

トンネル建設実績と岩盤の応力状態に基づく坑道の安定性評価について

清水建設 正会員 熊坂博夫 桜井英行 石井 卓
東京電力 正会員 小野文彦

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設は、昨年、その処分に関する法律が成立し、地下300mより深い位置に建設することが定められている。

従来の安定設計に関する研究^{(1),(2),(3)}では、硬岩は1,000m、軟岩は500mにおける設計検討がなされている。この中で、硬岩では無支保、軟岩では厚さ0.5mのコンクリート支保あるいは厚さ0.15mの高強度コンクリートセグメントを使用することが報告されている。一方、軟岩中のトンネルの建設実績⁽⁴⁾によれば、支保は上記の場合に比べ軽微なことが示されている。

地下施設の構造安定設計の高度化は、地層処分施設における地質条件の制約を小さくすることやより深い位置における立地が可能となり候補地の拡大につながり、また、同一深度での支保の軽減による経済性向上の効果も期待できるので、重要な課題といえる。

特に、合理的な安定設計においては、トンネルや坑道の安定性の判定基準をどの様に設定するかが重要である。ここでは、既往のトンネルの建設実績を踏まえて、従来の安定設計で用いられている判定基準および適用性について考察したので報告する。

2. トンネル建設実績調査の概要

過去10年間を基本とする公開文献より、建設深度が200m以上のトンネルについて、95事例を収集した。これを、地層処分の硬岩・軟岩と対応させるため、64件と36件に分け（5事例は硬岩・軟岩地質における建設）、分析を行った。

また、本報告では、それらの事例の中で安定性の評価に用いることができると考えられたA,K,Mの3つのトンネルの計測データを文献等から読みとり分析・検討を行った。

3. 安定性の評価基準と実績について

安定性の評価基準としては応力とひずみによる評価基準に大別される。本報告では、応力による評価基準の地山強度比と支保効果を考慮した指標による評価について示す。

3.1 地山強度比の実績と適用性について

文献(5),(6)および3つのトンネルで深度200m以上の地山強度比とトンネル壁面の変形率（≒接線方向ひずみ）の関係を図-1に示す。図より以下のことがわかる。

- ①地山強度比の実績は、岩石強度で0.03~18、岩盤強度で1~20程度である。一方、地層処分施設の軟岩の設計事例^{(1),(2),(3)}では、0.3~0.7程度であることより、施工実績からは既に経験している荷重条件である。

ただし、図に示されるように、地山強度比には大きなバラツキがあることや支保の効果を考慮できないため、定量的な安定性評価基準として適用するにはこれらを考慮する必要がある。

3.2 支保効果を考慮した安定性評価指標

地山強度比に支保効果と岩盤の強度の応力依存性を考慮した坑道壁面の降伏・破壊基準を円形坑道壁面が塑性化するかどうかの指標 F として、次式で定義する。

$$F = (\kappa + 1) \frac{P_i}{P_0} + \left(\frac{q_u}{P_0} - 2 \right).$$

ここに、初期地圧： P_0 、支保内圧： P_i 、岩盤の一軸圧縮強度： q_u 、岩盤の強度定数： $\kappa = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$ 、 ϕ ：内部摩擦角であり、 $F \geq 0$ は坑道壁面が弾性状態、 $F \leq 0$ は塑性状態となることを示す。

Kトンネルの指標 F と無支保の弾性変位で正規化したひずみ比との関係を図-2に示す。尚、計測の全変位は、清水らの検討⁽⁷⁾や三次元解析を参考にして先行変位率を50%と仮定して求めた。図より以下のことがわかる。

- ②岩盤が弾性状態の $F \geq 0$ では、支保により無支保の弾性変形より抑えられることより、ひずみ比が1以下となる。
- ③ $F \leq 0$ でひずみ比が1以上の計測断面では、支保しているが、無支保の弾性変形よりも大きく、坑道周辺には塑性領域が発生していることを示している。
- ④支保に変状が生じた領域は $F \leq 0$ 、かつ、ひずみ比 > 1 の範囲で生じる。
- ⑤ $F \approx -0.5$ 付近において、無支保の弾性変位に対して

キーワード：高レベル放射性廃棄物、地層処分、安定性、深部トンネル、建設実績

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL03-3820-5287 FAX：03-3820-5959

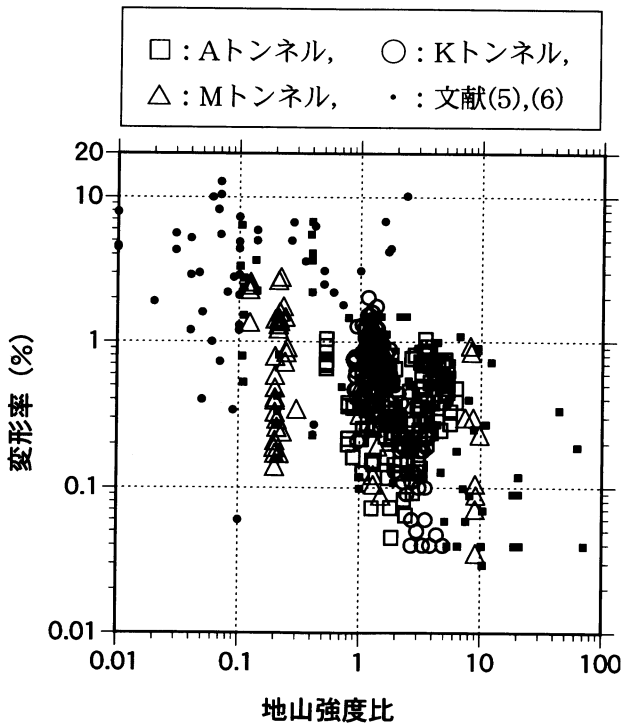


図-1 地山強度比の文献・実績調査の結果

最大で約3.6程度、支保に変状がない場合に対しては約2.8倍の変形が生じているが、支保の変状が生じている断面もあるが安定性は確保されている。

3.3 支保の効果について

図-2では、ほぼ同じ安定性評価指標F値に対して、ひずみ比が広い範囲で分布している。この理由の一つとして支保による内圧効果が考えられる。

Kトンネルにおける支保の内圧効果の大きさを表す支保内圧比 (P_i/P_0) と限界ひずみ (平均値: レベルII) ^{(1),(2),(3)} で正規化されたひずみ比の関係を図-3に示す。

図より、トンネル建設実績は支保の変状の有無に関わらず、支保内圧比が高くなると大きなひずみ (変形) を許容していることがわかる。

4. まとめ

トンネルの建設実績データを用いて、坑道周辺岩盤の応力による安定性評価について考察を行った。その結果、安定性評価を応力のみを用いることは難しいこと、および、支保内圧が大きい場合には大きなひずみ (変形) を許して建設がなされていることがわかった。

したがって、ひずみによる安定性評価が必要と考えられ、これについては別途報告する予定である。

参考文献

- (1) 核燃料サイクル機構：地層処分研究開発第2次取りまとめ, 1999. (2) 黒木, 他：土木学会第55回年講, CS-177, 2000. (3) 金川, 他：原子力バックエンド研究, vol.5, No.2 1999. (4) 郷家, 他：土木学会第55回年講, CS-170, 2000. (5) 竹林, 他：第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 1989. (6) 北川, 他：土木学会論文集, No.463/III-22, 1992. (7) 清水, 他：土木学会第49回年講, III-57, 1994.

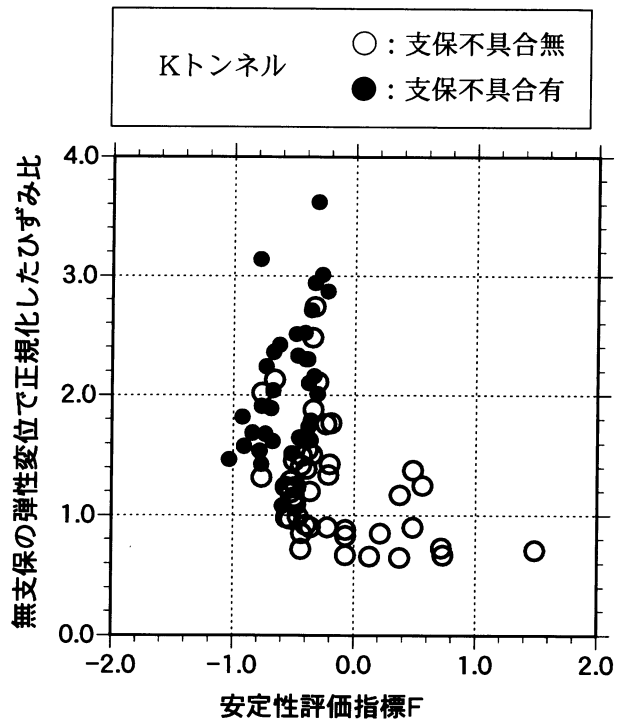


図-2 安定性評価指標Fと無支保の弾性ひずみによるひずみ比の関係

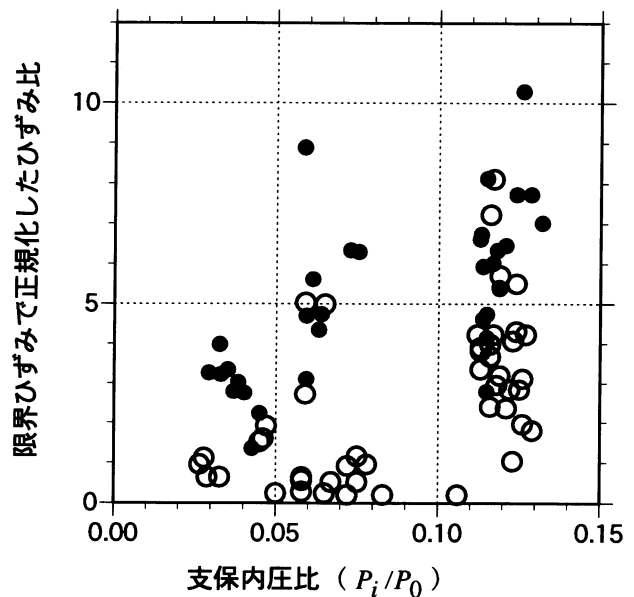


図-3 支保内圧比と限界ひずみによるひずみ比の関係

尚、本研究は電力10社による電力共通研究において実施した研究成果の一部である。また、本研究を実施するにあたり有益なご助言をいただいた電力中央研究所・野崎隆司氏に感謝の意を表します。