

地盤反力曲線を用いた骨組み構造解析による 硬質地盤中のシールド覆工作用圧の検討

長岡技術科学大学 学○松岡 治, 今村良輔

長岡技術科学大学 正 玉井達毅, 杉本光隆

1. はじめに

近年, 都市部では地下空間の有効利用が進み, 沖積層より深くに堆積している洪積層でのシールドトンネルの施工が増えている. このような硬質地盤では, シールド覆工に作用する有効土圧が減少し, 覆工に水圧相等の力しか作用していない事例が報告されている¹⁾. これは, 硬質地盤では地山が自立するため, 土圧が覆工周辺の地山に分担されシールドトンネル覆工に土圧が作用しないためと考えられる. 本研究では, 硬質地盤中に施工されたシールドトンネル²⁾(表1参照)の覆工に作用する土水圧を, 主働側の作用土圧や有効裏込め注入の影響を考慮できる地盤反力曲線を用いたはりばねモデル³⁾によって求め, セグメント組立 330 日後に計測された計測値²⁾に適合する地盤反力係数, 有効裏込め注入率を推定した. さらに, 有効裏込め注入率がセグメント挙動や断面力に与える影響を検討した. なお, 本論文で用いている有効裏込め注入率は, 裏込め材の圧密⁴⁾や, 施工ロス, 余掘り等の影響を除いた裏込め注入率であることに注意を要す.

2. 解析方法

セグメントは2リングのはりばねモデルで, 地盤は地盤反力曲線で表される特性を有する全周地盤ばねで表現した. 従来モデルの地盤ばねは, 地盤の受働側への変位に比例して地盤反力が発生するが, 本モデルの地盤ばねは, 地盤が主働側に変位すると地盤反力が減少し, 最終的に地盤反力が一定値(例えば零)になる. また, 有効裏込め注入の影響は, テールボイドに有効裏込め注入率を乗じた値を地盤ばねに初期変位として導入することにより表現した. また, 設計土水圧は, 静止時のセグメント法線方向有効土圧と水圧を地盤ばねに初期荷重として導入した.

3. 解析結果

3. 1 地盤反力係数, 有効裏込め注入率の作用有効土圧への影響

図1に, 作用有効土圧への地盤反力係数 k と有効裏込め注入率 α_g の影響を示す. この図より, 作用有効土圧について以下のことがわかる.

1) $\alpha_g \leq 90\%$ ではほぼ零であるが, α_g の増加に伴い増加し, $\alpha_g \geq 100\%$ になると急増する.

2) k の増加により, $\alpha_g \leq 100\%$ では減少し, $\alpha_g \geq 100\%$ では増加する.

3)下端, スプリングラインでは, $\alpha_g < 100\%$ で k が大きいと, ほぼ零となるが, 天端では零とまらない.

これらは, 以下のように考えられる.

1)有効裏込め注入率 α_g が小さくなると, 地山が自立し, 作用有効土圧が零となり, 浮力によってセグメントが天端に押しつけられる. 一方, α_g が大きくなると, 全周で地盤が受働側に変位し, 作用有効土圧が増加する. 前者は曲げモーメント, 後者は軸力が卓越する原因となる.

2) 地盤反力係数 k が大きくなると, 微小の変位で作用有効土圧が大きく変化し, 主働側への小さい変位で地山が自立する.

作用有効土圧の解析値が計測値と概ね適合する地盤反力係数と有効裏込め注入率の範囲を表2に示す. 表2に示す地盤反力係数は, 経験値の10倍程度となった.

表1 現場概要²⁾

工法	泥水加圧式
セグメント種類	平板 RC セグメント
セグメント外径	6200 mm
土被り	34.4 m
土被り比	5.5
テールボイド	80 mm
裏込め注入圧ピーク平均	546 kPa
天端鉛直土圧	318 kPa
天端水圧	304 kPa
掘削土層	上総層群泥岩層
N 値	50 以上
側方土圧係数	0.35

表2 有効裏込め注入率 (%)

計測断面	地盤反力係数(MN/m ³)			
	50	100	200	500
有効裏込め注入率	<85	92~94	94~96	96~98

キーワード: セグメント, 硬質地盤, 数値解析, 地盤反力曲線, 地盤反力係数, 裏込め注入率

連絡 先: 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学 TEL: 0258-46-6000 FAX: 0258-47-9600

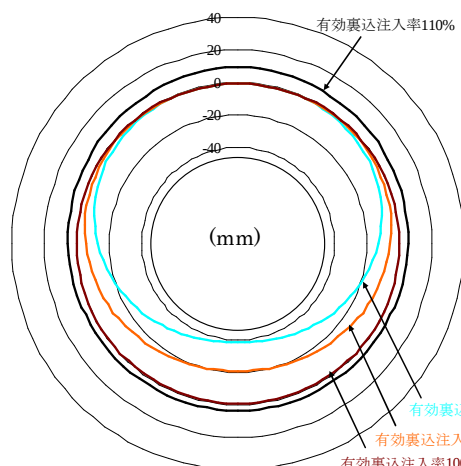


図2 地盤と覆工の間隙

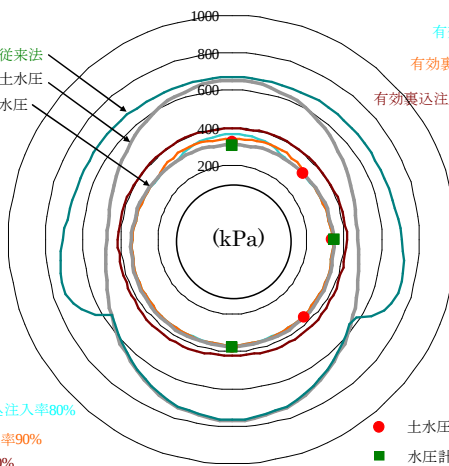


図3 作用土水圧

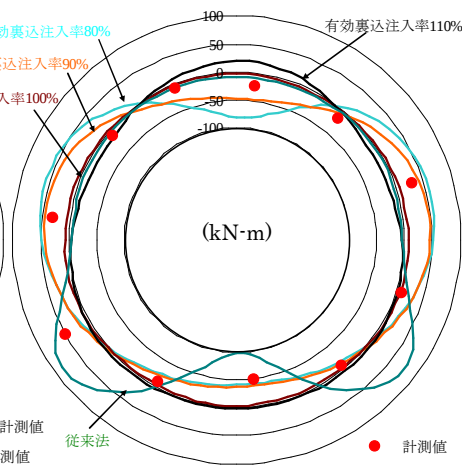


図4 曲げモーメント

3. 2 有効裏込め注入率の地盤と覆工の間隙，作用土水圧，曲げモーメントへの影響

図2，図3，図4に， $k=500\text{MN/m}^3$ ， $\alpha_g=80\sim110\%$ での地盤と覆工の間隙，作用土水圧，曲げモーメントの分布を，計測値とともに示す．ここで，「地盤と覆工の間隙」は初期掘削面とセグメント外周面の距離から裏込め注入厚を引いた値で，正の値はセグメントが地山を押し込む状態を表わす．これらの図より，以下のことがわかる．

1)地盤と覆工の間隙： $\alpha_g \leq 100\%$ の場合，天端では零に近いが，下端では上向きに大きく変位して（セグメント浮き上がり），セグメントは横長となる．一方， $\alpha_g=110\%$ では全周で正（セグメントが初期掘削面外側）となり，セグメントは真円に近い形状となる．

2)作用土水圧：従来モデル＞静止時土水圧＞本モデルとなった．また，本モデルの作用土水圧は真円に近い分布となり， $\alpha_g \leq 100\%$ で，天端を除き，ほぼ水圧と等しくなった．これは計測値と整合している．

3)曲げモーメント：従来モデルは，左右の下側で最大値をとるが，本モデルは， $\alpha_g < 100\%$ で横長の分布， $\alpha_g=100\%$ で真円の分布， $\alpha_g=110\%$ で縦長の分布となった．また，計測値は，概ね本モデルの $\alpha_g=90\sim100\%$ の間にある．

これらは，浮力の影響で覆工が上方に剛体変位すること，主働土圧を考慮できる本モデルでは，下端で主働土圧が生じ，作用有効土圧が減少し，一方，天端で下端より大きな主働土圧が発生するためと考えられる．

4. まとめ

地盤反力曲線を用いた骨組み構造解析により，硬質地盤中のシールド覆工作用土水圧，覆工断面力等を求めた．本モデルを用いた場合， $k=500\text{MN/m}^3$ ， $\alpha_g=96\sim98\%$ （地盤と覆工の間隙 3.2～1.6mm）で，計測値と良い一致を見た．

参考文献

- 1)土木学会トンネル工学委員会技術小委員会トンネル荷重検討部会：都市 NATN とシールド工法の境界領域，土木学会，2003.
- 2)真下英人，左近嘉正，石村利明：洪積粘性土中のシールドトンネルに作用する荷重に関する一考察，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.321-328，2007.
- 3)岡崎麻里，杉本光隆・Aphichat Sramoom：地盤反力曲線を用いた骨組み構造解析によるトンネル覆工の解析法，土木学会論文集 C，No1/V-67，pp.61-77，2011.
- 4)杉本光隆，佐藤豊，入中島克明：シールドトンネルに用いる可塑状裏込め注入材の圧密挙動に関する研究，土木学会論文集，No. 788/III-67，127-137，2005.

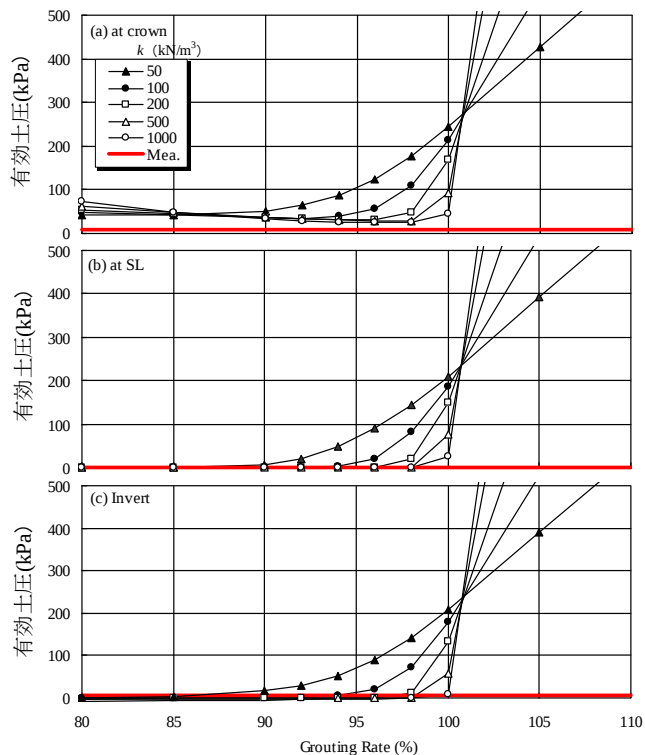


図1 作用有効土圧への有効裏込注入率と地盤反力係数の影響