

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

(飛沫帯におけるコンクリート構造物の
防食技術に関する研究 第2分科会)

— 暴露期間10年後の研究成果 —

平成7年12月

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

Copyright ©1995 by P.W.R.I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, 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。

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

(飛沫帯におけるコンクリート構造物の
防食技術に関する研究 第2分科会)

—暴露期間10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

材料施工部 新材料開発研究官 片 脇 清

〃 化学研究室 室 長 坂 本 浩 行

〃 〃 研究員 佐々木 厳

社団法人 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の部材の設計技術。

暴露期間10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剝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、コンクリートの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が浸透し、内部鉄筋の腐食も一部認められた。

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。

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定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。

研究本制としては、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。

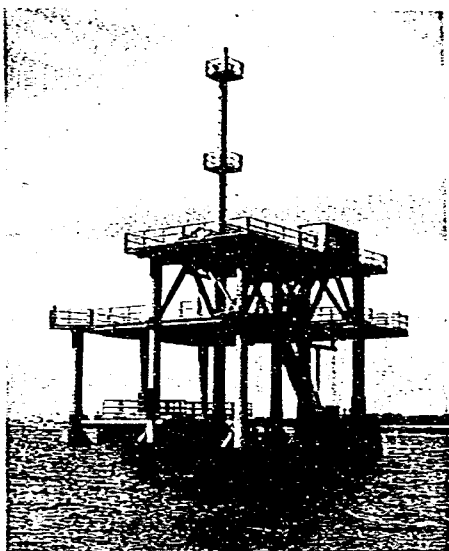
研究内容は、海洋環境下でも特に腐食条件が厳しいと言われている飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術の確立を目的に実施するもので、これらの主な研究項目は次の通りである。

- 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

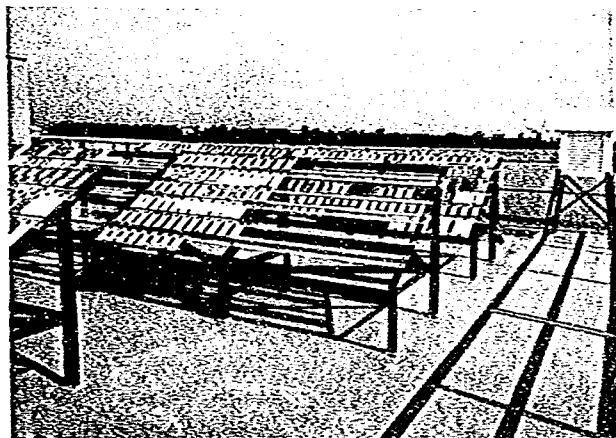
これらの研究成果は、海洋環境におけるコンクリート構造物の防食設計技術基準等の参考資料として利用することを目的としている。

本研究は、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10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10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取りまとめを行ったものである。

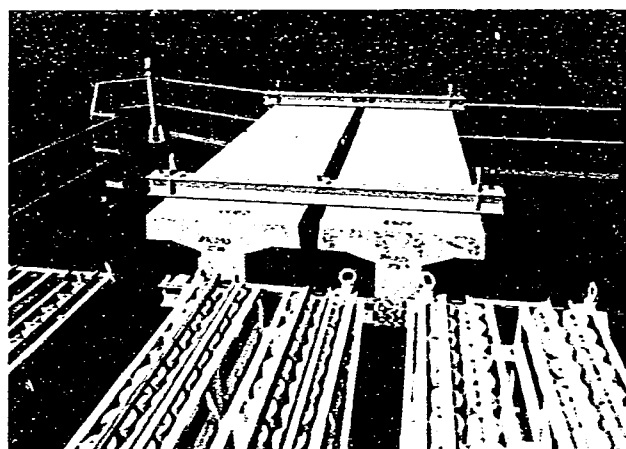
さらに、これらの結果をもとに、今後の計画全体の見直しを図って行くことにしている。



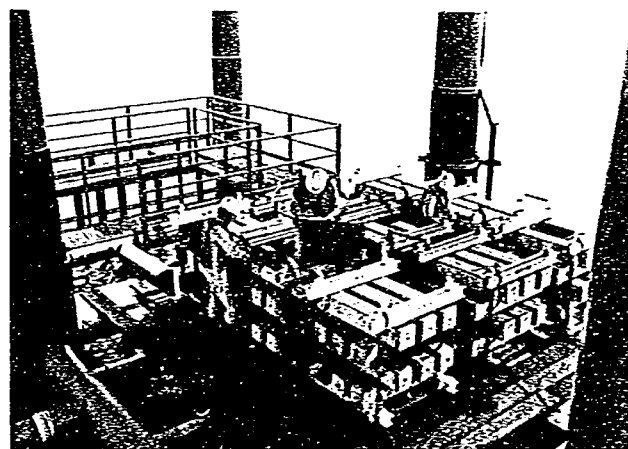
海洋技術総合研究施設の全景



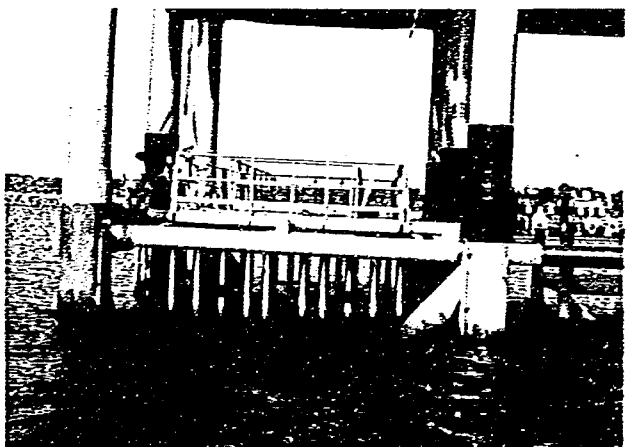
第一デッキ（長期防錆型塗装）



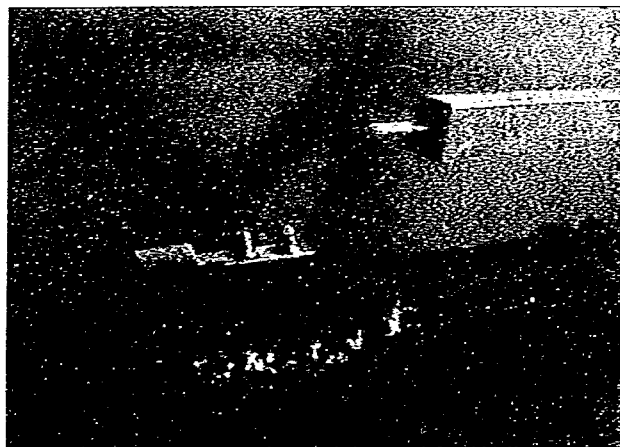
第二デッキ（コンクリート中鋼材の防食）



第三デッキ（塗覆装、コンクリート中鋼材の防食）



飛沫・干満部（塗覆装、高耐蝕性金属被覆）



海中部（アルミニウム合金陽極）

目 次

まえがき

1. 研究目的及び研究開始の経緯	1
1.1 研究目的	1
1.2 官民共同研究開始の経緯と進め方	1
1.3 海洋技術総合研究施設設置までの経緯	5
2. 暴露試験場及び暴露試験体	7
2.1 海洋技術総合研究施設の場所	7
2.2 暴露試験体	10
3. 調査項目及び調査方法	15
4. 調査結果及びまとめ	20
4.1 外観調査	20
4.2 自然電位分布による鋼材の腐食調査結果	33
4.3 塩分量の測定	46
4.4 内部鉄筋の腐食状況	58
4.5 塗膜劣化状況調査	59
4.6 中性化深さ、塩分浸透深さ、圧縮強度試験	60
4.7 全細孔径容積・ほか	64

あとがき

1. 研究目的及び研究開始の経緯

1. 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 P C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。

1. 2 官民共同研究開始の経緯と進め方

1. 2. 1 共同研究開始の経緯

(1) 科学技術庁の研究計画

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

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

(2) 建設省土木研究所の研究計画

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

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

共同研究の実施機関は、次のとおりである。

(官側) 建設省土木研究所

(民側) 社団法人鋼材倶楽部

社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会

財団法人土木研究センター

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

共同研究は、当面20年間を目途としているが、社会情勢の変化、試験内容の進化等が予想されるので、差当り昭和58年度（1983）から10年間の研究計画を策定している。

(3) 共同研究の目的

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

(4) 共同研究の名称と分担

共同研究の名称は「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」。また共同研究の研究項目別の分担等を表1. 1に示す。

表1. 1 共同研究課題と分担

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

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

1. 2. 2 共同研究の進め方

(1) 共同研究の運営体制

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

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

- ① 防錆防食技術開発委員会（開発委員会）
 - ・ 研究計画の審議
 - ・ 研究成果報告の審議
- ② 共同研究連絡調整会議（連絡調整会議）
 - ・ 研究運営の連絡調整
- ③ 共同研究分科会（第一、第二、第三の3分科会とする。）
（各分科会内で、さらに組織を分けることがある。）
 - ・ 研究計画の原案作成
 - ・ 研究の実施
 - ・ 研究報告書の原案作成
- ④ 共同研究事務局
 - ・ 土木研究センター内に設置
 - ・ 委員会、連絡調整会議の開催
 - ・ 委員会資料等の作成
 - ・ 共同研究報告書の取り纏め作成

(2) 分科会の構成

- ① 第一分科会：土木研究所、鋼材倶楽部で構成される。
第一分科会にワーキンググループを編成し、1WGは耐蝕性金属材料部門、2WGは高分子系塗覆装防食材部門としている。
- ② 第二分科会：土木研究所、プレストレスト・コンクリート建設業協会で構成される。
- ③ 第三分科会：土木研究所、土木研究センターで構成し、電気防食部門と塗料部門に分ける。

(3) 防錆防食技術開発委員会（平成6年度）

委員長	浅間 達雄	財団法人土木研究センター参与
副委員長	蒔田 實	財団法人土木研究センター参与
委員	岡崎 治義	建設省土木研究所材料施工部長
々	片脇 清	建設省土木研究所新材料開発研究官
々	坂本 浩行	建設省土木研究所化学研究室長
々	久我 昂	社団法人鋼材倶楽部土木専門委員会委員長
々	清水 健次	社団法人鋼材倶楽部市場開発部長

委員 津野 和男 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会
耐久性技術委員会委員長

々 武藤 徳一 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会 専務理事

々 田中柳之助 財団法人土木研究センター顧問

々 小林 豊治 財団法人土木研究センター技術委員

々 佐藤 靖 財団法人土木研究センター技術委員

々 森 芳徳 財団法人土木研究センター常任参与調査試験部長

(4) 共同研究連絡調整会議（平成6年度）

久我 昂 社団法人鋼材倶楽部（新日本製鐵（株）建材技術開発部担当部長）

伊藤 陽一 々 （新日本製鐵（株）鉄構研究所表面処理研究部主任研究員）

清水 義明 々 （NKK総合材料研究所京浜材料研究センター主幹）

栗栖 孝雄 々 （川崎製鐵（株）エンジニアリング事業部鋼構造研究所主査）

塩谷 千歳 々 （住友金属工業（株）建設技術部東京土木建材技術室参事）

中家 俊和 々 （関西ペイント（株）技術開発本部第四部係長）

田邊 弘往 々 （大日本塗料（株）技術本部基礎研究部副参事研究員）

海野 武人 々 （ナカボーテック（株）技術開発研究所研究管理部）

三浦 正美 々 （（社）鋼材倶楽部市場開発部土木開発課長）

太田 稔 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会（（株）ピー・エス 第一営業部長）

武藤 徳一 々 専務理事

町田 武 々 （（株）ピー・エス メンテナンス室長）

田中柳之助 財団法人土木研究センター顧問

森 芳徳 々 常任参与調査試験部長

戸村 壽一 々 （ナカボーテック（株）取締役業務本部長）

福島 稔 々 （日本ペイント（株）品質保証部長）

坂本 浩行 建設省土木研究所材料施工部化学研究室長

(5) 共同研究第2分科会の構成（昭和58年度～平成6年度）

（敬称略、順不同）

主査	津野 和夫	（社）フルスト・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）フルスト・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	元建設省土木研究所企画部橋梁計画官
〃	片脇 清	建設省土木研究所材料施工部新材料開発研究官
〃	小林 茂敏	元建設省土木研究所地質化学部長
〃	河野 広隆	建設省土木研究所材料施工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
〃	藤原 稔	前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）フルスト・コンクリート建設業協会専務理事
〃	太田 稔	（社）フルスト・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	建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
幹事	高橋 弘人	前建設省土木研究所材料施工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
〃	佐々木 厳	建設省土木研究所材料施工部化学研究室研究員
〃	町田 武	（社）フルスト・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）フルスト・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）フルスト・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）フルスト・コンクリート建設業協会耐久性技術委員会幹事

1. 3 海洋技術総合研究施設設置までの経緯

1. 3. 1 海洋技術総合研究施設計画の経緯

昭和56年度から、科学技術庁が関係各省参加のもとに開始した「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として、分担担当することとなった建設省土木研究所化学研究室では、研究課題「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術」の研究を開始するため、海洋暴露試験施設の設置を検討しその適地の選考が開始された。

また、建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所では、駿河海岸や富士海岸で海岸浸食や高波による災害防止のための海岸保全事業を実施しており、特に駿河海岸では海岸浸食が激しいため、浸食の機構と防止工法等のための調査が必要であるとの判断で、そのための観測施設を必要としていた。

したがって、暴露試験用の施設としてのみならず総合的に海域の自然条件を調査し、沿岸の防災にも役立つ施設となる海洋技術総合研究施設として、計画された。

1. 3. 2 研究項目

第1に、海上の風、波浪、潮流、水質、地形、地質など自然条件を明らかにするための観測とその実態把握がある。

第2に海岸の防災に関する項目がある。これは、海岸への土砂供給の現象、海浜変形等への対策用として、漂砂現象の解明等海岸浸食防止対策工法の開発のための研究である。

第3に構造物の安定性や使用材料の耐久性に関する項目がある。これは、海洋空間や資源利用のため海洋構造物が建設されるが、安定性に関しては強大な波力に抵抗できる構造形式や疲労が問題であり、耐久性に関しては鋼やコンクリート構造物の腐食が問題とされ、これらの技術開発用研究が必要である。

計画時に検討された主要な研究項目は、次のとおりである。

- (1) 海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究
- (2) 自然環境条件の調査
- (3) 海岸浸食対策に関する調査研究
- (4) 海岸構造物の安定性に関する調査研究

1. 3. 3 海洋技術総合研究施設の建設地点

上述の研究を推進するための適地の選定にあたり、大井川町、大井川漁業組合の理解と協力を得て、駿河海岸の静岡県志太郡大井川町高新田地先（沖合）を設置地点と決定した。

2. 暴露試験場及び暴露試験体

2. 1 海洋技術総合研究施設の場所

(1) 施設の位置は、駿河海岸の静岡県志太郡大井川町高新田地先（沖合）である。

設置地点汀線付近は、勾配 1/10 で比較的きついが、水深 5 m より沖では海底勾配 1/80 と緩い。
また、しらす漁に支障ないよう海岸線から約 250m 沖合、水深 7.5m の位置に設置するよう計画された。東経 138° - 18' - 55"、北緯 34° - 47' - 17" の地点である。

(2) 本研究は、駿河湾大井川町の沖合約 250m に設置されたこの海洋技術総合研究施設（図 - 2. 1）を利用して行った。

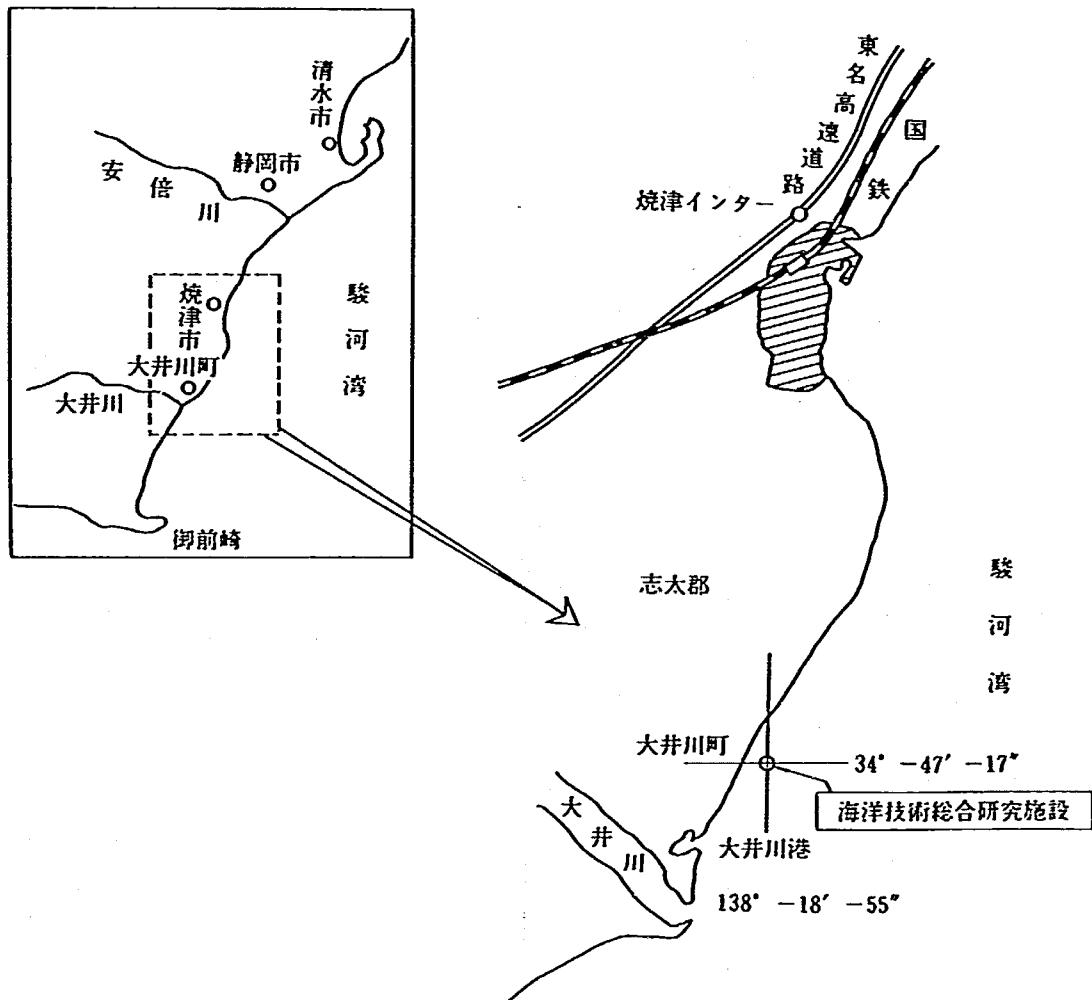
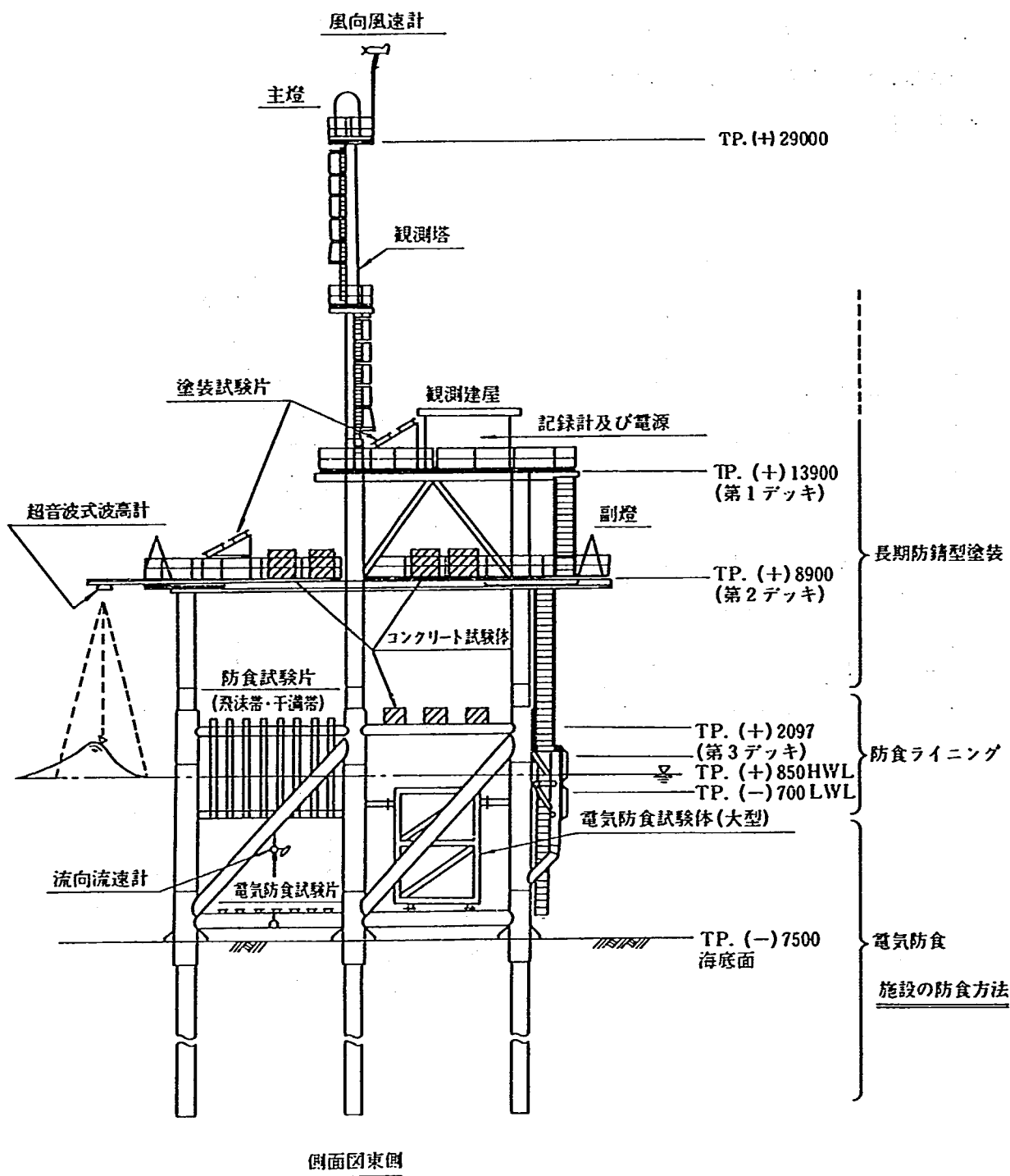


図 - 2. 1 海洋技術総合研究施設位置図

(3) 本施設は（図－2. 2、写真－2. 1）、昭和57年度、建設省土木研究所から製作発注され、昭和58年度に完成した。その後、本施設は、建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所に所管替えとなったので、維持管理は、同工事事務所が行っている。施設の諸元を表－2. 1に示す。

コンクリート試験体は、本施設の第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－2. 2に示す。



図－2. 2 海洋技術総合研究施設（海洋暴露試験施設）

表-2. 1 海洋技術総合研究施設諸元

項 目	諸 元
第1 デッキ	高さT. P. +13.9m、面積 189㎡ (10.5m×18.0m)
第2 デッキ	高さT. P. + 8.9m、面積 255㎡ (15.0m×15.0m+4.0m×7.5m)
第3 デッキ	高さT. P. + 2.0m、面積 56.25㎡ (7.5m×7.5m)
海底面標高	深さT. P. -7.50m
気象観測用張出し	第2 デッキに3箇所
荷揚げ用張出し	第2 デッキに1箇所
観測タワー	第1 デッキに上面から、高さ13.1m
観測建屋	第1 デッキ上、10.7㎡ (4.5m×2.38m)
設計条件	鋼管杭基礎 (9本) を有するジャケット構造 HWL : T. P. +0.85m MS L : T. P. +0.15m LWL : T. P. -0.7m 海底面土質 : 砂質土 潮流 : 0.5m/s、設計波高 : $H_{max}=7.7m$ 床荷重 : 第1デッキ : 400kg/㎡、第2デッキ : 356kg/㎡、第3デッキ : 356kg/㎡
本体防錆防食法	海上大気部 : 長期防錆型塗装 飛沫干満部 : 重防食塗覆法 海中部 : アルミニウム合金陽極使用電気防食法 (一部重防食塗覆装と併用) (これらの防錆防食法は、試験の一部とする。)
施工条件	製作工場 (北九州) より海上運搬→ジャケット据付け→鋼管杭打設・固定 →デッキ (上部鋼構造物) 搭載・固定→各種装備→完成

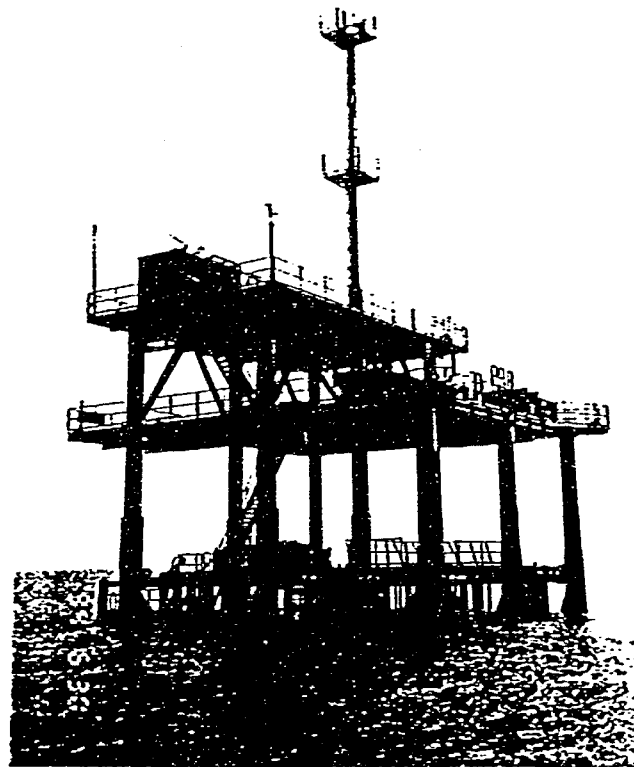
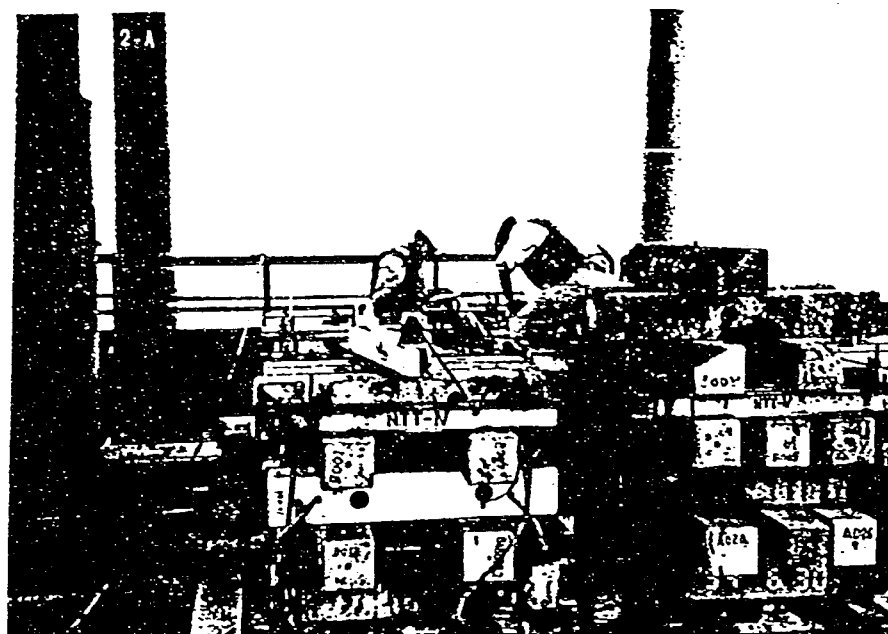


写真-2. 1 海洋技術総合研究施設



写真－ 2. 2 コンクリート供試体の暴露状況

2. 2 暴露試験体

調査項目と試験体の関係を表－ 2. 2 に、試験体の種類を表－ 2. 3 に、試験体一覧表を表－ 2. 4 に示す。

又、研究施設へ試験体の配置を図－ 2. 3 ～ 2. 4 に示した。

表-2. 2 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		小ブレ、小RC、中ブレ、中RC
自然電位分布測定		小ブレ、小RC、中ブレ、中ポスト、中RC、大ブレ
塩分の測定	塩分量	小ブレ、小RC、中ブレ、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		小ブレ、小RC、中ブレ、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		小ブレ、小RC
透水性試験		円盤供試体

表-2. 3 試験体の種類

種 類		略 称	数 量	形状寸法 単位：mm	系 ①②
プレテンション方式小試験体		小ブレ	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		中ブレ	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	大ブレ	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) ※(I)① 基準系：表-2. 4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-2. 4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-2. 4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)、
試験体に明ら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-2. 4 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						
			2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年						
基準系試験体	小	25 cm	A001	A002	A003	A004	A005	A006	A007	A008	A009	A010	A011	A012	A013	A014	A015						
		35 cm		A016	A017		A018	A019		A020	A021		A022	A023		A024	A025						
		50 cm		A026	A027		A028	A029		A030	A031		A032	A033		A034	A035						
	中	70 cm		A036	A037		A038	A039		A040	A041		A042	A043		A044	A045						
			プレ			RC			プレ			RC			RC								
防食処理系試験体	塗装	粉体樹脂塗装	1							B001	B002												
			2							B003	B004												
			3							B005	B006												
		亜鉛めっき								B007	B008												
										B009	B010	小RC											
	鉄筋	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	A種	エポキシ							B019	B020	B021	小プレ									
				B種	1 柔軟エポ							B022	B023	B024									
2 柔軟ウレタン										B025	B026	B027											
C種	1 厚膜エポキシ								B028	B029	B030												
	2 ビニルエステル								B031	B032	B033												
その他の塗装 (次世代塗装)	1 超厚膜エポ									B034	B035												
	2 ウレタン									B036	B037												
	3 超柔軟ウレタン									B038	B039	小RC											
	4 変性エポ									B040	B041												
	5 セメント系									B042	B043												
	6 ウレタン									B044	B045												
	7 シリコンゴム									B046	B047												
	8 アクリルゴム									B048	B049												
	9 無機系									B050	B051												
	10 有機無機複合									B052	B053												
含浸系塗装	1 シリコン系								B054	B055	B056												
	2 アクリル系								B057	B058	B059												
	3 シリコン系								B060	B061	B062												
	4 有機無機複合								B063	B064	B065	小プレ											
	5 アクリル系								B066	B067	B068												
	6 ビニルエステル系								B069	B070	B071												
	7 ポリエステル系								B094	B095	B096												
ポリエチレンシース (塗装鉄筋使用)		3.5 cm							B092	B093	中ポスト												
耐塩性コンクリート		2.5 cm	D001	D002	D003	小RC (シリカフェーム)																	
		5.0 cm		D004	D005	水セメント比30%																	
腐食調査試験体	プレテンション		2.5 cm							C001, C002, C003, C004	小プレ												
	ポストテンション		3.5 cm							C005, C006, C007, C008	中ポスト												
	鉄筋引張力									C009, C010, C011, C012													
	800 kg/cm ²									C013, C014, C015, C016													
	1000 "									C017, C018, C019, C020	小RC												
	1200 "									C021, C022, C023, C024													
	1400 "																						
	プレテンションT桁 (5316型)		2.5 cm							C025, C026, C027	σck = 500 kg/cm ²												
	プレテンションスラブ桁		3.5 cm							C028	σck = 500 kg/cm ²												
	プレテンションT桁 (ST型)		5.0 cm							C029	σck = 500 kg/cm ²												
ポストテンションT桁 (ST型)		7.0 cm							C030	σck = 400 kg/cm ² 大ポスト													

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

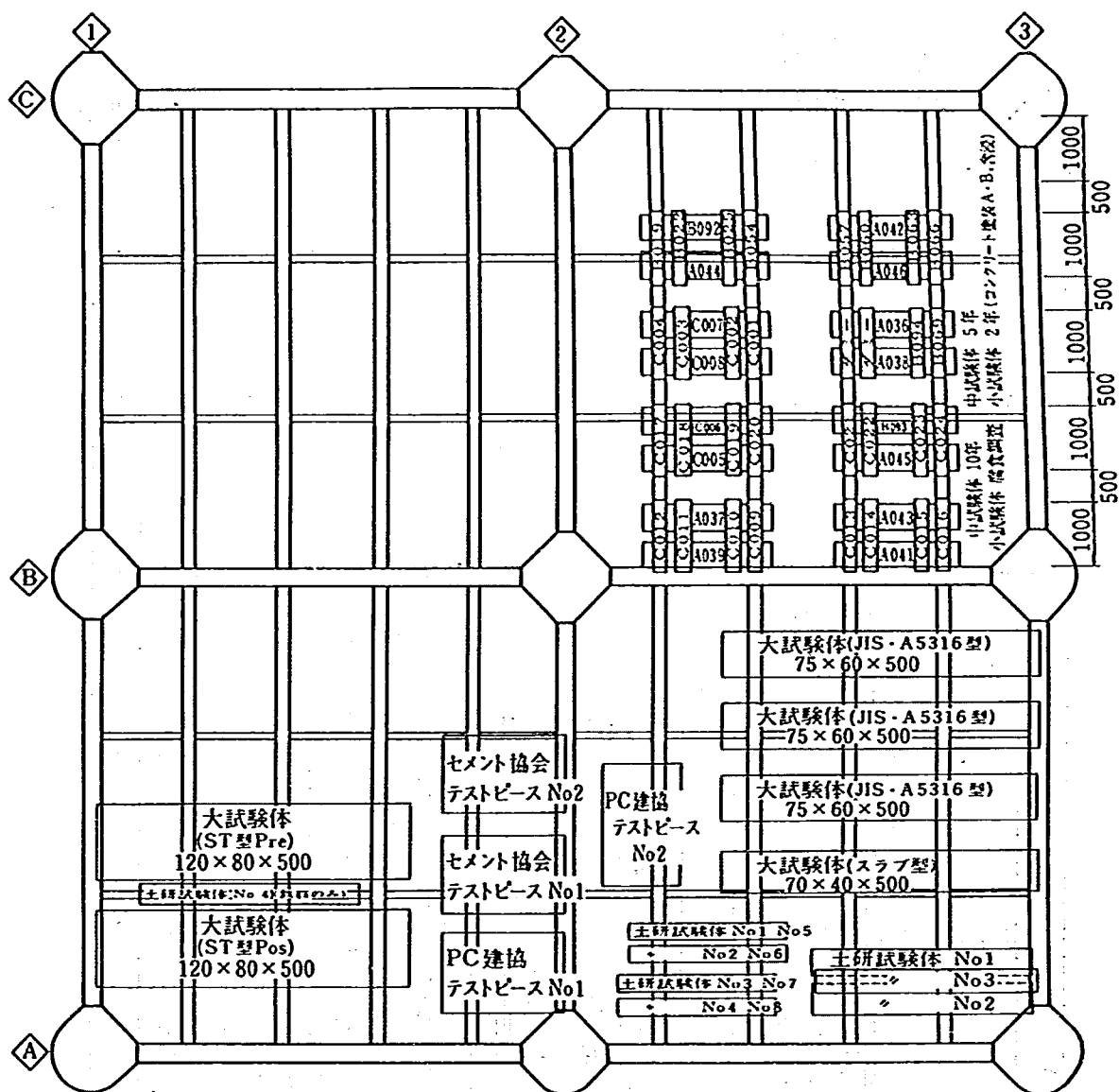
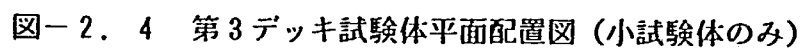


図-2. 3 第2デッキ試験体平面配置図



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する調査区分をまとめると表-3. 1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、コンクリートの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. 1 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、P C 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、ごぼん目試験	塗膜系塗料の実用化

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、別途区別している。

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. 2～3. 4に示す。

表－3. 2 ひびわれに対する評価点

ひびわれ系数 ($\times 10^{-3}$)	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. 3 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. 4 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、10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、塗膜の付着力試験を行った。

1) 付着力試験

付着力試験は、図-3. 1に示す能力 500kgの小型接着試験器（40×40専用）により行った。

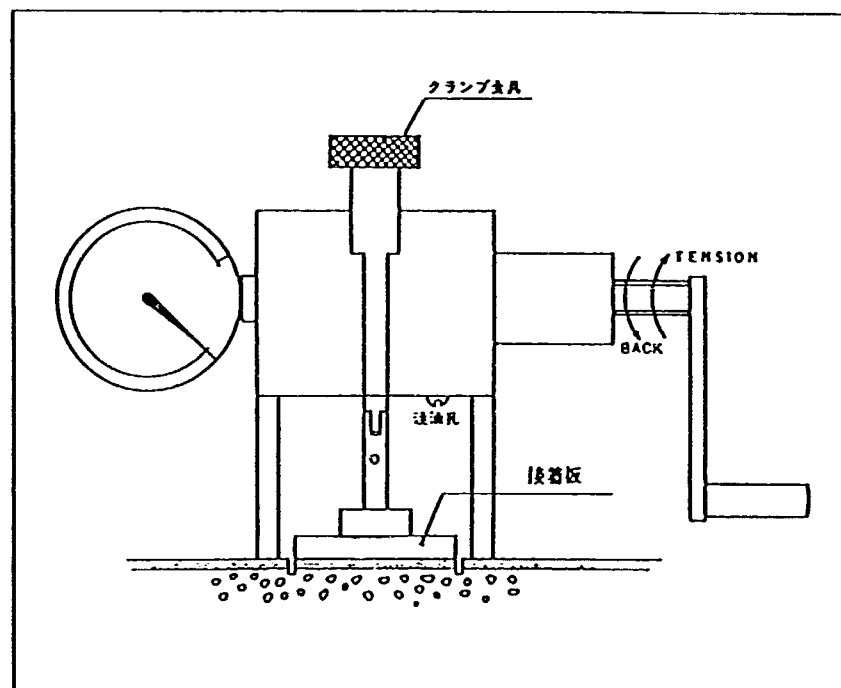


図-3. 1 小型接着力試験器図

(7) 圧縮強度測定

円柱供試体を JIS A 1108 に基づき行う。

(8) 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 $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ （細孔半径 $75\text{\AA}$ ）までの細孔径分布を求める。

(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-3.5に示すASTMで定められた値としている。

表-3.5 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)	-100 0	腐食の発生していない確率が90%以上
	-200	-200
	-280 1	不 確 定
	-300 2	
	-350	-350
	-400 3	腐食が進行中である確率が90%以上

(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、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

表-3.6 腐食状況の評価点

試験体表面をはつり取り、内部鉄筋を露出された後、目視にて行う。

なお、評価点の基準値は、表-3.6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、赤変しない部分の深さを3点測定する。

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。

4. 調 査 結 果

4. 1 外観調査

4. 1. 1 調査結果

外観調査の結果から、表－4. 1に各試験体のひびわれ、錆汁、はくり、欠落、塗膜の異状等の発生状態とその評価点を整理し示す。

表-4.1(1) 外観調査結果一覧表〔基準系試験体〕（10年度）

試験体の処理条件	試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験年	かぶり cm	試験体番号	幅 mm	ひびわれ				はくり				評価 A+B	塗れ	剥れ	はがれ	評価	
								長さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	錆汁	評価 A	面積 cm ²	長さ cm	面積 cm ²						剥離 B
	小フレ	普通	40	5	2.5	A002	0.10	5	0.05	0.01	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	小フレ	普通	40	10	2.5	A003	0.60	20	0.12	0.02	無	0	6.0	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	5	2.5	A005	0.00	0	0.00	0.00	無	0	20.0	0.1	0.3	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	2.5	A006	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	5	2.5	A008	0.00	0	0.00	0.00	有	1	7.0	0.2	0.1	無	0	1	0	0	0
	小フレ	早強	40	10	2.5	A009	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	早強	50	5	2.5	A011	1.50	75	0.67	0.09	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	小RC	早強	50	10	2.5	A012	1.50	145	2.70	0.38	無	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0
	小RC	高炉	50	5	2.5	A014	0.04	25	0.10	0.01	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	高炉	50	10	2.5	A015	0.20	7	0.14	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	小フレ	普通	40	5	3.5	A016	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小フレ	普通	40	10	3.5	A017	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	小RC	普通	50	5	3.5	A018	0.08	3	0.02	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	A019	0.00	0	0.00	0.00	無	0	2.0	0.2	0.0	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	5	3.5	A020	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	10	3.5	A021	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	早強	50	5	3.5	A022	0.30	4	0.13	0.02	無	0	32.0	0.2	0.4	無	1	1	0	0	0
	小RC	早強	50	10	3.5	A023	0.00	0	0.00	0.00	無	0	8.3	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	高炉	50	5	3.5	A024	0.04	2	0.01	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	高炉	50	10	3.5	A025	0.15	5	0.08	0.01	有	1	7.0	0.2	0.1	無	0	1	0	0	0
	小フレ	普通	40	5	5.0	A026	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	小フレ	普通	40	10	5.0	A027	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	5	5.0	A028	0.20	35	0.70	0.10	無	1	18.5	0.3	0.3	無	0	1	0	0	0
	小RC	普通	50	10	5.0	A029	0.00	0	0.00	0.00	有	1	20.5	0.3	0.3	無	0	1	0	0	0
	小フレ	早強	40	5	5.0	A030	0.00	0	0.00	0.00	無	0	7.0	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	10	5.0	A031	0.00	0	0.00	0.00	無	0	31.9	0.3	0.4	無	1	1	0	0	0
	小RC	早強	50	5	5.0	A032	0.00	0	0.00	0.00	無	0	4.8	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	早強	50	10	5.0	A033	0.08	3	0.03	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	高炉	50	5	5.0	A034	0.10	130	0.78	0.11	無	1	22.1	0.3	0.3	無	1	2	0	0	0
	小RC	高炉	50	10	5.0	A035	0.20	66	0.73	0.10	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0
	中フレ	普通	40	5	7.0	A036	0.10	2	0.02	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	中フレ	普通	40	10	7.0	A037	0.00	0	0.00	0.00	無	0	3.0	0.3	0.0	無	0	0	0	0	0
	中RC	普通	50	5	7.0	A038	0.05	22	0.10	0.01	無	0	78.4	0.3	0.4	無	1	1	0	0	0
	中RC	普通	50	10	7.0	A039	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0

表-4.1(2) 外観調査結果一覧表〔基準系試験体〕（10年度）

試験体の処理条件	試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験年	かぶり cm	試験体番号	ひびわれ					はくり					膨れ		膜評価	
							幅 mm	長さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	錆汁	深さ mm	面積 cm ²	長さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	深さ mm	膨れあり		膨れあり
	中フレ	早強	40	5	7.0	A040	0.04	10	0.04	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0
	中フレ	早強	40	10	7.0	A041	0.08	9	0.07	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0
	中RC	早強	50	5	7.0	A042	0.40	24	0.39	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0
	中RC	早強	50	10	7.0	A043	0.30	41	0.54	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0
	中RC	高炉	50	5	7.0	A044	0.04	20	0.08	0.00	無	0	98.7	0.5	0.5	無	1	1	0	0
	中RC	高炉	50	10	7.0	A045	0.08	41	0.20	0.01	無	0	34.4	0.3	0.2	無	0	0	0	0

表-4.1(3) 外観調査結果一覧表〔防食処理系試験体〕(10年度)

試験体の処理条件			試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験年	かぶり cm	試験体番号	幅 mm	長さ cm	ひびわれ 面積 cm ²	ひびわれ 係数 1E-3	錆汁	評価 A	はくり 面積 cm ²	はくり 深さ cm	はくり 面積 %	鉄筋露出	評価 B	評価 A+B	剥離	割れ	はがれ	評価
塗装鉄筋	粉体樹脂塗装	---	小 RC	早強	40	5	2.5	B001	0.08	20	0.16	0.02	無	0	7.8	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B002	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.8	0.2	0.0	無	0	1	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	5	2.5	B003	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B004	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	5	2.5	B005	0.00	0	0.00	0.00	無	0	1.8	0.2	0.0	無	0	0	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B006	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
	亜鉛めっき	---	小 RC	早強	40	5	2.5	B007	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B008	0.04	33	0.13	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	1	1
			小 RC	早強	40	5	2.5	B009	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
			小 RC	早強	40	10	2.5	B010	0.00	0	0.00	0.00	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
	塗膜欠陥	クラック	小 RC	早強	40	5	2.5	B013	0.08	60	0.48	0.07	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	1	1
			小 RC	早強	40	10	2.5	B014	0.05	6	0.03	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
	ピンホール	---	小 RC	早強	40	5	2.5	B015	0.04	60	0.24	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
			小 RC	早強	40	10	2.5	B016	0.04	60	0.24	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
	海外比較品	3M	小 RC	早強	40	5	2.5	B017	0.10	64	0.37	0.05	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B018	0.05	60	0.25	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
コンクリート塗装	(A種)	エポキシ	小 プレ	早強	40	5	2.5	B020	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
			小 プレ	早強	40	10	2.5	B021	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
	(B種)	柔軟エポ	小 RC	早強	40	5	2.5	B023	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B024	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
		柔軟ウレタン	小 RC	早強	40	5	2.5	B026	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
			小 RC	早強	40	10	2.5	B027	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
	(C種)	厚膜エポキシ	小 RC	早強	40	5	2.5	B029	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
			小 RC	早強	40	10	2.5	B030	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
		ビニルエステル	小 RC	早強	40	5	2.5	B032	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	3	2	5
			小 RC	早強	40	10	2.5	B033	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	4	1	5
	その他の塗装	超厚膜エポ	小 RC	早強	40	5	2.5	B034	0.00	0	0.00	0.00	無	0	48.0	0.5	0.7	無	1	1	0	0	2	2
			小 RC	早強	40	10	2.5	B035	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
		超厚膜ウレタン	小 RC	早強	40	5	2.5	B036	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
			小 RC	早強	40	10	2.5	B037	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
		超柔軟ウレタン	小 RC	早強	40	5	2.5	B038	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
			小 RC	早強	40	10	2.5	B039	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
		変性エポ	小 RC	早強	40	5	2.5	B040	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
			小 RC	早強	40	10	2.5	B041	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	3	3

表-4.1(4) 外觀調查結果一覽表〔防食處理系試験体〕(10年度)

試験体の処理条件				試験体 の種類	セメント の種類	W/C (%)	試験 年	かぶり cm	試験体 番号	幅 mm	ひびわれ				はくり				評価							
											深さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	針 汁	評価 A	深さ cm	面積 cm ²	係数 1E-3	針 汁	評価 B	評価 A+B	剥 れ	剥 れ	剥 れ	評価	
				セメント系	小RC	早強	40	5	2.5	B042	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
					小RC	早強	40	10	2.5	B043	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
				ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B044	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
					小RC	早強	40	10	2.5	B045	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				シリコンゴム	小RC	早強	40	5	2.5	B046	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小RC	早強	40	10	2.5	B047	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
				アクリルゴム	小RC	早強	40	5	2.5	B048	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
					小RC	早強	40	10	2.5	B049	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	1	1
				無機系	小RC	早強	40	5	2.5	B050	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	3	3
					小RC	早強	40	10	2.5	B051	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	3	3
				有機無機	小RC	早強	40	5	2.5	B052	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
					小RC	早強	40	10	2.5	B053	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
含浸系試験				シリコン系	小フレ	早強	40	5	2.5	B055	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小フレ	早強	40	10	2.5	B056	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				アクリル系	小フレ	早強	40	5	2.5	B058	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小フレ	早強	40	10	2.5	B059	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				シリコン系	小フレ	早強	40	5	2.5	B061	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
					小フレ	早強	40	10	2.5	B062	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				有機無機	小フレ	早強	40	5	2.5	B064	0.00	0	0.00	0.00	無	0	2.0	0.1	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小フレ	早強	40	10	2.5	B065	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				アクリル系	小フレ	早強	40	5	2.5	B067	0.00	0	0.00	0.00	無	0	2.0	0.1	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小フレ	早強	40	10	2.5	B068	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				ビニルエステル	小フレ	早強	40	5	2.5	B070	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小フレ	早強	40	10	2.5	B071	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
				ポリエステル系	小フレ	早強	40	5	2.5	B095	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	2	2
					小フレ	早強	40	10	2.5	B096	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
ポリエステル系					中ホ ⁺ スト	早強	40	5	3.5	B092	0.30	37	0.86	0.05	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					中ホ ⁺ スト	早強	40	10	3.5	B093	0.30	110	1.79	0.10	無	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0
耐塩性コンクリート					小RC	シリカ	30	5	2.5	D002	0.00	0	0.00	0.00	無	0	68.0	0.5	0.9	無	1	1	0	0	0	0
					小RC	シリカ	30	10	2.5	D003	0.00	0	0.00	0.00	無	0	85.0	1.0	1.2	無	2	2	0	0	0	0
					小RC	シリカ	30	5	5.0	D004	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0	0
					小RC	シリカ	30	10	5.0	D005	0.35	4	0.13	0.02	有	1	0.0	0.0	0.0	無	0	1	0	0	0	0

表-4.1(5) 外観調査結果一覧表〔腐食調査試験体〕(10年度)

試験体の処理条件	試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験年	かぶり cm	試験体番号	ひびわれ					はくり					評価 A+B	剥れ	割れ	はがれ	評価
							幅 mm	長さ cm	面積 cm ²	係数 10 ⁻³	錆汁	評価 A	面積 cm ²	長さ cm	面積 cm ²	係数 %	評価 B				
フ・レテンション	小フレ	早強	40	10	2.5	C001	0.00	0	0.00	0.00	無	0	7.0	0.2	0.1	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	10	2.5	C002	0.00	0	0.00	0.00	無	0	15.0	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	10	2.5	C003	0.00	0	0.00	0.00	無	0	17.0	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0
	小フレ	早強	40	10	2.5	C004	0.00	0	0.00	0.00	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
ホ・ステンション	中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C005	0.00	0	0.00	0.00	有	1	12.9	0.3	0.1	無	0	1	0	0	0
	中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C006	0.00	0	0.00	0.00	無	0	15.5	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0
	中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C007	0.00	0	0.00	0.00	無	0	24.5	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0
	中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C008	0.30	32	0.35	0.02	無	0	29.4	0.3	0.2	無	0	0	0	0	0
鉄筋引張り 800	小RC	普通	50	10	3.5	C009	0.10	22	0.17	0.02	無	0	0.8	1.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C010	0.06	8	0.05	0.01	無	0	14.5	0.5	0.2	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C011	0.08	8	0.06	0.01	無	0	7.6	0.3	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C012	0.06	8	0.05	0.01	無	0	5.9	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0
鉄筋引張り 1000	小RC	普通	50	10	3.5	C013	0.06	21	0.11	0.02	無	0	20.2	0.5	0.3	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C014	0.00	0	0.00	0.00	無	0	10.5	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C015	0.10	34	0.21	0.03	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C016	0.06	4	0.02	0.00	無	0	3.1	0.5	0.0	無	0	0	0	0	0
鉄筋引張り 1200	小RC	普通	50	10	3.5	C017	0.06	31	0.19	0.03	無	0	23.1	0.5	0.3	無	1	1	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C018	0.06	23	0.14	0.02	無	0	9.3	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C019	0.04	30	0.12	0.02	無	0	5.6	0.5	0.1	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C020	0.06	33	0.17	0.02	無	0	0.0	0.0	0.0	無	0	0	0	0	0
鉄筋引張り 1400	小RC	普通	50	10	3.5	C021	0.45	19	0.30	0.04	無	0	3.1	0.3	0.0	無	0	0	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C022	0.15	42	0.54	0.11	無	1	12.0	0.2	0.3	無	0	1	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C023	0.30	59	0.97	0.20	無	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0
	小RC	普通	50	10	3.5	C024	0.40	78	1.41	0.29	無	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0
フ・レテンション T行(5316型)	大フレ	早強	40	10	2.5	C025	0.25	2218	11.30	0.08	無	1	20.0	0.5	0.0	無	0	1	0	0	0
	大フレ	早強	40	10	2.5	C026	0.15	2765	15.27	0.11	有	2	0.0	0.0	0.0	無	0	2	0	0	0
	大フレ	早強	40	10	2.5	C027	0.50	2840	20.52	0.15	有	2	28.5	1.0	0.0	無	0	2	0	0	0
フ・レテンションスラフ行	大フレ	早強	40	10	3.5	C028	0.30	1265	11.56	0.15	無	1	98.5	0.5	0.1	無	0	1	0	0	0
フ・レテンション T行(ST型)	大フレ	早強	40	10	5.0	C029	0.20	1139	22.44	0.13	無	1	99.5	0.5	0.1	無	0	1	0	0	0
ホ・ステンション T行(ST型)	大ホ・スト	早強	40	10	7.0	C030	0.20	1210	13.19	0.08	無	1	99.8	1.0	0.1	無	0	1	0	0	0

4.1.2 外観調査結果のまとめ

外観調査の結果、試験体に発生した変状を、

- ・基準系試験体
- ・防食処理系試験体
- ・腐食調査試験体

に分類して以下に説明する。

(1) 基準系試験体

基準系試験体に生ずる変状とその評価は次のとおりである。

1) ひびわれ・錆汁

基準系試験体のひびわれ・錆汁に関する評価を表-4.2に示す。今回調査では、評価点1の試験体が40試験体のうち11試験体、評価点2の試験体が1試験体あった。評価点1となった試験体の多くの変状は、コンクリート表面に1、2ヶ所程度錆汁が認められるが、内部の鉄筋が腐食して生じたものであるかどうかは明かではなかった。

変状が進んでいるのは、第3デッキの最下段に据え付けられた試験体に集中している。そのうちの多くは、試験体の中央付近に短辺方向にコンクリートひびわれが発生した結果によっている。このひびわれは、その発生形態から劣化に伴ったものというよりも、曲げ応力に起因しているように考えられ、波浪によってもたらされたものと推定される。一方、評価点2となったA012試験体（小RC、早強セメント、W/C=50%、かぶり2.5cm）には鉄筋に沿って幅1.5mmのひびわれが発生し、8年目のひびわれ幅1.0mmよりさらに大きくなっている。その位置では錆汁が認められた。この変状は、明らかに内部の鉄筋が腐食した結果生じたものである。

表-4.2 ひびわれ・錆汁に関する評価点

評価点	変状の程度	試験体数
4	大	0
3	中	0
2	小	1
1	軽 微	11
0	なし又はごく軽微	28
計	—	40

2) はくり・欠落

基準系試験体（40試験体）において、はくり・欠落が生じ、その評価点が1点

(軽微) 以上のものは次の5試験体であり、前回調査に比べて変化がない。

番号	種類	モルト	かぶり(cm)	評価点	(程度)
A022	小RC	早強	3.5	1	(軽微)
A031	小P ^レ	早強	5.0	1	(軽微)
A034	小RC	高炉	5.0	1	(軽微)
A038	中RC	普通	7.0	1	(軽微)
A044	中RC	高炉	7.0	1	(軽微)

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

(2) 防食処理系試験体

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

塗装鉄筋	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) 塗装鉄筋

塗装鉄筋を使用した16試験体において、ひびわれを生じたものは、8試験体であり、前回調査に比べて変化はない。ひびわれ幅は0.1mm以下である。ひびわれ・錆汁に関する評価点が1点(軽微な変状)とされたものは、7試験体であり、前回調査に比べて1試験体増加した。これについては、試験体の表面に局所的な錆汁が1、2ヶ所認められるものと、先述した第3デッキに据え付けられたブロックで試験体の短辺方向にひびわれが生じているものであり、鉄筋の腐食した結果生じたものではない。

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

以上のように、塗装鉄筋を使用した試験体の変状はごく軽微なものである。

2) コンクリート塗装

コンクリート塗装を施した30試験体に、ひびわれ・錆汁は生じていないが、表-4.3に示すように25試験体において塗膜にはがれや割れが生じている。また、前回調査と比較すると、評価点の増加したものは2試験体である。割れが生じているのは、ビニルエステル系を使用した2試験体と柔軟ウレタン系の1試験体およびアクリルゴム系の1試験体である。塗膜のはがれの大きいものは、変性エポを使用したものと、セメント系を使用したもので、塗膜がよれるようにしてはがれている。その他の塗装では、膜厚の上層のみがはがれたものが多く、コンクリート表面が露出したものはない。

3) 含浸系塗装

含浸系塗装を実施した14試験体では、前回調査までに認められた局所的なはくりのある2試験体を除けば、ひびわれ、錆汁、はくりおよび鉄筋露出といった損傷は発生していない。全試験体の評価点は0点（変状なし又はごく軽微）であり、全般的に健全な状態を保っている。ただし、アクリル系塗料を使用した2試験体と有機無機複合塗料を使用した1試験体では、4つの表面のうち1面あるいは2面が斑点状に白色化して薄くはがれているような部分もみられる。原因は明かでないが、コンクリート表面のレイタンスの多い所に塗布した場合に生じているのではないかと考えられる。

4) ポリエチレンシース

ポストテンション中試験体である2試験体の両端部付近にひびわれが発生している。ひびわれの最大幅は両試験体とも0.3 mmであり、前回調査に同じである。はくり・欠落や錆汁・鉄筋露出などは発生しておらず評価も0点でごく軽微な変状といえる。

5) 耐塩性コンクリート

シリカフュームを混合（ $w/c=30\%$ ）したRC小試験体では、前回調査までに確認されている変状であるが、3試験体で浅いはくり、または局所的な錆汁によって評価が1～2点（軽微な変状）になっている。他の1試験体は評価点が0点（変状なし又は軽微）であった。今回の調査では変化が認められない。

表-4.3 防食処理系試験体における塗膜のはがれ

※ 全30試験体中25試験体

試験体 番号	処 理 条 件	評 価 点								備 考
		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	8年目	10年目	
B021	塩害対策指針(A種) エポキシ	0	2	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B024	塩害対策指針(B種) 柔軟エポ	0	0	0	0	1	1	1	1	はがれ
B027	塩害対策指針(B種) 柔軟ウレタン	0	2	2	2	2	2	2	2	割れ
B029	塩害対策指針(C種) 厚膜エポキシ	0	1	1	1	1	1	1	1	上面はがれ
B030	塩害対策指針(C種) 厚膜エポキシ	0	0	0	0	0	0	1	1	上面はがれ
B032	塩害対策指針(C種) ビニルエステル	0	0	2	5	5	5	5	5	割れ(3) はがれ(2)
B033	塩害対策指針(C種) ビニルエステル	0	0	0	4	5	5	5	5	割れ(4) はがれ(1)
B034	その他の塗装 超厚膜エポ	2	2	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B035	その他の塗装 超厚膜エポ	2	2	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B036	その他の塗装 超厚膜ウレタン	0	0	0	0	0	0	0	1	上面はがれ
B037	その他の塗装 超厚膜ウレタン	2	2	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B038	その他の塗装 超柔軟ウレタン	0	0	0	2	2	2	2	2	上面はがれ
B039	その他の塗装 超柔軟ウレタン	2	2	2	2	2	2	2	2	上面はがれ
B040	その他の塗装 変性エポ	2	2	2	2	2	2	2	2	はがれ
B041	その他の塗装 変性エポ	2	2	2	2	2	3	3	3	はがれ
B042	その他の塗装 セメント系	2	2	2	2	2	2	2	2	はがれ
B043	その他の塗装 セメント系	0	2	2	2	2	2	2	2	はがれ
B046	その他の塗装 シリコンゴム	0	0	0	0	0	0	1	1	変色
B047	その他の塗装 シリコンゴム	2	2	2	2	2	2	2	2	変色
B048	その他の塗装 アクリルゴム	0	0	0	0	0	0	0	1	はがれ
B049	その他の塗装 アクリルゴム	0	0	0	0	0	2	2	2	割れ(1) はがれ(1)
B050	その他の塗装 無機系	2	2	2	2	3	3	3	3	上面はがれ
B051	その他の塗装 無機系	2	2	2	2	3	3	3	3	上面はがれ
B052	その他の塗装 有機無機	0	0	0	0	0	1	2	2	はがれ
B053	その他の塗装 有機無機	0	2	2	2	2	2	2	2	上面はがれ

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

注2) 塗膜の割れ, はがれに対する評価点と発生面積率; 評価点0:0~0.03% 評価点3:3~10%
評価点1:0.03~1% 評価点4:10%を超える
評価点2:1~3%

(3) 腐食調査試験体

1) プレテンション小試験体

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

2) ポストテンション中試験体

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

3) 鉄筋に引張応力を発生させたRC試験体

本試験体に発生した変状とその評価結果を表-4.4に示す。

表-4.4 鉄筋に引張応力を発生させたRC試験体の変状と評価

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

注1) 試験体の条件；RC小試験体，普通ポルトランド，w/c=50%，かぶり3.5cm

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

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

ひびわれの最大幅は、0.04mmから0.60mmの範囲にあり、最大幅は、鉄筋の引張応力が大きくなるほど大きい傾向にある。今年度においては、ひびわれの進行はほとんど認められなかった。ひびわれ・錆汁に対する評価点は、鉄筋の引張応力が800 kg/cm²から1200 kg/cm²のものは0点（変状なし又はごく軽微）であり、1400 kg/cm²のものは1試験体が1点（軽微）、2試験体が2点（変状の程度が小）であった。

はくりは、ほとんどの試験体で仕上面に生じており、その深さは1 cm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。はくりの発生量は前回調査に比べて変化がなかった。

4) プレテンションT桁大試験体

本試験体に発生した変状とその評価結果を表-4.5に示す。全試験体にひびわれが発生している。局所的な錆汁が認められたために、2試験体で評価点が2点（変状の程度が小）となっている。ひびわれは、断面が変化する隅角部に沿って生じており、その幅は、0.04mmから0.1 mmと比較的小さなもので、1年目以降は変化が小さい。仕上面である試験体上面のひびわれは、軸直角方向に発生し、ひびわれ深さは小さい。

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

表-4.5 プレテンションT桁大試験体の変状と評価

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

5) プレテンションスラブ桁大試験体

ひびわれが上面全体と両側面に縦がった格好で発生している。ひびわれは、0.04

mm～0.30mmの幅を有し、上面の全幅に軸直角方向に発生しているが、前回調査に比べて変化がない。ひびわれ間隔は20cm前後になっている。ひびわれに対する評価点は1点（軽微）である。錆汁やはくり・欠落はごく微か発生している。

6) プレテンションT桁（ST型）大試験体

断面が変化する隅角部に沿って幅0.2 mmのひびわれが発生しているが、前回調査に比べて変化がない。上面の端部付近にひびわれが数本発生している。幅は0.2 mm程度であり、長さは数10cm程度で表面的なもので変化がない。また、上面には、ロープ孔の縁に局所的な欠落が発生している。

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

7) ポストテンションT桁（ST型）大試験体

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

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

4. 2 自然電位分布による鋼材の腐食調査結果

4. 2. 1 調査結果

表－4. 6に自然電位測定結果を最大値・最小値・平均値・評価点等について整理して示す。

なお、自然電位分布測定結果に対する評価点は、前章で述べたように、表－4. 7に示す評価区分としている。

表 4. 7 評価点の区分とASTMの判定基準

自 然 電 位 (mV)	評価点と平均自然電位の 分 布 範 囲	A. S. T. M. 判定基準
-100	0	腐食の発生していない 確 率 が 9 0 % 以 上
-200	-200	-200
-280	1	不 確 定
-300	2	
-350	-350	-350
-400	3	腐食が進行中である 確 率 が 9 0 % 以 上

表-4.6(1) 自然電位分布調査結果一覧表〔基準系試験体〕(10年度)

試験体の処理条件			試験体 の種類	セメント の種類	W/C (%)	試験 年	かぶり (cm)	試験 体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率			
									最大 (mv)	最小 (mv)	平均 (mv)	評 価	E > -200mv (%)	-200mv > E (%)	-350mv > E (%)	
			小フレ	普通	40	5	2.5	A002	-220	-350	-298	2	0.0	100.0	0.0	
			小フレ	普通	40	10	2.5	A003	-140	-180	-152	0	100.0	0.0	0.0	
			小RC	普通	50	5	2.5	A005	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
			小RC	普通	50	10	2.5	A006	-170	-320	-206	1	62.5	37.5	0.0	
			小フレ	早強	40	5	2.5	A008	-300	-380	-344	2	0.0	58.3	41.7	
			小フレ	早強	40	10	2.5	A009	-130	-210	-171	0	70.0	30.0	0.0	
			小RC	早強	50	5	2.5	A011	-390	-550	-444	3	0.0	0.0	100.0	
			小RC	早強	50	10	2.5	A012	-150	-370	-240	1	20.8	70.8	8.3	
			小RC	高炉	50	5	2.5	A014	-220	-300	-253	1	0.0	100.0	0.0	
			小RC	高炉	50	10	2.5	A015	-190	-230	-207	1	8.3	91.7	0.0	
			小フレ	普通	40	5	3.5	A016	-70	-140	-111	0	100.0	0.0	0.0	
			小フレ	普通	40	10	3.5	A017	-220	-270	-241	1	0.0	100.0	0.0	
			小RC	普通	50	5	3.5	A018	-90	-220	-163	0	70.8	29.2	0.0	
			小RC	普通	50	10	3.5	A019	-210	-280	-227	1	0.0	100.0	0.0	
			小フレ	早強	40	5	3.5	A020	-140	-190	-164	0	100.0	0.0	0.0	
			小フレ	早強	40	10	3.5	A021	-130	-170	-151	0	100.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	50	5	3.5	A022	-250	-300	-268	1	0.0	100.0	0.0	
			小RC	早強	50	10	3.5	A023	-170	-270	-216	1	50.0	50.0	0.0	
			小RC	高炉	50	5	3.5	A024	-320	-400	-369	3	0.0	31.3	68.8	
			小RC	高炉	50	10	3.5	A025	-90	-110	-95	0	100.0	0.0	0.0	
			小フレ	普通	40	5	5.0	A026	-70	-140	-98	0	100.0	0.0	0.0	
			小フレ	普通	40	10	5.0	A027	-180	-250	-214	1	20.8	79.2	0.0	
			小RC	普通	50	5	5.0	A028	-330	-510	-406	3	0.0	16.7	83.3	
			小RC	普通	50	10	5.0	A029	-200	-380	-287	2	0.0	81.8	18.2	
			小フレ	早強	40	5	5.0	A030	-200	-310	-270	1	0.0	100.0	0.0	
			小フレ	早強	40	10	5.0	A031	-120	-240	-149	0	91.7	8.3	0.0	
			小RC	早強	50	5	5.0	A032	-130	-160	-145	0	100.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	50	10	5.0	A033	-200	-280	-251	1	0.0	100.0	0.0	
			小RC	高炉	50	5	5.0	A034	-210	-290	-243	1	0.0	100.0	0.0	
			小RC	高炉	50	10	5.0	A035	-250	-430	-296	2	0.0	79.2	20.8	
			中フレ	普通	40	5	7.0	A036	0	-50	-12	0	100.0	0.0	0.0	
			中フレ	普通	40	10	7.0	A037	0	-60	-25	0	100.0	0.0	0.0	
			中RC	普通	50	5	7.0	A038	0	-50	-8	0	100.0	0.0	0.0	
			中RC	普通	50	10	7.0	A039	0	-50	-16	0	100.0	0.0	0.0	

表-4.6(2) 自然電位分布調査結果一覧表〔基準系試験体〕（10年度）

試験体の処理条件	試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率		
							最大 (mv)	最小 (mv)	平均 (mv)	評価	$E > -200\text{mv}$ (%)	$-200\text{mv} > E > -350\text{mv}$ (%)	$-350\text{mv} > E$ (%)
	中フレ	早強	40	5	7.0	A040	-40	-220	-102	0	97.5	2.5	0.0
	中フレ	早強	40	10	7.0	A041	0	-140	-47	0	100.0	0.0	0.0
	中RC	早強	50	5	7.0	A042	-150	-290	-211	1	42.5	57.5	0.0
	中RC	早強	50	10	7.0	A043	0	-60	-13	0	100.0	0.0	0.0
	中RC	高炉	50	5	7.0	A044	0	-50	-19	0	100.0	0.0	0.0
	中RC	高炉	50	10	7.0	A045	0	-50	-5	0	100.0	0.0	0.0

表-4.6(3) 自然電位分布調査結果一覧表〔防食処理系試験体〕(10年度)

試験体の処理条件				試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率				
								最大 (mv)	最小 (mv)	平均 (mv)	評価	E > -200mv (%)	-200mv > E > -350mv (%)	-350mv > E (%)		
塗装鉄筋	粉体樹脂塗装			小RC	早強	40	5	2.5	B001	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	10	2.5	B002	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	5	2.5	B003	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	10	2.5	B004	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	5	2.5	B005	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	10	2.5	B006	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	亜鉛めっき			小RC	早強	40	5	2.5	B007	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	10	2.5	B008	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	5	2.5	B009	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
				小RC	早強	40	10	2.5	B010	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	塗膜欠陥	クラック	小RC	早強	40	5	2.5	B013	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B014	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
		ピンホール	小RC	早強	40	5	2.5	B015	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B016	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
	海外比較品	3M	小RC	早強	40	5	2.5	B017	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B018	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
コンクリート塗装	(A種)	エポキシ	小フレ	早強	40	5	2.5	B020	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小フレ	早強	40	10	2.5	B021	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
	(B種)	柔軟エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B023	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B024	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
		柔軟ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B026	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B027	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
	(C種)	厚膜エポキシ	小RC	早強	40	5	2.5	B029	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B030	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
		ビニルエステル	小RC	早強	40	5	2.5	B032	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B033	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
	その他の塗装	超厚膜エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B034	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B035	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
		超厚膜ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B036	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B037	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
		超柔軟ウレタン	小RC	早強	40	5	2.5	B038	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B039	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
		変性エポ	小RC	早強	40	5	2.5	B040	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
			小RC	早強	40	10	2.5	B041	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	

表-4.6(4) 自然電位分布調査結果一覧表〔防食処理系試験体〕（10年度）

試験体の処理条件	試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験年	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率		
							最大 (mv)	最小 (mv)	平均 (mv)	評価	E > -200mv (%)	-200mv > E > -350mv (%)	-350mv > E (%)
セメント系	小RC	早強	40	5	2.5	B042	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	10	2.5	B043	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	5	2.5	B044	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	10	2.5	B045	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	5	2.5	B046	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	10	2.5	B047	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	5	2.5	B048	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	10	2.5	B049	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	5	2.5	B050	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	10	2.5	B051	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
有機無機	小RC	早強	40	5	2.5	B052	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小RC	早強	40	10	2.5	B053	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
含浸系塗装	小フレ	早強	40	5	2.5	B055	-120	-450	-221	1	40.9	50.0	9.1
	小フレ	早強	40	10	2.5	B056	-120	-180	-142	0	100.0	0.0	0.0
	小フレ	早強	40	5	2.5	B058	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	小フレ	早強	40	10	2.5	B059	-20	-50	-35	0	100.0	0.0	0.0
	小フレ	早強	40	5	2.5	B061	-200	-300	-248	1	0.0	100.0	0.0
	小フレ	早強	40	10	2.5	B062	-160	-220	-195	0	33.3	66.7	0.0
	小フレ	早強	40	5	2.5	B064	-280	-420	-340	2	0.0	50.0	50.0
	小フレ	早強	40	10	2.5	B065	-260	-290	-278	1	0.0	100.0	0.0
	小フレ	早強	40	5	2.5	B067	-220	-350	-281	2	0.0	100.0	0.0
	小フレ	早強	40	10	2.5	B068	-280	-350	-318	2	0.0	100.0	0.0
ポリエステル	小フレ	早強	40	5	2.5	B070	-230	-420	-275	1	0.0	91.7	8.3
	小フレ	早強	40	10	2.5	B071	-210	-250	-235	1	0.0	100.0	0.0
	小フレ	早強	40	5	2.5	B095	-80	-220	-133	0	95.8	4.2	0.0
	小フレ	早強	40	10	2.5	B096	-130	-290	-189	0	62.5	37.5	0.0
ポリエステル	中ホスト	早強	40	5	3.5	B092	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
	中ホスト	早強	40	10	3.5	B093	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
耐塩性コンクリート	小RC	シリカ	30	5	2.5	D002	-150	-300	-211	1	41.7	58.3	0.0
	小RC	シリカ	30	10	2.5	D003	-160	-290	-228	1	20.8	79.2	0.0
	小RC	シリカ	30	5	5.0	D004	-10	-60	-46	0	100.0	0.0	0.0
	小RC	シリカ	30	10	5.0	D005	-140	-240	-183	0	75.0	25.0	0.0

表-4.6(5) 自然電位分布調査結果一覧表〔腐食調査系試験体〕(10年度)

試験体の処理条件				試験体の種類	セメントの種類	W/C (%)	試験率	かぶり (cm)	試験体番号	自然電位測定結果				自然電位発生率			
										最大 (mv)	最小 (mv)	平均 (mv)	評価	E > -200mv (%)	-200mv > E > -350mv (%)	-350mv > E (%)	
フ・レテンション	-----	-----	-----	小フレ	早強	40	10	2.5	C001	0	-30	-16	0	100.0	0.0	0.0	
				小フレ	早強	40	10	2.5	C002	-10	-40	-25	0	100.0	0.0	0.0	
				小フレ	早強	40	10	2.5	C003	-10	-50	-31	0	100.0	0.0	0.0	
				小フレ	早強	40	10	2.5	C004	-20	-50	-33	0	100.0	0.0	0.0	
ホ・ストテンション	-----	-----	-----	中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C005	0	-100	-14	0	100.0	0.0	0.0	
				中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C006	0	-60	-8	0	100.0	0.0	0.0	
				中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C007	0	-50	-11	0	100.0	0.0	0.0	
				中ホ・スト	早強	40	10	3.5	C008	0	-50	-11	0	100.0	0.0	0.0	
鉄筋引張力 800	-----	-----	-----	小RC	普通	50	10	3.5	C009	0	-10	-2	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C010	0	-30	-10	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C011	0	-20	-5	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C012	0	-20	-9	0	100.0	0.0	0.0	
鉄筋引張力 1000	-----	-----	-----	小RC	普通	50	10	3.5	C013	0	-10	-2	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C014	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C015	0	-50	-12	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C016	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
鉄筋引張力 1200	-----	-----	-----	小RC	普通	50	10	3.5	C017	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C018	0	-10	-3	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C019	0	-10	-2	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C020	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
鉄筋引張力 1400	-----	-----	-----	小RC	普通	50	10	3.5	C021	0	-10	-1	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C022	0	-10	-2	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C023	0	-30	-19	0	100.0	0.0	0.0	
				小RC	普通	50	10	3.5	C024	0	-10	-5	0	100.0	0.0	0.0	
フ・レテンション T行 (5316型)	-----	-----	-----	大フレ	早強	40	10	2.5	C025	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
				大フレ	早強	40	10	2.5	C026	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
				大フレ	早強	40	10	2.5	C027	0	0	0	0	100.0	0.0	0.0	
フ・レテンションスタブ行	-----	-----	-----	大フレ	早強	40	10	3.5	C028	0	-90	-13	0	100.0	0.0	0.0	
フ・レテンション T行 (ST型)	-----	-----	-----	大フレ	早強	40	10	5.0	C029	0	-40	-4	0	100.0	0.0	0.0	
ホ・ストテンション T行 (ST型)	-----	-----	-----	大ホ・スト	早強	40	10	7.0	C030	0	-100	-17	0	100.0	0.0	0.0	

4.2.2 自然電位分布測定結果のまとめ

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

(1) 基準系試験体

1) 自然電位の変化傾向

基準系試験体である39試験体における、自然電位分布測定の評価結果を表-4.8に示す。基準系試験体の評価点は、全体の50%が0点、33%が1点であり、10%が2点、評価点がASTMの基準で腐食が進行する確率が90%以上のもの

表-4.8 自然電位分布測定評価

評価点	平均自然電位	試験体数
3	$E < -350\text{mV}$	3
2	$-350\text{mV} < E < -280\text{mV}$	4
1	$-280\text{mV} < E < -200\text{mV}$	13
0	$E > -200\text{mV}$	20
計	———	40

とされる評価点が3点のものは8%であった。

暴露経過8年目に比べて評価点が増加したものは9試験体、評価点が減少したものが8試験体あった。

2) 設置位置と自然電位

前回調査までで、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を指摘している。本調査結果もこの点について整理し、その状況と変化について述べる。

試験体の設置位置を今一度整理しておく。試験体は、第2デッキ（T.P+8.900）と第3デッキ（T.P+2.097）に据え付けられており、その高低差は約7mである。設置状況を図-4.1に示すとともに、各デッキに据え付けられた試験体の種類を表-4.9にまとめている。

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

図-4.2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。第2デッキの基準系試験体10試験体のうち9試験体は評価点0点（平均自然電位 $E > -200\text{mV}$ ）であり、1試験体が評価点1点（平均自然電位 $-200\text{mV} > E > -280\text{mV}$ ）であった。第3デッキの試験体30試験体は評価点が

0点から3点の範囲に分布しており、0点が37%、1点が40%、2点が13%、3点が10%となっている。前回調査までと同様、第2デッキと第3デッキでは自然電位に差が生じ、海面に近い第3デッキ（H.W.L+1.247m）に据え付けられた試験体の方が、第2デッキ（H.W.L+8.050m）に据え付けられた方より電位が卑になる傾向は変わっていない。

表-4.9 第2デッキと第3デッキに据え付けた試験体の種類

種別	基準系試験体	防食処理系試験体	腐食調査試験体	合計
第2デッキ	かぶり7cmの中試験体	ポリアクリル系樹脂の小試験体	7°レゾノンの小試験体 ポリアクリル系樹脂の中試験体 鉄筋に引張力を発生させた小試験体 7°レゾノンT桁の大試験体 (5316型) 7°レゾノンスラブの大試験体 (5316型) 7°レゾノンT桁の大試験体 (ST型) ポリアクリル系樹脂T桁の大試験体 (ST型)	
数量	10	2	30	42
第3デッキ	かぶり2~5cmの小試験体	塗装鉄筋の小試験体 コンクリート塗装の小試験体 含浸系塗装の小試験体 耐塩性コンクリートの小試験体		
数量	30	64	0	94

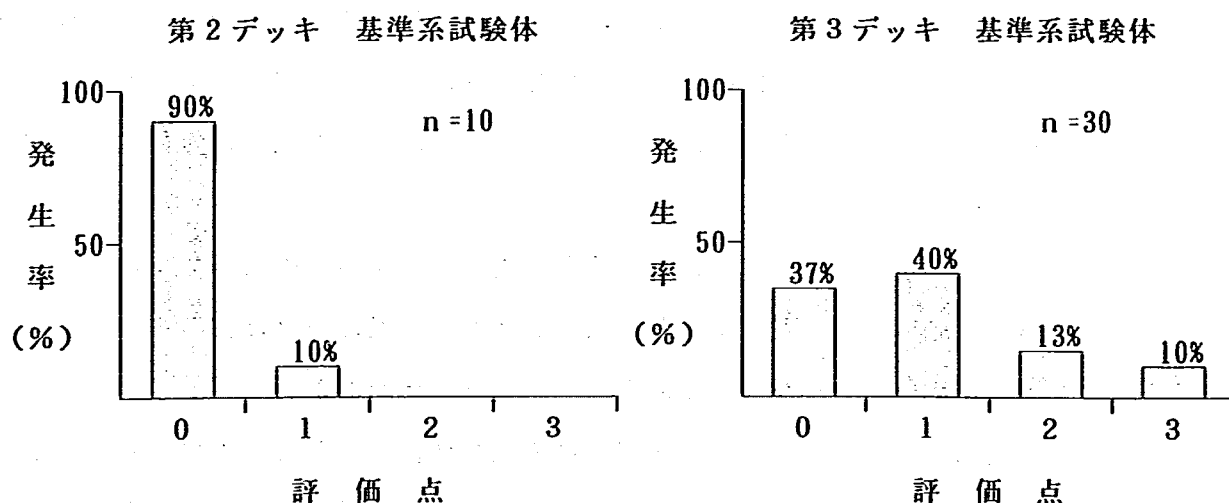


図-4.2 第2デッキと第3デッキの基準系試験体に発生する自然電位の比較

3) 各種条件と自然電位

図-4.2に示されるように、基準系試験体のうち、第2デッキに据え付けられたかぶり7cmの中試験体の90%は評価点0点で、10%が評価点1点である。第3デッキの試験体は、0点から3点の範囲に分布している。

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

a) 試験体の種類

表-4.10 にプレテンション試験体とRC試験体に発生した自然電位の評価をまとめて示す。プレテンション試験体は0～2であり過半数が0点であるが、RC試験体は0点が22%であり、1点が過半数を占める。さらに、3点が17%あり、両者に差が認められる。

表-4.10 自然電位の評価のまとめ

試験体の種類	点数	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
プレテンション	12	7	3	2	0	58	25	17	0
RC	18	4	9	2	3	22	50	11	17

b) セメントの種類

表-4.11 にセメントの種類別に発生した自然電位の評価を示す。早強セメントと高炉Bセメントの試験体で評価点3点が認められる。

表-4.11 自然電位の評価のまとめ

セメントの種類	点数	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
普通	12	6	5	1	0	50	42	8	0
早強	12	4	4	2	2	33	33	17	17
高炉B	6	1	3	1	1	17	50	17	17

c) かぶり

表-4.12 に自然電位の評価をかぶりで区別して示す。先にも述べたが、かぶりが7cmのものは、ほとんどの試験体が評価点0点である。これは、試験体が他の試験

体に比べて海面より高い位置（第2デッキ）に暴露されているので、他の試験体と比較しにくい。第3デッキに暴露されている試験体のかぶりは、2.5cm、3.5cm、5.0cmである。今のところ、かぶりが2.5cmから5.0cmの範囲で顕著な差は認められない。

表-4.12 自然電位の評価のまとめ

かぶり (cm)	点数	個 数				比 率 (%)			
		0	1	2	3	0	1	2	3
2.5	10	3	3	2	1	30	30	20	10
3.5	10	5	4	0	1	50	40	0	10
5.0	10	3	4	2	1	30	40	20	10
7.0	10	9	1	0	0	90	10	0	0

(2) 防食処理系試験体の自然電位

1) 含浸系塗装

試験体の評価点を整理して表-4.13 に示す。アクリル系とポリエステル系が評価点0点である。他の塗装系は0～2点の範囲にあるが、大きな差は生じていない。

表-4.13 自然電位の評価のまとめ

処理方法 評価点	シリ コン 系 (1)	ア ク リ ル 系 (1)	シリ コン 系 (2)	有 機 無 機 複 合	ア ク リ ル 系 (2)	ビ ニ ル エ ス テ ル	ポ リ エ ス テ ル 系
0	1	2	1	0	0	0	2
1	1	0	1	1	0	2	0
2	0	0	0	1	2	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ェームを使用した4試験体のうち、試験体は評価点1点である。他の2試験体は0点であり、大きな変化はない。

(3) 腐食調査試験体の自然電位

表-4.14 に自然電位の評価を腐食試験体の種類別に示す。

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

* 寸法条件 ; ①小試験体, ②中試験体, ③大試験体

* 種 類 ; ①RC, ②プレテンション, ③ポストテンション

* セメント ; ①普通ポルトランド, ②早強ポルトランド

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

* そ の 他 ; 鉄筋に引張応力(1000~1400kg/cm²)を導入

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

表-4.14 腐食調査試験体の自然電位の評価のまとめ

処 理 条 件		試験 体数	個 数				比 率 (%)			
			0	1	2	3	1	2	3	4
腐 食 調 査 試 験 体	全 体	30	30	0	0	0	100	0	0	0
	プレテンション	4	4	0	0	0	100	0	0	0
	ポストテンション	4	4	0	0	0	100	0	0	0
	鉄 筋 引 張 力	16	16	0	0	0	100	0	0	0
	そ の 他 大 試 験 体	6	6	0	0	0	100	0	0	0

4. 2. 3 ま と め

今回実施した外観調査と自然電位分布測定を要約すれば、次のようである。

(1) 外観調査

暴露試験が10年経過して、ひびわれや錆汁、あるいははくり・欠落などは多くの試験体に発生しているが、これらの変状に対する評価結果は表-4.15のようであり、全般的には、変状はあってもごく軽微なものであることがわかった。ただし、第3デッキに据え付けられている基準系試験体のなかには、波浪の影響と考えられる曲げひびわれがあるのに加えて、内部の鉄筋が腐食した結果、ひびわれや錆汁が発生している試験体が認められている。

表-4.15 全試験体における変状の程度

評価点	変状の程度	ひびわれ・錆汁	はくり・欠落
0	なし, ごく軽微	103ヶ(76%)	127ヶ(93%)
1	軽 微	28ヶ(20%)	8ヶ(6%)
2	小	5ヶ(4%)	1ヶ(1%)
3	中	0ヶ(0%)	0ヶ(0%)
4	大	0ヶ(0%)	0ヶ(0%)
合 計	—	136ヶ(100%)	136ヶ(100%)

試験体の種類ごとに変状の発生状況を以下にまとめる。

基準系試験体(40試験体)

ひびわれ・錆汁に対して評価点が1点(軽微)のものが11試験体, 評価点が2点(小)のものが1試験体ある。はくり・欠落を生じたものも多いが, スペーサ取付部や仕上面ののろの部分に表面的に生じており, 若干増加しているが, その程度は軽微なものといえる。今回調査では, 前回調査の傾向に加えて波浪の影響と考えられる曲げひびわれや欠落が発生したひびわれが第3デッキの試験体に認められ, 内部の鉄筋が腐食し, 鉄筋に沿ったひびわれと錆汁が増加している。

2) 防食処理系試験体 (66試験体)

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

3) 腐食調査試験体 (30試験体)

この種の試験体から鉄筋の最も大きい曲げ引張応力 ($1400\text{kg}/\text{cm}^2$) を発生させた試験体のひびわれ幅が成長したが、変状の程度は軽微か小さいに相当している。その他の試験体は前回の調査結果と比べても変化が小さい。

(2) 自然電位分布測定

1) 基準系試験体

基準系試験体の評価点は、全体の50%が0点 ($E > -200\text{mV}$)、33%が1点 ($-280\text{mV} < E < -200\text{mV}$)、10%が2点 ($-350\text{mV} < E < -280\text{mV}$) であり、ASTMの基準で腐食が進行する確率が90%以上のものとされる評価点3点 ($E < -350\text{mV}$) のものが8%認められた。

8年目に比べて評価点が増加したものが9試験体、減少したものが8試験体であった。また、前回調査と同様第2デッキと第3デッキでは自然電位に差が生じ、海面に近い第3デッキ (H. W. L. +1.247m) に据え付けられた試験体の方が、第2デッキ (H. W. L. +8.050m) に据え付けられた方より電位が卑になる傾向がある。

2) 防食処理系試験体

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

3) 腐食調査試験体

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

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

4. 3 塩分量の測定

4. 3. 1 測定の結果

各試験体のコンクリート中塩分量の測定結果を表-4.16、図4.1に示す。

表-4.16(1) 10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($\text{cl}^{-1}\text{kg}/\text{m}^3$)			
					コア切断箇所(cm)			
					0~1	1~2	2~4	4~7
A002	2.5	普通	40	上	8.216	7.639	0.523	0.098
				下	13.207	4.186	1.056	0.009
				横	10.378	2.716	1.502	0.158
				横	14.102	8.412	2.020	0.043
A005	2.5	普通	50	下東	11.563	7.148	2.740	0.810
				下西	13.210	7.962	4.825	0.687
				横東	14.224	6.826	3.805	0.143
				横西	11.653	7.504	3.016	0.780
A008	2.5	早強	40	上	4.888	1.598	0.353	0.071
				下	7.967	1.645	1.105	0.094
				横	9.048	2.961	0.752	0.047
				横	6.698	2.656	0.964	0.071
A011	2.5	早強	50	上	7.816	5.173	2.516	0.461
				下	10.576	7.506	3.372	0.602
				横	8.206	4.310	2.015	0.636
				横	7.631	6.248	2.517	0.456
A014	2.5	高炉	50	上	12.811	8.812	3.204	0.262
				下	10.850	8.742	2.042	0.688
				横	9.870	7.207	1.723	0.461
				横	10.833	5.706	1.522	0.106

表-4.16(2) 10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)	モルの 種 類	水モル比 (%)	コアの 向 き	塩分含有量($\text{cl}^{-}\text{kg}/\text{m}^3$)			
					コア切断箇所(cm)			
					0~1	1~2	2~4	4~7
A036	7.5	普通	40	上北	2.292	0.571	0.155	0.083
				上南	3.502	1.122	0.317	0.300
A038	7.5	普通	50	上北	2.026	0.881	0.137	0.192
				上南	1.568	0.909	0.195	0.090
A040	7.5	早強	40	上北	0.640	0.955	0.158	0.245
				上南	1.701	1.015	0.090	0.544
A042	7.5	早強	50	上北	4.206	2.911	0.828	0.059
				上南	1.823	0.626	0.150	0.101
A044	7.5	高炉	50	上北	3.720	3.178	0.227	0.102
				上南	2.980	1.181	0.150	0.077

表-4.16(3) 10年目の塩分量測定結果 (シリカヒューム)

試験体	かぶり (cm)	モルの 種 類	水モル比 (%)	コアの 向 き	塩分含有量($\text{cl}^{-}\text{kg}/\text{m}^3$)			
					コア切断箇所(cm)			
					0~1	1~2	2~4	4~7
D002	2.5	普通	30	上	7.440	1.746	0.644	0.113
				下	9.326	2.214	0.398	0.143
				横	8.370	1.889	0.337	0.116
				横	9.543	1.149	0.131	0.135

表-4.16(4) 10年目の塩分量測定結果(塗装系)

試験体	使用材料	塗 装 仕 様 塗装膜厚(μm)	塩化物含有量 (kg/m ³ , cl ⁻ 換算)			塗装材の劣化状況
			表面からの深さ(cm)			
			0～1	1～3	3～5	
B019	エポキシ系	プライマー, 下地処理+90	0.072	0.078	0.082	上面はがれ
B020	柔軟エポキシ系	プライマー, 下地処理+90	0.134	0.071	0.108	はがれ
B025	柔軟ウレタン系	プライマー, 下地処理+90	0.120	0.103	0.085	割れ
B028	厚膜エポキシ系	プライマー, 下地処理+380	0.132	0.099	0.096	上面はがれ
B031	ビニルエステル系	プライマー, 下地処理+380	0.139	0.106	0.110	割れ、はがれ
B034	超厚膜エポキシ系	プライマー, 下地処理+1300	0.212	0.110	0.082	上面はがれ
B036	超厚膜ウレタン系	プライマー, 下地処理+1300	0.153	0.080	0.094	上面はがれ
B038	超柔軟ウレタン系	プライマー, 下地処理+90	0.106	0.080	0.087	上面はがれ
B040	変性エポキシ系	プライマー, 下地処理+1300	0.082	0.085	0.082	はがれ
B042	セメント系	プライマー, 下地処理+475	0.089	0.073	0.066	はがれ
B044	ウレタン系	プライマー, +2040	0.101	0.087	0.068	異常なし
B046	シリコンゴム系	プライマー, +1600	0.073	0.092	0.082	変色
B048	アクリルゴム系	プライマー, 下地処理+1380	0.113	0.085	0.071	割れ、はがれ
B050	無機系	プライマー, 下地処理+60	0.071	0.073	0.078	上面はがれ
B052	有機無機系	プライマー, 下地処理+430	0.078	0.075	0.085	はがれ

表-4.16(5) 10年目の塩分量測定結果(含浸系)

試験体	仕 様 材 料	含 浸 仕 様 含浸塗布量(g/㎡)	塩化物含有量 (kg/㎡, cl ⁻ 換算)				劣 化 状 況
			表面からの深さ(cm)				
			0～1	1～2	2～4	4～7	
B055	シリコン系（1）	90 5(回)	3.313	0.317	0.201	0.063	異常なし
B058	アクリル系（1）	240 2,279 1(回)	3.612	0.425	0.224	0.015	異常なし
B061	シリコン系（2）	150 4(回)	5.344	0.402	0.161	0.139	異常なし
B070	ビニルエステル系	250 1,160 2,90 1(回)	5.595	2.804	0.305	0.108	端部4に軽微な錆汁
B095	ポリエステル系	40 2,80 2(回)	0.613	0.314	0.162	0.098	7箇所に軽微なはがれ

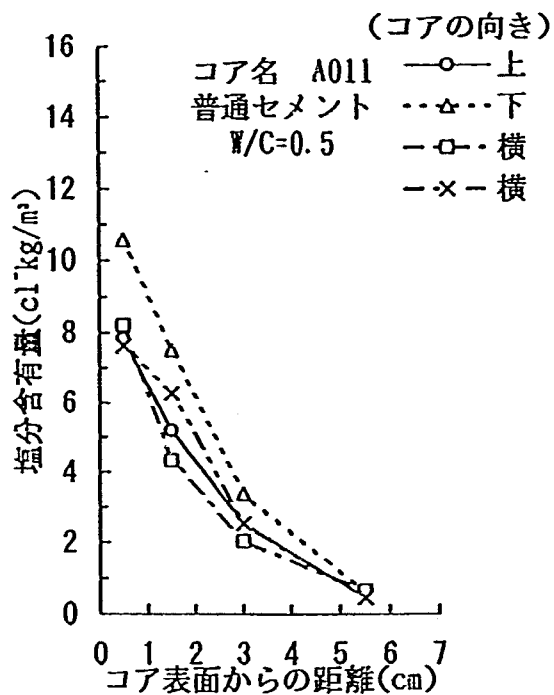
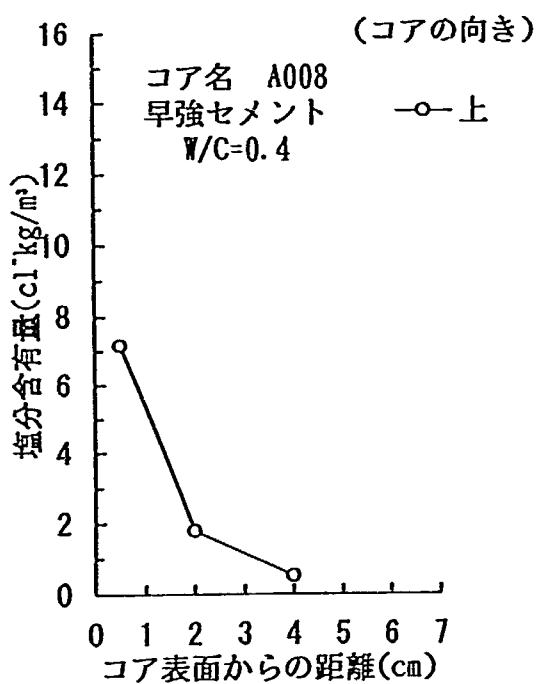
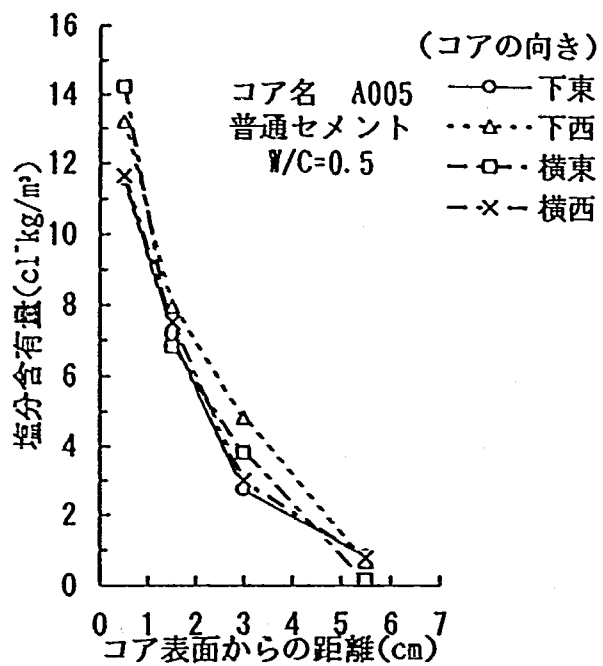
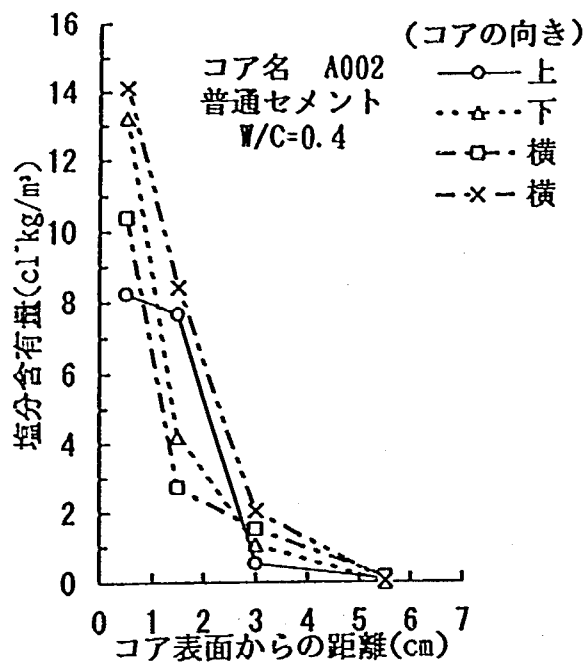


図-4.1(1) 10年目の塩分量測定結果 (基準系)

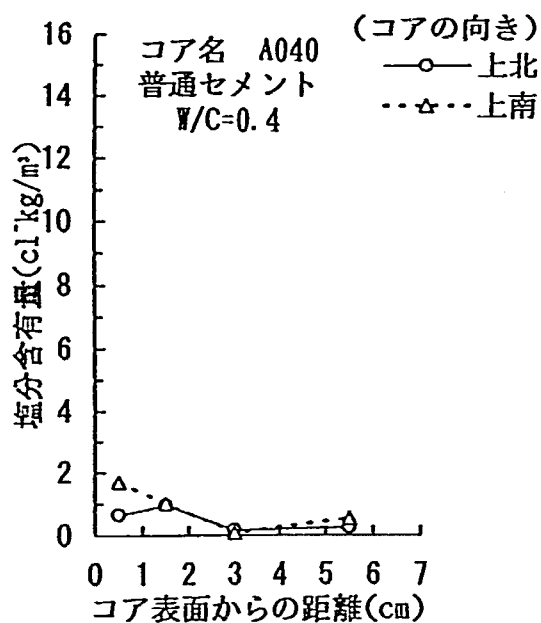
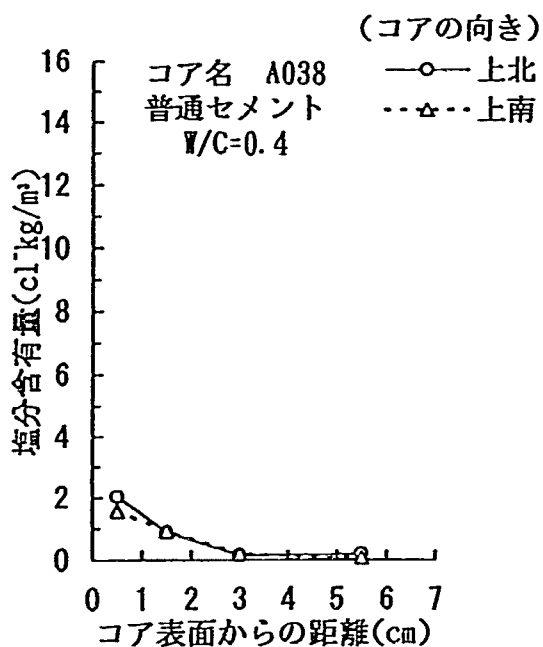
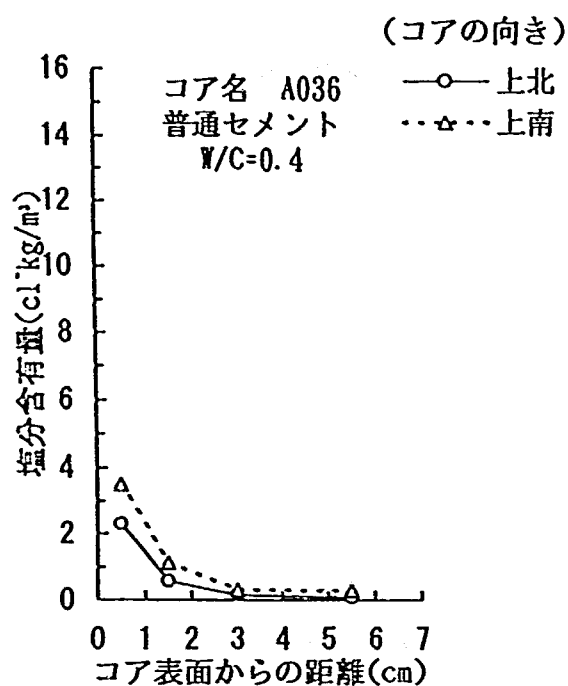
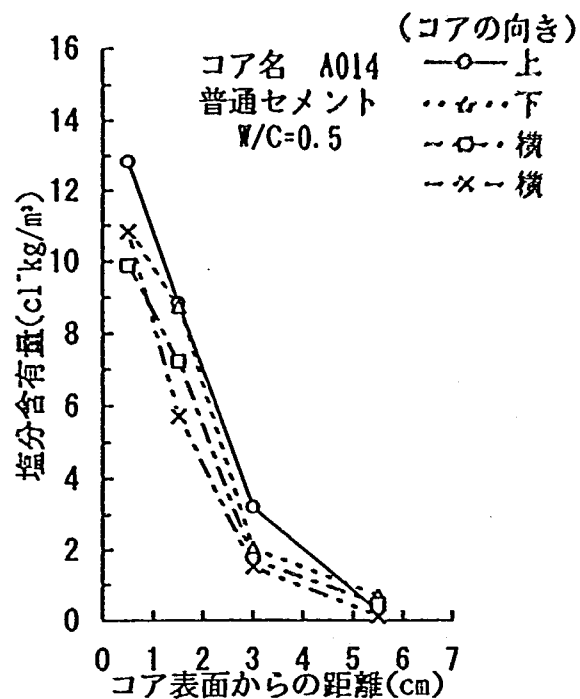


図-4.1(2) 10年目の塩分量測定結果 (基準系)

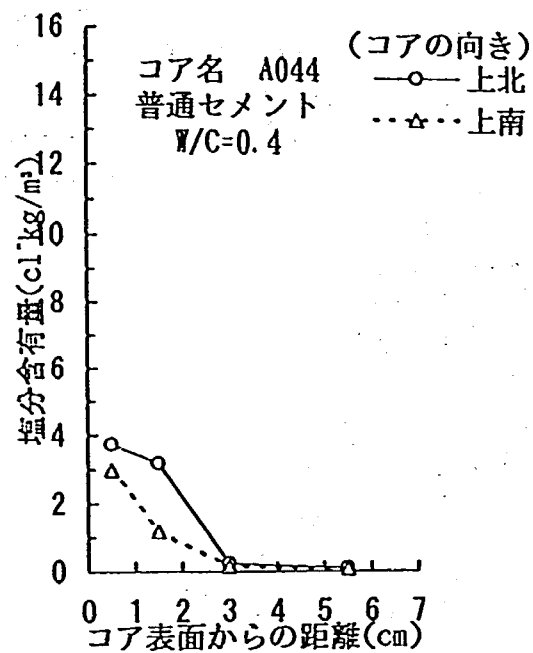
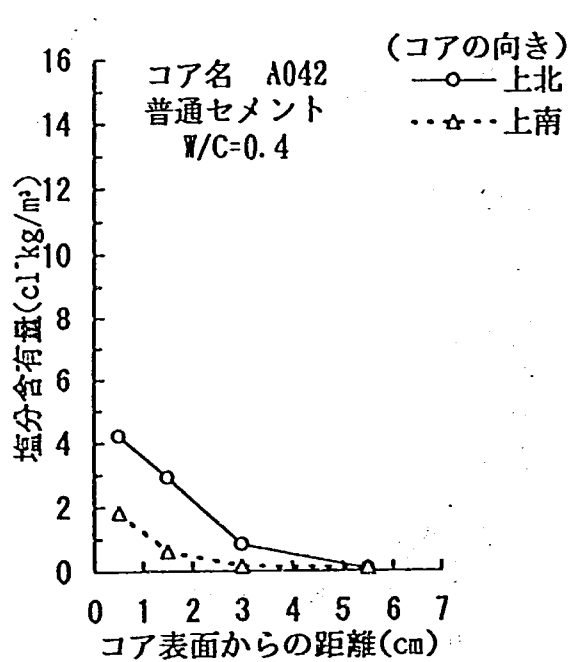


図-4.1(3) 10年目の塩分量測定結果 (基準系)

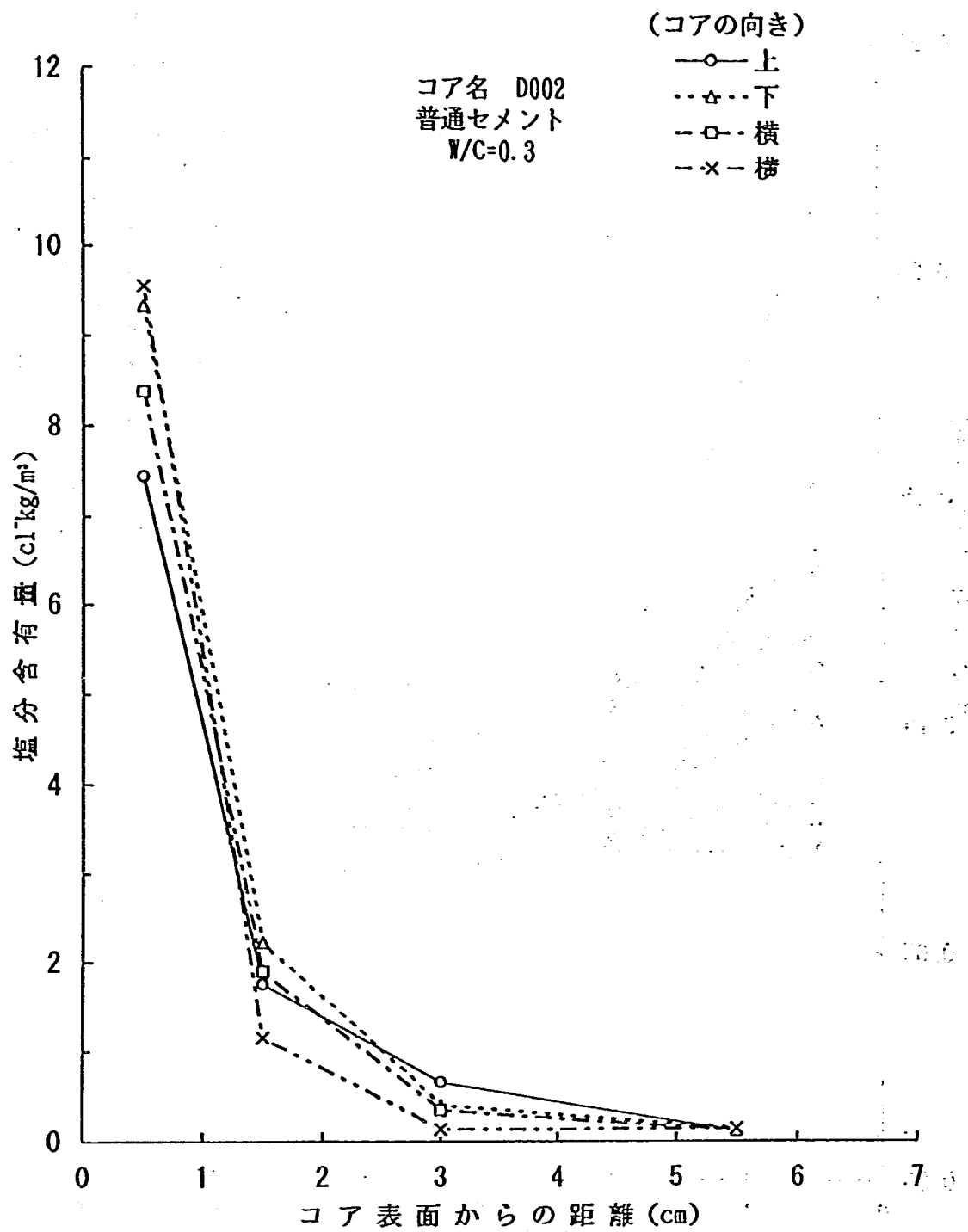


図-4.1(4) 10年目の塩分量測定結果 (シリカヒューム)

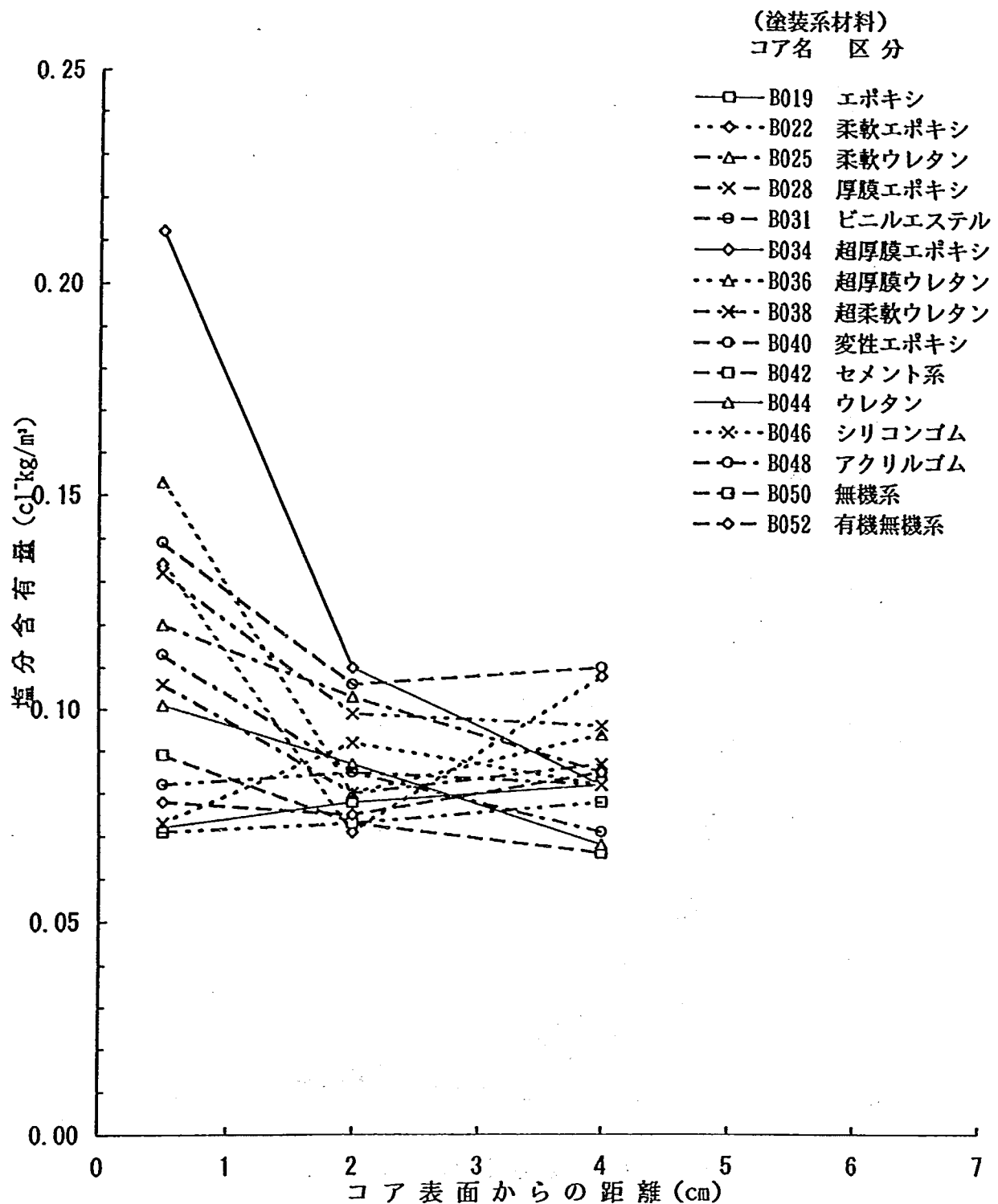


図-4.1(5) 10年目の塩分量測定結果 (塗装系)

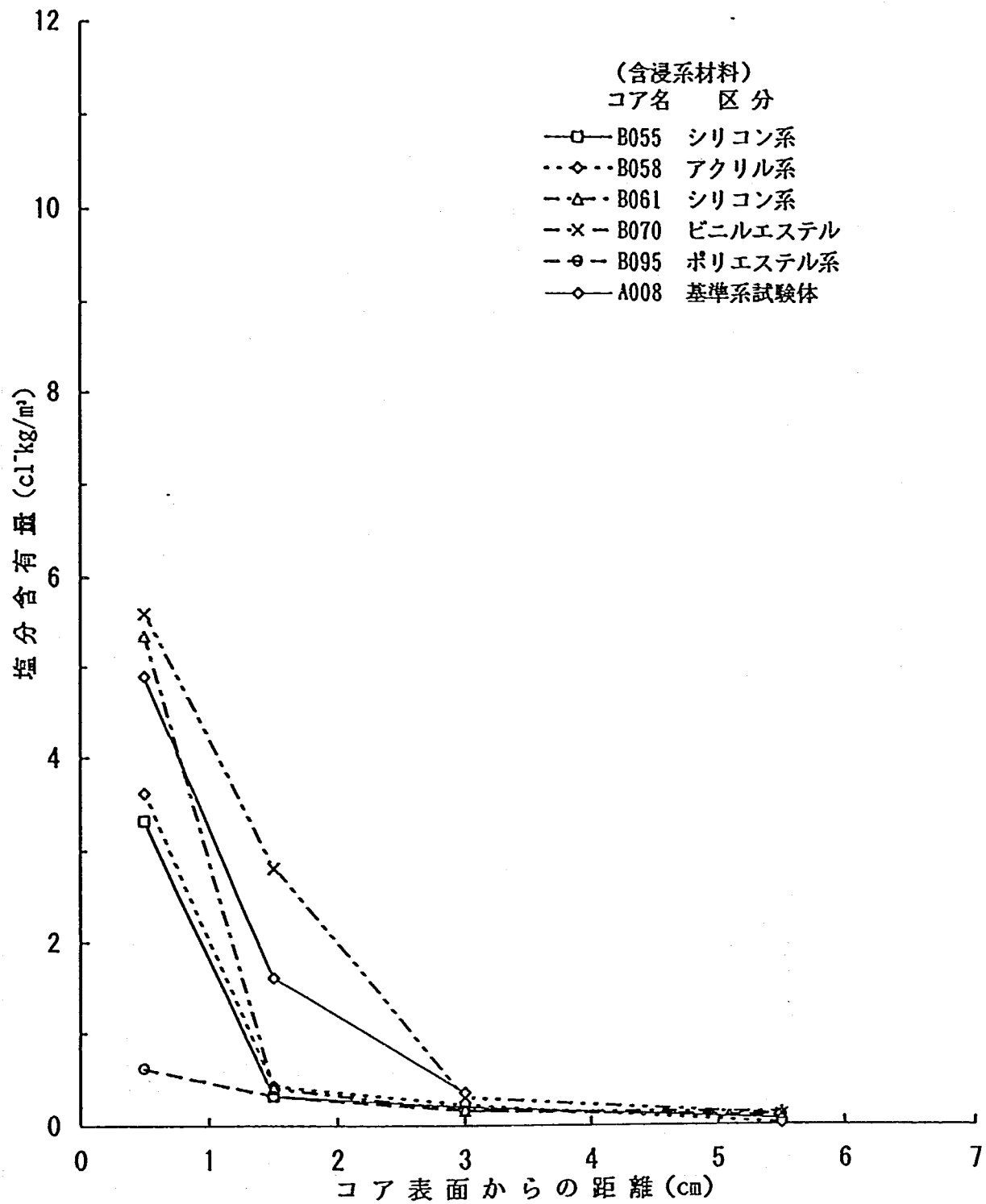


図-4.1(6) 10年目の塩分量測定結果 (含浸系)

4. 3. 2 経年変化

各試験体の暴露2年、6年、8年、10年における塩分量を表-4.17に示す。

表-4.17 塩分量測定結果のまとめ

セメント の種類	水セメント 比(%)	試験体 番号	経過年数	塩分含有量 (cl-kg/m ³)				暴露 デ ッ キ
				コアの切断箇所 (cm)				
				※0~2 (2年目)		2~4	4~7	
				0~1	1~2			
普通	40	A 001	2	3.906		0.1	—	3
		A 001	6	10.337	4.38	0.958	0.096	
		A 002	8	10.409	5.016	1.05	0.096	
		A 002	10	11.476	5.738	1.275	0.077	
		A 036	6	2.065	0.468	0.06	0.06	2
		A 036	8	3.447	0.852	0.134	0.065	
		A 036	10	2.897	0.847	0.236	0.192	
	50	A 004	2	4.177		0.371	—	3
		A 005	6	8.992	6.851	3.564	0.36	
		A 018	8	9.337	5.901	3.465	0.283	
		A 005	10	12.663	7.36	3.597	0.605	
		A 038	6	2.971	0.181	0.085	0.075	2
		A 038	8	2.002	1.137	0.163	0.057	
		A 038	10	1.797	0.895	0.166	0.141	
	早強	40	A 007	2	2.309		0.1	—
A 007			6	5.536	3.102	0.617	0.067	
A 008			8	8.103	3.042	1.105	0.053	
A 008			10	7.15	2.215	0.794	0.071	
A 040			6	1.273	0.241	0.085	0.065	2
A 040			8	3.406	0.385	0.478	0.182	
A 040			10	1.171	0.985	0.124	0.395	
50		A 010	2	3.378		0.356	—	3
		A 010	6	5.178	4.78	1.895	0.209	
		A 011	8	10.202	10.031	4.221	0.723	
		A 011	10	8.557	5.809	2.605	0.539	
		A 042	6	1.645	1.323	0.547	0.048	2
		A 042	8	3.504	0.805	0.596	0.236	
		A 042	10	3.015	1.769	0.489	0.08	
高炉		50	A 013	2	5.731		0.513	—
	A 013		6	10.264	5.705	1.204	0.315	
	A 024		8	7.816	5.574	1.548	0.1	
	A 014		10	11.091	7.61	2.123	0.379	
	A 044		6	2.206	1.424	0.133	0.084	2
	A 044		8	3.074	2.04	0.25	0.072	
	A 044		10	3.35	2.18	0.189	0.09	
シリカ-4	30	D 001	2	2.11		0.029	—	3
		D 001	6	6.669	1.317	0.145	0.081	
		D 002	8	9.385	1.064	0.079	0.096	
		D 002	10	8.67	1.75	0.378	0.127	

深さ 3 cm における塩分量の経年変化を図-4.2に示す。

(普通セメント使用コンクリート)

塩分含有量 kg/m ³			
W/C	経過年数	第2デッキ	第3デッキ
40%	2	0	0.10
	6	0.06	0.96
	8	0.13	1.05
	10	0.24	1.28
50%	2	0	0.37
	6	0.09	3.56
	8	0.16	3.47
	10	0.17	3.60

(早強セメント使用コンクリート)

塩分含有量 kg/m ³			
W/C	経過年数	第2デッキ	第3デッキ
40%	2		0.10
	6	0.085	0.62
	8	0.278	1.11
	10	0.124	0.79
50%	2		0.36
	6	0.547	1.90
	8	0.596	4.22
	10	0.490	2.61

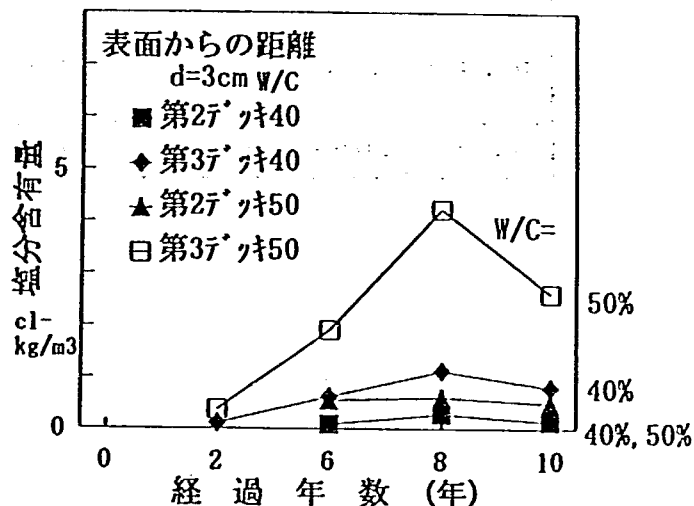
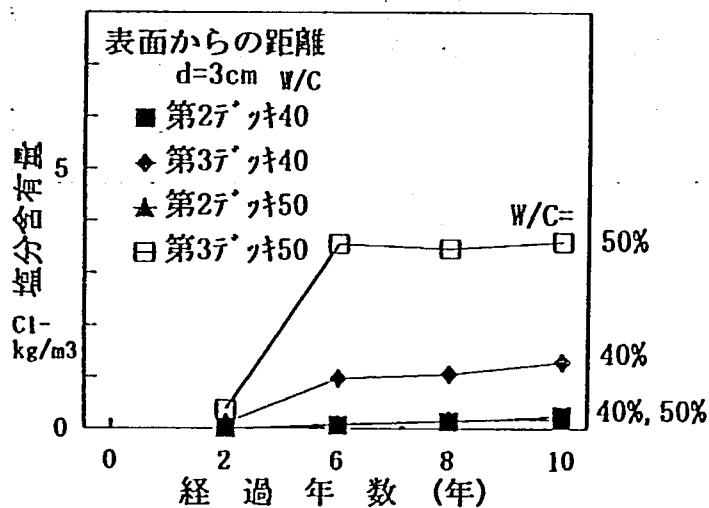


図-4.2 コンクリートの塩分量と経過年数の関係

4. 4 内部鉄筋の腐食状況

暴露10年目のコンクリート内部の鋼材の腐食状況を観察した。

その結果を表4. -18に示す。表中の鉄筋の腐食度の評価点については表- 3. 6 に示してある。

表- 4.18 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 2.5cm	評 価 点
A 0 0 2	普通セメント	4 0	錆の発生なし	0
A 0 0 5	〃	5 0	腐食著しい、一部に断面欠損大きい	Ⅲ
A 0 0 8	早強セメント	4 0	P C鋼線に腐食認められず	0
A 0 1 1	〃	5 0	錆の発生あり、断面欠損にいたらず	Ⅱ
A 0 1 4	高 炉 B	5 0	錆の発生あり、局部的	I
B 0 1 3	早強セメント	4 0	エポキシ塗装鉄筋の塗装を除去した部分も腐食なし	0
D 0 0 2	早強+シリカフェーム	3 0	錆の発生なし	0

4. 5 塗膜劣化状況調査

塗膜の付着が試験結果を表-4.19に示す。

表-4.19 付着力試験結果

		種 別		塗 装 系 統	試験体番号	一回目 kg/cm ²	一回目 kg/cm ²	一回目 kg/cm ²	一回目 kg/cm ²
防 食 処 理 系 試 験 体	コ ン ク リ ー ト 塗 装	塩に 害よ る策 塗指 装針 (案)	A種	エポキシ系	B 020	66.3	50.6	53.1	56.7
			B種	1. 柔軟型エポキシ系	B 023	58.8	56.3	31.1以上	57.6
				2. 柔軟型ポリウレタン系	B 026	22.5	37.5	25.0	28.3
			C種	1. 厚膜型エポキシ系	B 029	41.3	53.1	51.9	48.8
				2. ビニルエステル系	B 032	25.0	13.8	21.9	20.2
		そ の 他 の 塗 料	1. 超厚膜型エポキシ系	B 034	41.3	38.8	30.6	36.9	
			2. 超厚膜型ウレタン系	B 036	11.9	12.5	12.5	12.3	
			3. 超柔軟型ウレタン系	B 038	28.1	28.1	21.9	26.0	
			4. 変性エポキシ系	B 040	21.9	23.1	21.3	22.1	
			5. セメント系	B 042	6.3	6.3	4.7	5.8	
			6. 特殊ポリウレタン系	B 044	21.9	29.4	34.4	28.6	
			7. シリコンゴム系	B 046	16.3	28.1	18.1	20.8	
			8. アクリルゴム系	B 048	13.5	13.4	13.3	13.4	
			9. 無 機 系	B 050	23.8	31.3以上	25.4	24.4	
			10. 有機無機複合系	B 052	27.5	30.0	23.1	26.9	

4. 6 中性化深さ、塩分浸透深さ、圧縮強度試験

施設の第3デッキで暴露を行った、 $\phi 150 \times 300$ の円柱共試験体の中性化深さ、塩分浸透深さ、圧縮強度試験の測定結果をそれぞれ表-4.20、表-4.21、表-4.22に示す。

表-4.20 中性化測定結果

セメント W/C (%)	含浸剤	材令 (年)	中性化深さ (mm)	(単位: mm)		
早強 40	アクリル系	1		0	5	10
		2	0.6			
		3	0.6			
		5	0			
		10	1.7			
早強 40	シリコン系	1				
		2	2.5			
		3	3.4			
		5	0.6			
		10	4.4			
早強 + シリカフェウム 30	無	1				
		2	0.9			
		3	0.2			
		5	0.1			
		10	2.0			
高炉 B 50	無	1				
		2	4.4			
		3	6			
		5	6.9			
		10	7.3			
普通 50	無	1				
		2	3.1			
		3	4			
		5	4.6			
		10	6.1			
普通 40	無	1				
		2	0.7			
		3	0.4			
		5	0			
		10	1.1			

表-4. 21 塩分浸透深さ測定結果

セメント W/C (%)	含 浸 剤	材 令 (年)	中性化深さ (mm)
早 強 40	アクリル系	1	0
		2	0
		3	0
		5	0.4
		10	1.7
早 強 40	シリコン系	1	1.9
		2	2.7
		3	2.9
		5	1.4
		10	3.2
早 強 + シリカフェウム 30	無	1	0
		2	0
		3	0
		5	0.2
		10	0.8
高 炉 B 50	無	1	4.3
		2	4.3
		3	5.3
		5	7.4
		10	6.9
普 通 50	無	1	3.2
		2	3.8
		3	4.3
		5	4.7
		10	5.1
普 通 40	無	1	0.3
		2	0.9
		3	0.1
		5	0.1
		10	2.8

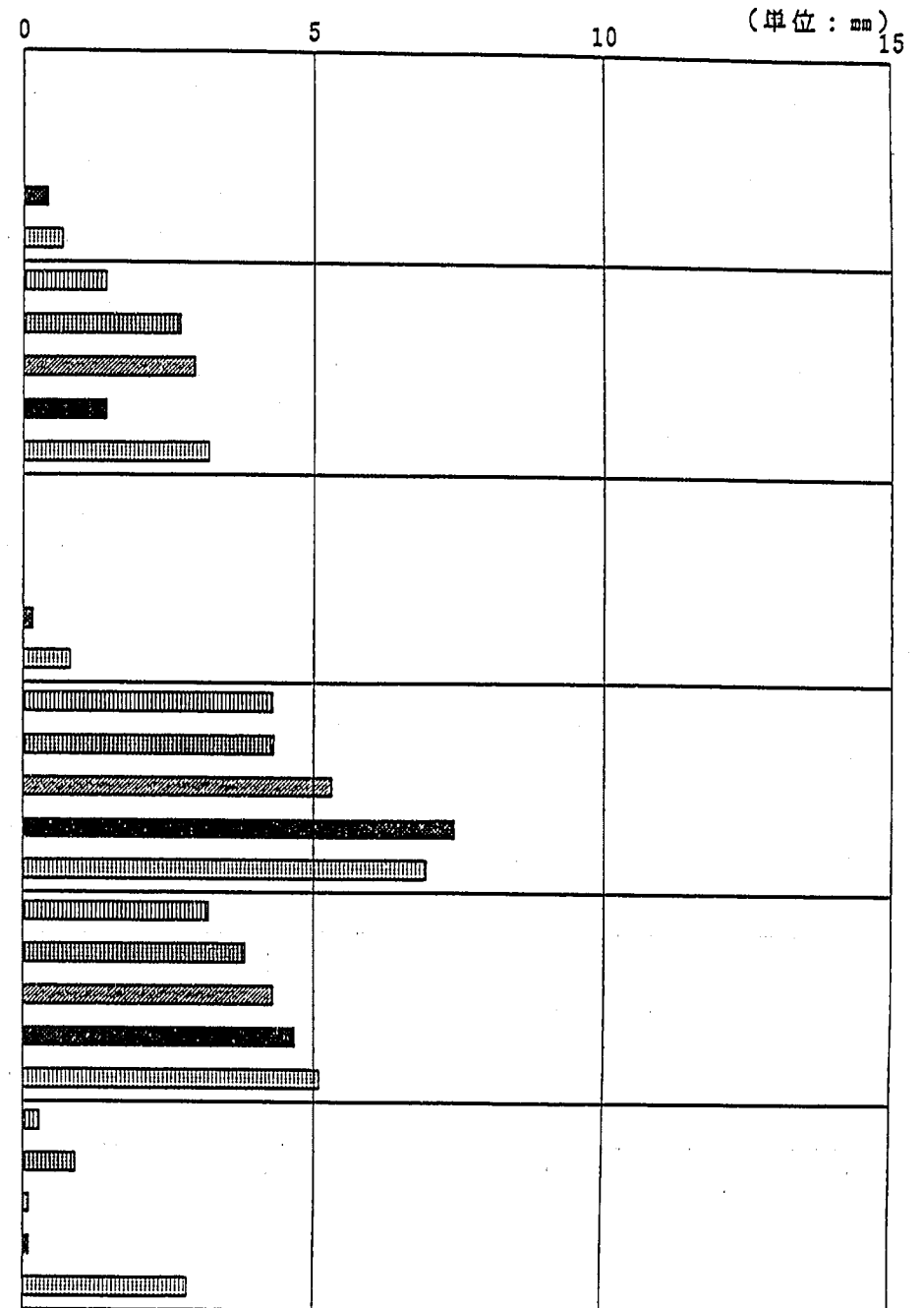
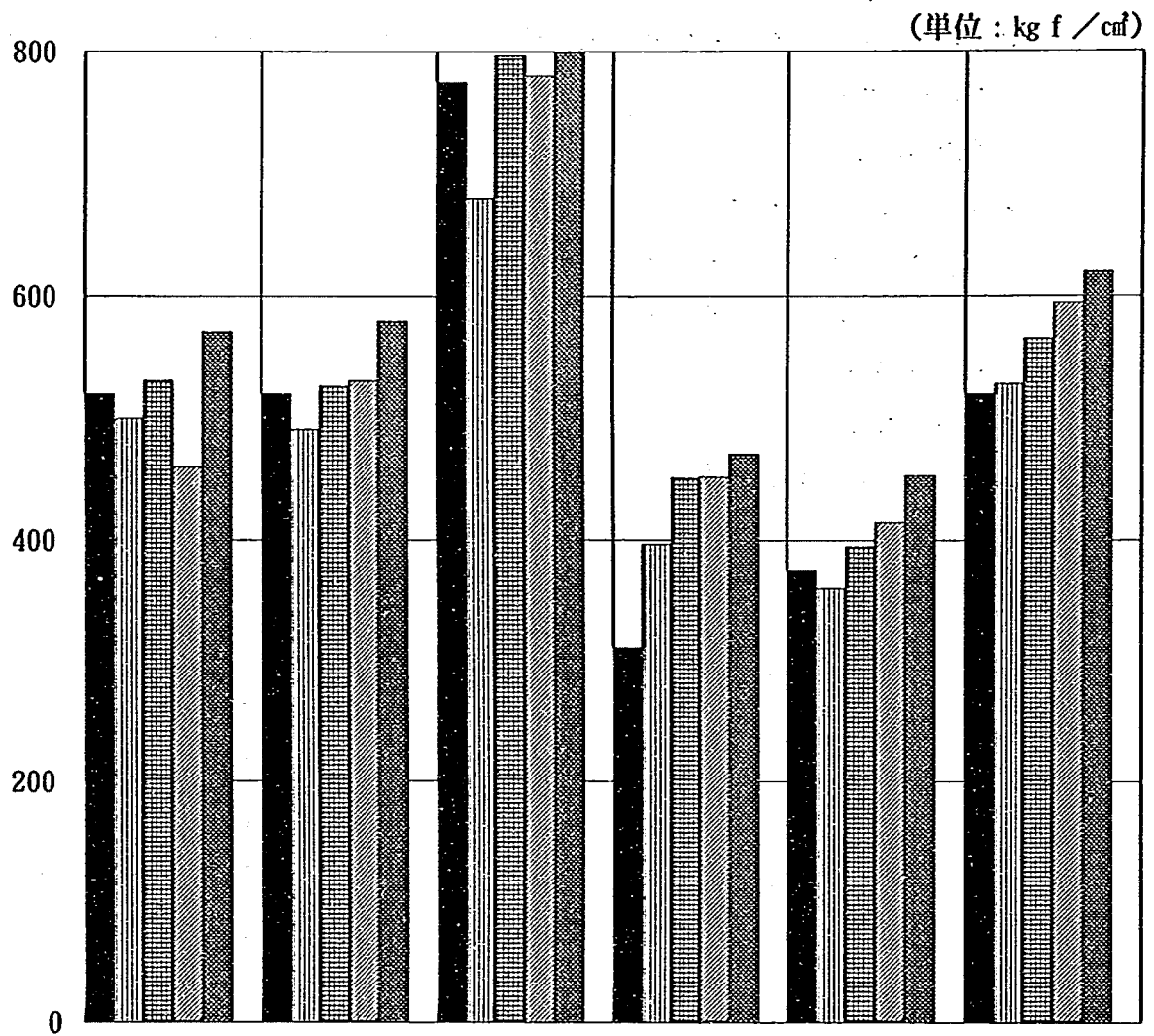


表-4. 22 圧縮強度試験結果



■ 材令 28日	520	520	773	311	378	520
▨ 1年	502	490	680	397	362	535
▩ 3年	532	525	797	445	395	564
▧ 5年	460	530	781	446	414	595
▦ 10年	570	579	862	470	449	620
含 浸 剤	アクリル系	シリコン系	無	無	無	無
セメント W/C (%)	早 強 40	早 強 40	早 強 + シリカフェーム 30	高 炉 B 50	普 通 50	早 強 40

4. 7 全細孔径容積・ほか

4. 7. 1 試験概要

φ 150×300 の円柱体を施設の第3デッキ上（一部・非海洋）に暴露し、下記の測定を行った。

- ・全細孔径容積
- ・平均細孔径
- ・insol（不溶残分）
- ・NaCl（モルタルベース）
- ・NaCl（ペーストベース）
- ・塩分浸透深さ
- ・中性化深さ

供試体番号はの内容は表-4.23に示す。

表-4. 23 供試体番号の内容一覧

要因・条件	内 容	記 号
暴 露 環 境	海 洋	X
	非 海 洋	Y
セメントの種類	普 通	N
	早 強	H
	高 炉 B	B
水セメント比	40	4
	50	5
	60	6
養 生 条 件	20℃、75%、気中	A
	7日、20℃、水中	B
	10℃、50%、気中	C
	28日、20℃、水中	D
	含 浸 剤	E

なお、本試験は(株)セメント協会が担当した。

4. 7. 2 全細孔径容積測定結果

細孔測定用コンクリート片 a. b. c. d は図-4.3 に示す位置より採取した。

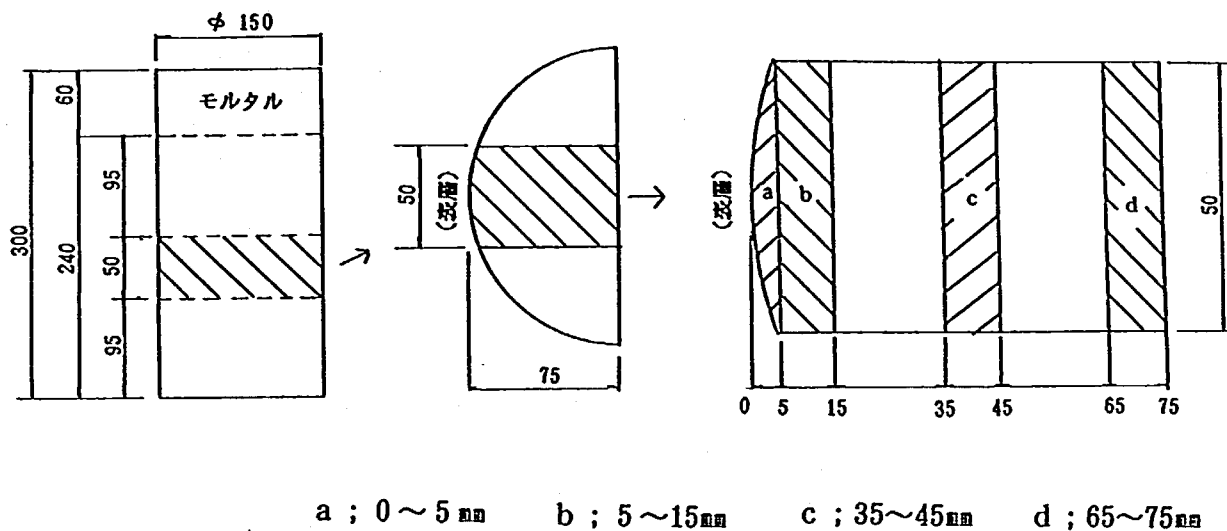


図-4.3 試験片採取位置

全細孔径容積測定結果を図-4.4 に示す。この図より次の傾向が読み取れる。

- ① 全細孔径容積は、いずれのセメントにおいても、水セメント比、表層深さ、材齢、養生条件、暴露環境による違いは見受けられなかった。ただし、早強セメントにおいては、全細孔径容積は、水セメント比が大きくなるにしたがい若干大きくなる傾向を示した。
- ② 全細孔径容積は、同一の水セメント比、表層深さ、材齢、養生条件、暴露環境について比較した場合、普通セメント、早強セメント、高炉セメントBの順に小さくなる傾向を示した。

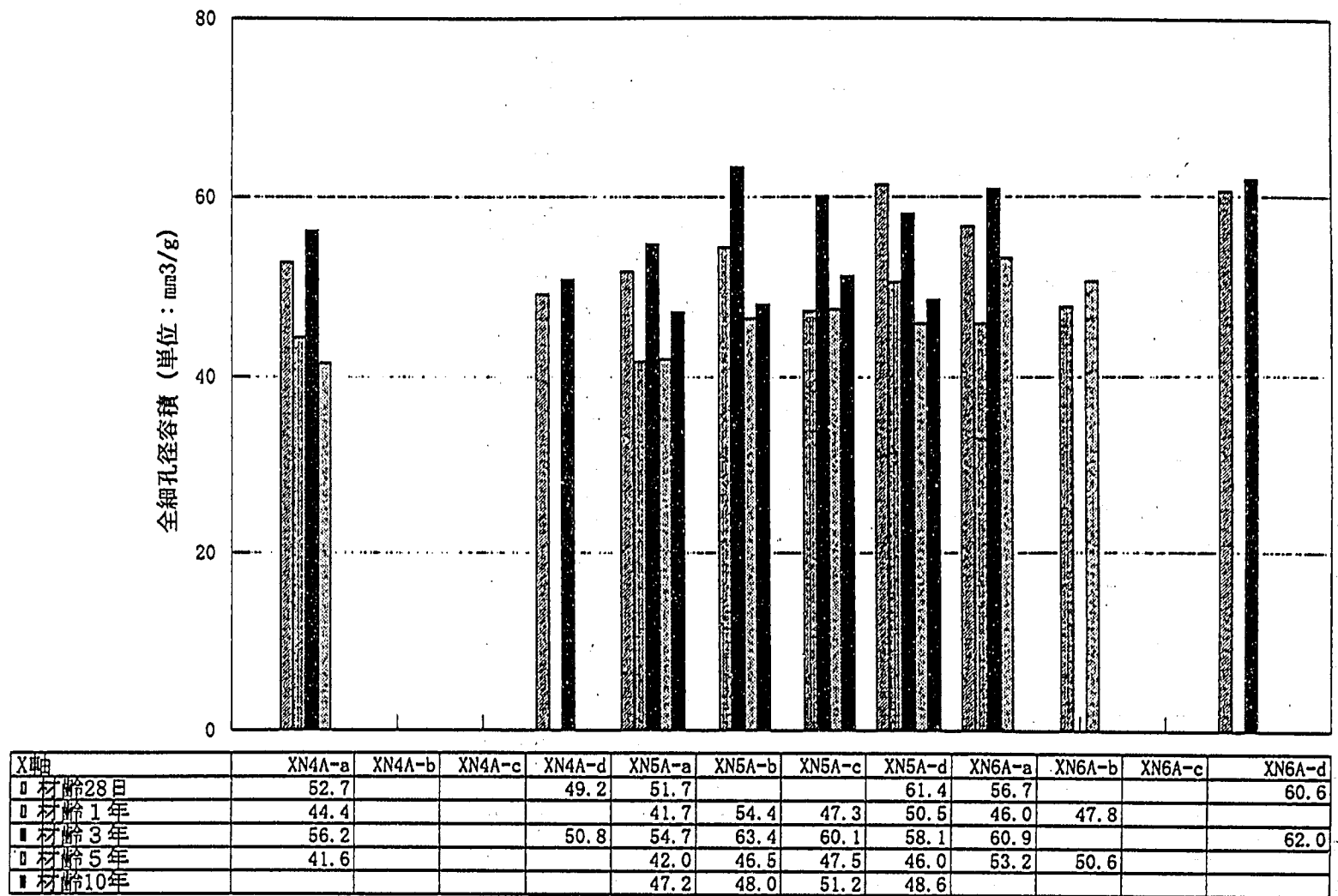
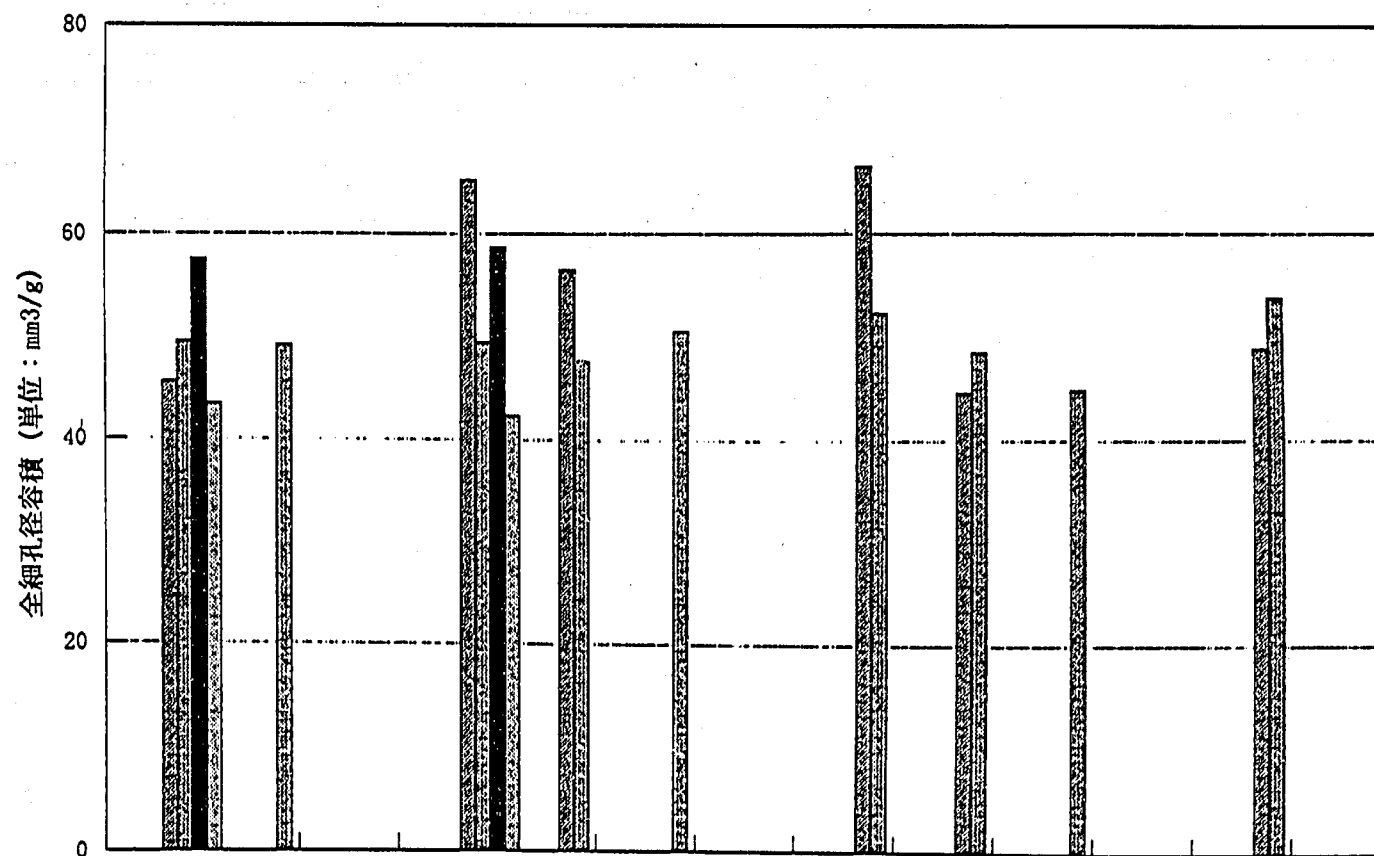


図-4.4(1) 全細孔径容積 (T. P. V) 普通セメント



X軸	XN5B-a	XN5B-b	XN5B-c	XN5B-d	XN5C-a	XN5C-b	XN5C-c	XN5C-d	XN5D-a	XN5D-b	XN5D-c	XN5D-d
材齢28日	45.6			65.2	56.5			66.5	44.7			48.9
材齢1年	49.5	49.2		49.5	47.7	50.6		52.3	48.6	44.9		53.8
材齢3年	57.5			58.7								
材齢5年	43.5			42.4								
材齢10年												

図-4.4(2) 全細孔径容積 (T. P. V) 普通セメント

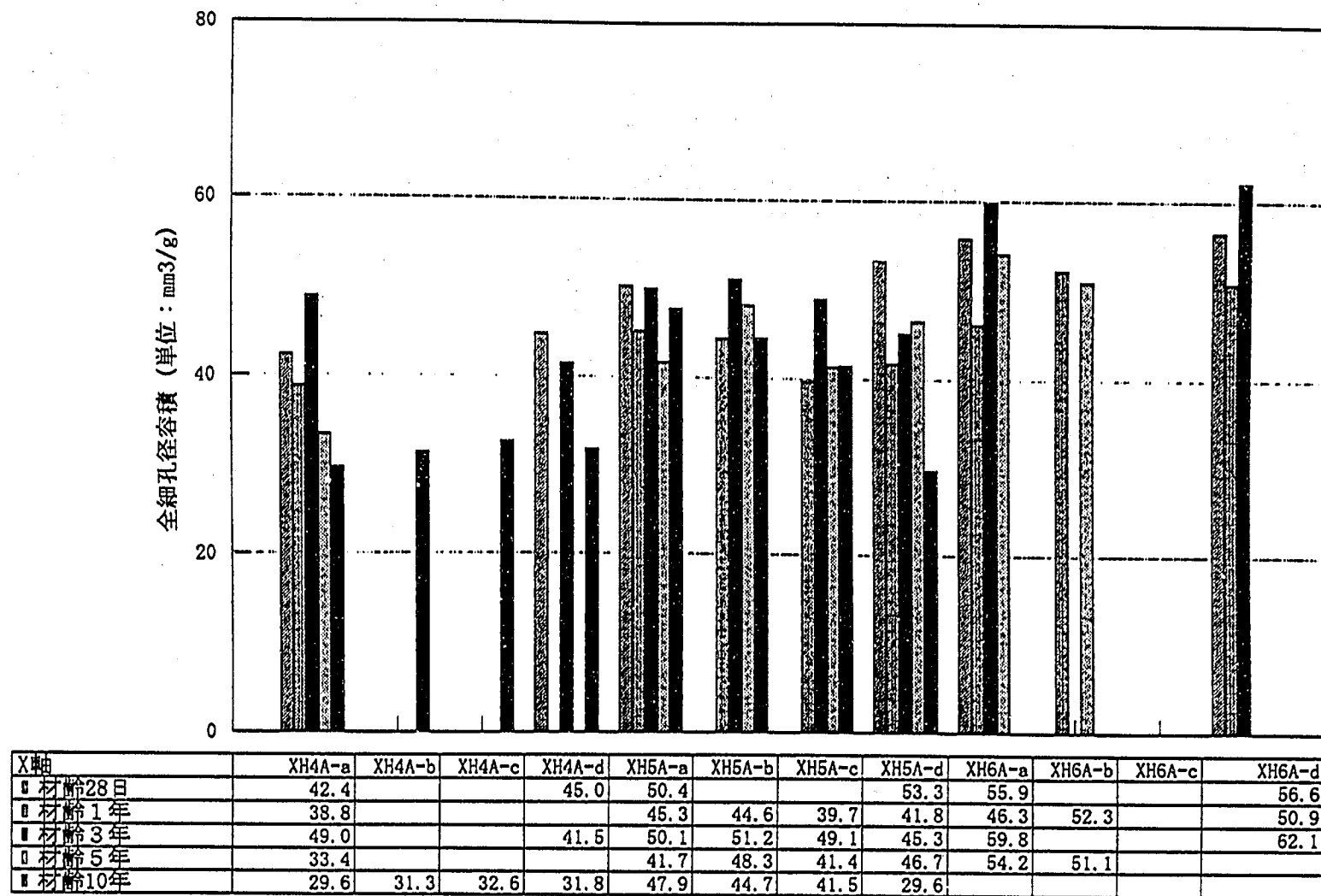


図-4.4(3) 全細孔径容積 (T. P. V) 早強セメント

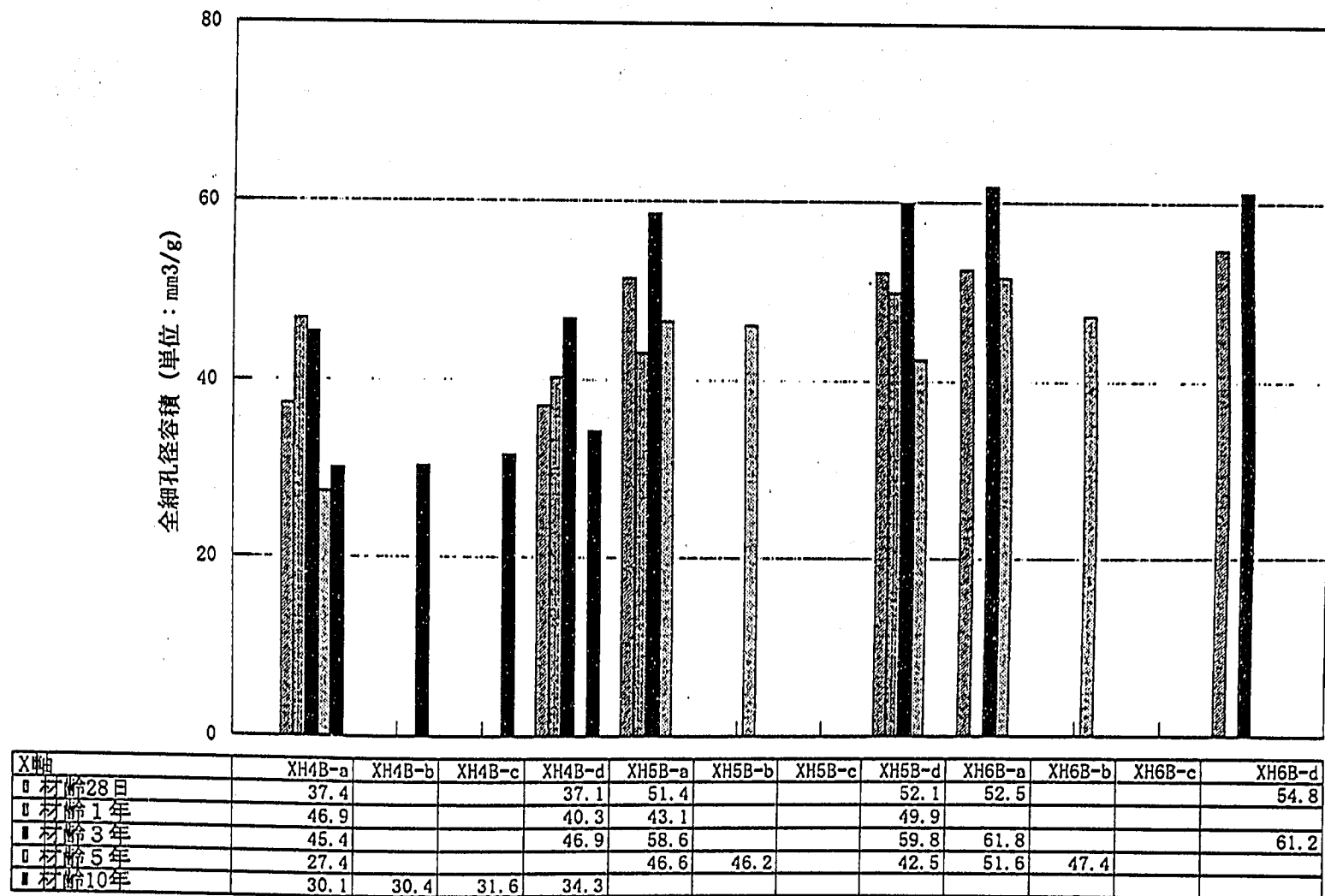


図-4.4(4) 全細孔径容積 (T. P. V) 早強セメント

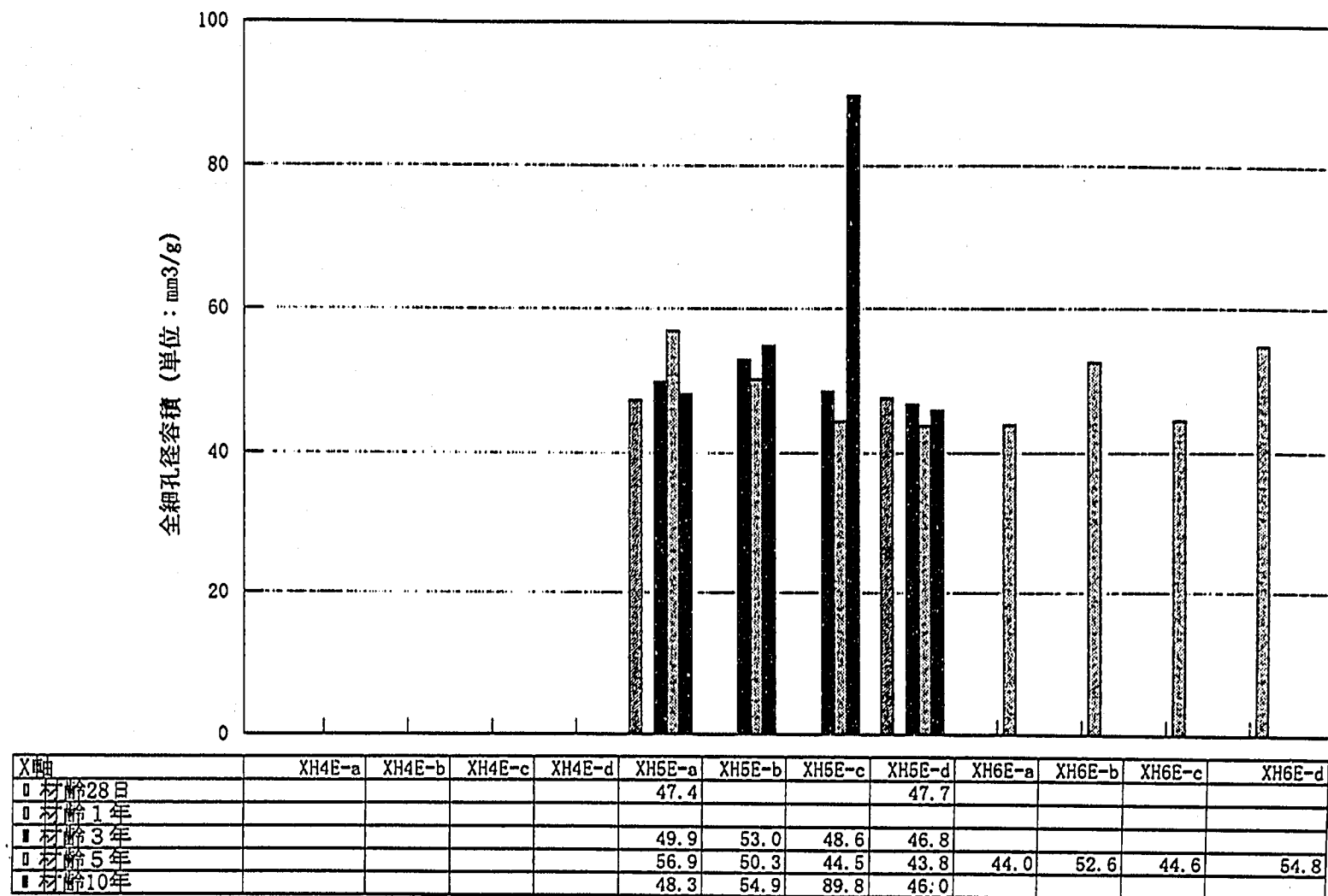


図-4.4(5) 全細孔径容積 (T. P. V) 早強セメント

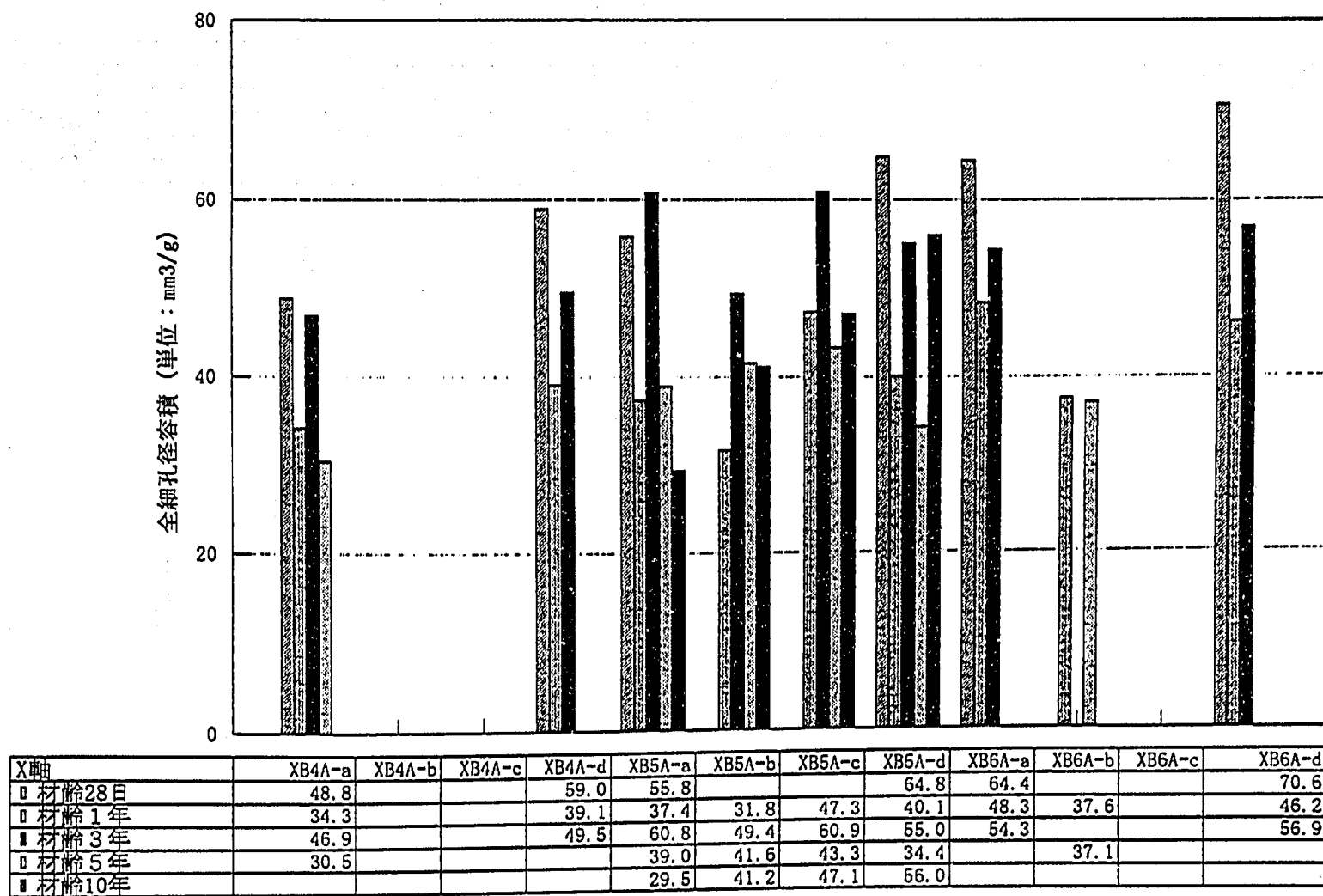


図-4.4(6) 全細孔径容積 (T. P. V) 高炉セメント

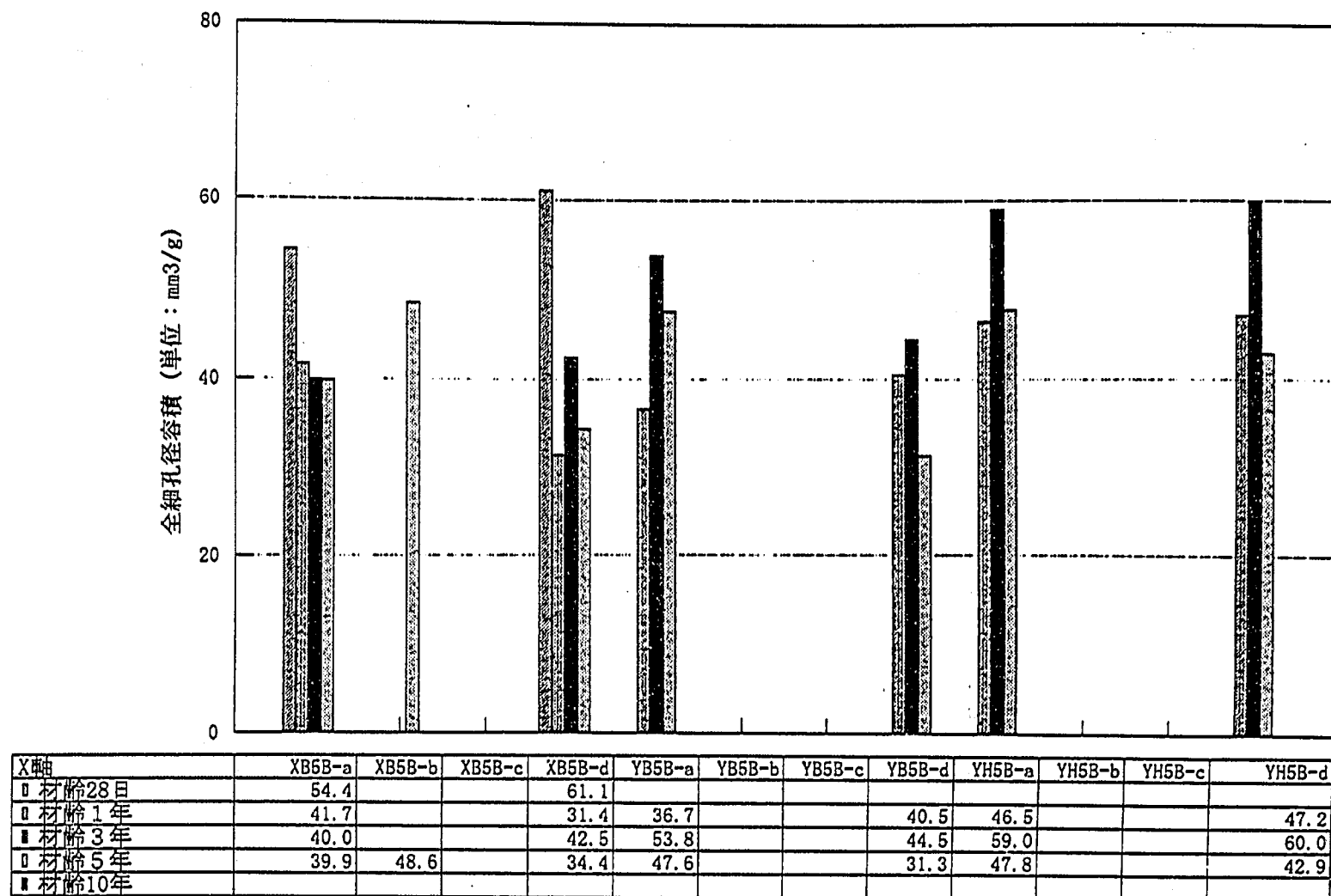


図-4.4(7) 全細孔径容積 (T. P. V) 高炉セメント

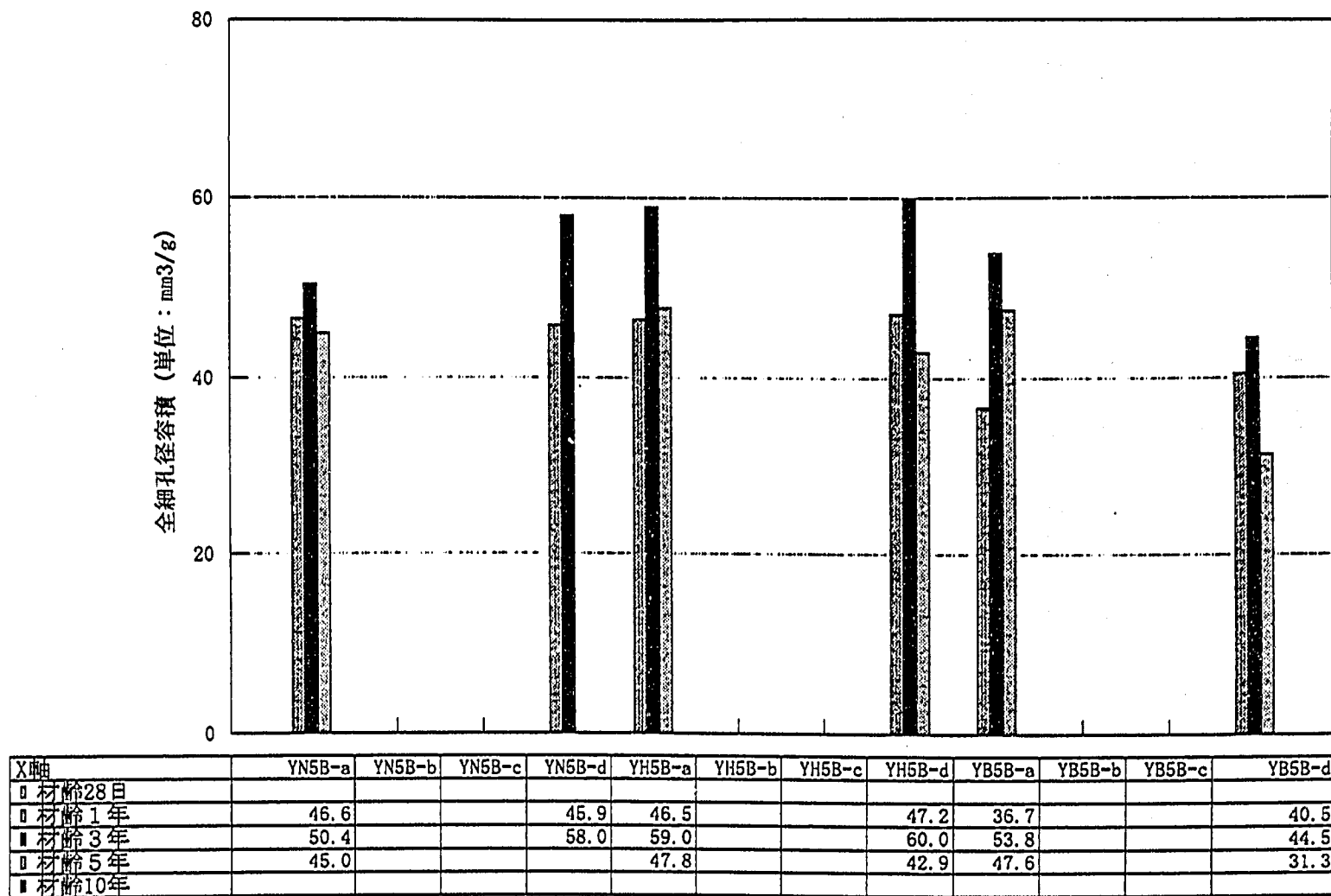


図-4.4(8) 全細孔径容積 (T. P. V) 屋外シリーズ

4. 7. 3 平均細孔径測定結果

平均細孔径測定結果を図-4.5に示す。この図より次の傾向が読みとれる。

- ① 海洋暴露供試体の場合、同一の材齢、表層深さについて比較した場合、いずれのセメント、養生条件においても、平均細孔径は、水セメント比による違いは見受けられなかった。
- ② 海洋暴露供試体の気乾養生（20℃、75%）の場合、平均細孔径は、普通セメントおよび早強セメントを使用したものについては、材齢とともに大きくなる傾向を示した
- ③ 平均細孔径は、同一の養生条件、水セメント比、暴露条件の供試体について比較した場合、表層深さによる顕著な違いは見受けられなかった。ただし、普通セメントを使用した場合についてのみ、平均細孔径は、表層深さが大きくなるにしたがい若干大きくなる傾向を示した。
- ④同一の水セメント比および暴露条件の供試体の場合、いずれのセメントを使用した場合においても、気乾養生および水中養生を行った供試体の平均細孔径は同等の値を示した。

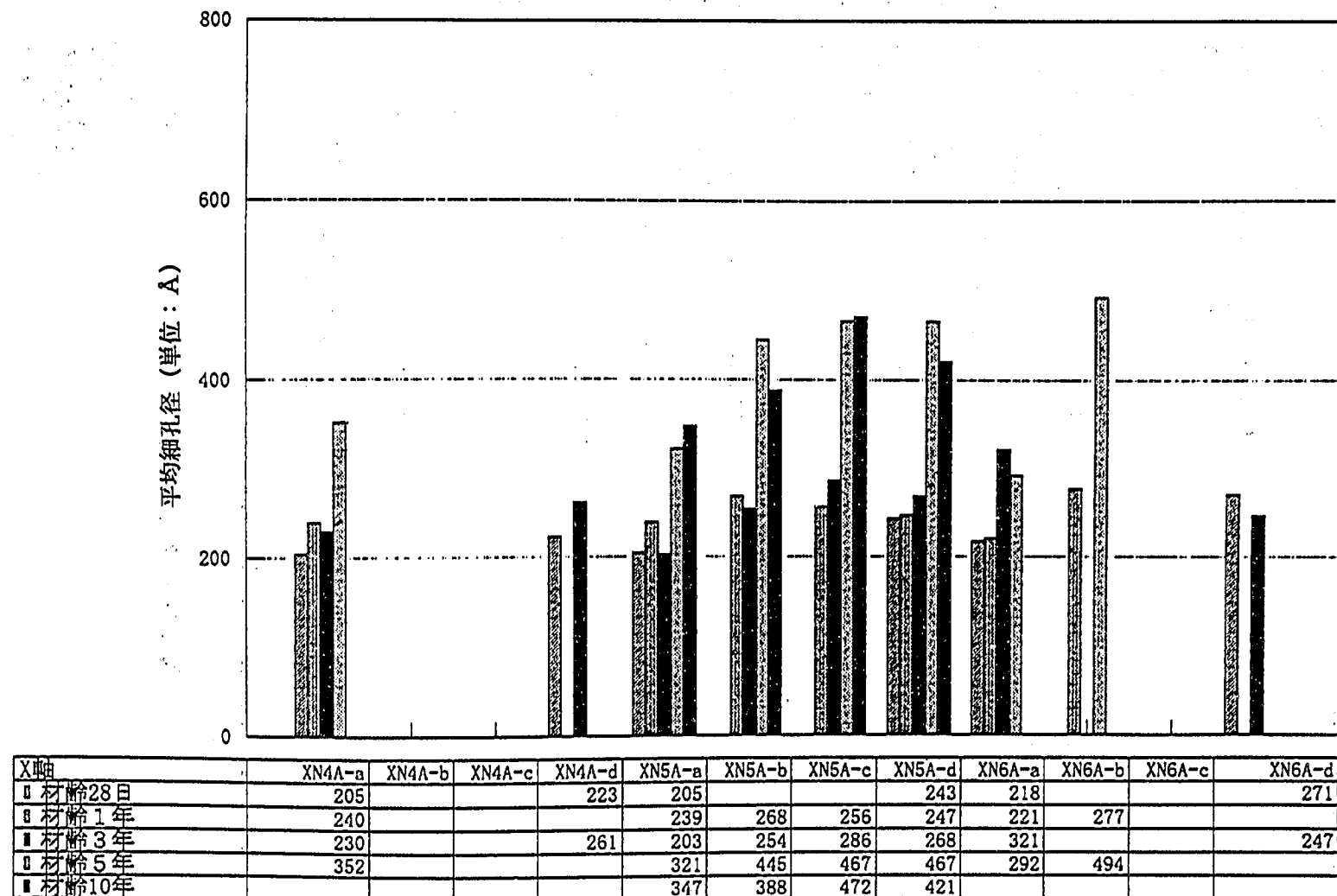


図-4.5(1) 平均細孔径 普通セメント-1

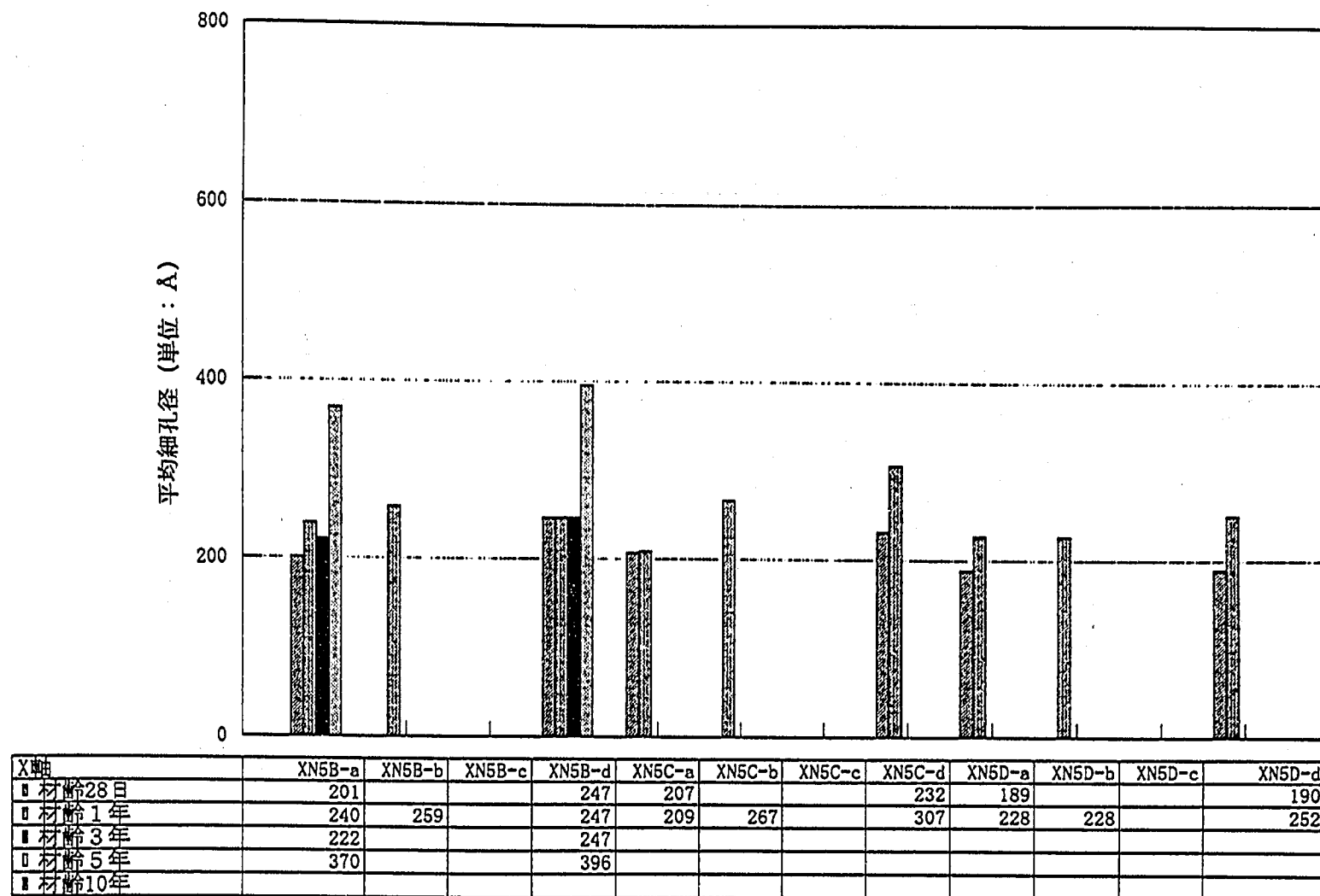


図-4.5(2) 平均細孔径 普通セメント-2

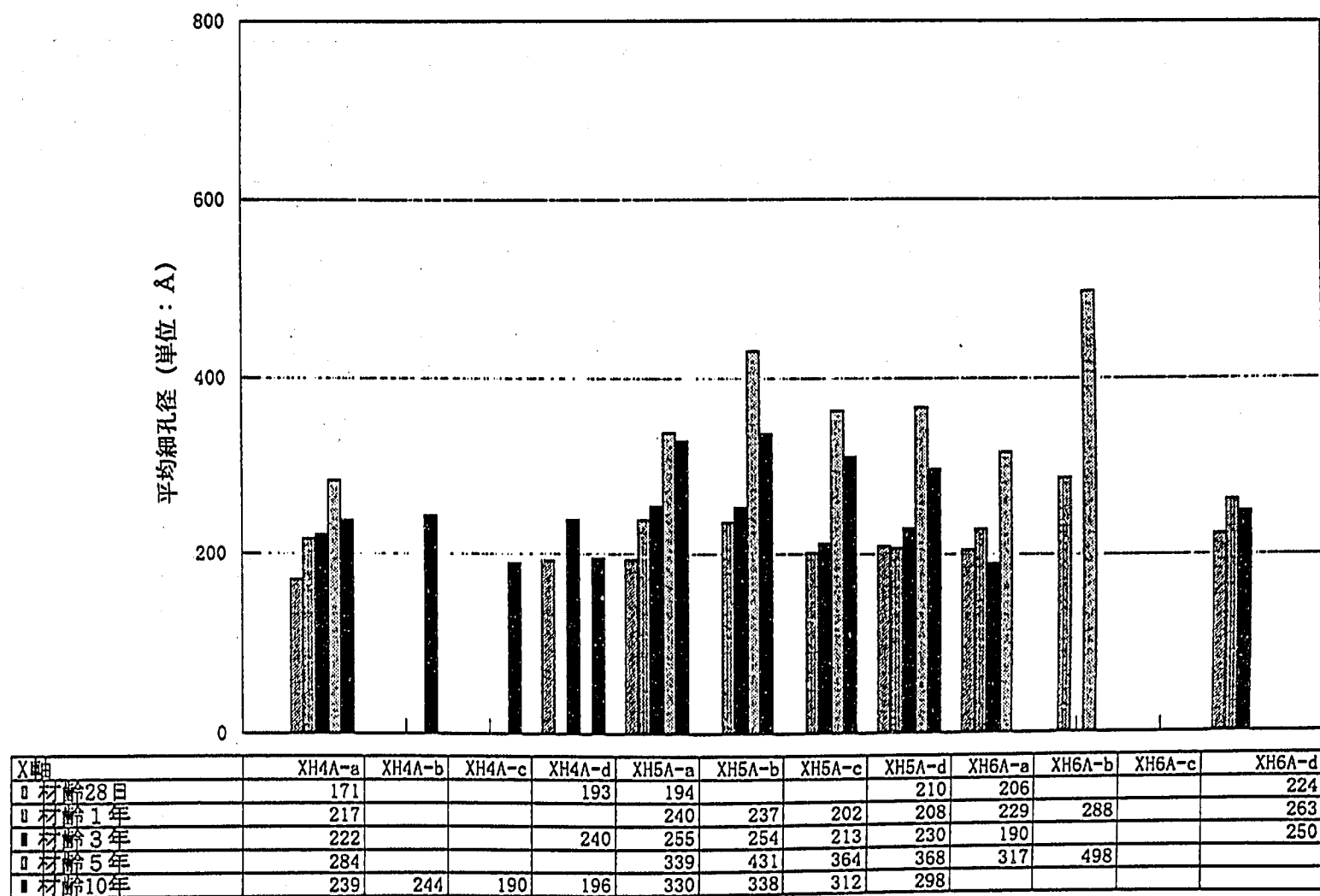


図-4.5(3) 平均細孔径 早強セメント-1

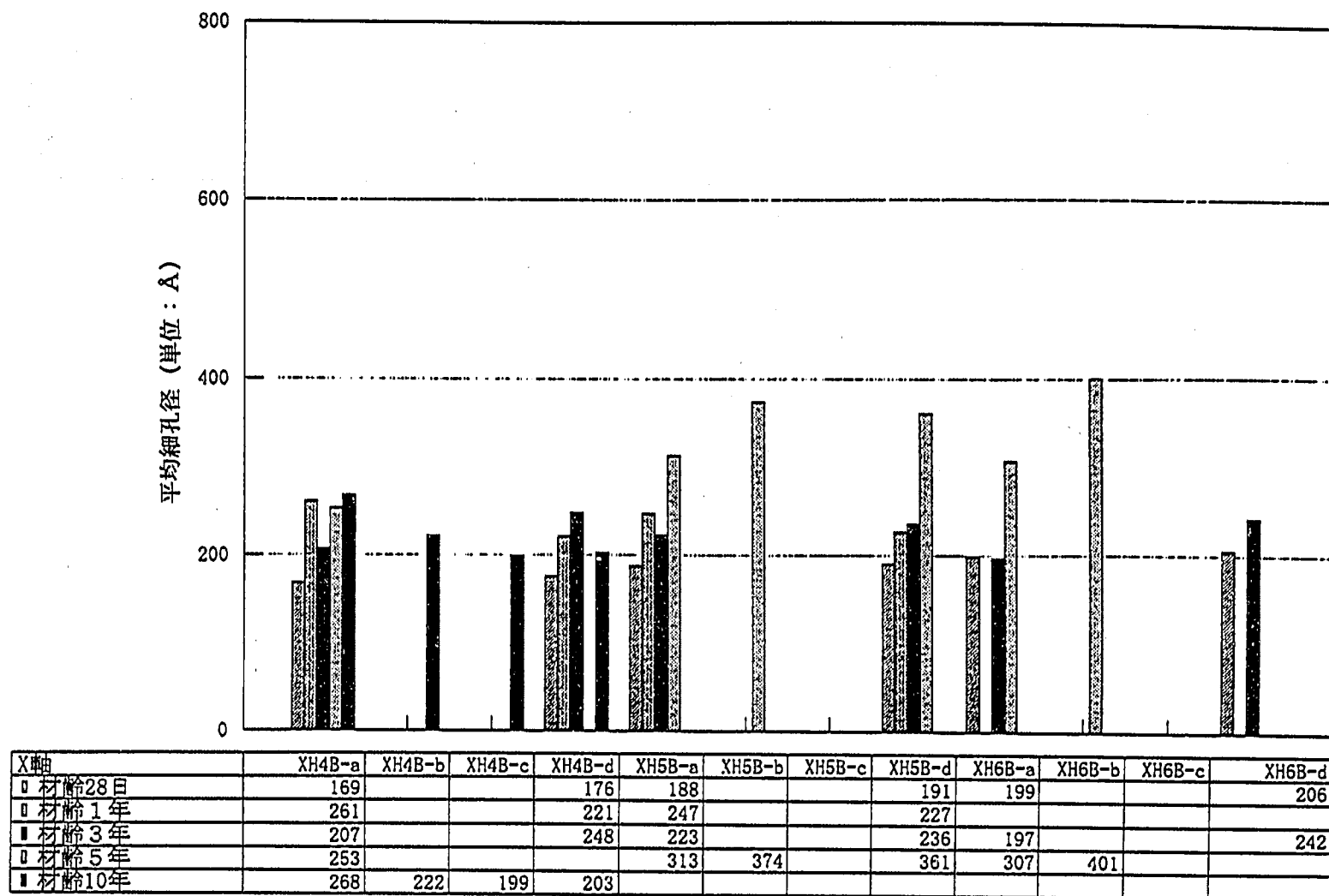


図-4.5(4) 平均細孔径 早強セメント-2

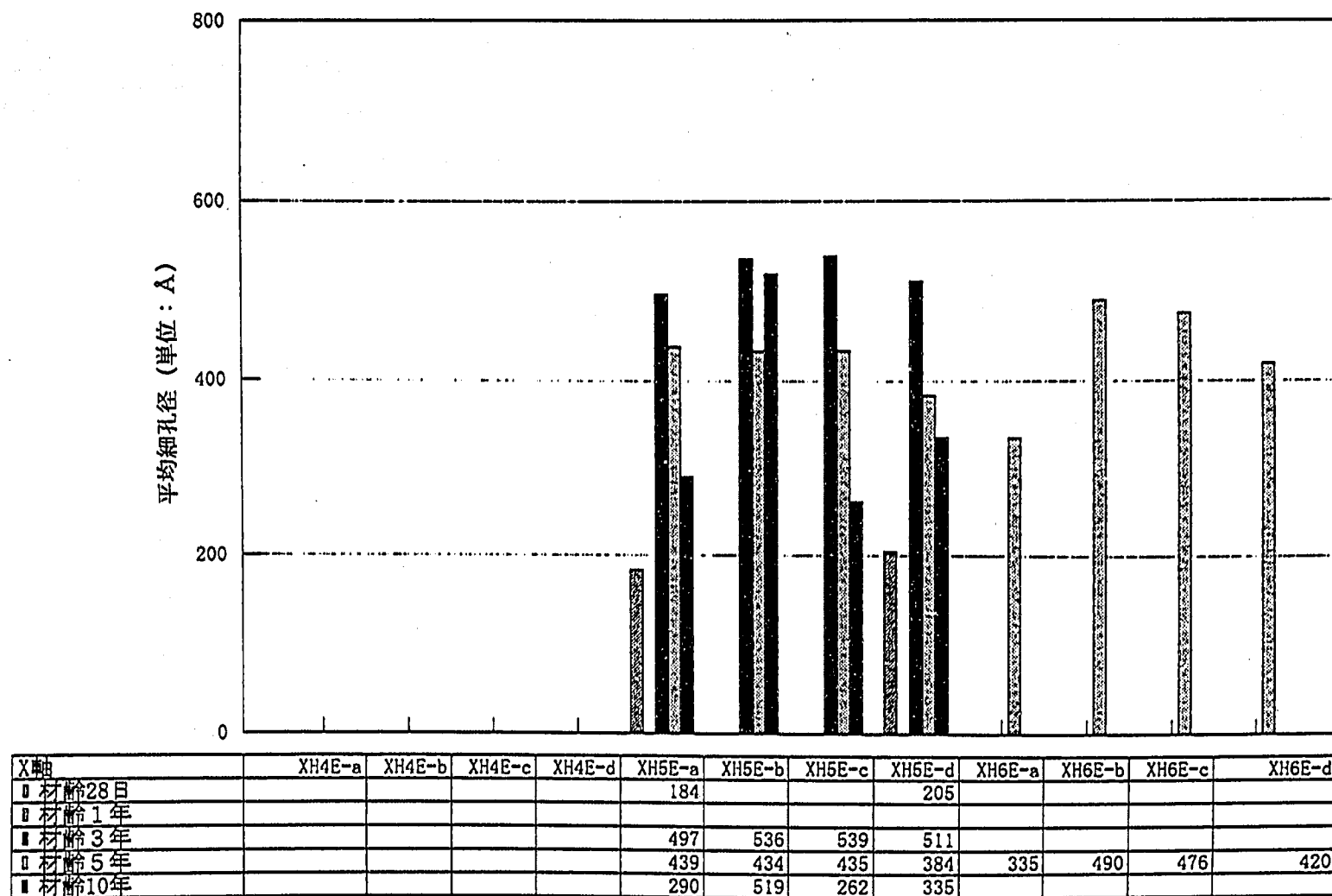


図-4.5(5) 平均細孔径 早強セメント-3

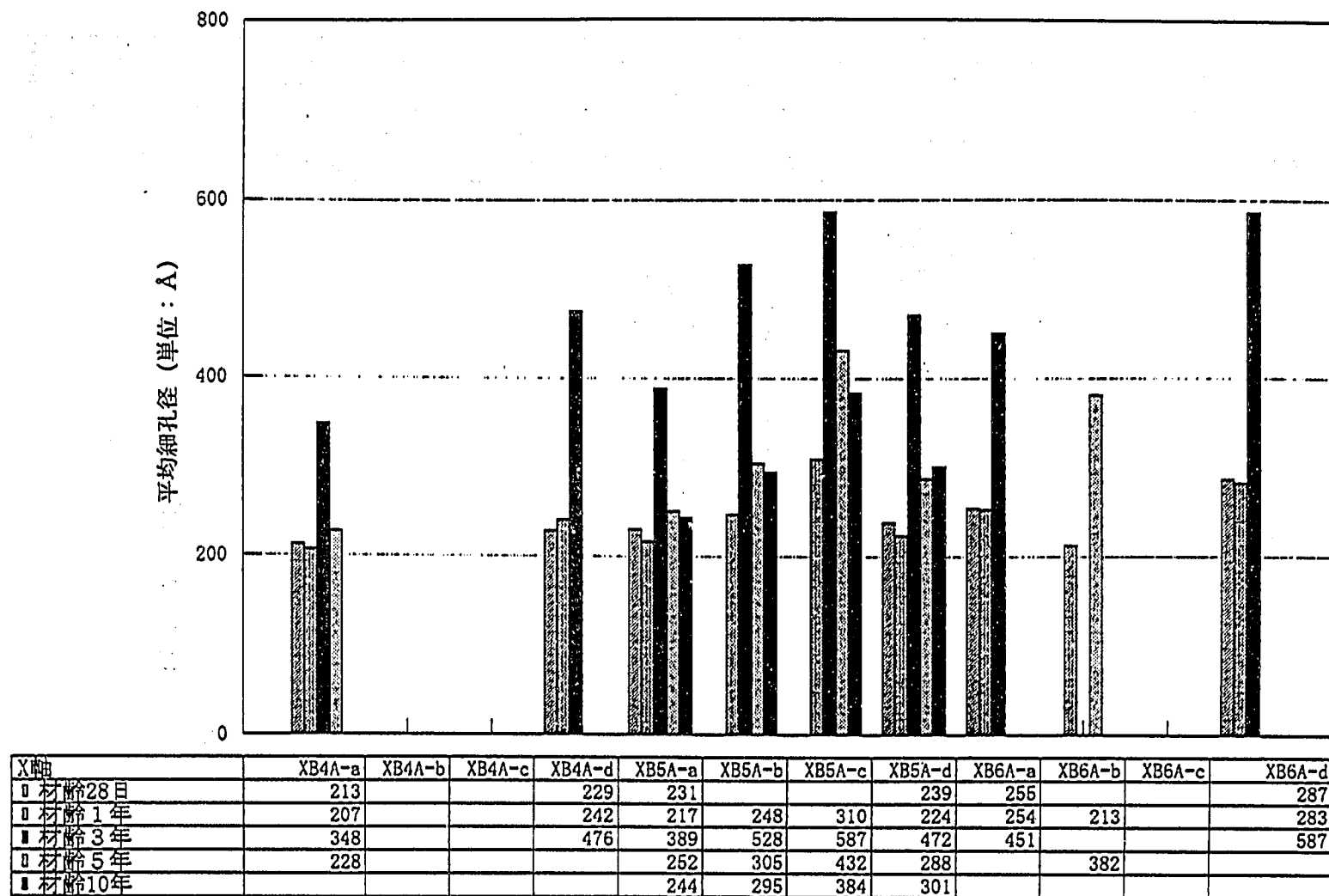


図-4.5(6) 平均細孔径 高炉セメント-1

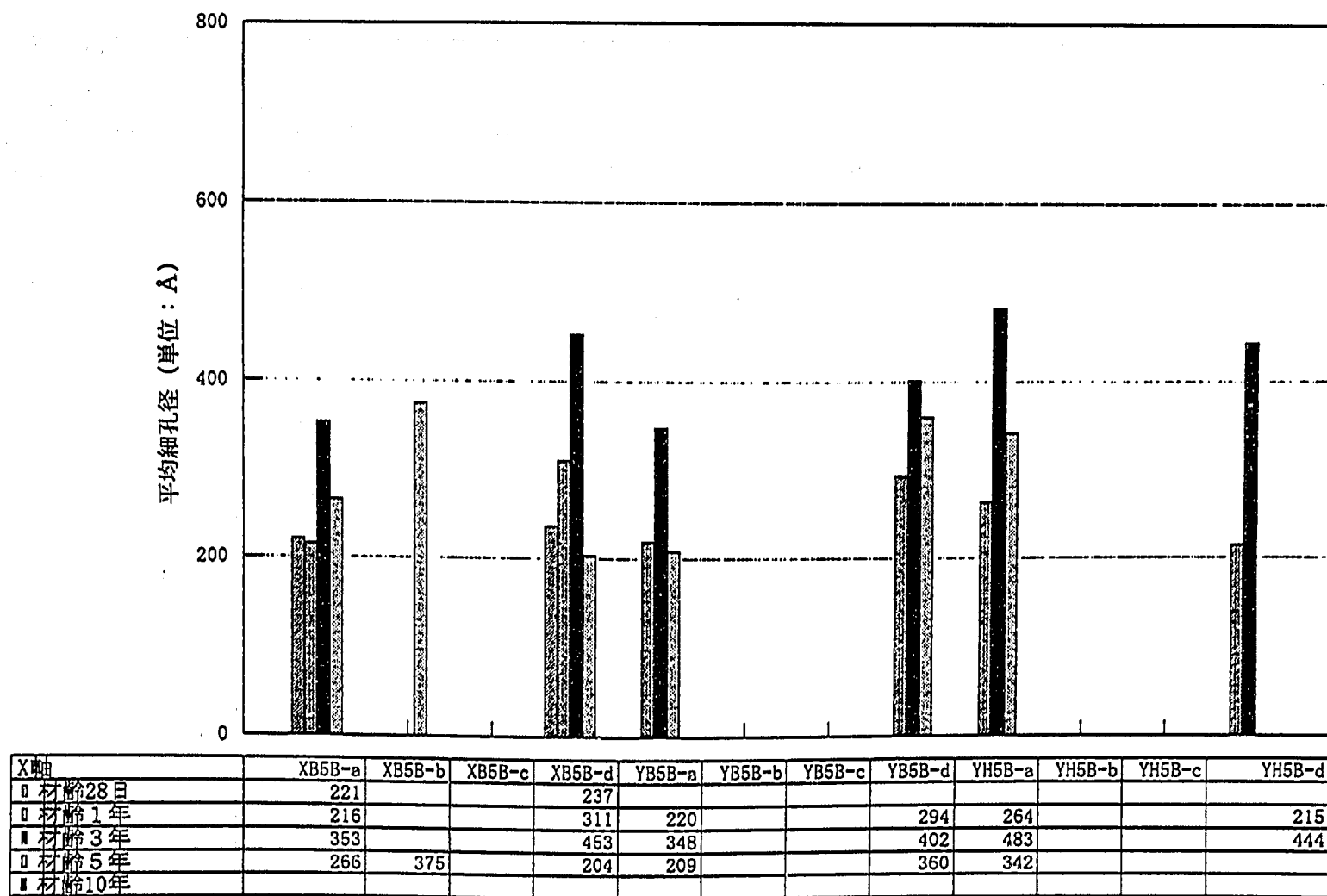


図-4.5(7) 平均細孔径 高炉セメント-2

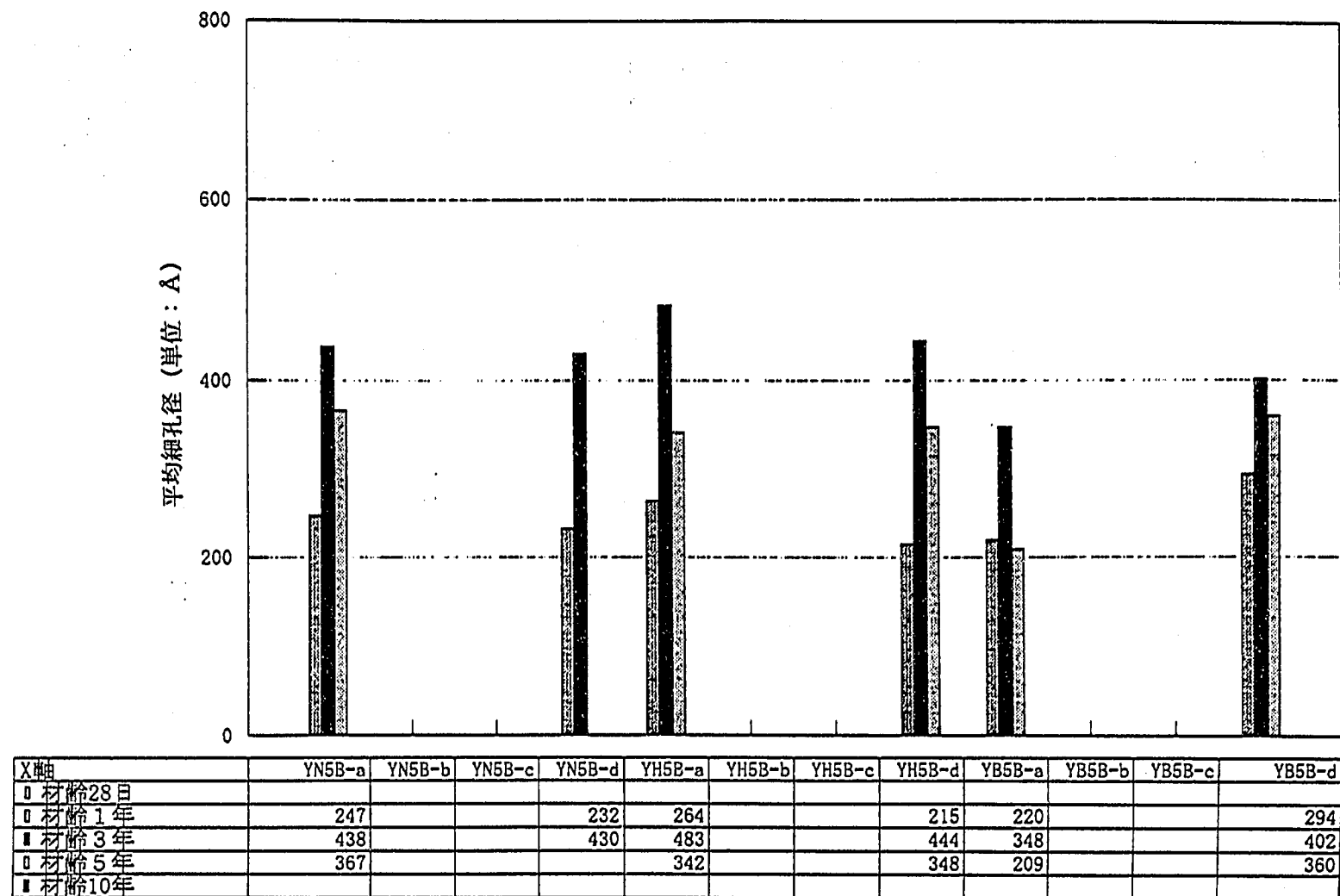
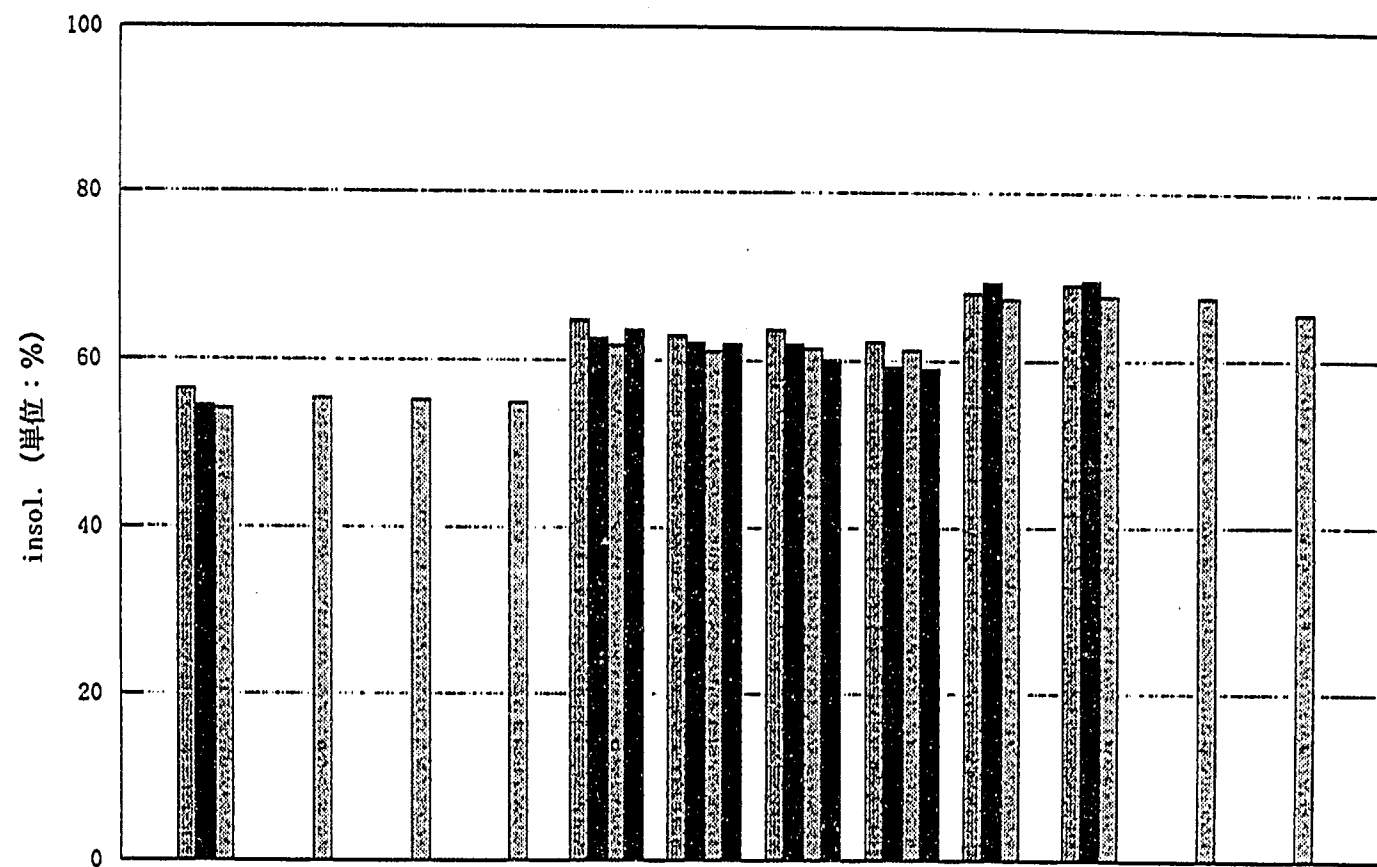


図-4.5(8) 平均細孔径 屋外シリーズ

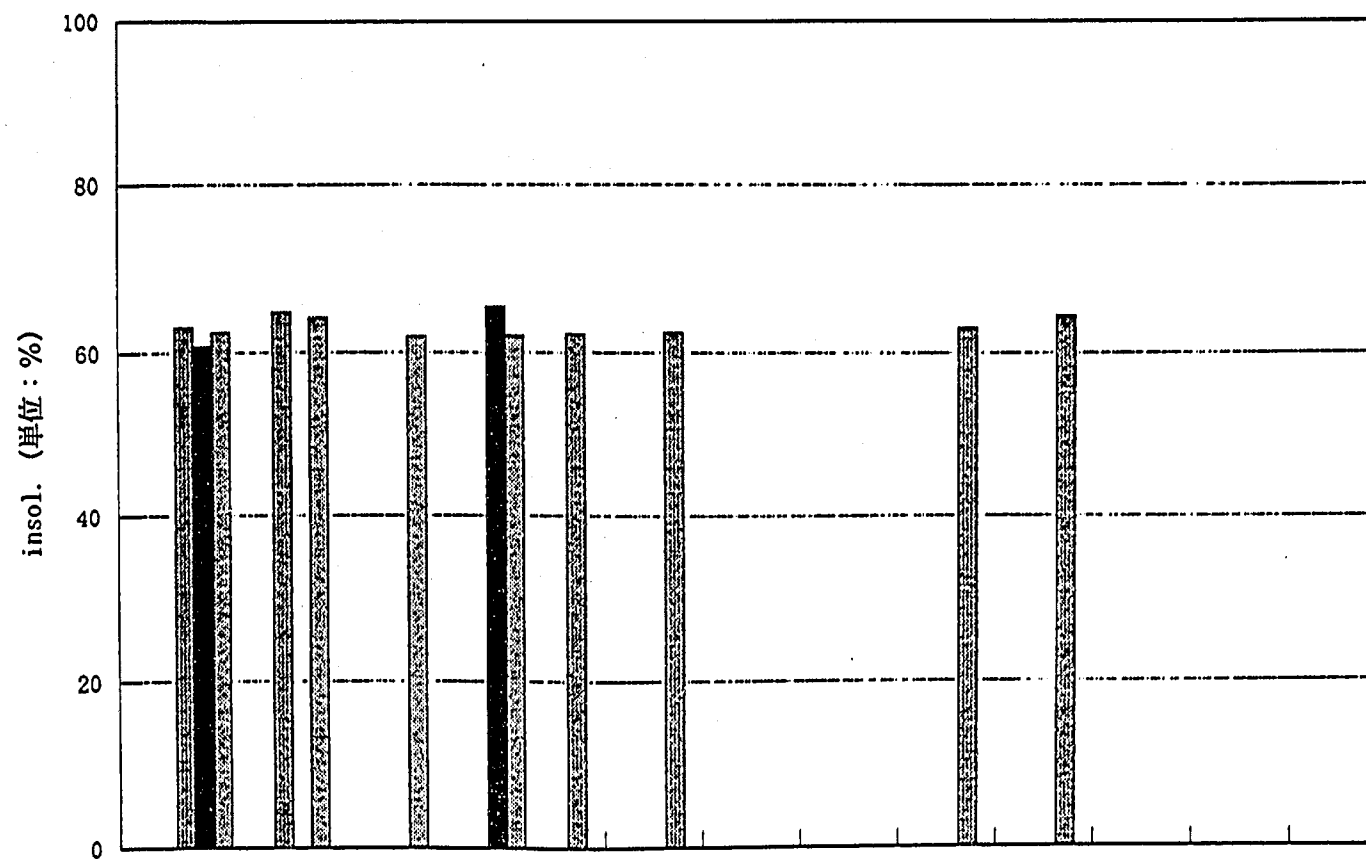
4. 7. 4 insol測定結果

insol（不溶残分）測定結果を図－4. 6に示す。



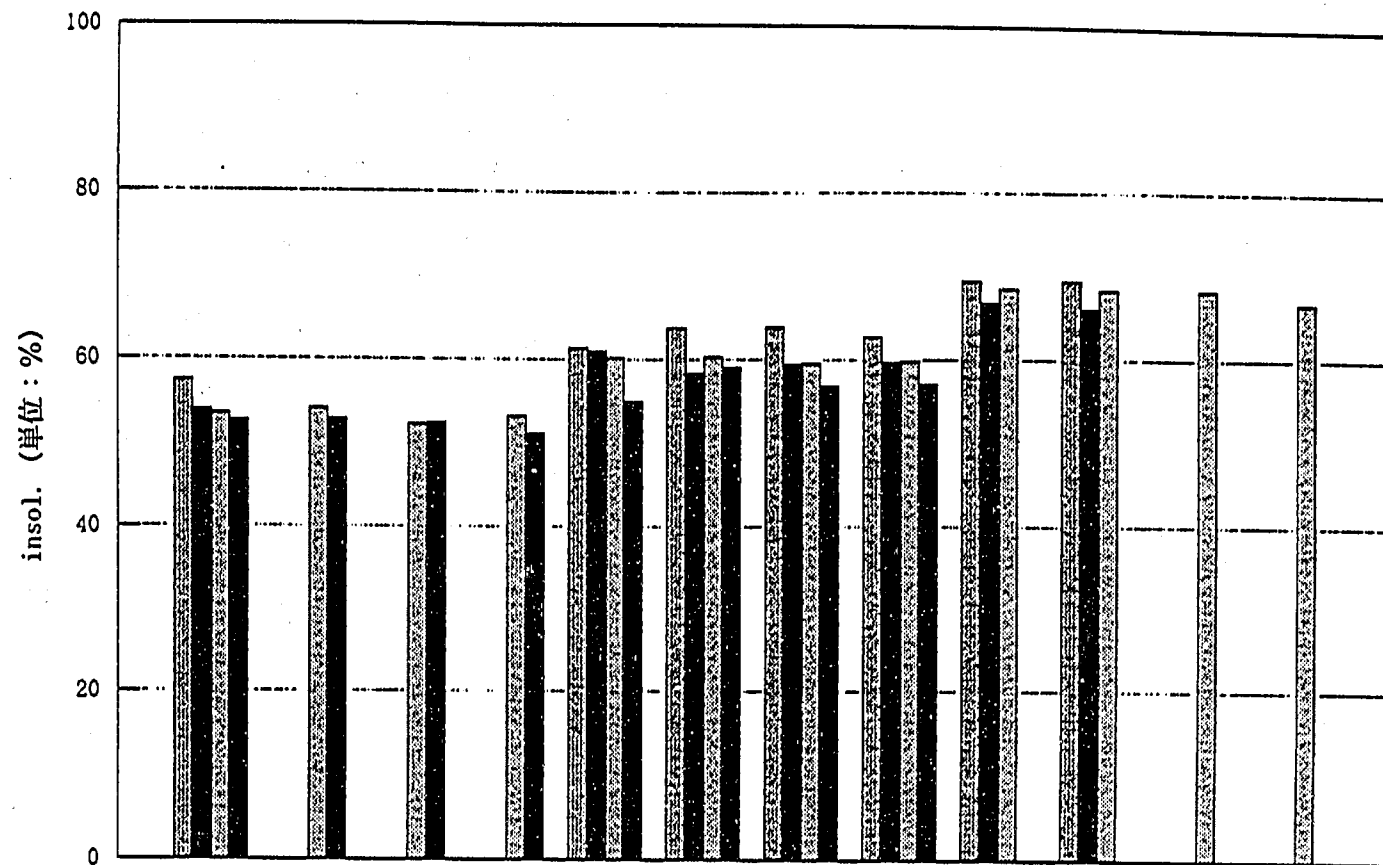
X軸	XN4A-a	XN4A-b	XN4A-c	XN4A-d	XN5A-a	XN5A-b	XN5A-c	XN5A-d	XN6A-a	XN6A-b	XN6A-c	XN6A-d
材齢1年	56.58				64.92	63.08	63.84	62.42	68.21	69.14		
材齢3年	54.58				62.72	62.20	62.07	59.39	69.40	69.58		
材齢5年	54.22	55.51	55.30	55.02	61.88	61.19	61.51	61.37	67.46	67.77	67.61	65.67
材齢10年					63.74	62.05	60.24	59.16				

図-4.6(1) insol 普通セメント-1



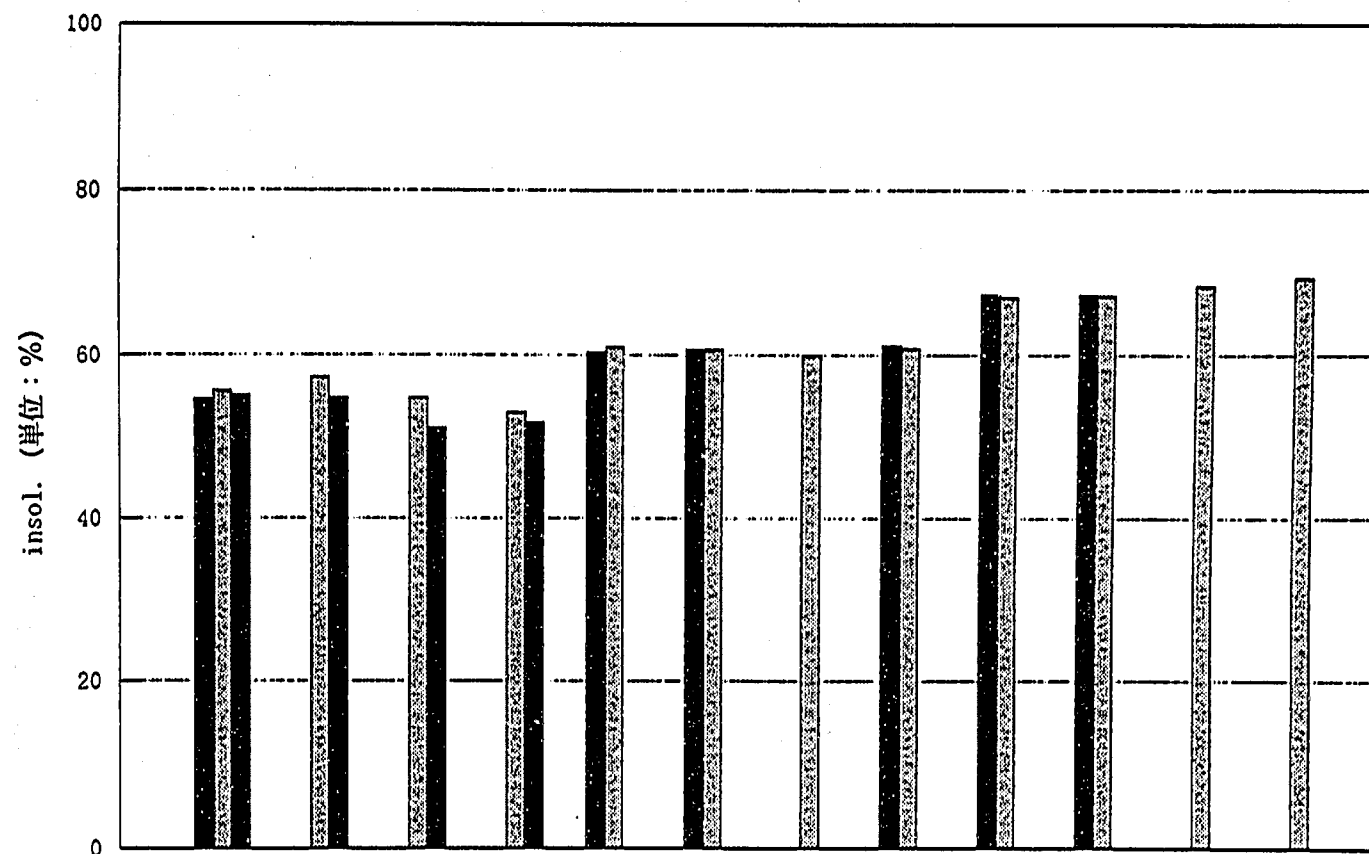
X軸	XN5B-a	XN5B-b	XN5B-c	XN5B-d	XN5C-a	XN5C-b	XN5C-c	XN5C-d	XN5D-a	XN5D-b	XN5D-c	XN5D-d
材齢1年	63.09	64.91			62.29	62.51			63.02	64.49		
材齢3年	60.82			65.57								
材齢5年	62.53	64.27	61.98	62.09								
材齢10年												

図-4.6(2) insol 普通セメント-2



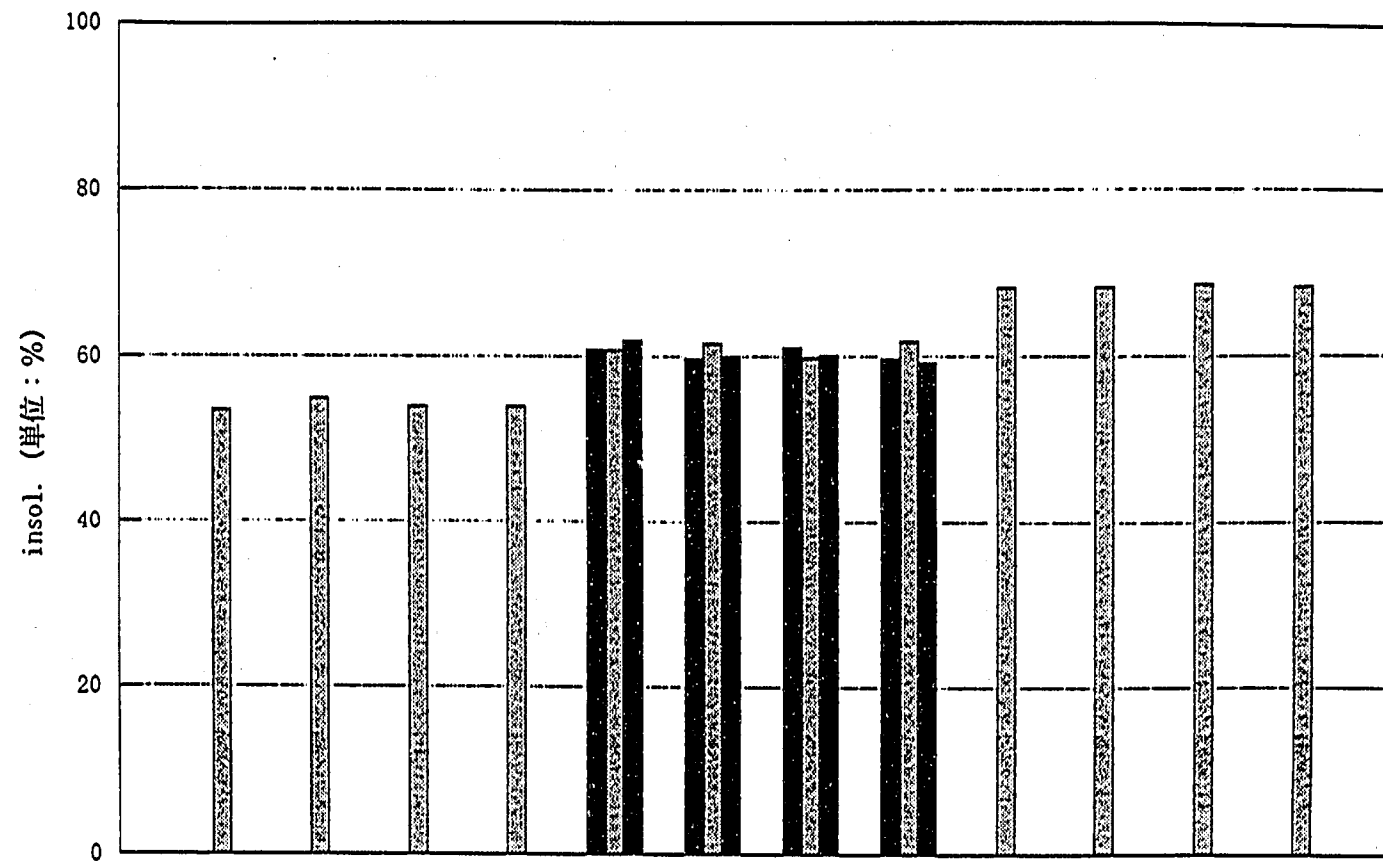
軸	XH4A-a	XH4A-b	XH4A-c	XH4A-d	XH5A-a	XH5A-b	XH5A-c	XH5A-d	XH6A-a	XH6A-b	XH6A-c	XH6A-d
材齢1年	57.54				61.43	63.82	64.04	62.76	69.52	69.51		
材齢3年	53.98				61.10	58.43	59.52	59.76	66.91	66.20		
材齢5年	53.55	54.19	52.36	53.28	60.30	60.41	59.63	59.94	68.64	68.41	68.39	66.87
材齢10年	52.75	52.92	52.47	51.25	55.11	59.14	56.91	57.15				

図-4.6(3) insol 早強セメント-1



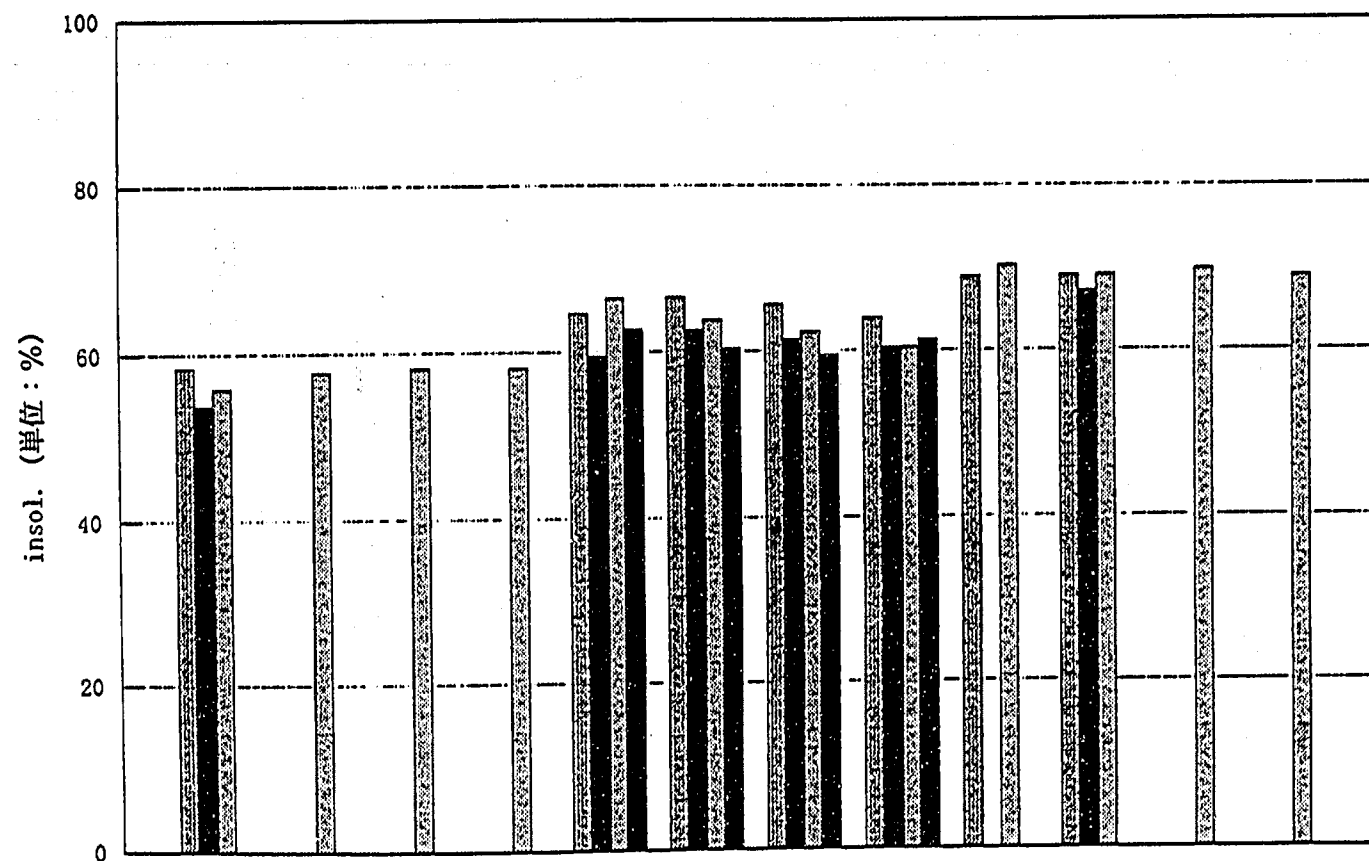
X軸	XH4B-a	XH4B-b	XH4B-c	XH4B-d	XH5B-a	XH5B-b	XH5B-c	XH5B-d	XH6B-a	XH6B-b	XH6B-c	XH6B-d
材齢1年												
材齢3年	54.66				60.39	60.77		61.26	67.56	67.44		
材齢5年	55.70	57.34	54.82	53.04	61.06	60.79	60.07	60.90	67.16	67.36	68.55	69.48
材齢10年	55.16	54.80	51.14	51.77								

図-4.6(4) insol 早強セメント-2



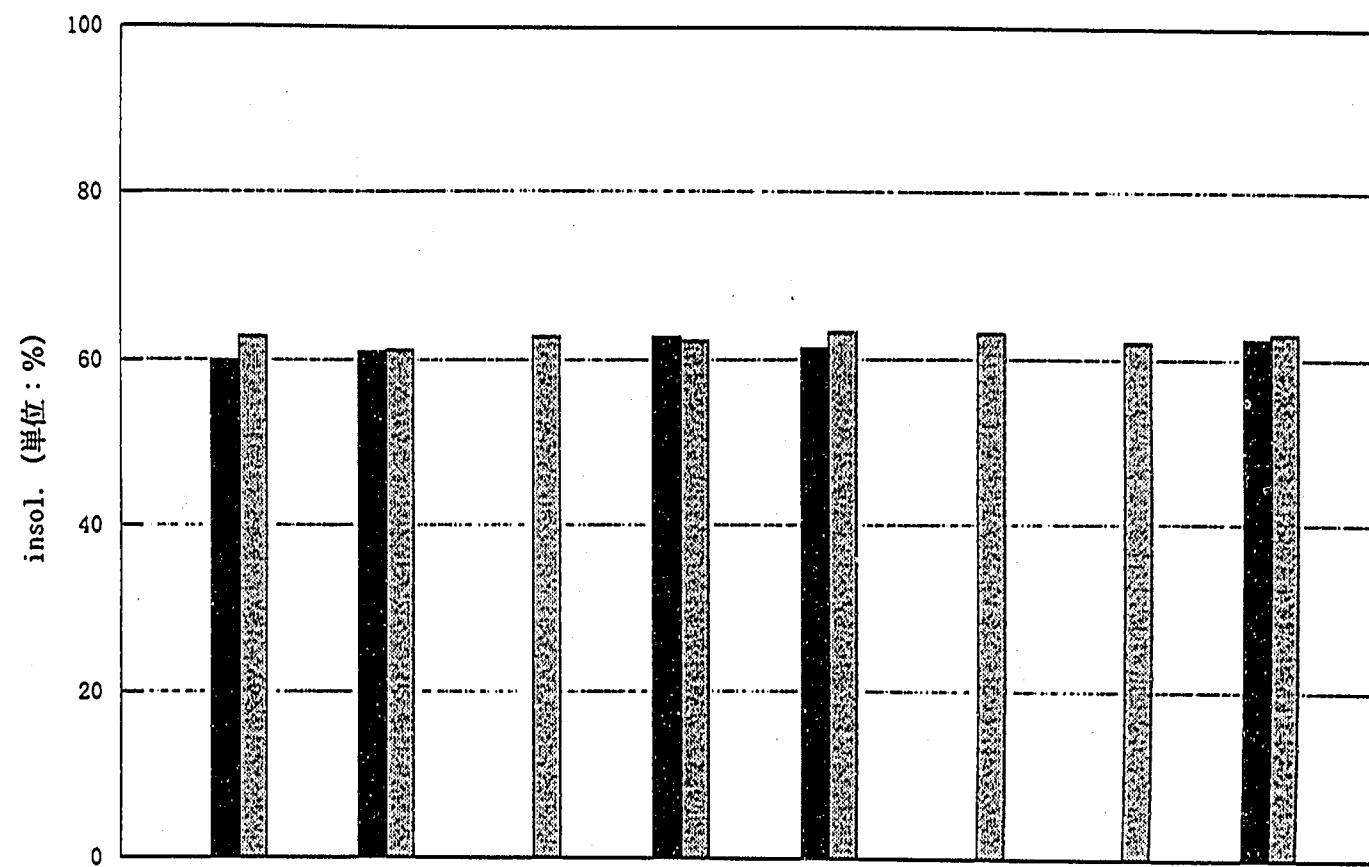
X軸	XH4E-a	XH4E-b	XH4E-c	XH4E-d	XH5E-a	XH5E-b	XH5E-c	XH5E-d	XH6E-a	XH6E-b	XH6E-c	XH6E-d
材齢1年												
材齢3年					60.90	59.73	61.12	59.76				
材齢5年	53.62	55.06	54.11	54.08	60.85	61.62	59.90	61.85	68.26	68.35	68.65	68.36
材齢10年					61.98	60.14	60.19	59.35				

図-4.6(5) insol 早強セメント-3



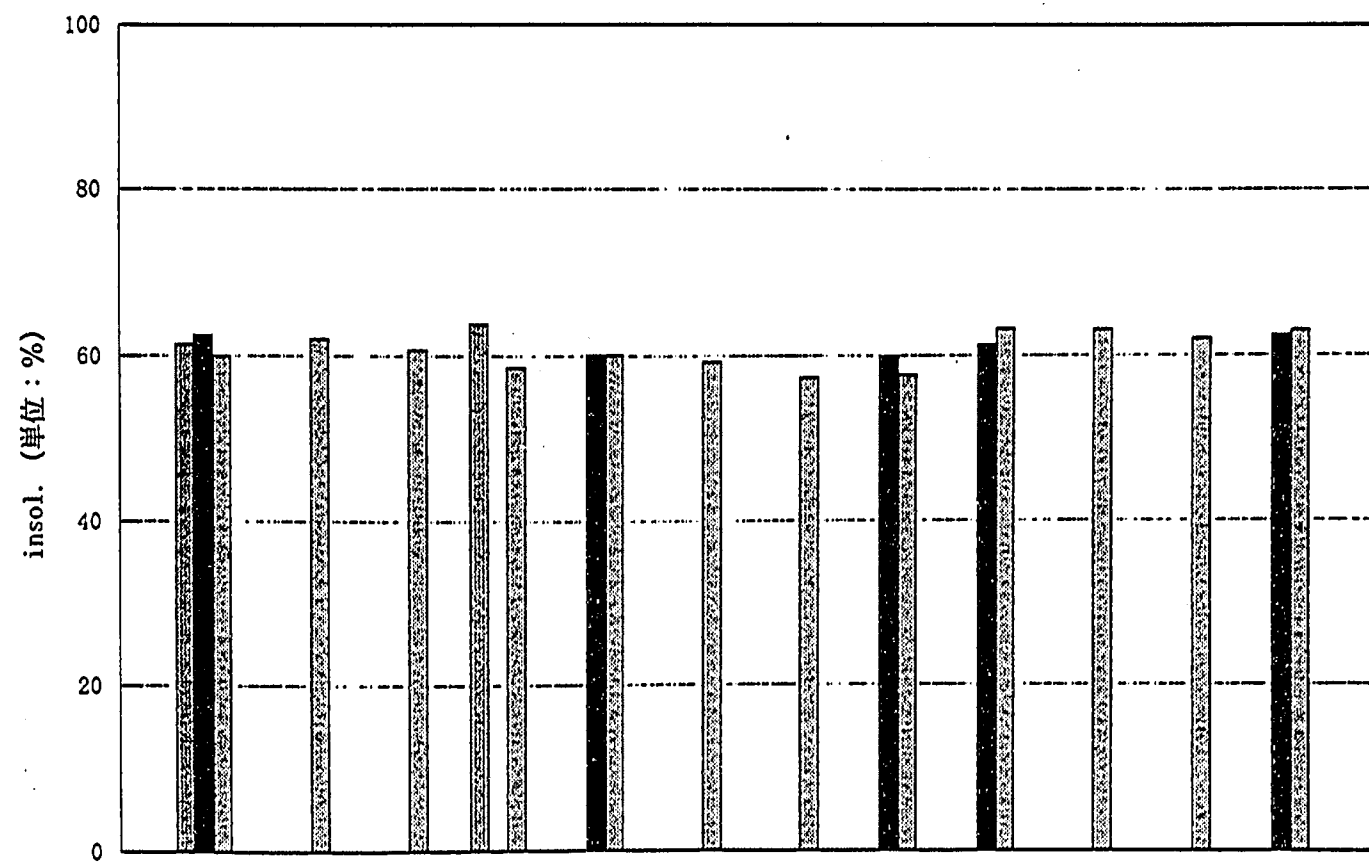
材料	XB4A-a	XB4A-b	XB4A-c	XB4A-d	XB5A-a	XB5A-b	XB5A-c	XB5A-d	XB6A-a	XB6A-b	XB6A-c	XB6A-d
材齢1年	58.46				64.64	66.58	65.59	63.90	68.86	68.94		
材齢3年	53.88				59.47	62.63	61.44	60.38		67.10		
材齢5年	55.98	57.82	58.23	58.21	66.50	63.82	62.34	60.40	70.22	69.03	69.73	68.93
材齢10年					62.74	60.38	59.50	61.30				

図-4.6(6) insol 高炉セメント-1



試料	XB5B-a	XB5B-b	XB5B-c	XB5B-d	YB5B-a	YB5B-b	YB5B-c	YB5B-d
材齢1年								
材齢3年	60.02	61.09		62.81	61.44			62.54
材齢5年	62.95	61.23	62.84	62.34	63.34	63.23	62.16	63.11
材齢10年								

図-4.6(7) insol 高炉セメント-2

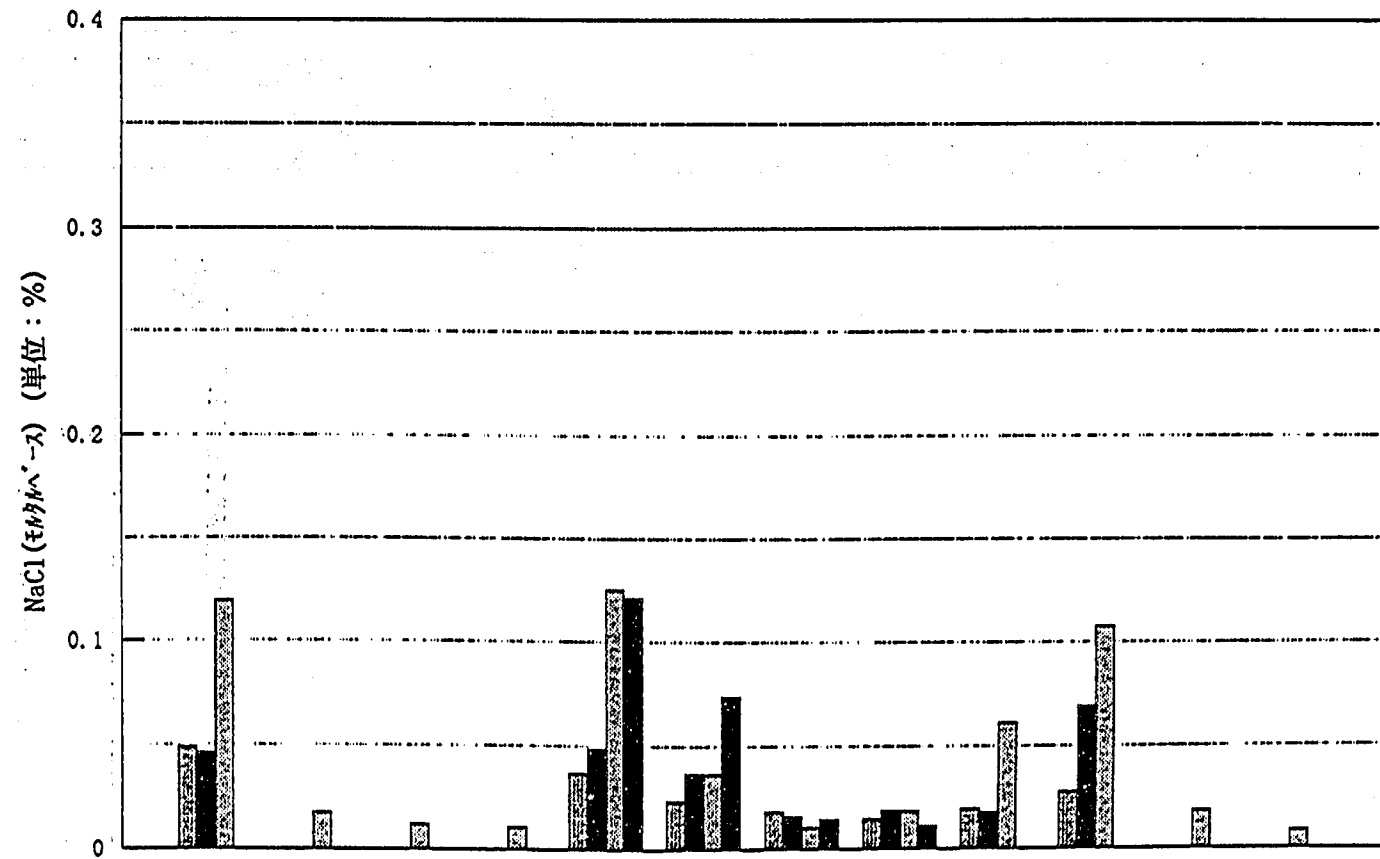


X軸	YN5B-a	YN5B-b	YN5B-c	YN5B-d	YH5B-a	YH5B-b	YH5B-c	YH5B-d	YB5B-a	YB5B-b	YB5B-c	YB5B-d
材齢1年	61.47			63.92								
材齢3年	62.56				60.23			60.01	61.44			62.54
材齢5年	60.05	62.14	60.80	58.72	60.24	59.42	57.44	57.77	63.34	63.23	62.16	63.11
材齢10年												

図-4.6(8) insol 屋外シリーズ

4. 7. 5 NaCl (モルタルベース)

NaCl (モルタルベース) 測定結果を図-4. 7 に示す。



X軸	XN4A-a	XN4A-b	XN4A-c	XN4A-d	XN5A-a	XN5A-b	XN5A-c	XN5A-d	XN6A-a	XN6A-b	XN6A-c	XN6A-d
材齢1年	0.0486				0.0371	0.0238	0.0183	0.0146	0.0198	0.0279		
材齢3年	0.0464				0.0484	0.0371	0.0158	0.0188	0.0178	0.0691		
材齢5年	0.1192	0.0176	0.0119	0.0110	0.1250	0.0367	0.0107	0.0185	0.0611	0.1077	0.0183	0.0088
材齢10年					0.1210	0.0739	0.0144	0.0114				

図-4.7(1) NaCl (モルタルベース) 普通セメント-1

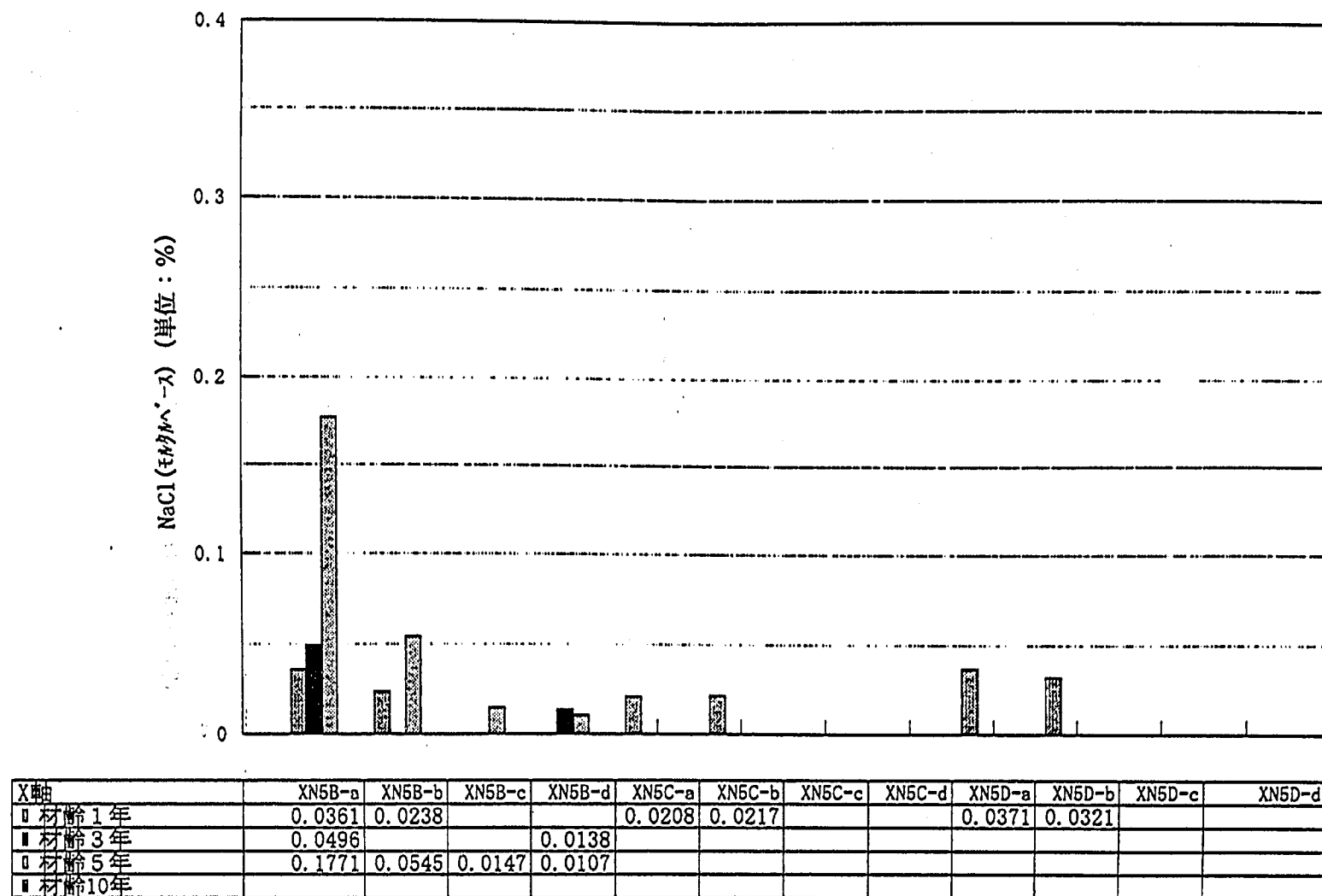


図-4.7(2) NaCl (モルタルベース) 普通セメント-2

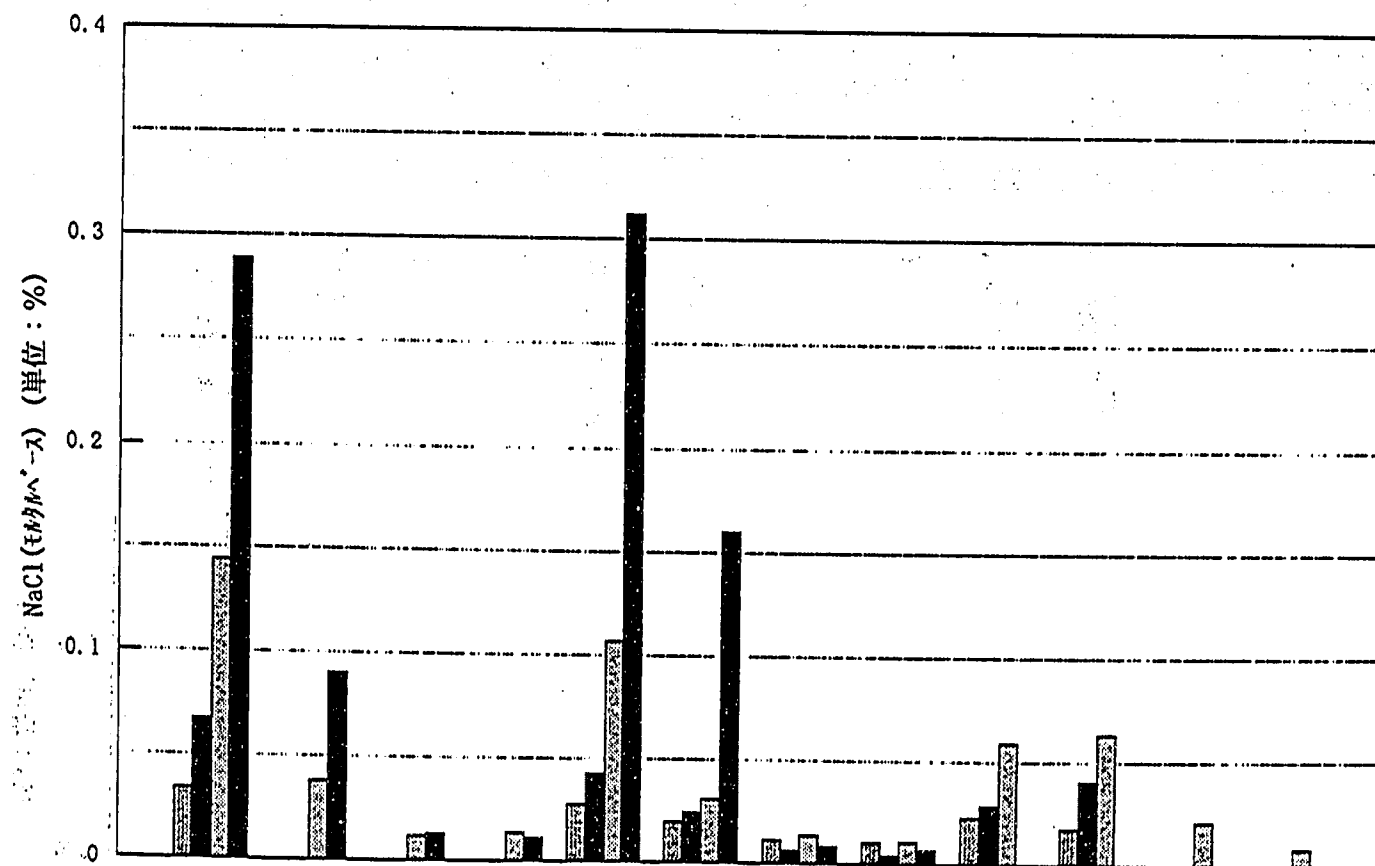
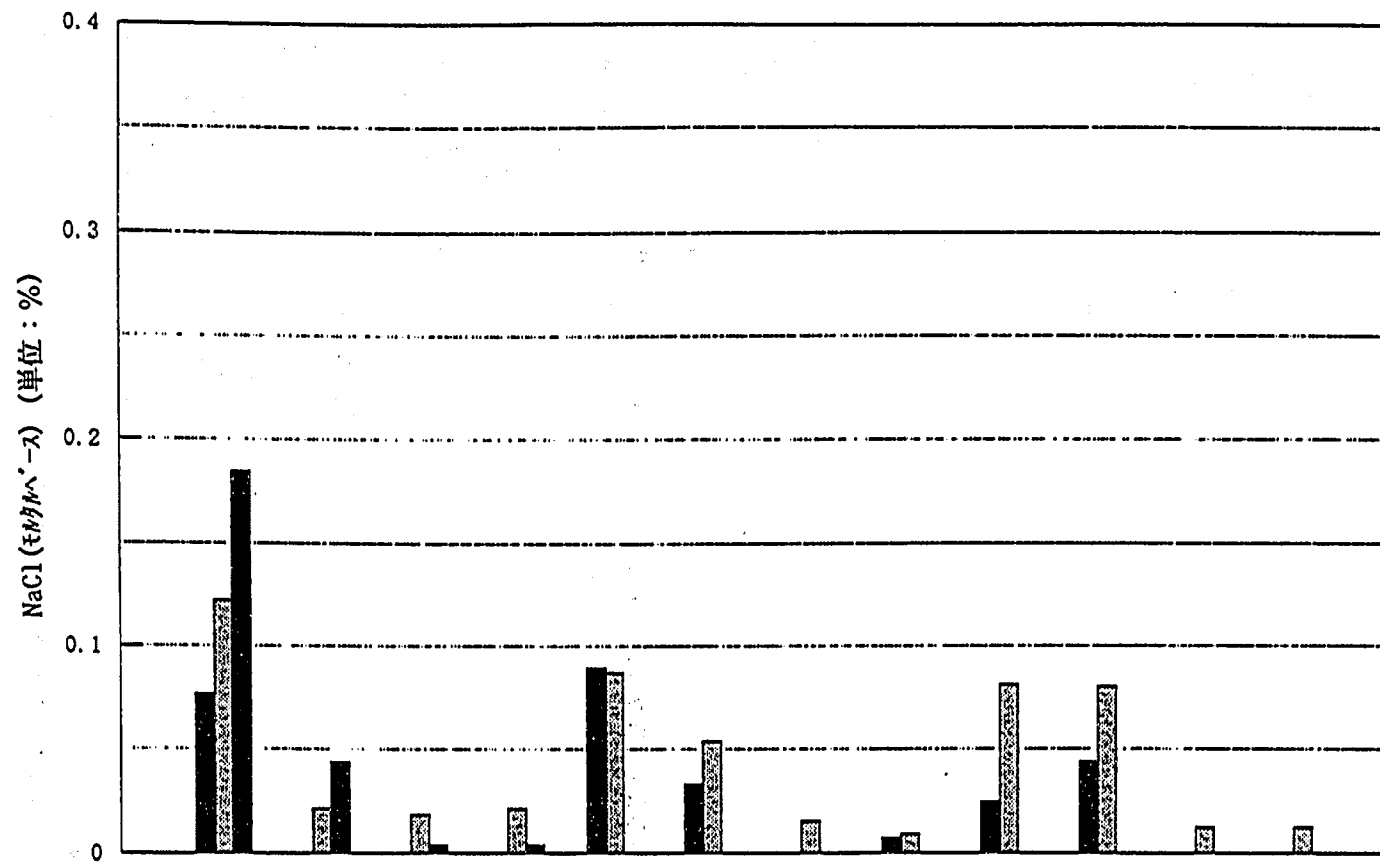
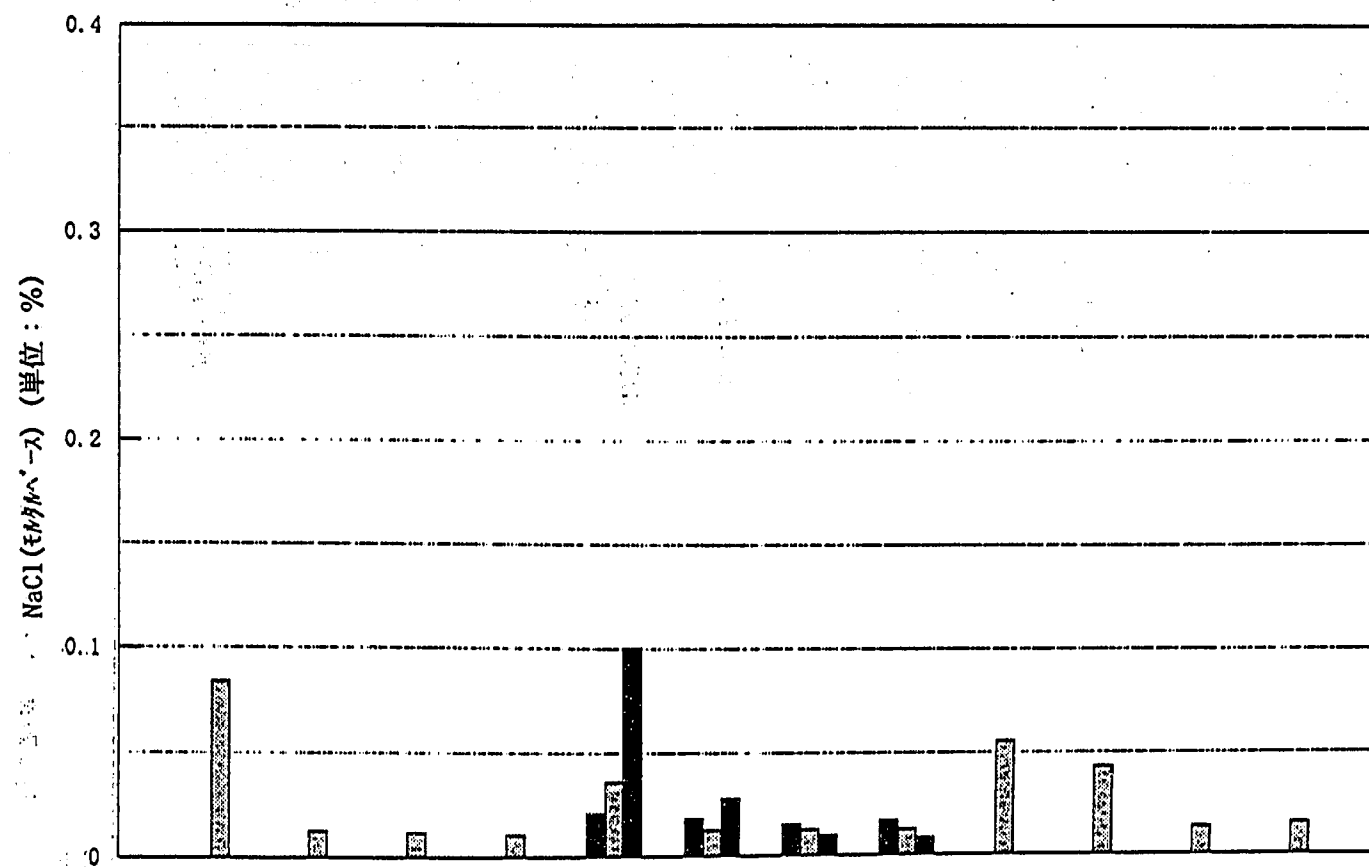


図-4.7(3) NaCl (モルタルベース) 早強セメント-1



X軸	XH4B-a	XH4B-b	XH4B-c	XH4B-d	XH5B-a	XH5B-b	XH5B-c	XH5B-d	XH6B-a	XH6B-b	XH6B-c	XH6B-d
材齢1年												
材齢3年	0.0766				0.0894	0.0330		0.0074	0.0244	0.0439		
材齢5年	0.1223	0.0211	0.0182	0.0211	0.0869	0.0538	0.0152	0.0092	0.0813	0.0802	0.0122	0.0122
材齢10年	0.1847	0.0436	0.0039	0.0039								

図-4.7(4) NaCl (モルタルベース) 早強セメント-2



X軸	XH4E-a	XH4E-b	XH4E-c	XH4E-d	XH5E-a	XH5E-b	XH5E-c	XH5E-d	XH6E-a	XH6E-b	XH6E-c	XH6E-d
材齢1年												
材齢3年					0.0208	0.0179	0.0151	0.0169				
材齢5年	0.0844	0.0125	0.0115	0.0106	0.0362	0.0125	0.0125	0.0125	0.0557	0.0433	0.0135	0.0154
材齢10年					0.1004	0.0281	0.0099	0.0084				

図-4.7(5) NaCl (モルタルベース) 早強セメントー3

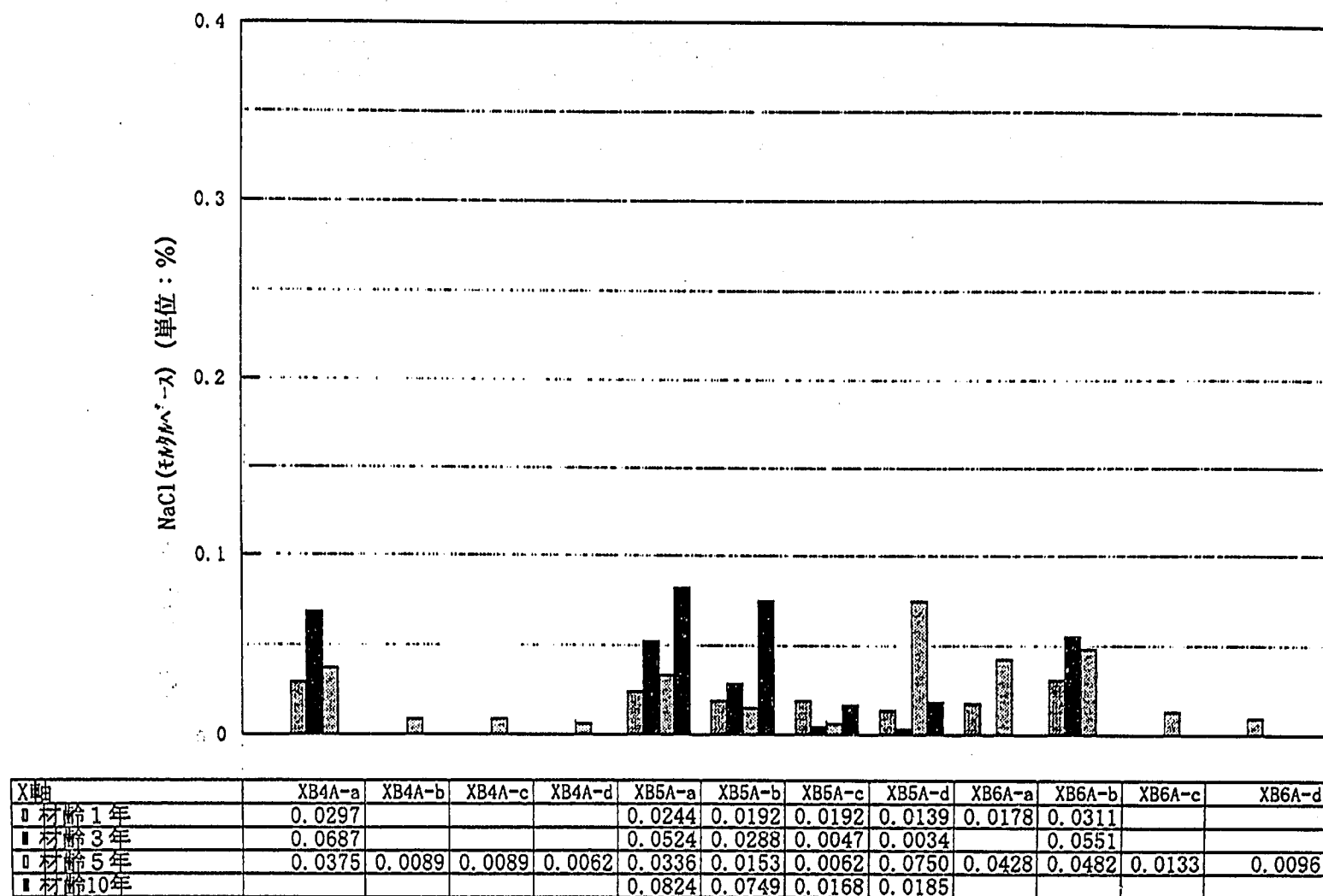


図-4.7(6) NaCl (モルタルベース) 高炉セメント-1

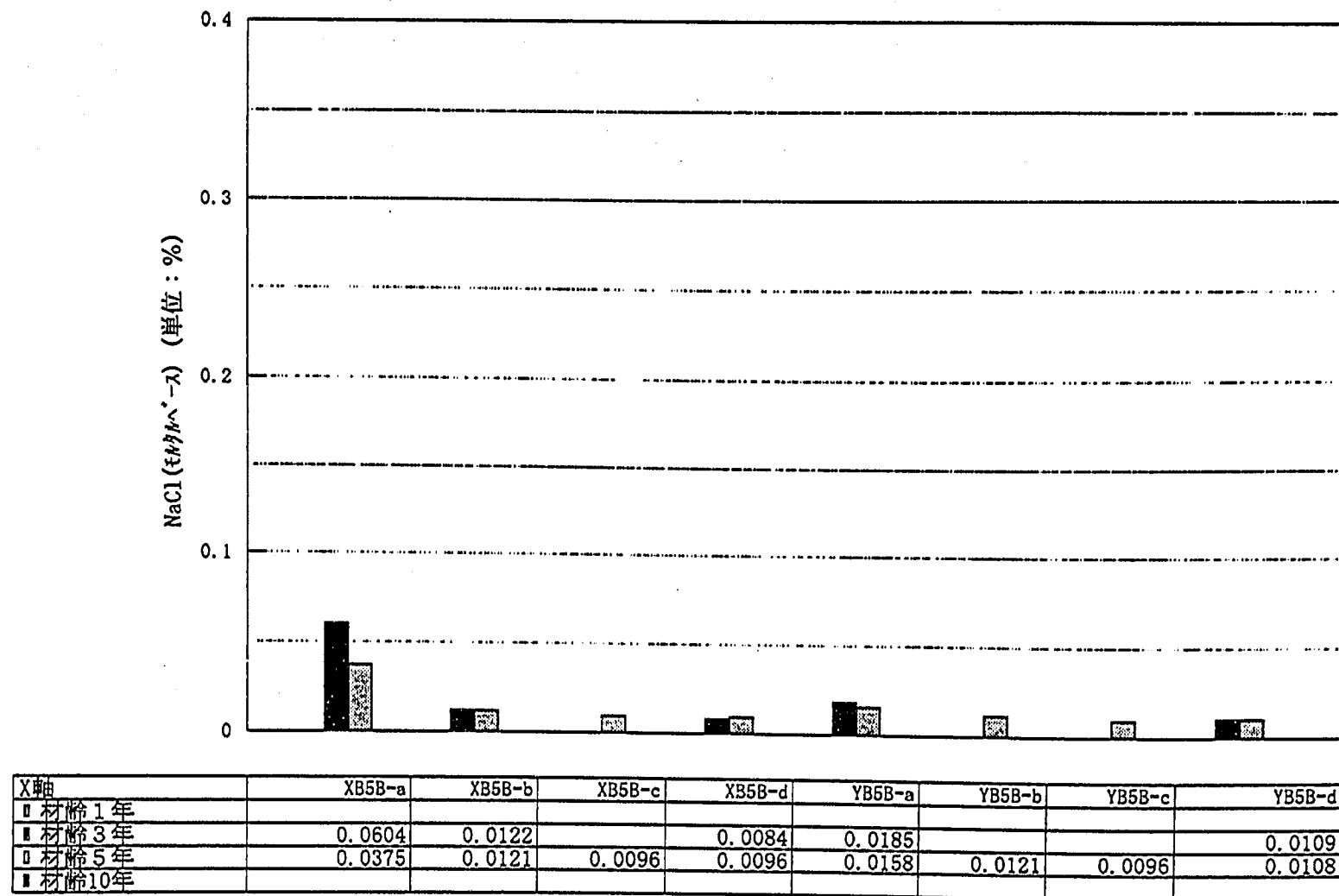


図-4.7(7) NaCl (モルタルベース) 高炉セメント-2

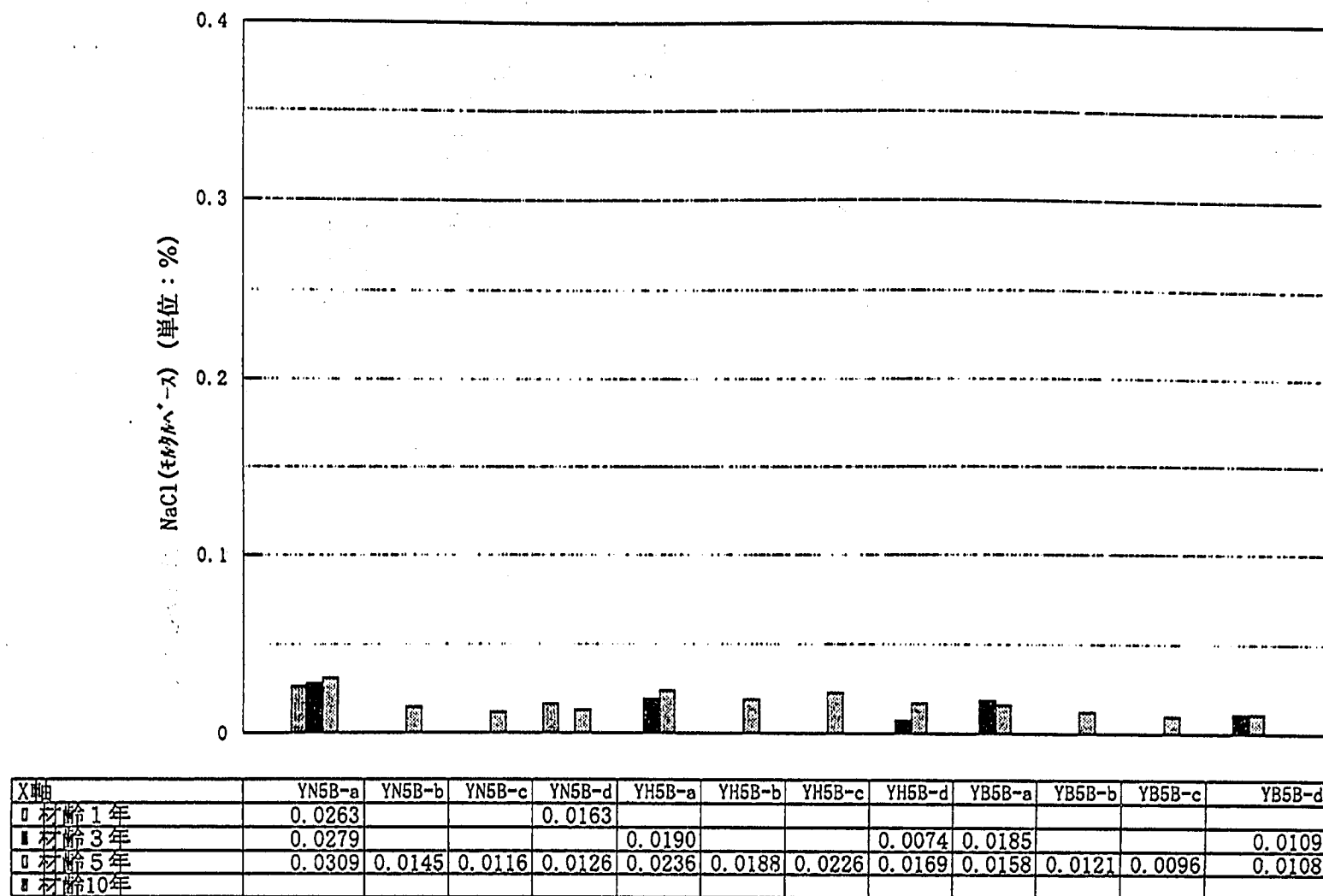
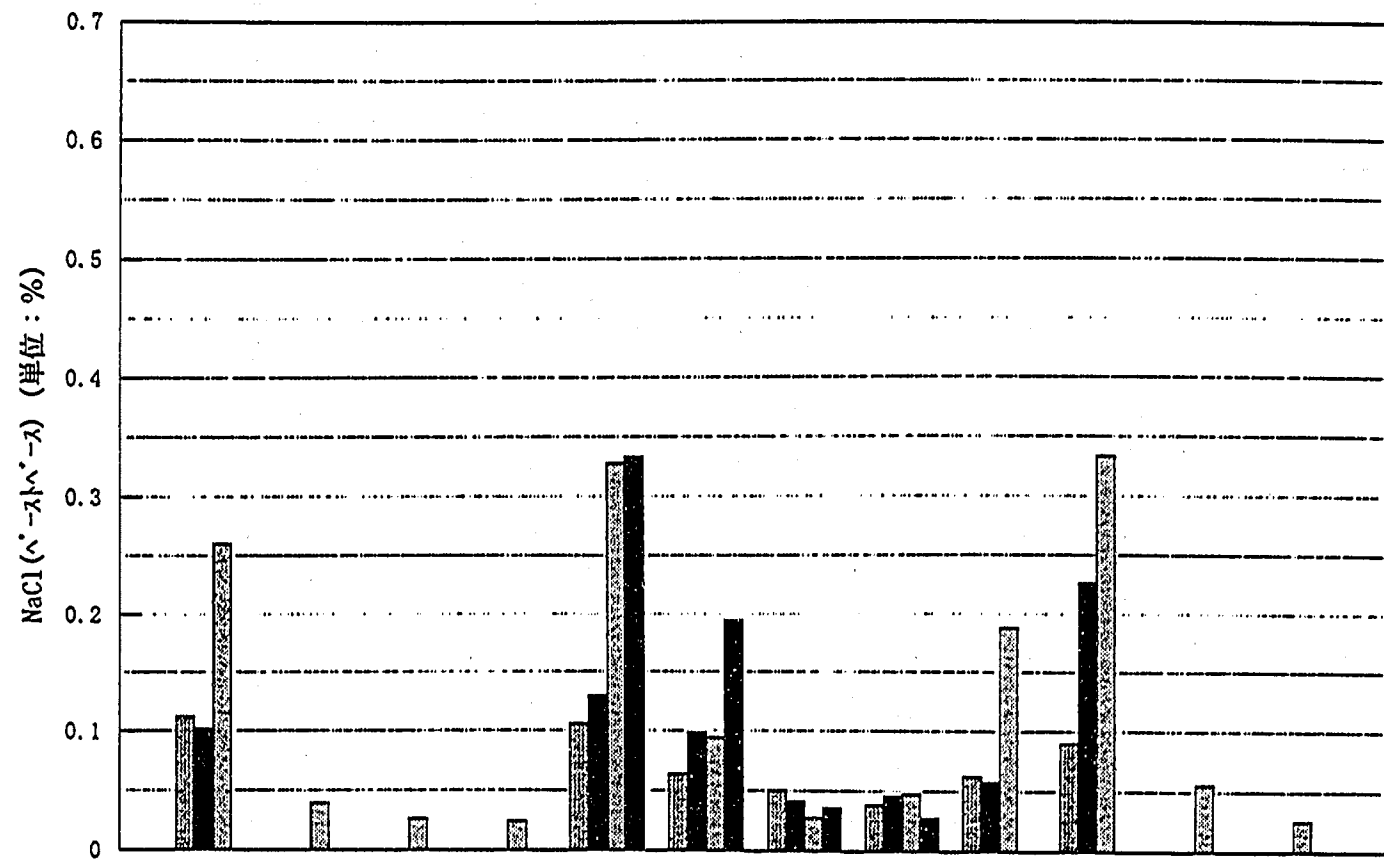


図-4.7(8) NaCl (モルタルベース) 屋外シリーズ

4. 7. 6 NaCl (ペーストベース)

NaCl (ペーストベース) 測定決定を図-4.8に示す。この図より次の傾向が読みとれる。

- ① 海洋暴露供試体のNaClは、いずれのセメント種類、養生条件、材齢、表層深さにおいても、水セメント比による違いは見受けられなかった。
- ② 海洋暴露供試体のNaClは、いずれのセメント種類、養生条件、水セメント比においても、表層深さaおよびbについては材齢が大きくなるにしたがい大となる。また、表層深さcおよびdについては材齢による違いは見受けられなかった。
- ③ 海洋暴露供試体のNaClは、いずれのセメント種類、養生条件、水セメント比においても、表層深さが中心に近づく(a→d)にしたがい小さくなる傾向を示した。ただし、表層深さcおよびdについてはNaClに違いは見受けられなかった。
- ④ 海洋暴露供試体のNaClは、いずれのセメント種類、水セメント比においても、初期水中養生したものが気乾養生のものに比べ若干大きくなる傾向を示した。
- ⑤ 気乾養生(20℃, 75%)した水セメント50%の海洋暴露供試体のNaClは、いずれの材齢および表層深さにおいても、早強セメント、普通セメント、高炉セメントBの順に小さくなる傾向を示した。
- ⑥ 初期水中養生(7日, 20℃)した高炉セメントBを用いた海洋暴露供試体のNaClは、表層深さaにおいて、非海洋暴露供試体に比べ若干大きくなる傾向を示した。
- ⑦ 水セメント比50%で早強セメントを用いた海洋暴露供試体のNaClは、いずれの材齢および表層深さにおいても、含浸剤を使用したものが気中および水中養生のものに比べ若干小さくなる傾向を示した。
- ⑧ 屋外シリーズについては、NaClは、セメント種類、材齢、表層深さによる違いは見受けられなかった。また、同一のセメント種類、材齢、表層深さの供試体について比較した場合、NaClは、屋外シリーズ供試体が海洋および非海洋暴露供試体に比べ小さくなる傾向を示した。



X軸	XN4A-a	XN4A-b	XN4A-c	XN4A-d	XN5A-a	XN5A-b	XN5A-c	XN5A-d	XN6A-a	XN6A-b	XN6A-c	XN6A-d
■ 材齢1年	0.1119				0.1058	0.0645	0.0507	0.0389	0.0623	0.0904		
■ 材齢3年	0.1022				0.1298	0.0981	0.0417	0.0463	0.0582	0.2268		
■ 材齢5年	0.2604	0.0396	0.0266	0.0245	0.3279	0.0946	0.0278	0.0479	0.1878	0.3342	0.0565	0.0256
■ 材齢10年					0.3336	0.1947	0.0361	0.0278				

図-4.8(1) NaCl (ペーストベース) 普通セメント-1

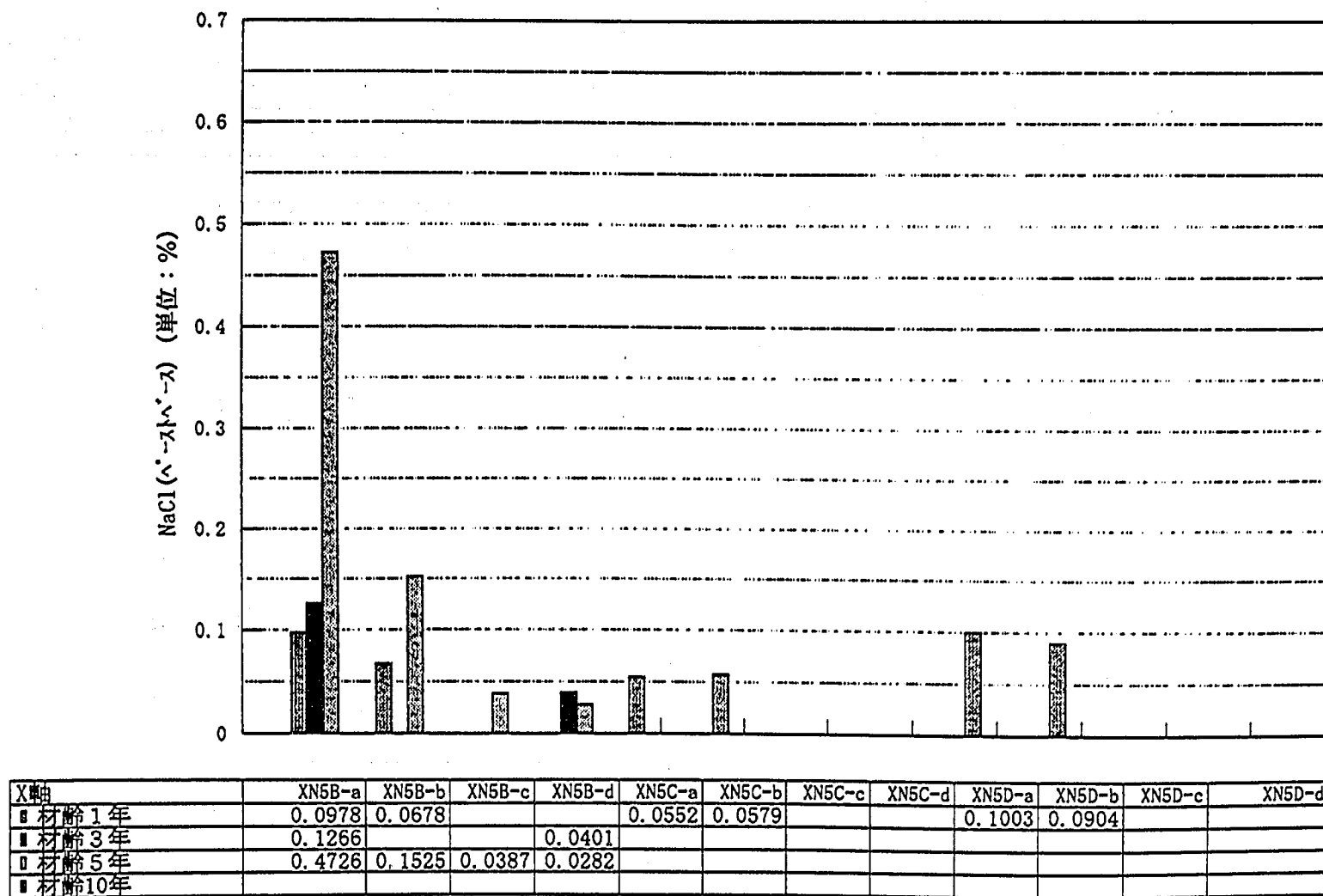
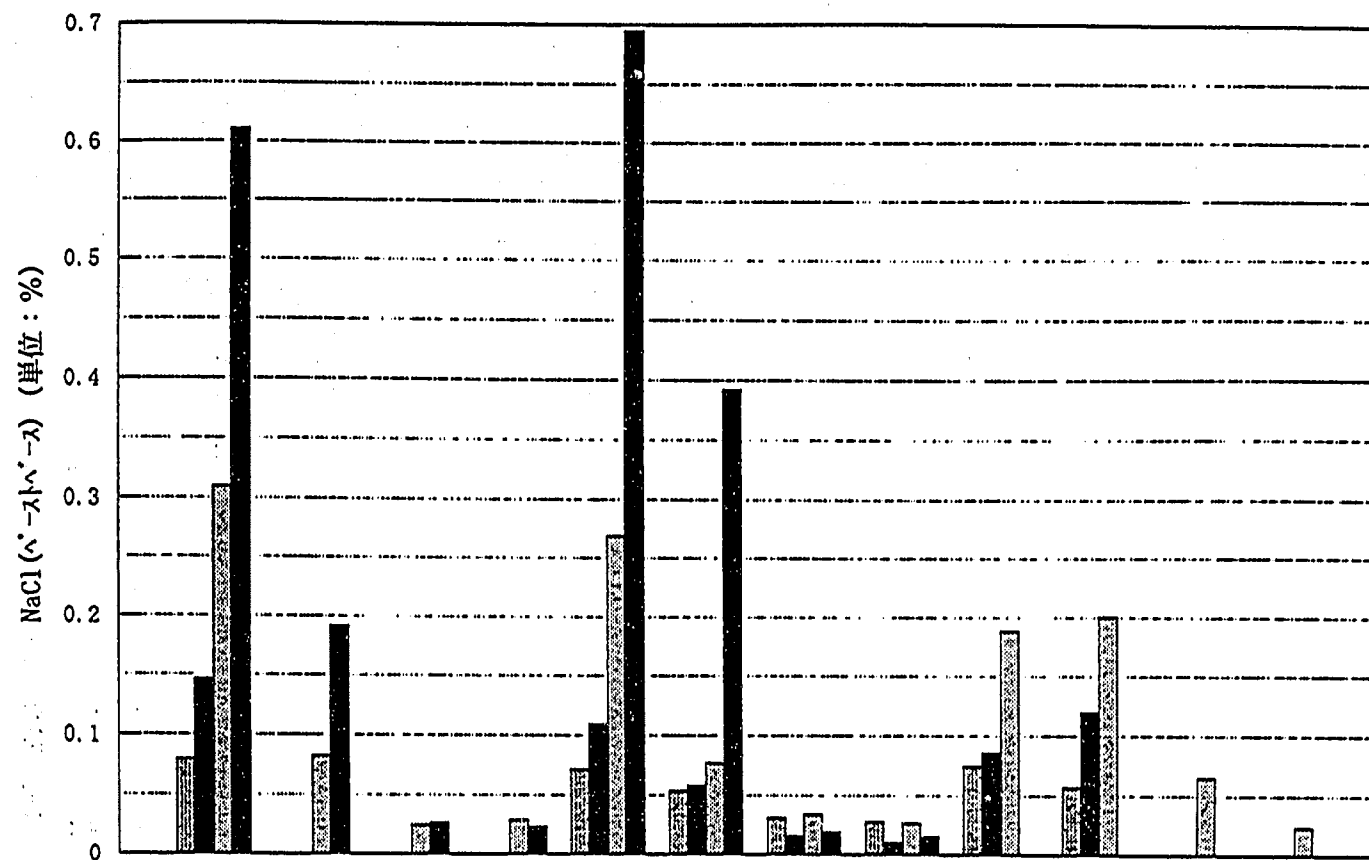


図-4.8(2) NaCl (ペーストベース) 普通セメント-2



X軸	XH4A-a	XH4A-b	XH4A-c	XH4A-d	XH5A-a	XH5A-b	XH5A-c	XH5A-d	XH6A-a	XH6A-b	XH6A-c	XH6A-d
■ 材齢1年	0.0803				0.0723	0.0544	0.0317	0.0282	0.0751	0.0577		
■ 材齢3年	0.1465				0.1100	0.0587	0.0158	0.0107	0.0867	0.1201		
■ 材齢5年	0.3102	0.0832	0.0248	0.0295	0.2693	0.0780	0.0344	0.0270	0.1884	0.2007	0.0658	0.0238
■ 材齢10年	0.6108	0.1919	0.0270	0.0233	0.6948	0.3923	0.0194	0.0160				

図-4.8(3) NaCl (ペーストベース) 早強セメント-1

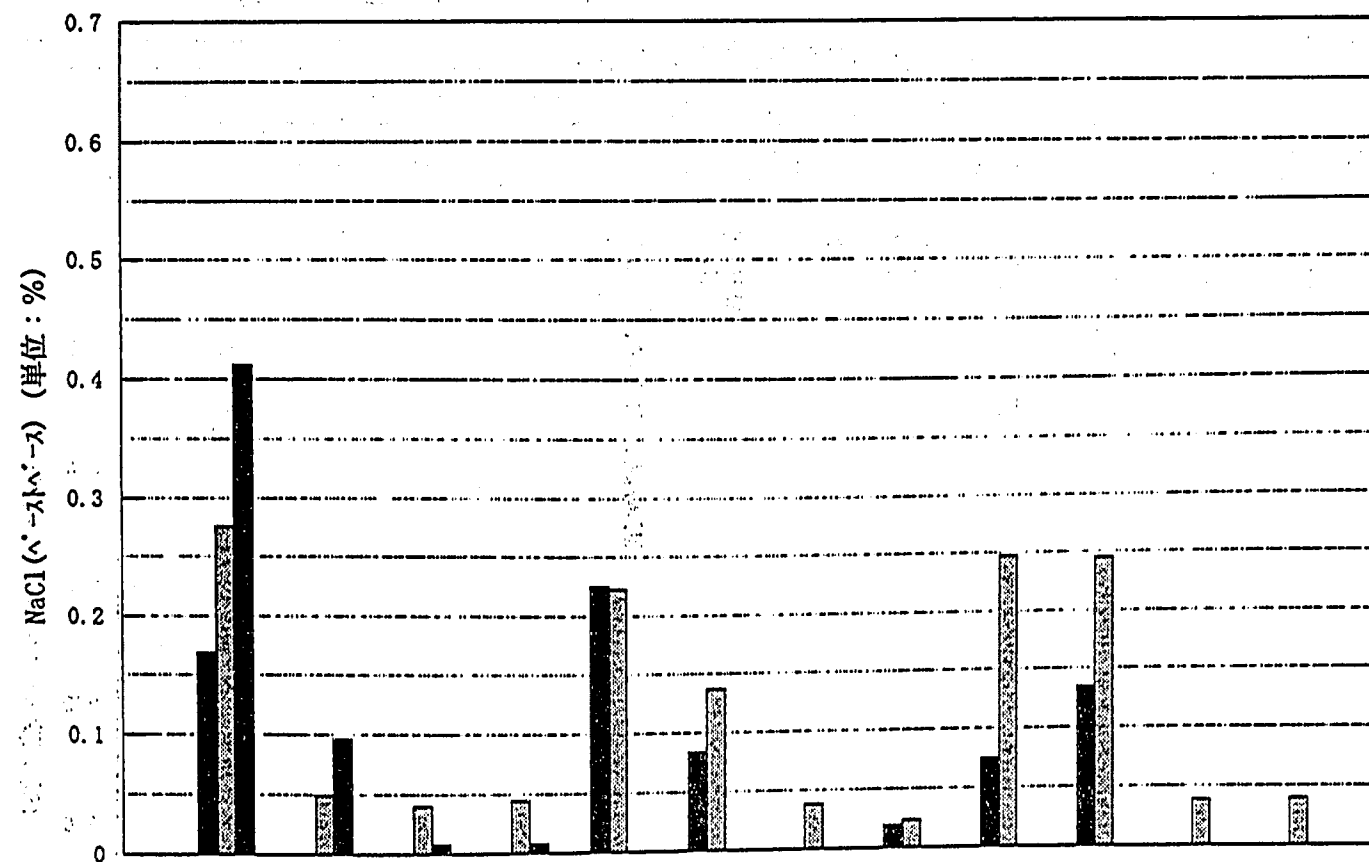
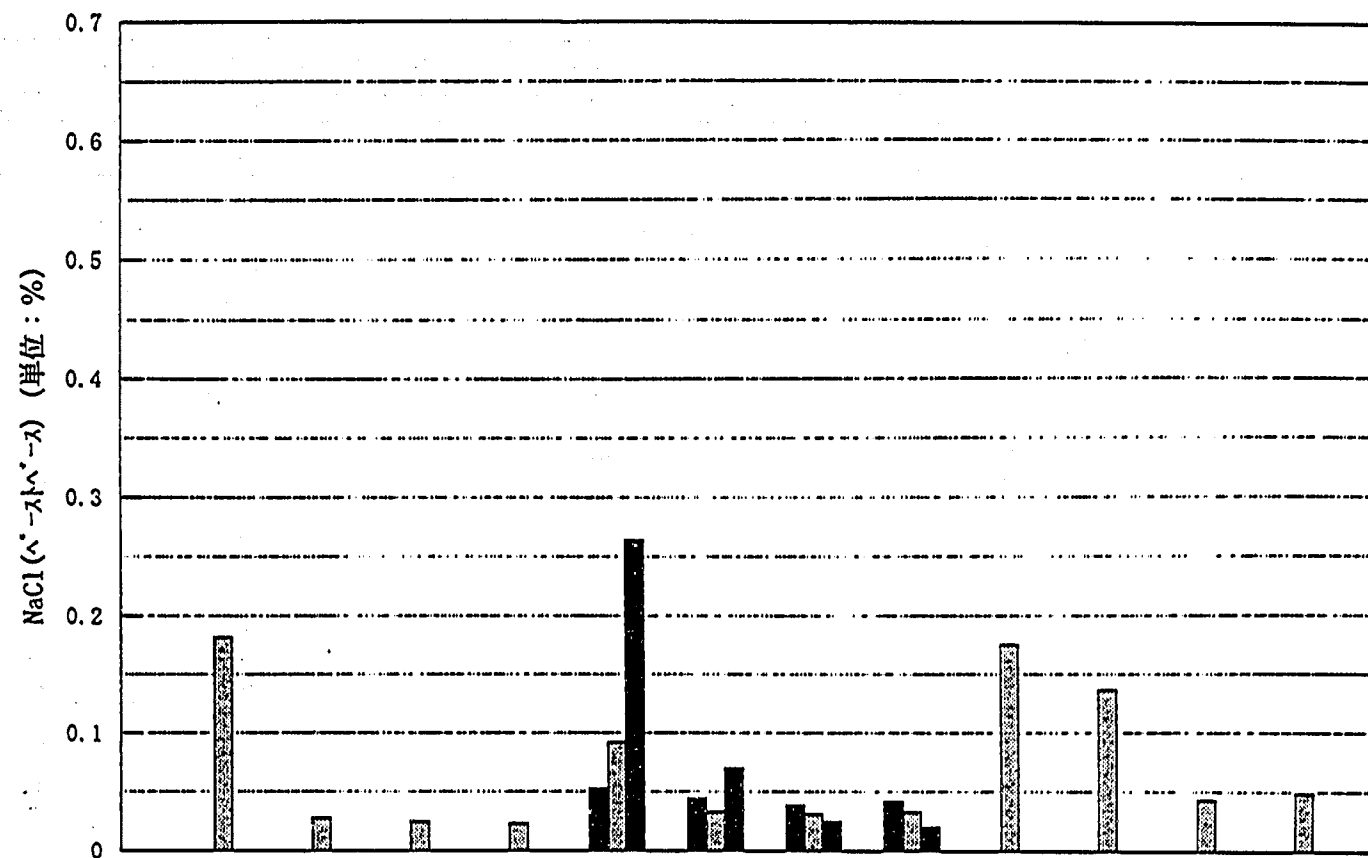
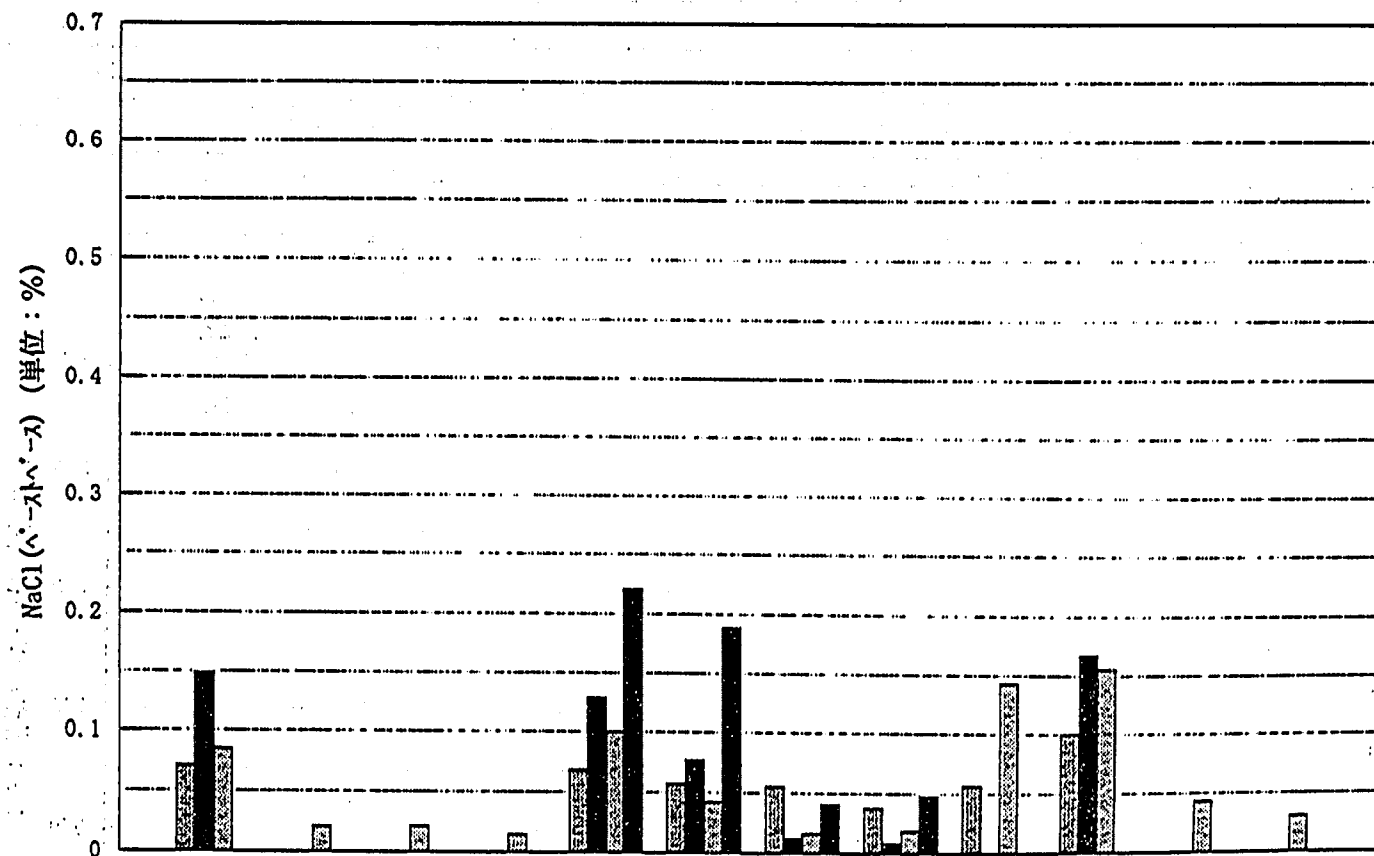


図-4.8(4) NaCl (ペーストベース) 早強セメント-2



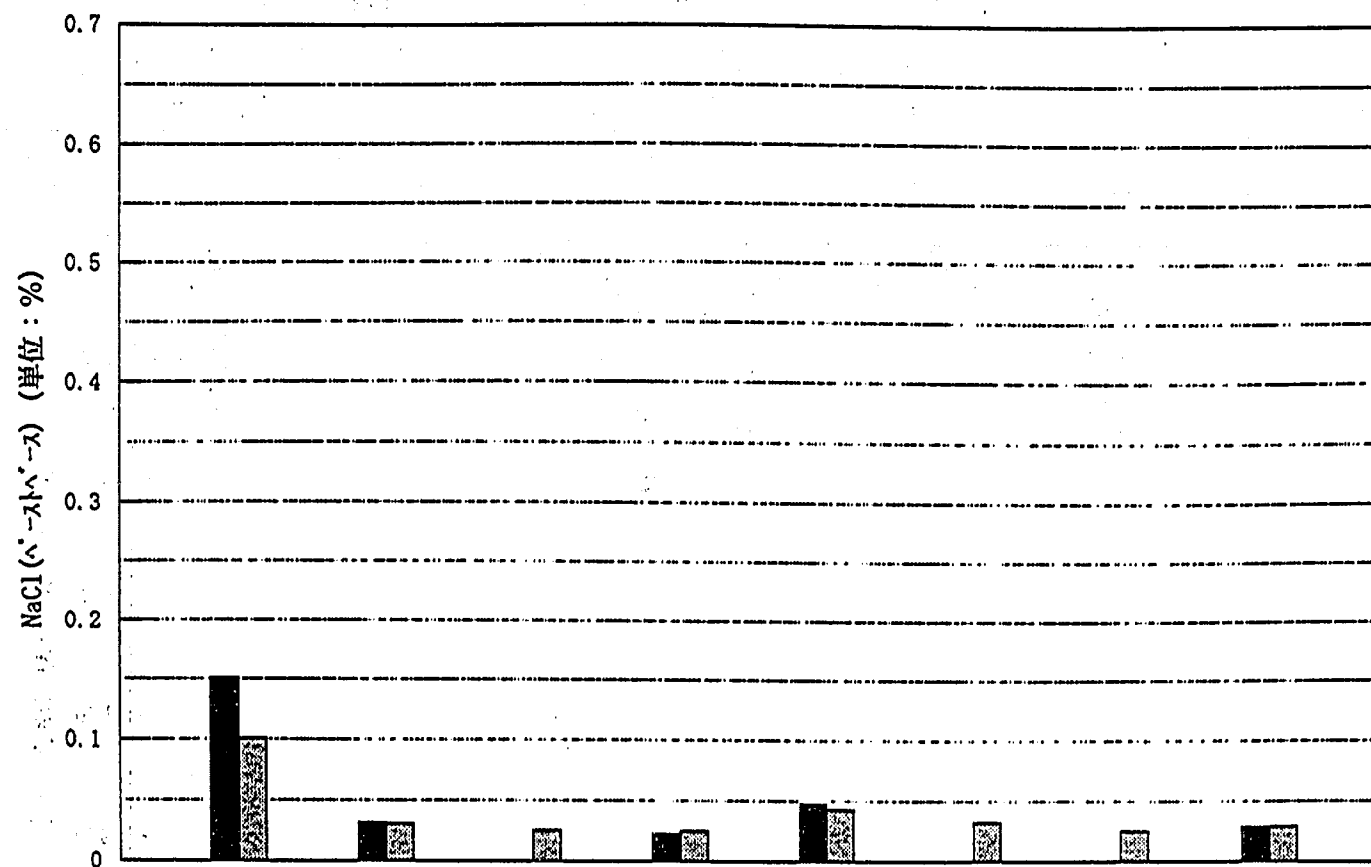
X軸	XH4E-a	XH4E-b	XH4E-c	XH4E-d	XH5E-a	XH5E-b	XH5E-c	XH5E-d	XH6E-a	XH6E-b	XH6E-c	XH6E-d
材齢1年												
材齢3年					0.0532	0.0444	0.0386	0.0420				
材齢5年	0.1820	0.0278	0.0250	0.0231	0.0925	0.0326	0.0312	0.0328	0.1755	0.1368	0.0431	0.0487
材齢10年					0.2642	0.0704	0.0247	0.0205				

図-4.8(5) NaCl (ペーストベース) 早強セメント-3



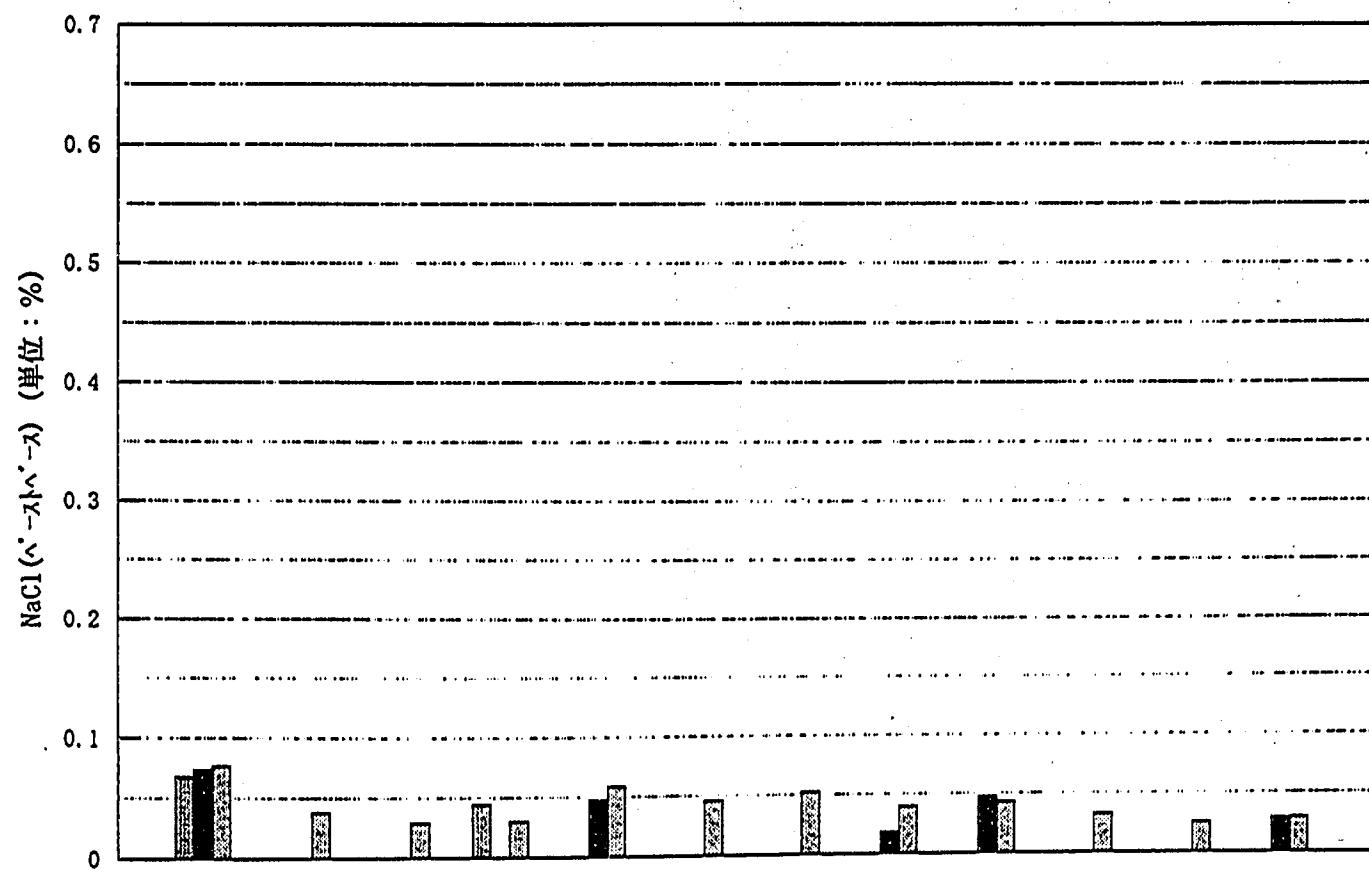
X軸	XB4A-a	XB4A-b	XB4A-c	XB4A-d	XB5A-a	XB5A-b	XB5A-c	XB5A-d	XB6A-a	XB6A-b	XB6A-c	XB6A-d
材齢1年	0.0715				0.0690	0.0575	0.0558	0.0385	0.0572	0.1001		
材齢3年	0.1487				0.1293	0.0771	0.0122	0.0086		0.1675		
材齢5年	0.0852	0.0211	0.0213	0.0148	0.1003	0.0423	0.0165	0.0189	0.1437	0.1556	0.0439	0.0309
材齢10年					0.2211	0.1890	0.0415	0.0478				

図-4.8(6) NaCl (ペーストベース) 高炉セメント-1



材料	XB5B-a	XB5B-b	XB5B-c	XB5B-d	YB5B-a	YB5B-b	YB5B-c	YB5B-d
材齢1年	0.1511	0.0320		0.0226	0.0480			0.0291
材齢3年	0.1012	0.0312	0.0258	0.0255	0.0431	0.0329	0.0254	0.0293
材齢5年								
材齢10年								

図-4.8(7) NaCl (ペーストベース) 高炉セメント-2



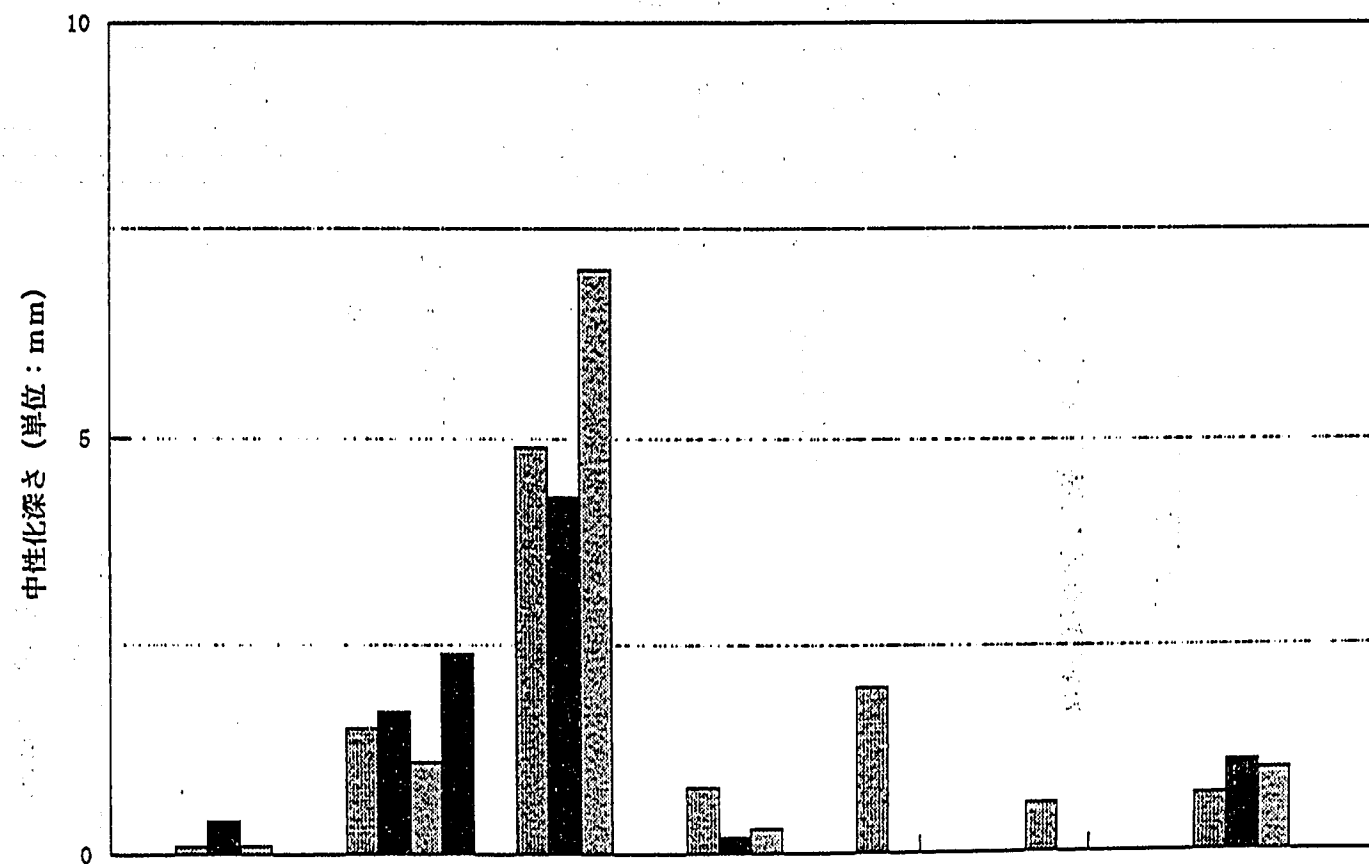
X軸	YN5B-a	YN5B-b	YN5B-c	YN5B-d	YH5B-a	YH5B-b	YH5B-c	YH5B-d	YB5B-a	YB5B-b	YB5B-c	YB5B-d
■ 材齢1年	0.0683			0.0452					0.0480			0.0291
■ 材齢3年	0.0745				0.0478			0.0185				
■ 材齢5年	0.0773	0.0383	0.0296	0.0305	0.0594	0.0463	0.0531	0.0400	0.0431	0.0329	0.0254	0.0293
■ 材齢10年												

図-4.8(8) NaCl (ペーストベース) 屋外シリーズ

4. 7. 7 中性化深さ・塩分浸透深さ測定結果

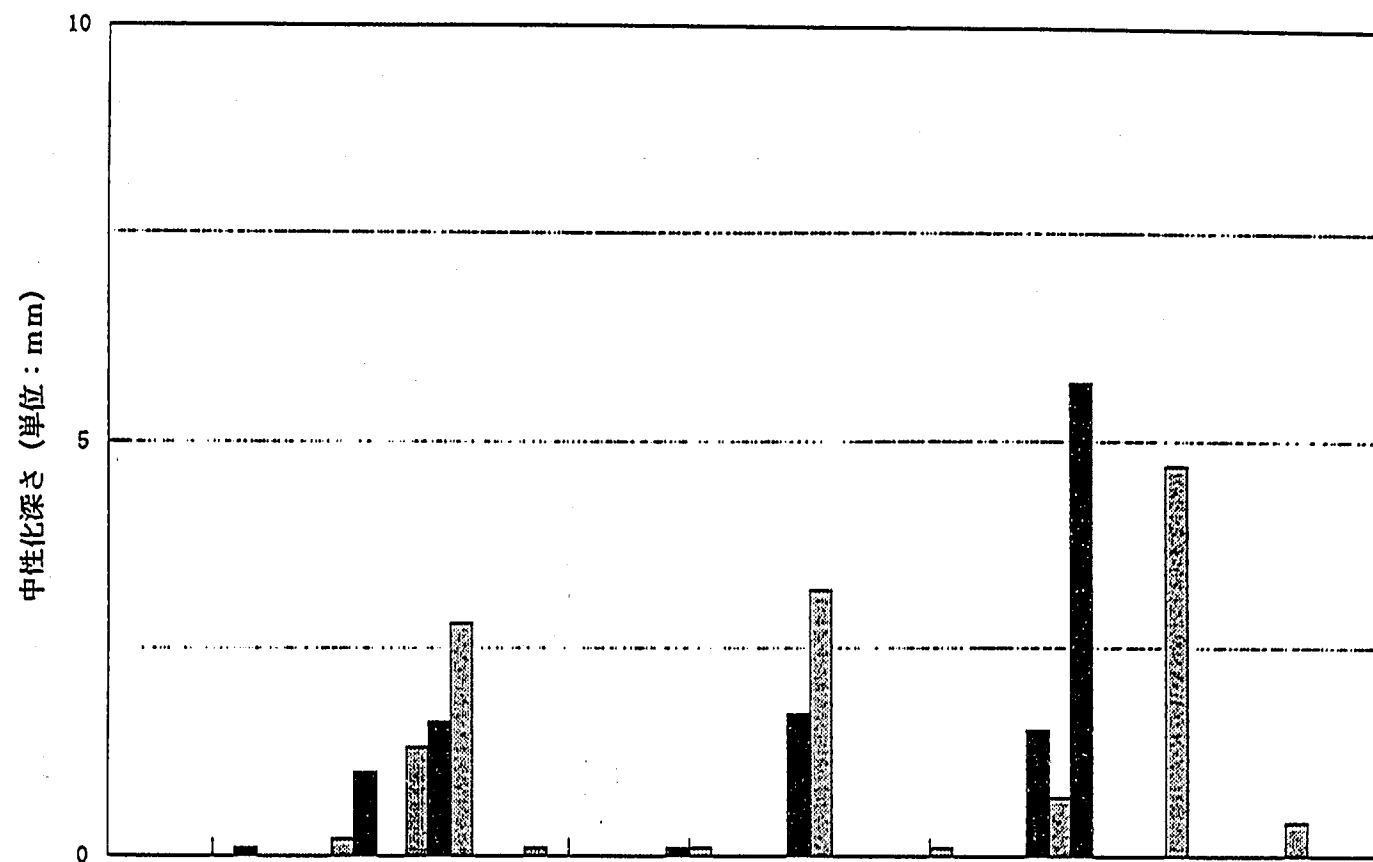
中性化深さ測定結果を図-4.9に、塩分浸透深さ測定結果を図-4.10に示す。これらの図より次の傾向が読みとれる。

- ① 気乾養生（20℃、75％）をした海洋暴露供試体は、同一の材齢で比較した場合、いずれのセメントを使用した場合においても、中性化深さおよび塩分浸透深さは、水セメント比が大きくなるにしたがい大となる傾向を示した。
- ② 海洋暴露供試体の場合、いずれのセメントを使用した場合においても、中性化深さおよび塩分浸透深さは、初期水中養生を行ったものが気乾養生ものに比べ小さくなる傾向を示した。
- ③ 気乾養生（20℃、75％）をした海洋暴露供試体は、いずれの水セメント比においても、中性化深さおよび塩分浸透深さは、早強セメント、普通セメント、高炉セメントBの順に大きくなる傾向を示した。ただし、水セメント比50％、材齢10年における塩分浸透深さについては、セメントの種類による違いは見受けられなかった。
- ④ 水中養生（7日、20℃）を行った水セメント比50％の非海洋暴露供試体の塩分浸透深さは、海洋暴露供試体と比べ同等か若干小さくなる傾向を示した。また、非海洋暴露供試体の中性化深さは、海洋暴露供試体に比べ同等か若干大きくなる傾向を示した。



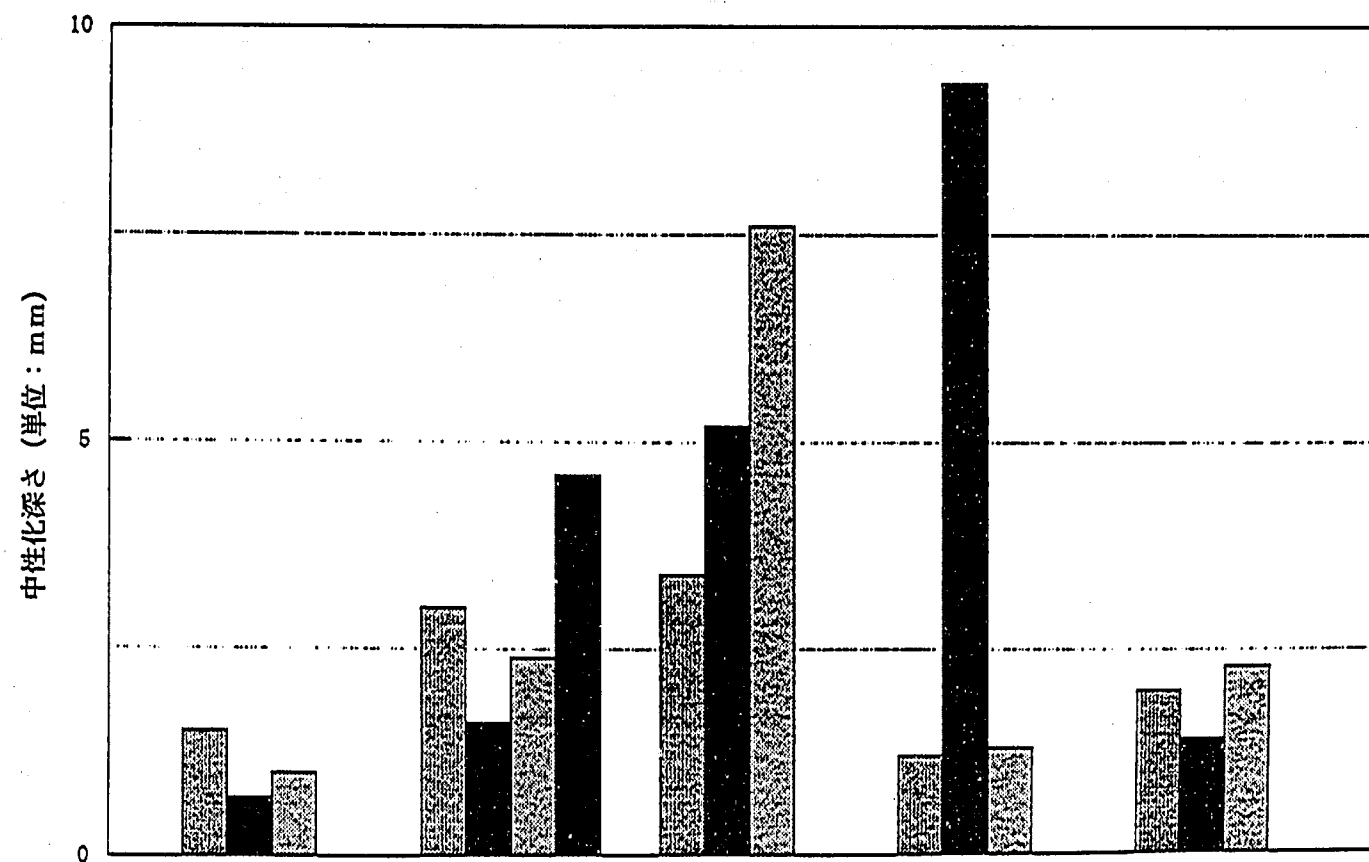
X軸	XN4A	XN5A	XN6A	XN5B	XN5C	XN5D	YN5B
■ 材齢1年	0.1	1.5	4.9	0.8	2.0	0.6	0.7
■ 材齢3年	0.4	1.7	4.3	0.2			1.1
■ 材齢5年	0.1	1.1	7.0	0.3			1.0
■ 材齢10年		2.4					

図-4.9(1) 中酸化深さ 普通セメント



X軸	XH4A	XH5A	XH6A	XH4B	XH5B	XH6B	XH4E	XH5E	XH6E	YH5B
材齢1年	0.0	0.0	1.3	0.1	0.0					0.0
材齢3年	0.0	0.0	1.6	0.0	0.1	1.7		1.5		0.0
材齢5年	0.0	0.2	2.8	0.0	0.1	3.2	0.1	0.7	4.7	0.4
材齢10年	0.1	1.0		0.0				5.7		

図-4.9(2) 中酸化深さ 早強セメント



X軸	XB4A	XB5A	XB6A	XB5B	YB5B
材齢1年	1.5	3.0	3.4	1.2	2.0
材齢3年	0.7	1.6	5.2	9.3	1.4
材齢5年	1.0	2.4	7.6	1.3	2.3
材齢10年		4.6			

図-4.9(3) 中性化深さ 高炉セメントB

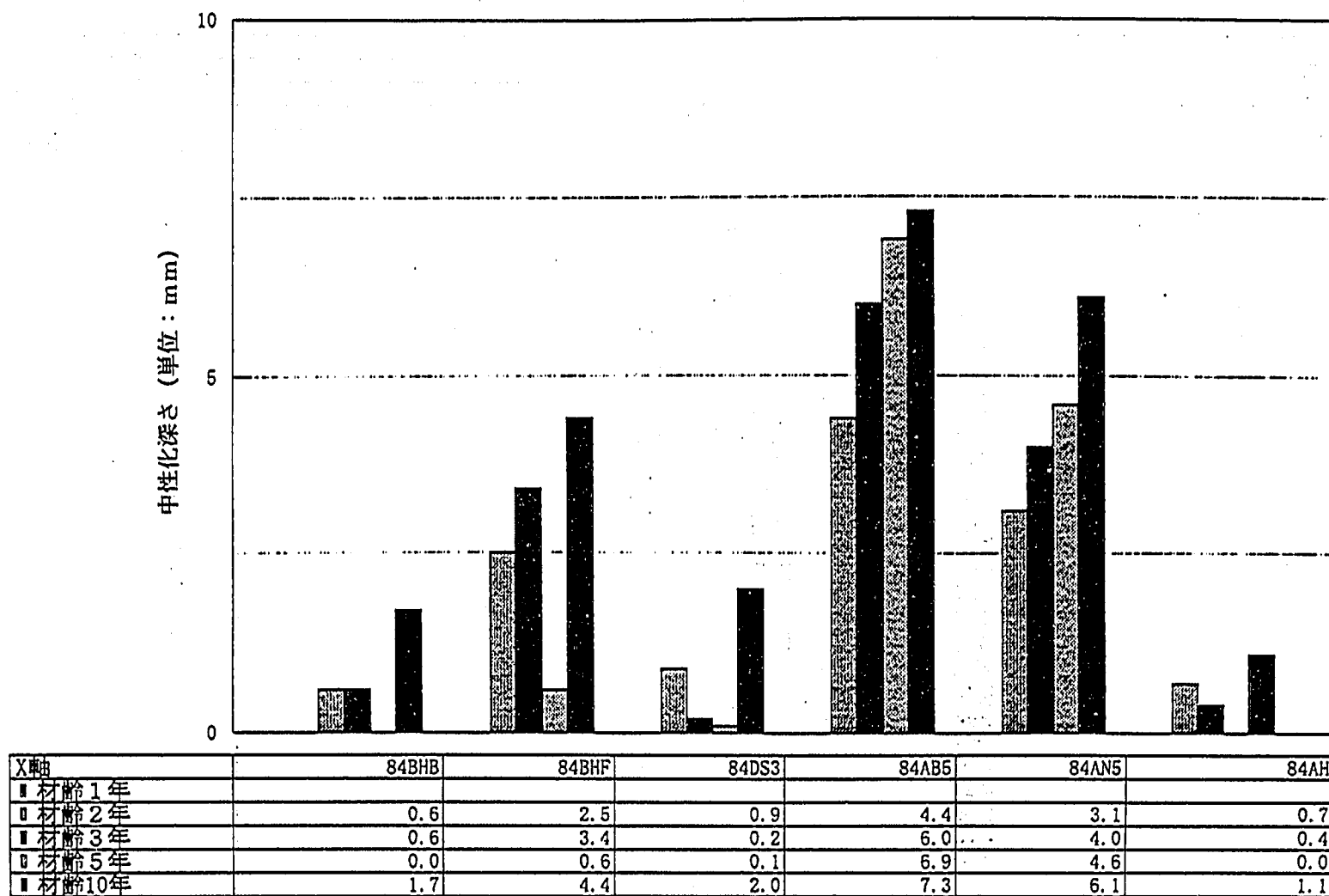
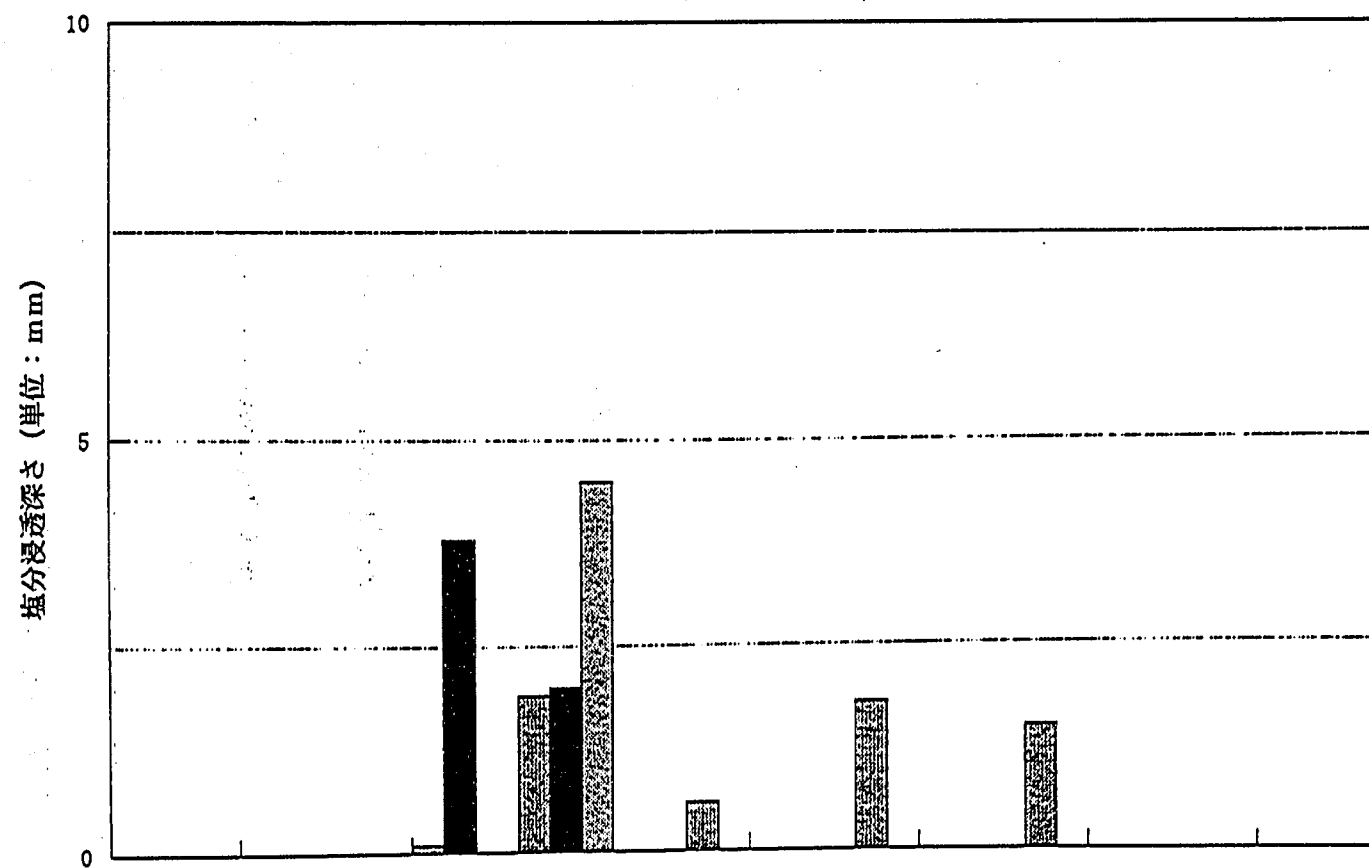
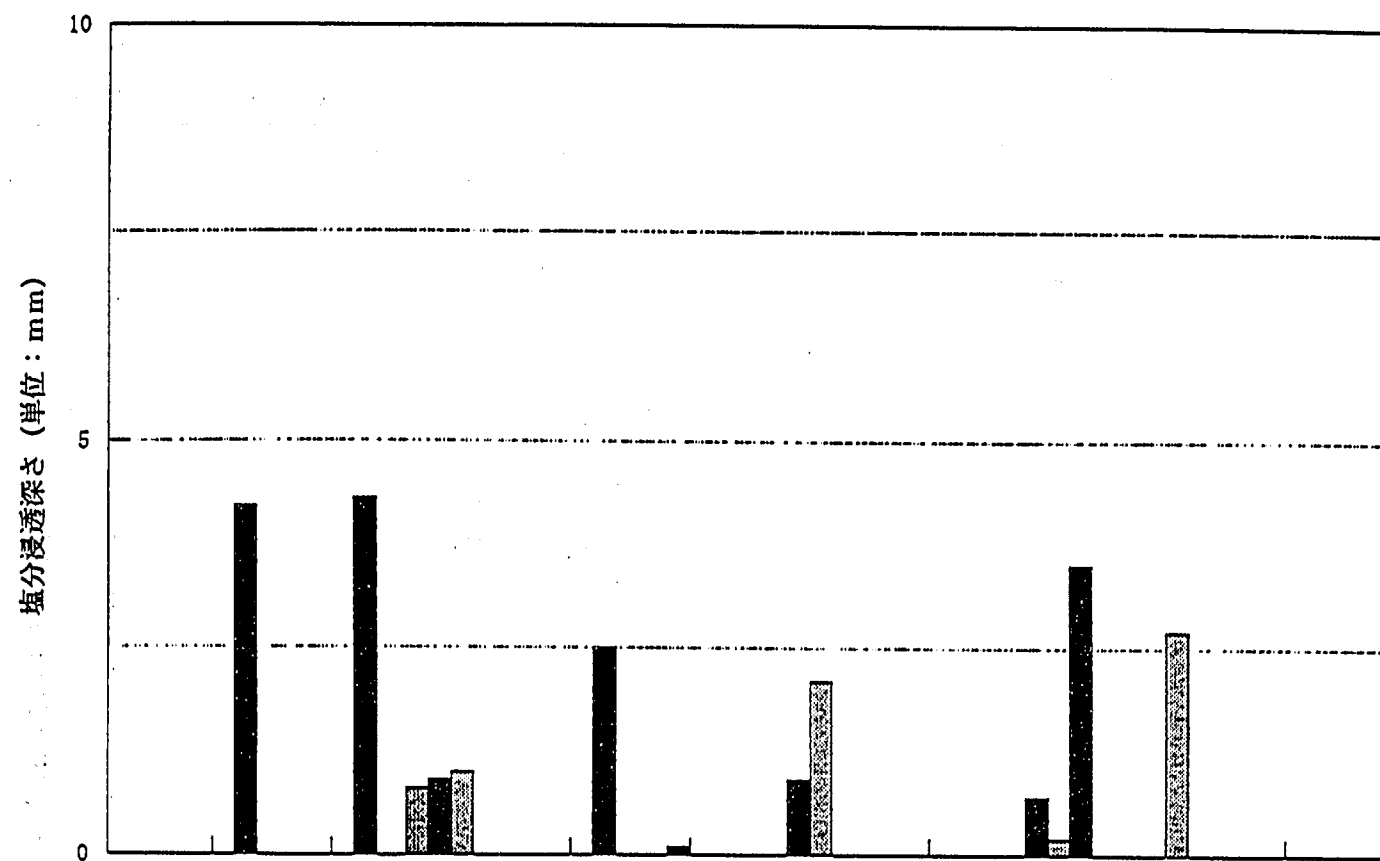


図-4.9(4) 中性化深さ (P S)



X軸	XN4A	XN5A	XN6A	XN5B	XN5C	XN5D	YN5B
材齢1年	0.0	0.0	1.9	0.6	1.8	1.5	0.0
材齢3年	0.0	0.0	2.0	0.0			0.0
材齢5年	0.0	0.1	4.5	0.0			0.0
材齢10年		3.8					

図-4.10(1) 塩分浸透深さ 普通セメント



X軸	XH4A	XH5A	XH6A	XH4B	XH5B	XH6B	XH4E	XH5E	XH6E	YH5B
■ 材齢1年	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0					0.0
■ 材齢3年	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1	0.9		0.7		0.0
■ 材齢5年	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.2	2.7	0.0
■ 材齢10年	4.2	4.3		2.5				3.5		

図-4.10(2) 塩分浸透深さ 早強セメント

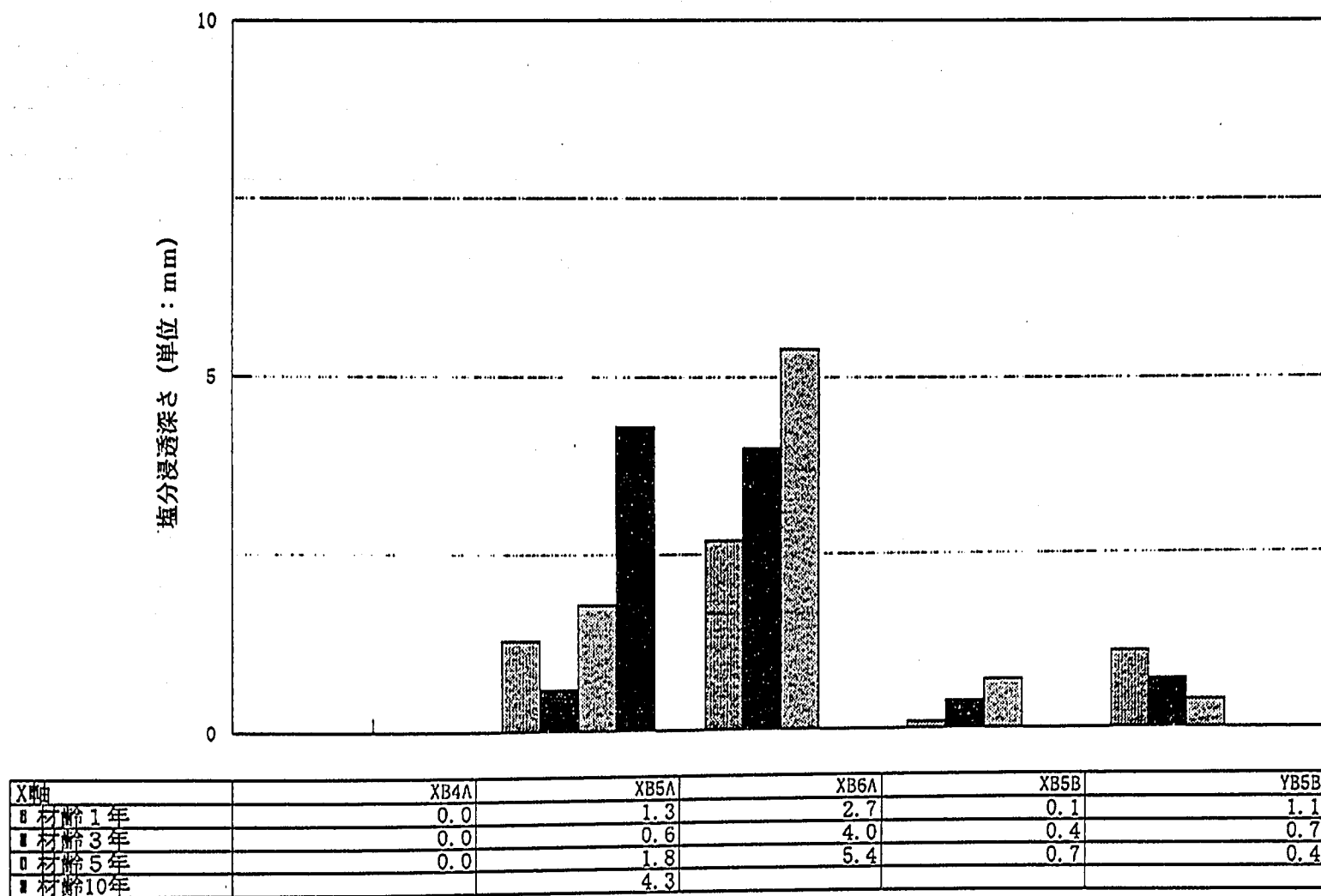


図-4.10(3) 塩分浸透深さ 高炉セメントB

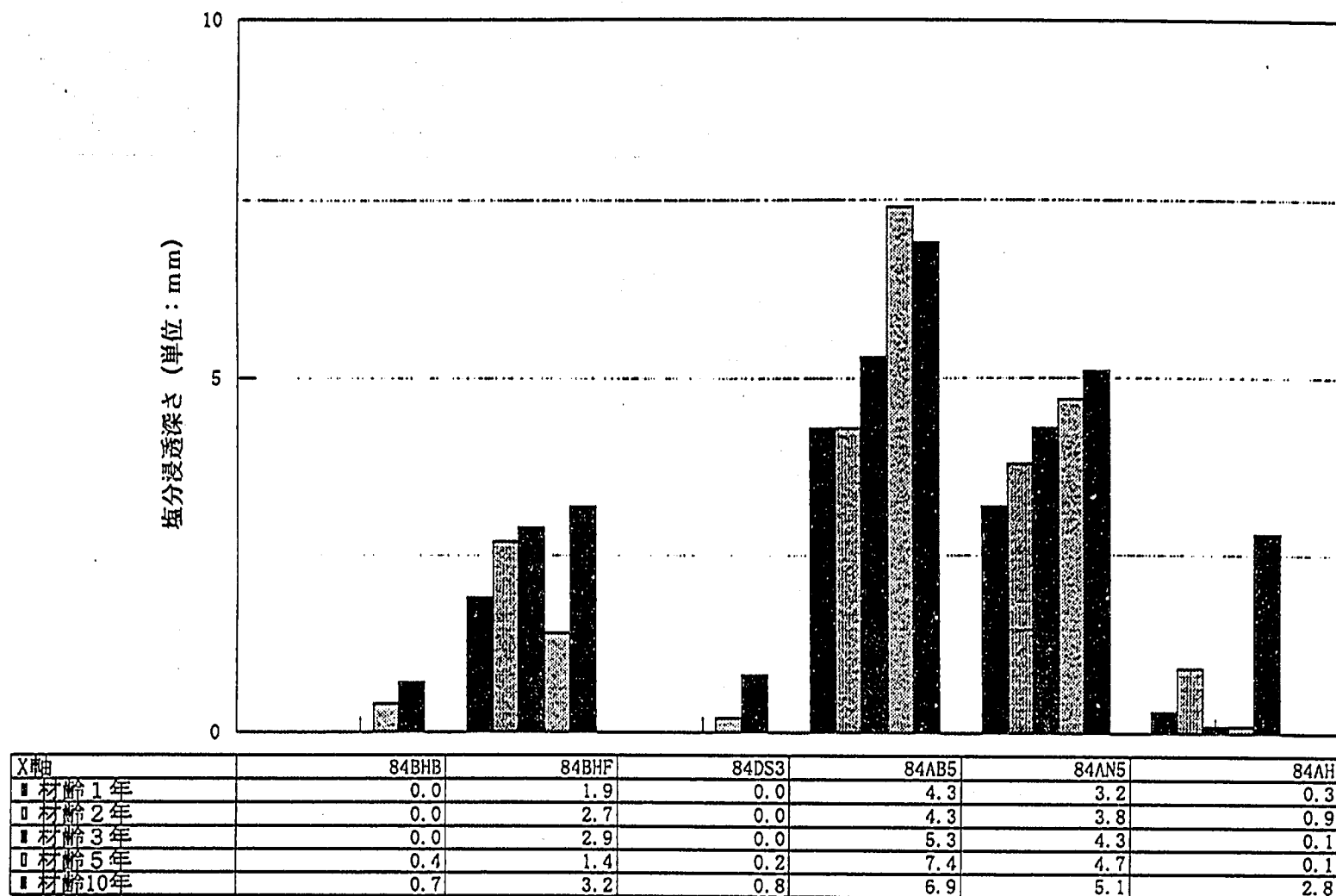


図-4.10(4) 塩分浸透深さ (P S)

あ と が き

海上暴露10年経過後のコンクリート供試体調査の結果、海面に近い第3デッキ上で、内部鉄筋腐食によるひびわれや錆汁が発生している供試体が認められた。暴露期間の経過とともに塩害が着実に進行している状況がうかがえる。しかし海面より約8 m上にある第2デッキ上の供試体は未だ塩害は顕在化に至っていない。

本試験の開始当初、10年間の暴露期間を目標としたが、10年経過した現在、長期的な観点から計画全体の見直しを計り、暴露試験の継続調査を行う必要があるといえる。

本研究における一連の暴露試験調査は、駿河湾海洋技術総合研究施設（マリンステーションするが）において実施しているものである。末筆ながら同施設の管理者である中部地方建設局静岡河川工事事務所に対し深甚なる謝意を表する次第である。

海洋構造物の耐久性向上技術に
関する共同研究報告書
(第2分科会)

ISSN 0386-5878
共同研究報告書第142号
平成7年12月(1995)

建設省土木研究所
社団法人プレストレスト・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の部材の設計技術。

暴露期間10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、コンクリートの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が浸透し、内部鉄筋の腐食も一部認められた。

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。

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

五十円切手
をはって下
さい。

305-□□

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 002

No. 002

配布先氏名

○

配布先住所

共同研究報告書第 142 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印