

## 拡張したコンプライアンス可変型構成方程式による坑道周辺岩盤の 長期力学挙動評価手法の検討

西松建設(株) 正会員 ○石山 宏二, 真田 昌慶  
 東京大学 正会員 福井 勝則  
 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、完成後から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、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拡張したコンプライアンス可変型構成方程式<sup>1)</sup>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. 拡張したコンプライアンス可変型構成方程式

拡張したコンプライアンス可変型構成式は、強度破壊点以降の挙動の再現に重きをおいた構成方程式<sup>2)</sup>(従来の式)を強度破壊点以前から強度破壊点以降までの時間依存性挙動を再現するために拡張したものであり、式(1)で表される。 $\lambda^*$ は $\lambda$ を初期値 $\lambda_0$ (=1/弾性係数)で正規化した値( $=\lambda/\lambda_0$ )、 $\sigma^*$ は $\sigma$ を一軸圧縮強さ $\sigma_c$ で正規化した値( $=\sigma/\sigma_c$ )である。 $m_3$ は強度破壊点以降の応力-ひずみ曲線の形状を決める正の定数であり、 $m_1$ は強度破壊点以前の応力-

$$\frac{d\lambda^*}{dt} = a_1 \cdot (\lambda^* - 1)^{-m_1} \cdot (\sigma^*)^n + a_3 \cdot (\lambda^*)^{m_3} \cdot (\sigma^*)^n \dots (1)$$

ひずみ曲線の形状を決める正の定数である。 $n$ は応力依存性をあらわす定数であり、 $a_1, a_3$ は正の定数である。従来の式(右辺第2項のみ)では、応力一定の条件では、時間の経過に伴って $d\lambda^*/dt$ が単調に増加するため、ひずみ速度が減少していく1次クリープを再現できない。拡張した構成方程式は、従来の式に右辺第1項を加えたものであるが、 $\lambda^*$ が小さいうちは、第1項が第2項に比べて大きく、応力一定の条件では、時間の経過に伴って $d\lambda^*/dt$ が減少(=ひずみ速度が減少)するため、1次クリープが再現できる。

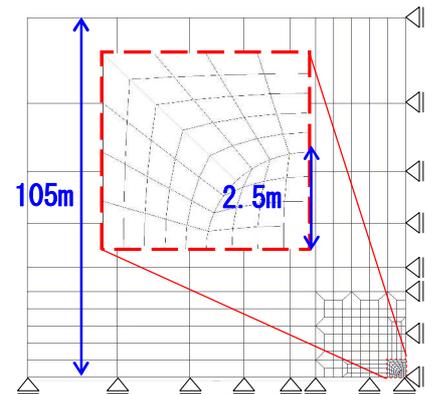


図-1 解析モデル図

### 3. 解析条件

解析モデルは図-1に示す1/4モデルとし、坑道の直径は5.0mとした。解析に用いた岩盤の物性を表-1に示す。岩盤の物性は、羽柴ら<sup>3)</sup>の報告に示される感度解析例を参考として設定した。 $a_1, a_3$ については、 $a_1/a_3=0.1$ とし、一軸強さが表-1中の値となるように決めた。設定した物性により得られる、定ひずみ一軸圧縮条件での正規化した応力-ひずみ曲線の計算値を図-2に示す。解析期間は100,000年までとした。

表-1 解析用岩盤物性値

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| 一軸圧縮強さ $\sigma_c$ (MPa) | 20          |
| 一軸引張強さ $\sigma_t$ (MPa) | 2           |
| 初期弾性係数 $E_0$ (MPa)      | 2000        |
| 初期ポアソン比 $\nu_0$         | 0.2         |
| $n_0$                   | 20          |
| $m_1$                   | 0, 1, 5, 10 |
| $m_3$                   | 10          |
| 初期地圧 (MPa)              | 8           |

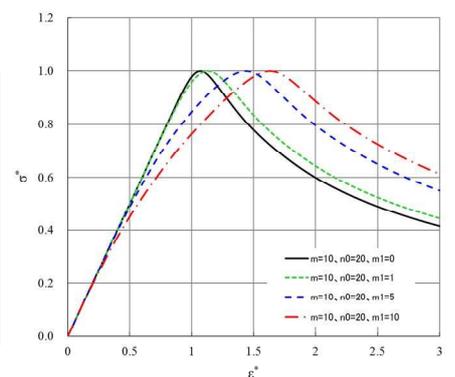


図-2 正規化した応力ひずみ曲線

### 4. 解析結果

坑道周辺の岩盤(図-3中の①~⑤)での弾性係数および最大主応力と時間の関係を片対数紙上にプロットしたものを図-4、図-5に示す。弾性係数については、 $m_1=0$ (3次クリープのみ)では、掘削直後での値の低下は見られないが、ある程度の時間が経過すると、急激に値が低下する傾向にある。最大主応力に着目すると、弾性係数の低下が生じるまでは、最大主応力は一定の値を保っているが、弾性係数の低下が始ると最大主応力が低下するとともに、隣接する要素への応力再配分が生じている。これに対して、 $m_1$ の値が大きく

キーワード 地層処分, 岩盤, コンプライアンス可変型構成方程式, 1次クリープ, 掘削影響領域

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋6丁目17番21号 西松建設株式会社 技術研究所 TEL03-3502-0279

なるほど掘削直後から弾性係数が低下する傾向にあり、 $m_1=0$ の場合と比較して、より深部の要素でも弾性係数の低下がみられる。最大主応力についても、掘削直後から変動する傾向にあり、 $m_1$ の値が大きくなるほど応力の再配分が促される傾向にある。図-6に、 $m_1=0$ および $m_1=10$ での弾性係数と最大主応力の分布を経過時間で整理した分布図を示す。 $m_1=0$ では、弾性係数の低下はある程度時間が経過してから生じ、その範囲は狭いが低下量は大きい傾向にある。最大主応力については、時間の経過とともに圧縮アーチが坑道壁面から深部に移行していく様子が見て取れる。これに対して、 $m_1=10$ では掘削直後から坑道周辺に弾性係数の低下領域が生じており、100,000年後では、 $m_1=0$ に比較して坑道壁面での弾性係数の低下量は小さいが、低下する範囲は広がっている。最大主応力については、 $m_1=0$ 場合に比較して、より広い圧縮アーチで支持する傾向にあり、岩盤の深部まで掘削による応力再配分の影響が生じている。

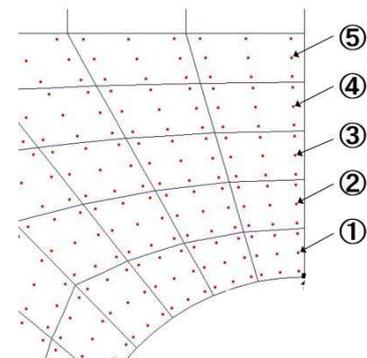


図-3 着目点位置図

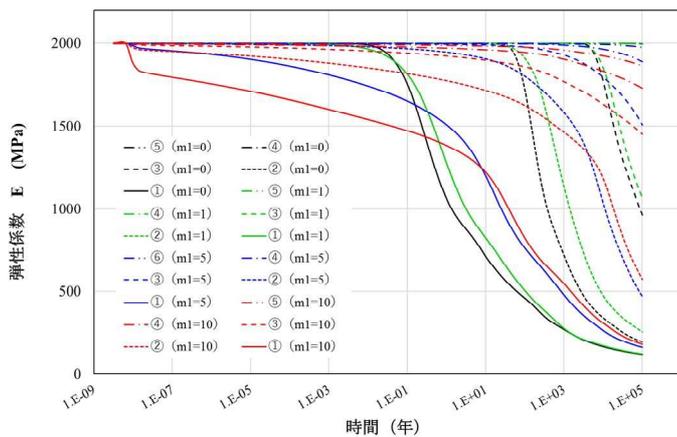


図-4 弾性係数-時間関係

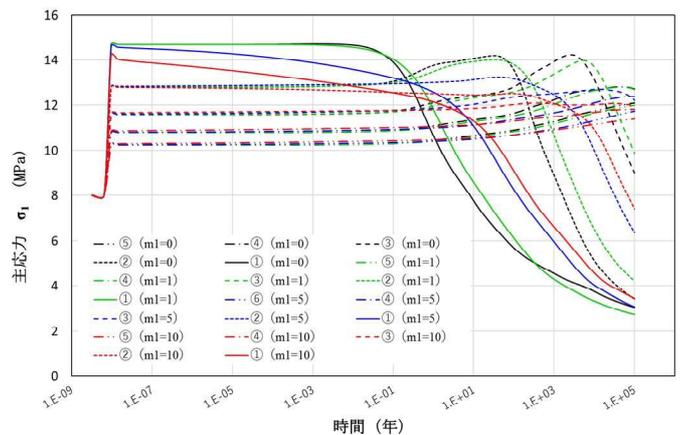


図-5 最大主応力-時間関係

5. おわりに

1次クリープを考慮可能な拡張したコンプライアンス構成方程式により坑道の掘削解析を行った結果、坑道壁面付近での掘削影響の程度は、 $m_1$ の値が小さいほうが大きくなったが、掘削影響の生じる範囲は、 $m_1$ の値が大きくなるほど広くなり、影響が表れる時期も早い結果となった。今回の検討は、限られた条件での検討であるものの、掘削直後からの弾性係数の変遷を表現しており、掘削影響領域を評価するうえで有効なツールになるものと考えられる。

参考文献

- 1) 大久保ら:コンプライアンス可変型構成方程式の拡張とクリープ試験結果による検討,資源と素材, No.118, pp.737-744, 2002.
- 2) 大久保ら:コンプライアンス可変型構成方程式の解析的検討,資源と素材, No.108, pp.601-606, 1992.
- 3) 羽柴ら:2種類のコンプライアンス可変型構成方程式による坑道周辺岩盤挙動のシミュレーション,第37回岩盤力学に関する講演集(社)土木学会, pp.113-118, 2008.1

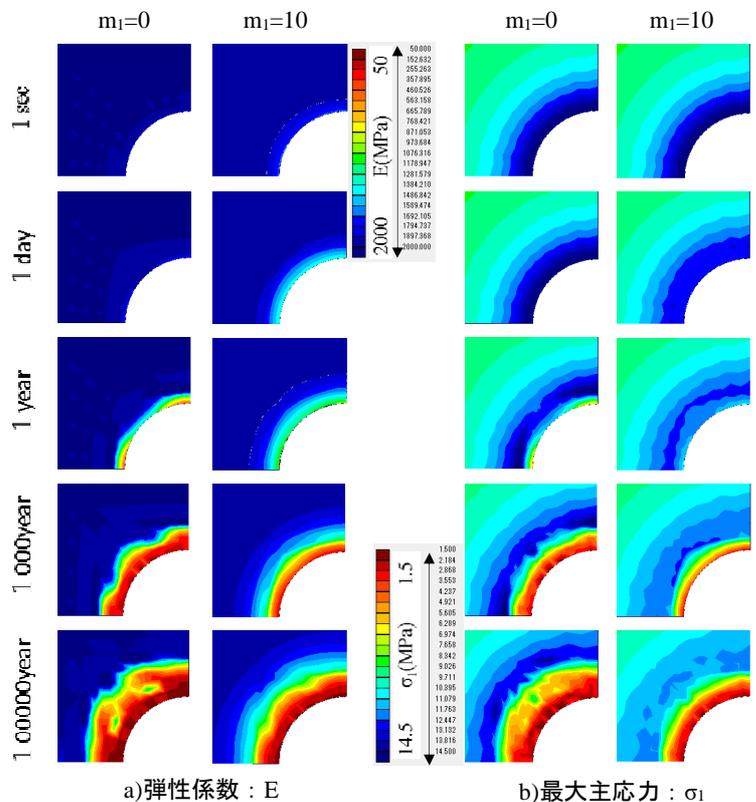


図-6 弾性係数および最大主応力の分布図