

東海第二発電所 劣化状況評価 (コンクリート構造物:コンクリートの強度低下 及び遮蔽能力低下(含む鉄骨構造の強度低下))

平成30年5月31日

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

目次

1. 概要	3
2. 基本方針	7
3. 評価対象と評価手法	9
4. 代表構造物の技術評価	18
5. 代表構造物以外の技術評価	32
6. まとめ	33

1. 概要(1/4)

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第114条の規定に基づく、劣化状況評価の補足としてコンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨構造の強度低下)に関する評価結果を説明するとともに、評価内容の補足資料をとりまとめたものである。

1. 概要(2/4)

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象, 劣化要因を下表に示す。

経年劣化事象及び劣化要因(1/3)

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を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等により、強度が低下する可能性がある。
		放射線照射	コンクリートが中性子照射やガンマ線照射を受けると、照射量によっては、 コンクリート中の水分が逸散し、乾燥に伴うひび割れ等により コンクリートの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、表面から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、鉄筋を保護する能力が失われると、鉄筋はコンクリート中の水分及び酸素の作用により腐食し始め、腐食に伴う体積膨張によりコンクリートにひび割れやはく離が生じ、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. 概要(3/4)

経年劣化事象及び劣化要因(2/3)

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	コンクリート中に塩化物イオンが浸透し、鉄筋位置まで達すると、鉄筋の腐食が徐々に進行し、鉄筋の膨張によりコンクリートにひび割れやはく離が生じ、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。
		アルカリ骨材反応	アルカリ骨材反応は、コンクリート中に存在するアルカリ溶液と、骨材中に含まれる反応性のシリカ鉱物の化学反応である。このとき生成されたアルカリ・シリカゲルが周囲の水を吸収し膨張すると、コンクリート表面にひび割れが生じ、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。
		機械振動	コンクリート構造物は、長期間にわたって機械振動による繰返し荷重を受けるとひび割れが発生し、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。
		凍結融解	コンクリート中の水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けること等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。

1. 概要(4/4)

経年劣化事象及び劣化要因(3/3)

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	コンクリートが周辺環境からの伝達熱及び放射線照射に起因するコンクリート内部の温度上昇により、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。
	耐火能力低下	火災時などの熱	コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保できるが、部分的な断面厚の減少に伴い耐火能力が損なわれる可能性がある。
鉄骨	強度低下	腐食	一般的に、鋼材は大気中の酸素及び水分と化学反応を起こして腐食する。腐食は、海塩粒子等により促進され、進行すると鋼材の断面欠損に至り、鉄骨構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
		風などによる疲労	繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物に作用することにより、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。

2. 基本方針(1/2)

構造物の経年劣化事象、劣化要因に対しての審査基準の要求事項を下表に示す。

審査基準	要求事項
実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準	<p>(1) コンクリートの強度低下</p> <p>① 熱</p> <p>○評価対象部位のコンクリートの温度が制限値(貫通部は90℃、その他の部位は65℃)を超えたことがある場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>② 放射線照射</p> <p>○評価対象部位の累積放射線照射量が、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある値を超えている又は超える可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>③ 中性化</p> <p>○評価対象部位の中性化深さが、鉄筋が腐食し始める深さまで進行しているか又は進行する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>④ 塩分浸透</p> <p>○評価対象部位に塩分浸透による鉄筋腐食により有意なひび割れが発生しているか又は発生する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>⑤ アルカリ骨材反応</p> <p>○評価対象部位にアルカリ骨材反応による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p>

2. 基本方針(2/2)

審査基準	要求事項
<p>実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準</p>	<p>⑥ 機械振動 ○評価対象機器のコンクリート基礎への定着部周辺コンクリート表面に機械振動による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>⑦ 凍結融解 ○評価対象部位に凍結融解による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>(2) コンクリートの遮蔽能力低下</p> <p>① 熱 ○中性子遮蔽のコンクリートの温度が88 °C又はガンマ線遮蔽のコンクリートの温度が177 °Cを超えたことがある場合は、評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の遮蔽能力が原子炉設置(変更)許可における遮蔽能力を下回らないこと。</p> <p>(3) 鉄骨の強度低下</p> <p>① 腐食 ○評価対象部位に腐食による断面欠損が生じている場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p> <p>② 風などによる疲労 ○評価対象部位に風などの繰り返し荷重による疲労破壊が発生している又は発生する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p>

3. 評価対象と評価手法(1/9)

○代表構造物, 評価対象部位及び評価点の選定手順

手順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に該当する構造物又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に該当する高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物】

【浸水防護施設に属する構造物】

【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】

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

※ 火災防護設備に属する構造物を含む



手順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



手順3 劣化要因毎の評価対象部位等を選定

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

3. 評価対象と評価手法(2/9)

(1) 代表構造物の選定

① 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及び鉄骨構造物にグループ化

評価対象構造物のグループ化(1/2)

対象構造物	重要度クラス	コンクリート構造物	鉄骨構造物
原子炉建屋 (非常用ディーゼル発電機海水系配管トレンチ, 廃棄物処理棟及び廃棄物処理建屋含む)	クラス1設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	○ (鉄骨部)
タービン建屋	クラス1設備支持	○	○ (鉄骨部)
取水口構造物	クラス1設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	—
排気筒基礎	クラス1設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	—
使用済燃料乾式貯蔵建屋	クラス2設備支持	○	○ (鉄骨部)
防潮堤	浸水防護施設	○	○
常設低圧代替注水系格納槽	常設重大事故等対処設備	○	—
常設代替高圧電源装置置場 (軽油貯蔵タンク基礎及びカルバート含む)	クラス1設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	—
SA用海水ピット(取水塔含む)	常設重大事故等対処設備	○	—

3. 評価対象と評価手法(3/9)

評価対象構造物のグループ化(2/2)

対象構造物	重要度クラス	コンクリート構造物	鉄骨構造物
緊急用海水ポンプピット	常設重大事故等対処設備	○	—
格納容器圧力逃がし装置格納槽(カルバート含む)	常設重大事故等対処設備	○	—
緊急時対策所建屋(発電機燃料油貯蔵タンク基礎含む)	常設重大事故等対処設備	○	—
西側淡水貯水設備	常設重大事故等対処設備	○	—
防潮扉	浸水防護施設	—	○
放水路ゲート	浸水防護施設	—	○
構内排水路逆流防止設備	浸水防護施設	—	○
貯留堰	浸水防護施設, 常設重大事故等対処設備	—	○
浸水防止蓋	浸水防護施設	—	○
水密扉	浸水防護施設	—	○

3. 評価対象と評価手法(4/9)

② 代表構造物の選定結果

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

○コンクリート構造物における選定結果(1/2)

: 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	耐火要求 の有無	選定		
					屋内	屋外					
原子炉建屋 (非常用ディーゼル発電機海水系 配管トレンチ、廃棄物処理棟及び 廃棄物処理建屋含む)	39	○ (ペDESTAL)	○ (ペDESTAL, 一次遮蔽壁)	○ (非常用デー ゼL発電機 基礎)	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	-	◎		高温部及び放射線の影響、屋内で 仕上げ無し
タービン建屋	39	◇	◇	○ (タービン発電 機架台)	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)
取水口構造物	39	-	-	-	/	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 及び中性化深さ)
排気筒基礎*1	39	-	-	-	/	仕上げ有り	◇	/			
使用済燃料乾式貯蔵建屋	16	◇	◇	-	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	-			
防潮堤	0	-	-	-	/	仕上げ無し	◇	/			
常設低圧代替注水系格納槽	0	-	-	-	一部 仕上げ無し	埋設*2	-	-			
常設代替高圧電源装置置場 (軽油貯蔵タンク基礎及びカル パート含む)	0	-	-	-	一部 仕上げ無し	埋設*2	-	-			


*1: 新規制基準への適合のため部分改修予定であるが、保守的に既存部として評価する

*2: 環境条件の区分として、土中は一般の環境に区分されることから、他の屋外で仕上げが無い構造物で代表させる

【凡例】 ○: 影響大 ◇: 影響小 -: 影響極小, 又は無し

3. 評価対象と評価手法(5/9)

○コンクリート構造物における選定結果(2/2)

 :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	耐火要求 の有無	選定	選定	
					屋内	屋外					
SA用海水ピット(取水塔含む)	0	-	-	-	/	埋設*2	○ (海水と接触)	/			
緊急用海水ポンプピット	0	-	-	-	/	埋設*2	○ (海水と接触)	-			
格納容器圧力逃がし装置格納槽(カルバート含む)	0	-	-	-	一部 仕上げ無し	埋設*2	-	-			
緊急時対策所建屋(発電機燃料油貯蔵タンク基礎含む)	0	-	-	-	仕上げ有り	仕上げ有り	-	-			
西側淡水貯水設備	0	-	-	-	仕上げ有り	埋設*2	-	/			

*1:新規基準への適合のため部分改修予定であるが、保守的に既存部として評価する

*2:環境条件の区分として、土中は一般の環境に区分されることから、他の屋外で仕上げが無い構造物で代表させる

【凡例】 ○:影響大 ◇:影響小 -:影響極小, 又は無し

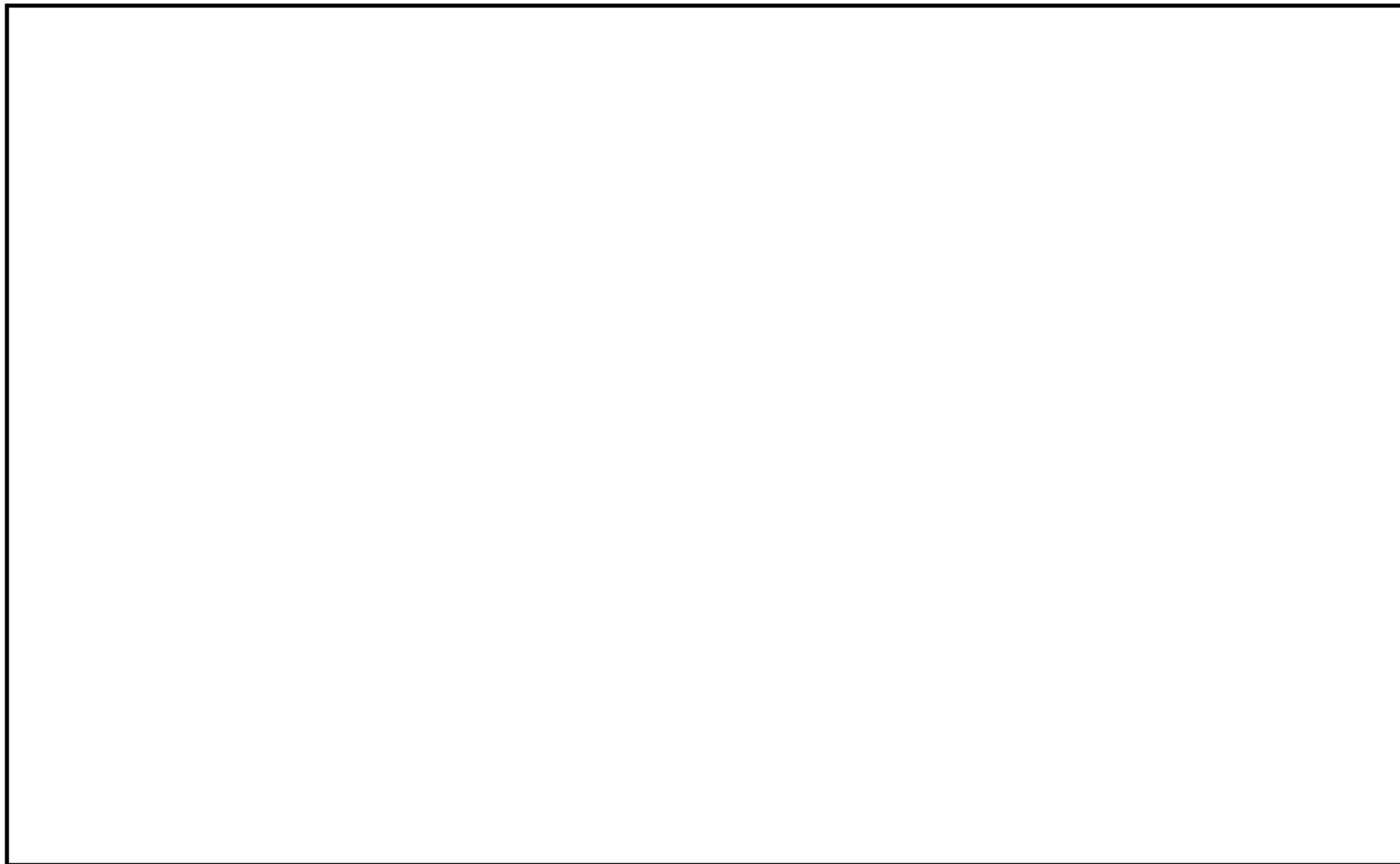
3. 評価対象と評価手法(6/9)

○鉄骨構造物における選定結果

: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)	使用条件等				選定理由	
	運転開始後 経過年数	設置環境		使用材料		選定
		屋内	屋外			
原子炉建屋(廃棄物処理棟及び廃棄物 処理建屋含む)(鉄骨部)	39	仕上げ有り	/	炭素鋼	◎	運転開始後経過年数
タービン建屋(鉄骨部)	39	仕上げ有り	/	炭素鋼	◎	運転開始後経過年数
使用済燃料乾式貯蔵建屋(鉄骨部)	16	仕上げ有り	/	炭素鋼		
防潮堤	0	/	仕上げ有り	炭素鋼		
防潮扉	0	/	仕上げ有り	炭素鋼		
放水路ゲート	0	/	仕上げ有り	炭素鋼		
構内排水路逆流防止設備	0	/	仕上げ有り	ステンレス鋼		
貯留堰	0	/	仕上げ有り	炭素鋼		
浸水防止蓋	0	/	仕上げ有り	炭素鋼, ステンレス鋼		
水密扉	0	/	仕上げ有り	炭素鋼, ステンレス鋼		

3. 評価対象と評価手法(7/9)



代表構造物 配置図

3. 評価対象と評価手法(8/9)

(2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出

「1. 概要」で示した経年劣化事象のうち、熱、放射線照射、中性化、塩分浸透、機械振動による強度低下及び熱による遮蔽能力低下を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象、以下は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

① アルカリ骨材反応、腐食による強度低下

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

② 凍結融解、風などによる疲労による強度低下、耐火能力低下

今後も経年劣化事象の進展が考えられない、又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

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	劣化要因	理由
コンクリート	強度低下	アルカリ骨材反応※	定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づく目視点検を行っているが、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは確認されていないこと、試験によりコンクリート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ている。これに加え、特別点検における実体顕微鏡観察の結果、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ている。さらに、今後も使用環境が急激に変化することはないことから、アルカリ骨材反応の進展傾向は極めて小さい。
		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(2015)」に示されている解説図26.1(凍害危険度の分布図)によると、東海第二の周辺地域は凍結融解の危険性がない地域に該当している。あらためて、気象資料から東海第二の周辺地域の凍害危険度を確認すると、凍結融解の危険性がない地域に該当していた。
	耐火能力低下	火災時などの熱	通常の使用環境において、コンクリート構造物の断面厚が減少することはないと判断した。
鉄骨	強度低下	腐食	定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づく目視点検を行い、鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化等が認められた場合には、補修塗装を施すことによって健全性を確保している。
		風などによる疲労	鉄骨構造物では、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。なお、機械設備として評価する排気筒は、風による繰返し荷重により疲労破壊に至る可能性はないと判断した。

※ コンクリート構造物のアルカリ骨材反応に対する評価に関しては、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性を確認

3. 評価対象と評価手法(9/9)

(3) 劣化要因毎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毎の評価対象部位を選定

⇒学会基準等による既往の健全性評価又は国内外の研究成果を確認し評価する

経年劣化事象に対する要因毎の評価対象部位

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	耐火能力低下	強度低下
経年劣化事象		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	凍結融解	機械振動	熱		腐食
要因		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	凍結融解	機械振動	熱	腐食	風などによる疲労
代表構造物	原子炉建屋 (非常用ディーゼル発電機海水系配管トレンチ, 廃棄物処理棟及び廃棄物処理建屋含む)	○	○	○	○	△	▲	○	○	△	▲
	タービン建屋			○	○	△	▲	○		△	▲
	取水口構造物			○	○	△	▲				

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経年劣化事象ではない事象(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

4. 代表構造物の技術評価－熱による強度低下(1/3)

コンクリート構造物の強度低下及び遮蔽能力低下をもたらす可能性がある要因毎に、延長しようとする期間を踏まえて、60年間の運転を想定した健全性評価を実施

(1) コンクリートの強度低下

① 熱による強度低下

a. 評価対象部位

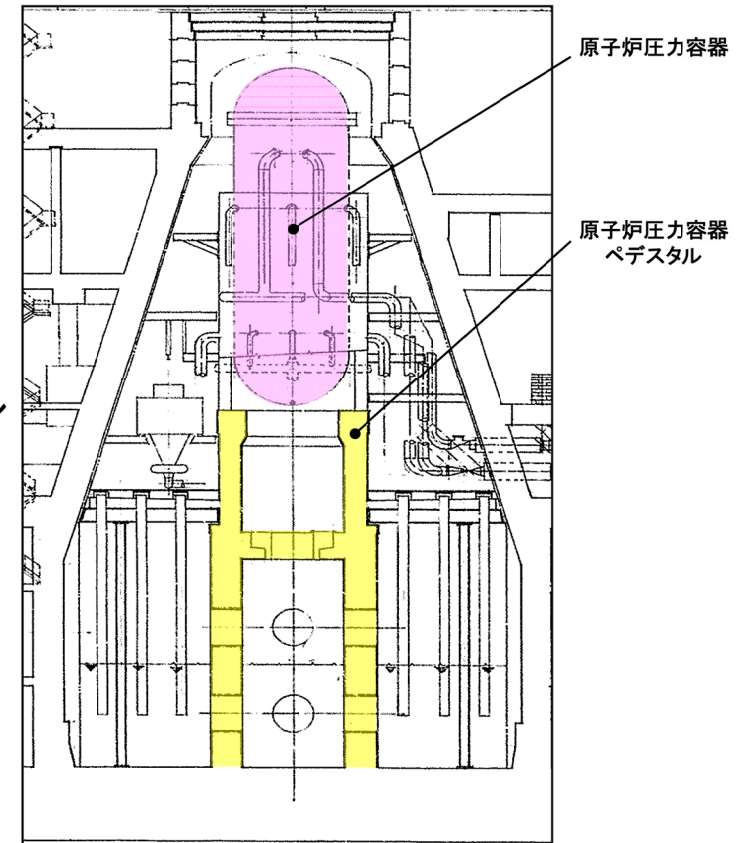
原子炉圧力容器ペDESTAL

b. 評価点

運転時に最も高温となる原子炉圧力容器ペDESTAL
上部と原子炉圧力容器支持脚部との接触面

c. 評価手順

評価対象部位周辺の最高温度を確認するため、
ドライウェル空間温度計のうち、プロセス計算機に
接続され、連続測定しているものを確認



原子炉圧力容器ペDESTALの概要

4. 代表構造物の技術評価－熱による強度低下(2/3)

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ならない

原子炉圧力容器ペDESTALにおける周辺温度と制限値の比較

最高温度(°C)	制限値※(°C)
約55	65

※ 日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説(1988)」

また、熱の評価対象部位から採取したコアサンプルについて、特別点検における破壊試験の結果、設計基準強度を上回っている

熱の評価対象部位におけるコンクリートの破壊試験結果

評価対象部位	破壊試験結果	
	平均圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
原子炉建屋 (原子炉圧力容器ペDESTAL)	39.3	≥ 22.1

4. 代表構造物の技術評価－熱による強度低下(3/3)

e. 震災影響評価

震災時の原子炉格納容器頂部温度(原子炉圧力容器ベローシール部周辺約EL.39m)の最高が約144°C

⇒一次遮蔽壁について、劣化状況評価に影響があるかを確認

1)特別点検における破壊試験の結果から、構造材料の耐火性ガイドブック※1の加熱冷却後における圧縮強度の提案式(200°Cの加熱冷却後の圧縮強度残存比は0.93)を用いて評価した結果、設計基準強度を上回っている

一次遮蔽壁の耐力評価結果

評価対象部位	特別点検結果 (N/mm ²)	評価結果 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
一次遮蔽壁	50.5	47.0	≥ 22.1

2)松沢ら※2によると、100～800°Cに1～168時間曝されたコンクリートの加熱冷却後の圧縮強度は、加熱時間24時間以降、加熱温度100°Cでは増加、その他の温度では一定の値となるとしている

3)長尾ら※3によると、65～110°Cで3.5年間加熱した場合では強度低下が認められていない

以上より、強度低下に係る劣化状況評価に対して震災による影響はない

※1 日本建築学会「構造材料の耐火性ガイドブック(2017)」

※2 松沢他、コンクリート工学年次論文集(2014)「高温加熱の影響を受けたコンクリートの破壊特性に及ぼす加熱時間の影響」

※3 長尾他、第48回セメント技術大会講演集(1994)「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」

4. 代表構造物の技術評価－放射線照射による強度低下(1/2)

② 放射線照射による強度低下

a. 評価対象部位

- ・原子炉圧力容器ペDESTAL
- ・一次遮蔽壁

b. 評価点

- ・原子炉圧力容器ペDESTAL上部
(中性子照射量が最大)
- ・一次遮蔽壁炉心側
(ガンマ線照射量が最大)

c. 評価手順

1) 放射線量率の算定

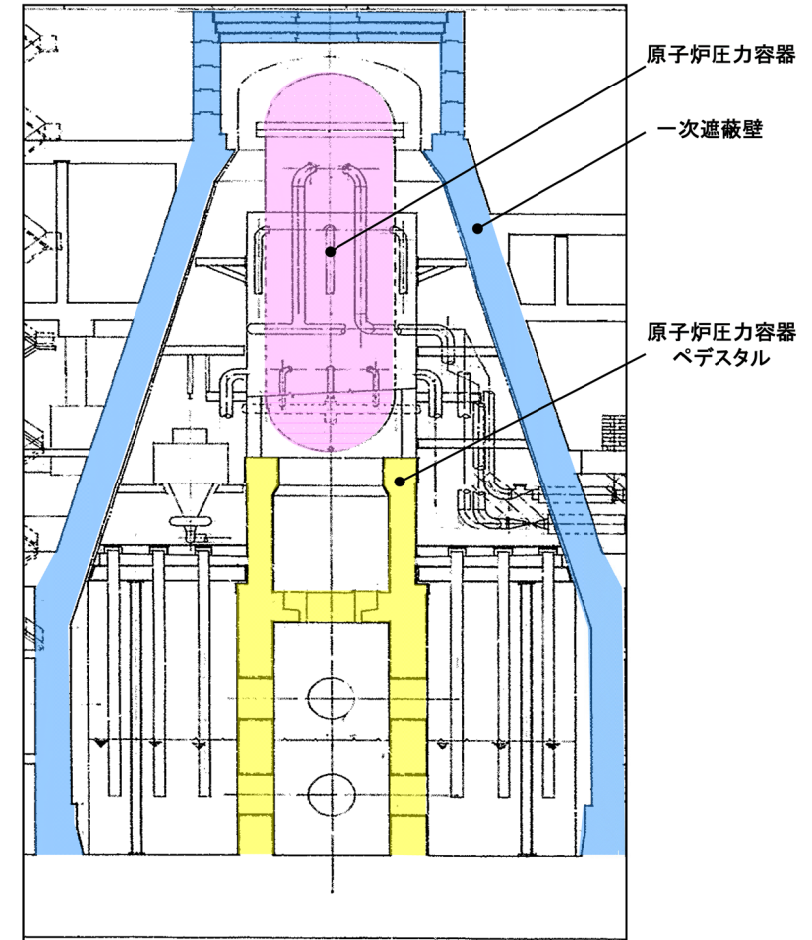
原子炉圧力容器ペDESTAL, 一次遮蔽壁における
中性子束及びガンマ線量率を2次元輸送計算コード
DORTにより算出

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及び
ガンマ線照射量を算出

※運転時間の算出

- ・2011年3月11日まで:実績
- ・2011年3月12日～2019年8月31日まで:暫定停止期間
- ・2019年9月1日以降:設備利用率80%以上(想定)



原子炉圧力容器ペDESTAL, 一次遮蔽壁の概要

4. 代表構造物の技術評価－放射線照射による強度低下(2/2)

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($E > 0.1 \text{ MeV}$)は約 $4.10 \times 10^{15} (\text{n/cm}^2)$ であり、コンクリートの強度に影響を及ぼす可能性のある放射線照射量ではなく、健全性評価上問題とならない

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約 $7.80 \times 10^6 (\text{rad}^*)$ であり、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある放射線照射量ではなく、健全性評価上問題とならない

なお、1), 2)におけるコンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある放射線照射量は、Hilsdorf等の文献や日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説(2015)」等による

また、放射線照射の評価対象部位から採取したコアサンプルについて、特別点検における破壊試験の結果、設計基準強度を上回っている

放射線照射の評価対象部位におけるコンクリートの破壊試験結果

評価対象部位	破壊試験結果	
	平均圧縮強度(N/mm ²)	設計基準強度(N/mm ²)
原子炉建屋 (原子炉圧力容器ペDESTAL)	39.3	≧ 22.1
原子炉建屋 (一次遮蔽壁)	50.5	≧ 22.1

*1rad: 10^{-2} Gy

4. 代表構造物の技術評価－中性化による強度低下(1/2)

③ 中性化による強度低下

a. 評価対象部位

屋内:タービン建屋外壁

屋外:取水口構造物

b. 評価点

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タービン建屋外壁(屋内面)

屋外:海水により表面が湿潤とならず, 空気環境の影響を受ける取水口構造物(気中帯)

c. 評価手順

1) 中性化深さの推定

中性化深さの推定式(岸谷式※1, 森永式※2及び特別点検における中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式※3)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

中性化深さの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時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)が3)よりも小さいことを確認

※1 岸谷式:日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説(1991)」

※2 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 土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編(2013)」

4. 代表構造物の技術評価－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を下回っており、健全性評価上問題とならない

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

	調査時点の中性化深さ(cm)			運転開始後 60年時点の 中性化深さ※ ² (推定式)	鉄筋が腐食し 始める時点の 中性化深さ※ ³ (cm)	備考 (破壊試験結果)	
	経過 年数	実測値 (調査時期)	推定値※ ¹ (推定式)			平均圧 縮強度 (N/mm ²)	設計基 準強度 (N/mm ²)
タービン建屋外壁 (屋内面)	38年	4.0 (2017年)	2.9 (岸谷式)	5.0 (\sqrt{t} 式)	6.0	48.2	≥ 22.1
取水口構造物 (気中帯)	36年	1.0 (2014年)	1.2 (岸谷式)	1.6 (岸谷式)	6.4	35.7	≥ 20.6

※1: 岸谷式及び森永式による評価結果のうち最大値を記載

※2: 岸谷式, 森永式及び特別点検における中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式による推定値のうち最大値を記載

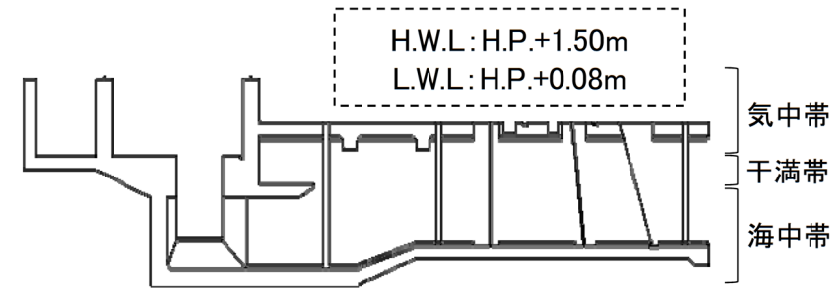
※3: かぶり厚さから評価した値

また、中性化の評価対象部位から採取したコアサンプルについて、特別点検における破壊試験の結果、設計基準強度を上回っている

4. 代表構造物の技術評価－塩分浸透による強度低下(1/2)

④ 塩分浸透による強度低下

a. 評価対象部位
取水口構造物



取水口構造物の概要

b. 評価点

取水口構造物については、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

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

拡散方程式: 特別点検による塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、運転開始経過年毎の鉄筋位置における塩化物イオン量を算出

森永式※: 鉄筋位置における塩化物イオン量を用いて運転開始経過年数毎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: 鉄筋径及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)が2)より小さいことを確認

※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)」

4. 代表構造物の技術評価－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おり、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

	調査時期	鉄筋位置での塩化物イオン濃度 (%) 〔塩化物イオン量 (kg/m ³)〕	鉄筋の腐食減量 (× 10 ⁻⁴ g/cm ²)			備考 (破壊試験結果)	
			調査時点	運転開始後60年時点	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)
取水口構造物 (気中帯)	2015年	0.04 [0.89]	1.7	3.4	62.3	35.7※ ≥ 20.6	
取水口構造物 (干満帯)	2014年	0.05 [1.09]	10.3	18.1	67.7	34.6 ≥ 20.6	
取水口構造物 (海中帯)	2014年	0.05 [1.03]	0.4	1.1	62.3	29.1 ≥ 20.6	

※取水口構造物(気中帯)の破壊試験実施時期は2014年

また、塩分浸透の評価対象部位から採取したコアサンプルについて、特別点検における破壊試験の結果、設計基準強度を上回っている

4. 代表構造物の技術評価－機械振動による強度低下

⑤ 機械振動による強度低下

a. 評価対象部位

タービン発電機架台

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)タービン発電機について機器の異音・異常振動がないか等の巡視点検を実施

2)タービン発電機架台は定期的(1回/年)に目視点検を実施し、強度に支障をきたす欠陥はない

3)日常的な巡視点検や中央制御室における連続監視で異常の兆候は検知可能

以上から、健全性評価上問題とならない

また、機械振動の評価対象部位から採取したコアサンプルについて、特別点検における破壊試験の結果、設計基準強度を上回っている

機械振動の評価対象部位におけるコンクリートの破壊試験結果

評価対象部位	破壊試験結果	
	平均圧縮強度(N/mm ²)	設計基準強度N/mm ²)
タービン建屋(タービン発電機架台)	37.0	≥ 22.1

4. 代表構造物の技術評価－熱による遮蔽能力低下(1/3)

(2) コンクリートの遮蔽能力低下

① 熱による遮蔽能力低下

a. 評価対象部位

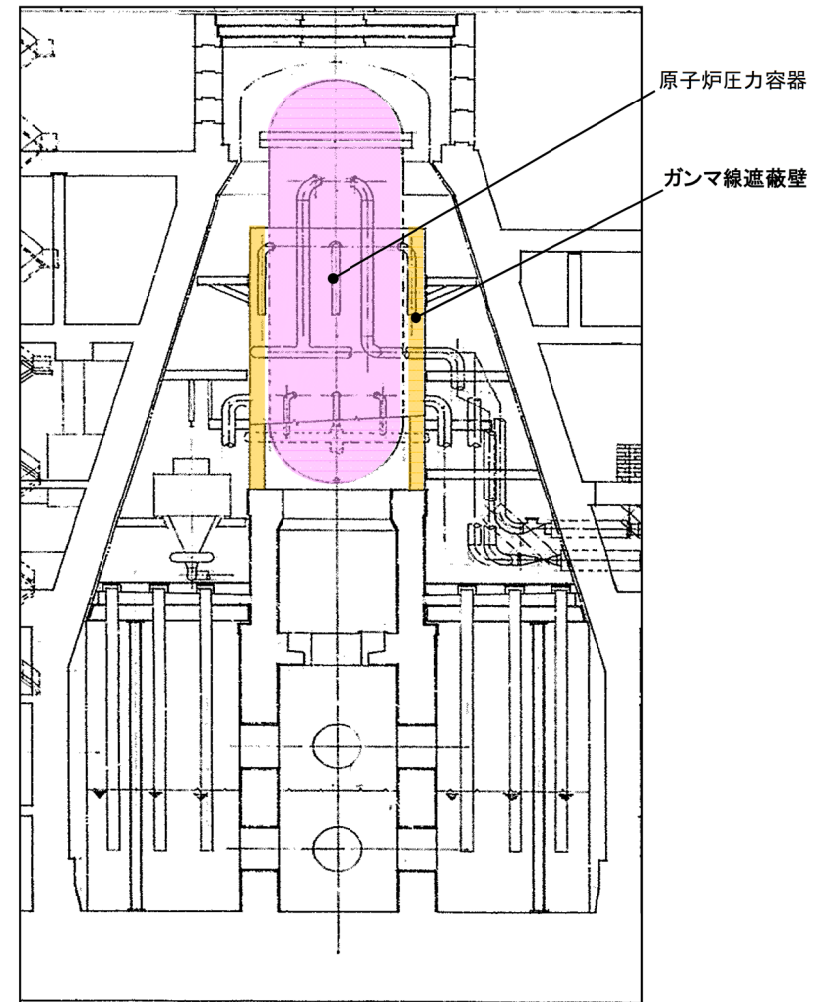
ガンマ線遮蔽壁

b. 評価点

周辺環境からの伝達熱及び運転時に照射量の最も大きいガンマ線遮蔽壁の炉心側

c. 評価手順

評価対象部位周辺の最高温度を確認するため、ドライウェル空間温度計のうち、プロセス計算機に接続され、連続測定しているものを確認



ガンマ線遮蔽壁の概要

4. 代表構造物の技術評価－熱による遮蔽能力低下(2/3)

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、遮蔽能力への影響はないと考えられるため、健全性評価上問題とならない

ガンマ線遮蔽壁における周辺温度と制限値の比較

	最高温度(°C)	制限値※(°C)
中性子遮蔽	約55	88
ガンマ線遮蔽	約55	177

※ 「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、特別点検ではガンマ線遮蔽壁に近い一次遮蔽壁の乾燥単位容積質量を確認した結果、設計値を上回っている

4. 代表構造物の技術評価－熱による遮蔽能力低下(3/3)

e. 震災影響評価

震災時の原子炉格納容器頂部温度(原子炉圧力容器ベローシール部周辺約EL.39m)の最高が約144℃ ⇒ガンマ線遮蔽壁及び一次遮蔽壁について、劣化状況評価に影響があるかを確認

1)「コンクリート製原子炉格納容器規格※1」には、コンクリート温度が190℃付近では結晶水が解放され始め、さらに高温になると脱水現象が著しくなり、コンクリートの特性に影響が出始めるとされている
⇒ガンマ線遮蔽壁のコンクリート表面は鉄板で覆われている、一次遮蔽壁の炉心側は鉄板がある、それぞれのコンクリート断面が厚い、特別点検にて一次遮蔽壁の乾燥単位容積質量を確認した結果、設計値を下回っていないことから、遮蔽能力低下に影響する水分逸散は生じていない

2)遮蔽設計はコンクリートの乾燥単位容積質量に基づいている、既往の乾燥単位容積質量の促進試験方法※2では65℃の乾燥で112日程度、105℃の乾燥で28日程度必要

⇒原子炉格納容器頂部周辺温度が、震災時に88℃以上の期間が約1.5日(約35時間)であり、評価対象部位を同様の温度と仮定しても期間は短く、乾燥は進まず、乾燥単位容積質量に至っていない

3)震災時にエリア放射線モニタは発報していない

以上より、遮蔽能力低下に係る劣化状況評価に対して震災による影響はない

※1 日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(2014)」

※2 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)」

4. 代表構造物の技術評価－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	高経年化への対応
コンクリートの強度低下	<p>定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づくコンクリート表面の目視点検を実施しており、目視点検の結果、ひび割れ等の補修が必要となる損傷が確認された場合、即時補修が必要なものを除き、その経過を継続的に監視しつつ、点検実施後数年以内を目途に補修を計画、実施している。</p>	<p>○健全性評価結果から判断して、強度低下が急激に発生する可能性は小さい。</p> <p>○定期的(1回/年)な点検マニュアルに基づく目視点検により補修対象となったひび割れ等の補修を計画、実施しており、現状の保全方法は、コンクリート構造物の健全性を維持する上で適切である。</p>	<p>高経年化対策の観点から現状の保全内容に対し追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。</p>
コンクリートの遮蔽能力低下	<p>ガンマ線遮蔽壁は鉄板で覆われているため、ガンマ線遮蔽壁に近く、他の部位より熱の影響を受けていると思われる一次遮蔽壁において構造物の健全性維持の観点から定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づくコンクリート表面の目視点検を実施している。また、放射線量を日常的に監視している。</p>	<p>○健全性評価結果から判断して、遮蔽能力低下が急激に発生する可能性は小さい。</p> <p>○仮に熱によるコンクリート構造物の遮蔽能力低下が生じた場合、放射線量が上昇するものと考えられるが、放射線量は日常的に監視しており、異常の兆候は検知可能である。</p>	

5. 代表構造物以外の技術評価

コンクリート構造物及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。

6. まとめ(1/3)

(1) 審査基準適合性

以上の評価結果について、原子力規制委員会「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」に規定されている延長しようとする期間における要求事項との対比を下表に示す。

延長しようとする期間における要求事項との対比①

評価対象事象 又は評価事項		要求事項	技術評価結果
コンクリートの 強度低下	熱	○評価対象部位のコンクリート温度が制限値(貫通部は90℃、その他の部位は65℃)を超えたことがある場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	評価対象部位の周辺温度は、最高温度が約55℃以下であり、コンクリートの温度制限値を下回っていることを確認した。ただし、震災時にコンクリート温度が制限値を超えた可能性があるため、耐力評価を行った結果、問題がないことを確認している。
	放射線照射	○評価対象部位の累積放射線照射量が、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある値を超えている又は超える可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	運転開始後60年時点における評価対象部位の中性子照射量($E > 0.1\text{Mev}$)は、放射線照射量解析の結果、原子炉圧力容器ペDESTAL上部において $4.10 \times 10^{15}(\text{n/cm}^2)$ 、運転開始後60年時点で予想される一次遮蔽壁炉心側におけるガンマ線照射量の解析結果は $7.80 \times 10^6(\text{rad}^*)$ であり、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある放射線照射量ではないことを確認した。 ※1rad: 10^{-2}Gy
	中性化	○評価対象部位の中性化深さが、鉄筋が腐食し始める深さまで進行しているか又は進行する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	評価対象部位の運転開始後60年時点の中性化深さを推定した結果、鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さを下回っていることを確認した。
	塩分浸透	○評価対象部位に塩分浸透による鉄筋腐食により有意なひび割れが発生しているか又は発生する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	評価対象部位の運転開始後60年時点の鉄筋の腐食減量を推定した結果、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋の腐食減量を下回っていることからひび割れが発生する可能性が認められないことを確認した。

6. まとめ(2/3)

延長しようとする期間における要求事項との対比②

評価対象事象 又は評価事項		要求事項	技術評価結果
コンクリートの 強度低下	アルカリ骨 材反応	○評価対象部位にアルカリ骨材反応による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づく目視点検を行っているが、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは確認されていないこと、試験によりコンクリート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ている。さらに、今後の使用環境が急激に変化することはないことから、アルカリ骨材反応の進展傾向は極めて小さく、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。
	機械振動	○評価対象機器のコンクリート基礎への定着部周辺コンクリート表面に機械振動による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づく目視点検を行い、コンクリート表面において強度に支障をきたす可能性のある欠陥がないことを確認した。
	凍結融解	○評価対象部位に凍結融解による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	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(2015)」に示されている解説図26.1(凍害危険度の分布図)によると、東海第二の周辺地域は凍結融解の危険性がない地域に該当している。あらためて、気象資料から東海第二の周辺地域の凍害危険度を確認すると、凍結融解の危険性がない地域に該当していた。
コンクリートの 遮蔽能力低下	熱	○中性子遮蔽のコンクリートの温度が88℃又はガンマ線遮蔽のコンクリート温度が177℃を超えたことがある場合は、評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の遮蔽能力が原子炉設置(変更)許可における遮蔽能力を下回らないこと。	評価対象部位の周辺温度は、最高温度が約55℃以下であり、コンクリート温度制限値を下回っていることを確認した。ただし、震災時にコンクリート温度が制限値を超えた可能性があるため、評価を行った結果、問題がないことを確認している。

6. まとめ(3/3)

延長しようとする期間における要求事項との対比③

評価対象事象 又は評価事項		要求事項	技術評価結果
鉄骨の 強度低下	腐食	○評価対象部位に腐食による断面欠損が生じている場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	定期的(1回/年)に点検マニュアルに基づく目視点検を行い、鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化等が認められた場合には、補修塗装を施すことによって健全性を確保していることから、想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難い経年劣化事象であって、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ため、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。
	風などによる疲労	○評価対象部位に風などの繰り返し荷重による疲労破壊が発生している又は発生する可能性が認められる場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	風などによる繰り返し荷重を継続的に受ける構造部材はないことから、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。なお、機械設備として評価する排気筒は、風による繰り返し荷重により疲労破壊に至る可能性はないと判断した。

(2) 保守管理に関する方針として策定する事項

審査基準の要求事項等を満足しており、保守管理に関する方針として策定する事項はない。

参考資料

震災影響について

・震災時のプラント停止操作により原子炉格納容器内の温度が上昇したが、サプレッション・プールの冷却を継続したため、原子炉格納容器の温度が設計値以内であった。

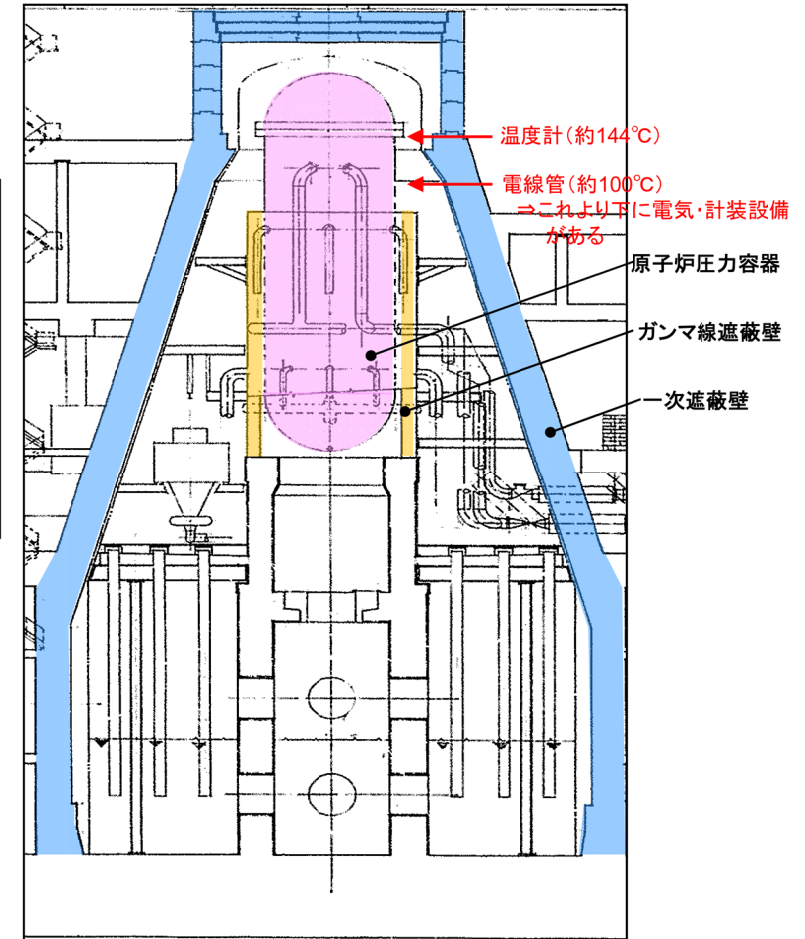
震災時の原子炉格納容器内の圧力・温度の概要

	ドライウェル圧力	ドライウェル温度	サプレッション・プール温度
震災前	約3 kPa	約45 °C(コンクリート周り) 約40 °C※1(格納容器上部)	約22 °C
震災時	約12 kPa	約62 °C(コンクリート周り) 約100 °C※1(格納容器上部) 約144 °C※2(格納容器頂部)	約55 °C
設計値	310 kPa	171 °C	104 °C

※1: 電線管温度

※2: 原子炉压力容器ベロースील部周辺温度

- ・温度上昇によるコンクリート構造物の強度低下及び遮蔽能力低下、電気・計装設備の絶縁特性低下の影響が考えられるため、影響評価を行う。
- ・コンクリート構造物は約144°C、電気・計装設備の絶縁特性低下等は83.1°C(最高平均温度)等で評価を行う。



ガンマ線遮蔽壁，一次遮蔽壁の概要