

北海道開発局 正員 田中 秀幸

竹中技術研究所 正員 ○加倉井正昭 堀 淳二

(株)竹中土木 正員 田川 弘義

1. はじめに

トンネル施工時における掘削孔および周辺地山の挙動を解析的に求める方法は幾つか提案されている。その中で地盤の破壊挙動を弾塑性的に求めるものにRBSM(剛体ばねモデル,あるいは川井モデル)による方法がある。¹⁾この方法はすべりの発生状況,破壊のメカニズムなどが追跡でき,塑性状態が卓越するような場合には有効な方法である。本報告は「一定山溪ダム道道付替6号トンネル工事における強風化泥岩層の施工」において問題となった強風化泥岩地帯の掘削時の挙動の検討にこの解析法を適用したものである。解析は施工の順序を考慮した形でおこない,上半部掘削時における破壊状態の予測,対策工(ロックボルトおよび鋼製支保)の効果の確認と現場計測結果との比較,そして下半部掘削時における挙動などについて検討した。

2. 解析法

図-1には解析に用いた要素分割,材料定数,境界条件などを示す。ロックボルトなどの支保は梁要素でモデル化し,梁要素と地盤との境界は地盤の材料定数を設定した。地盤の降伏条件はクーロンの規準を用い,降伏後の応力-ひずみ関係はassociated flow ruleによった。

解析は平面ひずみ条件でおこなった。図-2には解析の手順が示してある。施工は上半掘削,支保(ロックボルト,鋼製支保)の設置,覆工コンクリートの打設,下半掘削となるが,解析においても,掘削は要素の除去とその要素の内部応力解放によりおこない,ロックボルトなどの支保あるいは覆工コンクリートは解析途中での梁要素の付加として考慮した。

ここでロックボルトおよび鋼製支保の設置を上半部掘削による応力解放の途中としたのは,掘削による地山のゆるみが終了する前にロックボルトおよび鋼製支保が設置されると考えたからであり,その時期は応力解放の80%終了時と想定した。また,掘削後に無支保で応力解放した場合についても解析した。

3. 上半掘削時の解析

図-3は上半掘削時に無支保で応力解放をおこなった場合のすべり線の発生状況を示したものである。すべり線は上半部の斜め上方に向かって発達し,その深さは5m程度となり,掘削による破壊が相当に進行することを示している。

図-4は上半掘削時に無支保で80%まで応力解放をおこない,その後ロックボルトと鋼製支保を設置し,残りの応力解放をおこなったものである。無支保に比べてすべり線が減少しており,ロックボルトおよび鋼製支保の効果が表われている。

図-5は上半掘削の応力解放終了時のロックボルトの計算軸

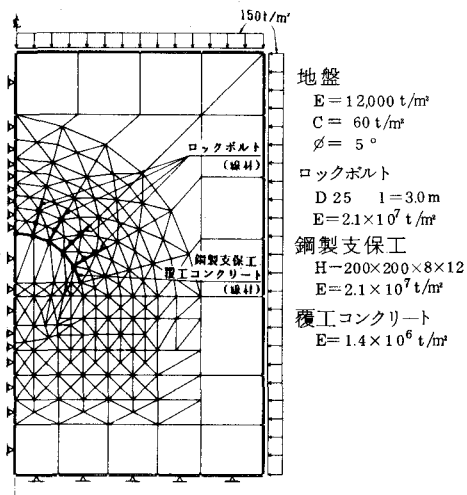


図-1 解析モデル

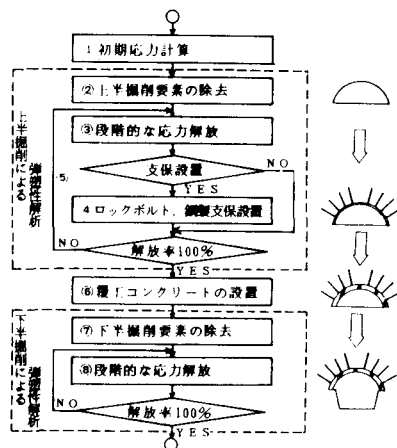


図-2 解析手順

力および現場計測による測定軸力を示している。計算軸力の分布形はいずれも同じ深さ（掘削面から2 mの深さ）で最大値になり、掘削天端から下のロックボルトほど、その軸力は増加している。これに対して測定された軸力の分布形は計算結果と良い一致をしているが、その値は計算値に比べて小さめの値となっている。

図-6は上半掘削の応力解放終了時の鋼製支保の計算軸力および現場計測による測定軸力を示している。計算軸力は50～70 ton程度に対して、測定軸力は40～60 ton程度となっている。

ロックボルトおよび鋼製支保の計算軸力は、測定軸力に比べて大きめの値となっているが、その分布形状など全体としては良い一致を示しており、解析の妥当性を示していると思われる。

4. 下半掘削時の解析

上半の掘削終了後、覆工コンクリートが打設され、下半掘削がおこなわれた。この掘削による覆工コンクリートへの影響、あるいは覆工コンクリートの足元地盤の安定性などについて検討するために解析を行った。

図-7は解析結果のすべり線の発生状況を示したものである。下半の掘削により上半掘削時に発生していたすべり線が相当部分で弾性復活している。一方覆工コンクリートの足元下部にはすべり線の発生が見られるが、破壊に達する程には至っていない。しかし覆工コンクリート天端の曲げモーメントが許容値に近づいた値となっていたため、施工上の対策の検討を行った。

5. まとめ

トンネルの施工段階を考慮したRBSMによる弾塑性解析を行い、対策工の効果の検討と実測による確認をおこなった。解析結果は実際の挙動を良く説明しているようであり、施工を進める上での重要な判断資料を提供しえた。

最後に、多くの御指導と御助言をいただいた、東京大学生産技術研究所の川井忠彦教授および北海道開発コンサルタント(株)、またモデルの設定から解析まで御助力をいただいた、竹中技術研究所の山下清研究員に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 川井忠彦；物理モデルによる連続体力学諸問題の解析，生研セミナー，1980
- 2) 田中秀幸 他；定山溪ダム道道付替え6号トンネル工事における強風化泥岩層の施工，土木学会，1984

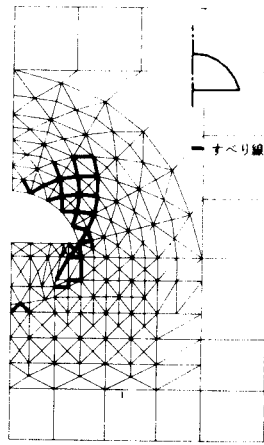


図-3 すべり線発生状況
(無支保)

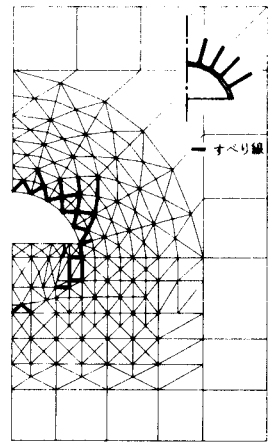


図-4 すべり線発生状況
(ロックボルト)

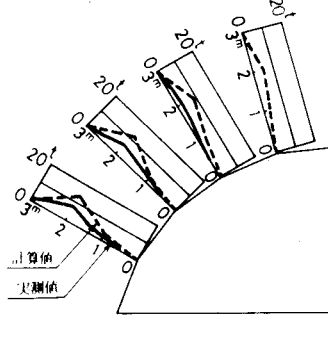


図-5 ロックボルト軸力

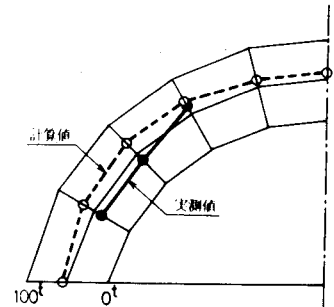


図-6 支保工軸力

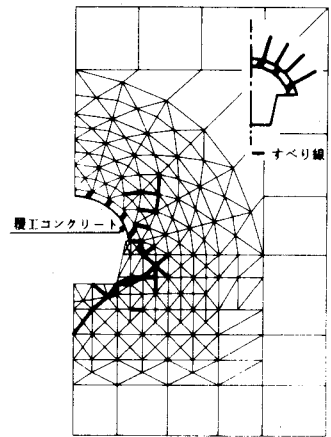


図-7 すべり線発生状況
(覆工コンクリート)