

## 小土被り区間での SENS 覆工挙動の解析

長岡技術科学大学 学 ○中田早紀, NGUYEN DUC TAM 正 杉本光隆  
(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正 玉井達毅

## 1 はじめに

SENS で施工されたトンネルでは、未固結な一次覆工コンクリート（以下、一次覆工）中の内型枠がシールド機から離れるに従って浮き上がる現象が確認されている。これは、内型枠が未固結な一次覆工による浮力によって、上方に剛体変位したためと考えられる<sup>1)</sup>。さらに、一次覆工は内型枠が浮き上がった状態で硬化した後に、地山からの有効土圧を受ける。この有効土圧は、内型枠挙動や地山状況によって変化すると考えられる。したがって、一次覆工や内型枠を設計するために必要な作用土水圧を推定するため、三次元的かつ逐次的に変化する地盤、一次覆工、内型枠の相互作用を表現できる解析モデルが必要である。

そこで本研究では、内型枠および一次覆工の挙動メカニズムを解明し、トンネルの健全な覆工を構築することを目的として、SENS の荷重条件と施工過程を考慮した三次元解析モデルを開発し、SENS で施工した北海道新幹線津軽蓬田トンネルの計測データを用いて同手法の妥当性を検証した。

## 2 解析モデル

## 2.1 解析モデル概要

図1に示す本研究の三次元解析モデルは、周辺地盤を覆工周面に配置した法線方向地盤ばね、内型枠と一次覆工を一体としたシェル要素、内型枠のリング間継手を軸方向ばねとせん断ばね、ピース間継手を回転ばねで表現した。また、シールドテール部と覆工の競りをテールシェルばね、内型枠と一次覆工との周面摩擦をジョイント要素によってモデル化した。

内型枠に作用させる荷重は、先端のシェルヘジャッキ力、コンクリート液体区間でコンクリート打設圧、

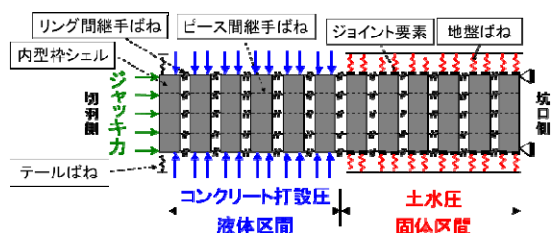


図-1 解析モデル

固体区間で土水圧である。地盤ばねの性状には、周辺地盤が比較的硬質な地山であることから、切羽前方変位やトンネル掘削面と覆工の相対変位による土圧変化を評価できる地盤反力曲線<sup>2)</sup>を適用した。

## 2.2 逐次解析

図2は逐次解析概要である。施工ステップ毎に新たな内型枠を先端に追加し、荷重と全周ばねを1リング分切羽側にシフトすることで、トンネル掘進を表現した。一次覆工が固体区間では、一次覆工と内型枠が一体となって土水圧に抵抗する。そこで、一次覆工と内型枠を合成梁として剛性を増加させることにより、脱型リングでは剛性を低下させることにより、一次覆工の硬化と内型枠の脱型をそれぞれ表現した。

## 3 パラメータスタディ

## 3.1 解析ケース

地盤ばね特性とジャッキ推力が内型枠・一次覆工に与える影響を解明するため、表-1に示すパラメータスタディを実施した。ここで、初期変位  $u_{init}$  は、初期トンネル掘削面から一次覆工硬化時の掘削面までの距離である（－：受働）。解析対象は、津軽蓬田トンネル小土被り区間の計測断面（土被り約11m）とした。

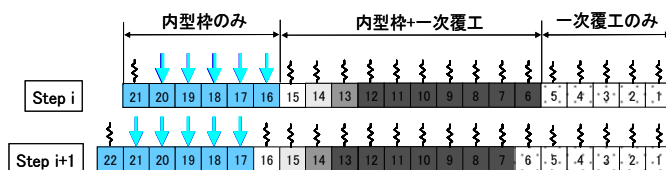


図-2 逐次解析概要

表-1 解析ケース

| Case<br>※1 | Case<br>※2 | 地盤反力係数<br>(MN/m <sup>3</sup> ) | $u_{init}$ : 初期変位<br>(mm) |
|------------|------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1          | 10         | 50                             | -5                        |
| 2          | 11         |                                | -2                        |
| 3          | 12         |                                | 0                         |
| 4          | 13         | 100                            | -5                        |
| 5          | 14         |                                | -2                        |
| 6          | 15         |                                | 0                         |
| 7          | 16         | 150                            | -5                        |
| 8          | 17         |                                | -2                        |
| 9          | 18         |                                | 0                         |

※1 ジャッキ力 937kN/本

※2 ジャッキ力 468kN/本

### 3.2 定常状態の確認

図-3 に各ステップの覆工の天端の鉛直変位 ( $k = 150\text{MN/m}^3$ ,  $u_{\text{init}} = -5\text{mm}$ , ジャッキ推力 =  $937\text{kN/本}$ ) を示す. この図より, 最終ステップに近づくと定常状態となり, 本モデルの逐次解析ステップが妥当であることがわかる. そこで, 今後の解析結果は, 最終ステップ (30Step) で評価することとした.

### 3.3 内型枠・一次覆工挙動説明

内型枠の計測曲げモーメントを示す図-4より, 液体区間のテール脱出1R後で, 下端と左側での値が著しく大きくなり, 固体区間でもその影響が残っていることがわかる. これは, 組立施工の影響で, 本モデルでは表現できないことから, 軸力に着目することとした.

図-5に,  $k = 150\text{MN/m}^3$ ,  $u_{\text{init}} = -5\text{mm}$ , ジャッキ推力 =  $937\text{kN/本}$ を基本ケースとし, パラメータが変位と軸力に与える影響を示す. この図より, 以下のことがわかる.

- 初期変位 (受働側) が大きくなると, 天端より下端の土圧の増加が大きくなるため, 上方へ剛体変位する. さらに, 受働側への初期変位のため, 軸力は増加する.
- 地盤反力係数が大きくなると, 地盤が硬くなり, 変位はほぼ同じとなる. また, 受働側への初期変位のため, 地盤が硬くなると, 軸力は増加する.
- ジャッキ推力の大小に関わらず, 剛体変位と軸力はほぼ同じである. これは, 初期変位が受働側であるため, 地盤反力が卓越したためと考えられる.

### 3.4 計測値との比較

テール脱出12R後でのパラメータと軸力の関係を示す図-6より, 剛体変位および軸力の計測値と解析値が一致するのは  $k = 150\text{MN/m}^3$ ,  $u_{\text{init}} = -5\text{mm}$ , ジャッキ推力 =  $937\text{kN/本}$ であること, トンネル右側の軸力の経時変化を示す図-7より, 解析値が計測値の傾向を再現できることがわかった.

## 4 まとめ

SENSの施工過程を考慮した三次元逐次解析手法を開発した. 同手法により, 小土被り区間でも, 一次覆工・内型枠の挙動を合理的に表現できることを確認した.

### 参考文献

- 玉井達毅他: シールドを用いた場所打ち支保システムの時系列三次元逐次解析手法による内型枠挙動の解明, 土木学会論文集 F1, Vol.70, No.3, I-17 - I-28, 2014.
- 岡崎麻里, 杉本光隆, Aphichat Sramoom: 地盤反力曲線を用いた骨組み構造解析によるトンネル覆工の解析法, 土木学会論文集 C, No1/V-67, pp.61-77, 2011.

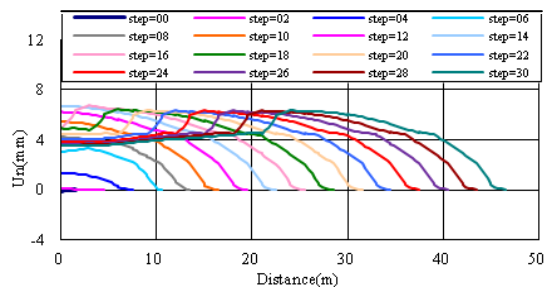


図-3 各ステップの覆工天端における変位量

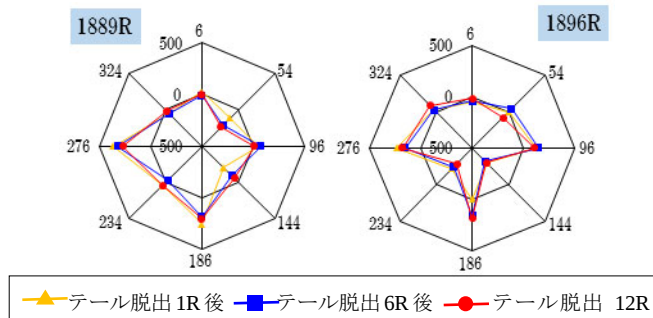


図-4 内型枠の曲げモーメント計測結果(kN-m/m)

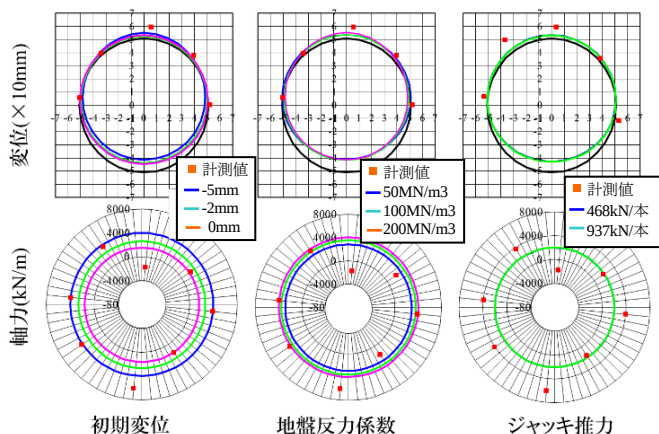


図-5 変位・軸力分布

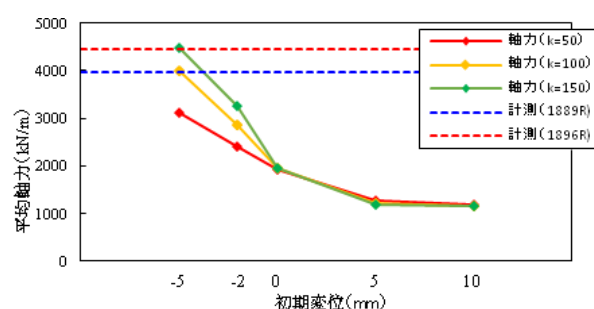


図-6 パラメータと軸力の関係(テール脱出12R後)

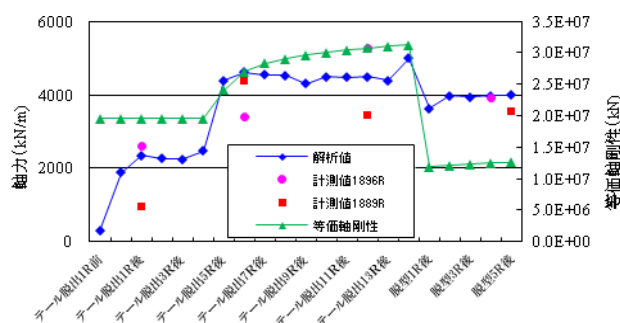


図-7 軸力の経時変化