

トンネル周辺岩盤のクリープ解析における設定条件が解析に及ぼす影響

香川大学 正会員 ○ 吉田 秀典
オービック 奥村 幸弘
東京電力 加藤 和之

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物を地下深くの地層に処分する場合、数千年のオーダーで廃棄物を格納しておくトンネル部の健全性を議論しておく必要がある。一般に、事前調査としてボーリング調査などを行い、処分場の建設前に岩盤特性などの把握が試みられるが、処分坑掘削時には、掘削に伴う応力解放によって周辺岩盤では、いわゆる「緩み」が発生するため、事前調査時に得られた岩盤物性や初期応力は、掘削とともに変化する可能性が高い。したがって、掘削過程における周辺岩盤の挙動が、その後の岩盤の長期的挙動にどのような影響を及ぼすかを議論する必要がある。また、高レベル放射性廃棄物の地層処分に關しては、最終的には処分坑の埋め戻しが行われることになるが、埋め戻しの時期もまた、周辺岩盤の長期的挙動に影響を及ぼすものと思われる。

そこで本研究では、高レベル放射性廃棄物の処分坑掘削過程、および、その後のクリープ過程において、周辺岩盤がどのような挙動を呈するかを把握する目的で有限要素解析を行い、本稿では、埋め戻しの有無、解析パラメータ、および初期応力が周辺岩盤に及ぼす影響について検討を行う。

2. 解析モデル

本研究では、掘削などに伴う周辺岩盤の短期的挙動の表現には古典的な弾塑性論を適用することとし、降伏条件（降伏関数）については、モール・クーロン型の降伏条件を、また、塑性ポテンシャルについては、ドラッガー・ブラッガー型の塑性ポテンシャルを採用した。一方、長期的挙動の表現には相当クリープひずみ速度則を採用した。これらの理論を組み合わせることにより、岩盤の短期、及び長期的な挙動の解析が可能となる。これは岩盤の挙動をメカニズムレベルからモデル化しているものではないが、本研究は、高レベル放射性廃棄物の処分坑の長期的安定を議論する上でどういったポイントを押さえておくべきか検討することを目的としているため、敢えて汎用的な理論の組み合わせを採用した。尚、相当クリープひずみ速度則（ただし、温度の影響を省いている）は次式で定義される。

$$\dot{\epsilon}^c = A(\bar{\sigma}^c)^n q t^{-(1-q)} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\bar{\sigma}^c$ は相当応力、 A 、 n 、および q はクリープ係数で、このうち A は応力や温度に依存する係数である。

3. 解析設定

本解析では、対象岩盤を脆弱な軟岩と仮定し、その物性については、文献¹⁾を参考にして表1のように設定した。処分坑の掘削を逐次応力解放によって模擬し、掘削後の埋め戻しの有無（処分坑周辺境界の変位の固定／自由で対応）を考えた。

表1 解析パラメータ

弾性定数	弾性係数	1500MPa
	ポアソン比	0.3
強度定数	粘着力	0.6MPa
	内部摩擦角	30°

また、岩盤のクリープ挙動を規定している相当クリープひずみ速度則のパラメーターや初期応力状態を変化させ感度解析を行った。クリープに関しては、式(1)におけるクリープ係数 A 、 n 、 $1-q$ を変化させた。具体的には、文献²⁾を参考に、 $1-q$ については、 $\frac{4}{5}$ 、 $\frac{2}{3}$ 、 $\frac{1}{2}$ の3ケースを、 n については、0.1、0.5 の2ケースを、また、 A については、 10^{-4} 、 10^{-6} の2ケースを考え、これらをそれぞれ組み合わせて解析を行った。

表2 側圧比

側圧比	上方圧	側方圧
0.8	24.5MPa	19.6MPa
1.0	24.5MPa	24.5MPa
1.4	24.5MPa	34.3MPa

初期応力に関しては、岩盤の単位体積重量を 25kN/m^3 と仮定し、これに土被り（処分坑の深度は1,000m）を乗じた値、24.5 MPa を処分坑周辺の初期応力とした。本解析では、鉛直方向の初期応力は固定し、側方圧を表2のように変化させた。解析においては、この初期応力を $50\text{m} \times 50\text{m}$ の解析領域に、境界条件として入力した。

本解析では、処分坑を半径3mの円形トンネルとし、また、支保に関しては省略している。尚、本解析においては、岩盤は等方材料と仮定していることから、解析は全領域について行うのではなく、四分の一領域のみとした。

4. 解析結果

まず、初期応力がクリープ解析に及ぼす影響について考えるため、側圧比1.0、0.8、1.4における処分坑周辺岩盤の相当クリープひずみ分布（1000年後）を、それぞれ図1から図3に示す。また、側圧比1.4に関しては、埋め戻しの影響

キーワード：クリープ、高レベル放射性廃棄物、有限要素解析、境界条件、解析パラメータ

〒761-0396 香川県高松市林町2217-20 香川大学 工学部 TEL&FAX:087-864-2157

を考察するために、埋め戻しを行わない、つまり処分坑周辺境界の変位を固定しない場合の結果を図4に示す。尚、これら一連の解析は、クリープの解析パラメータを $A = 10^{-6}$, $n = 0.5$, $1 - q = 0.67$ としている。

初期応力が異なると、当然のことながら、クリープ変形を生じる領域およびその値に違いが見られる。紙面の都合上、掘削中の非線形挙動を考慮しない解析結果を提示できないが、掘削中の非線形挙動も、後のクリープ変形にも影響を及ぼす。

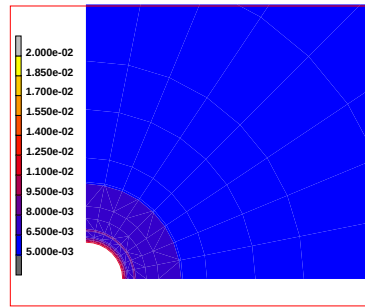


図1 相当クリープひずみ（側圧比 1.0）

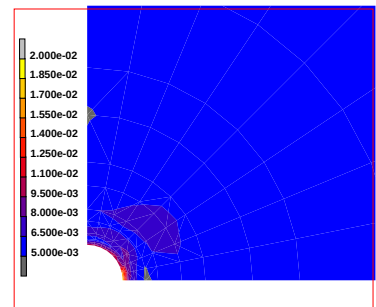


図2 相当クリープひずみ（側圧比 0.8）

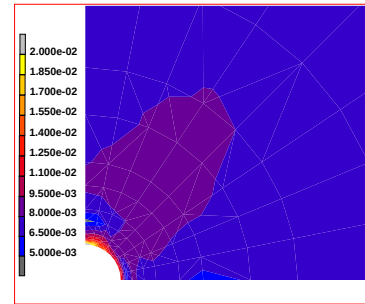


図3 相当クリープひずみ（側圧比 1.4）

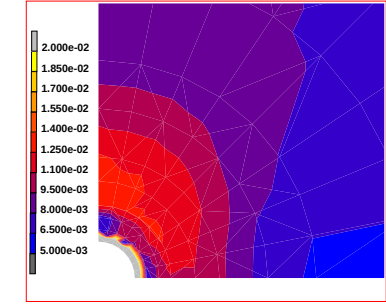
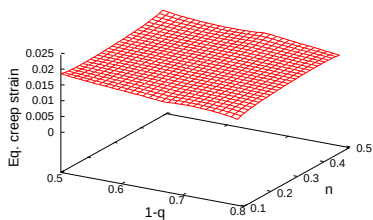
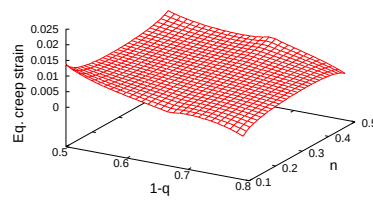
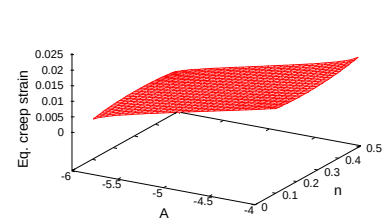
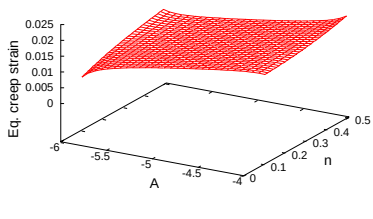
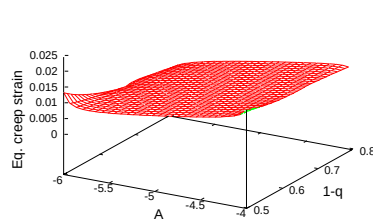
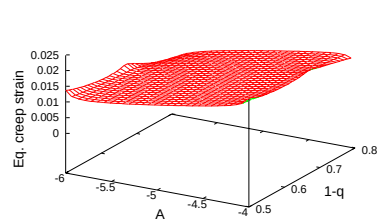


図4 相当クリープひずみ（埋め戻し無）

掘削後、埋め戻しを行わないとした場合、処分坑周辺境界において変位拘束がないため、クリープに伴う大きな変形が、処分坑方向に向かって生じている。実際の高レベル放射性廃棄物の地層処分では、廃棄体を設置してから暫くは埋め戻しをしないことから、この点に関する注意も必要であろう。

図5 クリープひずみ（ $A = 10^{-4}$ 固定）図6 クリープひずみ（ $A = 10^{-6}$ 固定）図7 クリープひずみ（ $q = 0.8$ 固定）図8 クリープひずみ（ $q = 0.67$ 固定）図9 クリープひずみ（ $n = 0.1$ 固定）図10 クリープひずみ（ $n = 0.5$ 固定）

最後に、クリープの解析パラメータがどのような影響を与えるかを検討した。 A , n , $1 - q$ のいずれか1つを固定し、その他の2つを変動させた場合の相当クリープひずみの最大値を図5から図10に示した。どのパラメータも、その値を変化させても変化分は線形に近く、パラメータの変化に伴う変動幅の予測は可能であろう。

5. 結言

今回の解析より、クリープ解析における設定条件が解析に与える影響の概略を把握できた。相当クリープ速度則を用いた場合、解析パラメータの変動に関しては、その影響を定性的に評価できる。しかしながら、他の条件に関しては、単独で影響を与えるのではなく、複合として影響を及ぼすので、注意が必要である。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構ホームページ：
<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/bunken/draft2/b01/pdf/03-05-03-s01.pdf>
- 2) Roland Pusch; Mechanism and Consequences of Creep in Crystalline Rock, Comprehensive Rock Engineering(ed:Jhon A Hudson), Vol.1, pp.227-241, 1933
- 3) Roland Pusch; Time-dependent Response of Rock Around Tunnels, Comprehensive Rock Engineering(ed:Jhon A Hudson), Vol.2, pp.77-112, 1933