

初期応力の方位依存性を考慮した直接処分坑道断面の安定性評価

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

1. はじめに

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いる。その地層処分の対象物はガラス固化体であるが、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は大きいと考える。使用済燃料は、ガラス固化体より寸法・重量が大きくなり、坑道断面もガラス固化処分施設よりも大きくなる。さらに、地層処分施設研究を進めている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¹⁾がみられたことが報告されている。

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。処分場の地下施設は、アクセス坑道、主要坑道、連絡坑道、処分坑道などから構成され、数多くのトンネルが掘削される。また、坑道の総延長は200km程度と見込まれていることから、坑道掘削時の力学的影響を知ることで、適切な掘削方法、支保工規模を提案でき、更に経済性、安全性に優れた施工ができると考える。本研究では、三次元数値解析を用い、直接処分を想定した断面の掘削時力学的影響の解明、地山の初期応力の方位依存性を考慮した掘削方法の提案を行う。

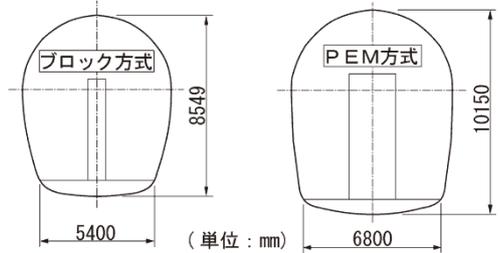


図-1 坑道断面模式図

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	$P_{0z}=18.5\text{kN/m}^3 \times 500\text{m}$
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°	case3
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 60MPa	$P_{0x}=P_{0z} \times 1.3$ $P_{0y}=P_{0z} \times 0.9$
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	$P_{0x}=P_{0z} \times 0.9$ $P_{0y}=P_{0z} \times 1.3$

2. 解析概要

本研究では直接処分施設の施工を模擬した数値解析をFLAC3D Ver.4により実施した。解析は、ブロック方式とPEM方式の二通りの坑道断面(図-1)を模擬したが、処分坑道が掘削される地山の解析領域はどちらの解析パターンも、坑道が半断面で1本掘削されることを考え幅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、坑道縦断方向の境界面は奥行き方向を拘束、横断方向の境界面は横断方向を拘束、底面は深さ方向を拘束、モデル上端は自由境界とする境界条件とした。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を想定したものを表-1のように設定した。

地山の初期応力は、坑道が掘削される場所によって変化すると考えられるため、3つのパターンを想定した。case1は、鉛直方向初期応力に対し、坑道側壁内空方向および坑道奥行方向が同様の初期応力となるケースである。これは、土被りが70mを越えると側圧係数が1.0となる報告があることから特異な入力値ではない。次に、地山の初期応力に方位依存性がみられた幌延深地層研究センターの、現地計測で得られた初期応力を入力値として採用したcase2とcase3である。case2は、鉛直方向初期応力に対し、坑道側壁内空方向が1.3倍、奥行方向が0.9倍とし、case3は坑道側壁内空方向が0.9倍、奥行方向が1.3倍とした。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。

キーワード 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 TEL0246-46-0821

3. 結果及び考察

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及ぼすのか調べる。図-1(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・PEM方式共に case2 は、case1 の 1.4 倍変位が生じていることがわかる。したがって、側壁部変位は地山初期応力の方位依存性によって変化すると考える。

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-1(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。そのときのブロック方式と PEM方式の結果を比較すると PEM方式の支保内圧が 0.2MPa ほど大きい。ブロック方式は、case2 の側壁部分支保内圧が case1 の 1.3 倍、PEM方式は 1.4 倍生じていることがわかる。これらは、図 2-(a)で示した変位の傾向と同義である。

PEM方式は、断面が大きい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。一方で、case3 は切羽の押し出し変位が最も大きくなることが分かった（図-4）。

これらの結果より、地山初期応力が最大となる方向に坑道を進行させると支保内圧を低減でき、支保工規模を軽減できると考える。また、掘削断面積が大きい PEM方式は側壁変位や支保内圧が大きくなる。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必要があると思われる。

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代替処分技術開発報告書, 2016. 3)JAEA：直接処分第 1 次取りまとめ, 2015. 4)核燃料サイクル開発機構：地層処分研究開発第 2 次取りまとめ, 総論レポート, 1999.

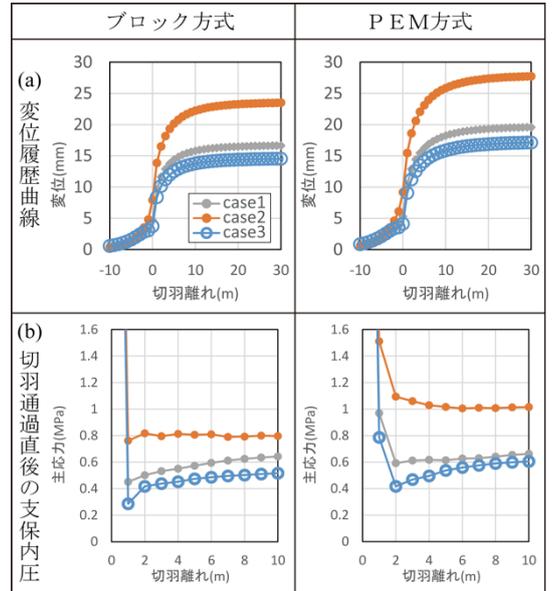


図-2 変位・支保内圧履歴曲線

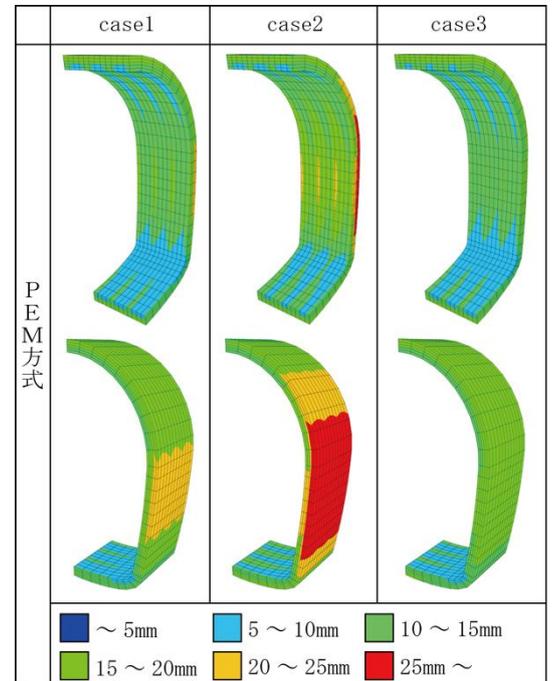


図-3 吹付けコンクリート変位

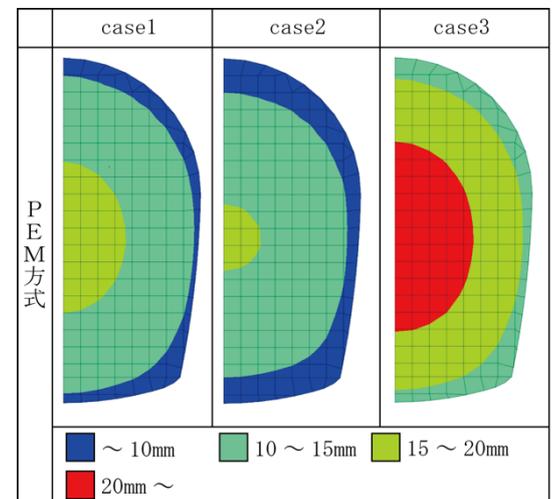


図-4 切羽の押し出し変位