

美浜発電所3号炉 特別点検 (コンクリート構造物) (案)

平成28年3月3日
関西電力株式会社

1. 要求事項	.....	2
2. 点検方法	.....	2
2-1 点検方法	.....	2
2-2 点検項目の詳細	.....	3
2-3 点検方法の選定	.....	4
3. 点検箇所	.....	7
3-1 選定プロセス	.....	7
3-2 選定結果	.....	13
4. 点検結果	.....	16
5. まとめ	.....	20

1. 要求事項 2. 点検方法

対象の機器・構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び点検方法

(「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」より)

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			

2-1 点検方法

2-1-1 点検の概要

- ・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、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。
- ・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、その中でも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。また、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。
- ・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についても、点検を実施。

2. 点検方法

2-2 点検項目の詳細

・(「实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」より)この確認においては、この組合せごとに、対象の部位の中で**点検項目に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所から採取したコアサンプルによる確認**をもって、当該組合せに係る確認を行ったものとする事ができる。



点検項目に照らして適切な点検方法及び点検箇所(コアサンプル採取箇所)を選定する

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	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	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	外壁	○	—	○	○	○
	内壁及び床	○	—	○	—	○
	基礎マット	○	—	○	—	○
取水槽	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。)		—	○	○	○	○

(「实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」より)

2. 点検方法

2-3 点検方法の選定

2-3-1 点検方法選定の考え方

- ・以下の考え方に基づき点検項目毎に点検方法を選定
 - ①点検項目に適したJIS規格及び各種学会規格
 - ②JIS規格及び各種学会規格を一部変更する場合、変更箇所の妥当性を適切に評価
 - ③点検項目に適した規格が存在しない場合、最新の知見を踏まえた最適な方法を検討

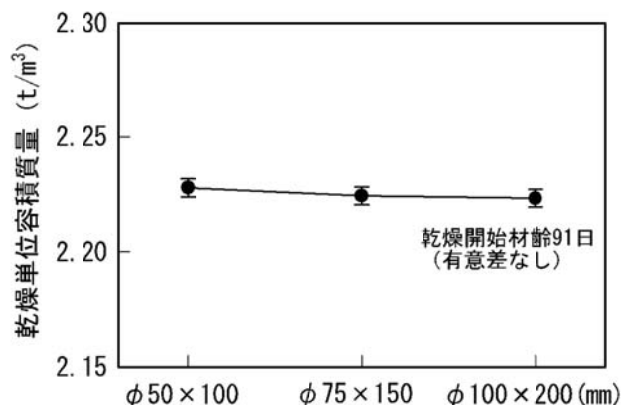
2-3-2 選定した点検方法

点検項目	点検方法	適用	備考
強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法	①	
遮蔽能力	JASS5N T-601 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	②	適用範囲(コアサンプル、試験体の大きさ)を変更
中性化	JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法	①	
塩分浸透	JIS A 1154 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	①	
アルカリ骨材反応	コアサンプルの実体顕微鏡観察	③	JNESレポート等を参照

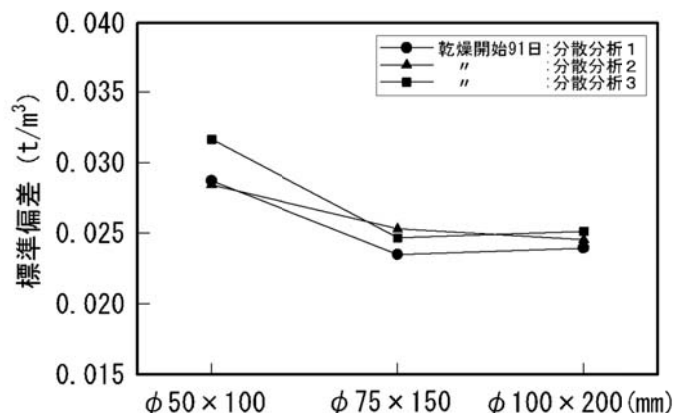
2. 点検方法

2-3-3 遮蔽能力の点検方法の妥当性

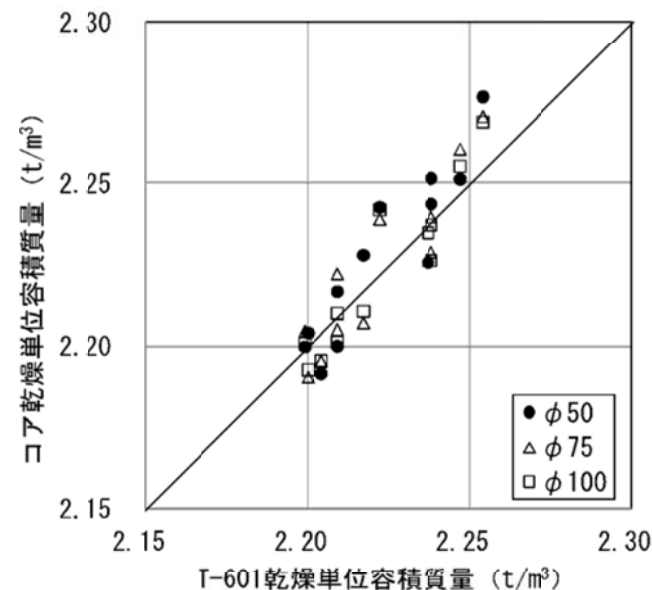
- ・現状のJASS5N T-601において適用範囲であるテストピース $\phi 100$ と同様の乾燥単位容積質量が、壁試験体から採取するコア($\phi 100, 75, 50$ の水準)で得られるかを実証実験により検証
(実建造物の鉄筋間隔が密であり、 $\phi 100$ のコアを鉄筋を切断せずに採取することは困難)



コア寸法と乾燥単位容積質量の関係



コア寸法と標準偏差の関係



<検証結果>

①当該規格のコアサンプルへの適用

- ・規格の適用範囲であるテストピースとコアサンプルで同様の乾燥単位容積質量が得られることを確認

②試験体の大きさの変更

- ・ $\phi 100$ 、 $\phi 75$ 、 $\phi 50$ のコア供試体の乾燥単位容積質量に違いは見られない
- ・ただし、 $\phi 50$ のコア供試体は標準偏差(ばらつき)が大きいため、 $\phi 75$ の大きさまでは変更可能と判断

JASS5NT-601規格に基づいた試験体による乾燥単位容積質量とコアサンプルによる乾燥単位容積質量の関係

2. 点検方法

2-3-4 アルカリ骨材反応の点検方法の妥当性

・アルカリ骨材反応の状況を確認するために適したJIS及び学会規格が存在しないことから、最新知見のひとつである「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案(JNES-RE-2013-2050、平成26年2月)」等を参照



・美浜発電所3号炉は、運転開始から約40年間において、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない



・コンクリートの健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応がこれまで発生していないこと、また広範囲において点検が必要なことを踏まえ、「実体顕微鏡観察」を点検方法として選定

岩石学的診断法(国内)

		試験方法		長所	課題
骨材	総プロ法 (旧建設省)	目視観察	コンクリートより取り出した骨材・コアのスライス片	簡便	岩種判定が目的・切断により、ゲルが見えにくくなる
		偏光顕微鏡観察	薄片(主にコンクリートより取り出した粗骨材)	やや簡便	粗骨材中の有害鉱物の含有状況の判定が目的。細骨材は対象外。セメントペーストのひび割れの進展状況を観察せず
		X線回折分析	コンクリートから取り出した粗骨材	簡便	オパール・ガラスは検出できない
	JCI-DD3	偏光顕微鏡観察	薄片(未使用骨材)	やや簡便	コンクリート中の骨材の反応状況は観察の対象外
		X線回折分析	未使用骨材	簡便	反応性鉱物をリストアップしているが、内容が不正確
	コンクリート	総プロ法 (旧建設省)	湿式化学分析	ゲルの確認(掻き取った試料)	簡便	試料採取位置が記録されず
水溶性アルカリの測定				やや簡便	水溶性アルカリをすべてセメント由来とみなす。そのため、セメントのアルカリ量を過大に評価する
NEXCO西日本(九州)福永ら(2007)		実体顕微鏡観察	ゲルの検出(コア外周・破断面)	簡便	岩種の詳細は分からない
		岩種構成定量	粗骨材(展開写真)	やや簡便	展開カメラは市販されていない
			細骨材(薄片)	正確	測定に熟練・時間を要する
		偏光顕微鏡観察	反応・ひびの進展状況確認(薄片)	正確	薄片作製・観察に熟練を要する
Katayama et al(2008)	SEM観察	ゲルの検出(鏡面研磨薄片)	正確	観察に熟練を要する	
	EPMA分析・EDS分析	ゲルの組成分析(鏡面研磨薄片)	正確	観察・分析に熟練・時間を要する	
未水和セメントのアルカリ分析(鏡面研磨薄片)		正確	観察・分析に熟練・時間を要する		

SEM：走査電子顕微鏡

EPMA：電子線プローブ・マイクロアナライザー

EDS：エネルギー分散型スペクトル分析装置

(原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案(JNES-RE-2013-2050)より)

3-1 選定プロセス

3-1-1 基本的な考え方

～この確認においては、この組合せごとに、対象の部位の中で点検項目に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所から採取したコアサンプルによる確認をもって、当該組合せに係る確認を行ったものとすることができる。

(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(抜粋))



点検項目毎に、点検項目に対する劣化メカニズムや影響要素等を踏まえ、使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定

3. 点検箇所

3-1-2 遮蔽能力の点検箇所選定プロセス

STEP1: 影響要因の把握

- ・遮蔽能力はコンクリートの密度(単位容積質量)の影響を受ける
- ・コンクリートの密度は使用材料の密度や、コンクリート中の水分を逸散させるような熱などの使用環境の影響を受ける

STEP2: 使用材料と使用環境条件の影響確認と影響が最も大きい範囲の選定

使用材料: 使用材料に大きな違いはないが、使用骨材のわずかな密度の違いに着目

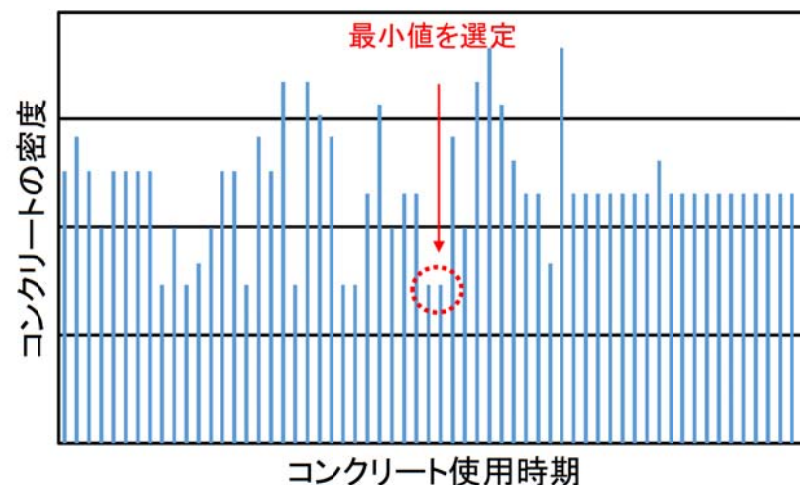
使用環境: 点検方法としてコンクリートの乾燥単位容積質量を確認する方法を選定したことから、熱などのコンクリート中の水分を逸散させるような使用環境の影響がなくなる

⇒ 建設時の使用骨材の記録に基づき、コンクリート密度が最も小さいと想定される範囲を選定

STEP3: STEP2で選定した範囲から点検箇所を選定

・より水和が進展している箇所(=コンクリート強度が大きくなっている箇所)は、コンクリート中の自由水がより多く結合水に変化※し、乾燥単位容積質量が相対的に大きいことが想定されるため、STEP2で選定した範囲について、リバウンドハンマーによる非破壊試験を数箇所行い、得られる値が最も小さい箇所(=コンクリート強度が小さいと想定される箇所)を点検箇所を選定

※乾燥単位容積質量を確認する試験はコンクリート中の自由水を強制的に蒸発させる試験



計算上のコンクリート密度の事例
(原子炉格納施設等 外部遮蔽壁)

3. 点検箇所

3-1-3 中性化の点検箇所選定プロセス

STEP1: 影響要因の把握

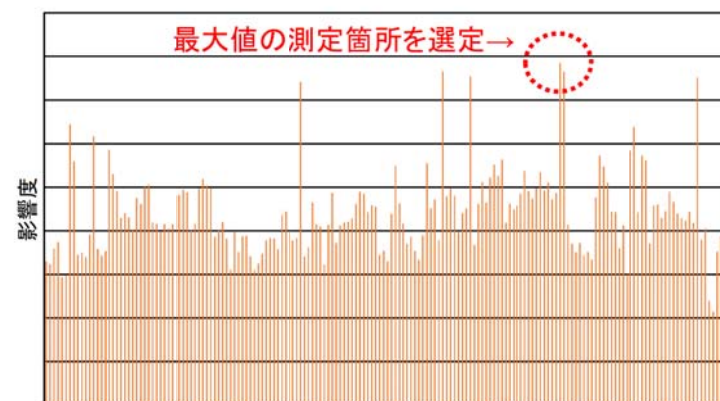
- ・中性化は空気環境(二酸化炭素、温度及び湿度)、使用材料及びコンクリート強度の影響を受ける

STEP2: 使用材料と使用環境条件の影響確認と影響が最も大きい範囲の選定

使用材料: 使用材料に大きな違いはない

使用環境: 空気環境(二酸化炭素、温度及び湿度)
は対象の部位の範囲で大きく異なる

⇒ 約237箇所について空気環境を実測し、得られた実測値を入力値とする中性化の進行を予測する式を活用して、その影響度が最も大きい範囲を選定

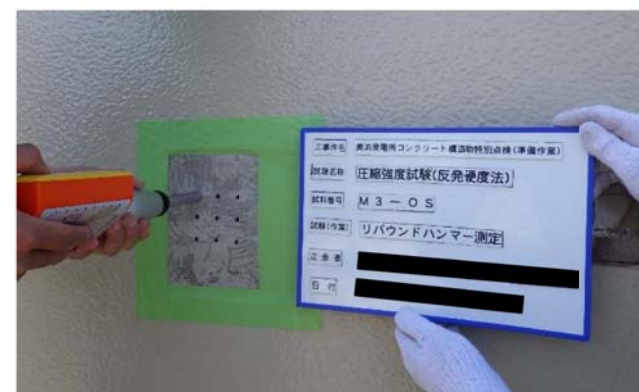


測定箇所(176箇所)

影響度の確認結果の事例
(原子炉補助建屋 内壁及び床)

STEP3: STEP2で選定した範囲から点検箇所を選定

- ・中性化はコンクリート強度の影響を受けるため、STEP2で選定した範囲について、リバウンドハンマーによる非破壊試験を数箇所行い、得られる値が最も小さい箇所(=コンクリート強度が小さいと想定される箇所)を点検箇所を選定



リバウンドハンマーによる試験状況

3. 点検箇所

3-1-4 塩分浸透の点検箇所選定プロセス

STEP1: 影響要因の把握

- ・塩分浸透は構造物へ飛来してくる海からの塩分の量や、使用材料の影響を受ける

STEP2: 使用材料と使用環境条件の影響確認

使用材料: 使用材料に大きな違いはない

使用環境: 構造物へ飛来、付着する塩分の量は
構造物が置かれた環境条件に大きく
影響を受ける

STEP3: 使用環境条件の影響を踏まえた点検箇所を選定

- ・大型構造物である原子炉格納施設等の外部遮蔽壁は、飛来塩分を捕集する器具を壁面に数箇所設置し、捕集した塩分量が最も多い箇所を点検箇所を選定
- ・その他部位については、構造物の規模や海中にあるなどの設置環境を踏まえ、X線によりコンクリート表面の塩分量を測定する器具を用いて構造物のコンクリート表面の塩分量を数箇所測定し、測定した塩分量が最も多い箇所を点検箇所を選定



飛来塩分捕集器(土研式塩分捕集器)



表面塩分量測定器(蛍光X線分析計)

3. 点検箇所

3-1-5 アルカリ骨材反応の点検箇所選定プロセス

STEP1: 影響要因の把握

- ・アルカリ骨材反応は、反応性骨材、水分及びアルカリ分により反応が生じる事象であり、これに加えて、放射線についてもその影響が懸念される

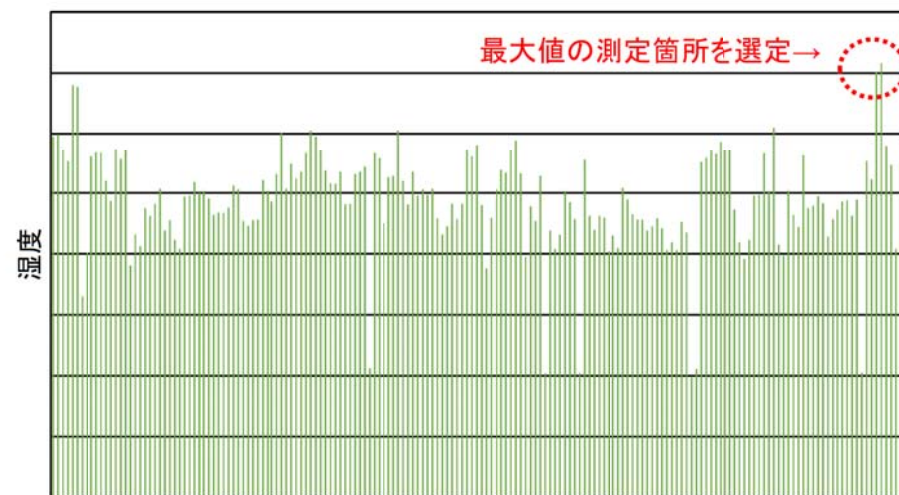
STEP2: 使用材料と使用環境条件の影響確認

使用材料: 使用する骨材は過去に実施した試験により無害であることを確認済み。アルカリ分の主な供給元であるセメントに大きな違いはない

使用環境: 水分や、塩分などの外部から供給されるアルカリ分及び放射線照射量に対する環境は大きく異なる

STEP3: 使用環境条件の影響を踏まえた点検箇所を選定

- ・放射線の観点で、放射線照射量が最も多い1次遮蔽壁を点検箇所を選定
- ・外部からのアルカリ供給元として塩分が考えられるため、塩分浸透の点検箇所と同一位置を点検箇所を選定
- ・その他部位については、実測した空気環境の結果に基づき、水分の供給の観点で、湿度が最も大きな位置を点検箇所を選定



測定箇所 (176箇所)

湿度の確認結果の事例
(原子炉補助建屋 内壁及び床)

3. 点検箇所

3-1-6 強度の点検箇所選定プロセス

- ・使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を検討
 - ⇒ 強度低下につながる劣化要因は、熱、放射線照射、中性化深さ、塩分浸透など多岐に渡り、合わせて、それぞれの劣化要因に影響を与える使用材料や使用環境条件が複雑に関係するため、強度における点検箇所選定を以下のとおり実施

劣化状況評価において、強度低下をもたらす可能性がある劣化要因毎に、強度低下に関する長期使用時の健全性評価を行うが、その評価点となる箇所は、劣化要因の影響が最も大きいと想定される代表箇所である。その代表箇所となる可能性がある箇所において、コアサンプルを採取して強度を確認することは、健全性評価の妥当性の観点で有効

STEP1: 劣化状況評価における強度に対する劣化要因の影響有無を対象の部位毎に検討
 (例: 内部コンクリート(1次遮蔽壁)は熱の影響を受ける)

STEP2: 対象構造物の範囲において、強度低下の劣化要因の影響を受け代表箇所となる可能性がある箇所(劣化状況評価における評価点やその他の特別点検実施箇所)は、その劣化要因に対する使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所であることから、強度の点検箇所に選定

対象構造物、対象の部位と劣化要因の影響と点検箇所選定の例(原子炉格納施設等)

対象構造物	対象の部位	劣化要因							選定理由
		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	機械振動	凍結融解	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	○	○	○	○	○	-	△	飛来塩分の影響を考慮して、塩分浸透の特別点検実施箇所を選定
	内部コンクリート	○	○	○	-	○	-	△	熱及び放射線照射の影響を考慮して、1次遮蔽壁炉心領域部を選定
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	環境条件としての湿度の影響を踏まえ、アルカリ骨材反応の特別点検実施箇所を選定

凡例 ○: 影響有 △: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象 - : 影響無 考慮した劣化要因

3. 点検箇所

3-2 選定結果

3-2-1 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
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁
	基礎マット	サンプタンクポンプ室
原子炉補助建屋	外壁	中間建屋外壁
	内壁及び床	A非常用ディーゼル発電機基礎
	使用済み燃料プール	中間階
	基礎マット	1次系冷却水クーラ室地下
タービン建屋	内壁及び床	地下
	基礎マット	地下
	海中帯	海水ポンプ室 水路内床版
取水槽	干満帯	海水ポンプ室 水路内側壁
	気中帯	海水ポンプ室 基礎
	タービン架台	タービン建屋2階部
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		基礎



タービン建屋 内壁及び床

※原子炉補助建屋基礎マットについては記載箇所に加えて、劣化状況評価の観点で中性化の点検箇所を追加点検を実施

3-2-2 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
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁
原子炉補助建屋	外壁	冷却材フィルター室
	内壁及び床	中央制御室（階段室）



原子炉格納施設等 外部遮蔽壁

3. 点検箇所

3-2-3 中性化の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋内部（アニュラス内）
	内部コンクリート	Bループ壁上部
	基礎マット	1次系冷却水クーラ室前室
原子炉補助建屋	外壁	原子炉補助建屋外壁
	内壁及び床	中央通路
	使用済み燃料プール	中間階
	基礎マット	A非常用ディーゼル発電機室地下
タービン建屋	内壁及び床	地下
	基礎マット	地下
取水槽	海中帯	海水ポンプ室 水路内床版
	干満帯	海水ポンプ室 水路内側壁
	気中帯	海水ポンプ室 基礎
タービン架台		タービン建屋2階部
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		基礎



原子炉格納施設等 基礎マット

3-2-4 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
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
原子炉補助建屋	外壁	中間建屋外壁
取水槽	海中帯	海水ポンプ室 水路内床版
	干満帯	海水ポンプ室 水路内側壁
	気中帯	海水ポンプ室 水路内側壁
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		基礎



非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎

3. 点検箇所

3-2-5 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
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	屋外部
	内部コンクリート	1次遮蔽壁
	基礎マット	サンプタンクポンプ室
原子炉補助建屋	外壁	中間建屋外壁
	内壁及び床	水素ポンベ室
	使用済み燃料プール	除染ビット室
	基礎マット	1次系冷却水クーラ室地下
タービン建屋	内壁及び床	主変圧器地下
	基礎マット	地下
	海中帯	海水ポンプ室 水路内床版
取水槽	干満帯	海水ポンプ室 水路内側壁
	気中帯	海水ポンプ室 水路内側壁
	タービン架台	タービン建屋1階部
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		基礎



タービン架台

4. 点検結果

4-1 強度の点検結果

※点検年月日 H27.5.18~H27.8.3(現地データ取得期間を示す)

対象のコンクリート構造物	対象の部位	平均圧縮強度[N/mm ²]	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	34.9	
	内部コンクリート	28.4	
	基礎マット	23.9	
原子炉補助建屋	外壁	21.3	
	内壁及び床	23.4	
	使用済み燃料プール	23.2	
	基礎マット		28.8
			19.0
タービン建屋	内壁及び床	20.7	
	基礎マット	26.8	
取水槽	海中帯	28.7	
	干満帯	32.4	
	気中帯	32.0	
タービン架台		18.5	
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		28.9	



強度の点検状況

すべての対象の部位で確認した強度が、コンクリート構造物の健全性に影響を与えないことを確認

4-2 遮蔽能力の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	平均乾燥単位容積質量[g/cm ³]
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	2.160
	内部コンクリート	2.109
原子炉補助建屋	外壁	2.215
	内壁及び床	2.151



遮蔽能力の点検状況
(コアサンプルの乾燥状況)

すべての対象の部位で確認した遮蔽能力が、コンクリート構造物の健全性に影響を与えないことを確認

4. 点検結果

4-3 中性化の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	平均中性化深さ [mm]
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	33.7
	内部コンクリート	4.5
	基礎マット	6.8
原子炉補助建屋	外壁	13.6
	内壁及び床	5.7
	使用済み燃料プール	6.1
	基礎マット	42.5
タービン建屋	内壁及び床	36.1
	基礎マット	36.9
取水槽	海中帯	4.4
	干満帯	0.5
	気中帯	0.6
タービン架台		6.0
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		5.6



中性化の点検状況

すべての対象の部位で確認した中性化深さが、コンクリート構造物の健全性に影響を与えないことを確認



塩分浸透の点検状況
(塩化物イオンの抽出状況)

4-4 塩分浸透の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	平均塩化物イオン濃度 [%]						
		表面からの深さ [mm]	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁		0.02	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00
原子炉補助建屋	外壁		0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00
取水槽	海中帯		0.59	0.66	0.33	0.29	0.23	0.18
	干満帯		0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
	気中帯		0.06	0.12	0.15	0.16	0.10	0.05
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎			0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01

すべての対象の部位でコンクリート構造物の健全性に影響を与えるような塩化物イオン濃度でないことを確認

4. 点検結果

4-5 アルカリ骨材反応の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	実体顕微鏡観察結果
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1
	内部コンクリート	1
	基礎マット	1
原子炉補助建屋	外壁	1
	内壁及び床	1
	使用済み燃料プール	1
	基礎マット	1
タービン建屋	内壁及び床	1
	基礎マット	1
取水槽	海中帯	1
	干満帯	1
	気中帯	1
タービン架台		1
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		1

結果の凡例: 1. 反応性なし 2. 反応性あり

すべての対象の部位でコンクリート構造物の健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認



アルカリ骨材反応の点検状況
(実体顕微鏡観察状況)

- コンクリート構造物の特別点検においては、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を含め、使用材料及び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、強度、遮蔽能力、中性化、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の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。また、得られた結果を用いて、20年間の運転期間延長を踏まえた劣化状況評価を行っている。
- 点検箇所選定のために実施した環境測定や非破壊試験により、様々なデータを得ることが出来た。これらのデータを、今後の保全活動に有効に活用していきたい。
- また点検結果は、これまで実施してきた高経年化技術評価による点検結果に対して、大きな違いはみられなかった。