

中位の粘性土地盤のシールド工事における設計時土圧について

早稲田大学 学生会員

○和田 将也

早稲田大学 学生会員

足立 賀奈子

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 国際会員

Alireza Afshani

早稲田大学 国際会員

赤木 寛一

シールド工法 中位の粘性土 土圧

1. はじめに

近年、首都圏の地上空間では構造物が密接しており、余剰空間が少なくなっていることから、リニアや外環道路のような大深度地下空間¹⁾の利用に期待が寄せられている。また地下構造物を施工する際、東京都などの都心部では軟弱な粘性土層であってもトンネルを建設できるシールド工法が主に用いられる。東京都の地盤では、とくに湾岸部の広範囲において七号地層と呼ばれるN値4~8の中位の粘性土層が広がっている。したがって、東京都湾岸部でトンネルを施工する場合、中位の粘性土地盤でシールド工事をおこなうケースが多く発生する。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現行の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。そこで、中位の粘性土において合理的な設計時土圧の算出について検討をおこなうことを目的とする。その方法として三次元弾塑性有限要素法を用いた地盤解析ソフトを使用し、検討対象の現場計測値と比較することで現場の三次元モデルを再現し、施工過程による地盤への影響を調査する。

2. 検討対象

本研究では、東京都湾岸部の電力用シールドトンネルを対象に検討をおこなう。以下に現場の概要図を示す。

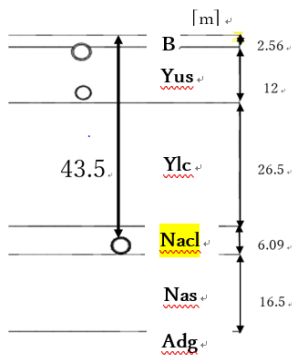


図1 トンネル鉛直方向地盤接触断面図

図1に示すように、既設のトンネルが二本通った現場となっている。今回対象としたシールドトンネルは、地表面から天端までの距離が43.5mの大深度に位置しており、中位の粘性土層であるNacl層を通過するものである。電力用シールドトンネルであるためトンネルの直径は、約3m程度である。

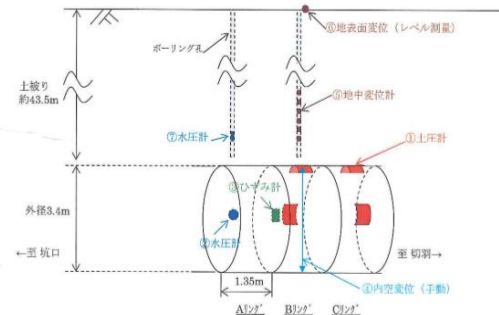


図2 縦断方向地盤モデルと計測機器

図2は地盤を側面方向から見た図であり、現場での計測機器の設置位置をそれぞれ示してある。現場における計測リングの天端と側面に土圧計、側方だけに水圧計、計測リング上部の地盤内に地中変位計を設置している。

3. 三次元地盤モデル

現場を基に作成した三次元地盤モデルを以下に示す。

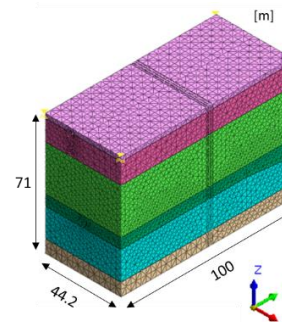


図3 地盤モデル(3Dメッシュ)

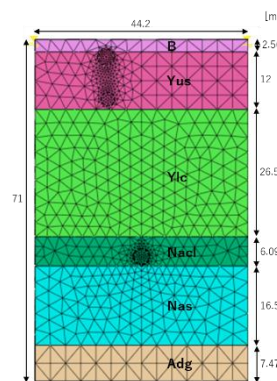


図4 地盤モデル(Z X方向)

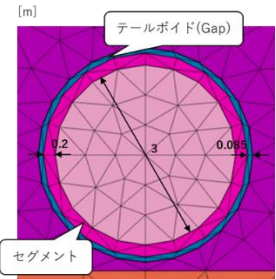


図5 トンネル断面

表 1 地盤物性値

名称	B	Yus	Ylc
弾性係数(E) (k N/m ²)	3600	9600	4400
ポアソン比(ν)	0.35	0.3	0.317
湿潤単位重量(γ) (k N/m ³)	16.4	19.3	15.78
粘着力C (k N/m ²)	37	2	47
内部摩擦係数(Φ) (°)	2	37	27.1
初期間隙比(e_0)			1.353
静止土圧係数(K_0)	0.82	0.39	0.54
圧密指数(λ)			0.384
膨潤指数(κ)			0.007
限界状態応力比(M)			1.08
透水係数(k) (m/sec)			7×10^{-10}
透水係数の間隙比依存性(ck)			0.67
過圧密比(OCR)			1.55

名称	Nac1	Nas	Adg
弾性係数(E) (k N/m ²)	7700	21300	82600
ポアソン比(ν)	0.317	0.3	0.3
湿潤単位重量(γ) (k N/m ³)	17.01	20.8	20
粘着力C (k N/m ²)	146	1	1
内部摩擦係数(Φ) (°)	27.9	37	45
初期間隙比(e_0)	1.353		
静止土圧係数(K_0)	0.53	0.39	0.29
圧密指数(λ)	0.245		
膨潤指数(κ)	0.0047		
限界状態応力比(M)	1.18		
透水係数(k) (m/sec)	1.5×10^{-9}		
透水係数の間隙比依存性(ck)	0.67		
過圧密比(OCR)	1.7		

表 2 その他物性値

名称	コンクリート(メイントンネル)	シールドマシン	コンクリート(サブトンネル)
モデルタイプ	弾性	弾性	弾性
弾性係数(E) (GPa)	45000000	210000000	300000000
ポアソン比(ν)	0.15	0.3	0.15
湿潤単位重量(γ) (kN/m ³)	40	130.78	50

図 3, 4 に作成した三次元地盤モデルを示す。今回作成した地盤モデルは現場における計測リングを中心とした計 74 リング分を抜粋したのになっている。水位は現場と同様に地表面より -0.355m 地点を入力した。

また、図 5 にシールドトンネルの断面を示す。モデル上における青い要素がテールボイドを表す Gap 要素であり、濃いピンク色の要素がトンネルの覆工材料を表すセグメント要素である。図 3~5 に示したようにモデル上において地盤を多数の要素に分割してある。

表 1, 2 に今回の解析において入力した物性値を示す。基本的に現場の計測データに基づいた値を入力している。この物性値を入力し、施工ステップを組むことにより、各要素ごとに全土圧、有効土圧、間隙水圧、変位等を求めることができるため、現場の計測機器の位置と対応している要素での解析値と現場計測値を比較することで現場再現モデルを作成していく。

4. 検討内容

本研究では東京都湾岸部の電力用シールドトンネルにおける全土圧、有効土圧、水圧、地中鉛直変位において現場計測値と弾塑性有限要素法による解析結果を比較することにより現場再現をおこなう。

今回モデルの作成をおこなうにあたり、解析結果と現場計測値の間隙水圧の値は非常に近い値を示していたのに対し、解析結果における全土圧の値が現場計測値と比較して非常に大きい値を示していたことから、有効土圧の低減させることを試みた。これにあたり図 6 に示すように STEP1 から STEP5 の流れで施工ステップを組み、解析を実施した。

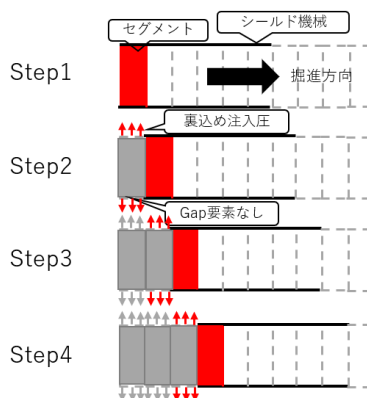


図 6 施工ステップ

Step1 で 6 リング分のシールド機械の後方 1 リングでセグメントを組む。Step2 でセグメントを外に押し出したタイミングで裏込め注入圧をかけ Gap 要素は空洞にする。Step3 でさらに押し出した 1 リングに裏込め注入圧をかけ、Gap 要素は空洞にする。以降は同じ Step を繰り返す。

以上のように Gap 要素を空洞にし、圧力のみをかけることにより裏込め注入圧を再現した。これにより地山の移動が十分に行われ、地盤内で応力が分散することにより、かかる有効土圧が低減したと考えられる。この施工ステップを用いて、現場計測値と解析結果の比較検討をおこなう。

5. 現場計測値と解析結果の比較

全土圧、有効土圧、地中鉛直変位について上で示した施工ステップを用い比較検討をしていく。

5.1 全土圧

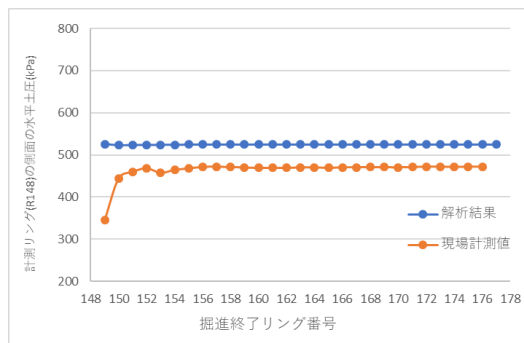


図 7 全土圧の比較

図 7 に全土圧の比較結果を示す。計測結果が落ち着いた値で平均をとると解析結果が約 525kPa、現場計測値が 463kPa であった。

5.2 有効土圧

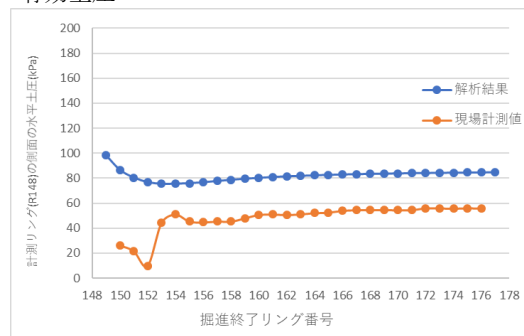


図 8 有効土圧の比較

図 8 に有効土圧の比較結果を示す. 同様に平均値をとると解析結果が約 81kPa, 現場計測値が 51kPa であった.

5.3 地中鉛直変位

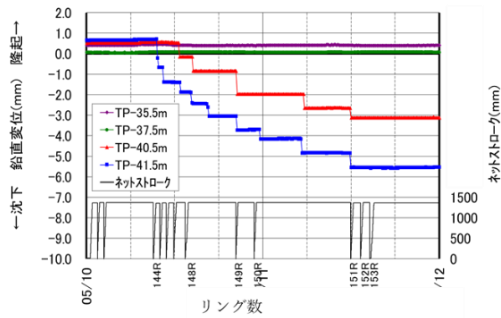


図 9-1 地中鉛直変位の現場計測値

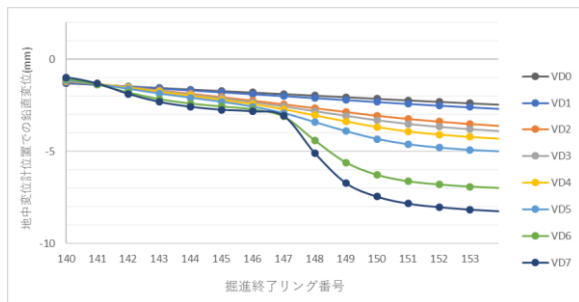


図 9-2 地中鉛直変位の解析結果

図 9-1 に地中鉛直変位の現場計測値, 図 9-2 に解析結果を示す. 現場計測値の値は地表面変位からの相対変位であり, 現場における地表面変位が下に約 2mm 程度であるため現場計測値の結果に 2mm を足したものが解析結果と同じ条件となっている. 最も計測セグメントに近い変位計 VD7 の値を読むと解析結果が約 8.1mm, 現場計測値が約 7.5mm 程度である.

6. 終わりに

以上の結果より東京都湾岸部のシールドトンネルの現場計測値と弾塑性有限要素法による解析結果を比較すると全土圧, 有効土圧, 地中鉛直変位のすべてにおいて非常に近い値が得られたため, かなり高精度な現場再現モデルを作成できたといえる. (今回間隙水圧は全土圧から有効土圧を引いたものであるため省略した.)

今後の方針としては, さらに精度の高い再現モデルを作成し, 完成したモデルにおいて施工過程の変化に応じて生じる地盤への影響を考察していきたい.

<参考文献>

- 1) 大深度地下利用—国土交通省
(最終閲覧日: 2019. 8.26)
http://www.mlit.go.jp/toshi/daisei/crd_daisei_tk_000007.html
- 2) (社)土木学会: トンネル標準示方書シールド工法・同解説, 2016.