

報告 異種材料接合部からのコアボーリングによる供試体採取技術の開発

池野 成裕*1・人見 尚*2・鶴山 雅夫*3

要旨:放射性廃棄物最終処分場における人工・天然バリアによる多重バリアの性能評価試験を実施する上で、異種材料接合界面の化学的な相互作用などを把握することは重要である。そのため、異種材料接合部を保持した状態にて供試体を採取する手法の確立のために模擬試験体を作製し、コアボーリングを実施した。はじめに、ベントナイトを内包した低発熱低アルカリコンクリート供試体を作製した。次に、目的コアの円周に沿ってφ48mmの保護孔を掘削し、レジン注入し硬化させた。最後にレジン硬化を確認後、保護孔に沿ってφ150mmのコアリングを行うことにより、材料境界部が保持された供試体採取が可能であることを確認した。

キーワード: サンプリング技術, 化学分析

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物最終処分において、人工・天然バリアによる多重バリアを使用した地層処分の検討がされている。放射性廃棄物には半減期の長い物質が含まれるために、多重バリアには数千年から数万年という長期間にわたる安定性が要求される。この中で、人工バリア材としてセメント系材料及びベントナイトなどの粘土系材料緩衝材の使用が検討されており、人工バリア材料の長期耐久性評価が重要となる^{1,2,3)}。

幌延深地層研究センターでは、地下施設の350m調査坑道において実規模の人工バリア性能確認試験を実施している。この試験は、人工バリアの定置後に地下水が模擬廃棄物まで到達する過程で生じる岩盤と地下水およびコンクリートに対する化学的相互作用を評価する。比較的長期にわたる試験であることから、人工バリアの相互作用についてデータを収集し、モデルの構築・再評価を行うことを目的に実施されている⁴⁾。

国外では、スイスのモンテリ岩盤試験場において、岩盤とコンクリートの長期耐久性や化学的相互作用の評価などが実施されている^{5,6,7)}。原位置試験を実施する上で重要な技術の一つに、コアリングによる試料の採取がある。

本試験は、原位置のコアリング技術の確認・向上を目的に、実規模のコアサンプリング実証試験を実施したものである。本報告では、コンクリートおよびベントナイト接合部を有する試験体を作製し、材料接合部の一体型採取方法および断面部の観察結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 異種材料接合部の採取方法

本報告では、目的コアの円周部に任意数の小径コアを

掘削し、開口部にレジン注入することで補強した保護孔により異種材料同士を一体化して、目的コアを掘削するオーバーコアリング法を実施した。オーバーコアリング法により、レジン硬化する時間は要するが、材料接合境界部や軟弱地層がレジンによる補強により一体化されたサンプリングが可能になると考える。

2.2 試験体の作製

試験体の形状および寸法を図-1に示す。試験体は、掘削試験に供するため、無筋コンクリートとした。使用したベントナイトの仕様を表-1、使用材料を表-2、およびコンクリートの配合を表-3にそれぞれ示す。コンクリートは、先行研究の放射性廃棄物処分場のプラグ模擬試験を参考に、結合材として低熱ポルトランドセメントとフライアッシュを用いることで温度ひび割れの発生を低減した⁸⁾。水結合材比は45%とし、低熱ポルトランドセメントの30%をフライアッシュに置換したものを結合材として用いた。

試験体は次の手順で作製した。はじめに、500 mm × 500 mm × 450 mmのブロック状のベントナイトを作製した。次に強制2軸ミキサーによりコンクリートを練混ぜ後、型枠の底から高さ250 mmまで約160 Lのコンクリートを打設した。型枠の底には、プラグを模擬した形状を作製するために、φ220 mm、高さ100 mmの円柱状型を設置した。その後、1日封かん養生し、ベントナイトを設置した。ベントナイトの側壁部および上部にコンクリートを打設する前に、打継目の剥離を抑制するために、底部のコンクリート表面の目粗しを行った。コアリングの際に、コンクリートとベントナイトの界面に生じるひずみ量を測定するために、写真-1に示す通り、コンクリートとベントナイト境界部分にひずみゲージを取り付けた。本報告では、ひずみのデータは割愛する。

*1 大林組技術研究所 生産技術研究部 (正会員)

*2 大林組技術研究所 生産技術研究部 博士(工学) (正会員)

*3 大林組 原子力環境技術部

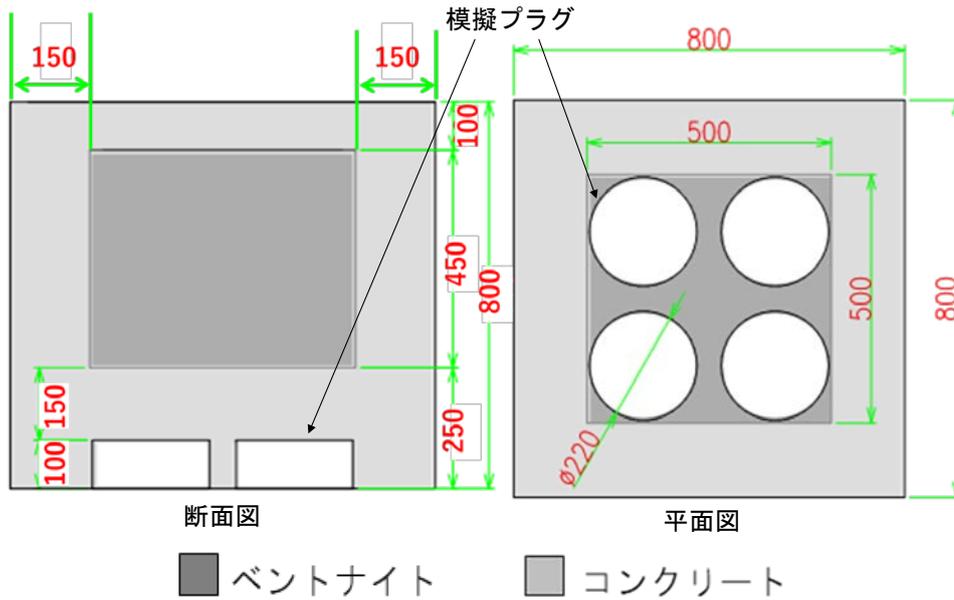


図-1 供試体の概要

表-1 ベントナイトの仕様

材料	クニゲルV1 $\text{Si}_8(\text{Al}_{3.34}\text{Mg}_{0.66})\text{Na}_{0.66}(\text{OH})_4$
目標含水比	14%
乾燥密度	1.37Mg/m ³
寸法	0.5m × 0.5m × 0.45m

表-2 使用材料

材料	記号	詳細
水	W	上水道水
セメント	C	低熱ポルトランドセメント, 密度 3.20 g/cm ³
フライアッシュ	FA	密度 2.29 g/cm ³
細骨材	S	陸砂, 密度 2.58 g/cm ³
粗骨材	G	砕石, 密度 2.65 g/cm ³

表-3 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	目標 スランプ (cm)	W/B (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単用量 (kg/m ³)				
					W	結合材 B		S	G
						C	FA		
20	18	45	4.5	47	185	288	123	759	880



写真-1 供試体作製状況

2.3 サンプルング手順

(1) 保護孔掘削

保護孔の掘削は、長さ 450mm、仕上がり直径 φ48mm のシングルコアチューブを用いた。保護孔掘削の手順概要図を図-2 に示す。図-2①右図のように小径コア(赤色部分)3 本を先に掘削し、レジンを注入後、図-2②右図のように 3 本(青色部分)小径コアを掘削し、レジンを注入する。掘削はベントナイトの膨潤等の影響を排除するために無水で実施し、掘削屑は圧縮空気を送風することで排出した。レジン硬化には 1 日硬化温度を保ち養生し、硬化状態はレジン注入と同時に作製した参照用レジンをを用いて確認した。

(2) オーバーコアリング

保護孔のレジン硬化後、オーバーコアリングを実施した。掘削に使用したドリルは OE-8(鉦研工業)とした。掘

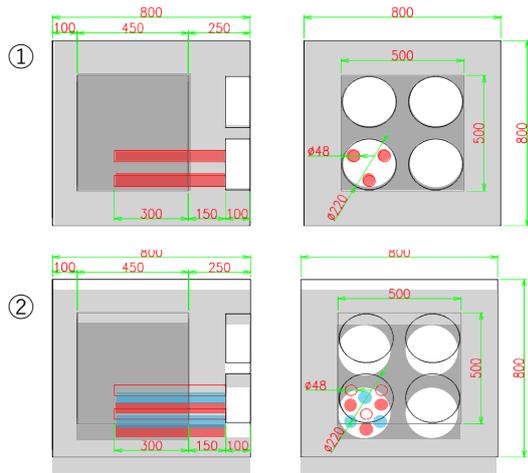


図-2 保護孔掘削の概要

削径は保護孔に沿うようにφ150mmのビットを使用し、採取されるコア径は123mmとした。採取したコアが損傷しないようチューブを使用し、保護対策を施した。掘削は保護孔と同様に無水で実施し、掘削屑は圧縮空気を常時送風することで排出した。掘削径が大きく、無水でオーバーコアリングを行うため、大量の粉塵発生を懸念して、集塵機を用意した。

2.4 観察手法

採取したコアのコンクリートとベントナイト接合部分を切断し、断面を目視で観察後に分析に供した。切断時の衝撃によるサンプルのクラッキングを避けるため、コアサンプルの表面全体に、収縮が小さい樹脂(エバーボンド EP-300, 硬化収縮率 2%)を塗り補強した。切断は、サンプルへの影響を考え、無水で実施した。

コンクリートとベントナイト界面における元素分布を評価するため、元素マッピングを蛍光 X 線分析(H 社製 XGT7200V)により取得した。取得する元素は、コンクリートおよびベントナイトを構成する主元素として Na, Si, S, Ca, Fe を測定した。蛍光 X 線分析は、X 線源のビーム系は約 10μm, 測定環境は大気圧中で測定した。観察領域は、30mm×30mm の広域と拡大域 5mm×5mm のベントナイトとコンクリート接合部分とした。

3. 試験結果

3.1 コアリング掘削試験

保護孔掘削状況を写真-2 に示す。保護孔 1 本の掘削にかかった時間は 30 分から 60 分程度であった。掘削孔はレジンを注入後、1 日養生を行いレジンが硬化していることを確認した。

レジンの注入口は、オーバーコアリング時に掘削の障害になるため、取り外せる機構とし、オーバーコアリングのガイドを設置する直前に取り外した。



写真-2 保護孔掘削状況



写真-3 オーバーコアリングの実施状況



写真-4 オーバーコアリング完了後の開口部

オーバーコアリングの実施状況を写真-3 に示す。オーバーコアリングにかかった時間は 60 分程度であった。オーバーコアリング完了後の開口部を写真-4 に示す。掘削したコアを写真-5 に示す。レジンの硬化が完了し

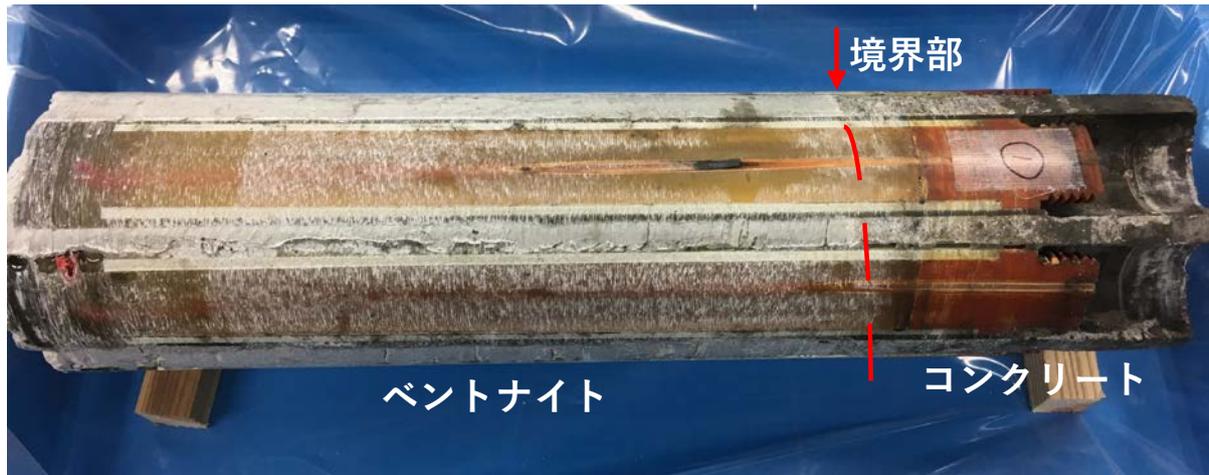


写真-5 オーバーコアリングにより採取されたコア

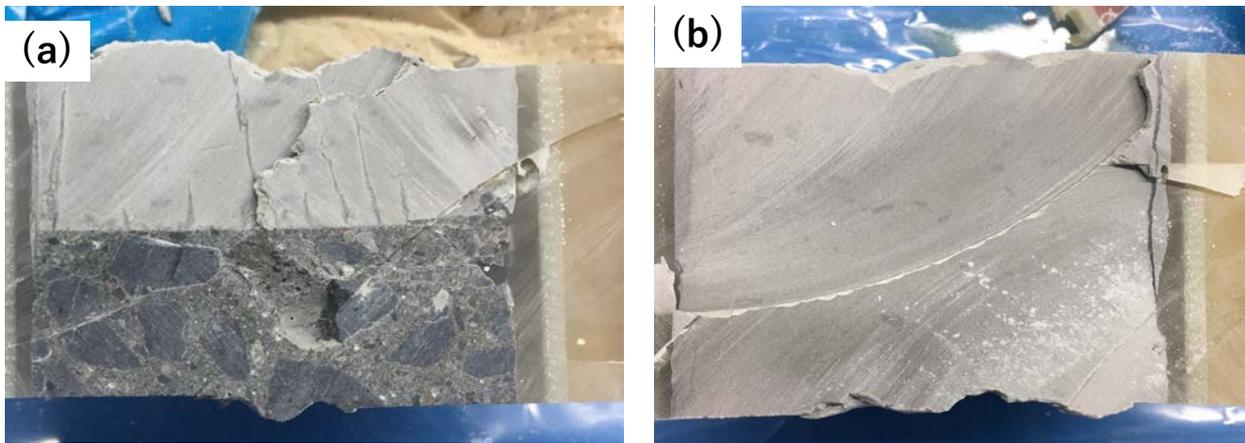


写真-6 コンクリートとベントナイトの境界部(a)とベントナイト部分(b)の断面画像

ており、掘削の衝撃による破断はコンクリートとベントナイト接合境界部分、ベントナイト部分共に存在せず、レジンの補強効果により、コンクリートおよびベントナイトが一体化されたコアサンプルが取得された。

3.2 蛍光 X 線分析の結果

蛍光 X 線分析を実施するにあたり、コンクリートとベントナイト境界部およびベントナイト部分のみそれぞれ断面部観察ができるように、加工を行った(写真-6)。目視レベルによる確認では、コンクリートとベントナイトの接合部は、オーバーコアリングの振動や衝撃による割れ目や剥離は、生じていなかった(写真-6(a))。同様にベントナイト側においても、割れ目や剥離等は生じていなかった(写真-6(b))。従って、保護孔にレジンを注入、硬化させる工程は、材料接合部を保持するだけでなく、材料内部の構造保護にも効果的であることが示唆された。

広域蛍光 X 線元素マッピングの結果を図-3 に示す。図-3(a)に蛍光 X 線分析を実施したマッピングエリアを

示す。ベントナイト部分に発生したひび割れは、供試体を測定のために真空状態にした際に発生した。図-3(b)より Na はコンクリートおよびベントナイト側においても検出されなかった。図-3(c)より、Si はコンクリート、ベントナイト側共にマッピング領域では一様に分布していた。図-3(d)における S の結果は、検出値が低く検出を確認できなかった。図-3(e)より Ca はコンクリート側から強く蛍光 X 線が検出され、コンクリートとベントナイトの境界が明確に区分できた。図-3(e)からは Ca がベントナイト側に拡散している様子は確認できない。図-3(f)の鉄の分布は、コンクリート側に一部存在していることを確認した。

詳細な界面の状態を評価するために、図-3(a)の赤枠中の 5mm×5mm を拡大した測定結果を図-4 に示す。図-4(a)に示す測定箇所は、コンクリートがベントナイト側の割れ目部分に充填されていることがわかる。図-4(b)より Na は、広域マッピングの結果(図-3(b))と同様

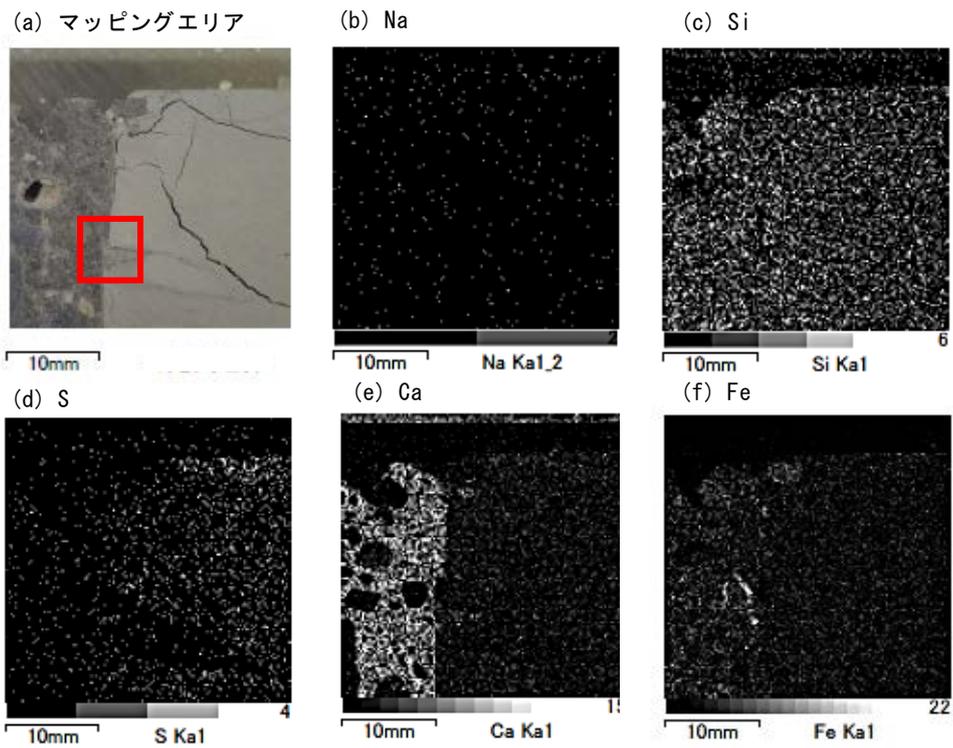


図-3 広域蛍光X線元素マッピングの結果
 (a) マッピングエリア, (b) Na, (c) Si, (d) S, (e) Ca, (f) Fe

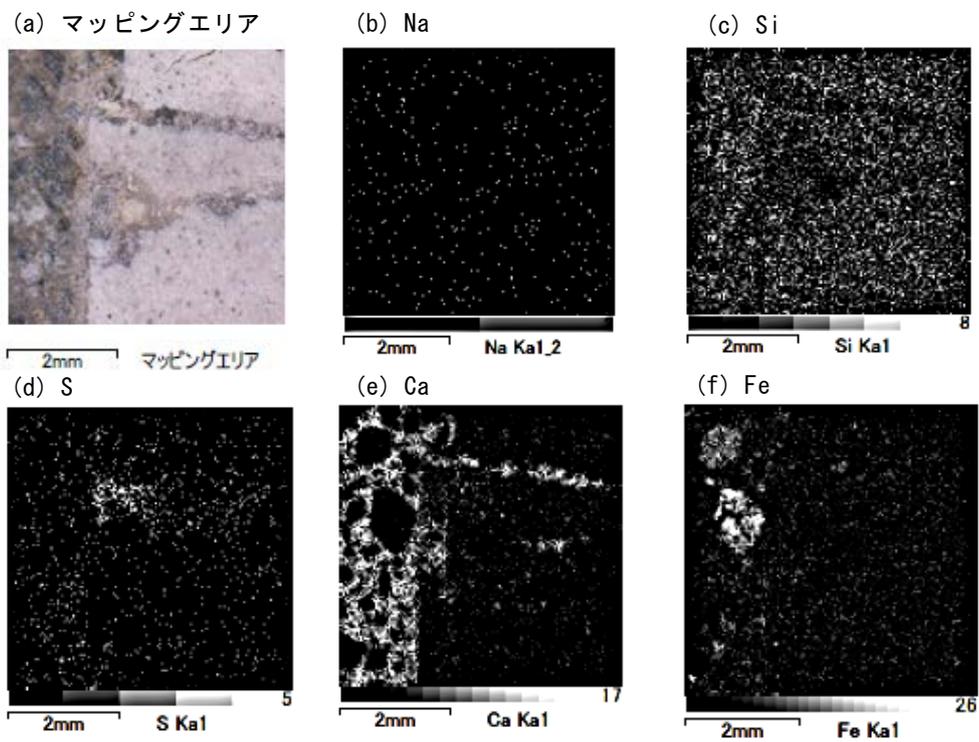


図-4 詳細蛍光X線元素マッピングの結果
 (a) マッピングエリア, (b) Na, (c) Si, (d) S, (e) Ca, (f) Fe

に検出されなかった。Siの分布は、詳細に測定したところ、コンクリートとベントナイト境界部分にコントラス

トが生じている(図-4(c))。これは、Siの含有量が異なる結果を反映している。Sの詳細マッピングの結果は図

−4(d)より、広域マッピングでは確認できなかった微量な凝集がコンクリートとベントナイト界面近傍に観察された。

Ca は広域マッピングの結果と同様にコンクリートの境界が明確に区分できた(図−4(e))。また、ベントナイトの割れ目部分に充填されているコンクリート部分のマッピング結果から、掘削によるダメージはなく、コンクリートとベントナイト接合部が保持されていることを確認した。図−4(f)のFe マッピングの結果より、細骨材と思われる部分にFeが集中していることがわかった。

以上のことから、オーバーコアリングにより得られた材料接合部を有する試料は、蛍光X線元素マッピングの結果から、微細領域分析に耐えうる状態で保持されていることが判った。

4. まとめ

放射性廃棄物最終処分場における人口バリア性能を評価する試験への応用を目的として、異種材料接合部を保持したコアリング手法の開発を実施した。従来法で、コアリングが困難な材料であるベントナイトを含む、コンクリートとベントナイト接合部を取得した。その結果、以下のことが判った。

- (1) 保護孔、および、オーバーコアリング共に無水で掘削が実施可能であり、圧縮空気による掘削屑排出が有効であった。
- (2) オーバーコアリングによって、保護孔に注入されたレジンに沿って掘削が進み、長さ450mmのコンクリートとベントナイトが一体化したコアサンプルを得た。
- (3) 採取したコアを切断し断面部を目視による観察を行った結果、レジンの補強効果によりコンクリートとベントナイト接合部は保持されている。
- (4) 接合部の断面に対して元素マッピングを行った結果、コンクリートとベントナイト境界が明瞭に確認できた。

参考文献

- 1) 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会：余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる各種移行評価パラメータ設定の考え方，土木学会，2008.
- 2) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—，JNC TN1400 99-020，1999.
- 3) 電気事業連合会・核燃料サイクル機構：TRU 廃棄物処分技術検討書—第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ—，JNCTY1400 2005-013，2005.
- 4) 藪内聡，國丸貴紀，岸淳康，小松満：水平坑道の掘削に伴う坑道周辺の間隙水圧・岩盤水分量モニタリング—幌延深地層研究所 140m 調査坑道での測定—，土木学会論文集 C，67 巻，pp.464-473，2011.
- 5) U. Mader, A. Jenni, C. Lerouge, S. Gboreau, S. Miyoshi, Y. Kimura, V. Cloet, M. Fukaya, F. Claret, T. Otake, M. Shibata, B. Lothenbach: 5-year chemio-physical evolution of concrete-claystone interfaces, Mont Terri rock laboratory (Switzerland), Swiss J. Geosci., Vol.110, pp.307-327, 2017.
- 6) 武内邦文，山本修一，志村友行，河村秀紀，B. Scheyn, U. Mader：モンテリ岩盤試験場における原位置試験(高アルカリセメント間隙水と岩盤の相互作用)，土木学会第58回年次学術講演会，CS7-052，2003.
- 7) 三好悟，木村志照，U. Mader, V. Cloet：バリア材料の化学的相互作用に関する原位置試験—古海水環境での堆積岩—アルカリ性浸出水の反応による M-S-H 生成，原子力学会学術講演会，2H04，2017.
- 8) 秋山吉弘，寺田賢二，山田淳夫：地下空洞型処分施設施工技術の確証試験の概要，原環センター技術報告，RWMC-TRJ-15001，2016.