

シールドトンネル用セグメントの設計方法に関する研究 ～地盤と覆工の相互作用について～

地盤工学研究室 岡崎 麻里
指導教官 杉本 光隆

1. はじめに

従来のシールドトンネルの覆工設計において、覆工の変形により生じる土圧変化は、覆工がリング外側へ変位して地盤が受働側となる場合に生じ、地盤が主働側となる場合には生じない¹⁾としている。そのため、大深度地下のような硬質地盤においては新たな対応が求められると考えられる。さらに、覆工構造についてもシールドトンネル（軟弱地盤）と山岳トンネル（硬質地盤）との考え方に違いがある。

本研究では、シールドトンネル覆工設計の現状を踏まえ、より正確な地盤と覆工の相互作用モデルを提案し、同モデルを用いて大深度地下シールドトンネルの覆工設計について検討を行った。

2. 地盤と覆工の相互作用モデル

表-1にトンネル覆工設計の荷重の考え方を示す。ここで、山岳トンネルは硬質地盤、シールドトンネルは比較的軟弱な地盤、大深度地下トンネルは上記の2つの中間の地盤を想定している。従来のトンネル覆工設計は、地盤条件の違いにより全く異なる荷重の考え方をを用いていることがわかる。そこで、トンネル周辺地盤による作用荷重の分担および覆工の変形に伴う作用荷重の変化を、統一的に表現できる地盤と覆工の相互作用モデルを開発した。

本研究で提案する解析モデルは、覆工全周にわ

表-1 トンネル覆工設計の荷重の考え方

		地盤による荷重の分担	荷重の時間依存性	最終状態の荷重の変位依存性
山岳トンネル	弾塑性	○	×	○
	弾粘塑性	○	○	○
シールドトンネル	*1全土圧	×	○	×
	*1緩み土圧	○	○	×
大深度地下トンネル		○	△	○

*1 従来モデルでは、応力再配分により最終状態の主働側荷重は初期荷重に戻ると想定している。

たり設定した地盤ばね（全周ばねモデル）¹⁾を用いて、覆工に作用する土圧を評価する。この作用土圧は、覆工が真円状態で作用する初期土圧と覆工の変形に伴ない発生する土圧変化に分けられる。ここで、初期土圧は覆工本体に入力するのではなく、地盤ばねに初期応力として入力した。また、初期土圧は全土被り土圧として、従来用いられるTerzaghiの緩み土圧を評価する場合は、緩み土圧に相当する初期変位を強制変位として地盤ばねに入力した。図-1に覆工の任意の位置での地盤変位と土圧の関係を示す。図中の σ_{n0} は初期土圧であり、土圧変化は土圧係数を用いて評価した。地盤

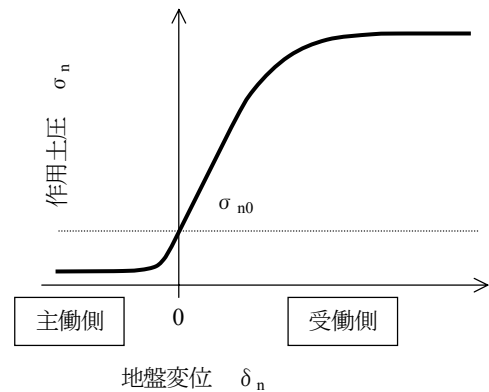


図-1 地盤変位と土圧の関係

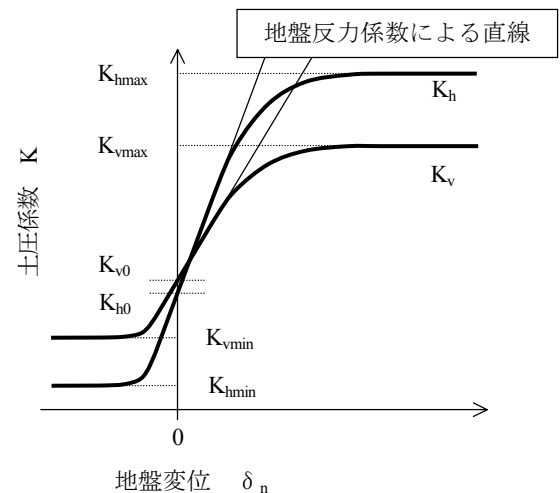


図-2 地盤変位と土圧係数の関係

変位と土圧係数の関係は、図-2 に示す 2 本の双曲線関数により表される²⁾。従来の覆工設計に用いられる地盤反力係数は、双曲線の傾きを規定する値となる。

3. 従来モデルと本解析モデルの比較

地盤条件を砂質土地盤、トンネル規模を鉄道トンネルの単線断面とした場合³⁾の覆工作用土圧分布を図-3 に示す。この図より、本解析モデルでは、変形後の土圧分布が円形に近づき、覆工全周にわたり土圧が変化していることから、本解析モデルは最終状態の土圧が変位に依存することを評価していることがわかる。

4. 大深度地下シールドトンネルの試設計

大深度地下では自立性の高い比較的硬質な地盤となり、地山の強度を生かした覆工構造が適用できると考えられる。覆工の剛性はセグメントの組み方に依存する。解析ケースを表-2 に示す。本解析モデルでの初期変位は覆工全周にわたり 5mm とした。覆工本体の発生断面力の解析結果を図-4 に示す。

この図より、本解析モデル（千鳥組み）は従来モデルと比較して断面力が大きくなっている。これは、本解析モデルでは初期変位を入力したことで変位が増加し、それに伴ない断面力が増加したためである。また、本解析モデルの千鳥組みといも継ぎを比較すると、千鳥組みでは、最大変位が小さく最大曲げモーメントは大きくなり、曲げモーメントが卓越し、いも継ぎでは、最大変位が大きく最大曲げモーメントが小さくなり、軸力が卓越する。これは、千鳥組みの場合と比較して、いも継ぎでは、変形に対する抵抗が小さくなり変位が大きくなり、曲げモーメントが小さくなるため

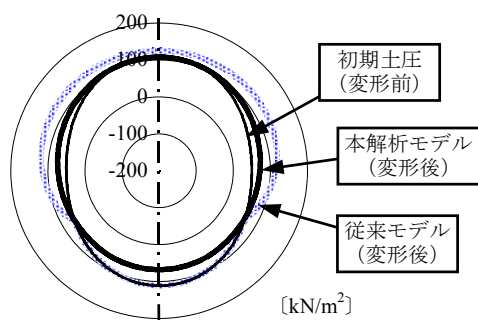


図-3 覆工作用土圧分布

である。したがって、大深度地下のような自立性の高い硬質地盤では、覆工を柔構造とすることで、地山の強度を生かしたより経済的な設計が可能となると考えられる。

5. まとめ

- 1) 地盤と覆工の相互作用をより正確に合理的に表現できるモデルを開発した。
- 2) 添接効果を期待した千鳥組みは、覆工を剛構造に保ち軟弱地盤で有効となる。いも継ぎは、継手を柔構造とすることにより変形に対する抵抗が小さくなり、自立性の高い硬質地盤で有効となる。
- 3) 自立性の期待できる硬質地盤条件下での覆工設計の考え方を示した。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル，鉄道総合技術研究所，1997.8.
- 2) 杉本光隆・Aphichat Sramoom：シールド機動力学モデルによるシールド機挙動予測，土木学会論文集，No.673/III-54，pp163-182，2001.3.
- 3) 鉄道総合技術研究所：シールドトンネル設計標準に関する手引き，鉄道総合技術研究所，2001.3.

表-2 解析ケース

解析ケース	相互作用モデル	組み方	周方向継手	初期土圧	緩みの評価
1	従来モデル	千鳥組み	回転ばね	Terzaghiの緩み土圧	初期土圧
2	本解析モデル	千鳥組み	回転ばね	全土被り土圧	初期変位
3		いも継ぎ	ヒンジ		

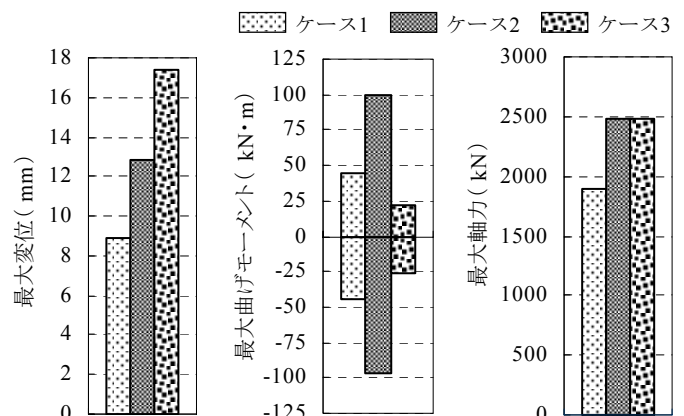


図-4 覆工本体発生断面力