

数値解析を用いた直接処分施設の掘削・廃棄体運搬時における影響予測

福島工業高等専門学校 学生会員 ○西内 瑞生

福島工業高等専門学校 正会員 林 久資

福島工業高等専門学校 正会員 金澤 伸一

西松建設株式会社 正会員 石山 宏二

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の処分方法として、ガラス固化体を地層処分する方法が考えられており、研究成果も多くみられる。しかしながら、東日本大震災後原子力発電所を廃炉にする世論が高まっており、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。直接処分を行う場合、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・処分する必要があるため、処分坑道断面や廃棄体および運搬・定置装置の荷重が大きくなることが考えられるが、直接処分施設の掘削・廃棄体の運搬時の影響を検討した研究はまだ少ない。

そこで本研究では、直接処分施設の処分坑道掘削時および、運搬・定置装置が導入された際に生じる影響・問題点を有限差分法三次元数値解析により検討し、安全性・経済性に優れた設計の一助になるために考察を行った。

2. 解析概要

まず、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。坑道断面は、ブロック方式とPEM方式の二通り(図-1)とし、半断面で掘削されることとした。解析領域は、幅60m、奥行き100m、高さ90mと設定し、深度500mとなるように上載荷重を設定した。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60MPaを想定した(表-1左)。地山の初期応力は、幌延深地層研究センターで計測された初期地圧を参考に表-1右のように解析ケースによっては方位依存性を模擬した。これは、地山の初期応力に方位依存性が認められる条件下で坑道を掘削すると、掘削方向や断面の形状によって、地山・支保工に受ける力学的影響は大きく異なると考えられるため考慮した。実際に、幌延深地層研究センターでは、坑道が掘削される地山に初期応力の方位依存性3)がみられたことが報告されている。坑道の掘削については、全断面掘削を模擬し、吹付けコンクリートを1間遅れで施工するものとした。

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縦置き方式(表-2)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。装置は重量210ton、長さ12m、車輪の数を26輪・14輪・8輪の3通りとした。

3. 結果および考察

まず、坑道断面の違いや地山初期応力の方位依存性が、坑道岩盤壁面の変位や支保内圧にどのような影響を
キーワード 高レベル放射性廃棄物 地層処分 直接処分 NATM 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

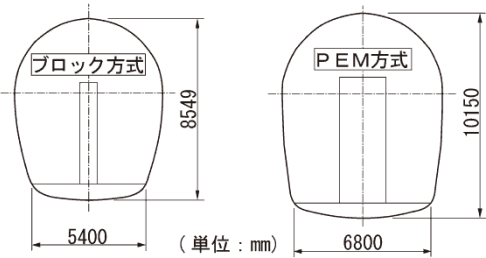


図-1 坑道断面模式図

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	$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3\times500\text{m}$
単位体積重量 18.5kN/m ³	$P_{0x}=P_{0z}\times1.0$ $P_{0y}=P_{0z}\times1.0$
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°	$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3\times500\text{m}$
吹付けコンクリート	$P_{0x}=P_{0z}\times1.3$ $P_{0y}=P_{0z}\times0.9$
設計基準強度 60MPa	case3
弾性係数 6000MPa	坑道側壁の内空方向が最小主応力方向
ポアソン比 0.20	$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3\times500\text{m}$
吹付け厚 (ブロック方式) 30cm	$P_{0x}=P_{0z}\times0.9$ $P_{0y}=P_{0z}\times1.3$
(PEM方式) 50cm	

表-2 運搬・定置装置の諸元

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 $7.77\times10^{-3}\text{m}^2$
装置重量 210ton	ヤング係数 $2.1\times10^{11}\text{N/m}^2$
車輪数 26, 14, 8輪	

及ぼすのか調べる。

図-2(a)に、初期応力の方位依存性を考慮したブロック方式・PEM方式断面の側壁部変位を、切羽の進行に伴ってプロットしたものを示した。ブロック方式の最大側壁変位は、初期応力の最大主応力方向が側壁内空側となる case2 の 23mm, PEM 方式の最大側壁変位も case2 で最大 27mm であった。ブロック方式と PEM 方式の側壁部変位を比較すると、断面の大きい PEM 方式の変位が大きく生じていることがわかった。また、側壁部変位は地山初期応力の大きさ・方向によって変化することがわかった。

上記結果より、掘削断面積が大きな PEM 方式や各方式の case2 には、支保工にかかる荷重が大きくなることが想定されるため、吹付けコンクリート打設直後の岩盤側壁部の最小主応力(支保内圧)をプロットしたグラフを図-2(b)に示す。切羽離れ 1m, つまり切羽到達から 1m 切羽が進むと、吹付けコンクリートが打設されることから、各方式のすべてのケースにおいて岩盤側壁部の最小主応力(支保内圧)が増大していることがわかる。その中でも、PEM 方式の case2 が支保工にかかる内圧がすべてのケースの中で最も大きいことがわかった。

PEM 方式は、断面が大きいため坑道側壁部の変位、支保内圧も大きくなり、吹付けコンクリートの健全性を調べる必要が出てくる。そこで、吹付けコンクリートに生じる変位コンター図を図-3に示す。傾向を見ると、case3 から case1, case2 へと変位が大きくなっている。また、吹付けコンクリートの内側より外側の方が大きく変位が生じており、特に case2 の吹付けコンクリート外側は、側壁の広範囲に渡り 25mm 以上の変位が生じている。その一方で、case3 は全てのケースの中で側壁変位が最も小さく坑道を掘削できることがわかるが、切羽の押し出し変位が最も大きくなる(図-4)。

これらの結果は、初期応力に方位依存性がある地山を掘削する際は、掘削方向を考慮し設計することで支保工規模が低減できる可能性があることが示唆されていると思われる。また、坑道断面が大きい程、吹付けコンクリートに及ぼす影響が大きいと言える。

次に、廃棄体の運搬・定置装置による荷重の影響を調べるためにレール直下の吹付けコンクリート沈下量を図-5に示した。車輪が最も少ない 8 輪の場合、約 0.25mm の沈下がみられた。現時点においては、吹付けコンクリートに損傷を与えるか否かは考察できていないが、吹付けコンクリートに少なからず影響が生じているため、運搬・定置装置の荷重を考慮した設計が必要となる可能性がある。運搬・定置装置の荷重による影響については、さらに検討を行う予定である。

参考文献 1)森岡ら：幌延深地層研究計画における地下施設の支保設計, JAEA-Research 2008-009, pp.7-10,2008.
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.

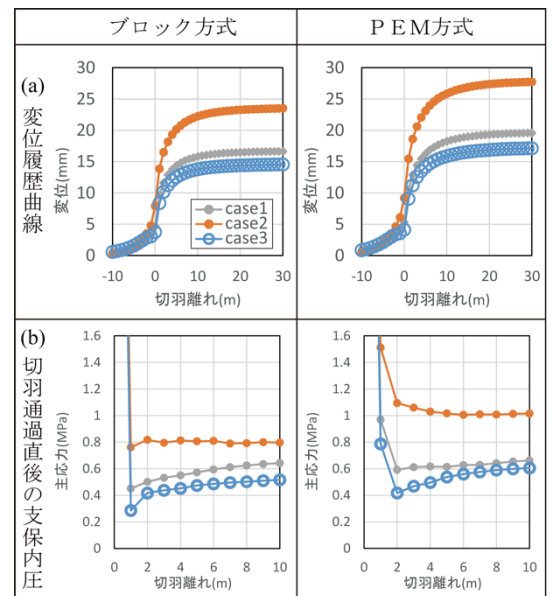


図-2 変位・支保内圧履歴曲線

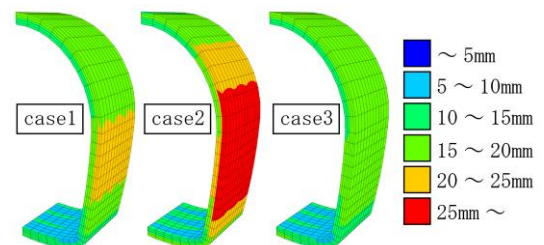


図-3 吹付けコンクリート変位

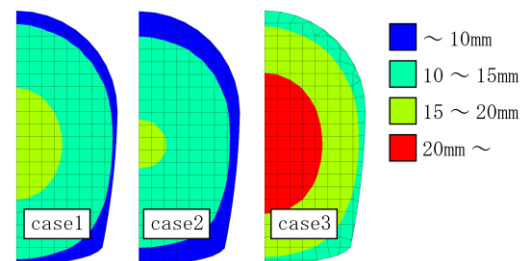


図-4 切羽押し出し変位

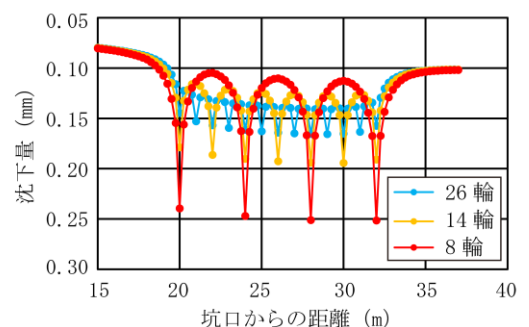


図-5 吹付けコンクリートの沈下量