SENS によって構築されたトンネル周辺の地盤変位解析

長岡技術科学大学　学　○畑下創紀，中田早紀　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 によって掘削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，一次覆工は内型枠が浮き上がった状態で打設圧力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，内型枠挙動や地山状況によって変化すると考えられることから，一次覆工や内型枠を設計する上で，基本的である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，一次覆工コンクリートと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．

既往の研究 [1]では，トンネル覆工の解析手法として，はりーばねモデルを用いて，SENS の施工過程を考慮した 3 次元逐次解析手法を開発し，実トンネルの現場計測データを用いて同手法の妥当性を確認している．しかし，このモデルでは地盤を連続体でモデル化しておらず，そのため，地盤や地表面の影響を表現できない．そこで本研究では，掘削に伴う地表面への影響も検討できるよう，地盤を含めてトンネルをモデル化し，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

本解析モデルは，3 次元ソリッド要素でモデル化した地盤の中央付近に，図-1 に示すような 32 リングの覆工を設置し，掘削面と覆工を界面要素で連結したモデルである．さらに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，内型枠間継手を回転ばねで表現した．覆工に作用させる荷重は，先端のシェルへジャッキ力，コンクリート液体区間でコンクリート打設圧，固体区間で水圧である．

2.2　逐次解析

図-2 は逐次解析の概要である．SENS 特有の施工過程を表現するために、逐次解析は以下の特徴を有する．

1) 解析ステップ毎にトンネル先端へ内型枠を追加し，荷重やばねを前方にシフトさせることでトンネルの掘進を表現する．
2) コンクリート未固結区間では内型枠と地盤へコンクリート打設圧を作用させ、コンクリート固結区間では水圧を作用させる．
3) 一次覆工が硬化したリングでは，内型枠と一次覆工の合成梁として剛性を増加させ，内型枠脱型後は剛性を低下させる．

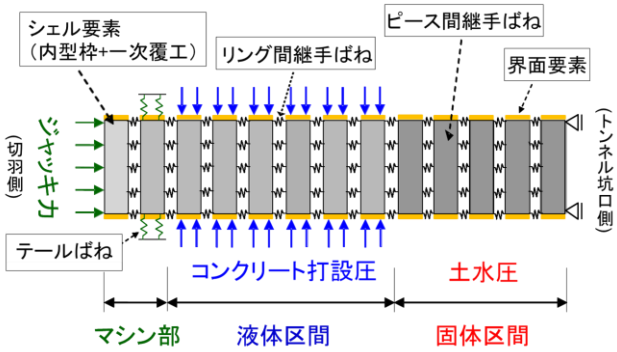

図-1　解析モデル概要図

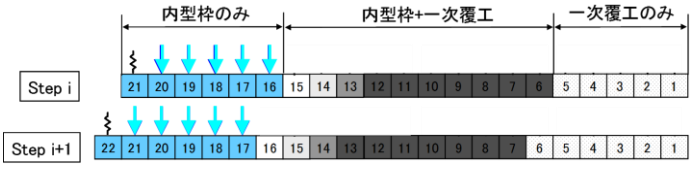

図-2　逐次解析概要

2.3　解析条件

本解析対象断面は津軽蓬田トンネルにおける地盤変位の発生しやすい土被り 11.7m の小土被り区間とした．地下水位は地表面とほぼ同じ水位，地質構

キーワード　SENS，3 次元 FEM 解析，逐次解析，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

造は細粒砂岩を主体とする砂川沢タイプ（γ=17.7kN/m^3）から構成されている．解析領域はトンネル下方 3D，トンネル水平方向 5D に設定した．

3 解析結果

図-3 にトンネル直上の地表面変位の計測値と解析値を示す．解析値は，テール通過時に約 7.7mm，脱型時に約 10.1mm の隆起であり，この傾向は計測値と一致している．さらにトンネルの掘削に伴う隆起量の増加傾向も示すことができた．地盤の隆起は，コンクリート打設圧が静止土圧より大きく，解析対象断面の地山が受働状態となり，地山の押し上げが発生したためと考えられる．

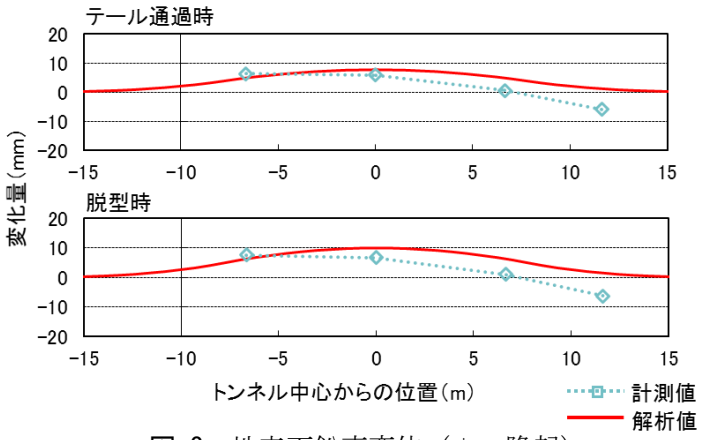

図-3 地表面鉛直変位（＋：隆起）

図-4 にトンネル直上 1m の地中変位計測値と解析値の比較を示す．解析値は，テール通過時に約 10.0mm，脱型時に約 14.3mm の隆起であり，この傾向は計測値と一致している．さらに，地表面変位と同様に，トンネルの掘削に伴い隆起量は増加傾向を示した．また，隆起量は地表面より大きくなった．これは，トンネルに近い場所の方がコンクリート打設圧の影響を受けやすいためと考えられる．

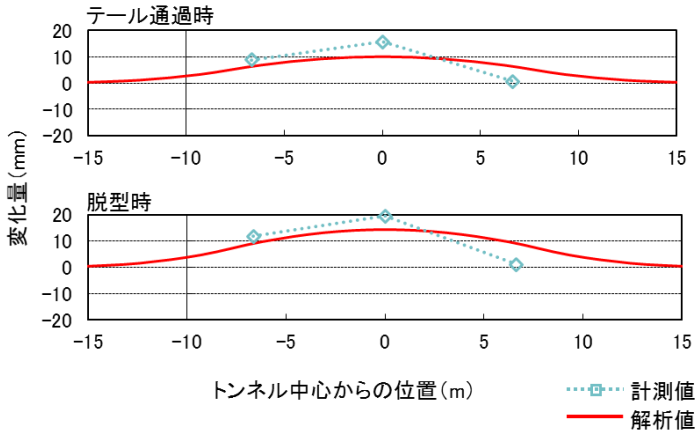

図-4 直上 1m 地中変位（＋：隆起）

図-5 にトンネル水平方向変位の計測値と解析値を示す．トンネルスプリングライン近傍の解析値は，テール通過時に約 5.5mm，脱型時に約 7.0mm，いずれもトンネル断面深度でトンネル内側へ変位し，計測値と傾向が一致している．これは，地山が受働状態でトンネル覆工に大きな土圧が作用すること，小土被り区間ではトンネル天端と下端で地盤剛性の差が大きいことから，トンネル覆工が縦長に変形し，その結果，トンネルスプリングライン近傍のトンネル周辺地盤はトンネル内側へと変位するためと考えられる．

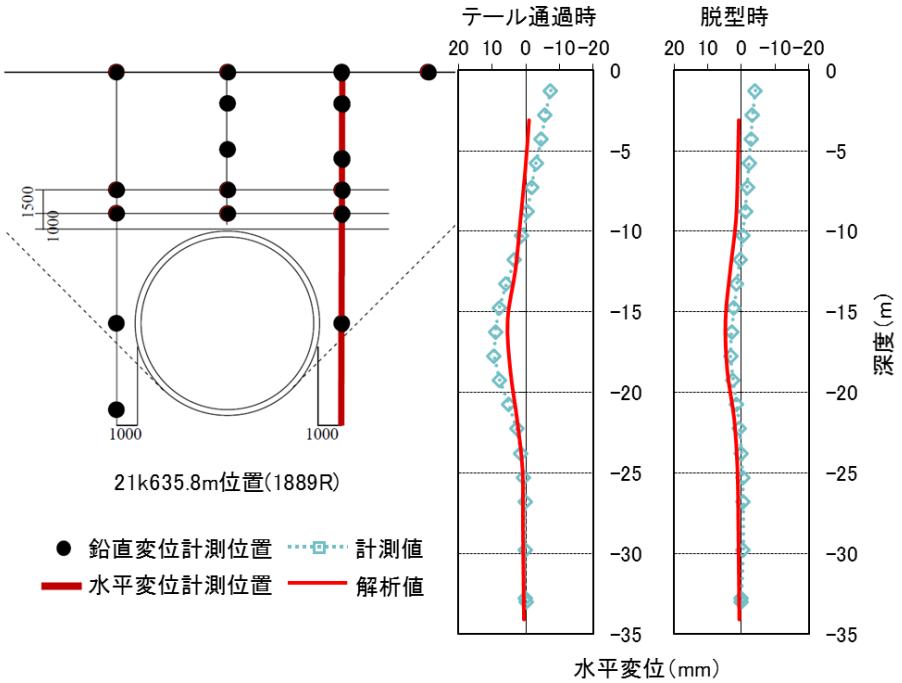

図-5 トンネル水平方向変位（＋：トンネル内側への変位）

4 まとめ

SENS の施工過程を考慮した 3 次元連続体モデル開発し，地盤変位解析を実施した．その結果，対象断面の地盤変位は計測値と解析値で同じ挙動を示すことを確認した．

参考文献

1）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.p