岩盤の時間依存性挙動を考慮した地層処分施設坑道の掘削解析

山口大学大学院　学生会員　○西内　瑞生
福島工業高等専門学校　正会員　金澤　伸一
山口大学大学院　正会員　林　久資
西松建設株式会社　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．岩盤に地層処分施設の処分坑道を掘削し供用を行う際は，支保部材や周辺岩盤の力学状態を把握出来ることが好ましい．

そこで本研究では，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)]を適用することで，施工から供用時における坑道周辺岩盤の挙動を把握することが出来るか否かを検討することを目的とする．

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．コンプライアンス可変型構成方程式は，コンプライアンス（λ＝ε/σ）が時間経過に伴い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/弾性係数）で正規化した値（=λ/λ_0），σ*はσを一軸圧縮強度 σ_c で正規化した値（=σ/σ_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．

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

図-1，**図-2** に示すように解析・評価の容易さを考慮して二次元断面，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 となるような初期地圧を設定し，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，坑道を掘削する際は応力を 40%解放させ，その直後に支保工を設置し 60%の応力を解放させた．解析期間は坑道掘削後 365 日間とした．

3．結果および考察

図-3 に，無支保モデルの最大せん断ひずみ分布を示す．最大せん断ひずみ分布は，掘削直後を初期（0 日）とし，そこから 1 ヶ月後，1 年後を示している．各岩種の限界せん断ひずみを超過した部分[4)] を赤色で示した．

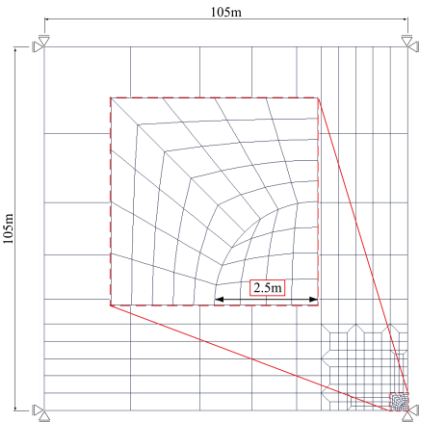

図-1　無支保モデル図

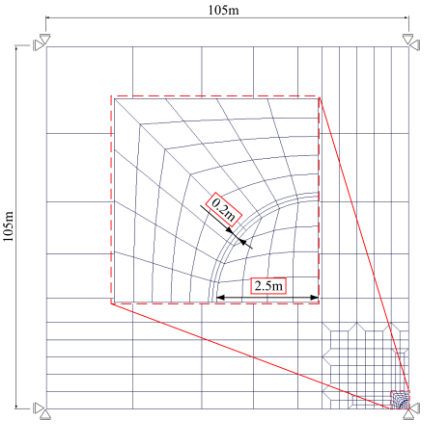

図-2　有支保モデル図

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	φ(°)	30	29	28	27
ポアソン比	ν	0.3	0.3	0.3	0.3
飽和密度	ρ(Mg/m³)	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			

キーワード　地層処分　数値解析　コンプライアンス可変型構成方程式　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

© Japan Society of Civil Engineers

坑道掘削直後に着目すると，岩種 SR-A，SR-B，SR-C，SR-D の順に限界せん断ひずみを超過している領域が大きくなることがわかる．また，どの岩種においても時間経過に伴いその領域が拡大している．

次に，**図-4** に有支保モデルの最大せん断ひずみ分布を示す．岩盤強度および時間経過に伴い見られる最大せん断ひずみの傾向は無支保モデルの**図-3** と同様であるが， 吹付けコンクリートを打設することで，限界せん断ひずみを超過した領域がすべてのケースで抑制されていることがわかる．つまり，吹付けコンクリートで岩盤を支保することにより周辺岩盤のクリープによる損傷が低減できることが示唆されている．

次に，坑道掘削完了後より 365 日間の坑道側壁変位に着目する．**図-5** に無支保の坑道壁面における変位と時間の関係を示す．比較的岩盤強度を有する SR-A，SR-B，SR-C の結果から，坑道掘削直後は変位が急激に生じるが，数十日後より変位が収束している傾向が見られた．しかしながら，岩盤強度が最も低い SR-D は坑道掘削後に生じた変位と 365 日後の変位差が 8mm 程度ある．これは，岩盤が軟弱であるため坑道掘削により周辺岩盤が広範囲でゆるんだことに加え，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．

図-6 に有支保モデルの坑道側壁部変位と時間の関係を示す．どの岩種においても，吹付けコンクリート設置後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，時間経過を考慮した岩盤の安定性にも寄与できる可能性がある．これらの側壁変位の結果は，**図-3**，**図-4** による最大せん断ひずみの低減と力学的に同義の結果であると考察できる．

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，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安定性について示すことができた．本研究での解析結果の差異が，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，今後検討を進めたい．

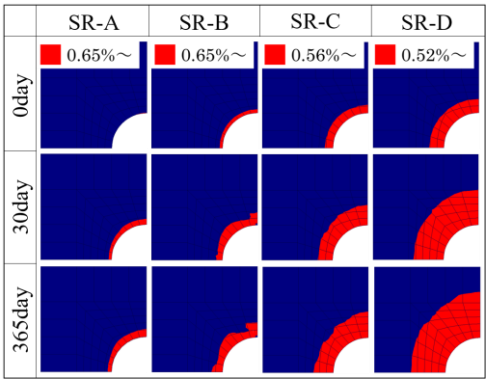

図-3　無支保モデルの限界せん断ひずみ超過領域

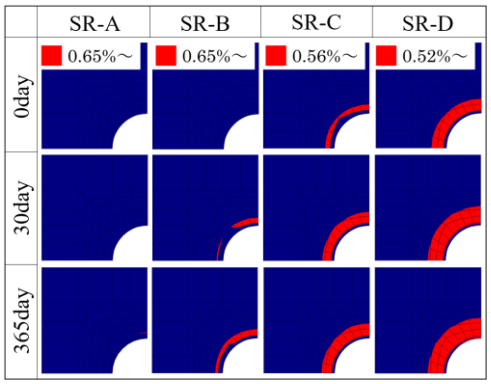

図-4　有支保モデルの限界せん断ひずみ超過領域

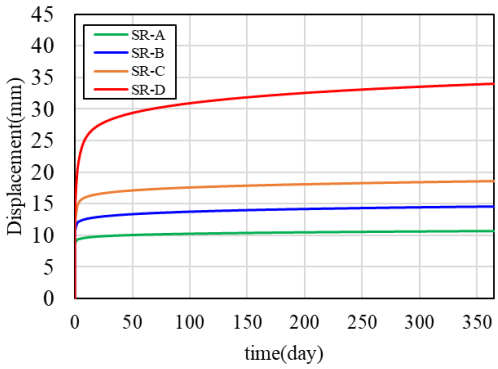

図-5　時間経過に伴う側壁変位（無支保モデル）

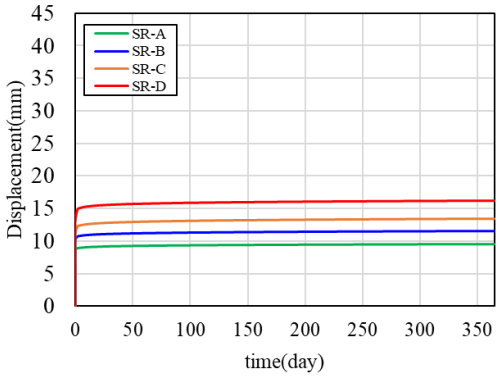

図-6　時間経過に伴う側壁変位（有支保モデル）

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.

© Japan Society of Civil Engineers