

氏 名	朴 時 玄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2026 号
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 土 木 工 学 専 攻
学位論文題目	Mechanical Behaviors of Ground with Inclined Layers during Tunnel Construction (トンネル掘削過程における成層傾斜地盤の力学挙動に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 足 立 紀 尚 教 授 大 西 有 三 教 授 田 村 武

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、成層傾斜不連続地山におけるトンネル掘削時の地山—トンネル系の力学挙動を室内試験による一連の実験と理論ならびに数値解析によって解明し、トンネルの設計・施工規範の構築を目的とした研究成果をまとめたものであり、序論、結論を含め7章から成っている。

第1章は、序論であって成層傾斜不連続地山にトンネルを掘削することや既設のトンネルに隣接してトンネルを建設事例が増え、余掘りや押し出しの諸問題に加え新設トンネルの既設トンネルに対する配置による影響度合いの差異等を解明することの重要性を強調するとともに本研究の目的ならびに概要を示している。

第2章では、とくに本研究に関連するトンネル掘削に関する従来の研究を概観している。まず、地盤を連続体と考える研究にはトンネル土圧に関する理論的研究と落し戸に関する実験的・解析的研究、さらに支保システムを含めた実務的な研究があることを論じている。一方、不均質地盤に関する研究としてはベースフリクション模型実験による水平成層地山でのトンネル掘削実験、また双設トンネルの相互作用解明のための落し戸による研究を紹介し、本研究の目的を浮き彫りにしている。

第3章では、成層傾斜不連続地山における単一トンネル掘削時の挙動解明のための模型実験を行っている。地山のモデル化にあたっては、アルミブロック積層体を用い、地層面の傾斜角度をパラメータとし、トンネル掘削は実験装置の底面部に設けた降下床を下降させることによって模擬している。その結果、成層傾斜角度と土被りにより地山の力学挙動が大きく影響を受けることを明らかにした。まず、地表面沈下においては、最大沈下量と沈下の及ぶ範囲を求め地表面に及ぼす影響について成層傾斜角度ごとに検討し、地山の变形特性を明確に把握している。すなわち、成層傾斜角度が大きい地山では傾斜地層に沿う変形が卓越し、一方傾斜角度の小さい地山では傾斜地層に沿う変形に加えて、地層に直交する方向の変形が加わるため、地表面沈下の生じる範囲が拡大することを明らかにしている。次いで、土圧に関しては、降下床中心線を基準として左右非対称な分布形状をするが、傾斜角度が60度と急な場合には降下床上において最も明確な左右非対称性が現れ降下床の川側に作用する土圧が山側に生じる土圧より大きいこと、45度の場合には降下床周辺部において最も明確な非対称が現れ山側の土圧の方が大きくなることを見出している。さらに、降下床に作用する偏圧に関する考察を行っている。

第4章では、双設トンネルに対する実験を行い、先行トンネルと後行トンネルとの相互作用について検討している。まず、土圧に関しては、成層傾斜角の増大とともにトンネル間の相互作用は減少する傾向があることを明らかにしている。すなわち、トンネル間の離隔がトンネル幅と同程度であれば、傾斜角が0度の場合には、後行トンネルの掘進により先行トンネルへの土圧は1.73倍となるが、傾斜角が90度の場合には、1.17倍に留まっている。また、後行トンネルの先行トンネルに対する位置による影響は、トンネル間の間隔により変化する。間隔が極わずかである場合、先行トンネルへの影響は後行トンネルを川側に配した方が大きい、間隔がある場合には山側に配する方が大きくなる。次いで、地表面沈下挙動に関しては、双設トンネルの掘進による最大沈下量と地表面の体積消失量を検討している。その結果、トンネル間の間隔が大きくなるほ

ど最大沈下量ならびに体積消失量も減少することを明らかにするとともに、トンネル掘削時の地山の变形推移図に基づき上記現象の解明を行っている。

第5章では、トンネル土圧に関して、成層傾斜地山におけるトンネル掘削により生じる緩み土圧算定式を理論的に誘導し、実験結果と比較しながらその適用性について検討している。誘導した算定式による理論値を実験式と比較した結果、成層傾斜角度が比較的大きい地山においては、理論値は実験値より大きくなり、安全側の評価としてはその適用性が認められることを示している。なお、誘導したトンネル緩み土圧算定式は、傾斜角度が90度の場合には、従来砂質地山で広く用いられている Terzaghi 式に帰結すること、また Terzaghi 式の誘導に際しては側圧係数を仮定する必要があるが、本算定式は側圧係数が理論的に求まる特徴を有することを明らかにしている。

第6章では、成層傾斜地山の不連続的変位挙動をジョイント要素で表現する有限要素解析システムを構築し、実験結果との比較検討によってその有用性を検証している。すなわち、解析結果において、トンネル掘削により発生する土圧分布ならびに地表面沈下特性は、とくに地山変位が小さい場合には実験結果を良く説明できること、トンネル近傍地山内の土圧はやや過大評価をすること、一方地表面沈下は良い精度で予測できることを明らかにしている。

第7章は、結論であって、本研究により得られた結論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、成層傾斜不連続地山のトンネル掘削時における力学挙動を室内試験による一連の実験と理論ならびに数値解析により解明し、トンネルの設計・施工規範の構築を目的とした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. 成層傾斜不連続地山におけるトンネル掘削時の挙動を解明するための降下床模型実験装置を開発し、実験から地山の力学挙動は成層傾斜角度と土被りにより影響を受けることを明らかにした。すなわち、成層傾斜角度が大きい地山では傾斜地層に沿う変形が卓越すること、角度が小さい場合にはその変形に地層に直交する変形が加わること、土圧はトンネル中心線を基準として左右非対称分布となることを示した。
2. 双設トンネル建設に際しての、先行トンネルと後行トンネルとの相互作用を検討し、先行トンネルに対する後行トンネルの配置の影響はトンネル間の離隔によること、離隔が小さい場合には先行トンネルに及ぼす影響は後行トンネルを川側に配した方が大きい、離隔が大きくなると逆に山側に配した方が大きくなることを明らかにした。また、地山の変位挙動に関しては、トンネル掘削による地山の变形推移図を提案して、それに基づき現象の解明を行った。
3. 成層傾斜地山におけるトンネルに作用する緩み土圧算定式を理論的に誘導し、実験結果と対比してその有用性を検証した。なお、本土圧算定式は成層傾斜角度が90度の場合、従来広く用いられる Terzaghi 式に帰結するが、Terzaghi 式では側圧係数を仮定する必要があるものの本算定式では側圧係数が理論的に決定できる長所を有している。
4. 成層傾斜地山の不連続的変位挙動をジョイント要素で表現する有限要素解析システムを構築し、実験結果のシミュレーション解析によって、土圧分布ならびに地表面沈下特性を良い精度で予測できることを示し、本解析システムの有用性を明らかにしている。

以上要するに本論文は、地下空間開発技術の向上が要請されている現在、とくに都市部近郊における被りの浅い傾斜地山トンネルの設計・施工法の進展に多大に貢献する研究であって、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13年2月19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。