

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 玉井 達毅

本論文は新しいトンネル施工技術であるシールドを用いた場所打ち支保システム(以下、SENS)の内型枠と一次覆工の挙動メカニズムを解明することを目的としている。SENSの施工では、地盤と内型枠の間に一次覆工を加圧充填しながら、連続的に覆工体を構築する。そのため、はじめに打設される一次覆工は未固結であり、内型枠は一次覆工による浮力を連続的に受け、上方へ剛体変位をする特長が見られる。その後、時間の経過とともに、一次覆工は硬化し、地盤からの土水圧が作用するが、この土水圧は、内型枠の三次元的な挙動により、初期作用土水圧から有効土圧が減少したり、地山の状況によっては自立し0となることも考えられる。したがって、内型枠と一次覆工の挙動メカニズムを解明するためには、三次元的かつ逐次的に変化する内型枠・一次覆工の挙動に応じた、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。

そこで本論文では、一次覆工の打設から硬化、内型枠の脱型という SENS 特有の複雑な施工過程、内型枠・一次覆工の剛体変位および主働側の土圧や地山の自立が表現可能な三次元逐次解析モデルを開発し、同手法を用いた解析結果と実トンネルの現場計測データを比較し同手法の妥当性を検証し、さらに、現地の地盤条件と施工条件をパラメータとして、パラメータスタディを実施し、各パラメータが内型枠および一次覆工の変位・断面力に及ぼす影響を明らかにしている。これらの検討結果から、SENSの施工管理のあり方について提案している。

本論文は、「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解析手法による内型枠および一次覆工挙動の解明」と題し、全6章からなり、各章の構成は以下のとおりである。

第1章「序論」では、研究対象とするトンネル施工技術 SENS の概要について取りまとめ、内型枠および一次覆工に関する既往の研究成果を整理し、本研究の目的について述べている。

第2章「実現場における内型枠・一次覆工の挙動」では、SENSにて施工した現場を取り上げ、実現場における内型枠・一次覆工の計測結果を示し、一次覆工の打設から硬化、内型枠の脱型という SENS 特有のそれぞれの施工段階において、内型枠と一次覆工の挙動が示す特徴を明らかにした。

第3章「時系列三次元逐次解析モデル」では、前章に示した一次覆工・内型枠の挙動を合理的に表現するために開発した、SENSの荷重条件と施工過程を考慮した時系列三次元逐次解析手法について述べている。本解析モデルの主な特徴を以下に示す。

全周ばねモデル：覆工をシェル - ばねでモデル化する。さらに、一次覆工コンクリート固体部では、全周に配置された法線方向ばね（地盤ばね）で覆工を支持する。

地盤ばね特性：地盤変位と土圧係数の関係を地盤反力曲線（双曲線関数）で表現することで主働側の土圧を表現する。

コンクリート打設圧：未固結の一次覆工コンクリート中の内型枠にコンクリート打設圧を作用させる。

一次覆工コンクリートの硬化過程と脱型：内型枠脱型前では，一次覆工コンクリートと内型枠を一体とみなしたシェル要素で表現し，打設後からの経過時間に応じてシェルのヤング率を変化させ，一次覆工コンクリートの硬化過程，および内型枠の脱型を表現する。

逐次解析：トンネル先端に内型枠を追加し，荷重やばねを前方にシフトさせることにより，各施工ステップにおける施工条件と荷重条件を表現する。

第4章「内型枠の挙動解明」では，前章で示した解析手法を実現場へ適用し，内型枠の変位・断面力について計測値と解析値を比較し，本解析手法の妥当性を検証した。また，地盤反力係数，静止土圧係数および掘削面の初期変位を変数としてパラメータスタディを行い，各パラメータが内型枠の挙動に与える影響を明らかにした。さらに，内型枠・一次覆工の下半部に作用する有効土圧は，一次覆工が硬化した直後では，初期有効土圧に近い値を示すが，時間の経過とともに有効土圧が減少することを示した。

第5章「一次覆工の挙動解明」では，地盤条件と施工条件をパラメータとしたパラメータスタディを実施し，脱型後の一次覆工の挙動メカニズムを明らかにした。その結果，水平土圧係数，主働側（自立を含む）の土圧，初期変位による土圧の変化，そして脱型に伴う剛性の低下により，一次覆工の挙動メカニズムが説明できること，今回の計測対象断面の計測値を表す解析条件は，水平土圧係数が0.75～1.0，地盤反力係数が約100MN/m³，初期変位が約5mmとなることを示した。さらに，ジャッキの使用パターンを下押しにすること，掘進速度を早くすること，初期変位を大きくすることは，液体区間中の内型枠の鉛直変位と硬化初期の一次覆工に影響を及ぼすことを示し，SENSの施工管理において，適切な切羽管理，一次覆工の打設管理，そしてトンネルの変位量の計測の重要性について説いている。

第6章「結論」では，以上各章の結論を総括している。