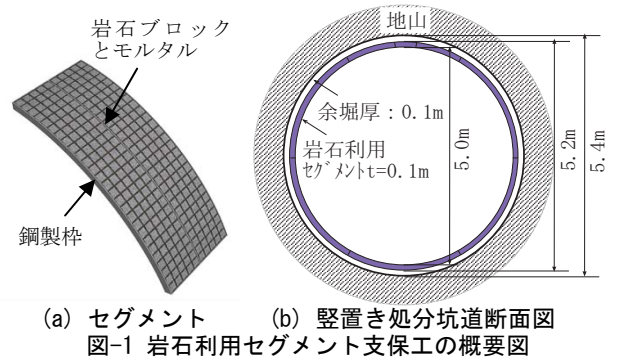


岩石利用セグメント支保工の裏込め砕石の変形特性試験と坑道の安定性の検討

清水建設(株) 正会員 ○多田 浩幸 熊坂 博夫 齋藤 亮 中谷 篤史
 (独)日本原子力研究開発機構 正会員 林 克彦* 野口 聡 岸 裕和 中間 茂雄
 (* 現・前田建設工業)

1. はじめに 高レベル放射性廃棄物の地層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。地層処分の安全評価においては、高アルカリ環境が人工および天然バリアが有する長期性能に大きな不確実性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として岩石利用セグメントを用いた支保工を提案し、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¹⁾。岩石利用セグメントを用いて坑道を構築する場合、実際の施工を想定すると、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砕石による裏込め充填方法を提案している。本報では、本提案で裏込め材として用いる砕石の変形特性試験を実施し、この試験から得られた物性値を用いて坑道の安定性の検討を実施したので報告する。

2. 砕石の変形特性試験 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材料を利用した支保工である。この支保工を軟岩系岩盤の堅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(空隙)は0.1mと想定した。既報²⁾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、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。セグメントの支保効果を把握する解析においては弾性係数やポアソン比などの砕石の変形特性に関する情報が必要となる。このため、



載荷面積に比べて砕石試料の厚さが小さい条件下における砕石の円板載荷による変形試験を実施しその変形特性を把握した。砕石の変形特性試験の概要を図-2に示す。図に示すように、内径303.8mm、高さ250mm、厚さ10mmの円筒鋼管に砕石を敷き詰め、セグメントと地山による高い拘束状態に近い荷条件を想定し、直径300mm、厚さ30mmの載荷板により2MPaまでの載荷・除荷の2回の繰り返し載荷試験を行った。砕石厚さはセグメントの組み立て時に必要な余堀厚(空隙)であり0.1~0.2mを想定した。試験では砕石の粒度分布、締固めの有無、砕石厚さをパラメータとして8ケースの試験ケースを設定した(表-1参照)。試験に使用した砕石はJIS規格の7号砕石(粒径0.15~10.00mm)、6号砕石(粒径2.36~19.00mm)、混合5号砕石(粒径2.50~25.00mm)である。ケース1, 2は7号砕石を用いて砕石厚を変えたケース、ケース3~6は7号砕石に混合5号砕石を混合しその比率を変えたケース、ケース7は7号砕石から4mm粒径を主体に抽出したものを、ケース8は6号砕石から8mm粒径を主体に抽出したものをを用いたケースである。ケース1~6は実規模充填実験時の砕石の充填密度を想定したケースで円筒鋼管に敷き詰めた砕石を締固めずに試験に用いた。一方、ケース7, 8は最大密度相当に締固めた状態を想定したケースで円筒鋼管に敷き詰めた砕石をバイブレータによ

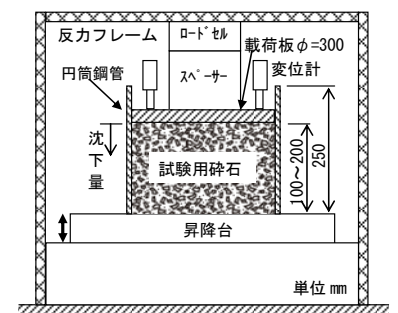


図-2 砕石変形特性試験概要

キーワード 高レベル放射性廃棄物, 岩石利用セグメント, 裏込め材, 砕石, 坑道の安定性

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

て締固めて試験に用いた。

3. 試験結果 載荷板変位と載荷板応力の関係を図-3に、初期載荷時の沈下量（初期変形量）を表-1に示す。試験結果をまとめるとつぎのようである。1) 締固め無しのケース1～6では初期変形量が11～24mmと大きく

くなり、特に初期載荷時の低応力レベルにおける変形量が大きいく。2) 一方、除荷、再載荷時の変位量は0.2～1.3mm程度と非常に小さな変形量となる。3) 同じ締固め状態であれば初期変形量は砕石厚さに比例する。4) 粒径の大きい混合5号砕石の割合が大きい方が初期変形量は小さくなる。5) 締固め有りのケース7、8では初期変形量が3～7mmと締固め無しのケースよりも小さくなり、初期載荷時の低応力レベルにおける変形量も小さくなっている。これは締固めた効果と考えられる。

4. 坑道と岩石利用セグメントの安定性の検討 前述の裏込め材の弾性係数と複合材料試験から得られたセグメントの弾性係数³⁾を用いて、裏込め材を考慮した場合のセグメントによる支保と地山の安定性についての検討を行った。まず、図-4に示す締固め無しのケースで初期変形量が最小となったケース3の試験結果を対象に砕石の弾性係数を数値解析により同定した。ポアソン比を0.35と仮定し、軸対称モデルを用いた数値解析を用いて初期載荷時の載荷板応力1.0～

1.5MPaの勾配に等しい砕石の弾性係数を求めた結果、弾性係数は30MPaとなった。地山条件は第2次取りまとめの坑道の安定性の検討条件⁴⁾とした軟岩SR-C、深度500mの条件とし、セグメントの弾性係数は複合材料試験から得られた弾性係数のうちの最小値に近い20GPaと平均値に近い30GPa³⁾を用いた。安定解析では、セグメントと裏込め材の二層を考慮したモデルとし有限差分法を用いて実施した。坑道周辺の要素分割図を図

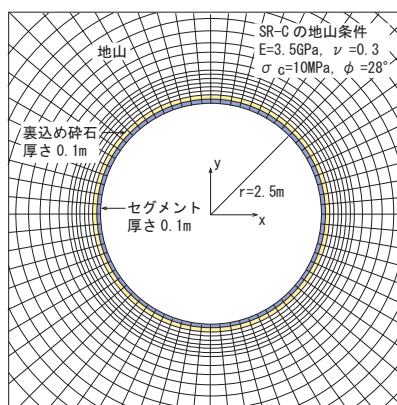


図-5 坑道周辺要素分割図

-5に、解析結果を図-6に示す。図-6中の支保反力比は支保反力 P_i と初期地圧 P_o の比であり、地山壁面ひずみは接線方向ひずみである。図に示されるように、このひずみは既往の検討¹⁾で得られる壁面ひずみよりも小さくなり、坑道周辺地山の安定性を期待できる結果が得られた。また、セグメントに生じる軸応力は、複合材料試験で得られた材料強度の1/2程度であり、支保構造体として安定した結果となった。

5. まとめ 今回の試験および解析より、岩石利用セグメントと裏込め材を用い坑道の安定性の確保が期待できることを示した。また、砕石の変形特性試験において砕石の粒度分布、締固めの有無が初期載荷時の変形量に大きな影響を及ぼすことがわかった。これらの結果を踏まえ、裏込め砕石の初期変形量を抑制するための粒度分布の最適化、締固め技術の導入等について検討を進めていきたい。

参考文献：1) 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。2) 多田浩幸，他：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，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，CS05-36，2008。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(7)低アルカリ性セメントを用いた岩石・モルタル複合材料に関する基礎実験，日本原子力学会2009年秋の大会予稿集，L42，2009。4) 核燃料サイクル開発機構：JNC TN1400 99-22，1999。

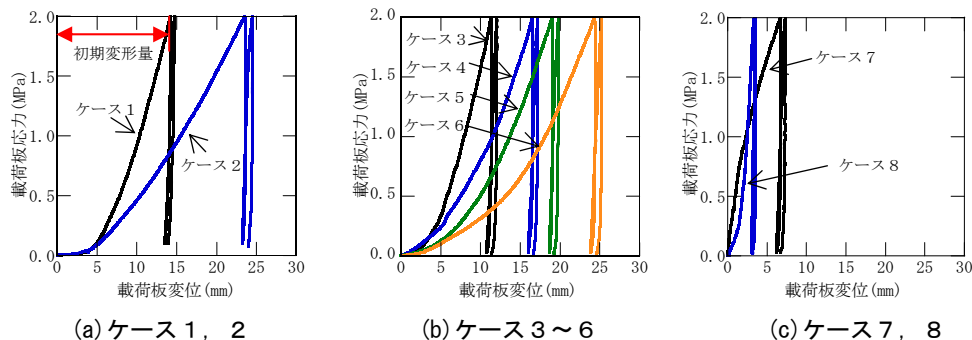


図-3 載荷板変位と載荷板応力の関係

表-1 初期変形量

ケース	粒度分布	締固めの有無	厚さ (mm)	初期変形量 (mm)
1	7号 100%	無し	100	14
2	7号 100%	無し	200	24
3	混合5号 100%	無し	200	11
4	混合5号 70%+7号 30%	無し	200	16
5	混合5号 50%+7号 50%	無し	200	19
6	混合5号 30%+7号 70%	無し	200	24
7	7号 4mm 粒径主体 100%	有り	100	7
8	6号 8mm 粒径主体 100%	有り	100	3

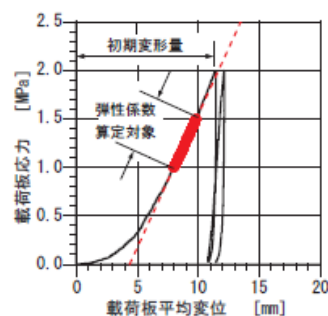


図-4 ケース3の試験結果

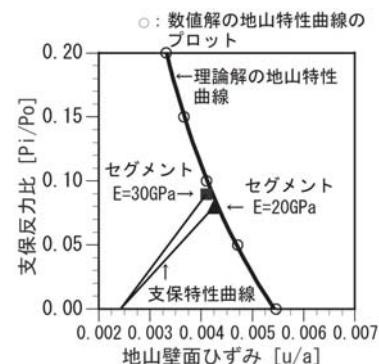


図-6 坑道安定性の検討結果