針(案)・同解説	昭和59年	(社)日本道路協会
海洋コンクリート構造物の防食指針(案)	昭和58年	(社)コンクリート工学協会
” 改訂版	平成2年	”
エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計・施工指針(案)	昭和61年	(社)土 木 学 会
コンクリート耐久性向上技術の開発 1. 塩化物総量規制基準 2. 沿岸土木構造物の設計・施工指針(案) 3. 塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)	平成元年	建設省総合技術開発プロジェクト
コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案)	昭和62年	(社)コンクリート工学協会

2.3 コンクリート防食方法

コンクリート構造物に対する防食対策としては、新しく建設されるものへの対策、既に架設された構造物への補修対策がある。

現在、行われている防食方法を作用機能により大別すると以下ようになる。

表-2.1 コンクリート構造物の防食対策



(1) 鉄筋及び鋼材

鉄筋及び鋼材の耐食性を向上させる方法として次のことが考えられる。

① 非金属材料による被覆

塗装用樹脂としては、エポキシ樹脂、ポリ塩化ビニール、ポリプロピレン、ポリウレタン、コーラルエポキシ等がある。

② 金属コーティングによる被覆

金属コーティングによる被覆には、亜鉛、アルミニウム、銅、ニッケル等の金属メッキと金属溶射がある。その他にステンレス、チタン等を用いたクラッド鉄筋等がある。

③ 耐塩性鉄筋

鋼材の化学成分を調整することによって、鋼材自体の防食性能を高めた材料として耐塩性鉄筋がある。

④ 新素材

炭素繊維、アラミド繊維等の耐食性が良く、かつ強度の高いものがコンクリートの防食材料として研究されているが、実用化するためには耐久性等さらに検討すべき事項が多い。

(2) コンクリート

コンクリート自体の防食性を考える時、海洋環境、気象条件、荷重条件、施工条件等、種々な要因が影響を与える。このため、塩害対策を実施するにあたってはコンクリートの品質確保、十分なかぶりの確保、ひびわれの制御等、種々な角度から検討しなければならない。「海洋コンクリート構造物の防食指針（案）」では、第一種防食法として、定義されており、新設橋での対応となる。

(3) 含浸法

新設橋、既設橋での対応可能な工法として含浸法がある。この工法は、コンクリート自体で腐食性物質を遮断する方法として、高分子材料をコンクリートに含浸させたポリマー含浸コンクリートがある。本工法は大規模なヤードが必要でまた、費用もかかる等、現場条件、施工性、経済性等、多くの制約条件を満たさなければならない。

この他に、防錆剤、防水剤及び浸透型吸水防止剤等の塗布材料による方法があるが、実績も乏しくまた、コンクリートの密度、浸透深さの関係等検討しなければならない事項が多い。

(4) ライニング法

従来の鋼橋塗装及び石油タンク等の施工実績その他から、コンクリート表面の保護として、またコンクリート橋の補修工法として使用されている。ライニング法には、塗装防食法、シート防食法等がある。

① 塗装防食

塗装防食材料には、合成ゴム系、ウレタン系、エポキシ系、ビニールエステル系など種々な材料があり、塗膜と下地コンクリートの密着性を確保する事、環境条件にあった抵抗性の大きい塗装材料を選定する事が可能である。しかし今後、下地処理、塗膜厚、気温、湿度、風、波等の条件設定と施工管理面でのさらなる改善が必要である。

② シート防食

シート防食材料には、合成ゴム系、塩化ビニール樹脂系、ゴムアスファルト系があり、伸び能力のある材料を使用する事により、外気と下地コンクリートを遮断し防護する工法である。しかし、下地コンクリートとの付着性とコンクリートの断面、形状により施工精度に懸念される面があるので注意する必要がある。

③ その他

その他のライニング工法としてFRP工法、ポリマーセメントモルタル工法、レジンモルタル工法がある。

(5) 電気防食法

電流を流すことによって鋼材の電位をコントロールし腐食を制御する方法で、国内および諸外国

では既に一部実用化されている。

2.4 現状の問題点

1) コンクリート橋の塩害対策に対する評価

耐久性についての評価を得るには、大変に長い期間を要する。

従来、耐久性、耐候性については促進試験が用いられており、促進試験には次のような条件が必要とされる。

- (1) 現実における腐食、環境条件に対応していること。
- (2) 促進効果が高く、かつ促進効果が定量化できること。
- (3) 種々の試験目的に応じて適用できること。
- (4) 簡便かつ容易に行えること。

しかし、その他種々の条件を含めて、すべての条件を満足させるような試験方法は現在の段階ではまだ確立されていない。したがって、環境条件に応じた信頼性の高いデータを得るためには実際の施工条件で行わざるを得ない。

そのためにも、補修構造物に対する追跡調査が必要となり、長期の研究が必要である。

2) コンクリート腐食メカニズムの解明

コンクリート内への透気、塩分透過のメカニズムを明らかにすることにより、耐塩性コンクリートとしての品質改善に対応することが可能である。

一般に高強度コンクリートは、密度が高く良質とされるが、高強度になるほど水・セメント比が小さくなり、施工性の面ではマイナス効果を生むこともある。したがって、施工性を損なわないようなコンクリートの配合、混和材の開発が必要である。

3) コンクリート中の鋼材の防食技術

コンクリート構造物の塩害による損傷は、内部鋼材の発錆に起因する。内部鋼材の健全性が保たれるならば、コンクリート構造物の大半は健全であるといえる。

設計、施工上問題のない材料、工法の開発が必要である。

4) 被覆工法の改善点

従来コンクリートは透湿性の材料であり、気象条件に合わせて乾湿作用を繰り返しながら健全状態を保っている（塩分浸透、中性化の原因でもある）。

新設橋においては構造物全体を被覆してしまう方法を講ずれば外からの給水はなくなり、一定状態を保ち得るものの、コンクリート構造物としての特徴を失し、経済性の面で大変な負担となる。

一方、既設塩害橋については延命対策としての補修が必要であり、進行を防止するため外面被覆を行う。この際、特に有機系の塗膜は、橋面からコンクリート内部への浸透水を蒸発できずコンクリートと被覆材との界面破壊を起こす原因となる。外からの透水を遮断し、内部からの透気を促す材料開発が必要である。

5) 正確な補修仕様が知り得ない

塩害対策については、多くの既報告に示されているごとく、鋭意研究、開発中のものであり、その仕様、種類は多岐に渡っている。

しかも、その仕様については、各メーカーがノウハウと称している部分であり、詳細を知り得ず、正当な評価がし難い。環境条件に応じた補修材料の品質規格を選出することが必要である。

6) 浸透塩分の除去、内部鉄筋の錆進行防止

通常の浸透塩分は、ほぼ鉄筋位置までが著しい。

一旦ひびわれが発生したものについては、鉄筋より深い位置まで浸透しているのが現状である。

大断面修復の場合、鉄筋位置まではつり落とし、サンドブラスト後鉄筋の防錆処理を行っている。

主鉄筋より内側のはつりは難しく、また強引に行うことは耐力上思わしくない。そのため塩分の除去、防錆が不十分となり、経時的にその部分からの発錆が起こり、再度ひびわれが生じ、補修が必要な結果となり得る。浸透塩分除去法の開発が必要である。

7) 非破壊による健全度調査

構造物の劣化損傷の種類及び程度が非破壊検査で行う事ができれば、未然に軽傷の状態で手当することができる。

塩害が鉄筋の錆に起因することを考えれば、鉄筋の腐食状態を早く知ることが肝要となる。

現在、コンクリート中の鋼材の腐食程度を知る方法として、自然電位法、分極抵抗法が提案されているが、実用化には更に研究が必要である。

3. 実海域における暴露試験

第2章“現状の問題点”において、記述されている通り、塩害環境下にあるコンクリート構造物の耐久性に関するデータを収集するためには、試験室レベルの研究の他にどうしても実海域における長期の暴露試験が必要である。そこで、静岡県大井川沖250 mの海上に、海洋暴露試験施設を設置し、総合的長期自然暴露試験を実施することになったものである。

3.1 全体計画

耐久性に関する試験調査は、内外の例を見ても長期にわたることが多く、試験期間を20年以上としている例も少なくない。

共同研究も、当面20年間を目途としているが、社会情勢等の変化も予想されることであり、さしあたり59年度より平成6年度までの10年間の研究計画を策定している。

(1) 共同研究の試験実施場所

研究施設は、静岡県志太郡大井川町高新田地先沖合 250 m に設置されている。(図-3.1 参照)

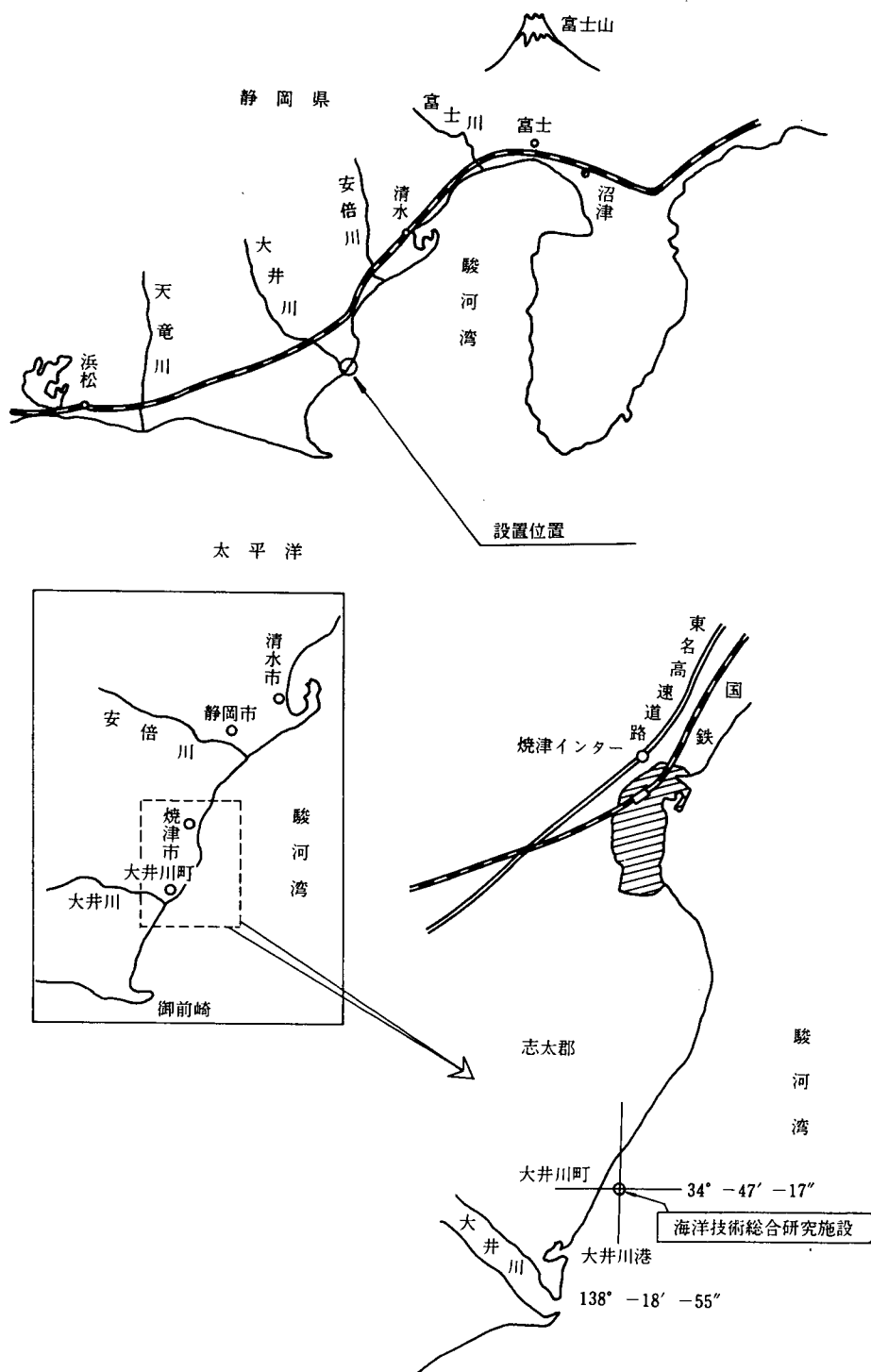
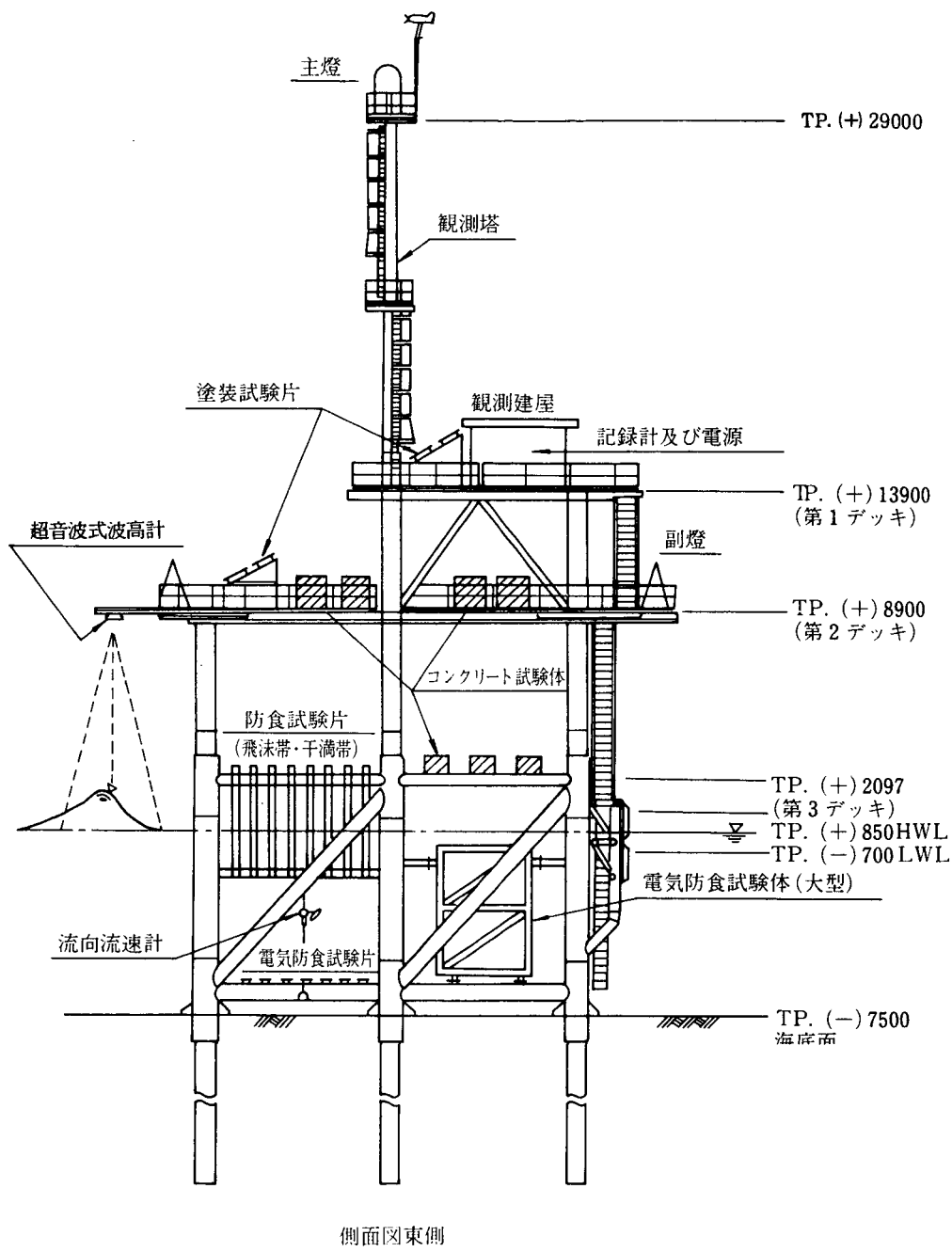


図-3.1 海洋技術総合研究施設位置図

(2) 共同研究の試験実施のため利用する施設

コンクリート試験体は、写真－3.1及び図－3.2に示す施設の第2，第3デッキに設置されている。それらの供試体の暴露状況を写真－3.2に示す。



図－3.2 海洋技術総合研究施設（海洋暴露試験施設）

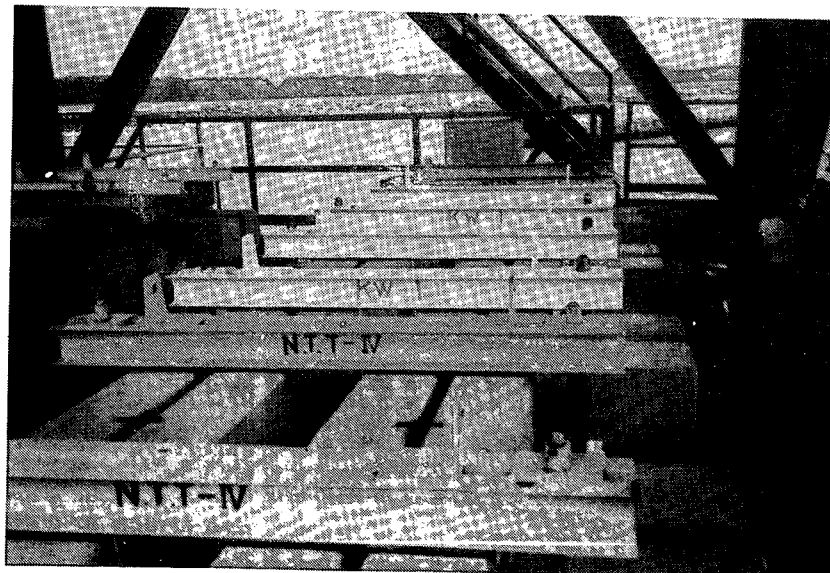
第3デッキは、最高潮位面より1.2m程度であり、飛沫を受けやすい状態にある。又、第2デッキは、最高潮位面より8m程度となるため、第3デッキよりは、飛沫の影響が少ない環境である。

(3) 試験体の種類と配置

調査項目と試験体の関係を表－3.1に、試験体の種類を表－3.2に、試験体一覧表を表－3.3に



写真－ 3.1 海洋技術総合研究施設



写真－ 3.2 コンクリート供試体の暴露状況

示す。

又、研究施設への試験体の配置を図－3.3～3.4に示した。

表－3.1 調査項目と試験体の関係

調 査 項 目		関 係 す る 試 験 体 (省略)
外 観 調 査		小プレ、小RC、中プレ、中RC
自 然 電 位 分 布 測 定		小プレ、小RC、中プレ、中ポスト、中RC、大プレ
塩分の測定	塩 分 量	小プレ、小RC、中プレ、中RC、円柱供試体
	浸透深さ	円柱供試体
鉄筋の腐食状況測定		小プレ、小RC、中プレ、中RC
中 性 化 測 定		円柱供試体
圧 縮 強 度 測 定		円柱供試体
細 孔 径 分 布 測 定		円柱供試体
塗膜劣化状況調査		小プレ、小RC
透 水 性 試 験		円盤供試体

表－3.2 試験体の種類

種 別		略 称	数 量	形状寸法 単位：mm	系 ※(1)
プレテンション方式小試験体		小プレ	42 体	200×200×1200	基準系，防食系，腐食系
鉄筋コンクリート小試験体		小RC	90 体	200×200×1200	〃
プレテンション方式中試験体		中プレ	4 体	300×300×2000	基準系
ポストテンション方式中試験体		中ポスト	6 体	300×300×2000	防食系，腐食系
鉄筋コンクリート中試験体		中RC	6 体	300×300×2000	基準系
プレテンション 方式大試験体	JIS A 5316型	大プレ	3 体	750×350×600×5000	腐食系
	ス ラ ブ 型	〃	1 体	600×700×400×5000	〃
	S ・ T 型	〃	1 体	1200×350×800×5000	〃
ポストテンション方式大試験体		大ポスト	1 体	1200×350×800×5000	〃
円柱供試体 (φ150×300)	セ メ 協		159本	－ － － － －	
	P C 建 協		90 本	－ － － － －	
円盤供試体 (φ150×40)			48 枚	－ － － － －	

注) ※(1) ① 基準系：表－3.3に示す“基準系試験体”のことで、コンクリート表面及び鉄筋になんらの処理も施していない試験体。

② 防食系：表－3.3に示す“防食処理系試験体”のことで、コンクリート表面に塗装を施したり、塗装鉄筋を使用するなど、なんらかの防食処理を行っている供試体。

③ 腐食系：表－3.3に示す“腐食調査試験体”のことで、試験体そのものは基準系の物と同じであり（但し、一部に意図的にクラックを発生させた試験体もある）、試験体に明かに塩害に起因すると思われる現象（錆汁等）が発生した時点で、補修を施し、その効果を調査するための試験体。

表-3.3 試験体一覧表

セメント 水セメント比 かぶり 試験年			普通セメント									早強セメント									高炉B種		
			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						
			A001	A002	A003	A004	A005	A006	A007	A008	A009	A010	A011	A012	A013	A014	A015						
基準系試験体	小	2.5 cm																					
		3.5 cm		A016	A017		A018	A019		A020	A021		A022	A023		A024	A025						
		5.0 cm		A026	A027		A028	A029		A030	A031		A032	A033		A034	A035						
	中	7.0 cm	A036	A037		A038	A039		A040	A041		A042	A043		A044	A045							
防食処理系試験体	塗装鉄筋	粉体樹脂塗装	1									B001	B002										
			2									B003	B004										
			3									B005	B006										
		亜鉛めっき										B007	B008										
												B009	B010										
		塗膜欠陥	クラック									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									B019	B020	B021									
			1 柔軟エポ									B022	B023	B024									
			2 柔軟ウレタン									B025	B026	B027									
		B種	1 厚膜エポキシ									B028	B029	B030									
			2 ビニルエステル									B031	B032	B033									
		C種	1 超厚膜エポ									B034	B035										
			2 " ウレタン									B036	B037										
		その他の塗装 (次世代塗装)	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(1)									B054	B055	B056									
			2 アクリル系(1)									B057	B058	B059									
			3 シリコン系(2)									B060	B061	B062									
			4 有機無機複合									B063	B064	B065									
			5 アクリル系(2)									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)										B092	B093										
	耐塩性コンクリート	2.5 cm	D001	D002	D003	小RC (シリカフェーム) 水セメント比30%																	
		5.0 cm		D004	D005																		
腐食調査試験体	プレテンション	2.5 cm										C001, C002, C003, C004	小プレ										
		3.5 cm										C005, C006, C007, C008	中ポスト										
	鉄筋引張力		800 kg/cm ²									C009, C010, C011, C012											
			1,000 "									C013, C014, C015, C016											
			1,200 "									C017, C018, C019, C020											
			1,400 "									C021, C022, C023, C024											
	プレテンションT桁	2.5 cm	(5316型)									C025, C026, C027	$\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$										
		3.5 cm										C028	$\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$										
	プレテンションT桁	5.0 cm	(ST型)									C029	$\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$										
		7.0 cm										C030	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$										
	ポストテンションT桁 (ST型)																						

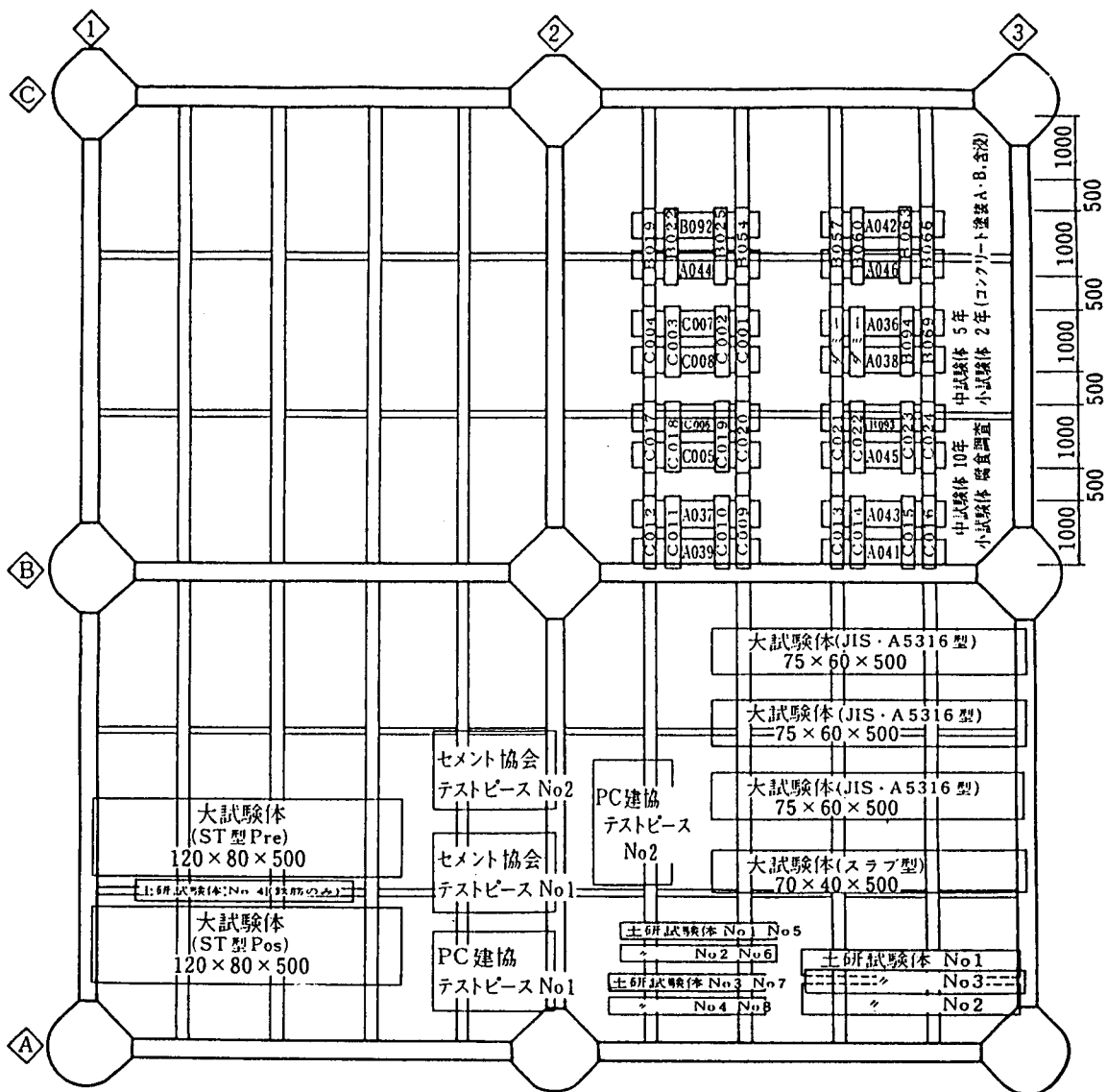
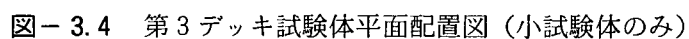


図-3.3 第2デッキ試験体平面配置図



3.2 年次計画

(1) 当初計画

調査の年度別計画は当初表－3.4に示すように策定したが、試験体の状況より判断し、平成元年度（暴露5年経過時）の本格調査は、平成2年度（暴露6年経過時）に行っている。

表－3.4 当初の年次計画

調査年度	S. 59	S. 60	S. 61	S. 62	S. 63	H. 1	H. 2	H. 3	H. 4	H. 5	H. 6
材 令 別	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
調査内容	設置	△	○	△	△	○	△	△	△	△	○

定時調査（△印）とは、毎月5～6月頃行う定期調査で、

(a) 目視による外観調査（スケッチ）

(b) 自然電位分布

を中心に行っている。

又、本格調査（○印）は、暴露2年、5年、10年経過時に行う詳細調査であるが、現地状況より5年目調査は実施していない。

なお、2年目は試験体1体のハツリ調査を行っている。

(2) 過去の調査内容と今後の調査予定

過去6年間におこなった各年の調査項目及び暴露10年目までの調査予定は、表－3.5の通りである。

① 過去の劣化状況をみると、変化の傾向がゆるやかなので、毎年行っていた定期調査を隔年とす

表－3.5 過去の調査内容及び今後の予定

調査年度 材令年		S. 59.6	60.6	61.6	62.5	63.5	H.1.5	2.7	3	4	5	6
調査項目		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
外 観 調 査			○	○	○	○	○	○		○		○
自然電位分布測定			○	○	○	○	○	○		○		○
塩分の測定	塩分量							○		○		○
	浸透深さ		○	○	○		○					○
鉄筋の腐食状況測定				○				○				○
中性化測定			○	○	○		○					○
圧縮強度測定			○	○	○		○					○
細孔径分布測定			○		○		○					○
塗膜劣化状況調査								○		○		○
透水性試験		○		○			○					

る。

- ② 当面調査の最終年を暴露10年（H.6）としているが、調査結果によってはそれを20年程度まで延長することも十分考えられるので、今後の調査結果をもとに検討を加える。

3.3 調査項目及び調査方法

調査項目とその調査方法、並びに各調査項目に関係する調査区分をまとめると表-3.6に示す通りである。

(1) 外観調査

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調査を行い、下の項目について展開図を作成する。

a. 錆汁の有無

錆汁が発生している場合は、その位置、範囲を記入する。

b. ひびわれの有無

ひびわれが発生している場合は、その位置、ひびわれ幅及び、ひびわれの長さを記入する。

表-3.6 調査項目と調査方法

調 査 項 目		調 査 方 法	関 係 す る 調 査 区 分
外 観 調 査		目視、タタキ	かぶりと配合、腐食調査と補修技術開発、樹脂塗装鉄筋の実用化、PC鋼材の防塩処理材料の開発、塗膜系塗料の実用化、含浸系塗料の開発、耐塩性コンクリートの開発
自然電位分布測定		測定器（硫酸銅電極）	かぶりと配合、腐食調査と補修技術開発、含浸系塗料の開発、耐塩性コンクリートの開発
塩分の測定	塩分量	日本コンクリート工学協会法	かぶりと配合、塗膜系塗料の実用化、含浸系塗料の開発、耐塩性コンクリートの開発
	浸透深さ	薬液噴霧	内部組織と防食性能の把握
鉄筋の腐食状況測定		ハツリ後目視	かぶりと配合
中性化測定		薬液噴霧	内部組織と防食性能の把握
圧縮強度測定		JIS A 1108	内部組織と防食性能の把握
細孔径分布測定		室内試験機	内部組織と防食性能の把握
塗膜劣化状況調査		付着力試験、ごばん目試験	塗膜系塗料の実用化
透水性試験		室内試験機	塗膜系塗料の実用化、含浸系塗料の開発
飛来塩分量調査		現地捕集器（4ヶ所）	

なお、暴露前あるいは、直後において発生していたひびわれは、別塗区別している。

c. はくり、欠落の有無

はくり、欠落が発生している場合は、その位置、面積及び深さを記入する。

また、コンクリートが欠落して内部鋼材が露出している場合は、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、鋼材の種類も記録する。

d. 塗装材

コンクリート表面に塗装された塗装材料に、膨れ、われ、はがれ等が発生している場合は、その位置及び面積を記入する。

e. 表面全体

コンクリート表面全体をハンマーにて打撃し、コンクリートの変状の有無を調査し記入する。

f. 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、その状況を記入する。

以上の項目に関する評価点の基準値を表－ 3.7 ～ 3.9 に示す。

表－ 3.7 ひびわれに対する評価点

ひびわれ係数 ($\times 10^{-3}$)	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	なし又はごく軽微

$$k = \frac{\sum (\text{ひびわれの長さ} \times \text{ひびわれ幅})}{\text{試験体の調査表面積}}$$

表－ 3.8 はくり・欠落に対する評価点

はくり・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	なし又はごく軽微

$$k = \frac{\text{はくり・欠落の面積}}{\text{試験体の調査表面積}}$$

表－ 3.9 塗膜の異状の評価点

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	なし又はごく軽微

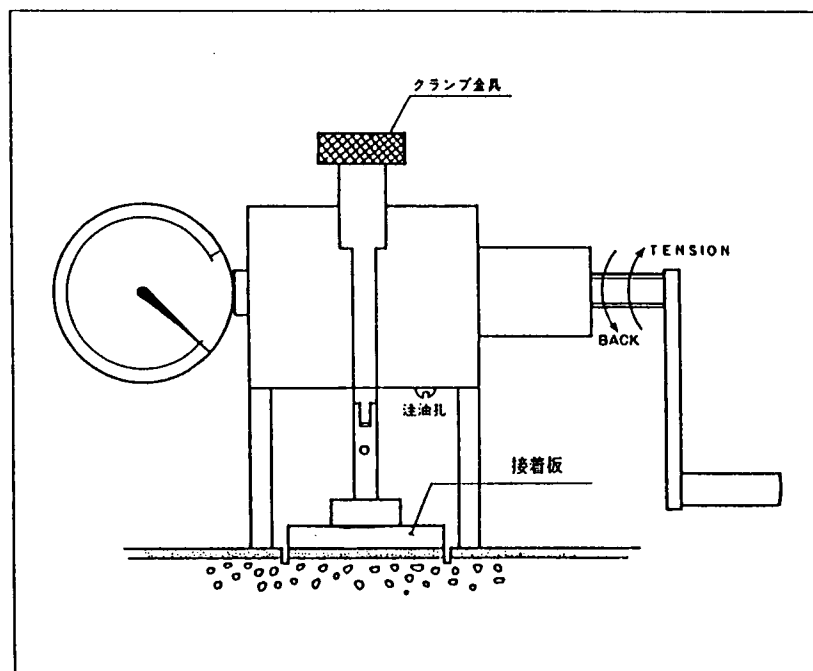
$$k = \frac{\text{塗膜異状の面積}}{\text{試験体の調査表面積}}$$

(2) 塗膜劣化状況調査

暴露後、6年経過したコンクリート塗装を行った試験体の塗膜劣化調査として、塗膜の付着力試験とごばん目試験を行った。

1) 付着力試験

付着力試験は、図－ 3.5 に示す能力 500 kg の小型接着試験器（40 × 40 専用）により行った。



図－ 3.5 小型接着力試験器図

2) ごばん目試験

カッターナイフを用いて、塗膜に 3mm 間隔で縦横、それぞれ 4 本ずつ切傷を入れて、9 のます目をつくり、その上にセロハン粘着テープ（JIS Z 1522）を完全に密着するようにはりつけてからテープをいっきにはがし、ます目の残存数を調べる。

(3) 自然電位分布測定

本調査は、自然電位分布を測定することにより、コンクリート内部鋼材の腐食位置や腐食傾向を非破壊にて推定するものであり、硫酸銅電極を用いて行っている。

なお、評価点の基準値は表－3.10 に示す ASTM で定められた値としている。

表－3.10 平均自然電位分布の評価点と ASTM の判定基準

	評価点と平均自然電位の分布範囲	A.S.T.M. 判定基準
自然電位 (mv)	0	腐食の発生していない確率が90%以上
	－200	－200
	1	不 確 定
	－280	
	2	－350
	－350	腐食が進行中である確率が90%以上
	3	

(4) 塩分の測定

① 塩分量の測定

各試験体よりコアを採取し、日本コンクリート工学協会法のうち、電位差滴定法により行っている。

② 塩分浸透深さ

円柱供試体を縦方向に割裂した断面に、フルオレッセインナトリウム0.1%水溶液をスプレーで噴霧した後、硫酸銀2%水溶液をさらに噴霧すると、塩素イオンが存在する部分は白色となるので、その部分の深さを3点測定する。

(5) 鉄筋の腐食状況測定

試験体表面をはつり取り、内部鉄筋を露出させた後、目視にて行う。

なお、評価点の基準値は、表－3.11 に示す。

(6) 中性化測定

円柱供試体を縦方向に割裂した断面に、フェノールフタレインのエチルアルコール1%溶液を噴霧し、赤変した

表－3.11 腐食状況の評価点

評価点	腐食の目視による観察状況
0	施工時の状況を保ち、以降の腐食が認められない
I	部分的に腐食が認められる。軽微な腐食
II	表面の大部分が腐食している 部分的に断面が欠損している
III	鉄筋の全周にわたり断面の欠損がある
IV	鉄筋の断面が当初の2/3～1/2位欠損している。

い部分の深さを3点測定する。

(7) 圧縮強度測定

円柱供試体を JIS A 1108 に基づき行う。

(8) 透水性試験

円盤供試体 JIS A 1404 の透水試験機を使用し、供試体の塗布面の反対面より水圧 3 kg/cm^2 で清水を加圧透水した。透過面は、直径 5 cm の円形で、この面の表面に滞留した水の量を1時間ごとに測定した。

(9) 細孔径分布測定

水銀圧入ポロメーターによって、水銀圧力 1000 kg/cm^2 (細孔半径 $75 \text{ \AA}$) までの細孔径分布を求める。

(10) 飛来塩分量調査

建設省土木研究所方式の塩分捕集器を、第2、第3デッキ上の東及び南方向に設置し、年7回測定する。

4. 調査結果及び考察

4.1 外観調査

暴露6年を経過した現在、明かに塩害が原因で生じたひびわれまたは錆汁はないと考えられる。したがって今回調査を行ったひびわれまたは錆汁は、塩害の兆候もしくはその他の原因により生じたものと考えられる。これらについては、今後塩害により発生すると思われるものと区別する必要があるので、ひびわれ図などを描き記録しておく。またこれら塩害でない損傷も含め外観調査の結果に対し分かりやすく整理するために一つの基準を設けその度合に応じて評価点を設け数値処理することとした。本報告では、この評価点に基づき考察する。なお、外観調査の評価点の基準値は表-3.7～表-3.9に示してある。

1) 基準供試体

基準系試験体(40試験体)のうち、ひびわれ・錆汁に対する評価点が1点(軽微な変状)のものが9試験体あるが、その変状はごく局所的なひびわれまたは錆汁である。この錆汁は、鉄筋の錆によるものではなく結束線の錆ではないかと考えられる。また、表面にはくり・欠落を生じているものもあるが、スパーサー取り付け部や仕上げ面のレイタンス等の脆弱な箇所に生じたもので軽微なものである。基準系試験体のうち残りの31試験体の評価点は0点で異常はなかった。シリカフェームを混合した試験体(w/c=30%)は、ほとんど異常が認められなかった。

以上のように基準系試験体の変状は全体的にみてごくわずかであり、またこれ等の変状も塩害が原因で生じたものとは考えられず、現在のところかぶりや配合の違いによる差は認められていない。

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ものについて調査を行った。

樹脂塗装鉄筋	16 試験体
コンクリート塗装	30 試験体
含浸系塗装	14 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	4 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) 樹脂塗装鉄筋

樹脂塗装鉄筋を使用した16試験体の内ひびわれが生じているものは6試験体あり、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、5試験体である。試験体の表面に錆汁の認められるものもあるがわずかであり塩害によるものとは言い難い。

(2) コンクリート塗装

コンクリートに塗装を施した30試験体に、ひびわれ・錆汁およびはくりが生じているものはないが、表-4.1に示すように21試験体において塗膜にはがれやわれが生じているものもある。

表-4.1 防食処理系試験体における塗膜のはがれ

供試体 番 号	処 理 条 件	評 価 点						備 考
		1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目	6 年目	
B 021	塩害対 策指針(A種) エポキシ	0	2	2	2	2	2	上面のはがれ
B 024	〃 (B種) 柔軟エポ	0	0	0	0	1	1	はがれ
B 027	〃 (B種) 柔軟ウレタン	0	2	2	2	2	2	われ
B 029	〃 (C種) 厚膜エポキシ	0	1	1	1	1	1	上面はがれ
B 032	〃 (C種) ビニルエステル	0	0	2	4	4	4	われ(3), はがれ(2)
B 033	〃 (C種) ビニルエステル	0	0	0	4	4	4	われ(4), はがれ(1)
B 034	その他の 塗装 超厚膜エポ	2	2	2	2	2	2	軽微なはがれ
B 035	〃 超厚膜エポ	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B 037	〃 超厚膜ウレタン	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B 038	〃 超柔軟ウレタン	0	0	0	2	2	2	軽微なはがれ
B 039	〃 超柔軟ウレタン	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B 040	〃 変性エポキシ	2	2	2	2	2	2	軽微なはがれ
B 041	〃 変性エポキシ	2	2	2	2	2	3	はがれ
B 042	〃 セメント系	2	2	2	2	2	2	軽微なはがれ
B 043	〃 セメント系	0	2	2	2	2	2	はがれ
B 047	〃 シリコンゴム	2	2	2	2	2	2	変色
B 049	〃 アクリルゴム	0	0	0	0	0	2	われ(1), はがれ(1)
B 050	〃 無機系	2	2	2	2	3	3	上面多数はがれ
B 051	〃 無機系	2	2	2	2	3	3	上面はがれ
B 052	〃 有機無機	0	0	0	0	0	1	軽微なはがれ
B 053	〃 有機無機	0	2	2	2	2	2	上面はがれ
1. 試験体の条件：小供試体，早強セメント，w/c=50%，かぶり2.5cm 2. 評価点：(われ，はがれ面積)/全面積 0：0～0.03% 1：0.03～1% 2：1～3% 3：3～10% 4：10%以上								

わ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、膜厚に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。この他の変性として以下のことが認められた。

- ・塗膜のよれ

変性エポキシを使用した1試験体およびアクリルゴムを使用した2試験体に塗膜のよれが認められた。塗膜のよれは、試験体上面に生じ、その位置は試験体取り付け治具（溝形鋼）の縁付近である。塗膜のよれは、およそ1～3cmの幅で高さ数mmに波打っている。また、セメント系を使用した1試験体の側面によれが生じているのが認められた。試験体は治具で拘束されているが、風、波等の機械力が働いて少し移動し塗装がよれたものと思われる。

- ・ゴムパット部の変色

シリコンゴムを使用した試験体には、試験体間にはさんだゴムパット部でコンクリート表面が黒く変色している。

(3) 含浸系塗装

含浸系塗装を実施した14試験体では、局所的なはくりのある2試験体を除けば、ひびわれ、錆汁、はくり等の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）であり全体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部分もみられる。原因は明らかではないが、コンクリート表面のレイトランスの多い所に塗布したために生じたのではないかと考えられる。

(4) PC鋼材防塩処理材料

ポリエチレンシースを使用したポストテンション中試験体（2試験体）には両端部付近にひびわれが発生しているが、このひびわれに対する評価点は0点で今のところ軽微な変状といえる。

3) 腐食調査試験体

以下に外観調査を行った結果を述べるが、記述中のひびわれやはくり等の試験体の変状で、塩害により生じたものと認められるものはなかった。

- (1) 鉄筋に引張力（800, 1000, 1200, 1400 kgf/cm²）を生じさせた試験体のひびわれは、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している。このひびわれは、他の試験体のひびわれとは違い根拠のあるひびわれであるので特にこれに着目し、このひびわれが塩害環境下で試験体にどのように影響を与えるかを調べる。そこで、鉄筋の応力を変化させた各試験体のひびわれの経年変化を、図－4.1～図－4.4に示す。

ひびわれの最大幅は、0.04mmから0.06mm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。2試験体において、ひびわれの進行が認められたが、その他の試験体は、変化がない。

ひびわれ・錆汁に対する評価点は、鉄筋の引張応力が800 kgf/cm²から1200 kgf/cm²のものは、0点（変状なし又はごく軽微）であり、1400 kgf/cm²のものは2試験体が1点（軽微）、1試験体が

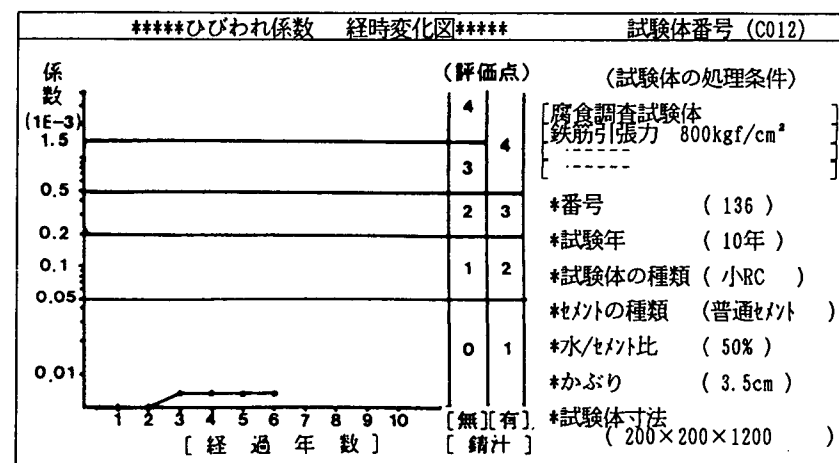
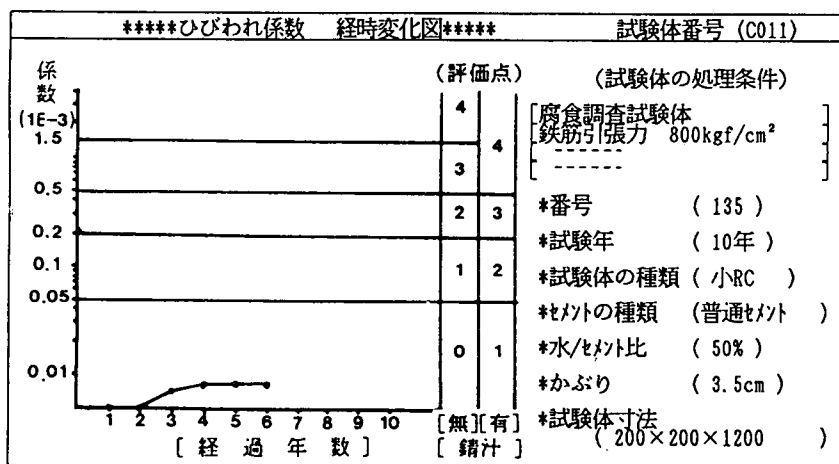
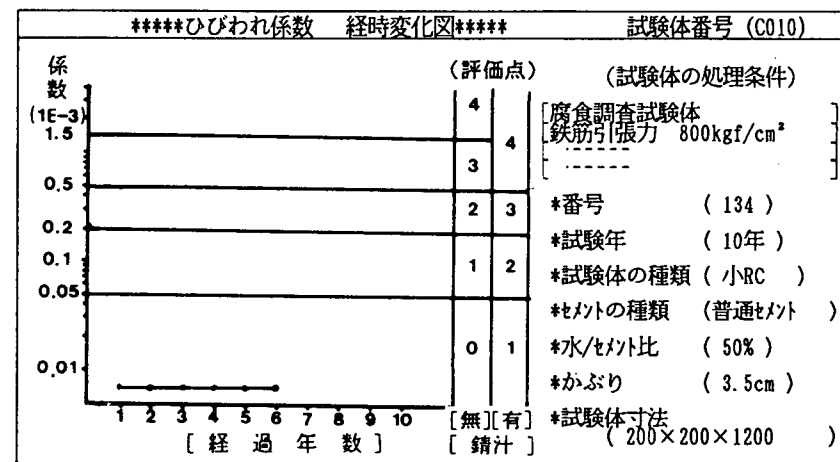
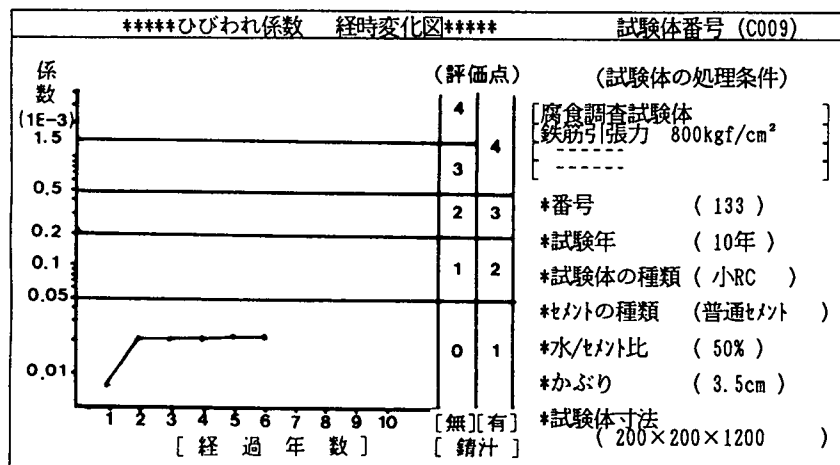


図-4.1 鉄筋応力 800 kgf/cm² 試験体のひびわれ経時変化

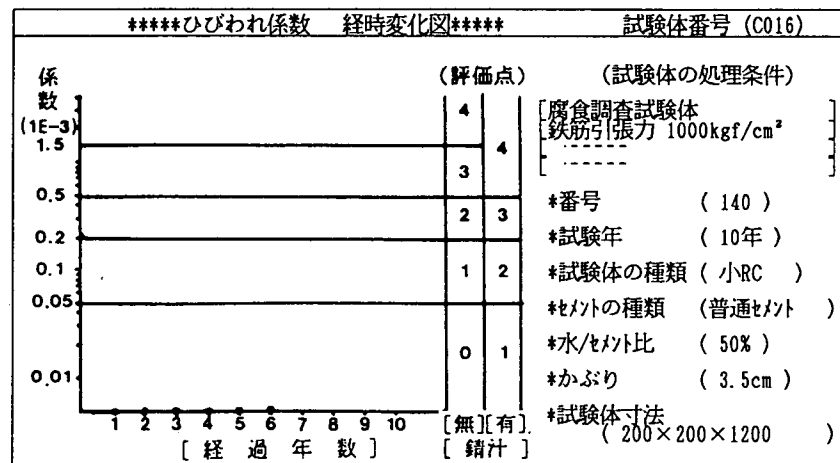
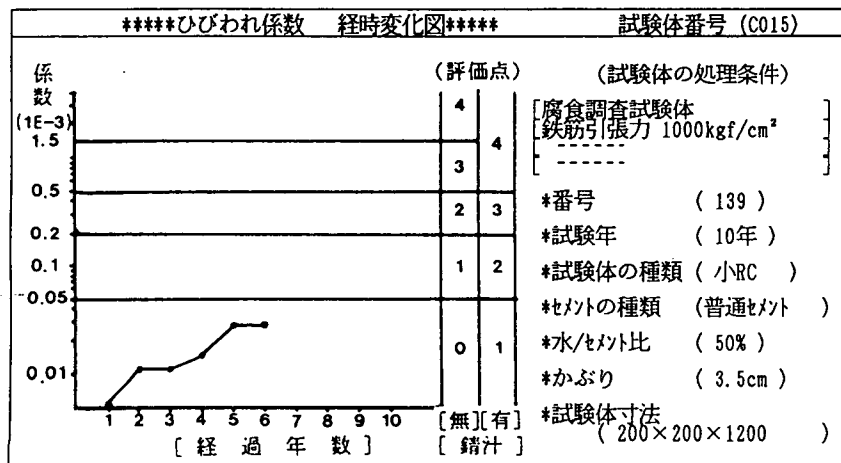
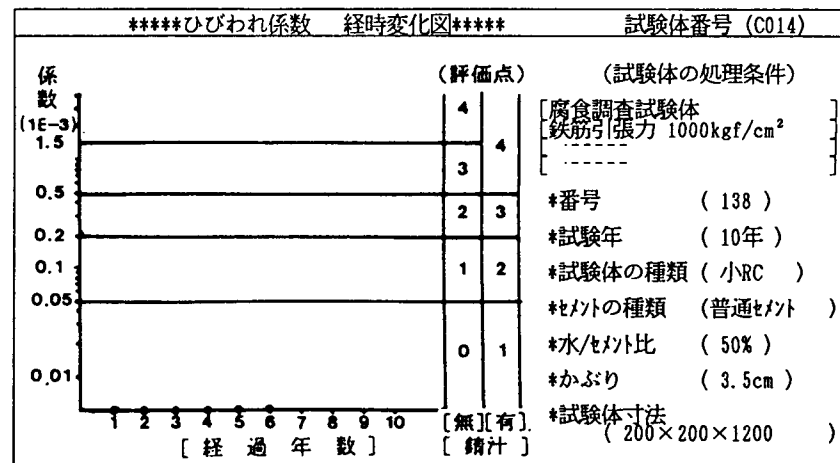
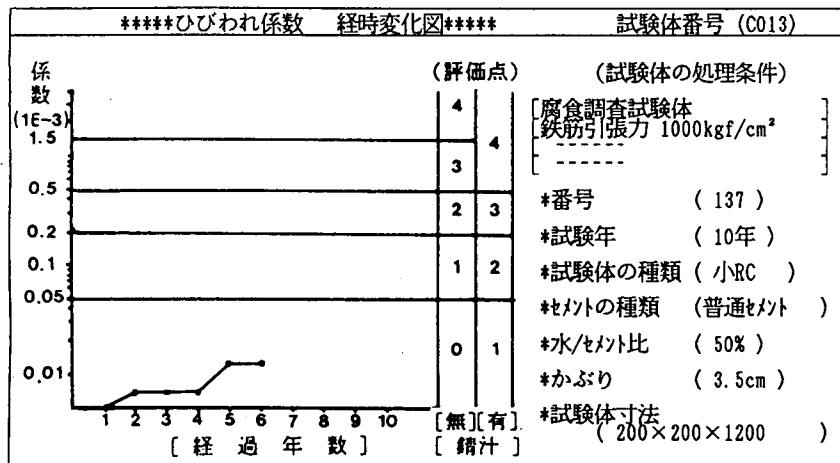
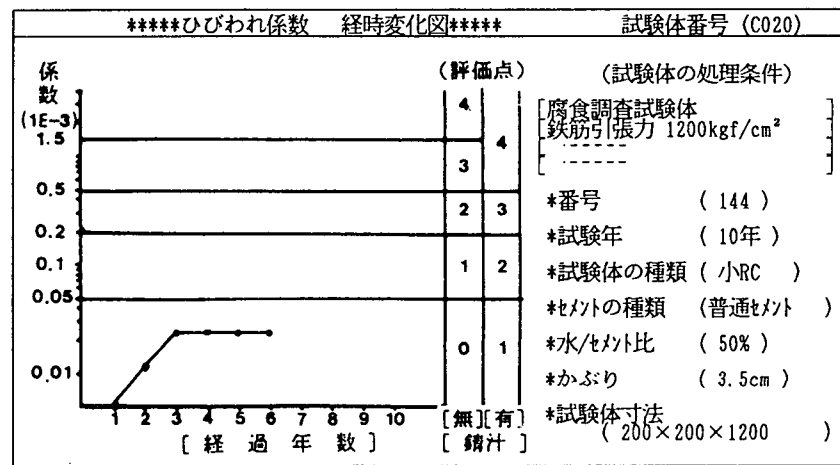
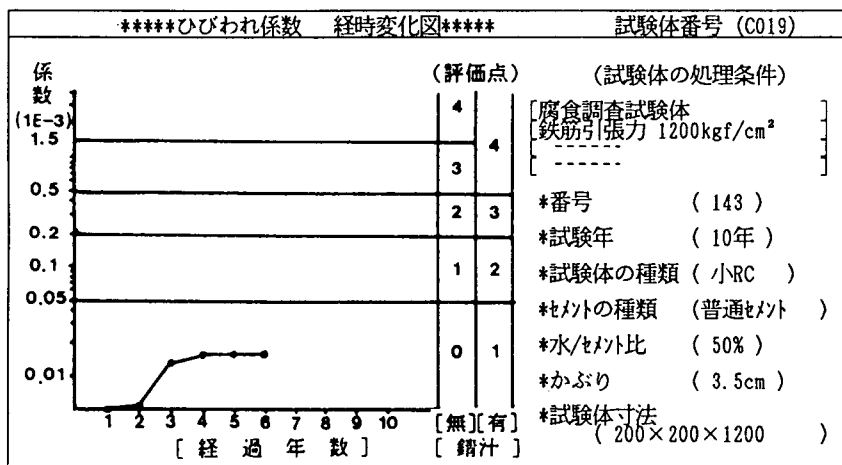
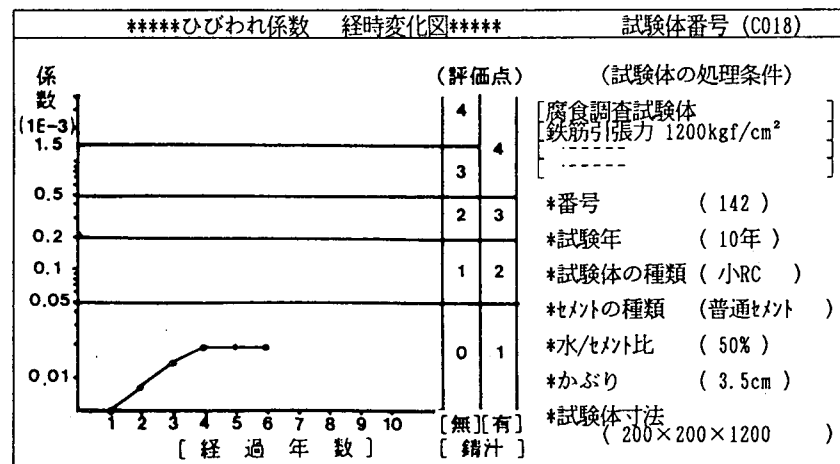
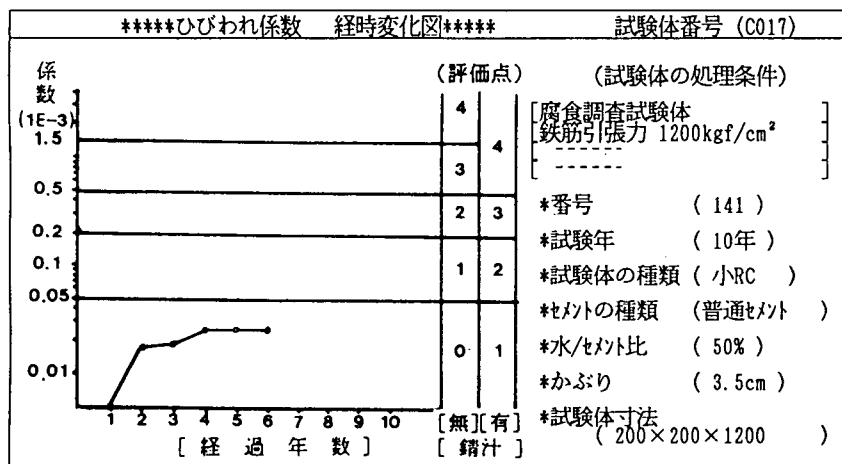


図-4.2 鉄筋応力 1000 kgf/cm² 試験体のひびわれ経時変化



図－ 4.3 鉄筋応力 1200 kgf/cm² 試験体のひびわれ経時変化

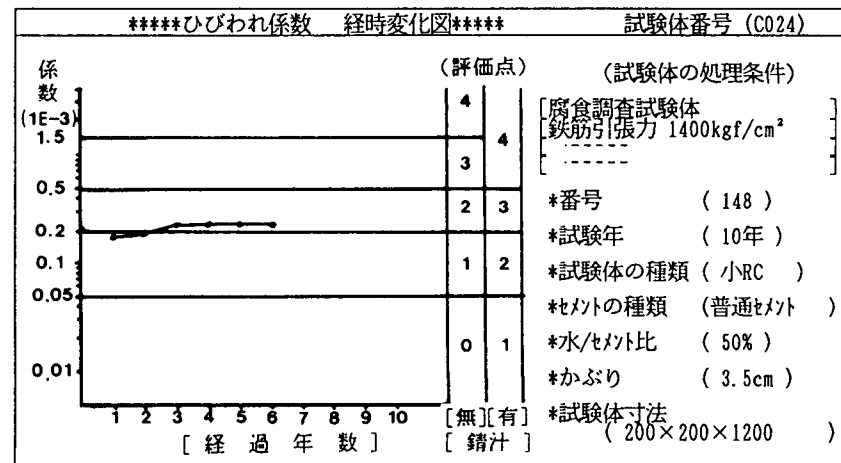
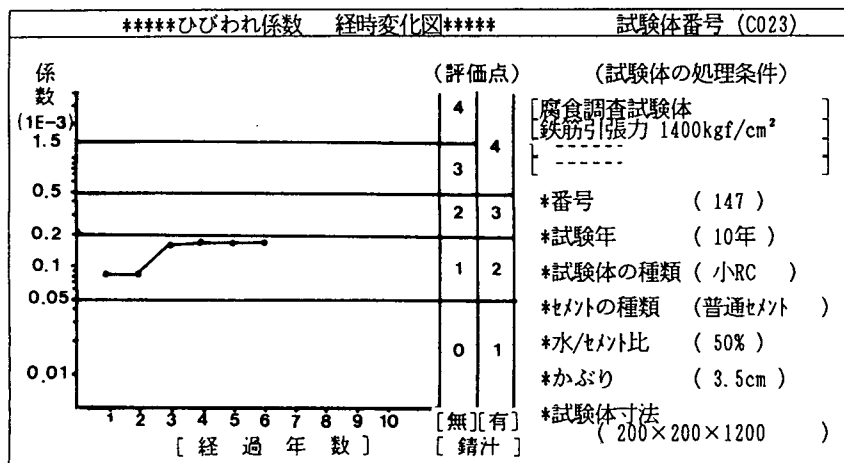
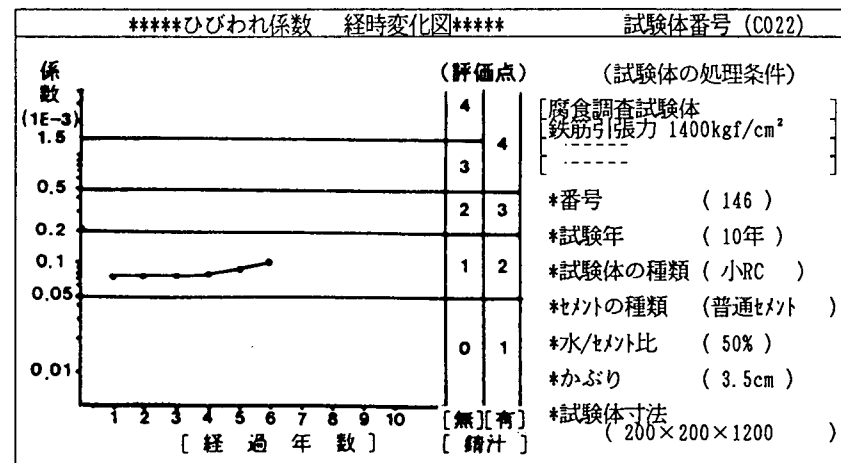
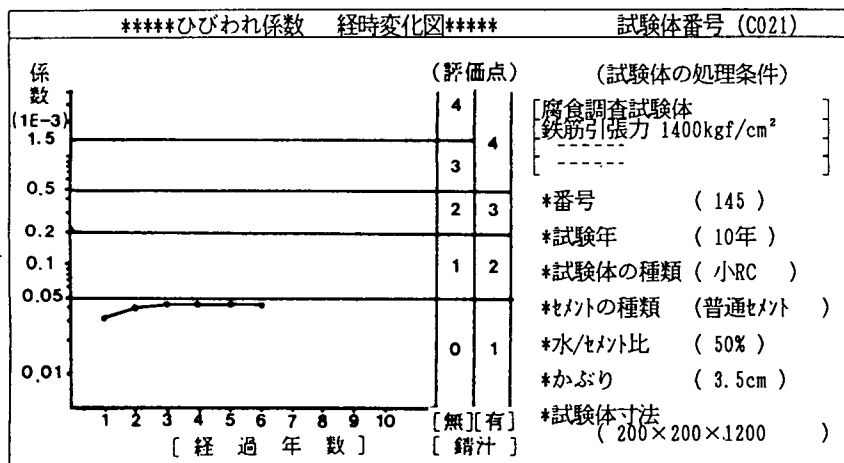


図-4.4 鉄筋応力 1400 kgf/cm² 試験体のひびわれ経時変化

2点(変状の程度が小)であった。はくりは、すべての試験体で仕上げ面に生じており、その深さは10mm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。はくり発生量は毎年変化していない。

これ等の試験体は、第2デッキに設置されているので、環境が第3デッキよりもよく、塩分量の調査や他の結果からも、鉄筋はまだ錆びていないと思われる。したがってひびわれが進行しているものも塩害が原因で進行したものではないと考えられる。

(2) 実物大橋桁試験体

全般的にみて発生しているひびわれは、乾燥収縮他の原因によるもので塩害によるものではないと考えられる。

(a) プレテンションT桁(JIS A 5316型)大試験体

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。さらに仕上げ面である試験体上面のひびわれは、その幅も微細のものから0.5mmの範囲にばらついており、年々徐々に増加する傾向にある。このひびわれは、おそらくコンクリートの乾燥収縮によるものと思われる。一方、はくり・欠落に対する評価点は0点(変状なしまたはごく軽微)で、変化は小さい。

(b) 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つながって発生している。ひびわれ幅は、0.04mm～0.3mmで桁軸直角方向に発生している。ひびわれ間隔は20cm前後である。ひびわれはコンクリートの乾燥収縮によるものと思われる。ひびわれに対する評価点は1点(軽微)錆汁やはくり・欠落は生じていない。

(c) プレテンションT桁(ST型)

上フランジの隅角部に沿って幅0.2mmのひびわれが発生しているが、毎年変化はない。上面の端部付近にひびわれが発生している。幅は0.2mm程度で、長さは数10cmで表面的なもので変化はない。コンクリートの乾燥収縮によるものと思われる。ひびわれに対する評価点は、1点(軽微)であり、はくり・欠落に対する評価点は0点(変状なしまたはごく軽微)である。

(d) ポストテンションT桁(ST型)

上フランジ隅角部に沿って、幅0.1mm程度のひびわれが発生しているが、毎年変化はない。上面には局所的な欠落があり、端部付近に発生したひびわれの周辺には微細なひびわれが増加している。これらのひびわれも、コンクリートの乾燥収縮によるものと思われる。ひびわれに対する評価点は1点(軽微)であり、はくり・欠落に対する評価点は0点(変状なしまたはごく軽微)である。

4.2 自然電位測定

表－3.10に示すように自然電位差が350 mv以上の場合鉄筋の腐食が進行中である確率が90％とされている。暴露6年目では、外観調査結果及びはつりによる内部鉄筋腐食調査結果と同様に自然電位からも、明かに塩害と判定できるデータは得られていない。自然電位の値そのものが直接明かな鉄筋の腐食判定とはならないが、外観調査と同様に、電位差に対しても1つの評価点を設け、これについて考察を行うものとする。なお、自然電位に対する評価点は表－3.10に示してある。

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、また今までの測定から自然電位の値は各種材料、各条件との相関関係が認められておらず、むしろ第2デッキか第3デッキかの設置位置との関係に明確な差が認められているのでこれらについても以下に記す。

1) 設置位置と自然電位

5年度までの調査で、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が認められている。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7 mである。各試験体の設置位置を図－3.3、3.4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－4.2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94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及び腐食調査試験体の全部、合計42試験体

表－4.2 第2デッキと第3デッキに据え付けた試験体の種類

種類 デッキ	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7 cmの中試験体	＊ ポリエチレンシースの小試験体	・ 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2～5 cm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	30	64	0	94

＊ 印の試験体は自然電位の測定を行っていない。

の小，中，大試験体がある。この表の中で，ポリエチレンシース，塗装鉄筋，コンクリート塗装の各試験体については鋼材とコンクリートの間が絶縁されているので，自然電位の測定を行っていない。以下自然電位を測定した全試験体について設置位置と自然電位の関係を述べる。

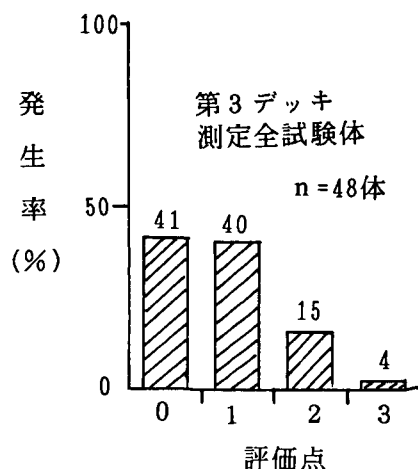
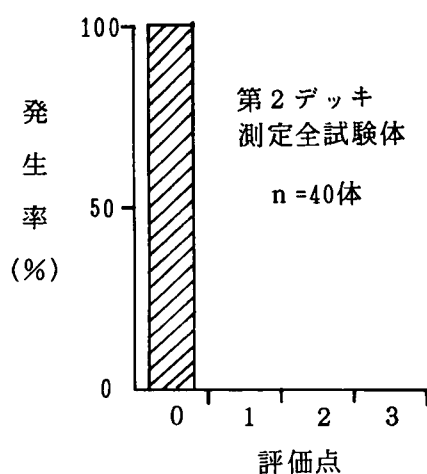
表－4.3 および図－4.5 は第2デッキと第3デッキの試験体に発生した平均自然電位の発生頻度を評価点ごとに示したものである。表および図から明らかなように第2デッキに設置された試験体40体はすべて評価点が0であるのに対し，第3デッキに設置された試験体は約6割が1点以上であり，明らかに設置位置の違いによる電位の差が認められている。

これは，第3デッキが第2デッキより海水飛沫の環境が厳しいことによるものと思われる。このことは，防食処理の影響が全くない基準系試験体についてまとめるとさらに明らかになる。

図－4.6 は第2デッキと第3デッキの基準系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10試験体は，すべて評価点0点（平均自然電

表－4.3 第2デッキと第3デッキの自然電位評価点集計

デ ッ キ	試 験 体	数 点	個 数				比 率 (%)			
			0	1	2	3	0	1	2	3
第 3	基 準 系	30	7	16	5	2	23	53	17	7
	含 浸 系	14	10	3	1	0	72	21	7	0
	シリカフェーム	4	3	0	1	0	75	0	25	0
	合 計	48	20	19	7	2	41	40	15	4
第 2	基準系カブリ7cm	10	10	0	0	0	100	0	0	0
	腐 食 系	30	30	0	0	0	100	0	0	0
	合 計	40	40	0	0	0	100	0	0	0



図－4.5 第2デッキと第3デッキの自然電位の比較

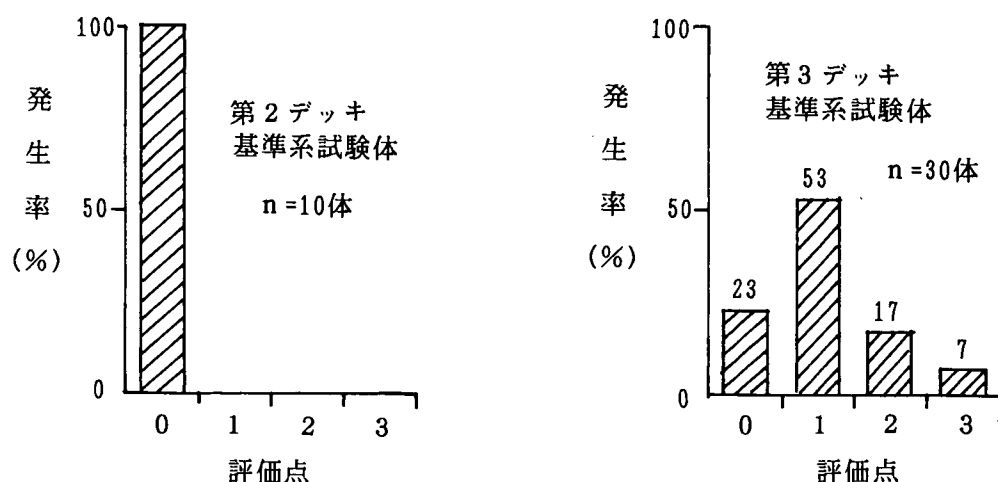


図-4.6 第2デッキと第3デッキの基準供試体自然電位の比較

位 >-200 mv)であり、5年度と変わりが無い。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23%、1点が17%、3点が7%となっている。5年度は0点と1点に分布していたが、6年度は全体的に評価点が増加する傾向を示している。いずれにしても、5年度までと同様、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+8.050)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。

2) 基準系試験体

(1) 自然電位の変化傾向

基準系試験体である40試験体における、自然電位分布測定の評価結果を表-4.4に示す。基準系試験体の評価点は、全体の43%が0点、40%が1点であり、評価点が2点のものが13%、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5%であった。

表-4.4 基準系試験体自然電位の評価

評価点	平均自然電位	試験体数
3	$E < -350$ mv	2
2	-350 mv $< E < -280$ mv	5
1	-280 mv $< E < -200$ mv	16
0	$E > -200$ mv	17
計	—————	40

暴露経過5年目には、評価点が0点と1点であったが、暴露経過6年目では、評価点2点と3点のものが発生している。また、全試験体のうち、卑の方へ変化しているものが全体の90%であった。また、評価点を5年度と比較してみると評価点が減少したものが4試験体、増加したものが13試験体あり、全体的に評価点が増加している。

(2) 水セメント比

表-4.5に水セメント比 $w/c=40\%$ の試験体と 50% の試験体に発生した自然電位の評価をまとめて示す。いずれの試験体も0点と1点が7~8割を占めているが、評価点2点と3点の割合が増加している。しかし表から分かるように水セメント比と自然電位(評価点)との相関関係は

認められていない。

表－4.5 自然電位の評価点 (w/c)

水セメント比 (w/c)	数 点	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
40%	12	3	7	2	0	25	58	17	0
50%	18	4	9	3	2	22	50	17	11

(3) セメントの種類

表－4.6にセメントの種類別に発生した自然電位の評価を示す。全体的に評価点1点のものが多いが、普通セメントと早強セメントの試験体で評価点2点と3点が認められる。一方、高炉セメントの試験体は比較的良好な結果が得られているがこのデータからだけでは断定的なことは言えない。

表－4.6 自然電位の評価点 (セメントの種類)

セメントの種類	数 点	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
普 通	12	3	5	3	1	25	42	25	8
早 強	12	1	8	2	1	8	67	17	8
高 炉 B	6	3	3	0	0	50	50	0	0

(4) かぶり

表－4.7に自然電位の評価をかぶりで区別して示す。先にものべたが、かぶりが7cmのものは、全試験体が評価点0である。これは、かぶり7cmの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、他の試験体と直接比較することはできないので除く。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の3種類である。このうち、すべての試験体で評価点が大きくなる傾向にある。しかしこの表からは、かぶりと自然電位の相関関係は認められていない。

表－4.7 自然電位の評価 (かぶり)

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

3) 防食処理系試験体の自然電位

(1) 含浸系塗装

含浸系塗装を施した試験体の自然電位は、最小値と最大値の差が100 mv前後がほとんどで、測定値のばらつきの程度は基準系試験体と同程度である。含浸系塗装の場合は、塗膜系塗装と異なり電氣的に絶縁されていないと考えられるので、基準系試験体と同様に評価できる。

試験体の評価点を整理して表－4.8に示す。有機無機複合系で2点（ $-350\text{mv} < E < -280\text{mv}$ ）のものが1試験体あった。また、評価点が0点のものが4種類あり基準試験体に比べ自然電位が貴の方にあり、防食効果がありそうなものもある。しかし防食効果については、他の調査結果を含めて判断すべきである。平均自然電位は、全試験体14試験体に対して、5年目に比べて6年目は卑の方に变化しているものが64％、貴の方に变化しているものが36％であった。

表－4.8 自然電位の評価（含浸系）

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	ポリエステル系
0	2	2	2	0	1	1	2
1	0	0	0	1	1	1	0
2	0	0	0	1	0	0	0
3	0	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ュームを使用した4試験体のうち3試験体は評価点が0点である。残りの1試験体については、1年目から6年目までに1～3点の間を動いており不安定な状態にあるので、データが正しい挙動を示しているかどうかは現時点では分からない。

4) 腐食調査試験体の自然電位

表－4.9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5年度と同様、評価点が0点で、変化がない。試験体の付加条件は、

* 寸法条件；① 小試験体、② 中試験体、③ 大試験体

* 種類；① RC、② プレテンション、③ ポストテンション

表－4.9 自然電位の評価（腐食調査試験体）

処 理 条 件		数 点	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	4	6	0	0	0	100	0	0	0

*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 2.5 cm，② 3.5 cm，③ 5.0 cm，④ 7.0 cm

*その他；鉄筋に引張応力（1000～1400 kgf/cm²）を導入

が，個々に組合わさっているにもかかわらず，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，腐食調査試験体は第3デッキより環境のよい第2デッキに暴露されていることによるものと推定される。平均自然電位は5年度と比較して90%の試験体で卑の方に変化しているが，変化は小さい。

4.3 塩分量の測定

1) 2年目の調査

設置後2年目の暴露試験体から，コアを採取し，コアコンクリートの含有塩分量を日本コンクリート工学協会（電位差滴定法）により測定した。

その結果を表－4.10，図－4.7に示す。

この表によると，同一水セメント比（50%）で比較すると塩分の浸透量は，高炉が一番多く，続いて普通，早強の順であった。また，同じセメントでは水セメント比が大きいほど塩分の浸透が多くなっている。

含浸系塗料については遮塩効果があるものもあるが材令が2年と浅いので明確な効果は，この時点ではわからない。

表－4.10 2年目塩分量測定結果

試験体名	塩分量 (%)		自然電位 mV		w/c (%)	適用
	0～2 cm	2 cm～4 cm	1年目	2年目		
A 0 0 1	3.906	0.100	－265	－208	40	普通セメント使用
A 0 0 4	4.177	0.371	－188	－213	50	〃
A 0 0 7	2.309	0.100	－303	－215	40	早強セメント使用
A 0 1 0	3.379	0.356	－196	－232	50	〃
A 0 1 3	5.731	0.513	－163	－243	50	高炉セメント使用
B 0 5 4	1.810	—	－93	－78	40	シリコン含浸
B 0 5 7	0.770	—	－79	－86	〃	アクリル含浸
B 0 6 0	0.043	—	－98	－66	〃	シリコン含浸
B 0 6 3	0.328	—	－92	－51	〃	有機無機複合含浸
B 0 6 6	0.029	—	－166	－161	〃	アクリル含浸
B 0 6 9	0.029	—	－123	－74	〃	ビニルエステル含浸
B 0 9 4	0.100	—	－75	－19	〃	ポリエステル含浸
D 0 0 1	2.100	0.002	－131	－107	30	シリカフェーム混合

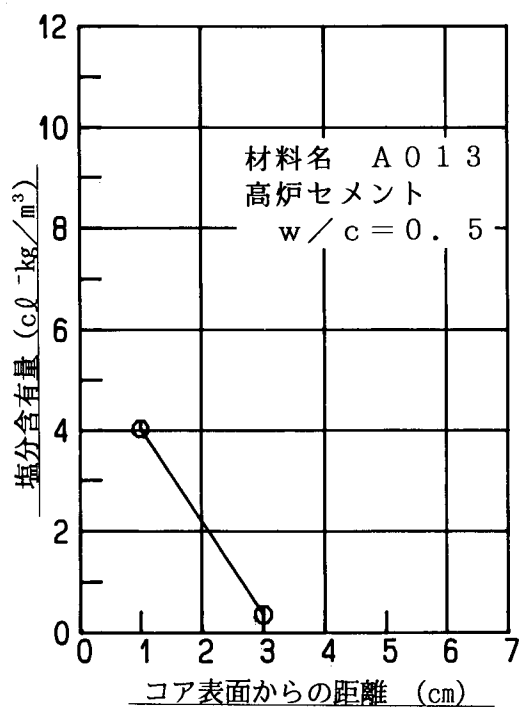
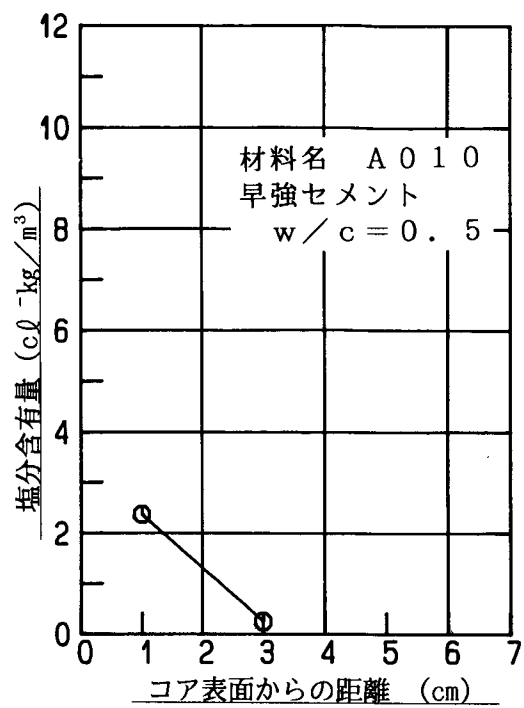
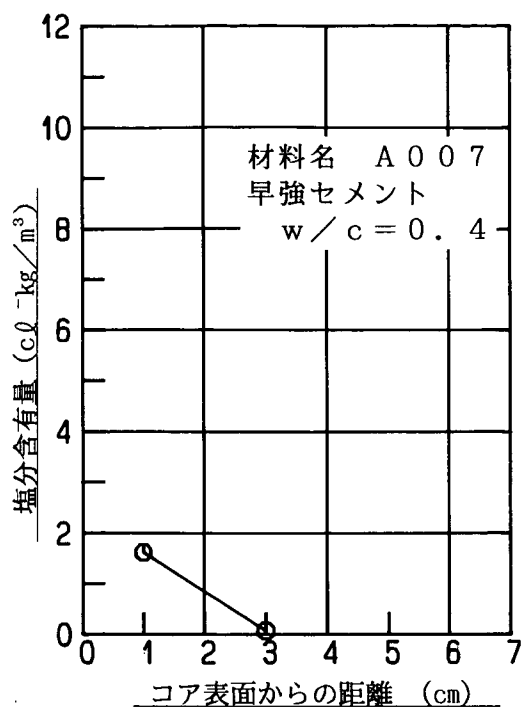


図-4.7 2年目塩分量測定結果

2) 6年目の調査

設置後6年目に暴露試験体からコア(φ100)を採取し、それについて2年目と同様の要領で塩分量の測定を行った。各試験体の塩分量測定結果を表-4.11~表-4.14に、またそれをグラフ化したものを図-4.8~図-4.13に示す。基準試験体については、方向(上、下、右、左)による塩分量の測定を行ったが、その方向と塩分量の相関関係は得られず、また同一試験体においても数値がばらついているため、4方向の塩分量を平均することにより各試験体を比較することにした。基準供試体およびシリカフェームについて4方向の値を平均してまとめたものを表-4.15に示す。この表には、第2デッキに設置し、2方向の塩分量を平均したもの(黒塗の数値で表記)および2年目の結果も併記してある。この表から一見してわかるように、同じセメントで、同じw/cの試験体つまり同一コンクリートであっても、第2デッキに設置したものと第3デッキに設置したものを比べると、圧倒的に第2デッキに設置した試験体の方が塩分量が少ない。

このことは、第3デッキが第2デッキよりはるかに塩害に対する環境が厳しいことを示しており、自然電位の結果からも同じことが言えている。第2デッキは海面より約8mの高さに位置しており、第3デッキの高さ約1.25mにたいし6.75m程度高い、しかし、第2デッキの床板部には、グレーチングを布敷しており一応海水飛沫が通り抜けるようになっているが、一種のフィルターの作用により第3デッキからの塩水飛沫がすべて第2デッキに通り抜けるのではなく、何割かは遮断されるものと思われる。

したがって、第2デッキは第3デッキより位置が高いこともあるが、グレーチングの影響で海水飛沫の一部が遮断されていることによっても第3デッキほど厳しい環境になっていないものと思われる。

このように、同一場所にある当暴露試験施設内でも高さの違いや障害物の状態によって、コンクリート構造物に浸透する塩分量は相当違うので、実際の構造物では、多種多様の要因が絡み、なお一層塩害の原因を難しくしていると思われる。

以下各試験体の比較について述べる。

(1) セメントの種類

図-4.14に示すように早強セメントが一番塩分が浸透しにくく、ついで高炉セメント、普通セメントの順となっている。なお高炉セメントについては、十分な湿潤養生が必要であるが、他のセメントの試験体と同じ養生を行っている。

(2) 水-セメント比

図-4.15に示すように水セメント比(w/c)が小さいほど塩分量は少ない。

(3) 深さ

一般的に言われているようにコンクリート表面より深いほど、塩分量は急激に少なくなる。

(4) 塗装系材料

基準試験体、含浸系試験体に比べ、かなり塩分量が少ない。塗装系で最も塩分量の大きいアク

表- 4.11 6年目の塩分量測定結果 (基準系第3デッキ)

試験体	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($\text{cl}^- \text{kg/m}^3$)			
					コアの切断箇所 (c m)			
					0~1	1~2	2~4	4~7
A 0 0 1	2.5	普通	40	上	6.273	4.176	0.559	0.125
				下	11.386	4.667	0.487	0.062
				横	10.980	1.827	1.226	0.110
				横	12.708	6.851	1.559	0.086
A 0 0 5	2.5	普通	50	上	6.594	5.987	1.620	0.099
				下	11.776	7.999	4.479	0.160
				横	10.533	5.696	3.156	0.118
				横	7.066	7.723	4.999	1.064
A 0 0 7	2.5	早強	40	上	5.929	3.543	0.426	0.049
				下	5.531	3.855	1.337	0.124
				横	7.589	1.353	0.272	0.050
				横	3.093	3.655	0.433	0.046
A 0 1 0	2.5	早強	50	上	5.081	4.639	1.440	0.229
				下	4.857	6.343	2.782	0.306
				横	5.563	3.995	1.411	0.172
				横	5.212	4.141	1.946	0.130
A 0 1 3	2.5	高炉	50	上	10.121	7.447	2.030	0.482
				下	9.160	7.198	1.226	0.044
				横	12.265	3.985	1.277	0.649
				横	9.510	4.189	0.283	0.084

*小型供試体

表- 4.12 6年目の塩分量測定結果 (基準系第2デッキ)

試験体	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($\text{cl}^{-}\text{kg}/\text{m}^3$)			
					コアの切断箇所(c m)			
					0~1	1~2	2~4	4~7
A 0 3 6	7.5	普通	40	上	1.597	0.278	0.094	0.080
				下	2.532	0.693	0.026	0.039
A 0 3 8	7.5	普通	50	上	1.304	0.258	0.122	0.088
				下	4.638	0.110	0.048	0.062
A 0 4 0	7.5	早強	40	上	2.176	0.428	0.106	0.068
				下	0.370	0.066	0.064	0.062
A 0 4 2	7.5	早強	50	上	2.907	2.436	0.468	0.055
				下	0.382	0.210	0.046	0.041
A 0 4 4	7.5	高炉	50	上	3.033	2.001	0.176	0.071
				下	1.379	0.846	0.089	0.097

* 中試験体

表- 4.13 6年目の塩分量測定結果 (シリカフェーム)

試験体	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($\text{cl}^{-}\text{kg}/\text{m}^3$)			
					コアの切断箇所(c m)			
					0~1	1~2	2~4	4~7
D 0 0 1	2.5	早強	30	上	4.738	1.102	0.151	0.080
				下	6.763	1.469	0.125	0.069
				横	7.092	0.863	0.085	0.099
				横	8.083	1.833	0.217	0.077

表- 4.14 塗膜系、含浸系の塩分量測定結果

試験体	工法	使用材料	塗装・含浸仕様 塗装膜厚（μm） 含浸塗布量（g/m ² ）	塩化物含有量 （kg/m ³ , cl ⁻ 換算）			塗装および含浸材 の劣化状況
				表面からの深さ（cm）			
				0～1	1～3	3～5	
B 019	塗装	エポキシ系	プライマー, 下地処理+90	0.102	0.062	0.062	異常なし
B 020	〃	柔軟エポキシ系	プライマー, 下地処理+90	0.114	0.059	0.051	異常なし
B 025	〃	柔軟ウレタン系	プライマー, 下地処理+90	0.062	0.052	0.051	異常なし
B 028	〃	厚膜エポキシ系	プライマー, 下地処理+380	0.096	0.078	0.077	3箇所に軽微なはがれ
B 031	〃	ビニルエステル系	プライマー, 下地処理+380	0.080	0.086	0.057	異常なし
B 034	〃	超厚膜エポキシ	プライマー, 下地処理+1300	0.124	0.086	0.078	10箇所に軽微なはがれ
B 036	〃	超厚膜ウレタン系	プライマー, 下地処理+1300	0.070	0.058	0.051	局所的なはがれ
B 038	〃	超柔軟ウレタン系	プライマー, 下地処理+90	0.116	0.048	0.073	4箇所に軽微なはがれ
B 040	〃	変性エポキシ系	プライマー, 下地処理+1300	0.187	0.050	0.054	13箇所に軽微なはがれ
B 042	〃	セメント系	プライマー, 下地処理+475	0.053	0.061	0.055	2箇所に軽微なはがれ
B 044	〃	ウレタン系	プライマー +2040	0.131	0.062	0.042	異常なし
B 046	〃	シリコンゴム系	プライマー +1600	0.091	0.043	0.039	表面に黒い汚れ
B 048	〃	アクリルゴム系	プライマー, 下地処理+1380	0.229	0.056	0.077	軽微なはがれ
B 050	〃	無機系	プライマー, 下地処理+60	0.066	0.066	0.088	上面に多数のはがれ
B 052	〃	有機無機系	プライマー, 下地処理+430	0.104	0.113	0.077	1箇所に軽微なはがれ
B 055	含浸	シリコン系（1）	90 5(回)	2.305	0.172	0.105	異常なし
B 058	〃	アクリル系（1）	240 2,270 1(回)	3.042	0.168	0.096	異常なし
B 061	〃	シリコン系（2）	150 4(回)	4.677	0.265	0.078	異常なし
B 070	〃	ビニルエステル系	230 1,160 2,90 1(回)	4.433	0.988	0.095	端部に軽微な錆汁
B 095	〃	ポリエステル系	40 2,80 2(回)	0.187	0.146	0.084	5箇所に軽微なはがれ

※試験体はすべて第3デッキに設置

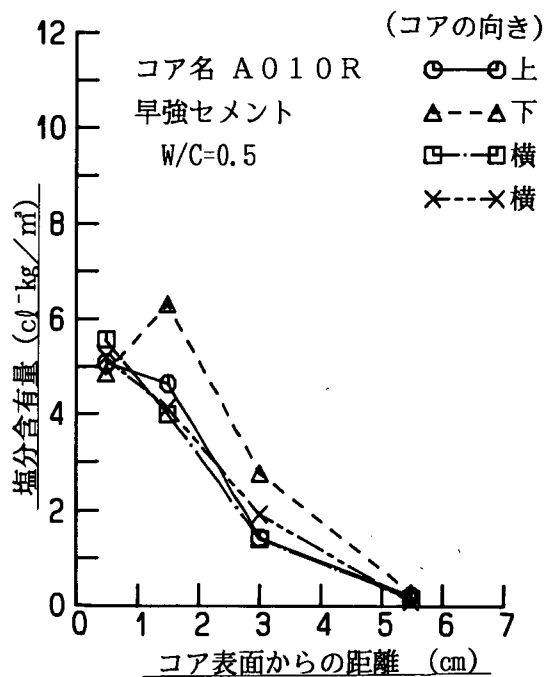
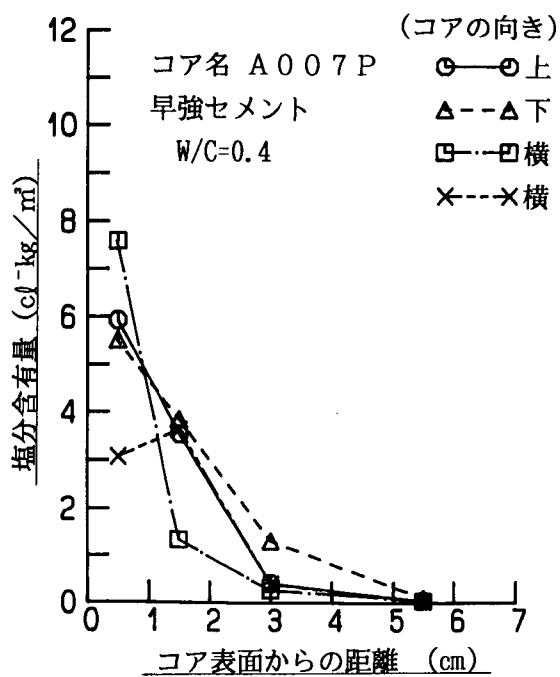
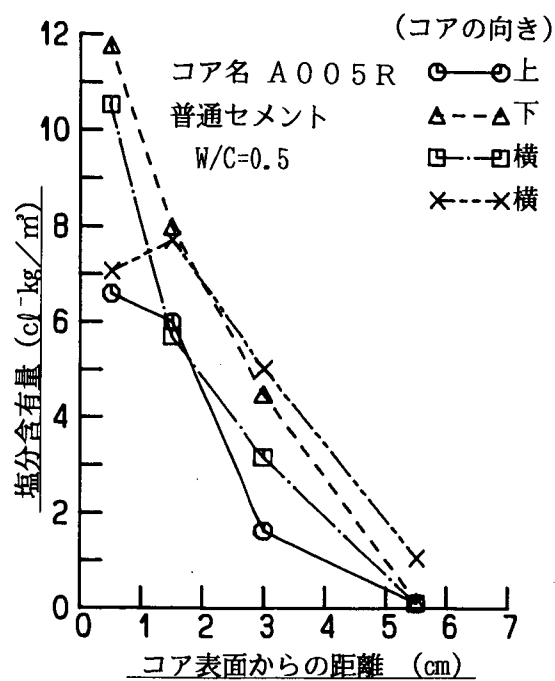
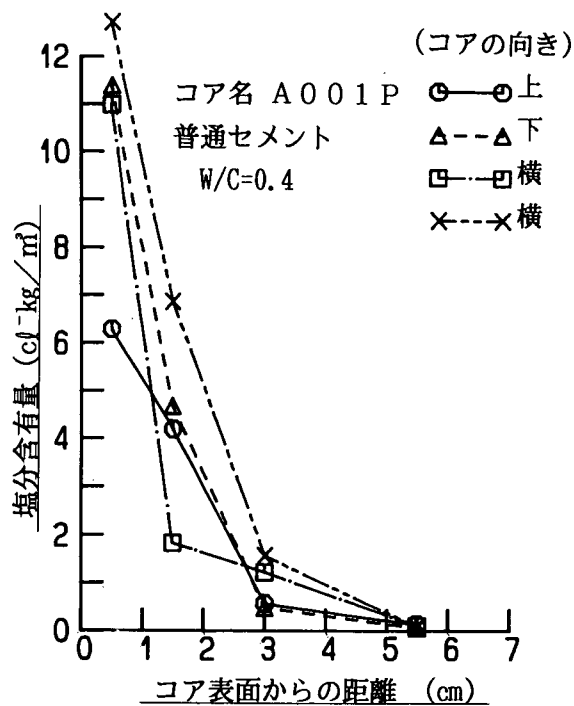


図-4.8 6年目の塩分量測定結果 (基準系)

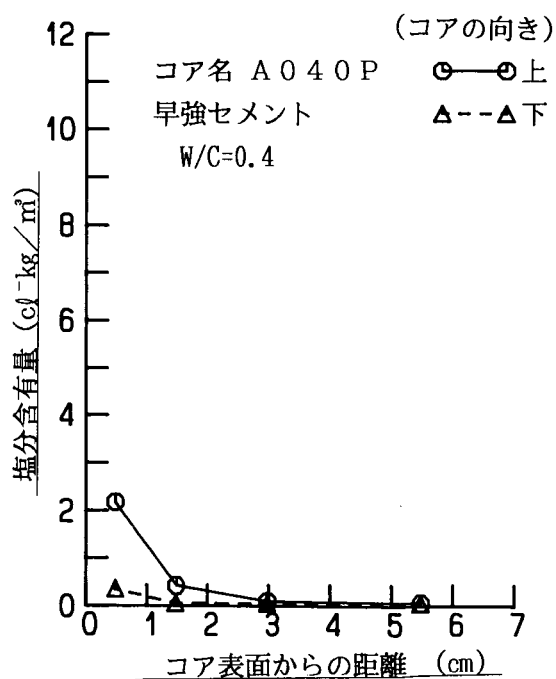
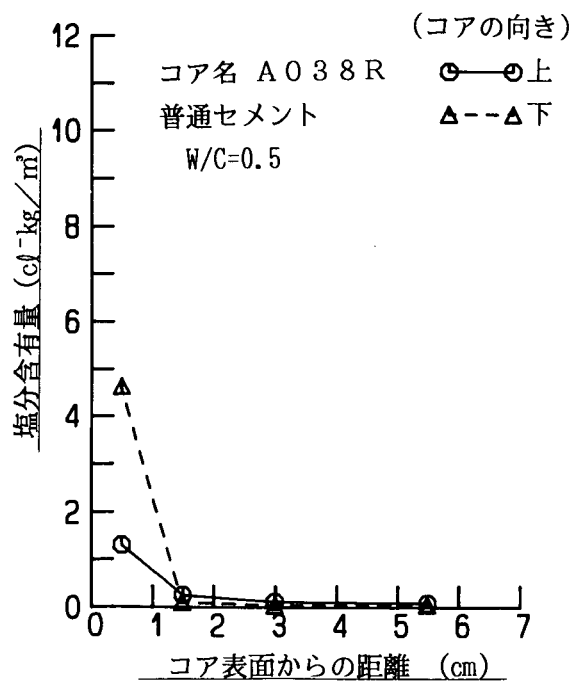
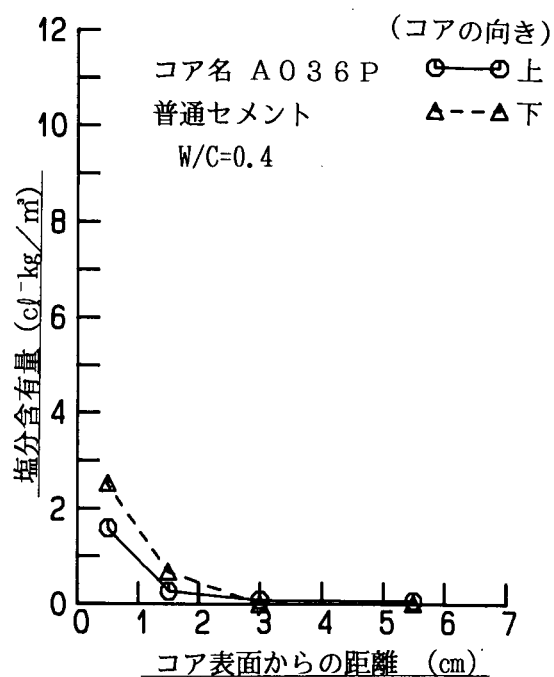
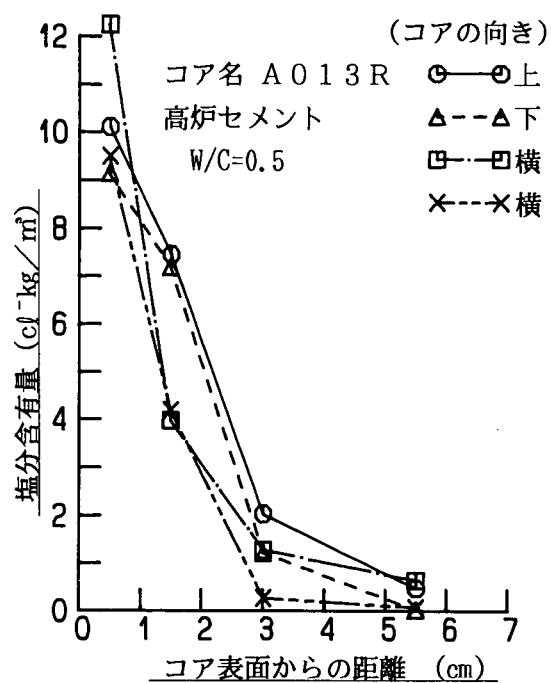


図-4.9 6年目の塩分量測定結果 (基準系)

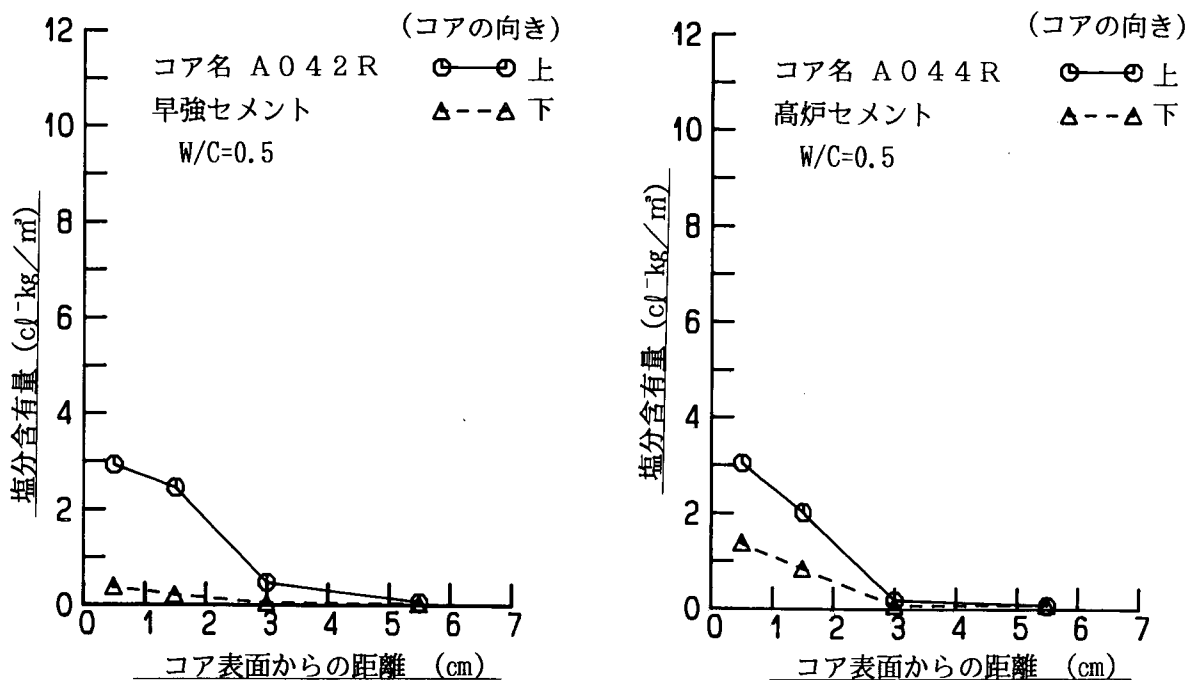


図-4.10 6年目の塩分量測定結果（基準系）

リルゴムの表層（0～1 cm）でも 0.229 kg/m^3 と少なくコンクリート中の塩分の許容値である 0.6 kg/m^3 を下回っている。

(5) 含浸系材料

図-4.12 に示すように含浸系の塩分量は基準系（無処理）よりも若干少ないが、塗装系ほど効果はない。含浸系のうち塩分量のみからみるとポリエステル系は効果があり、シリコン系、アクリル系もある程度の効果があると思われる。

以上、各試験体についての比較を述べたが、コンクリートへの塩分浸透量の結果を各防食材について比較しまとめたものを図-4.16 に示す。一般にコンクリート構造物の耐久性に影響を与えるような鋼材の腐食が生じるコンクリート中の塩分量は、塩素イオン換算で $1.5 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ 以上（コンクリートの耐久性向上技術の開発）と言われているが、図-4.16 中には一つの目安としてこの領域を示してある。この表から塗装材は優れた防食効果を発揮しており、含浸材もある程度の効果があることが明確にわかる。しかし、含浸材については、6種のうち1種（図中*印）は他のものより大きな値を示しており、塗装材のように全てが満足できるような結果ではない。

ここでコンクリート構造物（はり）の一般的なかぶりである 3 cm について考えてみる。この位置での、暴露試験体の測定塩分量が、鉄筋が錆びるといわれている 1.5 kg/m^3 を上回ったものは、普通セメント $w/c = 50\%$ 試験体の 3.564 kg/m^3 と早強セメント $w/c = 50\%$ 試験体の 1.895 kg/m^3 の2体でいずれも水セメント比が 50% であった。これらの数値から、全体的に試験体の鉄筋がそろそろ錆始めていることがわかる。

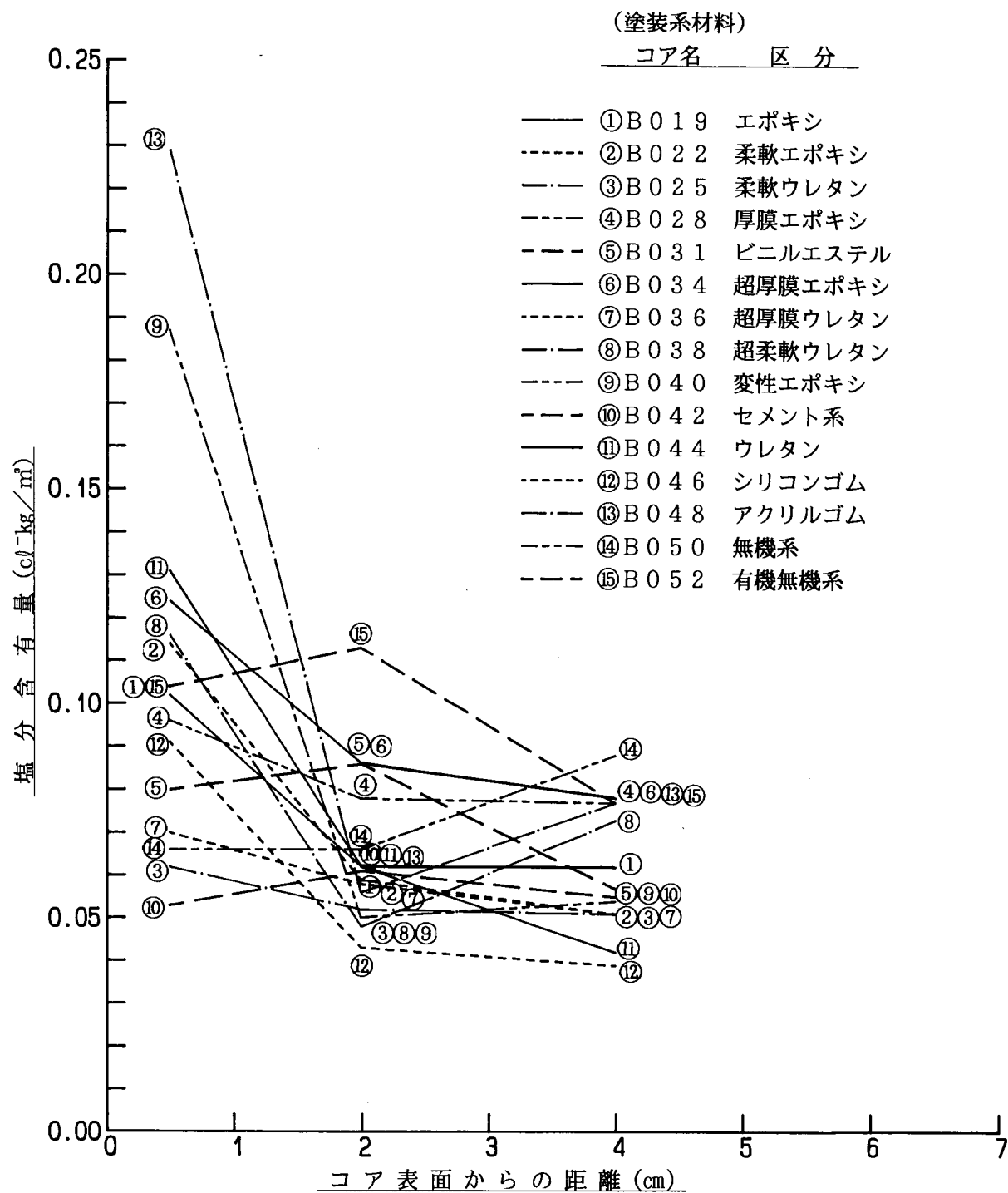


図- 4.11 6年目の塩分量測定結果 (塗装系)

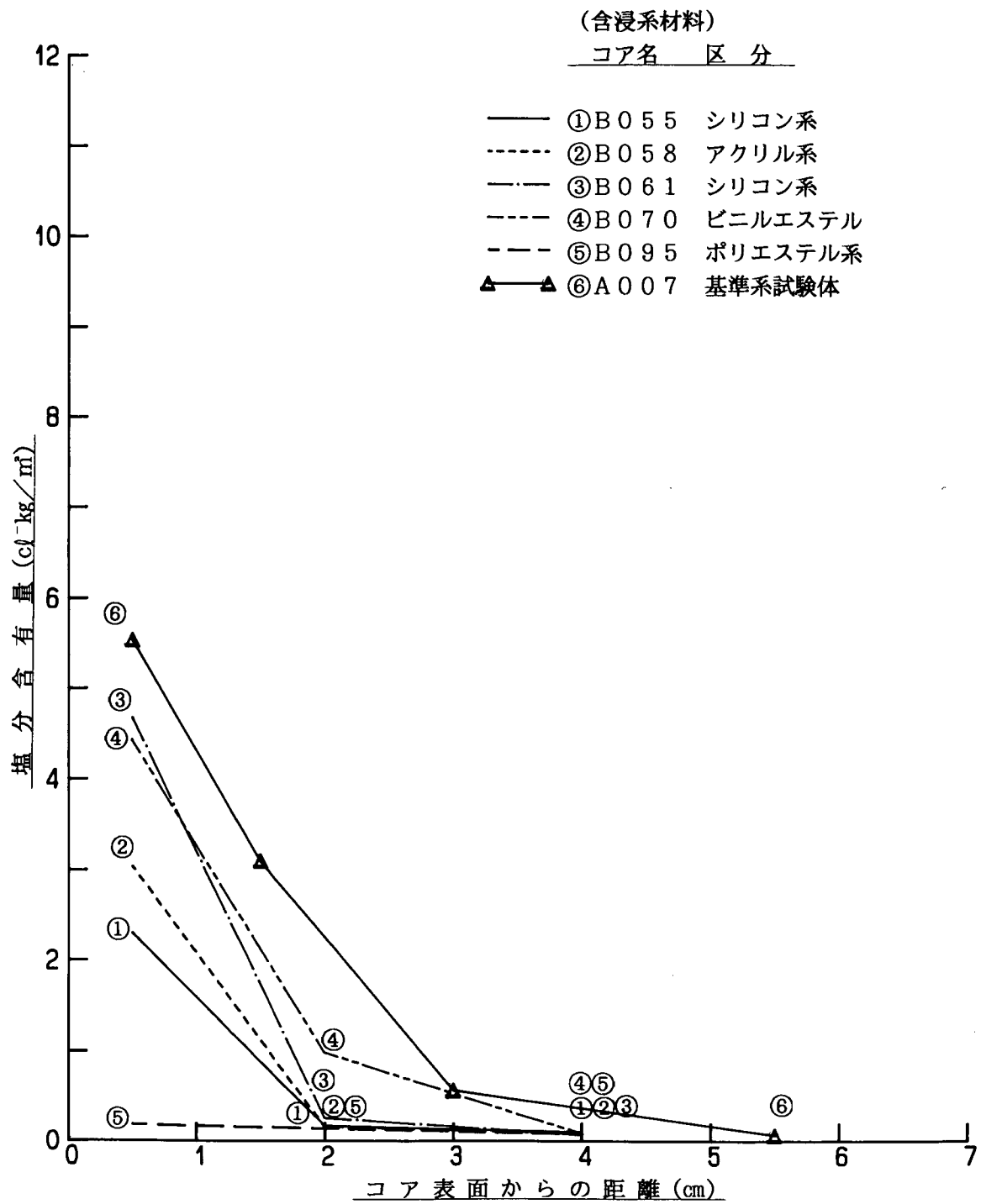


図- 4.12 6年目の塩分量測定結果 (含浸系)

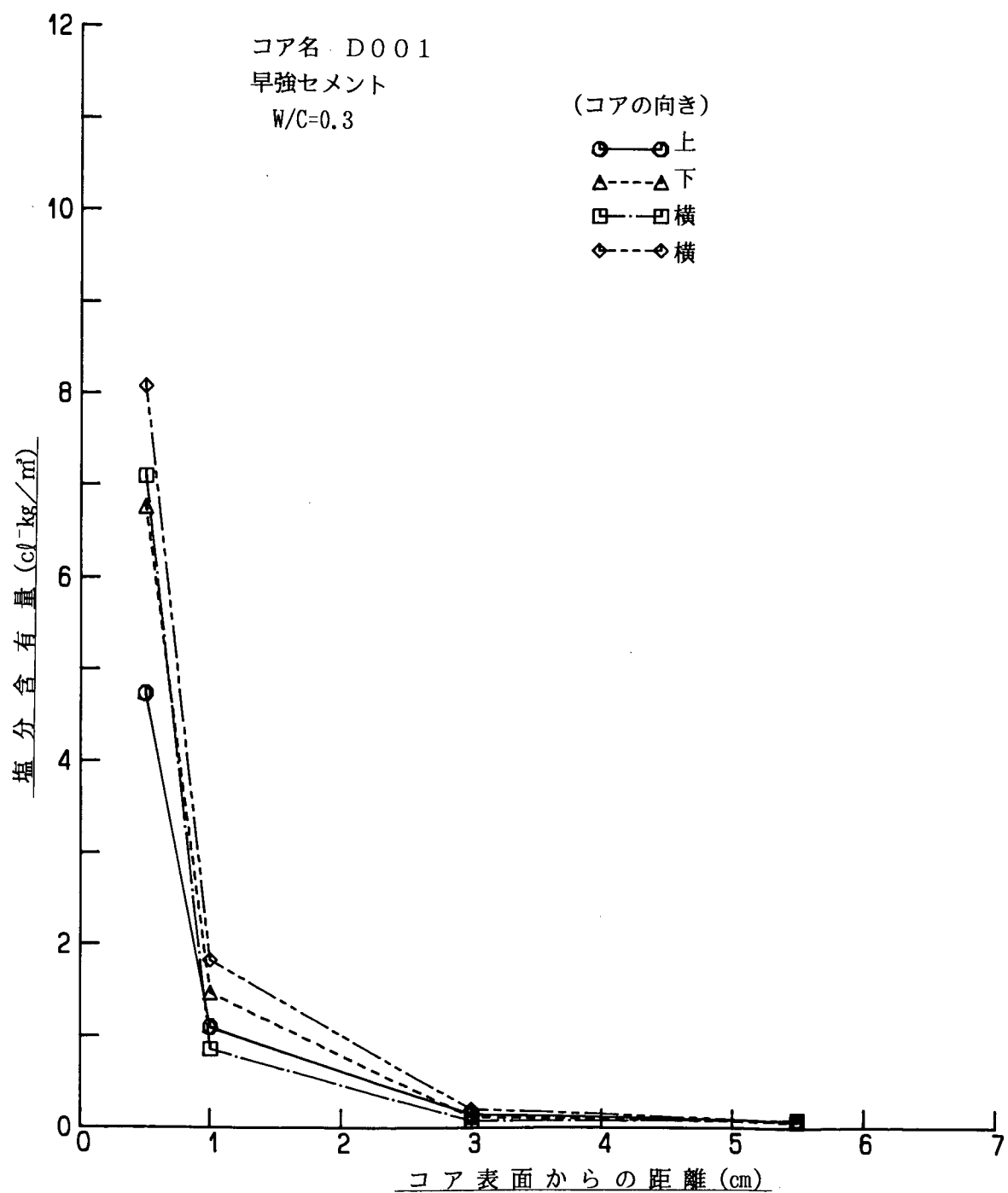
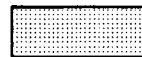


図- 4.13 6年目の塩分量測定結果 (シリカフェーム)

表- 4.15 塩分量測定結果のまとめ

セメント の種類	水セメント 比(%)	コア名	測定年	塩分含有量 (cl kg/m ³)			
				コアの切断箇所 (cm)			
				※ 0 ~ 2 (2年目)		2 ~ 4	4 ~ 7
				0 ~ 1	1 ~ 2		
普 通	4 0	A 001 P	2	3.906		0.100	—
		”	6	10.337	4.380	0.958	0.096
		A 036 P	”	2.065	0.486	0.060	0.060
	5 0	A 004 R	2	4.177		0.371	—
		A 005 R	6	8.992	6.851	3.564	0.360
		A 038 R	”	2.971	0.181	0.085	0.075
早 強	4 0	A 007 P	2	2.309		0.100	—
		”	6	5.536	3.102	0.617	0.067
		A 040 P	”	1.273	0.241	0.085	0.065
	5 0	A 010 R	2	3.378		0.356	—
		”	6	5.178	4.780	1.895	0.209
		A 042 R	”	1.645	1.323	0.257	0.048
高 炉	5 0	A 013 R	2	5.731		0.513	—
		”	6	10.264	5.705	1.204	0.315
		A 044 R	”	2.206	1.424	0.133	0.084
シリカフェム	3 0	D 001 R	2	2.11		0.029	—
		”	6	6.669	1.317	0.145	0.081

P : プレゾン R : 鉄筋コンクリート



第2デッキ設置(4つの平均)

※ 2年目のデータは 0~2cm の平均値とした。



第3デッキ設置(2つの平均)

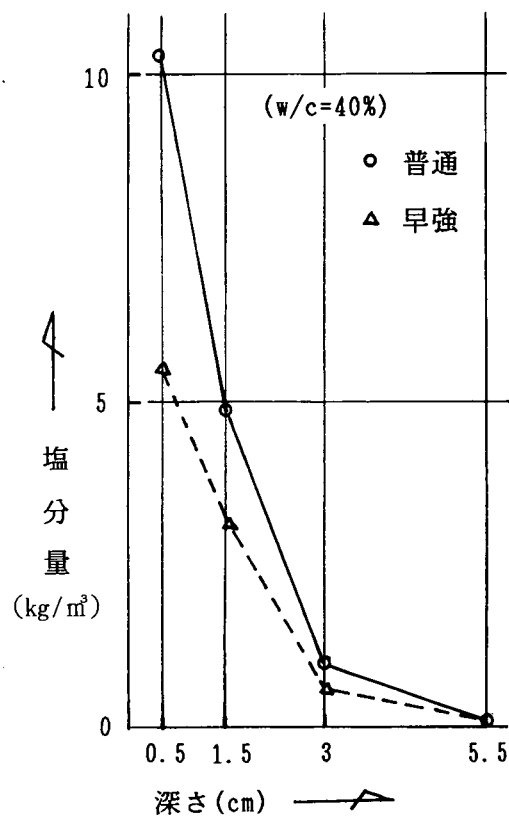


図- 4.14 セメントの種類と塩分量の関係

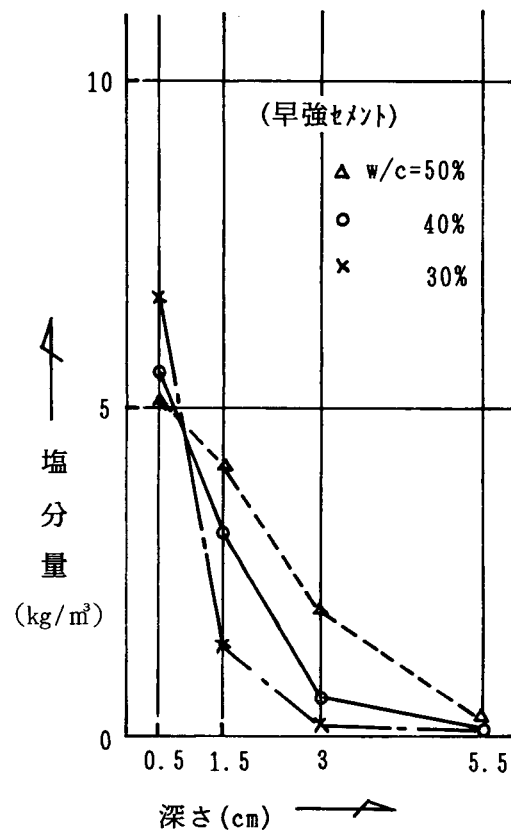
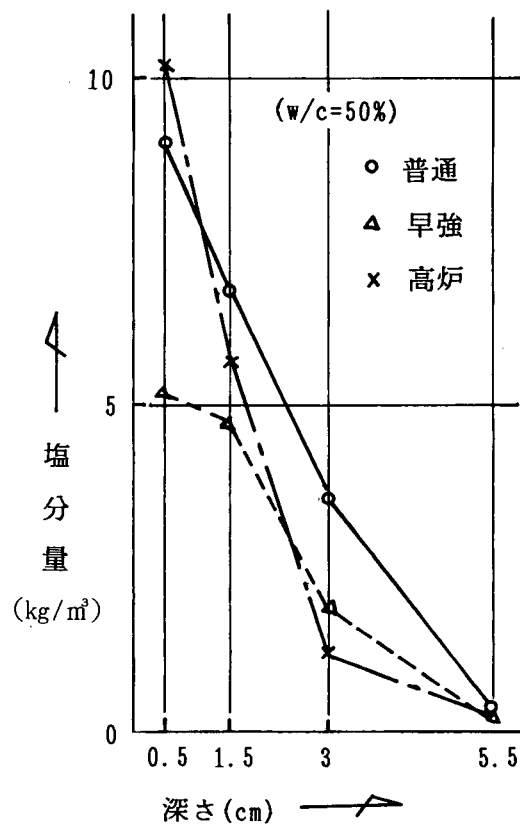
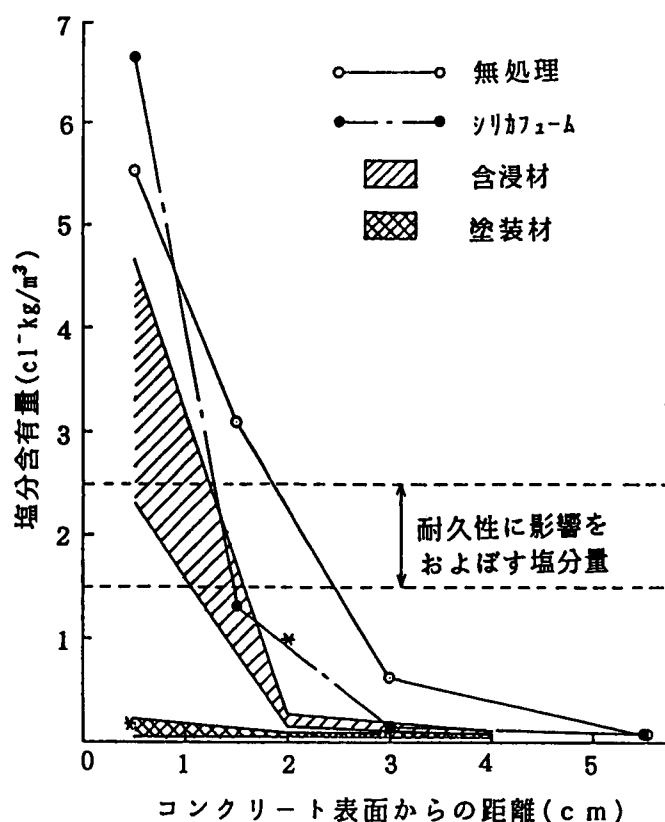


図- 4.15 水セメント比と塩分量の関係



図－ 4.16 防食試験体の含有塩分量

表－ 4.16 に 2 年目に対する 6 年目の含有塩分量の比を示す。この表より、2 年目に対し 6 年目の塩分浸透量は、コンクリート表面から 2cm の位置では 1.5 ～ 2.0 倍、2 ～ 4 cm の位置では約 5 ～ 10 倍と増加しており、6 年目の時点では、試験体のコンクリートに、まだかなりの塩分が蓄積中であることが分かる。

暴露試験体の外観調査で異常がない期間、2 年目、6 年目の塩分浸透量調査のようにデータを中間的に得ておくことは、今後のデータを解析する上で貴重な資料となるので、今後も中間的にデータを得ておく必要がある。

表－ 4.16 2 年目に対する 6 年目の含有塩分量の比 (倍)

セメントの種類	水セメント比 (%)	試験体名	コアの切断箇所 (cm)	
			0 ～ 2	2 ～ 4
普 通	40	A 001	1.88	9.6
〃	50	A 004	1.90	9.6
早 強	40	A 007	1.87	6.2
〃	50	A 010	1.48	5.3
高 炉	50	A 013	1.39	2.4
シリカフェーム	30	D 001	1.89	5.0

3) 貧配合コンクリート試験体の塩分含有量調査

第2デッキ上に暴露してある貧配合コンクリート試験体から平成3年(暴露7年)コアを2本採取し塩分含有量を分析した。測定結果を図-4.17に示す。

① コア採取位置

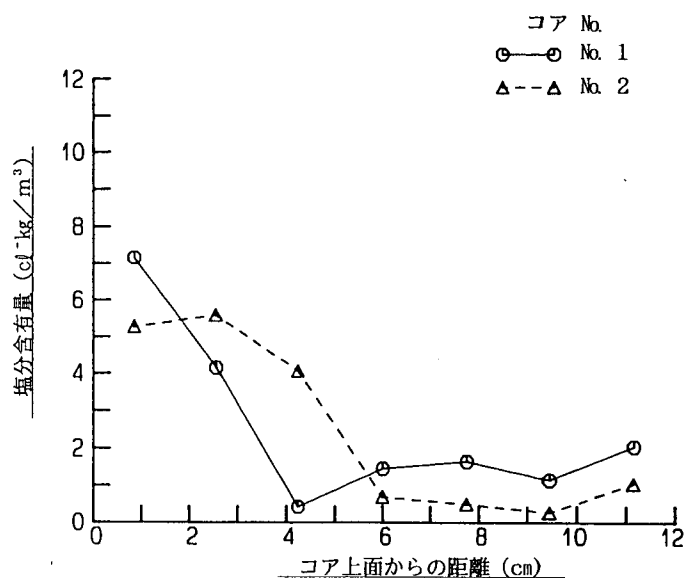
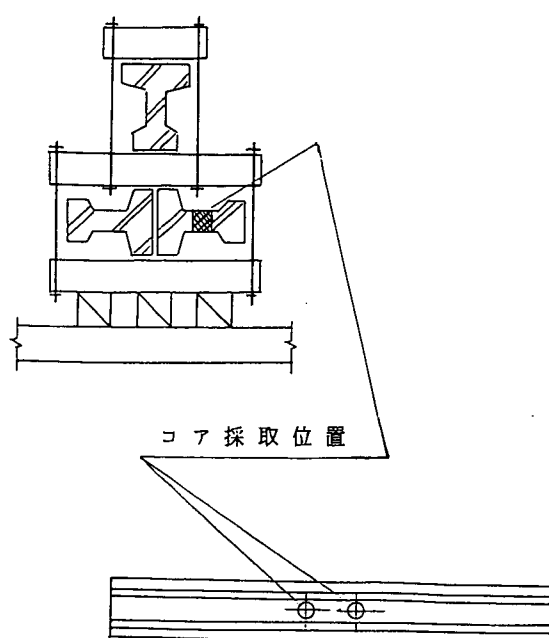


図-4.17 塩分量測定結果

② コンクリートの配合

圧縮強度 $28 = 180 \text{ kgf/cm}^2$ を目標に下記の示方配合とした。

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				
					セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (AE)
20	8.0	4.0	68.5	44.1	242	166	822	1.068	0.242

③ 塩分量測定結果

塩化物含有量 (kg/m³, 全 Cl^-)

コアNo.	コア 上 面 か ら の 深 さ (cm)						
	0 ~ 1.7	1.7 ~ 3.4	3.4 ~ 5.1	5.1 ~ 6.9	6.9 ~ 8.6	8.6 ~ 10.3	10.3 ~ 12.0
1	7.157	4.149	0.422	1.451	1.646	1.149	2.049
2	5.273	5.584	4.065	0.692	0.508	0.282	1.050

4) 塩分浸透深さ

施設で暴露を行った $\phi 150 \times 300$ の円柱供試体を割裂し、3.4(4)②の方法で塩分浸透深さを測定した。図-4.18に気乾養生の供試体の塩分浸透深さを示す。

いずれのセメントにおいてもセメント水比が小さくなる(w/c が大きくなる)と塩分浸透深さは増大していることが明瞭である。早強セメントの塩分浸透深さは、他のセメントに比較して少なく次に普通セメント、高炉セメントの順になる。これにより、塩分浸透はセメントの種類や配合条件(w/c)の影響を受けやすいことがわかる。

高炉セメントが他のセメントよりも塩分浸透が進んでいるのは、特別な養生を行わずに他のセメントと同一条件で養生を行ったためと思われる。

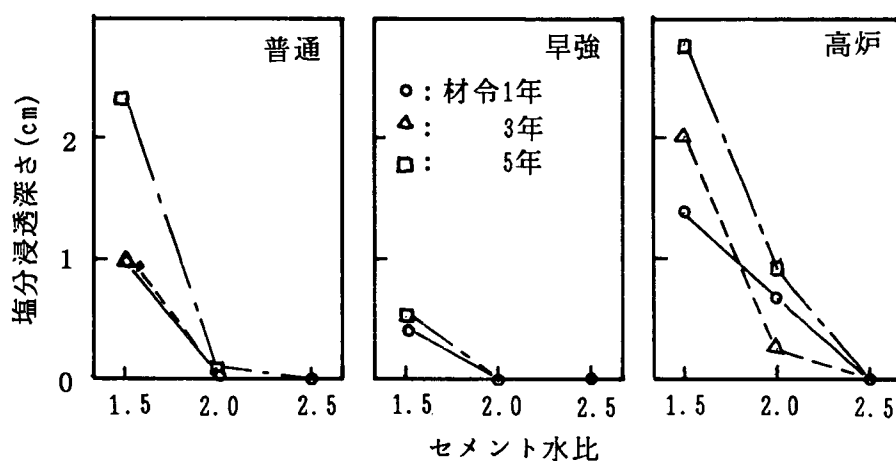


図-4.18 塩分浸透深さとセメント水比の関係

表-4.17は養生条件の影響による暴露5年後の塩化物の浸透深さを示したものである。いずれの供試体も初期養生を行った供試体の方が、気乾養生に比べ塩化物の浸透が小さい。これらのことにより、初期の養生条件がコンクリートの内部組織に影響を与えることがわかる。

この他、含浸剤の効果を調べる目的で、同様に塩分浸透深さの測定を行っている。その結果を表-4.18に示す。この表によると高炉セメントは普通セメントより、塩分浸透が進んでおり

前述の結果に一致している。また、含浸系のシリコン系は、塩分浸透に対し、同一配合である含浸なしの早強セメントに比べ速く進んでおり、防塩・防食に対しかえって、逆効果である結果が得られている。

表-4.17 養生条件による中性化および塩分の浸透深さ

セメントの種類	w/c (%)	養生	中性化深さ (mm)	塩化物浸透深さ (mm)
普通	50	初湿	0.3	0.0
		気乾	1.1	0.1
早強	50	初湿	0.1	0.0
		気乾	0.2	0.0
高炉B	50	初湿	1.3	0.7
		気乾	2.4	1.8

表－ 4.18 塩分浸透深さ試験結果

セメント W/C (%)	含 浸 剤	材 令 (年)	浸 透 深 さ (mm)	(単位 : mm)			
早 強 40	アクリル系	1	0	0	5	10	15
		2	0				
		3	0				
		5	0.4				
早 強 40	シリコン系	1	1.9				
		2	2.7				
		3	2.9				
		5	1.4				
早 強 + シリカフェウム 30	無	1	0				
		2	0				
		3	0				
		5	0.2				
高 炉 B 50	無	1	4.3				
		2	4.3				
		3	5.3				
		5	7.4				
普 通 50	無	1	3.2				
		2	3.8				
		3	4.3				
		5	4.7				
早 強 40	無	1	0.3				
		2	0.9				
		3	0.1				
		5	0.1				

4.4 内部鉄筋の腐食状況

鉄筋を埋込んだ円柱供試体（φ150 300）の暴露5年目では、セメントの種類、水セメント比を変えたいずれの供試体においても、かぶり厚1.5cmと5cmの鉄筋には、腐食は認められなかった。

暴露2年目に塩分の浸透が最も多いと思われる水セメント比50％、普通セメント使用のA 001 小供試体のかぶり部分を除去しコンクリート内部の鉄筋の腐食状況を観察したが錆は全く見られなかった。暴露6年目で同様にコンクリート内部の鋼材の腐食調査を行った。その結果を表－ 4.19 に示す。試

表－ 4.19 コンクリート内部鋼材の腐食状況

試験体	セメント種類	水セメント比(%)	コンクリート除去後の鋼材の腐食状況 鋼材のかぶり 主筋：3.5cm，スターラップ：2.5cm	評価点
A 001	普 通	40	錆の発生なし	0
A 005	〃	50	〃	0
A 007	早 強	40	PC 鋼線に数カ所点錆が発生	1
A 010	〃	50	スターラップの一部に錆が発生	1
A 013	高 炉	50	錆の発生なし	0
D 001	早強+シリカフェウム	30	主筋およびスターラップの一部に錆が発生	1

験体によっては錆が発生しているものもあるが、部分的なもので、錆の程度もごく軽微なものであった。

なお、鉄筋の腐食度の評価点については表－3.11に示してある。

4.5 中性化測定

施設で暴露を行った $\phi 150 \times 300$ 円柱供試体を割裂し、3.4(6)に示す方法で中性化の深さを測定した。

暴露供試体の中性化の深さは前述した塩分浸透深さと全く同じ傾向を示している。

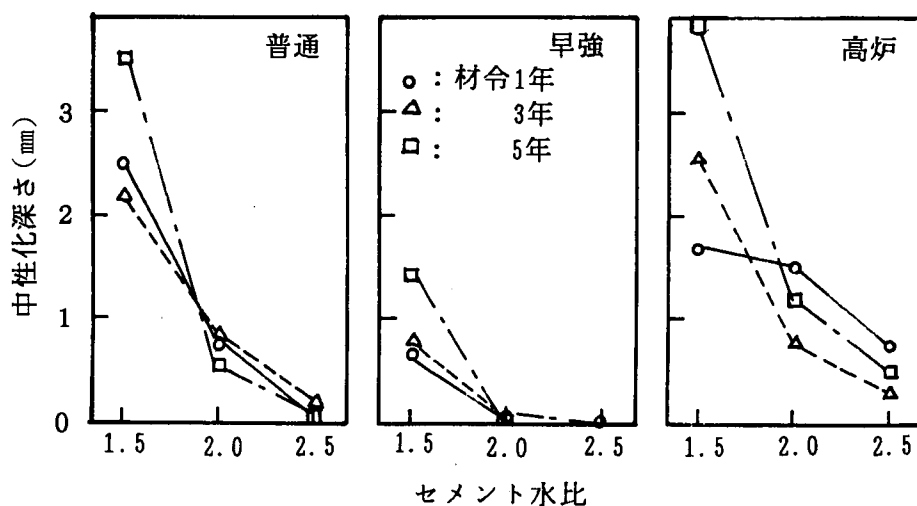
図－4.19は気乾養生の供試体の中性化測定結果を示したものである。

いずれのセメントにおいてもセメント水比が小さくなる(w/c が大きくなる)と中性化は増大していることが明瞭である。早強セメントの中性化は、他のセメントに比較して少なく次に普通セメント、高炉セメントの順になる。これにより、中性化はセメントの種類や配合条件(w/c)の影響を受けやすいことがわかる。

高炉セメントが他のセメントよりも中性化が進んでいるのは、特別な養生を行わずに他のセメントと同一条件で養生を行ったためと思われる。

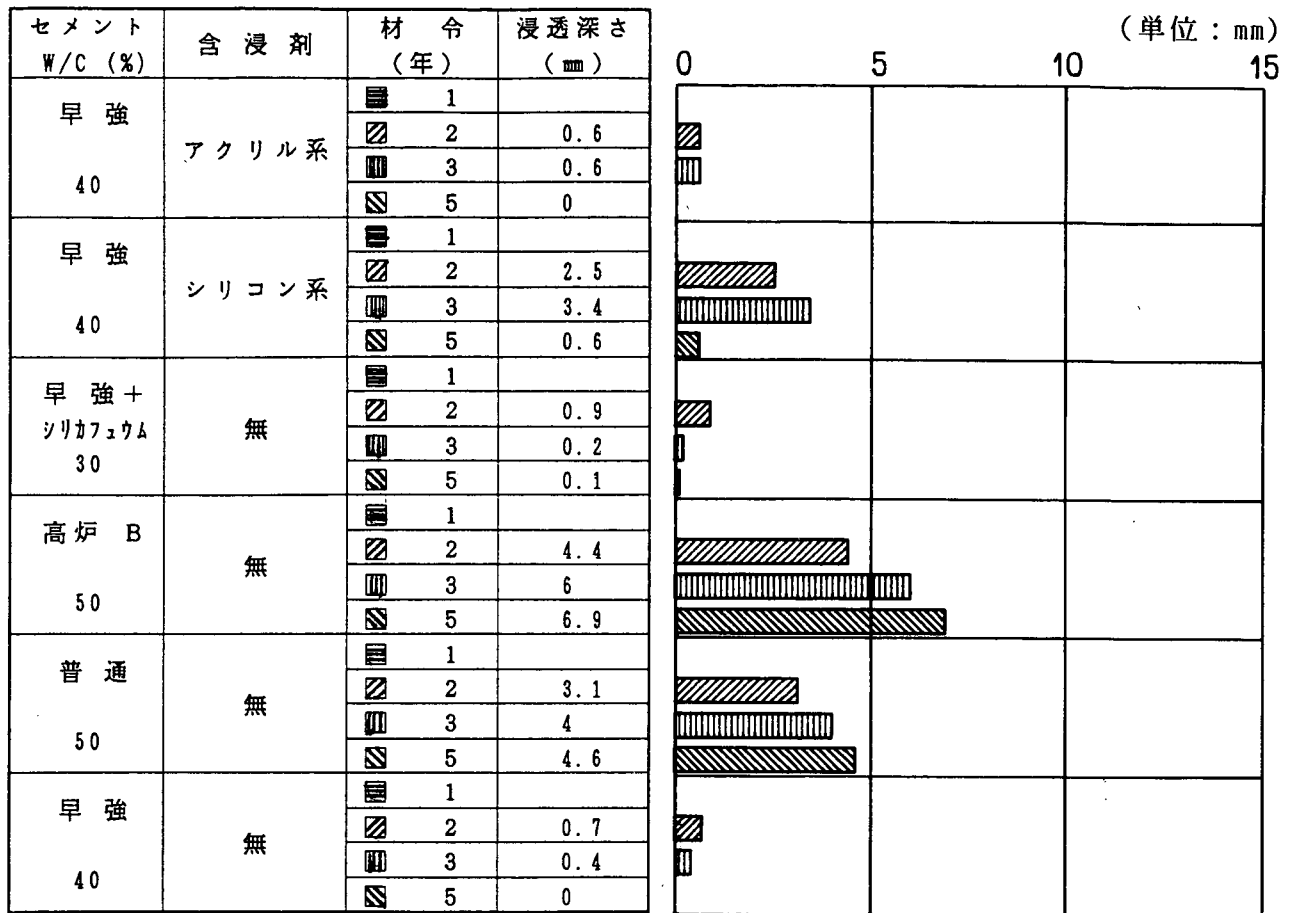
前記表－4.17に、養生条件の影響による暴露5年後の中性化の進行深さを示している。いずれの供試体も初期養生を行った供試体の方が、気乾養生に比べ中性化の進行が小さい。

また、別途に含浸材の効果を調べる目的でも同様の測定を行っている。その結果を表－4.20に示す。結果については、4.3 2)の塩分浸透と全く同じことが言える。



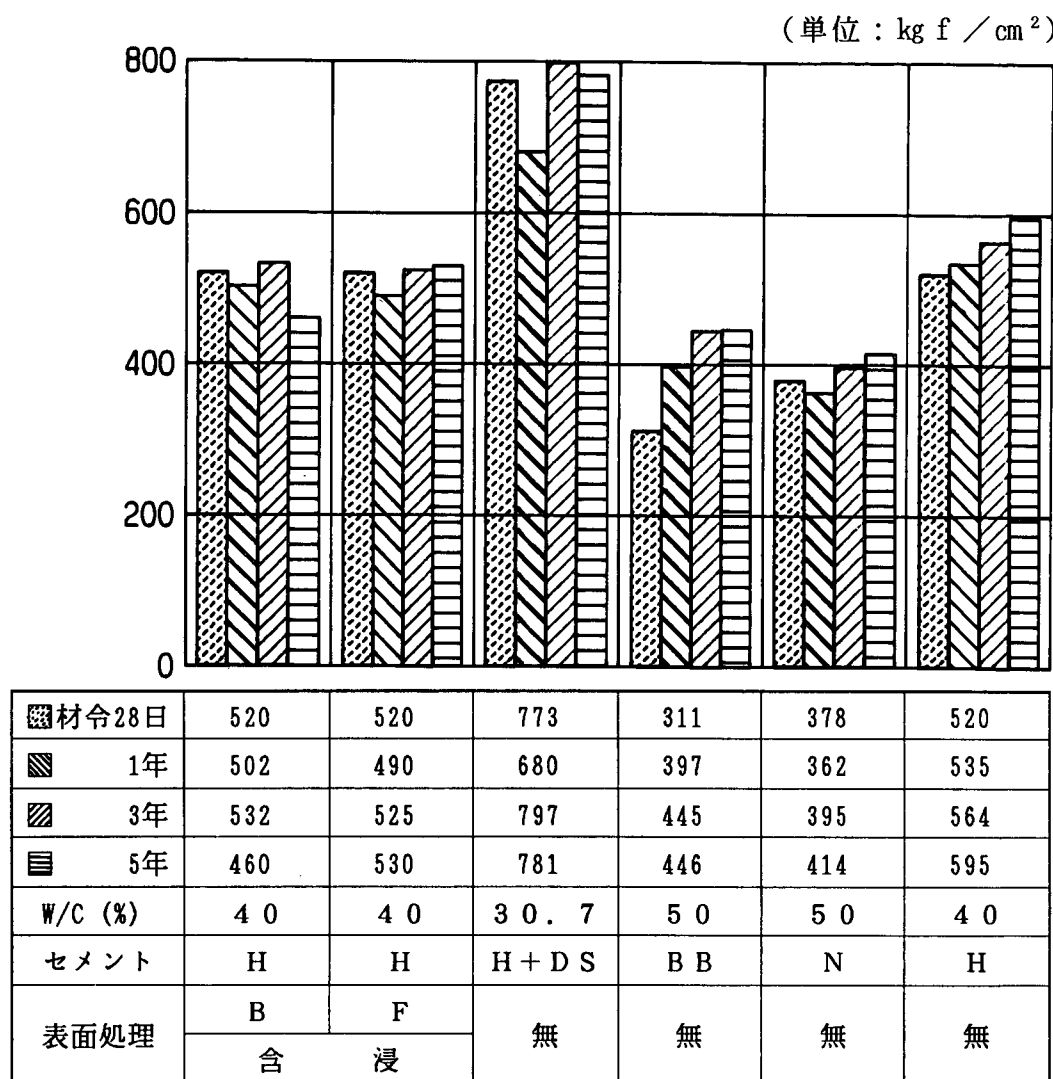
図－4.19 中性化とセメント水比の関係

表-4.20 中性化試験結果



4.6 圧縮強度

暴露供試体（ $\phi 150 \times 300$ ）の圧縮強度試験結果を図－4.20 に示す。表面処理無しの供試体は、シリカフュームを除き5年を経過してもわずかながら強度が増進しているが、含浸処理をしたものはほとんど強度増進はみられない。



(セメント) H：早強 N：普通 BB：高炉 H + DS：早強＋シリカフューム
(含浸材) B：アクリル系 F：シリコン系

図－4.20 圧縮強度試験結果

4.7 細孔径分布測定

全細孔容積が小さいほどコンクリートは緻密化し、塩分の浸透が少なくなると考えられるのでこれについて調査した。

全細孔容積 (TPV) とセメント水比の関係を図-4.21 に示す。これは、気乾養生供試体の表層部 (1~2 cm) を試験したものである。セメント水比が大きい (w/c が小さい) ほど全細孔容積が減少して緻密化する傾向にあり材令を追うごとにセメントの種類の差もなくなっているように思える。

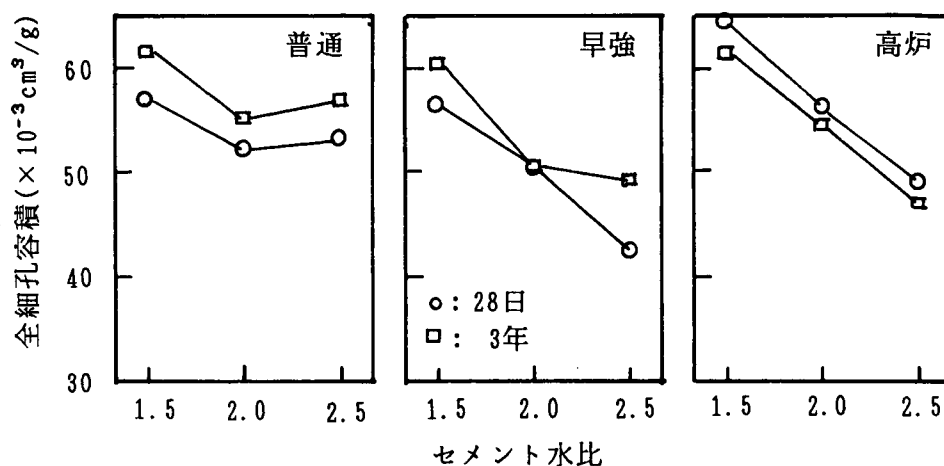


図-4.21 全細孔容積 (TPV) とセメント水比との関係

図-4.22 は普通セメントの水セメント比50%の場合で、養生条件を変えたものの材令28日の供試体の表層部の細孔径分布を示したものである。材令28日まで湿潤養生を行った供試体は、約500 A程度以上の細孔が少なく緻密化する傾向にある。また材令7日で湿潤養生を打ち切った供試体 (初湿) は、養生期間が少ないため組織が粗になっている。期間養生や低温で乾燥を受けた場合には、条件が厳しいものほど粗大な細孔が顕著になっている。

なお、他の種類のセメントについても測定を行った結果、普通セメントと同様の傾向が得られた。

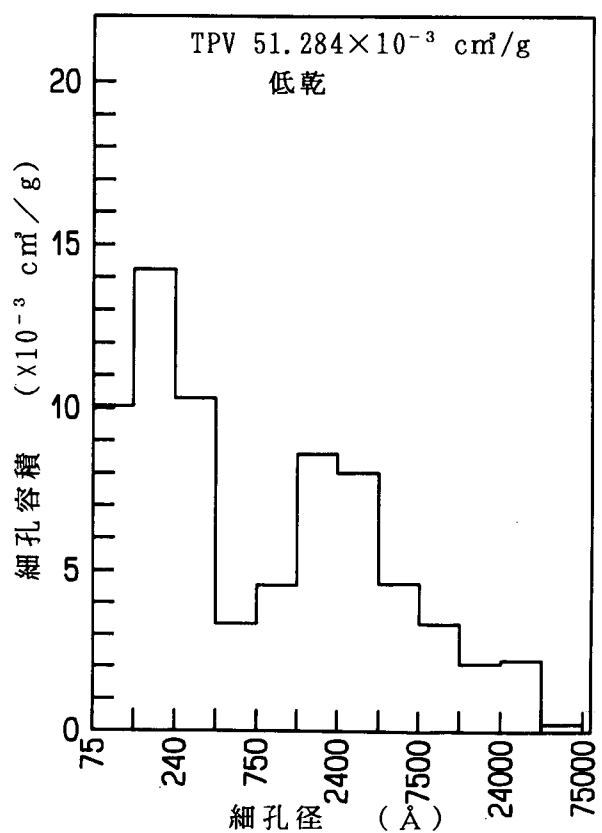
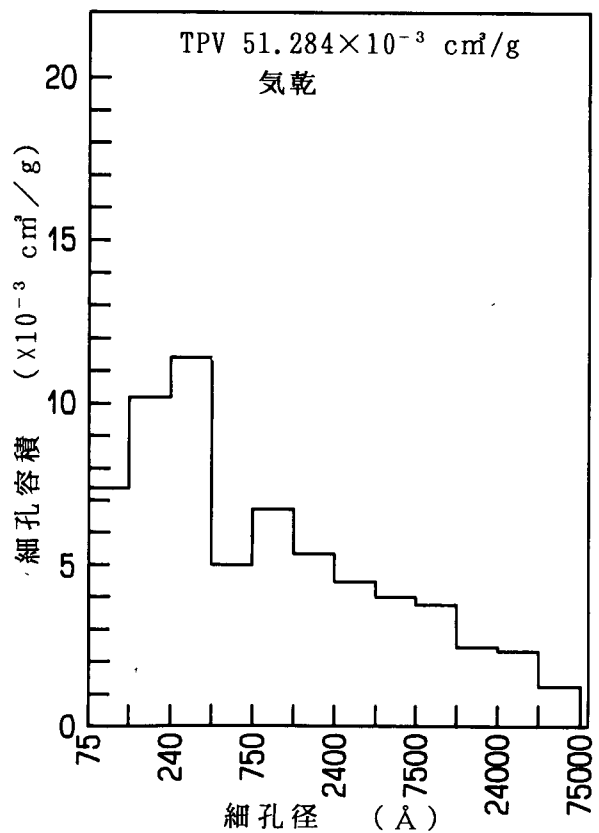
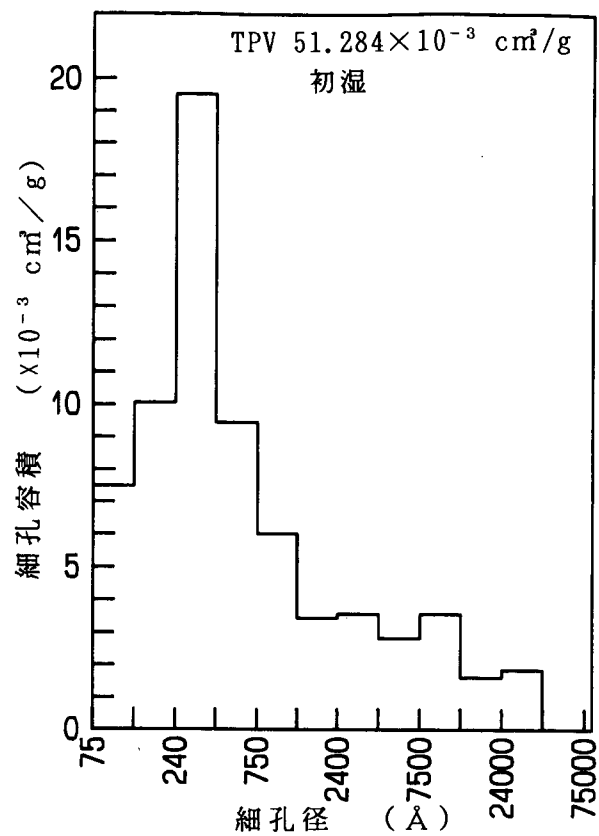
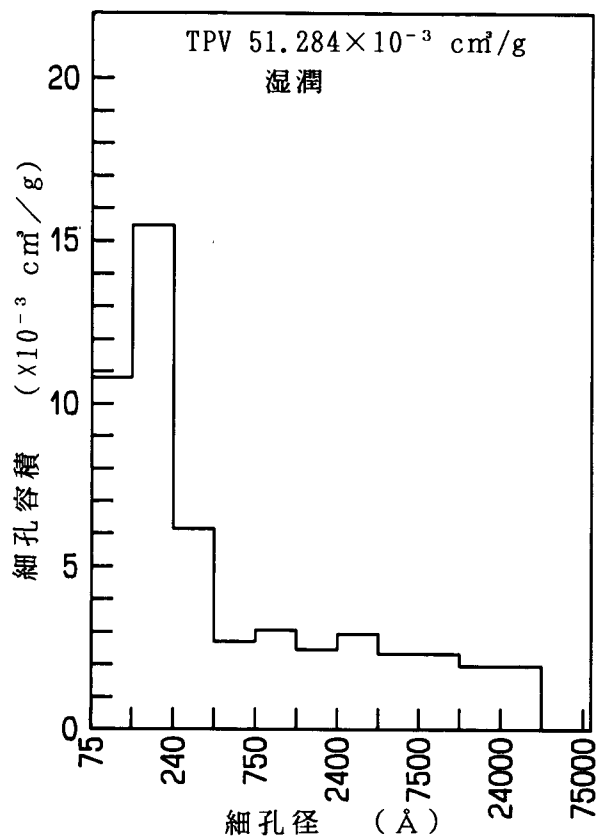


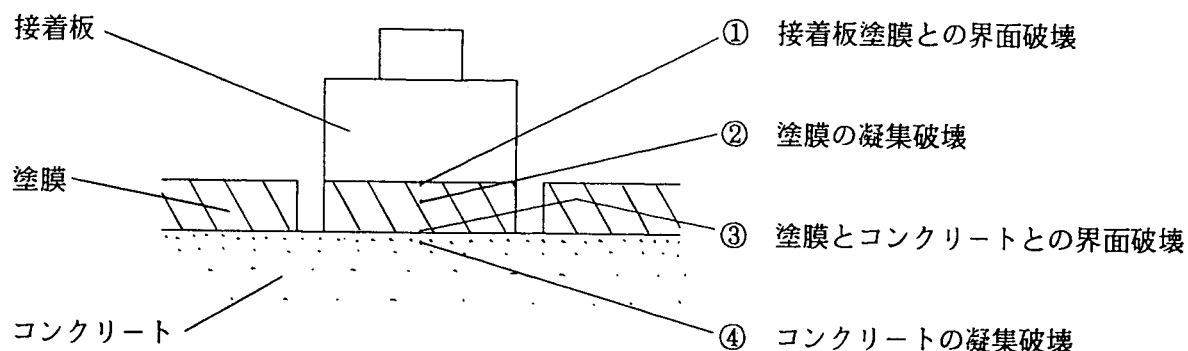
図-4.22 養生条件による細孔径分布の変化
(普通セメント, w/c 50%, 表層部, 材令28日)

4.8 塗膜劣化状況調査

暴露後6年経過した「コンクリート塗装」試験体の塗膜劣化状況調査として、塗膜の付着力試験と、ごばん目試験を行った。

1) 付着力試験結果

付着力試験は建研式試験機を使用し、接着剤はシアノアクリレート系の瞬間接着剤を使用した。各試験体の破壊形態を下記に示す。



試験結果を表-4.21に示す。建設省の「塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)」では塗膜の付着力は 10 kg/cm^2 以上とされている。試験結果を見ると 10 kg/cm^2 以下の試験体は4体あったが、いずれもコンクリートとの界面での破壊では無いため、これらの塗膜が不合格であると必ずしも判定できない。

表-4.21 付着力試験結果

(単位: kg/cm^2)

(単位: kg/cm²)

試 験 体				1 回 目	2 回 目	3 回 目	平 均	
コン ク リ ー ト 塗 装	塩害対策指針 (案)による塗装	A 種	エ ポ キ シ	B 020	● 36.3	○ 20.6	● 30.0	29.0
		B 種	1. 柔 軟 エ ポ	B 023	○ 15.0	○ 22.5	● 37.5	25.0
			2. 柔軟ウレタン	B 026	○ 18.7	○ 14.4	○ 26.2	19.8
		C 種	1. 厚膜エポキシ	B 029	● 37.5	● 37.5	● 37.5	37.5
			2. ビニルエステル	B 032	● 37.5	○ 27.5	○ 23.8	29.6
	その他の塗装 (次世代塗装)	1. 超 厚 膜 エ ポ	B 034	● 34.4	● 34.4	● 37.5	35.4	
		2. 超厚膜ウレタン	B 036	▲ 10.0	△ 10.0	△ 8.8	9.6	
		3. 超柔軟ウレタン	B 038	● 32.5	● 33.1	● 37.5	34.4	
		4. 変 性 エ ポ	B 040	● 35.0	△ 21.9	△ 22.5	25.6	
		5. セ メ ン ト 系	B 042	△ 6.3	△ 6.3	△ 6.9	6.5	
		6. ウ レ タ ン	B 044	△ 17.5	△ 15.0	△ 16.3	16.3	
		7. シ リ コ ン ゴ ム	B 046	△ 6.3	△ 6.3	△ 7.5	6.7	
		8. ア ク リ ル ゴ ム	B 048	△ 6.3	▲ 7.5	△ 11.3	8.4	
		9. 無 機 系	B 050	○ 14.4	○ 13.8	○ 15.0	14.4	
		10. 有機無機複合	B 052	○ 23.8	○ 17.5	○ 16.3	19.2	

△ 接着板塗膜との界面破壊

▲ 塗膜凝集破壊

○ 塗膜とコンクリートとの界面破壊

● コンクリート凝集破壊

2) ごばん目試験

試験結果を表－4.22に示す。15種類の塗膜のうち、13種類は健全であったが、「B026」の塗膜（柔軟ウレタン）と「B050」の塗膜（無機系）について若干のはがれが見られた。しかし、この2試験体は前項の付着力試験では問題はなかった。

表－4.22 ごばん目試験結果

試 験 体					1 回 目	2 回 目	3 回 目	平 均
コ ン ク リ ー ト 塗 装	塩 害 対 策 指 針 (案)による塗装	A 種	エ ポ キ シ	B 020	0／9	0／9	0／9	0／9
		B 種	1. 柔 軟 エ ポ	B 023	0／9	0／9	0／9	0／9
			2. 柔軟ウレタン	B 026	2／9	4／9	1／9	2.3／9
		C 種	1. 厚膜エポキシ	B 029	0／9	0／9	0／9	0／9
			2. ビニルエステル	B 032	0／9	0／9	0／9	0／9
	その他の塗装 (次世代塗装)	1. 超 厚 膜 エ ポ	B 034	0／9	0／9	0／9	0／9	
		2. 超厚膜ウレタン	B 036	0／9	0／9	0／9	0／9	
		3. 超柔軟ウレタン	B 038	0／9	0／9	0／9	0／9	
		4. 変 性 エ ポ	B 040	0／9	0／9	0／9	0／9	
		5. セ メ ン ト 系	B 042	0／9	0／9	0／9	0／9	
		6. ウ レ タ ン	B 044	0／9	0／9	0／9	0／9	
		7. シ リ コ ン ゴ ム	B 046	0／9	0／9	0／9	0／9	
		8. ア ク リ ル ゴ ム	B 048	0／9	0／9	0／9	0／9	
		9. 無 機 系	B 050	3／9	4／9	3／9	3.3／9	
		10. 有機無機複合	B 052	0／9	0／9	0／9	0／9	

4.9 透水性試験

1) 概要

本試験は、コンクリート塗装及び含浸系塗装の長期劣化度調査の一環として、背面透水試験を行ったものである。使用した供試体はφ150×40mmの1：3配合によるモルタルで片面には表－4.23に示すように8種類の表面処理を施した。

それは、無処理1，含浸系塗装5，塩害対策指針(案)によるA種塗装1，B種塗装1，とした。試験は暴露0，2，5年の3回行った。

表－4.23 試験体一覧表

記 号	表面処理	製作数	備 考
ブランク	無 処 理	6	
B A	含浸系塗装 (1)	6	シリコン系
B B	含浸系塗装 (2)	6	アクリル系
B D	含浸系塗装 (3)	6	シリコン系
B E	含浸系塗装 (4)	6	アクリル系
B F	含浸系塗装 (5)	6	ビニルエステル系
A	A 種 塗 装	6	
B	B 種 塗 装	6	

2) まとめ

試験結果を図-4.23に示す。

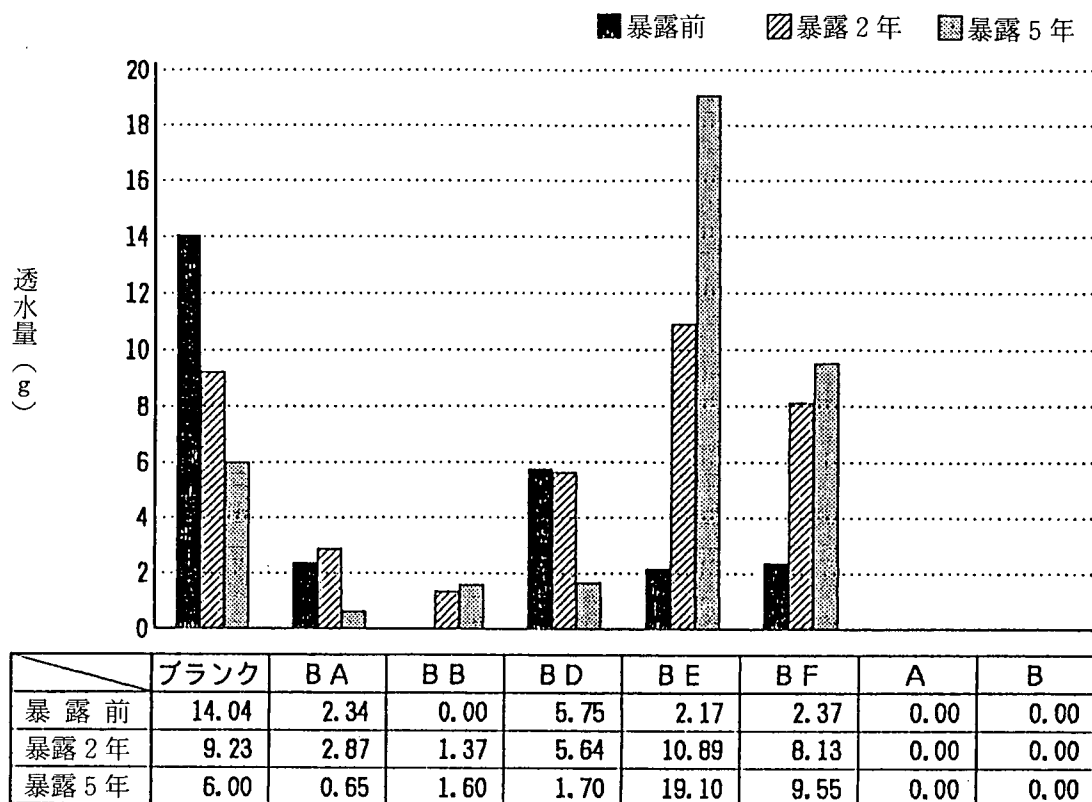


図-4.23 透水性試験結果

この試験から次のことが分かった。

- ① 無塗装の試験体は年を追うに従い透水量が減少している。
- ② 含浸系塗装は5種類とも透水が認められるが、その性能は材料により大きな差がある。
- ③ A種、B種塗装の両者とも暴露5年でも全く水を通さなかった。

4.10 飛来塩分量調査

海洋暴露試験施設をとりまく環境の腐食性を探るため、飛来塩分量の調査を行った。飛来塩分量の測定方法として、DK法（ステンレス平面に雨水と共に捕集する方法）の捕集器を図-4.24に示すように第2デッキ（+9,200）と第3デッキ（+3,500）のそれぞれ北、東、南面に設置した。しかし、第3デッキの捕集器は、数ヶ月後波浪により破壊されたため、以降第3デッキでの測定継続は不可能と考え測定を断念した。

測定結果を表-4.24～25に示す。

表- 4.24 第2デッキ飛来塩分量測定結果

上段: NaCl総量 (mg)

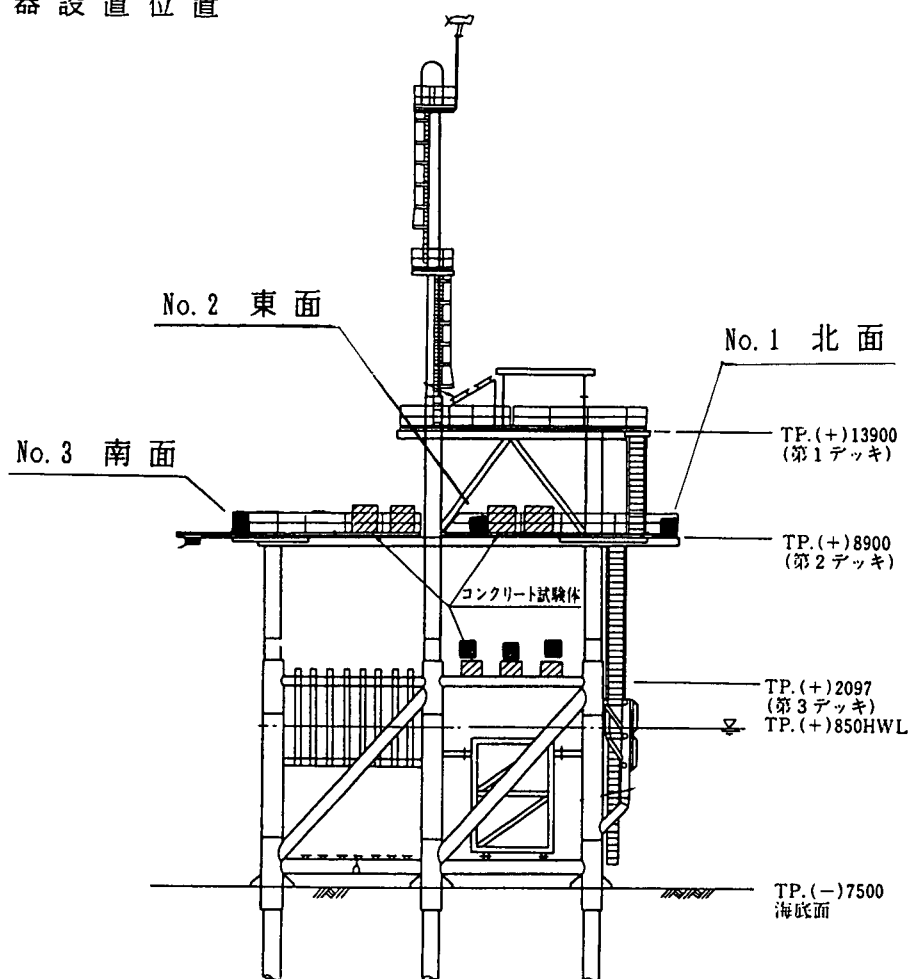
下段: 飛来塩分量 (mg/dmf/day)

回数	調査期間	日数	北側	東側	南側
1	H2・10・30~H3・3・2	123	—	470.1 3.8	1,610.7 13.1
2	H3・3・3~H3・5・2	61	373.5 6.1	155.7 2.6	35.9 0.6
3	H3・5・3~H3・7・2	61	33.4 0.5	33.6 0.6	21.9 0.4
4	H3・7・3~H3・8・30	61	38.5 0.6	69.7 1.1	3,085.8 50.6
5	H3・8・31~H3・11・12	74	1,875.7 25.3	34,960.1 472.4	23,590.7 318.8
合 計			2,321.1 9.0	35,689.2 93.9	28,345.0 74.6

表- 4.25 第3デッキ飛来塩分量測定結果

回数	調査期間	日数	北側	東側	南側
1	H3・3・3~H3・5・2	61	491.4 8.1	442.5 7.2	325.4 5.3
2	H3・5・3~H3・7・2	61	—	1,650.0 27.0	298.5 4.9

捕集器設置位置



第 2 デ ッ キ

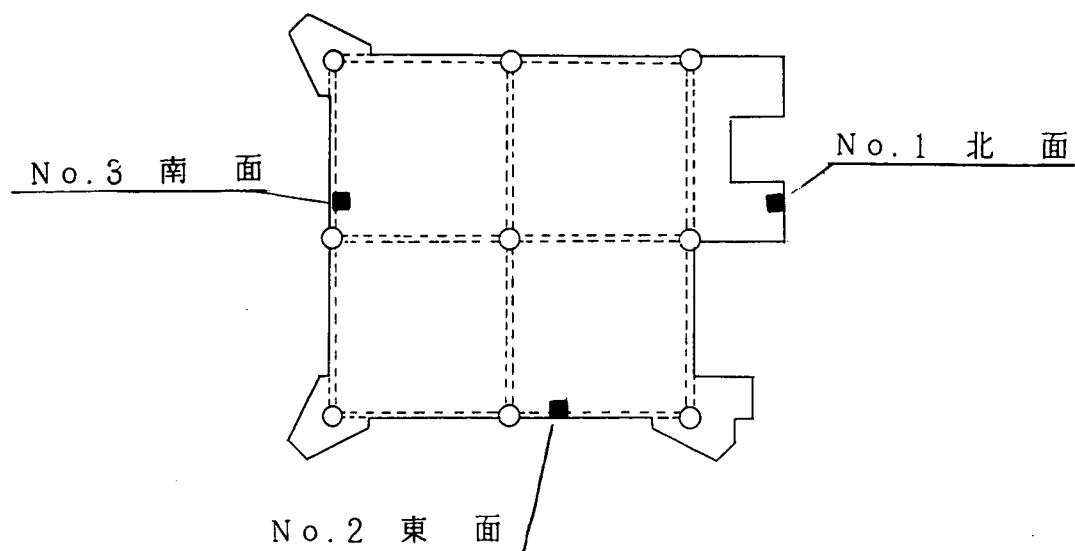


図- 4.24 飛来塩分捕集器設置位置

5. 研究結果の総括

暴露期間6年経過後までの研究結果をまとめて見ると次の通りである。

1) 外観調査

- ① 外観調査結果からは、塩害による損傷は認められなかった。しかし、一部にコンクリート表面に剥離や欠落を生じたものもあるが、これは、スパーサ取付部や仕上げ面のレイトンス部等の脆弱な箇所限定されていた。
- ② 樹脂塗装鉄筋を使用したコンクリート供試体の損傷は、現在のところ認められていない。
- ③ コンクリート面の塗装は、一部にわれやはがれが生じているものもあるが、塗装の劣化等は認められず良好な状態にある。
- ④ 含浸系塗料は、局所的な剥離が生じているものもあるが、全体的には概ね良好な状態にある。
- ⑤ ポリエチレンシースを使用したポストテンション供試体は、両端部付近にひびわれが発生しているが、その損傷程度は軽微な状況にあるといえる。

2) 鉄筋の自然電位は、暴露期間の経過とともに卑の傾向になっていくが、6年経過後でも鉄筋腐食の目安である -350 mV 以上のものは、40試験体のうち2体であった。

3) 暴露6年経過後のコンクリート中の塩化物含有量

- ① コンクリート中の塩化物含有量（塩素イオン量）は、かぶりが大きくなるにつれて少なくなっていく傾向にある。第3デッキを例にとると、塩化物含有量は $0\sim 1\text{ cm}$ 部分で $5.2\sim 10.3\text{ kg/m}^3$ 、 $1\sim 2\text{ cm}$ 部分で $1.3\sim 6.8\text{ kg/m}^3$ 、 $2\sim 4\text{ cm}$ 部分で $0.1\sim 3.5\text{ kg/m}^3$ 、 $4\sim 7\text{ cm}$ 部分で $0.1\sim 0.4\text{ kg/m}^3$ 程度の範囲にある。
- ② セメント種類別では、早強セメント、高炉セメント、普通セメントの順にコンクリート中の塩化物含有量が少なくなる。
- ③ 水セメント比では、水セメント比が小さいほどコンクリート中の塩化物含有量が少ない。
- ④ 塗装系で被覆したものは、コンクリート中の塩化物含有量は小さく遮塩効果がある。
- ⑤ 含浸系のものは、無処理のものに比べると、コンクリート中の塩化物含有量は小さいが、塗装系ほどの遮塩効果はない。また、遮塩効果は含浸材の種類によって差がある。

4) 塩分浸透深さは、セメント種類別では、早強セメント、普通セメント、高炉セメントの順に大きくなる。また、水セメント比が小さい程小さくなる。

5) 暴露期間6年経過後のコンクリート中の鉄筋は解体調査の結果、かぶり 3.5 cm の鉄筋及びPC鋼材の一部のものに点錆が数カ所発生した程度で、腐食としては軽微なものであった。

6) 中性化は、水セメント比が小さい程小さくなる。また、セメント種類別では、早強セメント、普通セメント、高炉セメントの順に大きくなる。

7) 細孔径分布は水セメント比が小さい程、全細孔容積が減少して緻密化する傾向にある。また、湿潤養生と気乾養生では、湿潤養生のものの方が気乾養生に比べて緻密化する傾向にある。

- 8) 表面処理をしていない供試体の圧縮強度は、材令の経過とともに強度の増加が認められるが、含浸処理をしたものは、ほとんど強度の増加が認められなかった。
- 9) 塗膜の付着力試験及びゴパン目試験結果から、コンクリートに塗装している塗膜は、力学的にはほとんど劣化していないものと考えられる。
- 10) コンクリート塗装材及び含浸材の透水性試験の結果、塗装系のものは透水が認められなかった。これに対して、含浸系のものは透水が認められ、かつ材料の種類によって差があり、無処理のものより透水量の大きくなるものもあった。
- 11) 飛来塩分は、供試体の暴露位置、季節、方角によって値が異なるが、秋期において最大472 (mg/dm²/day/NaCl) の値を示していた。

あ と が き

現地暴露6年経過後のコンクリート供試体の防食調査の結果、明らかに塩害と判断できる損傷は認められていない。しかし、コンクリート中には塩分が浸透しており、鉄筋の自然電位も、暴露期間の経過とともに卑の傾向を示し、塩害が着実に進行している状況がうかがえる。

したがって、今後はコンクリートの外観状況、塩分浸透状況、鉄筋の自然電位等を継続的に調査して、これらの結果からコンクリート供試体の解体調査時期を判断することが良いと思われる。

なお、本調査は、昭和59年6月から平成6年までの10年間を目標に計画を定めているが、現地暴露6年経過後までのコンクリート供試体の防食調査結果から判断すると、さらに、長期的な観点から計画全体の見直しを図り、暴露試験の継続調査を行う必要があるといえる。

附 属 資 料

I 暴露供試体の製作仕様



1. 暴露試験の概要

暴露試験は、大別して次の3種類である。

(1) 基準系

セメントの種類別、水セメント比の別、かぶりの相違による防食効果を調査する。また、これは防食処理の効果の基準ともなるものである。

(2) 防食処理系

塗装鉄筋、コンクリート塗装、PC鋼材の防塩処理（シース）、防水剤、防水材（防塩材）による防食効果を調査する。

(3) 腐食調査技術および補修技術

非破壊検査技術および補修技術の開発のため、試験体を用意し今後の技術向上に備える。暴露試験は、非破壊検査による定期調査および解体調査に区分される。また、暴露試験期間は当面10年とし、定期調査は年1回実施する。

2. 暴露試験体の種類

コンクリートの防食効果を実証するため、以下の分類に従って試験を行う。

(1) 基準系

1) セメントの種類による防食効果

普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種の3種類について比較する。

2) 水セメント比による防食効果

W/Cが40%と50%の2種類について比較する。

3) 鋼材のかぶり厚による防食効果

かぶり厚 2.5 cm、3.5 cm、5.0 cm および 7.0 cm の 4 種類について比較する。試験年は 5 年および 10 年とし上記 3 要因の組合せを表-1 に基準系として示す。

表-1 防食コンクリート基準系

セメント		普通セメント		早強セメント		高炉セメント
水セメント比		40%	50%	40%	50%	50%
試験年		2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10
かぶり	2.5 cm	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	3.5 cm	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
	5.0 cm	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
	7.0 cm	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
構造		PC	RC	PC	RC	RC

計 45 本

小試験体(○)

35 本

中試験体(□)

10 本

ただし、かぶり 2.5 cm のものについては、試験年 2 年のものも設ける (5 本)。

かぶり 7.0 cm のものについては中試験体とする。(10 本)

(2) 防食処理系

1) 塗装鉄筋による防食効果

健全な塗膜状態のもの、塗膜に欠陥のあるものおよび海外比較品について調査する。

用途は RC が主となる。使用セメントは早強セメントとし、W/C は 40% の場合に限定する。また、かぶりは 2.5 cm を標準とする。

試験体の試験年は 5 年および 10 年とする。

防食効果の調査分類を表-2 に示す。

表-2 塗装鉄筋試験分類

試験条件	塗装種類	備考
① 粉体樹脂塗装	3	A、B、C の 3 種
② 亜鉛めっき	2	かぶり 2.5 cm、5 cm
③ 塗膜欠陥	2	曲げクラック、ピンホール
④ 海外比較品	1	
合計	8	

試験体本数
(小試験体)

$$8 \times 2 (5 \text{ 年、} 10 \text{ 年}) = 16 \text{ 本}$$

樹脂塗装鉄筋の管理基準

工 程	管理項目	管 理 基 準	管 理 方 法	処 理 条 件
ブラスト処理	外 観	S I S S a 2 1/2 以上	目 視	S I S S a 2 1/2
	表 面 粗 度	4 0 ~ 6 0 μm	プレスローフィルム	4 5 μm
予 熱	鉄 筋 温 度	塗料メーカーとの協議	表面温度計	
静電粉体塗装	静 電 圧	4 0 ~ 7 5 K V	コントローラー	6 0 K V
後 加 熱	温 度	塗料の種類により実施	温 度 計	—
水 冷				
検 査	外 観	はがれ、傷がないこと	目 視	検査成績表に記入
	塗 膜 厚	1 8 0 $\pm$ 5 0 μm (平坦部)	電磁式膜厚計	
	ピンホール	5 ケ/ m 以下	乾式ホリデー テスター(1,000V)	
	曲げ加工性	曲率4Dd(5℃、180度)	鉄 筋 曲 げ 機	
	塗 膜 硬 度	鉛筆硬度 F 以上	鉛 筆	

棒 鋼 の 品 質

寸 法	長さ (m)	員数 (本)	重量 (kg)	化 学 成 分 (%)					引 張 試 験			曲げ試験 180° DX4
				C $\times 100$	Si $\times 100$	Mn $\times 100$	P $\times 1000$	S $\times 1000$	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	
							50 MAX	50 MAX	3 0.0 MIN	4 9.0 ~ 6 3.0	14.0 MIN	
青色塗装D10	6.0	20	67	25	23	69	32	38	37.9	55.4	24.0	合 格
" D13	6.0	40	239	20	19	72	29	26	34.2	51.2	27.2	合 格
" $\phi 9$	6.0	90	269	11	11	47	28	37	35	48	35	合 格

塗料 K社 ブルー

加工日	サイズ mm		検査本数 本/全体数	外 観 有害な欠陥 なきこと	膜 厚			ピンホール 1,000V ≤ 5ヶ/m	曲げ加工性 5℃ 4Dd×180°	硬 度 (皮膜) ≥ 2H	備 考
	径	長 さ			平坦部 180±50 μm						
					平 均	最 大	最 小				
4/6	9	5,500	1/23	Good	176	130	230	1.2	Good	2H	予熱温度 245℃
	D10	6,000	1/ 4	Good	172	130	230	1.7	Good	2H	
	D13	5,500	1/11	Good	176	130	230	1.9	Good	2H	

塗料 N社 ブルー

加工日	サイズmm		検査本数 本/全体数	外 観 有害な欠陥 なきこと	膜 厚			ピンホール 1,000V ≤5ヶ/㎡	曲げ加工性 5℃ 4Dd×180°	硬 度 (皮膜) ≥2H	備 考
	径	長さ			平 均 最 大 最 小						
					平 均	最 大	最 小				
4/6	9	5,500	1/23	Good	196	230	160	0.8	Good	2H	予熱温度 230℃
	D10	6,000	1/ 4	Good	192	230	150	1.3	Good	2H	
	D13	5,500	1/11	Good	181	230	140	2.2	Good	2H	

塗料 D社 ブルー

加工日	サイズmm		検査本数 本/全体数	外 観 有害な欠陥 なきこと	膜 厚			ピンホール 1,000V ≤5ヶ/m	曲げ加工性 5℃ 4Dd×180°	硬 度 (皮膜) ≥2H	備 考
	径	長 さ			平 均 最 大 最 小						
					平均	最大	最小				
4/6	9	5,500	1/23	Good	175	230	140	0.7	Good	2H	予熱温度 240℃
	10	6,000	1/ 4	Good	195	220	160	1.7	Good	2H	
	13	5,500	1/11	Good	170	220	130	1.3	Good	2H	

塗料 S社

加工日	サイズ _{規格}		検査本数 本/全体数	外 観 有害な欠陥 なきこと	膜 厚			ピンホール 1,000V ≦5ヶ/㎡	曲げ加工性 5℃ 4Dd×180°	硬 度 (皮膜) ≧2H	備 考
	径	長 さ			平 坦 部 180±50μm						
					平 均	最 大	最 小				
4/6	9	5,500	1/5	Good	186	230	150	0.7	Good	2H	予熱温度 230℃
	13	6,000	1/3	Good	191	230	140	1.3	Good	2H	

亜鉛めっき付着量等試験結果

めっき仕様 JIS H 8641 HDZ 55(旧 55C)

試験方法 JIS H 0401 に準拠

番 号	供 試 材	め っ き 付 着 量 試 験						硫酸銅 試 験 6回	密着性	備 考
		試 験 片					めっき付着量			
		寸 法	めっき面積	重 量 g						
		mm	cm ²	試験前 (A)	試験後 (B)	(A) - (B)				
1	RB 9	203.1	57.4	101.93	96.34	5.59	974	合格		
2	〃	208.4	58.9	104.93	99.31	5.62	954	合格		
3	D 13	205.7	82.3	199.60	193.06	6.54	795	合格		
4	〃	201.0	80.4	195.10	188.47	6.63	825	合格		

注) 棒鋼は塗装鉄筋と同じものを用いた

亜鉛めっき処理内容

工 程	使 用 薬 剤	標 準 条 件		処 理 条 件	備 考
		項 目	基 準		
脱 脂	ライトクリン #1010 ：カセイソーダ (1:1)	濃 度	40~90 g/l	50 g/l	
		温 度	50~80 ℃	60 ℃	
		時 間	10~90 分	10 分	
水 洗	—	—	—	—	
酸 洗	硫 酸 (抑制剤添加)	濃 度	7~25 %	— %	
		温 度	50~60 ℃	— ℃	
		時 間	20~60 分	— 分	
	塩 酸 (抑制剤添加)	濃 度	7~25 %	16.5 %	
		温 度	35 ℃ 以下	32 ℃	
		時 間	20~60 分	25 分	
水 洗	—	—	—	—	
フ ラ ッ ク ス 処 理	塩化亜鉛： 塩化アンモニウム (1:3)	比 重	1.120~1.150	1.150	
		温 度	45~60 ℃	50 ℃	
		P H	4.8~5.5	5.0	
め っ き	亜 鉛	濃 度	97.5%以上	98.7 %	
		温 度	430~475 ℃	450 ℃	
		時 間	秒	180 秒	
水 冷	—	温 度	30~85 ℃	55 ℃	

2) コンクリート塗装による防食効果

塗装系は、日本道路協会「コンクリート塗装の設計、施工、品質基準(案)」に示されているA種、B種、C種の各塗装系と、新規開発中の含浸系塗装および同基準(案)以外のその他の塗膜系塗装の5種類とする。

分類は、健全なコンクリートに一般的な方法で塗装したもの、欠陥塗装のもの、について調査する。

A種および含浸系の塗装については、ひびわれ追従性を要しないため、PC構造とし、W/Cは、40%かぶりは2.5cmとする。

B種、C種の塗装およびその他の塗膜系塗装については、ひびわれ追従性を要求されるため、RC構造とし、W/Cは40%、かぶりは2.5cmとする。

試験年は、2年、5年および10年とする(一部の試験体は5年、10年)。

コンクリート塗装の分類を表-3に示す。

表-3 コンクリート塗装試験分類

	試験条件	塗装種類	試験年回数	構造	W/C	セメント
標準処理	① A 種	1	3	PC	40%	早強
	② B 種	2	3	RC	"	"
	③ C 種	2	3	RC	"	"
	④ 次世代	10	2	RC	"	"
	⑤ 含浸性	6	3	PC	"	"
	合計	11+10=23				

試験体本数 $11 \times 3(2\text{年、}5\text{年、}10\text{年}) + 10 \times 2(5\text{年、}10\text{年}) = 33 + 20 = 53\text{本}$
 (小試験体)

塗装時の条件

月 日	天 候	気 温 (℃)	湿 度 (%RH)
5月8日 正午	晴	23	72
9 日	晴	29	40
10 日	晴	23	53
11 日	く も り	23	59
14 日	く も り	23	68
15 日	く も り	21	73

3) PC鋼材の防塩処理材料にする防食効果

具体的にはポリエチレンシースの防食効果を調査する。

構造は、PCとし、早強セメント、 $W/C = 40\%$ とする。

鉄筋のかぶりは 3.5 cm とし、塗装鉄筋を用いる。

試験体は、中試験体とする。

試験体本数 $1 \times 2 (5\text{ 年}、10\text{ 年}) = 2\text{ 本}$
(中試験体)

このポリエチレンシースは、地中ケーブル管路などに使用されている黒色波付硬質ポリエチレン管である。

外径 42 mm 、内径 30 mm のものを使用した。

ポリエチレンシースの性能

項 目		試料の採り方	性 能	試 験 方 法
材 料 の 常温引張	引張強さ Kg/mm^2	1000 m および その端数ごとに1 個	1.5 以上	JISC 3005の16 に準拠する。
	伸 び $\%$		350 以上	
完 成 品	外 観 構 造			外観検査 寸法検査
	圧 縮 強 度		12.5 トン/ m^2 にて 管に裂け目を生ぜ ず、かつ管の外径 が20%以上減少 しないこと。	平行平板(長さ200 mm)間にはさみ、圧縮 試験機により圧縮する。
	屈 曲 性		異常のないこと。	外径の20倍の曲率で 180°曲げを3回行う。

4) 防塩材による防食効果

防塩材としてのシリカフュームの防食効果を調査する。

構造はRCとし、早強セメント、 $w/c = 30\%$ 程度とする。

鉄筋のかぶりは 2.5 cm (2年、5年、10年)および 5 cm (5年、10年)とする。

シリカフュームの性能・性状

① 化学組成

(単位: $\%$)

lg.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Total
3.82	90.2	1.12	2.23	0.65	0.13	0.44	0.11	0.96	99.66

② 比表面積(ガス吸着法)

$$S_{\text{BET}} = 23.7 (\text{m}^2/\text{g})$$

③ 比 重

$$\rho = 2.32$$

④ 平均粒径

$$D_{\text{BET}} = 0.11 (\mu\text{m})$$

(3) 腐食調査技術および補修技術の開発

防食処理を施さない試験体を用い、腐食調査（非破壊検査）を行う。

また、鋼材の腐食によりコンクリート剥離、剥落が生じた試験体については、今後の補修技術の開発のための試験体としても用いるものとする。

従って、試験体は5年もの、10年ものの区別はつけず、本暴露試験の最終年まで供用する。

試験体の分類を表-4に示す。

表-4 腐食調査技術試験分類

構 造 分 類		試験体分類	セメント	w/c	σ_{ck}	かぶり	数 量
P	プレテンション	小試験体	早 強	40%	—	2.5 cm	4
	ポストテンション	中 "	"	"	—	3.5 cm	4
	プレテンション T 桁	大 "	"	—	500Kg/m ²	2.5 cm	3
	プレテンションスラブ桁	大 "	"	—	"	3.5 cm	1
C	プレテンション T 桁	大 "	"	—	"	5.0 cm	1
	ポストテンション T 桁	大 "	"	—	400Kg/m ²	7.0 cm	1
R	鉄筋引張力 800Kg/cm ²	小 "	普 通	50%	—	3.5 cm	4
	" 1000Kg/cm ²	小 "	"	"	—	" cm	4
C	" 1200Kg/cm ²	小 "	"	"	—	"	4
	" 1400Kg/cm ²	小 "	"	"	—	"	4

小試験体 20本

大試験体 5316 T 桁 3本（プレ）

中試験体 4本

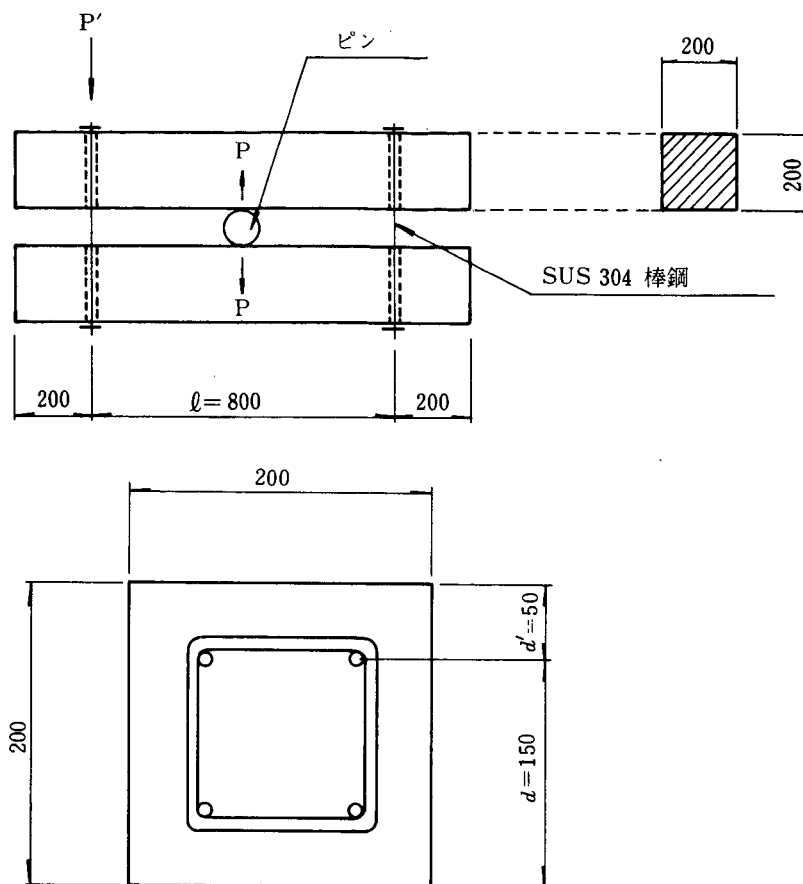
スラブ桁 1本（プレ）

S T 桁 1本（プレ）（図-2.3.8参照）

S T 桁 1本（ポスト）（図-2.3.9参照）

なお、鉄筋引張力が800、1000、1200、1400Kg/cm²となるための緊張力は、次のように計算した。

曲げを生じさせるための緊張力Pの計算



$$\ell = 80 \text{ cm}$$

$$\ell' = \ell / 2 = 40 \text{ cm}$$

モーメントを生じさせるためのPの算定

$$M = P \ell' \quad P = \frac{M}{\ell'}$$

(イ) C009, C010, C011, C012 試験体 ($\sigma_s = 800 \text{ Kg/cm}^2$)

$$P_1 = \frac{26425}{40} = 660 \text{ Kg}$$

(ロ) C013, C014, C015, C016 試験体 ($\sigma_s = 1000 \text{ Kg/cm}^2$)

$$P_2 = \frac{33031}{40} = 826 \text{ Kg}$$

(ハ) C017, C018, C019, C020 試験体 ($\sigma_s = 1200 \text{ Kg/cm}^2$)

$$P_3 = \frac{39637}{40} = 991 \text{ Kg}$$

(二) C021, C022, C023, C024 試験体 ($\sigma_s = 1400 \text{ Kg/cm}^2$)

$$P_4 = \frac{46243}{40} = 1156 \text{ Kg}$$

以上の緊張力を各試験体与えて曲げを生じさせ、鉄筋に引張応力を与える。

なお、鉄筋に引張力を生じさせる曲げモーメントの計算は以下によった。

$$A_s = 1.267 \times 2 = 2.534 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 20 \times 15 = 300 \text{ cm}^2$$

$$p = \frac{A_s}{A_c} = \frac{2.534}{300} = 0.00845$$

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 15 \times 0.00845 + (15 \times 0.00845)^2} - 0.00845$$

$$= 0.392$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.392}{3} = 0.869$$

$$s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d}$$

$$M = \sigma_s \cdot A_s \cdot j \cdot d$$

$$= \sigma_s \cdot 2.534 \cdot 0.869 \cdot 15$$

$$= \sigma_s \cdot 33.031$$

$$M_1 = 800 \times 33.031 = 26425 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_2 = 1000 \times \quad \quad = 33031 \quad \quad "$$

$$M_3 = 1200 \times \quad \quad = 39637 \quad \quad "$$

$$M_4 = 1400 \times \quad \quad = 46243 \quad \quad "$$

3. 暴露試験体の本数と番号

(1) 暴露試験体の本数

試験体総括を表-5に示す。

表-5 試験体総括

試験分類		小試験体	中試験体	大試験体
基準系		35(RC)	10(プレ:4 RC:6)	0
防食処理系	塗装鉄筋	16(RC)	0	0
	コンクリート塗装	35(プレ:3 RC:2)	0	0
	含浸処理	21(プレ)	0	0
	ポリエチレンシース	0	2(ポスト)	0
耐塩性コンクリート		5(RC)	0	0
腐食調査		20(プレ:4 RC:16)	4(ポスト)	6(プレ:5 ポスト:1)
計		132	16	6

(2) 試験体の符号・番号のつけ方

符号番号については、以下の通りとする。

製作年	符 号	番 号	解体年

1) 製作年

西暦年の下2ケタとする。

2) 符号

A 基 準 系 試 験 体

B 防 食 処 理 “

C 腐 食 調 査 “

D 耐塩性コンクリート “

3) 番号

符号A、B、C、Dの中での3ケタの通し番号とする。

4) 解体年

解体する年数(2、5、10)を標示する。

4. 暴露試験体の製作図

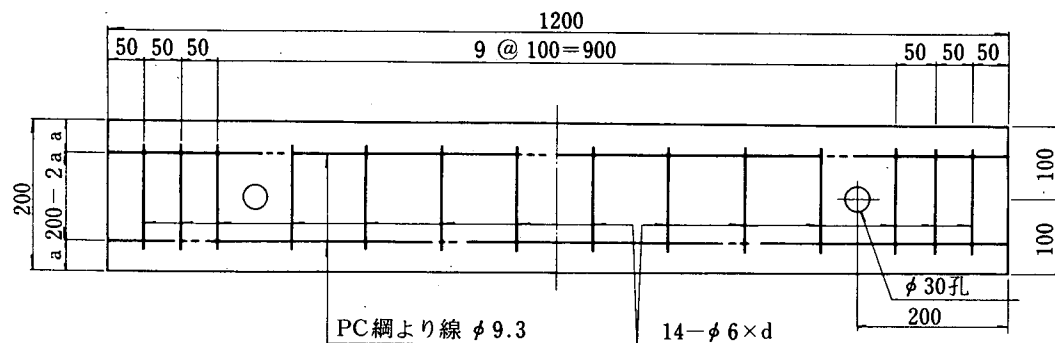
各種試験体の製作図を図－1～図－9に示す。

製 作 図 一 覧

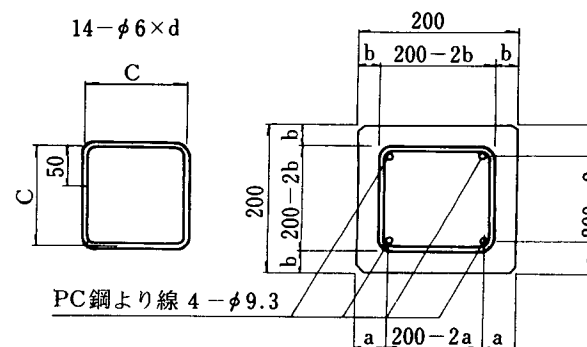
項 目	製 作 図	試験体寸法 (mm)
P C 小 試 験 体	図－1	200×200×1,200
R C “	“－2	200×200×1,200
P C 中 試 験 体 かぶり35 mm	“－3	300×300×2,000
“ “ “ 70 mm	“－4	300×300×2,000
R C 中 試 験 体 かぶり70 mm	“－5	300×300×2,000
P C 大 試 験 体 (T型)	“－6	750/350×600×5,000
“ “ (スラブ型)	“－7	600/700×400×5,000
“ “ (Pre-ST型)	“－8	1,200/350×800×5,000
“ “ (Pos-ST型)	“－9	1,200/350×800×5,000

鉄筋かぶり 25 mm 31 体.....①
 30 4 ②
 50 4 ③

側面図



断面図



材料表

種別	仕様	単位	数量(体当たり)			全数量			合計
			①	②	③	①	②	③	
コンクリート		m ³	0.048	0.048	0.048	1.488	0.192	0.192	1.87
PC鋼より線	φ 9.3mm	kg	1.94	1.94	1.94	60	8	8	76
型 枠	側 枠	m ²	0.480	0.480	0.480				
	端 板	m ²	0.080	0.080	0.080				
	底 板	m ²	0.240	0.240	0.240				
	合 計	m ²	0.800	0.800	0.800				
鉄 筋	SR 24	kg	2.11	1.86	1.50	65	7	6	78

数値表

	a	b	c	d
①	40	25	144	680
②	50	35	124	600
③	65	50	94	480

鉄筋表

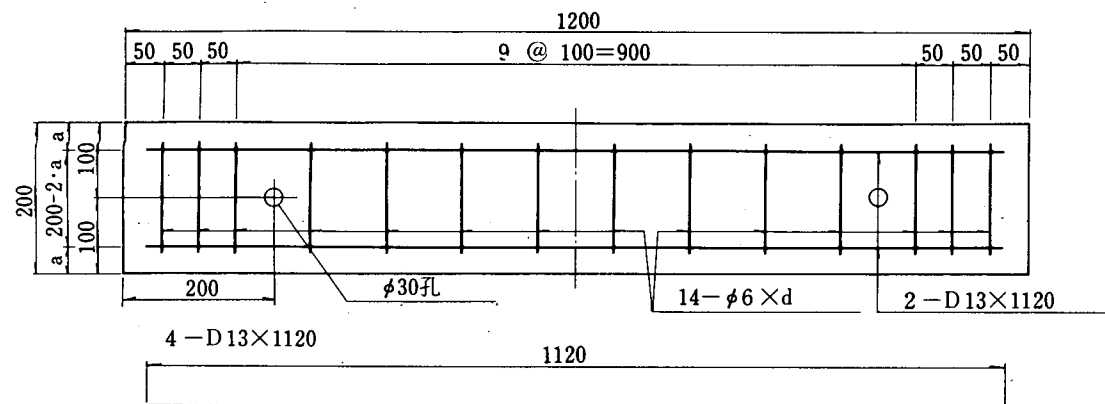
小試験体 番号	径(mm)	長さ (mm)	単位重量 (kg/m)	1本当り重量 (kg/本)	1体当り本数 (本)	重量(体当たり)kg			全重量(kg)			形状
						①	②	③	①	②	③	
①	φ 6	680	0.222	0.151	14	2.11			65			□
②	φ	600	φ	0.133	14		1.86			7		□
③	φ	480	φ	0.107	14			1.50			6	□

セメント かぶり W/C	普通	早強	計
2.5cm	40 %	40 %	31
3.5cm	2	2	4
5.0cm	2	2	4
計	7	32	39

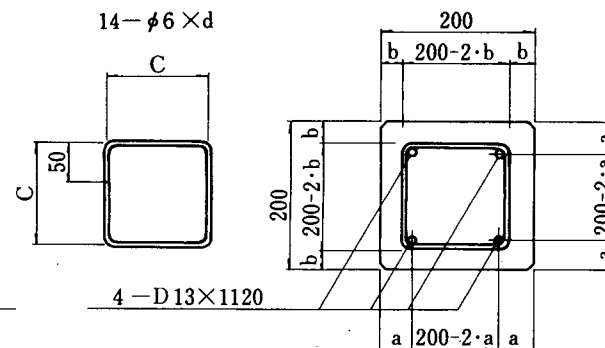
図-1 PC小試験体詳細図

鉄筋かぶり 25mm 58体……①
35 22 ……②
50 10 ……③

側面図



断面図



材料表

種 別	仕 様	単位	数 量 (体当り)			全 数 量			合 計
			①	②	③	①	②	③	
コンクリート		m	0.048	0.048	0.048	2.784	1.056	0.480	4.32
	側 枠	kg	0.480	0.480	0.480				
	端 板	m ²	0.080	0.080	0.080				
	底 板	m ²	0.240	0.240	0.240				
鉄 筋	合 計	m ²	0.800	0.800	0.800				
	SD 30	kg	4.46	4.46	4.46	259	98	45	402
	SR 24	kg	2.11	1.86	1.50	122	41	15	178

数 値 表

	a	b	c	d
①	40	25	144	680
②	50	35	124	600
③	65	50	94	480

鉄 筋 表

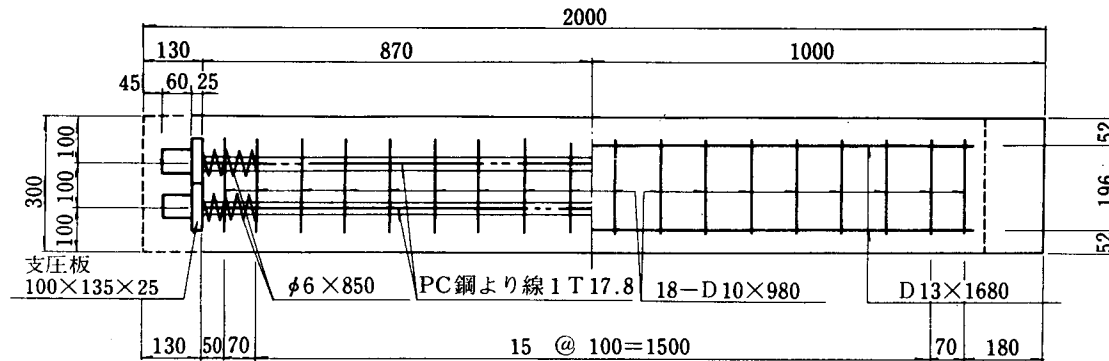
小試験体 番 号	径 (mm)	長 さ (mm)	単位重量 (kg/m)	1本当り重量 (kg/本)	1本当り本数 (本)	重 量 (体当り) kg			全 重 量 (kg)			形 状
						①	②	③	①	②	③	
①	φ 6	680	0.222	0.151	14	2.11			122			□
②	φ	600	〃	0.133	14		1.86			41		□
③	φ	480	〃	0.107	14			1.50			15	□
①②③	D 13	1120	0.995	1.114	4	4.46	4.46	4.46	259	98	45	—
									381	139	60	

セメント かぶり W/C	普通	早 強	高炉B	シリカ スチューム	計
	50%	50%	40%	50%	30%
2.5cm	3	46	3	3	58
3.5cm	18	0	2	0	22
5.0cm	2	2	2	2	10
計	23	48	7	5	90

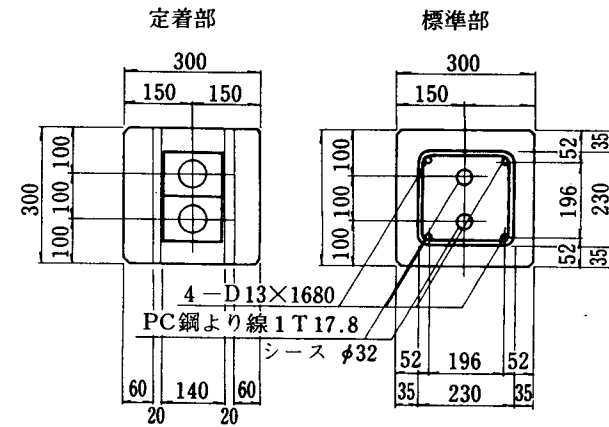
図 - 2 R C 小 試 験 体 詳 細 図

鉄筋かぶり 35mm 6体……①

側面図



断面図



材料表

種 別	仕 様	単 位	数 量 (体当り)			全 数 量			合 計
			①			①			
コンクリート		m ³	0.180			1.1			1.1
PC鋼より線	1 T 17.8	kg	5.75			35			35
シ ー ス	φ 32	m	3.48			20.9			20.9
グラウト	φ 32	m	3.48			20.9			20.9
型 枠	側 枠	m ²	1.20						
	端 板	m ²	0.180						
	底 板	m ²	0.600						
	合 計	m ²	1.98						
定 着 具	1 T 17.8用	組	4			24			24
鉄 筋	SD 30	kg	17.4			104			104

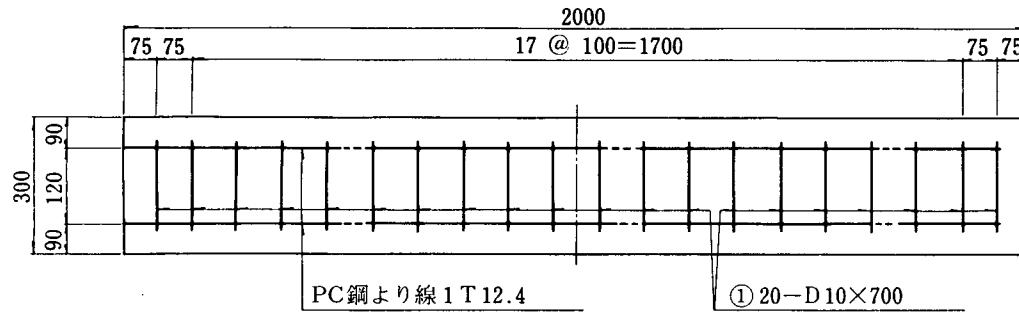
鉄 筋 表

中試験体 番 号	径 (mm)	長 さ (mm)	単位重量 (kg/m)	1本当り重量 (kg/本)	1本当り本数 (本)	重 量 (体当り) kg			全 重 量 (kg)			形 状
						①			①			
①	D 10	980	0.56	0.549	18	9.9			59			□
①	D 13	1680	0.995	1.67	4	6.7			40			—
①	φ 6	850	0.222	0.189	4	0.8			5			W
						17.4			104			

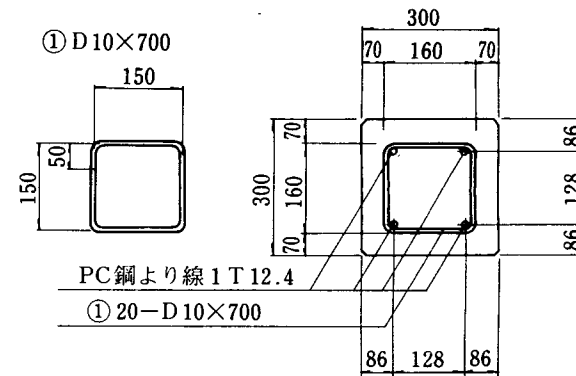
図 - 3 PC 中試験体詳細図

鉄筋かぶり 70mm 4体

側面図



断面図



材料表

種 別	仕 様	単 位	数 量	全数量	備 考
コンクリート		m ³	0.180	0.72	
型 枠	側 枠	m ²	1.20		
	端 板	m ²	0.180		
	底 板	m ²	0.600		
	合 計	m ²	1.980		
PC鋼より線	IT12.4	kg	5.8	23.2	
鉄 筋	SD30	kg	8	32	

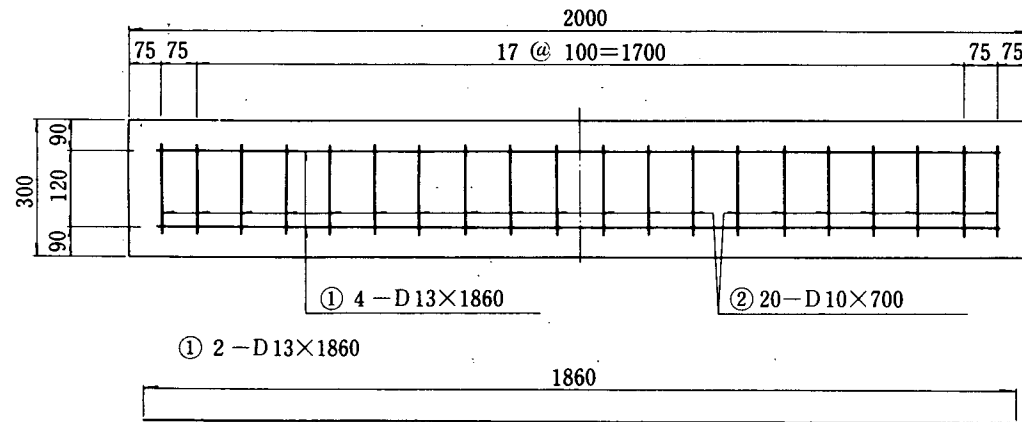
鉄 筋 表

番 号	径(mm)	長 さ (mm)	単位重量 (kg/m)	体当り重量 (kg/本)	本 数 (本)	重 量 (kg)	形 状	備 考
①	D 10	700	0.56	0.392	20	8	□	
8 kg								

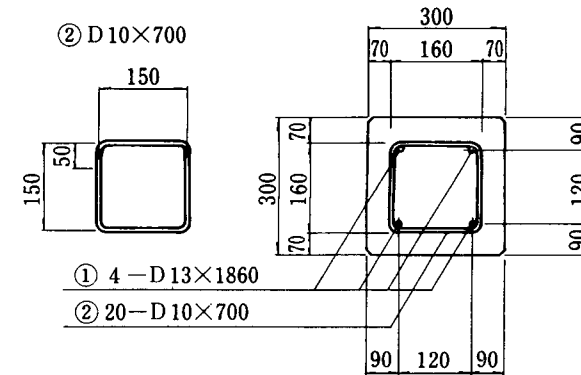
図 - 4 P C 中 試 験 体 詳 細 図

鉄筋かぶり 70mm 6体

側面図



断面図



材料表

種別	仕様	単位	数量	全数量	備考
コンクリート		m ³	0.180	1.08	
型 枠	側 枠	m ²	1.20		
	端 板	m ²	0.180		
	底 板	m ²	0.600		
	合 計	m ²	1.980		
鉄 筋	S D 30	kg	15	90	

セメント W/C かぶり	普通	早 強	高炉B	計
50%	50%	50%		
7.0cm	2	2	2	6

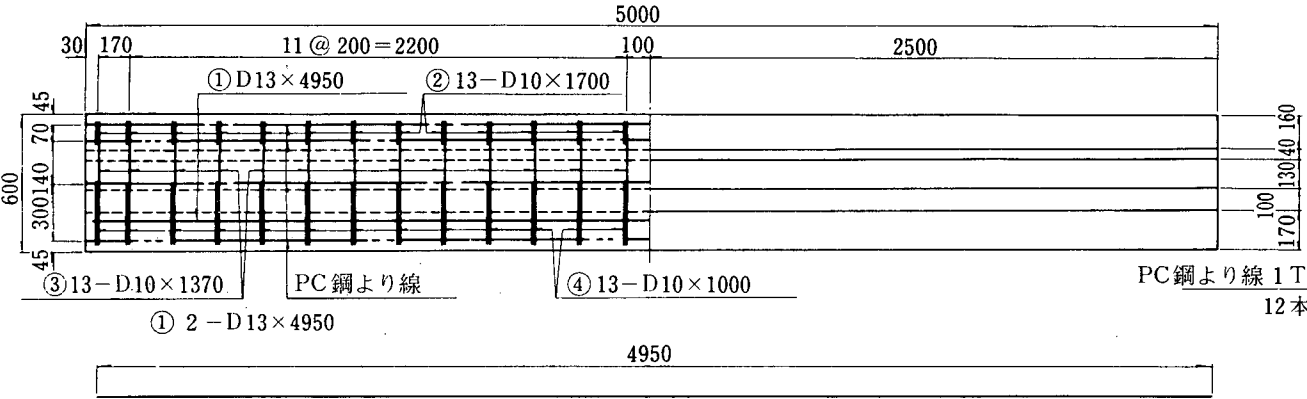
鉄 筋 表

番 号	径 (mm)	長 さ (mm)	単位重量 (kg/m)	体当り重量 (kg/本)	本 数 (本)	重 量 (kg)	形 状	備 考
①	D 13	1860	0.995	1.85	4	7	—	
②	D 10	700	0.56	0.392	20	8	□	
15kg								

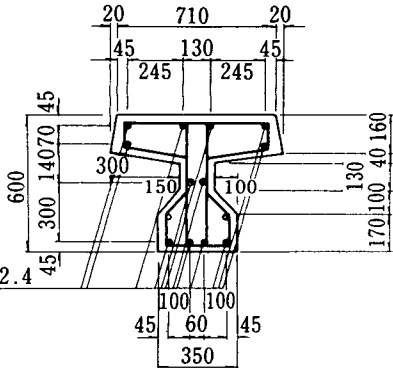
図 - 5 R C 中 試 験 体 詳 細 図

鉄筋かぶり 25mm 3体

側面図



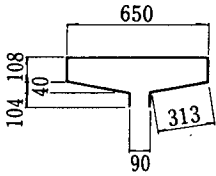
断面図



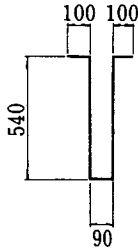
材料表

種別	仕様	単位	数量	備考
コンクリート		m ³	1.19	
PC鋼より線	1 T 12.4	kg	44	
型枠	側板	m ²	9.05	
	端板	m ²	0.478	
	底板	m ²	1.75	
	合計	m ²	11.278	
鉄筋	SD 30	kg	68	

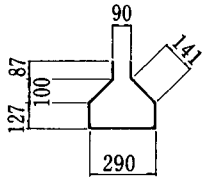
② 26-D10×1700



③ 26-D10×1370



④ 26-D10×1000



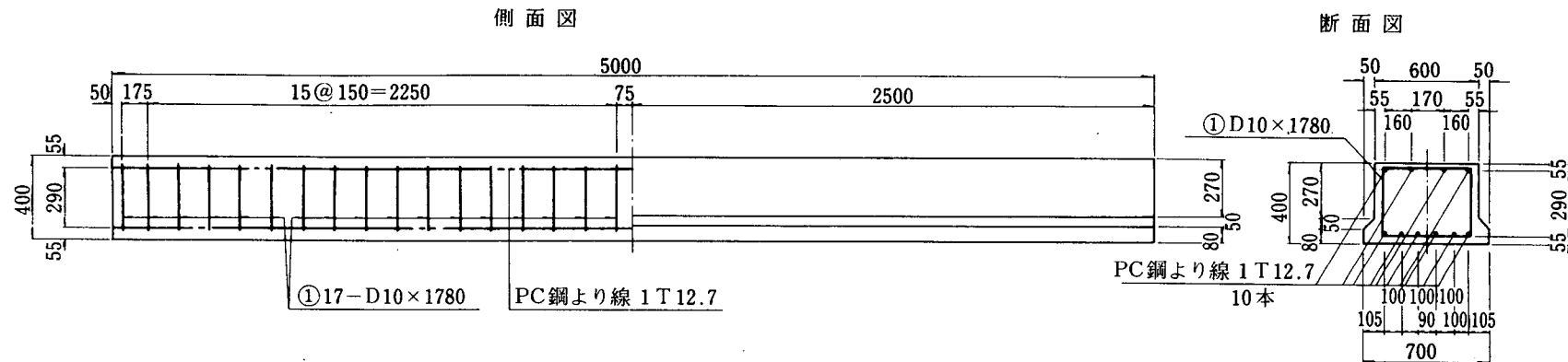
鉄筋表

(1体当り)

番号	径(mm)	長さ(mm)	単位重量(kg/m)	1本当り重量(kg/本)	本数(本)	重量(kg)	形状	備考
①	D 13	4950	0.995	3.96	2	8	—	
②	D 10	1700	0.56	0.952	26	25	ㄟ	
③	〃	1370	〃	0.767	26	20	U	
④	〃	1000	〃	0.560	26	15	△	
68kg								

図 - 6 PC大試験体詳細図 (JIS A 5316 型)

鉄筋かぶり 35mm 1 体



材 料 表

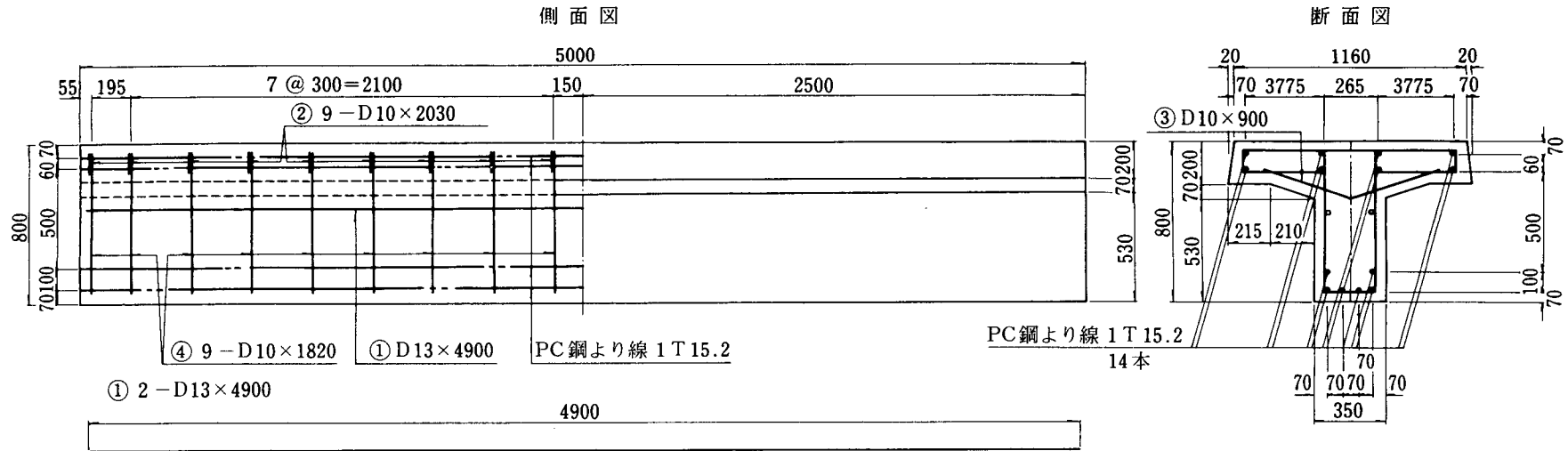
種 別	仕 様	単 位	数 量	備 考
コンクリート		m ³	1.25	
PC鋼より線	1 T 12.7	kg	39	
型 枠	側 枠	m ²	4.21	
	端 板	m ²	0.501	
	底 板	m ²	3.50	
	合 計	m ²	8.211	
鉄 筋	SD 30	kg	34	

鉄 筋 表

番 号	径 (mm)	長 さ (mm)	単位重量 (kg/m)	体当り重量 (kg/本)	本 数 (本)	重 量 (kg)	形 状	備 考
①	D 10	1780	0.56	0.997	34	34	□	

図 - 7 PC 大試験体詳細図 (スラブ型)

鉄筋かぶり50mm 1体



材料表

種別	仕様	単位	数量	備考
コンクリート		m ³	2.30	
PC鋼より線	1 T 15.2	kg	77	
型 枠	側 枠	m ²	5.79	
	端 板	m ²	0.920	
	底 板	m ²	1.75	
	合 計	m ²	8.46	
鉄 筋	SD 30	kg	58	

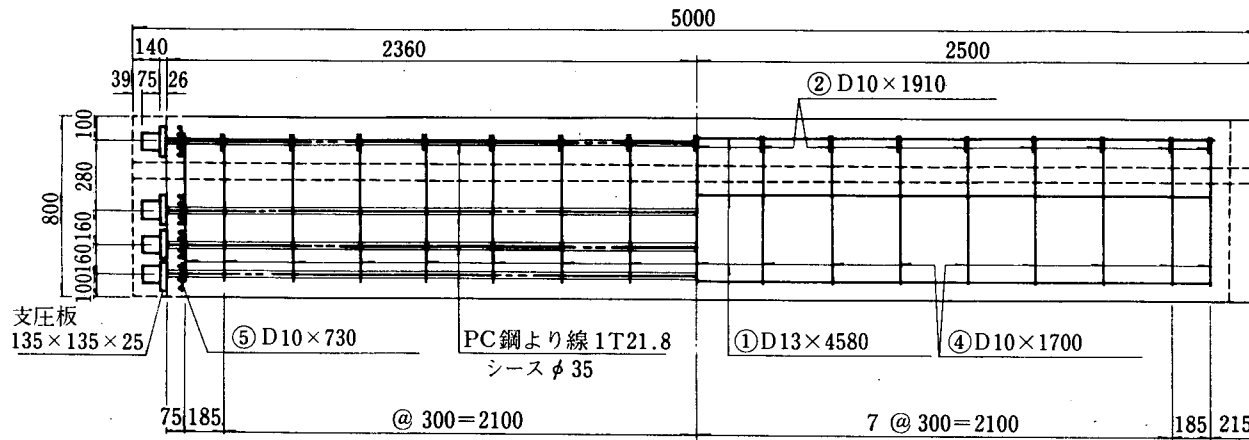
鉄筋表

番 号	径(mm)	長 さ (mm)	単位重量 (kg/m)	1本当り重量 (kg/本)	本 数 (本)	重 量 (kg)	形 状	備 考
①	D 13	4900	0.995	4.88	2	10	—	
②	D 10	2030	0.56	1.14	18	21	□	
③	〃	900	〃	0.504	18	9	∨	
④	〃	1820	〃	1.02	18	18	┘	
58kg								

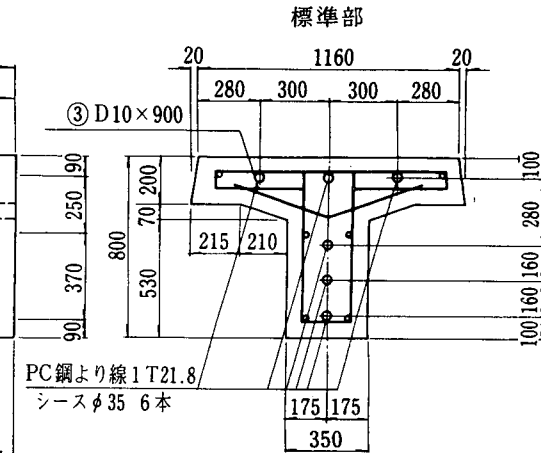
図-8 PC大試験体詳細図 (プレテンション S.T 型)

鉄筋かぶり 70mm 1 体

側面図



断面図



材料表

種別	仕様	単位	数量	備考
コンクリート		m ³	2.30	
PC鋼より線	1 T21.8	kg	114	
シース	φ 35	m	28.3	
グラウト	φ 35	m	28.3	
型 枠	側 枠	m ²	5.79	
	端 板	m ²	0.920	
	底 板	m ²	1.75	
	合 計	m ²	8.46	
定着具	1 T21.8用	組	12	
鉄 筋	SD 30	kg	80	

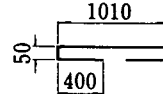
鉄筋表

番号	径(mm)	長さ(mm)	単位重量(kg/m)	1本当り重量(kg/本)	本数(本)	重量(kg)	形状	備考
①	D 13	4580	0.995	4.56	6	27	—	
②	D 10	1910	0.56	1.07	17	18	U	
③	"	900	"	0.504	17	9	U	
④	"	1700	"	0.952	17	16	U	
⑤	"	730	"	0.409	24	10	U	
80kg								

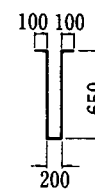
① 6-D13×4580

4580

② 17-D10×1910

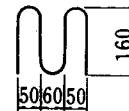


④ 17-D10×1700



③ 17-D10×900

⑤ 24-D10×730



定着部

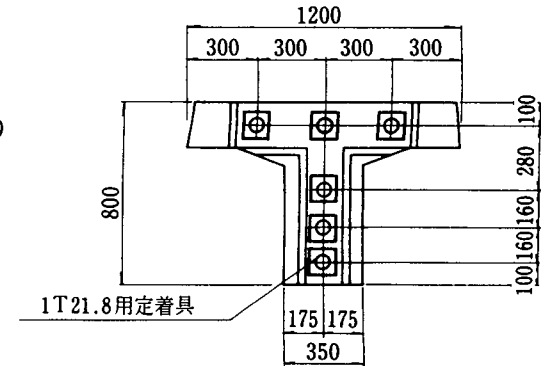


図-9 PC大試験体詳細図 (ポストテンション S.T 型)

5. 暴露試験体の製作

(1) 材 料

コンクリート材料には、次のものを用いた。

1) セメント

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・Bセメント

2) 骨 材

骨材試験成績を表-6に示す。

3) 混 和 材

マイティ-150

高炉セメント試験成績表

種 類		比 重	比表面積 (ブレ方法) (cm^2/g)	凝 結				
				室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 ($\%$)	水 量 ($\%$)	始 発 (h-min)	終 結 (h-min)
B 種		3.05	3,600	20.0	91	28.8	3-05	4-03
JIS R 5211 (1979)	B 種	—	3,000以上	20±3	80以上	—	60min以上	10h以下

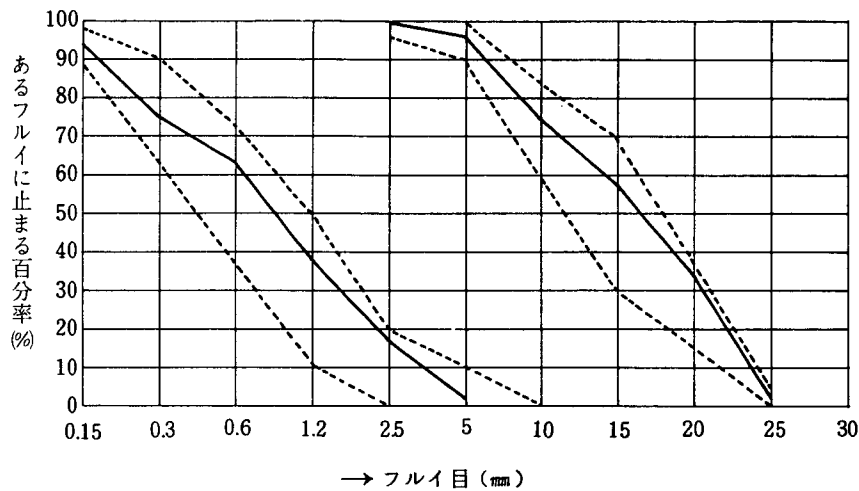
種 類		安 定 性 (煮沸方法)	酸化マグ ネシウム ($\%$)	三 酸 化 硫 黄 ($\%$)	強熱減量 ($\%$)	フロー値 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm^2)		
							3 d	7 d	28 d
B 種		良	3.8	1.5	1.0	268	26	39	69
JIS R 5211 (1979)	B 種	良	6.0以下	4.0以下	3.0以下	—	—	—	—

種 類		圧 縮 強 さ (kgf/cm^2)			養 生 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	
		3 d	7 d	28 d	室 温	水 温
B 種		103	198	406	21	20
JIS R 5211 (1979)	B 種	60以上	120以上	290以上	20±3	20±2

表 - 6 骨材試験成績表

試験項目	比 重	単位重量 (kg/m^3)	実績率 (%)	吸水量 (%)	洗い試験 (%)	有機 不純物
細 骨 材	2.62	1,670	65.0	2.01	2.12	合格
粗 骨 材	2.76	1,674	61.1	0.72	0.64	—

骨材粒度曲線



鋼材には次のものを用いた。

1) 鉄 筋

SR 24 : $\phi 9$

SD 30 : D 6、D 10、D 13

2) PC 鋼材

① PC 鋼より線 直径 9.3 mm

JIS・G・3538、SWPR 7 A

部 材 記 号 B-072~084、085~091、

プレテンション 019~021、054~070、071、

A-007~009、C-001~004、

小 試 験 体 020~021、030~031、

② PC 鋼より線 直径 12.7 mm

JIS・3586-1981

部 材 記 号 C-028

大 試 験 体 プレテンションスラブ型

③ PC 鋼より線 直径 15.2 mm

JIS・G・3536-1981

部 材 記 号 C-029

大 試 験 体 プレテンション ST 型

④ PC 鋼より線

直 径 17.8 mm

部 材 記 号 C-005~008 ポストテンション中試験体

B-092~093 ポストテンション中試験体

⑤ PC 鋼より線

直 径 21.8 mm

部 材 記 号 C-030

大供試体、ポストテンション

(2) コンクリートの配合、養生

コンクリートの配合は、試験練りを行い表-7のように決定した。

又、養生方法は、養生温度 40℃で7時間の高温促進養生を行った(図-10 参照)。

各試験体のコンクリート打込み日を表-8に示す。

表-7 海洋構造物の耐久性向上技術に関する試験体コンクリート配合表

PVP = 3.14
PNP = 3.16
PSPB = 3.05
PS = 2.62 PG = 2.76

セメント種類	配合記号	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 S/a (%)	気温 (℃)	コンクリート温度 (℃)	実測スランブ (cm)	実測air (%)	コンクリートの示方配合表 (kg/m³)						材令 28日の 圧縮強度
								セメント	水	細骨材	粗骨材	マイテイ 150 MT	A E 剤 AER	
普通ポルトランド NP	Case-1	40	38	15	16	6.5	3.6	405	162	667	1,147	405	CC 203	496
普通ポルトランド NP	Case-2	50	42	19	20	6.8	3.5	308	154	780	1,135	308	CC 123	378
早強ポルトランド VP	Case-3	40	38	15	16	6.8	3.5	415	166	659	1,133	415	CC 187	520
早強ポルトランド VP	Case-4	50	42	15	15	6.8	3.8	316	158	772	1,122	316	CC 126	427
高炉B SPB	Case-5	50	42	13	15	8.0	4.0	310	155	774	1,125	310	CC 124	311
早強ポルトランド シリカフェーム	Case-6	33.7	38	19	20	18.0	4.5	415	140	667	1,147	マイクロタイト 41.5	vinscl CC 208	773
早強ポルトランド ポステン $\sigma_{ck} = 40.0$	Case-7	45	39	17	15	6.8	3.6	360	162	699	1,152	360	CC 162	477
早強ポルトランド プレテン $\sigma_{ck} = 50.0$	Case-8	38	40	15	16	6.7	3.4	420	158	713	1,123	420	CC 294	526

表-8 暴露試験体製造工程

		4/9 (月)	4/10 (火)	4/11 (水)	4/12 (木)	4/13 (金)	4/14 (土)	4/16 (月)	4/17 (火)	4/18 (水)	4/19 (木)	4/20 (金)
小 試 験 体	普通ポルト w/c=40% プレテン							プレ2.5cm3本 ^(A001) プレ3.5cm2本 ^(A003) プレ5.0cm2本 ^(A016) プレ5.0cm2本 ^(A017)				
	普通ポルト w/c=50% RC						RC 3.5cm 18本 (C 009 ~ C 024) (A 018, A 019)			RC2.5cm3本 ^(A004) RC5.0cm2本 ^(A006) RC5.0cm2本 ^(A028) RC5.0cm2本 ^(A029)		
	早強ポルト w/c=40% プレテン・RC		プレテン2.5cm20本 (B019 ~ B021) (B054 ~ B070)	プレテン2.5cm8本 B071 A007 ~ A009 C001 ~ C004 プレテン3.5cm2本 (A 020, A 021) RC 2.5cm 8本 (B 034 ~ B 041)	RC 2.5cm 6本 (B 022 ~ B 027)	RC 2.5cm 12本 (B 042 ~ B 053) RC 2.5cm 6本 (B 028 ~ B 033) RC 2.5cm 2本 (B)		プレテン5.0cm 2本 (A 030, A 031)	RC 2.5cm 10本 (B 001 ~ B 010) ※ 塗装鉄筋	RC 2.5cm 6本 (B 013 ~ B 018) ※ 塗装鉄筋		
	早強ポルト w/c=50% RC							RC2.5cm3本 ^(A010) RC3.5cm2本 ^(A012) RC5.0cm2本 ^(A022) RC5.0cm2本 ^(A023) RC5.0cm2本 ^(A032) RC5.0cm2本 ^(A033)				
	高炉 B w/c=50% RC										RC2.5cm3本 ^(A013) RC3.5cm2本 ^(A015) RC3.5cm2本 ^(A024) RC5.0cm2本 ^(A025) RC5.0cm2本 ^(A034) RC5.0cm2本 ^(A035)	
	シリカフューム w/c=30% RC									RC 2.5cm 3本 ^(D001) RC5.0cm2本 ^(D003) RC 2.5cm 3本 ^(D004) RC5.0cm2本 ^(D005)		
中 試 験 体	普通ポルト w/c=40% プレテン						プレテン7.0cm2本 (A 036, A 037)					
	普通ポルト w/c=50% RC									RC 7.0cm 2本 (A 038, A 039)		
	早強ポルト w/c=40% プレ・ボス				ボステン 3.5cm 4本 (C 005 ~ C 008)		プレ 7.0cm 2本 (A 040, A 041)		ボス 3.5cm 2本 (B 092, B 093) ※ 塗装鉄筋・ ポリシース			
	早強ポルト w/c=50% RC							RC 7.0cm 2本 (A 042, A 043)				
	高炉 B w/c=50% RC										RC 7.0cm 2本 (A 044, A 045)	
大 試 験 体	早強ポルト w/c=50% プレテン						プレ5316型1本 (C 025)	プレ5316型1本 (C 026)	プレ5316型1本 (C 027)	プレCT型1本 (C 029)	プレスラブ1本 (C 028)	
	早強ポルト w/c=40% ボステン				ボステンST型1本 (C 030) T218							

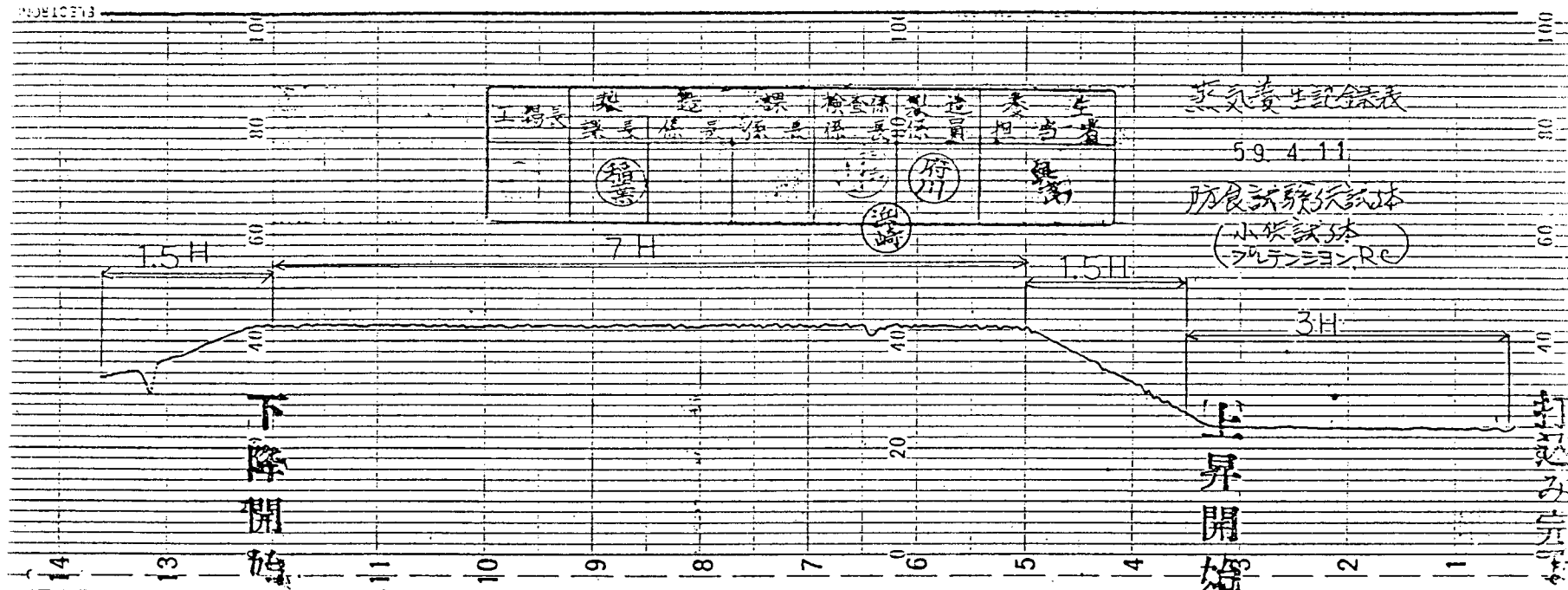


図-10 蒸気養生記録表

(3) 試験体の製造

試験体は、昭和58年5月から6月までの1ヶ月間に製作された。

(4) コンクリート塗装および含浸（塗装）処理

コンクリート塗装および含浸（塗装）処理は、コンクリート塗装を15塗装系、含浸（塗装）処理は7塗装系の合計22種類について行った。詳細については表-9に示す。

表-9 昭和58年度に用いたコンクリート塗装

	種 別	塗 装 系 統	メーカー名	第 1 層	パテ、下地処理	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	塗装回数	試験体番号
コン ク リ ー ト 塗 装	A 種	エポキシ系	A	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 必要量	エポキシ樹脂塗料中塗 260g/m ² 60μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² 30μ			3	19, 20, 21
		柔軟型エポキシ系	B	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 100g/m ²	柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗 230g/m ² 60μ	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料 上塗 125g/m ² 30μ			3	22, 23, 24
		柔軟型ポリウレタン系	C	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 300g/m ²	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料 中塗 260g/m ² 60μ	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料 上塗 120g/m ² 30μ			3	25, 26, 27
		厚膜型エポキシ系	B	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 100g/m ²	厚膜型エポキシ樹脂塗料中塗 780g/m ² 350μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 125g/m ² 30μ			3	28, 29, 30
		ビニルエステル系	C	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 300g/m ²	厚膜型ビニルエステル樹脂塗 料中塗 1,000g/m ² 350μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² 30μ			3	31, 32, 33
	その他の 塗装 (次世代) 塗装	超厚膜型エポキシ系	B	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 100g/m ²	超厚膜型エポキシ樹脂塗料中 塗 2,000g/m ² 1,000μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 125g/m ² 30μ			3	34, 35
		超厚膜型ウレタン系	A	湿気硬化型ポリウレタン 樹脂プライマー100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 必要量	超厚膜型ポリウレタン樹脂塗 料中塗 850g/m ² 500μ	同 左 850g/m ² 500μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² 30μ		4	36, 37
		超柔軟型ウレタン系	B	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 100g/m ²	超柔軟型ポリウレタン樹脂塗 料中塗 240g/m ² 60μ	超柔軟型ポリウレタン樹脂塗 料上塗 120g/m ² 30μ			3	38, 39
		変性エポキシ系	A	エポキシ樹脂プライマー 100g/m ²	エポキシ樹脂パテ 必要量	特殊エポキシ樹脂塗料中塗 920g/m ² 500μ	同 左 920g/m ² 500μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² 30μ		4	40, 41
		セメント系	D	アクリルモノマープライマー 3回塗 100g/m ² ×3回	ポリマーセメント 800g/m ² 500μ	ウレタン樹脂塗料下塗 200g/m ² 25μ	シリコン樹脂塗料中塗 500g/m ² 200μ	同 左 500g/m ² 200μ	シリコン樹脂塗料上塗 200g/m ² 50μ	7	42, 43
		特殊ポリウレタン系	E	ウレタン系シーラー 500g/m ²		二液型ポリウレタン塗料中塗 4,000g/m ² 2,000μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 150g/m ² 40μ			3	44, 45
		シリコンゴム系	F	変成アルキルシリコン系 160g/m ²		SBR系セメントペースト 1,200g/m ² 1,000μ	変成シリコン塗料上塗 1,020g/m ² 600μ			3	46, 47
		アクリルゴム系	G	塩化ゴム系樹脂下塗 2回塗 200g/m ² ×2回	アクリルゴム系樹脂パテ 必要量	アクリルゴム系樹脂中塗 1,000g/m ² 600μ	同 左 1,300g/m ² 700μ	ウレタン系樹脂上塗 200g/m ² 40μ	同 左 200g/m ² 40μ	6	48, 49
		無機系	B	無機質プライマー 80g/m ²	エポキシ樹脂パテ 100g/m ²	無機質塗料中塗 150g/m ² 30μ	無機質塗料上塗 150g/m ² 30μ			3	50, 51
		有機無機複合系	C	有機無機複合塗料用 プライマー 100g/m ²	有機無機複合塗料用 パテ 300g/m ²	有機無機複合塗料中塗 1,000g/m ² 400μ	ポリウレタン樹脂塗料上塗 120g/m ² 30μ			3	52, 53
含 浸 処 理	含浸系塗装	シリコン系	H	変成アルキルシリコン 樹脂 90g/m ²		同 左 90g/m ²	同 左 90g/m ²	同 左 90g/m ²	同 左 90g/m ²	5	54, 55, 56
		アクリル系	I	アクリル樹脂ステアリン 酸金属塩 240g/m ²		同 左 240g/m ²	特殊アクリル樹脂 270g/m ²			3	57, 58, 59
		シリコン系	G	シリコン化合物 150g/m ²		同 左 150g/m ²	湿気硬化型ウレタン樹脂 150g/m ²	同 左 150g/m ²		4	60, 61, 62
		有機無機複合系	G	有機無機複合プライマー 140g/m ²		同 左 140g/m ²	有機無機複合塗料 200g/m ²			3	63, 64, 65
		アクリル系	D	アクリルモノマープライマー 100g/m ²		同 左 100g/m ²	フッ素化アクリル樹脂 100g/m ²			3	66, 67, 68
		ビニルエステル系	J	脂肪酸スチロール樹脂 230g/m ²		同 左 160g/m ²	同 左 90g/m ²	アクリル樹脂 160g/m ²		4	69, 70, 71
		ポリエステル系	K	変成ポリエステル共重 合樹脂 40g/m ²		同 左 40g/m ²	特殊変性ポリエステル共重 合樹脂 80g/m ²	同 左 80g/m ²		4	94, 95, 96



塗装処理後

6. 暴露試験テストピースの製作

(1) 目的

この試験は、暴露試験試験体の補助的役割（塩分浸透深さ、圧縮強度の経年変化）を果たすとともに、自然環境暴露試験と促進試験との相関関係の把握、コンクリート塗装の長期劣化等を調査しようとするものである。

(2) 塩分浸透試験用テストピース

このテストピースは、暴露試験試験体では把握し難い、塩分浸透深さおよびコンクリートの圧縮強度の経年変化の有無を把握しようとするものである。

この試験に用いるテストピースは $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ とし、試験年は1, 2, 3, 5, 10年の5回とする。

試験要因、水準を表-10に示す。

また、テストピースの配置を図-11に示す。

表-10 塩分浸透試験の要因・水準

No	セメント	水セメント比	表面処理	製作本数	備考
1	普通	50%	無処理	15	
2	早強	40%	無処理	15	
3	"	"	含浸(1)	15	
4	"	"	含浸(2)	15	
5	高炉B	50%	無処理	15	
6	早強 + シリカフェーム	30%	無処理	15	

テストピースは3本/試料とする。

(3) 透水試験用テストピース

このテストピースは、コンクリート塗装および含浸系塗装の長期劣化度測定の一環として、背面透水試験を行うものである。

この試験に用いるテストピースは、 $\phi 150 \times 40$ mmのモルタルテストピースとし、試験年は0、2、5年の3回とする。

試験要因・水準を表-11に示す。

表-11 背面透水試験の要因・水準

№	表面処理	製作枚数	備考
1	A 種 塗 装	6	
2	B 種 塗 装	6	
3	含 浸 系 塗 装 (1)	6	
4	" (2)	6	
5	" (3)	6	
6	" (4)	6	
7	" (5)	6	
8	無 処 理	6	比 較 用

テストピースは2枚/試料とする。配合は1：3モルタルとする。

(4) 促進試験用テストピース

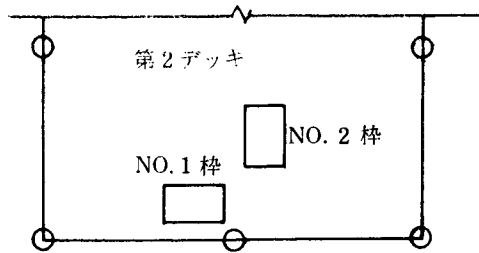
このテストピースは、自然環境と促進試験との相関関係を把握するために塩分浸透深さ試験を実施するものである。

この試験に用いるテストピースは、 $200 \times 200 \times 200$ mmの直方体とする。

試験要因・水準を表-12に示す。

表-12 促進試験の要因・水準

№	セメント	水セメント比	表面処理	製作本数	備考
1	早 強	40 %	含 浸 (1)	4	
2	"	"	" (2)	4	
3	"	"	" (3)	4	
4	"	"	" (4)	4	
5	"	"	" (5)	4	
6	"	"	" (6)	4	
7	"	"	無 処 理	4	比 較 用
8	早強+シリカフェューム	30 %	無 処 理	4	マイクロタイト



テストピース枠配置 (図-2.4.1に対応)

各テストピースは $\phi 150 \times 300$

15本/試料

テストピース $\phi 150$ 2枠

上 段

下 段

透水試験用テストピースは $\phi 150 \times 40$

4枚/試料

土 研 テ ス ト ピ ー ス 15 本	空 (予 備)	(1)	(4)
		15本	15本

テストピース $\phi 150$ 1枠

上
段

普通セメント 5本		早強セメント 5本	
B 種	A 種	ブランク	F
E	D	B	A
高炉B種 5本		早強+シリカフェーム 5本	

透水試験用テストピース (各4枚)

記号 B 種: 塗膜系塗装B種

A 種: " A種

ブランク: 無 処 理 (比 較 用)

F : 含浸系塗装 (1)

E : " (2)

D : " (3)

B : " (4)

A : " (5)

下
段

普通セメント 50% 10本		早強セメント 40% 10本	
高炉B種 50% 10本		早強+シリカフェーム 10本	

図-11 テストピース配置

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
究報告書

要 旨

ISSN 0386-5878
共同研究報告書第77号
平成4年6月(1992)

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

海洋環境下でも特に腐食条件が厳しい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、各種の塩害対策を施したコンクリート供試体を実海域(海洋技術総合研究施設)に暴露して防食効果を調査した。

暴露試験における主な研究項目は次の通りである。

- 1) コンクリートの防食技術の基本。
- 2) コンクリートの鋼材の防食技術。
- 3) 耐海水コンクリート部材の設計技術。

暴露期間6年経過後の調査結果、外観観察では一部のコンクリート供試体に剥離や角かけが生じたものもあるが、損傷程度としては軽微であった。しかし、コンクリート中の塩化物を分析した結果、その中にはかなりの濃度の塩化物の浸透が認められた。なお、表面被覆したものはコンクリート中への塩分浸透がほとんど認められず、遮塩効果が良好であった。また、コンクリート解体調査の結果では、かぶり3cmの鉄筋及びプレストレスト・コンクリート中の鋼材には、さびが生じていなかった。

キーワード: 海洋環境, 塩害, 暴露試験, 防食技術, 表面被覆材, 含浸系塗装, コンクリート供試体, 鉄筋コンクリート, プレストレスト・コンクリート

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地質化学部化学研究室
行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

共同研究報告書第 77 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印