

氏 名	すぎ 杉 しま 嶋 とし 敏 お 夫
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3556 号
学位授与の日付	平 成 13 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	シールドトンネルの地盤—覆工連成解析と設計手法に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 足 立 紀 尚 教 授 田 村 武 教 授 岡 二 三 生

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、シールドトンネル建設において観察された土圧現象と覆工ならびに地盤挙動に基づき、覆工と地盤の相互作用を理論および数値解析により再現する方法を検討し、比較的硬質な地盤におけるシールドトンネルの設計手法の提案に至る研究成果をまとめたもので、序論、結論を含め8章から成っている。

第1章は序論であって、シールドトンネル掘削に伴う応力の再配分を力学的合理性を損なわずに表現できる地盤と覆工との連成解析手法を確立することが重要であることを述べるとともに本論文の目的と内容の概要を示している。

第2章では、現場で計測・観察される土圧現象が、従来のシールドセグメントの設計法で考える土圧論ならびに地山と覆工との連成関係では説明できないという事実に基づき、トンネルの力学現象の合理的かつ現実的な解析方法のあるべき方向性について考察している。すなわち、シールドトンネルにおいても掘削に伴い生じる応力を地山が負担するはずであること、また地山と覆工との応力分担が各々の剛性や変形特性に相互に依存して定まることを指摘している。これらを表す解析上のパラメータとして、掘削に伴い生じ覆工が建て込まれ耐荷状態に至る以前に解放される不釣合い力の全不釣合い力に対する割合と定義づける初期地山分担率を導入している。

第3章では、地山の初期応力が土被り圧相当の鉛直圧とそれに側圧係数を乗じた等分布の水平圧が作用する状態におけるトンネル周辺地山と覆工の応力と変位ならびに覆工断面力に対する2次元弾性厳密解を誘導し、それを用いて地山と覆工の剛性の相互関係が地山応力や覆工断面力の発生状況に及ぼす影響を定量的に把握している。また、NATMの基本理念を示すFenner-Pacher Curve(地山特性曲線)に相当する関係を、シールドトンネルが対象とする地山に対して弾性理論解を用いて定量的に求めている。この地山特性曲線と覆工の拘束曲線の関係において、土圧(覆工反力)を与えればそれに対応する覆工剛性は唯一存在し、覆工剛性を変えれば土圧が変化することになる。この関係がシールドトンネルの土圧現象解明の手掛かりとなることを明らかにしている。

第4章では、合理的かつ現実的シールドトンネルの設計法を構築するため、弾性理論解に初期地山分担率 α を導入して修正している。これらの式を、覆工土圧や覆工断面力の計測データが与えられている複数のトンネルの解析に適用して、地山と覆工の境界面における応力の伝達条件の評価および初期地山分担率の地山特性との相関について、幾多の知見を得ている。すなわち、地山の剛性が大きくなればなるほど初期地山分担率の値が大きくなることを明らかにし、初期地山分担率とN値との関係を与えている。さらに、地山と覆工剛性の相互関係により変化する覆工反力を与えても覆工の断面諸元を決定できないが、地山と覆工の境界面でせん断応力が伝達され周方向の変位が拘束される条件下での弾性解を用い、地山剛性に依りて初期地山分担率を適用することにより、覆工構造の設計が可能となり、かつ周辺地山の応力状態を評価できることを示している。

第5章では、トンネル掘削問題の解析を数値解析に展開し、覆工挙動、地山挙動さらに併設シールド問題を検討している。まず、シールドトンネルの掘削問題に有限要素法を適用し、土圧・覆工断面力ならびに地盤変形の統一的な解析モデルによる再現可能性について論じている。すなわち、弾性体と考えられる比較的硬質な粘性土地盤で、自重に基づく鉛直応力と深

さに比例した水平応力が作用し、地山と覆工間では周方向変位が拘束されるとした解析が、統一的な解析モデルであることを、多くの実測データに基づき検証している。この統一的解析モデルの意義は、初めて地山の変形性状と覆工の耐荷挙動を併せて解析できたことと、覆工土圧ならびに覆工断面力の解析結果より説明される力学的合理性の確保という点で、一般への展開、応用が可能となったことにある。

第6章では、近接施工および併設シールドにおける施工時荷重の問題を論じている。まず、併設シールドの建設例における後続シールドの施工時荷重が先行トンネルに及ぼす影響に関し、発生した影響荷重の規模を定量的に評価するとともに影響荷重発生機構を施工時荷重、地盤特性、施工条件との関連において解明している。また、影響の伝播メカニズムは、基本的には弾性的挙動として説明できるが、厳密には伝播荷重の逐次残留の傾向があることを明らかにしている。

第7章では、前章までの研究で得られた知見の要点を論じるとともに、それらに基づくシールドトンネル覆工の設計方法を提案している。それは、地山条件、土被りなどの適用範囲を明確にした上で、地山剛性（N 値）から、地山の初期地山分担率を決定し、それを地山と覆工の相互作用がその境界でせん断応力が伝達するとした境界条件に対する弾性理論解および FEM 解析モデルに適用することで、覆工の設計が可能となるものである。

第8章は、結論であって、結果を要約するとともに今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、地山がトンネル構造の構成部材であるとの観点と実測結果の詳細な分析とに立脚し、シールドトンネルに対する地山と覆工の連成挙動を記述できる解析モデルの構築とそれに基づく設計法に関する研究成果をまとめたもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. シールドトンネルにおいても掘削に伴い地山が応力を負担すること、地山と覆工との応力分担は各々の剛性や変形特性に依存することを指摘し、この事象を解析に反映させるパラメータとして、覆工が建て込まれ耐荷状態に至る前に掘削に伴い生じ解放される不釣り合い力の全不釣り合い力に対する割合を表す初期地山分担率を導入した。
2. 周辺地山と覆工の応力と変位ならびに覆工断面力の2次元弾性厳密解を誘導し、地山と覆工の剛性の相互関係が地山応力や覆工断面力に及ぼす影響を定量的に把握した。また、覆工反力は覆工の曲げ剛性に支配されることを示し、覆工の断面2次モーメントと覆工反力の関係図を与え、地山と覆工の相互作用の理解を容易にした。
3. 初期地山分担率を導入して弾性解を修正し、合理的かつ現実的なシールドトンネルの設計法を与えた。すなわち、地山と覆工の境界面ではせん断応力が伝達され周方向の変位が拘束される条件下の弾性理論解を用い、地山剛性に応じて初期地山分担率を適用することで、周辺地山の応力状態の把握と覆工構造の設計を可能にした。
4. 併設トンネルにおける後続シールドの施工時荷重が先行トンネルに及ぼす影響荷重を定量的に評価するとともに、影響荷重の発生機構を施工時荷重、地山特性、施工条件との相関において明らかにした。

以上要するに本論文は、現行の高度なシールド施工技術に適用できるセグメント覆工の実用に供し得る設計法を与えたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年11月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。