

数値解析による小口径シールドを用いたシールドルーフの実現可能性の検討

地盤工学研究室 SOUMPHOLPHAKDY VANNAXAY

指導教員 杉本 光隆

1. はじめに

東京外かく環状道路の事業区間（関越～東名）において本線シールドトンネルと連絡路（ランプ）シールドトンネルをつなぐ地中拡幅部は、市街化された地域の地下に計画されていることから、図1に示すように大規模な非開削切り上げ工事により構築する必要がある。切り上げ区間の上下部先受け構造物を構築する方法として、図2に示すように本線シールド、ランプシールドから坑内発進する複数の小口径シールド（以下、シールドルーフと呼ぶ）を用いる方法が考えられる。

しかし、この構築方法では、坑内発進から切り上げ区間の上下部先受け構造物に至るまでのすりつけ区間で、トンネル線形が曲線半径 10m 級の三次元的な急曲線となり、こうしたトンネル線形の施工実績は今まで皆無であることから、その実現性が危惧される。さらに、施工が可能であったとしても、シールド掘進管理は複雑にならざるをえないと考えられる。

そこで本研究では、当該区間を解析対象とし、シールド掘進管理条件を検討するとともに、得られたシールド掘進管理条件を用いて、シールド掘進シミュレーションを実施することにより、上記のシールドルーフの実現可能性を検討した。

2. シールドトンネル

シールドトンネルの施工概要、トンネル線形とシールド機概要は以下のとおりである。

- ・発進箇所：本線シールド 11 本
ランプシールド 4 本
- ・トンネル位置：上部 9 本、下部 6 本
- ・発進角度：上下に 30~50 度

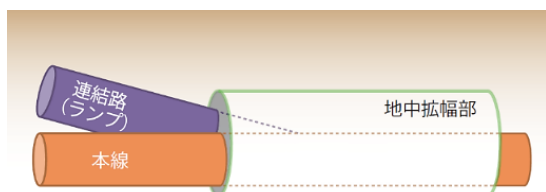


図1 2つのシールドトンネルをつなぐ地中拡幅部

- ・最小曲線半径：R=10m
- ・シールド機：中折れ式泥水式シールド
- ・シールド機長=4.575m
- ・シールド機スキンプレート外径=φ2.140m

3. 解析方法

解析手順は以下のとおりである。

- ①入力データを作成する。
- ②シールド掘進管理条件を算定する。
- ③シールド掘進シミュレーションを実施する。
- ④偏差量を算定する。
- ⑤感度分析を行う。
- ⑥テールクリアランスを推定する。

①、②、③と⑤については、以下項目毎に詳述する。

3.1. 入力データの作成

シールド掘進シミュレーションに必要な入力データは、次の8つに分類できる。a)シールド機諸元、b)地盤物性値、c)計算条件、d)計測精度、e)シールド掘進管理条件、f)計画線形、g)地層構造、h)セグメント諸元。

3.2. シールド掘進管理条件の算定

ジャッキ力、コピーカッター使用条件と中折れ角度を合わせて、「シールド操作条件」と呼ぶ。これら三つのパラメータはシールド機挙動に対して共線性があり、事前に設定しておくことが必要である。

コピーカッター使用条件と中折れ角度は、シールド操作算定プログラムにより別途設定した。

ジャッキ力は、上記で得られた中折れ角とコピー

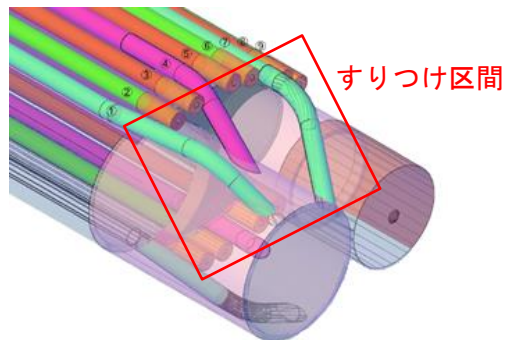


図2 シールドルーフ鳥瞰図

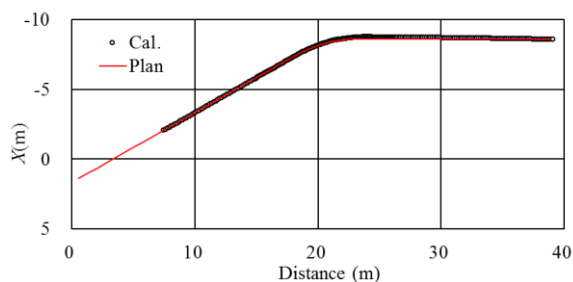


図3 シールドの軌跡 (トンネル②)

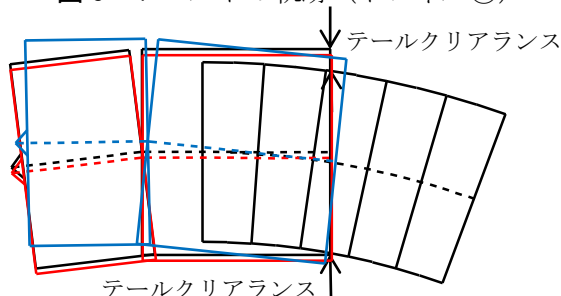


図5 曲線部でのシールドとセグメントの位置関係

カッター使用条件を，シールド機動力学モデル²⁾に
入力して，幾何学的条件からジャッキ力とジャッキ
モーメントを算定した．

3.3. シールド機挙動シミュレーション

「3.1. 入力データの作成」，「3.2. シールド掘進管
理条件の算定」で設定したデータを，シールド機動力
学モデル²⁾に入力し，シールド機挙動シミュレーシ
ョンを行った．また，解析で得られたトンネルの線形
がトンネル計画線形と一致するように，ジャッキ力，
ジャッキモーメント，余掘り有効率を調整した．

3.4. 感度分析

シールド操作条件に含まれる，①ジャッキ力，②ジ
ャッキ水平モーメント，③ジャッキ鉛直モーメント
がシールド機挙動に与える影響を検討した．

4. 解析結果・考察

4.1. シールド機挙動シミュレーション

図3 シールドの軌跡から，シミュレーション結果
が計画線形とよく一致していることがわかる．

4.2. 偏差量の算定

解析値と計画値の水平・鉛直偏差は概ね±200mm
以内となった．

4.3. 感度分析

図4に示すように，ジャッキ力 F_{3r} を装備推力の
1%増減することにより，シミュレーション終了時に
はトンネル線形に依らずトンネル軸方向に約
1,500mm のずれが生じた．また，ジャッキ水平モー
メント M_{3p} ，ジャッキ鉛直モーメント M_{3q} を通常使

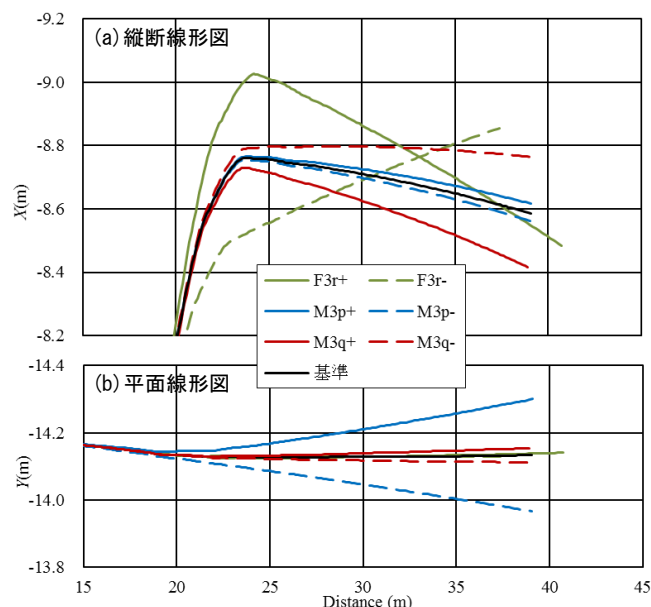


図4 感度分析 (トンネル②)

用される最大モーメントの 10%増減することにより，
コピーカッターを用いているトンネル曲線部で，シ
ミュレーション終了時にはトンネル横断・縦断方向
に約 170mm のずれが生じた．

上記は，シールド機挙動の解析値と計画値の差が
上記の値程度であれば，実施工で必要に応じてシー
ルド操作を行うことにより，計画された線形を有す
るトンネルを構築できることを意味する．

4.4. テールクリアランスの推定

図5に示すように，曲線部でテールクリアランス
が不足する（セグメント外面とシールド内面に競る）
場合は，以下の二つの対策が考えられる．

- 1) シールド機を曲線内側にシフトする（図5：赤）．
- 2) シールド機の軸方向を調整する（図5：青）．

5. まとめ

- 1) 適切なシールド掘進管理条件を設定すれば，本解
析で想定したトンネル線形を掘削可能である．
- 2) シールド操作算定プログラム⁴⁾で求めた，中折れ
シールドの中折れ角とコピーカッター使用条件
（使用範囲と長さ）は，妥当である．

参考文献

- 1) 中村良平，中島千博，杉本光隆：三次元の幾何学的
条件による中折れシールドの制御手法，第66回土
木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ，Ⅲ-113，
2011.9.
- 2) 杉本光隆，A. Sramoon：施工実機に基づくシールド
機動力学モデルの開発，土木学会論文集，
No.673/III-54，pp.163-182，2001.3.