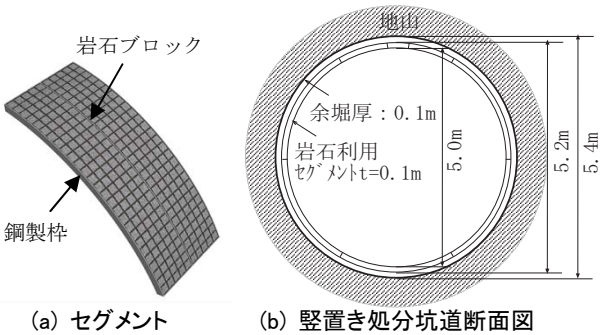
岩石利用セグメント支保工の裏込め材の実規模充填実験

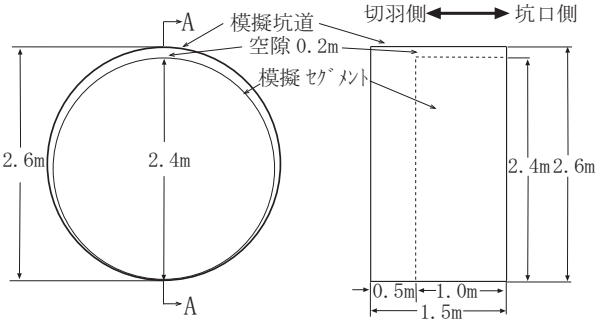
清水建設　技術研究所　　正会員　○多田 浩幸　熊坂 博夫　齋藤 亮　中谷 篤史

1. はじめに　放射性廃棄物処分施設における支保材料あるいはグラウトに用いられるセメントは、地下水と反応して高アルカリ環境を生じさせる。この高アルカリ環境はベントナイトや周辺岩盤のバリア性能に悪影響を及ぼすことが懸念されている。著者らは、セメントの使用を極力抑えた坑道の構築方法について提案し、いくつかの案についてその実現可能性の検討を行っている[1)]。この中の一つの案である岩石利用セグメント支保工は、現在検討されている吹付けコンクリートを主体とした支保工に対して、セメントの使用量を大幅に低減できる可能性があることを報告している[2),3)]。岩石利用セグメント支保工を用いて坑道を構築する場合、坑道の内面とセグメントとの間に空隙が生じ、この空隙に対して裏込め材の充填が必要となる。この裏込め材として、セメント系材料を極力使用しないために砕石を用いて裏込め充填する方法を提案している。本報では、実規模大の坑道とセグメントを模擬した実験装置を用いて、坑道とセグメントの間の空隙に砕石を吹き込み方式で充填する充填実験を行い、充填装置の性能、砕石の充填性について調べたので報告する。

2. 実験方法　岩石利用セグメント支保工は図１(a)に示すような鋼製枠と花崗岩等の岩石ブロックを組み合わせた複合セグメントを利用した支保工である。この支保工を軟岩系岩盤の竪置き方式の処分坑道に適用した場合の坑道断面を図１(b)に示す。ここで、余堀厚は 0.1m と想定した。実験装置の寸法を図２に示す。実際の実験装置は竪置き処分坑道の半分程度の寸法とした。セグメントは坑道の底盤に接した状態とし、天端直上の空隙が 0.2m となるようにした。実験装置の外観を写真１に示す。坑道の下半をコンクリート架台、上半を外周型枠で模擬した。外周型枠には半透明面板を用いて、充填状況を観察できるようにした。セグメントの外面は内周型枠で模擬した。底部の一部を半透明面板とし、それ以外の内周型枠はスチール面板とした。模擬セグメントは妻板を介して模擬坑道に固定した。



(a) セグメント　　(b) 竪置き処分坑道断面図
図1　岩石利用セグメント支保工の概要図



(a) 断面図　　(b) A-A 縦断面図
図2　実験装置の寸法

充填装置は空気圧送方式の吹付け機械（送り量 2m³/h、エア圧 0.1MPa）を使用した。砕石は７号砕石を用いた。実験は、砕石の充填、充填状況の観察、外周型枠および内周型枠の取り外し、図３に示す分割区分ごとの砕石の重量測定の手順で実施した。

実験ケースを表１に示す。実験ケースは充填箇所、吹き込み方向、エア抜き孔の有無を組み合わせた４ケースを設定した。表中の水平は坑道軸と平行の方向を、三方向は坑道軸と平行とそれに対して左右 45° の方向を表す。ケース１、２の充填方法を図４に示す。ケース１では前方妻板の天端部に、ケース２では内周型枠の天端部中央に充填口を設けて砕石の吹き込みを行った。ケース３では図５(a)に示すように前方妻板に三カ所の充填口を設けて、左右肩部から水平方向に肩部まで吹き込

写真1　実験装置の外観

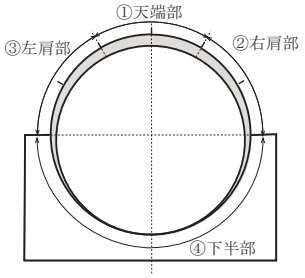


図3　重量測定の分割区分

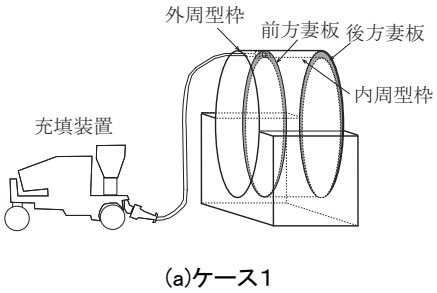
キーワード　高レベル放射性廃棄物、坑道、支保工、セグメント、砕石、裏込め充填
連絡先　　〒135-8530　東京都江東区越中島 3-4-17　TEL 03-3820-8467　FAX 03-3820-5959

み、その後、天端部で左右 45° 方向に交互に数回吹き込み、最後に水平方向に吹き込みを行った。ケース４では図５(b)に示すようにエア抜き用の有孔板（孔径 8mm、縦横 30mm 間隔）を前方妻板に設置し、ケース３と同様の方法で吹き込みを行った。なお、砕石の充填は充填装置のエア圧の上昇を目安として終了した。

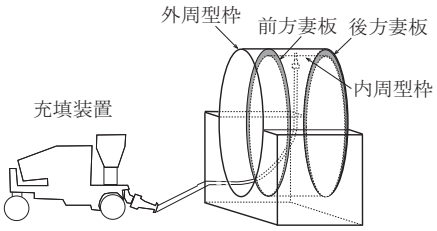
表1　実験ケース

ケース	充填箇所、吹き込み方向	エア抜き孔の有無
1	天端部：水平	無し
2	天端部：垂直	無し
3	左右肩部：水平、天端部：三方向	無し
4	左右肩部：水平、天端部：三方向	有り

３．実験結果　天端直上から左右 30° の範囲の充填状況を写真２に示す。ケース４で測定した砕石の重量より求めた充填密度を表２に示す。各ケースの実験結果はつぎのようである。1) ケース１では、天端直上の前方から後方にわたって砕石は概ね充填できているが、天端直上から左右の肩部にかけて未充填部が生じ、後方に近いほど下方に広がった。後方妻板直近では肩部の中段付近まで未充填部が観察された。2) ケース２では、ノズル先端部の周囲のみに砕石が充填され、左右後方側に未充填部が生じた。また、天端直上より右側は底部からスプリングライン付近まで充填されているが、左側は肩部の中段から下方はほとんど充填されていない。垂直吹き込みでは、充填口の中心位置が天端直上から 7.5cm 右側にずれていたため、吹き込まれた砕石は主に右側に流れ出し、左側へ砕石が流れ出す前に、ノズル先端周辺で砕石がたまり、左側への砕石の吹き込みが困難となった。3) ケース３では、右側の肩部は良好に充填でき、ケース１よりも充填性が向上した。ただし、左側前方の肩部に未充填部が生じ、後方側の表層に深さ 2cm 弱の凹みが生じた。これは、複数の充填口を設けて充填範囲を分割し、吹き込み方向を制御して三方向に振り分けたことにより、ノズル先端に砕石がたまる前に後方側の肩部の下方まで砕石を吹き込めたためと考えられる。4) ケース４では、未充填部は少なくなり、良好な充填ができた。ただし、左側前方の肩部に深さ 3cm 程度の凹みが生じた。これは、エア抜き孔の設置により、エアだまりができにくくなり砕石の充填性が向上したことによると考えられる。5) ケース４の充填密度は 1.25～1.48Mg/m^3 となり、下半部で大きくなった。この理由として、下半部では上部の砕石の重量により砕石が締め固まったことなどが考えられる。

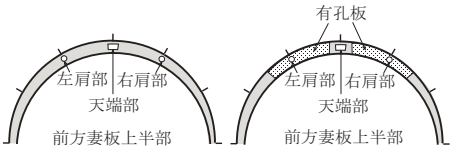


(a)ケース1



(b)ケース2

図4　充填方法



(a)ケース3　(b)ケース4

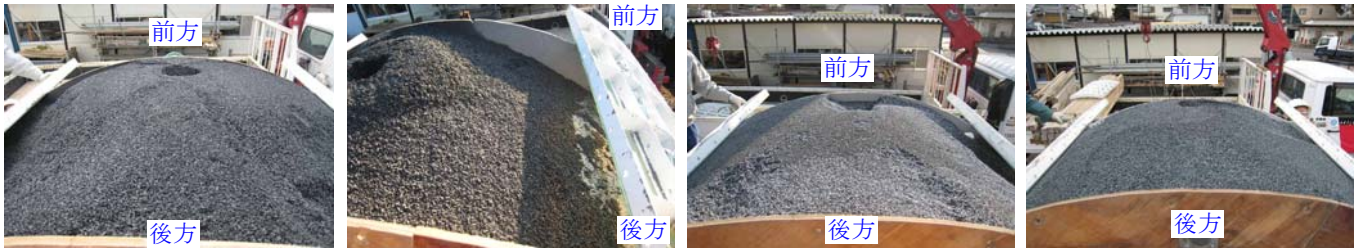
図5　充填口と有孔板の配置

表2　充填密度測定結果(ケース4)

区分	①天端部	②右肩部
充填密度(Mg/m^3)	1.25	1.28
区分	③左肩部	④下半部
充填密度(Mg/m^3)	1.31	1.48

４．まとめ　実規模大の坑道とセグメントを模擬した実験装置を用いて、空気圧送式の充填装置により砕石の裏込め充填実験を行った。その結果、砕石の充填範囲の分割と吹き込み方向の制御およびエア抜き孔の効果により、良好な充填が可能となることがわかった。また、実規模大の坑道に対する砕石の裏込め充填密度を把握した。本実験結果を基に、本案の実現性と有効性について、今後さらに検討を進めてゆきたい。

参考文献：1) 多田浩幸，他：セメントの使用を極力抑えた坑道の構築方法の提案(1)構築方法とセメント使用量の検討，日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集, J18, 2007. 2)多田浩幸，他：岩石利用セグメントによる処分坑道支保のセメント使用量の低減効果，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, CS5-044, 2007. 3) 齋藤亮，他：セメントの使用を極力抑えた坑道の構築方法の提案(2)岩石モルタル複合材料の強度・変形特性に関する基礎実験，日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集, J19, 2007.



(a)ケース1　(b)ケース2　(c)ケース3　(d)ケース4

写真2　天端部充填状況