

直接処分用の坑道建設・操業時における周辺岩盤の力学的影響について

福島工業高等専門学校 学生会員 ○西内 瑞生
 山口大学大学院 正会員 林 久資
 福島工業高等専門学校 正会員 金澤 伸一
 福島工業高等専門学校 非会員 左部 晃司
 西松建設株式会社 正会員 石山 宏二

1. はじめに

我が国では、原子力発電の過程で発生する高レベル放射性廃棄物の処分方法として地層処分が考えられており、ガラス固化体などを地下深部に処分する多重バリアシステムが基本とされている。しかしながら、現在約 17000ton の使用済燃料が保管されており、長期にわたり適切に保管し処理・処分する必要があるため、使用済燃料を直接処分する研究も進めていく意義があると考えられる。

処分の対象となる廃棄物が使用済燃料に変わることで、ガラス固化体より寸法・重量が大きい使用済燃料棒などを坑道内運搬・処分するため、処分坑道断面が大きくなり、廃棄体および搬送・定置装置の荷重も大きくなる。

坑道断面が大きくなると、支保工や岩盤の安定性に影響が及ぶことが想定される。さらに、縦置き方式ではインバート部にピットを掘削し廃棄体を定置するため、坑道およびピット周辺地山の安定性にも着目する必要がある。筆者らは、既往研究¹⁾により坑道断面積が大きくなると坑道側壁変位や支保内圧が大きくなること、地山の初期応力に異方性がある場合、坑道掘削方向により支保工規模が低減できることを解明した。さらに、坑道底面にピットを掘削すること、さらに廃棄体や搬送・定置装置の荷重がかかることによる吹付けコンクリートや岩盤への影響を把握することが必要と考えた。

そこで本研究では、直接処分坑道および処分ピット掘削時、直接処分の対象となる廃棄体や搬送・定置装置の重量が基礎岩盤に及ぼす影響を、有限差分法三次元数値解析 FLAC3D により検討し、安全性・経済性に優れた設計の一助になるよう考察を試みた。

2. 解析概要

直接処分施設の坑道掘削を再現した数値解析を FLAC3D により行った。本研究では、図-1 に示すように二次元平面ひずみの挙動を呈するモデルを設定し、坑道断面は緩衝材を地上施工する PEM 方式（高さ約 10m）が採用されると想定し、半断面を解析対象とした。解析領域は、幅 60m、高さ 90m とし、深度 500m を模擬するよう上載荷重および初期応力を設定した。解析入力物性値は、文献²⁾を参考に岩盤に関しては軟岩系岩盤 (SR-C)、吹付けコンクリートに関しては設計基準強度 36MPa を想定した（表-1）。坑道は、全断面で掘削し

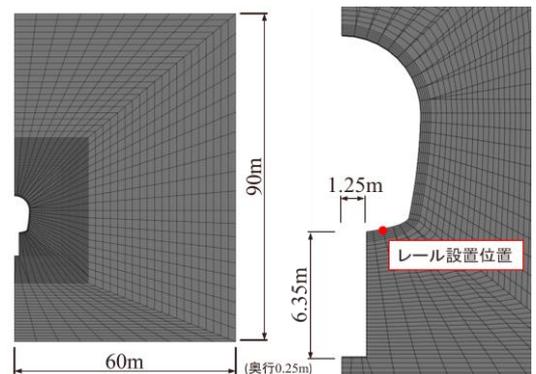


図-1 解析モデル

表-1 解析入力物性値

解析入力物性値		初期応力の設定方法
岩盤		case1
軟岩系岩盤 SR-C		$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3 \times 500\text{m}$
単位体積重量	18.5kN/m ³	$P_{0x}=P_{0z} \times 1.0$ $P_{0y}=P_{0z} \times 1.0$
弾性係数	3500MPa	case2
粘着力	3.0MPa	坑道側壁の内空方向が最大主応力方向
内部摩擦角	28°	
吹付けコンクリート		$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3 \times 500\text{m}$
設計基準強度	36MPa	$P_{0x}=P_{0z} \times 1.3$ $P_{0y}=P_{0z} \times 0.9$
弾性係数	6000MPa	case3
ポアソン比	0.20	坑道側壁の内空方向が最小主応力方向
吹付け厚 (ブロック方式)	30cm	$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3 \times 500\text{m}$
(PEM 方式)	50cm	$P_{0x}=P_{0z} \times 0.9$ $P_{0y}=P_{0z} \times 1.3$

表-2 搬送・定置装置の緒言

処分坑道搬送・定置装置 (PEM 方式)		レール概要 (60kg レールを想定)
装置長さ	12m	断面積 $7.77 \times 10^{-3} \text{m}^2$
装置重量	100, 210, 300, 500ton	ヤング係数 $2.1 \times 10^{11} \text{N/m}^2$
車輪数	26, 14, 8 輪	

キーワード 高レベル放射性廃棄物 地層処分 直接処分 数値解析

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 TEL 0246-46-0821

た後、吹付けコンクリートを施工し、ピット部を無支保で掘削するものとした。次に、廃棄体の搬送・定置装置は、直接処分方式の中でも運搬重量が大きくなると考えられる PEM 堅置き方式を想定し、ビーム要素でモデル化した 60kg レールに、装置の車輪から伝わる荷重を集中荷重で与えた。装置重量は 100ton から 500ton、車輪数は 8, 14, 26 輪とし、計 12 のケースについて解析を行った(表-2)。

3. 結果および考察

ピット掘削や廃棄体が埋設された際の周辺地山に及ぼす影響を坑道周辺地山の変位コンターより考察した(図-2)。ピット掘削前は坑道側壁部分に 20mm の変位、ピットを掘削するとピット側壁上部に 46mm の変位が生じた。これは、坑道を掘削し周辺地山がゆるんだ後、ピットを無支保で掘削することで生じたものと考えられる。ピット掘削後、廃棄体を埋設したときの変位に着目すると、ピット掘削時の変位と大きな差異は見られなかったため、廃棄体埋設によって岩盤の安定性が大きく変化する可能性は低い。

次に、廃棄体や搬送・定置装置の荷重が及ぼす影響を調べる。三次元数値解析による先行研究で、ピット未掘削地点での定置装置荷重による影響は、車輪が最も少ない 8 輪で荷重が最も大きい 500ton の場合、レール直下の吹付けコンクリートに約 0.5mm の沈下が生じることが分かっているが、ピット周辺地山ではさらに大きな影響がみられると想定し、ピット掘削後に搬送・定置装置の荷重をかけた解析を二次元で行った。結果を示した図-3 に着目すると、車輪が最も少ない 8 輪で荷重が最も大きい 500ton の場合、最大で約 3mm の変位がピット上部に生じており、ピット未掘削地点での同荷重・同車輪数の三次元数値解析結果と比較すると 6 倍の変位が生じた。したがって、ピット掘削後に搬送・定置装置の荷重がかかることにより坑道周辺地山の変位が大きくなるため、ピット掘削を考慮した影響予測が必要と考える。

しかしながら、岩盤の変位に着目した解析結果だけでは岩盤の健全性を評価するには至っていないことから、限界せん断ひずみによる評価を行った。数値解析にて得られたせん断ひずみを測定点ごとに図-4 にプロットした。健全性の判定基準となる限界せん断ひずみは、表-1 の岩盤物性値に対応する値を算出したところ $\gamma_0=0.56\%$ となったため、図中に橙線として示した。この図より、すべての測定点で坑道下部領域に処分ピットを掘削することで、得られるせん断ひずみの値が増大することが分かった。さらに、ピット中央下部およびピット側壁下部はその増加の傾向は顕著にみられ、限界せん断ひずみを超過した。前述した 2 つの測定点ではピット掘削により岩盤の健全性が損なわれた可能性がある一方で、限界せん断ひずみを超過した領域は、地山深部までは至っていないことから、直ちにピット周辺地山が崩壊するような挙動は生じていないと考える。

これらのことから、本研究ではピットを掘削することでピット周辺地山がゆるみ変位が増大すること、ピット掘削後に搬送・定置装置の荷重がかかるとピット掘削前より変位が増大することがわかったため、ピット周辺地山のゆるみが坑道の長期安定性を低下させると考えると、ゆるませないよう掘削することが必要である。

参考文献 1) 林久資, 西内瑞生, 他 2 名: 直接処分施設の建設・運用時における力学的影響予測, トンネル工学報告集, p3, 2017. 2) JAEA (資源エネルギー庁受託事業): 平成 27 年度地層処分技術調査等事業直接処分等代替処分技術開発報告書, 2016.

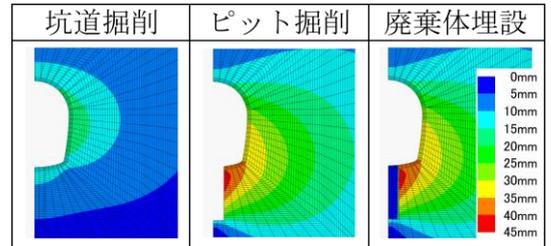


図-2 坑道周辺変位

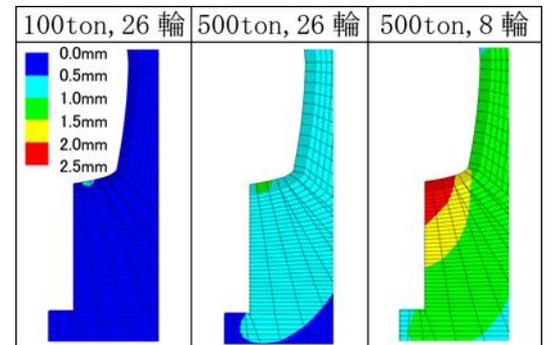


図-3 荷重によるピット周辺変位

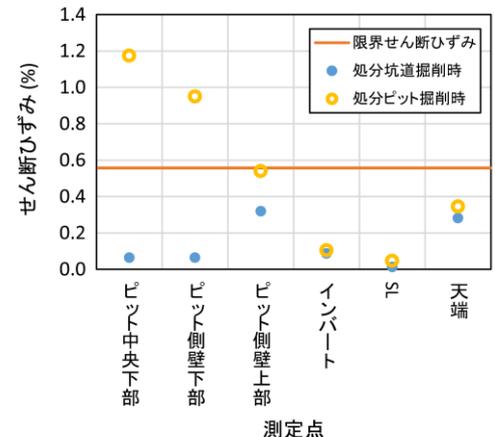


図-4 せん断ひずみを用いた健全性評価