

SENS の時系列三次元逐次解析手法の開発

長岡技術科学大学 学生会員 ○黒橋群, 阿部広明
正会員 玉井達毅, 杉本光隆

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コンクリート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。さらに、一次覆工コンクリートは内型枠が浮き上がった状態で打設圧を受けながら硬化した後に、地山からの有効土圧を受ける。この有効土圧は、切羽前方変位やトンネル掘削面と内型枠や一次覆工コンクリートとの相対変位により減少したり、地山が自立し 0 となっていることも考えられるが、現行の解析法ではこうした現象を表現できない。

そこで本研究では、内型枠の挙動に着目し、内型枠の剛体変位、一次覆工コンクリートの硬化過程、主働側の土圧や地山の自立が表現可能な、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 2 例目の施工となった北海道新幹線、津軽蓬田トンネルの現場計測データ¹⁾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

本研究の 3 次元解析モデルの概要を図 1 に示す。本解析モデルでは、地盤を覆工全周に配置させた法線方向地盤ばね、内型枠をシェル、内型枠のリング間継手を軸方向ばねとせん断ばね、内型枠間継手を回転ばねで表現した。また、シールドマシンテール部と内型枠の競りを表現するためにテールばねを、内型枠と一次覆工コンクリートとの周面摩擦を表現するために、一次覆工コンクリートが固結状態の区間には、内型枠と地盤ばねの間にジョイント要素を設定した。

内型枠に作用させる荷重は、先端の内型枠へジャッキ力、コンクリート未固結区間でコンクリート打設圧、固結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減少、地山の自立を評価できる地盤反力曲線²⁾を適用した。

2.2 逐次解析

(1) 一次覆工コンクリートの硬化過程

一次覆工コンクリートが固結状態の場合、周辺地盤からの土水圧は一次覆工コンクリートを介して内型枠に作用する。そこで、一次覆工コンクリートを地盤と内型枠間のスペーサーとみなし、一次覆工コンクリートばねとして表現するとともに、地盤ばねと一次覆工コンクリートばねを直列に配置したものと等価なばね特性を地盤ばねに設定した。なお、コンクリートばね値は、コンクリート打設後経過時間に応じたヤング係数(実験式)を用いて算定し、コンクリートが硬化過程を考慮した。

(2) 逐次解析

図 2 は逐次解析のイメージを示したものである。内型枠 1 リング分の掘進・組立時間を 1 ステップとして、施工ステップ毎に新たな内型枠を先端に設置し、コンクリート打設圧とテールばね、地盤ばねを前方に 1 リング分移動させた。

3. パラメータスタディ

3.1 解析ケース

地盤ばね特性の違いが内型枠シェルに与える影響は大

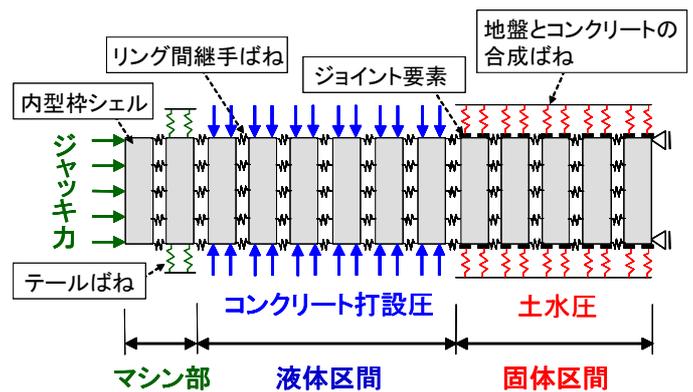


図 1 解析モデル



図 2 逐次解析

キーワード SENS, 3次元FEM解析, 逐次解析, 地盤反力曲線, 一次覆工コンクリート, 内型枠

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-47-6309

きい. そこで, 表 1 に示すように各パラメータを変化させて解析を実施した. ここで, 初期変位とは, 初期トンネル掘削面と内型枠外周面との距離である.

解析対象は, 津軽蓬田トンネルで実施した大土被り区間での計測断面 (1624R, 土被り約 90m) とした.

3.2 解析結果

各パラメータが, 内型枠の鉛直剛体変位(+ : 上向き)・扁平率(+ : 横長, 次式参照)・軸力(+ : 圧縮, 平均値)・曲げモーメント(+ : 負曲げ, 最大値)に与える影響を図 3 に示す.

扁平率=1-鉛直方向のトンネル径/横断方向のトンネル径

この図から以下のことがわかる.

a) 地盤反力係数が大きくなると, 扁平率は減少し, 軸力と曲げモーメントが小さくなるが, 剛体変位はあまり変化しない. これらは, 地盤が硬くなると, 地山が自立し, 内型枠に作用する有効土圧が減少すること, 周辺地盤の変位拘束が強くなり, 横長の変形を抑制するためである.

b) 水平土圧係数が 1 に近づく場合, 剛体変位はほとんど変化しないが, 扁平率は 0 に近づく. また, 軸力は増加傾向, 曲げモーメントは減少傾向にある. これらは, 内型枠に作用する有効土圧が等圧分布に近くなること, 水平土圧が増加することによるものと考えられる.

c) 初期変位が大きくなると, 鉛直方向の剛体変位は増加するが, 扁平率はほとんど変化しない. また, 軸力は減少するが, 曲げモーメントはほとんど変化しない. これは, 初期変位が大きくなると土圧が抜けることにより軸力が減少すること, 隙間が大きく, 剛体変位するスペースが存在するためと考えられる.

3.3 逆解析

パラメータスタディの結果から, 断面力の計測値と解析値が一致するような地盤パラメータ推定した. 断面力分布を図 4 に, 推定したパラメータを表 2 に示す. 地盤反力係数は軟岩程度の値と一致した. また, コンクリート打設圧により, 水平土圧係数は通常よりも大きくなり等圧分布に近づくこと, 初期変位は主働側に 5mm で地盤応力とコンクリート圧が釣合うことがわかった.

4. 今後の展開

現在, 一次覆工コンクリートも含めた解析モデルを開発中である.

1) 三上美輝雄, 田中淳寛, 神田大, 玉井達毅, 津野究, 焼田真司, 水原勝由 : SENS におけるライニング挙動, 土木学会第 67 回年次学術講演会, VI-179, 2012.9.

表 1 解析ケース

Case	地盤反力係数 (MN/m ³)	水平土圧係数	初期変位 (mm)
1	50	0.75	10
2	100		
3	200		
4	100	0.50	10
5		0.75	
6		1.00	
7	100	0.75	5
8			10
9			20

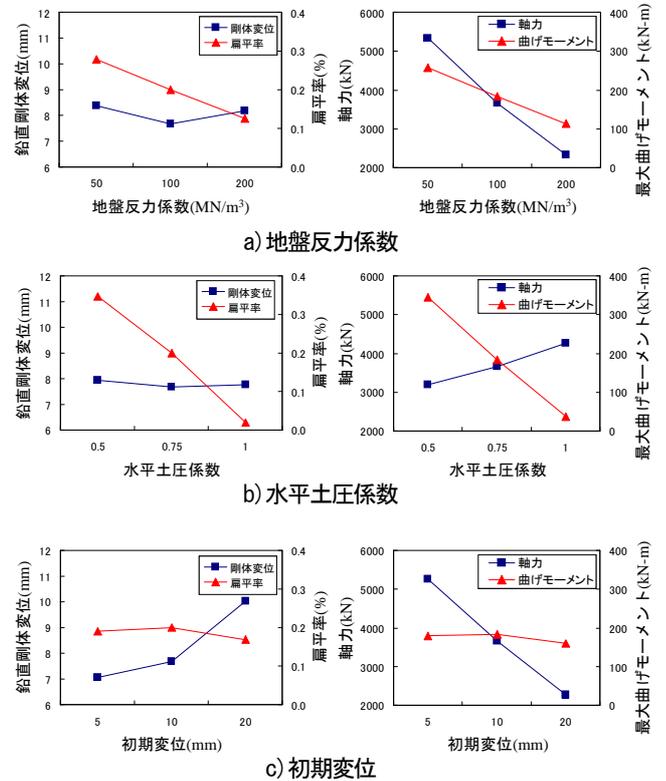


図 3 各パラメータの影響

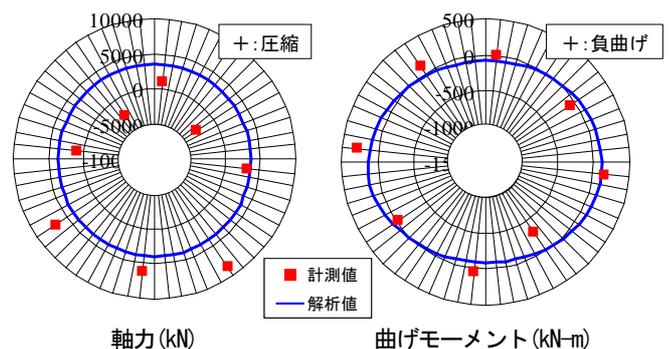


図 4 内型枠の断面力分布 (テール脱出 1D 後)

表 2 推定したパラメータ

地盤反力係数 (MN/m ³)	200
水平土圧係数	0.75
初期変位 (mm)	5

2) 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.