

泊発電所 1 号炉 高経年化技術評価
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

補足説明資料

平成31年2月20日
北海道電力株式会社

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	3
3. 評価対象と評価手法	5
3.1 代表構造物の選定	5
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出	9
3.3 劣化要因ごとの評価対象部位の選定結果	12
3.4 評価手法	12
4. 代表構造物の技術評価	14
4.1 コンクリート構造物の強度低下	14
4.2 コンクリート構造物の遮へい能力低下	23
4.3 現状保全	24
4.4 総合評価	24
4.5 高経年化への対応	24
5. 代表構造物以外の技術評価	24
6. まとめ	25
6.1 審査ガイド適合性	25
6.2 保守管理に関する方針として策定する事項	26
別紙1 保守管理要則における目視点検の項目，方法及び判定基準について	1-1
別紙2 温度分布解析の方法，条件及び結果について	2-1
別紙3 空気環境の測定方法及び位置について	3-1
別紙4 中性化深さの推定値の算出過程について	4-1
別紙5 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算出過程について	5-1
別紙6 機械振動の評価対象及び評価点の抽出過程について	6-1

1. 概要

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82条第1項の規定に基づき実施した冷温停止状態が維持されることを前提とした高経年化技術評価のうち、コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象に対する評価結果について補足説明するものである。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象及び劣化要因を表1に示す。

表1 コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象及び劣化要因

構造物	経年劣化事象	劣化要因	
コンクリート構造物	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。更に、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。
		塩分浸透	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及び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。
		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ため、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	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。
	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。	
	遮へい能力低下	熱	コンクリートは、周辺環境からの伝達熱及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、放射線に対する遮へい能力が低下する可能性がある。
鉄骨構造物	強度低下	腐食	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、海塩粒子等により、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。
		風等による疲労	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。

2. 基本方針

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象及び劣化要因に対する評価の基本方針は、対象構造物について、表1の経年劣化事象の発生の可能性について評価し、その可能性が将来にわたって発生することが否定できない場合は、その発生及び進展に係る健全性評価を行い、運転開始後60年時点までの期間において「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項を満たすことを確認することである。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物評価についての要求事項を表2に整理する。

なお、コンクリート構造物の経年劣化事象のうち、熱及び放射線による強度低下並びに熱による遮へい能力低下については、原子炉の冷温停止状態が維持されることを前提とした場合、劣化の進展が考えられない経年劣化事象である。したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないものの、現在までの劣化の進展を考慮した耐震安全性評価を行うため、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象と同様に健全性評価を行った。

評価に当たっては、実施ガイド3.1⑧ただし書きの規定に該当する場合*1ではなくなつた際には、プラントの運転を開始した日から60年間について健全性評価を行うことを踏まえ、今回の評価においても、60年間の劣化の進展を仮定した評価を行うことで、40年間における健全性を評価している。

*1 運転開始以後30年を経過する日において技術基準*2に適合しないものがある場合

*2 実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規制に定められる基準

表2 コンクリート構造物及び鉄骨構造物評価についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期保守管理方針の審査</p> <p>①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下、「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3. 2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 代表構造物の選定

コンクリートの強度低下，コンクリートの遮へい能力低下及び鉄骨の強度低下が想定される構造物は多数存在するため，高経年化技術評価では，評価対象構造物の中から代表構造物を選定して評価を行う。対象構造物及び代表構造物は以下の手順にて選定する。

3.1.1 対象構造物の選定とグループ化

泊1号炉のコンクリート構造物及び鉄骨構造物のうち，重要度分類指針におけるクラス1，2に該当する構造物又はクラス1，2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器であって，冷温停止状態維持に必要な機器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を実施した。その結果を表3に示す。

3.1.2 代表構造物の選定

グループ化した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した。コンクリート構造物における代表構造物の選定結果を表4に，鉄骨構造物における代表構造物の選定結果を表5に示す。

表3 対象構造物の選定とグループ化

対象構造物	重要度分類	コンクリート構造物	鉄骨構造物
外部しゃへい建屋	クラス1 設備支持	○	
内部コンクリート	クラス1 設備支持	○	○ (鉄骨部)
原子炉格納施設の基礎	クラス1 設備支持	○	
周辺補機棟及び燃料取扱棟	クラス1 設備支持	○	○ (鉄骨部)
原子炉補助建屋	クラス1 設備支持	○	○ (鉄骨部)
取水構造物	クラス1 設備支持	○	
燃料油貯油槽タンク室	クラス1 設備支持	○	
燃料取替用水タンク建屋	クラス1 設備支持	○	○ (鉄骨部)
放射性廃棄物処理建屋	クラス3 設備支持	○	

表4 コンクリート構造物における代表構造物の選定結果

対象構造物 (コンクリート構造物)	重要度 分類	使用条件等							選定	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		
						屋内	屋外			
① 外部しゃへい建屋	クラス1 設備支持	28	◇	◇	—	一部 仕上げなし	仕上げ 有り	◇	◎	屋内で仕上げなし
② 内部コンクリート	クラス1 設備支持	28	○ (1次し ゃへい壁)	○ (1次し ゃへい壁)	—	一部 仕上げなし	/	/	◎	高温部、放射線の影響、屋 内で仕上げなし
③ 原子炉格納施設の基礎	クラス1 設備支持	28	—	◇	—	仕上げ有り	埋設*2	◇	◎	代表構造物を支持する構造 物
④ 周辺補機棟及び 燃料取扱棟	クラス1 設備支持	28	—	◇	○ (ディーゼル 発電機基礎)	一部 仕上げなし	仕上げ 有り	◇	◎	振動の影響、屋内で仕上げ なし
⑤ 原子炉補助建屋	クラス1 設備支持	28	—	◇	—	一部 仕上げなし	仕上げ 有り	◇	◎	屋内で仕上げなし
⑥ 取水構造物	クラス1 設備支持	28	—	—	—	一部 仕上げなし	仕上げ なし	○ (海水と接触)	◎	屋外で仕上げなし、供給塩 化物量の影響
⑦ 燃料油貯油槽タンク室	クラス1 設備支持	28	—	—	—	/	埋設*2	◇		
⑧ 燃料取替用水タンク建屋	クラス1 設備支持	28	—	◇	—	一部 仕上げなし*1	仕上げ 有り	◇		
⑨ 放射性廃棄物処理建屋	クラス3 設備支持	28	—	◇	—	一部 仕上げなし*1	仕上げ 有り	◇		

*1：ほかの屋内で仕上げがない構造物で代表させる。

*2：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、ほかの屋外で仕上げがない構造物で代表させる。

黄色：グループ内代表構造物とする使用条件など

【凡例】

○：影響大

◇：影響小

—：影響極小、又はなし

表5 鉄骨構造物における代表構造物の選定結果

対象構造物 (鉄骨構造物)	重要度分類	使用条件等			選定	選定理由
		運転開始後経過年数	設置環境			
			屋内	屋外		
① 内部コンクリート (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境
② 周辺補機棟及び燃料取扱棟 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境
③ 原子炉補助建屋 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境
④ 燃料取替用水タンク建屋 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境

: グループ内代表構造物とする使用条件など

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出

3.2.1 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を表6に示す。表1に示した経年劣化事象のうち、以下①と②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。

表6 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

構造物	経年劣化事象	劣化要因
コンクリート	強度低下	熱
		放射線照射
		中性化
		塩分浸透
		機械振動
	遮へい能力低下	熱

① 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）

表7に示す経年劣化事象については、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。なお、コンクリート構造物及び鉄骨構造物の保全活動は、「泊発電所土木建築設備保守管理要則（R-30-211-31）」（以下、「保守管理要則」という。）に基づき実施している。

具体的な点検及び補修の実績を表8に示す。また、保守管理要則における目視点検の項目、方法及び判定基準を別紙1に示す。

表7 日常劣化管理事象

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	<p>使用している骨材については、試験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ている。試験結果を表9に示す。</p> <p>なお、定期的（1回／年）に保守管理要則に基づく目視点検を行っており、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。</p>
		凍結融解	<p>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泊1号炉の周辺地域の凍害の予想程度は「軽微」である。</p> <p>また、使用しているコンクリートについては、凍結融解作用に対する抵抗性を確保するために有効な空気量を満足している。</p> <p>なお、定期的（1回／年）に保守管理要則に基づく目視点検を行っており、凍結融解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。</p>
鉄骨	強度低下	腐食	<p>定期的（1回／年）に保守管理要則に基づく目視確認を実施しており、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められていない。また、鉄骨の強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食に影響する塗装の劣化等が認められた場合には、その部分の塗装の塗替え等を行うこととしている。</p>

表8 アルカリ骨材反応，凍結融解及び腐食に関する点検及び補修の実績

経年劣化事象	劣化要因	対象構造物	点検方法	点検頻度	点検結果	補修実績
コンクリートの強度低下	アルカリ骨材反応	外部しゃへい建屋 内部コンクリート 原子炉格納施設の基礎 周辺補機棟及び燃料取扱棟 原子炉補助建屋	目視点検	1回/年	アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは認められていない	補修実績なし
	凍結融解	取水構造物 燃料油貯油槽タンク室 燃料取扱用水タンク建屋 放射性廃棄物処理建屋	目視点検	1回/年	凍結融解に起因すると判断されるひび割れは認められていない	補修実績なし
鉄骨の強度低下	腐食	内部コンクリート 周辺補機棟及び燃料取扱棟 原子炉補助建屋 燃料取替用水タンク建屋	目視点検	1回/年	有害な腐食は認められていない	補修実績なし

表9 アルカリ骨材反応に関する試験結果

対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材	測定値 (6か月)	判定基準	結果
外部しゃへい建屋ほか 主要構造物	モルタルバー法 (昭和59年)	幌延産 細骨材	0.013%	膨張率が6か月 で0.1%以下が 無害	無害
		岩内産 細骨材	0.033%		無害
		京極産 粗骨材	-0.005%		無害

- ② 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）
 表10に示す経年劣化事象については、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した。

表10 日常劣化管理事象以外

構造物	経年劣化事象	劣化要因	理由
鉄骨	強度低下	風等による疲労	泊1号炉の鉄骨構造物では疲労破壊が生じるような風等による繰返し荷重を継続的に受ける構造部材はない。

3.3 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、選定した結果を表 11 に示す。

3.4 評価手法

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象に対して、代表構造物の使用環境、使用条件、重要度等から、その進展の程度が大きいと考えられる評価点について、要求される機能に影響する経年劣化事象に対する健全性を確認する。

健全性を確認する方法としては、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による健全性評価とした。

表 11 コンクリート構造物及び鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象部位

構造種別		コンクリート構造物							鉄骨構造物		
経年劣化事象		強度低下						遮へい能力低下	強度低下		
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	風等による疲労
代表構造物	外部しゃへい建屋						△	△			
	内部コンクリート	1次しゃへい壁* ○◆	1次しゃへい壁* ○◆	○			△	△	1次しゃへい壁* ○◆	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	原子炉格納施設の基礎						△	△			
	周辺補機棟及び燃料取扱棟					ディーゼル発電機基礎* ○	△	△		鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	原子炉補助建屋						△	△		鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	取水構造物			○	○		△	△			
	燃料取替用水タンク建屋（鉄骨部）									鉄骨部 △	鉄骨部 ▲

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表中の○に対応する代表構造物：評価対象とする構造物）

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理対象事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理対象事象以外）

◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する

*：評価対象部位

4. 代表構造物の技術評価

4.1 コンクリート構造物の強度低下

4.1.1 熱による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート（1次しゃへい壁）とした。

評価点は、ガンマ発熱の影響の最も大きい炉心領域部及び原子炉容器支持構造物（以下、「RVサポート」という。）からの伝熱の影響の最も大きいRVサポート直下部とした。内部コンクリート（1次しゃへい壁）の概要を図1に示す。

評価については、コンクリートの温度制限値と温度分布解析の結果を比較した。温度分布解析の方法、条件及び結果を別紙2に示す。

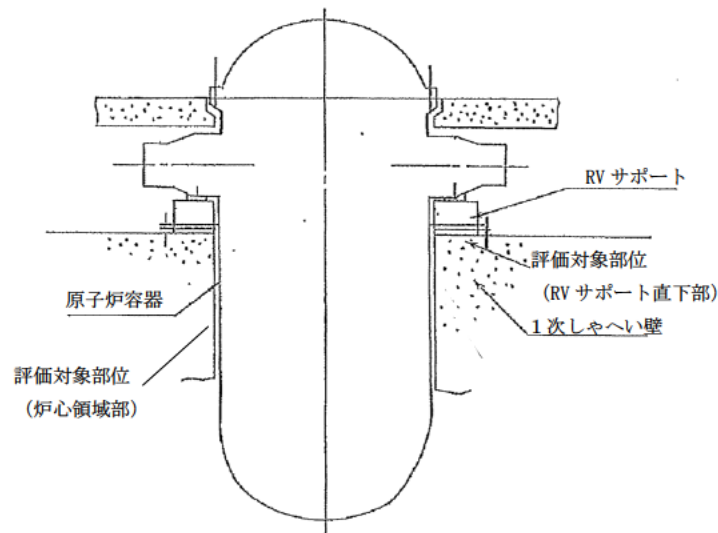


図1 内部コンクリート（1次しゃへい壁）の概要

(2) 評価結果

コンクリートの温度制限値は設計基準強度確保の観点から、局部では90℃、一般部では65℃と定められている¹⁾。

これに対して、温度分布解析の結果、コンクリート内の最高温度は炉心領域部で約62℃、断続的運転を前提とした場合におけるRVサポート直下部で約53℃であり、いずれの部位においても、コンクリートの最高温度は温度制限値を下回っている。

以上から、熱による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

1) 日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」（1988）

4.1.2 放射線による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、中性子照射量及びガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート（1次しゃへい壁）とした。

評価点は、中性子照射量及びガンマ線照射量が最大となる1次しゃへい壁炉心側コンクリートとした。

評価については、評価点における運転開始後60年時点で予想される中性子照射量及びガンマ線照射量を解析により算出した。

(2) 評価結果

中性子照射と強度の関係に関する Hilsdorf ほかの文献²⁾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）によると、少なくとも $1 \times 10^{20} \text{n/cm}^2$ 程度の中性子照射量では有意な強度低下は見られない(図2参照)。

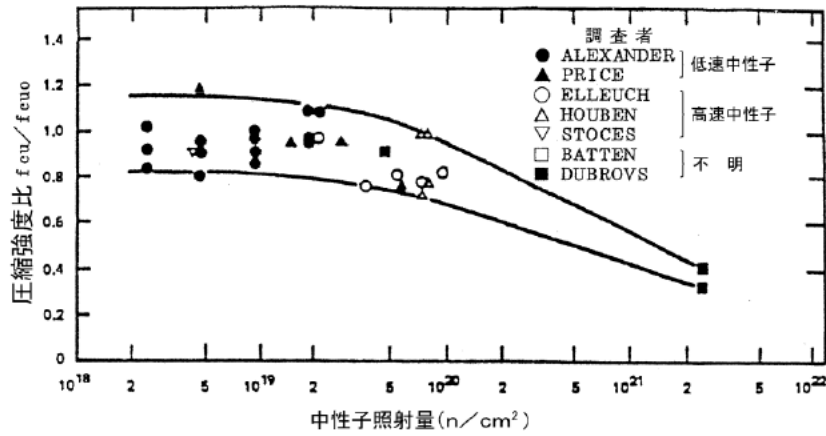
断続的運転を前提とした場合における運転開始後60年時点で予想される中性子照射量 ($E > 0.11 \text{MeV}$) は、放射線照射量解析の結果、評価点において約 $4.0 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ であり、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある放射線照射量ではないことを確認した。

一方、ガンマ線照射量と強度の関係についても Hilsdorf ほかによる文献や、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）」によると、少なくとも $2 \times 10^8 \text{Gy}$ ($2 \times 10^{10} \text{rad}$) 程度のガンマ線照射量では有意な強度低下は見られない(図3参照)。

断続的運転を前提とした場合における運転開始後60年時点で予想されるガンマ線照射量は、放射線照射量解析の結果、評価点において、最大約 $2.5 \times 10^8 \text{Gy}$ (約 $2.5 \times 10^{10} \text{rad}$) となるが、照射量が $2 \times 10^{10} \text{rad}$ を超えるコンクリートの範囲は深さ方向に最大でも10cm程度であり、1次しゃへい壁の厚さ(最小壁厚279cm)に比べて小さいことから、構造強度上問題とはならない。

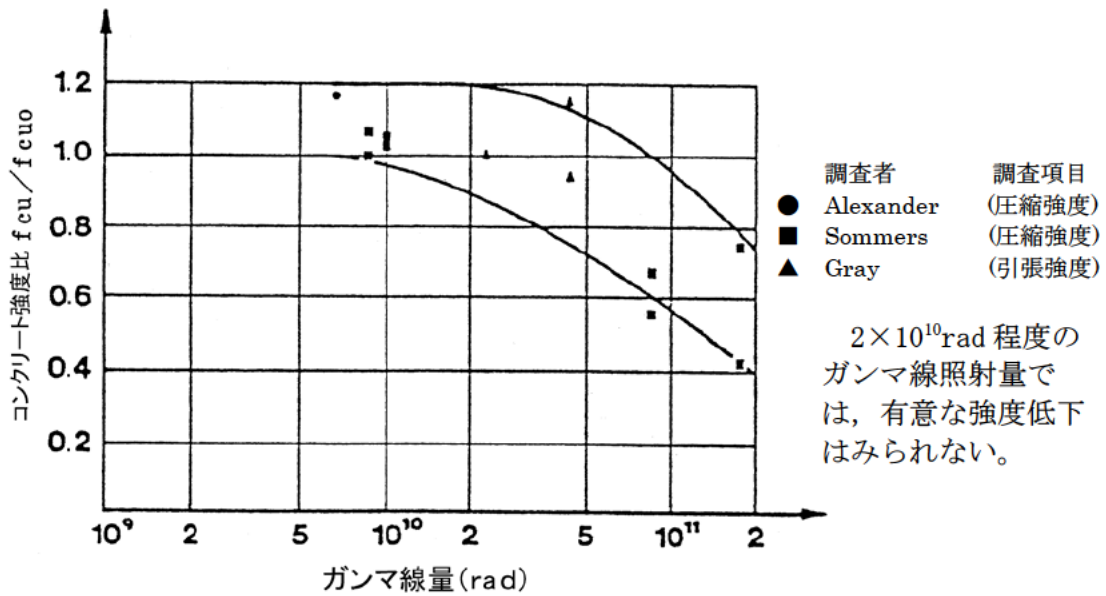
以上から、放射線照射による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

- 2) Hilsdorf, Kropp, and Koch, 「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」 American Concrete Institute Publication, SP 55-10. (1978)



$1 \times 10^{20} n/cm^2$ 程度
の中性子照射量で
は、有意な強度低下
はみられない。

図2 中性子照射したコンクリートの圧縮強度 (fcu) と
照射しないコンクリートの圧縮強度 (fcu0) の変化²⁾



$2 \times 10^{10} rad$ 程度
のガンマ線照射量で
は、有意な強度低下
はみられない。

図3 ガンマ線照射したコンクリートの圧縮強度 (fcu) と
照射しないコンクリートの圧縮強度 (fcu0) の変化²⁾

4.1.3 中性化による強度低下

(1) 評価の概要

中性化の進展度合いは、環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）の影響を受けるため、空気環境測定を実施した。空気環境の測定方法及び位置を別紙3に示す。

鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さは一般に屋外の雨掛かりの部分では鉄筋のかぶり厚さまで達したとき、屋内の部分では、鉄筋のかぶり厚さから2cm奥まで達したときとされている（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・同解説」（2016））ことから、評価対象部位は、屋外、屋内について各々選定することとし、塗装等のコンクリート表面仕上げ、環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）を考慮して選定した。

対象構造物のうち、仕上げがない箇所がある構造物を選定し、設置環境が屋外の構造物と屋内の構造物に分類する。屋外については、対象となる構造物が取水構造物のみであることから、取水構造物を評価対象として選定した。屋内については、対象構造物のうち環境条件の中性化に及ぼす影響が比較的大きい内部コンクリートを選定した。なお、中性化に及ぼす影響については、森永式³⁾における環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）による影響度を算出した。算出結果を表12に示す。

評価点は、屋外については取水構造物のうち海水によりコンクリート表面が湿潤とならず、空気環境の影響を受ける取水構造物の壁面（気中帯）とした。屋内については内部コンクリートのうち環境条件の中性化に及ぼす影響が大きいEL. 13.8mを選定した。

- 3) 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）

表 12 森永式に基づく環境条件による影響度

代表構造物		二酸化炭素濃度 (ppm)	温度 (°C)	相対湿度 (%)	環境条件による影響度*
外部しゃへい建屋		513.7	23.3	33.5	0.1352
内部コンクリート	EL. 13.8m	462.8	28.4	25.4	0.1524
	EL. 24.8m	430.5	25.0	30.2	0.1325
原子炉格納施設の基礎		475.2	24.2	34.1	0.1310
周辺補機棟及び燃料取扱棟	EL. 10.3m	483.6	22.4	35.6	0.1257
	EL. 18.3m	496.6	23.0	33.8	0.1318
	EL. 24.8m	479.9	25.7	27.7	0.1455
	EL. 31.3m	493.3	20.5	38.3	0.1183
原子炉補助建屋	EL. 3.3m	522.9	20.8	40.5	0.1186
	EL. 9.8m	514.4	22.6	36.7	0.1282
	EL. 17.3m	509.5	23.6	40.3	0.1237
	EL. 24.8m	484.4	22.5	37.1	0.1236
燃料取替用水タンク建屋		488.3	17.7	45.9	0.0988
放射性廃棄物処理建屋	EL. 17.3m	473.3	23.2	35.6	0.1261
	EL. 24.8m	525.6	26.6	30.4	0.1496

*：森永式における環境条件による係数（下記赤線部）から算出

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

x ：中性化深さ (mm)

C ：二酸化炭素濃度 (%)

R ：中性化比率

RH ：相対湿度 (%)

T ：温度 (°C)

w/c ：水セメント比 (%)

t ：材齢 (日)

(2) 評価手順

評価については、以下の手順にて実施した。中性化深さの推定値の算出過程を別紙4に示す。

① 中性化深さの推定

中性化深さの推定式（岸谷式⁴⁾、森永式³⁾及び中性化深さの実測値に基づく√t式⁵⁾により、運転開始後60年時点の中性化深さの推定値を算出する。

② 最大中性化深さの推定値の抽出

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する。

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、屋外はかぶり厚さの値、屋内はかぶり厚さに2cmを加えた値をそれぞれ算出する。

④ 運転開始後60年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する。

(3) 評価結果

運転開始後60年時点における中性化深さの推定値は表13に示すとおり、いずれの評価点においても鉄筋が腐食し始める時の中性化深さを下回っている。

また、定期的に見視点検を実施しているが、中性化による鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は認められていない。

以上から、中性化による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表13 コンクリートの中性化深さ

	中性化深さ (cm)			鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)
	測定値 (調査時点の 運転開始後経 過年)	推定値 ^{*1}		
		調査時点 ^{*2} (推定式)	運転開始後 60年時点 (推定式)	
内部コンクリート	0.08 (27年)	1.23 (森永式)	1.83 (森永式)	5
取水構造物 (気中帯)	1.15 (27年)	1.36 (岸谷式)	2.02 (岸谷式)	8.4

*1：岸谷式⁴⁾、森永式³⁾及び実測値に基づく√t式⁵⁾による評価結果のうち最大値を記載

*2：運転開始後27年時点

4) 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)

5) 土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編」(2013)

4.1.4 塩分浸透による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、飛来塩分及び海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下であり、塗装等の仕上げが施されていない部位がある取水構造物を選定した。取水構造物の塩分浸透の測定結果を表 14 に示す。

評価点は、対象構造物（取水構造物）のうち、「高経年化技術評価審査マニュアル（JNES-RE-2013-9012）」に基づき、塩分浸透環境を考慮し、図 4 に示すとおり、環境条件が異なる取水構造物の気中帯、干満帯及び海中帯をそれぞれ評価点として選定した。

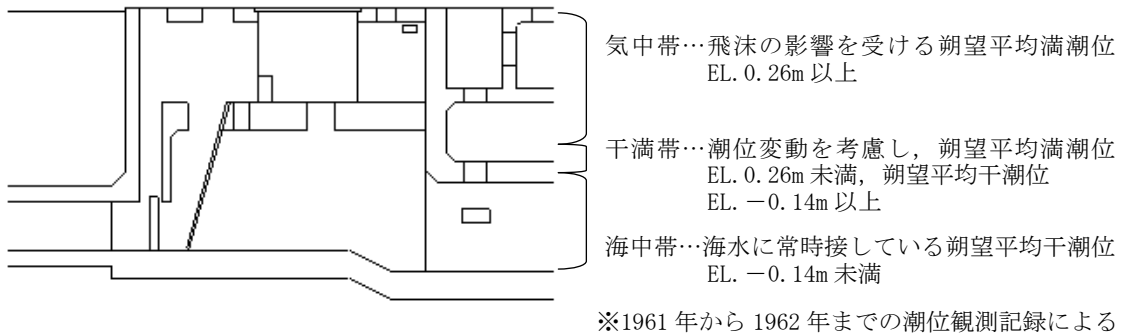


図 4 取水構造物の概要

表 14 塩分浸透の測定結果

対象の コンクリート 構造物	表面から の深さ (mm)	塩化物イオン量 (kg/m ³)		
		気中帯	干満帯	海中帯
取水構造物	0~20	0.213	0.214	0.451
	20~40	0.190	0.119	0.190
	40~60	0.142	0.111	0.127
	60~80	0.134	0.111	0.095
	80~100	0.134	0.111	0.111
コア採取日		2016年12月14日	2016年12月15日	2016年12月14日

(2) 評価手順

評価については、以下の手順にて実施した。鉄筋の腐食減量の算出過程を別紙5に示す。

① 運転開始後 60 年時点における鉄筋の腐食減量の算出

拡散方程式により塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、運転開始後経過年ごとのコンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測し、鉄筋位置における塩化物イオン量を算出する。

鉄筋位置における塩化物イオン量を用いて、森永式³⁾により運転開始後経過年数ごとの鉄筋の腐食減量を算出する。

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の腐食減量の算出

鉄筋径及びかぶり厚さを用いて、森永式³⁾により、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の腐食減量を算出する。

③ 運転開始後 60 年時点における鉄筋の腐食減量の評価

①が②よりも小さいことを確認する。

(3) 評価結果

運転開始後 60 年時点における鉄筋の腐食減量の推定値は表 15 に示すとおり、いずれの評価点においても、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。

また、定期的に目視点検を実施しているが、塩分浸透による鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は認められていない。

以上から、塩分浸透による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表 15 鉄筋の腐食減量

	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 (%) (塩化物イオン量 (kg/m ³))	鉄筋の腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)		
			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
取水構造物 (気中帯)	2016 年 (27 年)	0.01 (0.14)	1.8	4.1	91.5
取水構造物 (干満帯)	2016 年 (27 年)	0.01 (0.12)	0.0	0.0	91.5
取水構造物 (海中帯)	2016 年 (27 年)	0.01 (0.12)	0.0	0.0	91.5

4.1.5 機械振動による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、振動の影響を受ける周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）とした。

評価点は、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートとした。機械振動の評価対象部位及び評価点の選定過程を別紙6に示す。

(2) 評価結果

機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動や定着部周辺コンクリート表面に有害なひび割れが発生すると考えられる。

ディーゼル発電機基礎については、定期的（1回/年）に保守管理要則に基づき目視点検を行い、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ている。また、仮に機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機器の異常振動が発生するものと考えられるが、定期試験等を行っており、異常の兆候は検知可能である。

以上から、機械振動による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

4.2 コンクリート構造物の遮へい能力低下

4.2.1 熱による遮へい能力低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち放射線遮へい能力が要求される内部コンクリート（1次しゃへい壁）とした。

評価点は、運転時に最も高温となる炉心領域部とした。

評価については、コンクリートの温度制限値と温度分布解析の結果を比較した。

(2) 評価結果

放射線防護の観点から、コンクリート遮へい体の設計に適用されている「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」）には、周辺及び内部最高温度の制限値が示されており、コンクリートに対しては中性子遮へいで88℃以下、ガンマ線遮へいで177℃以下となっている。

これに対し、温度分布解析の結果、断続的運転を前提とした場合における炉心領域部の最高温度は、約62℃であり、コンクリートの最高温度は、温度制限値を下回っている。

また、定期的に見視点検を実施しているが、遮へい能力に支障をきたす可能性のあるひび割れ等は認められていない。

仮にコンクリート構造物の遮へい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。

以上から、熱によるコンクリート遮へい能力低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

4.3 現状保全

コンクリート構造物の強度低下については、保守管理要則に基づき、定期的（1回／年）にコンクリート表面の目視点検を実施し、強度低下につながるひび割れ等を確認している。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、即時補修が必要な場合を除き、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処に補修を計画、実施することとしている。

コンクリート構造物の遮へい能力低下については、保守管理要則に基づき、定期的（1回／年）にコンクリート表面の目視点検を実施し、遮へい能力低下につながるひび割れ等を確認している。また、放射線量を日常的に監視している。

4.4 総合評価

コンクリート構造物の強度低下については、健全性評価の結果から判断して、現状において問題はなく、今後、強度低下が急激に発生する可能性は小さい。

また、保守管理要則に基づく定期的な目視点検により、補修対象となったひび割れ等の補修を計画、実施することとしており、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。

コンクリート構造物の遮へい能力低下については、健全性評価の結果から判断して、現状において問題はなく、今後、遮へい能力低下が急激に発生する可能性は小さい。

また、仮に熱によるコンクリート構造物の遮へい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。

4.5 高経年化への対応

コンクリート構造物の強度低下及び遮へい能力低下に対しては、高経年化対策の観点から現状の保全内容に対して追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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ごとに使用条件を考慮して実施しており、代表構造物以外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

6.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について技術評価を行った結果、全ての要求事項を満足していることを確認した。コンクリート構造物及び鉄骨構造物についての要求事項との対比を表 16 に示す。

表 16 コンクリート構造物及び鉄骨構造物についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 ⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。	「4. 代表構造物の技術評価」に示すとおり、代表構造物について運転開始後 60 年時点を想定した健全性評価を実施した。
	⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。	「4.3 現状保全」に示すとおり、健全性評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。
	⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。
	(2) 長期保守管理方針の審査 ①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ⑮抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下、「追加保全策」という。）を抽出すること。 イ 実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から 60 年間（ただし、⑯ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から 40 年間とする。）	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加する新たな保全策はなかった。
	3. 2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ⑰高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたもの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。 ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。

6.2 保守管理に関する方針として策定する事項

コンクリート構造物及び鉄骨構造物に関する評価について、保守管理に関する方針として策定する事項は抽出されなかった。

別紙

別紙 1 保守管理要則における目視点検の項目，方法及び判定基準について

別紙 2 温度分布解析の方法，条件及び結果について

別紙 3 空気環境の測定方法及び位置について

別紙 4 中性化深さの推定値の算出過程について

別紙 5 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算出過程について

別紙 6 機械振動の評価対象及び評価点の抽出過程について

〈保守管理要則における目視点検の項目，方法及び判定基準について〉

保守管理要則に基づき定期的（1回／年）に実施する目視点検の項目，方法及び判定基準を以下に示す。

泊発電所 土木設備 点検の項目・方法及び判定基準

点検の種類	点検の項目		点検の方法	判定基準	
定期点検	コンクリート 構造物	ひび割れ	特に厳しい 腐食性環境		
			腐食性環境		目視（簡易測定含む）
			一般部		
		浮き・剥離	目視（打音調査含む）		
		鉄筋腐食	目視		
		鉄筋露出	目視		
		漏水	目視		

泊発電所 建築設備 点検の項目・方法及び判定基準

点検の種類	点検の項目			点検の方法	判定基準	
定期点検	コンクリート 構造物	ひび割れ	構造安全性	目視（簡易測定含む）		
			使用性			屋外
						屋内
			水密性			塗膜あり
						塗膜なし
			遮へい性			屋外
						屋内
			剥離・剥落			目視（打音調査含む）
		鉄筋腐食	目視			
		漏水	目視			
	たわみ	目視				
	振動	目視				
	すりへり	目視				
	鉄骨 構造物	強度低下	目視			
鋼材腐食		目視				
接合部の異常		目視				

＜温度分布解析の方法，条件及び結果について＞

炉心領域部及び原子炉容器支持構造物（以下，「RV サポート」という。）直下部の温度分布解析の方法，条件及び結果を以下に示す。

1. 炉心領域部の温度分布解析

1.1 算出方法

炉心領域部のガンマ発熱による温度分布は，1次しゃへい壁内のガンマ発熱量分布を1次元輸送計算コード ANISN により算出し，熱伝導方程式を解いて1次しゃへいコンクリート内の温度分布を算出している。

1.2 入力条件

ANISN は，米国のオークリッジ国立研究所で開発された中性子輸送方程式を数値的に解くコードであり，入力パラメータを図 2-1 に示す。

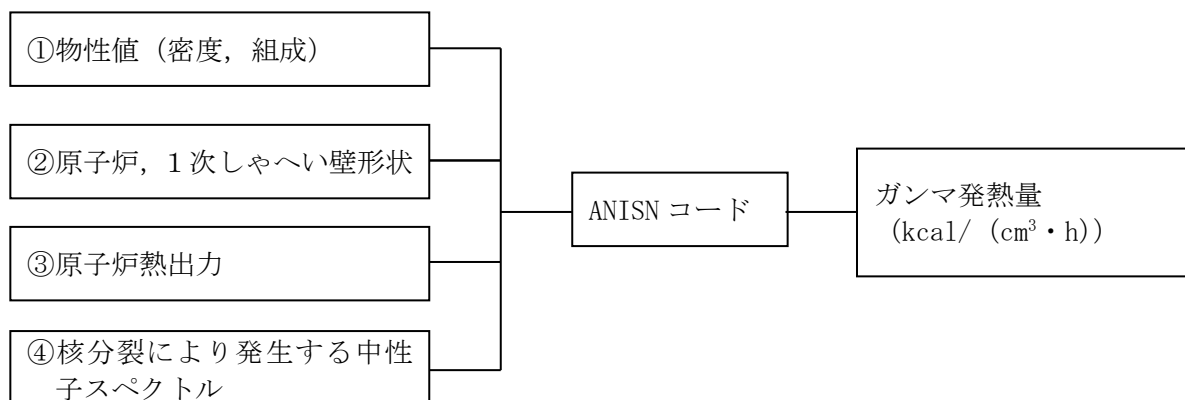


図 2-1 入力パラメータ

また，炉心，炉心構造物，原子炉容器及び1次しゃへいコンクリートを1次元円筒形状でモデル化した計算形状図を図 2-2 に示す。

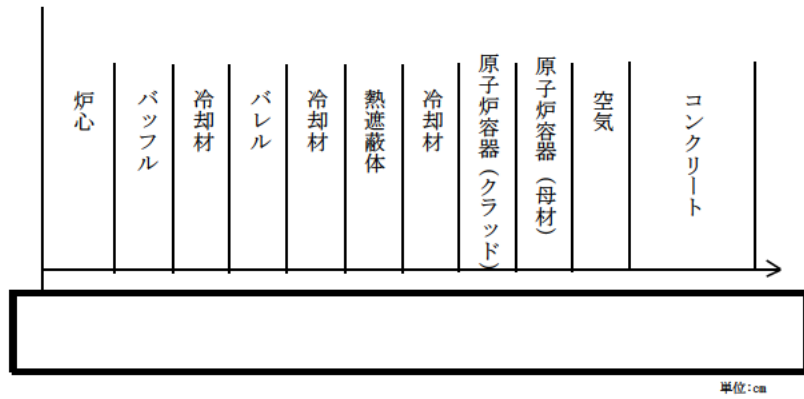


図 2-2 炉心，炉心構造物，原子炉容器及び1次しゃへいコンクリートの計算形状図

1.3 評価結果

1次しゃへい壁内のガンマ発熱量分布を基に，円筒形状に対する熱伝導方程式を解いて温度分布を算出した結果，1次しゃへいコンクリート内での最高温度は，1次しゃへいコンクリート内面から約47cmの位置に現れ，約62℃である。

1次しゃへいコンクリート内温度分布を図2-3に示す。

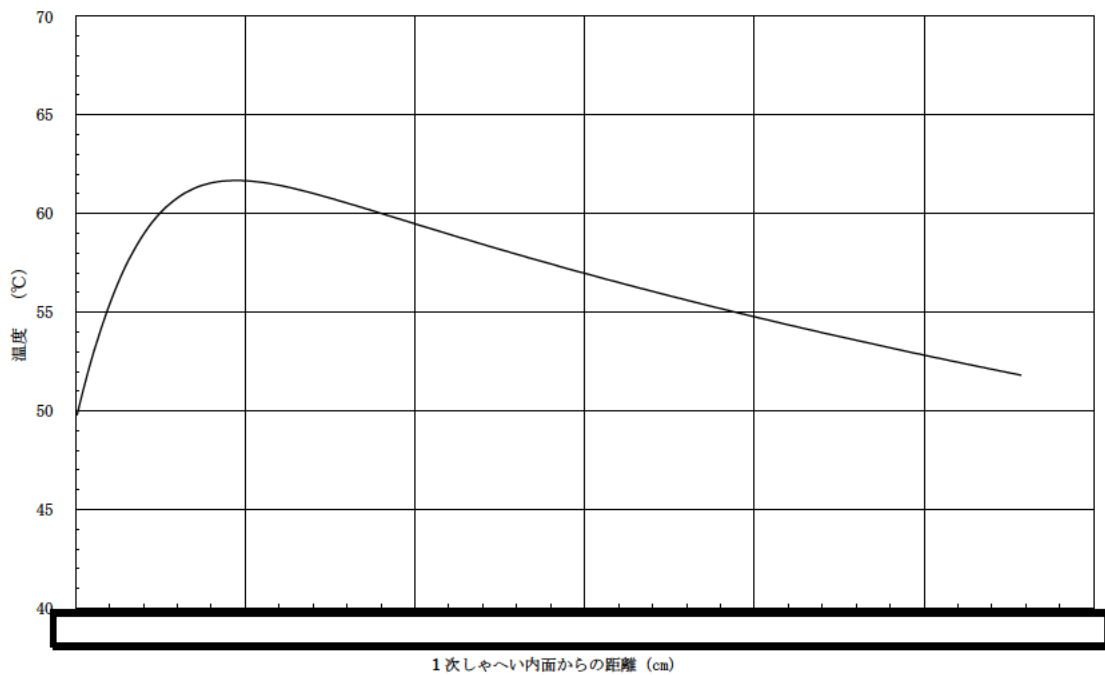


図 2-3 1次しゃへいコンクリート内温度分布

2. RV サポート直下部の温度分布解析

2.1 算出方法

RV サポート直下部の温度分布は対象範囲を3次元ソリッド要素でモデル化し、熱流動解析より算出している。熱流動解析では冷却空気の流れから、熱伝達面に沿った流速分布、冷却空気温度を解析で求めることにより各部材温度を算出している。解析コードは、ANSYS を使用している。

2.2 評価モデル

評価モデルの対象範囲は温度条件の厳しいRV出口ノズル部周りとし、以下の要素から構成している。評価対象範囲と評価モデル（全体）を図2-4及び図2-5に示す。

- RV
- 1次冷却材管（ホットレグ）
- 保温材
- RV サポート
- 配管貫通部
- 1次しゃへいコンクリート（ライニング含む）

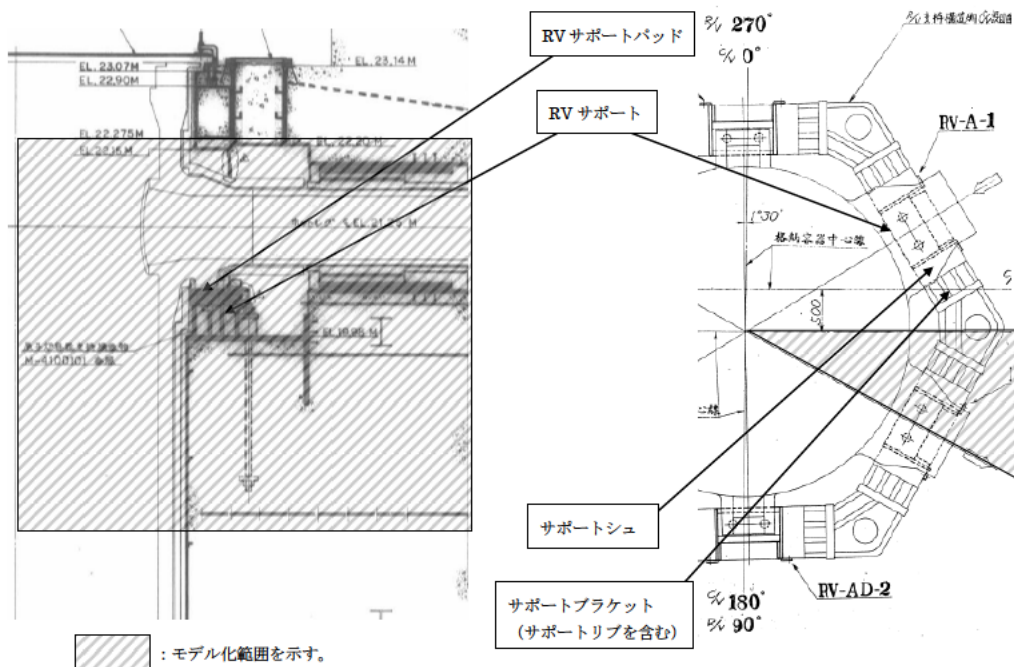


図 2-4 評価対象範囲

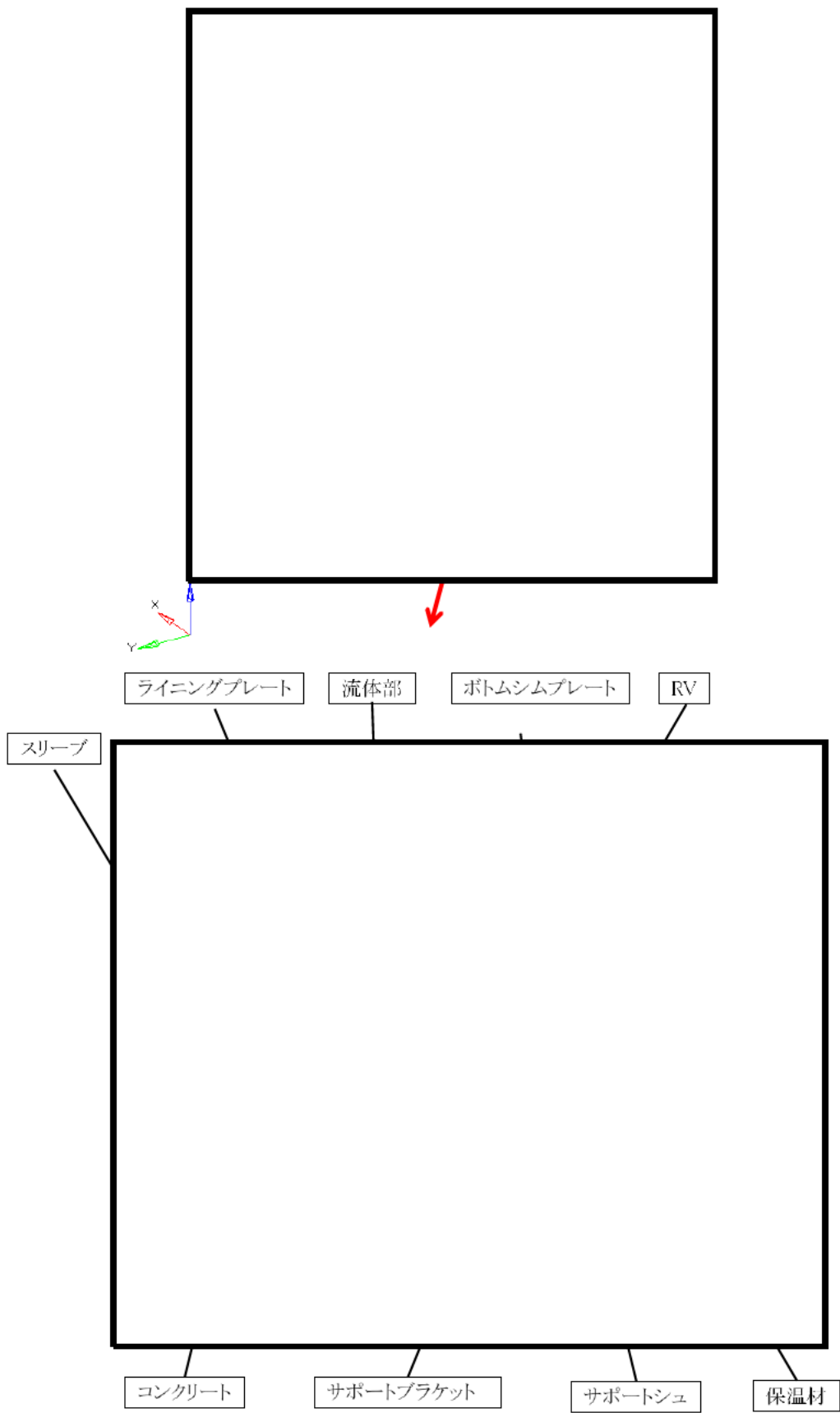


図 2-5 評価モデル (全体)
2-4

2.3 入力条件

- 1次冷却材温度 (RV 内部) $T_C : 288.1^\circ\text{C}$
- 1次冷却材温度 (RV 出口管台及び1次冷却材管内面) $T_H : 322.7^\circ\text{C}$
- RV 冷却ファン出口流量 $\square \text{ m}^3/\text{min}$, 冷却空気温度 $\square \text{ }^\circ\text{C}$
- ガンマ発熱 : 図 2-6 を考慮
- 主な材料物性値 : 表 2-1 参照

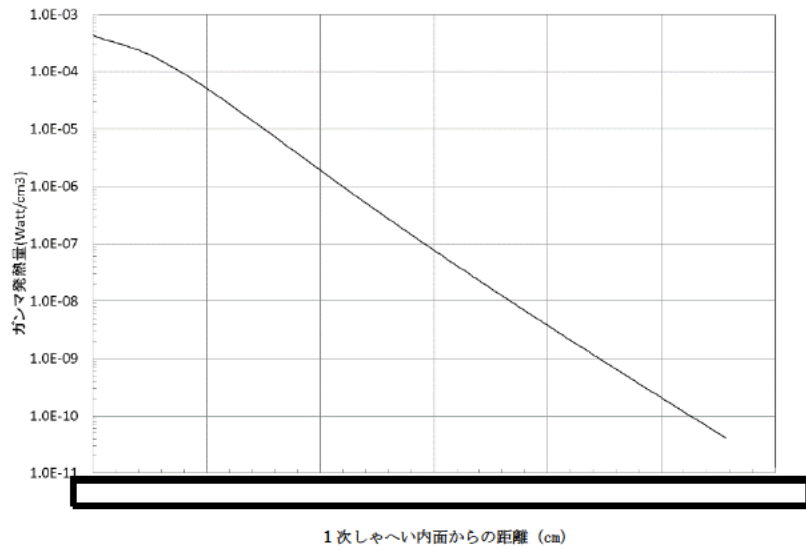


図 2-6 1次しゃへいコンクリート (炉心中心高さ) のガンマ発熱量分布

表 2-1 主な材料物性値

部位		材質	熱伝導率 (W/(m・K)) ※
空気		—	0.02572 (20℃) 0.03145 (100℃) 0.03803 (200℃) 0.04708 (350℃)
RV	上部胴, 冷却材出口管台	SFVQ 1A	51.2 (300K) 46.1 (500K) 36.9 (800K)
	下部胴	SFVQ 1A	
1次冷却材管	ホットレグ	SCS14A	24.3 (300K)
RV サポート	シムプレート	AISI A10 (工具鋼相当)	45.1 (300K) 39.2 (600K) 29.9 (1000K)
	サポートシュ	SFVQ 1A	51.2 (300K) 46.1 (500K) 36.9 (800K)
	ベースプレート, サポートブラケット	SM50B (SM490B)	51.6 (300K) 47.8 (500K) 38.2 (800K)
	止め金具	SNC631 (ニッケルクロム鋼相当)	17.4 (300K)
外周プレート, スリーブ, リングフレーム支柱		SM50B (SM490B)	51.6 (300K) 47.8 (500K) 38.2 (800K)
パッフルプレート, パッフルビーム, ライニング, リングフレーム		SS41 (SS400)	51.6 (300K) 47.8 (500K) 38.2 (800K)
コンクリート, グラウト		珪岩質骨材コンクリート相当	1.5 (300K) 1.1 (600K)
保温材	RV 保温材	—	
	1次冷却材管保温材	—	

※出典：伝熱工学資料 改訂第5版 日本機械学会（保温材は保温材スペック）

熱伝導率は記載の値（記載の値は一例）を定義し，その間の温度では線形補間した値を設定している。

2.4 評価結果

温度分布解析の結果、RV サポート直下部における最高温度は約 53℃である。

RV サポート直下部の温度分布を図 2-7 に示す。

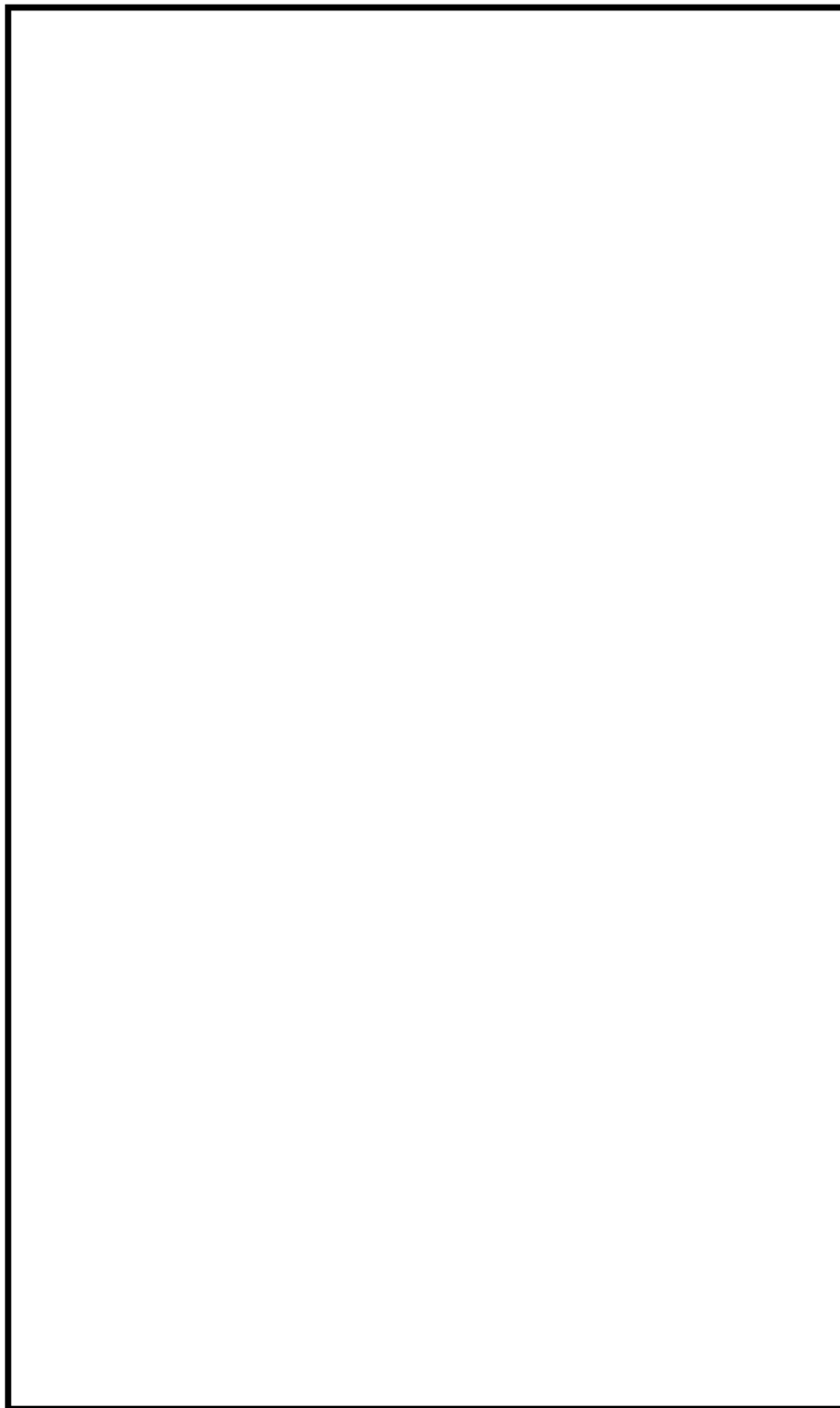


図 2-7 RV サポート直下部の温度分布

〈空気環境の測定方法及び位置について〉

空気環境測定方法および位置を以下に示す。

1. 空気環境測定

中性化の進展度合いは、空気環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）の影響を受けるため、空気環境測定を実施した。

(1) 測定方法

空気環境測定に使用した機器を表 3-1 に示す。二酸化炭素濃度は、2015 年 8 月から 2016 年 7 月の期間で各月ごとに 2 回測定を行った。温度及び相対湿度は、2015 年 8 月 1 日から 2016 年 7 月 31 日の期間で実施し、1 時間間隔で連続測定を行った。

表 3-1 空気環境測定 使用機器

測定場所	測定項目	使用機器
構内各所	二酸化炭素濃度	二酸化炭素濃度計
	温度	温湿度計
	湿度	

(2) 測定位置

二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度について、建屋内外の計 50 箇所にて測定を実施した。測定位置図を図 3-1～図 3-15 に示す。

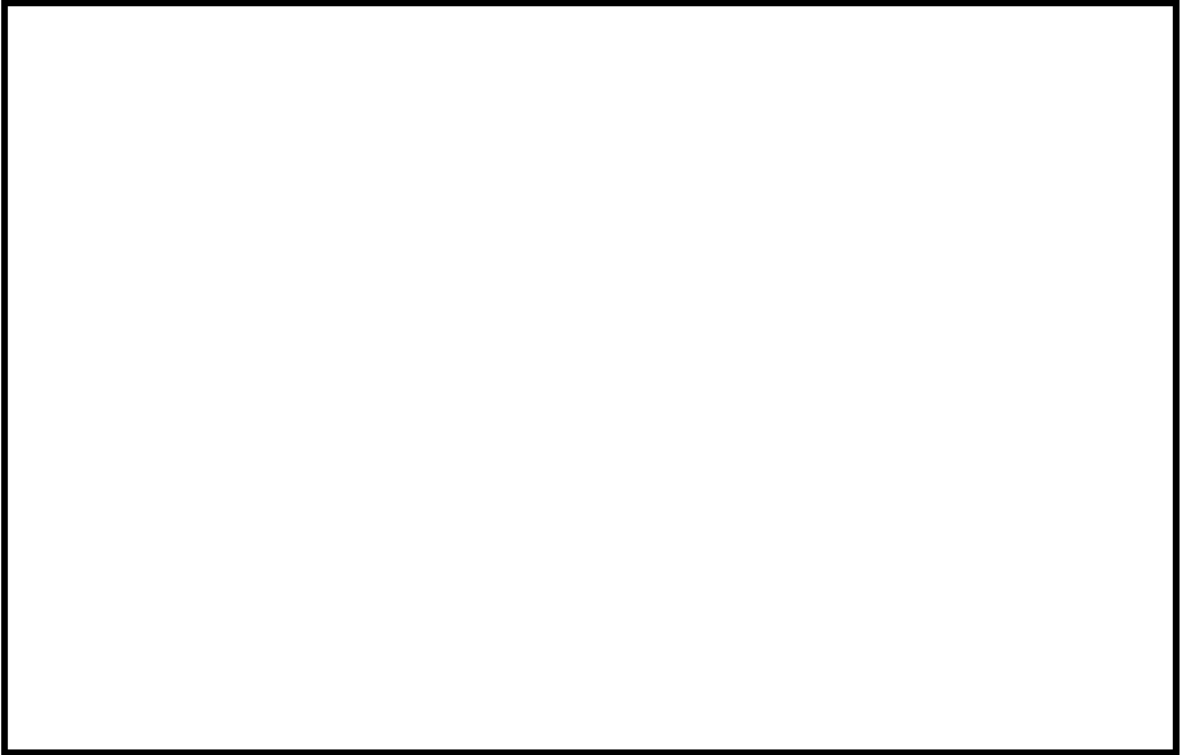


図 3-1 周辺補機棟及び燃料取扱棟 (EL. 10.3m)

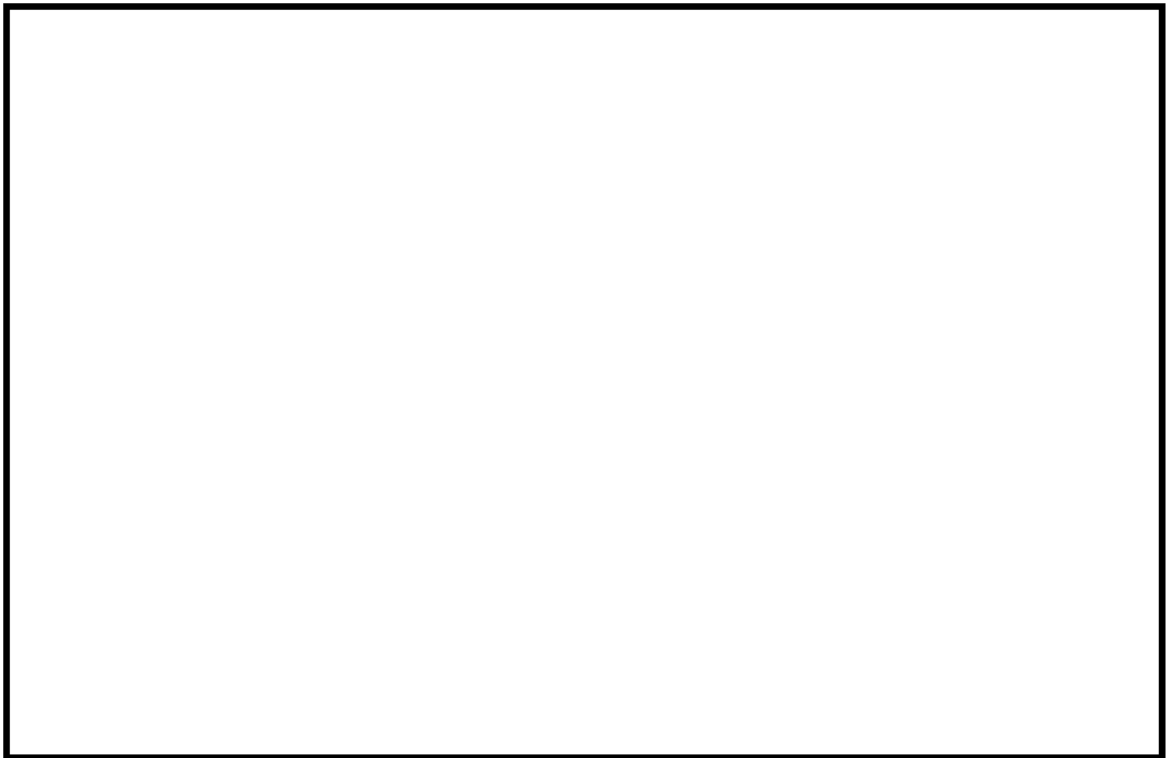


図 3-2 周辺補機棟及び燃料取扱棟 (EL. 18.3m)

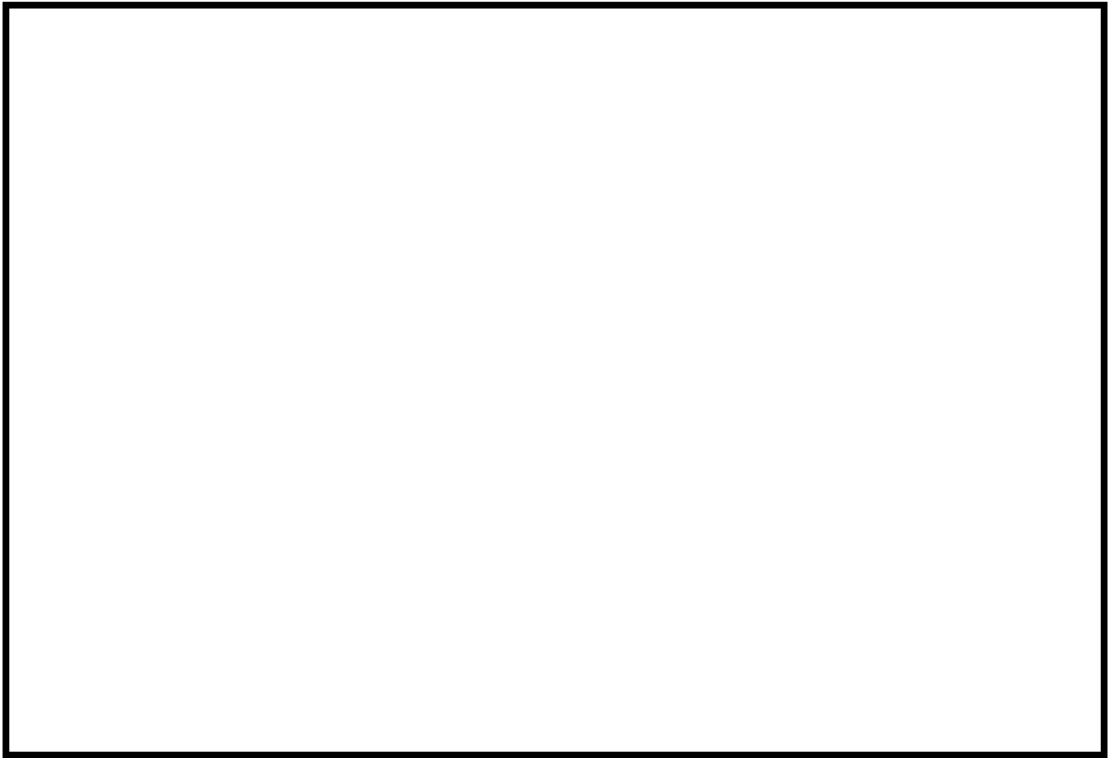


図 3-3 周辺補機棟及び燃料取扱棟 (EL. 24.8m)

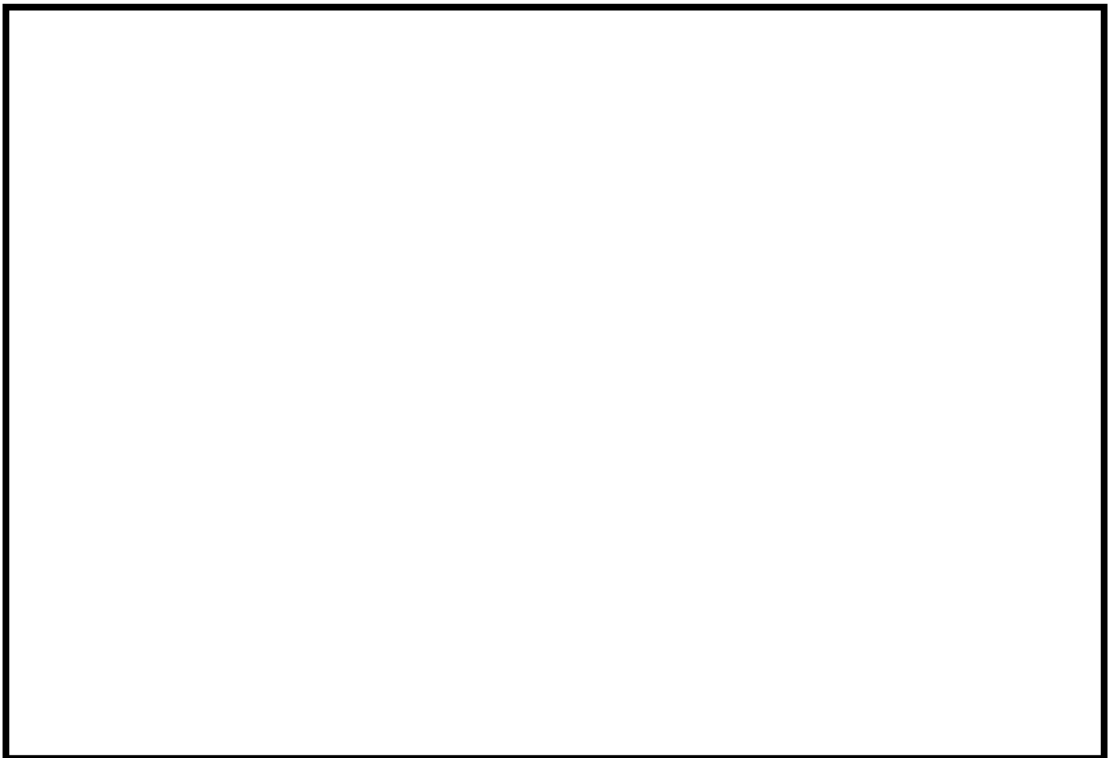


図 3-4 周辺補機棟及び燃料取扱棟 (EL. 31.3m)



図 3-5 内部コンクリート (EL. 13.8m)

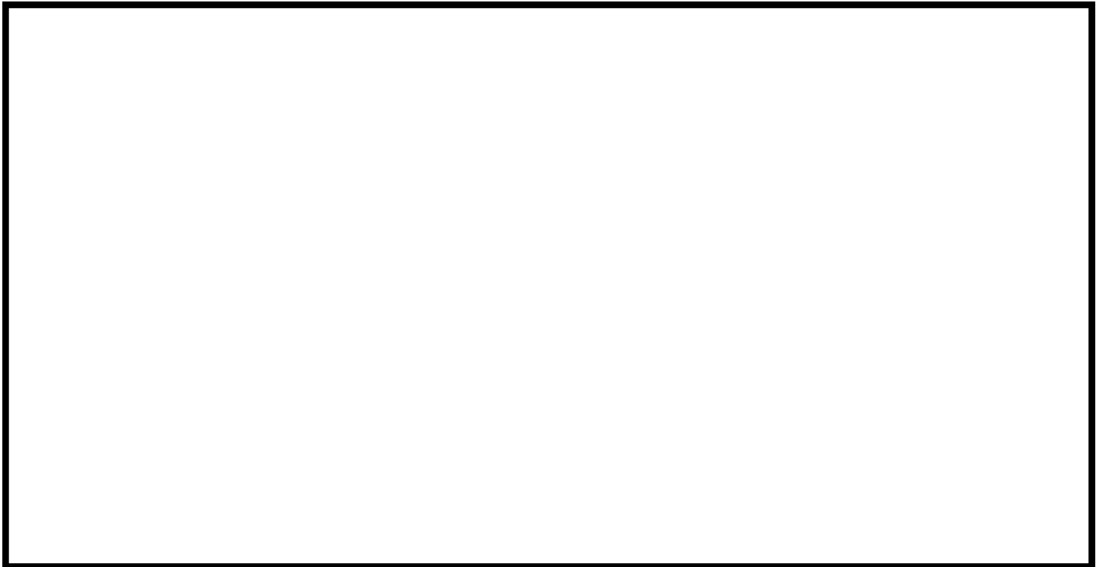


図 3-6 内部コンクリート (EL. 24.8m)



图 3-7 原子炉補助建屋 (EL. 3.3m)

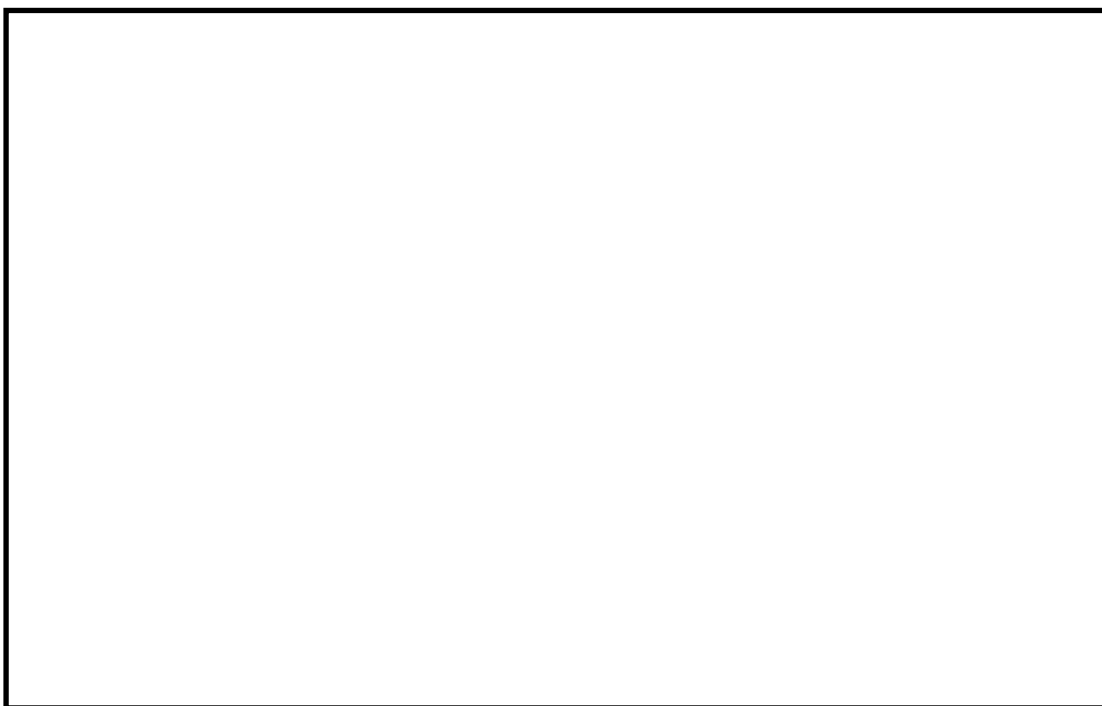


图 3-8 原子炉補助建屋 (EL. 9.8m)

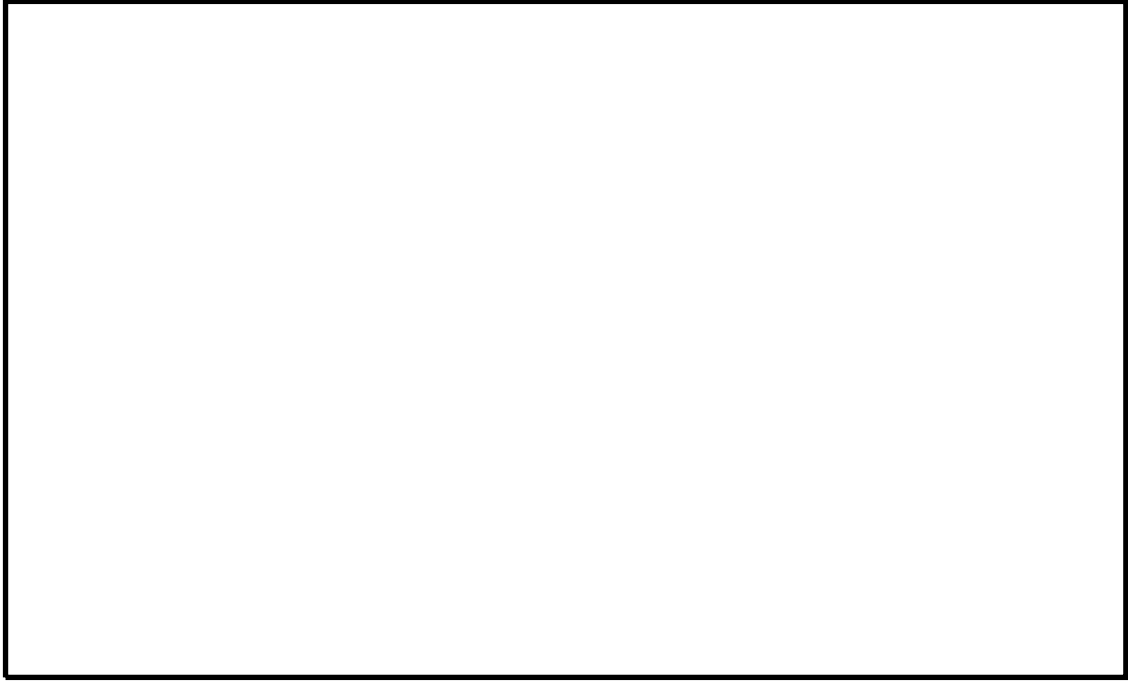


图 3-9 原子炉補助建屋 (EL. 17. 3m)

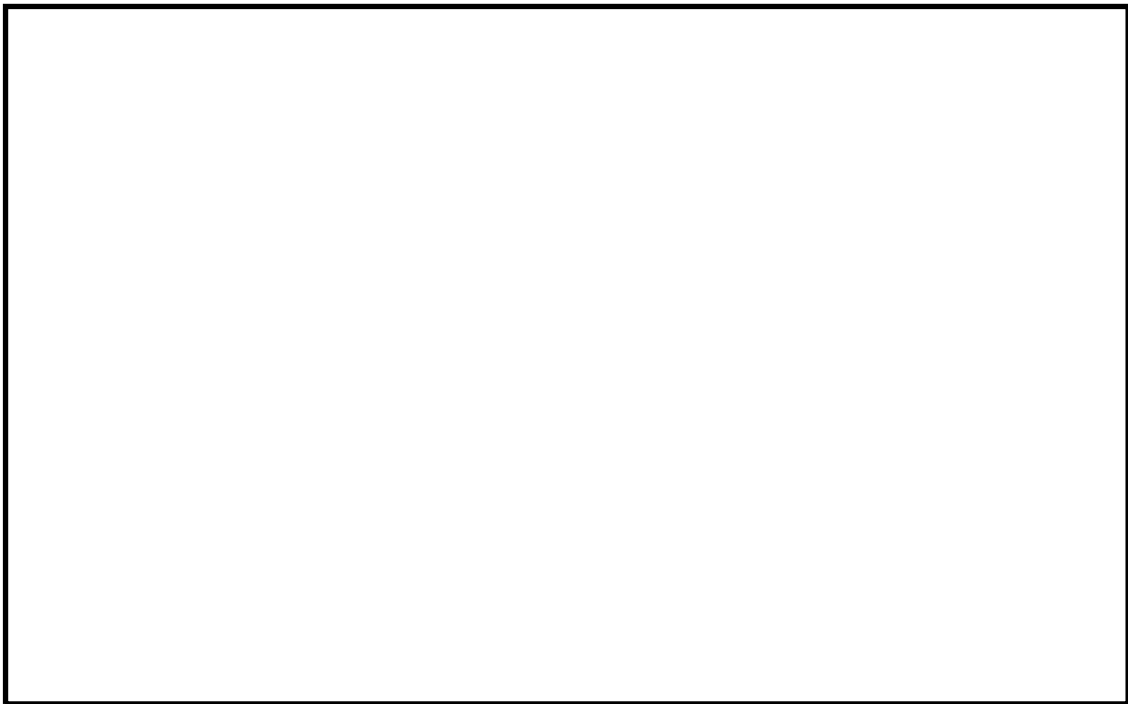


图 3-10 原子炉補助建屋 (EL. 24. 8m)

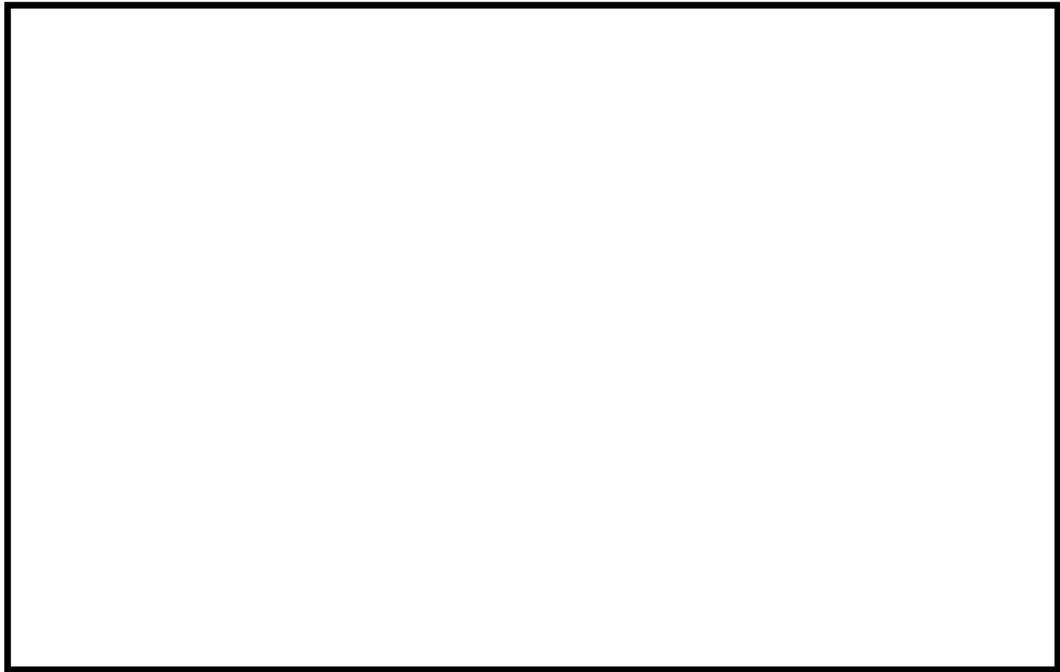


図 3-11 原子炉補助建屋 (EL. 32.3m)



図 3-12 燃料取替用水タンク建屋 (EL. 24.8m)



图 3-13 放射性废弃物处理建屋 (EL. 17. 3m)



图 3-14 放射性废弃物处理建屋 (EL. 24. 8m)

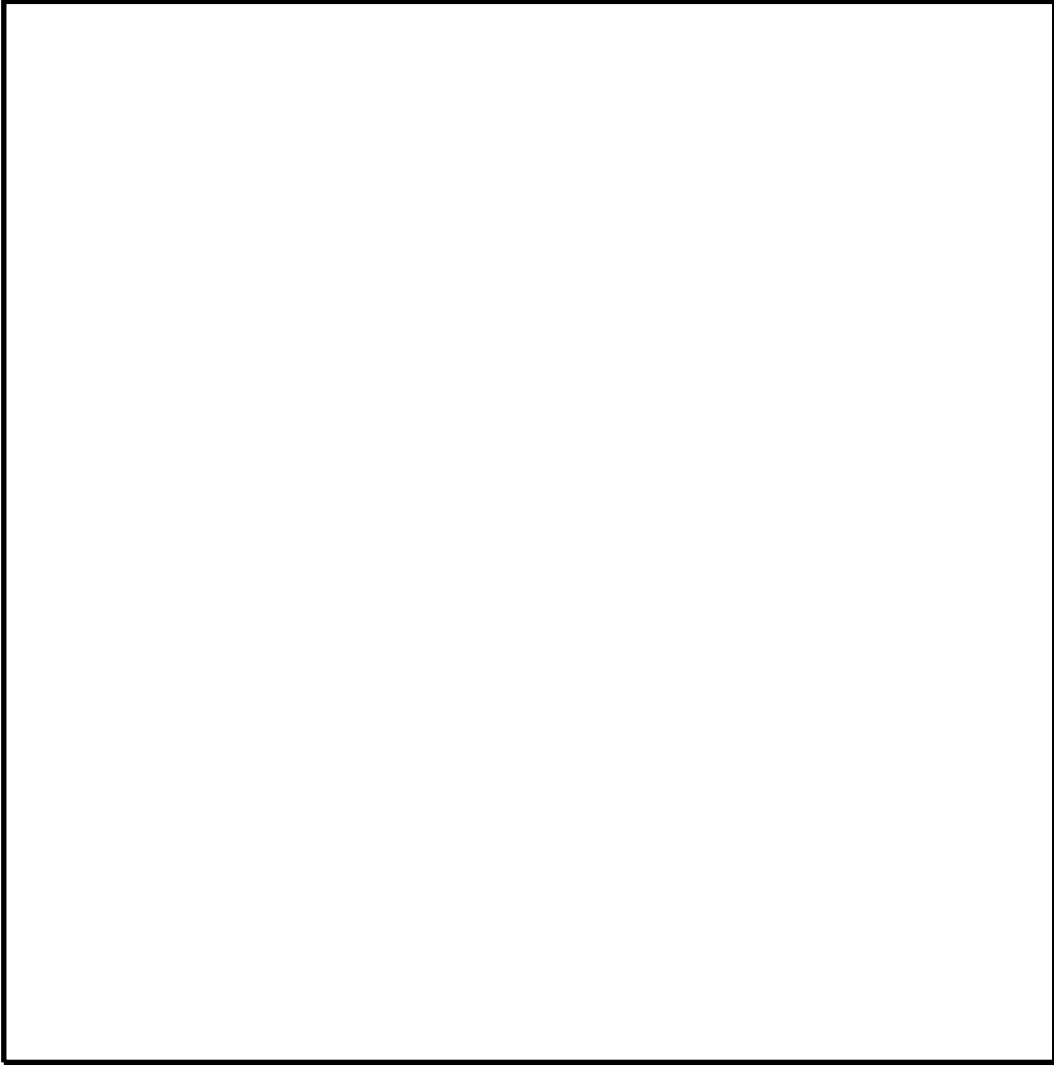


図 3-15 取水構造物

〈中性化深さの推定値の算出過程について〉

調査時点及び運転開始後 60 年経過時点の中性化深さの推定値の算出過程（推定式、条件及びパラメータ）を以下に示す。

1. 岸谷式

□ : 中性化深さの推定に必要なパラメータ
 □ : 推定結果

	内部 コンクリート	取水構造物	備考
		気中帯	
w : 水セメント比 (%)			
α : 劣化外力係数	1.7	1.0	内部コンクリート : 屋内 取水構造物 : 屋外
β : 仕上げ材による係数	0.61	1.0	内部コンクリート : ペイント 取水構造物 : 仕上げなし
γ : セメントによる係数	1.2	1.0	内部コンクリート : 中庸熟ポルトランドセメント 取水構造物 : 普通ポルトランドセメント
調査時点の推定値 (cm)	1.21	1.36	運転開始後 27 年経過時点
運転開始後 60 年経過時点 の推定値 (cm)	1.81	2.02	

岸谷式

$$t = \frac{7.2}{R^2 \cdot (4.6w - 1.76)^2} \cdot x^2$$

t : 深さ x までの中性化する期間 (年)

x : 中性化深さ (cm)

w : 水セメント比 (比)

R : 中性化比率 ($R = \alpha \times \beta \times \gamma$)

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

□ : 中性化深さの推定に必要なパラメータ
 □ : 推定結果

2. 森永式

	内部 コンクリート	取水構造物	備考
		気中帯	
w/c : 水セメント比			
R : 仕上げ材の中性化率	0.66	1.0	内部コンクリート : 合成樹脂エマルジョン 取水構造物 : 打ち放し
C : 二酸化炭素濃度 (%)	0.04628	0.04287	平成 27 年 8 月から平成 28 年 7 月の期間で各 月毎に 2~3 回測定した結果の平均値
T : 温度 (°C)	28.4	10.2	平成 27 年 8 月から平成 28 年 7 月の期間で 1 時間間隔で連続測定した結果の平均値
RH : 湿度 (%)	25.4	75.6	平成 27 年 8 月から平成 28 年 7 月の期間で 1 時間間隔で連続測定した結果の平均値
調査時点の推定値 (cm)	1.23	0.52	運転開始後 27 年経過時点
運転開始後 60 年経過時点 の推定値 (cm)	1.83	0.77	

森永式

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

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

□ : 中性化深さの推定に必要なパラメータ
 □ : 推定結果

3. \sqrt{t} 式

	内部 コンクリート	取水構造物	備考
		気中帯	
中性化実測深さ (cm)	0.11	1.35	中性化深さの測定結果
運転開始後 60 年経過時点の推 定値 (cm)	0.16	2.01	

\sqrt{t} 式

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

x : 中性化深さ (mm)
 t : 中性化期間 (年)
 A : 中性化速度係数 (中性化実測深さと中性化期間により算出)

〈塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算出過程について〉

1. 鉄筋の腐食減量の算出過程（方法、条件及びパラメータ）を以下に示す。

	取水構造物			備考
	気中帯	干満帯	海中帯	
x : かぶり厚さ (mm)	84	84	84	
C : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m ³)	0.14	0.12	0.12	塩分浸透の測定結果
C_0 : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m ³)	0.297	0.244	0.959	拡散方程式の回帰分析を最小二乗法により行い、誤差の二乗の和が最小となる C_0 を求めた
D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけ上の拡散係数 (mm ² /年)	50	8	11	拡散方程式の回帰分析を最小二乗法により行い、誤差の二乗の和が最小となる D を求めた
C_i : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m ³) (推定値)	0.16	0.10	0.11	運転開始から 60 年経過時点の推定値
x : かぶり厚さ (mm)	84	84	84	
d : 鉄筋径 (mm)	32	32	32	
W : 単位水量 (kg/m ³)				
W/C : 水セメント比 (比)				
N : 練り混ぜ水に対する NaCl としての塩分濃度 (%)	0.15	0.09	0.11	運転開始から 60 年経過時点の推定値
T : 温度 (°C)	10.2	12.4	12.4	気中帯: 2015 年 8 月 1 日から 2016 年 7 月 31 日の期間に取水ビュースクリーン室において 1 時間間隔で連続測定した結果の平均値 干満帯, 海中帯: 温度は 2016 年 4 月 1 日から 2017 年 3 月 31 日の期間に取水口において 1 時間間隔で連続測定した海水温度の平均値
RH : 相対湿度 (%)	75.6	100	100	相対湿度は海水との接触により 100% (森永論文引用 ^{*)})
O : 酸素濃度 (比)	0.21	0.006	0.006	気中帯: 2015 年 8 月 3 日から 2016 年 7 月 20 日の期間に取水ビュースクリーン室において測定した結果の平均値 干満帯, 海中帯: 森永論文引用 ^{*)}
Q_{27} : 調査時点の鉄筋の腐食減量 ($\times 10^{-4}$ g/cm ²)	1.8	0.0	0.0	
Q_{60} : 運転開始 60 年経過時点の鉄筋の腐食減量 ($\times 10^{-4}$ g/cm ²)	4.1	0.0	0.0	
Q_{cr} : 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 推定値 ($\times 10^{-4}$ g/cm ²)	91.5	91.5	91.5	

※森永他「腐食による鉄筋コンクリート構造物の寿命予測」—コンクリート工学論文集(1990)

- : (1)拡散方程式により、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測するのに必要なパラメータ
- : (1)の予測結果
- : (2)森永式により、鉄筋の腐食減量の評価を実施するのに必要なパラメータ
- : (2)の推定結果

拡散方程式

$$C = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

- C : 鉄筋位置における塩化物イオン量(kg/m³)
- C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン量(kg/m³)
- erf : 誤差関数
- $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$
- x : かぶり厚さ(mm)
- D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)
- t : 材齢(年)

森永式

$$q = q_1 \cdot \frac{q_2}{q'_2}$$

$$q_1 = \frac{d}{c^2} [-0.51 - 7.60N + 44.97(W/C)^2 + 67.95N(W/C)^2]$$

$$q_2 = 2.59 - 0.05T - 6.89H - 22.87O - 0.99N + 0.14TH \\ + 0.51TO + 0.01TN + 60.81HO + 3.36HN \\ + 7.32ON$$

$$q'_2 = 0.56528 + 1.4304N$$

$$Q_{cr} = 0.602 \left(1 + \frac{2c}{d}\right)^{0.85} \times d$$

q : 鉄筋の腐食速度($\times 10^{-4}$ g/cm²/年)

q₁ : 塩分環境下での腐食速度($\times 10^{-4}$ g/cm²/年)

q₂ : 寿命予測対象部位で、塩分環境下での腐食速度($\times 10^{-4}$ g/cm²/年)

q'₂ : 寿命予測対象部位で、標準環境下(温度 15℃、湿度 69%、
酸素濃度 20%)での腐食速度($\times 10^{-4}$ g/cm²/年)

d : 鉄筋径(mm)

c : かぶり厚さ(mm)

N : 練り混ぜ水に対する NaCl としての塩分濃度(%)

W/C : 水セメント比(比)

T : 温度(℃)

H : 湿度に関する項 $H = (RH - 45)/100$

RH : 相対湿度(%)

O : 酸素濃度(比)

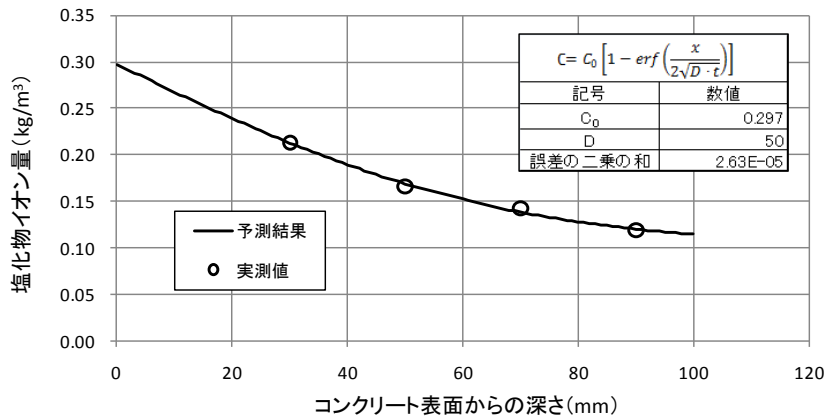
Q_{cr} : 鉄筋腐食でかぶりコンクリートにひび割れが生じる時点での 腐食減量
($\times 10^{-4}$ g/cm²)

c : かぶり厚さ(mm)

d : 鉄筋径(mm)

2. 拡散方程式の回帰分析結果

(気中帯)



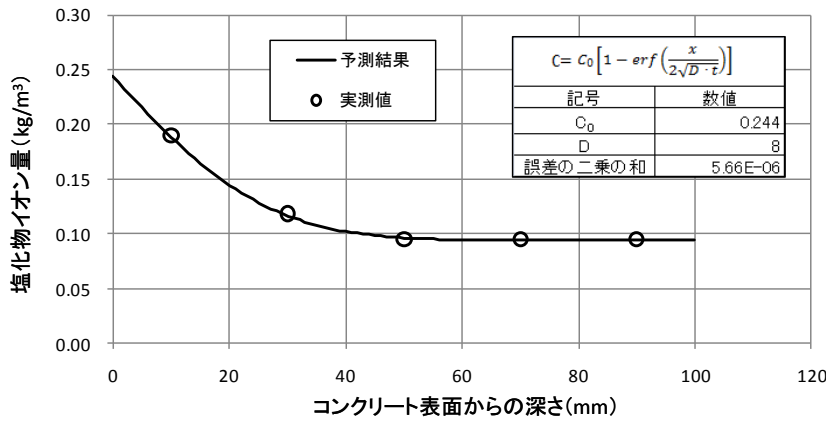
表の注記

C_0 : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m³)

D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの

拡散係数 (mm²/年)

(干満帯)



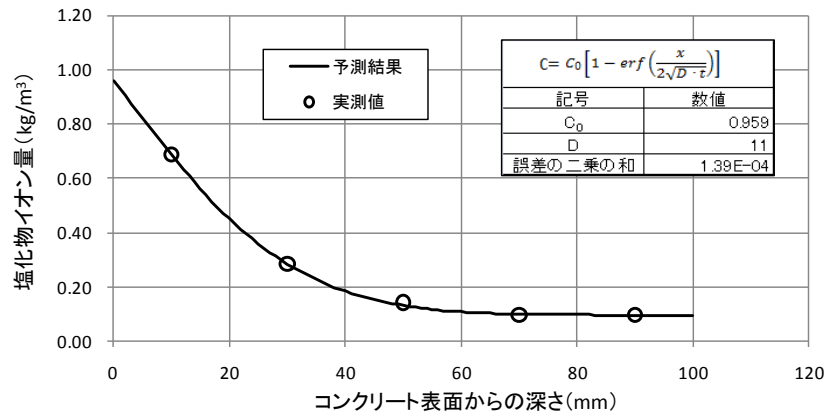
表の注記

C_0 : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m³)

D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの

拡散係数 (mm²/年)

(海中帯)



表の注記

C_0 : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m³)

D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの

拡散係数 (mm²/年)

3. 調査時点，運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量

気中帯		干満帯		海中帯	
経過年数 (年)	Σq ($\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$)	経過年数 (年)	Σq ($\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$)	経過年数 (年)	Σq ($\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$)
22	1.5	22	0.0	22	0.0
23	1.5	23	0.0	23	0.0
24	1.6	24	0.0	24	0.0
25	1.7	25	0.0	25	0.0
26	1.8	26	0.0	26	0.0
27	1.8	27	0.0	27	0.0
28	1.9	28	0.0	28	0.0
29	2.0	29	0.0	29	0.0
30	2.0	30	0.0	30	0.0
31	2.1	31	0.0	31	0.0
32	2.2	32	0.0	32	0.0
55	3.8	55	0.0	55	0.0
56	3.8	56	0.0	56	0.0
57	3.9	57	0.0	57	0.0
58	4.0	58	0.0	58	0.0
59	4.0	59	0.0	59	0.0
60	4.1	60	0.0	60	0.0
61	4.2	61	0.0	61	0.0
62	4.3	62	0.0	62	0.0
63	4.3	63	0.0	63	0.0
64	4.4	64	0.0	64	0.0
65	4.5	65	0.0	65	0.0
1,212	91.1	9,995	0.0	9,995	0.0
1,213	91.2	9,996	0.0	9,996	0.0
1,214	91.3	9,997	0.0	9,997	0.0
1,215	91.4	9,998	0.0	9,998	0.0
1,216	91.4	9,999	0.0	9,999	0.0
1,217	91.5	10,000 ※	0.0	10,000 ※	0.0
1,218	91.6	10,001	0.0	10,001	0.0
1,219	91.7	10,002	0.0	10,002	0.0
1,220	91.7	10,003	0.0	10,003	0.0
1,221	91.8	10,004	0.0	10,004	0.0
1,222	91.9	10,005	0.0	10,005	0.0

※上記の算出結果を踏まえると，干満帯及び海中帯については，塩分浸透における鉄筋の腐食減量は 10,000 年経過時点においても 0g/cm^2 であり，コンクリートにひび割れは発生しないものと考えられる。

〈機械振動の評価対象部位及び評価点の選定過程について〉

泊 1 号炉の冷温停止状態が維持されること前提とした場合の主要な機器の原動機出力を機械振動の大きさとして抽出し、機器の出力が相対的に大きいディーゼル発電機（ディーゼル発電機内燃機関）を選定した。主要な機器の原動機出力を下表に示す。

機器名称	種類	原動機出力 (kW/個)	備考
ディーゼル発電機内燃機関	ディーゼル機関	4,928	機関出力を記載
1次冷却材ポンプ	斜流形	4,570	
充てんポンプ	往復型	132	
原子炉補機冷却海水ポンプ	斜流形	340	
余熱除去ポンプ	うず巻形	250	
原子炉補機冷却水ポンプ	うず巻形	250	

機械振動による強度低下における評価対象部位については、支持する機器の機械振動が大きく、建屋コンクリート躯体から独立しているディーゼル発電機基礎を選定し、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートを評価点としている。

ディーゼル発電機基礎部の概略図を図 6-1 に示す。

なお、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：2015」経年劣化メカニズムまとめ表においてもディーゼル発電機基礎が対象となっている。経年劣化メカニズムまとめ表を図 6-2 に示す。

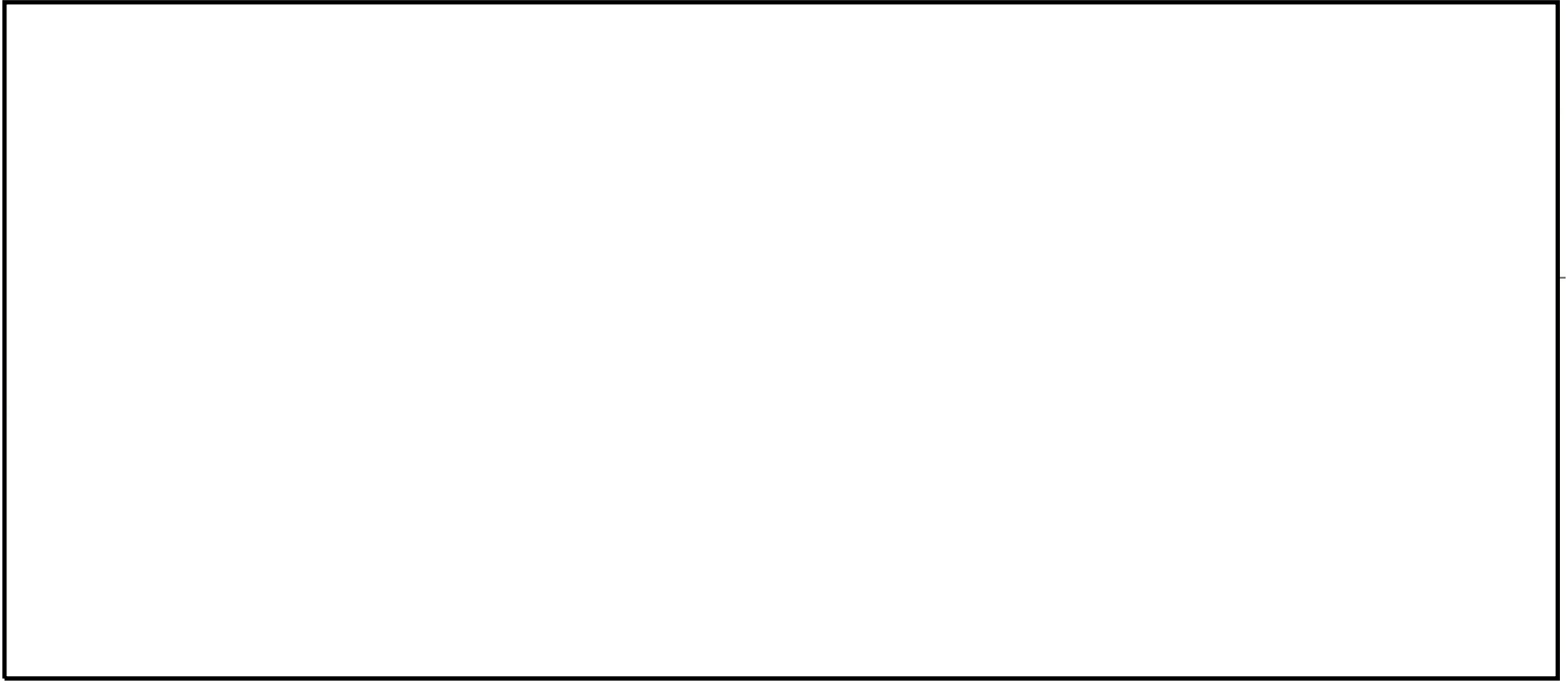


図 6-1 泊 1 号炉 原子炉建屋ディーゼル発電機基礎断面図

P11-01 コンクリート及び鉄骨構造物（コンクリート構造物及び鉄骨構造物）

No.	機能達成に必要な項目	部位	材料	経年劣化事象	高経年化技術評価不要の条件	耐震安全上の機能別評価項目		耐震上の影響	
						静的機能	動的機能		
1	コンクリート強度の維持	外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、原子炉補助建家（主蒸気管室）、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）、復水タンク基礎（配管基礎含む）	コンクリート	中性化による強度低下		★	/	▼	
2		外部遮へい壁、取水構造物	コンクリート	塩分浸透による強度低下		★	/	▼	
3		外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋、タービン建屋（タービン架台）、特高開閉所、脱気器基礎、非常用ディーゼル発電用燃料タンク基礎（配管基礎含む）、復水タンク基礎（配管基礎含む）	コンクリート	アルカリ骨材反応による強度低下		★	/	▼	
4		外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）	コンクリート	凍結融解による強度低下		★	/	▼	
5		外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）	コンクリート	化学的侵食による強度低下	①	★	/	/	
6		内部コンクリート（1次遮へい壁）	コンクリート	熱による強度低下		★	/	▼	
7		内部コンクリート（1次遮へい壁）	コンクリート	放射線照射による強度低下		★	/	▼	
8		原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）、タービン建屋（タービン架台）	コンクリート	機械振動による強度低下		★	/	▼	
9		コンクリート遮へい能力の維持	内部コンクリート（1次遮へい壁）	コンクリート	熱による遮へい能力低下		★	/	▼
10		鉄骨強度の維持	原子炉補助建屋（燃料取扱建屋）、タービン建屋（鉄骨部）、特高開閉所、内部コンクリート（鉄骨部）、原子炉補助建家（燃料取扱室、中央制御室）、原子炉補助建屋（鉄骨部）、脱気器基礎（鉄骨部、配管架台）	鉄骨	腐食による強度低下		★	/	▼
11			タービン建屋（鉄骨部）、内部コンクリート（鉄骨部）、原子炉補助建屋（鉄骨部）	鉄骨	金属疲労による強度低下	①	★	/	/

図 6-2 経年劣化メカニズムまとめ表