

坑道建設・作業時における周辺岩盤の力学挙動予測に関する研究

山口大学大学院創成科学研究科
福島工業高等専門学校
山口大学大学院創成科学研究科
西松建設株式会社

学生会員 ○西内 瑞生
正会員 金澤 伸一
正会員 林 久資
正会員 真田 昌慶

1. 研究背景および目的

現在、原子力発電の過程で発生する高レベル放射性廃棄物の処分方法として、地層処分が検討されている。地層処分施設は立坑や処分坑道などで構成されるが、施設の長期運用が想定されているため、施設周辺岩盤の時間依存性挙動を考慮した支保工および岩盤の力学状態を把握する必要があるか否かを検討する必要がある。

そこで本研究では、モールクーロンモデルと、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)}での解析結果と比較する。

2. 解析概要

本研究では、岩盤のピーク強度以降の破壊挙動と非線形な時間依存性挙動を再現するため、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)}を搭載した有限要素法コード DACSAR-MP を用い、地層処分施設の処分坑道掘削を模擬した数値解析を行った。また、モールクーロンモデルについては、有限差分法コード FLAC3D を用いて解析を実施し、コンプライアンス可変型構成方程式での解析結果と比較した。コンプライアンス可変型構成方程式とは、コンプライアンス ($\lambda = \epsilon / \sigma$) が時間経過とともに増加する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 はピーク強度以降の応力 - ひずみ曲線の傾きを決める定数で値が大きいほどピーク強度以降の応力低下が急激となる。 m および n に関しては、コンプライアンス可変型構成方程式特有のパラメータであるため、モールクーロンモデルでは使用していない。

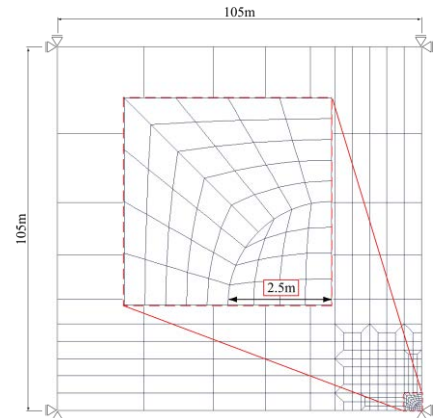


図-1 無支保モデル図

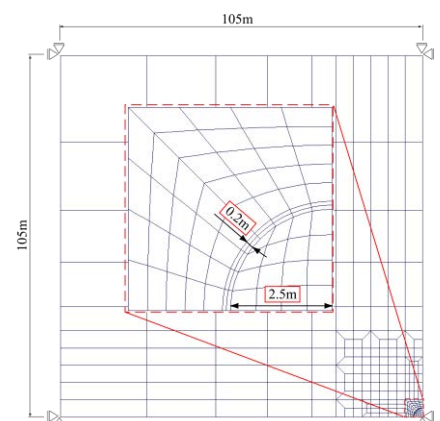


図-2 有支保モデル図

表-1 解析入力物性値^{1),2),3)}

岩盤					
岩盤区分	SR-A	SR-B	SR-C	SR-D	
一軸圧縮強度	qu(MPa)	25	20	15	10
引張強度	σ_t (MPa)	3.5	2.8	2.1	1.4
弾性係数	E(MPa)	5000	4000	3500	2500
粘着力	c(MPa)	5.0	4.0	3.0	2.0
内部摩擦角	$\phi(^{\circ})$	30	29	28	27
ポアソン比	ν	0.3	0.3	0.3	0.3
飽和密度	$\rho(\text{Mg/m}^3)$	2.45	2.35	2.20	1.95
側圧係数	K_0	1.07(=164/h+0.74, h=500)			
m		5			
n_0		20			
吹付けコンクリート					
設計基準強度	f'_{ck} (MPa)	36			
弾性係数	E(MPa)	6000			
ポアソン比	ν	0.2			

図-1、図-2に示すように、解析モデルは解析・評価の容易さを考慮して、コンプライアンス可変型構成方程式に関しては二次元断面、モールクーロンモデルに関しては奥行き 0.25m の三次元モデルを、二次元平面ひずみ状態を模擬した断面とした。坑道形状は直径 5.0m の円形とし、1/4 断面でモデル化した。図-1 は無支保モデル（吹付けコンクリートを設置しない）、図-2 は有支保モデル（吹付けコンクリートを設置する）とした。坑道上部の土被りが 500m となるように初期地圧を設定し、岩盤物性の違いが坑道掘削時に周辺岩盤へ及ぼす影響を考察するため文献³⁾を

キーワード 地層処分 数値解析 高レベル放射性廃棄物

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL 0836-85-9332

参考に表-1 に示す異なる物性の 4 ケースを与え、坑道は全断面で掘削するものとした。また、応力開放率は無支保モデルに関しては 100%，有支保モデルは坑道を掘削する際に応力を 40%解放させ、その直後に支保工を設置し残り 60%の応力を解放させた。コンプライアンス可変型構成方程式を用いた解析において解析期間は坑道掘削後 365 日間とした。

3. 結果および考察

まず、地山に無支保でトンネルを掘削した際のコンプライアンス可変型構成方程式とモールクーロンによる解析結果を、図-3 に示す水平方向変位の分布で比較する。表記した値は最大変位である。どの岩種においてもコンプライアンス可変型構成式を用いた解析結果がモールクーロンモデルを用いた結果を上回っていること、岩盤強度が低いほど両モデルの最大変位差が大きくなっていることがわかる。これは、岩盤強度が低くなるほど坑道掘削による周辺岩盤のゆるみ領域が拡大することに加え、コンプライアンス可変型構成方程式による時間経過に伴う弾性係数の低下（クリープによる変位）が生じたことが要因であると推定できる。

次に、図-4 にコンプライアンス可変型構成方程式を適用した各モデルの時系列ごとの側壁変位を支保工の有無を考慮して示す。最も条件の悪い無支保モデル、岩盤区分 SR-D では坑道掘削 10 日後の変位と、365 日後の変位差が 8mm 程度生じ、収束に至っていない。一方で、本研究で解析を行ったすべての岩盤区分（SR-A, SR-B, SR-C, SR-D）では、坑道掘削直後に吹付けコンクリートを設置すると、掘削後十数日で変位が一定値に収束することが確認できた。この結果より、坑道掘削直後に支保工を設置することは、掘削直後に生じる変位を抑制するばかりではなく、坑道周辺岩盤のゆるみ領域を抑制でき、時間経過による岩盤の安定性低下の抑制にも寄与できる可能性があるといえる。今後は、時間依存性を考慮しないモールクーロンモデルを用いた有支保モデルの数値解析を行い、現在得られている結果と比較することで、施設の長期運用が想定されている地層処分施設坑道部の設計において、岩盤の時間依存性挙動を考慮した支保工および岩盤の力学状態を把握する必要があるか否かを検討していく予定である。

4. まとめ

本解析ではコンプライアンス可変型構成方程式を用いることで、時間経過を考慮した支保部材の有無による岩種別の坑道周辺岩盤の挙動を把握することができた。また、コンプライアンス可変型構成方程式とモールクーロンモデルそれぞれの解析結果を比較することにより、無支保掘削時に各数理モデルを採用した際の岩盤挙動を把握することができた。有支保モデルでの数値解析を今後進め、時間経過の考慮の有無から生じる差異が、処分坑道掘削、供用時の坑道周辺岩盤の安定性に対して有意なものであるかについて今後検討を進める。

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.
- 4) 櫻井ら：トンネルの安定性評価のための限界せん断ひずみ，土木学会論文集 1994(493)，pp.185-188，1994.

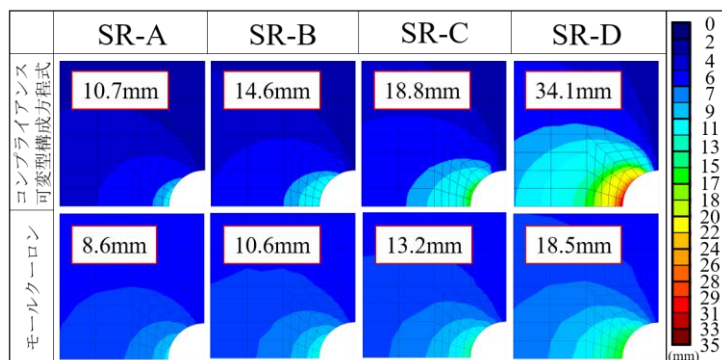


図-3 無支保モデルの水平方向変位分布

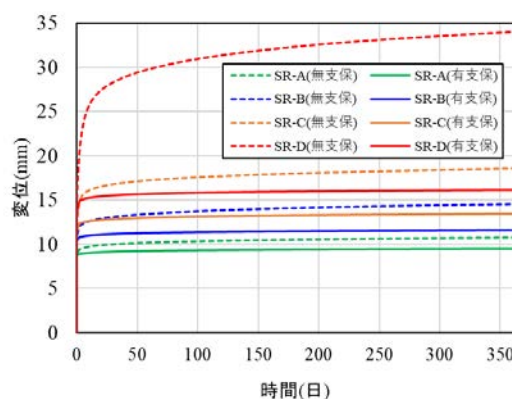


図-4 無支保モデルおよび有支保モデルの時間経過に伴う側壁変位