

連設坑道における岩盤の長期力学挙動評価手法の検討

西松建設(株) 正会員 ○真田 昌慶, 石山 宏二
 福島工業高等専門学校 正会員 金澤 伸一
 東京大学 正会員 福井 勝則

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、地下深部の岩盤に複数の坑道による処分場地下施設を建設することが想定されており、長期にわたる処分場の健全性の予測・評価が必要とされている。本稿では、連設した坑道周辺岩盤の長期的な力学挙動の評価手法の確立に資することを目的として、大久保らが提案したコンプライアンス可変型構成方程式^{1,2)}を適用して実施した岩盤のクリープ解析について報告する。

2. コンプライアンス可変型構成方程式について

今回採用したコンプライアンス可変型構成方程式は、ひずみ ε と応力 σ の比であるコンプライアンス $\lambda = \varepsilon / \sigma$ が時間とともに次第に増加していくと仮定したモデルであり、式(1)で表される。 λ^* は λ を初期値 λ_0 ($=1/\text{弾性係数}$) で正規化した値($=\lambda/\lambda_0$)、 σ^* は σ を一軸圧縮強度 σ_c で正規化した値($=\sigma/\sigma_c$)である。 n は応力依存性をあらわすパラメータであり、 m は破壊が急激に進むかどうかをあらわすパラメータである。図-1に次節で示す岩盤の物性値を式(1)に適用した応力ひずみ関係を示す。

$$\frac{d\lambda^*}{dt} = a \cdot (\lambda^*)^m \cdot (\sigma^*)^n \quad \dots (1)$$

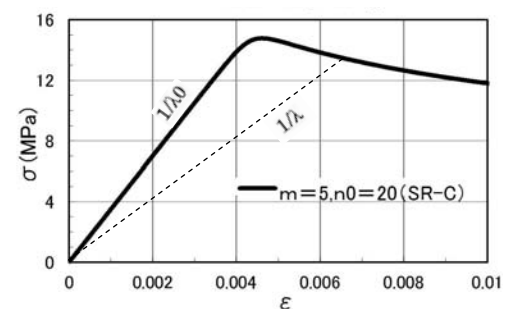


図-1 応力ひずみ関係 (SR-C)

3. 解析条件

解析に用いた岩盤の物性を表-1に、解析モデルを図-2に示す。岩盤の物性、対象深度および坑道径については、地層処分研究開発第2次取りまとめ³⁾にレファレンスとして示される軟岩系岩盤(SR-C)の値を用いた。

表-1 岩盤クリープ解析用岩盤物性値 (軟岩系岩盤: SR-C)

一軸圧縮強度 q_u [MPa]	引張強度 σ_t [MPa]	弾性係数 E [MPa]	ポアソン比 ν [-]	n_0 [-]	m [-]	処分深度 [m]	初期鉛直応力 σ_v [MPa]	側圧係数 K_0 [-]
15	2.1	3,500	0.3	20	5	500	11.0	1.07

軟岩系岩盤 (SR-C) ではあるが、解析・評価の容易さを考慮して坑道形状は直径 5.0m の円形とし、支保工、緩衝材については考慮しないこととした。連設する坑道の本数は 2 本とし、坑道の離間距離 (坑道の中心間距離) をパラメータとして、単坑および坑道離間距離を 4D, 3D, 2.5D, 2D とした 5 ケースについて解析を実施した。解析領域については、連設した坑道群の幅 W の 4~5 倍の距離を確保できる大きさとした。また、連設する坑道は同時に掘削されるものとし、解析期間については 100,000 年までとした。

4. 解析結果

図-3 a), b) に、片対数紙上にプロットした坑道の天端 (図-2 中の V1) および側壁位置 (図-2 中の H2) での変位量と時間の関係を示す。なお、変位量は坑道中心に向かう変位を正とし、掘削時の弾性変位量を除いたクリープ変位量である。

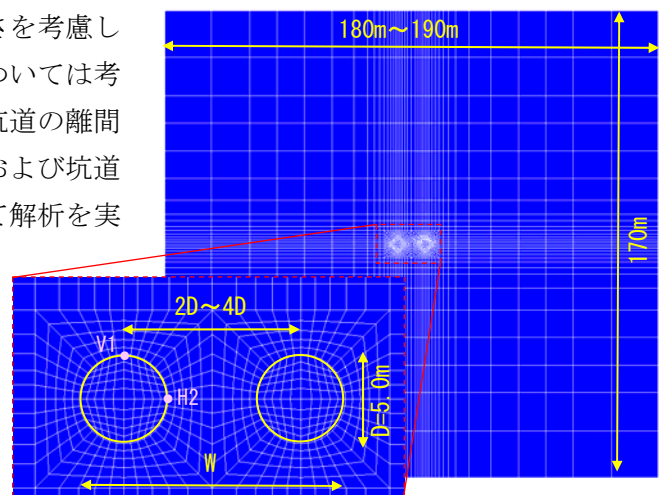


図-2 解析モデル図

キーワード 放射性廃棄物, 地層処分, 岩盤, クリープ, 連設坑道

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階 西松建設株式会社 土木設計部 TEL03-3502-7638

a)鉛直方向のクリープ変位は、単坑の変位量が最も小さく、坑道離間距離が近くなるほど変位量が大きくなる傾向にあり、2.5D では約 3000 年を、2D では約 10 年を過ぎたあたりからその傾向が顕著になる。b)水平方向のクリープ変位は、4D では単坑よりも変位量が小さくなる。3D、2.5D、2D については鉛直方向と同様に、単坑よりも変位量が大きくなる。2.5D、2D においては、鉛直方向と同様にそれぞれ概ね 3000 年、10 年で変位量が増大する傾向が顕著になるが、2.5D の解析結果では、変位量の増加傾向（勾配）が 2D での解析結果よりも急になっており、クリープ変位が坑道離間距離との単純な相関にならないことを示唆している。

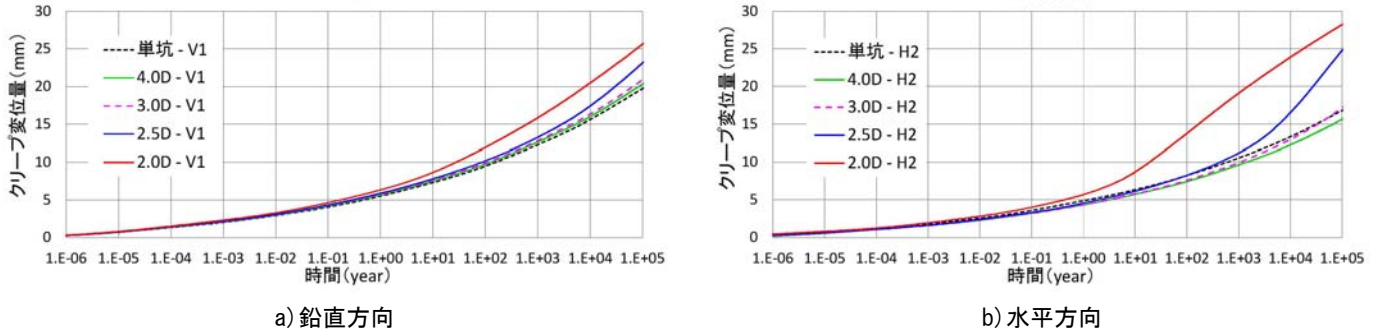


図-3 クリープ変位～時間関係

図-4 a), b)に弾性係数および最大主応力を坑道離間距離（単坑、2.5D、2D）と経過時間で整理した分布図を示す。a)弾性係数については、時間の経過に伴って坑道周辺の弾性係数が低下するとともに、その領域が広がっていく。また、坑道離間距離が近くなるほど、坑道間の弾性係数が低下する領域は広がる傾向にあり、その傾向が現れるのも早くなる。b)最大主応力については、時間の経過に伴って最大主応力の発生位置が坑道の外側に移っていく傾向にある。これは、坑道周辺の弾性係数の低下に伴い、圧縮アーチがより剛性の高い（弾性係数の低下していない）周辺岩盤に移動していくことを表している。また、坑道離間距離が近くなると、時間の経過に伴い坑道間の最大主応力は低下し、坑道群の外側の最大主応力が大きくなる傾向にある。これは、坑道間の剛性が低下することにより、坑道間の岩盤で負担できる荷重が減少することから、剛性の低下していない坑道群周辺の岩盤に圧縮アーチが形成されていくためと考えられる。

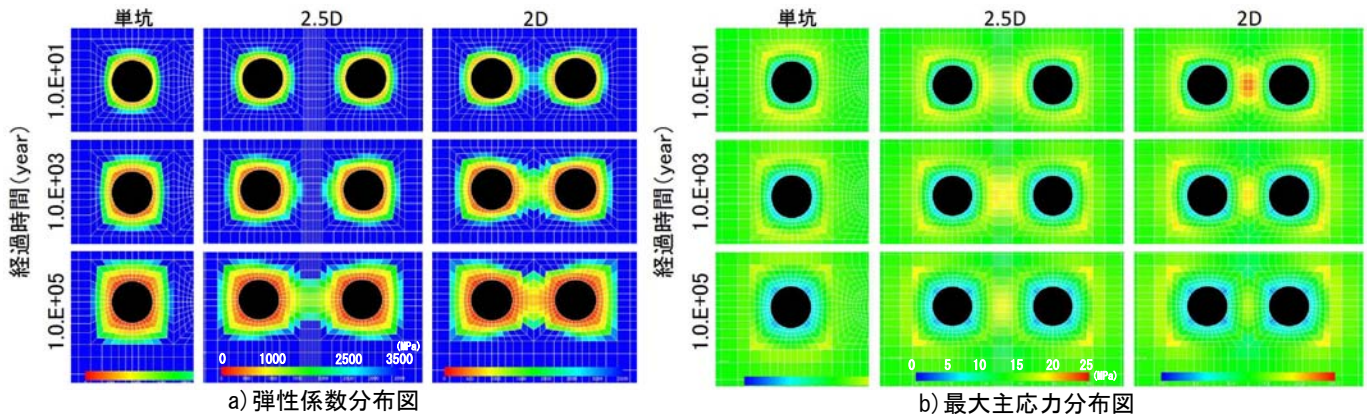


図-4 弾性係数および最大主応力の分布図

5. おわりに

今回の解析に適用したコンプライアンス可変型構成方程式は、長期にわたり坑道が連設することによる坑道周辺の岩盤の状態の変遷を予測するモデルとして有効と考えられる。今後は、処分施設規模での岩盤の長期的な性能の評価を行うために、処分場地下施設の形状や施工方法、支保工や緩衝材などの条件を反映した評価手法の検討を進めて行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 大久保ら:非線形粘弾性モデルによる坑道変形シミュレーション,日本鉱業会誌,Vol.103,pp.293-296,1987.
- 2) 大久保ら:コンプライアンス可変型構成方程式の定数について,資源と素材,Vol.113,pp.561-564,1997.
- 3) 核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性;地層処分研究開発第2次取りまとめ,分冊 2,地層処分の工学技術,1999.