

東海事業所施設建物の経年化傾向
に関する報告書
(調査報告)

2000年 1月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33
核燃料サイクル開発機構 東海事業所
運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Information Section,
Administration Division,
Tokai Works,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2000

東海事業所施設建物の経年化傾向に関する報告書 (調 査 報 告)

瓜生 満*1
里子 博幸*2
山崎 敏彦*2
橋本 美幸*3

要 旨

本報告は、東海事業所施設経年変化対応策の一環として実施している施設建物（コンクリート構造物）経年変化調査データを集計し、東海事業所施設全体とプルトニウム燃料施設等をサイト別に再評価した施設建物経年化傾向に関する報告である。

評価の対象は平成 10 年度において評価報告した再処理施設とプルトニウム燃料施設及び濃縮施設・その他の施設の各種データを用いて、総括的なトレンド把握を行うための経年トレンドグラフを作成し、統計的な解析から経年化傾向の再評価を行った。また、高経年原子力発電所の経年データと主要な核燃料施設の比較評価も合わせて実施した。

事業所施設建物の経年評価では、全体的な傾向として標準的な経年劣化曲線に比べ進行速度が遅いことを再確認した。また、主要な原子力発電所核燃料施設は、高経年とほぼ同程度の耐久性があり、現状の保全を継続することにより長期的な耐久性の確保が可能と判断される。

-
- * 1 建設工務管理部、建設G r
 - * 2 建設工務管理部 建設G r R&D技術計算チーム
 - * 3 原子力システム株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 施設建物の経年化傾向	3
2.1 東海事業所施設の経年化傾向	3
2.1.1 構造体強度の低下傾向	3
2.1.2 鉄筋の腐食度傾向	6
2.1.3 かぶり厚さのサイト別傾向	8
2.1.4 中性化の進行傾向	9
2.1.5 飛来塩分の浸透傾向	13
2.1.6 事業所への塩分飛来傾向	20
2.2 再処理施設の経年化傾向	32
2.3 プルトニウム燃料施設の経年化傾向	41
2.4 濃縮・ユーティリティ・その他の施設の経年化傾向	48
3. 高経年発電所との比較	55
3.1 高経年原子力発電所の現状	55
3.2 主要な核燃料施設（再処理施設及びプルトニウム燃料施設）の評価	55
3.2.1 コンクリートの強度低下	55
3.2.2 中性化による強度低下	57
3.2.3 塩分の浸透による強度低下	62
3.2.4 経年化評価のまとめと高経年化への対応	64
4. 施設耐久性能評価手法の提案	65
4.1 耐久性能評価手法の考え方	65
5. まとめと11年度下期の進め方	68

図 一 覧

- 図一 1 東海事業所内施設経年調査の対象に選定した施設の竣工年代の関係
- 図一 2 東海事業所において実施した経年調査対象施設建物と海塩粒子測定位置図
- 図一 3 東海事業所：竣工経過年数と施設平均コア強度の関係
- 図一 4 東海事業所：サイト別コア強度の分布図
- 図一 5 東海事業所：竣工年代別コア強度の分布図
- 図一 6 東海事業所：竣工経過年別の腐食グレード分布図
- 図一 7 東海事業所：鉄筋腐食グレードの方位別傾向及びグレード分類別割合
- 図一 8 東海事業所：はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図
- 図一 9 東海事業所：経過年数と各施設の平均中性化深さの関係
- 図一 10 東海事業所：経過年数と各打放し施設の平均中性化深さの関係
- 図一 11 東海事業所：経過年数と各外装施設の平均中性化深さの関係
- 図一 12 東海事業所：中性化深さの方位別傾向
- 図一 13 鉄筋コンクリート構造物の塩害進行概念フロー
- 図一 14 東海事業所：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（0～2 cm）
- 図一 15 東海事業所：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（2～4 cm）
- 図一 16 東海事業所：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（4～6 cm）
- 図一 17 東海事業所：コンクリート塩分含有量の方位別傾向
- 図一 18 東海事業所：海塩粒子量測定器具の形状
- 図一 19 東海事業所：海岸からの距離と海塩粒子量の関係
- 図一 20 東海事業所：海岸からの距離と施設建物表層部コンクリート中の塩分含有量の関係
（竣工から20年以上打放しまたはリシン塗り施設建物の表層部塩化物量）
- 図一 21 東海事業所：海岸からの距離と施設建物表層部コンクリート中の塩分含有量の関係
（東海事業所施設の表層部塩化物量）
- 図一 22 東海事業所：各地点における飛来塩分の月別チャート

- 図-23 東海事業所：四半期ごとの風向別平均風速チャート
- 図-24 東海事業所：季節別の各方位間（90度）平均風速と風向別平均風速レーダーチャート
- 図-25 再処理施設：コア強度の分布図
- 図-26 再処理施設：竣工経過年別の腐食グレード分布図
- 図-27 再処理施設：鉄筋腐食グレードの方位別傾向及びグレード分類別割合
- 図-28 再処理施設：はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図
- 図-29 再処理施設：経過年数と各施設の平均中性化深さの関係
- 図-30 再処理施設：中性化深さの方位別傾向
- 図-31 再処理施設：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（東側壁）
- 図-32 再処理施設：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（西側壁）
- 図-33 再処理施設：コンクリート塩分含有量の方位別傾向
- 図-34 再処理施設：コンクリート塩分含有量の深さ別傾向
- 図-35 プル燃施設：竣工年代別コア強度の分布図
- 図-36 プル燃施設：竣工経過年別の腐食グレード分布図
- 図-37 プル燃施設：鉄筋腐食グレードの方位別傾向及びグレード分類別割合
- 図-38 プル燃施設：はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図
- 図-39 プル燃施設：経過年数と各施設の平均中性化深さの関係
- 図-40 プル燃施設：中性化深さの方位別傾向
- 図-41 プル燃施設：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（東側壁）
- 図-42 プル燃施設：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図（西側壁）
- 図-43 プル燃施設：コンクリート塩分含有量の深さ別傾向
- 図-44 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：竣工年代別コア強度の分布図
- 図-45 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：竣工経過年別の腐食グレード分布図
- 図-46 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：鉄筋腐食グレードの方位別傾向及びグレード分類別割合

- 図-47 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図
- 図-48 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：経過年数と各施設の平均中性化深さの関係
- 図-49 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：中性化深さの方位別傾向
- 図-50 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図
(東側壁)
- 図-51 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図
(西側壁)
- 図-52 濃縮・ユーティリティ・その他の施設：コンクリート塩分含有量の深さ別傾向
- 図-53 高経年の原発と核燃料施設との中性化進展曲線の比較
- 図-54 再処理施設：主要な施設建物の中性化進展曲線
- 図-55 プル燃施設：主要な施設建物の中性化進展曲線
- 図-56 高経年の原発と主要な再処理施設建物の耐久性能評価の比較
- 図-57 高経年の原発と主要なプル燃施設建物の耐久性能評価の比較
- 図-58 主要な再処理施設建物の耐久性能評価レーダーチャートの例

表 及 び 写 真 一 覧

- 表－ 1 . コンクリート構造物の中性化深さ測定のための主な測定方法の概要
- 表－ 2 . コンクリート構造物中の塩分含有量測定のための主な試料採取方法の概要
- 表－ 3 . 東海事業所の経年化評価一覧表
- 表－ 4 . 打放し施設のコンクリート表層部塩化物量の比較
- 表－ 5 . 竣工後経過年が20年を越える打放しまたはリン塗り施設建物の表層部塩化物量
- 表－ 6 . 東海事業所季節別の各方位（90度）間平均風速
- 表－ 7 . 再処理施設の経年化評価一覧表
- 表－ 8 . プルトニウム燃料施設の経年化評価一覧表
- 表－ 9 . 濃縮・ユーティリティ・その他の施設の経年化評価一覧表
- 表－ 10 . 高経年原子力発電所と主要な核燃料施設のコンクリート強度の比較
- 表－ 11 . 高経年原子力発電所と主要な核燃料施設の中性化深さと中性化速度の比較
- 表－ 12 . 高経年原子力発電所と主要な核燃料施設の鉄筋位置での塩化物量の比較
- 表－ 13 . 主要な核燃料施設の経年化評価のまとめと高経年化への対応
- 表－ 14 . レーダーチャート表現のための性能グレード分類（性能3項目評価法）
- 表－ 15 . レーダーチャート表現のための性能グレード分類（性能5項目評価法）
- 写真－ 1 . 海塩粒子測定状況写真：（E地点：建工棟となり）

東海事業所施設建物の経年化傾向に関する報告書

1. はじめに

平成 3 年度より順次実施している東海事業所施設建物（コンクリート構造物）の経年変化調査結果を集計し、事業所レベル及び再処理施設、プルトニウム燃料施設、濃縮・ユーテリティ・その他の施設のサイト別に統計的な解析から再評価を行い、それぞれの経年傾向を把握し、今後の施設建物経年変化対応業務や施設保全計画の策定等に資することを目的に行ったものである。

尚、本報告の経年評価項目は躯体強度の低下傾向、鉄筋の腐食度傾向、事業所への塩分（海塩粒子）飛来傾向等であり、実施した施設数は 57 施設で、対象施設は施設の重要性や経過年数等を考慮して選定した（図-1 及び 2 参照）。

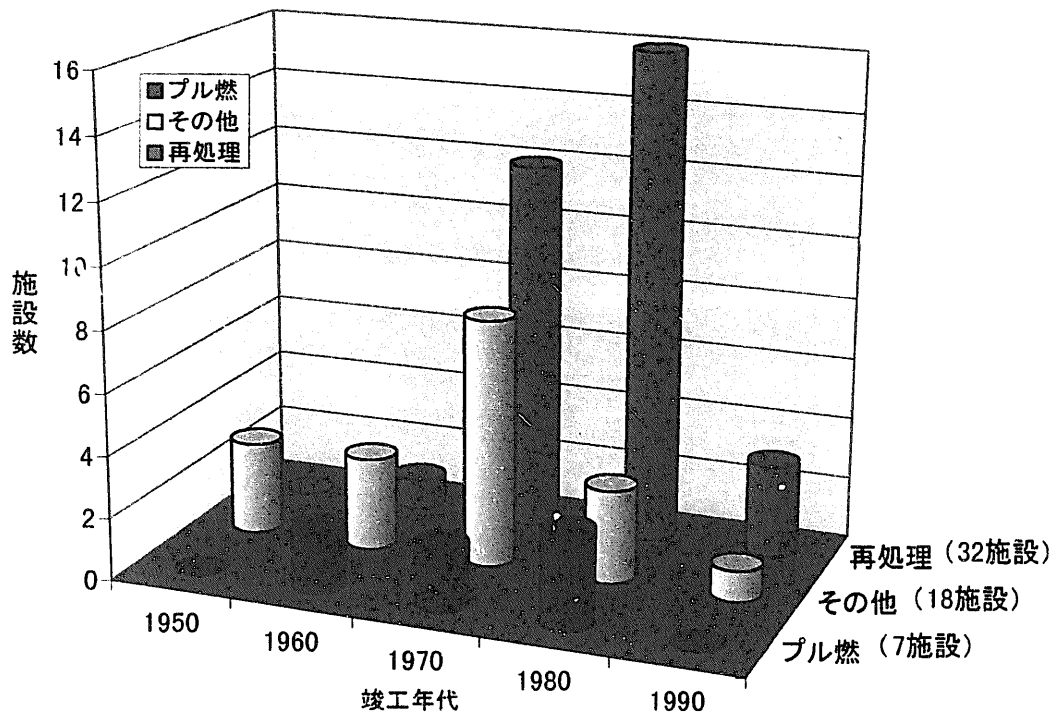


図-1 東海事業所内施設経年調査の対象に選定した各施設の竣工年代の関係



- ・海塩粒子測定位置 A～E
- ・表層部の塩分量評価対象施設 ①～⑤
- (海塩粒子測定
モニタリング期間：1993. 6～1994. 5)

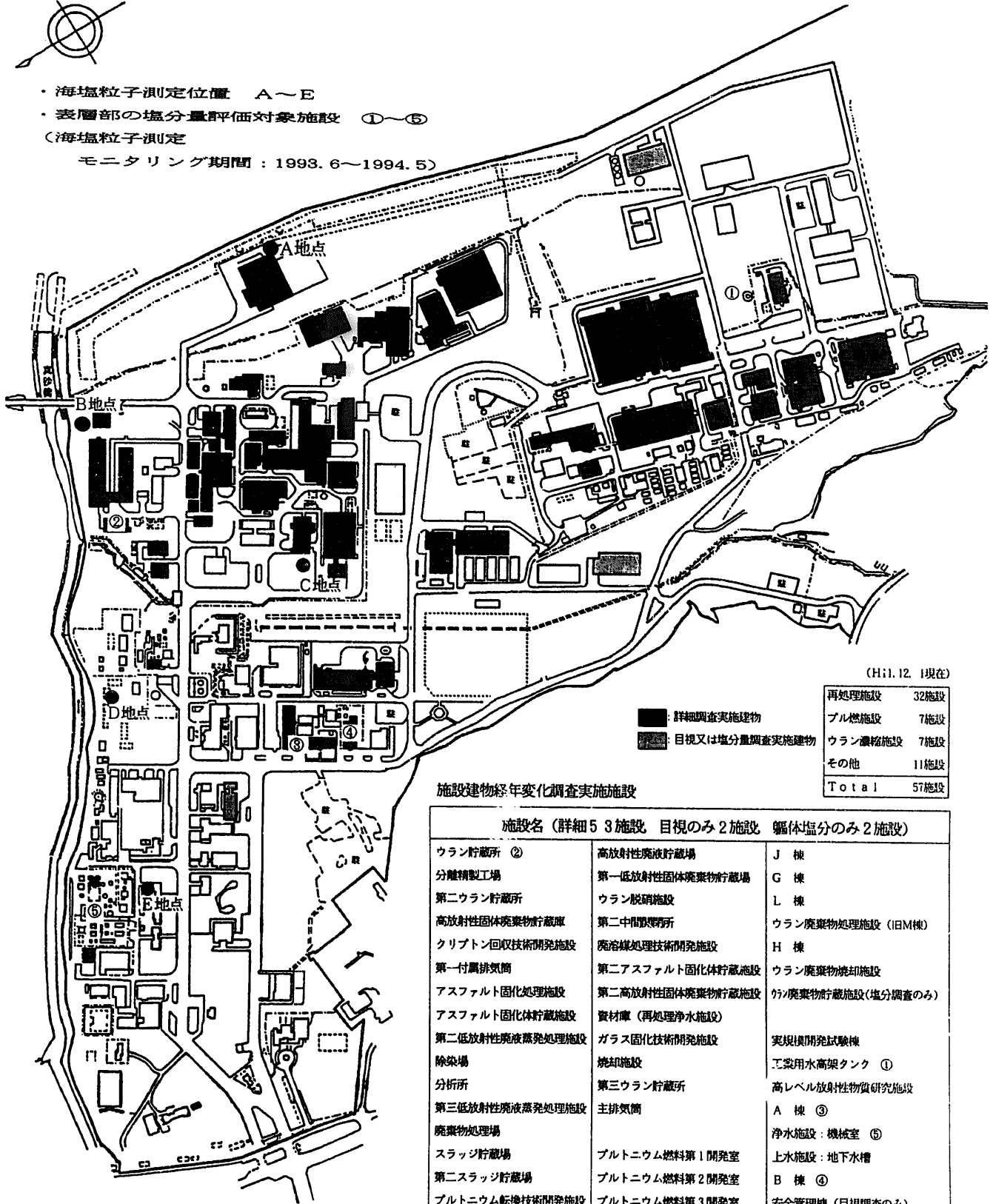


図-2 東海事業所内において実施した経年調査対象施設建物と海塩粒子測定位置図

2. 施設建物の経年化傾向

2.1 東海事業所施設の経年化傾向

2.1.1 構造体強度の低下傾向（図－3～5及び表－3参照）

東海事業所施設のうち47施設（平成10年度まで）からコンクリートコアを採取し、圧縮強度試験を実施した。

コアの採取位置は、1施設あたり1箇所から2箇所選定し、主に外壁部の外側から採取している。試験精度のばらつきに配慮するため、1箇所あたり3本のコアを採取し、その平均を求めて施設ごとの評価を行っている。採取コアの形状は100φ×200（mm）を原則としているが、壁厚に対する配慮や鉄筋等の干渉を避けるため、採取するコアの形状をサイズダウンさせた70φ×140（mm）に補正をかけて評価した。

調査を実施した施設の平均コア圧縮強度値は設計基準強度を全て上廻り、年代別の傾向では各年代とも平均値は300kgf/cm²を超えており、設計基準強度値より裕度は十分にある。また、竣工後経過年数と構造体強度の関係に今のところ特別な傾向はない。

現状の調査結果及び保全の方法から判断すると、設計基準強度との比、中性化の進行傾向、塩分の浸透傾向などから経年により構造体強度が設計基準強度を下廻ることは考えにくい。

尚、今後特定施設を対象にしたトレンド調査（追跡調査）を継続的に行うことにより、施設固有の経年的な傾向を把握することができる。

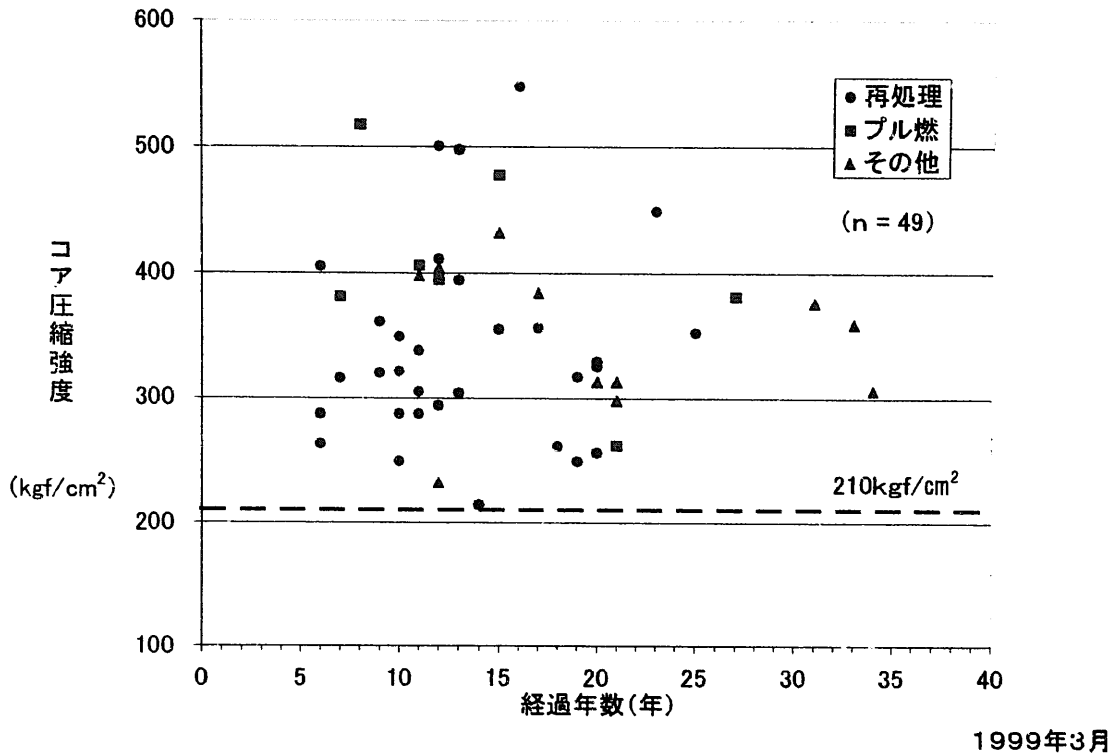


図-3 東海事業所: 竣工経過年数と施設平均コア強度の関係
(調査施設: 47施設)

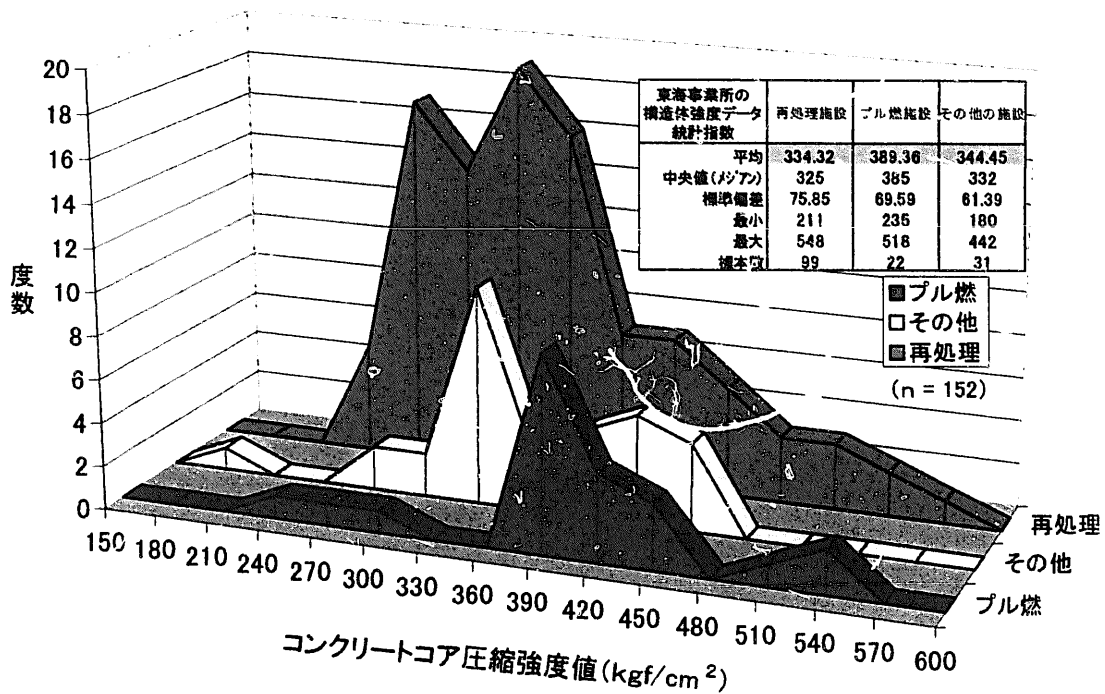


図-4 東海事業所: サイト別コア強度の分布図(調査施設: 47施設)

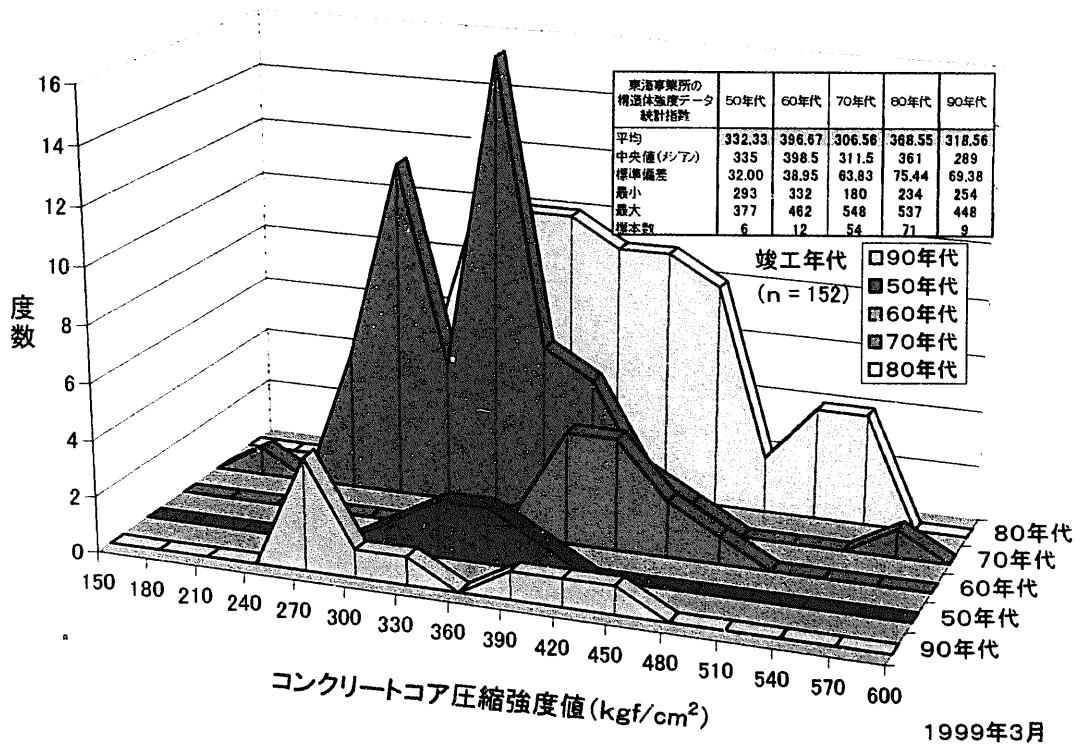


図-5 東海事業所: 竣工年代別コア強度の分布図
(調査施設: 47施設)

2.1.2 鉄筋の腐食度傾向 (図-6及び7並びに表-3参照)

はつり法を用いた目視による鉄筋腐食グレードの割合では、90 数パーセントは腐食がない状態または表面にわずかな点錆が生じている状態であり、表面に点錆が広がっている状態は数パーセントである。また腐食グレードⅢ以上の面錆や浮き錆、断面欠損等の劣化は認められない。経年傾向では、経過年が長くなるにつれてグレード割合が変化することはなく、方位の違いにも特徴はない。

尚、はつり調査位置は、施設あたり2箇所から4箇所選定し、かぶり厚さの測定と中性化深さの測定と合わせて目視観察を行い、鉄筋腐食グレードの評価判定は、日本コンクリート工学協会 海洋コンクリート構造物の防食指針 (案) 等を参考にグレードを判定した。

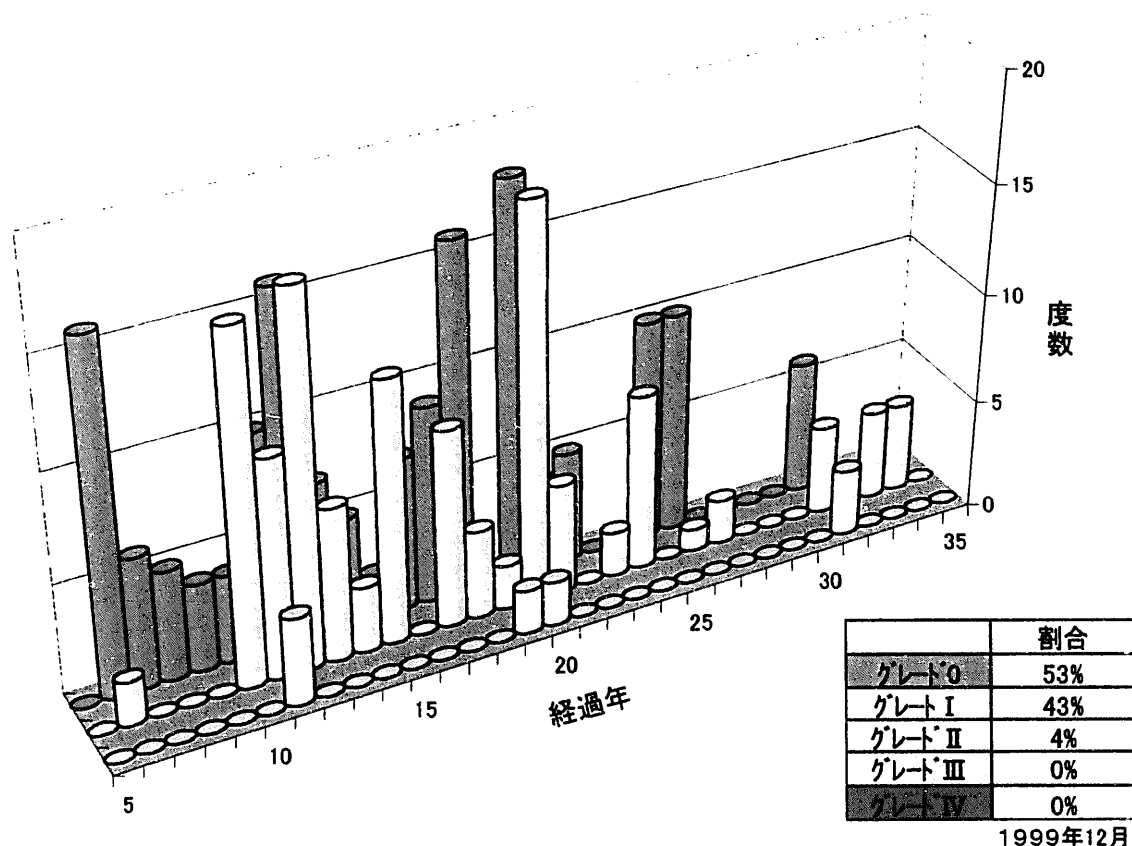
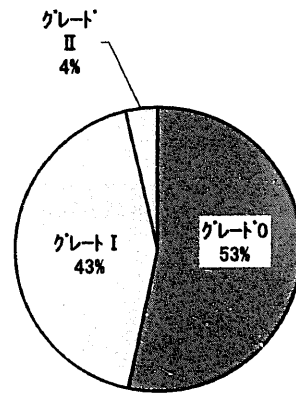
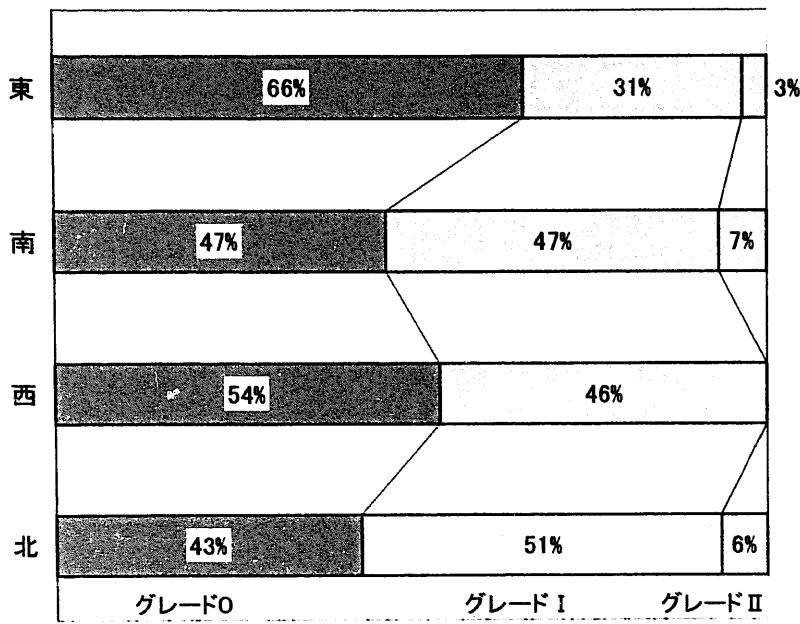


図-6 東海事業所:竣工経過年別の腐食グレード分布図
(調査施設:51施設)



グレード	割合
グレード0	53%
グレードI	43%
グレードII	4%
グレードIII	0%

東海事業所施設：鉄筋腐食度のグレード分類別割合

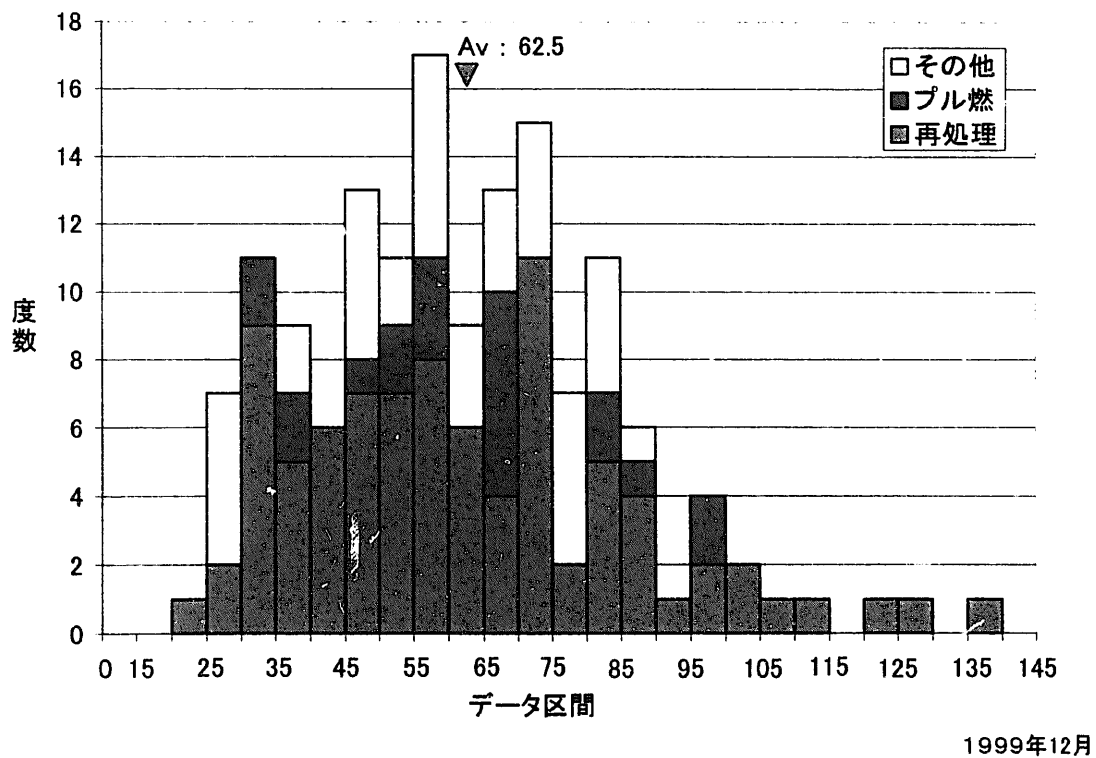
図-7 東海事業所：鉄筋腐食グレードの方位別傾向
及びグレード分類別割合(調査施設:51施設)

1999年12月

2.1.3 かぶり厚さのサイト別傾向（図－8及び表－3参照）

東海事業所施設全体のかぶり厚さの平均は約 6.3 cmである。再処理施設、プルトニウム燃料施設、濃縮・ユーティリティ・その他の施設とも、平均値は約 6 cm、標準偏差は 2cm 前後である。この標準偏差のばらつきは 1 施設のばらつきを示すものではなく、施設サイト全体のばらつきを示すものである。

尚、調査位置は 1 施設あたり 2 箇所から 4 箇所選定し、はつりによる実測若しくは電磁波法等による非破壊測定を行った。現状の調査結果から、東海事業所施設のかぶり厚さは耐久性を保つために必要な厚さがあると判断できる。



図－8 東海事業所:はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図
(調査施設:53施設)

2.1.4 中性化の進行傾向 (図-9～12 及び表-3 参照)

施設の経過年数に対する中性化の傾向は、標準的な中性化進展曲線に比べ殆んどが下廻っており、総じて東海事業所施設の中性化速度は遅く、コンクリートに密実性があることを示している。また、中性化深さに及ぼす建物部位の方位別の傾向は、南・西・東・北の順で中性化が遅くなっている。南・西の中性化が進む理由には、日射量が多く温度が高くなりコンクリートが乾燥するためである。

尚、中性化深さの測定位置は1施設あたり4箇所から16箇所選定し、はつりによる測定、小径ドリルによるはつり粉測定、コア採取による測定から施設の中性化深さ(各方位の平均値または施設の平均値)を求めて評価している(表-1 参照)。

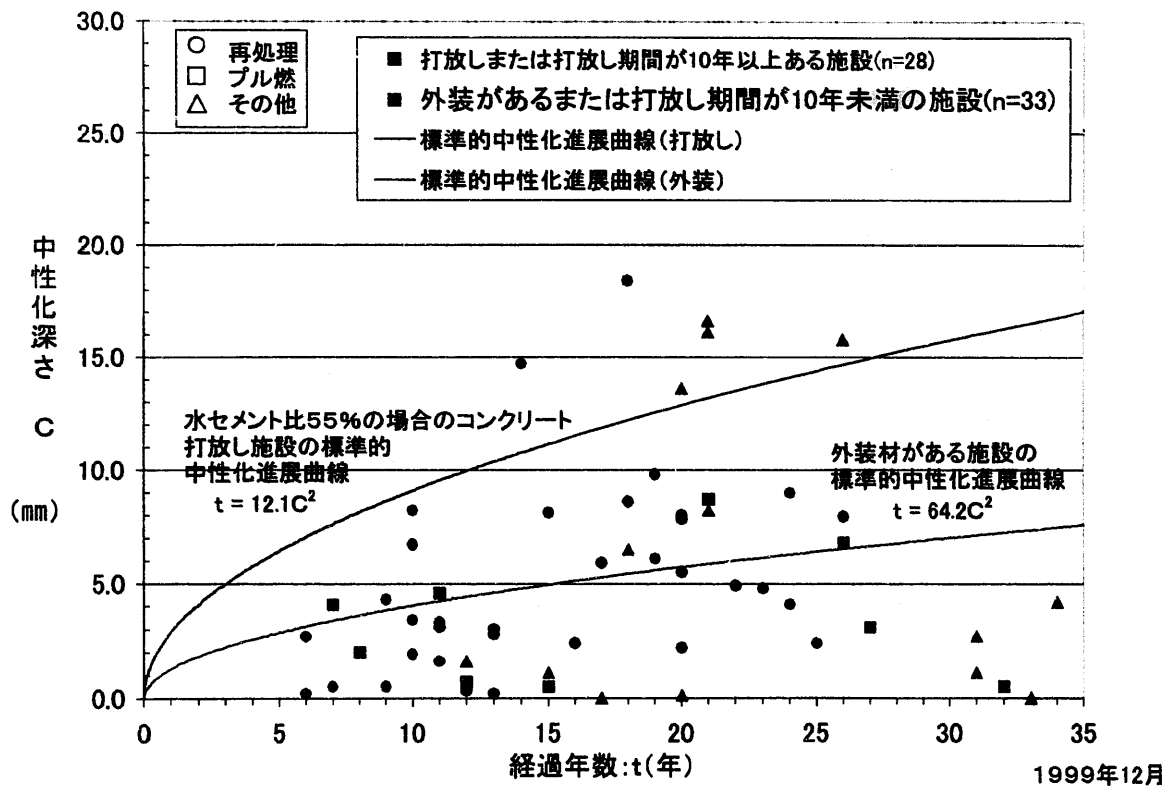


図-9 東海事業所: 経過年数と各施設の平均中性化深さの関係 (調査施設: 53施設)

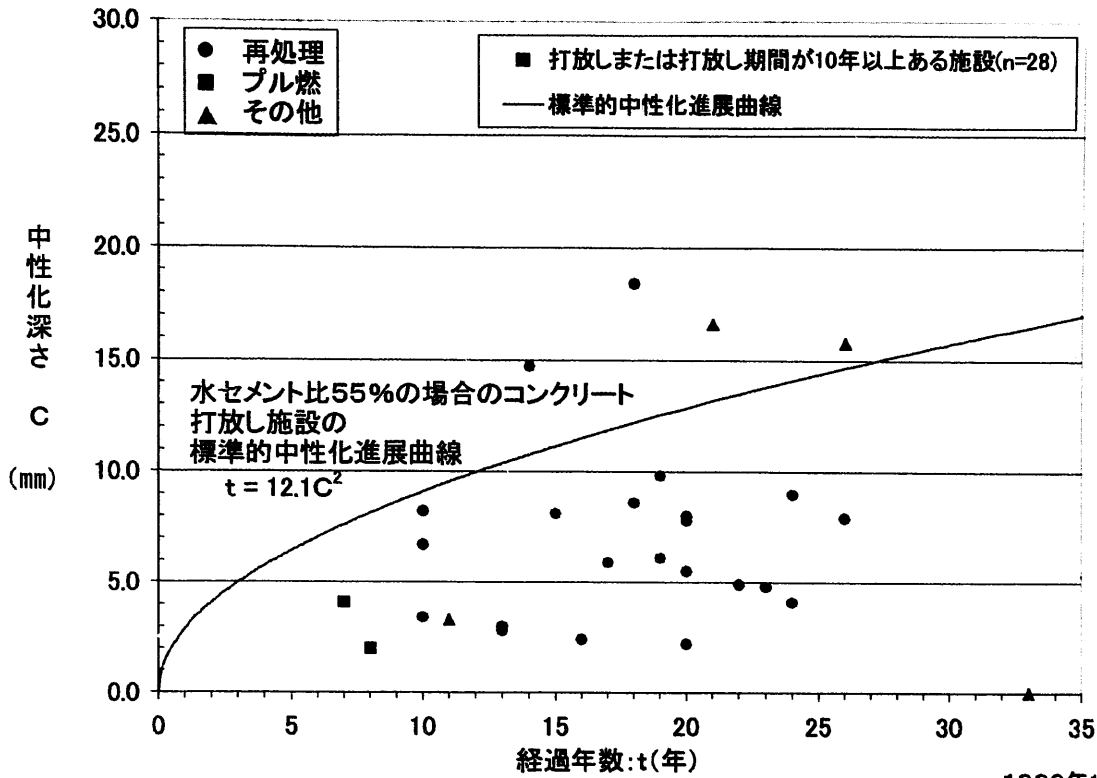


図-10 東海事業所:経過年数と各開放し施設の平均中性化深さの関係(調査施設:22施設)

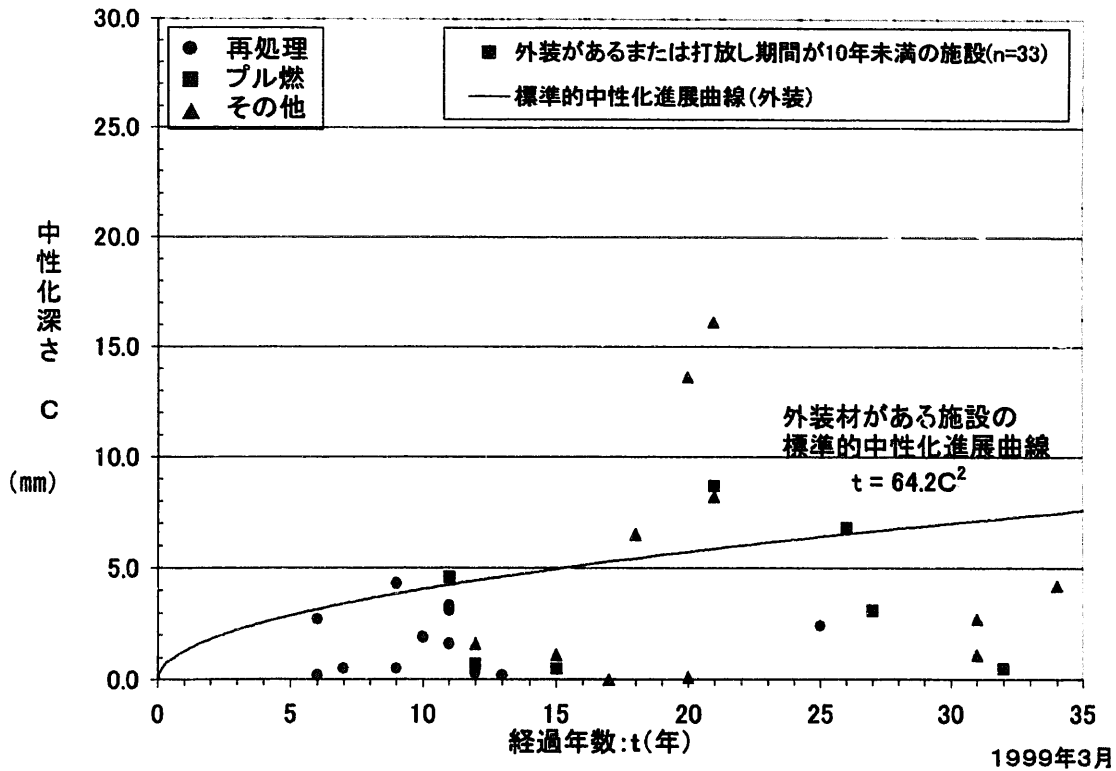


図-11 東海事業所:経過年数と各外装施設の平均中性化深さの関係(調査施設:31施設)

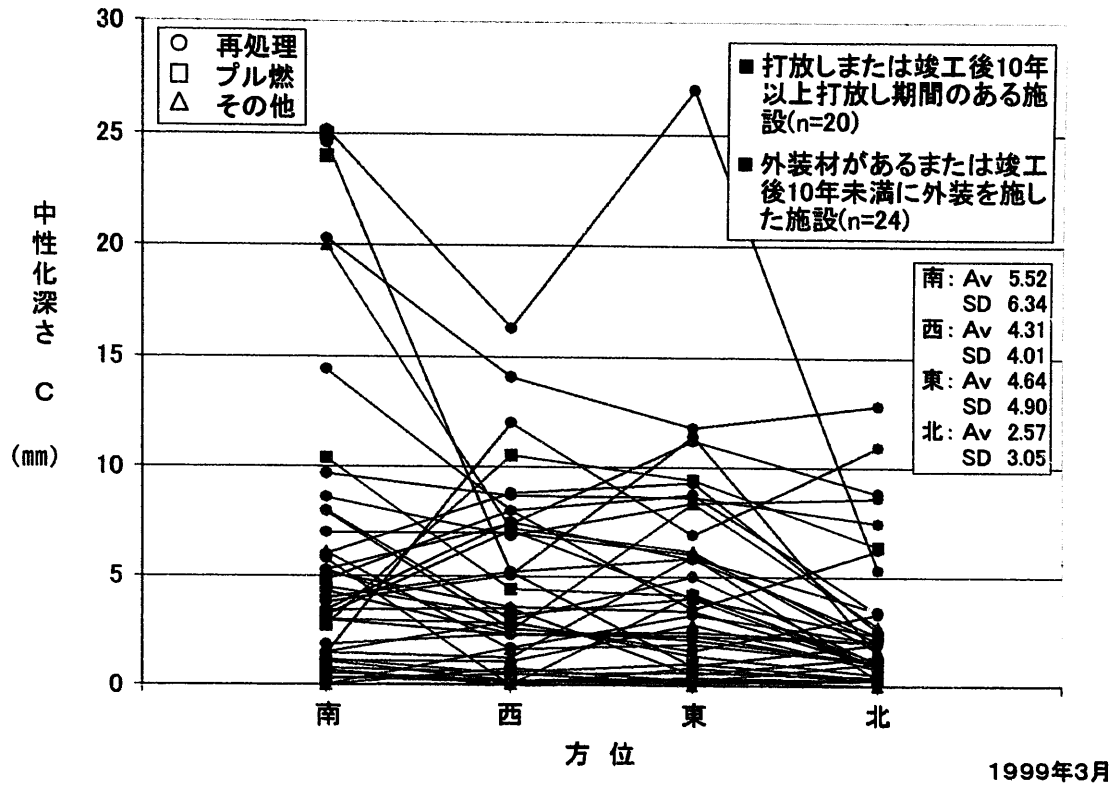
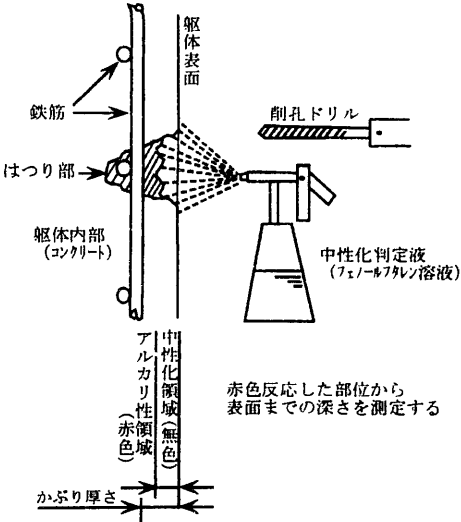
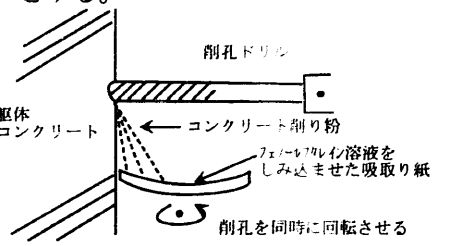
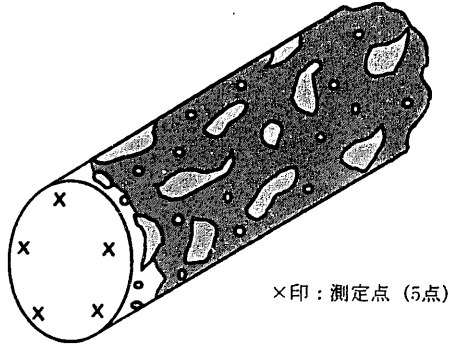
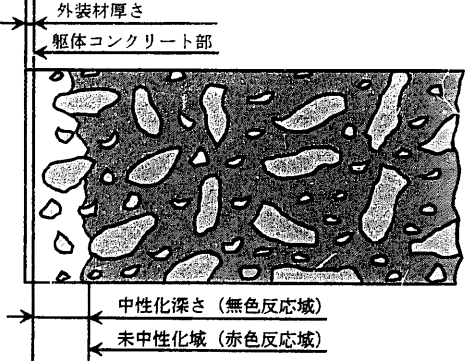


図-12 東海事業所: 中性化深さの方位別傾向(調査施設: 40施設)

表-1 コンクリート構造物の中性化深さ測定のための主な測定方法の概要

はつり法	小径ドリル法 (削り粉法)	中性化用コア法 (表面及び割裂面)	圧縮強度測定用コア併用法及び塩分量測定用コア併用法 (表面及び割裂面, 塩分コアは表面のみ)
<p>1. 測定方法</p> <p>鉄筋探査機等により調査位置の配筋状態、かぶり厚さをチェックし、鉄筋の縦筋と横筋とが交差している部位をねらい、ドリル等を用いて鉄筋をはつり出す。</p> <p>鉄筋の腐食状態等を確認したのち、中性化判定液 (フェノール・フタレイン溶液) をコンクリートはつり部に吹きかけ、赤色 (未中性化) に変色した部分の表面から深さをスケール等により5点以上測定し、それらの平均を求め調査位置での中性化深さとする。</p>  <p>はつり法による中性化深さ測定概略図</p>	<p>1. 測定方法</p> <p>はつり法と同様に配筋状態かぶり厚さをチェックし、鉄筋に干渉しないようコンクリート表面を垂直にドリルを用いて削孔する。この時に他の作業員がフェノール・フタレイン溶液をしみ込ませた吸取り紙 (ろ紙) を削り粉が落下する位置にセットし、削孔開始と同時に、常に新しいところに落ちないように吸取り紙を動かす。</p> <p>落下したコンクリート削り粉が、吸取り紙に触れて赤色に変色した時に直ちに削孔をやめ、その時の深さをノギスのデプスバーと本尺の先端を用いて孔の深さを測定する。</p> <p>骨材の影響等のばらつきを考慮して、調査箇所につき5点以上測定し平均を求め調査位置での中性化深さとする。</p>  <p>小径ドリル法による中性化深さ測定概略図</p> <p>参考文献 建設省総合開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書 (第一編), など</p>	<p>1. 測定方法</p> <p>はつり法と同様に配筋状態、かぶり厚さをチェックし、鉄筋等に干渉しないようコンクリート部からコアを採取する。尚、コアドリルの削孔深さはかぶり厚さと同程度とする。</p> <p>コアを採取後、直ちにコア表面にフェノール・フタレイン溶液を吹きかけ、赤色に変色した部分の表面からの深さをスケール等により5点以上測定し、それらの平均を求め調査位置での中性化深さとする。また、コアを試験室において割裂し、割裂面にフェノール・フタレイン溶液を吹きかけ中性化深さ (5点以上) を測定する方法もある。</p>  <p>コア表面中性化測定位置説明図</p> <p>参考文献 ASTM C42 コンクリートからのコア及び梁の切り取り方法と引張試験方法, など</p>	<p>1. 測定方法及び注意点</p> <p>中性化用コア法と同じであるが、割裂面測定は圧縮強度試験終了後に行うため、圧縮強度試験時におけるキャッピング (コア両端部の処置) に伴うカッティング加工への配慮が必要となる。</p> <p>また、塩分量測定用のコア径は、一般にコア径が小さくなるため計測する5点の箇所はコア表面中性化判定を代表する深さとする必要がある。</p>  <p>コア割裂法による中性化深さの判定例</p> <p>参考文献 JIS A 1107 コンクリートからのコア及び梁の切り取り方法及び圧縮強度試験方法, JCI 基準 (案) 硬化コンクリート中に含まれる塩分分析用コア試料の取り方について, など</p>

2.1.5 飛来塩分の浸透傾向 (図-13~17 及び表-3 参照)

東海事業所施設は海岸近くに立地しているため飛来塩分等による塩害が懸念される。そこで、施設の外周コンクリートを対象にコンクリート中の塩分含有量 (全塩化物量) の測定を実施した。調査位置は、海側 (東面) と山側 (西面) または各面としてコンクリート表面から 2 cm ピッチで、約 6 cm の深さ位置まで試料採取し測定を行っている (表-2 参照)。

経年的には竣工経過年が長くなるにつれてコンクリート中の塩化物量は増えるが、コンクリート打放しの施設と外装材がある施設では塩分の浸透傾向に差があり、その差から外装材による遮塩性の効果を裏付けている。また、方位別の傾向では表層部は海側である東側で塩化物量が多くなっている。

グラフ中にある理論上の固定化される塩化物量のラインとは、土木学会や建築学会で提案されている、通常鉄筋が腐食しない塩化物量のラインである。

鉄筋の腐食には酸素と水の同時供給が必要であり、中性化の進行速度やかぶり厚さ等から腐食が急激に進行するとは考えられないが、理論上の固定化される塩化物量のラインを超える施設では、保全管理の面から今後はトレンド調査や早めの改修計画等の対応も必要である。

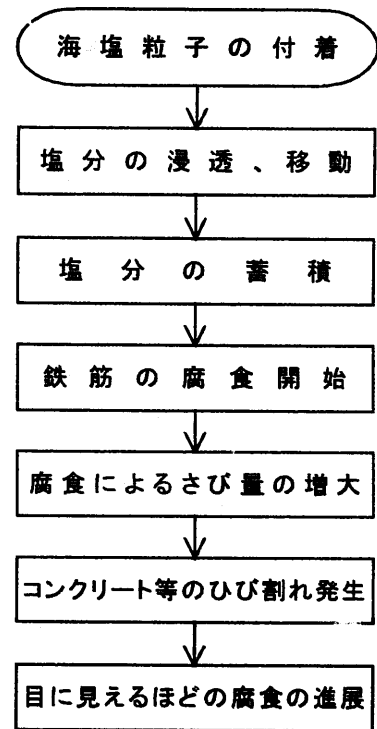
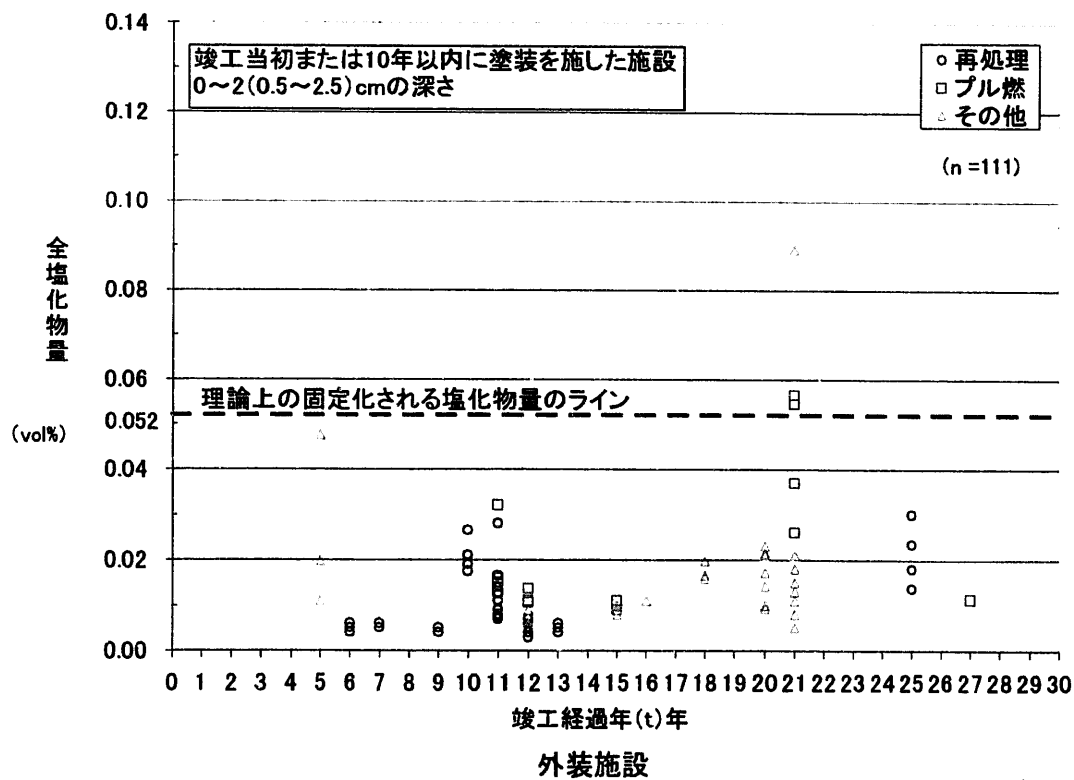
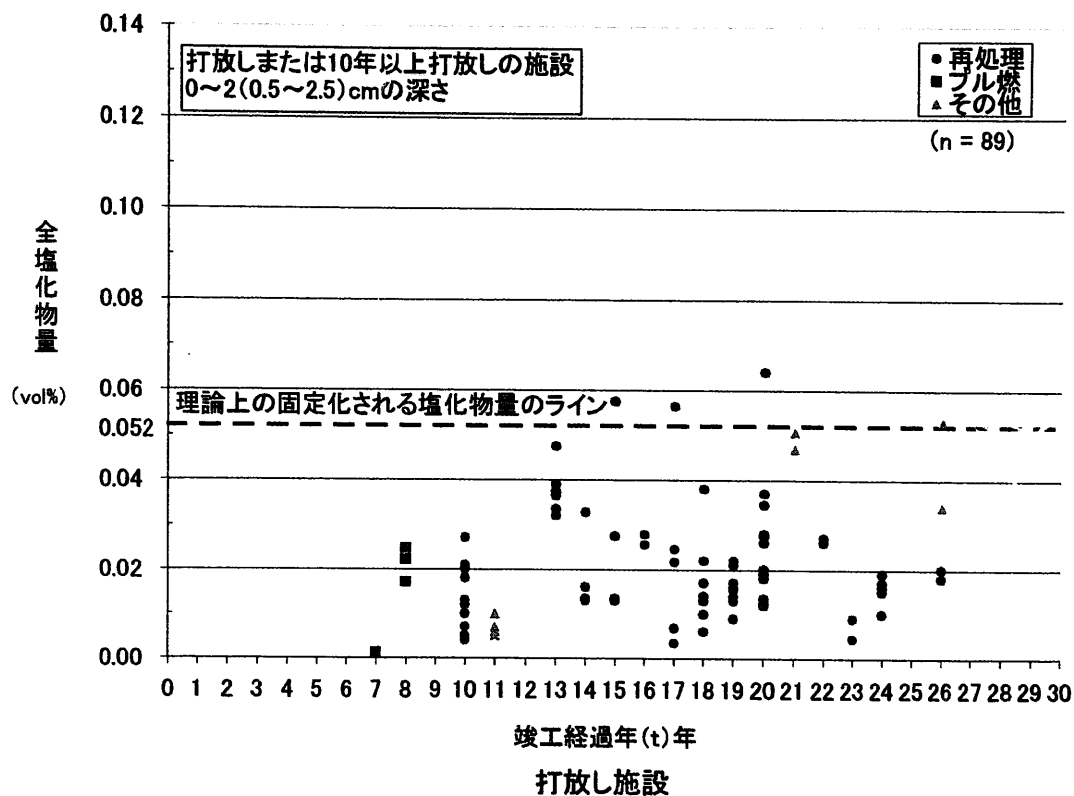
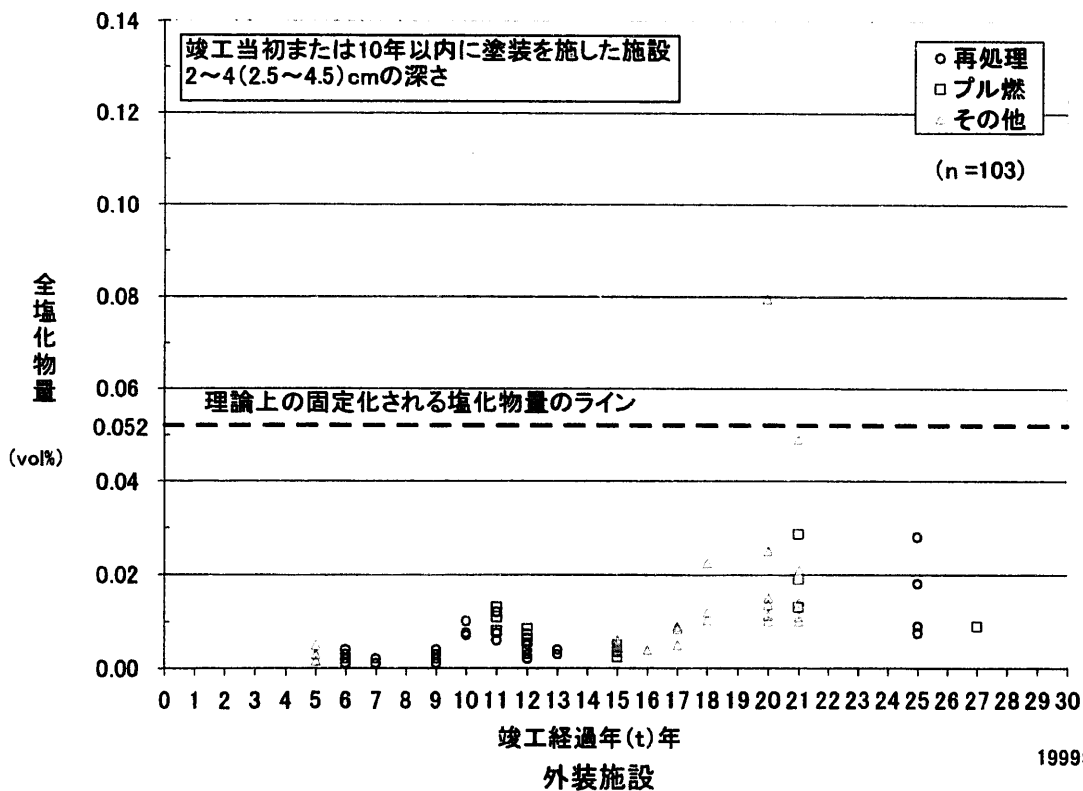
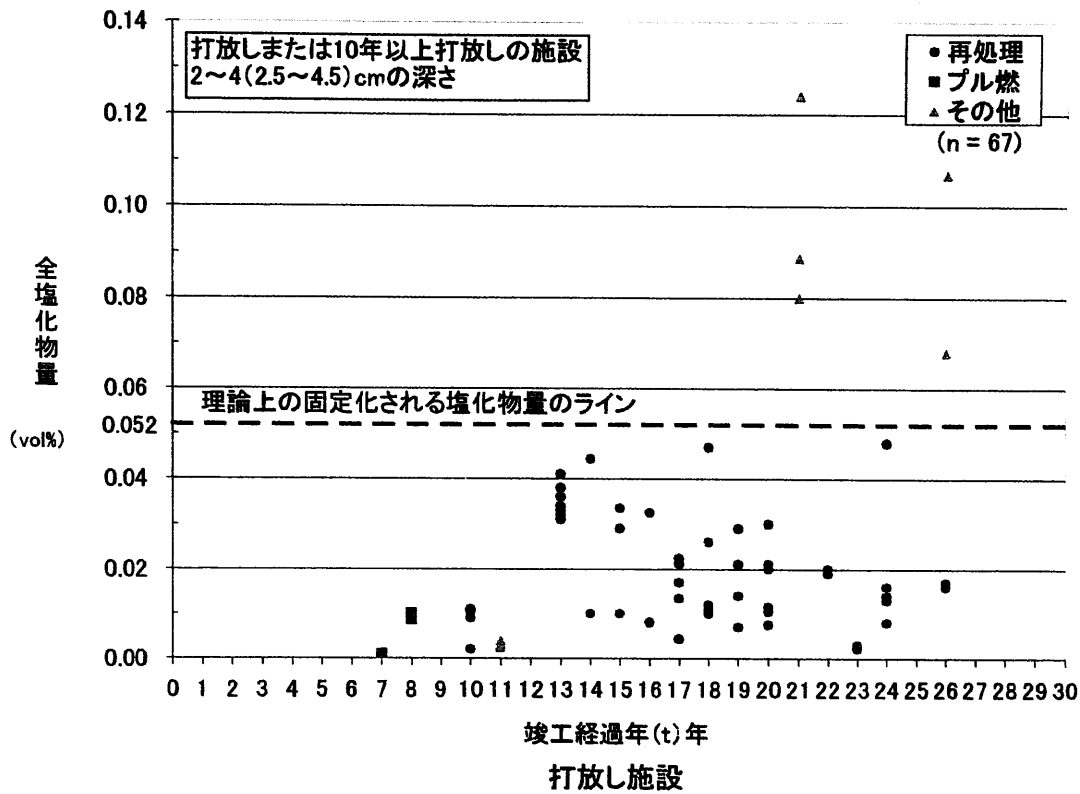


図-13 鉄筋コンクリート構造物の塩害進行概念フロー



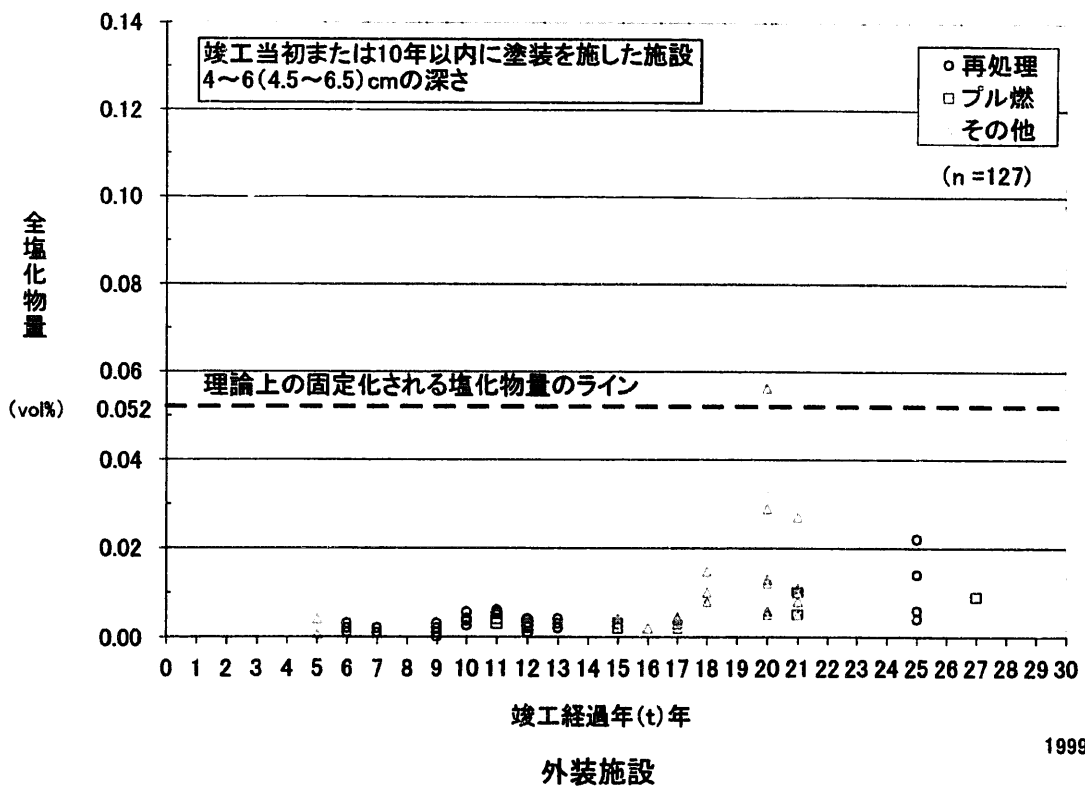
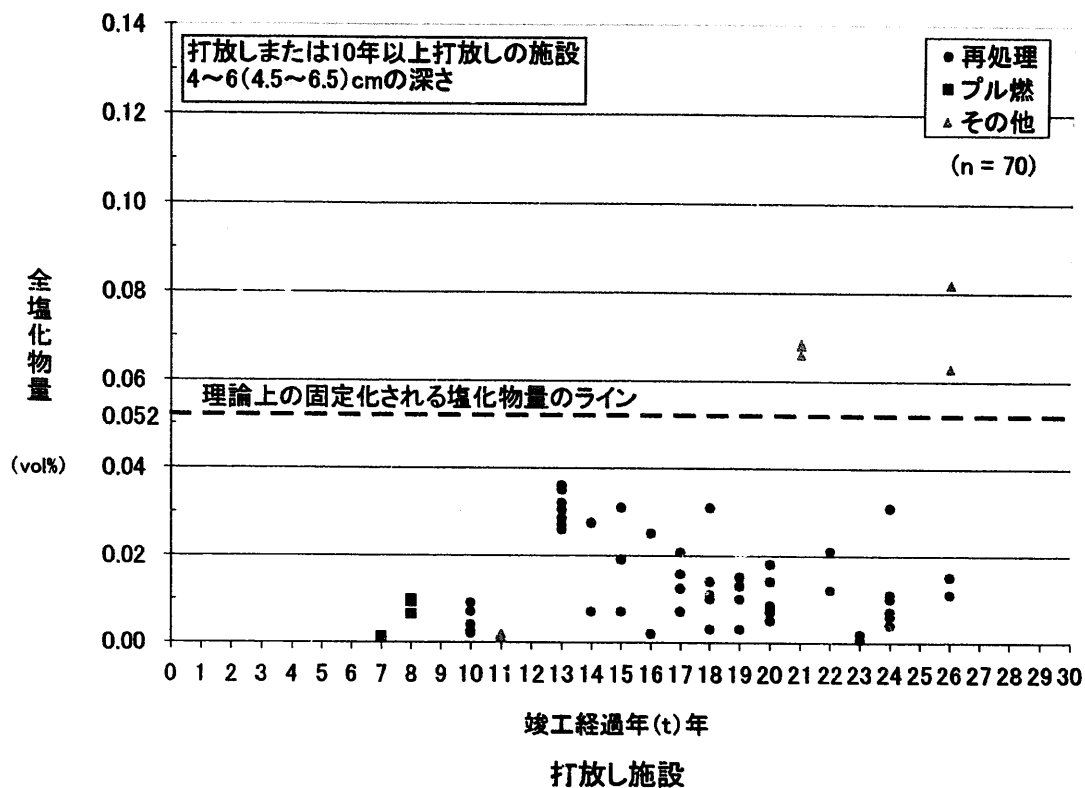
1999年12月

図-14 東海事業所:竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図
(全塩化物:0~2cm:四方位:方位平均値/プロット)



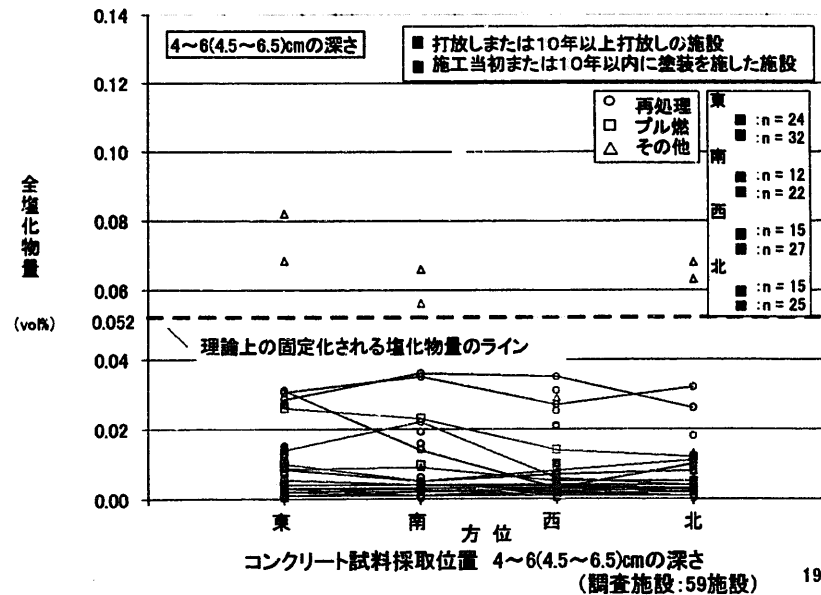
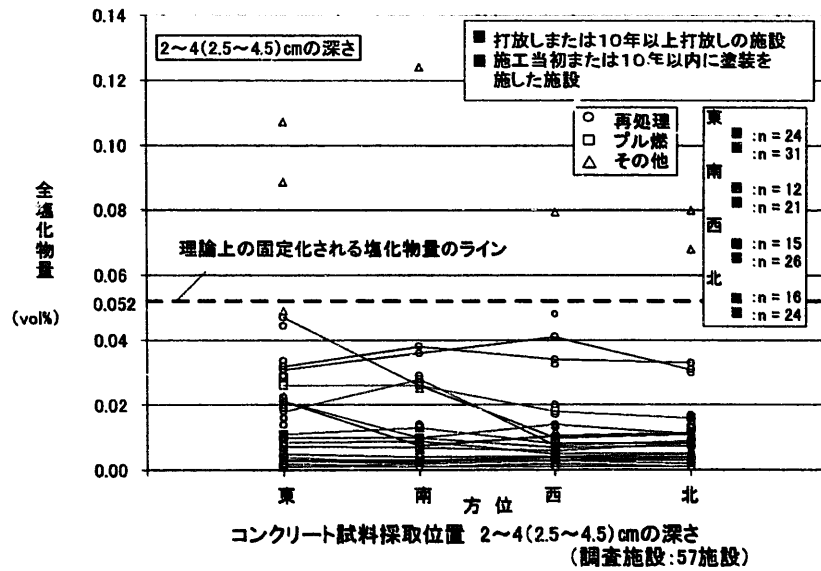
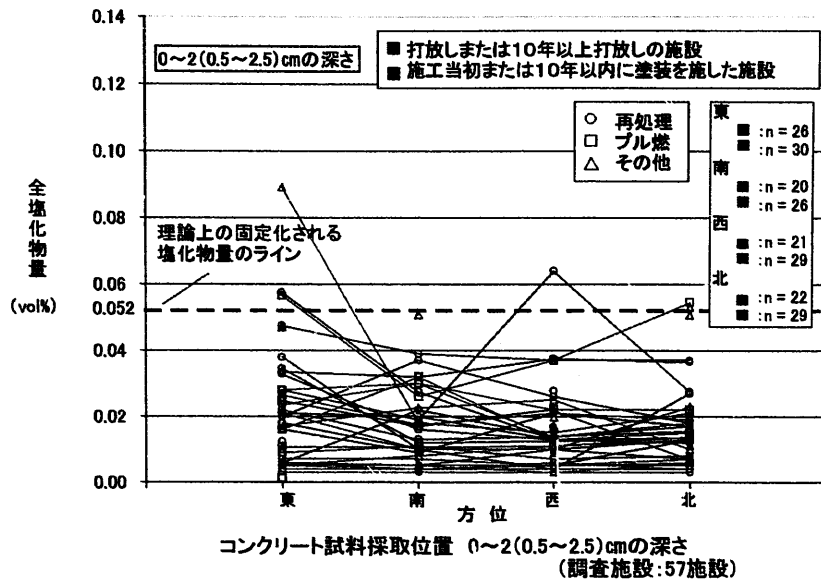
1999年12月

図-15 東海事業所:竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図
(全塩化物:2~4cm:四方位:方位平均値/プロット)



1999年12月

図-16 東海事業所:竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図
(全塩化物:4~6cm:四方位:方位平均値/プロット)



1999年12月

図-17 東海事業所:コンクリート塩分含有量の方位別傾向

表-2 コンクリート構造物中の塩分含有量測定のための主な試料採取方法の概要

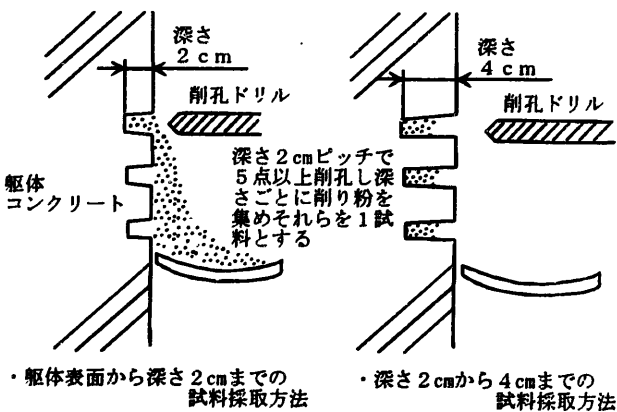
塩分量測定用コア採取法 (φ50~φ70)	小径ドリルによるはつり粉採取法 (φ20)	備 考
<p>1. 採取方法</p> <p>鉄筋との干渉を避けるため、あらかじめ設計図、鉄筋探査機などを用いてかぶり厚さや鉄筋間隔をチェックする。</p> <p>採取位置の確定後、簡易小径コアを用いてφ50程度のコアを採取する。</p> <p>コアの長さは、塩分の浸透深さ、練り混ぜ時の塩分量を求められるような長さを選択することが望ましい。(採取コアの切取方法の例を表層部の仕上材を除き2cmピッチにスライスして、コア1本につき3試料をとる)</p> <p>— 塩分量測定の目的 —</p> <p>コンクリート中に存在する塩化物の形態は、通常、塩化物イオン (Cl⁻) とフリーデル氏塩と考えられる。これらのうち、鉄筋腐食に有害なものは塩化物イオンとされ、フリーデル氏塩は化合物中に固定された塩素であるため、直接的な鉄筋腐食に影響しないとされている。しかし、フリーデル氏塩は必ずしも安定した化合物ではなく、外部から侵入する炭酸ガス作用によって分解され、その結果、固定されていた塩素化合物がイオン解離し、可溶性の塩化カルシウムが生成され、鉄筋腐食に有害な塩化物イオンとなるため、コンクリート中の塩化物量を調査する場合には、フリーデル氏塩を含めた全塩化物の分析を行うことが望ましいとされる。</p> <p>準用規定</p> <p>JIS A 1107 (コンクリートからのコア及びはりの切取り方法及び圧縮強度試験方法)</p> <p>JCI 基準(案) (硬化コンクリート中に含まれる塩分分析用コア試料の取り方について)</p> <p>ASTM C42 (コンクリートからのコア及び梁の切取り方法及び引張試験方法)</p>	<p>1. 採取方法</p> <p>コア採取法と同様にかぶり厚さや鉄筋間隔をチェックし、採取位置の確定後、φ20程度の小径ドリルではつり粉 (削り粉) を採取する。</p> <p>尚、表層から定ピッチで採取する場合は、削孔ごとのはつり粉が混ざらない様、十分に穴を掃除してから次の削孔にとりかかる必要がある。</p> <p>また、これらの試料は骨材の影響によるバラツキを考慮して、調査箇所あたり近接する5点以上を削孔して1試料とする必要もある。</p>  <p>最近では、試料吸引穴が空けられている特殊ビット、試料捕集器、穿孔深さ調整用ストッパー、吸引掃除機が組み合わされたドリルが市販されている。</p> <p>参考文献</p> <p>硬化コンクリート中の塩分量の簡易測定法について、日本建築学会 1985.10 東海 友澤史紀 他</p>	<p>通常、塩化物の分析で対象とされる塩化物には、硝酸に溶解する酸溶性塩化物 (全塩化物: NaCl) と、温水 (JCI 法では 50℃) に溶ける塩化物 (可溶性塩化物または水溶性塩化物: sol, NaCl) とがある。</p> <p>尚、イオン電極法、硝酸銀滴定法、吸光光度法のいずれかの方法で塩化物イオン濃度を定量分析する場合には、必ず空試験を行い、ブランク値を得て定量値を補正する必要がある。</p> <p>塩化物量の計算は、以下の式による。</p> $C = a \times \frac{V}{V_s} \times \frac{100}{w} \times 0.001$ $C_v = C \times M \times 0.01$ <p>C_v : コンクリートの単位容積あたりの Cl⁻含有量 (kg/m³)</p> <p>C : 分析試料中の Cl⁻含有量 (wt%)</p> <p>a : 分取液中の Cl⁻定量分析値 (mg)</p> <p>V : 抽出液量 (ml)</p> <p>V_s : 分取液量 (ml)</p> <p>w : 試料量り取り量 (g)</p> <p>M : コンクリートの単位容積質量 (kg/m³)</p> <p>引用文献</p> <p>日本コンクリート工学協会 JCI 基準案「硬化コンクリートに含まれる塩分の分析方法(案)」及び「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法(案)」</p>

表-3 東海事業所施設の経年化評価一覧表

評価項目	竣工年代	構造体強度と設計基準強度の比	鉄筋腐食度 グレード分類	中性化速度	鉄筋位置での塩化物量	各施設の平均かぶり厚さ
再処理施設	60年代	平均 2.14	グレード I 以下	平均 0.099	平均 0.004%	平均 6.45 cm
	70年代	平均 1.49	グレード II 以下	平均 0.171	平均 0.015%	平均 5.46 cm
	80年代	平均 1.65	グレード II 以下	平均 0.077	平均 0.007%	平均 6.96 cm
	90年代	平均 1.52	グレード I 以下	平均 0.077	平均 0.002%	平均 7.73 cm
プルトニウム燃料施設	60年代	平均 1.81	グレード I 以下	平均 0.059	平均 0.019%	平均 5.05 cm
	70年代	平均 1.25	グレード I 以下	平均 0.159	平均 0.008%	平均 9.1 cm
	80年代	平均 1.94	グレード I 以下	平均 0.077	平均 0.004%	平均 6.13 cm
濃縮・ユーテリティ・その他の施設	50年代	平均 1.85	グレード I 以下	平均 0.065	平均 0.002%	平均 5.48 cm
	60年代	平均 2.09	グレード II 以下	平均 0.036	平均 0.005%	平均 5.9 cm
	70年代	平均 1.41	グレード I 以下	平均 0.205	平均 0.027%	平均 6.33 cm
	80年代	平均 1.90	グレード I 以下	平均 0.068	平均 0.003%	平均 5.18 cm
	90年代	—	—	—	平均 0.004%	平均 4.9 cm
評価値		1 以上	グレード II 以下	0.4 以下	0.052% 以下	3 cm 以上

2.1.6 事業所への塩分飛来傾向 (図-2 及び 18~24 参照)

東海事業所の敷地内において、施設の劣化に影響を及ぼす海から飛来する海塩粒子量を把握して、施設経年変化対応策の参考資料にするため 1992 年 6 月から 1 年間に渡り海塩粒子量測定を実施した。

海塩粒子量の測定方法は、JIS Z 2381「屋外暴露試験方法通則」に示されたガーゼ法に準拠して、海塩粒子捕集器具(スタンド)は、東海事業所の敷地内に海岸から約 50m、100m、250m、500m、1000m の位置に各 1 ヶ所ずつ、風が吹き抜けるように建物から少し距離をおいた位置で合計 5 ヶ所設置した。なお、捕集器具は図-16 に示すように地上からの高さが約 1.5m の所で垂直に、海側へ向けて取付けるとともに測定場所の上方には約 1.4×1.4m の屋根を設け雨がかからないようにした。

測定の結果、海岸からの距離と海塩粒子量との関係では、総じて海岸からの距離が長くなるにつれて海塩粒子量は減少する傾向にあるが、1 年間の平均をとった場合は、B 地点(海岸からの距離が 100m)よりも C 地点(海岸からの距離が 250m)、D 地点(海岸からの距離が 500m)よりも E 地点(海岸からの距離が 1000m)の方がそれぞれ海塩粒子量が若干多くなっている。図-2 に示すように A 地点(海岸からの距離が 50m)は海岸に面しており、D 地点は駐車場で近くに大きな建物がないので、両地点ともあまり建物の影響を受けていない。一方、B 地点、C 地点、E 地点は近く of 海側に建物があり、この影響を受けていると考えられる。D 地点よりも E 地点の方が海塩粒子が多いことから、測定地点の周囲に建物がある場合に必ずしも海塩粒子量が少なくなるとは限らないと言える。

各地点における測定月ごとの海塩粒子量は、全体的な傾向として、5 月、9 月に飛来する海塩粒子量が多い。しかし、必ずしも各地点におけるグラフは相似形にはならず、建物の配置状況の及ぼす影響が風向き等の気象条件によって異なるためではないかと考えられる。

調査時がコンクリート打放し施設で、竣工年と海岸からの距離がほぼ等しい再処理施設ウラン貯蔵所(経過年:23~24 年)と工業用水高架タンク(経過年:21 年)の表層部コンクリート中の塩化物量の差を比較すると、比較データとしては竣工経過年に 2~3 年程度の差があり、若干の経過年誤差が含まれているが、両者にはかなりの差がある(表-4 参照)。

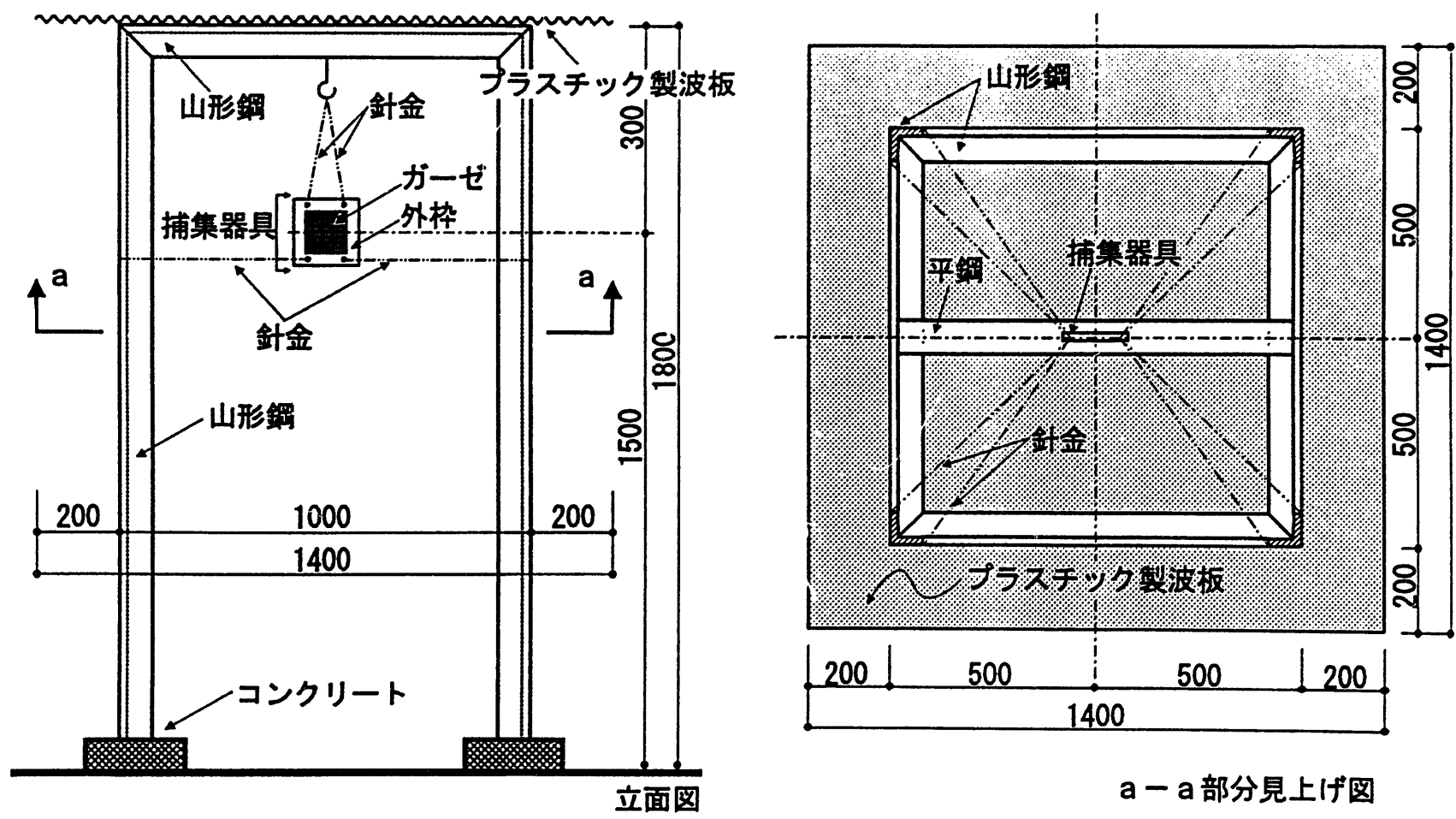


図-18 東海事業所:海塩粒子量測定器具の形状

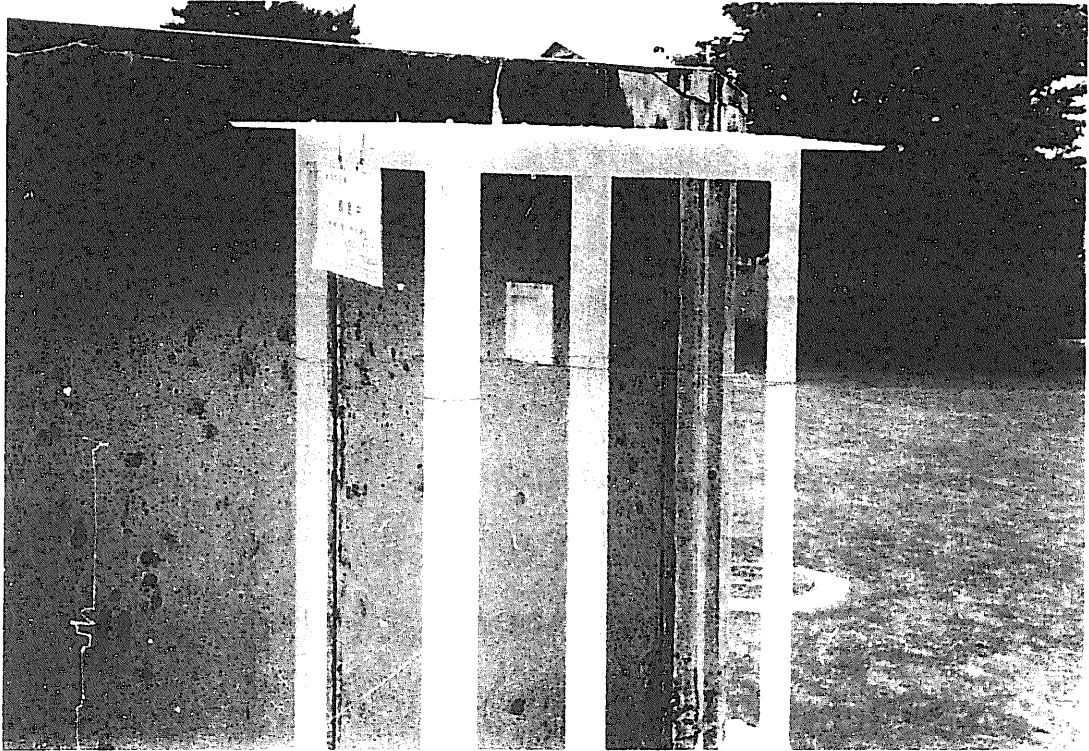
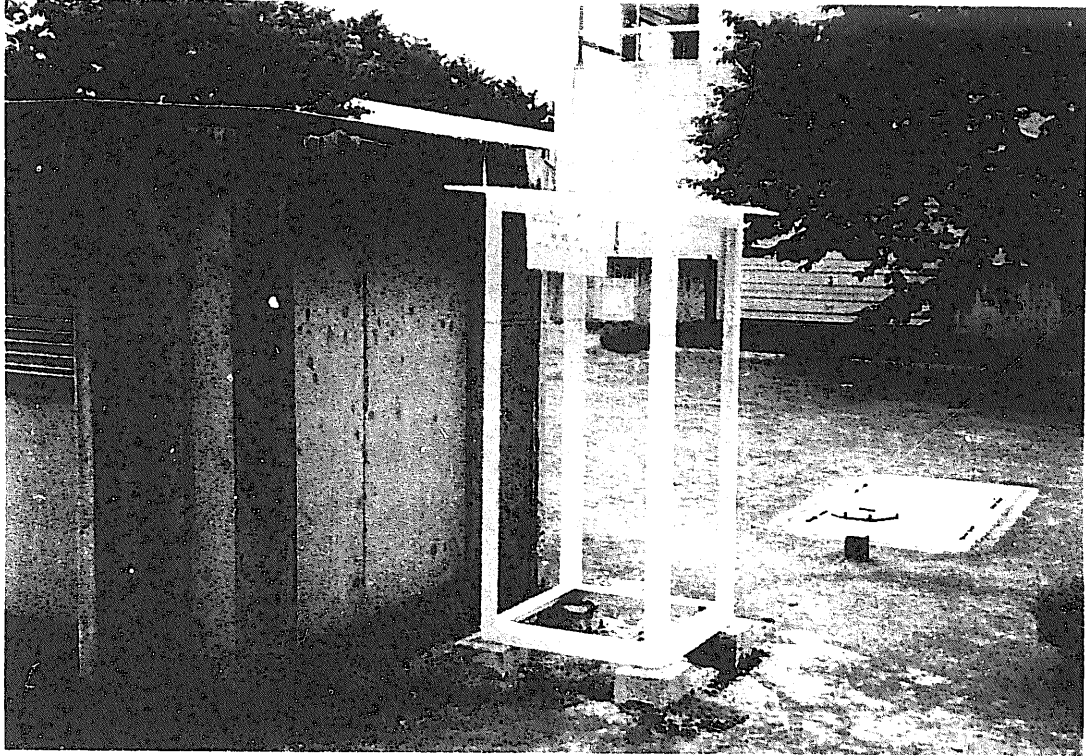


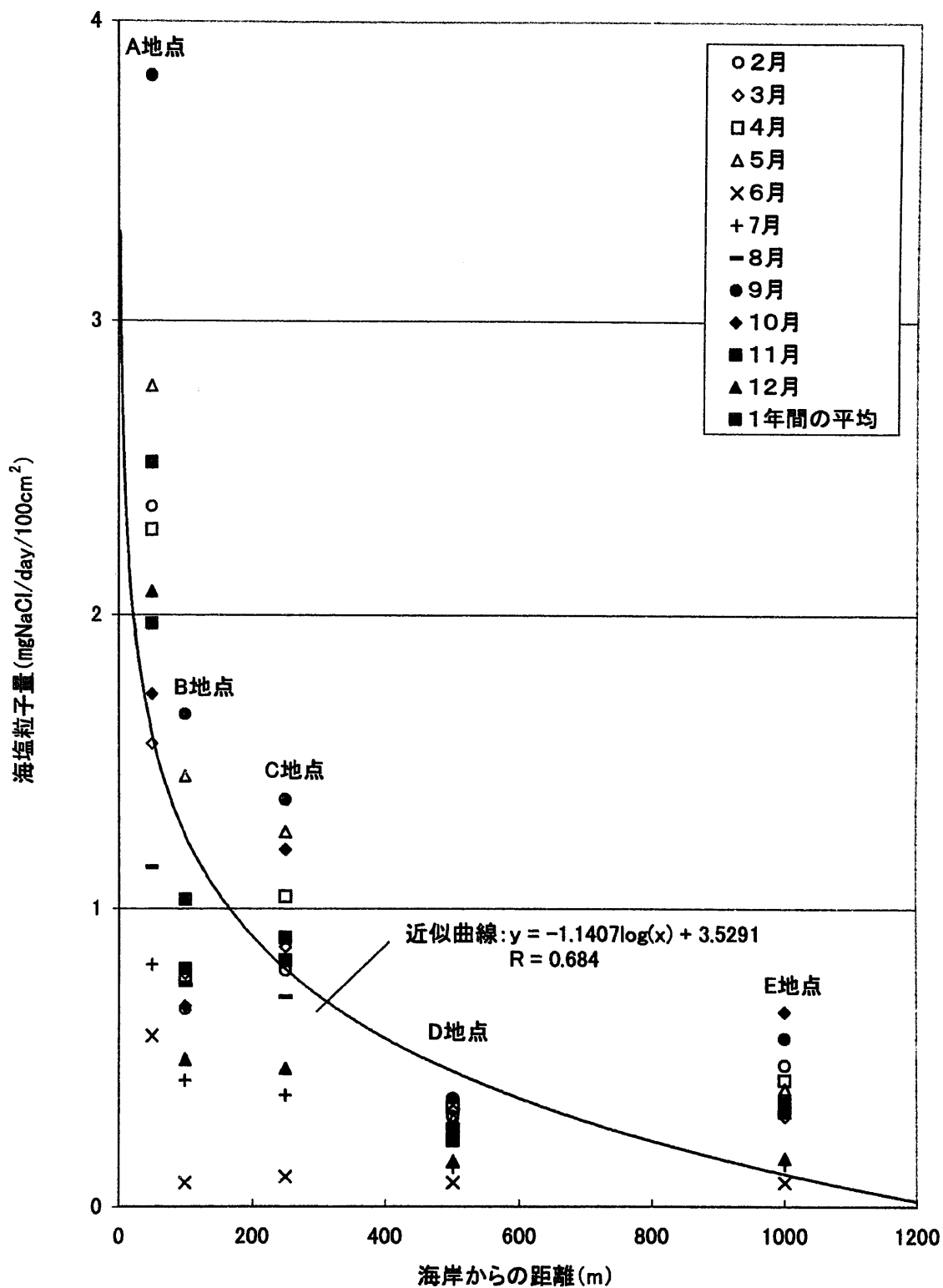
写真-1 海塩粒子測定状況(E地点: 建工棟となり)

表-4 打放し施設のコンクリート表層部塩化物量の比較

施設名	調査年	竣工後 経過年	旧海岸から の距離	コンクリート表層部の 全塩化物量	中性化 速度	調査後の 保全歴
再処理施設 ウラン貯蔵所	91年 及び 92年	23年 及び 24年	約300m	0.0044 ～0.029% (平均0.012%)	0.081	97年 全面改修
ユーティリティ施設 工業用水高架 タンク	94年	21年	約350m	0.025 ～0.077% (平均0.05%)	0.362	99年トレンド 調査を実施 現在解析中

海塩粒子の発生量は、直接的には気象海象条件によって左右される他、海岸の形状（海岸、岩礁、テトラポットの有無と配置）によってもかなり異なり、一般的には遠浅で砂浜を有する海岸よりも岩礁やテトラポットが配置されている海岸の方が波浪が高く、波しぶきが生じやすいため海塩粒子の発生量は多いという研究報告がある。測定場所付近の海岸には一部分ではあるが異形コンクリートブロック（テトラポット）があることから、工業用水高架タンクが第一ウラン貯蔵所に比べて表層部の塩化物量が多くなった一因かもしれない。また、両者の中性化速度の比較からコンクリートの密実性の差が、塩分付着の差となったとも考えられる。いずれにしても事業所内の標高差に関係なく塩分が飛来付着していることは確かであり、むしろ標高30m付近は標高5mより多く飛来する傾向がある（表-5参照）。

気象条件の比較に関しては、風向風速と海塩粒子付着量について何ら相関は得られないとする研究報告があるが、東海事業所の海塩粒子捕集スタンド位置で採取した海塩粒子量と気象観測塔等の測定点で計測した風向及び風速との関係から、四半期ごとの地上10mの風向別平均の風速とN-E90°間風速の平均から、風速が冬（12月～2月）秋（9月～11月）春（3月～5月）夏（6月～8月）の順に遅くなっており、海塩粒子の飛来傾向とほぼ一致することから東海事業所への塩分飛来は、N-E間の風速と関係するようである。

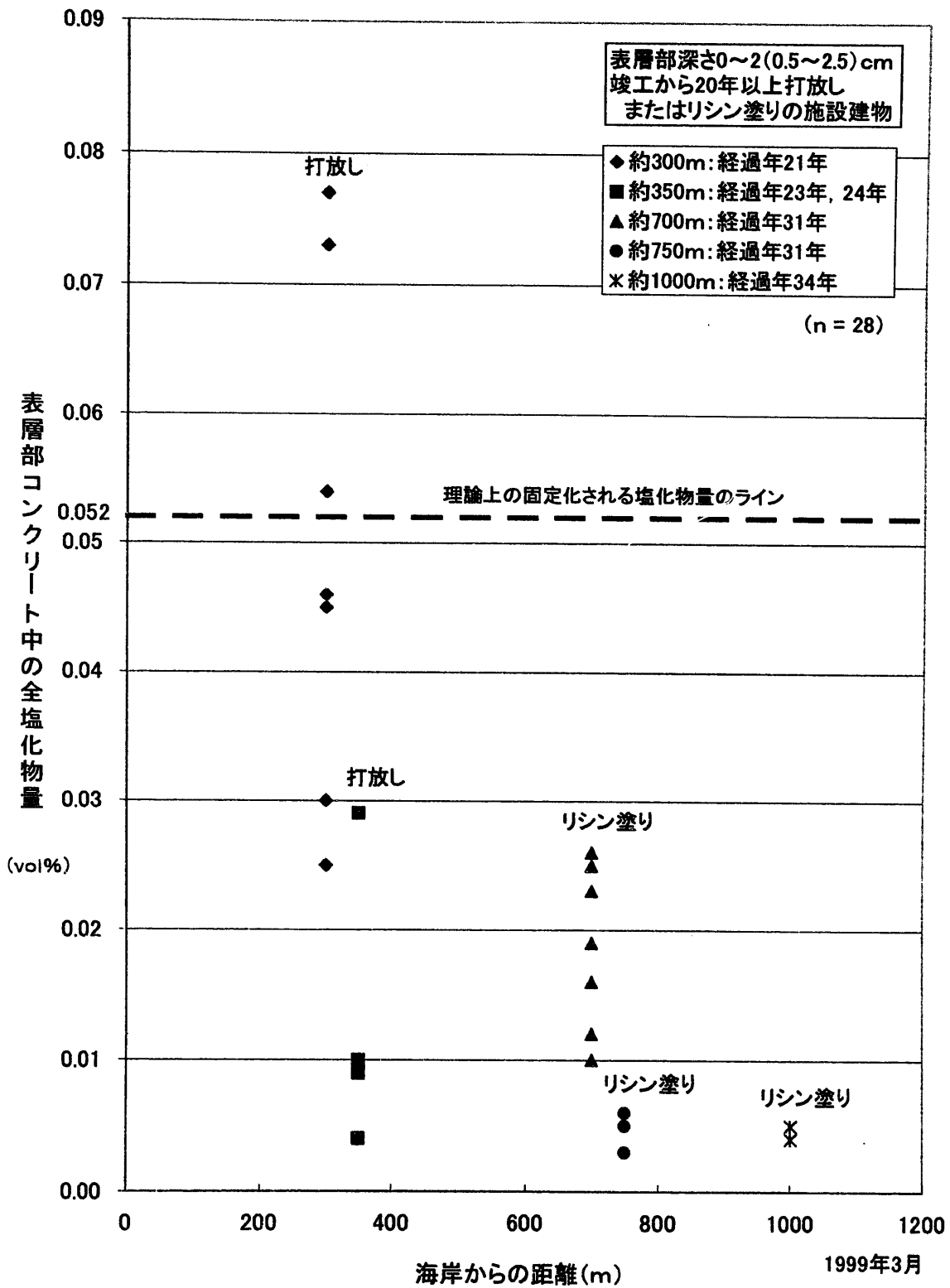


1999年3月

図-19 東海事業所: 海岸からの距離と海塩粒子量の関係
(測定期間1992.6~1993.5)

表-5 竣工後経過年が20年を越える打放しまたはリシン塗り施設建物の
表層部塩化物量 (コンクリート構造物)

施設名	経過年	調査年	方位	調査記号	表層部コンクリート中の全塩化物量		旧海岸からの距離	
					0~2 (0.5~2.5) cm	平均		
工業用水高架タンク (打放し)	21	1994	東側	1	0.046	0.050	約300m (標高約30m)	
				2	0.025			
			南側	3	0.054			
				4	0.073			
			北側	5	0.077			
				6	0.030			
				7	0.045			
ウラン貯蔵所 (打放し)	23	1991	東側壁	1	0.009	0.012	約350m (標高約5m)	
			南側壁	2	0.004			
	24	1992	東側壁	3	0.010			
			南側壁	4	0.029			
				5	0.009			
A棟 (リシン)	31	1992	東側壁	1	0.023	0.018	約700m (標高約5m)	
				2	0.016			
				3	0.012			
			南側壁	4	0.026			
				5	0.019			
			西側壁	6	0.025			
				北側壁	7			0.010
					8			0.010
B棟 (リシン)	31	1993	東側壁	1	0.005	0.005	約750m (標高約5m)	
			南側壁	2	0.005			
			西側壁	3	0.003			
			北側壁	4	0.006			
浄水機械施設 (リシン)	34	1992	東側壁	1	0.004	0.005	約1000m (標高約5m)	
			南側壁	2	0.004			
			西側壁	3	0.005			
			北側壁	4	0.005			



図一20 東海事業所: 海岸からの距離と施設建物表層部
コンクリート中の塩分含有量の関係

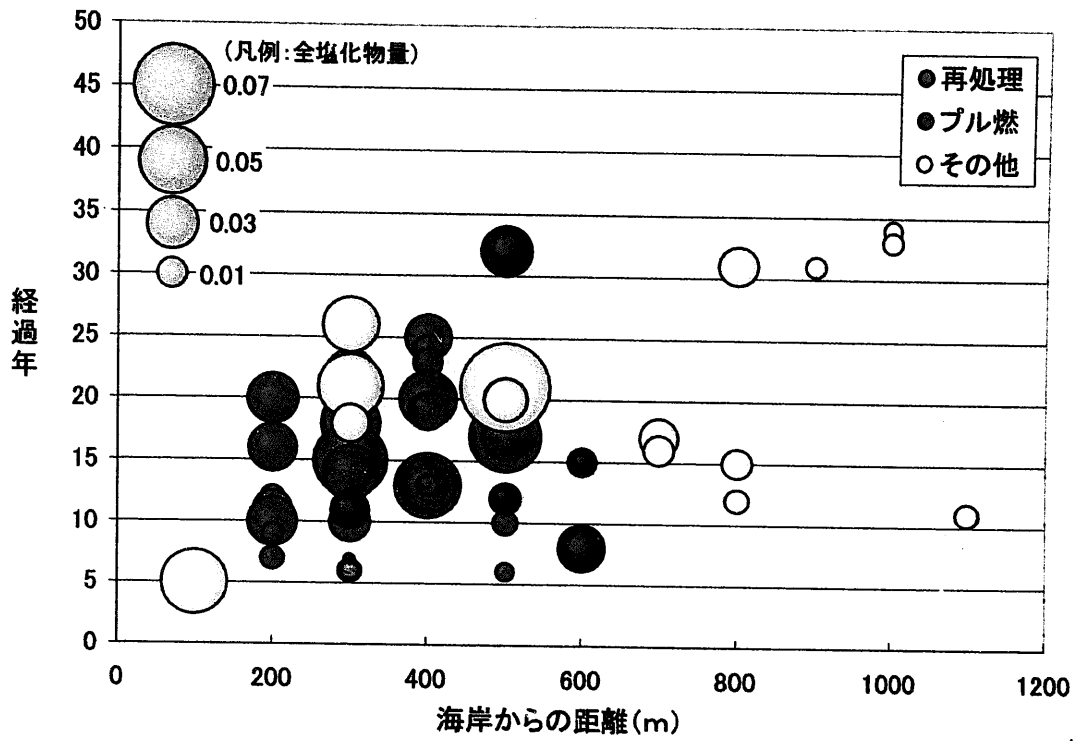


図-21 東海事業所: 海岸からの距離と施設建物表層部
コンクリート中の塩分含有量の関係

1999年12月

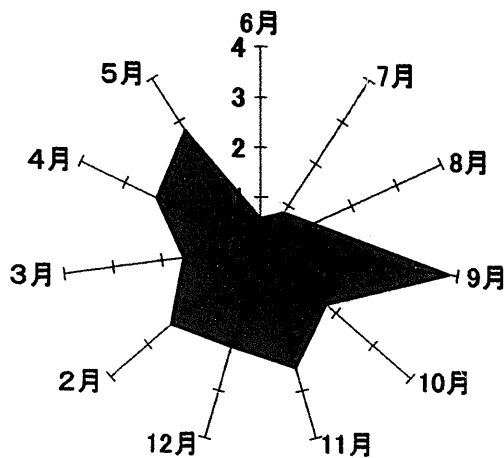


図-22-1 A地点:海岸からの距離50m

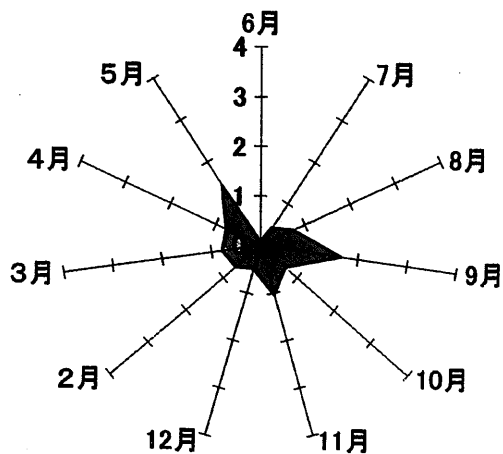


図-22-2 B地点:海岸からの距離100m

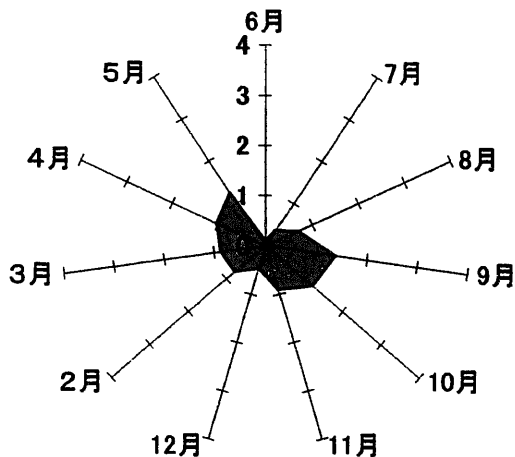


図-22-3 C地点:海岸からの距離250m

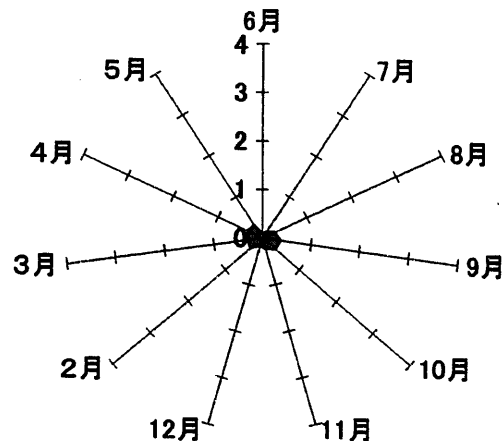


図-22-4 D地点:海岸からの距離500m

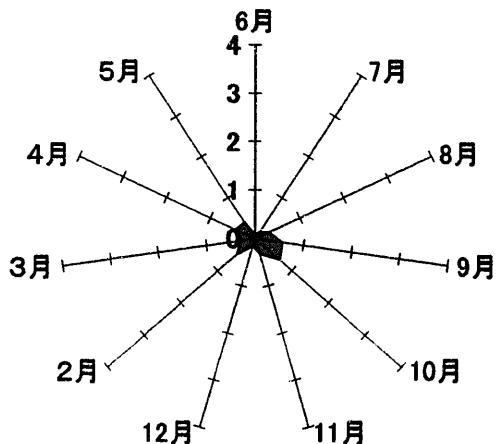


図-22-5 E地点:海岸からの距離1000m

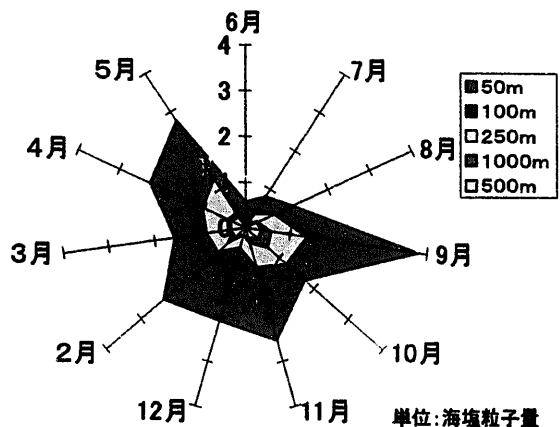


図-22-6 各測定地点における月別の海塩粒子量

単位:海塩粒子量
(mgNaCl/day/100cm²)

1999年3月

図-22 東海事業所:各地点における飛来塩分の月別チャート

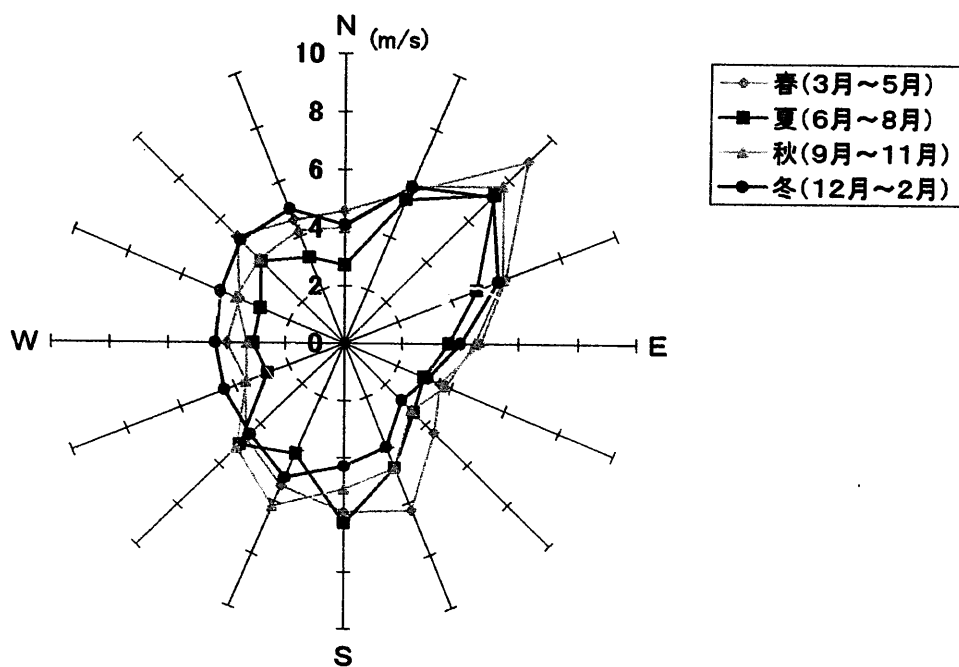


図-23-1 地上70mの風向別平均風速チャート

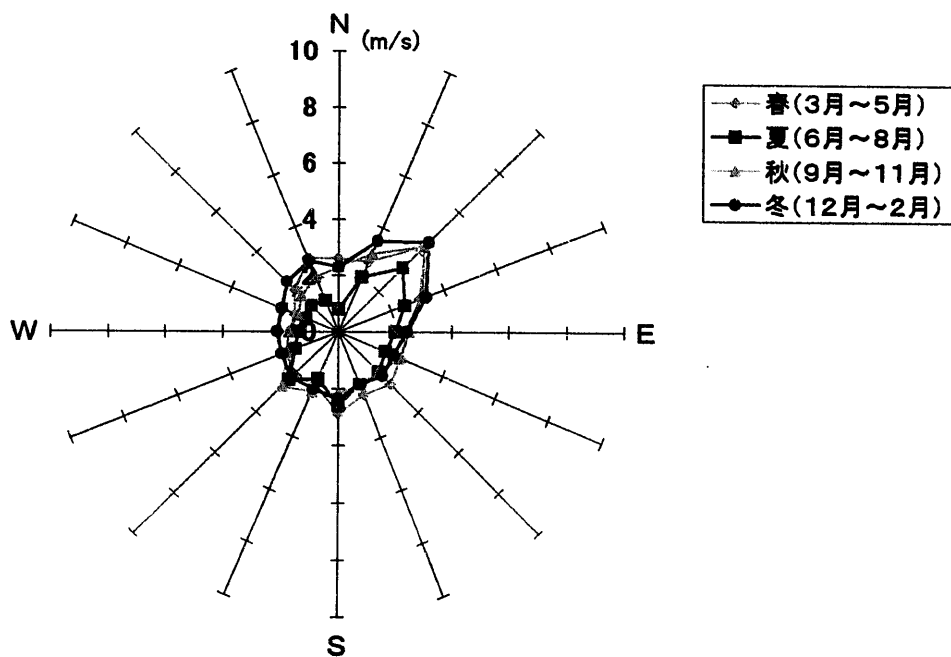


図-23-2 地上10mの風向別平均風速チャート

1999年3月

図-23 東海事業所: 四半期ごとの風向別平均風速

表-ε 東海事業所季節別の各方位（90度）間平均風速

地上高 季節	地上70mの平均風速 (m/s)				地上10mの平均風速(m/s)			
	方位 N-E	E-S	S-W	W-N	N-E	E-S	S-W	W-N
春 (3月~5月)	6.0	5.0	4.7	4.5	3.0	2.5	2.1	2.2
夏 (6月~8月)	4.8	4.2	4.3	3.2	2.1	2.1	2.0	1.2
秋 (9月~11月)	5.6	4.3	4.7	3.9	3.1	2.2	2.2	1.9
冬 (12月~2月)	5.4	3.6	4.5	4.6	3.2	2.2	2.2	2.3
年間	5.4	4.3	4.6	4.1	2.9	2.3	2.1	1.9

(再処理施設周辺環境放射線監視年報・1992年及び1993年のデータより作成)

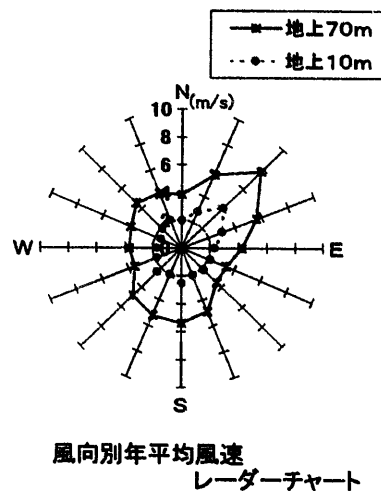
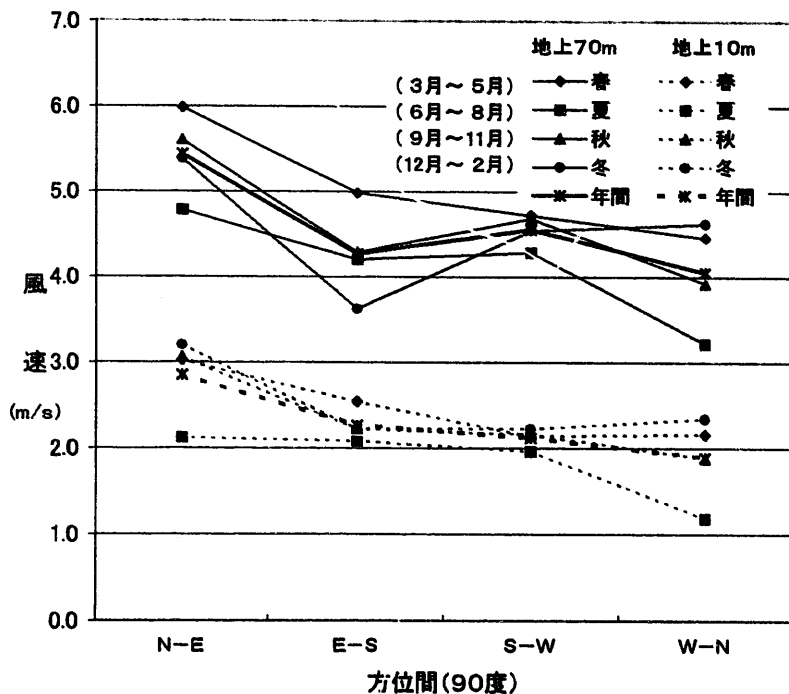


図-24 東海事業所:季節別の各方位間(90度)平均風速と風向別年平均風速レーダーチャート(1992.6~1993.5)
(再処理施設周辺環境放射線監視年報1992年及び1993年のデータより作成)

これらの測定と気象記録から、東海事業所の敷地内において、海からの距離と飛来海塩粒子量との概略の関係を把握することができ、また、測定地点の付近に建物がある場合に必ずしも海塩粒子量が少なくなるとは限らないこと、今回の測定期間においては5月および9月に海塩粒子量が多く、N-E間の風速が塩分飛来に影響を及ぼしていること等が分かった。

現在東海事業所東側の海岸は埋立てられ石炭火発が建設されようとしている。塩害対応として再処理施設分離精製工場やプルトニウム燃料第三開発室等の核燃料施設群は、旧海岸線より300m～500m以内に立地しており、東海事業所に飛来する海塩粒子は北東側の風向風速の影響を受けることから、今後も海塩粒子は将来にわたって東海事業所施設に付着すると考えられる。このため、塩害に対する保全方法を軽減させることなく定期的な保全を継続する必要がある。

2.2 再処理施設の経年化傾向（表-7及び図 25～34 参照）

再処理施設全体の経年化傾向については、平成 10 年度に報告した経年変化対応策平成 10 年度報告（調査報告）でおおむねの評価は終了しているが、今回、東海事業所を総合的に再評価するため、再処理施設の傾向と考察が併記されているとサイト別の比較がよりわかりやすくなることから、今回グラフ等を一部追加作成して添付することとした。

コンクリート強度について、再処理施設のコア強度試験値のヒストグラムから、コア強度値の 3 分の 2 が $240\text{kgf/cm}^2 \sim 360\text{kgf/cm}^2$ に分布している。また、年代別の設計基準強度に対するコア・コンクリート圧縮強度の比率も 3 分の 2 が 1.2～1.8 に分布し、平均も 1.6 で設計基準強度を十分上廻っている。経年変化の傾向は、竣工当初の強度データがないため調査時との比較はできないが、使用前検査記録等の 4 週圧強度値と比べれば $20 \sim 50\text{kgf/cm}^2$ 程度は増加しているものと思われる。

鉄筋腐食度について、再処理施設竣工年代別の傾向から、70 年代及び 80 年代の数パーセントにグレードⅡが存在し、90 年代にグレードⅡはない。方位による違いでは、北側でやや腐食が進んでいるような割合グラフの傾向になっているが、中性化深さや塩分の浸透結果から、物理的な腐食変化の差ではなく目視観察による判定者の個人差によると考えられる。

かぶり厚さについて、再処理施設のはつりによる実測値の分布から、平均値は約 6.3 cm、中央値は 6 cm である。標準偏差は約 2.6 cm と大きいですが、このばらつきは施設サイト全体の違いによるものであり、1 施設で大きくばらついているわけではない。

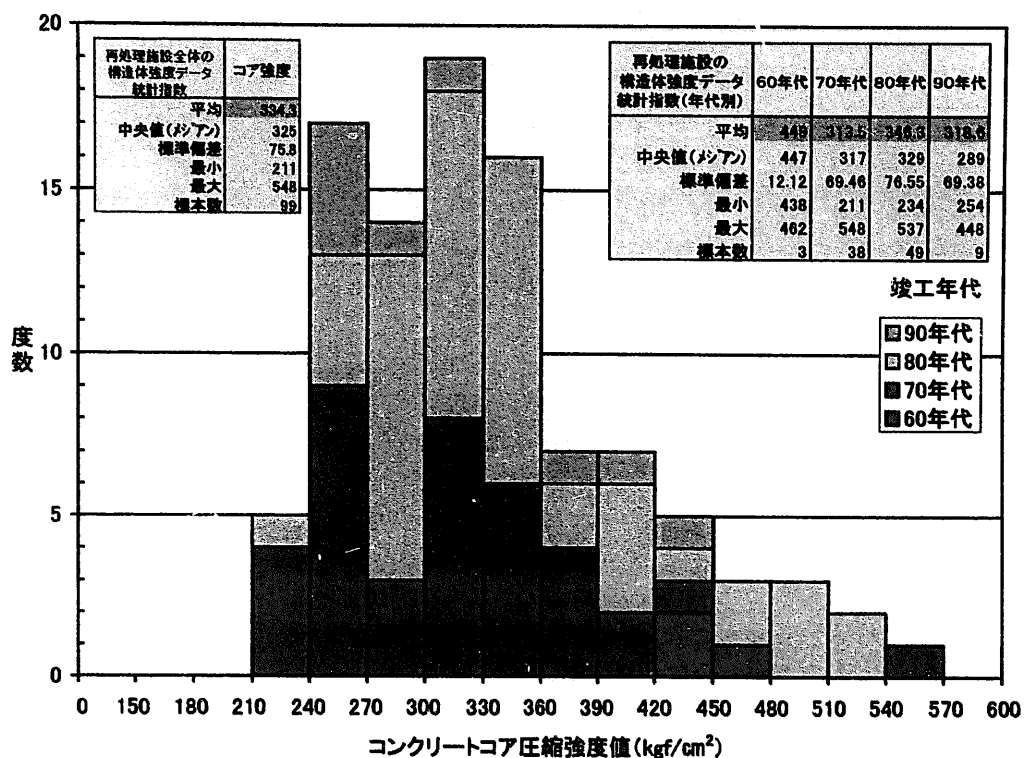
中性化深さについて、再処理施設の経過年数に対する傾向から標準的な進展曲線に比べ殆どが下廻っており、このことから再処理施設の中性化速度は遅く、コンクリートの密実性はあるといえる。また、方位による比較では、打放し若しくは 10 年以上打放し期間がある施設では、南・西・東・北の順で中性化が進行している。外装材がある若しくは外装材が 10 年未満に施こされた施設でも南・東・西・北の順に中性化が進行している。尚、グラフにプロットしたデータはコア採取表面測定法、コア採取割裂法、はつり測定法及び小径ドリル法で得られたデータの平均値または施設平均値を用いた。

コンクリート中の塩化物量について、再処理施設の経過年ごとの塩化物量は、表層部（0～2 cm）では経過年ごとに塩化物量が増加する傾向が、中層部（2～4cm）と深層部（4～6 cm）では深くなるにつれて外装材等による浸透抑制効果ははっきりと認められるようにな

る。方位別の再処理施設の塩化物量は、海側である東面が多く、次に南・西・北の順になっている。この傾向は海塩粒子（飛来塩分）が付着していることを表している。また、打放しの場合にみられる方位のばらつきは、建物の立地環境や隣接する施設建物のあるなし（特に東側の影響が大きく）による差と思われる。尚、グラフにプロットしたデータは、コア採取法及び小径ドリル採取法で得られた方位別の平均値または施設平均値を用いた。

表-7 再処理施設の経年化評価一覧表

竣工年代	構造体強度と設計基準強度の比	鉄筋腐食度グレード分類	中性化速度	鉄筋位置での塩化物量	各施設の平均かぶり厚さ
60年代	2.09~2.20 (平均 2.14)	グレード I	0.048~0.156 (平均 0.099)	0.0005% ~0.007% (平均 0.004%)	平均 6.45 cm
70年代	1.00~2.61 (平均 1.49)	グレード 0 ~グレード II	0.0~0.636 (平均 0.171)	0.002% ~0.048% (平均 0.015%)	3.34 cm ~8.95 cm (平均 5.96 cm)
80年代	1.11~2.56 (平均 1.65)	グレード 0 ~グレード II	0.0~0.354 (平均 0.077)	0.0% ~0.036% (平均 0.007%)	4.15 cm ~12.60 cm (平均 6.96 cm)
90年代	1.21~2.13 (平均 1.52)	グレード 0 ~グレード I	0.0~0.237 (平均 0.077)	0.001% ~0.003% (平均 0.002%)	5.20 cm ~11.30 cm (平均 7.73 cm)
評価値	1以上	グレード II 以下	0.4以下	0.052%以下	3 cm以上



1999年3月

図-25 再処理施設:コア強度の分布図(調査施設:32施設)

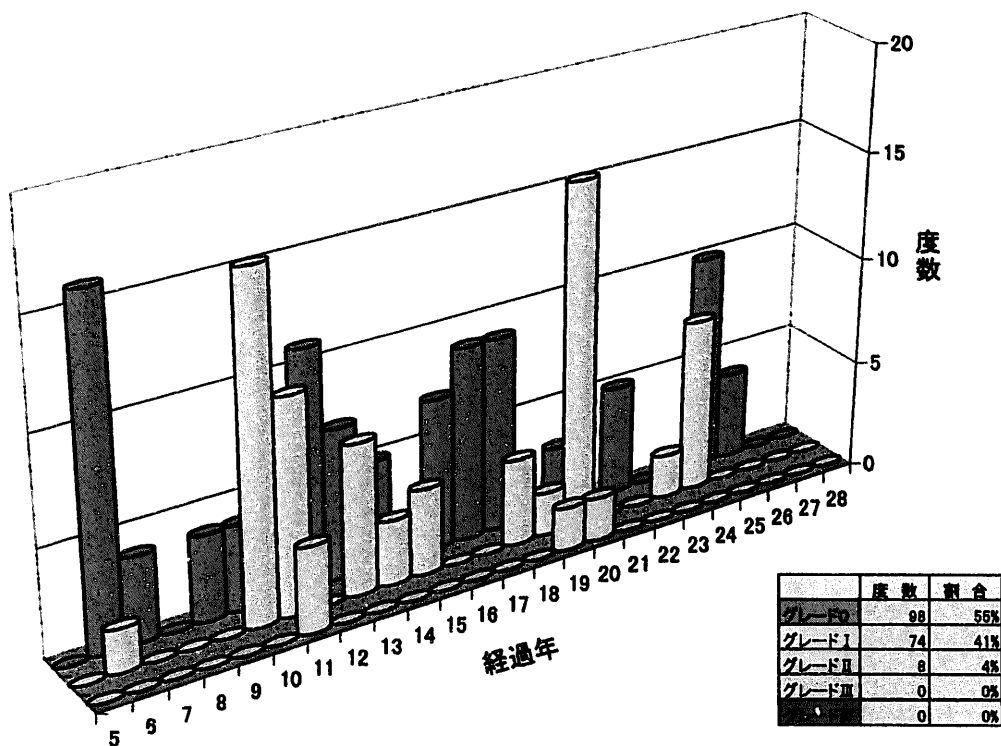


図-26 再処理施設:竣工経過年別の腐食グレード分布図(調査施設:32施設)

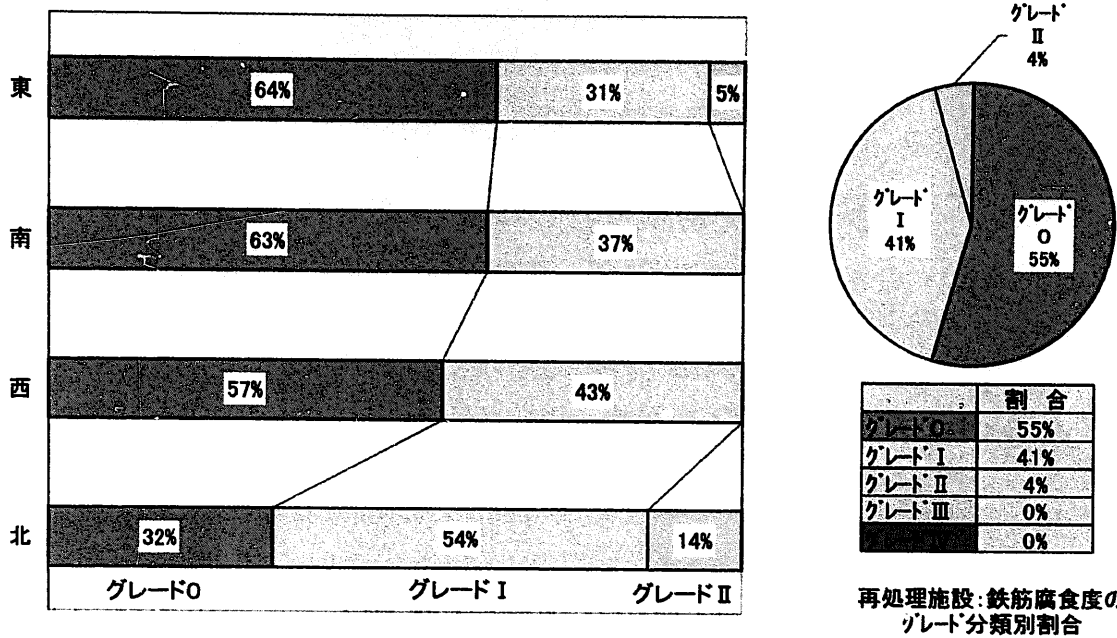


図-27 再処理施設：鉄筋腐食グレードの方位別傾向及びグレード分類割合(調査施設:32施設)

1999年12月

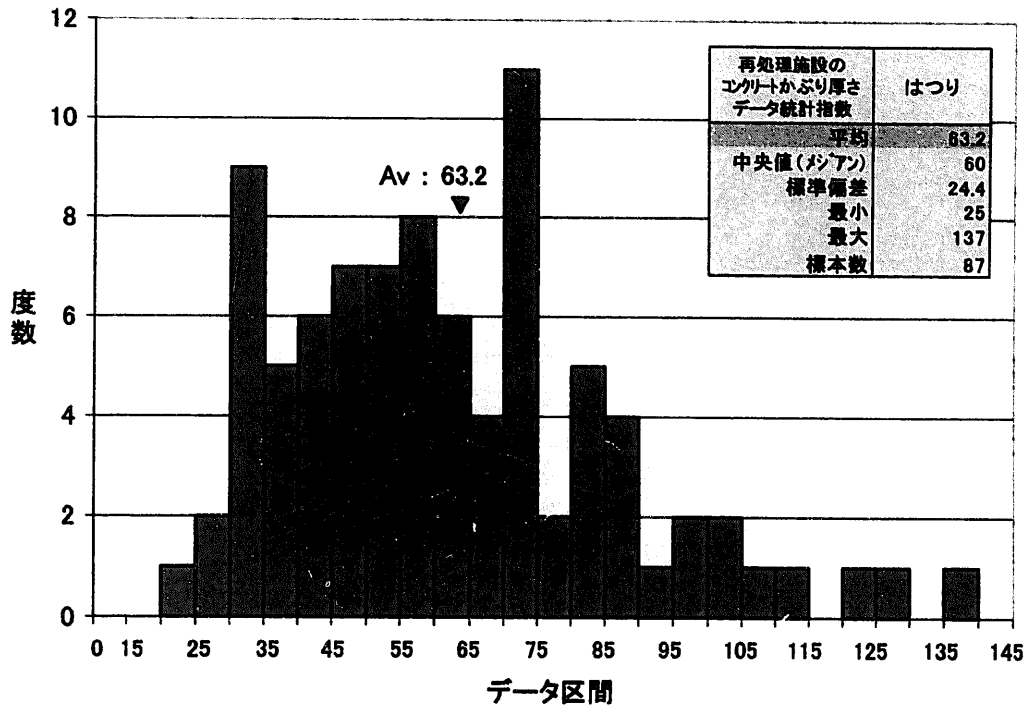
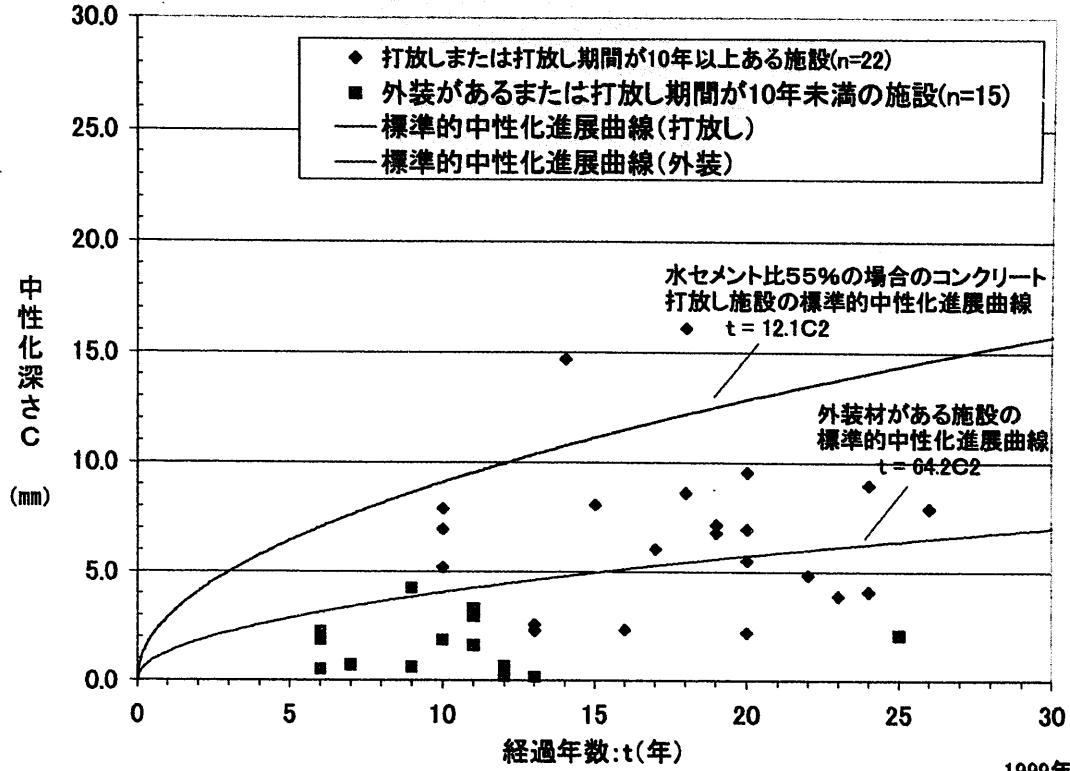


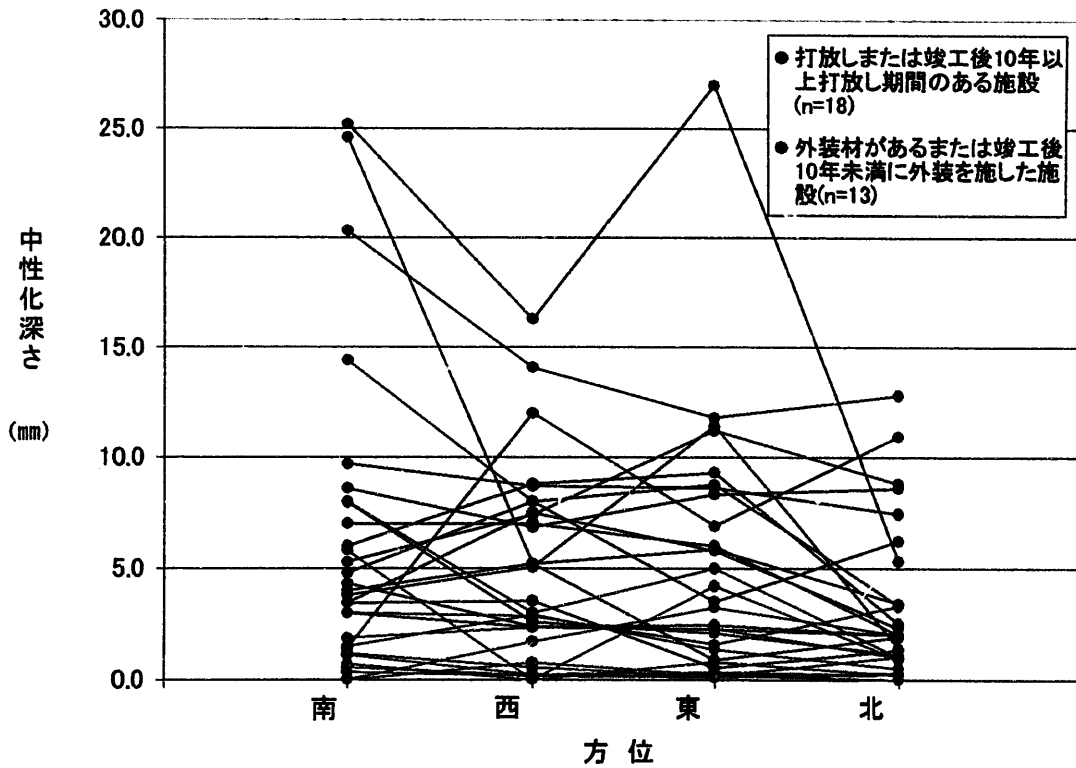
図-28 再処理施設：はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図

1999年12月



1999年12月

図-29 再処理施設:経過年数と各施設の平均中性化深さの関係 (調査施設:32施設)



1999年3月

図-30 再処理施設:中性化深さの方位別傾向(調査施設:30施設)

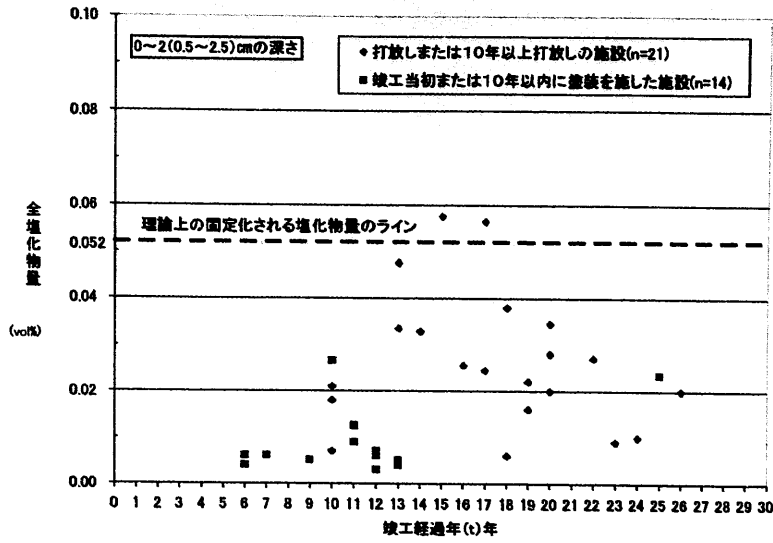


図-31-1 コンクリート試料採取位置 0~2(0.5~2.5)cmの深さ

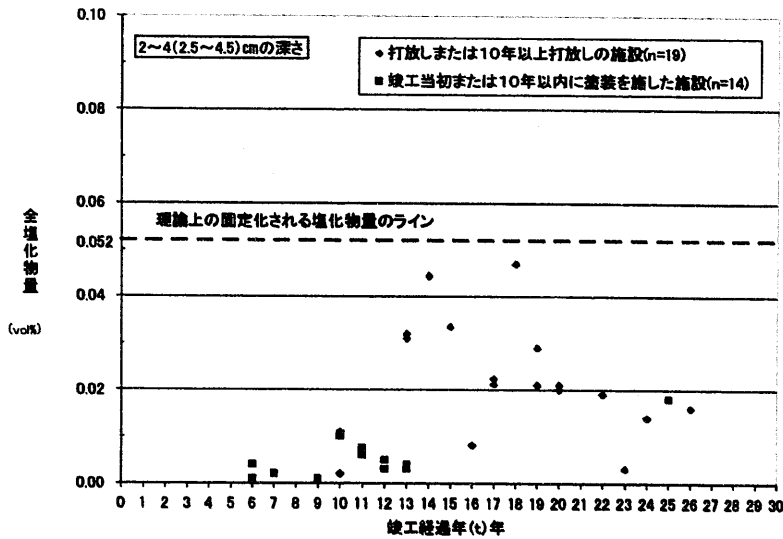


図-31-2 コンクリート試料採取位置 2~4(2.5~4.5)cmの深さ

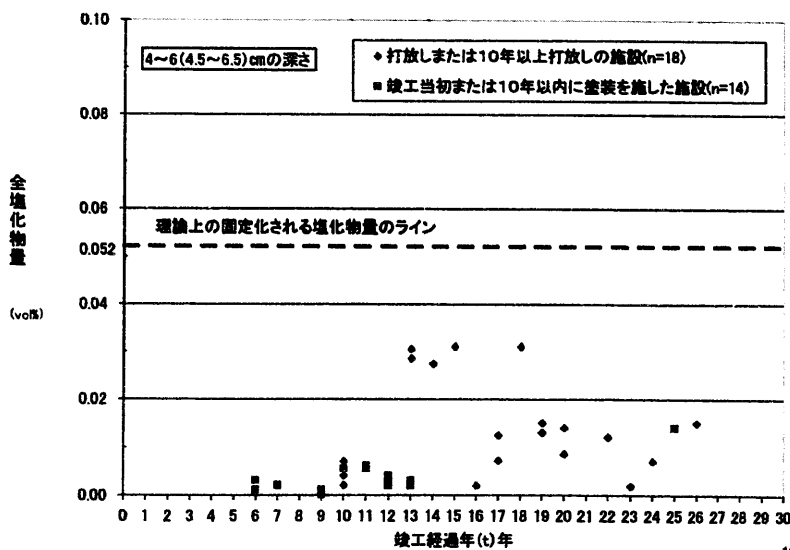


図-31-3 コンクリート試料採取位置 4~6(4.5~6.5)cmの深さ

1999年12月

図-31 再処理施設:竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図
(全塩化物:東側壁:方位平均値/プロット)

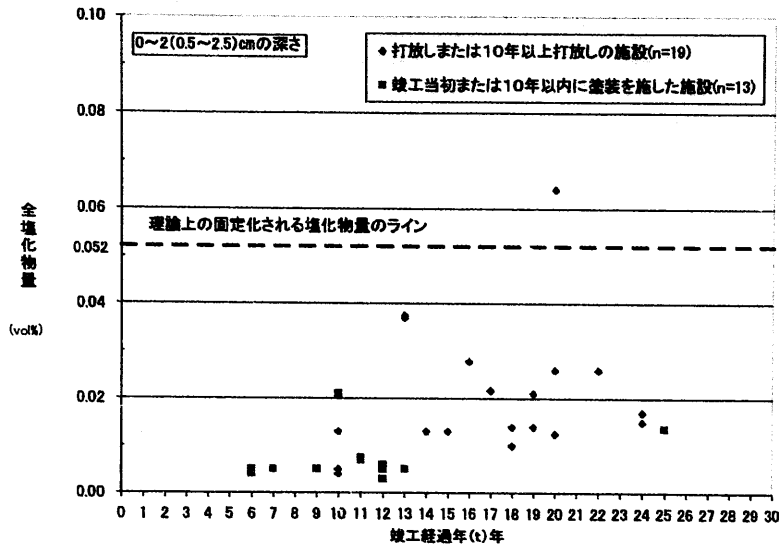


図-32-1 コンクリート試料採取位置 0~2(0.5~2.5)cmの深さ

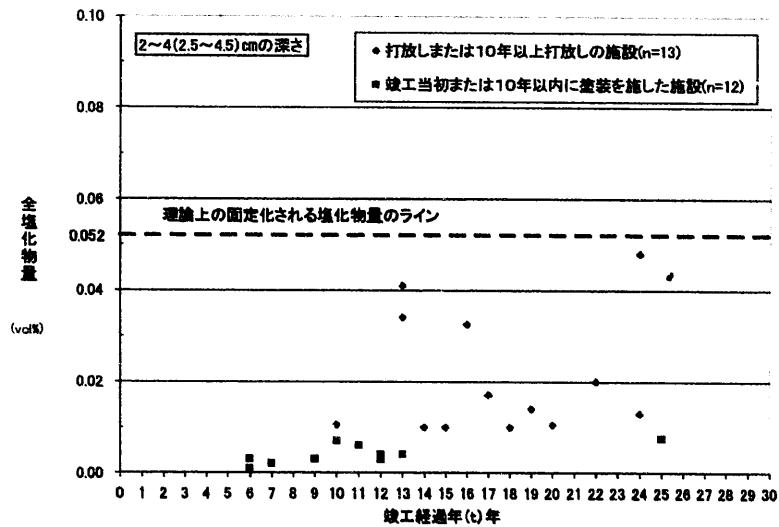


図-32-2 コンクリート試料採取位置 2~4(2.5~4.5)cmの深さ

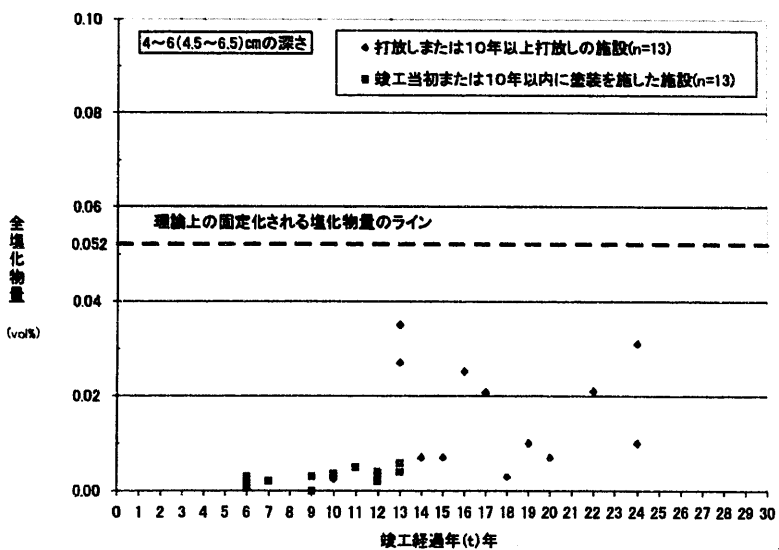


図-32-3 コンクリート試料採取位置 4~6(4.5~6.5)cmの深さ

1999年12月

図-32 再処理施設:竣工経過年別コンクリート塩含有量の分布図
(全塩化物:西側壁:方位平均値プロット)

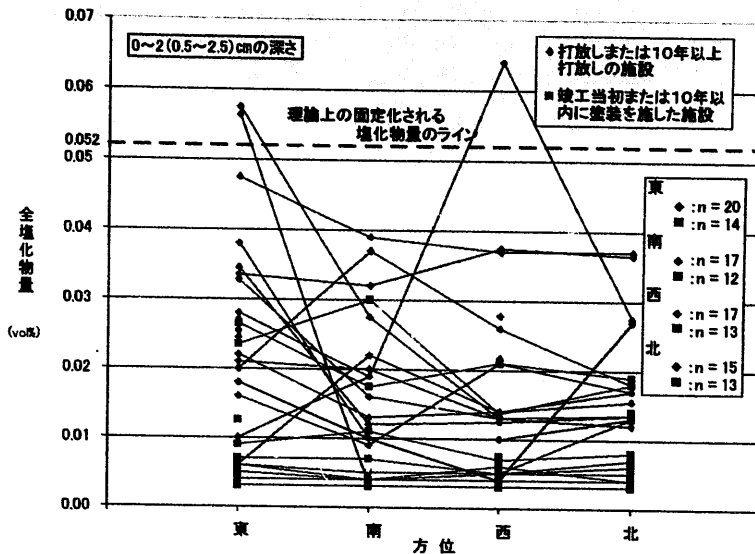


図-33-1 コンクリート試料採取位置 0~2(0.5~2.5)cmの深さ (調査施設:33施設)

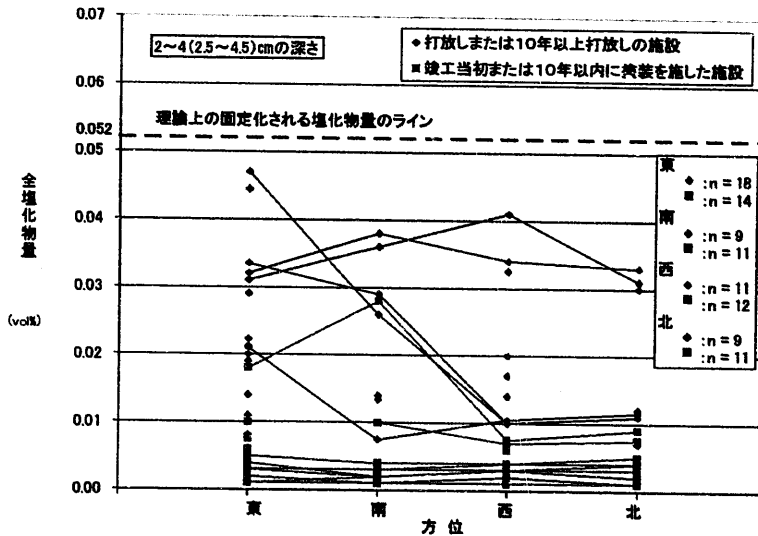


図-33-2 コンクリート試料採取位置 2~4(2.5~4.5)cmの深さ (調査施設:33施設)

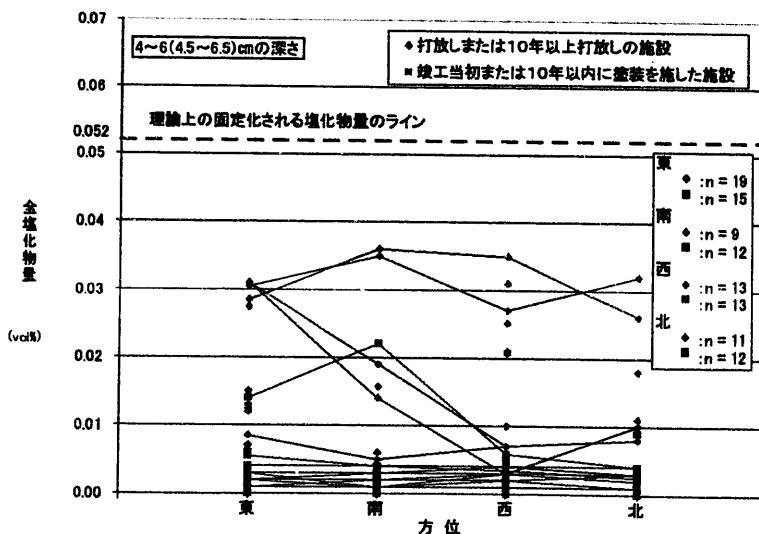


図-33-3 コンクリート試料採取位置 4~6(4.5~6.5)cmの深さ (調査施設:35施設)

1999年12月

図-33 再処理施設:コンクリート塩分含有量の方位別傾向

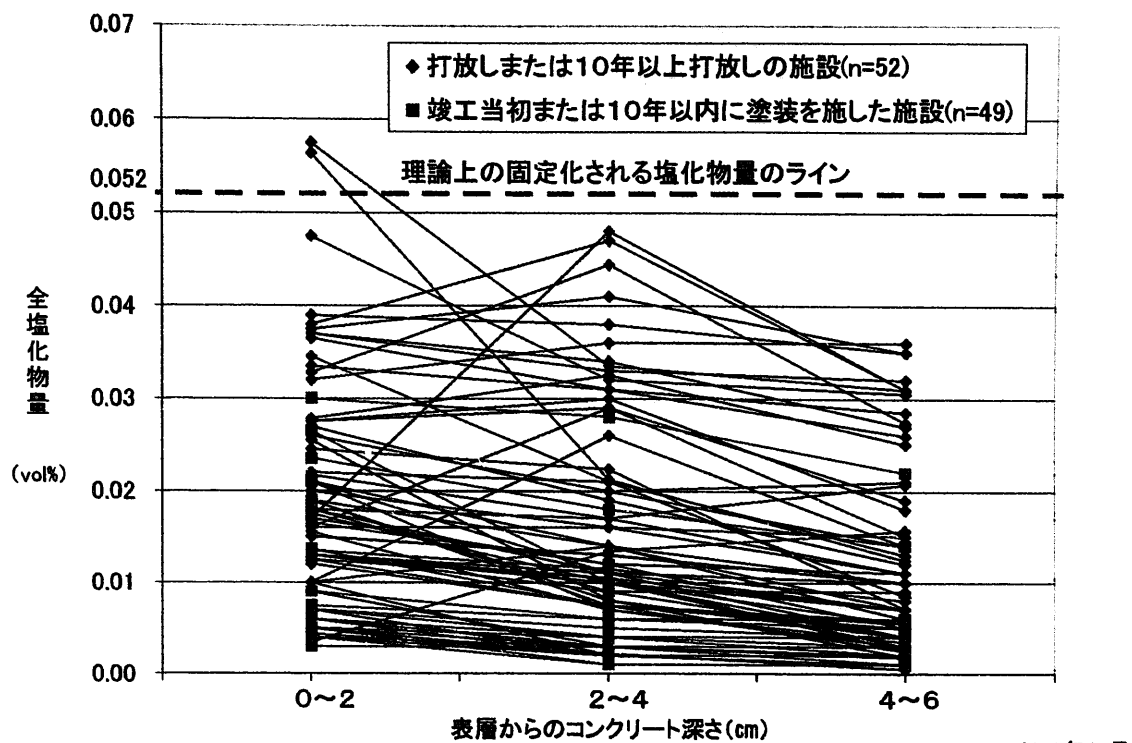


図-34 再処理施設:コンクリート塩分含有量の深さ別傾向
(調査施設:32施設)

1999年12月

2.3 プルトニウム燃料施設の経年化傾向（表－8及び図－35～43 参照）

コンクリート強度について、コア強度試験値のヒストグラムからコア強度値の3分の2が $360\text{kgf/cm}^2 \sim 450\text{kgf/cm}^2$ に分布し、設計基準強度を十分上廻っている。

鉄筋腐食度については、はつり法を用いた目視による鉄筋腐食グレード判定では、腐食がない状態または表面にわずかな点錆が生じている状態であり、表面に点錆が広がっている状態（グレードⅡ）や腐食グレードⅢ以上の面錆や浮き錆、断面欠損等の劣化はない。竣工経過年別の経年変化の腐食に傾向は特になく、方位による違いでは、南側でやや腐食が進んでいるような割合グラフの傾向になっているが、中性化の進行や塩分の浸透による物理的な腐食変化の差ではなく、目視観察による判定者の個人差によると考えられる。

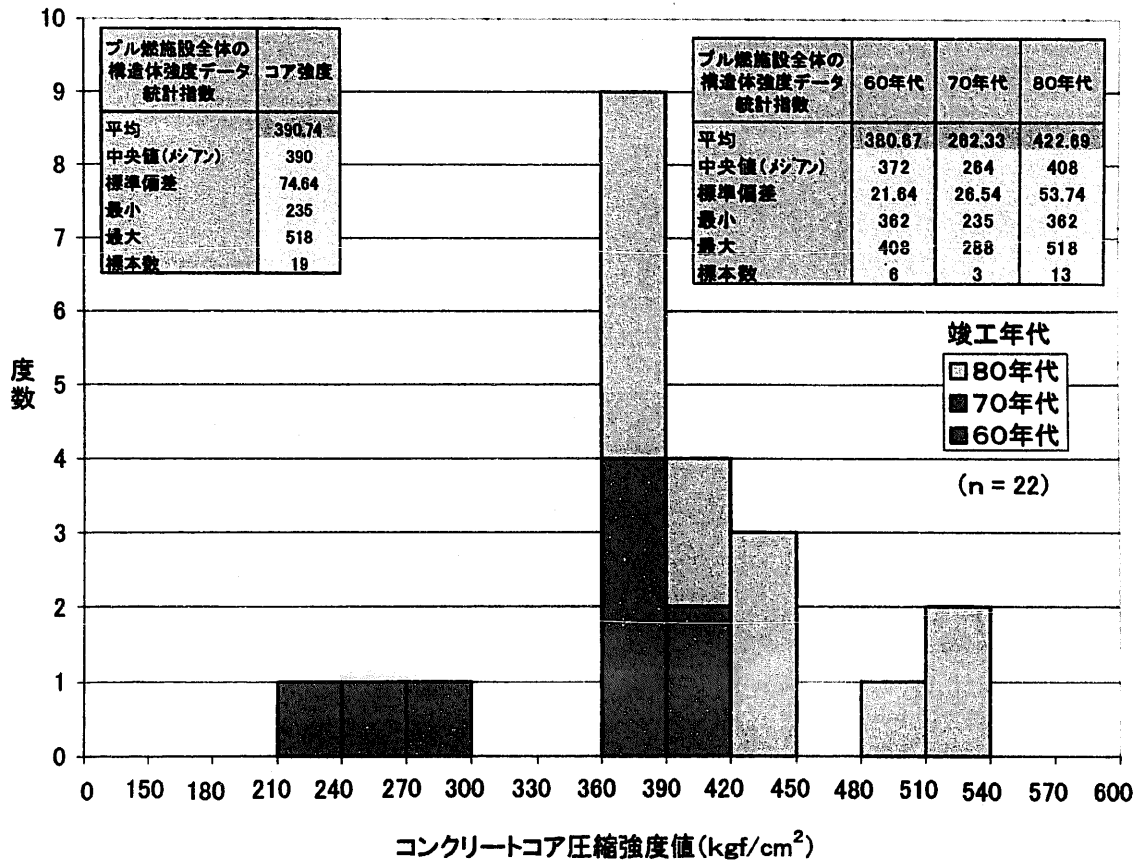
かぶり厚さについて、はつりによる実測値の分布から、平均値は約6.4 cm、中央値は6.6 cmである。標準偏差は約2.0 cmと大きいのが、このばらつきは施設サイト全体の違いによるものであり、1施設で大きくばらついているわけではない。

中性化深さについて、経過年数に対する傾向では、標準的な進展曲線に比べ殆どが下廻っておりプルトニウム燃料施設の中性化速度は遅く、コンクリートの密実性はあるといえる。また、方位による比較では打放し若しくは10年以上打放し期間がある施設及び、外装材がある若しくは外装材が10年未満に施こされた施設とも、西・南・東・北の順に中性化が進行している。尚、グラフにプロットしたデータはコア採取表面測定法、コア採取割裂法、はつり測定法及び小径ドリル法で得られたデータの平均値または施設平均値を用いた。

コンクリート中の塩化物量について、プルトニウム燃料施設の経過年ごとの塩化物量は、表層部（0～2cm）で経過年ごとに塩化物量が増加する傾向がある。海側（東側）と山側（西側）の塩化物量の違いでは、海側である東面が多く塩分を含有しており、この傾向は海塩粒子（飛来塩分）が付着していることを表している。尚、グラフにプロットしたデータは、コア採取法及び小径ドリル採取法で得られた方位別の平均値または施設平均値を用いた。

表-8 プルトニウム燃料施設の経年化評価一覧表

竣工年代	構造体強度と設計基準強度の比	鉄筋腐食度グレード分類	中性化速度	鉄筋位置での塩化物量	各施設の平均かぶり厚さ
60年代	1.72~1.94 (平均 1.81)	グレード 0 ~グレード I	0.005~0.255 (平均 0.059)	0.009% ~0.026% (平均 0.019%)	3.11 cm ~6.98 cm (平均 5.05 cm)
70年代	1.12~1.37 (平均 1.25)	グレード 0 ~グレード I	0.060~0.230 (平均 0.159)	0.005% ~0.010% (平均 0.008%)	9.1 cm
80年代	1.61~2.45 (平均 1.94)	グレード 0 ~グレード I	0.0~0.314 (平均 0.077)	0.0012% ~0.0098% (平均 0.004%)	4.45 cm ~7.55 cm (平均 6.13 cm)
評価値	1 以上	グレード II 以下	0.4 以下	0.052%以下	3 cm以上



1999年3月

図-35 プル燃施設:竣工年代別コア強度の分布図(調査施設:6施設)

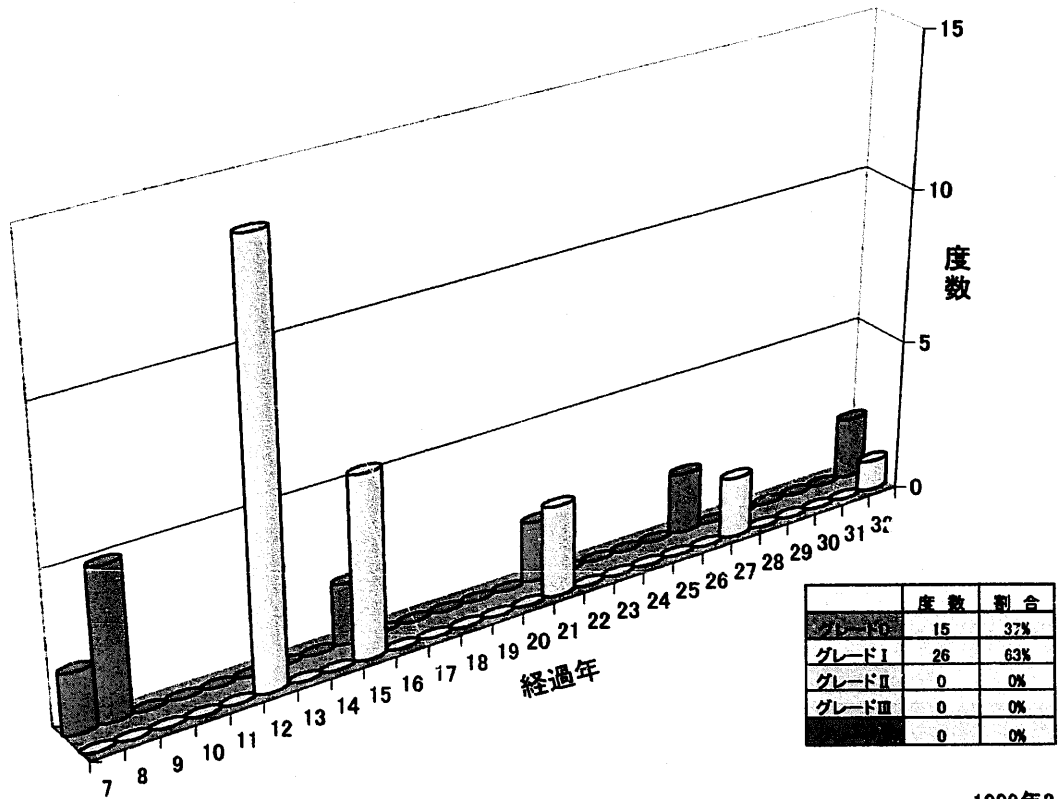
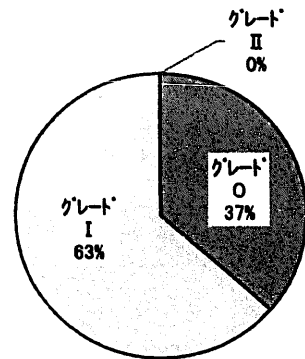
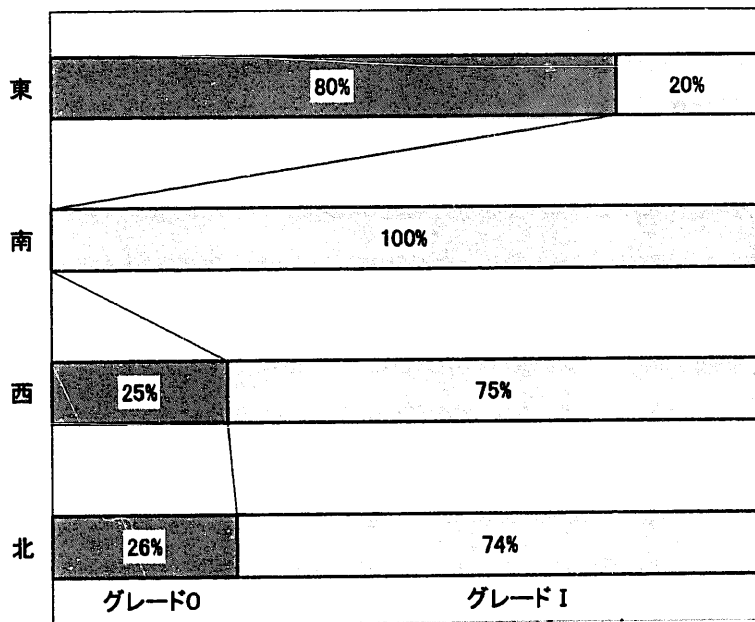


図-36 プル燃施設:竣工経過年別の腐食グレード分布図
(調査施設:7施設)

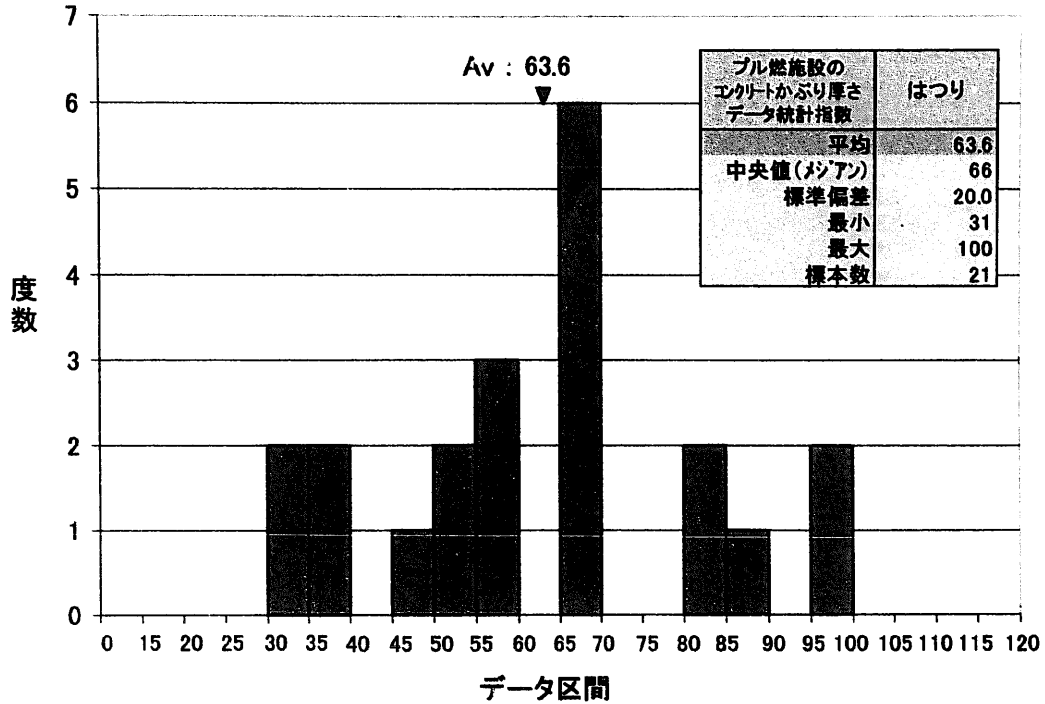
1999年3月



プル燃施設:鉄筋腐食度の
グレード分類別割合

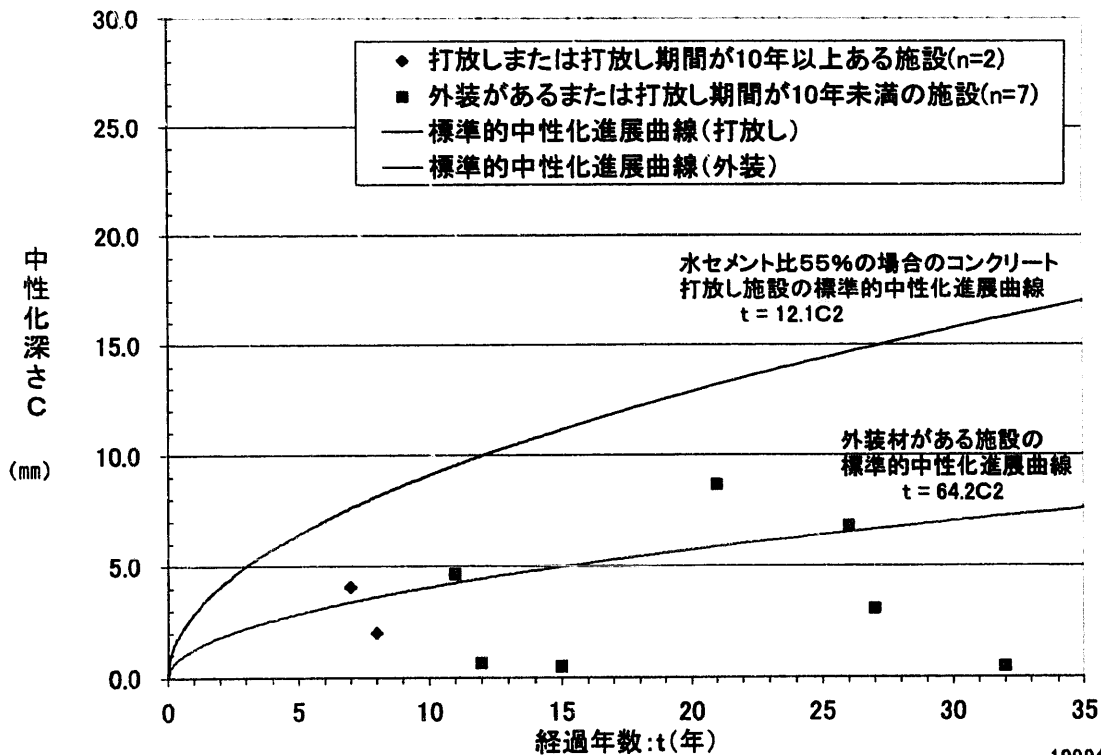
1999年3月

図-37 プル燃施設:鉄筋腐食グレードの方位別傾向
及びグレード分類別割合(調査施設:7施設)



1999年3月

図-38 プル燃施設:はつり法によるコンクリートかぶり厚さの分布図



1999年3月

図-39 プル燃施設:経過年数と各施設の平均中性化深さの関係 (調査施設:7施設)

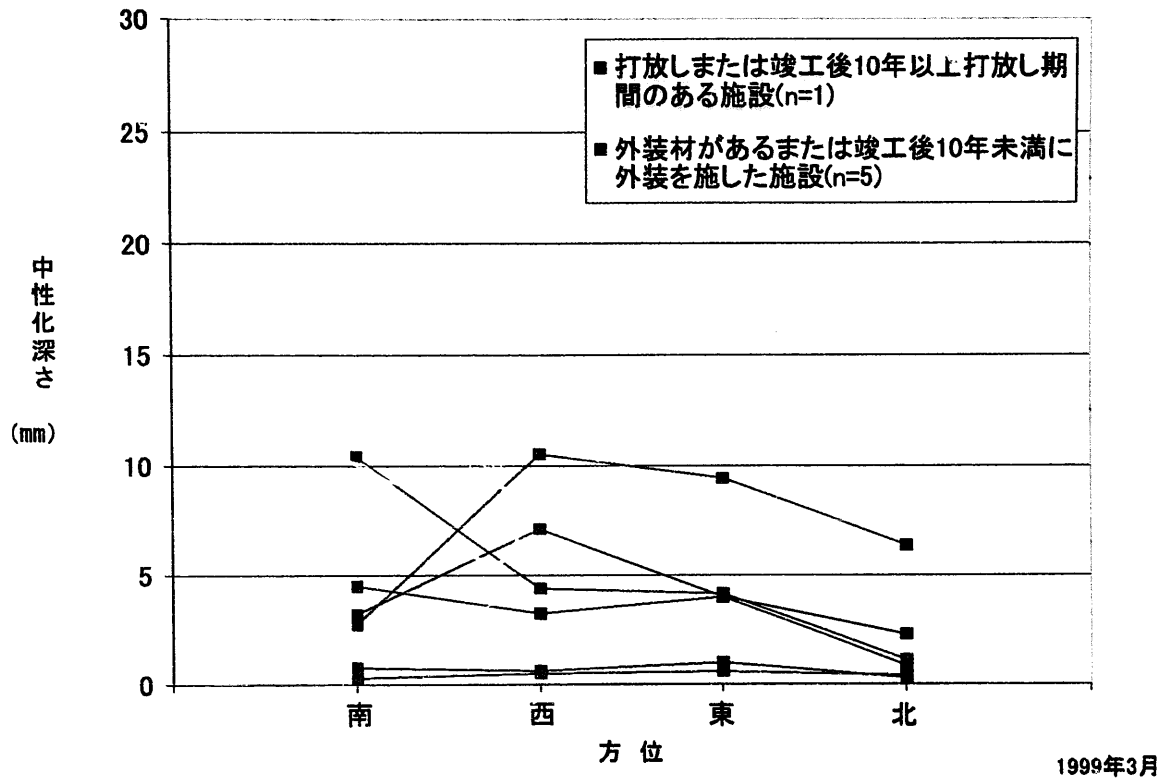


図-40 プル燃施設: 中性化深さの方位別傾向(調査施設: 4施設)

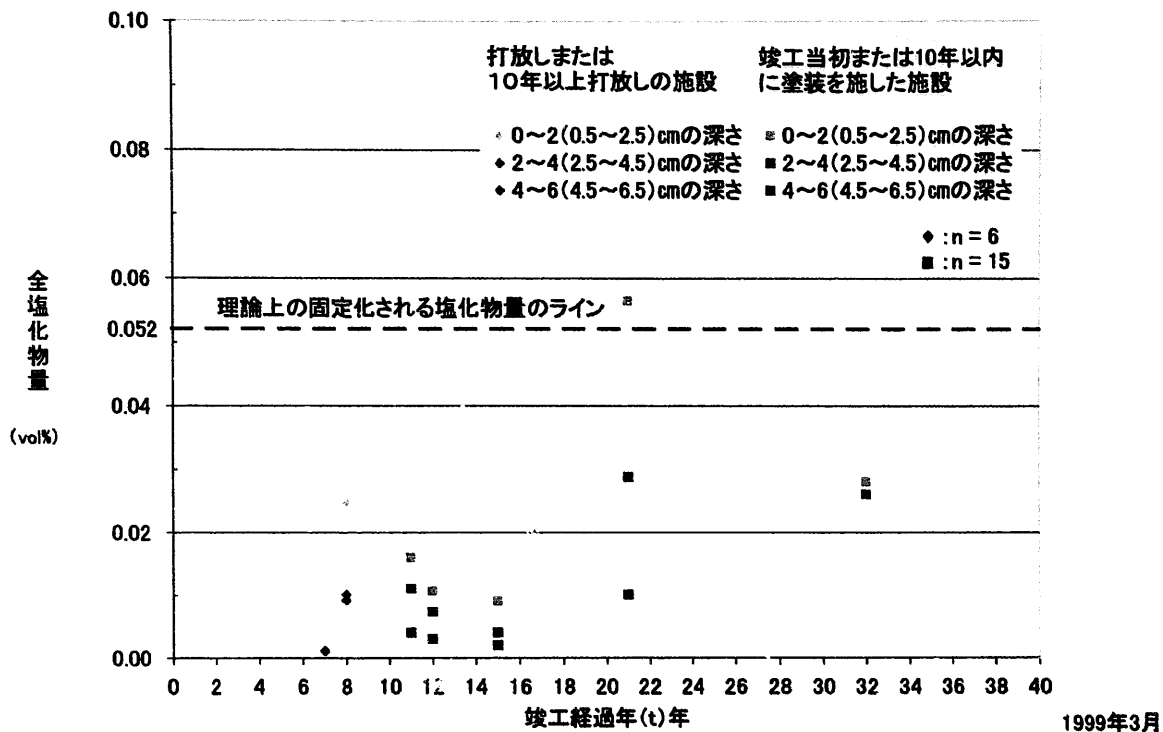


図-41 プル燃施設:竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図 (全塩化物:東側壁:方位平均値/プロット)

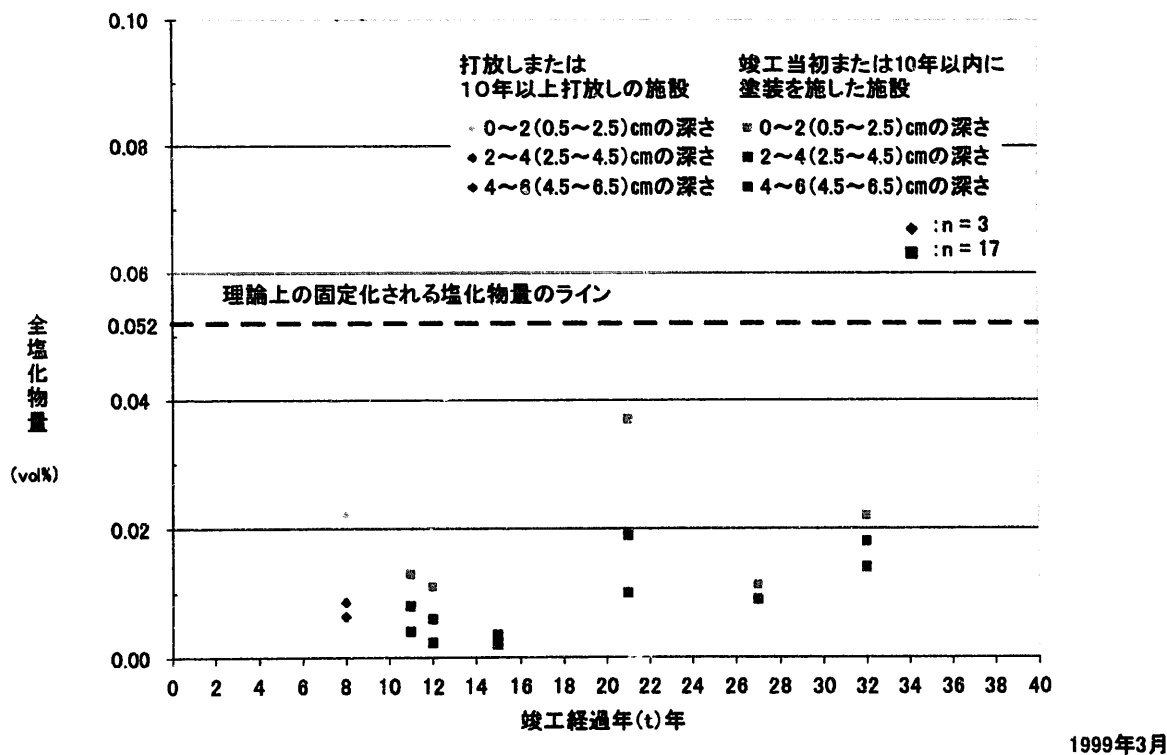
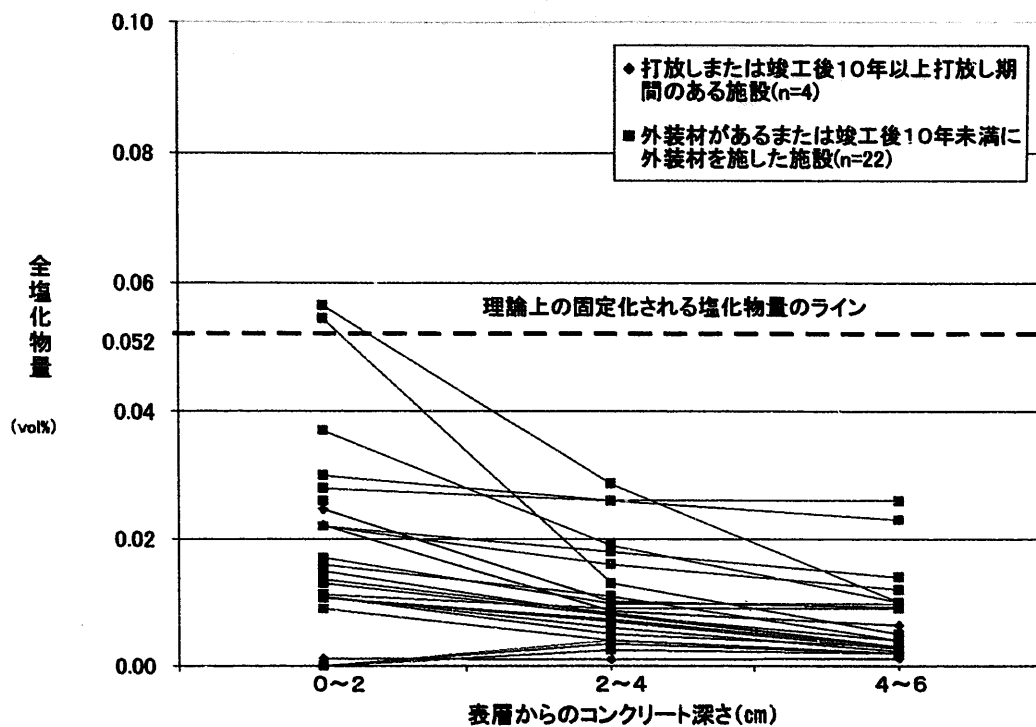


図-42 プル燃施設:竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図 (全塩化物:西側壁:方位平均値/プロット)



1999年3月

図-43 プル燃施設:コンクリート塩分含有量の深さ別傾向 (調査施設:6施設)

2.4 濃縮・ユーティリティ・その他の施設の経年化傾向（表-9及び図-44～52 参照）

コンクリート強度について、コア強度試験値のヒストグラムから、コア強度値の殆んどが $240\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 450\text{kgf}/\text{cm}^2$ に分布し、設計基準強度を十分上廻っている。

鉄筋腐食度について、はつり法を用いた目視による鉄筋腐食グレード判定では、90 数パーセントは腐食がない状態または表面にわずかな点錆が生じている状態であり、表面に点錆が広がっている状態は数パーセントである。また、腐食グレードⅢ以上の面錆や浮き錆、断面欠損等の劣化はない。竣工経過年の傾向では、経過年が 30 年を過ぎた施設にグレードⅡがある。方位による違いでは、南側でやや腐食が進んでいるような割合グラフの傾向になっているが、中性化進行や塩分の浸透による物理的な腐食変化の差ではなく目視観察による判定者の個人差によると考えられる。

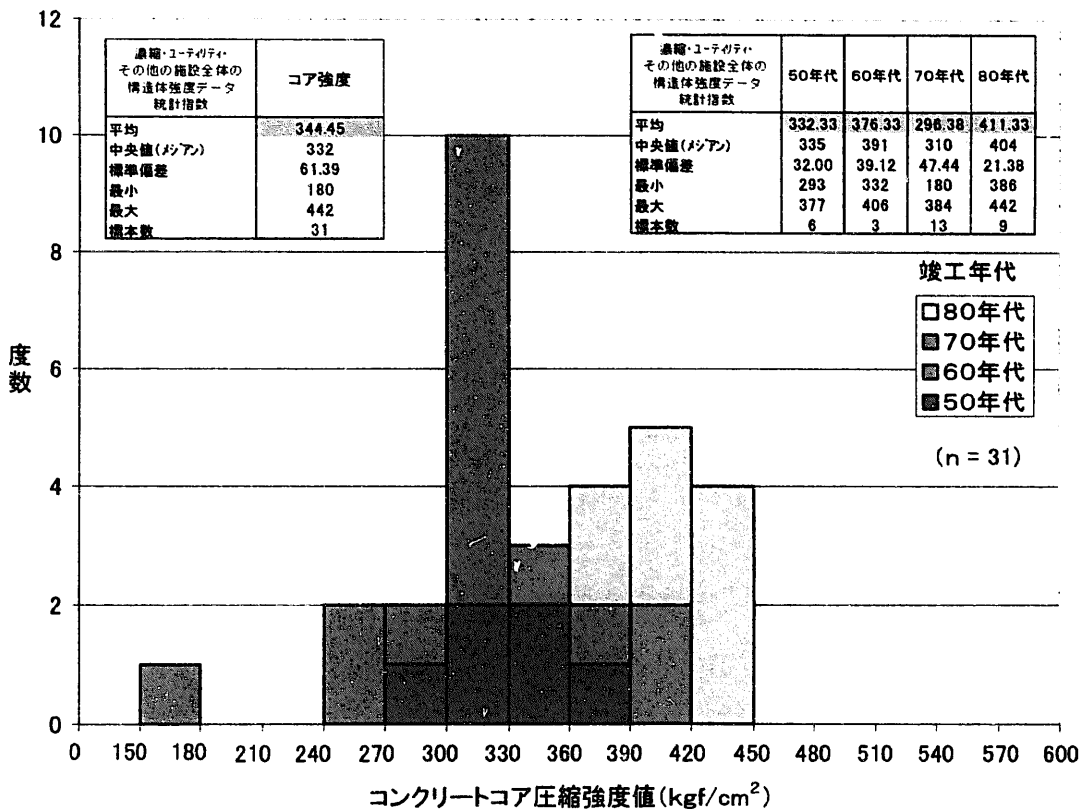
かぶり厚さについて、はつりによる実測値の分布から、平均値は約 6.0 cm、中央値は 6.1 cm である。標準偏差は約 1.8 cm と大きい。このばらつきは施設サイト全体の違いによるものであり、1 施設で大きくばらついているわけではない。

中性化深さについて、経過年数に対する傾向では、標準的な進展曲線に比べ殆どが下廻っており中性化速度は遅く、コンクリートの密実性はあるといえる。また、方位による比較では打放し若しくは 10 年以上打放し期間がある施設、及び外装材がある若しくは外装材が 10 年未満に施こされた施設とも、東・南・西・北の順に中性化が進行している。尚、グラフにプロットしたデータはコア採取表面測定法、コア採取割裂法、はつり測定法及び小径ドリル法で得られたデータの平均値または施設平均値を用いた。

コンクリート中の塩化物量について、塩化物量は表層部（0～2cm）では経過年ごとに増加する傾向がある。方位別の塩化物量は、山側である西壁より海側である東壁が多くなっている。この傾向は海塩粒子（飛来塩分）が付着していることを表している。また、打放しの場合にみられる方位のばらつきは、建物の立地環境や隣接する施設建物のあるなしによる差と思われる。尚、グラフにプロットしたデータは、コア採取法及び小径ドリル採取法で得られた方位別の平均値または施設平均値を用いた。

表-9 濃縮・ユーティリティ・その他の施設の経年化評価一覧表

竣工年代	構造体強度と設計基準強度の比	鉄筋腐食度グレード分類	中性化速度	鉄筋位置での塩化物量	かぶり厚さ
50年代	1.63~2.09 (平均 1.85)	グレード I	0.0~0.143 (平均 0.065)	0.002%	4.05 cm ~6.90 cm (平均 5.48 cm)
60年代	1.84~2.26 (平均 2.09)	グレード 0 ~グレード II	0.0~0.110 (平均 0.036)	0.002% ~0.010% (平均 0.005%)	5.65 cm ~6.15 cm (平均 5.90 cm)
70年代	0.86~1.83 (平均 1.41)	グレード 0 ~グレード I	0.0~0.559 (平均 0.205)	0.002% ~0.082% (平均 0.027%)	4.44 cm ~8.05 cm (平均 6.33 cm)
80年代	1.61~2.24 (平均 1.90)	グレード 0 ~グレード I	0.008~0.171 (平均 0.068)	0.001% ~0.006% (平均 0.003%)	4.08 cm ~6.55 cm (平均 5.18 cm)
90年代	—	—	—	0.004%	4.90 cm
評価値	1以上	グレード II 以下	0.4以下	0.052%以下	3 cm以上



1999年3月

図-44 濃縮・ユーティリティ・その他の施設:竣工年代別コア強度の分布図
(調査施設:10施設)

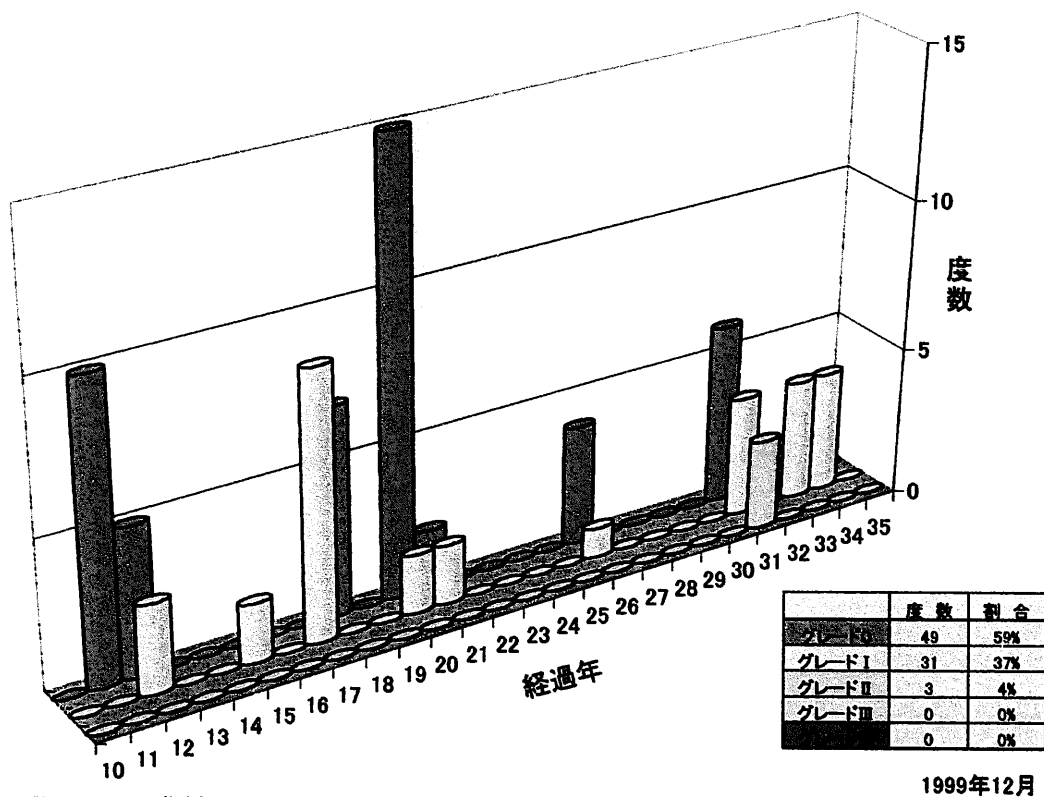


図-45 濃縮・ユーティリティ・その他の施設:竣工経過年別の腐食グレード分布図(調査施設:12施設)

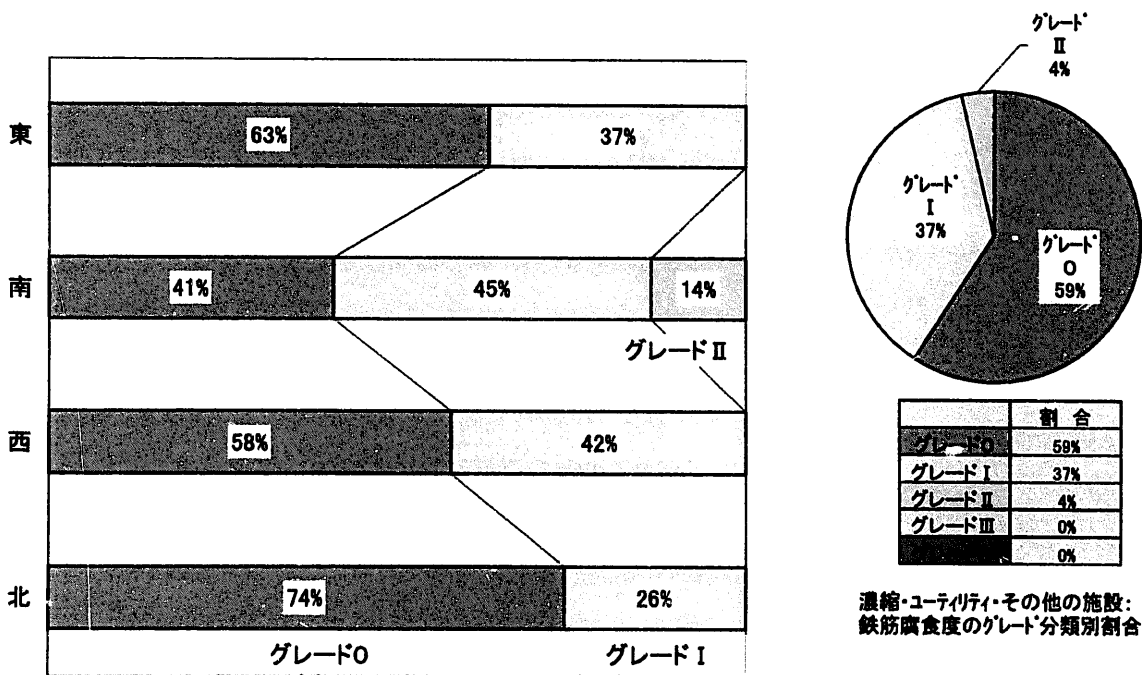
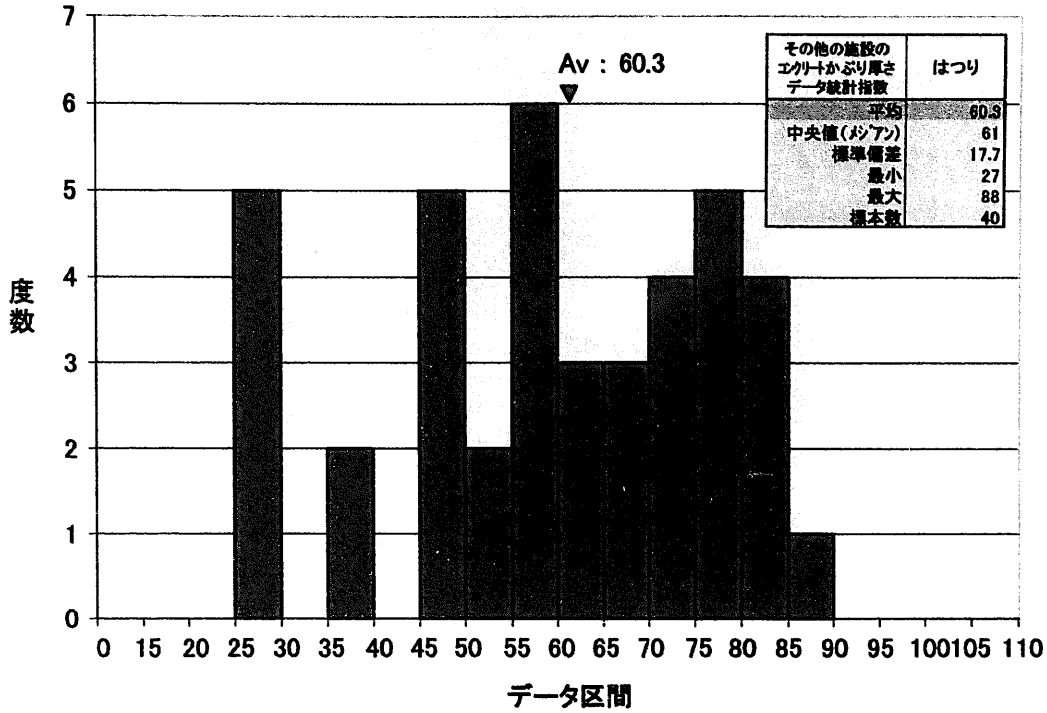
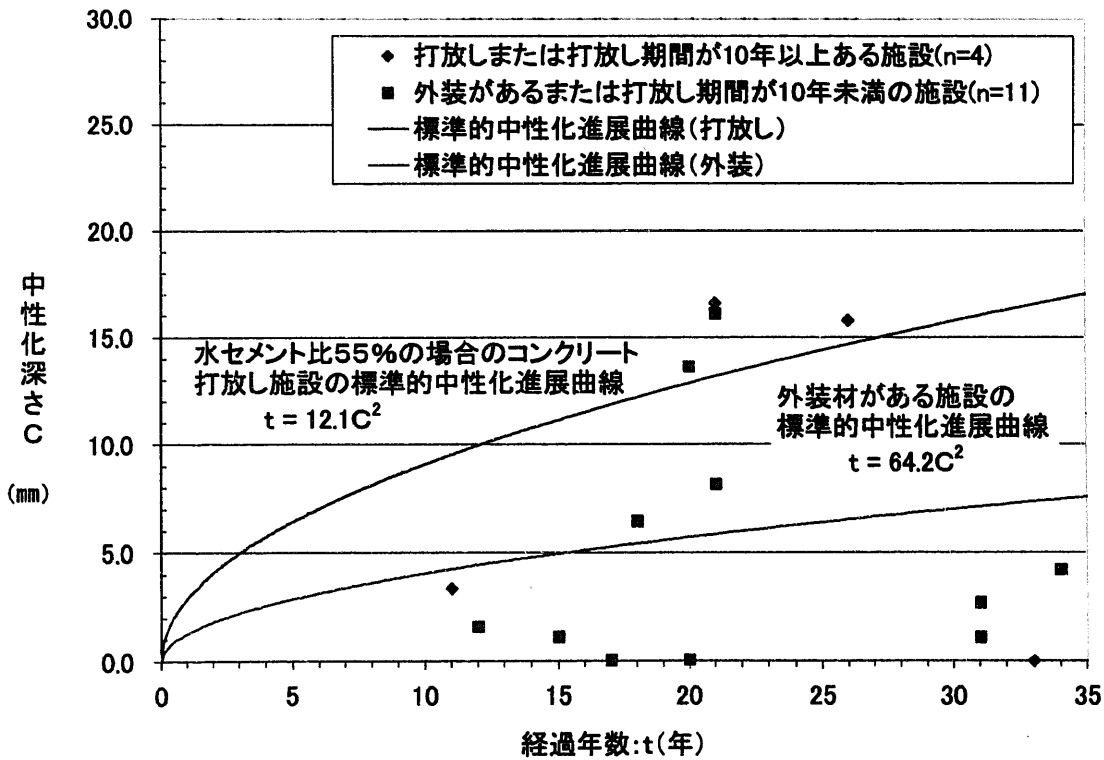


図-46 濃縮・ユーティリティ・その他の施設:鉄筋腐食グレードの方位別傾向及びグレード分類割合(調査施設:12施設)



1999年12月

図-47 濃縮・ユーティリティ・その他の施設:はつり法による
コンクリートかぶり厚さの分布図



1999年12月

図-48 濃縮・ユーティリティ・その他の施設:経過年数と
各施設の平均中性化深さの関係(調査施設:13施設)

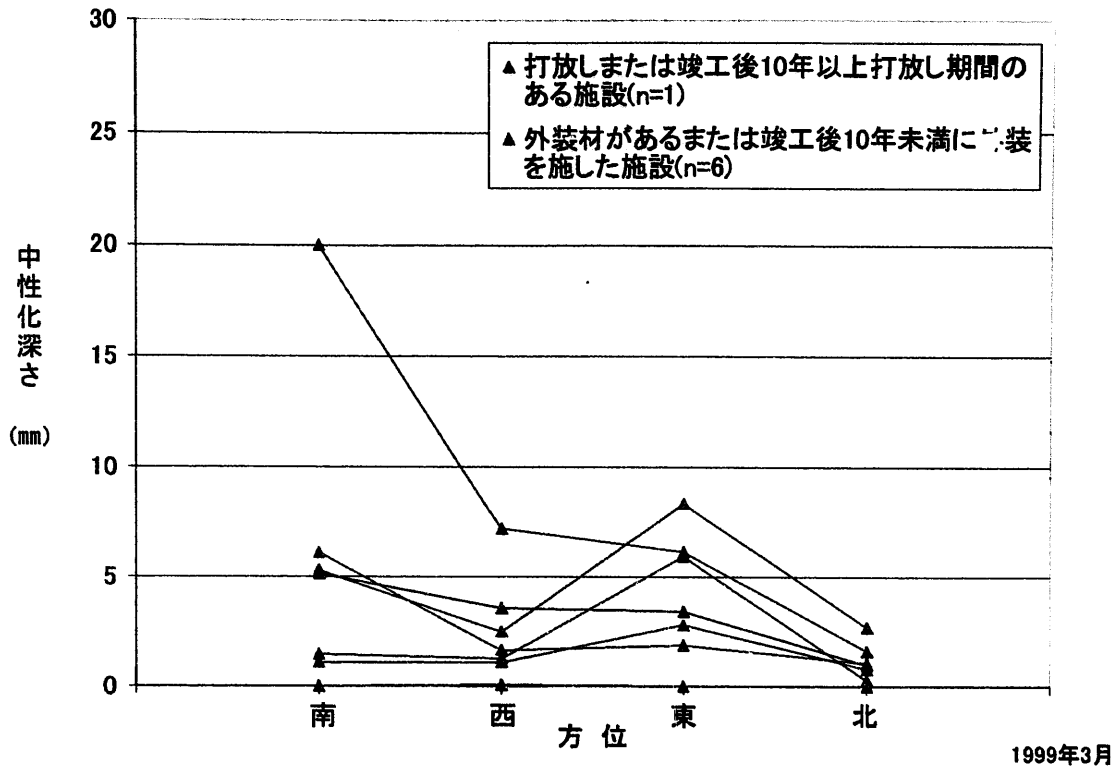


図-49 濃縮・ユーティリティ・その他の施設: 中性化深さの方位別傾向(調査施設: 6施設)

1999年3月

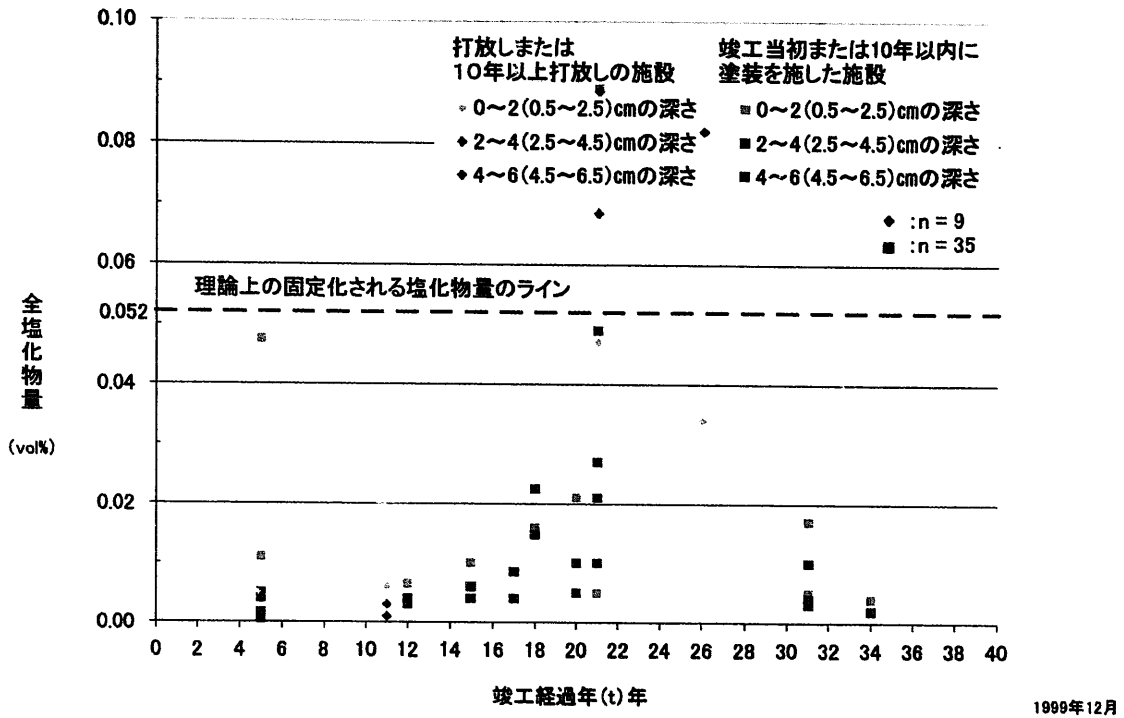


図-50 濃縮・ユーティリティ・その他の施設: 竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図 (全塩化物: 東側壁: 方位平均値/プロット)

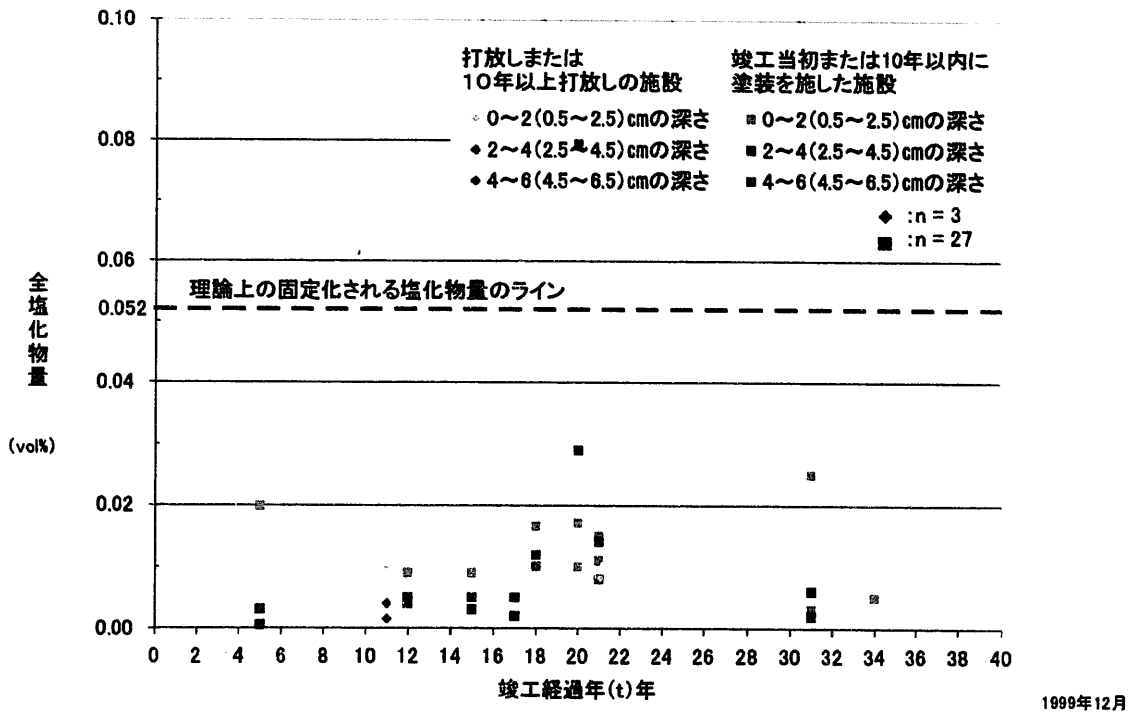
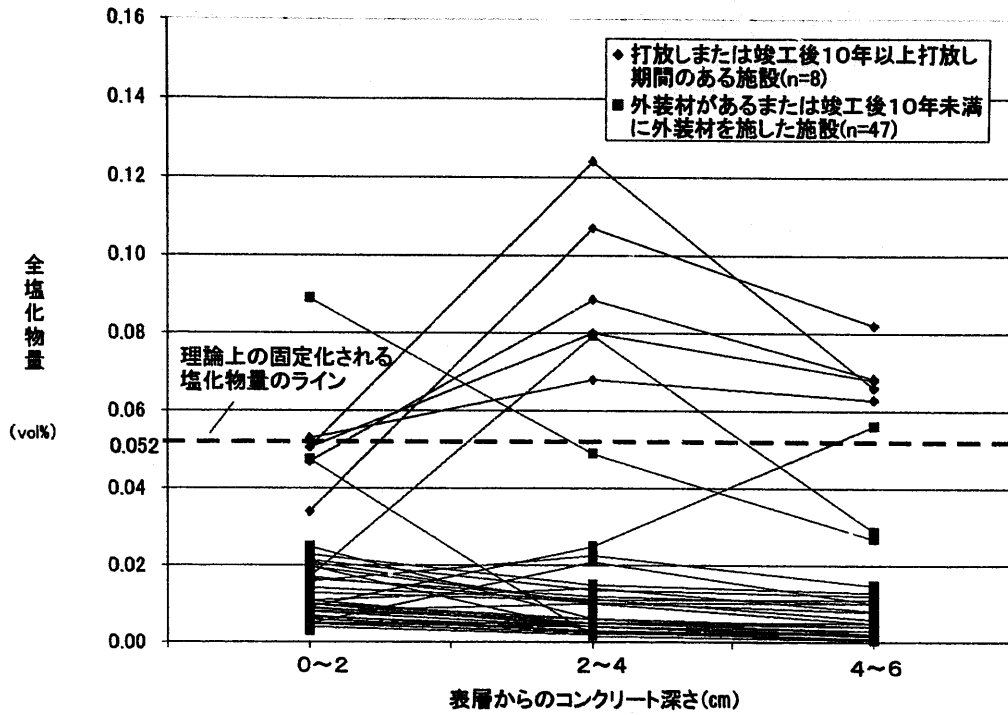


図-51 濃縮・ユーティリティ・その他の施設: 竣工経過年別コンクリート塩分含有量の分布図 (全塩化物: 西側壁: 方位平均値/プロット)



1999年12月

図-52 濃縮・ユーティリティ・その他の施設:コンクリート塩分含有量の深さ別傾向 (調査施設:16施設)

3. 高経年発電所との比較

3.1 高経年原子力発電所の現状（表-10～12 参照）

国内原子力発電所の営業運転期間を 60 年に延長するため、電気事業者が運転開始から 30 年近く経た原子力発電所 3 基の長期安定運転に向けた現状評価はおおむね以下のようである。

評価の対象となっている施設は原子炉建家、原子炉格納容器、内部コンクリート、遮蔽壁及び取水構造物等であり、これらの代表的構造物について、コンクリート強度の低下に影響をもたらす可能性がある経年変件事象（要因）に、中性化の進行や塩分浸透等を選定し、それらに関連する各種試験調査が現地で行われた結果、いずれの要因に対しても長期健全性の評価上問題とはならないと結論づけている。[※]

※電力メーカ 3 社の技術評価報告書より

3.2 主要な核燃料施設(再処理施設及びプルトニウム燃料施設)の評価

3.2.1 コンクリートの強度低下（表-10 参照）

核燃料施設のコンクリート構造物の施工は、適切な管理もとで行われ、建設時のコンクリート強度は設計基準強度を上廻っていることを確認している。

現状のコンクリート強度の確認として、平成 3 年から 10 年にかけて東海事業所内各施設の外周コンクリート等から採取した供試体の破壊試験を行った結果、平均圧縮強度は設計基準強度を十分上廻り、さらに同一箇所のコア圧縮強度とシュミットハンマー試験の関係式を用いて行った部位の強度推定値の平均値は、いずれも設計基準強度を上廻っている。

核燃料施設のコンクリート構造物の施工品質は、いずれの部位も適切な管理のもとに施工されていることから、特別な条件の差異がない限り、他の部位についても現状の強度は十分に設計基準強度を上廻り、強度の低下はないものと考えられる。

また、強度低下の他に弾性係数の低下も考えられるが、弾性係数は圧縮強度と相関関係があるため、以降は圧縮強度に着目した評価を行う。

尚、比較対象のために選定した主要な施設は、再処理施設では分離精製工場、主排気筒、プルトニウム転換技術開発施設、プルトニウム燃料施設ではプルトニウム燃料第一開発室、第二開発室及び第三開発室の 6 施設である。

以下に、コンクリート構造物の強度低下をもたらす可能性のある要因毎（中性化と塩分浸透）に、長期使用時の耐久性の評価を行う。

表-10 高経年原子力発電所と主要な核燃料施設のコンクリート強度の比較

施設名 (建物名)	分類	竣工年 又は 運転年	調査記録					評価 平均コア強度と 設計基準強度の比
			調査年	経過年	調査位置	平均コア強度	設計基準強度	
T※ 原発	原子炉	1970	1996	26	原子炉格納容器 基礎コンクリート	平均 416 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²	1.66
M※ 原発	原子炉	1970	1995	25	原子炉格納容器 基礎コンクリート	約 340 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	1.62
F※ 原発	原子炉	1971	1988	17	原子炉建家	約 412 kgf/cm ²	225 kgf/cm ²	1.83
分離 精製 工場 (MP)	再 処理 施設	1975	1995	20	建物外周壁コンクリート	平均 325 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	1.55
主 排 気 筒 (MAIN STACK)	再 処理 施設	1973	1998	25	外周コンクリート	平均 352 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	1.68
プ ル 転 換 技 術 ニ ウ ム (Pu con)	再 処理 施設	1983	1994	11	建物外周壁コンクリート	平均 305 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	1.45
プ ル 燃 料 ニ ウ ム (第1Pu)	プ ル 燃 焼 施設	1964	1991	27	建物外周壁コンクリート	平均 381 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	1.81
プ ル 燃 料 ニ ウ ム (第2Pu)	プ ル 燃 焼 施設	1971	1992	21	建物外周壁コンクリート	平均 262 kgf/cm ²	210 kgf/cm ²	1.24
プ ル 燃 料 ニ ウ ム (第3Pu)	プ ル 燃 焼 施設	1984	1995	11	建物外周壁コンクリート	平均 406 kgf/cm ²	225 kgf/cm ²	1.8

※電力メーカーの技術評価報告書より引用

3.2.2 中性化による強度低下（表-11 及び図-47～49）

(a) 事象の説明

コンクリートは表面から空気中の二酸化炭素（CO₂）の作用を受けると、徐々にそのアルカリ成分を失い中性化する。

中性化がコンクリートの内部に進行し、鉄筋位置まで達すると、鉄筋は腐食し始め、腐食による体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥落が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

今回の評価では、主要な核燃料施設（コンクリート構造物）の外周コンクリートを、評価の対象とした。

(b) 中性化傾向の評価

コンクリート中の鉄筋は、中性化していない領域では殆んど腐食しないが、中性化している領域では腐食が急速に進行するので、これに対する寿命を「最外周の鉄筋位置まで中性化が進行するまでの期間」として評価する。

中性化の進行速度の推定式としては、岸谷式、依田式（岸谷他「コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化—技報堂出版」（1986））や森永式（森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文」（1986））が提案されている。これらの式を用いて評価した結果、最外周の鉄筋位置まで中性化が進行するまでの期間は、各評価式とも 100 年以上であり、長期の使用に対して十分余裕があると考えられる。また、現状の中性化程度を確認するために、外周から採取した供試体等の各部位の平均中性化深さを測定し、ほとんど中性化は進行していないことを確認している。

以上から、中性化による強度低下に対しては、長期耐久性の評価上の問題とはならないと評価できる。

尚、高経年化への対応として中性化程度を継続的に測定していくとともに、非破壊試験等を代表部位（定点）において実施することを計画するべきと考える。

表-11 高経年原子力発電所と主要な核燃料施設の中性化深さと中性化速度の比較

施設名 (建物名)	分類	竣工年 又は 運転年	調査記録				評価		
			調査年	経過年	調査位置	平均中性化深さ	中性化速度係数 (cm/√年)	かぶり厚さ	かぶり位置 到達年
T※ 原発	原子炉	1970	1989	19	原子炉建屋 外周壁コンクリート	0.5 cm	0.112	4.0 cm	100年 以上
M※ 原発	原子炉	1970	1995	25	外部遮蔽壁	0.7 cm	0.14	4.0 cm	100年 以上
分離 精製工 場 (MP)	再 処理 施設	1975	1995	20	建物外周壁 コンクリート	0.6 cm	0.123	6.6 cm	100年 以上
主 排 気 筒 (MAIN STACK)	再 処理 施設	1973	1998	25	外周コンクリート	0.2 cm	0.042	5.2 cm	100年 以上
プ ル ト ニ ウ ム 換 気 技 術 設 施 (Pu con)	再 処理 施設	1983	1994	11	建物外周壁 コンクリート	0.2 cm	0.049	12.6 cm	100年 以上
プ ル ト ニ ウ ム 第 一 開 発 室 (第1Pu)	プ ル 燃 焼 設 施	1964	1991	27	建物外周壁 コンクリート	0.3 cm	0.059	3.1 cm	100年 以上
プ ル ト ニ ウ ム 第 二 開 発 室 (第2Pu)	プ ル 燃 焼 設 施	1971	1992	21	建物外周壁 コンクリート	0.9 cm	0.189	9.1 cm	100年 以上
プ ル ト ニ ウ ム 第 三 開 発 室 (第3Pu)	プ ル 燃 焼 設 施	1984	1991	7	建物外周壁 コンクリート	0.4 cm	0.154	6.6 cm	100年 以上

※電力メーカーの技術評価報告書より引用

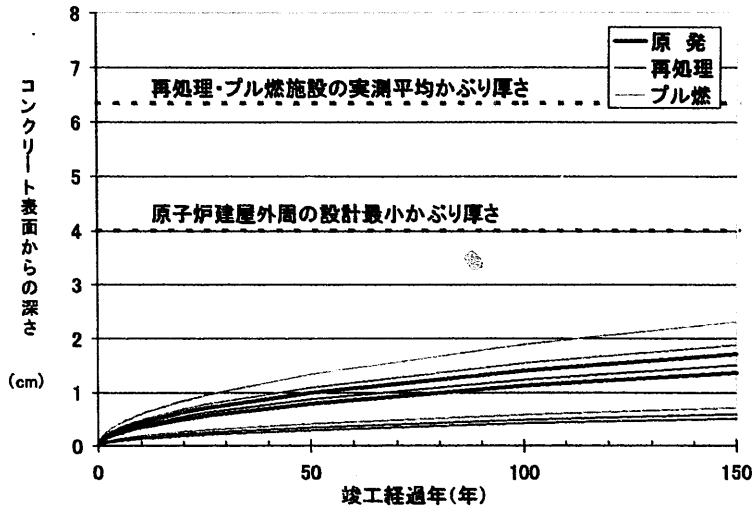


図-53-1 高経年の原発と再処理・プル燃施設主要施設との中性化進展曲線の比較

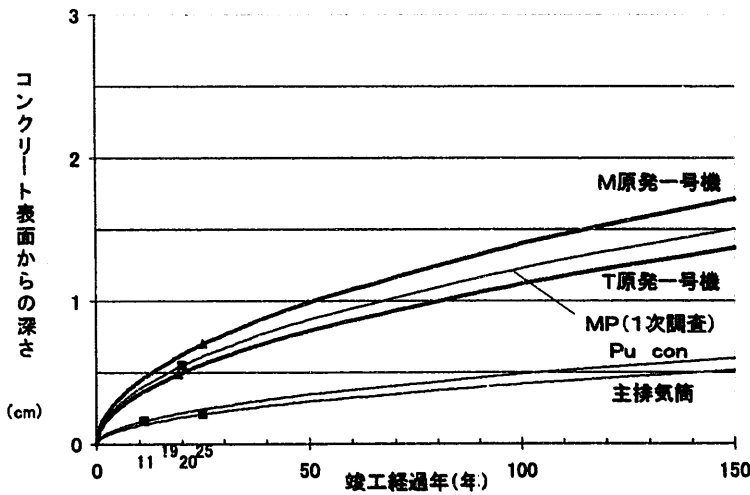


図-53-2 高経年の原発と再処理施設主要施設との中性化進展曲線の比較

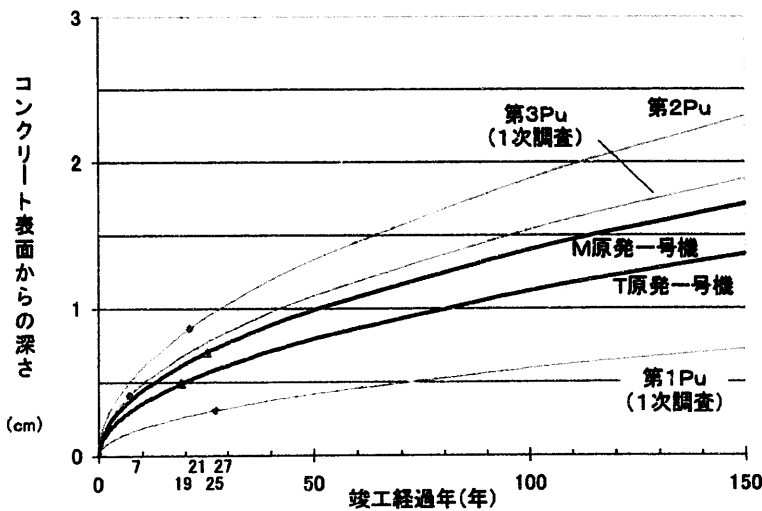


図-53-3 高経年の原発とプル燃施設主要施設との中性化進展曲線の比較

図-53 高経年の原発と核燃料施設との中性化進展曲線の比較

1999年3月

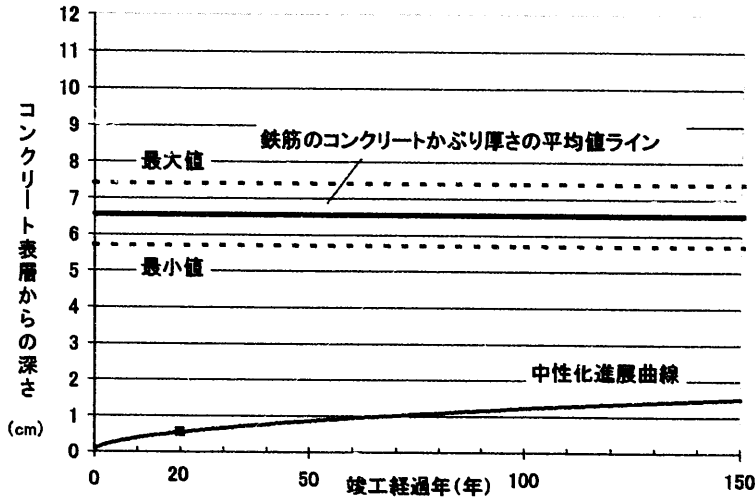


図-54-1 経年調査の結果に基づく分離精製工場の
中性化進展曲線

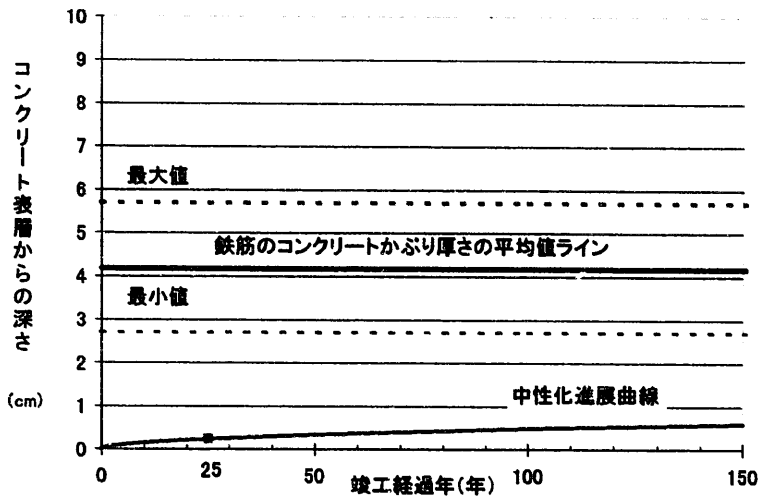


図-54-2 経年調査の結果に基づく主排気筒の
中性化進展曲線

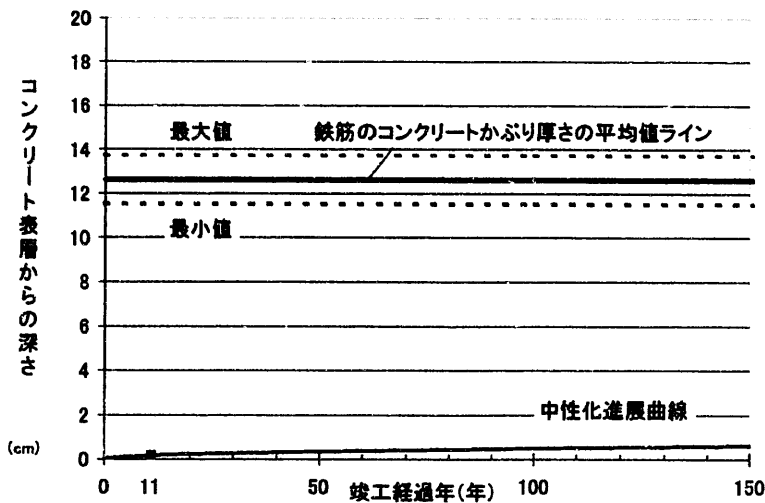


図-54-3 経年調査の結果に基づく
ブルトウム転換技術開発施設の中性化進展曲線

図-54 再処理施設: 主要な施設建物の中性化進展曲線

1999年3月

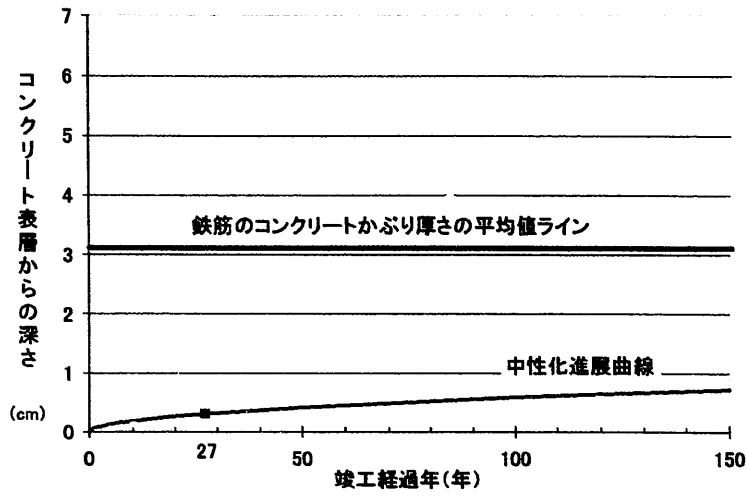


図-55-1 経年調査の結果に基づく
プルトニウム燃料第一開発室の中性化進展曲線

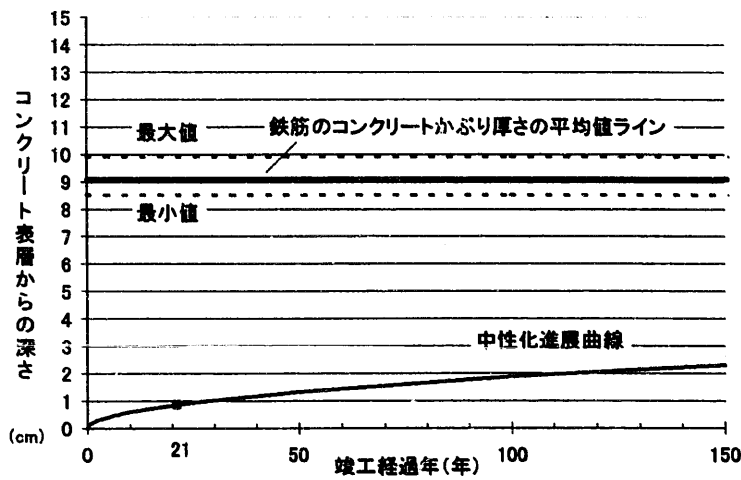


図-55-2 経年調査の結果に基づく
プルトニウム燃料第二開発室の中性化進展曲線

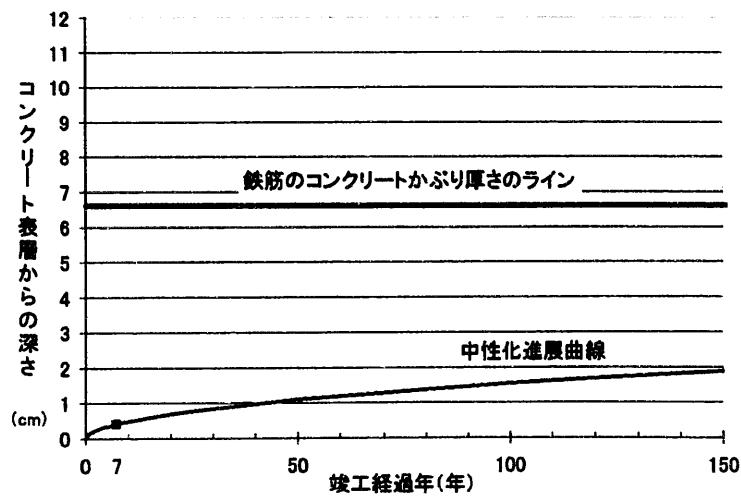


図-55-3 経年調査の結果に基づく
プルトニウム燃料第三開発室の中性化進展曲線

図-55 プル燃施設:主要な施設建物の中性化進展曲線

1999年3月

3.2.3 塩分の浸透による強度低下（表-12 参照）

(a) 事象の説明

コンクリート中に塩素イオン等が浸透すると、鉄筋の腐食が徐々に進行し、腐食による体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての耐久性が損なわれる可能性がある（図-13 参照）。

(b) 塩分の浸透に対する評価

塩分によるコンクリート中の鉄筋への影響を評価する方法として、核燃料施設の外周壁から供試体を採取し、鉄筋位置または近傍での塩化物量は約 0.02%前後であり、理論上の固定化される塩化物量 0.052%より下廻っており、基本的に問題となるレベルではないと考えられる。また、定期的な目視調査から塩分浸透による鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は発見されていない。

尚、塩害に対する予防保全対策として、定期的に外壁全面に塗装を施し、以降の塩分浸透の防止を図っている。

以上から、塩分浸透による強度低下に対しては、長期耐久性の評価上の問題とはならないと評価できる。

表-12 高経年原子力発電所と主要な核燃料施設の鉄筋位置での塩化物量の比較

施設名 (建物名)	分類	竣工年 又は 運開年	調査記録			
			調査年	経過年	調査位置	鉄筋位置での塩化物量
M※ 原発	原子炉	1970	85	15	外部遮蔽壁	約 0.03 %
分離精製工場 (MP)	再処理施設	1975	1997	22	建物外周壁コンクリート	0.012~0.021%
主排気筒 (MAIN STACK)	再処理施設	1973	1998	25	外周コンクリート	0.004~0.022%
プルトニウム 転換施設 (Pu con)	再処理施設	1983	1994	11	建物外周壁コンクリート	0.006%
プルトニウム 第一開発室 (第1Pu)	プル燃施設	1964	1996	32	建物外周壁コンクリート	0.016~0.026%
プルトニウム 第二開発室 (第2Pu)	プル燃施設	1971	1992	21	建物外周壁コンクリート	0.005%
プルトニウム 第三開発室 (第3Pu)	プル燃施設	1984	1995	11	建物外周壁コンクリート	0.003~0.004%

※電力メーカーの技術評価報告書より引用

3.2.4 経年化評価のまとめと高経年化への対応

主要な核燃料施設（再処理施設及びプルトニウム燃料施設）の既存の躯体強度（コンクリート強度）と、コンクリート強度の低下に影響をもたらす可能性がある中性化と飛来塩分の浸透傾向は、高経年原子力発電所とほぼ同程度であり、現状の保全を継続することにより長期的な耐久性の確保が可能と判断される。

表-13 主要な核燃料施設（再処理施設及びプルトニウム燃料施設）の
経年化評価のまとめと高経年化への対応

経年変化事象	コンクリートの強度低下	
	中性化の進行	塩分の浸透
耐久性評価	<p>評価式による計算では、鉄筋位置まで中性化が進行するまでの期間は 100 年以上である。</p> <p>主要な核燃料施設の外周コンクリート（外部）から採取した各部位の中性化は殆んど進行しておらず、長期耐久性の評価上の問題とはならない。</p>	<p>主要な核燃料施設の外周コンクリート（外部）に対して測定した鉄筋位置での塩素イオン濃度は、かぶりコンクリートにひび割れを発生させる濃度を十分に下廻っていること等から、長期耐久性の評価上の問題とはならない。</p>
現状保全	<p>定期的な屋内、屋外のコンクリート表面のひび割れ、塗装劣化等の目視点検により、強度に支障をきたす可能性のあるような有害な欠陥のないことを確認するとともに、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施している。</p>	
総合評価	<p>評価結果から判断して、現状のコンクリート強度は十分に設計基準強度を上廻っており、今後強度低下が急激に発生する可能性は極めて小さい。また、定期的に強度に支障をきたす可能性のあるような有害な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施していることから、現状の保全方法は適切であると考えられる。</p> <p>今後、耐久性評価の妥当性を直接的に確認するため、目視点検に加えて、定期的な非破壊試験等の実施により強度の経年変化傾向を確認することが必要になる。</p>	
高経年化への対応	<p>現状の保全に加えて、非破壊試験等を定期的に代表部位において実施することにより、強度に急激な経年変化が生じていないかを確認していく必要がある。</p>	

4. 施設耐久性能評価手法の提案

4.1 耐久性能評価手法の考え方

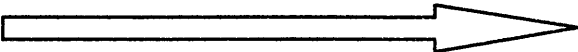
施設の健全性や耐久性能を評価する手法には、様々な提案がなされており、その殆んどが数値化された基準で示されているため、施設保全担当者においてはわかりにくい面がある。

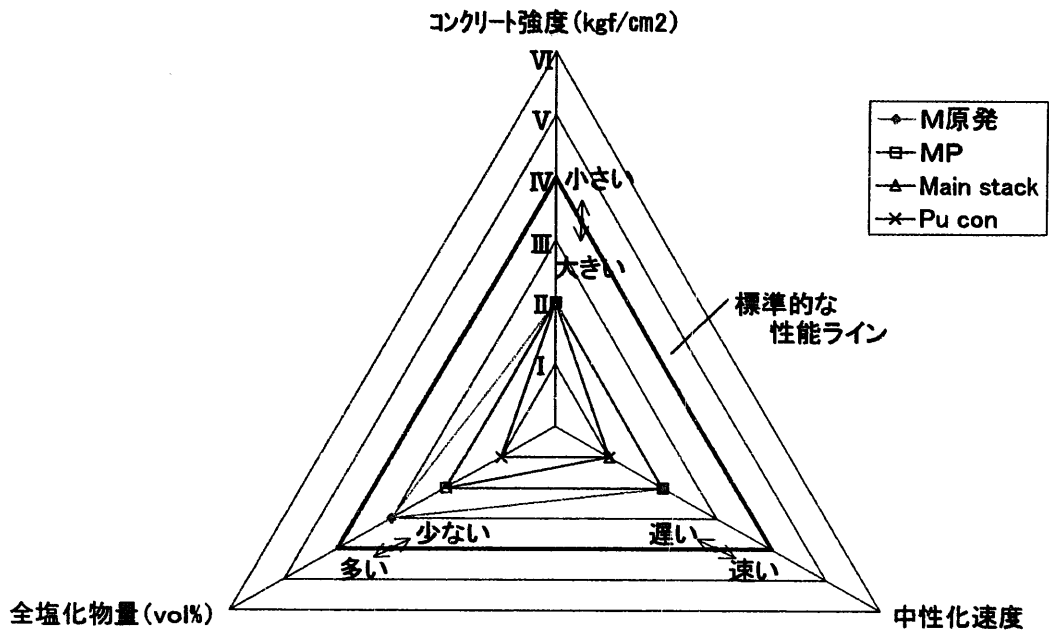
そこで、各試験項目ごとに性能を分類し、劣化傾向を示すレーダーチャートグラフとして表現することを試みた。

高経年の原発と比較するためコンクリート強度、中性化速度及び鉄筋位置の塩化物量の3軸で表現した主要な再処理施設のチャートを図-56に、主要なプルトニウム燃料施設のチャートを図-57に示す。レーダーチャート上に標準的な性能ラインを設けて対象とする施設の劣化速度が速いか遅いかを区分できるようにし、また性能グレード分類はI～VIの6段階で耐久性能を区分けしている。

更に、鉄筋腐食度とかぶり厚さを加えた5軸のチャート例を図-58に示す。

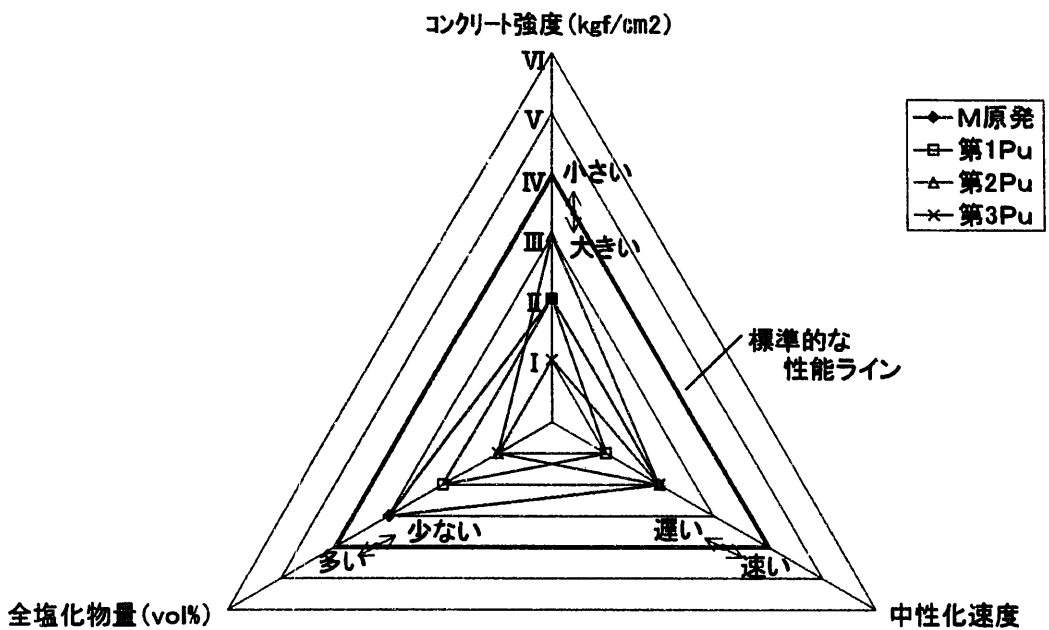
表-14 レーダーチャート表現のための性能グレード分類(性能3項目評価法)

性能グレード	I	II	III	IV	V	VI
コンクリート強度 (kgf/cm ²)	400以上	300以上 ～400未満	210以上 ～300未満	180以上 ～210未満	150以上 ～180未満	150未満
中性化 速度係数	0.1以下	0.1以上 ～0.2未満	0.2以上 ～0.4未満	0.4以上 ～0.6未満	0.6以上 ～0.8未満	0.8以上
鉄筋位置の 全塩化物量 (vol%)	0.01以下	0.01以上 ～0.026未満	0.026以上 ～0.04未満	0.04以上 ～0.052未満	0.052以上 0.07未満	0.07以上
耐久性能 (目安)	長期的に 十分ある	十分ある	ある	標準的な 性能	やや劣る	劣る
劣化速度 (目安)	遅い					速い



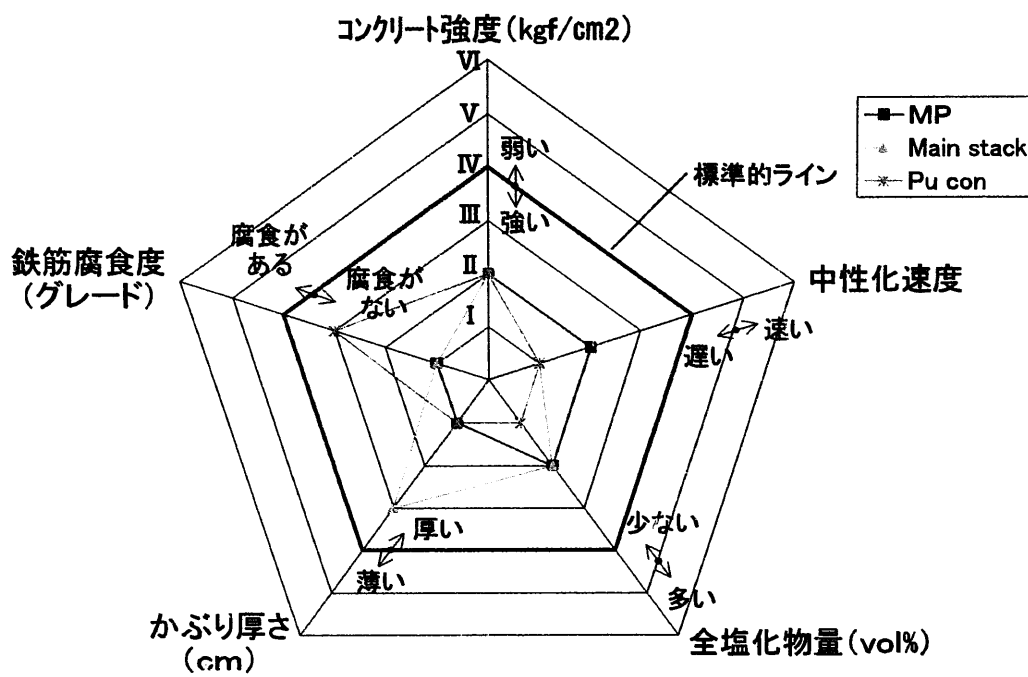
1999年3月

図-56 高経年の原発と主要な再処理施設建物の
耐久性能評価の比較



1999年3月

図-57 高経年の原発と主要なプル燃施設建物の
耐久性能評価の比較



1999年3月

図-58 主要な再処理施設建物の耐久性能評価レーダーチャートの例

表-15 レーダーチャート表現のための性能グレード分類(性能5項目評価法)

性能グレード	I	II	III	IV	V	VI
コンクリート強度 (kgf/cm ²)	400以上	300以上 ~400未満	210以上 ~300未満	180以上 ~210未満	150以上 ~180未満	150未満
中性化速度係数	0.1以下	0.1以上 ~0.2未満	0.2以上 ~0.4未満	0.4以上 ~0.6未満	0.6以上 ~0.8未満	0.8以上
鉄筋位置の全塩化物量 (vol%)	0.01以下	0.01以上 ~0.026未満	0.026以上 ~0.04未満	0.04以上 ~0.052未満	0.052以上 0.07未満	0.07以上
かぶり厚さ (cm)	6以上	5以上 ~6未満	4以上 ~5未満	3以上 ~4未満	2.5以上 ~3未満	2.5未満
鉄筋腐食 (グレード)	腐食グレード 0	—	腐食グレード I	腐食グレード II	腐食グレード III	腐食グレード IV以上
耐久性能 (目安)	長期的に十分ある	十分ある	ある	標準的な性能	やや劣る	劣る

5. まとめと11年度下期の進め方

平成11年度の上期は、蓄積した施設建物の経年変化調査データを用いて、平成10年度に実施した再処理施設サイトの経年変化傾向評価に引続き、プルトニウム燃料施設サイト及び濃縮・ユーティリティ・その他の施設サイトの経年変化傾向を再評価するとともに、事業所全体の経年変化傾向の評価を実施した。

その結果、海塩粒子の飛来傾向から旧海岸線より500m以内にある主要な核燃料施設の表層部に付着が多くなっているが、塩分の浸透による鉄筋の腐食はなく、総括的には経年劣化は標準的な経年劣化に比べ進行していないことなどを再確認した。

また、高経年原子力発電所と核燃料施設のうち主要な再処理施設及びプルトニウム燃料施設で経年変化傾向の比較評価を行い、両者ともほぼ同様の経年変化傾向であり、コンクリート材料に変化が少ないことを再確認した。

以上のことより、今後も現状の保全対応を継続的に実施することで、長期耐久性の評価上、問題となることはないと判断できる。

11年度の下期は、11年度の上期に実施した事業所施設のトレンド調査結果の評価と、外装材モニタリング試験結果の傾向評価を行うとともに、蓄積された経年調査データのトレンドグラフ化と経年変化（劣化）情報のデータベース化を進め、トレンド情報の蓄積を図る予定である。