

島根原子力発電所 2 号炉 審査資料	
資料番号	PLM-03 改 17
提出年月日	2023 年 12 月 6 日

島根原子力発電所 2 号炉 高経年化技術評価
(コンクリートおよび鉄骨構造物)

補足説明資料

2023 年 12 月 6 日

中国電力株式会社

1. はじめに	1
2. 基本方針	2
3. 評価対象と評価手法	4
3.1 代表構造物の選定	4
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 劣化要因毎の評価対象部位の選定結果	16
3.4 評価手法	16
4. 代表構造物の技術評価	18
4.1 コンクリートの強度低下	18
4.2 コンクリートの遮へい能力低下	29
4.3 現状保全	30
4.4 総合評価	30
4.5 高経年化への対応	30
5. 代表構造物以外の技術評価	31
6. まとめ	32
6.1 審査ガイド等記載事項に対する確認結果	32
6.2 施設管理に関する方針として策定する事項	32
別紙1. 点検手順書における目視点検の項目、方法および判定基準について	
別紙2. 鉄骨構造物の金属疲労評価の計算過程および結果について	
別紙3. 島根2号炉周辺地域の凍害危険度について	
別紙4. 評価に用いる温度の考え方について	
別紙5. 温度測定方法、測定位置および測定結果について	
別紙6. 放射線照射量の算出方法、評価モデル、過程および結果について	
別紙7. 空気環境測定方法および位置について	
別紙8. 中性化深さの推定値の算定過程について	
別紙9. 塩化物イオン濃度の測定方法、測定位置について	
別紙10. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程について	
別紙11. 機械振動の評価対象および評価点の選定過程について	
別紙12. 熱による遮へい能力低下の評価に用いた温度分布解析について	
別紙13. 島根2号炉周辺の地下水による劣化影響について	
別紙14. 使用開始から40年以上が経過した建物・構築物のアルカリ骨材反応の潜在性について	
別紙15. 熱による遮へい能力低下の評価点における温度分布解析について	

使用開始から 40 年以上が経過した建物・構築物のアルカリ骨材反応の潜在性について

1. はじめに

制御室建物，1号機取水槽北側壁および漂流防止装置基礎（荷揚護岸）については，使用開始から 40 年以上が経過しているが，定期的に見視点検を実施し，コンクリートのアルカリ骨材反応（以下，「ASR」という。）に起因すると判断されるひび割れがないこと，また，昭和 59 年に実施した試験（モルタルバー法 ASTM C 227-81）によりコンクリート構築物に影響を与えるような反応性がないことを確認しており，コンクリートの健全性に影響を与えるような ASR が発生した可能性は極めて低いと判断している。

一方，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）では，近年，これまで ASR の主要な原因と考えられてきた急速膨張性骨材以外に，遅延膨張性骨材（10 数年以上経過してからコンクリートにひび割れを生じさせる。）による劣化事例が一般構築物で報告されていることが指摘されており，コンクリート構築物の長期健全性を評価するための「コンクリート構築物の ASR 診断フロー（例）」が示されている。図-別紙 14-1 にコンクリート構築物の ASR 診断フロー（例）を示す。

以上を踏まえ，制御室建物，1号機取水槽北側壁および漂流防止装置基礎（荷揚護岸）を対象に，コンクリート構築物の ASR 診断フロー（例）に基づき，ASR（急速膨張性および遅延膨張性）の可能性について確認した。

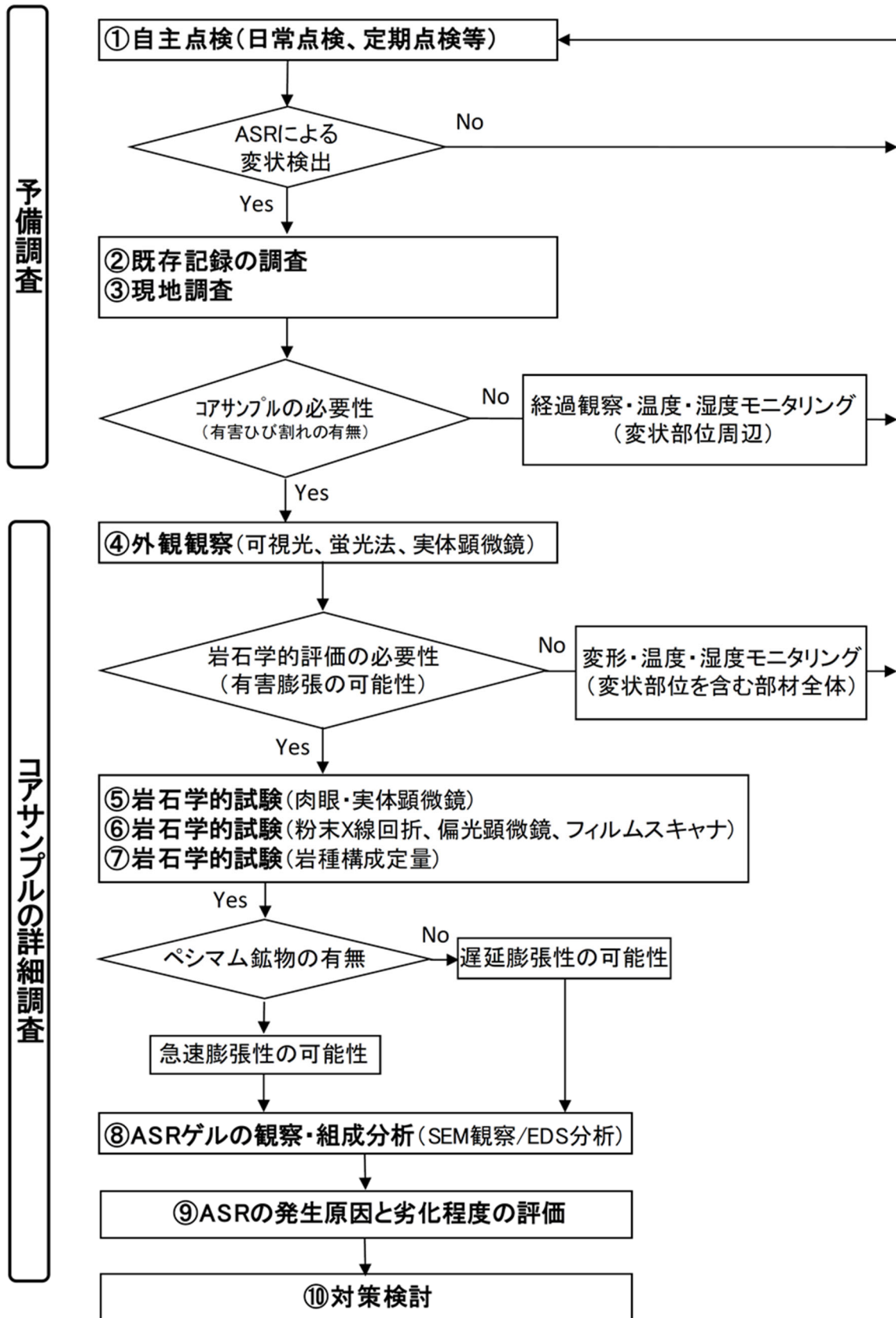


図-別紙 14-1 コンクリート構造物の ASR 診断フロー (例)

2. 各構造物の対象部位および試験方法

2.1 各構造物の対象部位

制御室建物，1号機取水槽北側壁，漂流防止装置基礎（荷揚護岸）において，試験を実施する対象部位を以下に示す。対象部位は，「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」（原子力規制委員会，最終改正：令和2年3月31日）に基づき，選定した。

- ・制御室建物：内壁，外壁，基礎
- ・1号機取水槽北側壁：気中帯，干満帯，海中帯
- ・漂流防止装置基礎（荷揚護岸）：気中帯，干満帯，海中帯

また，表-別紙 14-1 に対象構造物で使用している主なコンクリート材料一覧を示す。

表-別紙 14-1 対象構造物で使用している主なコンクリート材料一覧

構成材料		
骨材	粗骨材	砕石
	細骨材	混合砂（川砂，山砂）
セメント		フライッシュセメント B種
混和材料		AE 減水剤

2.2 試験方法

試験方法としては，図-別紙 14-1 に基づき，対象構造物のコンクリートの健全性に影響を与えるような ASR の発生状況が確認できる実体顕微鏡観察を実施した。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，ひび割れ状況等の確認により，コンクリートの ASR の発生の有無・程度が確認できる方法である。

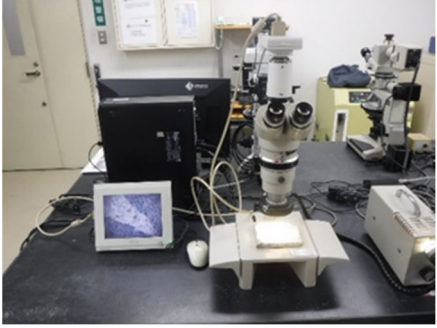
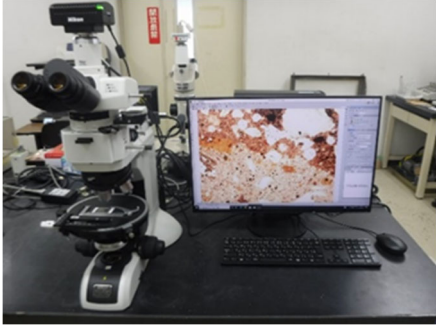
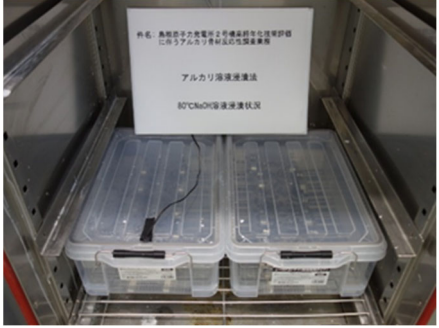
また，念のため，上記の試験方法の選定プロセスおよび試験結果の妥当性を確認するため，偏光顕微鏡観察を実施した。偏光顕微鏡観察は，コアサンプルから作成した薄片を用いて，反応性骨材の鉱物・岩種の同定，反応の進行段階の確認，ひび割れ状況の確認等により，ASR が生じているコンクリートの反応の進行段階がより精緻に確認できる方法である。

加えて，将来の潜在膨張性（急速性および遅延性）を確認するため，促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）^{※1}を実施した。促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）は，80±2℃の1±0.01mol/Lの水酸化ナトリウム溶液にコンクリートコアを浸漬し，その膨張率を測定することで，コンクリートの将来の潜在膨張性または残存膨張性が確認できる方法である。

以上より，試験としては実体顕微鏡観察，偏光顕微鏡観察および促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）を実施し，表-別紙 14-2 に各試験方法の特徴を示す。また，表-別紙 14-3 に実体顕微鏡観察および偏光顕微鏡観察における ASR 進行段階の判定基準を示す。

※1：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 5.3 アルカリ溶液に浸漬したコア試料のアルカリシリカ反応による膨張率の測定方法（案）（アルカリ溶液浸漬法）（2014）」による。





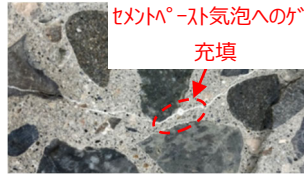
表-別紙 14-2 各試験方法の特徴

		実体顕微鏡観察	偏光顕微鏡観察	促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）
写真				
概要	実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート切断面（コアサンプル表面）を観察 	<ul style="list-style-type: none"> ・コアサンプルにより作成した薄片を観察 	<ul style="list-style-type: none"> ・コアサンプルを水酸化ナトリウム溶液に浸漬して膨張率を測定
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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・岩種の同定，進行段階，ひび割れ状況等を観察 	<ul style="list-style-type: none"> ・80±2℃の 1±0.01mol/L の水酸化ナトリウム溶液を使用 ・膨張率の判定までに 3 週間必要 ・急速膨張性骨材・遅延膨張性骨材に適する
	まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・ASR の発生有無・程度が確認できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ASR が生じているコンクリート（骨材）の反応の進行段階がより精緻に確認できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・膨張率を測定することで，コンクリートの将来の潜在膨張性または残存膨張性が確認できる
課題※2		<ul style="list-style-type: none"> ・岩種の詳細は分からない 	<ul style="list-style-type: none"> ・薄片作成・観察に熟練を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・水酸化ナトリウム濃度が高いため，シリカはアルカリ溶液に溶解し，チャートを有害判定できない

別紙 14-4

※2：原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050）

表-別紙 14-3 ASR 進行段階の判定基準※3

ASR の 進行 段階	i	ii	iii	iv	v
	骨材の反応リム	セメントペーストへの ゲルの滲み	骨材のひび割れ, ゲル充填	セメントペーストのひび割れ, ゲル充填	セメントペースト気泡への ゲル充填
参考 写真	 反応リム	 ASR ゲル	 骨材のひび割れ ゲル充填	 セメントペーストのひび割れ ゲル充填	 セメントペースト気泡へのゲル 充填
劣化度	軽微 (潜伏期)			中程度 (進展期・加速期)	顕著 (加速期・劣化期)
反応性	反応性なし			反応性あり	

(参考文献)

※3: 判定基準は、Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan (2004)」および Katayama et al. 「Late-Expansive ASR due to Imported Sand and Local Aggregates in Okinawa Island, Southwestern Japan (2008)」を参考に設定した。

3. 試験結果

3.1 実体顕微鏡観察の結果

各構造物から採取したコンクリートについて実体顕微鏡観察を実施した結果、1号機取水槽北側壁（干満帯）のみ、粗骨材（安山岩と流紋岩）の一部粒子に、淡い反応リムの形成、あるいはわずかな ASR ゲルの滲出が認められたが、進行段階が軽微であり、実構造物の状況も踏まえると、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と判断した。その他の構造物・対象部位については、粗骨材、細骨材ともに ASR の発生は認められなかった。

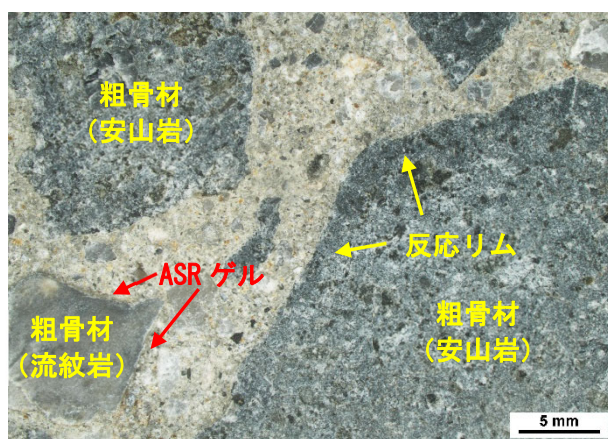
表-別紙 14-4 に実体顕微鏡観察結果（反応性）を、図-別紙 14-2 に実体顕微鏡観察写真（1号機取水槽北側壁，干満帯）を示す。

表-別紙 14-4 実体顕微鏡観察結果（反応性）

対象構造物	対象部位	実体顕微鏡観察結果			
		粗骨材		細骨材	
		進行段階	反応性	進行段階	反応性
制御室建物	内壁	—	なし	—	なし
	外壁	—	なし	—	なし
	基礎	—	なし	—	なし
1号機取水槽北側壁	気中帯	—	なし	—	なし
	干満帯	ii	なし	—	なし
	海中帯	—	なし	—	なし
漂流防止装置基礎 (荷揚護岸)	気中帯	—	なし	—	なし
	干満帯	—	なし	—	なし
	海中帯	—	なし	—	なし

劣化度の評価

進行段階	該当なし	< 1 健全	⇒反応性なし
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



（観察結果）

粗骨材（安山岩および流紋岩）の一部粒子に、淡い反応リムの形成、あるいはわずかな ASR ゲルの滲出（濡れ色）が認められる。

図-別紙 14-2 実体顕微鏡観察写真（1号機取水槽北側壁，干満帯）

3.2 偏光顕微鏡観察の結果

各構造物から採取したコンクリートについて偏光顕微鏡観察を実施した結果、実体顕微鏡観察の結果と同様に、1号機取水槽北側壁（干満帯）のみ、粗骨材（安山岩と流紋岩）の一部粒子に、淡い反応リムの形成、あるいはわずかなASRゲルの滲出が認められたが、進行段階が軽微であり、実構造物の状況も踏まえると、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と判断した。その他の構造物・対象部位については、粗骨材、細骨材ともにASRの発生は認められなかった。以上より、実体顕微鏡観察の選定プロセスおよび試験結果の妥当性を確認することができた。

また、主要な構成鉱物を確認すると、全ての構造物の粗骨材（安山岩および流紋岩）において、遅延膨張性のASR反応性鉱物（微晶質石英、微晶質～隠微晶質石英）が認められ、急速膨張性のASR反応性鉱物は認められなかった。なお、細骨材において、急速膨張性および遅延膨張性のASR反応性鉱物は認められなかった。

表-別紙14-5に粗骨材の偏光顕微鏡観察結果（反応性）を、表-別紙14-6に粗骨材の偏光顕微鏡観察結果（反応性鉱物）を、図-別紙14-3に偏光顕微鏡観察写真を示す。

表-別紙14-5 粗骨材の偏光顕微鏡観察結果（反応性）

対象構造物	対象部位	粗骨材の岩種	進行段階					劣化度評価	反応性
			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	セメントペースト 気泡への ゲル充填		
制御室建物	内壁	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
	外壁	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
	基礎	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
1号機 取水槽 北側壁	気中帯	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
	干満帯	安山岩	+	—	—	—	—	1	なし
		流紋岩	+	+	—	—	—	1	なし
	海中帯	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
漂流防止 装置基礎 (荷揚護岸)	気中帯	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
	干満帯	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
	海中帯	安山岩	—	—	—	—	—	<1	なし
		玄武岩	—	—	—	—	—	<1	なし

進行段階の凡例 ◎：顕著 ○：あり +：痕跡程度 —：なし

劣化度の評価

- 進行段階 該当なし：<1 健全 ⇒反応性なし
 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

表-別紙 14-6 粗骨材の偏光顕微鏡観察結果（反応性鉱物）

対象構造物	対象部位	岩石	主要な構成鉱物	ASR 反応性鉱物の有無
制御室建物	内壁	安山岩 (碎石)	斜長石, カリ長石, 輝石, 微晶質石英, 不透明鉱物	○ (微晶質石英)
	外壁	安山岩 (碎石)	斜長石, カリ長石, 輝石, 微晶質石英, 不透明鉱物	○ (微晶質石英)
	基礎	安山岩 (碎石)	斜長石, カリ長石, 輝石, 微晶質石英, 不透明鉱物	○ (微晶質石英)
1号機取水槽 北側壁	気中帯	安山岩 (碎石)	斜長石, 微晶質石英, 粘土鉱物, 石英, 鉄チタン鉱物, 輝石, 角閃石	○ (微晶質石英)
	干満帯	安山岩 (碎石)	斜長石, 微晶質石英, 粘土鉱物, 石英, 鉄チタン鉱物, 輝石, 角閃石	○ (微晶質石英)
		流紋岩 (碎石)	微晶質～隠微晶質石英, 石英, 斜長石, 粘土鉱物, 鉄チタン鉱物	○ (微晶質～隠微晶質石英)
	海中帯	安山岩 (碎石)	斜長石, 微晶質石英, 粘土鉱物, 石英, 鉄チタン鉱物, 輝石, 角閃石	○ (微晶質石英)
漂流防止 装置基礎 (荷揚護岸)	気中帯	安山岩 (碎石)	カリ長石, 斜長石, 輝石, 微晶質石英, 不透明鉱物	○ (微晶質石英)
	干満帯	安山岩 (碎石)	カリ長石, 斜長石, 輝石, 不透明鉱物	—
	海中帯	安山岩 (碎石)	カリ長石, 斜長石, 輝石, 不透明鉱物	—
		玄武岩 (碎石)	斜長石, 輝石, 不透明鉱物	—

○：あり —：なし

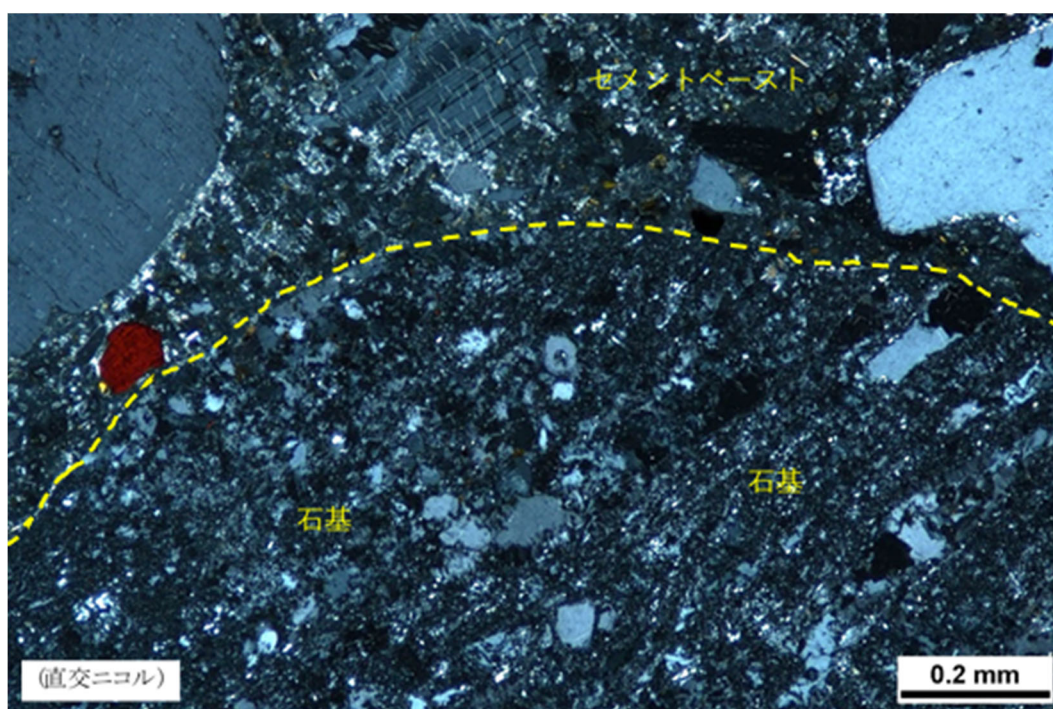
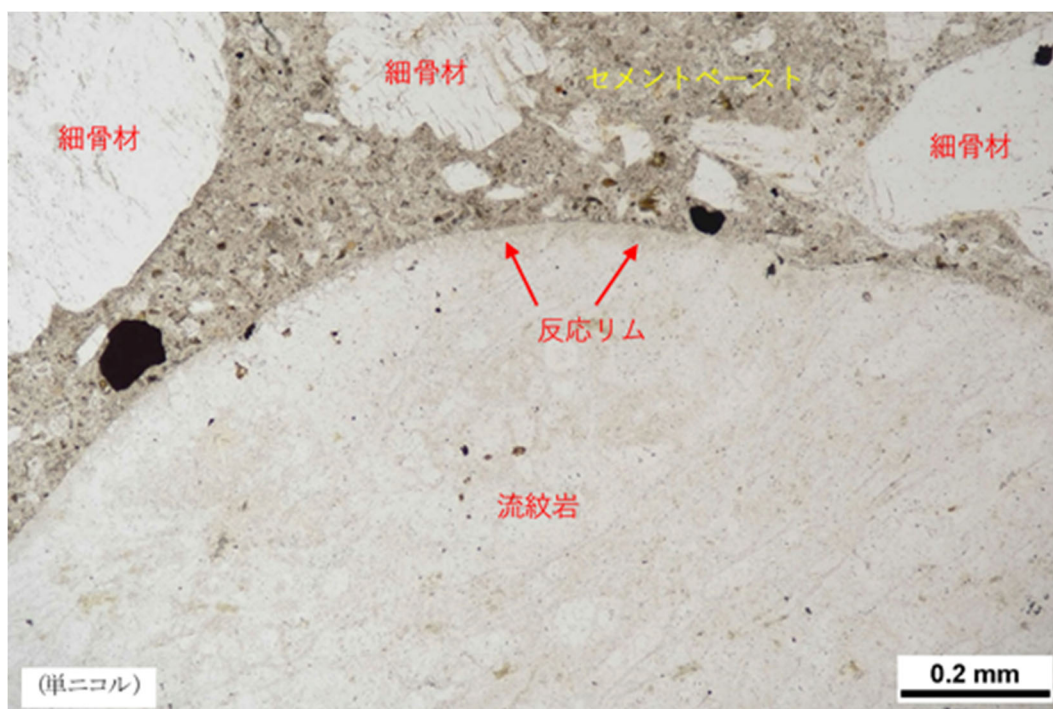


図-別紙 14-3 偏光顕微鏡観察写真 (1号機取水槽北側壁, 干満帯) (1 / 2)

(観察結果)

粗骨材の流紋岩は、石英や斜長石などの斑晶（ともに視野外）と、その粒間を埋める微細な組織（微細な石英や斜長石など）からなる石基から構成される。流紋岩や安山岩には ASR の現象として、淡い反応リムの形成や ASR ゲルの滲みが認められたが、膨張や劣化を伴う進行した ASR の現象である膨張ひび割れの発生は認められなかった。

※ 破線：骨材-セメントペースト界面

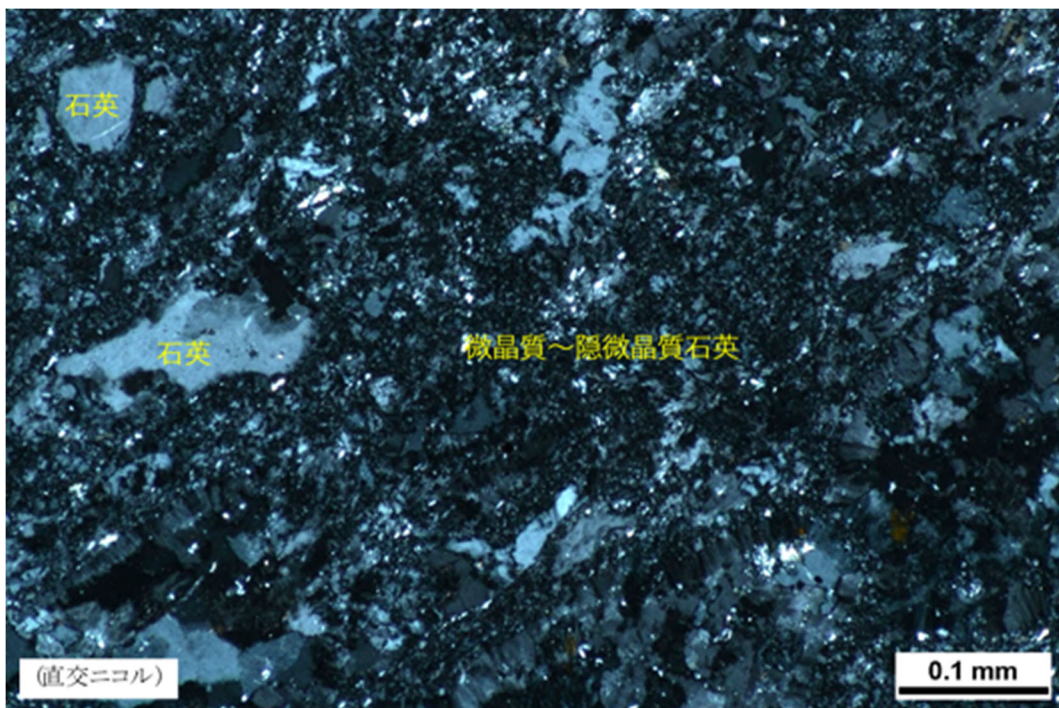
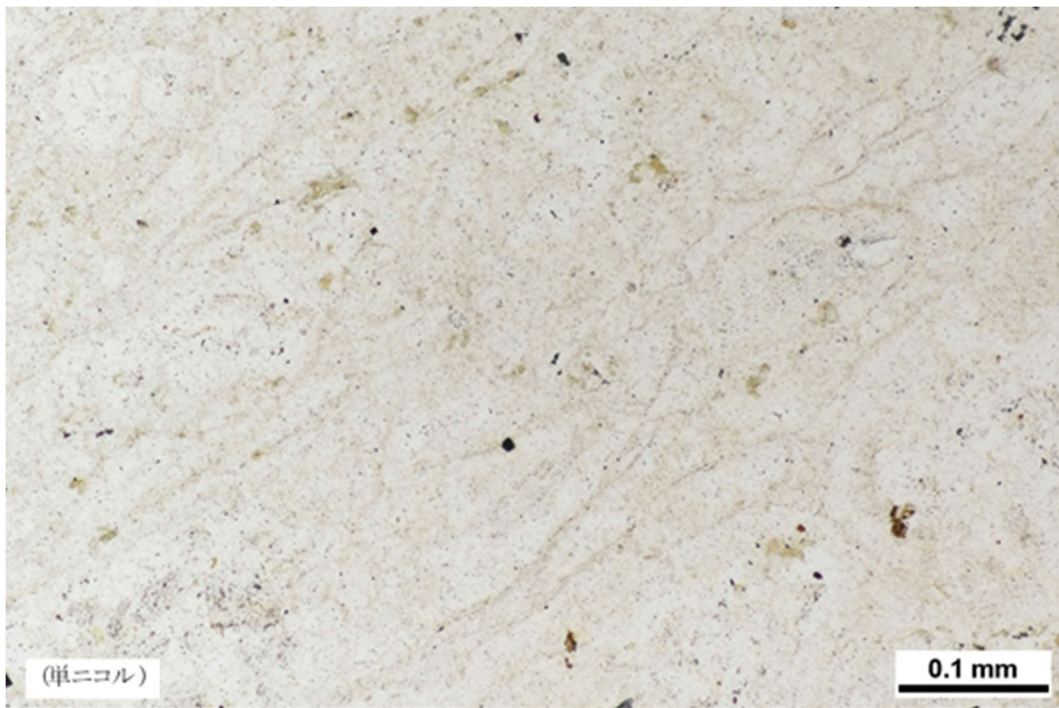


図-別紙 14-3 偏光顕微鏡観察写真 (1号機取水槽北側壁, 干満帯) (2 / 2)

(観察結果)

粗骨材の流紋岩の石基部分を拡大して示す。流紋岩の石基は、微細な石英や長石から主に構成される。石基に含まれる微晶質～隠微晶質石英は遅延膨張性の ASR 反応性鉱物である。

3.3 促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）の結果

各構造物から採取したコンクリートについて促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）を実施した結果、判定基準※4（21日で膨張率が0.1%未満）に対し、28日浸漬させても最大で0.042%と判定基準以下であり、将来の潜在膨張（急速性および遅延性）の可能性は低いと判断した。表-別紙14-7に促進膨張試験結果（アルカリ溶液浸漬法）を、図-別紙14-4にコアの促進膨張試験結果（制御室建物、外壁）を示す。

表-別紙 14-7 促進膨張試験結果（アルカリ溶液浸漬法）

対象構造物	対象の部位	測定値 (%)
制御室建物	内壁	0.039
	外壁	0.042
	基礎	0.035
1号機取水槽北側壁	気中帯	0.008
	干満帯	0.006
	海中帯	0.007
漂流防止装置基礎 (荷揚護岸)	気中帯	0.038
	干満帯	0.023
	海中帯	0.025

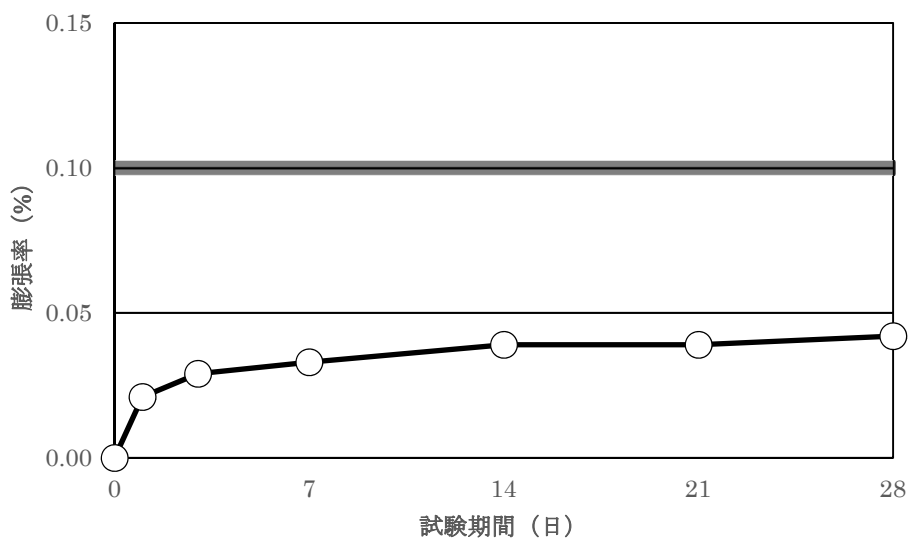


図-別紙 14-4 コアの促進膨張試験結果（制御室建物、外壁）

※4: 判定基準は、Katayama et al. 「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan. Materials Characterization, Vol. 53, No. 2-4, pp. 105-122, 2004」を参考に設定した。

4. まとめ

使用開始から 40 年以上が経過した制御室建物，1 号機取水槽北側壁および漂流防止装置基礎（荷揚護岸）について，コンクリート構造物の ASR 診断フロー（例）に基づき，ASR（急速膨張性および遅延膨張性）の可能性を確認した。

試験方法として選定した実体顕微鏡観察の結果，ASR の反応性は確認できなかったことから，対象構造物の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と判断した。また，念のため実施した偏光顕微鏡観察の結果からも実体顕微鏡観察の結果と同様の結果が得られたことから，実体顕微鏡観察の選定プロセスおよび試験結果の妥当性を確認することができた。

なお，偏光顕微鏡観察の結果，粗骨材から遅延膨張性の ASR 反応性鉱物（微晶質石英，微晶質～隠微晶質石英）が確認されたが，促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）の結果より，将来の潜在膨張（急速性および遅延性）の可能性は低いと判断した。

以 上