

川内原子力発電所1, 2号炉 コンクリート構造物の
特別点検（個別確認・評価）について

令和4年10月17日

九州電力株式会社

目 次

	頁
1. はじめに	1
2. 経年劣化事象と劣化要因	1
3. 特別点検（個別確認・評価）の概要	2
4. 試験方法とコアサンプル採取箇所（データ採取）	6
5. 特別点検（個別確認・評価）結果	15
6. まとめ	22

1. はじめに

本資料は、川内原子力発電所1，2号炉で実施したコンクリート構造物のデータ採取及び特別点検について、実施した内容を取りまとめたものである。

2. 経年劣化事象と劣化要因

コンクリート構造物は強度低下及び遮蔽能力低下の観点で、表2.1に示すように、これまでに高経年化技術評価において様々な劣化事象に対する技術評価を行い、その健全性を確認している。

表2.1 主な経年劣化事象と劣化要因の概要

分類	経年劣化事象	劣化要因※	イメージ図	評価概要
コンクリート	強度低下	中性化		<p>二酸化炭素濃度等の環境条件の最も厳しい範囲を選定して、中性化深さを測定し、鉄筋が腐食し始める深さまで到達していないことを確認</p>
		塩分浸透		<p>海風が直接当たる建屋外壁や取水槽等を対象に、最も塩分量が多い箇所を選定して、含有する塩化物イオン量を測定し、鉄筋の腐食量が許容値以下であることを確認</p>
		アルカリ骨材反応		<p>使用骨材が有害ではないことを確認しており、通常点検においてアルカリ骨材反応に起因するひび割れ等が無いことを確認</p>
		熱		<p>温度解析により制限値以下であることを確認</p>
		放射線照射		<p>放射線照射量解析により、照射量が目安値以下であることを確認（目安値を超える範囲がある場合は耐力評価を実施）</p>
		機械振動		<p>通常点検において、機械振動に起因するひび割れが無いことを確認</p>
		凍結融解		<p>地域性より、発生の可能性が低いことを確認</p>
	遮蔽能力低下	熱	<p>伝達熱や放射線照射に起因する内部発熱等により、内部の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力低下の可能性あり</p>	

※日本原子力学会 「日本原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2021」 参照

3. 特別点検（個別確認・評価）の概要

3.1 特別点検（個別確認・評価）の位置付け

30年目の高経年化技術評価においては、劣化事象毎に最も厳しい使用条件等にあるコンクリート構造物を代表構造物として選定し、その中で最も条件が厳しい箇所を評価点として技術評価を行い、健全性を確認した上で、その他のコンクリート構造物にも、使用条件等が代表構造物に内包されていることを踏まえて評価結果を展開している。この技術評価においては、評価の入力値となる中性化や塩分浸透、強度を確認するためのコアサンプルによる点検を実施している。

今回の特別点検では、これまで高経年化技術評価においてコアサンプルによる確認がなされていない範囲（遮蔽能力、アルカリ骨材反応）についても、点検を実施した。表3.1に特別点検の対象構造物・部位及び点検の方法を示す。

表3.1 特別点検の対象構造物・部位及び点検方法※

対象の構造物	対象の部位	着目する劣化事象	点検方法 / 点検項目
安全機能を有するコンクリート構造物 並びに安全機能を有する系統及び 機器を支持するコンクリート構造物	コンクリート	強度低下及び 遮蔽能力低下	採取したコアサンプル等による 強度、遮蔽能力、中性化、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の確認
常設重大事故等対処設備に属する コンクリート構造物及び常設重大事故 等対処設備に属する機器を支持する コンクリート構造物			

※実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド(2020.3最終改正 原子力規制委員会)より引用

通常点検においては表3.2に示すとおり、目視により各劣化要因に起因するひび割れや剥離等の異常がないことは確認できているものの、特別点検では、コンクリートの内部の状況を詳細に確認するため、対象となる構造物からコアサンプルを採取し各種試験を実施した。

表3.2 通常点検と特別点検の比較

分類	通常点検	特別点検
方法	目視	採取したコアサンプルを用いた各種試験
内容	ひび割れや剥離等の有無を確認	○強度低下に関する試験 ・中性化深さ ・塩分浸透 ・アルカリ骨材反応 ・強度 ○遮蔽能力低下に関する試験 ・乾燥単位容積質量
実施時期	毎月又は毎半年、毎年	運転開始後 35 年を経過する日以降に実施

3.2 特別点検（個別確認・評価）対象の構造物及び部位、点検項目

特別点検の点検箇所については、表3.3に示す運用ガイド*における加圧水型軽水炉の点検箇所を踏まえて劣化要因毎に選定した。対象構造物の選定の考え方は以下のとおりである。

※実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド（2020.3最終改正 原子力規制委員会）

○遮蔽能力

放射線防護要求のある「原子炉格納施設等」、「原子炉補助建屋」を対象に点検

○塩分浸透

発電所の敷地形状・レイアウト上、海岸から最も近く海風が直接当たる「取水槽」に加えて、運用ガイドで要求のある「原子炉格納施設等」、「原子炉補助建屋」、更には屋外に配置している「タンク・貯油槽基礎」を対象に点検

○中性化深さ・アルカリ骨材反応

全ての構造物で起こり得る事象であるため、「全構造物」を対象に点検

○強度

各劣化要因による強度低下への影響の有無を確認するため、「全構造物」を対象に点検

表3.3 加圧水型軽水炉の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検項目				
		強度	遮蔽能力	中性化深さ	塩分浸透	アルカリ骨材反応
原子炉格納施設等(①)	外部遮蔽壁	○	○	○	○	○
	内部コンクリート	○	○	○	—	○
	基礎マット	○	—	○	—	○
原子炉補助建屋(②)	外壁	○	○	○	○	○
	内壁及び床	○	○	○	—	○
	使用済み燃料プール	○	—	○	—	○
	基礎マット	○	—	○	—	○
タービン建屋(③)	外壁	○	—	○	○	○
	内壁及び床	○	—	○	—	○
	基礎マット	○	—	○	—	○
取水槽(④)	海中帯	○	—	○	○	○
	干満帯	○	—	○	○	○
	気中帯	○	—	○	○	○
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	原子炉格納施設内	—	○	—	○	—
	原子炉補助建屋内	—	○	—	○	—
	タービン建屋内(タービン架台を含む。)	—	○	—	○	—
上記以外の構造物(安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)(⑤)		—	○	○	○	○

(点検項目の凡例) ○: 対象 —: 非該当

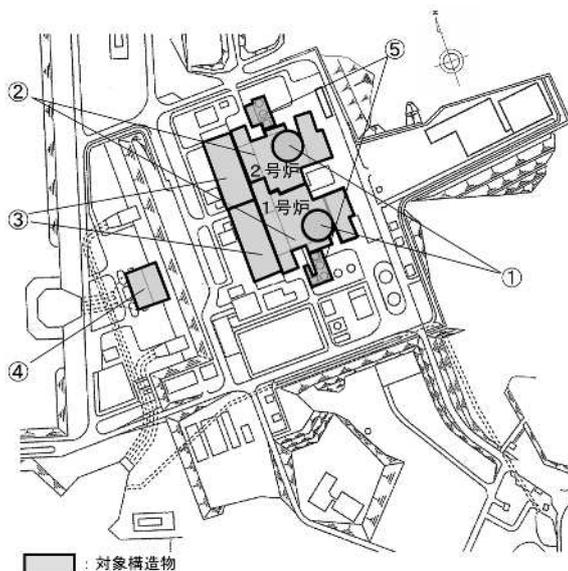


図3.1 プラント配置図

(参考) 使用しているコンクリートの材料一覧

使用材料		
骨材	粗骨材	砕石(安山岩)
	細骨材	海砂と砕砂(安山岩)の混合
セメント	フライアッシュセメント B種	
混和材料	A E減水剤	
鉄筋	異形棒鋼(SD35)	
塗装材	(外部) 弾性吹付塗料 (内部) エポキシ樹脂塗料	

3.3 特別点検（個別確認・評価）の実施体制

コンクリート構造物における特別点検については、以下の体制で実施した。なお、データ採取については、川内原子力発電所土木建築課及び協力会社である試験事業者にて実施した。

- ・特別点検実施箇所：土木建築本部
- ・特別点検実施責任者：土木建築本部 調査・計画グループ長^{※1}
- ・特別点検担当者：土木建築本部 調査・計画グループ員^{※1}
川内原子力発電所 土木建築課員^{※1}

※1 品質マネジメントシステムに基づき、特別点検の実施に必要な力量を設定

各種試験に関しては、JNLA制度^{※2}で登録された試験事業者（第三者機関）で実施した。また、試験員は、建築士、技術士、施工管理技士、コンクリート主任技士、コンクリート技士及びコンクリート診断士等の資格を保有している。

図3.2に実施体制図を示す。

※2 Japan National Laboratory Accreditation systemの略称。平成9年9月より、工業標準化法（JIS法）に基づく試験所認定制度として運営してきたが、平成16年10月より新たにJIS法に基づく試験事業者登録制度として運用を開始

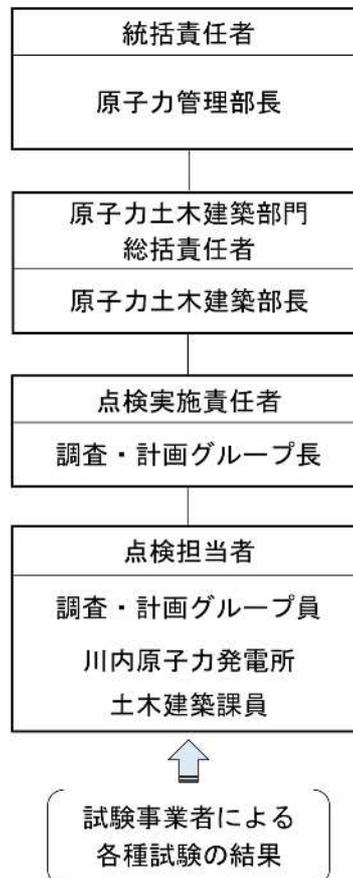


図3.2 実施体制図

4. 試験方法とコアサンプル採取箇所（データ採取）

強度低下及び遮蔽能力低下に関する各種試験は、点検対象の構造物より採取したコアサンプルを用い、表4.1に示すとおりJIS等の規準に基づき実施した。なお、コアサンプルの採取箇所は、空気環境測定や非破壊試験の結果を踏まえて選定した。以下に、各試験方法及び詳細なコアサンプル採取箇所選定の考え方について示す。

表4.1 試験方法一覧

試験項目	試験方法
中性化深さ	JIS ^{※1} A 1152 : 2018 コンクリートの中性化深さの測定方法
塩分浸透	JIS ^{※1} A 1154 : 2020 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法
アルカリ骨材反応	コアサンプルの外観観察（実体顕微鏡） ^{※2}
強度	JIS ^{※1} A 1108 : 2018 コンクリートの圧縮強度試験方法
遮蔽能力	JASS 5N ^{※3} T-601 : 2013 コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法に準じた方法

※1 日本産業規格

※2 原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」（RREP-2018-1004）

※3 日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 2013年版」



写真4.1 コアサンプル採取状況

4.1 中性化深さ

(1) 劣化要因を踏まえたコアサンプル採取上の着目点

- ・中性化は二酸化炭素の作用に伴い進行し、アルカリ性を失うことに伴う鉄筋腐食により、ひび割れや剥離が発生する可能性があることから、二酸化炭素及び温度や湿度の使用環境に着目

(2) コアサンプル採取範囲の選定

- ・空気環境は構造物や部位ごとに異なることから、約400箇所て空気環境を実測し、その結果により、環境条件による影響度の値が最も高い範囲を選定

(3) コアサンプル採取箇所の選定

- ・コンクリートの強度が低い箇所は、相対的に単位容積質量が小さく中性化が進行しやすいことから、非破壊試験（リバウンドハンマー）の値が最も小さい箇所を選定（リバウンドハンマーによる反発度と強度の関係の一例を図4.1に示す）

(4) 試験方法

- ・JIS A 1152:2018に基づき、割裂させたコアサンプルにフェノールフタレイン溶液を用い、染色しなかった（＝中性化している）領域を測定



写真4.2 温湿度計



写真4.3 二酸化炭素計測器



写真4.4 中性化深さの測定状況

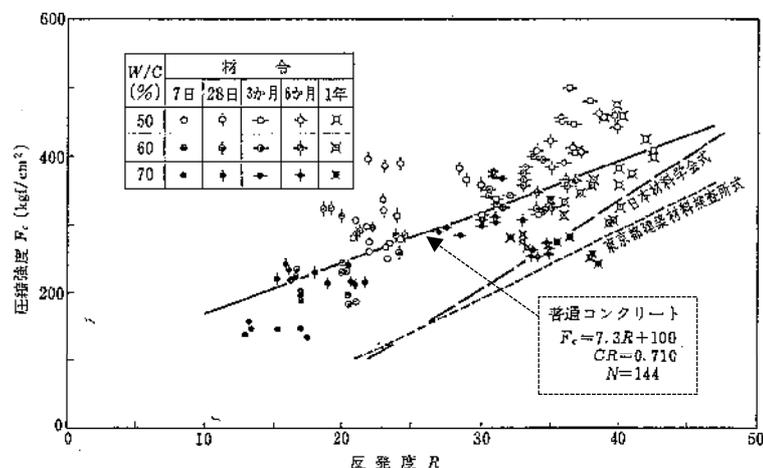


図4.1 圧縮強度と反発度との関係例（普通コンクリート）※

※日本建築学会「コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル（1983）」

4.1.1 中性化深さのコアサンプル採取箇所の選定プロセス

(1) 空気環境測定結果によるコアサンプル採取範囲の選定結果

(1号 原子炉補助建屋の例)

- ・ 空気環境の測定結果から、対象部位毎に環境条件による影響度の値（二酸化炭素、温度等で構成される森永式*による値）を算出し、この値が大きい場所をコアサンプル採取範囲に選定
- ・ 原子炉補助建屋の「内壁及び床」の場合、全139測点の中から環境条件による影響度が最も大きい箇所を選定（図4.2、図4.3参照）

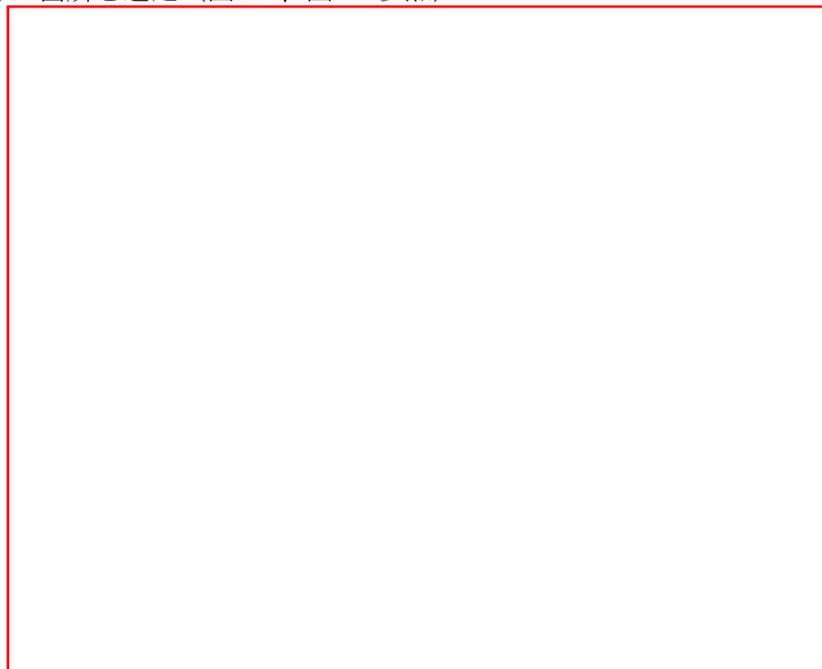


図4.2 1号 原子炉補助建屋の例（空気環境測定箇所の一部を抜粋）

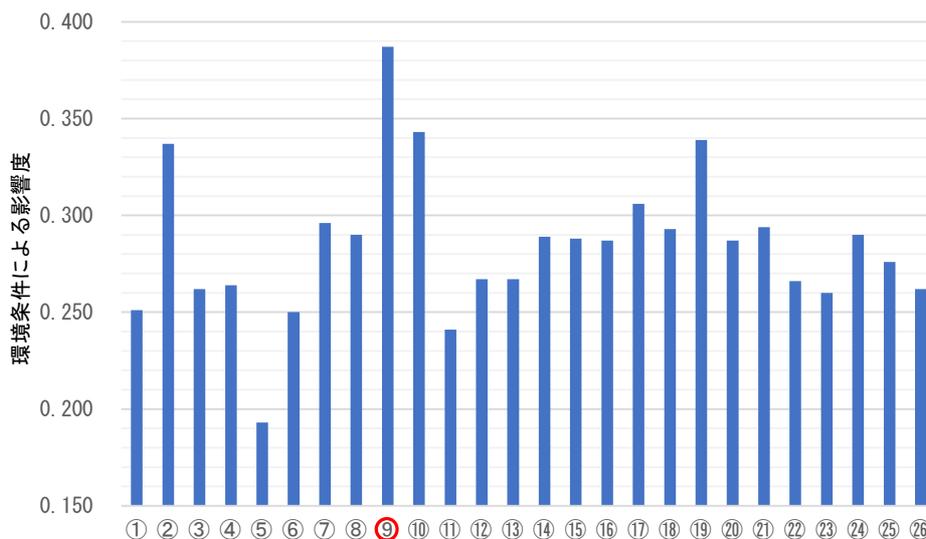


図4.3 空気環境測定結果の例

※ 森永式における環境条件による係数（下線部）から算出

$$x = \sqrt{C} \cdot \frac{(1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022T)}{\sqrt{t}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (4.6 \cdot w/c / 100 - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

x : 中性化深さ (mm) RH : 湿度 (%) T : 温度 (°C) w/c : 水セメント比 (%)
t : 材齢 (日) R : 中性化比率 C : 二酸化炭素濃度 (%) (1% = 10,000ppm)

測定期間：2019年11月1日～2020年11月8日

□内は商業機密等に係る事項であるため、公開できません。

(2) 非破壊試験(リバウンドハンマー)によるコア採取箇所の選定結果

(1号 原子炉補助建屋の例)

- ・選定したコア採取範囲において、数箇所で行った非破壊試験(リバウンドハンマー)を実施し、反発度が一番低い箇所をコアサンプル採取箇所として選定
- ・原子炉補助建屋の「内壁及び床」の場合、図4.4及び表4.2に示す地下1階ホウ酸タンクポンプ室での非破壊試験(リバウンドハンマー)の結果、No. 4の箇所にて中性化深さ測定用のコアサンプルを採取



図4.4 1号 原子炉補助建屋における非破壊試験(リバウンドハンマー)実施箇所

表4.2 非破壊試験(リバウンドハンマー)結果

構造物	対象の部位 (点検実施箇所)	測定 No.	平均 反発度	コアサンプル 採取選定箇所
原子炉補助建屋	外壁 (燃料取扱建屋地下1階 屋内部)	1	52	○
		2	57	
		3	55	
	内壁及び床 (地下1階 ホウ酸タンクポンプ室)	1	53	
		2	50	
		3	53	
		4	48	○
	使用済み燃料プール (燃料取扱建屋地下1階 使用済み燃料ピット)	1	51	
		2	49	○
		3	55	
	基礎マット (地下3階通路上部)	1	51	
		2	52	
3		48	○	

□内は商業機密等に係る事項であるため、公開できません。

4.2 塩分浸透

(1) 劣化要因を踏まえたコアサンプル採取上の着目点

- ・塩分浸透は塩化物イオンの浸透に伴う鉄筋腐食により、ひび割れや剥離が発生する可能性があることから、海からの塩分量や屋外設置等の使用環境に着目

(2) コアサンプル採取範囲の選定

- ・海風の直接当たる範囲（建屋外壁や取水槽等）を選定

(3) コアサンプル採取箇所を選定

- ・飛来塩分を捕集する器具や、X線により表面の塩分量を測定する器具を使用し、塩分量が最も多い箇所を選定

(4) 試験方法

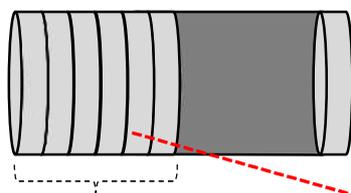
- ・JIS A 1154:2020に基づき、コアサンプルを20mm間隔でスライスし、それを粉砕し試験溶液としたものを、硝酸銀溶液で滴定し、塩化物イオン量を測定



写真4.5 飛来塩分捕集器



写真4.6 表面塩分量測定器



スライスしたコアサンプル

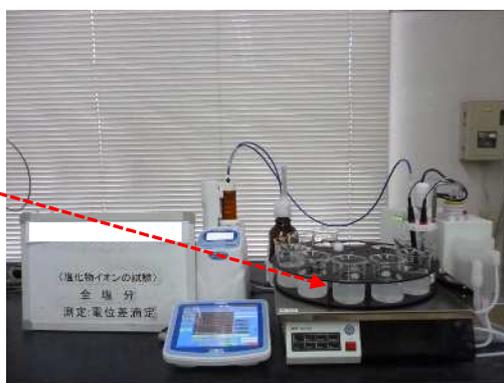


写真4.7 塩化物イオン量の測定状況

4.3 アルカリ骨材反応

1986年及び1987年にモルタルバー法（ASTM C227:1981、JASS5N T-201:1985）により有害でないことを確認しており、通常点検においてもアルカリ骨材反応に起因するひび割れが発生していないことを確認しているものの、改めてコンクリート内部の状態を、コアサンプルを採取して詳細に確認した。

(1) 劣化要因を踏まえたコアサンプル採取上の着目点

- ・アルカリ骨材反応は、反応性骨材が水分及びアルカリ分により反応し、骨材が膨張することでひび割れが発生する可能性があり、また、放射線照射の影響によって上記の反応が促進される可能性があることから、外部からの水分、アルカリ分、放射線照射量の使用環境に着目

(2) コアサンプル採取範囲の選定

- ・水分：空気環境測定の結果により、湿度が高い範囲を選定
- ・アルカリ分：塩分供給量が多い、海風の直接当たる範囲を選定
- ・放射線：放射線照射量の多い範囲（内部コンクリート）を選定

(3) コアサンプル採取箇所を選定

- ・水分：湿度が最も高い箇所を選定
- ・アルカリ分：塩分量の最も多い箇所を選定
- ・放射線：放射線照射量の最も多い1次遮蔽壁(炉心領域部)を選定

(4) 試験方法

- ・実体顕微鏡を用いてコアサンプル切断面を2～30倍に拡大し、反応リム・ゲルの有無や程度、ひび割れ状況等を詳細に観察



写真4.8 実体顕微鏡による観察状況

4.4 強度

- (1) 劣化要因を踏まえたコアサンプル採取上の着目点
 - ・強度低下につながる劣化要因全てに着目
- (2) コアサンプル採取範囲の選定
 - ・各劣化要因で抽出された全ての採取範囲
- (3) コアサンプル採取箇所を選定
 - ・対象部位毎に代表的な劣化要因に着目して選定
 - (例) 原子炉格納施設等 (内部コンクリート) : 遮蔽能力
 - 取水槽 (海中帯) : 塩分浸透
- (4) 試験方法
 - ・JIS A 1108:2018に基づき、一様な速度(毎秒 $0.6 \pm 0.4 \text{N/mm}^2$) で荷重を加え、供試体が破壊する(応力-ひずみの関係がピークに達する) ときの最大荷重を測定



写真4.9 圧縮強度の測定状況

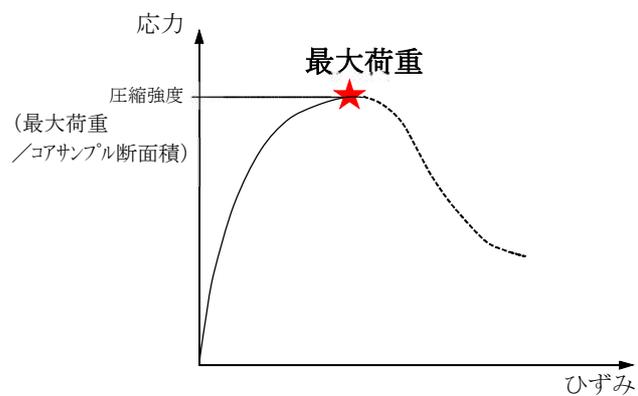


図4.5 コンクリート圧縮時の応力-ひずみ関係図

4.5 遮蔽能力

- (1) 劣化要因を踏まえたコアサンプル採取上の着目点
 - ・遮蔽能力は熱による水分逸散等に伴うコンクリートの質量減少により低下する可能性があるため、使用材料の単位容積質量に着目
- (2) コアサンプル採取範囲の選定
 - ・遮蔽能力が要求される構造物のうち、建設時の単位容積質量の小さい範囲を選定
- (3) コアサンプル採取箇所を選定
 - ・乾燥単位容積質量が小さい箇所は相対的に強度が低いことが想定されるため、非破壊試験（リバウンドハンマー）の値が最も小さい箇所を選定
- (4) 試験方法
 - ・JASS 5N T-601:2013に基づき、水中に浸漬させた供試体を $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ に保った乾燥器内で質量減量がほぼなくなるまで乾燥させ、乾燥単位容積質量を測定



写真4.10 乾燥単位容積質量の測定状況

4.6 点検箇所の選定結果

以下に、劣化要因毎に選定した点検箇所を示す。

(1) 中性化深さの点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所（1号）	点検箇所（2号）
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋内部（アニュラス）	屋内部（アニュラス）
	内部コンクリート	Aループ室外部壁	Aループ室外部壁
	基礎マット	地下4階弁保護箱室	地下3階通路部
原子炉補助建屋	外壁	燃料取扱建屋地下1階屋内部	中間建屋地下2階通路部
	内壁及び床	地下1階ホウ酸タンクポンプ室	地下1階ホウ酸タンクポンプ室
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット
	基礎マット	地下3階通路上部	地下3階通路上部
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台	地上1階タービン架台
	基礎マット	地下2階タービン架台	地下2階タービン架台
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁、取水ピット床	海水ポンプ室壁、取水ピット床
	干満帯	海水ポンプ室床	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端	埋設部基礎天端
	燃料取替用水タンク基礎	配管トレンチ内	配管トレンチ内

(2) 塩分浸透の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所（1号）	点検箇所（2号）
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部	屋外部
原子炉補助建屋	外壁	屋外部	屋外部
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁、取水ピット床	海水ポンプ室壁、取水ピット床
	干満帯	海水ポンプ室床	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端	埋設部基礎天端
	燃料取替用水タンク基礎	屋外部基礎天端	屋外部基礎天端

(3) アルカリ骨材反応の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所（1号）	点検箇所（2号）
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁	1次遮蔽壁
	基礎マット	地下4階弁保護箱室	地下4階弁保護箱室
原子炉補助建屋	外壁	屋外部	屋外部
	内壁及び床	地上1階通路部	中間建屋地下3階海水供給管エリア
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット	燃料取扱建屋地下2階使用済み燃料ピット
	基礎マット	地下3階通路上部	地下3階通路上部
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台	地上1階タービン架台
	基礎マット	地下2階タービン架台	地下2階タービン架台
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁	海水ポンプ室壁
	干満帯	海水ポンプ室床	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端	埋設部基礎天端
	燃料取替用水タンク基礎	屋外部基礎天端	屋外部基礎天端

(4) 強度の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所（1号）	点検箇所（2号）
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁	1次遮蔽壁
	基礎マット	地下4階弁保護箱室	地下4階弁保護箱室
原子炉補助建屋	外壁	屋外部	屋外部
	内壁及び床	A非常用ディーゼル発電設備基礎	B非常用ディーゼル発電設備基礎
	使用済み燃料プール	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット	燃料取扱建屋地下1階使用済み燃料ピット
	基礎マット	地下3階通路上部	地下3階通路上部
タービン建屋	内壁及び床	地上1階タービン架台	地上1階タービン架台
	基礎マット	地下2階タービン架台	地下2階タービン架台
取水槽	海中帯	海水ポンプ室壁、取水ピット床	海水ポンプ室壁、取水ピット床
	干満帯	海水ポンプ室床	海水ポンプ室床
	気中帯	海水ポンプ室壁	海水ポンプ室壁
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		埋設部基礎天端	埋設部基礎天端
	燃料取替用水タンク基礎	配管トレンチ内	配管トレンチ内

(5) 遮蔽能力の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所（1号）	点検箇所（2号）
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋上部	屋上部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁	1次遮蔽壁
原子炉補助建屋	外壁	地下1階洗浄排水蒸気装置室	地下2階通路部
	内壁及び床	地上1階中間階	地下2階通路部

5. 特別点検（個別確認・評価）結果

5.1 中性化深さの点検結果

全ての対象部位において、中性化深さがコンクリートのかぶり厚さを下回っており、鉄筋位置まで到達していないことを確認した。

表5.1 中性化深さの点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考※2
		1号 平均中性化深さ※1 (mm)	2号 平均中性化深さ※1 (mm)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	8.8	19.2	60
	内部コンクリート	1.7	1.3	60
	基礎マット	26.0	33.4	100
原子炉補助建屋	外壁	42.2	43.3	70
	内壁及び床	31.9	5.3	70
	使用済み燃料プール	36.5	14.8	70
	基礎マット	36.5	30.6	70
タービン建屋	内壁及び床	27.5	20.4	95
	基礎マット	10.5	4.0	80
取水槽	海中帯	2.7	0.5	85
	干満帯	2.0	0.0	87
	気中帯	11.5	11.8	90
上記以外の構造物	非常用ディーゼル発電 用燃料油貯油槽基礎	1.9	4.0	70
	燃料取替用水タンク 基礎	28.7	3.4	70

※1 コアサンプル3本の平均値

※2 当該箇所のかぶり厚さ (mm)

5.2 塩分浸透の点検結果

全ての対象部位において、鉄筋の腐食減量が許容値を下回っていることを確認した。評価の手順は以下のとおり。

(評価の手順※)

- ①塩化物イオン量を測定
- ②鉄筋位置の塩化物イオン量を基に、鉄筋の腐食減量を算出
- ③腐食減量が「かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋減量（許容値）」未満であることを確認

※ 森永繁 「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)」

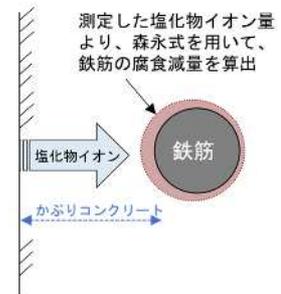


表5.2 塩分浸透の点検結果（塩化物イオン量）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考
		1号 平均塩化物イオン量※ (kg/m ³)	2号 平均塩化物イオン量※ (kg/m ³)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	0.1	0.2	
原子炉補助建屋	外壁	0.1	0.1	
取水槽	海中帯	2.6	2.0	
	干満帯	4.3	3.0	
	気中帯	1.1	1.3	
上記以外の構造物	非常用ディーゼル 発電用燃料油 貯油槽基礎	0.2	0.1	
	燃料取替用水 タンク基礎	0.1	0.1	

※ コアサンプル3本の平均値

表5.3 塩分浸透の点検結果（鉄筋腐食減量）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考※ ¹
		1号 平均鉄筋腐食減量 ($\times 10^{-4}$ g/cm ²)	2号 平均鉄筋腐食減量 ($\times 10^{-4}$ g/cm ²)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	8.2	8.4	70.1
原子炉補助建屋	外壁	6.6	6.8	78.1
取水槽※ ²	海中帯	0.9	0.7	86.4
	干満帯	1.9	1.3	88.1
	気中帯	2.6	2.9	84.5
上記以外の構造物	非常用ディーゼル 発電用燃料油 貯油槽基礎	7.3	7.5	78.1
	燃料取替用水 タンク基礎	7.3	7.5	78.1

※¹ 許容値 ($\times 10^{-4}$ g/cm²)

※² 「取水槽」の塩化物イオン量は他部位と比較して大きい、森永式の鉄筋腐食減量は「かぶり厚さ」の2乗に反比例する式であり、「取水槽」のかぶり厚さは他部位と比較して大きいことから、鉄筋腐食減量は他部位より小さい

5.3 アルカリ骨材反応の点検結果

(1) アルカリ骨材反応の判定基準

アルカリ骨材反応は、進行段階に応じた i ~ v の 5 つの項目について、反応の程度を観察し、劣化度を評価する。

⇒ 劣化度 i ~ iii は反応性なし、劣化度 iv ~ v は反応性ありと判定

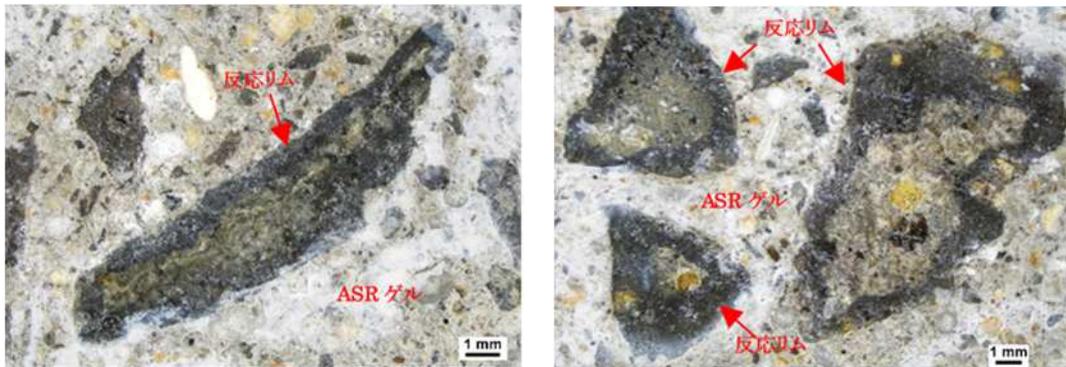
表5.4 アルカリ骨材反応の判定基準(アルカリ骨材反応の進行状態の分類に関する文献※1参考)

		進行段階				
		i	ii	iii	iv	v
項目		骨材の反応リム※2の形成 	セメントペーストへのゲル※3の滲み 	骨材のひび割れ、ゲル充填 	セメントペーストのひび割れ、ゲル充填 	セメントペースト気泡へのゲル充填 
参考写真						
劣化度		軽微※4 (潜伏期)			中程度 (進展期・加速期)	顕著 (加速期・劣化期)
反応性		反応性なし			反応性あり	

- ※1 Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan (2004)」
Katayama et al. 「Late-Expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan (2008)」
- ※2 アルカリ骨材反応により生じる骨材粒子周縁部の変色
- ※3 骨材粒子中の反応性シリカ鉱物がコンクリート中で高アルカリに溶解した生成物
- ※4 潜伏期に該当する極めて軽微な反応は、健全なコンクリートの多くに認められる現象である

(2) アルカリ骨材反応の観察結果

原子炉格納施設等(外部遮蔽壁)における実体顕微鏡による観察写真の例は以下の通り。



粗骨材に反応リムの形成(i)とゲルの滲み(ii)が認められた

粗骨材に反応リムの形成(i)とゲルの滲み(ii)が認められた

写真 5.1 実体顕微鏡による観察写真の例

(3) アルカリ骨材反応の点検結果

全ての対象部位において、アルカリ骨材反応の反応性がないことを確認し、岩石学的評価の必要性（有害膨張の可能性）はないと判断した。

なお、点検方法の選定プロセス及び点検結果の妥当性確認のため、進行段階 ii のコアサンプルの一部について岩石学的試験（偏光顕微鏡観察）も行い、進行段階を判定した結果、実体顕微鏡での評価と同等であることを確認している。

表5.5 アルカリ骨材反応の点検結果

対象構造物	対象部位	実体顕微鏡 観察結果〔1号〕		実体顕微鏡 観察結果〔2号〕	
		進行段階	反応性	進行段階	反応性
原子炉格納 施設等	外部遮蔽壁	ii	反応性 なし	i	反応性 なし
	内部コンクリート	i		i	
	基礎マット	i		i	
原子炉補助 建屋	外壁	i		i	
	内壁及び床	ii		i	
	使用済み燃料プール	ii		i	
	基礎マット	なし		i	
タービン建屋	内壁及び床	ii		i	
	基礎マット	なし		i	
取水槽	海中帯	ii		ii	
	干満帯	ii		ii	
	気中帯	ii		ii	
上記以外の 構造物	非常用ディーゼル発電 用燃料油貯油槽基礎	ii		ii	
	燃料取替用水タンク 基礎	ii		ii	

5.4 強度の点検結果

全ての対象部位において、設計基準強度を上回ることを確認した。

表5.6 強度の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考 ^{※2}
		1号 平均圧縮強度 ^{※1} (N/mm ²)	2号 平均圧縮強度 ^{※1} (N/mm ²)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	44.7	47.0	22.1
	内部コンクリート	43.0	46.8	22.1
	基礎マット	36.3	51.0	22.1
原子炉補助建屋	外壁	50.4	49.3	22.1
	内壁及び床	43.4	29.9	22.1
	使用済み燃料プール	34.0	43.0	22.1
	基礎マット	51.0	40.8	22.1
タービン建屋	内壁及び床	39.7	36.7	22.1
	基礎マット	44.7	43.0	17.7
取水槽	海中帯	38.5	38.7	23.5
	干満帯	29.9	32.0	23.5
	気中帯	45.4	43.7	23.5
上記以外の構造物	非常用ディーゼル発電用 燃料油貯油槽基礎	43.5	41.8	22.1
	燃料取替用水タンク 基礎	44.0	31.0	22.1

※1 コアサンプル3本の平均値

※2 設計基準強度 (N/mm²)

5.5 遮蔽能力の点検結果

全ての対象部位において、平均単位容積質量、平均乾燥単位容積質量ともに設計値を上回ることを確認した。

表5.7 遮蔽能力の点検結果（1号）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考 ^{※2}
		平均単位容積質量 ^{※1} (g/cm ³)	平均乾燥単位容積質量 ^{※1} (g/cm ³)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	2.303	2.210	2.200
	内部コンクリート	2.363	2.261	
原子炉補助建屋	外壁	2.353	2.262	
	内壁及び床	2.313	2.213	

※1 コアサンプル3本の平均値

※2 設計値 (g/cm³)

表5.8 遮蔽能力の点検結果（2号）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考 ^{※2}
		平均単位容積質量 ^{※1} (g/cm ³)	平均乾燥単位容積質量 ^{※1} (g/cm ³)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	2.321	2.223	2.180
	内部コンクリート	2.358	2.238	
原子炉補助建屋	外壁	2.313	2.207	
	内壁及び床	2.340	2.233	

※1 コアサンプル3本の平均値

※2 設計値 (g/cm³)

5.6 特別点検（個別確認・評価）結果（総評）

各点検項目に対する特別点検の結果、強度低下及び遮蔽能力低下に影響を与える恐れのあるコンクリートの劣化はなかった。

表5.9 特別点検結果総評

対象の 機器・ 構造物	経年劣化 事象	点検項目	特別点検実施時期 (データ採取実施時期)	点検結果
コンク リート 構造物	強度低下	中性化深さ	1号：2021/10/21～2022/ 9/20 (2020/ 9/ 4～2021/12/24) 2号：2022/ 8/16～2022/9/20 (2022/ 2/21～2022/ 6/24)	強度低下に影響を 与える恐れのある コンクリートの 劣化なし
		塩分浸透	1号：2021/10/21～2022/ 9/20 (2020/ 9/ 4～2020/12/ 9) 2号：2022/ 8/16～2022/ 9/20 (2022/ 2/22～2022/ 7/14)	
		アルカリ 骨材反応	1号：2021/10/21～2022/ 9/20 (2020/ 9/ 8～2022/ 2/ 2) 2号：2022/ 2/21～2022/ 9/20 (2020/11/28～2022/ 5/12)	
		強度	1号：2021/10/21～2022/ 9/20 (2020/ 9/ 4～2021/12/27) 2号：2022/ 2/21～2022/ 9/20 (2020/11/28～2022/ 7/ 5)	
	遮蔽能力 低下	遮蔽能力	1号：2022/ 4/14～2022/ 9/20 (2021/10/29～2022/ 2/13) 2号：2022/ 2/21～2022/ 9/20 (2020/11/28～2022/ 7/ 9)	遮蔽能力低下に影響を 与える恐れのある コンクリートの 劣化なし

6. まとめ

- ・コンクリート構造物の特別点検においては劣化要因を分析し、これまでの高経年化技術評価では確認していなかった範囲も含め、使用条件や使用環境条件が最も厳しい箇所から採取したコアサンプルにより、中性化深さ、塩分浸透、アルカリ骨材反応、強度、遮蔽能力、の5つの点検項目について、点検を実施した。
- ・この点検により、実施時点（運転開始より約40年経過時点）において、コンクリートの健全性に影響を与える劣化は認められなかった。