

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング  
コメント反映整理表<コンクリート構造物>

資料3-2

2023年8月21日 九州電力株

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
1	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料	2	「高経年化対策実施基準(日本原子力学会)」の劣化メカニズムに記載の劣化要因を網羅するよう、記載の充実を図ること。	補足説明資料P2、3に「高経年化対策実施基準(日本原子力学会)」に記載されている劣化要因を追記した。	2月28日	2月28日
2	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料(別紙1)	1-4	「ASR」は略語であるため、※書き等で正式名称を記載すること。	補足説明資料P1-4に※書きで正式名称を記載した。	2月28日	2月28日
3	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料(別紙5)	5-5	温度の実測箇所についての説明を加えること。	補足説明資料P5-5に温度の実測箇所を追加した。	2月28日	2月28日
4	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料(別紙8)	8-14	中性化の平均値の元となる数値を追記すること。	補足説明資料P8-14に中性化の平均値の元となる数値を追記した。	2月28日	2月28日
5	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料(別紙12)	12-5 ~13	拡散方程式の回帰分析結果[ $C_0$ (コンクリート表面の塩化物イオン量)、 $D$ (拡散係数)]もあわせて示すこと。	補足説明資料P12-5~13のグラフ内に $C_0$ (コンクリート表面の塩化物イオン量)、 $D$ (拡散係数)の値を追記した。	2月28日	2月28日
6	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料(別紙12)	12-14.16, 18.20	鉄筋の腐食減量について、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のそれぞれ前後5年間の値を数値で提示すること。	補足説明資料P12-16、17、19、20、22、23に調査時点、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のそれぞれ前後5年間の値を数値で記載した。	2月24日	2月28日
7	1/2号機	2月2日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料(別紙15)	—	「アルカリ溶液浸漬法」まで含めた潜在膨脹性に関する評価について、追記すること。 (まずは「審査会合における指摘事項の回答」としてアルカリ溶液浸漬試験結果を追記した資料にて確認頂き、その結果を踏まえ、補足説明資料に記載する)	「審査会合の指摘事項」P11.12にアルカリ溶液浸漬法の結果を追記した(補足説明資料への反映は、「審査会合における指摘事項の回答」における議論の結果を踏まえ行う)	2023.3.9	3月14日
8	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	37	破壊試験や非破壊試験の実施頻度について、30年目高経年化技術評価以降に実施した旨を追記すること。	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P38に、破壊試験や非破壊試験の実施頻度について、30年目高経年化技術評価以降に実施の旨を追記した。	2023.3.6	3月14日
9	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	22	中性子照射のエネルギー単位(MeV)について追記すること	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P22に、中性子照射のエネルギー単位(MeV)について追記した。	2023.3.6	3月14日
10	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	19.20	実測温度の計測について記載すること	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P21に、実測温度の計測について記載した。	2023.3.6	3月14日
11	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	35	乾燥単位容積質量の数値を記載すること	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P36に、乾燥単位容積質量の数値を記載した。	2023.3.6	3月14日

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング  
コメント反映整理表<コンクリート構造物>

2023年8月21日 九州電力株

12	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	14	内部コンクリートの鉄骨構造物の記載を分かりやすくすること	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P14に、内部コンクリートの鉄骨構造物について補足した。	2023.3.6	3月14日
13	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	39	「グループ内全構造物」の記載を判りやすく記載すること	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P40における「グループ内全構造物」の記載を見直した。	2023.3.6	3月14日
14	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	15	「着目すべき経年劣化事象」の記載について表現を工夫すること	「劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)」P15における「着目すべき経年劣化事象」の記載について表現を見直した。	2023.3.6	3月14日
15	1/2号機	2月28日	劣化状況評価 コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下(含む鉄骨の強度低下)	15	凍結融解の「凍害危険度の分布図」を再確認すること	引用しているJASS5(2018)のP645には、凍害危険度「1(ごく軽微)」の下のカテゴリの記載はない。一方、JASS5(2018)で引用されている長谷川(1975)においては「1(ごく軽微)」の下に「0(凍害はない)」のカテゴリがあるものの、川内が「0」に該当する明確な記載はされていない。以上のことから保守的に、凍害危険度は「1(ごく軽微)」と記載している。	2023.3.9	3月14日
16	1/2号機	2月28日	コンクリート構造物及び鉄骨構造物 劣化状況評価 補足説明資料	No.1	表1のうちスクリーニングによる想定不要とした劣化要因について、その理由を記載すること	補足説明資料P3.4の表1のうちスクリーニングによる想定不要とした劣化要因について、その理由を記載した。	2023.3.9	3月14日
17	1/2号機	2月28日	審査会合における指摘事項の回答	No.7	「審査会合における指摘事項の回答」P.10の細骨材についても、P.6の粗骨材と同様に進行段階を記載すること	「審査会合における指摘事項の回答」のアルカリ骨材反応に対する潜在性について(9/11)に、細骨材の進行段階を記載した。	2023.3.9	3月14日
18	1/2号機	3月14日	資料1-3-1	46,47	30年目及び40年目高経年技術評価結果の比較について、主な変更点を詳細に記載して、補足説明資料に追加すること。	補足説明資料に別紙18を追加し、主な変更点の詳細を記載した。 [補足説明資料 別紙18(1,2号炉とも)]	2023.4.28	2023.5.16
19	1/2号機	5月16日	審査会合における指摘事項の回答	5	「相対的な強度差が確認された部位における強度比は平均で1.3程度」に関する説明をグラフに追記すること。	P5のグラフに「相対的な強度差が確認された部位における強度比」に関する説明を追記した。	2023.5.23	2023.6.1
20	1/2号機	5月16日	審査会合における指摘事項の回答	6	非破壊試験結果に対する考察を追記すること。	P6.7の本文中に非破壊試験結果に対する考察を追記した。	2023.5.23	2023.6.1
21	1/2号機	5月16日	審査会合における指摘事項の回答	7	干満帯の「同一区画の床による比較」について、どのようなデータを使用したのか分かりやすく記載すること。	P7の干満帯の「同一区画の床による比較」について、使用したデータ(PLM30)に関する説明を追記した。	2023.5.23	2023.6.1

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング  
コメント反映整理表<コンクリート構造物>

2023年8月21日 九州電力株

22	1/2号機	5月16日	審査会合における指摘事項の回答	14	中性化及び塩分浸透のグラフの縦軸、横軸の説明を分かりやすく記載すること。	P14の本文中及びグラフの縦軸、横軸に説明を追記した。	2023.5.23	2023.6.1
23	1/2号機	6月26日	劣化状況評価 補足説明資料 (コンクリート構造物及び鉄骨構造物)	別紙 14	新規制基準以降に設置されたコンクリート構造物のアルカリ骨材反応に関する試験結果を、劣化状況評価の補足説明資料別紙14に追加すること。	補足説明資料の別紙14に新規制基準以降に設置した対象構造物に使用した骨材に対する反応性試験結果を追加した。 [補足説明資料 別紙14(1, 2号炉とも)]	2023.8.2	2023.8.2
24	1/2号機	6月26日	特別点検 補足説明資料 (コンクリート構造物)又は 劣化状況評価 補足説明資料 (コンクリート構造物及び鉄骨構造物)	—	強度ほかについて、各対象部位におけるコアサンプル3本の試験結果(平均値の元となる結果)を、特別点検又は劣化状況評価の補足説明資料に追加すること。	特別点検の補足説明資料に別紙7を追加し、強度ほかの点検結果の詳細(コアサンプル毎の試験結果)として記載した。 [特別点検 補足説明資料 別紙7(1, 2号炉とも)]	2023.8.2	2023.8.2
25	1/2号機	8月2日	劣化状況評価 補足説明資料 (コンクリート構造物及び鉄骨構造物)	—	試験規格等は引用した出典元を再確認して、記載のないものは追記すること。 (例)P.16-1促進膨張試験(2)アルカリ溶液浸漬法	試験規格等の引用元を再確認し、P.16-1促進膨張試験(2)アルカリ溶液浸漬法についての出典を追記した。その他、P.15-3「実態顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴」については説明に用いた参考文献を追記し、P15-5.15-8表中の「アルカリ骨材反応の進行状況」については特別点検補足説明資料に記載していた参考文献を追記した。		
26	1/2号機	8月2日	劣化状況評価 補足説明資料 (コンクリート構造物及び鉄骨構造物)	9.16	表4と表10の評価対象構造物(燃料取扱建屋等)における耐火能力低下の記載内容について整理すること。	P.16の表10は、コンクリート構造物又は鉄骨構造物の代表構造物を選定し、それらに対して想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物を整理した表であるが、空白部に代表構造物として対象とならない箇所があるため、この部分については「*2」「*3」を追記し対象箇所を明確化した。 燃料取扱建屋は鉄骨構造物の代表構造物であるため、コンクリート構造物の劣化要因については耐火能力も含めて「*3」を記載した。 なお、P.9の表4については、燃料取扱建屋はコンクリート構造物の代表構造物ではないが、耐火要求があることから「—」を記載している。		

川内原子力発電所 1 号炉 劣化状況評価  
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

補足説明資料

2023年8月21日

九州電力株式会社

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	5
3. 代表構造物の選定	7
4. 代表構造物の技術評価	17
5. 代表構造物以外の評価	25
6. まとめ	26

### 別紙

別紙 1. 川内原子力発電所 土木建築業務要領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. 対象構造物及び代表構造物の選定過程について	2-1
別紙 3. 耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置について	3-1
別紙 4. 土木・建築関係設備に係わる保全管理の文書体系について	4-1
別紙 5. 温度分布解析の方法等について	5-1
別紙 6. 放射線照射量の算出方法等について	6-1
別紙 7. 中性子照射量に対する耐力評価について	7-1
別紙 8. 中性化の評価対象及び評価点の選定過程について	8-1
別紙 9. 中性化深さの推定値の算定過程及び結果について	9-1
別紙 10. 塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程について	10-1
別紙 11. 塩化物イオン濃度の測定位置、測定方法、測定結果について	11-1
別紙 12. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程及び結果について	12-1
別紙 13. 機械振動の評価対象の選定過程について	13-1
別紙 14. モルタルバー法等の試験結果について	14-1
別紙 15. アルカリ骨材反応に関する特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性確認について	15-1
別紙 16. アルカリ骨材反応に関する潜在膨張性の評価について	16-1
別紙 17. 川内 1 号炉周辺の地下水による劣化影響について	17-1
別紙 18. 30年目高経年化技術評価からの変更点について	18-1
別紙 19. 平均圧縮強度の相対的な強度差について（1，2号炉共通）	19-1

表4 川内1号炉 コンクリート建造物の代表建造物選定結果

対象建造物 (コンクリート建造物)	重要度分類等	使用条件等									選定	選定理由
		運転開始後 経過年数*1	高温部の 有無	放射線の 有無	振動の 有無	設置環境		塩分浸透の 有無	代表建造物を 支持	耐火要求の 有無		
						屋 内	屋 外					
① 外部遮蔽壁	クラス1 設備支持	38	◇	◇	-	仕上り無し	仕上り有り	◇	-	-	◎	屋内で仕上げ無し
② 内部コンクリート	クラス1 設備支持	38	○ (1次遮蔽壁)	○ (1次遮蔽壁)	-	仕上り有り	/	-	-	/	◎	高温部、放射線の影響
③ 原子炉格納施設基礎	クラス1 設備支持	38	-	◇	-	仕上り有り	埋設*3	◇	外部遮蔽壁 及び内部コン クリートを支持	/	◎	代表建造物を支持する建造物
④ 原子炉補助建屋	クラス1 設備支持	38	-	◇	○ (非常用ディーゼル 発電設備基礎)	一部 仕上り無し	仕上り有り	◇	-	-	◎	振動の影響、屋内で仕上げ無し
⑤ 燃料取扱建屋	クラス2 設備支持	38	-	◇	-	一部 仕上り無し*2	埋設*3	-	-	-		
⑥ 廃棄物処理建屋	クラス3 設備支持	37	-	◇	-	一部 仕上り無し*2	仕上り有り	◇	-	-		
⑦ タービン建屋 (タービン架台)	クラス3 設備支持	38	-	-	○ (タービン架台)	一部 仕上り有り	/	-	-	/	◎	振動の影響、屋内で仕上げ無し
⑧ 取水建造物 (海水管ダクト含む)	クラス1 設備支持	38	-	-	-	一部 仕上り無し*2	一部 仕上り無し	○ (海水と接触)	-	-	◎	屋外で仕上げ無し、供給塩化物量の 影響
⑨ 脱気器基礎	クラス3 設備支持	38	-	-	-	仕上り無し*2	仕上り有り	◇	-	/		
⑩ スチームコンバート装置基礎	クラス3 設備支持	38	-	-	-	/	一部 仕上り無し	◇	-	/		
⑪ 非常用ディーゼル発電用燃料油 貯油槽基礎 (燃料油貯蔵タンク基礎含む)	クラス1 設備支持	38	-	-	-	/	埋設*3	◇	-	-		
⑫ 復水タンク基礎 (配管ダクト含む)	クラス1 設備支持	38	-	-	-	一部 仕上り無し*2	埋設*3	◇	-	/		
⑬ 燃料取替用水タンク基礎 (配管ダクト含む)	クラス1 設備支持	38	-	-	-	一部 仕上り無し*2	埋設*3	◇	-	/		
⑭ 海水ポンプエリア防護壁	浸水防護施設	9	-	-	-	/	仕上り無し	○*4	-	/		
⑮ 貯留堰	浸水防護施設	9	-	-	-	/	仕上り無し	○*5	-	/		
⑯ 大容量空冷式発電機基礎 (燃料タンク基礎含む)	常設重大事故等 対処設備	9	-	-	-	/	埋設*3	◇	-	/		
⑰ 緊急時対策所	常設重大事故等 対処設備	0	-	-	-	仕上り有り	仕上り有り	◇	-	-		

\*1: 運転開始後経過年数は、2022年10月時点の年数としている。

\*2: 他の屋内で仕上げがない建造物で代表させる。

\*3: 環境条件の区分として、埋設部より気中部の方が保守的であることから、他の屋外で仕上げがない建造物で代表させる。

\*4: 常時海水と接触していないことから、常時海水と接触し飛沫の影響が大きい取水建造物で代表させる。

\*5: 常時海水中に没していることから、常時海水と接触し飛沫の影響が大きく、大気に接し酸素の供給がある取水建造物で代表させる。

【凡例】

○: 影響大

◇: 影響小

-: 影響極小、又は無し

/: 使用条件等に該当無し



表5 川内1号炉 鉄骨構造物の代表構造物選定結果

対象構造物 (鉄骨構造物)	重要度分類等	使用条件等			選定	選定理由
		運転開始後 経過年数*1	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	38	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
② 燃料取扱建屋 (鉄骨部)	クラス2設備支持	38	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
③ タービン建屋 (鉄骨部)	クラス3設備支持	38	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
④ 原子炉補助建屋水密扉	浸水防護施設	9	仕上げ有り	/		
⑤ 海水ポンプエリア防護壁 (鉄骨部)	浸水防護施設	9	/	仕上げ有り		
⑥ 海水ポンプエリア水密扉	浸水防護施設	9	/	仕上げ有り		

\*1：運転開始後経過年数は、2022年10月時点の年数としている。

【凡例】

/：使用条件等に該当無し

表 10 川内 1 号炉 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とする構造物

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	
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	外部遮蔽壁						△	△		△		
	内部コンクリート	1次遮蔽壁*1 ○	1次遮蔽壁*1 ○				△	△	1次遮蔽壁*1 ○	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲	
	原子炉格納施設基礎						△	△			* 2	
	原子炉補助建屋			屋内面* ○		非常用ディーゼル発電設備基礎* ○	△	△		△	* 2	
	燃料取扱建屋					* 3					鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	タービン建屋					タービン架台* ○	タービン架台 △	タービン架台 △			鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	取水構造物			○	○		△	△		△	* 2	

○：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）

\*1：評価対象部位

\*2：外部遮蔽壁、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物はコンクリート構造物の代表構造物

\*3：燃料取扱建屋は鉄骨構造物の代表構造物



<p>タイトル</p>	<p>アルカリ骨材反応に関する特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性確認について</p>
<p>説明</p>	<p>アルカリ骨材反応の特別点検では、各種規格類や最新知見の動向及び実構造物の状況等を踏まえた上で、コンクリートのアルカリ骨材反応の発生状況が確認可能な方法として実体顕微鏡観察を選定した。</p> <p>実体顕微鏡観察は、コンクリート切断面（採取コアサンプル表面）の観察による反応リム・ゲルの有無・程度、ひび割れ等の確認により、コンクリートのアルカリ骨材反応の発生の有無・状況が確認できる方法である。</p> <p>川内1号炉のコンクリート構造物は、定期的に見視点検を実施し、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等、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は発生していない。一方で、運用ガイド<sup>※1</sup>において採取したコアサンプルによる確認が要求されていること、また、発電所内の広範囲において点検が必要であることを踏まえて、当該構造物に適用する特別点検の点検方法として、アルカリ骨材反応の発生の有無・程度の確認を主眼とした実体顕微鏡観察を選定したものである。</p> <p>なお、特別点検の結果を踏まえた評価において、コンクリート構造物の健全性に影響が認められた場合、より精緻な手法を踏まえた評価を行うこととしている。</p> <p>特別点検では、上述するアルカリ骨材反応の発生の有無・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等を踏まえ、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。</p> <p>特別点検の結果、極めて軽微な反応状況<sup>※2</sup>であり、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。</p> <p>なお、参考の位置付けとして、劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性の確認のため、代表箇所による偏光顕微鏡観察を行った。</p> <p>偏光顕微鏡観察は、アルカリ骨材反応が生じているコンクリートの反応骨材についての精緻な観察を主眼として行うもので、コアサンプルから作製した薄片を用いて、反応骨材の鉱物・岩種の同定、反応の進行段階の確認、ひび割れの確認等により、アルカリ骨材反応が生じているコンクリートの反応の進行段階がより精緻に確認できる方法である。</p> <p>具体的には、川内1号炉で使用するコンクリート材料（セメント、骨材等）が同一であることを踏まえ、特別点検の結果において、アルカリ骨材反応が極めて軽微であるものの、反応リム・ゲルの有無・程度が相対的に顕著な「原子炉格納施設等（外部遮蔽壁）」を選定し、観察を行った。</p> <p>偏光顕微鏡観察の結果においても極めて軽微な反応状況であり、実体顕微鏡観察の結果と同様に、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たことから、実体顕微鏡観察による特別点検手法の選定プロセス及び評価結果は妥当であると改めて判断した。</p> <p>※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（令和2年3月）          ※2：極めて軽微な反応は、健全なコンクリートの多くに認められる現象である</p> <p>添付1 アルカリ骨材反応の健全性評価について          添付2 実体顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴          添付3 実体顕微鏡観察の結果について          添付4 偏光顕微鏡観察の代表箇所          添付5 偏光顕微鏡観察結果について</p>

## アルカリ骨材反応の健全性評価について

## 1. 特別点検手法の選定プロセス

- ・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 J I S 及び学会規格が存在しないことが分かったため、最新知見のひとつである原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)を参照し、点検方法の検討を行った。
- ・本研究では、コンクリート建造物の ASR 診断フロー(例)が提示されている。
- ・川内 1 号炉は、定期的な目視点検を実施し、運転開始から約 40 年間に於いて、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等、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。
- ・運用ガイドにおいて採取したコアサンプルによる確認が要求されている。
- ・発電所内の広範囲において点検が必要である。



以上より、最新知見にあるアルカリ骨材反応の発生状況が確認可能な「実体顕微鏡観察」を選定<sup>※1</sup>

- ※1 特別点検結果を踏まえた評価により、コンクリート建造物の健全性に影響が認められた場合、偏光顕微鏡観察等、より精緻な手法を踏まえた評価を行う。

## 2. 劣化状況評価


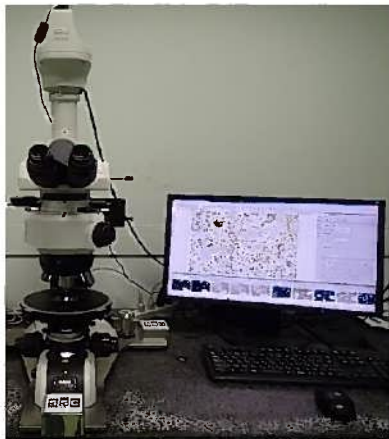
- ・川内 1 号炉は、定期的な目視点検を実施し、運転開始から約 40 年間に於いて、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない。
- ・使用している骨材(粗骨材、細骨材)は、モルタルバー法による反応性試験を実施し、有害でないことを確認している。
- ・採取したコアサンプルについて、特別点検による実体顕微鏡を用いた観察により、コンクリート建造物の健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認した<sup>※2</sup>。



高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断

- ※2 参考の位置付けとして、劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性の確認のため、特別点検の代表箇所において、偏光顕微鏡を用いた観察を行った。

実体顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴<sup>1) 2)</sup>

		実体顕微鏡観察	偏光顕微鏡観察
写真 <sup>→</sup>			
概要	観察対象	・コンクリート切断面（コアサンプル表面）を観察	・コアサンプルより作製した薄片を観察
	特徴	・概ね2～30倍で観察 ・コアの全体的な状況、反応リム ・ゲルの有無・程度、ひび割れ状況等を観察	・概ね25～200倍で観察 ・岩石や鉱物の観察に汎用される ・薄片に偏光を照射・透過させて鉱物の偏光特性等から、反応が生じている骨材の鉱物・岩種同定、進行段階、ひび割れ等を観察
	まとめ	・アルカリ骨材反応の発生有無・程度が確認できる	・アルカリ骨材反応が生じているコンクリート（骨材）の進行段階がより精緻に確認できる
課題 <sup>→</sup>		・岩種の詳細は分からない	・薄片作成・観察に熟練を要する

(参考文献)

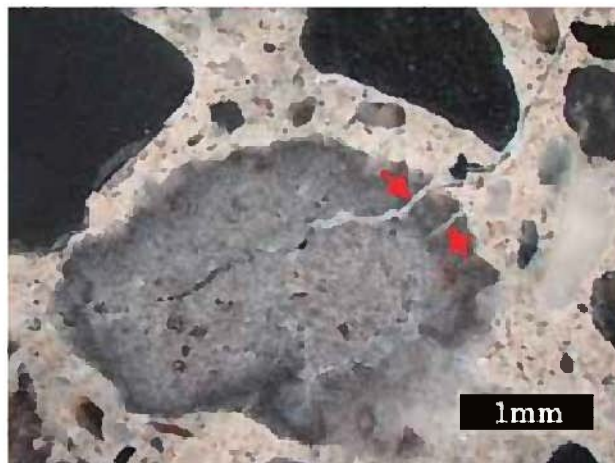
- 1) 原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)
- 2) 独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案」(JENES-RE-2013-2050)



実体顕微鏡観察の結果について

(1) 特別点検における評価について

コアサンプルの実体顕微鏡観察結果と、実構造物の状況も踏まえ、コンクリートの健全性に影響を与えるような反応性の有無を確認している。



実体顕微鏡観察での膨張ひび割れの確認事例<sup>1)</sup>



実構造物における膨張ひび割れ（亀甲状）の事例<sup>2)</sup>

参考写真：アルカリ骨材反応が進展している事例

- 1) 株式会社太平洋コンサルタントHP  
(<https://www.taiheiyo-c.co.jp/cement/asr/>)
- 2) A S Rに関する対策検討委員会「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）

(2) 実体顕微鏡観察の結果

川内1号炉においては、セメント・骨材について同一材料を用いており、ほとんどの点検箇所にて反応リムの形成やゲルの滲みが確認できたものの、反応状況が極めて軽微であることから、実構造物の状況も踏まえ、川内1号炉全体として反応状況は極めて軽微であり、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はないと判断できる。

構造物名称	原子炉格納施設等		試験員	㈱太平洋コンサルタント	
部 位	外部遮蔽壁		備 考	番号：OS-asr-1u-4-J-①/採取日：2020.10.5	
確認箇所 写真					
構成岩種	粗骨材	最大寸法10mm程度の砕石	細骨材	砂	
特記事項	なし				
	進行段階 <sup>3)</sup>				
	i	ii	iii	iv	v
	骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト	
	反応リムの形成	ゲルの滲み・取り巻き	ひび割れゲル充填	ひび割れゲル充填	気泡へのゲル充填
アルカリ骨材反応の発生状況	◎	◎	—	—	—
判 定	反応性 あり ・ なし				

実体顕微鏡観察結果の例 (原子炉格納施設等 外部遮蔽壁)

劣化度の評価

- 進行段階 i ~ iii : 1 軽微 (潜伏期) ⇒ 反応性なし  
 進行段階 iv : 2 中程度 (進展期・加速期) ⇒ 反応性あり  
 進行段階 v : 3 顕著 (加速期・劣化期) ⇒ 反応性あり

(参考文献)

- 3) Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan」 (2004)  
 Katayama et al. 「Late-Expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan」 (2008)

## 特別点検結果の一覧

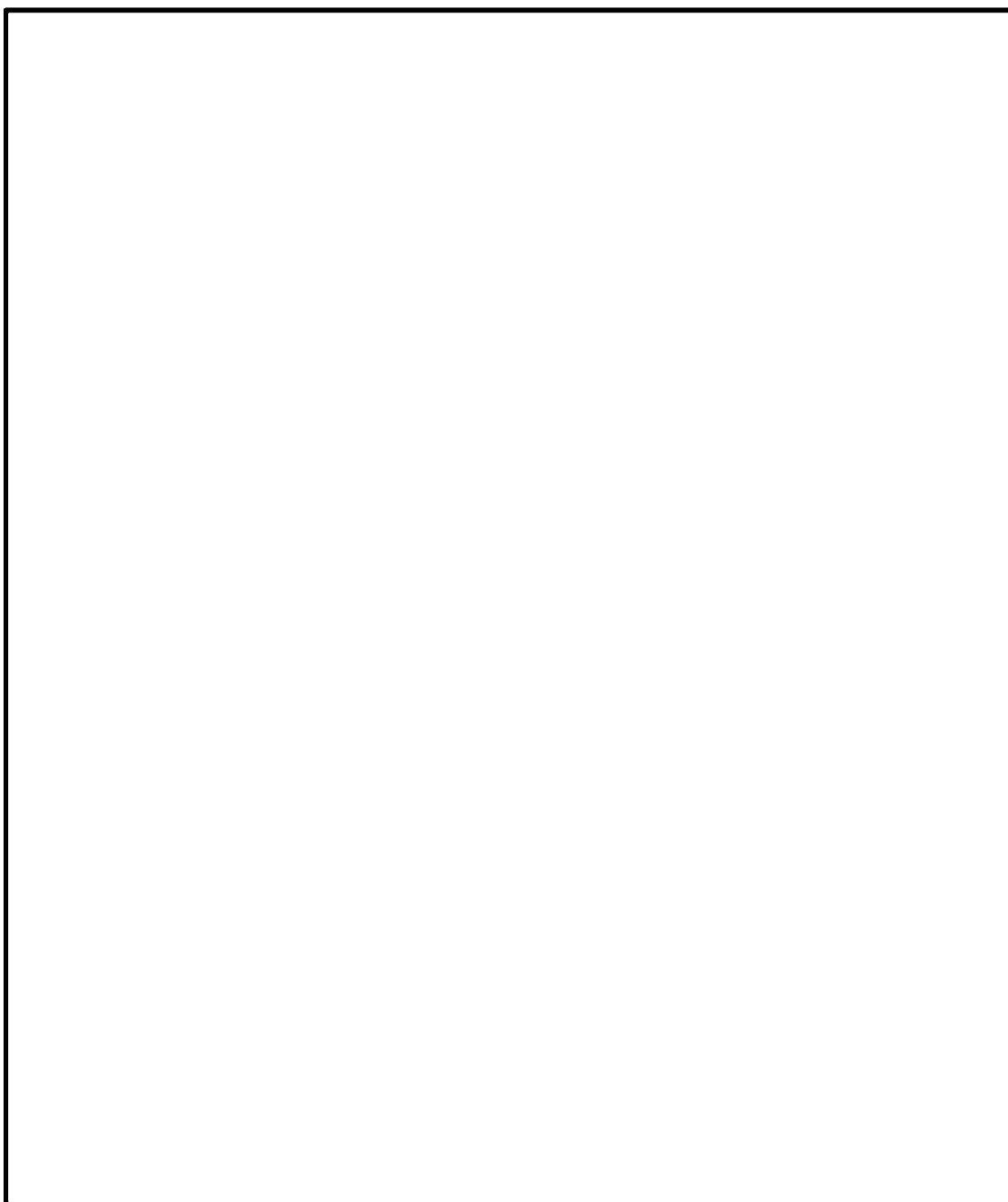
対象構造物	対象部位	実体顕微鏡観察結果	
		進行段階	反応性
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	ii	反応性なし
	内部コンクリート	i	
	基礎マット	i	
原子炉補助建屋	外壁	i	
	内壁及び床	ii	
	使用済み燃料プール	ii	
	基礎マット	—	
タービン建屋	内壁及び床	ii	
	基礎マット	—	
取水槽	海中帯	ii	
	干満帯	ii	
	気中帯	ii	
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		ii	
燃料取替用水タンク基礎		ii	



偏光顕微鏡観察の代表箇所

凡 例

- ▼：特別点検コアサンプル採取位置（実体顕微鏡観察）
- ▼：偏光顕微鏡観察コアサンプル採取位置



## 偏光顕微鏡観察の結果について

## (1) 偏光顕微鏡観察の結果

偏光顕微鏡観察結果においては、骨材に反応リムの形成・ゲルの滲みが生じてはいるが、極めて軽微な反応状況であることが確認された。よって、コンクリートの健全性に影響を与えるような反応性はないものと判断できる。

偏光顕微鏡観察結果

構造物	粗骨材 の 岩種	進行段階 <sup>1)</sup>					劣化度 評価
		i	ii	iii	iv	v	
		骨材 反応リム の形成	セメントペースト ゲルの滲み ・取り巻き	骨材 ひび割れ ゲル充填	セメントペースト ひび割れ ゲル充填 気泡への ゲル充填		
原子炉格納施設等 (外部遮蔽壁)	安山岩	◎	◎	—	—	—	1

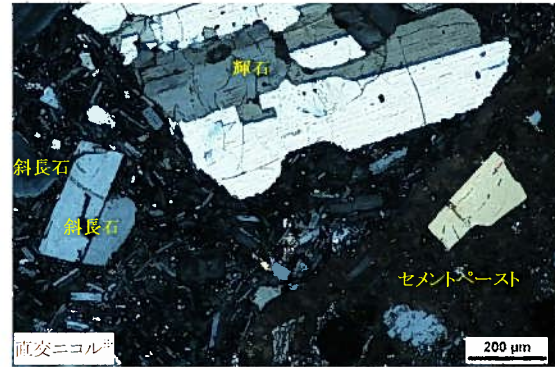
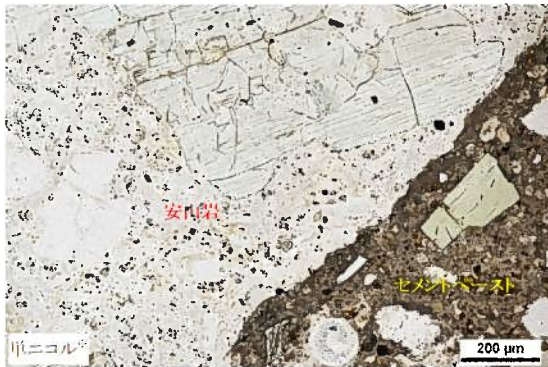
◎ 顕著、○ あり、+ 痕跡程度、— なし

## 劣化度の評価

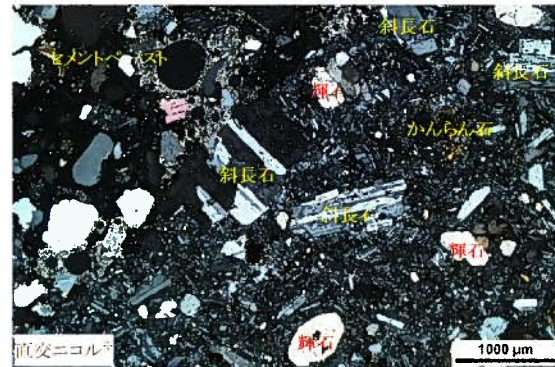
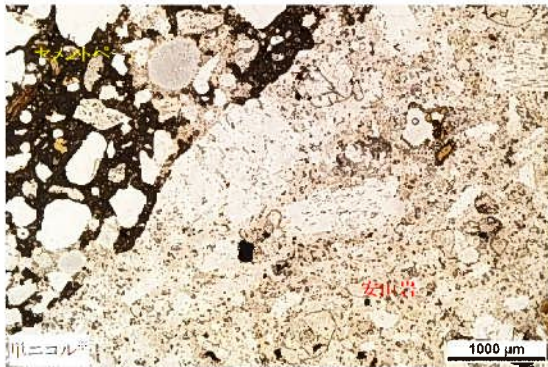
進行段階 i ~ iii : 1 軽微 (潜伏期) ⇒ 反応性なし  
 進行段階 iv : 2 中程度 (進展期・加速期) ⇒ 反応性あり  
 進行段階 v : 3 顕著 (加速期・劣化期) ⇒ 反応性あり

## (参考文献)

- 1) Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan」 (2004)  
 Katayama et al. 「Late-Expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan」 (2008)



安山岩は、斜長石や輝石等の斑晶と、その粒間を埋める微細な組織からなる石基から構成される。安山岩において、膨張や劣化を生じるような進行したアルカリ骨材反応の現象としての膨張ひび割れは認められなかった。



安山岩は、斜長石、輝石、かんらん石等の斑晶と、その粒間を埋める微細な組織からなる石基から構成される。安山岩において、膨張や劣化を生じるような進行したアルカリ骨材反応の現象としての膨張ひび割れは認められなかった。

### 偏光顕微鏡観察写真

※単ニコル：直線偏光による透過光で薄片試料を観察（構成鉱物の形、割れ、輪郭、色等を確認）

直交ニコル：単ニコルの状態に薄片試料と観察者の間に偏光板を設置して観察（構成鉱物の配列、組織等を確認）

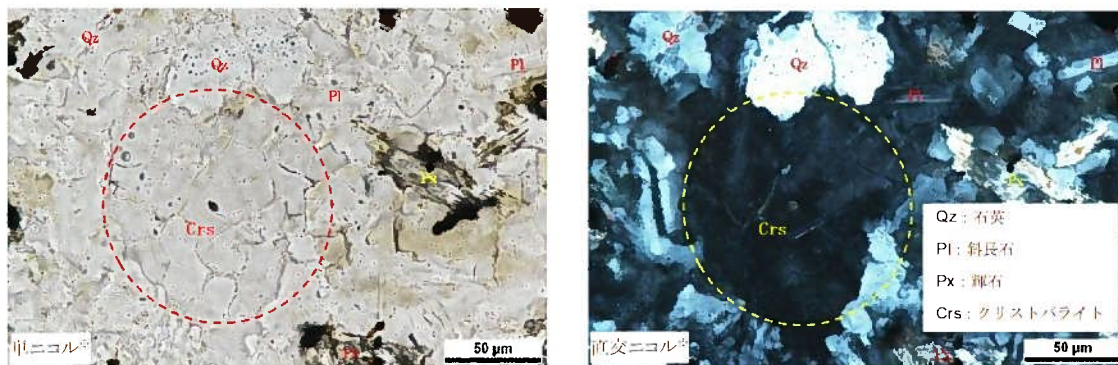
### (2) 実体顕微鏡結果との照らし合わせ

偏光顕微鏡観察結果においても、添付3に示す実体顕微鏡観察結果と同様に反応状況は極めて軽微であり、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ものと判断できることから、実体顕微鏡観察による特別点検手法の選定プロセス及び評価結果は妥当であると改めて判断できる。

<p>タイトル</p>	<p>アルカリ骨材反応に関する潜在膨張性の評価について</p>
<p>説明</p>	<p>アルカリ骨材反応については、特別点検（実体顕微鏡観察）により反応性がないことを確認しており、点検方法の選定プロセスと点検結果の妥当性を確認するため、代表箇所において偏光顕微鏡観察による確認を実施している。潜在膨張性（急速膨張性及び遅延膨張性）に関する評価については、以下のとおりである。</p> <p>1. 評価内容          特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性確認のため実施した偏光顕微鏡観察<sup>※1</sup>により反応性鉱物の確認を行った。          加えて、将来の潜在膨張性を確認するため、促進膨張試験<sup>※2</sup>（JCI-S-011-2017 及びアルカリ溶液浸漬法）を実施した。</p> <p>2. 評価結果          （偏光顕微鏡観察結果）          粗骨材については、急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認されたが、遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）は確認されなかった。          細骨材については、急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認された。また、一部の部位において、海砂の一部である流紋岩の中に遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）が認められた。なお、今回確認した範囲では、流紋岩以外については、遅延膨張性の反応性鉱物は認められなかった。          偏光顕微鏡観察による反応性鉱物の確認結果は添付 1 に示す。</p> <p>（促進膨張試験結果）          (1) JCI-S-011-2017          判定基準<sup>※3</sup>（3 ヶ月以上の促進養生後の膨張率が 0.05%未満）に対し、最大でも 0.006%程度であった。コアサンプル採取箇所、試験実施年、測定値は添付 2 に示す。          (2) アルカリ溶液浸漬法<sup>※4</sup>          判定基準<sup>※5</sup>（21 日で膨張率が 0.1%未満）に対し、28 日浸漬させても 0.045%であった。コアサンプル採取箇所、試験実施年、測定値は添付 2 に示す。</p> <p>※1：実体顕微鏡観察において、反応リムやゲルの有無・程度が相対的に顕著な構造物・部位を対象に実施した          ※2：JCI-S-011-2017については、急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認された箇所を対象に実施し、アルカリ溶液浸漬法については、遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）が確認された箇所を対象に実施した          ※3：判定基準は、土木研究センター「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発(1989)」を参考にした          ※4：アルカリ溶液浸漬法は、公益社団法人 日本コンクリート工学会 「ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会 報告書(2014)」P316-P319 を参考にした          ※5：判定基準は、Katayama et al.「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan (2004)」を参照した</p> <p>添付 1 偏光顕微鏡による反応性鉱物の確認結果          添付 2 促進膨張試験（JCI-S-011-2017 及びアルカリ溶液浸漬法）に関する試験結果</p>

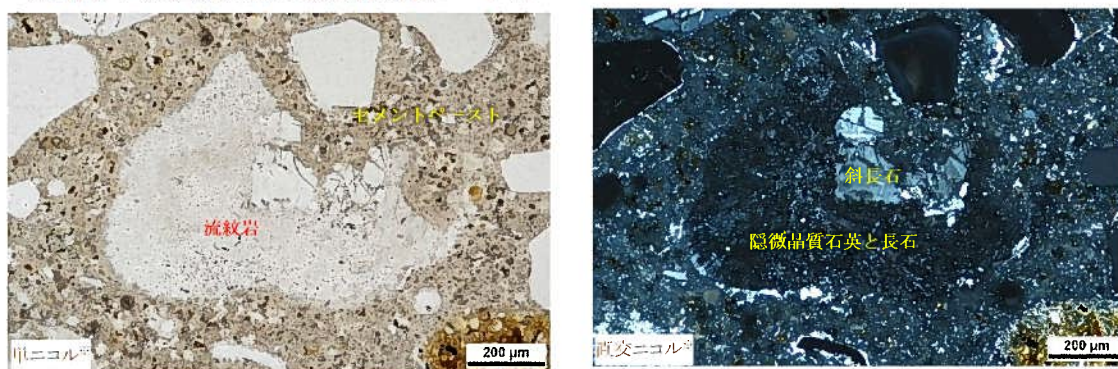


(粗骨材：急速膨張性の反応性鉱物の確認結果)



安山岩の石基部分を拡大して示す。反応性鉱物としてクリストバライトが確認された。クリストバライトは単ニコルで屋根瓦のような模様を示し、直交ニコルでは暗く観察される。大きくまとまった部分を破線内に示す。

(細骨材：遅延膨張性の反応性鉱物の確認結果)



写真は流紋岩からなる砂粒であり、斜長石の斑晶ならびに、隠微晶質石英と長石の石基からなる。

偏光顕微鏡観察写真

※単ニコル：直線偏光による透過光で薄片試料を観察（構成鉱物の形、割れ、輪郭、色等を確認）

直交ニコル：単ニコルの状態に薄片試料と観察者の間に偏光板を設置して観察（構成鉱物の配列、組織等を確認）

## 促進膨張試験（JCI-S-011-2017 及びアルカリ溶液浸漬法）に関する試験結果

表1 促進膨張試験（JCI-S-011-2017）結果

分類	対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値 (%)
粗骨材の 確認箇所	原子炉格納施設等	外部遮蔽壁※1	2020年10月～2021年2月	0.002
細骨材の 確認箇所	取水槽	海中帯※1	2020年9月～2021年1月	0.003
		干満帯※1	2020年9月～2021年1月	0.001
		気中帯※1	2020年9月～2021年1月	0.006

※1：急速膨張性の反応性鋳物（クリストパライト等）が確認された箇所

表2 促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）結果

分類	対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値 (%)
細骨材の 確認箇所	取水槽	気中帯※1	2022年12月～2023年1月	0.045

※1：遅延膨張性の反応性鋳物（隠微晶質石英、微晶質石英）が確認された箇所



川内原子力発電所 2 号炉 劣化状況評価  
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

補足説明資料

2023年8月

九州電力株式会社

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	5
3. 代表構造物の選定	7
4. 代表構造物の技術評価	17
5. 代表構造物以外の評価	25
6. まとめ	26

### 別紙

別紙 1. 川内原子力発電所 土木建築業務要領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. 対象構造物及び代表構造物の選定過程について	2-1
別紙 3. 耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置について	3-1
別紙 4. 土木・建築関係設備に係わる保全管理の文書体系について	4-1
別紙 5. 温度分布解析の方法等について	5-1
別紙 6. 放射線照射量の算出方法等について	6-1
別紙 7. 中性子照射量に対する耐力評価について	7-1
別紙 8. 中性化の評価対象及び評価点の選定過程について	8-1
別紙 9. 中性化深さの推定値の算定過程及び結果について	9-1
別紙 10. 塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程について	10-1
別紙 11. 塩化物イオン濃度の測定位置、測定方法、測定結果について	11-1
別紙 12. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程及び結果について	12-1
別紙 13. 機械振動の評価対象の選定過程について	13-1
別紙 14. モルタルバー法等の試験結果について	14-1
別紙 15. アルカリ骨材反応に関する特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性確認について	15-1
別紙 16. アルカリ骨材反応に関する潜在膨張性の評価について	16-1
別紙 17. 川内 2 号炉周辺の地下水による劣化影響について	17-1
別紙 18. 30年目高経年化技術評価からの変更点について	18-1
別紙 19. 平均圧縮強度の相対的な強度差について（1，2号炉共通）	19-1

表4 川内2号炉 コンクリート構造物の代表構造物選定結果

対象構造物 (コンクリート構造物)	重要度分類等	使用条件等									選定	選定理由
		運転開始後 経過年数*1	高温部の 有無	放射線の 有無	振動の 有無	設置環境		塩分浸透の 有無	代表構造物 を支持	耐火要求の 有無		
						屋 内	屋 外					
① 外部遮蔽壁	クラス1 設備支持	37	◇	◇	-	仕上り無し	仕上り有り	◇	-	-	◎	屋内で仕上げ無し
② 内部コンクリート	クラス1 設備支持	37	○ (1次遮蔽壁)	○ (1次遮蔽壁)	-	仕上り有り	/	-	-	/	◎	高温部、放射線の影響
③ 原子炉格納施設基礎	クラス1 設備支持	37	-	◇	-	仕上り有り	埋設*3	◇	外部遮蔽壁 及び内部コン クリートを支持	/	◎	代表構造物を支持する構造物
④ 原子炉補助建屋	クラス1 設備支持	37	-	◇	○ (非常用ディーゼル 発電設備基礎)	一部 仕上り無し	仕上り有り	◇	-	-	◎	振動の影響、屋内で仕上げ無し
⑤ 燃料取扱建屋	クラス2 設備支持	37	-	◇	-	一部 仕上り無し*2	埋設*3	-	-	-		
⑥ 廃棄物処理建屋	クラス3 設備支持	37	-	◇	-	一部 仕上り無し*2	仕上り有り	◇	-	-		
⑦ タービン建屋 (タービン架台)	クラス3 設備支持	37	-	-	○ (タービン架台)	一部 仕上り有り	/	-	-	/	◎	振動の影響、屋内で仕上げ無し
⑧ 取水構造物(海水ダクト含む)	クラス1 設備支持	37	-	-	-	一部 仕上り無し*2	一部 仕上り無し	○ (海水と接触)	-	-	◎	屋外で仕上げ無し、供給塩化物質の影響
⑨ 脱気器基礎	クラス3 設備支持	37	-	-	-	仕上り無し*2	仕上り有り	◇	-	/		
⑩ スチームコンバート装置基礎	クラス3 設備支持	37	-	-	-	/	一部 仕上り無し	◇	-	/		
⑪ 非常用ディーゼル発電用燃料油 貯油槽基礎 (燃料油貯蔵タンク基礎含む)	クラス1 設備支持	37	-	-	-	/	埋設*3	◇	-	-		
⑫ 復水タンク基礎 (配管ダクト含む)	クラス1 設備支持	37	-	-	-	一部 仕上り無し*2	埋設*3	◇	-	/		
⑬ 燃料取替用水タンク基礎 (配管ダクト含む)	クラス1 設備支持	37	-	-	-	一部 仕上り無し*2	埋設*3	◇	-	/		
⑭ 海水ポンプエリア防護壁	浸水防護施設	9	-	-	-	/	仕上り無し	○*4	-	/		
⑮ 貯留堰	浸水防護施設	9	-	-	-	/	仕上り無し	○*5	-	/		
⑯ 大容量空冷式発電機基礎 (燃料タンク基礎含む)	常設重大事故等 対処設備	9	-	-	-	/	埋設*3	◇	-	/		
⑰ 緊急時対策所	常設重大事故等 対処設備	0	-	-	-	仕上り有り	仕上り有り	◇	-	-		

\*1: 運転開始後経過年数は、2022年10月時点の年数としている。

\*2: 他の屋内で仕上げがない構造物で代表させる。

\*3: 環境条件の区分として、埋設部より気中部の方が保守的であることから、他の屋外で仕上げがない構造物で代表させる。

\*4: 常時海水と接触していないことから、常時海水と接触し飛沫の影響が大きい取水構造物で代表させる。

\*5: 常時海水中に没していることから、常時海水と接触し飛沫の影響が大きく、大気に接し酸素の供給がある取水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
- /: 使用条件等に該当無し

表5 川内2号炉 鉄骨構造物の代表構造物選定結果

対象構造物 (鉄骨構造物)	重要度分類等	使用条件等			選定	選定理由
		運転開始後 経過年数*1	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	37	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
② 燃料取扱建屋 (鉄骨部)	クラス2設備支持	37	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
③ タービン建屋 (鉄骨部)	クラス3設備支持	37	仕上げ有り	/	◎	運転開始後経過年数
④ 原子炉補助建屋水密扉	浸水防護施設	9	仕上げ有り	/		
⑤ 海水ポンプエリア防護壁 (鉄骨部)	浸水防護施設	9	/	仕上げ有り		
⑥ 海水ポンプエリア水密扉	浸水防護施設	9	/	仕上げ有り		

\*1：運転開始後経過年数は、2022年10月時点の年数としている。

【凡例】

/：使用条件等に該当無し

表10 川内2号炉 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とする構造物

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	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
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			
代表 構造 物	外部遮蔽壁						△	△		△	*2	
	内部コンクリート	1次遮蔽壁*1 ○	1次遮蔽壁*1 ○				△	△	1次遮蔽壁*1 ○	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲	
	原子炉格納施設基礎						△	△			*2	
	原子炉補助建屋			屋内面* ○		非常用ディーゼル発電設備基礎* ○	△	△		△	*2	
	燃料取扱建屋					*3					鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	タービン建屋					タービン架台* ○	タービン架台 △	タービン架台 △			鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	取水構造物			○	○		△	△		△	*2	

○：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）

\*1：評価対象部位

\*2：外部遮蔽壁、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物はコンクリート構造物の代表構造物

\*3：燃料取扱建屋は鉄骨構造物の代表構造物



<p>タイトル</p>	<p>アルカリ骨材反応に関する特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性確認について</p>
<p>説明</p>	<p>アルカリ骨材反応の特別点検では、各種規格類や最新知見の動向及び実構造物の状況等を踏まえた上で、コンクリートのアルカリ骨材反応の発生状況が確認可能な方法として実体顕微鏡観察を選定した。</p> <p>実体顕微鏡観察は、コンクリート切断面（採取コアサンプル表面）の観察による反応リム・ゲルの有無・程度、ひび割れ等の確認により、コンクリートのアルカリ骨材反応の発生の有無・状況が確認できる方法である。</p> <p>川内2号炉のコンクリート構造物は、定期的に見視点検を実施し、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等、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は発生していない。一方で、運用ガイド<sup>※1</sup>において採取したコアサンプルによる確認が要求されていること、また、発電所内の広範囲において点検が必要であることを踏まえて、当該構造物に適用する特別点検の点検方法として、アルカリ骨材反応の発生の有無・程度の確認を主眼とした実体顕微鏡観察を選定したものである。</p> <p>なお、特別点検の結果を踏まえた評価において、コンクリート構造物の健全性に影響が認められた場合、より精緻な手法を踏まえた評価を行うこととしている。</p> <p>特別点検では、上述するアルカリ骨材反応の発生の有無・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等を踏まえ、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。</p> <p>特別点検の結果、極めて軽微な反応状況<sup>※2</sup>であり、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。</p> <p>なお、参考の位置付けとして、劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性の確認のため、代表箇所による偏光顕微鏡観察を行った。</p> <p>偏光顕微鏡観察は、アルカリ骨材反応が生じているコンクリートの反応骨材についての精緻な観察を主眼として行うもので、コアサンプルから作製した薄片を用いて、反応骨材の鉱物・岩種の同定、反応の進行段階の確認、ひび割れの確認等により、アルカリ骨材反応が生じているコンクリートの反応の進行段階がより精緻に確認できる方法である。</p> <p>具体的には、川内2号炉で使用するコンクリート材料（セメント、骨材等）が同一であることを踏まえ、特別点検の結果において、アルカリ骨材反応が極めて軽微であるものの、反応リム・ゲルの有無・程度が相対的に顕著な「取水槽（海中帯）」を選定し、観察を行った。</p> <p>偏光顕微鏡観察の結果においても極めて軽微な反応状況であり、実体顕微鏡観察の結果と同様に、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たことから、実体顕微鏡観察による特別点検手法の選定プロセス及び評価結果は妥当であると改めて判断した。</p> <p>※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（令和2年3月）          ※2：極めて軽微な反応は、健全なコンクリートの多くに認められる現象である</p> <p>添付1 アルカリ骨材反応の健全性評価について          添付2 実体顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴          添付3 実体顕微鏡観察の結果について          添付4 偏光顕微鏡観察の代表箇所          添付5 偏光顕微鏡観察の結果について</p>



## アルカリ骨材反応の健全性評価について

## 1. 特別点検手法の選定プロセス

- ・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 J I S 及び学会規格が存在しないことが分かったため、最新知見のひとつである原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)を参照し、点検方法の検討を行った。
- ・本研究では、コンクリート建造物の ASR 診断フロー(例)が提示されている。
- ・川内 2 号炉は、定期的な目視点検を実施し、運転開始から約 40 年間に於いて、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等、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。
- ・運用ガイドにおいて採取したコアサンプルによる確認が要求されている。
- ・発電所内の広範囲において点検が必要である。



以上より、最新知見にあるアルカリ骨材反応の発生状況が確認可能な「実体顕微鏡観察」を選定<sup>※1</sup>

※1 特別点検結果を踏まえた評価により、コンクリート建造物の健全性に影響が認められた場合、偏光顕微鏡観察等、より精緻な手法を踏まえた評価を行う。

## 2. 劣化状況評価


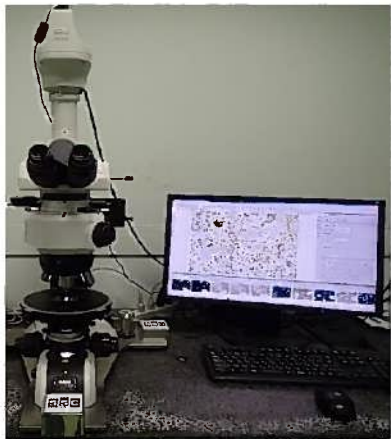
- ・川内 2 号炉は、定期的な目視点検を実施し、運転開始から約 40 年間に於いて、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない。
- ・使用している骨材(粗骨材、細骨材)は、モルタルバー法による反応性試験を実施し、有害でないことを確認している。
- ・採取したコアサンプルについて、特別点検による実体顕微鏡を用いた観察により、コンクリート建造物の健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認した<sup>※2</sup>。



高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断

※2 参考の位置付けとして、劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性の確認のため、特別点検の代表箇所において、偏光顕微鏡を用いた観察を行った。

実体顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴<sup>1) 2)</sup>

		実体顕微鏡観察	偏光顕微鏡観察
写真 <sup>→</sup>			
概要	観察対象	・コンクリート切断面（コアサンプル表面）を観察	・コアサンプルより作製した薄片を観察
	特徴	・概ね2～30倍で観察 ・コアの全体的な状況、反応リム ・ゲルの有無・程度、ひび割れ状況等を観察	・概ね25～200倍で観察 ・岩石や鉱物の観察に汎用される ・薄片に偏光を照射・透過させて鉱物の偏光特性等から、反応が生じている骨材の鉱物・岩種同定、進行段階、ひび割れ等を観察
	まとめ	・アルカリ骨材反応の発生有無・程度が確認できる	・アルカリ骨材反応が生じているコンクリート（骨材）の進行段階がより精緻に確認できる
課題 <sup>→</sup>		・岩種の詳細は分からない	・薄片作成・観察に熟練を要する

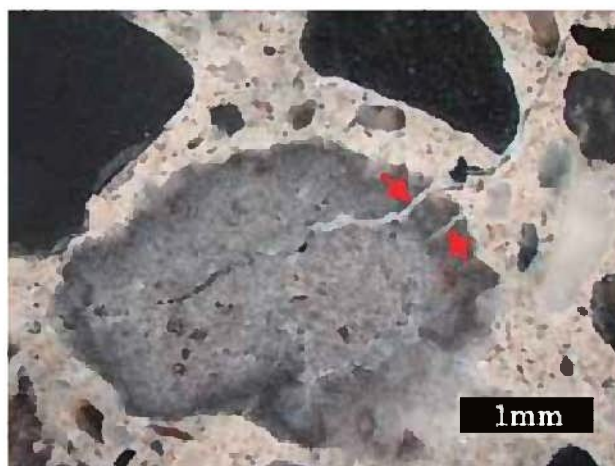
(参考文献)

- 1) 原子力規制庁「安全研究成果報告 運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」(RREP-2018-1004)
- 2) 独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案」(JENES-RE-2013-2050)

実体顕微鏡観察の結果について

(1) 特別点検における評価について

コアサンプルの実体顕微鏡観察結果と、実構造物の状況も踏まえ、コンクリートの健全性に影響を与えるような反応性の有無を確認している。



実体顕微鏡観察での膨張ひび割れの確認事例<sup>1)</sup>



実構造物における膨張ひび割れ（亀甲状）の事例<sup>2)</sup>

参考写真：アルカリ骨材反応が進展している事例

- 1) 株式会社太平洋コンサルタントHP  
(<https://www.taiheiyo-c.co.jp/cement/asr/>)
- 2) A S Rに関する対策検討委員会「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）

(2) 実体顕微鏡観察の結果

川内2号炉においては、セメント・骨材について同一材料を用いており、ほとんどの点検箇所では反応リムの形成やゲルの滲みを確認できたものの、反応状況が極めて軽微であることから、実構造物の状況も踏まえ、川内2号炉全体として反応状況は極めて軽微であり、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はないと判断できる。

構造物名称	取水槽		試験員	㈱太平洋コンサルタント	
部 位	海中帯		備 考	番号：SP-asr-2u-10-J-①/採取日：2020.11.28	
確認箇所写真					
構成岩種	粗骨材	最大寸法25mm程度の砕石	細骨材	砂	
特記事項	なし				
	進行段階 <sup>3)</sup>				
	i	ii	iii	iv	v
	骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト	
	反応リムの形成	ゲルの滲み・取り巻き	ひび割れゲル充填	ひび割れゲル充填	気泡へのゲル充填
アルカリ骨材反応の発生状況	○	○	—	—	—
判 定	反応性 あり ・ なし				

実体顕微鏡観察結果の例 (取水槽 海中帯)

劣化度の評価

- 進行段階 i ~ iii : 1 軽微 (潜伏期) ⇒ 反応性なし
- 進行段階 iv : 2 中程度 (進展期・加速期) ⇒ 反応性あり
- 進行段階 v : 3 顕著 (加速期・劣化期) ⇒ 反応性あり

(参考文献)

3) Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan」 (2004)  
 Katayama et al. 「Late-expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan」 (2008)

## 特別点検結果の一覧

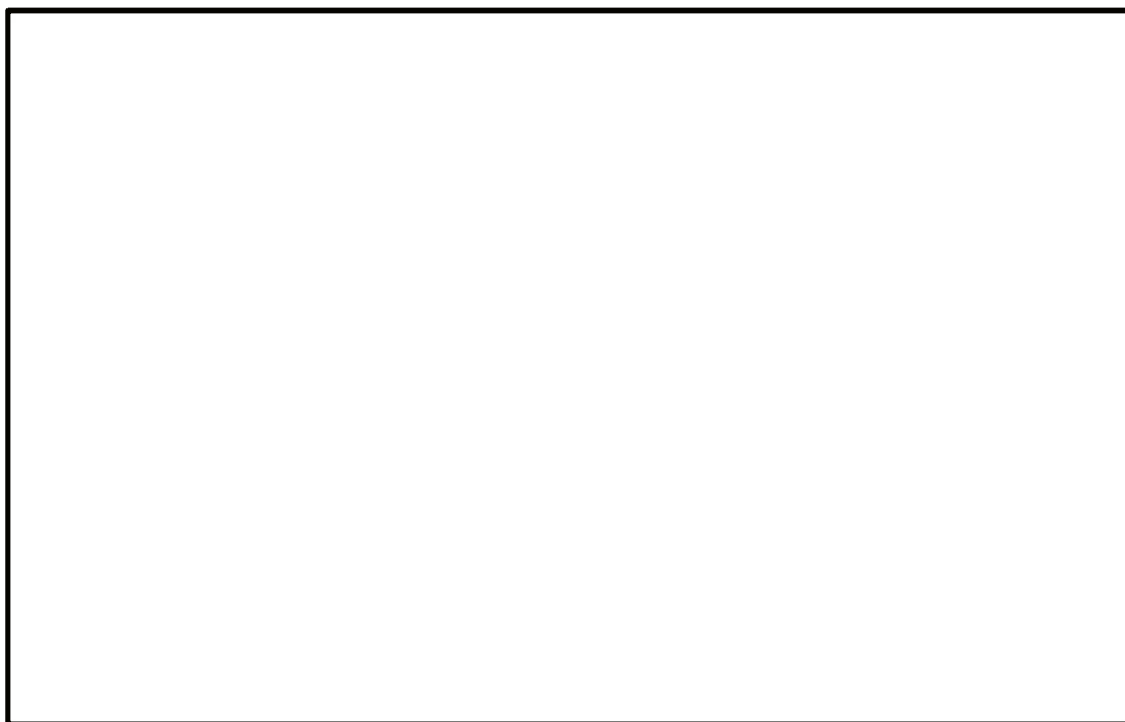
対象構造物	対象部位	実体顕微鏡観察結果	
		進行段階	反応性
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	i	反応性なし
	内部コンクリート	i	
	基礎マット	i	
原子炉補助建屋	外壁	i	
	内壁及び床	i	
	使用済み燃料プール	i	
	基礎マット	i	
タービン建屋	内壁及び床	i	
	基礎マット	i	
取水槽	海中帯	ii	
	干満帯	ii	
	気中帯	ii	
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		ii	
燃料取替用水タンク基礎		ii	



偏光顕微鏡観察の代表箇所

凡 例

- ▼：特別点検コアサンプル採取位置（実体顕微鏡観察）
- ▼：偏光顕微鏡観察コアサンプル採取位置



取水槽 海中帯



## 偏光顕微鏡観察の結果について

## (1) 偏光顕微鏡観察の結果

偏光顕微鏡観察結果においては、骨材に反応リムの形成・ゲルの滲みが生じてはいるが、極めて軽微な反応状況であることが確認された。よって、コンクリートの健全性に影響を与えるような反応性はないものと判断できる。

偏光顕微鏡観察結果

構造物	粗骨材 の 岩種	進行段階 <sup>1)</sup>					劣化度 評価
		i	ii	iii	iv	v	
		骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト		
		反応リムの形成	ゲルの滲み・取り巻き	ひび割れ ゲル充填	ひび割れ ゲル充填	気泡への ゲル充填	
取水槽 (海中帯)	安山岩	○	○	—	—	—	1

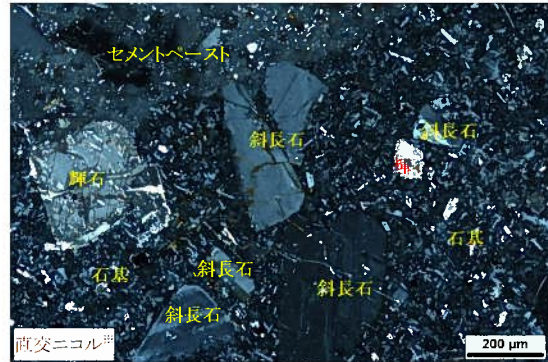
◎ 顕著、○ あり、+ 痕跡程度、— なし

## 劣化度の評価

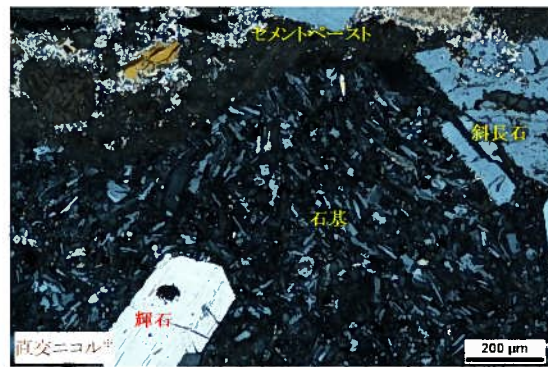
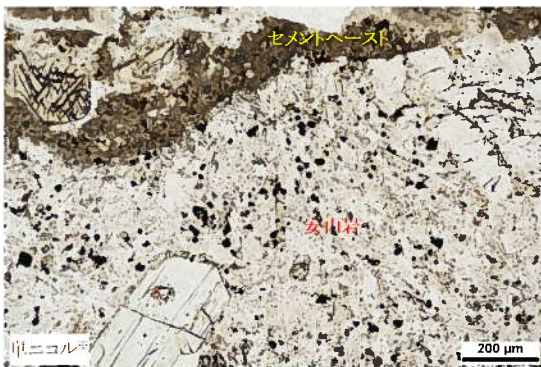
進行段階 i ~ iii : 1 軽微 (潜伏期) ⇒ 反応性なし  
 進行段階 iv : 2 中程度 (進展期・加速期) ⇒ 反応性あり  
 進行段階 v : 3 顕著 (加速期・劣化期) ⇒ 反応性あり

## (参考文献)

- 1) Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan」 (2004)  
 Katayama et al. 「Late-Expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan」 (2008)



安山岩は、斜長石や輝石の斑晶と、その粒間を埋める微細な組織からなる石基から構成される。安山岩において、膨張や劣化を生じるような進行したアルカリ骨材反応の現象としての膨張ひび割れは認められなかった。



安山岩は、斜長石や輝石等の斑晶と、その粒間を埋める微細な組織からなる石基から構成される。安山岩において、膨張や劣化を生じるような進行したアルカリ骨材反応の現象としての膨張ひび割れは認められなかった。

### 偏光顕微鏡観察写真

※単ニコル：直線偏光による透過光で薄片試料を観察（構成鉱物の形、割れ、輪郭、色等を確認）

直交ニコル：単ニコルの状態に薄片試料と観察者の間に偏光板を設置して観察（構成鉱物の配列、組織等を確認）

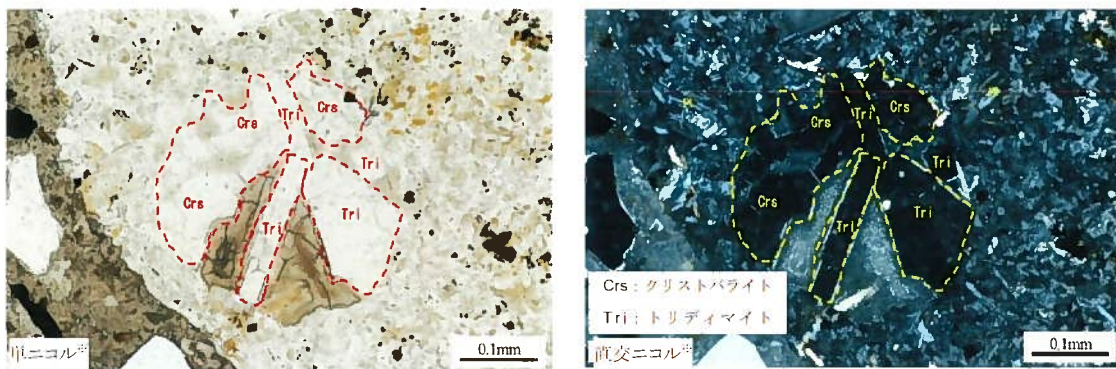
### (2) 実体顕微鏡結果との照らし合わせ

偏光顕微鏡観察結果においても、添付3に示す実体顕微鏡観察結果と同様に反応状況は極めて軽微であり、コンクリートの健全性に影響を与えるような反応性が無いものと判断できることから、実体顕微鏡観察による特別点検手法の選定プロセス及び評価結果は妥当であると改めて判断できる。

タイトル	アルカリ骨材反応に関する潜在膨張性の評価について
説明	<p>アルカリ骨材反応については、特別点検（実体顕微鏡観察）により反応性がないことを確認しており、点検方法の選定プロセスと点検結果の妥当性を確認するため、代表箇所において偏光顕微鏡観察による確認を実施している。潜在膨張性（急速膨張性及び遅延膨張性）に関する評価については、以下のとおりである。</p> <p>1. 評価内容 特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性確認のため実施した偏光顕微鏡観察<sup>※1</sup>により反応性鉱物の確認を行った。 加えて、将来の潜在膨張性を確認するため、促進膨張試験<sup>※2</sup>（JCI-S-011-2017 及びアルカリ溶液浸漬法<sup>※4</sup>）を実施した。</p> <p>2. 評価結果 （偏光顕微鏡観察結果） 粗骨材については、急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認されたが、遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）は確認されなかった。 細骨材については、急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認された。また、一部の部位において、海砂の一部である流紋岩の中に遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）が認められた。なお、今回確認した範囲では、流紋岩以外については、遅延膨張性の反応性鉱物は認められなかった。 偏光顕微鏡観察による反応性鉱物の確認結果は添付 1 に示す。</p> <p>（促進膨張試験結果） （1）JCI-S-011-2017 判定基準<sup>※3</sup>（3 ヶ月以上の促進養生後の膨張率が 0.05%未満）に対し、最大でも 0.004%程度であった。コアサンプル採取箇所、試験実施年、測定値は添付 2 に示す。 （2）アルカリ溶液浸漬法<sup>※4</sup> 判定基準<sup>※5</sup>（21 日で膨張率が 0.1%未満）に対し、28 日浸漬させても 0.069%であった。コアサンプル採取箇所、試験実施年、測定値は添付 2 に示す。</p> <p>※1：実体顕微鏡観察において、反応リムやゲルの有無・程度が相対的に顕著な構造物・部位を対象に実施した ※2：JCI-S-011-2017については、急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認された箇所を対象に実施し、アルカリ溶液浸漬法については、遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）が確認された箇所を対象に実施した ※3：判定基準は、土木研究センター「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発(1989)」を参考にした ※4：アルカリ溶液浸漬法は、公益社団法人 日本コンクリート工学会 「ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会 報告書(2014)」P316-P319 を参考にした ※5：判定基準は、Katayama et al.「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan (2004)」を参照した</p> <p>添付 1 偏光顕微鏡による反応性鉱物の確認結果 添付 2 促進膨張試験（JCI-S-011-2017 及びアルカリ溶液浸漬法）に関する試験結果</p>

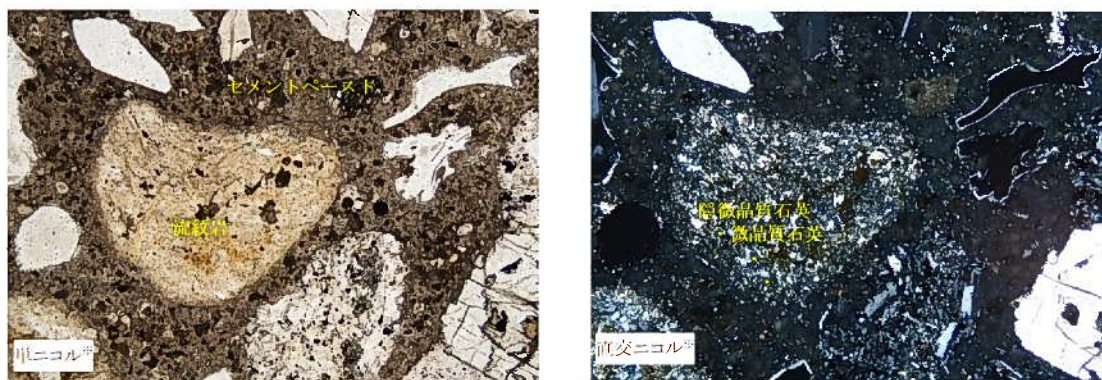


(粗骨材：急速膨張性の反応性鋳物の確認結果)



安山岩の石基部分を拡大して示す。反応性鋳物としてクリストパライトとトリディマイトが確認された。クリストパライトは単ニコルで屋根瓦のような模様を示し、直交ニコルでは暗く観察される。トリディマイトは薄板状や楔形を呈しており、直交ニコル下では双晶を示す。大きくまとまった部分を破線内に示す。

(細骨材：遅延膨張性の反応性鋳物の確認結果)



写真は流紋岩からなる砂粒であり、隠微晶質組織・微晶質組織からなり、遅延膨張性の隠微晶質石英・微晶質石英を含む。

偏光顕微鏡観察写真

※単ニコル：直線偏光による透過光で薄片試料を観察（構成鋳物の形、割れ、輪郭、色等を確認）

直交ニコル：単ニコルの状態に薄片試料と観察者の間に偏光板を設置して観察（構成鋳物の配列、組織等を確認）

## 促進膨張試験（JCI-S-011-2017 及びアルカリ溶液浸漬法）に関する試験結果

表1 促進膨張試験（JCI-S-011-2017）結果

分類	対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値 (%)
粗骨材の 確認箇所	取水槽	海中帯 <sup>※1,2</sup>	2020年11月～2021年3月	0.004
細骨材の 確認箇所	取水槽	海中帯 <sup>※1,2</sup>	2020年11月～2021年3月	0.004
		干満帯 <sup>※1</sup>	2020年11月～2021年3月	0.001
		気中帯 <sup>※1</sup>	2020年11月～2021年3月	0.004
	非常用ディーゼル発電用 燃料油貯油槽基礎 <sup>※1</sup>	2020年12月～2021年3月	0.000	

※1：急速膨張性の反応性鉱物（クリストバライト等）が確認された箇所

※2：同一のコアサンプルにて試験を実施

表2 促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）結果

分類	対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値 (%)
細骨材の 確認箇所	取水槽	干満帯 <sup>※1</sup>	2022年12月～2023年1月	0.069

※1：遅延膨張性の反応性鉱物（隠微晶質石英、微晶質石英）が確認された箇所