

MBC解析に基づく大深度におけるトンネル支保設計手法

○ 東京大学 正 員 金子 岳夫
東京大学 正 員 堀井 秀之
香川大学 正 員 吉田 秀典

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分における技術的な課題の一つとして、大深度地下におけるトンネルの支保設計が挙げられる。地層処分の対象となる 1000m 前後の大深度地下におけるトンネルについては、これまで施工実績がほとんど存在せず、設計およびその評価を行うことが困難な状態である。

実績の無い条件下のトンネルに対して支保設計を行うためには、支配的な現象を再現し得る解析手法を用いることが必要である。実現現象を再現可能な解析手法を用いた設計を行い、既存の実績に対してその有効性を確認した上で、経験の無い大深度地下条件についての設計を行うことが必要な手順であると考えられる。今回、岩盤の掘削時挙動を表現できる解析手法としてMBCモデル¹⁾²⁾を用い、大深度地下におけるトンネルに対して適用可能な支保設計手法を提案する。

2. 設計の考え方

ここでは不連続性岩盤における大深度トンネルを対象とする。設計で考慮すべき限界状態はいくつか存在するが、ここでは掘削により岩盤が緩み、岩盤中のジョイントがせん断・開口することにより、岩盤の変形が進行し変状に至る状態を考える。変状はトンネル周辺岩盤における最大せん断ひずみの最大値がある限界値に達したときに生ずるものと仮定する。トンネル周辺岩盤の安定性評価として最大せん断ひずみを使用する手法については、桜井ら³⁾によって提案された限界せん断ひずみがあり、硬岩についても一軸、三軸試験から近似的に限界せん断ひずみを求める手法が提案されている。変状が生ずる限界のひずみの値はトンネル掘削の実績に基づいて決定されるべきものであり、既存トンネルの掘削解析を行い、解析結果と実績を比較することにより最大せん断ひずみの許容値を限界せん断ひずみとして決定する必要がある。

今回の支保設計条件は次の2点とする。(1) 周辺岩盤中に生じる最大せん断ひずみの最大値を許容値以下とする、(2) 支保要素に生じる応力を材料強度以下とする。そこで、支保要素を導入した掘削解析を行い、先の条件を満たす支保仕様を決定することとした。

3. 設計条件

設計手法の提示を目的として、以下のような条件により設計例を示す。解析に使用したメッシュは 100m×100m(1300 要素)であり、中心部に直径 5.0 m のトンネルを掘削する設定とした。掘削ステップ時の境界条件は端部固定である。掘削解析に使用したモデルはMBCモデルであり、ジョイントは右落 70°、左落 70° の 2 セットを想定している。解析に使用した物性値は表-1 に示す通りである。解析はトンネル深度 (300~1000m)、岩盤のジョイ

表 1 解析使用物性値

岩盤弾性係数	19.6 GPa	
岩盤ポアソン比	0.3	
初期地圧	鉛直	$2.7g/cm^3 \times Depth$
	水平	鉛直 $\times 0.6$
ジョイントセット 2 sets	右落 70°	有効寸法 5.0 m
	左落 70°	有効寸法 2.5 m
	間隔	0.3~2.0 m
	摩擦角度	30°
	起伏角度	10°

ント間隔 (0.3~1.0m) の組み合わせによるパラメータスタディを行い、最大せん断ひずみの許容値は 0.5%、コンクリート材料強度は 23.52 MPa とした。支保を導入する際の掘削解析手順の手順は、(1) 60%初期応力解放の掘削解析、(2) コンクリート支保要素 (トラス要素 : E = 19.6 GPa) 追加、(3) 40%応力解放掘削解析としている。

4. 設計結果

図-1 に示すグラフは、無支保の場合の掘削解析結果をジョイント間隔と最大せん断ひずみの最大値の関係について各深度毎にとりまとめた結果である。この結果から、大深度においては、ジョイント間隔が密になることによって、トンネル周辺岩盤には非常に大きなひずみが生じることが推測され、支保設計が重要となることがわかる。

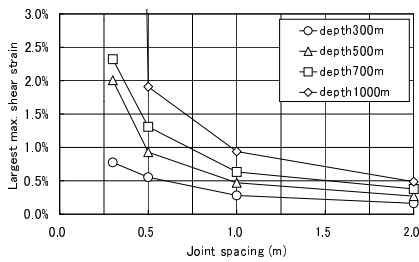


図 1 深度と最大せん断ひずみの関係

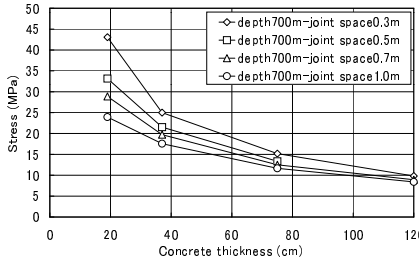


図 3 支保厚と支保応力の関係 深度 700m

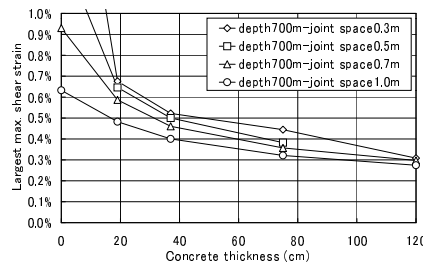


図 2 支保厚とひずみの関係 深度 700m

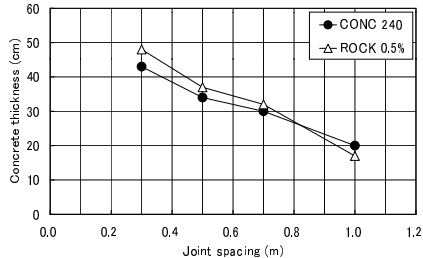


図 4 コンクリート設計 深度 700m

図-2 は支保を追加した場合の解析結果 (深度 700m) を支保厚と周辺岩盤の最大せん断ひずみの最大値の関係について、図-3 は支保厚とコンクリート支保に生じる最大応力の関係についてそれぞれ取りまとめたものである。支保厚を増すことによって、最大せん断ひずみの値は低減し、コンクリート支保に生じる応力も低減する。

図-2,3 を利用して、最大せん断ひずみを 0.5%以下、コンクリート支保応力を 23.52 MPa とした設計上の許容値に対する必要コンクリート支保厚を取りまとめた結果が図-4 である。図-4 か

ら、深度 700m においてはジョイント間隔約 0.8m を境界として、ジョイントが密なケースにおいては岩盤の最大せん断ひずみからコンクリート支保厚が決定され、ジョイントが疎なケースにおいてはコンクリート支保に発生する応力から支保厚が決定できることがわかる。

図-5 は深度 700m、ジョイント間隔 0.5m のケースについて支保無しの場合の解析を行った際の最大せん断ひずみの分布を示している。ジョイントの変形の影響を受け、トンネル側面では最大せん断ひずみが 0.5% を超過する領域が認められる。それに対して、図-6 は、同条件の下で、コンクリート支保 (支保厚 37cm) を追加したケースの結果であり、岩盤に変形が生じている領域が縮小していることがわかる。

図-7 は、以上のような解析結果を整理し、トンネル深度毎、ジョイント間隔毎に必要な支保厚を算出し、取りまとめたものである。凡例中で ROCK としてあるものは岩盤の最大せん断ひずみ許容値から必要支保厚を決定したケースであり、CONC としてあるものはコンクリート支保に生じる応力から必要支保厚が決まったケースである。

トンネル深度が深く、ジョイント間隔が小さい条件では、岩盤の最大せん断ひずみから必要支保厚を決定することになり、トンネル深度が浅く、ジョイントが疎な条件では岩盤に大きな変形が生じることがないため、コンクリート支保に発生する応力から必要支保厚が決定される。

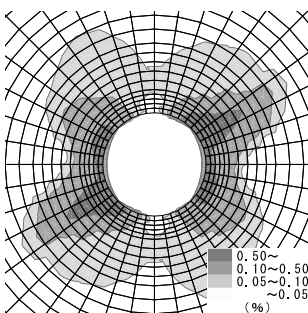


図 5 最大せん断ひずみ
支保無し

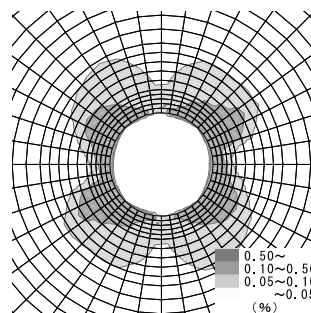


図 6 最大せん断ひずみ
支保厚 37cm

(Depth 700m, Joint space 0.5m)

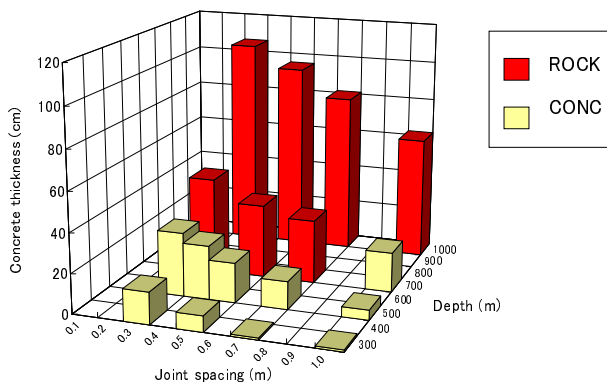


図 7 コンクリート設計

5. まとめ

今回岩盤の掘削時挙動を表現しうる解析手法として M B C モデルを採用し、大深度におけるトンネル設計手法の提案を行ったが、今後は施工実績の存在する深度について実測データとの比較を行い、その妥当性の検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 吉田秀典, 堀井秀之: マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体モデルと大規模地下空洞掘削の解析, 土木学会論文集 No.535/-34, 23-41, 1996
- 2) 吉田秀典, 堀井秀之, 打田靖夫: マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体モデルによる大河内発電所空洞掘削の解析と計測値との比較, 土木学会論文集 No.547/-36, 39-56, 1996
- 3) 桜井春輔, 川島幾夫他: トンネル安定性評価のための限界せん断ひずみ, 土木学会論文集, No493/-27, pp.185-188, 1994.6