

氏 名 小 山 幸 則  
 学位(専攻分野) 博 士 (工 学)  
 学位記番号 論工博第3477号  
 学位授与の日付 平成12年1月24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 シールド工法におけるセグメント設計法の合理化に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 足立紀尚 教授 田村 武 助教授 岡 二三生

### 論 文 内 容 の 要 旨

都市部地下開発において、シールドトンネル工法は今日中心的な役割を果たし、施工法の発展は日進月歩の状況にある。その一方、シールドトンネル覆工の設計の基本となるトンネル挙動は、施工過程に大きく依存するにもかかわらず、地山との相互作用を考慮した力学モデルの構築は著しく遅れており、施工技術の進展に比較して設計法は立ち遅れていると言わざるをえない。

本論文は、シールドトンネル覆工の設計を合理的に行うため、現行の施工技術の観点から、既存の設計手法を詳細に検討して、最適な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5章から成っている。

第1章は序論であって、シールドトンネルの発展経緯を概観し、現在のシールド工法が都市トンネル工法として諸条件を具備しているが、セグメント覆工の設計法が旧来の経験にのみ依存するものであることを論じた上で、新たな施工技術への対応、経済性の追求等において改善すべき設計上の課題を明確に示す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、まずシールドトンネルに生じる土圧現象について、施工過程を追って定性的に考察し、設計計算で用いる土圧の意味するところを明らかにしている。次いで、土圧の一部ではあるものの設計計算上分離して考えている地盤反力を解明するために実施した土槽載荷実験とその結果について論じるとともに設計における地盤反力の取り扱い方について考察している。また、セグメント覆工に極めて大きな影響を与える裏込め注入について、現在一般的に用いられている注入材の力学特性に関する実験結果を示すとともに裏込め注入材の力学特性がトンネルに及ぼす影響について検討している。さらにはシールドトンネルにおける裏込め注入を模擬した土槽実験とその結果を論じることにより、裏込め注入圧等のセグメント覆工土圧に与える影響について詳細に考察している。一方、実シールドトンネルでは、上記の土槽実験で考慮される条件の他に、種々な要因が土圧現象に影響を及ぼすと考えられるため、実トンネルにおけるセグメント覆工への作用土圧、水圧ならびにセグメントに生じるひずみに関する計測を行っている。また、その結果に基づきセグメント覆工の設計に大きな影響を与える土圧と水圧を豊富な計測データを用いて分析するとともに長期的に残留する土圧、水圧およびセグメントひずみを検討することによって、セグメント設計で使用すべき土圧と水圧の設計用値を提案している。

第3章では、現在セグメント覆工の設計に用いられている構造モデルである完全剛性一様リングモデル、平均剛性一様リングモデルならびに梁ばねモデルを詳細に検討することにより、その設計に用いるべき新たな構造モデルを提案している。すなわち、まず実際のセグメント覆工の力学挙動を解明するためのセグメント載荷試験を実施し、その結果に基づきセグメント構造モデルとして考慮すべき要素と無視可能な要素について考察している。また、構造モデルを構築する際に特に重要な周方向継手のモデル化を検討するための継手曲げ試験およびそのシミュレーション解析結果を論じている。次いで、以上の検討結果に基づき、設計実務上有効な構造モデルとそれに用いるべき構造パラメータの決定方法を提案している。

第4章では、セグメント覆工の設計について、地山との相互作用モデルおよび構造モデルを組み合わせ、粘性土ならびに砂質土のモデル地盤中のトンネルを対象に、本研究において提案した設計法を適用したセグメント覆工の試設計を行いセグメント設計の合理化について検討している。その結果、セグメント本体部による抵抗モーメントと継手部による抵抗モーメントの比率に応じた最適な回転ばね定数の値があり、これは地盤条件およびトンネル諸元に依存すること、また継手の力学

特性を変化させてセグメントの最適設計を図る際には、継手部材を変更して回転ばね定数を変化させるのみでなく、セグメント厚さ等を変化させるのが効果的であることなどを明らかにしている。

第5章は、本研究の結論であって、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、高度に向上した現行の施工技術に対応しうるシールドトンネルセグメント覆工の合理的設計法の構築を目的として、入念な室内実験結果と豊富な実測データならびに数値解析に基づき、設計実務上最適なセグメント覆工の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. 従来の慣用モデルは、設計に必要な断面力を正確に求めることが不可能なモデルであること、また修正慣用モデルは力学的に矛盾のあるモデルであることを示すと同時に梁ばねモデルは複雑なセグメントリングの挙動を簡易かつ正確に説明可能なモデルであることを明らかにした。

2. セグメントの設計に用いるべき地山とトンネルの相互作用モデルにおける地盤反力に関する検討の結果、梁ばねモデルは慣用モデルの欠点を補うことができ、さらには連続体支持モデルに比較して荷重の与え方も容易であり、設計実務上適切なモデルであることを示した。

3. 裏込め注入を、周辺地山が割裂破壊するほどの高圧で行うと部分的に地山の破壊する領域と破壊しない領域が生じ覆工への作用土圧は不均一となること、一方、割裂破壊の生じない程度の圧力の場合には地山の崩落が生じない限り覆工への作用土圧は均一になることを明らかにした。

4. セグメント覆工の挙動を正確に把握するために継手曲げ試験をモデル化した3次元有限要素解析および継手部を梁部材とばね部材でモデル化したフレーム解析によって、セグメントの挙動予測が可能であることを示すと同時に梁ばねモデルの継手ばね定数の決定手法を提案した。

以上要するに本論文は、現行のシールド施工技術に適用できるセグメント覆工ならびにセグメント間継手の実用に供し得る設計法を与えたもので、学術上、実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11年11月16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。