



核燃料施設における建物経年変化の劣化評価手法とモニタリング手法の開発

里子 博幸 瓜生 満 石黒 信治 大瀧 美幸

東海事業所 建設工務管理部

Development of Monitoring Method of the Secular Change Trends in the Buildings of Nuclear Fuel Facilities in JNC Tokai Works.

Hiroyuki SATOKO Mitsuru URYU Nobuharu ISHIGURO Miyuki OTAKI

Construction and Maintenance Division, Tokai Works

サイクル機構東海事業所の再処理工場、プルトニウム燃料工場等の核燃料施設は、竣工後30年以上運用されている。これらの施設の建物は海岸の近傍に建設されており、塩害等の経年変化が懸念される。このため、これら建物の経年変化傾向を評価する必要がある。一方、この経年変化診断手法については、近年整備されつつある。

本稿では、開発したコンクリート構造物の強度及び鉄筋腐食度の測定方法、評価方法の概要を報告するとともに、モニタリング測定部とその効果を示す。また、東海事業所内建物の経年変化調査結果の概要についても、コンクリート構造物の寿命評価の実例を含めて報告する。

なお、経年変化調査の結果、調査した建物の力学性能に影響を与えるような劣化は認められなかった。

Some of Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) Tokai Works' nuclear facilities, such as the Tokai Reprocessing Plant and the Tokai Plutonium Fuel Plant, have been operating for more than 30 years since their construction. These facilities are situated near the coast and there is concern that secular changes caused by the briny air etc. might affect the buildings.

Therefore, it is necessary to estimate tendencies of secular changes in these buildings. Therefore, methods were developed for monitoring the tendencies of secular changes in buildings.

This report describes the development of the monitoring methods, the estimation of the concrete structure strength and the ferro concrete corrosion of Tokai Works' buildings. Particularly, this report is illustrated by drawings of the measurement station and effective merit.

This report outlines the monitoring results of the secular changes, including the example of the life evolution on the concrete structure, in some of Tokai Works' buildings.

Results show that there is no degradation on the monitored buildings to affect dynamics strength.

キーワード

核燃料施設、コンクリート構造物、経年変化、耐久性、鉄筋腐食度、塩害、測定と評価方法、診断手法

Nuclear Fuel Facility, Concrete Structure, Secular Change, Durability, Ferro Concrete, Damage by Briny Air, Function of the Estimating and the Monitoring Method, Monitoring Method of the Tendency

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構東海事業所（以下「サイクル機構東海」という）では、ウラン資源を有

効利用するため、使用済み燃料の再処理とその技術開発、プルトニウム燃料の開発や製造技術開発、放射性廃棄物の処理・処分技術の開発などの研究



里子 博幸

副主任技術員
東海・核燃料施設建物の経年変化対応策に従事



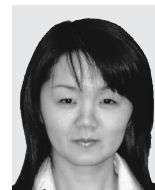
瓜生 満

部長
東海・核燃料施設建物の設計・工事・修繕及び安全研究、建設工務管理部総括に従事



石黒 信治

技術主幹
再処理工場分析、R E T F 設計 電気 コーディナティ 施設運転管理業務に従事



大瀧 美幸

プロジェクトグループ所属
施設建物経年変化データベース構築に従事

開発業務を進めている。1957年6月、原子燃料公社東海製錬所設置以来、プルトニウム燃料施設、再処理工場等の各種施設が建設され現在も稼働している。

これらの施設建物（プルトニウム燃料施設約50棟、再処理工場約40棟、その他RI・使用施設約30棟）は、海岸近傍に隣接するため塩害等による経年変化が懸念される。

このため、これらの施設建物（躯体）の経年変化調査から、その傾向を評価するとともに、診断技術の整備と対策を講じることにより、建物の機能維持と施設の安定な運転を図ることとしている。

ここでは、東海事業所構内に建設された核燃料施設建物の経年変化調査結果の概要、経年変化評価手法及び建物モニタリング手法について報告する。

1.1 一般環境

サイクル機構東海の敷地は、敷地境界から約10メートル北側には新川が流れ、東側は石炭火力発電所と一部海岸に接し、南側に水戸射爆場跡地と接している。また、西側一帯は田畑が広がっている。敷地面積は約110万平方メートル(2002年現在)

で再処理施設は平坦地に、プルトニウム燃料施設及びウラン濃縮施設は再処理施設より丘陵地（標高30メートル）に位置している。図1に施設建物経年変化データベースで構築し登録した東海事業所の施設配置図（Web画面）を示す。図中には、調査対象施設建物の実施の有無が各センターごとのそれぞれの色で濃く塗りつぶして表記してある。

2. 経年変化調査

施設建物の経年変化調査は、原則として屋外からアクセスできる躯体外壁部を対象に行う。その施設建物の評価項目は、構造体強度に直接影響を与える躯体コンクリート強度、躯体鉄筋の健全性評価に必要なコンクリートの中性化深さやコンクリート中の塩分含有量などである。

2.1 施設建物の選定

調査対象施設建物を選定するにあたっては、当該施設の特長性を考慮し調査対象施設の優先度を明確にするため、耐震重要度分類、放射性物質の取扱いレベル、竣工経過期間、立地環境の程度（施設区分、種類、財産上の重要度）、今後の運用予定期間を点数化積算し、その総合点数に応じて、



図1 東海事業所施設配置図

評価を行い調査対象を決定した。点数化の詳細は参考文献³⁾に示すが、評価項目ごとの点数の配分は図2、調査対象建物の選定基準は表1-1に示すとおりである。今回調査対象とした建物は原則60点以上の施設建物を選定した（表1-2参照）。

その結果、2003年度までに調査した施設建物数

は再処理施設関連32施設、プルトニウム燃料施設関連7施設、ウラン施設関連7施設、その他の施設：13施設である。

2.2 調査方法

(1) 躯体コンクリート強度の測定

躯体コンクリート強度の測定は、「コンクリートからのコア及びはつりの切取り方法及び強度試験方法」(JIS A 1107⁹⁾により、躯体外壁面からコンクリートコアを採取し、圧縮強度を測定する方法で行った。「コンクリートの強度推定のための非破壊試験方法マニュアル」(日本建築学会⁹⁾におけるシュミットハンマ法に準じた強度測定も行った(3.1参照)。

(2) 躯体鉄筋の健全性(腐食)状況調査

鉄筋調査は調査箇所のコンクリートを鉄筋が露出するまで部分的にはつり、目視観察により腐食状況を調査した。また、実測かぶり厚さは同時に縦筋あるいは横筋のうち、かぶり厚さの小さい方を実測かぶり厚さとして測定した。さらに、コン

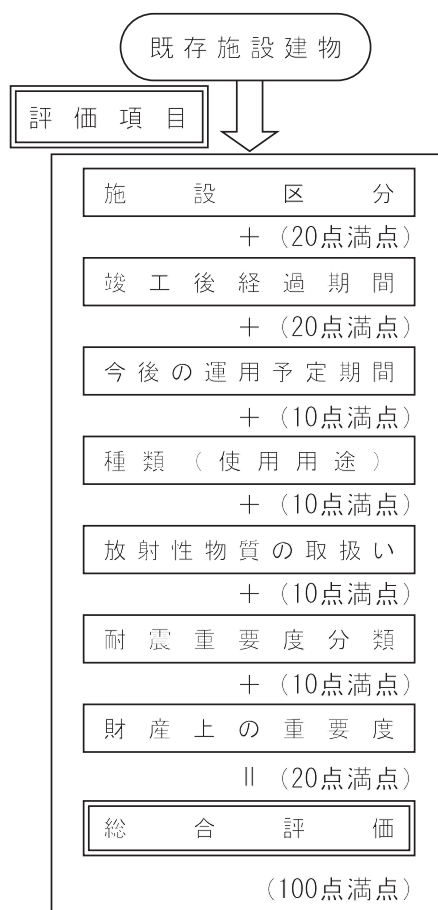


図2 経年変化調査対象施設選定の建物評価項目

表1-1 経年変化調査対象建物の選定基準

評価ランク	評価点	優先度評価
AA	90点以上	経年変化調査対象建物とする。
A	80～89点	経年変化調査対象建物とするが、経過期間が5年以内の建物は除く。
BB	60～79点	経過期間が15年以上で耐震重要度分類がA、B _s またはBクラスの施設建物を対象建物とする。
B	40～59点	次回選考の対象施設建物とする。
CC	20～39点	次々回の選考対象施設建物とする。
C	19点以下	対象外施設建物とする。

表1-2 施設選考基準リストの例(1992年版：再処理編)

施設名	評価項目	施設区分	竣工後経過期間 (竣工年)	今後の運用 予定期間	種類 (使用用途)	放射性物質の 取扱い	耐震重要度 分類	財産上の 重要度	総合評価
分離精製工場		再処理施設	16年 (1975.1)	10年以上	再処理設備 本体	管理区域	A類	重要	AA
	採点	20	16	10	10	10	10	20	96点
分析所		再処理施設	17年 (1974.1)	10年以上	その他附属 施設	管理区域	B類	重要	AA
	採点	20	16	10	8	10	8	20	92点
廃棄物処理場		再処理施設	16年 (1975.1)	10年以上	放射性廃棄物 の廃棄施設	管理区域	B類	重要	AA
	採点	20	16	10	10	10	8	20	94点

クリート中の鉄筋については、コンクリート中で鉄筋が維持している電位を測定(自然電位法*)し腐食状態を推定した。

(3) コンクリートの中性化深さの測定

この測定は、圧縮強度試験終了後のコアを割裂するなどして調査箇所全体にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、ノギスを用いて中性化深さ(赤色の境界線から表面までの深さ)を測定する。なお、中性化深さはばらつきを考慮するため、1調査箇所あたり5点以上測定し、その平均値を代表値とした(表2参照)。

(4) コンクリート中の含有塩分量測定

調査箇所のコンクリートを小径コアドリル等を用いてコンクリート粉末試料を採取した。コンクリート粉末中の全塩分物量及び可溶性塩化物量は、硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法⁶⁾により測定した。

なお、試料は、表層5mm剥離した後、深さ6cmまで2cmごとに粉末試料を採取し、コンクリート内部への拡散の程度と鉄筋腐食との相関性

などを調査した。

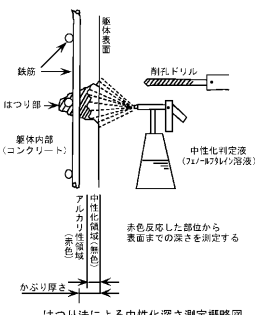
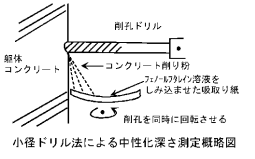
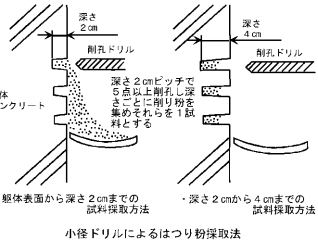
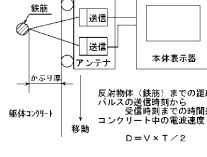
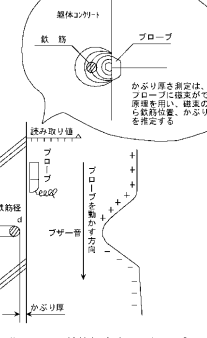
2.3 調査結果

(1) 調査結果概要³⁾

調査したすべての建物の躯体コンクリート、鉄筋とも、表3東海事業所施設の経年化評価一覧表に示すとおり、構造体コア強度(実力値)と設計基準強度の比、鉄筋腐食度、鉄筋位置での塩化物量の値からもわかるように健全であり、躯体コンクリートの損傷も少ない。また、中性化及び塩化物の浸入も少ない。

図3は東海事業所施設建物において調査したコンクリートコア強度の平均値を経過年ごとにプロットしたデータである。また、核燃料施設の区分として再処理施設、プルトニウム燃料施設及びその他の施設の3区分に分け、濃縮施設・RI施設はその他の区分に分類した。グラフより得られたデータすべてが標準的な設計基準強度値を上回っており、施設建物によっては2倍強のデータもある。

表2 現地における主な調査手法

中性化深さ測定のためのはつり法	中性化深さ測定のための小径ドリル法(削り粉法)	塩分含有量測定のための小径ドリルによるはつり粉採取法	鉄筋のかぶり厚測定、配筋状態の調査
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。 鉄筋の腐食状態を確認したのち、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。  【参考文献】 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断及び補修指針(案)・同解説、など	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、削り粉が同じ位置に落ちないよう常に吸取り紙を動かす。 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ブスパールと本尺の先端を用いて孔の深さを測定する。 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。  【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	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、φ10~20程度の小径ドリルではつり粉(削り粉)を採取する。 尚、表層から定ピッチで採取する場合は、削孔ごと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。 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。  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。 【参考文献】 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断及び補修指針(案)・同解説、など	電磁波法(レーダー法)：コンクリート内部に向けて電磁波をパルスで放射し、コンクリート内部にコンクリートと誘導率の異なるものがあるとその境界で電磁波が反射し、反射パルス信号を受信する。 この時の電波速度から配筋状態、かぶり厚さ、鉄筋径の測定を推定する。  レーダー波法による鉄筋探査方法 (例 RCレーダー：日本無線機など) この他に、以下に示す電磁誘導式の手法もある。  電磁誘導式による鉄筋探査方法(例：プロフォメータ)

* 自然電位法は、はつりにより露出した鉄筋と電位差計の端子を接続させ、コンクリート表面に照合電極を当て高入力抵抗電圧計により照合電極と鉄筋との間の電位差を測定する方法である。なお、測定電圧は飽和硫酸銅電極による電位(CSE)に換算し、測定範囲は幅1m×高さ1m程度とした。なお、測定時には十分に測定面(コンクリート表面)を湿潤させてから行った。

表3 東海事業所施設の経年化評価一覧表（2000年1月現在）

評価項目	竣工年代	構造体コア強度 (実力値)と 設計基準強度の比	鉄筋腐食度 ¹ グレード分類	中性化速度 ²	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	グレード以下	平均0.099	平均0.004%	平均6.45cm
	70年代	平均1.49	グレード以下	平均0.171	平均0.015%	平均5.46cm
	80年代	平均1.65	グレード以下	平均0.077	平均0.007%	平均6.96cm
	90年代	平均1.52	グレード以下	平均0.077	平均0.002%	平均7.73cm
プルトニウム 燃料施設	60年代	平均1.81	グレード以下	平均0.059	平均0.019%	平均5.05cm
	70年代	平均1.25	グレード以下	平均0.159	平均0.008%	平均9.1cm
	80年代	平均1.94	グレード以下	平均0.077	平均0.004%	平均6.13cm
濃縮・ユーテ リテ・イ・ その他の施設	50年代	平均1.85	グレード以下	平均0.065	平均0.002%	平均5.48cm
	60年代	平均2.09	グレード以下	平均0.036	平均0.005%	平均5.9cm
	70年代	平均1.41	グレード以下	平均0.205	平均0.027%	平均6.33cm
	80年代	平均1.90	グレード以下	平均0.068	平均0.003%	平均5.18cm
	90年代	基準点数以下 ³	基準点数以下 ³	基準点数以下 ³	平均0.004%	平均4.9cm
評価値		1以上	グレード以下	0.4以下	0.052%以下	3cm以上

1：日本建築学会グレード分類「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性・診断および補修指針（案）・同解説p44 3.4詳細診断 表3.1鉄筋腐食度評価基準（グレード～）」参考

2： $C = A \sqrt{t}$

C：中性化深さ

t：時間

A：中性化速度

3：基準点数以下とは、表1-1により選考対象施設建物評価基準点数以下を表す。

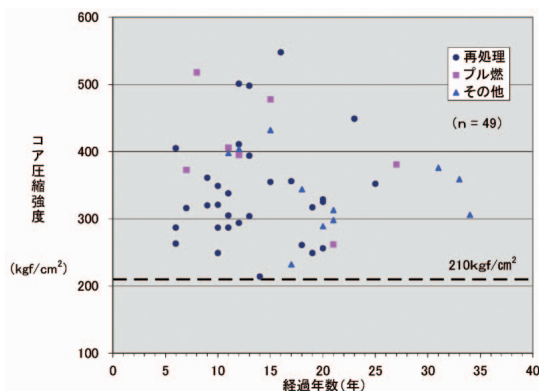


図3 東海事業所：竣工経過年数と施設平均コア強度の関係
(調査施設：47施設 2002年6月現在)

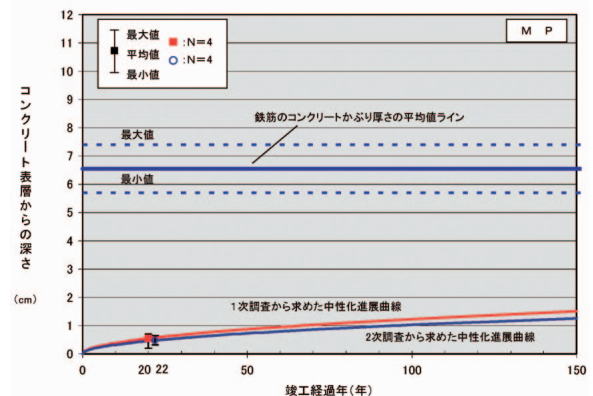


図4 寿命評価曲線の例（2002年2月現在）

(2) コンクリートの経年変化シミュレーション³⁾

コンクリート構造物（躯体）の耐久性の低下を引き起こす主な要因としては、中性化及び塩分浸透がある。中性化が外壁の鉄筋位置まで達する期間を、進行速度の予測式により評価した結果、中性化が鉄筋位置までに達する期間は各年代の施設平均かぶり厚さと中性化速度及び速度式の関係から竣工後50年以上の経過年があることがわかった（図4参照）。

また、塩分がコンクリート内に浸入していくことにより生じる鉄筋腐食も、その腐食速度に着目

し、塩化物量が有害な値に達するまでの進行速度予測式³⁾により評価した。その結果、将来（竣工後50年程度³⁾）にわたって鉄筋位置で塩化物量が腐食限界値となる可能性はかなり低いことが分かった。

2.4 まとめ

これまでの調査結果と経年変化シミュレーション結果から、調査したサイクル機構東海の核燃料施設建物については、以下のようにまとめられる。

(1) 経年化に伴って進行すると考えられるコンクリート中性化や塩分浸透による鉄筋の発錆程度について、実測したコンクリートコア強度値及び鉄筋発錆程度から、現状において躯体の健全

性の低下は認められなかった。また、シミュレーション予測から、竣工後50年程度までは躯体の健全性が保たれることが推測された。

(2) 経年化した核燃料施設建物の健全性の維持は、上記(1)に示すとおり、コンクリート及び鉄筋が健全であることから、当面は4.1日常的モニタリング手法で述べる日常的な点検や定期点検、外装の定期改修など現状の補修技術により確保可能である。

3. 建物経年変化(劣化)傾向の評価手法の開発

コンクリート構造物の耐久性を詳細に診断するには、コンクリートコアの採取やはつり等の破壊試験に加え、現地調査後の補修等の処置も必要である。その頻度が増えれば費用もかさむこととなる。

そのため、経済性と評価手法の信頼性向上を図る観点から各種の建物経年変化傾向評価手法を検討した。

3.1 躯体コンクリート強度の測定と評価手法

躯体コンクリート強度の測定については、2.2(1)で述べたとおり、コンクリートコアを採取し圧縮強度を測定することが一般的である。通常一般建物の場合は、建物の各面から1箇所から3箇所程度コアを採取して評価を行うことが多い。

核燃料施設の場合、耐震壁や放射能の閉じ込め機能の維持などの制限から安易にコアを採取できないことがある。このため、非破壊測定法であるシュミットハンマ法⁵⁾で得られる測定結果と同一箇所のコア強度との関係から、施設ごとの躯体強度推定式を求める手法を新規に開発した。

以下に、プルトニウム燃料開発施設の例を示す。

図5-1は、旧東京都建築材料検査所(以下「旧都材検」と示す)の式より求めたプルトニウム燃料施設の推定強度とコア強度の関係を示している。推定式の妥当性検討として、この旧都材検の式のほかに建築学会及び材料学会の式を用いて検定した結果、旧都材検の式が最も適合性の良い式となったため、比較評価として例示した。この散布図より求まる相関は負の相関($y = -0.1745x$)であり、図中には、等値線と等値線より $\pm 50 \text{ kgf/cm}^2$ の補助線を併記した。旧都材検の式の適合性についての詳細は参考文献³⁾に示す。また、

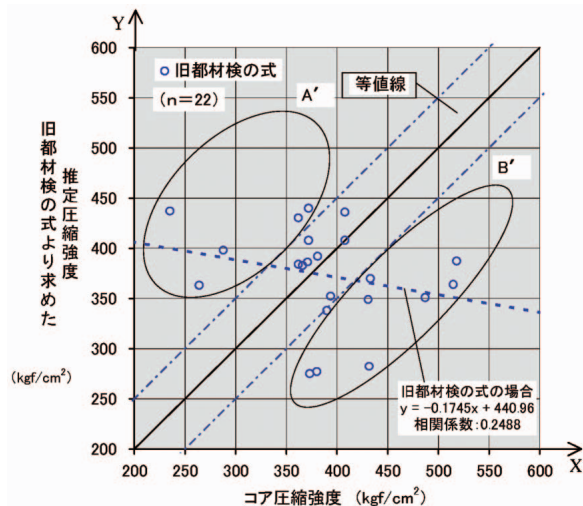


図5-1 プルトニウム燃料施設:コア強度と旧都材検の式より求めた推定圧縮強度の関係
(2002年6月現在)

目安値として設けた補助線では含まれた範囲(領域)を外れる(等値線に対して $\pm 50 \text{ kgf/cm}^2$ 以上)部分をA'領域、B'領域とした。これらのコンクリート強度と推定値とのばらつきを考慮するため、施設ごとにコア採取した位置の反発度から既存の強度推定式を用いて求めた推定強度と、コア強度の差の2乗検定を行い、適合性の良い推定式を選定した(ここで言う「適合性の良い」とは2乗検定での差の小さいものをいう)。この場合、領域B'の部分は狭くなるが、実際に測定したコア強度値よりかなり大きな値となる。また、領域A'の部分は等値線には近づかない。このことは、推定値が常に過大に評価されることになる。

このため、さらに良い補正方法として、まず、適合性の良い強度推定式中にコア圧縮強度 F_c と反発度 R の実測値を代入し定数項(切片)を決定する。この補正方法を用いて、プルトニウム燃料施設のそれぞれの施設建物ごとに行い図6のフローチャートで示す方法でプロットした図が図5-2である。図5-2は各次調査対象施設の全データを集計し、反発度とコア強度の関係から今回開発した式を用いてプロットしたデータである。

$$(a) F_c = 10R - 110 \text{ (旧建材検の式)}$$

$$(b) F_c = 7.3R + 100 \text{ (日本建築学会の式)}$$

$$(c) F_c = 13R - 184 \text{ (日本材料学会の式)}$$

F_c : 推定圧縮強度 (kgf/cm^2)

シュミットハンマ法では、躯体コンクリートの表面反発度から、下式に示す既往の推定式を参考に建物ごとの固有の補正式を定めて躯体強度を測定する方法がとられる。一般的には以下の3つの式が通常多く利用されている⁹⁾。

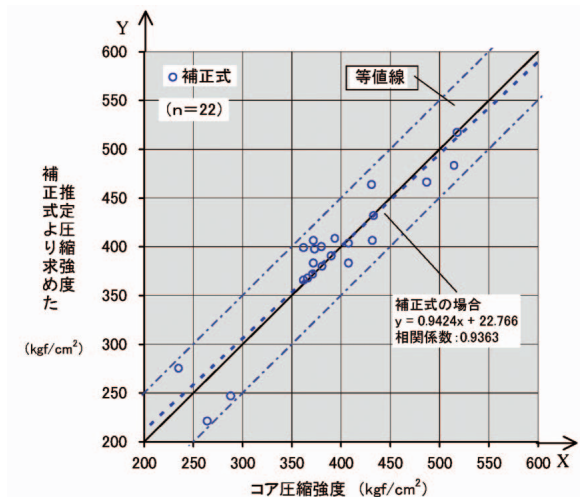


図5-2 プルトニウム燃料施設：コア強度と補正式より求めた推定圧縮強度の関係
(2002年6月現在)

R ：シュミットハンマの反発度

開発した各施設の強度推定式は、要求されたコンクリート性能が同一と思われる部位（躯体外壁部）に対しては十分に対応できる。なお、施設建物ごとの強度推定式の検定方法、補正方法については、図6に施設固有の強度推定式の決定までの手順のフローを示す。

図5-2は図5-1より見かけ上コア強度と推定強度の適合性は良くなるが、あくまでもコア採取した位置のコア強度と反発度から求めたプロットデータであり、それらの補正した式がコンクリート構造物1施設全体の各種部位をカバーしているわけではないことに注意する必要がある。

図7はプルトニウム燃料施設のコンクリートコア圧縮強度補正式（実線）と他の推定式を示し、図中の表は各推定式の適合度を示したものである。

3.2 経年変化のデータ採取法：小径ドリル法

コンクリート中性化深さ測定やコンクリート塩分含有量測定のためには、コンクリートコアの採取やコンクリートをはつる方法が一般的である。

しかし、更に簡便に行う方法として、小径ドリルを用いた中性化深さ測定方法（表2参照）についてはつり法と比較検討した。図8は中性化測定方法として一般的に用いられるはつりによって求めた5点計測平均値と小径ドリルはつり粉採取法17点平均値の関係を示すグラフである。最小2乗法による近似曲線が等値線の傾きに近い値（相関

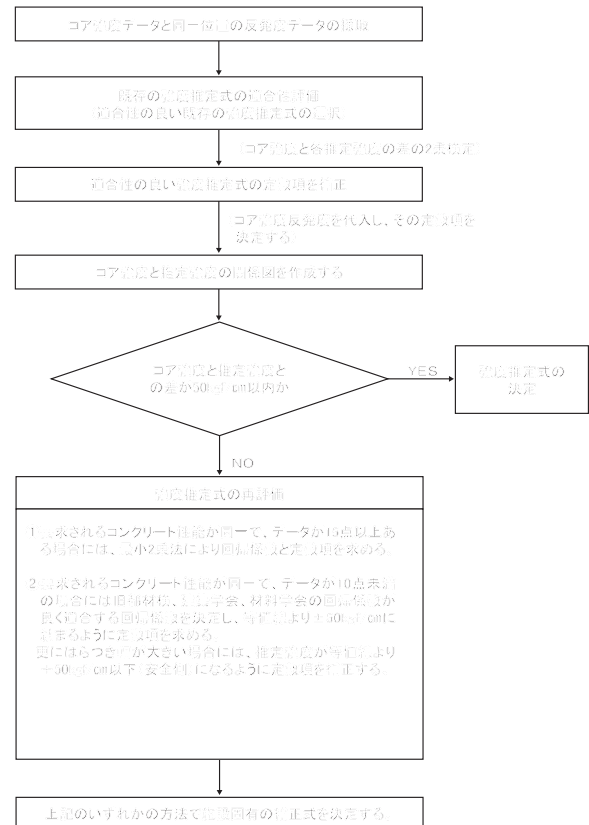


図6 施設固有の強度推定式決定までのフロー

係数0.9166)であり、良い適合性があると言える。また、中性化深さのばらつきと測定位置のばらつきを考慮しても適合性がよい。

従って、コンクリート中性化深さ測定として、「小径ドリルはつり粉採取法」（表2参照）が有効な調査手法であると判断した。

さらに「コンクリート塩分含有量測定のための小径ドリルはつり粉採取法」（表2参照）も同様の

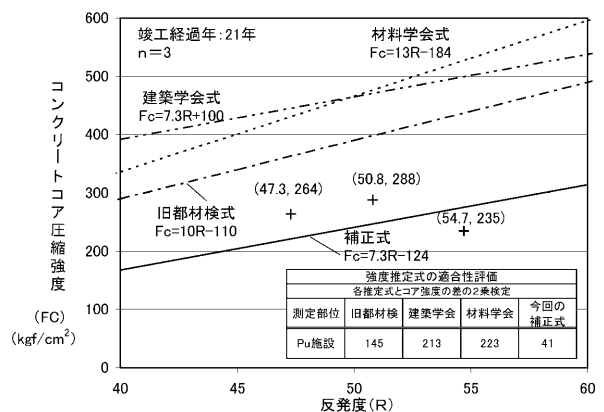


図7 プルトニウム燃料施設の強度推定式の検定
(2002年6月現在)

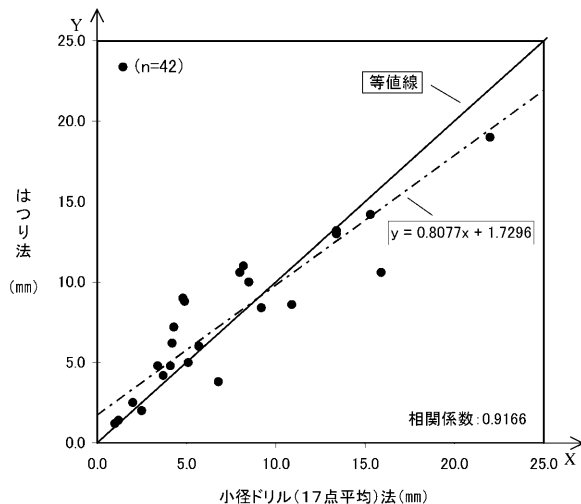


図8 再処理施設中性化深さ測定方法の検定
(2002年6月現在)

傾向が見られたことから有効な調査手法であると判断できる³⁾。

現在、この方法により、現地での核燃料施設建物の経年変化調査としてのデータを採取している。

3.3 外部機関の測定評価手法

施設建物に対する経年変化評価手法の標準化については、民間規格から統一的な規格への移行が進んでいる。以下にその主な規格を示す。

- ・コンクリート圧縮強度を非破壊方法にて測定するためのコンクリートの反発強度の測定方法 (JIS A 1155:2003)
- ・コンクリートの中性化深さ測定に用いる試薬や測定方法、計算方法等に関する方法 (JIS A 1152:2002)
- ・硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験に用いる分析方法や試料の取扱い等に関する方法 (JIS A 1154:2003)

今回実施してきた経年変化対応策では、国内外の各種文献を用いて調査手法等の比較評価(妥当性や経済性等の検討)から、手法を選定し調査を実施してきたが、今後の核燃料施設建物経年変化調査においては、これらの整備した手法や注意点等を参考にJIS規格で定められた統一的な手法でデータを採取することにより、信頼性の高い統一的な評価を行うことが可能になると考えられる。

4. 建物モニタリング手法の開発

核燃料施設は、補修・改修等の施設維持管理に

加え、長寿命化対策や合理的な再利用化対策を検討するためには、核燃料施設に対する建物モニタリングが必要となる。そのための日常的なモニタリング手法の整備やモニタリングのための非破壊の手法を開発した。

4.1 日常的モニタリング手法

日常的なモニタリングを行うための手法として、核燃料施設を対象に専門的知識を必要としない統一的手法を、今回新規に作成した。測定器具を用いない目視調査のみのチェックリストや、定量的な経年変化量を記録する保全シートで経年変化状況を集計概括する方法がある。また、ひび割れや外装材劣化等の程度や面積を定量的に把握するため、テストハンマや巻尺、クラックスケール等を用いて単位面積あたりの劣化度を計測する方法がある。それらの手法のうち、外壁を対象にした保全シートの例を表4に示す。なお、保全シートには外壁用以外に、屋上用(陸屋根、勾配屋根)があり、本シートの運用開始前には建物を管理する保全担当者を対象に説明会を実施し、事業所各施設において定期的に点検が実施されている。

このほかに、経年変化対応のためのデータベースとして東海事業所施設建物59施設の劣化写真を含む経年調査データと評価結果、中長期保全計画策定のための日常的点検手法とフォーマットなどを収納したデータベースを活用することにより体系的にモニタリングから保全計画策定までができる(図9参照)。

4.2 非破壊的手法

非破壊的なモニタリング手法には日常的な点検手法で述べた目視調査やテストハンマなどを用いる方法もあるが、より定量的にかつ簡便に計測できる手法を開発したので本稿で紹介する。

(1) 鉄筋腐食度モニタリング(新規開発)

内部鉄筋の腐食状況を調べる方法には、一般的に用いられている、鉄筋が維持している自然電位の変化を随時測定して鉄筋の腐食状態を推定する方法がある。この測定を継続的に容易に行えるようにするため、電位測定部のプラグ・キャップ構造(測定検出端子機構)を開発した。電位測定時には躯体表面にとりつけたキャップをはずし、センサーを電位測定口のフェルトを介して、一方の導通端子に接続させて測定を行う(図10-1, 10-2

表4 外壁保全シート

建物名：		所管：		点検年月日：		点検者氏名：	
評 価 項 目		東 ・ 西 ・ 南 ・ 北面				記 入 方 法	
		判 定	劣 化 状 況		処 置		
汚 れ	汚れ、カビ、さび汚れ、エフロレッセン ス（白色析出物）が認められるか。					まず、劣化症状が認められるか、認められないかを評価項目ごとに判定する。該当するものがない場合は：- とする。次に劣化症状が認められる場合は、そのおよその範囲、程度を範囲記号として、点検部位、上段の欄に記入する。 な：なし 1：1割未満 2：1割～2割未満 3：3割以上	
割 れ	ひび割れ（パネル材の割れも含む）が認められるか。					更に、その個々の大きさを距離の程度を表す距離記号として点検部位下段の欄に記入する。 接：肉眼で接近しないとわからない。 近：1～2 m程度に近づかないとわからない。 遠：5～6 m離れても、肉眼ではっきりわかる。	
浮 き	浮き、ふくれ、はく落（パネル材にあっては、欠けも含む）が認められるか。					又、外装材のチョーキングについては、指触によりその付着の有無を判定する。 無：粉体がかからない 有：粉体がつく	
キ ン グ ー	外装材のチョーキング（粉化）が認められるか。					漏水についてはさび汁を伴うか、伴わないかを距離記号のかわりに記入する。 錆：さび汁を伴っている漏水	
腐 食 ・ 錆	鉄骨材・鉄筋の錆が認められるか。					劣化症状が認められ、その各種劣化症状に対して、単一的又は複数的にどのように処置するかを処置欄に記入する。	
	付属金属部材等の腐食（錆・塗装劣化含む）が認められるか。					経：経過観察 掃：清掃 応：応急処置 修：部分補修 全：全面補修 改：改良・改修 交：交換 補：補強 詳：詳細調査	
の び ・ 縮 み ・ 変 形	収縮・誘発目地・窓・扉の開口部・パネル材等の取合部等のシーリング材の劣化・割れ・破断・変形・硬化が認められるか。					尚、処置の方法は建物の用途の途中の違いからPA上の重要施設と一般事務管理施設、倉庫等とは、その対応する要求度も違うため、建物を所管する各課室の判断により、実状にあった処置の方法とする。	
漏 水	漏水または漏水跡が認められるか。					【用語の解説】 附属金属部材等：屋外階段、タラップ、樋、手摺、パラベット・笠木の外壁部、側溝蓋、外部配管類、サポート類	
変 形	はり、柱等の変形、たわみ、構造的（せん断や鉄筋膨張等による）ひび割れが認められるか。					構造的ひび割れ：肉眼ではっきり見えるはり、柱、体力壁のせん断又は、斜めのひび割れ、鉄筋さびによるコンクリートの膨張ひび割れ、外壁に数えきれない程あるひび割れ	
	付属金属部材等の変形、ガタツキが認められるか。						
	開口部、建具（シャッター含む）の変形、ガタツキが認められるか。						

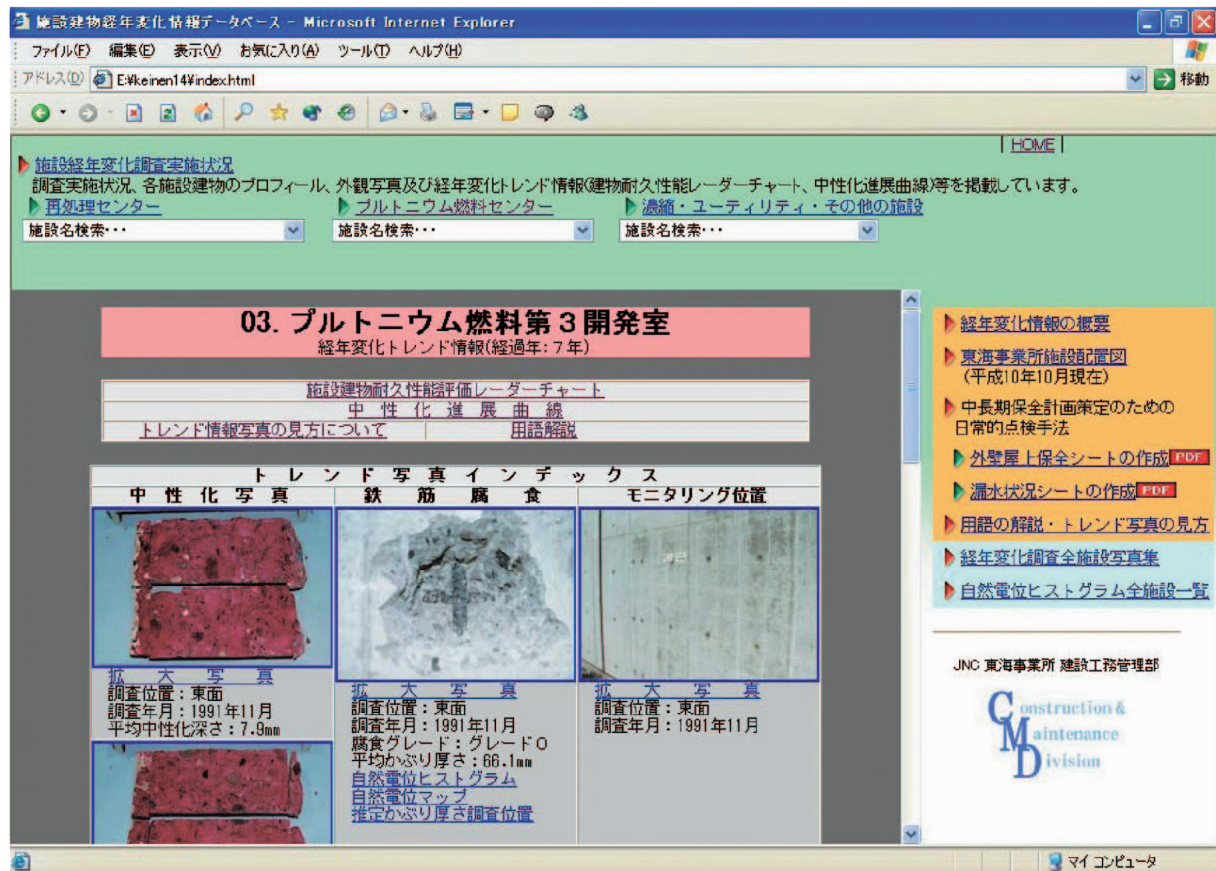


図9 Web対応東海事業所施設建物経年変化情報データベース画面例 トrend写真インデックス

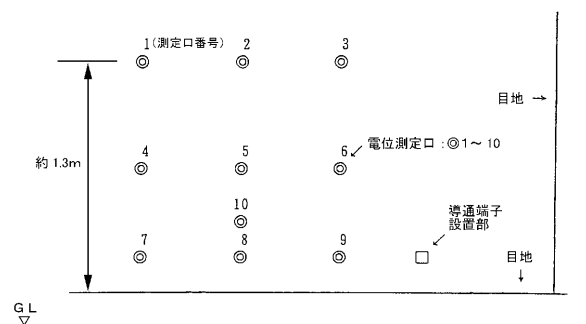


図10-1 躯体(外壁)に設置した電位測定口及び導通端子の状況図

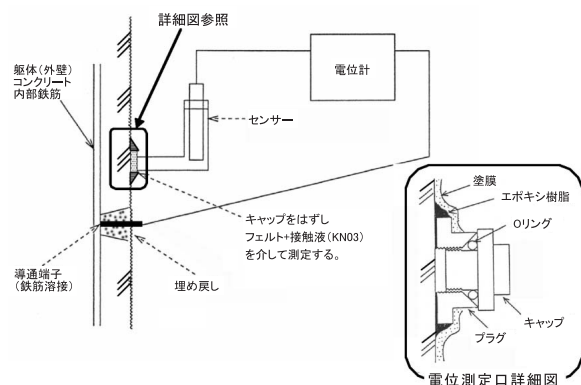


図10-2 鉄筋腐食モニタリング概念図

参照)。鉄筋の配筋状態は表2に示すような各種の探査機器を用いて鉄筋位置を把握する。

なお、本モニタリング法には、以下のメリットがある。

- ・ 躯体コンクリートを破壊することなく、内部の鉄筋腐食状況の測定点を一度に多くとることができる。これにより、コンターマップ（等高線マップ等のグラフ化）として把握でき、経年観察がビジュアル的に判断することが可能となる。
- ・ プラグ位置を定点とした追跡（変動）調査が容易に行うことができる。
- ・ 断続的なモニタリングが可能となり鉄筋防錆処置等の補修時期の設定が適切にできる。
- ・ 経年調査ごとに発生するコンクリートのはつり作業等の破壊行為がなくなり、調査費用も低減できる。

等である。

(2) 外装材モニタリング（新規開発）

外壁改修工事は、一般的には10年を基準値として改修等の修繕行為を計画するが、外装材の寿命は環境条件や外装材の材質の程度、設置条件に

よって寿命に差が出るため、この劣化の要因とパラメータをできるだけ正確に算定できれば、外装材の実耐用年数を決定することができ、改修周期を個別に決められ改修計画等の最適化が可能となる。

そこで、核燃料施設建物の外壁改修時に、外装材の経年劣化を把握するために行う調査や試験を簡便に行うためのモニタリング試験体（外装材テストピース）を今回新規に、既存の外壁面に数箇所設置した（図11-1、11-2参照）。試験体の製作に当たり、配慮した主な点を以下に示す。

・材料及び形状

改修施工法と同じ要領で試験体を製作することはもちろんのこと、製作直後の乾燥収縮による減厚を考慮し、設置する既存の外壁面におい

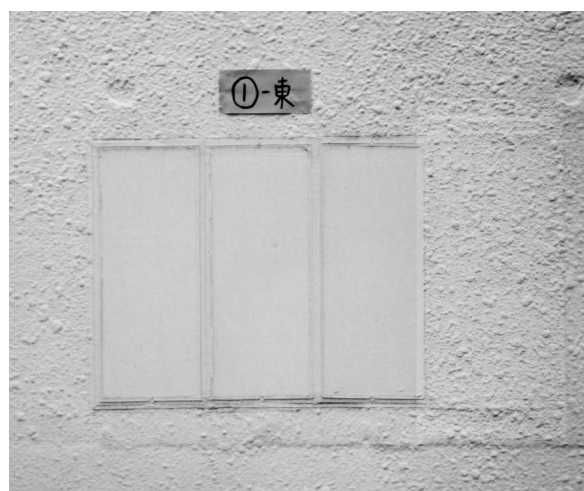


図11-1 外装材モニタリング試験体設置状況写真（分離精製工場）

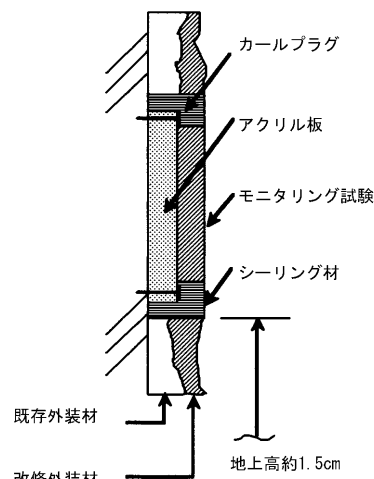


図11-2 外装材モニタリング概念図

て試験体の凹凸が目立たぬよう改修後の厚さと同一になるように製作した。

・試験体着脱方法

設置した試験体を経年後、各種物性試験のため取り外す際に、試験体の減肉または破断が生じないよう離型処理を行ったアクリル板等の上に外装材をふき、硬化後、試験体を1枚ごと外壁にプラグ止めした。

・設置位置

既存の外壁に試験体を設置するため、外壁の防水性能等を損なうことのないよう十分なシーリング処理を行い、また、雨が地面より跳ね返らぬ位置、立地環境のきびしくなる東面（海塩粒子の飛来）に設置した。

また、改修施工表面のパターンが凸凹状である事から、任意の時期に色差及び光沢度を測定できるように平滑面（表面劣化簡易測定面）を設けた。

以上、本外装材モニタリング試験体により、改修期の外装材を破壊採取することなく、経年変化測定を実施することができる。

(3) 評価と考察

建物モニタリングにより正確に経年劣化を評価するためには、保全担当者の主観によらず、かつデータ採取時における測定値のバラツキが生じないことが必要である。今回開発した2種類のモニタリング手法によるデータ（鉄筋腐食電位により測定されるデータと外装材改修時期決定データ）を用いることにより、建物の健全性を複合的に評

価することができる。また、施設建物の保全計画も適切に評価できることが判った。

開発した鉄筋腐食度モニタリング方法は、建築中の建家において直接鉄筋に配線することも可能であり、広範囲な壁面積でも対応できる。同様に、外装材モニタリングも新築時からの対応も可能であり、適切な評価がなされれば外壁改修周期の適正化や延命化を考える場合、寿命予測や劣化傾向の把握から改修費用の削減も期待できる。

図12に施設建物中長期保全計画策定までの主流れと本対応策で確立した評価手法／計画策定手法の関係を示す。確立した各種の評価手法に基づく中長期保全計画の策定から、確実に修繕行為がなされれば、施設建物の長寿命化が可能となり、施設の安定的な稼働と有効的な運用が図られることになる。

5. まとめ

核燃料施設建物の高経年化への対応を行うために、1991年度から実施してきた各種の現地調査評価、非破壊試験を中心とした各種の耐久性評価手法の測定精度の評価、鉄筋及び外装材のモニタリング方法の開発などを行った。

その結果、東海事業所核燃料施設地上躯体外壁部の経年変化がほとんど進行していないこと、評価手法では、シュミットハンマ法による各施設建物固有の強度推定式の決定から推定強度値の算出方法、小径ドリルを用いた中性化深さ測定時の注意点、中性化深さの代表値をまとめた。

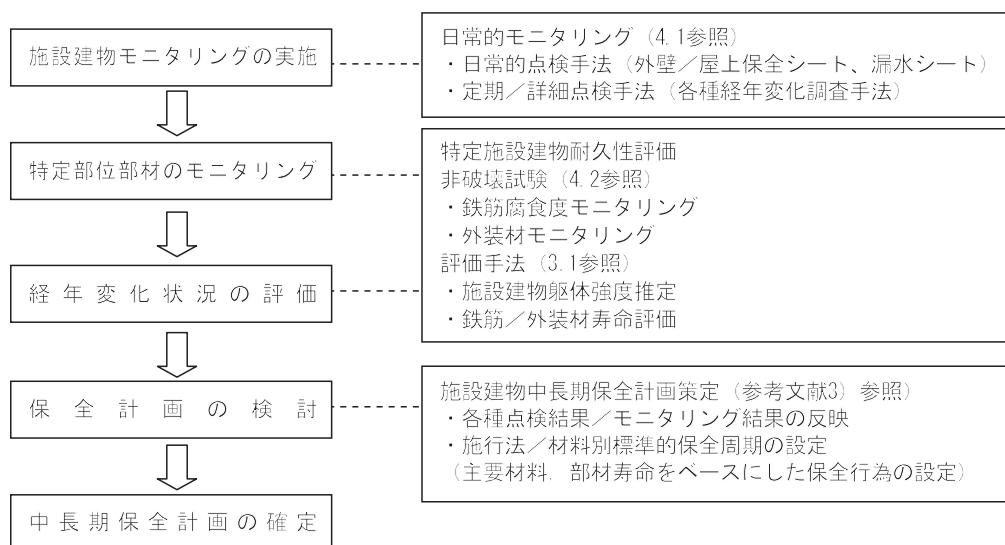


図12 施設建物中長期保全計画策定までの流れと確立した評価手法／計画策定手法の関係

これとともに、4.2.3 評価と考察で述べたが、経年変化調査結果に基づく中長期保全計画策定までの考え方を整備し、経年データと評価結果及び保全シートのフォーマット化などのデータベース（画像データ約4,000件）の構築を終えた。このことにより、施設建物の中長期保全計画策定のためのデータとして利用がスムーズになった。

今後、中長期保全計画策定などのために行う建物調査は、非破壊試験を中心に行うことになる。非破壊試験の信頼性や精度を向上させる方策としては、例えば躯体強度推定（コンクリート強度推定式）の精度を上げるために、補正のための反発度（表面硬度）と対のコア圧縮強度試験値が多いほど望ましい。しかし、現状では既存施設からコア採取を容易に行うことはできないため、対象とするコンクリート（材料）がどんな品質で管理施工されていたかなどの試験記録や設計・施工情報を設計終了時や竣工時に施設建物維持保全活動上必要な記録として保管分類、保存管理を徹底するとともに、上記の記録や保全活動記録などを良く調べてから、コンクリート強度等の耐久性評価（試験）を行うことが有効と考えられる。

6. おわりに

これまでに示した活動により、核燃料施設建物の経年変化対応の仕組みは確立でき、核燃料施設建物の経年変化調査結果から、現状の保全活動を継続していけば、長期間の使用を仮定しても、設計時に期待した性能（健全性）は十分確保される見通しを得た。

今後、施設を管理運用していくために、日常的点検等を確実に実施し中長期保全計画を策定するとともに、具体的な保全活動を展開させて、運転経験と新たな知見を踏まえた定期的な健全性等の再評価を行うことが重要である。

7. 謝辞

本対応策を進めるにあたって、経年変化データの採取・評価に御協力頂いた鹿島建設（株）技術研究所及び竹中工務店（株）技術研究所、データベース構築に多大な労力を頂いた（株）NESI など、多くの方々に厚く感謝申し上げます。

また、鉄筋腐食モニタリングの開発では、竹中工務店小田川雅朗氏並びに米沢敏男氏、外装材モニタリングの開発では、いわきレジン（株）辻橋政孝氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) JNC TN8420 99-007 “経年変化対応策平成10年度報告（調査報告）”（1999）。
- 2) JNC TN8420 2000-001 “東海事業所施設建物の経年変化傾向に関する報告書（調査報告）”，（2000）。
- 3) JNC TN8420 2002-003 “核燃料施設建物経年変化対応策に関する報告書（調査報告）”，（2002）。
- 4) JIS A 1107：“コンクリートからのコアおよびはつりの切取り方法および強度試験方法”
- 5) 日本建築学会：“コンクリートの強度推定のための非破壊試験方法マニュアル”
- 6) コンクリート工学協会：“塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定方法”