

低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験 (その3) —幌延 URL における低アルカリ性吹付けコンクリート及び岩石の化学的性質—

大成建設 (株) 正会員 ○岡本 礼子¹⁾, 宮原 茂禎¹⁾, 武田 均¹⁾
(独) 日本原子力研究開発機構 中山 雅²⁾, 佐藤 治夫²⁾, 伊藤 誠二²⁾

1. 目的

わが国では高レベル放射性廃棄物の処分に関して、諸外国と同様、地下深部の岩盤中に埋設することとしている。堆積岩を対象とした場合、坑道の支保に用いられると考えられるコンクリート材料は周辺の地下水を高アルカリ化し、人工バリアとして用いられるベントナイトや天然バリアを構成する岩盤に影響を及ぼすことが懸念されている。このような影響を低減するため、日本原子力研究開発機構では、低アルカリ性セメント（以下 HFSC とする）を開発しており、昨年、幌延の地下施設の 140m 調査坑道において HFSC と普通ポルトランドセメント（以下 OPC とする）を用いた吹付けコンクリートの原位置吹付け施工性試験を実施した。前報（その2）では、地下施設の 140m 調査坑道における原位置施工試験について報告した。本報告では、吹付けコンクリートと岩石の化学的特性および吹付けコンクリートがその周辺の地質環境に与える影響を評価するための初期データについて報告する。

2. コンクリート配合及び分析項目

表-1 吹付けコンクリート配合

吹付けコンクリートの配合を表-1に示す。吹付け後 90 日以上経過してから、壁面よりコンクリートと岩石の界面部分のコアを採取し各種分析を実施した。表-2 に示す分析項目のうち、本報では主にコンクリートと岩石の鉱物分析の結果について報告する。

配合記号	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水	結合材			細骨材	粗骨材	混和剤
				セメント	シリカフェューム	フライアッシュ			
OPC	43.3	56.9	173	400	—	—	1068	806	2.00
HFSC	30.0	60.0	175	200	100	200	974	655	3.25

※使用混和剤 OPC：高性能減水剤，HFSC：高性能 AE 減水剤

表-2 分析項目

調査項目	分析方法	備考
鉱物の同定	X線回折法	不定方位法，定方位法
組織観察	走査型電子顕微鏡 (SEM)	
CH, CaCO ₃ の定量	示差熱-熱重量分析	
元素の分布状況	EPMA	Na, K, Ca, Al, Si, Cl
化学組成	湿式分析, 蛍光X線分析(ガラスビード法)	
間隙水のイオン分析	圧搾法	pH, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ⁺ , 全Fe, Na, K, Ca, Mg, Si, Al, TC(全炭素), TOC(全有機炭素)
中性化深さ	フェノールフタレイン溶液噴霧	コンクリートのみ
鉱物組成分析	岩石：Rietveld法 コンクリート：鈴木法, Rietveld法	

3. 分析結果

(1) コンクリートと岩石の鉱物組成

コアのコンクリート/岩石界面部分からそれぞれ幅 1cm の試料を切り出して粉碎し、定方位法と不定方位法による X 線回折測定により鉱物を同定した。同定結果を表-3 に示す。HFSC, OPC のどちらも水和鉱物としてエトリンガイトが確認された。

水酸化カルシウム(CH)は HFSC には確認されなかった。HFSC は長期の材齢では CH がポズラン反応により消費されて検出されなくなると報告されており¹⁾、整合した結果となった。施工試験を行った 140m 調査坑道は、これまでの調査から声問層に位置する珪藻質泥岩であることが分かっている。SEM 観察では図-1 に示すような珪藻土特有の多孔質構造が観察された。X 線回折測定から同定された鉱物は石英、長石類のほかに白雲母、イライトおよび黄鉄鉱であり、モンモリロナイトは確認されなかった。

次に岩石およびコンクリートで同定された鉱物の定量を試みた。岩石はリートベルト法により定量した。解析ソフトは SIROQUANT ver.3 を使用し、内部標準として Al₂O₃ を 10%内割りで添加して各鉱物量と非晶質量を求めた。コンクリートは水和物の定量精度を向上させるために鈴木らの方法²⁾を参考にしてプロモホルム-エタノール混合

キーワード：低アルカリ性セメント，鉱物組成，リートベルト法，吹付けコンクリート

連絡先 1) 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 土木技術研究所 TEL 045-814-7228

2) 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432 番 2 (独) 日本原子力研究開発機構 TEL 01632-5-2022

液(密度:2.383)により重液分離処理を行ったうえで浮遊物の構成鉱物を定量した。また、岩石と同様に浮遊物のリートベルト法による定量を行った。重液分離により浮遊物には水和生成物が多く含まれ、沈降物には骨材が多く含まれることになる。定量結果を表-4に示す。HFSCの各分析法の結果を比較すると、エトリングタイトの生成量が大きく異なる結果となったが、炭酸カルシウムや水酸化カルシウムの結果は概ね一致した。また、リートベルト法によるHFSCの非晶質量は54%と多くなった。表-5に示した浮遊物の蛍光X線分析による化学組成のCaO量と比較すると、浮遊物中にCaO含む鉱物がほとんど定量されていないため、水和生成物はC-S-Hなどの非晶質物質が多いと推察される。岩石においても非晶質量が多く、化学組成と対比するとSiO₂が鉱物として定量されていないため、非晶質部分に多く含まれていると推察される。

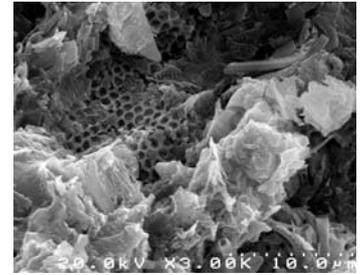


図-1 SEM観察像(岩石)

表-3 岩石とコンクリート中の鉱物同定結果

	石英	長石類	粘土・雲母	緑泥石	黄鉄鉱	炭酸カルシウム	エトリングタイト	水酸化カルシウム
HFSC	○	○	○	×	×	○	△	×
OPC	○	○	○	×	×	○	△	○
岩石部	○	○	○	○	○	×	×	×

○:存在する, △:存在するが少量, ×:存在しない

表-4 岩石とコンクリート中の鉱物定量結果(質量%)

試料名	HFSC 岩石	OPC 岩石	HFSC コンクリート	HFSC コンクリート	OPC コンクリート
定量方法	Rietveld	Rietveld	Rietveld	鈴木法	鈴木法
炭酸カルシウム			3.2	2.2	7.6
水酸化カルシウム			0.1	0.0	4.9
エトリングタイト			3.0	0.4	0.5
ケイ酸ゲル				1.6	1.4
石英	9.9	9.3	20.0		
長石類	8.9	8.4	15.0		
緑泥石	1.2	1.2	1.3		
白雲母	17.0	8.4	3.5		
イト	1.9	2.4	0.0		
黄鉄鉱	2.3	1.4			
非晶質	59	68	54		

(2) 元素の分布状況

コンクリートや岩石およびその界面の元素の分布状況を確認するためにEPMAにより、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、ケイ素(Si)、アルミニウム(Al)、塩素(Cl)の分布を測定した。図-2にOPCコンクリートと岩石との界面部分を測定した結果を示す。コンクリート中ではCaはペースト部分に、Al、Siは骨材で高濃度となっている。岩石部分ではSiが高濃度となっている。また、界面近傍の岩石部分ではCaが検出されており初期にコンクリート中のCaイオンが岩石に移動したと考えられるが、深さはわずか1mm程度であった。なお、HFSCではCaイオンの移動は観察されなかった。ただし、アルカリによる岩石の変質についてはさらに長期的な観察が必要と考えられる。

表-5 コンクリート中の元素分析結果(蛍光X線分析)

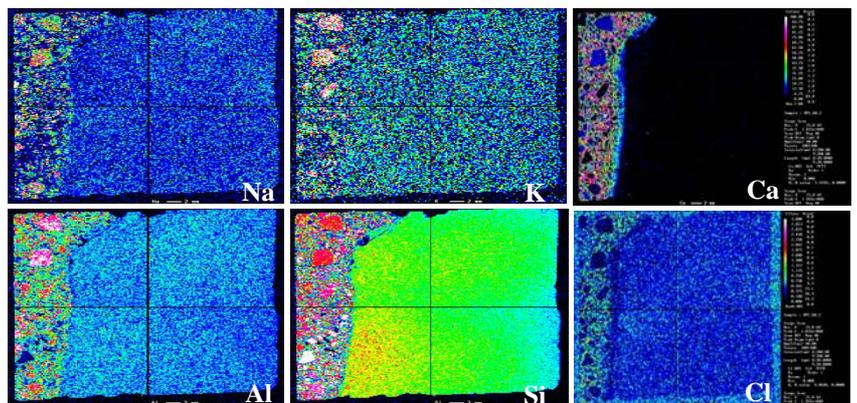
試料	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
HFSCコンクリート浮遊物	1.42	1.22	7.98	45.8	1.82	0.974	25.1	3.20
HFSC岩石	1.49	1.47	8.53	54.0	1.27	1.050	18.9	3.15

4. まとめ

- ・低アルカリ性セメントコンクリート中の結晶質の水和生成物は鈴木らの方法、リートベルト法により推定することができた。ただし、エトリングタイトについては各方法により結果が異なることから、更なる精度の向上が必要であると考えられる。
- ・EPMAによる主要元素のマッピングはコンクリート、岩石中の元素の移動などが視覚的に得られることから、長期的な分布状況変化を確認するために有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 小西一寛ほか：幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの施工性に関する研究, JAEA-Research 2006-040
- 2) 鈴木一孝ほか：コンクリートの耐久性評価を目的とした水和組織の分析手法に関する研究, コンクリート工学論文集, 第1巻, 第2号, pp.39-49, 1990



界面をはさんで左側がコンクリート, 右側が岩石

図-2 OPCコンクリートと岩石界面の元素分布