

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8月4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

2023年6月1日審査会合における指摘／質問事項は以下のとおり。

No	指摘／質問事項	回答頁
① (特別点検(コンクリート))	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。	3
② (共通事項)	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。	個別事項説明時に別途説明予定
③ (中性子照射脆化)	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。	個別事項説明時に別途説明予定
④ (照射誘起型応力腐食割れ)	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。	個別事項説明時に別途説明予定

No	指摘／質問事項	回答頁
① (特別点検(コンクリート))	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。	3
② (共通事項)	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。	個別事項説明時に別途説明予定
③ (中性子照射脆化)	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。	個別事項説明時に別途説明予定
④ (照射誘起型応力腐食割れ)	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。	個別事項説明時に別途説明予定

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

アルカリ骨材反応の潜在膨張性について

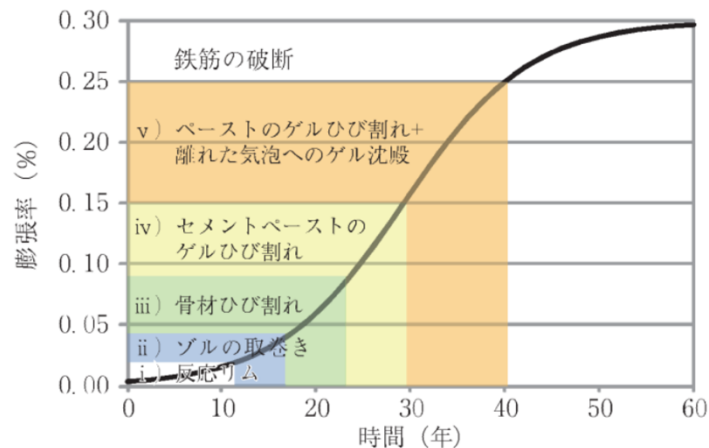
アルカリ骨材反応(以下「ASR」という。)の潜在膨張性は以下の2つがあることが知られており、両者は骨材に含まれる反応性鉱物と大きく関係している※1。

急速膨張性

反応性鉱物として、クリストバライト、トリディマイト、オパール、カルセドニー等があり、それらの鉱物が反応して膨張が生じる。

遅延膨張性

反応性鉱物として隠微晶質石英、微晶質石英があり、それらの鉱物が反応してコンクリート打設後10数年以上経過した後に膨張が生じる※2。



アルカリ骨材反応(遅延膨張性)の進行段階と
コンクリートの膨張曲線概念図※3



アルカリ骨材反応(遅延膨張性)の発生状況例※4

※1 日本コンクリート工学会「アルカリシリカ反応入門①アルカリシリカ反応の基礎～骨材の反応性と試験方法～(2014年)」

※2 日本コンクリート工学会「作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断に関する研究委員会報告書(2008年)」

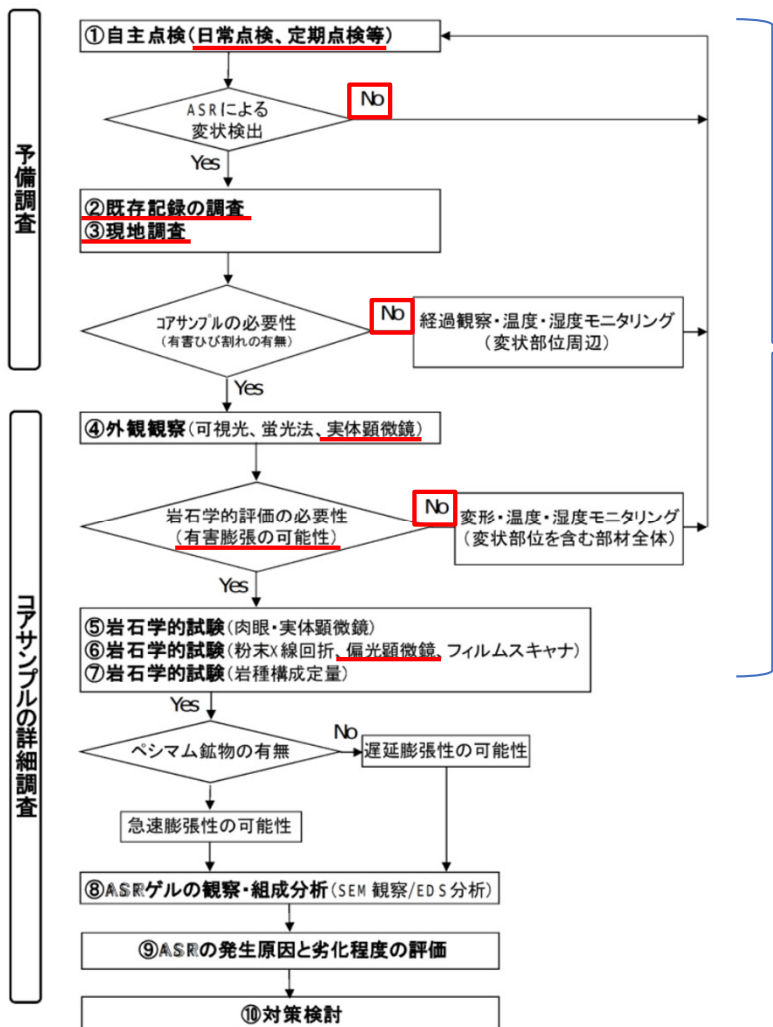
※3 日本コンクリート工学会「アルカリシリカ反応入門③アルカリシリカ反応の診断方法(2014年)」

※4 Energiforsk「AGING MANAGEMENT OF NUCLEAR PRESTRESSED CONCRETE CONTAINMENTS(2015)」

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

ASRの評価方針

- ・ASRの評価については、以下のコンクリート構造物のASR診断フロー※¹に基づき実施した。
- ・その結果、有害な劣化は認められなかったが、念のため潜在膨張性を確認する促進膨張試験を実施した。



※1 コンクリート構造物のASR診断フロー(例)

(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)より)

劣化進行段階の評価方針

予備調査

- ・定期的な目視点検(左記①③)においてASRに起因するひび割れ等は認められていない
- ・1985年にモルタルバー法(左記②)により使用骨材は有害でないことを確認(⇒p.5)

【特別点検】

実体顕微鏡による観察(左記④)

- ・進行の有無・程度の確認
- ⇒健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認(⇒p.5,6)

(参考)

偏光顕微鏡による観察(左記⑥)

- ・進行の有無・程度の詳細確認
- ⇒反応性鉱物の存在を確認したが、健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認(⇒p.7~12)

潜在膨張性の確認

促進膨張試験

- ・偏光顕微鏡観察を実施した箇所において、アルカリ溶液浸漬法を実施
- ⇒判定基準値以下であり、遅延膨張の可能性が低いことを確認(⇒p.13)

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

実体顕微鏡観察結果

(1) 実体顕微鏡観察結果を踏まえた特別点検結果について

- ・コンクリート構造物の主な構成材料を下表に示す。使用骨材において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。
- ・今回の特別点検において実体顕微鏡観察を実施し、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（判定基準は次頁に示す）。

※ASTM C227に基づき1985年に実施。膨張率が材齢6ヶ月で0.1%未満の場合は無害とする判定基準に対して、最も高い骨材（細骨材・川砂）でも0.078%であった。

使用している主なコンクリート材料一覧

使用材料		
骨材	粗骨材	碎石
	細骨材	<u>混合砂(山砂・川砂・砕砂)</u> 、山砂
セメント		中庸熱ポルトランドセメント
混和材料		混和材(フライアッシュ) 混和剤(AE減水剤、流動化剤)

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

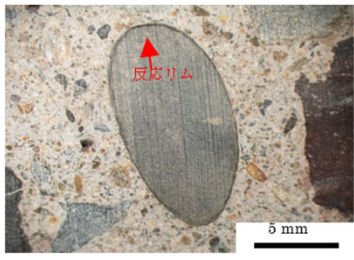
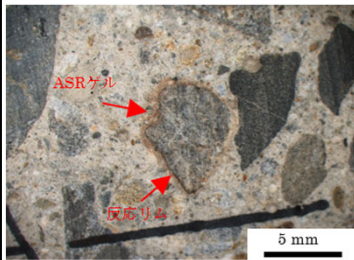
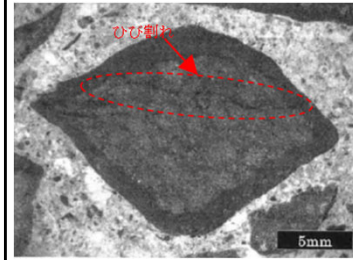
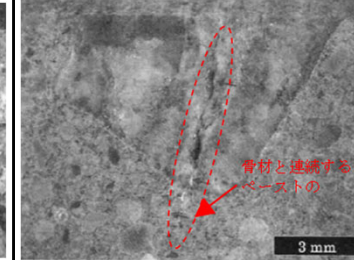
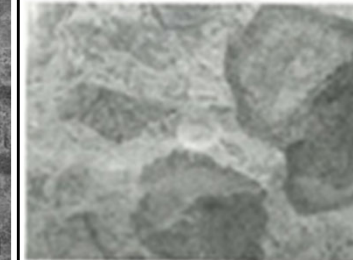
実体顕微鏡観察結果

(2) 判定基準について

ASRの判定基準は下表の通り。(ASRの進行状態の分類に関する文献※を参考に作成)

※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)」

ASR発生状況	I 骨材の反応リム	II セメントペーストへの ゲルの滲み	III 骨材のひび割れ、ゲル 充填	IV セメントペーストのひ び割れ、ゲル充填	V セメントペースト気泡 へのゲル充填
参考写真	 A circular aggregate particle with a dark, concentric reaction rim. A red arrow points to the rim, labeled "反応リム". A 5 mm scale bar is at the bottom right.	 Aggregate particles with a dark reaction rim and a surrounding area of ASR gel. Red arrows point to "ASRゲル" and "反応リム". A 5 mm scale bar is at the bottom right.	 A dark aggregate particle with a crack filled with gel. A red dashed line outlines the crack, labeled "ひび割れ". A 5 mm scale bar is at the bottom right.	 A crack in the cement paste filled with gel. A red dashed line outlines the crack, labeled "骨材と連続するペーストのひび割れ". A 3 mm scale bar is at the bottom right.	 A porous structure of cement paste with gel filling the air spaces. A 3 mm scale bar is at the bottom right.
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	

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

実体顕微鏡観察結果

(3) 実体顕微鏡観察結果について

実体顕微鏡観察の点検結果は下表の通り。すべての対象の部位で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。

対象の コンクリート構造物	対象の部位	実体顕微鏡観察結果[3号炉]				実体顕微鏡観察結果[4号炉]			
		粗骨材		細骨材		粗骨材		細骨材	
		進行段階	反応性	進行段階	反応性	進行段階	反応性	進行段階	反応性
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	—	反応性 なし	—	反応性 なし	—	反応性 なし	—	反応性 なし
	内部コンクリート	I		—		I※		—	
	基礎マット	I		—		I		—	
原子炉補助建屋	外壁	I		—		I		—	
	内壁及び床	I		—		I		—	
	使用済み燃料プール	—		—		—※		—	
	基礎マット	I		—		I		—	
タービン建屋	内壁及び床	—※		—		—		—	
	基礎マット	—		—		—		—	
取水槽	海中帯	—		—		—		—	
	干満帯	—※	—	I	—				
	気中帯	I	—	—	—				
タービン架台		I	—	—	—				
非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎		I	—	—	—				
復水タンク基礎		I	—	—	—				

※ 進行段階Ⅲのひび割れはASRIによるものではないと判断したため、進行段階には含めずに記載する。

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

偏光顕微鏡観察結果

(1) 評価対象

使用環境（湿度）が厳しい特別点検箇所¹の代表箇所として、3号炉・4号炉とも「タービン建屋 基礎マット」を選定した。

構造物	対象の部位	点検箇所	選定理由	測定期間の平均湿度(%)	備考
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	外部遮蔽壁(外部)	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	内部コンクリート	1次遮蔽壁	放射線照射	-	
	基礎マット	通路	水分(湿度)	44.5	
原子炉補助建屋	外壁	ディーゼル発電機室外壁	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	内壁及び床	アスファルトクレーン室	水分(湿度)	64.7	補正実施 ^{*1}
	使用済み燃料プール	プロセスモニター線源校正エリア	水分(湿度)	44.5	
	基礎マット	海水管トレンチエリア	水分(湿度)	78.4	
タービン建屋	内壁及び床	タービン建屋 地下部	水分(湿度)	69.6	
	基礎マット	タービン建屋 地下部	水分(湿度)	84.6	補正実施 ^{*1}
	海中帯	海水ポンプ室	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
取水槽	干満帯	海水ポンプ室	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	気中帯	海水ポンプ室	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	タービン架台	タービン建屋 1階部	水分(湿度)	67.9	補正実施 ^{*1}
上記以外の構造物(安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処施設設備に属する機器を支持する構造物)	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎(配管トレンチ含む)	基礎	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
上記以外の構造物(安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処施設設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	復水タンク基礎	タンク基礎	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	

構造物	対象の部位	点検箇所	選定理由	測定期間の平均湿度(%)	備考
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	外部遮蔽壁(外部)	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	内部コンクリート	1次遮蔽壁	放射線照射	-	
	基礎マット	通路	水分(湿度)	45.4	
原子炉補助建屋	外壁	ディーゼル発電機室外壁	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	内壁及び床	燃料ピット室	水分(湿度)	56.1	補正実施 ^{*1}
	使用済み燃料プール	通路	水分(湿度)	41.5	
	基礎マット	海水管トレンチエリア	水分(湿度)	60.6	
タービン建屋	内壁及び床	タービン建屋 地下部	水分(湿度)	67.8	
	基礎マット	タービン建屋 地下部	水分(湿度)	84.9	補正実施 ^{*1}
	海中帯	海水ポンプ室	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
取水槽	干満帯	海水ポンプ室	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	気中帯	海水ポンプ室	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
	タービン架台	タービン建屋 1階部	水分(湿度)	67.9	補正実施 ^{*1}
上記以外の構造物(安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処施設設備に属する機器を支持する構造物)	非常用ディーゼル発電用燃料油タンク基礎(配管トレンチ含む)	基礎	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	
上記以外の構造物(安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処施設設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	復水タンク基礎	タンク基礎	外部からのアルカリ供給(塩分)	-	

※1 環境測定の間と稼働率を考慮して、温度および湿度の補正を実施している。

 : 偏光顕微鏡観察実施部位

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

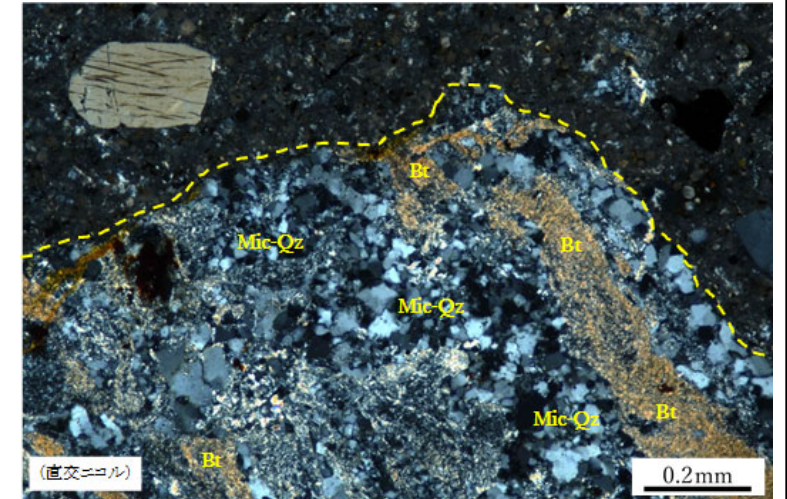
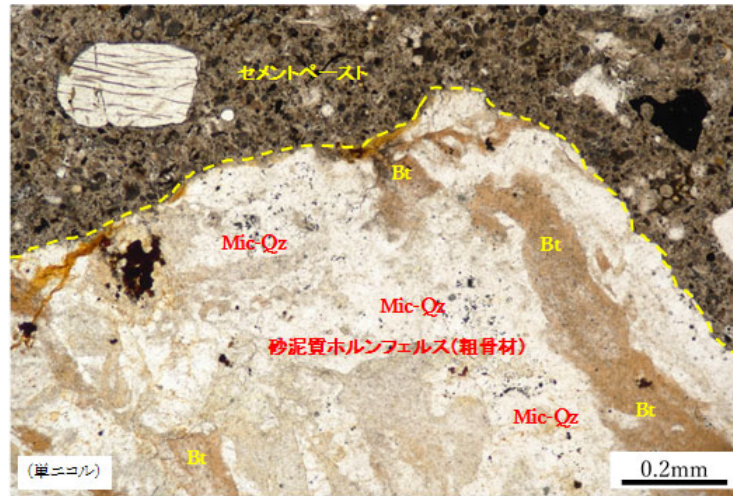
偏光顕微鏡観察結果

(2) 粗骨材の観察結果 骨材の岩種・鉱物の確認 (1 / 2)

観察部位 (3号炉) : タービン建屋基礎マット

(薄片A)

砂泥質ホルンフェルスは、砂岩や泥岩などの堆積岩が熱変成を受けた岩石である。熱変成の程度は粒子により異なり、原石に近いものから、二次的な鉱物が多く生成しているものまで確認された。微晶質石英(遅延膨張性)や黒雲母などが確認される。急速膨張性を有する反応性鉱物は確認されなかった。ASRの現象は認められなかった。



※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)

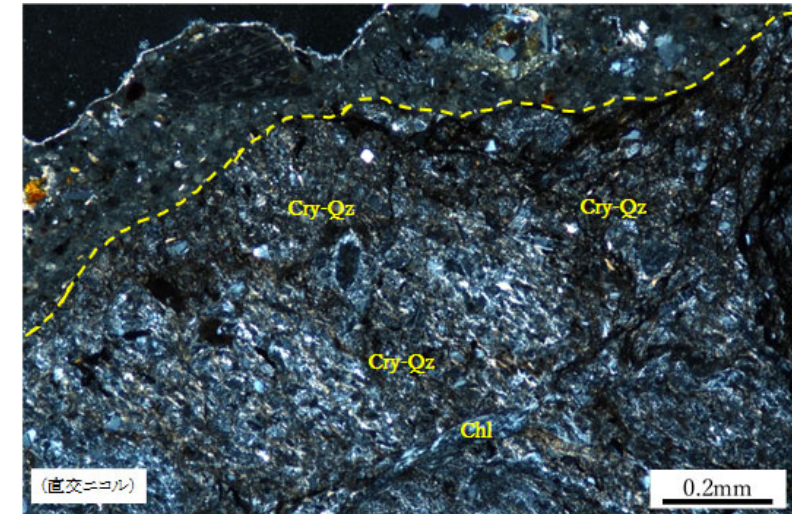
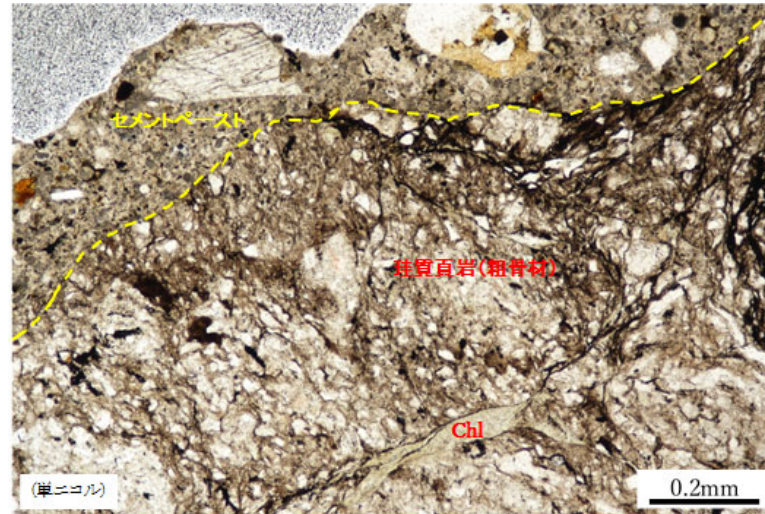
① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

偏光顕微鏡観察結果

(2) 粗骨材の観察結果 骨材の岩種・鉱物の確認 (2 / 2)

観察部位 (4号炉) : タービン建屋基礎マット

砂岩・頁岩・珪質頁岩などの堆積岩から主に構成されており、微晶質～隠微晶質石英(遅延膨張性)や緑泥石などが確認される。急速膨張性を有する反応性鉱物は確認されなかった。ASRの現象は認められなかった。



① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

偏光顕微鏡観察結果

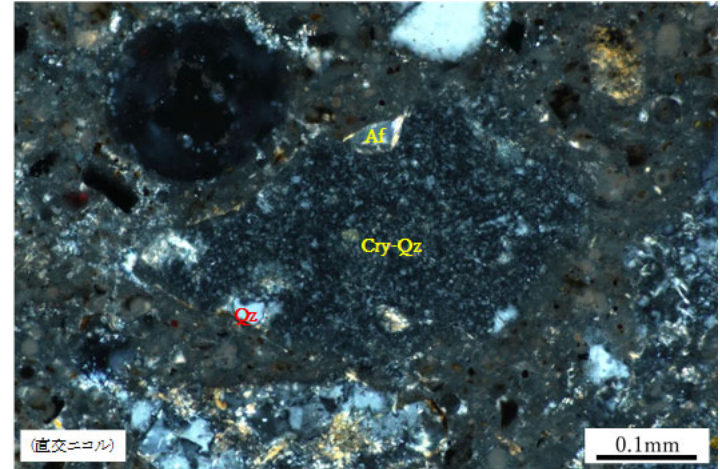
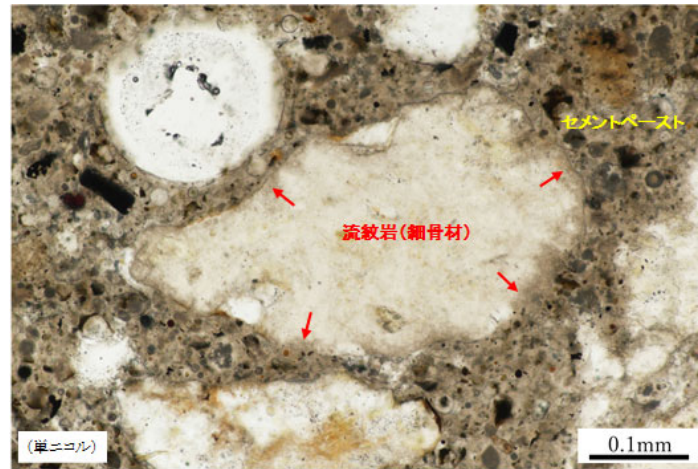
(3) 細骨材の観察結果 骨材の岩種・鉱物の確認

観察部位（3号炉）：タービン建屋基礎マット

砂泥質ホルンフェルスの岩片や珪質頁岩・チャート、鉱物片（石英・斜長石・輝石など）から構成される砂であった。生物遺骸（貝殻片など）は認められなかった。

ASRは、チャート・流紋岩・安山岩の一部粒子に反応リムの形成が認められる程度であり、軽微もしくはそれ以下（健全）であった。

反応性鉱物は、チャートと流紋岩に**微晶質～隠微晶質石英（遅延膨張性）**が、安山岩に**ガラス（遅延～急速膨張性）**が認められた。



観察部位	骨材	岩種	アルカリ骨材反応の進行段階					総合評価
			I 骨材の反応リム	II セメントペーストへのゲルの滲み	III 骨材のひび割れ、ゲル充填	IV セメントペーストのひび割れ、ゲル充填	V セメントペースト気泡へのゲル充填	
高浜3号炉 タービン建屋 基礎マット	細骨材	チャート	+	-	-	-	-	<1
		流紋岩	+	-	-	-	-	<1
		安山岩	+	-	-	-	-	<1
総合評価							<1	

アルカリ骨材反応の程度 ◎:顕著 ○:あり +:痕跡程度
劣化度の評価 1:軽微 2:中程度 3:顕著

※ 偏光顕微鏡観察でASRの兆候が認められた骨材のみを記載した。

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

偏光顕微鏡観察結果

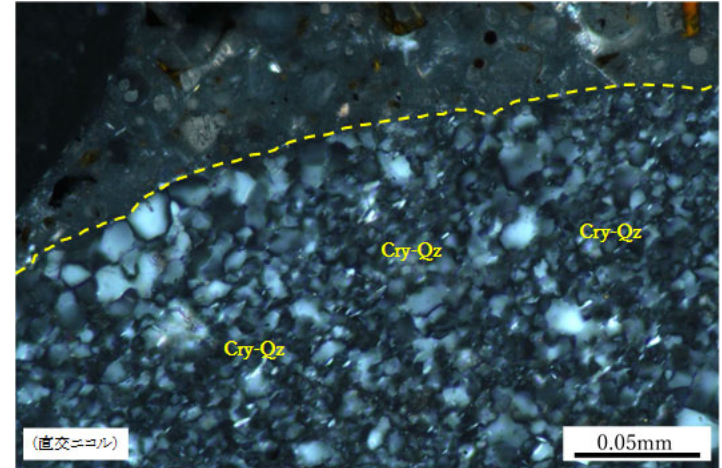
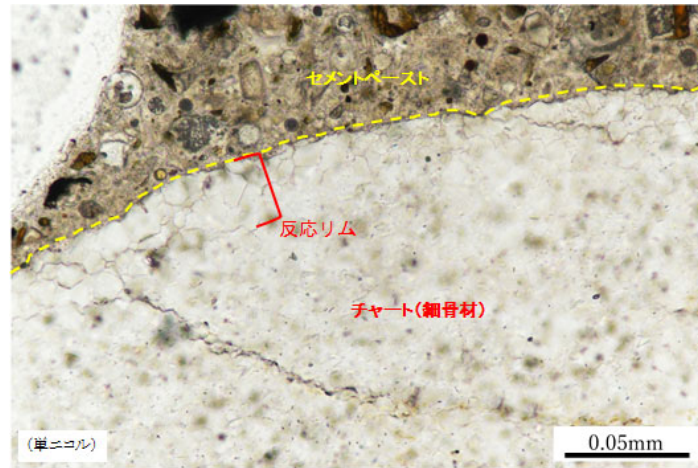
(3) 細骨材の観察結果 骨材の岩種・鉱物の確認

観察部位（4号炉）：タービン建屋基礎マット

砂岩・頁岩・珪質頁岩の岩片や流紋岩・石英片岩、鉱物片（石英・斜長石・輝石など）から構成される砂であり、生物遺骸（貝殻片など）は認められなかった。

ASRは、珪質頁岩・頁岩・チャート・流紋岩の一部粒子に反応リムの形成が認められる程度であり、軽微もしくはそれ以下（健全）であった。

いずれにも、反応性鉱物として微晶質～隠微晶質石英（遅延膨張性）が認められた。



観察部位	骨材	岩種	アルカリ骨材反応の進行段階					総合評価
			I 骨材の反応リム	II セメントペーストへのゲルの滲み	III 骨材のひび割れ、ゲル充填	IV セメントペーストのひび割れ、ゲル充填	V セメントペースト気泡へのゲル充填	
高浜4号炉 タービン建屋 基礎マット	細骨材	頁岩	+	-	-	-	-	<1
		珪質頁岩	+	-	-	-	-	<1
		チャート	+	-	-	-	-	<1
		流紋岩	+	-	-	-	-	<1
	総合評価							<1

アルカリ骨材反応の程度 ◎:顕著 ○:あり +:痕跡程度
劣化度の評価 1:軽微 2:中程度 3:顕著

※ 偏光顕微鏡観察でASRの兆候が認められた骨材のみを記載した。

偏光顕微鏡観察結果

(4) ASR進行段階の確認結果

□粗骨材

- ・ ASRの現象は認められなかった。

□細骨材

- ・ 骨材粒子の周辺に反応リムが生じているが、極めて軽微な反応状況であることが確認された。

(5) 潜在膨張性の評価

□粗骨材

- ・ 急速膨張性を有する反応性鉱物は確認されなかった。
- ・ 遅延膨張性を有する反応性鉱物（微晶質～隠微晶質石英）が確認された。

□細骨材

- ・ 急速～遅延膨張性を有する反応性鉱物（ガラス）が確認された。
- ・ 遅延膨張性を有する反応性鉱物（微晶質～隠微晶質石英）が確認された。

① 遅延膨張性のアルカリ骨材反応の潜在性について

促進膨張試験結果

(1) 評価対象および試験方法について

- ・ 偏光顕微鏡観察において、粗骨材および細骨材の一部に遅延膨張性を有する反応性鉱物（微晶質～隠微晶質石英）が含まれることを確認したうえで、偏光顕微鏡観察を実施した箇所と同一箇所から採取したコアサンプルによる促進膨張試験を実施した。
- ・ 試験方法は、急速膨張性骨材及び遅延膨張性骨材に適するアルカリ溶液浸漬法※1を採用した。

※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（2014）」（P.316-319）に基づき実施

(2) 促進膨張試験結果について

- ・ 促進膨張試験（アルカリ溶液浸漬法）を実施した結果、膨張率が判定基準以下であるため、急速膨張および遅延膨張の可能性は低いと判断した。

試験方法	試験結果(28日での膨張率)		基準値※2
アルカリ溶液浸漬法	高浜3号炉	0.026%	21日で0.10%未満
	高浜4号炉	0.023%	

※2：既往知見（Katayama et al.「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan. Materials Characterization, Vol.53, nos.2-4, pp.105-122, 2004 (Printed version of the Proceedings, 9th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials (EMABM), Trondheim, Norway, 2003)」）を参考に設定

評価結果

(1) 劣化進行段階の評価結果

- 定期的な目視点検においてASRに起因するひび割れ等は認められておらず、1985年に実施したモルタルバー法により使用骨材は有害でないことを確認している。
- 特別点検（実体顕微鏡観察）の結果から、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。
- 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、偏光顕微鏡観察による詳細確認を実施した。その結果、実体顕微鏡観察結果と同様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反応性がないことを確認した。

(2) 潜在膨張性の確認結果

- 急速膨張性のASRは比較的早期に進行するため、既に反応は収束していると考えられる。目視点検及び顕微鏡観察の結果、急速膨張性のASRはほとんど発生していない。さらに、促進膨張試験の結果を踏まえても急速膨張性の潜在性は小さい。
- 遅延膨張性の反応性鉱物が一部の骨材に含まれることを確認し、潜在性を確認するために促進膨張試験を実施した。その結果が基準値未満であることから、遅延膨張性の潜在性は小さく、今後劣化が進行する可能性は低いと判断している。