

Ⅲ-B6 都市 NATM の弾塑性圧密 FEM 解析

前田建設工業（株） 正会員 宮野前俊一、松井幹雄、梨本 裕、関 順一

1. はじめに

都市部において NATM が採用されるトンネルが年々増加しつつあり、NATM とシールド工法の境界領域はますます曖昧なものになってきている。両者の適用性を比較するとき重要な着目点となるのが、NATM を採用した場合の沈下量および地下水対策工の効果と費用である。これらを予測・評価するときには FEM 解析が行われるが、その信頼性はまだ高いとは言えないのが現状である。

ここでは、FEM 解析のモデル化における問題点を検討したので、その概要を報告する。

2. 解析条件

(1) 解析モデル¹⁾

図-1 に示す地山を想定し、解析を行った。メッシュ右端は水頭固定境界、メッシュ下端は非排水境界とした。トンネルは、半径 5.0m の円形とし、掘削後、掘削面を排水境界とした。吹付けコンクリート施工後の吹付け面は、排水境界の場合と非排水境界の場合の両方を考慮した。

(2) 地山物性値

表-1 に示す物性値を用いた。土丹層の透水係数は小さいと考えるのが一般的であるが、挟在砂層を有する場合には、値の決定が難しい。今回は、土丹層の透水係数をパラメータとして解析を行った。

(3) 解析ステップ

表-2 に示すステップで解析を行った。掘削方式は、上半先進ベンチカット方式を想定し、平均日進 3.0m、1ベンチ長を 30m とした。解析は、365 日経過後までとした。

3. 解析結果

(1) 止水注入なし（吹付け面排水の場合）

土丹層の透水係数をパラメータ（ $1.00\text{E}-5\text{cm/sec}$ ～ $1.00\text{E}-2\text{cm/sec}$ ）とし、解析を行った。最終ステップ（365 日経過後）における地表面沈下量を図-2 に、水位コンターを図-3 に示す。結果より、土丹層の透水係数が大きい程、水位が下がり、沈下量が大きくなることが分かる。しかしある値より透水係数が大きくなると、沈下量は収束傾向にある。

(2) 止水注入あり（吹付け面排水の場合）

次に、止水注入を想定した場合について解析を行った。止水注入は、掘削面およびその周辺 3.0m の土丹層の透水係数を $5.00\text{E}-5\text{cm/sec}$ とすることにより表現した²⁾。この領域以外の土丹層の透水係数をパラメータとし、解析を行った。最終ステップにおける地表面沈下量を図-4 に、水位コンターを図-5 に示す。

キーワード： NATM、圧密、FEM

〒179-8903 東京都練馬区高松 5 丁目 8 番 J.CITY TEL 03-5372-4738 FAX 03-5372-4767

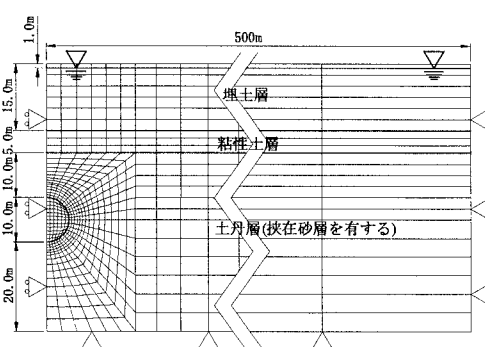


図-1 解析モデル

表-1 地山物性値

	埋土層	粘性土層	土丹層
構成モデル	関口・太田	関口・太田	線形弾性
透水係数 $k(\text{cm/sec})$	$5.00\text{E}-06$	$1.00\text{E}-05$	パラメータ
弾性係数 $E(\text{tf/m}^2)$	—	—	30000
単位体積重量 $\gamma(\text{tf/m}^3)$	1.5	1.5	2.0
圧縮指数 λ	0.217	0.434	—
膨潤指数 κ	0.069	0.135	—
内部摩擦角 $\phi'(^{\circ})$	30	30	—
ポアソン比 ν'	0.33	0.33	0.3
初期土圧係数 K_0	0.8	0.6	—
先行時土圧係数 K_0	0.5	0.5	—
先行有効応力 $\sigma'_{vm}(\text{tf/m}^2)$	50	20	—
先行時間隙比 e_0	1.6	3.0	—
過圧密比 $\sigma'_{vc}/\sigma'_{vi}$	8	2	—

表-2 解析ステップ

解析ステップ	内容	ステップ時間(日)	掘削相当外力(%)
1	初期応力算出	0	—
2	上半掘削	0.3	40
3	上半支保打設	53.7	60
4	下半掘削	0.3	40
5	下半支保打設	53.7	60
6	365日経過後	257	—

結果より、止水注入した場合については、土丹層の透水係数が大きい程、沈下量が大きくなるとは限らず、透水係数がある変極値（今回は $3.00E-4\text{cm/sec}$ ）より大きいと、沈下量は小さくなっている。これは、止水注入した場合は、掘削面周辺で地下水の流れが非常に小さくなるため、止水注入域の周囲の土丹層の透水係数がある変極値より大きいと、右端境界からの地下水の供給が早く、地下水があまり変動しないことに起因していると考えられる。今後、このような解析を行う際には、水理境界や、物性値の設定等について検討する必要がある。

（３）吹付け面の排水性の影響

（１）および（２）の解析では、吹付けコンクリート施工後も、掘削面は排水境界となっている。しかしながら実際は、吹付けコンクリートにある程度の止水効果を期待できるものと考えられる。土丹層の透水係数を、一様に $1.00E-3\text{cm/sec}$ とし、吹付けコンクリートを排水境界とした場合と、非排水境界（地下水が全く流出しない）とした場合とを比較した。地表面沈下量の経時変化を図-6に示す。結果より、吹付けコンクリートに全く止水効果がないとした場合の地表面沈下量の最大値は936mm、吹付けコンクリートに完全止水効果があるとした場合の地表面沈下量の最大値は803mmとなった。モデル化に際して、検討が必要であると考えられる。

4. おわりに

今回の検討は、仮想の都市 NATM に対するものであるが、挟在砂層（被圧地下水が存在する）が存在する地山の場合には、以上の様な検討も必要になると考えられる。

【参考文献】

- 1) 太田秀樹：粘土の異方性クリープを考慮した FEM プログラムの開発、昭和 54 年度科学研究費補助金（試験研究(2)）研究成果報告書、1980.3
- 2) (社)日本薬液注入協会：薬液注入工設計資料(平成 10 年度版)
- 3) 太田秀樹、松井幹雄、森田 篤、宮野前俊一：都市 NATM によるめがねトンネル弾塑性圧密解析、第 53 回年次学術講演会講演概要集 3-B、pp.250 ~ 251、1998.10

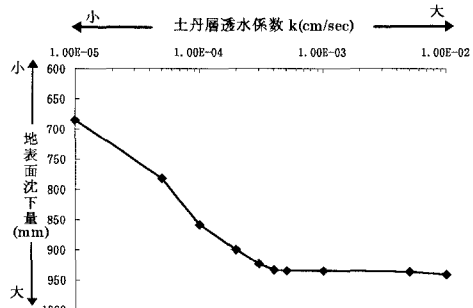


図-2 地表面沈下量（止水注入なし）

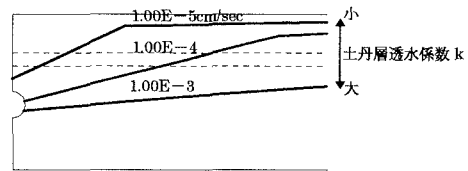


図-3 水位コンター（止水注入なし）

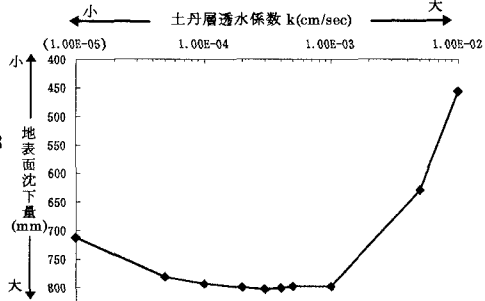


図-4 地表面沈下量（止水注入あり）

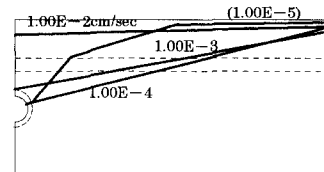


図-5 水位コンター（止水注入あり）

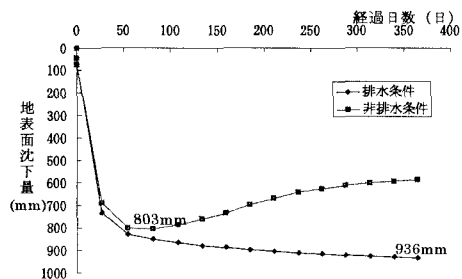


図-6 地表面沈下経時変化（止水注入なし）