

美浜発電所3号炉 特別点検
(コンクリート構造物)

補足説明資料

平成28年 3月10日

関西電力株式会社

目次

1. はじめに	1
2. 要求事項	1
3. 点検方法	1
4. 点検箇所	11
5. 点検結果	28
6. まとめ	32

別紙 1～7

別紙 1. 遮蔽能力における非破壊試験位置	
別紙 2. 空気環境測定位置	
別紙 3. 中性化における非破壊試験実施位置	
別紙 4. 塩分量測定位置	
別紙 5. 特別点検実施位置	
別紙 6. 運転時の温度上昇等を踏まえた環境測定の補正	34
別紙 7. 塩分量測定の考え方	36

今回提示範囲

1. はじめに

本資料は、美浜3号炉で実施したコンクリート構造物の特別点検について、実施した内容を取りまとめたものである。

2. 要求事項

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は、「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」（以下、運用ガイドという）に定められている。

表2-1 要求事項の概要¹⁾

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			

3. 点検方法

3.1 点検方法の概要

3.1.1 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、その健全性を確認してきた。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している。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についても、点検を実施した。

3.1.2 点検項目の詳細

運用ガイドにおいては、“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”と記載がある。この記載を踏まえ、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）を選定することとした。

表3. 1. 2-1 加圧型軽水炉の点検箇所¹⁾

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* ¹	中性化深さ* ²	塩分浸透* ^{2,3}	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。)	—	○	○	○	○	○

3. 2 点検方法の選定

3. 2. 1 点検方法選定の考え方

運用ガイドにおいては、点検項目は明示されているがその具体的な方法については記載がないことから、点検項目毎に、以下の順序で点検方法を選定した。

- ①点検項目に適した JIS 規格及び各種学会規格がある。
- 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する。
- 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する。

3. 2. 2 選定した点検方法

選定した点検方法を表 3. 2. 2-1 に示す。

表 3. 2. 2-1 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

このうち、適用が②、③であり、方法が規格化されていない遮蔽能力とアルカリ骨材反応の点検方法について、その妥当性を説明する。

3. 2. 3 遮蔽能力の点検方法の妥当性

遮蔽能力の点検方法として、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事建築工事標準仕様書（以下、JASS5N という）にコンクリートの乾燥単位容積質量試験方法（以下、JASS5N T-601 という）が定められている。しかしながら、この試験方法はテストピースを対象としており、また、適用範囲もテストピースの直径が 100mm までの範囲に限られていることから、コア供試体に適用できるのか、また実構造物の鉄筋間隔が密であり、直径が 100mm のコア供試体を鉄筋を切断せずに採取することは困難であることから、コア供試体の直径を変更（直径 100mm、75mm、50mm の水準）しても適用できるか、という 2 点を確認するため、実証実験により検証を行った。

その結果を図3. 2. 3-1～3. 2. 3-3に示す。当該規格のコア供試体への適用については、規格の適用範囲であるテストピースとコア供試体で同様の乾燥単位容積質量が得られることを確認できた。また、試験体の大きさの変更については、直径100mm、75mm、50mmのコア供試体の乾燥単位容積質量に違いは見られないが、直径50mmのコア供試体は標準偏差（ばらつき）が大きいため、直径75mmの大きさまでは変更可能と判断した。

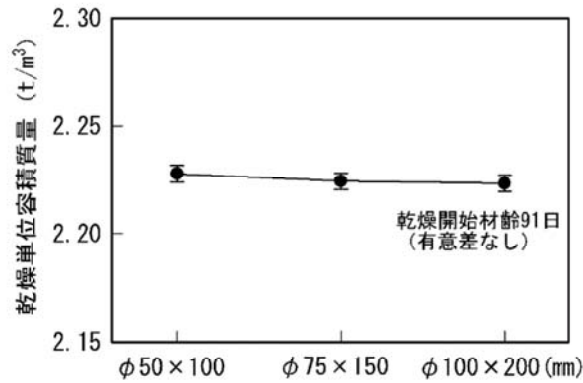


図3. 2. 3-1 コア寸法と乾燥単位容積質量の関係²⁾

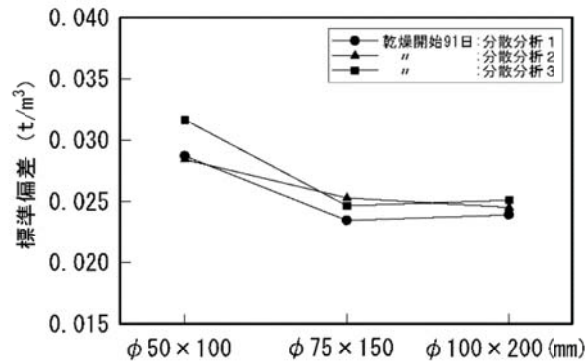


図3. 2. 3-2 コア寸法と標準偏差の関係²⁾

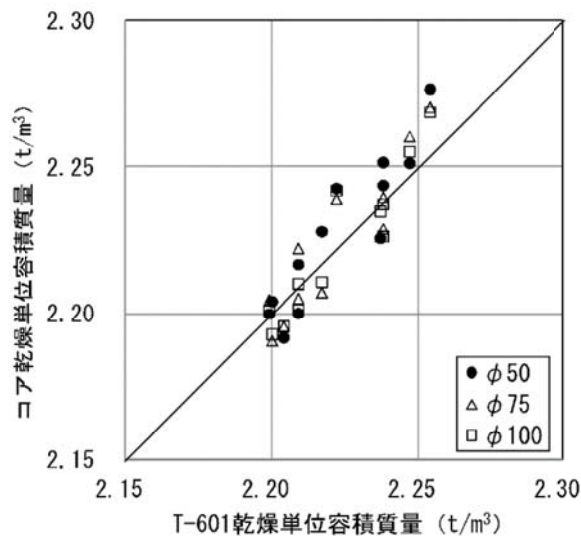


図3. 2. 3-3 コア寸法と標準偏差の関係³⁾

コア供試体の寸法を見直しに伴い、JASS5N T-601 で定義される試験終了を判定する質量変化（2日で1g）を採用した場合、その質量がコア供試体の大きさに比べ、適正な評価とならないため、質量変化量を見直す必要がある。そこで、JASS5N T-601 が一部改定された際に検討された手法に基づき、コアサンプルの容積比に応じて、質量変化の測定数値を変更した。

JASS5N に、JASS5N T-601 について、『乾燥状態の定義は、「供試体の質量変化が2日で1gとなったとき」とする。供試体（直径15cm、高さ30cm）の単位容積質量0.001t/m³に相当する質量が約5gであるため、十分な精度で乾燥単位容積質量を得ることが出来る』と記載がある。これは、JASS5N T-601 においては、乾燥状態と判断できる質量変化は、単位容積質量に換算して0.001t/m³程度に相当すると考えられる。

今回、直径7.5cm、高さ15cmの供試体（コアサンプル）を試験実施に際して最低限必要な大きさとしているが、乾燥状態と判断できる単位容積質量から求めた質量変化量と、容積比で求めた質量変化量を比較した結果、容積比で求めた質量変化量がより保守的な値になったため、容積比に応じて質量変化量の測定数値を変更しても良いと判断し、0.4g/2日に見直すこととした。

①コアサンプルの単位容積質量から求めた質量変化量

$$\begin{array}{l} \text{(容積)} \quad \quad \quad \text{(単位容積質量)} \quad \quad \quad \text{(質量変化量)} \\ 662\text{cm}^3 \times 0.001\text{t/m}^3 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0.662\text{g} \end{array}$$

②コアサンプルの容積比による質量変化量

JASS5NT-601：直径10cm、高さ20cm → 容積1570cm³

特別点検：直径7.5cm、高さ15cm → 容積662cm³

容積比による質量変化量：662cm³/1570cm³=0.42×1g= 0.42g

3. 2. 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の各種規格類を調査した結果、適したJIS及び学会規格が存在しないことが分かった。そのため、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）」等を参照し、点検方法を検討することとした。

最新知見においては、コンクリートの岩石学的診断法が複数紹介されている。その中から、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など、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した。

表3. 2. 4-1 岩石学的診断法（国内）⁴⁾

		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) Katayama et al (2008)	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
		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

また、実体顕微鏡での点検に際し、アルカリ骨材反応の発生状況を適切に評価できる点検帳票およびデグリー表等を作成し、それに基づき点検を行うこととした。

アルカリ骨材反応の点検結果は点検記録帳票のとおり、確認されたアルカリ骨材反応の状況を踏まえ、「反応性なし」「反応性あり」のどちらかに分類する。

アルカリ骨材反応は、まず、セメントに含まれるアルカリ分に由来するアルカリ溶液が、骨材が有する反応性シリカ分と反応し、水和アルカリシリケート（水ガラス）層と呼ばれる層を作る。その水ガラス層は、コンクリート中のカルシウムイオンと反応し、硬いカルシウムシリケート層となる。これを反応リムと呼び、骨材の外周部にできる。

アルカリ溶液は、骨材外周部の反応リムを通過して骨材内部に浸透し、骨材が有する反応性シリカ分と継続して反応していくが、その反応によって生じた水ガラスは、反応リムがせき止める形となり、骨材の外側へ出て行くことが難しくなるため、反応が進めば進むほど体積が膨張し、膨張圧が骨材内部に生じ、一部の反応生成物（ゲル）がセメントペースト部ににじむ程度に出て行く。この膨張圧が限界を超えると、骨材にひび割れが生じる。

この状態が進展すると、ひび割れが骨材だけに収まらず、セメントペースト部分まで拡大し、ひび割れ部にゲルが充填されてくる（図3. 2. 4-1参照）。更に反応が進展していくと、セメントペースト部に元々存在する気泡部にまでゲルが充填されていき、その状況が顕著に見られるようになると、構造物の目視点検においても、ひび割れが確認できるようになってくる（図3. 2. 4-2参照）。ひび割れの発生は、膨張に対する拘束状態により異なり、拘束の小さな無筋コンクリート構造物などでは亀甲状のひび割れが生じ、鉄筋コンクリート構造物では主筋方向に、部材両端が強く拘束されている構造物では拘束されている面に直角にひび割れが生じる。アルカリ骨材反応によるひび割れは部材内部まで達していないことが多い。

アルカリ骨材反応は極めて軽微なものを含めると、ほとんどのコンクリートで発生するものであるため、点検においては、上述するアルカリ骨材反応の進行状況や発生の程度を的確に観察、分類し、実構造物の状況やコアサンプル全体の目視観察などを踏まえ、コンクリートの健全性に影響を与える劣化であるかどうか、という観点で「反応性なし」「反応性あり」の判定を行う。

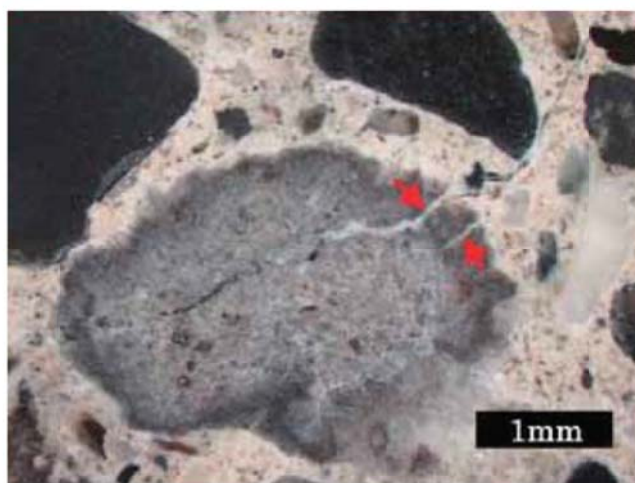


図3. 2. 4-1 実体顕微鏡観察での膨張ひび割れの確認事例⁵⁾



図3. 2. 4-2 実構造物における膨張ひび割れ（亀甲状）の事例⁶⁾

3. 3 試験員の力量

特別点検を実施する試験員については、特別点検要領書で定めたとおり、建築士、技術士、施工管理技士、コンクリート主任技士、コンクリート技士およびコンクリート診断士や、試験業務に関する十分な経験を有するなど、コンクリートに関する技術を有する者が従事している。

4. 点検箇所

4. 1 選定プロセス

4. 1. 1 基本的な考え方

運用ガイドにおいて“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”と記載されていることを踏まえ、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した。

4. 1. 2 遮蔽能力の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、遮蔽能力の点検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を選定した。

具体的には、遮蔽能力はコンクリートの密度（単位容積質量）に影響を受け、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。今回、より保守的な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ほぼなくなる。一方で、対象の部位の範囲において、使用材料に大きな違いはないが、規格の範囲内での使用骨材のわずかな密度の違いに着目し、建設時の記録に基づき、対象の部位の範囲の中で、計算上、コンクリート密度が最も小さいと想定される箇所をコアサンプル採取箇所として選定した。ただし、内部コンクリートについては、放射線の影響が他部位と比較して非常に大きい1次遮蔽壁を、使用材料によらずコアサンプル採取箇所として選定した。

これに加え、より水和が進展している箇所、すなわち強度が増進している箇所は、コンクリート中の自由水がより多く結合水に変化していると想定される。乾燥単位容積質量の試験は、コンクリート中の自由水を強制的に蒸発させる方法であるため、水和が進展している箇所は、乾燥単位容積質量が相対的に大きいことが想定される。そのため、具体的な採取位置を選定するために、リバウンドハンマーによる非破壊試験によりコンクリート強度を推定するための反発度を確認し、最も反発度が低い箇所、すなわち水和が進展しておらず、乾燥単位容積質量が相対的に小さいと想定される箇所をコアサンプル採取位置に選定した。

表4. 1. 2-1 コンクリート密度の計算結果（外部遮蔽壁）

骨材使用 区分 No.	骨材検査日			骨材密度 (g/骨材m ³)		計算上の コンクリート密度 (g/cm ³)	コンクリート打設日 打設部位	コア採取箇所
	年	月	日	粗骨材	細骨材			
1	S47	9	5					
2	S47	10	30					
3	S47	11	9					
4	S47	11	20					
5	S47	11	30					
6	S47	12	8					
7	S47	12	13					
8	S47	12	15					
9	S47	12	22					
10	S48	1	18					
11	S48	2	5					
12	S48	2	8					
13	S48	2	27					
14	S48	3	2					
15	S48	3	12					
16	S48	3	14					
17	S48	4	6					
18	S48	4	26					
19	S48	5	10					
20	S48	5	17					
21	S48	6	12					
22	S48	6	29					
23	S48	6	30					
24	S48	7	9					
25	S48	7	16					
26	S48	8	17					
27	S48	8	24					
28	S48	9	28					
29	S48	10	21					
30	S48	12	7					
31	S48	12	10					
32	S48	12	21					
33	S48	12	26					○
34	S49	1	16					
35	S49	1	31					
36	S49	2	12					
37	S49	2	21					
38	S49	3	6					
39	S49	3	25					
40	S49	4	10					
41	S49	4	22					
42	S49	5	2					
43	S49	5	13					
44	S49	6	4					
45	S49	6	22					
46	S49	7	13					
47	S49	8	13					
48	S49	9	27					
49	S49	10	25					
50	S49	11	20					
51	S49	12	25					
52	S50	1	29					
53	S50	2	25					
54	S50	3	25					
55	S50	4	24					
56	S50	5	26					
57	S50	6	25					
58	S50	7	24					
59	S50	8	25					
60	S50	9	25					
61	S50	10	24					
62	S50	11	24					
63	S50	12	24					

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表4. 1. 2-2 コンクリート密度の計算結果（原子炉補助建屋）

骨材使用 区分 No.	骨材検査日			骨材密度 (g/骨材m ³)		計算上の コンクリート密度 (g/cm ³)	対象部位との適合 (生体遮蔽壁の範囲)	コンクリート打設日、打設部位	コア採取箇所
	年	月	日	粗骨材	細骨材				
1	S47	9	5	2.63	2.56				
2	S47	10	30	2.63	2.59				
3	S47	11	9	2.64	2.58				
4	S47	11	20	2.63	2.59				
5	S47	11	30	2.63	2.58				
6	S47	12	8	2.63	2.59				
7	S47	12	13	2.63	2.59				
8	S47	12	15	2.63	2.59				
9	S47	12	22	2.63	2.59				
10	S48	1	18	2.63	2.57				
11	S48	2	5	2.63	2.58				
12	S48	2	8	2.63	2.57				
13	S48	2	27	2.62	2.59				
14	S48	3	2	2.63	2.58				
15	S48	3	12	2.63	2.59				
16	S48	3	14	2.63	2.59				
17	S48	4	6	2.63	2.57				
18	S48	4	26	2.64	2.58				
19	S48	5	10	2.63	2.59				
20	S48	5	17	2.64	2.59				
21	S48	6	12	2.63	2.57				
22	S48	6	29	2.64	2.58				
23	S48	6	30	2.63	2.60				
24	S48	7	9	2.64	2.58				
25	S48	7	16	2.63	2.57				
26	S48	8	17	2.63	2.57				
27	S48	8	24	2.64	2.57				
28	S48	9	28	2.65	2.57				
29	S48	10	21	2.63	2.58				
30	S48	12	7	2.64	2.57				
31	S48	12	10	2.64	2.57				
32	S48	12	21	2.63	2.57				○
33	S48	12	26	2.63	2.57				○
34	S49	1	16	2.64	2.58				
35	S49	1	31	2.63	2.58				
36	S49	2	12	2.64	2.59				
37	S49	2	21	2.65	2.58				
38	S49	3	6	2.65	2.57				
39	S49	3	25	2.65	2.56				
40	S49	4	10	2.64	2.57				
41	S49	4	22	2.64	2.57				
42	S49	5	2	2.62	2.59				
43	S49	5	13	2.65	2.58				
44	S49	6	4	2.64	2.57				
45	S49	6	22	2.64	2.57				
46	S49	7	13	2.64	2.57				
47	S49	8	13	2.64	2.57				
48	S49	9	27	2.64	2.57				
49	S49	10	25	2.64	2.57				
50	S49	11	20	2.64	2.57				
51	S49	12	25	2.65	2.56				
52	S50	1	29	2.64	2.57				
53	S50	2	25	2.64	2.57				
54	S50	3	25	2.64	2.57				
55	S50	4	24	2.64	2.57				
56	S50	5	26	2.64	2.57				
57	S50	6	25	2.64	2.57				
58	S50	7	24	2.64	2.57				
59	S50	8	25	2.64	2.57				
60	S50	9	25	2.64	2.57				
61	S50	10	24	2.64	2.57				
62	S50	11	24	2.64	2.57				
63	S50	12	24	2.64	2.57				

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表4. 1. 2-3 美浜3号炉 非破壊試験結果（遮蔽能力）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定No	測定値	平均反発度	コアサンプル採取位置	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6			○	
		7				
	内部コンクリート	1				
		2				
		3				○
		4				
		5				
原子炉補助建屋	外壁	1			○	
		2				
		3				
	内壁及び床	1				○
		2				
		3				

凡例 ○：コアサンプル採取位置

4. 1. 3 中性化の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、中性化深さの点検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を選定した。

中性化はコンクリートの強度や二酸化炭素、温度および湿度の影響を受ける。コンクリート強度は主に使用材料の影響を受けるが、対象の部位の範囲においては使用材料に大きな違いがない。一方で、二酸化炭素濃度や温湿度の使用環境については、対象の部位の範囲において大きく異なることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

建屋内（建屋の屋外箇所を含む）においては、まず二酸化炭素濃度、温度および湿度を測定し、測定した値等が入力値となる森永式⁷⁾を引用して、環境条件による係数を算出した。その算出結果から、各環境条件の総合的な影響度が大きい箇所を、対象の部位ごとに選定した。選定に際しては、仕上げがない箇所を選定すること（対象範囲すべてに仕上げがある場合は除く）とし、これに加え、中性化はコンクリート強度の影響を受けるため、影響度が大きい箇所から具体的な採取位置を選定するために、リバウンドハンマーによる非破壊試験によりコンクリート強度を推定するための反発度を確認し、最も反発度が低い箇所をコアサンプル採取位置に選定した。

表4. 1. 3-1 美浜3号炉 対象の部位毎の環境条件による係数の算出結果

構造物	対象の部位	点検実施箇所	測定結果に基づく環境条件 (平均値) の入力値			環境条件による 影響度 ^{※1}	備考
			温度 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素濃度 (ppm)		
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	外部遮蔽壁 (内部)					補正実施
	内部コンクリート	Bループ室 (上部)					補正実施
	基礎マット	1次系冷却水クレーラ室前室					
原子炉補助建屋	外壁	外壁					塗装あり
	内壁及び床	中央通路					補正実施
	使用済み燃料プール	配管室					
	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	タービン建屋 地下					
	基礎マット	タービン建屋 地下					
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対応設備に属する機器を支持する構造物	タービン架台	タービン建屋					補正実施

測定期間：平成26年4月18日～平成27年3月10日

※1 森永式における環境条件による係数（下記赤部）から算出

$$x = \sqrt{C} \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022T) \cdot \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (4.6 \cdot w/c / 100 - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

x：中性化深さ (mm)

T：温度 (°C)

t：材齢 (日)

C：炭酸ガス濃度 (%)

(1%=10,000ppm)

RH：湿度 (%)

w/c：水セメント比 (%)

R：中性化比率

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表4. 1. 3-2 美浜3号炉 非破壊試験結果 (中性化)

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定No	測定値	平均反発度	コアサンプル採取位置
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1	-	-	
		2			○
		3			
	内部コンクリート	1			○
		2			
	基礎マット	1			
		2			
		3			○
	原子炉補助建屋	外壁			1
2					
3					
内壁及び床		1			○
		2			
		3			
使用済み燃料プール		1			
		2	○		
		3			
基礎マット		1			
		2	○		
		3			
タービン建屋		内壁及び床	1		
			2	○	
			3		
	基礎マット	1	○		
		2			
		3			
		4			

凡例 ○：コアサンプル採取箇所

表4. 1. 3-3 美浜3号炉 非破壊試験結果 (中性化)

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定No	測定値	平均反発度	コアサンプル採取位置
取水槽	海中帯	1	[Redacted]	[Redacted]	
		2			
		3			○
	干満帯	1			
		2			○
		3			
	気中帯	1			
		2			
		3			
		4			○
		1 (水路内)			
		2 (水路内)			
3 (水路内)					
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	タービン建屋内 (タービン架台含む。)	タービン架台	1		○
		2			
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。)	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎 (配管トレンチ含む)	1			
		2	○		
		3			

凡例 ○ : コアサンプル採取箇所

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 1. 4 塩分浸透の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、塩分浸透の点検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を選定した。

塩分浸透は、構造物へ飛来してくる海からの塩分の量や、使用材料およびコンクリート調合の影響を受けるが、対象の部位の範囲においては、使用材料や調合に大きな違いがない。一方、構造物へ飛来、付着する塩分の量は、対象の部位において、設置される環境条件において大きく影響を受けることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

大型構造物である外部遮蔽壁については、飛来塩分を捕集する器具（土研式塩分捕集器、図4. 1. 4-1参照）を高さ方向に分散して設置し、捕集した塩分量が最も多い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した。

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（ポータブル型蛍光X線分析計、図4. 1. 4-2参照）を用いて構造物のコンクリート表面の塩分量を測定し、測定した塩分量が最も多い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した。



図 4. 1. 4 - 1 飛来塩分捕集器
(土研式塩分捕集器)



図 4. 1. 4 - 2 表面塩分量測定器
(蛍光 X 線分析計)

表4. 1. 4-1 美浜3号炉 塩分量測定値（土研式塩分捕集器）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定No	測定値 飛来塩分量 (mg/dm ²)	コアサンプル 採取箇所	備考
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1			
		2		○	
		3			

凡例 ○：コアサンプル採取箇所

測定期間：平成26年2月13日～平成27年2月25日

表4. 1. 4-2 美浜3号炉 塩分量測定値（蛍光X線分析計）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定No	測定値 表面塩分量 (ppm)	コアサンプル 採取箇所	備考		
原子炉補助建屋	外壁	1					
		2		○			
		3					
		4					
		5					
		6					
取水槽	海中帯	1					
		2					
		3		○			
	干満帯	1					
		2					
		3			○		
	気中帯		1				
			2				
			3				
			4				
		1(水路内)	1				
			2			○	
2(水路内)	1						
	2						
3(水路内)	1						
	2						
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。）	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎（配管トレンチ含む）	1					
		2		○			
		3					

凡例 ○：コアサンプル採取箇所

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 1. 5 アルカリ骨材反応の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、アルカリ骨材反応の点検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を選定した。

アルカリ骨材反応は、反応性骨材、水およ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、放射線についても反応の活性化の観点でその影響が懸念される。骨材については、表4. 1. 5-1に示すとおり、1985年に実施したモルタルバー法試験により無害であることを確認している。合わせて、アルカリ分の主な供給元であるセメントについて、対象の部位の範囲においては使用材料に大きな違いがない。一方で、水分や、塩分などの外部から供給されるアルカリ分については、その使用環境において異なってくることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

まず、放射線の観点で、放射線照射量が最も多い1次遮蔽壁をコアサンプル採取箇所に選定した。次に、外部からのアルカリ供給源として塩分が考えられるため、特別点検における塩分浸透と同一位置を、コアサンプル採取箇所に選定した。最後に、残った部位について、発電所内各所の空気環境測定を実施した結果に基づき、水分の供給の観点で、対象の部位の範囲において湿度が最も大きな位置をコアサンプル採取箇所に選定した。

表4. 1. 5-1 美浜3号炉 モルタルバー法試験結果

区分	試験方法	骨材産地	試験結果	判定基準	判定
			材令6ヶ月の膨張率(%)	有害な反応を起す可能性のある材令6ヶ月の膨張率(%)	
粗骨材	ASTM-C227 に準拠	碎石 (敦賀市葉原産)		0.10以上	無害
細骨材		陸砂 (福井県三国産)	0.052	0.10以上	無害

ASTM-C227:「Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations(Mortar-Bar Method)」

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表4. 1. 5-2 美浜3号炉 対象部位毎の湿度測定の結果

構造物	対象の部位	影響区分	測定期間の 平均湿度 (%)	選定したコアサンプル採取箇所	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	外部からのアルカリ供給 (塩分)	-	外部遮蔽壁 (外部)	
	内部コンクリート	放射線照射		1次遮蔽壁	
	基礎マット	水分 (湿度)		サンプタンクポンプ室	
原子炉補助建屋	外壁	外部からのアルカリ供給 (塩分)		外壁	
	内壁及び床	水分 (湿度)		水素ポンプ室	
	使用済み燃料プール	水分 (湿度)		除染ビット室	
	基礎マット	水分 (湿度)		1次冷却水クーラ室	
タービン建屋	内壁及び床	水分 (湿度)		タービン建屋 地下	
	基礎マット	水分 (湿度)		タービン建屋 地下	
取水槽	海中帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)		海水ポンプ室	
	干満帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)		海水ポンプ室	
	気中帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)		海水ポンプ室	
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	タービン架台	水分 (湿度)			タービン建屋
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。)	非常用ディーゼル発電用 燃料油タンク基礎	外部からのアルカリ供給 (塩分)			基礎

平均湿度の測定期間：平成26年4月18日～平成27年3月10日

※ 補正を実施

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 1. 6 強度の点検箇所選定プロセス


運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、強度の点検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を検討した。しかしながら、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ことを踏まえ、強度における使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所の選定を、以下の通り実施した。

- ・強度低下を引き起こす劣化要因として、熱、放射線照射、中性化深さ、塩分浸透、機械振動、アルカリ骨材反応などがある。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ことになるが、その評価点となる箇所について、コアサンプルにより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であると考えられる。
- ・このことから、表4. 1. 6-1に示すように、対象の構造物毎に対象の部位における各劣化要因の影響有無を踏まえ、対象構造物の範囲において、複数ある劣化要因をなるべく網羅できるよう、対象の部位毎に異なる劣化要因の点検箇所等を、強度のコアサンプル採取位置に選定した。

表4. 1. 6-1 対象構造物、対象の部位と劣化要因の影響有無と、点検箇所選定理由

対象構造物	対象の部位	劣化要因							選定した点検箇所
		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	○	○	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	内部コンクリート	○	○	○	-	○	-	△	熱及び放射線照射の評価箇所(遮蔽能力の点検箇所)
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
原子炉補助建屋	外壁	○	○	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	内壁及び床	○	○	○	-	○	○	△	機械振動の評価箇所(非常用ディーゼル発電機基礎)
	使用済み燃料プール	○	○	○	-	○	-	△	中性化の点検箇所
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
タービン建屋	内壁及び床	-	-	○	-	○	-	△	中性化の点検箇所
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
取水槽	海中帯	-	-	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	干満帯	-	-	○	○	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	気中帯	-	-	○	○	○	-	△	中性化の点検箇所
タービン架台		○	-	○	-	○	○	△	中性化の点検箇所
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		-	-	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)

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

なお、強度・機能に影響を及ぼすこととなると判断し、原子炉格納施設等内部コンクリート、原子炉補助建屋内壁及び床については、以下の理由により代替部位で強度を確認している。

①原子炉格納施設等 内部コンクリート

当該部位においては、1次遮蔽壁が熱の影響が最も大きい箇所となるが、その箇所は原子炉容器支持構造物（以下、「RVサポート」という）からの伝熱の影響が最も大きいRVサポートの直下部である。RVサポートの直下部は、鉄筋やアンカーなどが干渉するため、強度・機能に影響を及ぼすこととなり、コアサンプルが採取できない。そのため、コアサンプルが採取可能な場所で、かつ熱の影響が大きい箇所ということで、1次遮蔽壁の炉心領域部で採取することが出来た深さ（約1.7m）までのコアサンプルで代替した。1次遮蔽壁の炉心領域部は、同じ使用材料で、劣化技術評価における解析の結果を参照すると最高温度が約53℃であり、RVサポートの直下部に準じた使用環境条件であることから、代替させることができると判断した。

②原子炉補助建屋 内壁及び床

当該部位においては、非常用ディーゼル発電機基礎の機械振動の影響を踏まえて対象の部位として選定している。劣化技術評価においては、非常用ディーゼル発電機基礎ボルト周辺部が評価点となるが、基礎ボルト周辺部はボルトなどが干渉するため、強度・機能に影響を及ぼすこととなり、コアサンプルが採取できない。そのため、コアサンプルが採取可能な非常用ディーゼル発電機基礎の一般部で代替した。一般部は、同じ使用材料で、基礎ボルト周辺部に準じた使用環境条件（機械振動）の箇所であることから、代替させることができると判断した。

4. 2 選定結果

以下に、点検項目毎に選定した点検箇所を示す。

表4. 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
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

表4. 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）

表4. 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

表4. 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

表4. 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	水素ボンベ室
	使用済み燃料プール	除染ピット室
	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
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
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

5. 点検結果

点検結果を以下に示す。点検結果が、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している。

表5-1 美浜3号炉 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		点検実施日		
		コアNo.	平均圧縮強度 (N/mm ²)			
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1	34.9	平成27年6月29日		
		2				
		3				
	内部コンクリート	1	28.4		平成27年6月3日	
		2				
		3				
	基礎マット	1	23.9		平成27年6月12日	
		2				
		3				
原子炉補助建屋	外壁	1	21.3	平成27年6月19日		
		2				
		3				
	内壁及び床	1	23.4		平成27年7月2日	
		2				
		3				
	使用済み燃料プール	1	23.2		平成27年6月3日	
		2				
		3				
	基礎マット	1	28.8		平成27年6月17日	
						2
1		19.0	平成27年7月3日 平成27年7月10日			
				2		
						3
タービン建屋	内壁及び床	20.7	平成27年6月26日			
				2		
					3	
	基礎マット	26.8				平成27年6月26日
				1		
					2	
取水槽	海中帯	28.7	平成27年5月27日			
				2		
					3	
	干満帯	32.4				平成27年5月28日
				1		
					2	
	気中帯	32.0				平成27年6月5日
				1		
					2	
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	タービン建屋内 (タービン架台含む。)	タービン架台	1			18.5
			2			
			3			
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。)	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎 (配管トレンチ含む)	28.9	1	平成27年6月5日		
			2			
			3			

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(参考)

コンクリート構造物の特別点検における『強度』については、コンクリートの圧縮時の応力-ひずみ関係図に基づき、試験機が最大荷重を示す時の応力 (=圧縮強度) を点検結果としている。

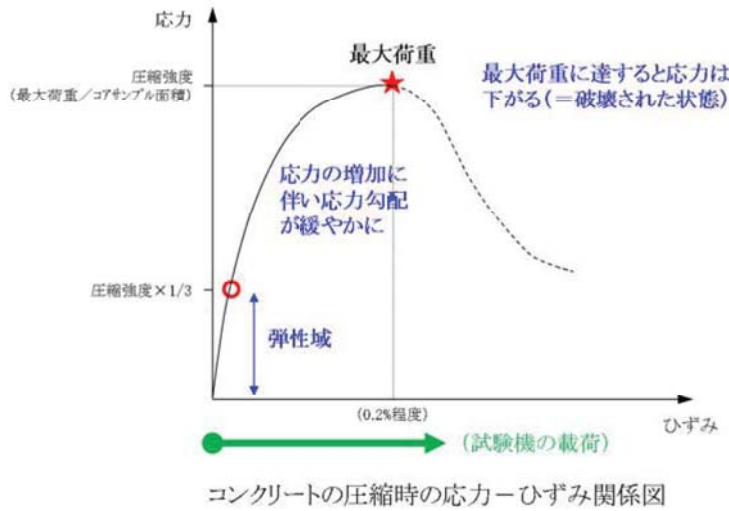


表5-2 美浜3号炉 遮蔽能力の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		点検実施日
		コアNo.	乾燥単位容積質量 (g/cm ³)	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1		2.160
		2		
		3		
	内部コンクリート	1		2.109
		2		
		3		
原子炉補助建屋	外壁	1		2.215
		2		
		3		
	内壁及び床	1		2.151
		2		
		3		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表5-3 美浜3号炉 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	コアNo.	点検結果						平均中性化深さ (mm)	点検実施日
			測定値(mm)							
			1	2	3	4	5	6		
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	a							33.7	平成27年6月1日
		b								
		c								
	内部コンクリート	a						4.5	平成27年5月27日	
		b								
		c								
基礎マット	a						6.8	平成27年5月18日		
	b									
	c									
原子炉補助建屋	外壁	a						13.6	平成27年6月23日	
		b								
		c								
	内壁及び床	a						5.7	平成27年6月1日	
		b								
		c								
	使用済み燃料プール	a						6.1	平成27年5月27日	
		b								
		c								
	基礎マット	a						42.5	平成27年6月10日	
		b								
		c								
タービン建屋	内壁及び床	a						36.1	平成27年6月16日	
		b								
		c								
	基礎マット	a						36.9	平成27年6月16日	
		b								
		c								
取水槽	海中帯	a						4.4	平成27年5月27日	
		b								
		c								
	干満帯	a						0.5	平成27年5月27日	
		b								
		c								
	気中帯	a						0.6	平成27年5月26日	
		b								
		c								
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対応設備に属する構造物	タービン建屋内(タービン架台含む。)	タービン架台	a					6.0	平成27年7月2日	
			b							
			c							
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応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応設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎(配管トレンチ含む)		a					5.6	平成27年5月26日	
			b							
			c							

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表5-4 美浜3号炉 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	点検結果 塩化物イオン濃度 (%)						点検実施日	
		表面からの深さ (mm)	0~20						
			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	コアNo.	a	b	c				平成27年6月29日 ~ 平成27年7月2日
		平均	0.02	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	
原子炉補助建屋	外壁	コアNo.	a	b	c				平成27年6月16日 ~ 平成27年6月19日
		平均	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	
取水槽	海中帯	コアNo.	a	b	c				平成27年5月28日 ~ 平成27年6月10日
		平均	0.59	0.66	0.33	0.29	0.23	0.18	
	干満帯	コアNo.	a	b	c				平成27年5月26日 ~ 平成27年6月4日
		平均	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	
	気中帯	コアNo.	a	b	c				平成27年5月25日 ~ 平成27年6月2日
		平均	0.06	0.12	0.15	0.6	0.10	0.05	
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。）	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎（配管トレンチ含む）	コアNo.	a	b	c				平成27年6月8日 ~ 平成27年6月10日
		平均	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	

表5-5 美浜3号炉 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	点検実施日	
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	1	平成27年7月2日	
	内部コンクリート	1	平成27年6月11日	
	基礎マット	1	平成27年6月11日	
原子炉補助建屋	外壁	1	平成27年6月16日	
	内壁及び床	1	平成27年7月2日	
	使用済み燃料プール	1	平成27年6月11日	
	基礎マット	1	平成27年6月16日	
タービン建屋	内壁及び床	1	平成27年7月2日	
	基礎マット	1	平成27年7月2日	
取水槽	海中帯	1	平成27年6月10日	
	干満帯	1	平成27年6月10日	
	気中帯	1	平成27年6月10日	
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構造物	タービン建屋内（タービン架台含む。）	タービン架台	1	平成27年7月2日
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。）	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎（配管トレンチ含む）		1	平成27年6月10日

結果の凡例： 1.反応性なし 2. 反応性あり

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

6. まとめ

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。

【参考文献】

- 1) 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（原管P発第1306197号 改正平成26年8月26日 原規発第1408263号 原子力規制委員会決定）
- 2) 徳永将司ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）2015年9月「既存構造物における遮蔽コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法の検討（その3 コア供試体による乾燥単位容積質量の実験）」
- 3) 米澤敏男ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）2015年9月「既存構造物における遮蔽コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法の検討（その4 コア供試体による乾燥単位容積質量試験方法の検討）」
- 4) 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）
- 5) 株式会社太平洋コンサルタント HP
(<http://www.taiheiyo-c.co.jp/business/business05/business0507/>)
- 6) アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン（案）（平成20年3月 ASRに関する対策検討委員会）
- 7) 森永繁、鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート構造物の寿命予測に関する研究（東京大学学位論文、1986）

別紙

- 別紙 1. 遮蔽能力における非破壊試験位置
- 別紙 2. 空気環境測定位置
- 別紙 3. 中性化における非破壊試験実施位置
- 別紙 4. 塩分量測定位置
- 別紙 5. 特別点検実施位置
- 別紙 6. 運転時の温度上昇等を踏まえた環境測定の補正
- 別紙 7. 塩分量測定の考え方

別紙6 運転時の温度上昇等を踏まえた環境測定の補正

① 原子炉格納施設等 内部コンクリート

1. 温度

測定による平均温度と稼働時の想定温度および想定稼働率から加重平均により算出した。

測定値	稼働時		補正值
平均温度 (°C)	想定温度 (°C) ※1	想定稼働率 (%)	補正温度 (°C)

※1 原子炉格納容器内における実測データより、原子炉格納容器内の温度を一律 [] に設定した

2. 湿度

測定による平均温度および湿度から水蒸気圧を算出し、「1. 温度」による温度補正によって飽和水蒸気圧が変動するとして算出した。
具体的な手順は以下の通り。

i) 測定による平均温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

平均温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

ii) i) の飽和水蒸気圧と測定による平均湿度から水蒸気圧を求める。

飽和水蒸気圧 (Pa)	平均湿度 (%)	水蒸気圧 (Pa)
-------------	----------	-----------

iii) 「1. 温度」による補正温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

補正温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

iv) iii) の飽和水蒸気圧に対する ii) の水蒸気圧の比から補正湿度を算出した。

飽和水蒸気圧 (Pa)	水蒸気圧 (Pa)	補正湿度 (%)
-------------	-----------	----------

② 原子炉格納施設等 外部遮蔽壁

1. 温度

①の温度補正と同じ方法で、格納容器内の測定点毎に補正温度を求めて平均温度差を算出し、外部遮蔽壁（内部）においても同様の温度差が生じるとして、測定値に加算することで算出した。

測定値	格納容器内			補正值
平均温度 (°C)	平均測定温度 (°C) ※1	平均補正温度 (°C) ※1	平均温度差 (°C)	補正温度 (°C)

※1 格納容器内の各測定点の平均値

2. 湿度

測定による平均温度および湿度から水蒸気圧を算出し、「1. 温度」による温度補正によって飽和水蒸気圧が変動するとして算出した。
具体的な手順は以下の通り。

i) 測定による平均温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

平均温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

ii) i) の飽和水蒸気圧と測定による平均湿度から水蒸気圧を求める。

飽和水蒸気圧 (Pa)	平均湿度 (%)	水蒸気圧 (Pa)
-------------	----------	-----------

iii) 「1. 温度」による補正温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

補正温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

iv) iii) の飽和水蒸気圧に対する ii) の水蒸気圧の比から補正湿度を算出した。

飽和水蒸気圧 (Pa)	水蒸気圧 (Pa)	補正湿度 (%)
-------------	-----------	----------

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

③ 原子炉補助建屋 内壁及び床

1. 温度

測定による平均温度と稼働時の想定温度および想定稼働率から加重平均により算出した。

測定値	稼働時		補正值
平均温度 (°C)	想定温度 (°C) ※1	想定稼働率 (%)	補正温度 (°C)

※1 原子炉格納容器内における実測データより、当該箇所を保守的に「」に設定した

2. 湿度

測定による平均温度および湿度から水蒸気圧を算出し、「1. 温度」による温度補正によって飽和水蒸気圧が変動するとして算出した。
具体的な手順は以下の通り。

i) 測定による平均温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

平均温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

ii) i)の飽和水蒸気圧と測定による平均湿度から水蒸気圧を求める。

飽和水蒸気圧 (Pa)	平均湿度 (%)	水蒸気圧 (Pa)
-------------	----------	-----------

iii) 「1. 温度」による補正温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

補正温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

iv) iii)の飽和水蒸気圧に対するii)の水蒸気圧の比から補正湿度を算出した。

飽和水蒸気圧 (Pa)	水蒸気圧 (Pa)	補正湿度 (%)
-------------	-----------	----------

④ 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 タービン架台

1. 温度

測定による平均温度と稼働時の想定温度および想定稼働率から加重平均により算出した。

測定値	稼働時		補正值
平均温度 (°C)	想定温度 (°C) ※1	想定稼働率 (%)	補正温度 (°C)

※1 同型プラントである高浜1, 2号機のタービン建屋内における稼働時の実測データより、当該箇所を保守的に「」に設定した

2. 湿度

測定による平均温度および湿度から水蒸気圧を算出し、「1. 温度」による温度補正によって飽和水蒸気圧が変動するとして算出した。
具体的な手順は以下の通り。

i) 測定による平均温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

平均温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

ii) i)の飽和水蒸気圧と測定による平均湿度から水蒸気圧を求める。

飽和水蒸気圧 (Pa)	平均湿度 (%)	水蒸気圧 (Pa)
-------------	----------	-----------

iii) 「1. 温度」による補正温度から飽和水蒸気圧を求める。

※1 「JIS Z 8806付表1.1 水の飽和蒸気圧」から算出

補正温度 (°C)	飽和水蒸気圧 (Pa) ※1
-----------	----------------

iv) iii)の飽和水蒸気圧に対するii)の水蒸気圧の比から補正湿度を算出した。

飽和水蒸気圧 (Pa)	水蒸気圧 (Pa)	補正湿度 (%)
-------------	-----------	----------

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

別紙7 塩分量測定のおえ方

(1) 土研式塩分捕集器

①測定箇所の範囲

測定箇所について、海岸線から最も近い面でかつアクセス性を有する箇所、ということと、EL+32.0m~72.0mのタラップ等でアクセスできる範囲を選定した。

②測定箇所数

一般に、土研式塩分捕集器による飛来塩分の測定はkm単位で行うことが多いが、外部遮蔽壁の高さが約80m程度であることを踏まえ、より保守的な評価となる観点で、その範囲の最上部と最低部、これに加えてその間の3箇所について、測定を行うこととした。

③測定期間

測定期間は、季節変動を踏まえて平成26年2月から平成27年2月までの約1年間の測定記録を使用した。

(2) ポータブル型蛍光X線分析計

①測定箇所の範囲

測定箇所の範囲は、原子炉補助建屋については、海岸線から最も近い面を、その他構造物については、その規模を踏まえ全体を選定した。

②測定箇所数

塩害対策のマニュアルとして、「塩害橋梁維持管理マニュアル(案)(橋梁塩害対策検討会)」が示されている。この中で、塩害の詳細調査を行う場合、その範囲として“上部構造1径間ごと”との記載がある。マニュアルにおいては、詳細調査は目視点検で塩害による損傷が認められたものが対象となり、また当社設備の事例では、上部構造1径間で約40mの長さの規模になることから、概ね、記載の規模程度で損傷が認められる設備に対して、1箇所を点検することで、設備全体の状態を代表することができる、と考えられる。

今回、目視点検においては損傷が確認されていない設備が対象であり、対象とする範囲も同様の規模程度であることを踏まえると、1箇所の測定で状態を代表できると考えられるが、より保守的に評価するため、3箇所程度について、測定を行うこととした。

また、1箇所あたりの測定範囲はコアサンプル採取を前提とし、コアサンプル採取本数に合わせて範囲を設定しており、その範囲内で測定している。



図一別紙7-1 美浜3号炉 海岸線からの位置関係