

## シールドトンネル覆工作用圧に基づいた地盤反力係数と裏込め注入率の逆解析

長岡技術科学大学 正〇杉本光隆, 阿久根光徳  
 地域地盤環境研究所 正 長屋淳一, 譽田孝宏

## 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ケースが報告されている<sup>1)</sup>. このことから, 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という現象が起きていると考えられる. 本研究では, 硬質地盤中に施工されたシールドトンネル(表1参照)でシールド掘進100日後に計測された覆工に作用する土水圧<sup>2)</sup>を, 主働側の作用土圧や有効裏込め注入の影響を考慮することができるはりばねモデル<sup>3)</sup>によって再現し, 地盤反力係数と有効裏込め注入率を逆解析することを目的とする. 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<sup>4)</sup>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, 地盤はシールド機動力学モデルで用いている全周地盤ばねで表現した. 「従来のモデル」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, 静止時の鉛直方向有効土圧と水平方向有効土圧から求まるセグメント法線方向有効土圧と水圧とした.

## 3. 解析結果

## 3. 1 地盤反力係数の影響

図1に有効裏込め注入率90%での変位・作用有効土圧への地盤反力係数 $k$ の影響を示す. ここで, 「変位」は初期掘削面とセグメントの距離から裏込め注入圧を引いた値を, この正の値はセグメントが地山を押し込む状態を表わす. 変位は,  $k$ の大きさによらず負(セグメントが初期掘削面内側)の一定値となること, 天端・スプリングラインより下端の方が大きいこと(セグメント浮き上がり), 作用有効土圧は,  $k$ の増加により減少し,  $k$ が $100\text{MN/m}^3$ 以上になると, 下端ではほぼ零となること, 側方土圧係数0.5の影響で, セグメントは横長となり, 作用有効土圧分布は縦長となることわかる. これらは,  $k$ 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すること,  $k$ が $100\text{MN/m}^3$ 以上になると地山が自立することのためである.

表1 現場概要

計測断面	若江
工法	泥水加圧式
セグメント種類	合成セグメント
セグメント外径(mm)	7400
土被り(m)	17.1
土被り比	2.3
テールボイド(mm)	90
裏込め注入圧(kPa)	320~350
裏込め注入率(%)	約130
上端鉛直土圧( $\text{kN/m}^2$ )	195
上端鉛直水圧( $\text{kN/m}^2$ )	109
掘削土層	洪積砂礫層
N値	40~60超
側方土圧係数	0.5

## 3. 2 有効裏込め注入率の影響

図2に $k=100\text{MN/m}^3$ での変位・作用有効土圧への有効裏込め注入率の影響を示す. 有効裏込め注入率の増加に伴い作用有効土圧は大きくなるが, 有効裏込め注入率が95%以下になると, 全周で作用有効土圧はほぼ零となり, 下端が上向きに大きく変位することがわかる. これは, 有効裏込め注入率が大きくなると, 全周で地盤が受働側に変位し, 作用有効土圧が増加すること, 有効裏込め注入率が小さくなると, 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ことのためである. 前者は軸力, 後者は曲げモーメントが卓越する原因となる.

次に,  $k=100\text{MN/m}^3$ , 有効裏込め注入率80~100%での変位分布, 作用土

キーワード: シールドトンネル, セグメント, 大深度地下, 数値解析, 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

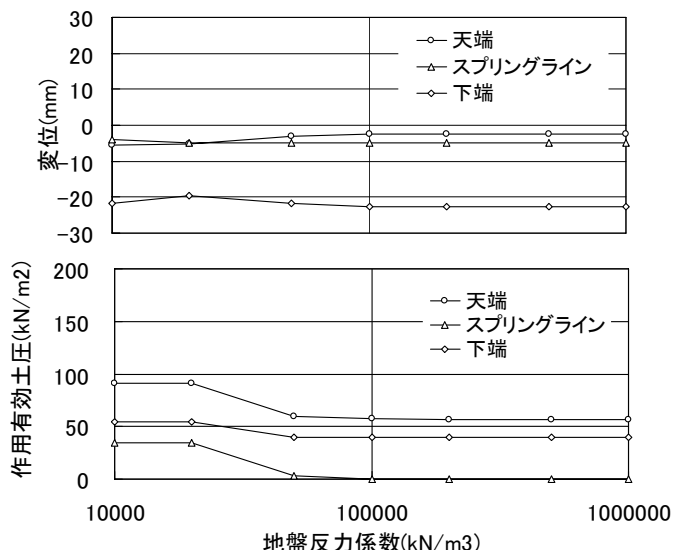


図1 変位・作用有効土圧への地盤反力係数の影響

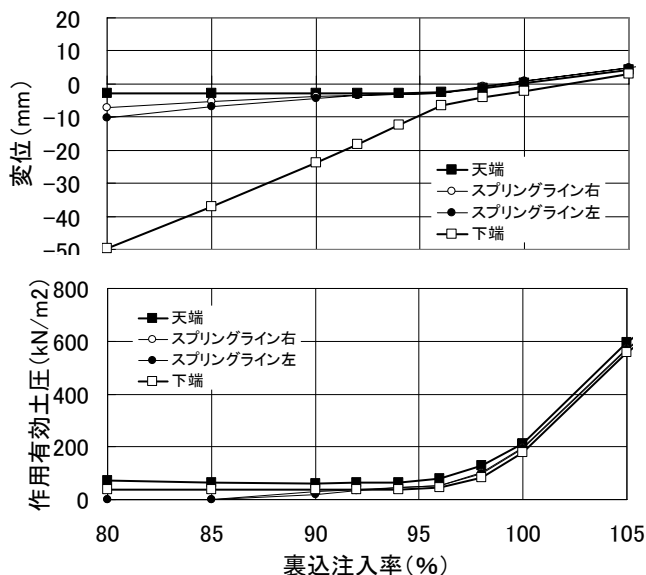


図2 変位・作用有効土圧への裏込め注入率の影響

水圧分布を図3, 図4に示す. 従来モデルと比べ, 本モデルによる変位, 作用有効土圧は小さく, 真円に近い分布を示す. 特に底部では両モデルの差は顕著である. これらは, 浮力の影響で覆工が上方に剛体変位すること, 本モデルは主働土圧を考慮できることから, 下端で主働土圧が生じ, 作用有効土圧が減少し, 一方, 天端では, 下端より大きな主働土圧が発生するためである.

また, 図4に示す土水圧計測値は, 天端・スプリングラインでは水圧計測値に近いが, 下端では全土被り圧に近い値となった. セグメント自重と水圧の合力は上向きにもかかわらず, その反力となる有効土圧合力も上向きとなった. これは, 蛇行等により, リング継手で接続されている近傍のリングに下向き荷重が, 当該リングに上向き荷重が作用し, 軸方向に分布する鉛直荷重がバランスしたことなどが考えられる.

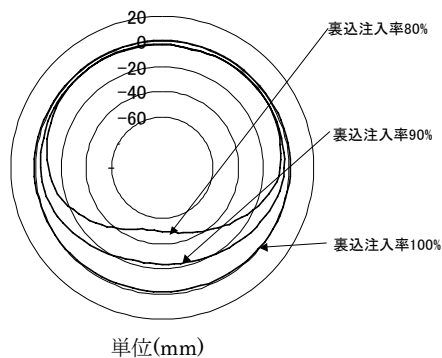


図3 変位分布図

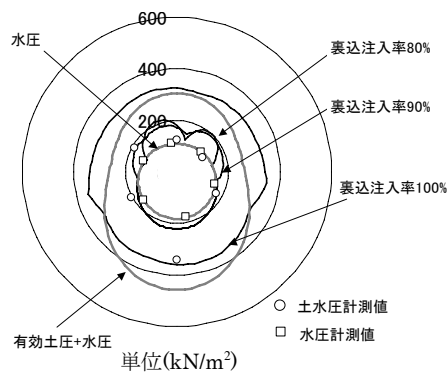


図4 作用土水圧分布図

3. 3 計測値との比較

スプリングラインでの作用有効土圧の計測値と解析値が概ね一致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, 経験値による地盤反力係数の数倍となった.

4. まとめ

シールド機動力学モデルで用いている地盤ばねを, 従来のはり一ばねモデルに用いて, 硬質地盤中のシールドトンネル覆工に作用する土水圧の計測値と解析値を比較し, 地盤反力係数と有効裏込め注入率を推定した.

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)高橋博和, 荒池信一, 松岡隆之, 三並努, 譽田孝宏, 肥後陽介：地下河川トンネル覆工に作用する土水圧および断面力に関する短期・長期計測結果，土木学会第61回年次学術講演会講演概要集，3-111，2006.
- 3)岡崎麻里, 杉本光隆・Aphichat Sramoom：大深度地下シールドトンネル用セグメントの設計方法に関する一考察，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，3-433，2003.
- 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/V-67, 127-137, 2005.

表2 有効裏込め注入率 (%)

計測断面	地盤反力係数(MN/m <sup>3</sup> )			
	10	20	50	100以上
有効裏込め注入率	83~85	90~92	95~97	95~97