

近接トンネルピラー部補強法に関する研究 —FEM解析による検証—

住友建設(株)技術研究所 正会員 大久保達也 森信介
九州大学工学部 正会員 江崎哲郎 蔣宇静

1. まえがき

近年、トンネル周辺の用地取得等の問題から、近接したトンネルの施工が増加している。しかし、従来よりピラー部の安定性低下が問題となっているが、安全な接近距離やピラー部の支保設計方法はまだ十分に解明されていない。本研究は、トンネル中心間距離の変化によるピラー部への影響及びピラー部への補強材の打設によるトンネルの安定性の向上¹⁾を、実験的及び解析的に明らかにし、設計に資することを目的としている。著者らは既に底面摩擦模型試験装置を用い、近接トンネルの中心間距離に応じて適切にロックボルトの打設密度を増加させることで、ピラー部の安全性が向上することを、実験的に確認している²⁾。

今回は、岩盤への補強材の定着方法及び補強材種を考慮した平面ひずみFEM弾塑性解析を実施した結果について報告する。

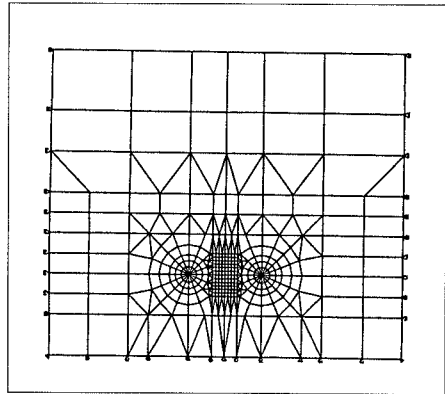


図-1 解析モデル図

2. 解析概要

(1)モデル化

トンネル断面形状は円形で直径10mとし、トンネルの中心間距離は1.6D、1.8D(D:直径)とした。また土被りは45mとした(図-1)。地山は、地盤等級CまたはDクラスの軟岩を対象とし、入力物性値を表-1に示す。ヤング率、粘着力および内部摩擦角は、既知のデータの中から代表的な値(表-1)を用い、力学的挙動はDrucker-Pragerの降伏基準モデルに従うものとした。

補強材は、異径鉄筋 D32およびφ100mm鋼管とし、補強材は水平方向に5本打設(補強材密度@2m×1m)するものとした。解析上はトラス材として評価し、応力-ひずみ関係は降伏を考慮した完全弾塑性とした。補強材の定着方法は、全面接着型(以降、ボンドと記述)と先端定着の2種とした。前者では、補強材と地山とのすべり効果を解析上考慮するために、補強材と地山を結合する非線形バネを用いた。バネ定数および付着切れは、軟岩として平均的な値を用いた³⁾。図-2にピラー部の補強材配置状態を示す。なお、ロックボルト、吹付けコンクリート及び鋼アーチ支保工の効果は考慮していない。

表-1 入力岩盤物性値

$E(\text{tf/m}^2)$	1.88×10^4
ν	0.3
$\gamma_s(\text{tf/m}^3)$	2.0
$c(\text{tf/m}^2)$	35.0
$\phi(^{\circ})$	32.8

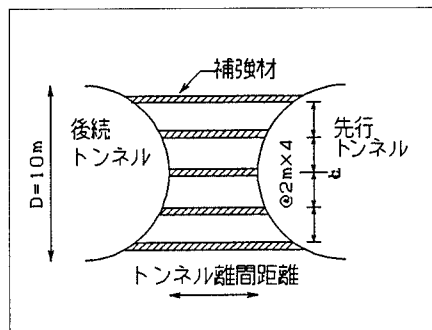


図-2 補強材配置図

(2)解析手順

施工過程を再現するために、解析は次の手順で行った。ただし、トンネル掘削によって生じる応力解放の時間的な変化は反映していない。

- ①原地盤未掘削(初期応力解析)
- ②先行トンネルの掘削
- ③補強材の打設
- ④後続トンネルの掘削

3. 結果

先行および後続トンネル掘削完了時点での、解析結果によって求められた塑性化領域を図-3～図-6に示す（塗りつぶした要素は、塑性化領域を表す）。無補強時、トンネル中心間距離1.6Dではピラー部全幅の2/3程度が、1.8Dでは2/5程度が塑性化した。D32異形鉄筋・ボンドおよび $\phi 100\text{mm}$ 鋼管・ボンドでは、ピラー部の上下部分の塑性化領域は減少するが、先行トンネルの天端部に新たな塑性化領域が発生する。 $\phi 100\text{mm}$ 鋼管・先端定着では、1.6D、1.8Dともピラー部で比較的大きく塑性化領域が減少する。

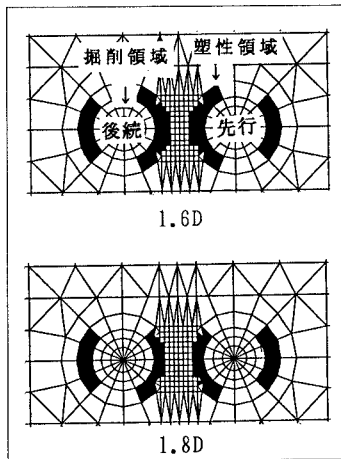


図-3 塑性領域図
（無補強）

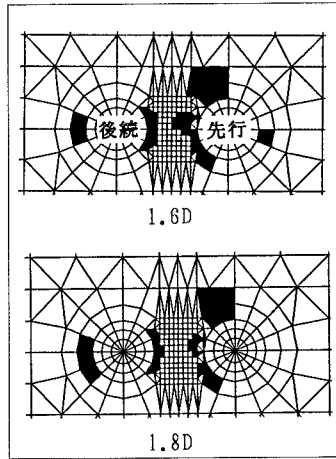


図-4 塑性領域図
（D32异形鉄筋・ボンド）

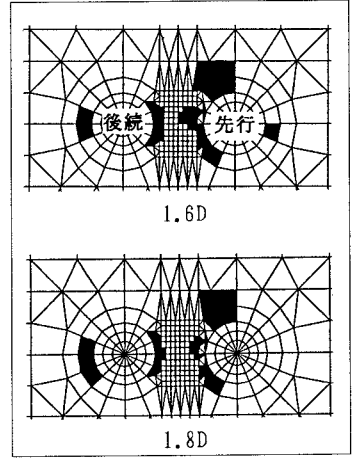


図-5 塑性領域図
（ $\phi 100\text{mm}$ 鋼管・ボンド）

4. まとめ

地山の塑性化、補強材の降伏ならびに地山と補強材との間のすべりを考慮したFEM解析を実施し、次の知見が得られた。

- 1) ピラー部をD32异形鉄筋・ボンド、 $\phi 100\text{mm}$ 鋼管・ボンドで補強した場合、ピラー部の上下部分の塑性化領域は減少するが、先行トンネル天端部に新たな塑性化領域が発生する。
- 2) ピラー部を $\phi 100\text{mm}$ 鋼管・先端定着で補強した場合、ピラー部の塑性化領域が比較的大きく減少する。
- 3) 先行および後続トンネル掘削完了時点での塑性化領域は、解析結果と実験結果で定性的な一致を得た。

5. おわりに

トンネル中心間距離に応じて、ピラー部に適切な支保を行うことで、近接トンネルの安全性を高める可能性が見い出せた。今後、地山特性曲線を考慮した補強材の支保効果ならびに補強材の種類、打設方向、打設密度等の組合わせによる近接トンネル全体の補強効果について検討を加えていきたい。

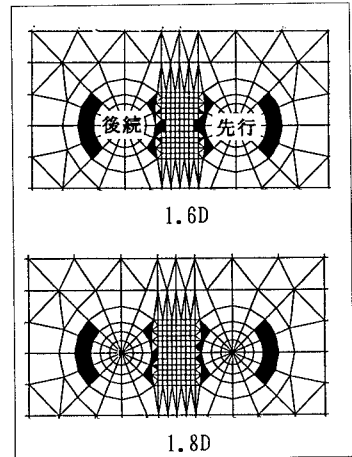


図-6 塑性領域図
（ $\phi 100\text{mm}$ 鋼管・先端定着）

<参考文献>

- 1) 上原他：近接トンネルの補助工法に関する研究、住友建設技術研究所所報、1991
- 2) 江崎他：近接トンネルにおけるロックボルトの補強効果に関する研究、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1995
- 3) 土質工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説