

中位の粘性土地盤のシールド工事における覆工作用土圧に関する 3次元 FEM 解析

早稲田大学 学生会員 ○足立 賀奈子
 早稲田大学 学生会員 和田 将也
 東電設計株式会社 伊藤 喜広
 東京電力ホールディングス株式会社 岡 滋晃
 早稲田大学 正会員 Alireza Afshani
 早稲田大学 フォロー会員 赤木 寛一

1. はじめに

日本では戦後から 1950 年代の高度経済成長期にかけて多くの社会基盤設備が整備され、主に首都圏を中心に機能性・利便性が向上してきた。その結果、都心部の地上空間には構造物が密集しており余剰空間が少なくなっていることから、地下空間の利用に期待が寄せられている。また、東京都の湾岸部では七号地層という粘着力の高い中位（N 値 4 以上 8 未満）の粘性土層が広がっており¹⁾、このような粘性土層におけるシールドトンネルの建設は今後増加すると考えられている。しかし、日本のシールドトンネルの設計に用いられているトンネル標準示方書²⁾に示されている技術基準には、中位の粘性土地盤の設計時土圧算定における土水の取扱いや土被り算定方法の明確な基準は定められていない。そのため、現在の土圧算定手法では各設計者が個別に判断しており、安全側の設計とするため非合理的な設計となっている恐れがある。また、現場条件によっては実際の覆工における作用土圧と設計時土圧は異なる場合があるが、理論的な裏付けが不十分であるのが現状である。そこで、施工プロセスを考慮した合理的な設計時土圧の算出手法について検討を行う。具体的には、東京都湾岸部の電力用シールドトンネルを対象に施工プロセスを考慮した 3 次元弾塑性有限要素法による地盤解析を行い、土水圧や地盤変位について確認する。そして、解析結果と現場計測値を比較検討することで地盤解析による土圧算定の実用性、有効性を検証し、設計時土圧において実際の覆工作用土圧をどの程度定性的、定量的に評価できているのかを明確に把握し、合理的な設計時土圧の算定手法を検討することを目的とする。

2. 検討内容

東京都湾岸部の電力用シールドトンネルを参考に、大深度かつ中位の粘性土地盤のシールド工事において、施工プロセスが周辺地盤および覆工作用土圧に与える影響について検討を行った。

図 1 のように深度 -43.5m 地点の N 値約 7 の七号地層上層部粘性土層 Nacl を通過するシールドトンネルの覆工に設置した土圧計、水圧計および上部地盤に設置した層別沈下計から得られた計測結果をもとに 3 次元弾塑性有限要素法による地盤解析を行い、施工プロセスが周辺地盤および覆工作用土圧に影響の実態を把握した。現場計測および解析を実施したシールドトンネルの地盤条件および諸元を図 1、表 1 に示す。

3 次元 FEM 解析モデルは、図 2 に示すようにセグメントおよび地盤を示すソリッド要素、シールドマシンを示すシェル要素から構成されており、トンネルの横断方向が X 軸、鉛直上向きが Z 軸、奥行き方向が Y 軸となっている。モデルを縦断方向に真ん中で切断した状況は図 3 のとお

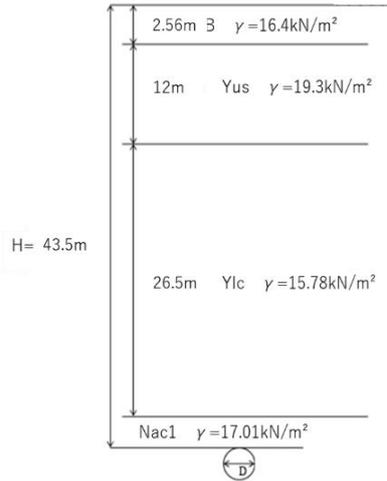


図 1 トンネル鉛直方向 地盤断面図

表 1 シールドトンネル諸元

種別	泥水式シールドマシン
トンネル外径	φ3,400 mm
トンネル内径	φ3,000 mm
マシン全長	7,860 mm
セグメント厚さ	200 mm
セグメント幅	1,350 mm

りであり、地表面から -43.45m の地点に計測リングである R148 を中心として計 74 リング分のシールドトンネルをモデル化した。また、図 3 の右図はシールドトンネルの断面であり、濃いピンク色の要素がセグメント、青色および黄色の要素がテールボイドを表している。現場で用いられているシールドマシンでは掘削外径とカットディスク外径に 30mm の差があるため、掘削時にシールドマシンと地盤の間に 15mm の空洞が生じる。そこで、テールボイドは図 3 のように、シールドマシンの外側が 15mm、内側がシールドマシンの厚さ分の 70mm になるよう要素を分割した。

本研究では、初期状態を始め、荷重や構造物建設などの外部環境の変化に対する最終状態やその過程を再現することができる施工段階解析を行っており、図 4 に示す施工ステップにより解析を実施する。このとき、作用させる施工時荷重は、現場計測値をもとにした推進圧 459kPa、裏込め注入圧 414kPa および水圧 414kPa とした。

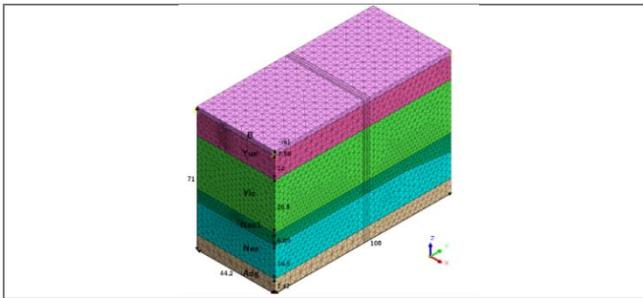


図2 地盤モデル (3Dメッシュ)

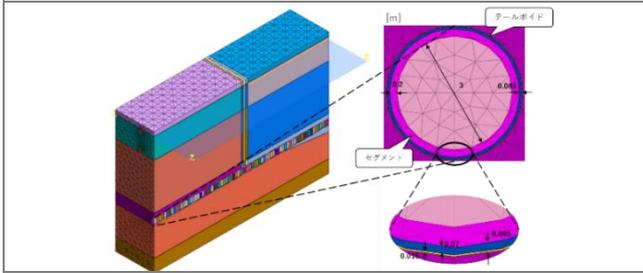


図3 地盤縦切面モデルおよびトンネル断面

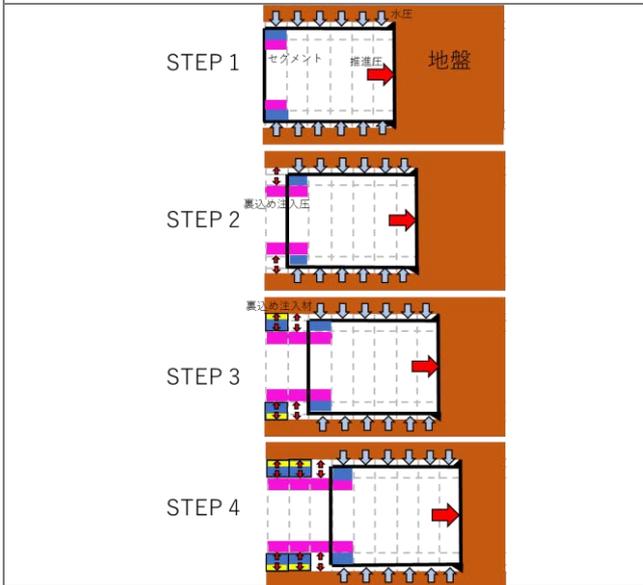


図4 施工ステップ

3. 検討結果および考察

前述した3次元FEMモデルを用いて、次の3ケースについて解析を実施した。

- ケース(I) 推進圧 459kPa, 裏込め注入圧 414kPa
 - ケース(II) 推進圧 659kPa, 裏込め注入圧 414kPa
 - ケース(III) 推進圧 459kPa, 裏込め注入圧 514kPa
- ケース(I)は、現場計測値をもとにした推進圧および裏込め注入圧とし、ケース(II)は推進圧を200kPa、ケース(III)は裏込め注入圧を100kPaだけそれぞれ現場計測値よりも大きくして解析を行い、地盤および覆工作用土圧への影響を評価した。

図5に水平有効土圧の計測結果およびケース(I)~(III)の解析結果、図6~図7に地中変位の計測結果およびケース(I), (III)の解析結果を示す。解析結果から、推進圧を459kPaから659kPaに増加させても、土圧、変位ともにほとんど変化が見られなかった。次に、裏込め注入圧を414kPaから514kPaに増加させた場合には、増加に伴って覆工に作用する土圧や周辺地盤の変位も増加することが結果から読み取れる。しかし、地表面変位についてはほと

んど変化がなく、大深度におけるシールド工事では、裏込め注入圧による地盤への影響はトンネル周辺のみであると考えられる。以上のことから、施工時荷重の中でも、裏込め注入圧が周辺地盤および覆工作用土圧に与える影響が大きいことがわかった。

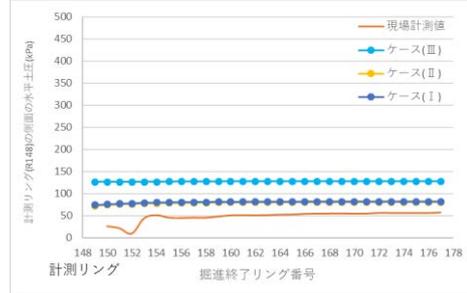


図5 水平有効土圧

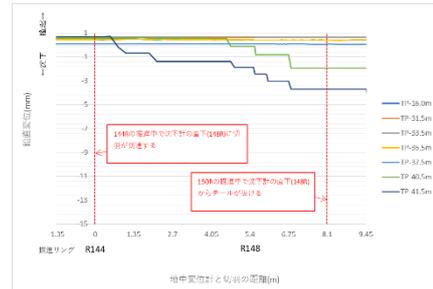


図6 地中変位の計測結果

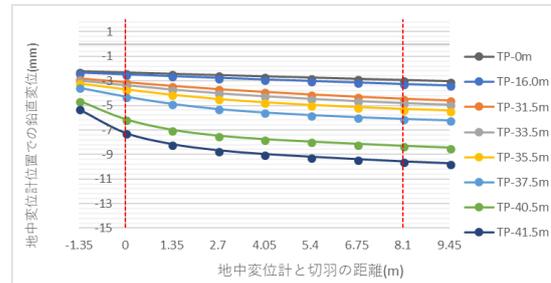


図7 ケース(I) 地中変位

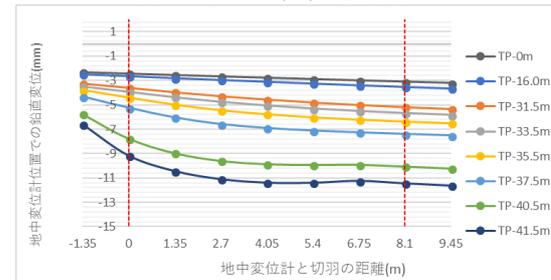


図8 ケース(II) 地中変位

4.まとめ

大深度地下の中位の粘性土地盤に建設されるシールドトンネルの覆工に作用する荷重は、水圧が主であり、有効土圧が非常に小さいことがわかった。また、施工時荷重の中でも、裏込め注入圧が周辺地盤および覆工作用土圧に与える影響が大きいことが確認できた。これらのことから、地盤条件によっては、施工時荷重は土水圧以上に覆工に大きな影響をもたらす場合があると考えられる。

<参考文献>

- 1) 東京都地盤調査業協会：技術ノート(No.37)特集：東京湾，2004.11.
- 2) (社)土木学会：トンネル標準施工方書シールド工法・同解説，2016.