

高浜発電所1、2号炉 劣化状況評価
（コンクリートの強度低下および遮蔽能力低下
（含む鉄骨構造の強度低下））

平成27年9月18日
関西電力株式会社

1. 経年劣化事象と劣化要因の概要	.....	2
2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定	.....	5
3. 健全性評価	.....	13
4. 現状保全、総合評価、高経年化への対応	.....	26
5. グループ内全構造物への展開	.....	27
6. 2号炉の評価	.....	28

1. 経年劣化事象と劣化要因の概要(1/3)

構造物ごとの経年劣化事象と劣化要因①

構造物	経年劣化事象	劣化要因	
コンクリート	強度低下	熱	コンクリートが熱を受けると、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大などにより強度が低下する可能性がある。
		放射線照射	コンクリートは、中性子照射やガンマ線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、強度が低下する可能性がある。
		中性化	コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。 中性化がコンクリートの内部に進行しアルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。さらに、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張から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健全性が損なわれる可能性がある。

1. 経年劣化事象と劣化要因の概要(2/3)

構造物ごとの経年劣化事象と劣化要因②

構造物	経年劣化事象	劣化要因	
コンクリート	強度低下	塩分浸透	<p>コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため鉄筋は、コンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張から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健全性が損なわれる可能性がある。</p>
		機械振動	<p>機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性がある。</p>
		アルカリ骨材反応	<p>コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ(ナトリウムイオンやカリウムイオン)が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、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。</p>
		凍結融解	<p>コンクリートの水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けることなどにより融解する凍結融解を繰り返すことでコンクリートにひび割れが生じ、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。</p>

1. 経年劣化事象と劣化要因の概要(3/3)

構造物ごとの経年劣化事象と劣化要因③

構造物	経年劣化事象	劣化要因	
コンクリート	遮蔽能力低下	熱	<p>コンクリートは、周辺環境からの伝熱および放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性がある。</p>
鉄骨	強度低下	腐食	<p>鉄は一般に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する。また、海塩粒子などにより、腐食が促進される。腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。</p>
		風などによる疲労	<p>繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物にかかることにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。</p>

2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(1/8)

2-1. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定手順

ステップ1 評価対象構造物の選定とグループ化

【重要度指針におけるクラス1、2に該当する構造物または該当する機器を支持する構造物】

【重要度指針におけるクラス3のうち高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物】

【常設重大事故等対処設備、常設重大事故等対処設備を支持する構造物】

【浸水防護施設に属する構造物】

に該当する構造物を選定し、コンクリート構造物と鉄骨構造物にグループ化



ステップ2 代表構造物の選定

グループ化した評価対象構造物について、使用条件等を考慮して代表構造物を選定



ステップ3 劣化要因ごとの評価対象部位等を選定

代表構造物について、劣化要因ごとに使用環境等を考慮して評価対象部位、評価点を選定

2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(2/8)

2-2. 代表構造物の選定

a. 評価対象構造物の選定とグループ化

選定した評価対象構造物をコンクリート構造物および鉄骨構造物にグループ化した結果を下表に示す

評価対象構造物のグループ化(1号炉)

対象構造物	主な重要度分類等	コンクリート構造物	鉄骨構造物
外部遮蔽壁	クラス1設備支持	○	—
内部コンクリート	クラス1設備支持	○	—
原子炉格納施設基礎	クラス1設備支持	○	—
原子炉補助建屋	クラス1設備支持 浸水防護施設	○	○ (鉄骨部、溢水防護扉)
取水構造物	クラス1設備支持	○	—
タービン建屋	クラス3設備支持	○	○ (鉄骨部)
非常用ディーゼル発電用 燃料油貯油タンク基礎	クラス1設備支持	○	—
復水タンク基礎	クラス1設備支持	○	—
緊急時対策所	常設重大事故等対処設備	○	—
非常用海水路	常設重大事故等対処設備	○	—

2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(3/8)

b. 代表構造物の選定結果

評価対象構造物ごとの使用条件等によりグループ内の代表構造物を選定

(1) コンクリート構造物における選定結果(1号炉)

 :グループ内代表構造物とする使用条件等

対象構造物 (コンクリート構造物)	使用条件等							特別点検 結果	選定理由	
	運転開始後 経過年数	高温部の 有無	放射線の 有無	振動の 有無	設置環境		供給 塩化物量			選定
					屋 内	屋 外				
外部遮蔽壁	40	◇	◇	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	◎	屋内で仕上げ無し	
内部コンクリート	40	○ (1次遮蔽壁)	○ (1次遮蔽壁)	—	一部 仕上げ無し	/	/	◎	高温部、放射線の影響、 屋内で仕上げ無し	
原子炉格納施設基礎	40	—	◇	—	仕上げ有り	埋設*1	◇	◎	代表構造物を支持する構造物	
原子炉補助建屋	40	—	◇	○ (非常用ディーゼル 発電機基礎)	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	◎	◎	振動の影響、 屋内で仕上げ無し 特別点検結果(中性化深さ)
取水構造物	40	—	—	—	/	仕上げ無し	○ (海水と接触)	◎	◎	屋外で仕上げ無し、 供給塩化物量の影響 特別点検結果(塩分浸透)
タービン建屋	40	—	—	○ (タービン架台)	一部 仕上げ無し	埋設*1	◇	◎		振動の影響、 屋内で仕上げ無し
非常用ディーゼル発電用 燃料油貯油タンク基礎	40	—	—	—	/	埋設*1	◇			
復水タンク基礎	40	—	—	—	/	埋設*1	◇			
緊急時対策所	0	—	—	—	仕上げ有り	仕上げ有り	◇			
非常用海水路	40	—	—	—	/	仕上げ無し	○ (海水と接触)	◎		供給塩化物量の影響

*1:環境条件の区分として、土中は一般の環境として区分されることから、他の屋外で仕上げがない構造物で代表させる。

【凡例】 ○:影響大、◇:影響小。—:影響極小、または無し

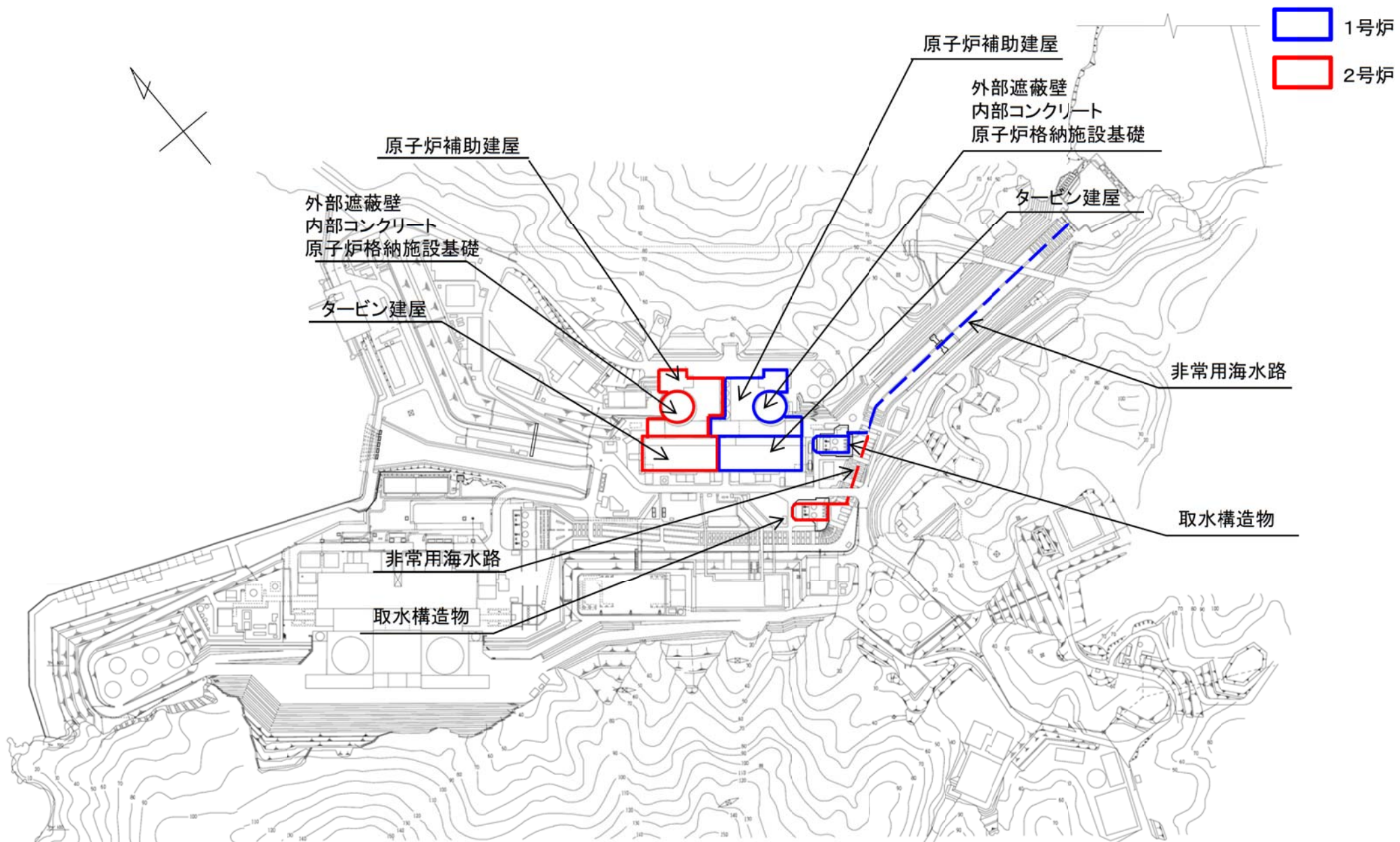
2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(4/8)

(2) 鉄骨構造物における選定結果(1号炉)

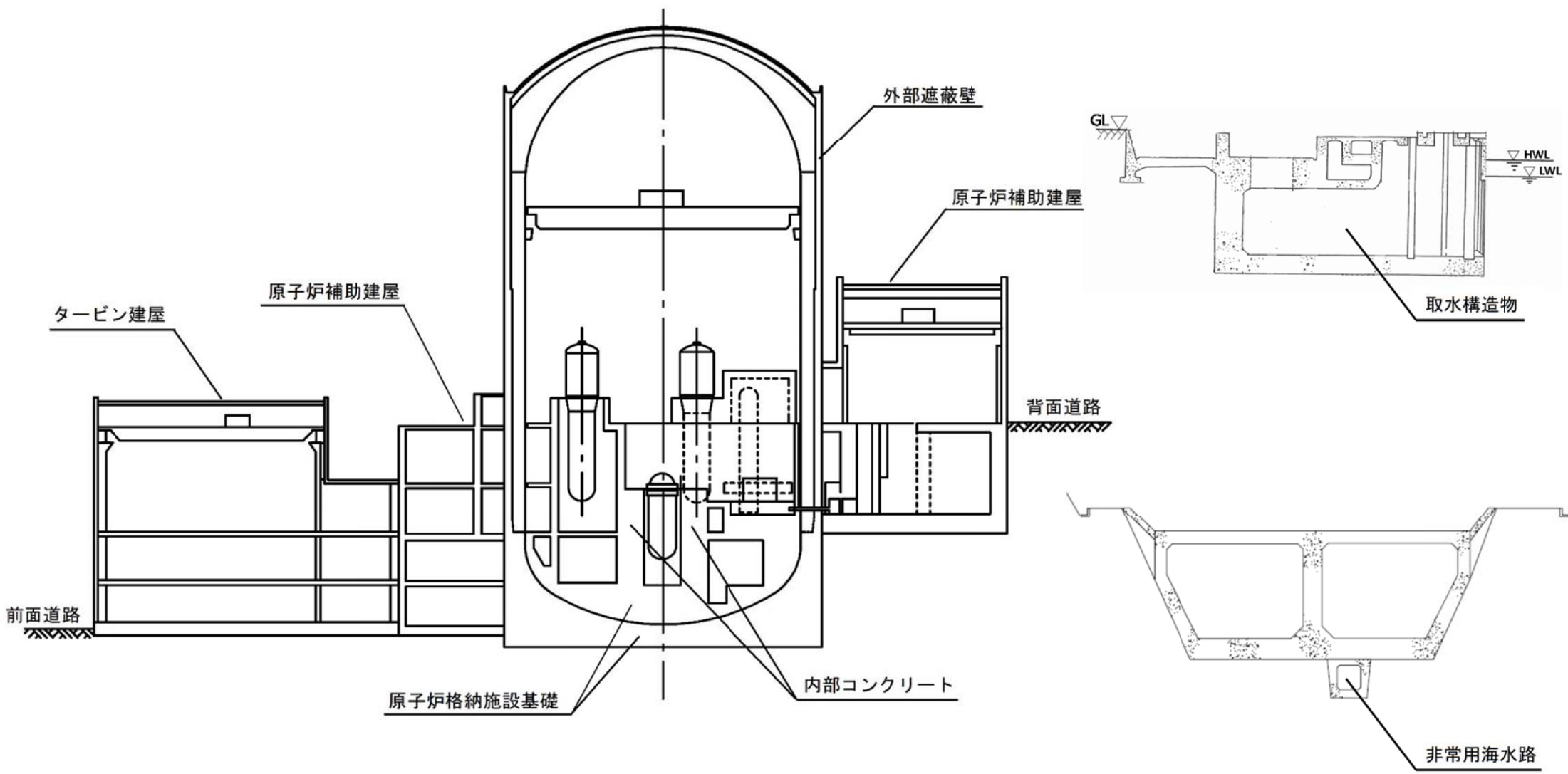
:グループ内代表構造物とする使用条件等

対象構造物 (鉄骨構造物)	使用条件		選定	選定理由	
	運転開始後 経過年数	設置環境			
		屋内			屋外
原子炉補助建屋(鉄骨部)	40	仕上げ有り	◎	運転開始後経過年数	
タービン建屋(鉄骨部)	40	仕上げ有り	◎	運転開始後経過年数	
原子炉補助建屋(溢水防護扉)	2	仕上げ有り			

2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(5/8)



代表構造物 配置図



代表構造物の概要

2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(7/8)

2-3. 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出

「1. 経年劣化事象と劣化要因の概要」で示した経年劣化事象のうち、以下の経年劣化事象以外について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として抽出した

(1)腐食

- ・想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っていることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と判断した

(2)アルカリ骨材反応、凍結融解、風などによる疲労

- ・今後も経年劣化事象の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と判断した

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と理由

構造物	経年劣化事象	理由	
コンクリート	強度低下	アルカリ骨材反応	定期的に見視確認を実施しているが、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。使用している骨材(粗骨材、細骨材)については、1985年にモルタルパー法による反応性試験を実施し、反応性骨材ではないことを確認している。これに加え、特別点検により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した。
		凍結融解	日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説JASS5 鉄筋コンクリート工事」(2009)に示される凍害危険度の分布図によると高浜1、2号炉の周辺地域は「ごく軽微」よりも危険度が低い。
鉄骨	強度低下	腐食	鉄骨は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、定期的な目視確認により塗膜の状態を確認し、鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化等が認められた場合は補修を実施することとしている。
		風などによる疲労	鉄骨構造物は、疲労破壊が生じるような風などによる繰返し荷重を継続的に受ける構造部材はない。

2. 代表構造物、評価対象部位および評価点の選定(8/8)

2-4. 劣化要因ごとの評価対象部位の選定結果

経年劣化事象に対する劣化要因ごとの評価対象部位について、選定した結果を下表に示す

経年劣化事象に対する要因ごとの評価対象部位(1号炉)

構造種別		コンクリート構造物							鉄骨構造物		
		強度低下							遮蔽能力低下	強度低下	
経年劣化事象											
要因		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	機械振動	アルカリ骨材反応	凍結融解	熱	腐食	風などによる疲労
代表 構 造 物	外部遮蔽壁			屋内面* ○			▲	▲			
	内部コンクリート	1次遮蔽壁* ○	1次遮蔽壁* ○				▲	▲	1次遮蔽壁* ○		
	原子炉格納施設基礎						▲	▲			
	原子炉補助建屋			基礎マット* ○		非常用ディーゼル発電設備基礎* ○	▲	▲		鉄骨部* △	鉄骨部* ▲
	取水構造物			気中帯* ○	○		▲	▲			
	タービン建屋					タービン架台* ○	▲	▲		鉄骨部* △	鉄骨部* ▲
	非常用海水路				○		▲	▲			

凡例 ○:高経年化対策上着目すべき経年劣化事象
 △:高経年化対策上着目すべき事象ではない事象(日常劣化管理事象)
 ▲: (同上) (日常劣化管理事象以外)
 *:評価対象部位

3. 健全性評価－熱による強度低下(1/2)

・コンクリート構造物の強度低下をもたらす可能性がある要因毎に、60年間の運転を想定した健全性評価を行う

3-1. コンクリートの強度低下

3-1-1. 熱による強度低下

a. 評価対象部位

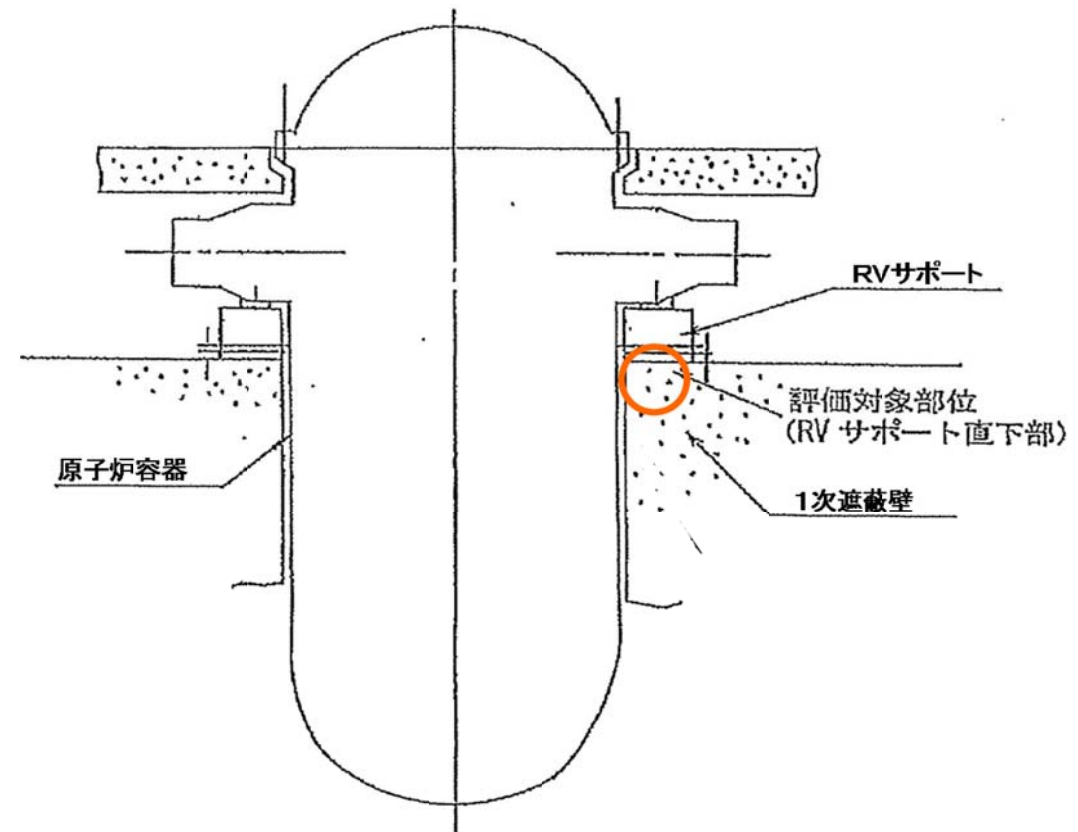
1次遮蔽壁(内部コンクリート)

b. 評価点

運転時に最も高温となる原子炉容器支持構造物(RVサポート)直下部

c. 評価手順

温度分布を3次元伝熱解析コードにより算出



1次遮蔽壁の概要

3. 健全性評価－熱による強度低下(2/2)

d. 健全性評価結果

コンクリートの最高温度は制限値以下であり、健全性評価上問題とはならない

1次遮蔽壁における解析による最高温度と制限値の比較(1号炉)

最高温度(°C)	制限値※(°C)	判定
約64	65	OK

※日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」(1988)

また、熱の評価点近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

熱の評価点近傍におけるコンクリートの強度試験結果(1号炉)

	強度試験結果	
	平均圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
内部コンクリート (1次遮蔽壁)	25.5	≧ 20.6

3. 健全性評価－放射線による強度低下(1/3)

3-1-2. 放射線による強度低下

a. 評価対象部位

1次遮蔽壁(内部コンクリート)

b. 評価点

中性子、ガンマ線照射量が最大となる1次遮蔽壁
炉心側コンクリート

c. 評価手順

(1) 放射線量率の算定

・1次遮蔽壁における中性子束及びガンマ線量率
を2次元輸送計算コードDORTにより算出

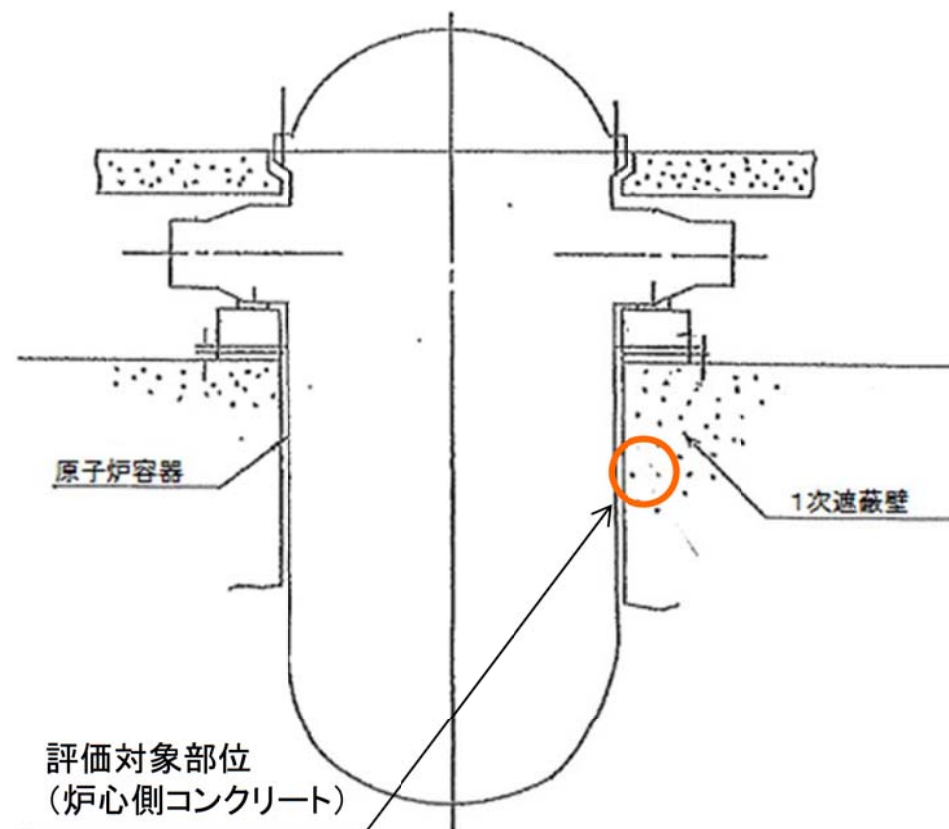
(2) 放射線照射量の算出

・上記線量率に運転時間※を掛けて中性子照射量
およびガンマ線照射量を算出

※運転時間の算出において用いた設備利用率

・2013年6月30日まで:実績

・2013年7月1日以降 :85%(想定)



1次遮蔽壁の概要

3. 健全性評価－放射線による強度低下(2/3)

d. 健全性評価結果

(1) 中性子照射量

- ・運転開始後60年時点における中性子照射量は基準値以下であり、健全性評価上問題とならない

1次遮蔽壁における中性子照射量の解析値と基準値との比較(1号炉)

	運転開始後60年経過時点 の解析値	基準値※	判定
中性子照射量 (n/cm ²)	約4.43 × 10 ¹⁹	1.0 × 10 ²⁰	OK

※日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説」(2008)

3. 健全性評価－放射線による強度低下(3/3)

(2)ガンマ線照射量

- ・運転開始後60年時点におけるガンマ線照射量は、基準値を越える部分あり
- ・基準値を超える範囲は、深さ方向に最大でも6cm程度であり、1次遮蔽壁の厚さ(最小壁厚269cm)に比べて小さいことから、構造強度上問題とはならない

1次遮蔽壁におけるガンマ線照射量の解析値と基準値との比較(1号炉)

	運転開始後60年経過時点の解析値	基準値※	基準値を超える範囲
ガンマ線照射量 (rad)	約 2.31×10^{10}	2.0×10^{10}	最大6cm程度

※日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説」(2008)

また、放射線照射の評価点近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

放射線照射の評価点近傍におけるコンクリートの強度試験結果(1号炉)

	強度試験結果	
	平均圧縮強度(N/mm ²)	設計基準強度(N/mm ²)
内部コンクリート(1次遮蔽壁)	25.5	≥ 20.6

3. 健全性評価－中性化による強度低下(1/2)

3-1-3. 中性化による強度低下

a. 評価対象部位(1号炉)

- ・屋内:外部遮蔽壁
- ・屋外:取水構造物
- ・実測値:原子炉補助建屋

b. 評価点(1号炉)

空気環境の違いが中性化の進展に影響を与えることを踏まえ評価点を選定

- ・屋内:空気環境の実測値を踏まえた中性化への影響度が最も大きい外部遮蔽壁の屋内面
- ・屋外:空気環境に大きな違いが生じないため空気環境の影響をより受ける取水構造物のうち気中帯
- ・実測値:中性化深さの実測値が最大であった原子炉補助建屋の基礎マット

c. 評価手順

(1) 中性化深さの推定

- ・中性化推定式(中性化深さの実測値、空気環境値等を入力)により、運転開始後60年経過時点の中性化深さを算出

(2) 最大中性化深さ推定値の抽出

- ・中性化推定式により得られる中性化深さのうち、最大値となる中性化深さを抽出

(3) 鉄筋が腐食し始める時の中性化深さの算出

- ・鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さとして、屋内はかぶり厚さに2cmを加えた値、屋外はかぶり厚さの値をそれぞれ算出

(4) 運転開始後60年経過時点の中性化深さの評価

- ・(2)と(3)の中性化深さを比較

※中性化深さの実測値が若干ばらつくことを踏まえ、評価点を複数とし、かつ推定値による評価を合わせて行うことで、より保守的な評価結果が得られるようにしている

3. 健全性評価－中性化による強度低下(2/2)

d. 健全性評価結果

運転開始後60年経過時点における中性化深さが最大となる評価点において、鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さに達していないことから、健全性評価上問題とはならない

運転開始後60年後時点と鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さの比較(1号炉)

	中性化深さ(cm)			鉄筋が腐食し始める時の 中性化深さ※2 (cm)	判定	備考 (強度試験結果)	
	測定値 (調査時点の 運転開始後経 過年)	推定値※1				平均圧 縮強度 (N/mm ²)	設計基 準強度 (N/mm ²)
		調査時点※2 (中性化速度式)	運転開始後 60年経過時点 (中性化速度式)				
外部遮蔽壁 (屋内面)	0.2 (40年)	3.8 (森永式)	4.7 (森永式)	7.0	OK	—	—
原子炉補助建屋 (基礎マット)	3.4 (40年)	4.3 (岸谷式)	5.3 (岸谷式)	10.0	OK	22.6	≥ 17.7
取水構造物 (気中帯)	0.1 (40年)	2.2 (岸谷式)	2.7 (岸谷式)	8.75	OK	28.7	≥ 23.5

※1: 岸谷式、森永式および実測値に基づく \sqrt{t} 式による評価結果のうち最大値を記載

※2: 屋内(外部遮蔽壁、原子炉補助建屋)はかぶり厚さに2cmを加えた値、屋外(取水構造物)はかぶり厚さの値

また、中性化の評価点近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

3. 健全性評価－塩分浸透による強度低下(1/2)

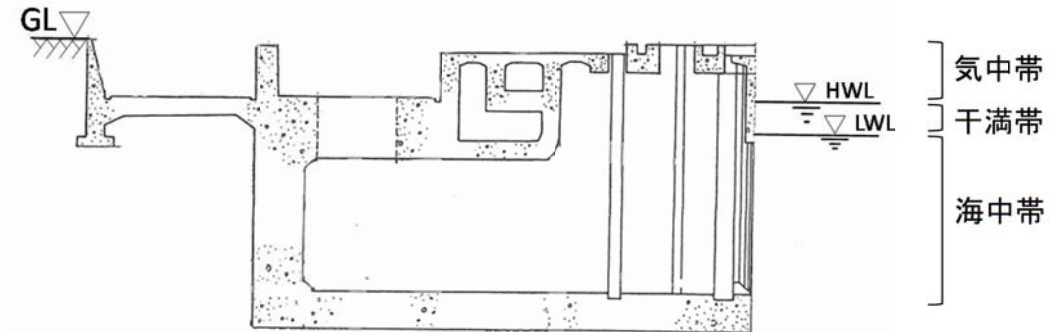
3-1-4. 塩分浸透による強度低下

a. 評価対象部位

- ・取水構造物、非常用海水路

b. 評価点

- ・取水構造物については、環境条件が異なる気中帯、干満帯、海中帯を選定
気中帯、干満帯、海中帯についてはH.W.L及びL.W.Lを考慮
- ・非常用海水路については、全体が取水構造物の海中帯に相当



取水構造物 断面図

H.W.L: T.P.+0.05m
L.W.L: T.P.-0.67m

(現地での観測記録(2005.1~2010.12)による)

c. 評価手順

- (1) 運転開始後60年時点における鉄筋腐食減量の算出
 - ① 拡散方程式: 運転開始経過年ごとの鉄筋位置における塩化物イオン量を算出
 - ② 森永式※: 塩化物イオン量を用いて運転開始経過年数ごとの鉄筋腐食減量を算出
- (2) かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋腐食減量の算出
 - ・森永式: 鉄筋径およびかぶり厚さを用いて、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋腐食減量を算出
- (3) 運転開始後60年時点における鉄筋腐食減量の評価
 - ・(1)(2)の鉄筋腐食減量を比較

※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))

3. 健全性評価－塩分浸透による強度低下(2/2)

d. 健全性評価結果

運転開始後60年経過時点における鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っていることから、健全性評価上問題とはならない

運転開始後60年経過時点とかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量の比較(1号炉)

	調査時期 (運転開始 後経過年 数)	鉄筋位置での 塩化物イオン 濃度および量 上段(%) 下段(kg/m ³)	鉄筋の腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)			判定	備考 (強度試験結果)	
			調査時点	運転開始後 60年経過時 点	かぶりコンク リートにひび 割れが発生 する時点		平均圧縮 強度 (N/mm ²)	設計基準 強度 (N/mm ²)
取水構造物 (気中帯)	2015年 (40年)	0.05 (1.24)	3.5	5.8	88.1	OK	—	—
取水構造物 (干満帯)	2015年 (40年)	0.05 (1.23)	0.5	1.2	88.1	OK	31.0	≥ 23.5
取水構造物 (海中帯)	2015年 (40年)	0.33 (7.83)	7.2	14.6	90.1	OK	45.5	≥ 23.5
非常用海水路	2015年 (40年)	0.10 (2.36)	2.6	4.6	90.1	OK	37.5	≥ 23.5

また、塩分浸透の評価点近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

3. 健全性評価－機械振動による強度低下

3-1-5. 機械振動による強度低下

a. 評価対象部位

- (1)タービン架台(タービン建屋)
- (2)非常用ディーゼル発電機基礎(原子炉補助建屋)

b. 評価点

- ・局部的に影響をうける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリート

c. 健全性評価結果

- (1)定着部周辺コンクリートにひび割れが発生する可能性はある
- (2)現状保全において定期的な目視確認を実施しており、有意な欠陥等がないことを確認
- (3)今後も現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能

また、機械振動の評価対象から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

機械振動の評価対象におけるコンクリートの強度試験結果(1号炉)

	強度試験結果	
	平均圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
原子炉補助建屋(非常用ディーゼル発電機基礎)	20.7	≥ 17.7
タービン建屋(タービン架台)	23.7	≥ 17.7

3. 健全性評価－強度試験結果

3-1-6. コンクリートの強度試験結果

技術評価に加え、コンクリート構造物から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、試験結果(平均圧縮強度)が設計基準強度を上回っていることを確認

コンクリートの強度試験結果(1号炉)

代表構造物	コアサンプル 本数(本)	試験結果(平均圧縮強度) (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)	判定
外部遮蔽壁	3	37.9	20.6	OK
内部コンクリート	3	25.5		OK
原子炉格納施設基礎	3	35.4		OK
原子炉補助建屋	15	26.3	17.7	OK
タービン建屋	9	31.8		OK
取水構造物	9	35.1	23.5	OK
非常用海水路	3	37.5		OK

※すべてのコアサンプルの試験結果が設計基準強度を上回っていることを確認している

3. 健全性評価－遮蔽能力低下(1/2)

3-2. コンクリートの遮蔽能力低下

a. 評価対象部位

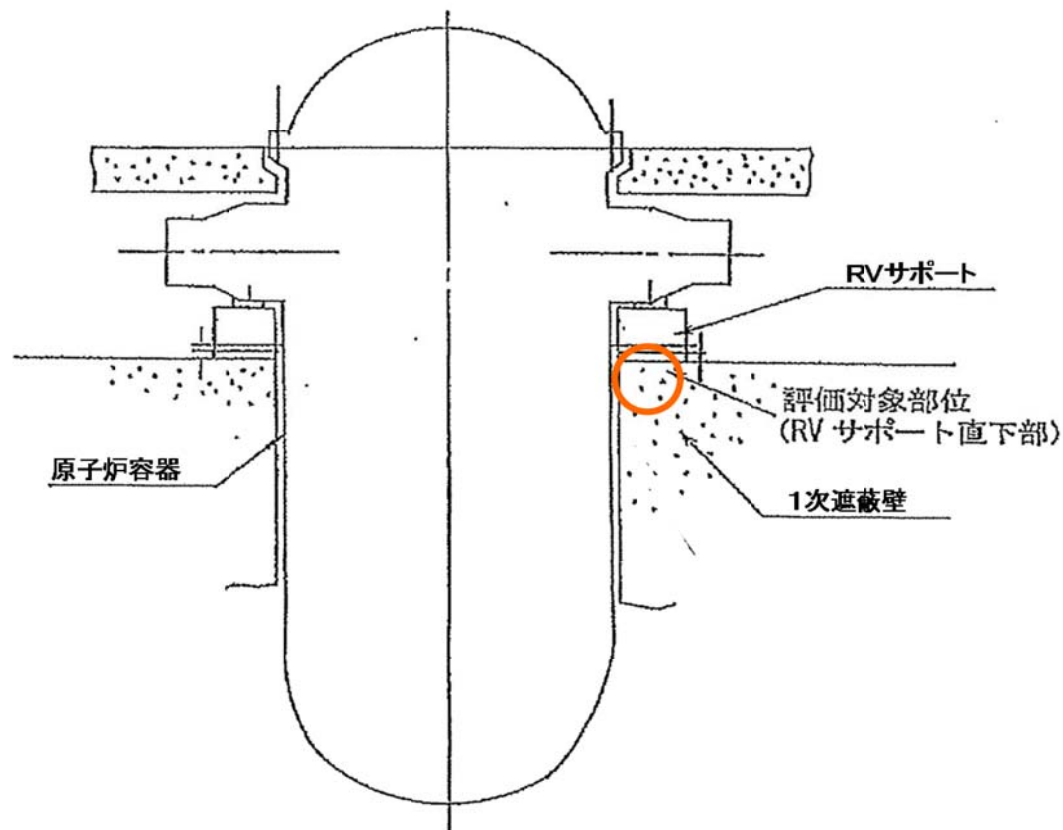
- ・1次遮蔽壁(内部コンクリート)

b. 評価点

- ・運転時に最も高温となる原子炉容器支持構造物(RVサポート)直下部

c. 評価手順

- ・温度分布を3次元伝熱解析コードにより算出



1次遮蔽壁の概要

3. 健全性評価－遮蔽能力低下(2/2)

d. 健全性評価結果

・コンクリートの最高温度は制限値以下であり、水分の逸散はほとんどないと考えられることから、健全性評価上問題とはならない

1次遮蔽壁における解析による最高温度と制限値の比較(1号炉)

	最高温度(°C)	制限値※(°C)	判定
中性子遮蔽	約64	88	OK
ガンマ線遮蔽	約64	177	OK

※「コンクリート遮蔽体設計規準」(R.G.Jaeger et al.「Engineering Compendium on Radiation Shielding(ECRS) VOL.2」)

また、遮蔽能力の評価点近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において乾燥単位容積質量を確認した結果、放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を担保することが確認された値を上回っていることを確認

遮蔽能力の評価点近傍におけるコンクリートの乾燥単位容積質量(1号炉)

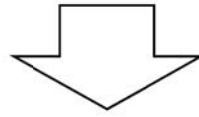
	乾燥単位容積質量(g/cm ³)	
	試験結果	遮蔽能力を担保することが確認された値
内部コンクリート(1次遮蔽壁)	2.207	≧ 2.1

4. 現状保全、総合評価、高経年化への対応

経年劣化事象	現状保全	総合評価	冷温停止状態 の評価	高経年化へ の対応
コンクリートの 強度低下	<ul style="list-style-type: none"> ○目視点検 <ul style="list-style-type: none"> ・強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを定期的を確認し、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施している ○非破壊試験による点検 <ul style="list-style-type: none"> ・強度に急激な経年劣化が生じていないことを定期的を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ○現状において、設計基準強度を上回っており、強度低下が急激に発生する可能性は極めて小さいと考えられる ○ガンマ線照射量が、基準値を一部超えているが、その範囲は壁厚全体に比べて小さいことから構造強度上問題とならない ○保全方法は適切であり現状保全を継続することにより健全性の維持は可能 	<ul style="list-style-type: none"> ○冷温停止状態において、発生・進展が断続運転を前提とした場合と比べて厳しくなることが想定される経年劣化事象は抽出されず、現状保全を継続実施することで健全性の維持は可能 	<ul style="list-style-type: none"> ○現状保全の継続実施 ○高経年化対策の観点から追加すべき項目なし
コンクリートの 遮蔽能力低下	<ul style="list-style-type: none"> ○目視点検 <ul style="list-style-type: none"> ・遮蔽能力に支障をきたす可能性があるひび割れ等の有意な欠陥がないことを定期的を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ○遮蔽能力の低下の可能性はないと考える ○ひび割れ等については目視確認で検知可能であり保全方法として適切 		

5. グループ内全構造物への展開

・コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価については、代表構造物について、各経年劣化事象に影響を及ぼす要因毎に使用条件等を考慮して実施しており、グループ内構造物の使用条件は代表構造物に包含されているため、技術評価結果も代表構造物に包含された結果となる



グループ内全構造物の技術評価は実施済み

6. 2号炉の評価(1/2)

・健全性評価の概要

劣化要因	評価対象	評価指標	評価値	基準値	判定	強度試験結果			
						平均圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)		
強度低下	熱	1次遮蔽壁	温度(°C)	約64	65	OK	29.2	20.6	
	放射線照射	1次遮蔽壁	中性子照射量(n/cm ²)	約4.49 × 10 ¹⁹	1.0 × 10 ²⁰	OK	29.2	20.6	
		1次遮蔽壁	ガンマ線照射量(rad)	約2.34 × 10 ¹⁰	2.0 × 10 ¹⁰	基準値を超える範囲は最大8cm程度			
	中性化	内部コンクリート※1	中性化深さ(cm)	4.0	6.0	OK	—	—	
		タービン建屋※1		3.9	8.0	OK	27.9	17.7	
		取水構造物		2.7	8.55	OK	23.9	23.5	
	塩分浸透	取水構造物(気中帯)	鉄筋腐食減量 (× 10 ⁻⁴ g/cm ²)	21.1	90.1	OK	—	—	
		取水構造物(干満帯)		1.2	90.1	OK	27.0	23.5	
		取水構造物(海中帯)		7.1	90.1	OK	49.2	23.5	
		非常用海水路		7.6	90.1	OK	38.6	23.5	
	機械振動	原子炉補助建屋	—	(1号炉と同様の評価を実施)			27.1	17.7	
		タービン建屋					20.9	17.7	
	遮蔽能力低下	熱	1次遮蔽壁	中性子:温度(°C)	約64	88	OK	2.185※2	2.1※2
				ガンマ線:温度(°C)	約64	177	OK		

※1: 1号炉と評価対象が異なるもの(環境条件および特別点検結果が異なることによる違い)

※2: 乾燥単位容積質量(g/cm³)について記載

6. 2号炉の評価(2/2)

・2号炉の強度試験結果

コンクリートの強度試験結果(2号炉)

代表構造物	コアサンプル 本数(本)	試験結果(平均圧縮強度) (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)	判定
外部遮蔽壁	3	38.6	20.6	OK
内部コンクリート	3	29.2		OK
原子炉格納施設基礎	3	25.3		OK
原子炉補助建屋	12	30.6	17.7	OK
タービン建屋	9	33.3		OK
取水構造物	9	33.4	23.5	OK
非常用海水路	3	38.6		OK

※すべてのコアサンプルの試験結果が設計基準強度を上回っていることを確認している

(参考) 中性化深さの推定式

①岸谷式※1

$$t = \frac{0.3(1.15+3 \cdot w/c)}{R^2(w/c-0.25)^2} \cdot C^2 \quad (w/c \geq 0.6)$$

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6 \cdot w/c - 1.76)^2} \cdot C^2 \quad (w/c < 0.6)$$

t : 期間(年)
w/c : 水セメント比
C : 中性化深さ(cm)
R : 中性化比率、 $R = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$
 α : 劣化外力の区分による係数
 β : 仕上げ材による係数
 γ : セメントによる係数

②森永式※1

$$X = \sqrt{\frac{C}{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022T) \cdot (4.6 \cdot w/c / 100 - 1.76) \cdot \sqrt{t} \quad (w/c \leq 60)$$

$$X = \sqrt{\frac{C}{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022T) \cdot \frac{4.9 \cdot (w/c / 100 - 0.25)}{\sqrt{1.15 \cdot 3.0 \cdot w/c}} \cdot \sqrt{t} \quad (w/c > 60)$$

③ \sqrt{t} 式※2

$$C = A \cdot \sqrt{t}$$

C : 中性化深さ(mm)
t : 材齢(年)
A : 中性化速度係数

X : 中性化深さ(mm)
T : 温度(°C)
t : 材齢(日)
C : 炭酸ガス濃度(%)
RH : 湿度(%)
w/c : 水セメント比(%)
R : 中性化比率

※1: 日本建築学会 原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説 参照

※2: 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説 参照