



高浜発電所3,4号炉 運転期間延長認可申請 審査会合における指摘／質問事項の回答

2023年10月10日
関西電力株式会社

審査会合における指摘／質問事項の一覧

No	日時	指摘／質問事項	回答頁
① 特別点検(コンクリート)	2023年 6月1日	遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について説明すること。	2023年9月5日 回答済
② 共通事項	2023年 6月1日	社内規程に基づいてどのような体制で評価プロセスのチェックを行ったか説明すること。	P3
③ 中性子照射脆化	2023年 6月1日	第5回監視試験で得られたデータについて、どのように分析して、特異な脆化が生じていないと考えたか説明すること。	個別事項説明時 別途説明予定
④ 照射誘起型応力腐食割れ	2023年 6月1日	3号炉の第9回定検で実施したバッフルフォーマボルトの超音波探傷検査について、具体的な方法、目的、適用規格等について説明すること。	個別事項説明時 別途説明予定
⑤ 特別点検(原子炉容器)	2023年 9月5日	炉心領域の超音波探傷試験(UT)の規格について、審査会合資料には3号炉はJEAC4207-2008、4号炉は2016との記載があるが、特別点検結果報告書では3・4号炉とも2008または2016となっている。実際に適用した規格を特別点検結果報告書に明記すること。	P6
⑥ 特別点検(原子炉容器)	2023年 9月5日	渦流探傷試験(ECT)の検出性について、一次冷却材ノズルコーナ一部(1mm)と炉内計装筒(0.5mm)の違いを整理すること。(BMI確性試験の成績書を提示すること。)	P7
⑦ 特別点検(原子炉容器)	2023年 9月5日	炉心領域の超音波探傷試験(UT)の試験範囲について、自主点検として中性子照射量が $1 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$ を超える範囲まで拡大していることが分かる記録を提示すること。	P9

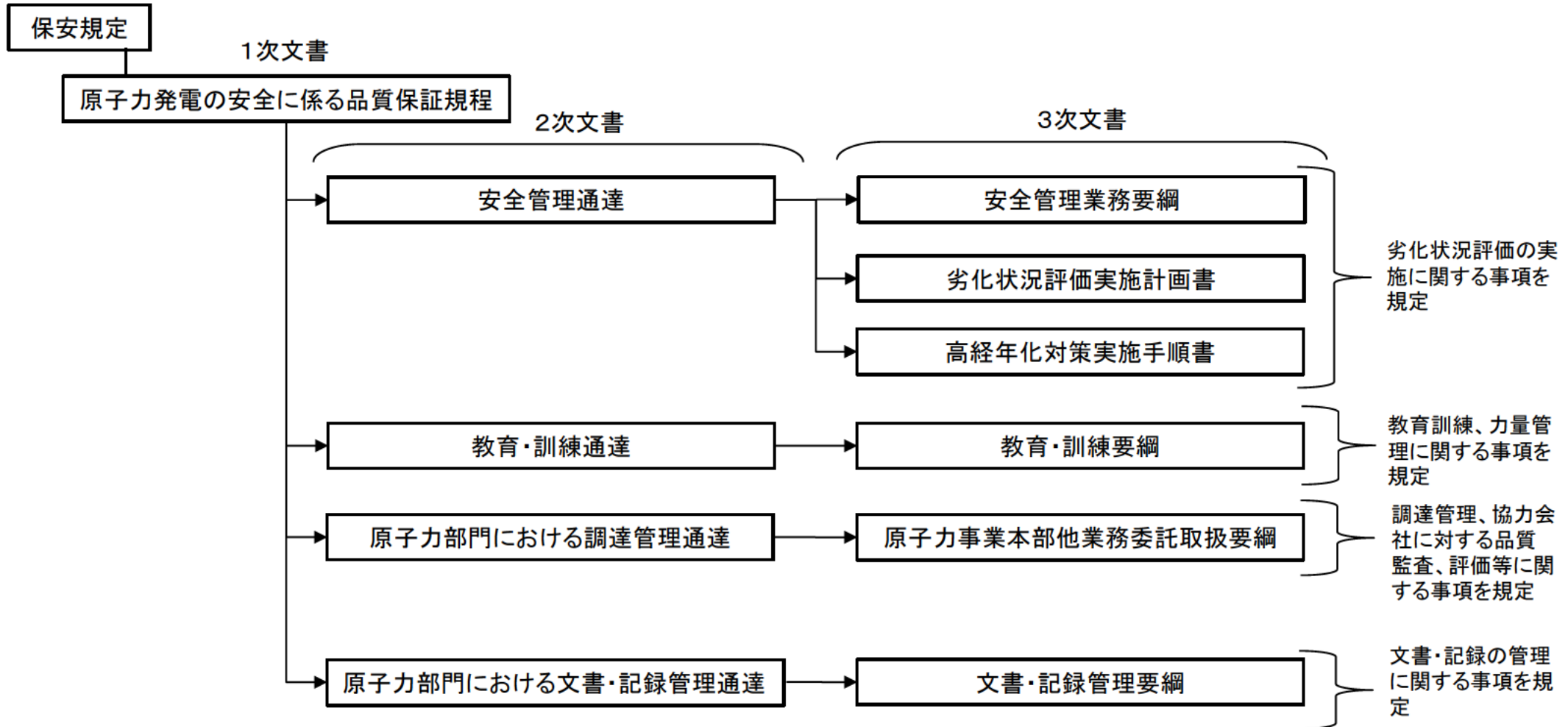
審査会合における指摘／質問事項の一覧

No	日時	指摘／質問事項	回答頁
⑧ 特別点検(原子 炉格納容器)	2023年 9月5日	壁面走行ロボットによる遠隔目視において、ロボットの走行による塗膜への影響がないこと、点検範囲を重ねて実施しているといった点検手順や内容が特別点検としての適切性を有していることを説明すること。	P13
⑨ 特別点検(コン クリート)	2023年 9月5日	中性化深さの点検について、削孔時に切断水を使用しているかどうかについて確認し、切断水を使用している場合は、点検方法の適切性を説明すること。	P17

②劣化状況評価に係る評価プロセスの確認について(1/2)

○評価の実施に係る文書体系

劣化状況評価に関する主な品質マネジメントシステムに係る文書(QMS文書)を下記の通り示す。



劣化状況評価に係る主な社内文書体系図

②劣化状況評価に係る評価プロセスの確認について(2/2)

QMS文書に従い、劣化状況評価の実施体制を構築し、実施手順を確立している。

○実施体制

社内標準「安全管理業務要綱」に従い策定した「高経年化技術評価の実施計画」(以下、「実施計画」という。)により実施体制を構築。

○実施手順

社内標準「安全管理業務要綱」に従い「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」、「原子力発電所の高経年化対策実施基準:2008」などに準拠して策定した「高経年化対策実施手順書」(以下、「実施手順書」という。)により実施手順を確立。

○評価書の作成プロセスの確認(プロセス確認)

「安全管理業務要綱」

- ・プロセス確認箇所は、実施計画に基づき、評価書案の作成業務の実施手順(プロセス)が順守されていることを確認。
- ・プロセス確認は、実施計画に定めるプロセス確認の長が行う。

「実施計画」

- ・プロセス確認箇所: 保全計画グループ

「実施手順書」

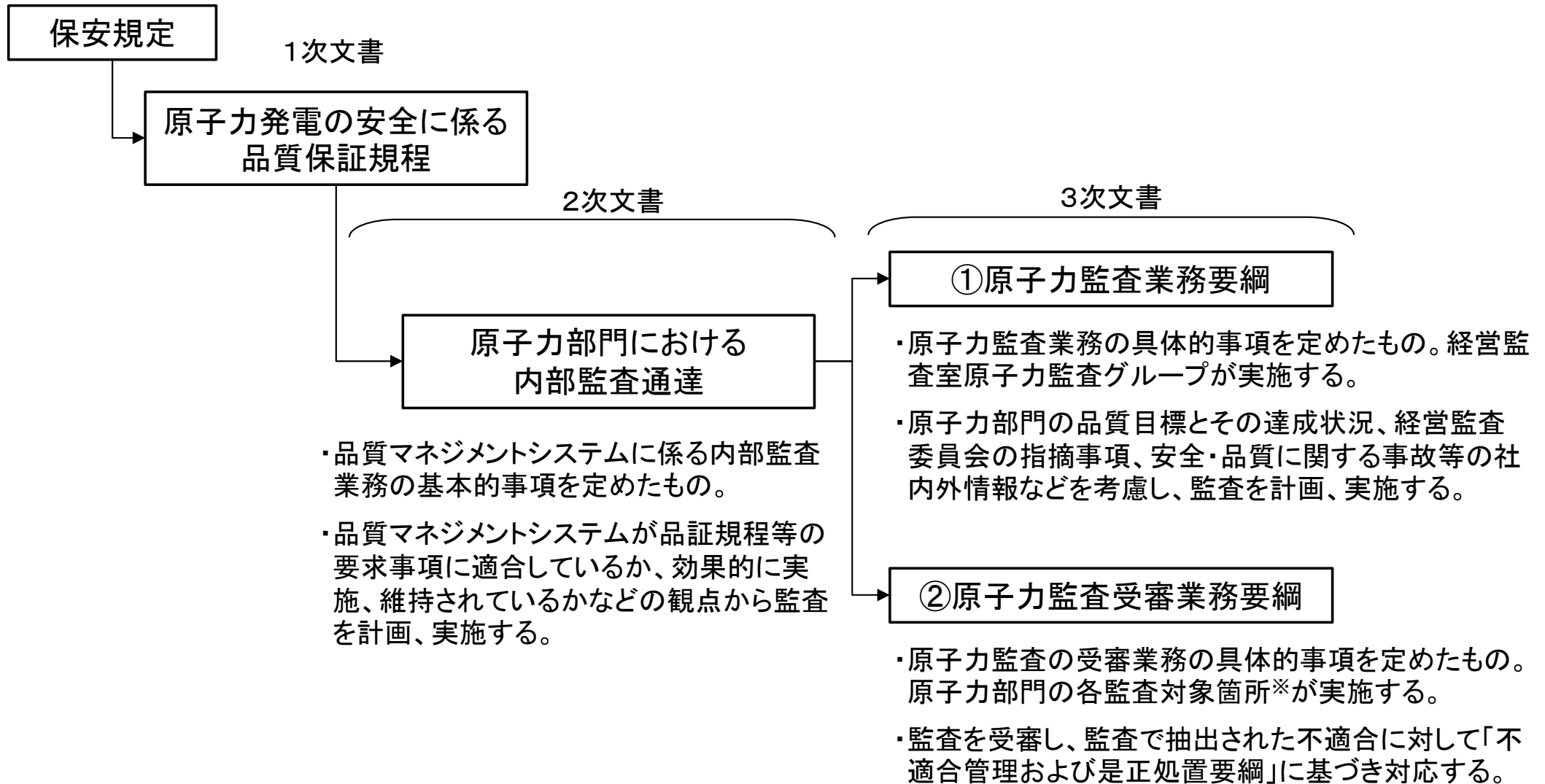
- ・保全計画グループチーフマネジャーは、実施手順書に基づき、評価書案の作成にかかる調査・評価および妥当性確認の実施プロセスが遵守されていることを各実施プロセスに関わっていない者に確認させる。
- ・確認者は、実施手順書に基づくプロセス確認チェックシートにより確認を行う。

⇒上記社内標準に従い、構築した実施体制・実施手順のもと、保全計画グループ内で確認者を選定、プロセス確認を行い、保全計画グループチーフマネジャーが承認。

なお、30年目と今回(40年目)の高経年化技術評価のプロセスの確認項目は同等である。

原子力監査(内部監査)^{*}についての主な品質マネジメントシステムに係る文書(QMS文書)を下記の通り示す。

※監査実施体制に独立性要求あり



※高経年化技術評価を実施する保全計画グループおよび土木建築設備グループなどが含まれる。

⑤ 炉心領域の超音波探傷試験(UT)の規格年版について

高浜3号炉と4号炉では、データ採取の実施時期の違いにより、JEAC4207「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」の適用年版が異なる。

特別点検要領書では、規格年版の違いが検査に影響を与えないことを確認し、いずれの規格年版も適用可能としたが、実際に適用した年版が不明確であったことから、特別点検結果報告書に明記する。

<3号炉>

表3. 特別点検の適用規格等

対象の機器・構造物	対象の部位	点検方法	適用規格等
原子炉容器	原子炉容器 母材及び溶接部 (炉心領域 100%)	超音波探傷試験	JEAC4207-2008 [2012年追補版]「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」を準用
	一次冷却材ノズルコーナー部 (クラッドの状態を確認)	渦流探傷試験	JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用
	炉内計装筒 (BMI) (全数)	目視試験 (MVT-1)	維持規格 (JSME S NA1-2012/2013/2014)
渦流探傷試験		JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用	
原子炉格納容器	原子炉格納容器鋼板 (接近できる点検可能範囲の全て)	目視試験 (VT-4)	維持規格 (JSME S NA1-2012/2013/2014) を準用
コンクリート構造物	コンクリート	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	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法 JASS 5N T-601 コンクリートの乾燥単位容積試験質量試験方法を準用 JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法 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 既往知見 (原子力規制庁安全研究成果報告「運転延長認可制度及び高経年化対策制度にかかる技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004))に基づく方法

<4号炉>

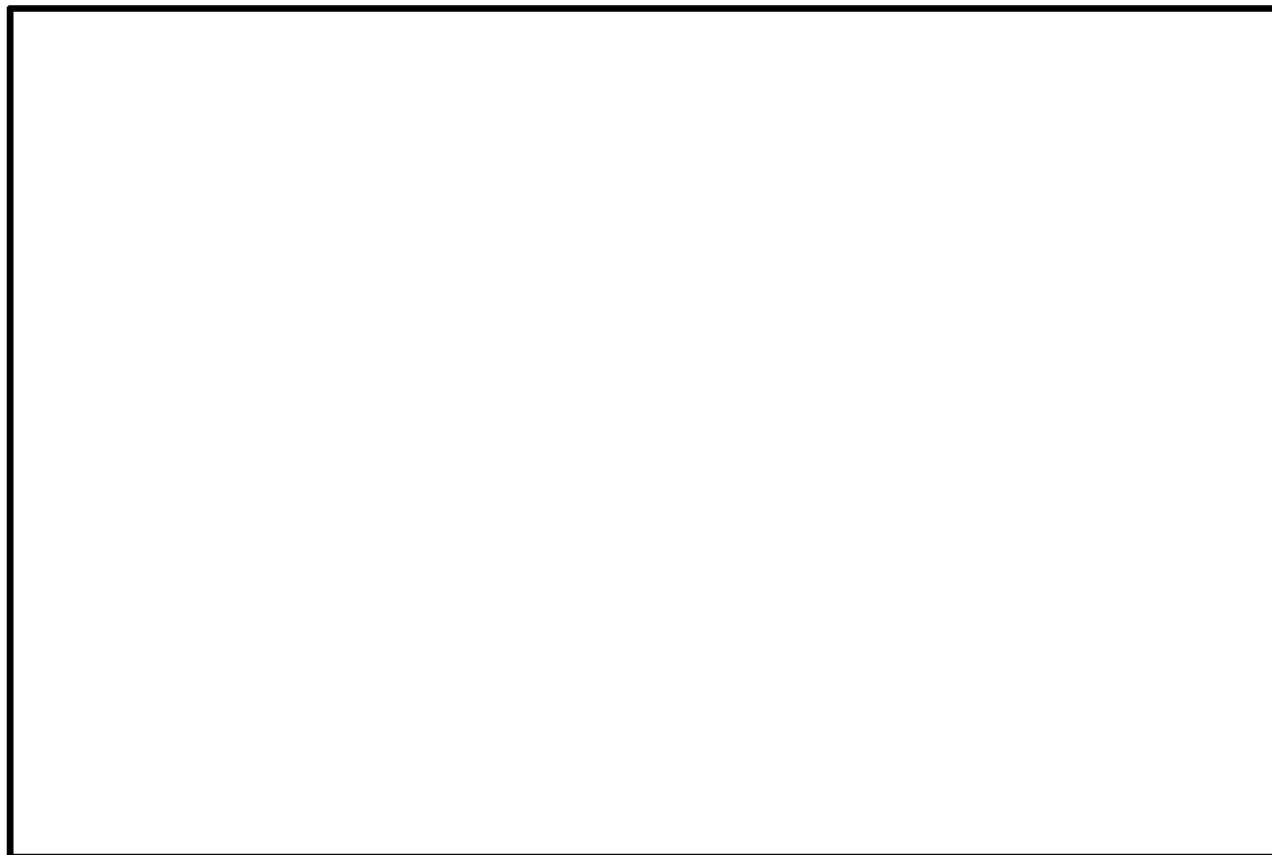
表3. 特別点検の適用規格等

対象の機器・構造物	対象の部位	点検方法	適用規格等
原子炉容器	原子炉容器 母材及び溶接部 (炉心領域 100%)	超音波探傷試験	JEAC4207-2016「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」を準用
	一次冷却材ノズルコーナー部 (クラッドの状態を確認)	渦流探傷試験	JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用
	炉内計装筒 (BMI) (全数)	目視試験 (MVT-1)	維持規格 (JSME S NA1-2012/2013/2014)
渦流探傷試験		JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用	
原子炉格納容器	原子炉格納容器鋼板 (接近できる点検可能範囲の全て)	目視試験 (VT-4)	維持規格 (JSME S NA1-2012/2013/2014) を準用
コンクリート構造物	コンクリート	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	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法 JASS 5N T-601 コンクリートの乾燥単位容積試験質量試験方法を準用 JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法 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 既往知見 (原子力規制庁安全研究成果報告「運転延長認可制度及び高経年化対策制度にかかる技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004))に基づく方法

⑥ 渦流探傷試験(ECT)の検出性について

一次冷却材ノズルコーナー部

- 高経年化に関する技術評価では、低合金鋼が一次冷却材から保護されている条件での疲労評価を実施している。このため、特別点検においてはステンレスクラッドの健全性を確認できる検出性が求められる。
- 特別点検に適用したECTは、疲労き裂を付与した試験体により、クラッド表面に開口する1mm程度の疲労き裂を十分検出できることを確認している。ステンレスクラッドの厚さ5mmに対し、1mm程度の疲労き裂が検出可能であることから、一次冷却材ノズルコーナー部の疲労に対し、十分な検出性を有している。



検出性確認試験結果※1

※1 PWR5電力委託調査報告書「原子炉容器非破壊検査高度化検討(2015年)」 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 渦流探傷試験(ECT)の検出性について

炉内計装筒(BMI)

- ウォータジェットピーニングにより深さ[]まで圧縮応力が付与されることが確認されており、圧縮応力となる範囲では応力腐食割れ(以下「SCC」という。)が進展しないことが確認されている。※1,2
- 特別点検に適用したECTは、BMI内面で0.5mm程度([])のSCCを検出可能であることが確認されており、十分な検出性を有している。



炉内計装筒の内面のECTでの欠陥検出性※1

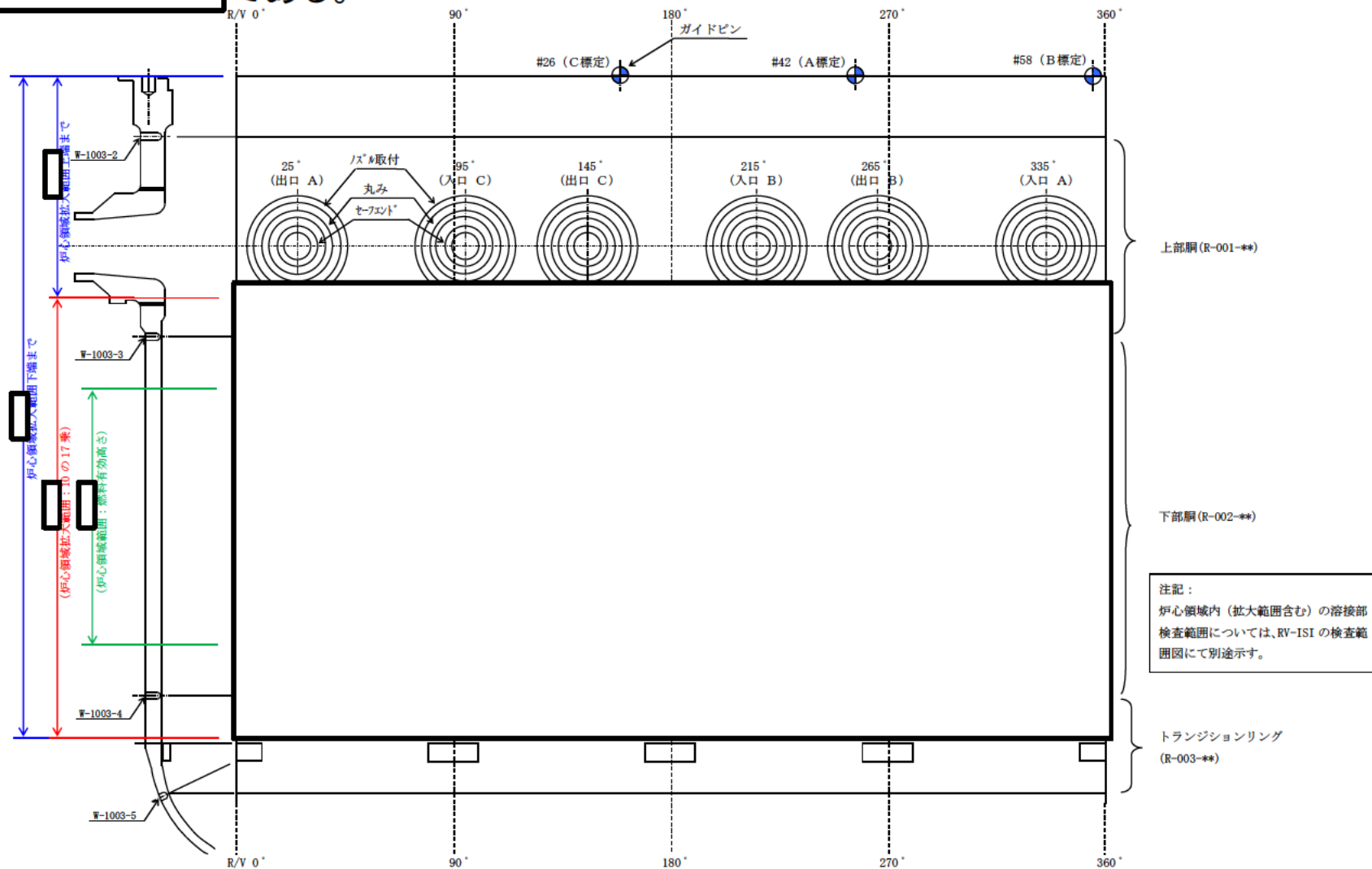
※1 (財)発電設備技術検査協会「潜在欠陥に対する超音波ショットピーニング／ウォータジェットピーニングの影響に関する確性試験報告書(2009年)」

※2 (財)発電設備技術検査協会「小口径管内面へのウォータジェットピーニング法適用に関する確性試験報告書(2001年)」

⑦ 炉心領域の超音波探傷試験(UT)における試験範囲について

高浜3号炉の試験範囲

炉心領域のUTにおいて、自主的な点検としての拡大範囲(中性子照射量が $1 \times 10^{17}n/cm^2$ を超える範囲)は、である。



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。

⑦ 炉心領域の超音波探傷試験(UT)における試験範囲について

試験装置の設定作動範囲は高浜3号炉において [] であり、中性子照射量が $1 \times 10^{17}n/cm^2$ を超える範囲([])を十分包絡している。試験装置の作動範囲を確認した記録を以下に示す。

設定・実績探傷速度/吸着機能及び探傷範囲(マニピュレータ作動範囲)確認表(1/25)

設定・実績探傷速度/吸着機能及び探傷範囲(マニピュレータ作動範囲)確認表(25/25)

検査実施日	検査箇所 (母材領域番号)	探傷 方向	設定 探傷速度 (mm/sec)	台車 号機	分割数	台車位置	押付量 (mm)	実績 探傷速度 (mm/sec)	吸着機能	設定作動範囲 (実効移動量mm)	実績作動 範囲確認	探傷最大範囲(mm)	関西電力 記録確認 (印:立会)	三菱重工 作業責任者		
2020 9/23 E 5 2020. 9/24 E	上部側 (母材領域) (R-001-1)										良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					

炉心領域拡大範囲上端側の記録

検査実施日	検査箇所 (母材領域番号)	探傷 方向	設定 探傷速度 (mm/sec)	台車 号機	分割数	台車位置	押付量 (mm)	実績 探傷速度 (mm/sec)	吸着機能	設定作動範囲 (実効移動量mm)	実績作動 範囲確認	探傷最大範囲(mm)	関西電力 記録確認 (印:立会)	三菱重工 作業責任者		
2020 10/1 E 2 2020 10/2 E	トランジションリング (母材領域) (R-003-2)										良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					
											良/否					

炉心領域拡大範囲下端側の記録

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。

⑦ 炉心領域の超音波探傷試験における試験範囲について

試験装置の設定作動範囲は高浜4号炉において [] であり、中性子照射量が $1 \times 10^{17} \text{n/cm}^2$ を超える範囲([])を十分包絡している。試験装置の作動範囲を確認した記録を以下に示す。

設定・実績探傷速度/吸着機能及び探傷範囲 (マニピュレータ作動範囲) 確認記録 (1/1)

検査箇所 (母材領域番号)	探傷 方向	設定 探傷速度 (mm/sec)	台車 号機	分割数	台車位置	押付量 (mm)	実績 探傷速度 (mm/sec)	吸着機能	設定作動範囲 (実施移動量mm)	実績作動 範囲確認	探傷最大範囲 (mm)	三連車工機 (機)	関西電力の 記録確認 (機・立会)
上部側 (母材領域) (R-001-1)										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			

炉心領域拡大範囲上端側の記録

設定・実績探傷速度/吸着機能及び探傷範囲 (マニピュレータ作動範囲) 確認記録 (1/2)

検査箇所 (母材領域番号)	探傷 方向	設定 探傷速度 (mm/sec)	台車 号機	分割数	台車位置	押付量 (mm)	実績 探傷速度 (mm/sec)	吸着機能	設定作動範囲 (実施移動量mm)	実績作動 範囲確認	探傷最大範囲 (mm)	三連車工機 (機)	関西電力の 記録確認 (機・立会)
トランジヤンリング (母材領域) (R-005-1)										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			
										良区/否□			

炉心領域拡大範囲下端側の記録

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。

⑧ 特別点検内容の適切性について

特別点検の実施にあたっては、事前検証において点検手法が「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、特別点検ガイドという）に基づいていることを確認したうえで、要領書の制定および点検計画・体制の構築を行っている。

- 今回、新たに採用した壁面走行ロボットによる遠隔目視の点検手法が、特別点検ガイドに基づいていることを4号機での点検実施の2年前から、3号機及び4号機の計3回の定検において確認している。具体的には、委託および工事の中で実機の格納容器鋼板を使って壁面走行試験を繰り返し実施し、鋼板塗膜への悪影響がないことを確認・検証したうえで、点検漏れのないよう点検範囲を重ねる方法等の点検要領を確立している。なお、壁面走行ロボットに係る検証試験については当社社員立会いのもと実施している。
- 上記について、当社として確認したエビデンスとしては、事前の検証試験や点検要領の検討を行ってきた委託および工事（計3件）の報告書がある。
- 4号機の特別点検に当たっては、下記の方法によって適切に実施されていることを確認している。

点検開始前：壁面走行ロボットによる点検要領の確認を当社社員が施工会社とともに実施

点検実施時：点検要領どおりに実施していることを当社社員による立会いにて確認

点検実施後：報告書記録（DVD動画）の点検映像を当社社員が確認のうえ報告書を承認

- 上記の通り、特別点検にあたっては、事前に点検手法について十分な検証を行ったうえで特別点検ガイドに基づいて要領書を制定しており、要領書通りに実施していることを確認しているため、適切性を有していると判断できる。



事前検証における
当社社員による立会いの様子

⑧ 特別点検内容の適切性について

点検要領確立への取組み

①点検手法の選定：2018年2月～3月（机上検討）

②検証試験の実施（1回目）：2018年5月～7月 高浜4号機 21回定検時

③検証試験の実施（2回目）：2018年8月～10月 高浜3号機 23回定検時

④点検要領の検討（1回目）：2020年1月～3月 高浜3号機 24回定検時

⑤点検要領の検討（2回目）：2020年5月～10月 高浜3号機 24回定検時

点検手法の
成立性確認

点検要領の
検討

特別点検ガイドに基づく点検要領の確立：2020年10月

データ採取の実施：2020年11月 高浜4号機 23回定検時

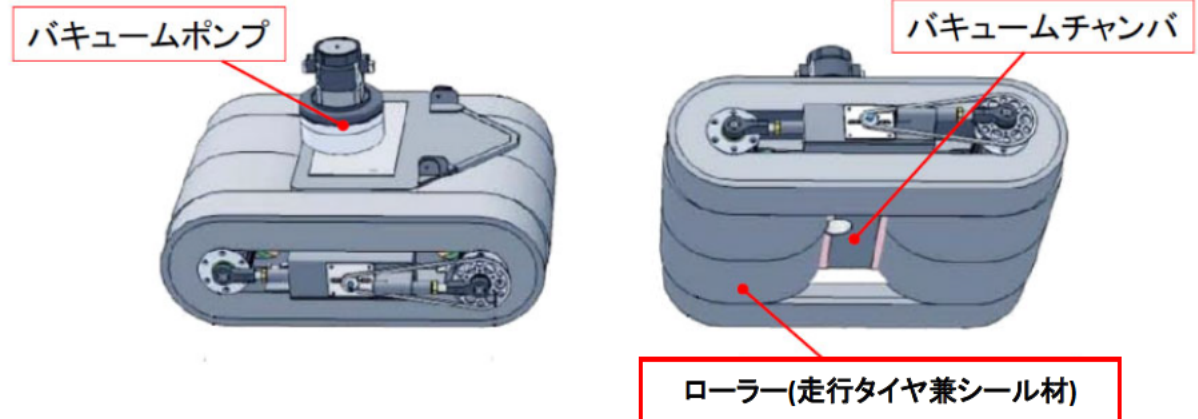
高浜4号機 特別点検要領書の制定：2022年9月

特別点検の実施：2022年10月 高浜4号機 24回定検時

⑧ 特別点検内容の適切性について

《参考》塗膜への影響について

- 今回使用した壁面走行ロボットは、塗膜を傷つせずに人のアクセスが困難な部位に使用できる方法として、一般産業用としても広く用いられているものである。
- 壁面走行ロボットは、走行タイヤ兼シール材で囲まれた空間をバキュームポンプにて真空引きすることで、壁面に張り付くことができる構造となっている。
- 走行タイヤ兼シール材は柔らかいスポンジのような材質であり、塗膜上を走行した場合でも塗膜を傷つけることはない。
- バキュームによる吸引力は、塗膜の付着力に対して十分低い値となっているため、バキュームの吸引力によって塗膜が剥離することもない。



壁面走行ロボットイメージ図



壁面走行ロボット現地写真

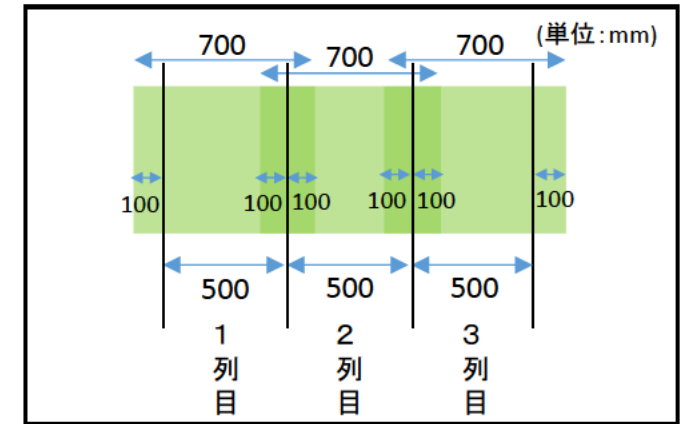


壁面走行ロボット現地写真

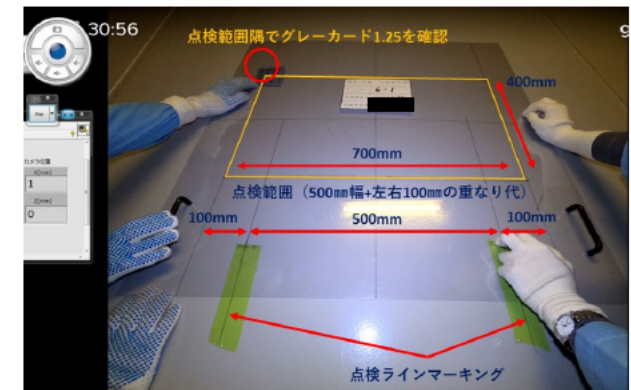
⑧ 特別点検内容の適切性について

《参考》点検範囲の重なりについて

- 壁面走行ロボットによる遠隔目視試験は、円筒部外面を円周方向に500mm幅に分割した範囲を、1列ずつ下部から上部方向へ走行させて点検している。
- 点検の際は、500mm幅の左右に100mmの重なり代を設けた範囲（計700mm）を点検範囲とし、点検範囲を重ねることで点検漏れがないよう管理している。
- 各列の点検前には、左右100mmの重なり代を含めた700mm×400mmの点検範囲を記載したアクリル板を鋼板に置き、映像確認用モニタ上にマーキングすることで、常に点検範囲を点検している。
- 点検中の壁面走行ロボットの直進性については、トータルステーション（測量機器）を用いて計測した位置情報を確認して操作を行うことで、直進性を確保している。
- 上記の通り、鋼板を500mmずつに区切り、各列の左右に100mmの重なり代を加えた700mmの点検範囲を、トータルステーション（測量機器）を用いた管理のもと垂直に壁面走行ロボットを走行させて点検することから、点検範囲は確実に重ねられており、点検範囲に漏れはない。
- なお、遠隔目視範囲と直接目視範囲の境界についても、100mm点検範囲を重ねることで、点検範囲に漏れが生じないように点検を実施している。



点検範囲のイメージ



点検前の確認の様子



トータルステーション

⑨ 中性化深さ点検における削孔時の切断水について

中性化深さ試験について

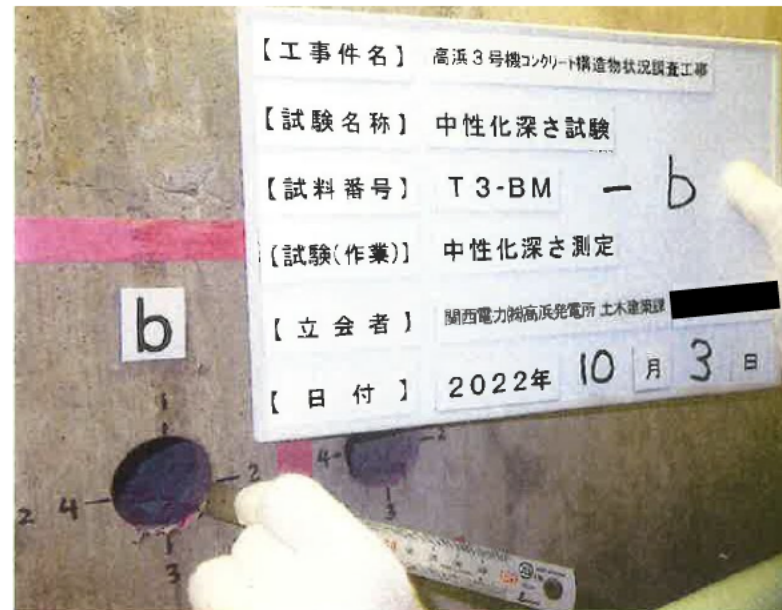
高浜3・4号炉の特別点検における中性化深さの試験は、

「JIS A 1152:2018 コンクリートの中性化深さの測定方法」に基づいて実施している。

JIS A 1152には、コンクリート構造物の中性化深さ測定する方法として以下の方法が挙げられている。

- a) 試験室又は現場で作製されたコンクリート供試体を用いる場合
- b) コア供試体を用いる場合
- c) コンクリート構造物のはつり面で測定する場合

高浜3・4号炉の特別点検では、c)の方法を採用している。



はつり面における中性化深さ試験の状況
(高浜3号炉 原子炉格納施設等 基礎マット)

⑨ 中性化深さ点検における削孔時の切断水について

はつり面削孔時の切断水について

はつり面を出すために削孔した際の切断水使用の有無および試験方法は下表のとおり。

対象のコンクリート構造物	対象の部位	切断水の使用有無	試験方法
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	無	1. コンクリート構造物を削孔 2. 孔内のコンクリート粉をはけ、電気掃除機にて除去 3. 孔内にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを測定
	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	内壁及び床		
	基礎マット		
タービン架台			
取水槽	海中帯	有	1. コンクリート構造物を削孔（切断水を使用） 2. 孔内ののろを水洗いによって除去し、ドライヤを用いて乾燥 3. 孔内にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを測定
	干満帯		
	気中帯		
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎			
復水タンク基礎			

⑨ 中性化深さ点検における削孔時の切断水について

切断水の使用に関する適切性について

高浜3・4号炉の特別点検で一部構造物においては、コンクリートの切断に水を用いているが、「JIS A 1152 : 2018 コンクリートの中性化深さの測定方法」に基づき、コンクリート構造物のはつり面において、測定面をドライヤを用いて乾燥させていることから、中性化深さを適切に測定している。

JIS A 1152:2018 コンクリートの中性化深さの測定方法

5 測定方法

5.1 測定面の準備

測定面の準備は、次のいずれかによる。

なお、a)～c)において測定面がぬれている場合は、測定面を自然乾燥させるか、ドライヤを用いるなどして乾燥させる。

a) 試験室又は現場で作製されたコンクリート供試体を用いる場合

割裂面を測定面とする場合は、圧縮試験機などで供試体を割裂し、割裂面に付着するコンクリートの小片、粉などをはけ、電気掃除機などで除去する。

切断面を測定面とする場合は、コンクリートカッタなどで供試体を切断する。切断時に散水しない場合は切断面に付着するコンクリートの粉をはけ、電気掃除機などで除去し、散水する場合は切断面付着している切断面に付着するのろを水洗いによって除去する。

注記 散水しない場合は切断面が過度に高温にならないように注意する。また、散水の有無にかかわらず、コンクリートの粉、のろなどが切断面に付着していると中性化深さの測定が正確に行われなかったことがある。

b) コア供試体を用いる場合

割裂面を測定面とする場合は、a)による。側面を測定面とする場合は、コア供試体採取後、その側面に付着するのろを水洗いによって除去する。

注記 圧縮強度試験に供するコア供試体を用いて中性化深さの測定を行う場合には、圧縮強度試験時に最大荷重に到達した後できるだけ速やかに除荷して供試体の破損を避けるのが望ましい。圧縮強度試験に供するコア供試体に研磨による端面処理を行う場合、中性化した部分が削られ、中性化深さの測定が正確に行われなかったことがある。このため、研磨前にコアの任意の位置に印を付け、端面からの距離を測定しておくなど、研磨による中性化深さの欠損量が分かるような対策を事前に行うことが望ましい。

c) コンクリート構造物のはつり面で測定する場合

はつり面は、a)によってコンクリートの小片、粉などを除去する。

注記 コンクリートをはつるとき、あらかじめはつり面の周囲にコンクリートカッタで切れ込みを入れておくと、はつり及び中性化深さの測定が容易になる。