

川内原子力発電所 1, 2号炉  
運転期間延長認可申請  
(審査会合における指摘事項の回答)

2022年2月28日

九州電力株式会社

No.	指摘事項の内容	頁
1	コンクリート構造物における、遅延膨張性のアルカリ骨材反応に対する潜在性について今後説明すること。	2～12
2	評価対象機器・構造物はいつ設工認を受けたのか、いつ運開したのか、具体的な日付を今後説明すること。	13, 14
3	経年劣化傾向の評価について、30年目と40年目の評価の差異を個別事象の説明時に説明すること。	個別事項説明時に別途説明予定
4	30年目の長期施設管理方針の有効性評価について、評価内容を個別事象ごとに今後説明すること。	個別事項説明時に別途説明予定
5	国外の運転経験の抽出元について、評価書本文にはPWR情報検討会等についての記載がないため、記載を適正化すること。	15
6	大飯発電所3号機加圧器スプレイライン配管溶接部における事象を踏まえた評価が評価書に記載されていないため、新知見として評価書または施設管理方針に適切に反映すること。	16

## 1-1 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。

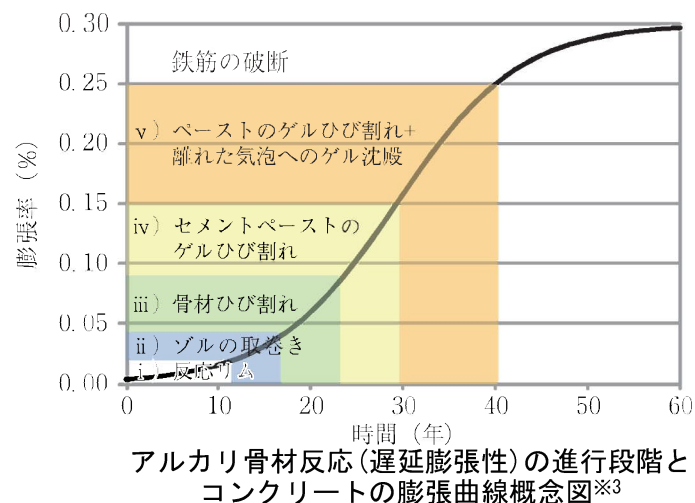
### ①急速膨張性

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。

### ②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。

次ページ以降、評価の方針、内容、結果を示すが、急速膨張性を対象とした評価に①、遅延膨張性を対象とした評価に②の記号を記載する。



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)」

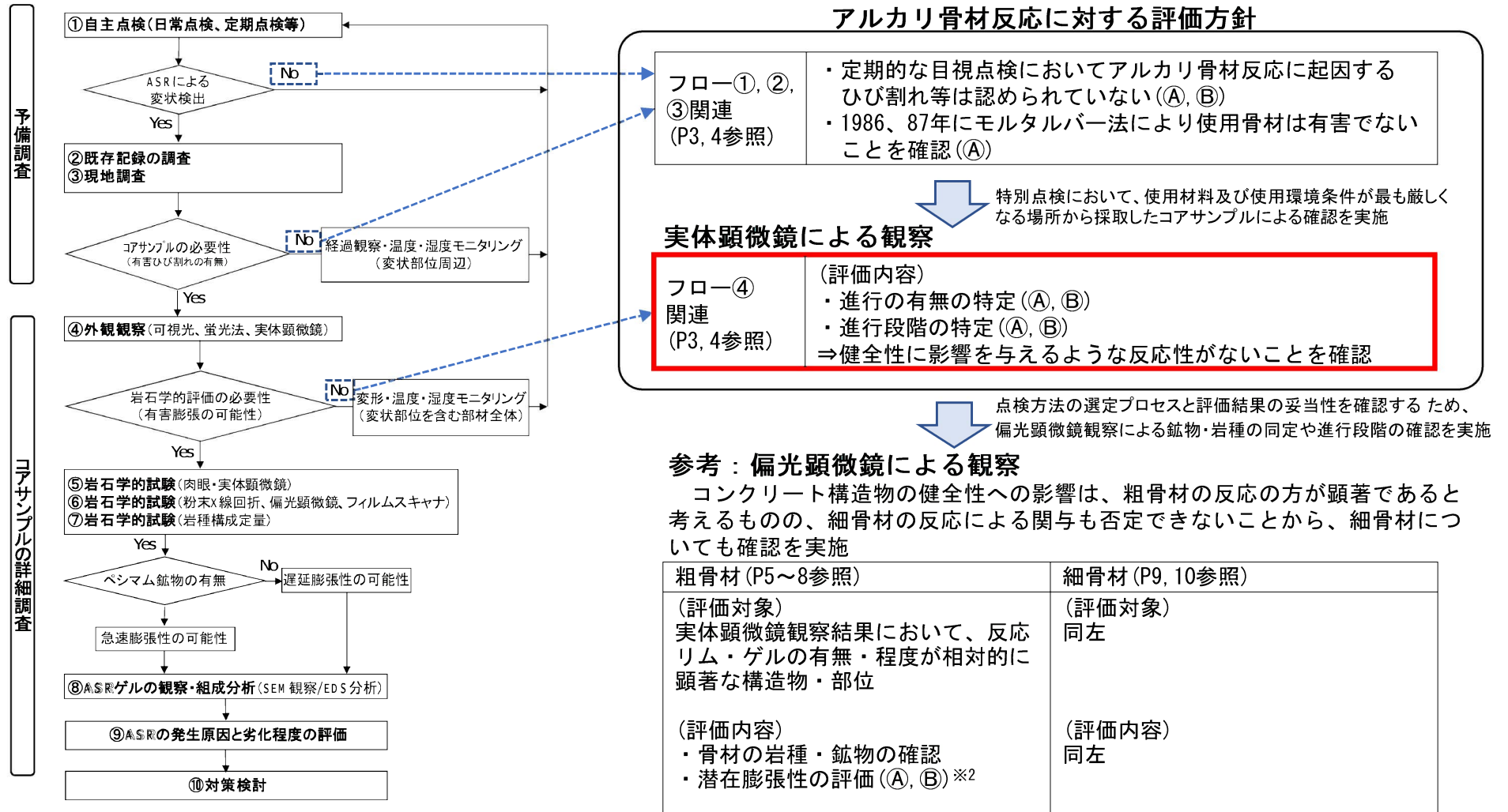
※2 日本コンクリート工学会「作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断に関する研究委員会報告書(2008年)」

※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)」

## 1-2 評価方針について

- ・アルカリ骨材反応の評価については、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。
- ・今回は参考として実施した偏光顕微鏡観察及び促進膨張試験の結果について詳細に示す。



※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)

※2 参考情報として促進膨張試験(JCI-S-011-2017(A)もしくはアルカリ溶液浸漬法(B))を行い、アルカリ骨材反応のポテンシャルを評価

### 1-3 特別点検（実体顕微鏡観察）の結果について

#### (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。粗骨材に安山岩を使用しているが、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<sup>※</sup>し、有害では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による観察を実施し、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(1981)に基づき1986年、JASS5N T-201(1985)に基づき1987年に実施。膨張率が材令6ヶ月で0.1%以下の場合は無害とする判定基準に対して最も高い骨材でも0.008%以下であった。

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（安山岩）
	細骨材	海砂と砕砂の混合
セメント		フライアッシュセメント B種
混和材料		AE減水剤





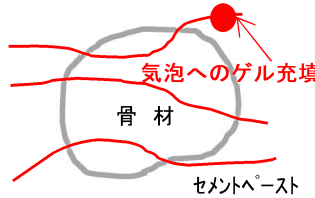





### 1-3 特別点検（実体顕微鏡観察）の結果について

#### (2) 判定基準について

アルカリ骨材の判定基準は下表の通り（アルカリ骨材反応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)」

		進行段階				
		i	ii	iii	iv	v
項目		骨材の反応リムの形成 	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						
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	

## 1-4 偏光顕微鏡観察結果について

### (1) 粗骨材の観察結果

#### a. 評価対象

特別点検（実体顕微鏡観察）の結果にて進行段階 ii のコアサンプルの一部を対象として、点検方法の選定プロセスと評価結果の妥当性を確認するため、岩石学的試験（偏光顕微鏡観察）による鉱物・岩種の同定や進行段階の確認を行った。

アルカリ骨材反応の特別点検結果

対象構造物	対象部位	実体顕微鏡観察結果 〔1号炉〕		実体顕微鏡観察結果 〔2号炉〕	
		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	ii	反応性なし	i	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	ii		i	
	使用済み燃料プール	ii		i	
	基礎マット	—		i	
タービン建屋	内壁及び床	ii		i	
	基礎マット	—		i	
取水槽	海中帯	ii		ii	
	干満帯	ii		ii	
	気中帯	ii	ii		
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎		ii	ii		
燃料取替用水タンク基礎		ii	ii		

     : 偏光顕微鏡観察実施部位（各コアサンプルから2つの薄片を作製し観察）

## 1-4 偏光顕微鏡観察結果について

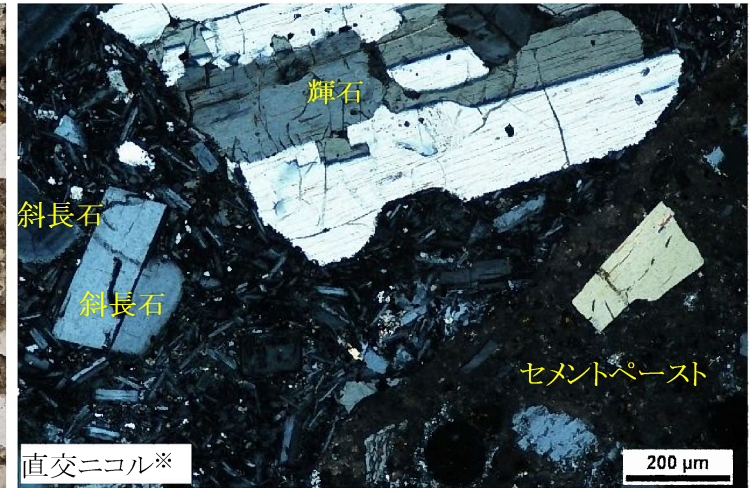
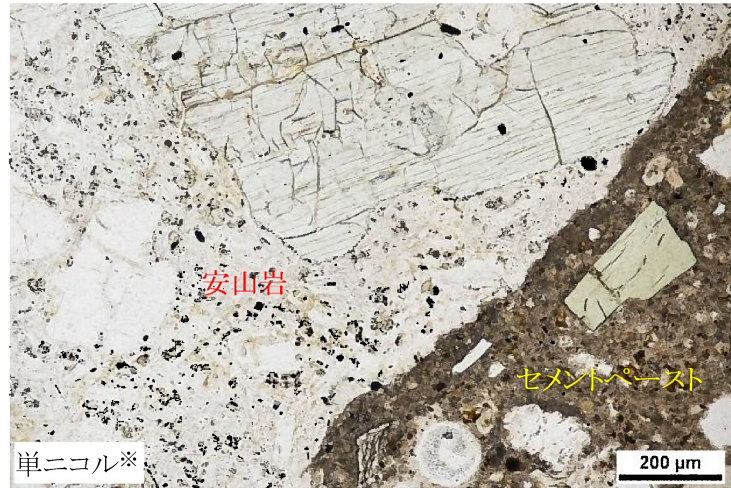
### (1) 粗骨材の観察結果

#### b. 骨材の岩種・鉱物の確認 (1/2)

観察部位 (1号炉) : 原子炉格納施設等 (外部遮蔽壁)

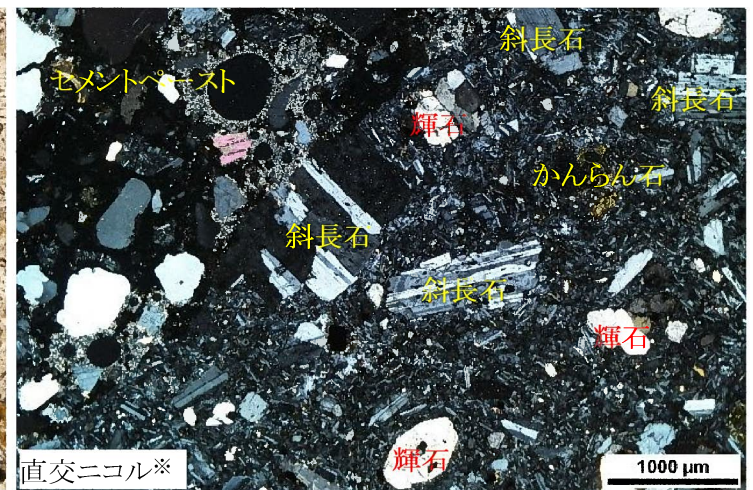
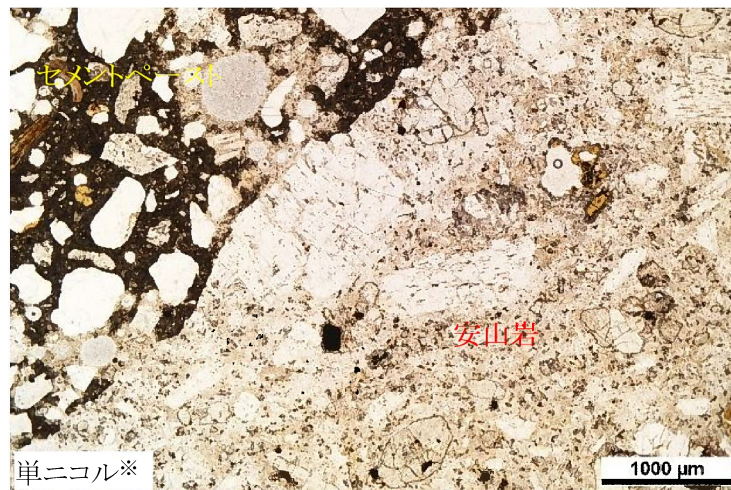
(薄片A)

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。



(薄片B)

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。



⇒骨材に反応リムの形成 (i) とゲルの滲み (ii) が認められたものの、極めて軽微な反応状況であった。

※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)



1-4 偏光顕微鏡観察結果について

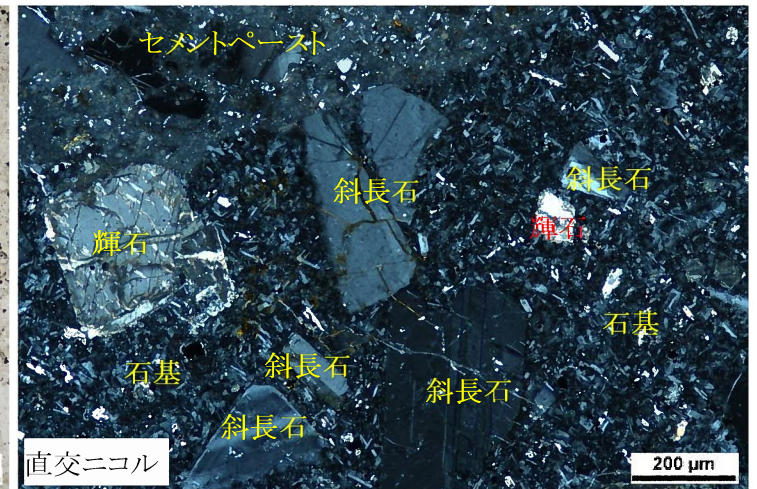
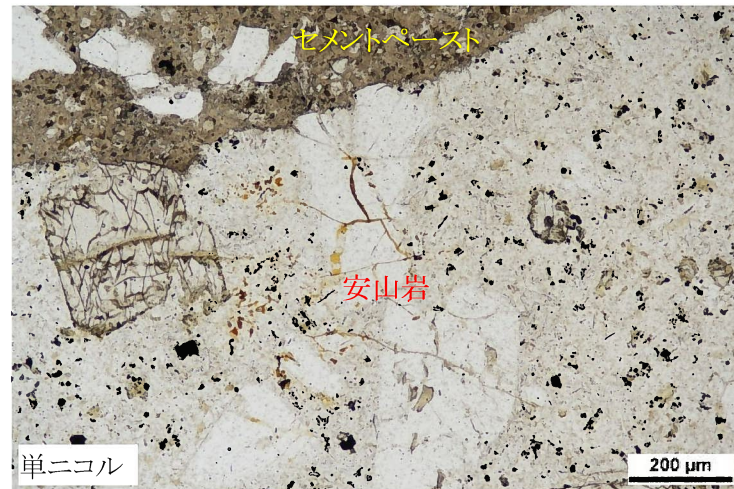
(1) 粗骨材の観察結果

b. 骨材の岩種・鉱物の確認 (2/2)

観察部位 (2号炉) : 取水槽 (海中帯)

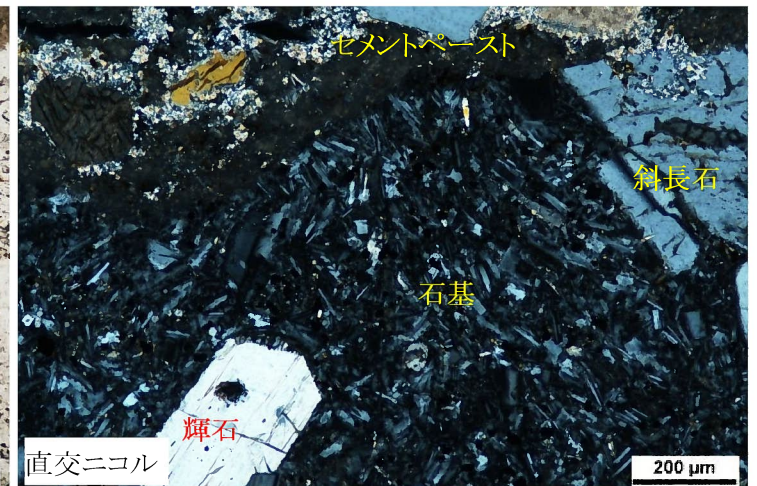
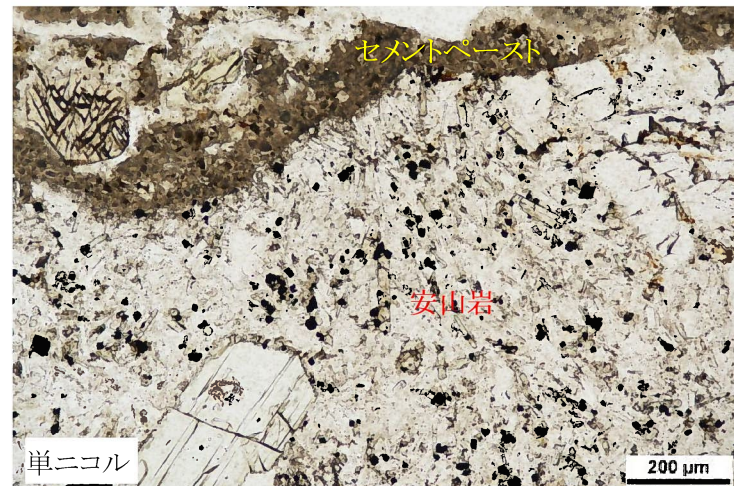
(薄片A)

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。



(薄片B)

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。



⇒骨材に反応リムの形成(i)とゲルの滲み(ii)が認められたものの、極めて軽微な反応状況であった。

## 1-4 偏光顕微鏡観察結果について

### (1) 粗骨材の観察結果

#### c. 潜在膨張性の評価

- 粗骨材に急速膨張性の反応性鉱物(クリストバライト等)が認められた。  
⇒促進膨張試験の結果※1、急速膨張の可能性は低いと判断した(A)。

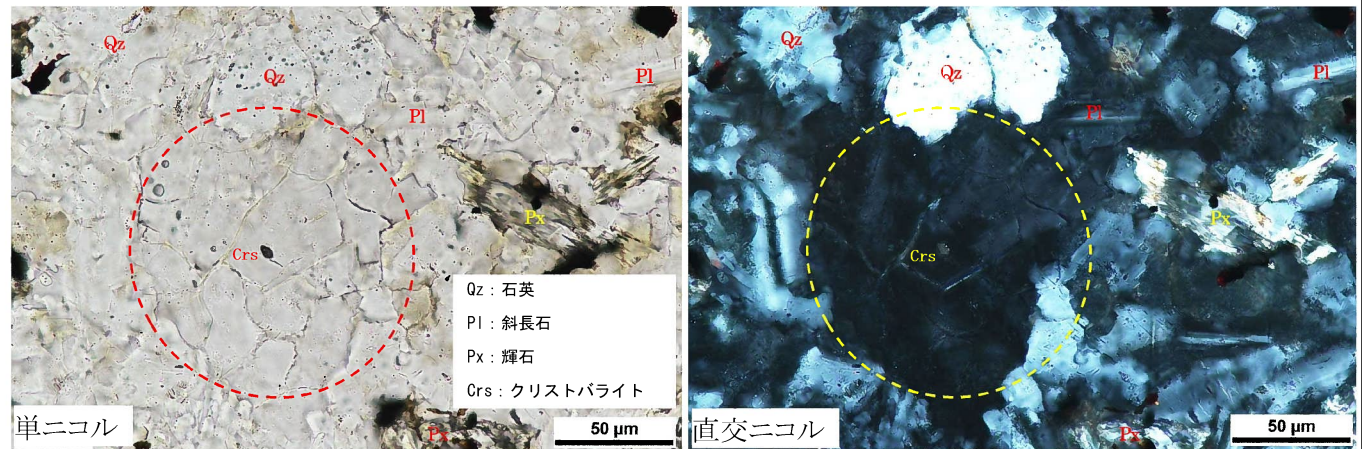
※1 JCI-S-011-2017に基づき2020年に実施。判定基準※2(3ヶ月以上の促進養生後の膨張率が0.05%未満)に対し、膨張率は0.004%程度であった。

※2 JCI-S-011-2017に判定基準は明確に示されていないため、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。

- 粗骨材に遅延膨張性の反応性鉱物(隠微晶質石英、微晶質石英)は認められなかった(B)。

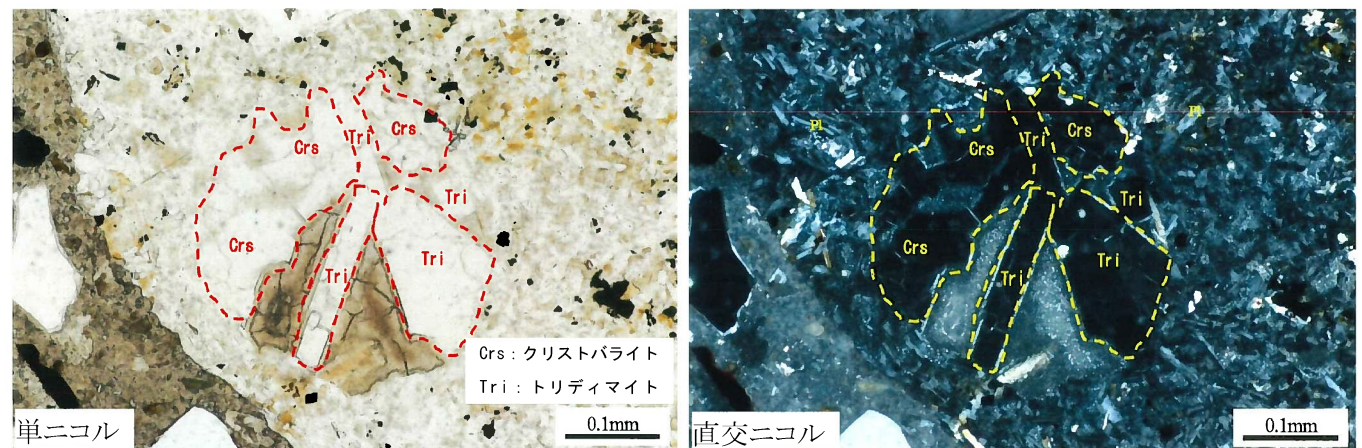
#### (1号炉(外部遮蔽壁)の例)

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。



#### (2号炉(取水槽)の例)

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とトリディマイトが確認された。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。トリディマイトは薄板状や楔形をしており、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。



## 1-4 偏光顕微鏡観察結果について

### (2) 細骨材の観察結果

#### a. 評価対象

細骨材についても、実体顕微鏡観察より反応リムやゲルが生じている可能性のある箇所(7箇所)を対象に偏光顕微鏡観察により、骨材岩種の特定及び反応性鉱物の有無の確認を実施した。

偏光顕微鏡により細骨材を観察した箇所

対象構造物	対象部位	細骨材観察箇所〔1号炉〕		細骨材観察箇所〔2号炉〕	
		該当	細骨材の岩種	該当	細骨材の岩種
原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	—		—	
	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	—		—	
取水槽	海中帯	○	海砂：軽石、流紋岩、安山岩、砂岩等	○	海砂：安山岩、流紋岩、頁岩、軽石等
	干満帯	○	海砂：砂岩、頁岩、軽石、安山岩等	○	海砂：頁岩、安山岩、流紋岩、軽石等
	気中帯	○	海砂：砂岩、頁岩、流紋岩、安山岩等	○	海砂：頁岩、安山岩、流紋岩、砂石等
非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎	—		○	砕砂：安山岩 海砂：花崗岩質岩、頁岩、流紋岩、砂岩等	
燃料取替用水タンク基礎	—		—		

○：遅延膨張性の反応性鉱物が確認された箇所

## 1-4 偏光顕微鏡観察結果について

### (2) 細骨材の観察結果

#### b. 骨材の岩種・鉱物の確認

- ・ 細骨材である砕砂は安山岩、海砂には安山岩、流紋岩、頁岩、軽石等が含まれている。このうち流紋岩については、斜長石の斑晶並びに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。
- ・ 細骨材にも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ひび割れや膨張は確認されなかった。

#### c. 潜在膨張性の評価

- ・ 細骨材に急速膨張性の反応性鉱物(クリストバライト等)が認められた。

⇒促進膨張試験の結果※1、急速膨張の可能性は低いと判断した(Ⓐ)。

※1 JCI-S-011-2017に基づき2020年に実施。判定基準※2(3ヶ月以上の促進養生後の膨張率が0.05%未満)に対し、膨張率は0.006%程度であった。

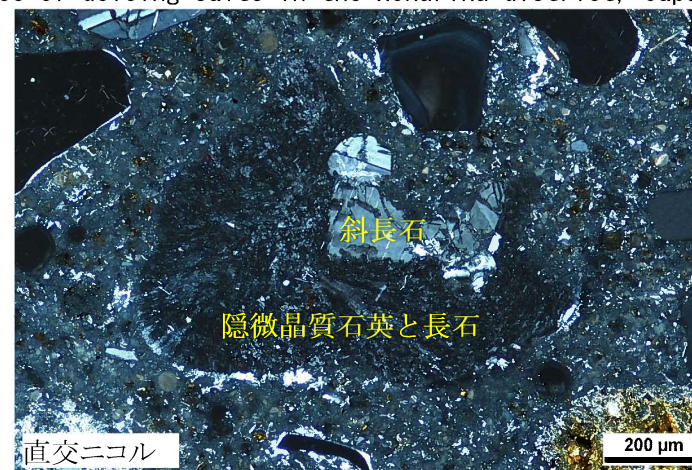
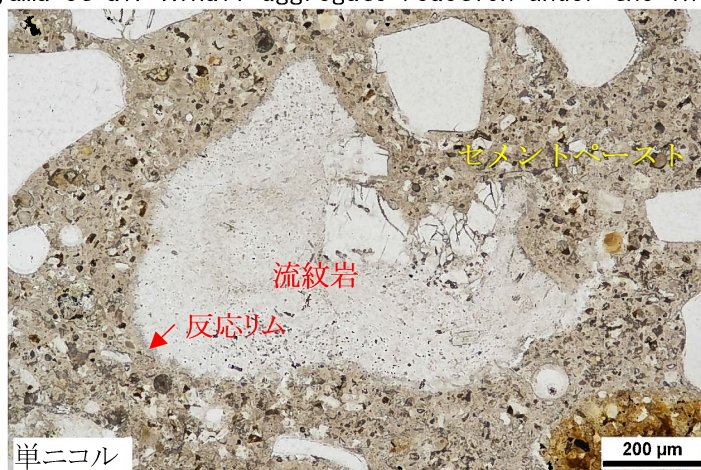
※2 JCI-S-011-2017に判定基準は明確に示されていないため、土木研究センター「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発(1989)」を参考にした。

- ・ 「取水槽」の一部の部位(前頁の赤枠)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。

⇒促進膨張試験の結果※3、遅延膨張の可能性は低いと判断した。なお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(Ⓑ)。

※3 アルカリ溶液浸漬法を2022年に実施。判定基準※4(21日で膨張率が0.1%未満)に対し、28日浸漬させても膨張率は0.069%程度であった。

※4 Katayama et al.「Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan (2004)」参照



遅延膨張性の反応性鉱物(取水槽 気中帯(1号炉)の例)

## 1-5 評価結果

- 定期的な目視点検においてアルカリ骨材反応に起因するひび割れ等は認められておらず (A, B)、1986、87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 (A)。
- 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 (A, B)。
- 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確認を実施した。その結果、偏光顕微鏡観察と実体顕微鏡観察の進行段階の評価は同等であることを確認した。
- 粗骨材 (安山岩) 及び細骨材 (海砂中の安山岩等) には急速膨張性の反応性鉱物が、一部の部位の細骨材 (海砂中の流紋岩) には遅延膨張性の反応性鉱物が含まれていることを確認した。  
⇒促進膨張試験 (JCI-S-011-2017 (A)、アルカリ溶液浸漬法 (B)) の結果から、今後、劣化が進行する可能性は極めて低いと判断している。詳細は以下の通り。

評価内容	粗骨材	細骨材
骨材の岩種・ 鉱物の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・砕砂は安山岩、海砂には安山岩、流紋岩、頁岩、軽石等が含まれている</li> <li>・流紋岩は、斜長石の斑晶ならびに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</li> </ul>
潜在膨張性の 評価 (急速膨張性 /遅延膨張性)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・急速膨張性の反応性鉱物が認められた ⇒促進膨張試験 (JCI-S-011-2017) を実施し、膨張率が判定基準未満であったため、急速膨張の可能性は低いと判断した (A)</li> <li>・遅延膨張性の反応性鉱物は認められなかった (B)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・急速膨張性の反応性鉱物が認められた ⇒促進膨張試験 (JCI-S-011-2017) を実施し、膨張率が判定基準未満であったため、急速膨張の可能性は低いと判断した (A)</li> <li>・「取水槽」の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が認められた ⇒促進膨張試験 (アルカリ溶液浸漬法) を実施し、膨張率が判定基準未満であったため、遅延膨張の可能性は低いと判断した。なお、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 (B)</li> </ul>

- ・促進膨張試験（JCI-S-011-2017、アルカリ溶液浸漬法）の試験結果一覧については、「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」に記載予定。

イメージ

川内原子力発電所 1, 2号炉 促進膨張試験に関する試験結果

表 1 促進膨張試験（JCI-S-011-2017）結果

分類	1号炉				2号炉			
	対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値	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 <sup>※1</sup>	原子炉格納施設等	外部遮蔽壁	2020年10月～2021年2月	0.002	取水槽	海中帯 <sup>※3</sup>	2020年11月～2021年3月	0.004
細骨材の確認箇所 <sup>※2</sup>	取水槽	海中帯	2020年9月～2021年1月	0.003	取水槽	海中帯 <sup>※3</sup>	2020年11月～2021年3月	0.004
		干満帯	2020年9月～2021年1月	0.001		干満帯	2020年11月～2021年3月	0.001
		気中帯	2020年9月～2021年1月	0.006		気中帯	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		2020年12月～2021年3月	0.000

促進膨張試験  
(JCI-S-011-2017)の  
試験結果

※1 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に実施した偏光顕微鏡観察箇所

※2 実体顕微鏡観察より反応リムやゲルが生じている可能性のある箇所

※3 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

1号炉				2号炉			
対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値	対象構造物	対象の部位	試験実施年	測定値
取水槽	気中帯 <sup>※1</sup>	2022年12月～2023年1月	0.045	取水槽	干満帯 <sup>※1</sup>	2022年12月～2023年1月	0.069

促進膨張試験  
(アルカリ溶液浸漬法)の  
試験結果

※1 偏光顕微鏡観察の結果から、遅延膨張性の反応性鉱物が確認された箇所