

SENS における切羽周辺の内型枠挙動に関する数値解析

長岡技術科学大学 学生会員 ○阿部広明

長岡技術科学大学 正会員 岩田諒介, 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、未固結の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上がる現象が確認されている。これは、内型枠が、未固結な場所打ちコンクリートによる浮力で、上方に剛体変位したためと考えられる。また、時間の経過とともに、未固結であった場所打ちコンクリートは硬化し、地山からの有効土圧を受けることとなる。この有効土圧は、トンネル掘削面の初期変位やトンネル掘削面と覆工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。

本研究では、内型枠の挙動を解明するために、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 の施工過程を考慮した三次元解析モデルを開発し、現場計測値と比較することにより、その合理性を検証した。

2. 解析モデル

2.1 解析モデル概要

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、内型枠を地盤ばねによって支えられるシェル、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、内型枠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体状態の区間には、内型枠と地盤の間にインターフェイス要素を設定した。解析モデルを図 1 に示す。ここで、 L_S はシールドマシンの長さ、

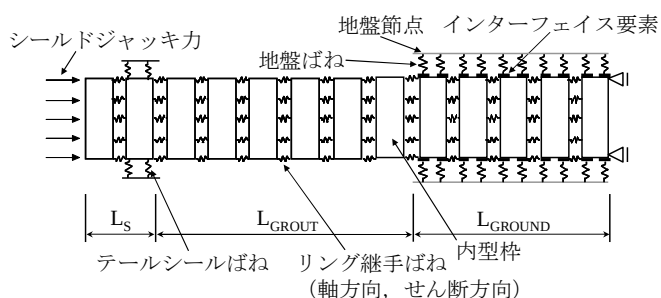


図 1 解析モデル全体図

L_{GROUT} は一次覆工コンクリート未固結区間の長さ、 L_{GROUND} は一次覆工コンクリート硬化区間である。

また、周辺地盤は比較的硬質な地山であることから、トンネル掘削面の初期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や、地山の自立を評価できる地盤反力曲線¹⁾を地盤ばねに適用する。

2.2 逐次解析

本解析では、未固結のコンクリートおよび硬化が始まったコンクリート中にある内型枠の挙動を表現するために、シールド機の掘進に伴い、一次覆工コンクリートが液体状態から固体状態に変化すること、一次覆工コンクリートが硬化することを考慮した逐次解析を行った。(図 2 参照)

(1) コンクリート打設圧

未固結の一次覆工コンクリートによる浮力を表現するため、未固結の一次覆工コンクリート中の内型枠に打設圧を作用させる。

(2) 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の硬化過程を表現するために、コンクリートが打設されてからの経過時間に応じたヤング係数を設定する。

さらに、一次覆工コンクリートが固体状態の場合の

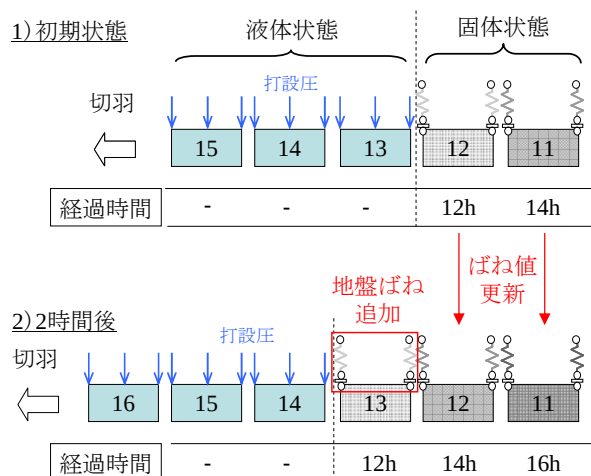


図 2 逐次解析モデルの概要図

キーワード SENS, 3次元 FEM 解析, 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

内型枠には、一次覆工コンクリートを介して周辺地盤からの土水圧が作用することから、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て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、一次覆工コンクリートの硬化過程を考慮した。

(3) 施工ステップ

内型枠 1 リング分の掘進・組立時間を 1 ステップとして、施工ステップ毎に一次覆工コンクリートのヤング係数を更新した。

3. 現場への適用

現在建設中の北海道新幹線、津軽蓬田トンネルの現場データを用いて解析を行った。施工条件の諸元は以下のとおりである。

- 1) トンネル外径 : $\phi 11,300\text{mm}$
- 2) 平面線形 : 直線
- 3) 縦断線形 : 最大勾配 20.8‰
- 4) 土被り : 約 90m
- 5) 地下水位 : 土被りとほぼ同じ

なお、津軽蓬田トンネルの施工データより、内型枠 1 リングの掘進・組立時間が約 2 時間であることから 1 ステップ 2 時間と設定した。また、現場計測データの総推力とジャッキパターンから、各ジャッキの推力を算定し、各施工ステップでの切羽側の節点に荷重として作用させた。

4. 解析結果

図 3 に一次覆工コンクリート打設直後から打設 12 時間後までの内型枠天端での変位 U_n を示す。横軸は解析モデルの坑口側端部を 0 として、切羽側へのトンネル軸方向の距離を、 U_n の+は内型枠上方への変位を示す。

図 4 に現場計測値と解析値の比較を示す。現場計測

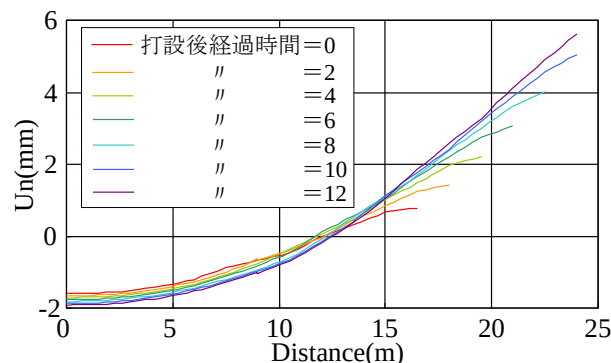


図 3 内型枠天端でのステップ毎の変位

値はテール脱出 6 リング後の内型枠の変位を示したものである。なお、変位は 100 倍して表示している。

図 3、図 4 より以下のことがわかる。

- 1) 内型枠の上方への変位が連続的に生じていて、この上方への変位はコンクリート打設圧が作用する区間から顕著となる。これは、未固結コンクリートの浮力のためと考えられる。
- 2) 切羽に近い同一地点での一次覆工コンクリート打設後経過時間が増加すると、変位が増加する。これは内型枠が継続的にコンクリート打設圧の影響を受け、上方に剛体変位した状態で、一次覆工コンクリートが固化し、変位が累積したためと考えられる。
- 3) 解析値は、内型枠の横断面の変形モードを概ね表現することができている。

5. まとめ

本研究では、内型枠の挙動を解明するために、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 の施工過程を考慮した三次元解析モデルを開発し、現場計測値と比較することにより、その合理性を検証した。その結果、本モデルは未固結コンクリートの浮力と一次覆工コンクリート硬化過程を考慮に入れて内型枠の縦断方向、横断面内挙動の傾向を表現できることを確認した。今後、解析モデル、逐次解析ステップを改良し、SENS の一次覆工コンクリートの挙動を解析する予定である。

参考文献

- 1) 杉本光隆, A.Sramoon, 岡崎麻里: 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

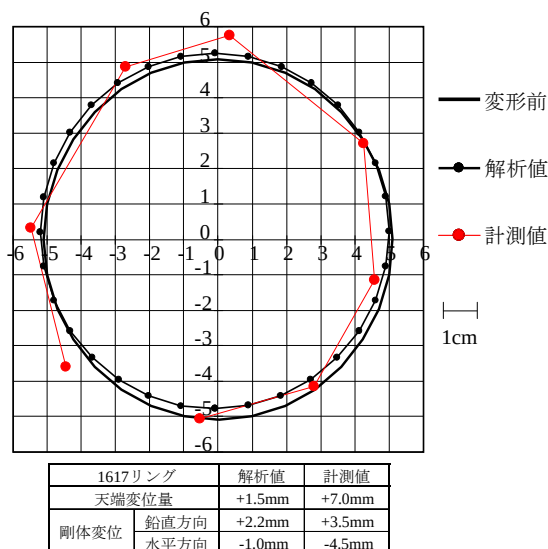


図 4 計測値との比較