

氏 名	ささ お はる お 笹 尾 春 夫
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2328 号
学位授与の日付	平 成 15 年 11 月 25 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 資 源 工 学 専 攻
学位論文題目	トンネルの切羽周辺の支保設計に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 齋 藤 敏 明 教 授 青 木 謙 治 助教授 朝 倉 俊 弘

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、従来多くの施工方法は提案されているが、その支保機構や設計法については未だ充分明らかでないトンネル切羽における支保設計、特に軟岩トンネル掘削時の先受け支保工の設計に関して、新たな支保機構を見出し、合理的な設計法の考え方を提案したものであり、次の8章から成っている。

第1章は序論であり、本研究の目的、過去の研究事例、および本研究の概要について述べている。

第2章においては岩石試料の三軸試験により破壊時の横方向変形挙動を把握し、地下空洞掘削時の空洞周辺に発生する変位特性の検討を行い、変位発生の基礎的なメカニズムを考察している。本実験では、供試体の破壊後の横変形量を、等方向変形、異方向変形、平行移動および破断面に沿うすべり変形に分離し、その変形挙動を検討した結果、破壊の進行に伴い横方向変形を支配する変形成分が変化することや破断面が形成される時期などが明らかになった。また、軸ひずみと最大横方向ひずみの関係を検討した結果、降伏点以降の関係は、いずれも直線性を有し、簡潔に表現できることを示している。

第3章においては新しく開発した弾性波検層装置を用いて、山岳トンネルの掘削に際して、掘削の進行とトンネル周辺横断方向に生じる緩みの進展状況との関係を明確にしている。開発した計測器は、トンネル現場においてロックボルト孔を利用して簡便に弾性波速度を計測できるものであり、計測はトンネル天端と側壁の計3本の検層孔内に検層プローブを挿入し、プローブを順次深度方向へ20cm間隔で移動しながら、各深度における弾性波の走時を計測している。トンネル掘削直後に初期計測を行い、その後、切羽の進行ごとに合計5回の計測を行った結果、地山の緩みの進展による弾性波の走時の変化と掘削の進行とは密接な関係があること、走時の変化状況は測点の位置と測点深度によりそれぞれ異なることを示している。

第4章においてはAGF工法による長尺鋼管先受工を施工した山岳トンネルにおいて、水平傾斜計による先受鋼管および地山のたわみ（鉛直変位）測定、先受鋼管内に挿入したパイプひずみ計による鋼管の軸応力・曲げ応力測定、および切羽面ボルトひずみ計による切羽前方地山のひずみ測定を行い、トンネル掘削に伴う先受工と切羽前方地山の挙動を明らかにしている。また、これらの測定結果より、傾斜計による鉛直方向変位や切羽面ボルトひずみ計による水平方向変位の発生状況を、測点から切羽までの距離との関係で示している。また、鋼管軸力測定では引張と圧縮の軸力の発生状況およびその符号変化点と切羽の位置との関係を示している。

第5章においては三次元有限要素法解析により先受工の挙動のシミュレーションを行い、その結果を整理しトンネル天端部での変位、切羽面奥部での変位、地山の応力状態、および先受鋼管の軸力などについて、第4章で行った先受工と切羽周辺地山の挙動に関する計測結果とを比較検討した結果、等価な弾性体モデルによる解析で測定結果を充分再現できることを示している。

第6章においては、第4章の計測結果と第5章のシミュレーション結果を基に、先受鋼管の打設の有無による切羽前方地山の変位と応力状態の変化を比較検討し、先受工の支保効果を検証している。その結果、先受工の有無による切羽前方地山内の鉛直変位には差がないこと、それに対して切羽前方天端部でトンネル軸方向の変位、応力状態に明瞭な差があること、

また、それにより切羽前方地山の安定性が増加し先受工の支保効果を生じさせるという新しい知見を示している。

第7章においては、第6章で指摘した支保効果により、まず切羽前方の安定性を増加させることが重要であるという先受工支保設計の新しい考え方について提案を行っている。また、これに伴い、先受工の打設長、特に最小先受長についての考え方、先受工の打設角度の支保効果に与える影響、従来先受工の支保効果とされている切羽前方部における鉛直変位抑制の支保機構との関連などについて論じている。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、従来多くの施工方法は提案されているが、その支保機構や設計法については未だ充分明らかでないトンネル切羽における支保設計、特に軟岩トンネル掘削時の先受け支保工の設計に関して、新たな支保機構を見出し、合理的な設計法の考え方を提案したもので、得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) 空洞壁面周辺に生じる空洞への押し出し変形の基本的な特性は、掘削に伴う応力変化を考慮すれば、三軸圧縮試験における横方向変形に対応し、岩盤緩み域の変形は破壊後の横方向変形でその特性モデル化できると考え、三軸圧縮試験における破壊後を含む横方向変位を計測した。その結果、破壊後の軸応力と横方向変位の関係は直線性を有し、軸ひずみと最大横方向ひずみの関係は簡潔に表現できることを示した。また、新しく開発した弾性波速度検層用プローブを用いて掘削の進行に伴う緩み域の進展を明らかにした。
- (2) 長尺鋼管先受工を施工した山岳トンネルにおいて、切羽進行に伴う先受鋼管の変位や断面力、切羽面前方地山の変位やひずみを詳細に測定し、トンネル切羽周辺における地山挙動ならびに先受け鋼管による影響を明らかにした。また、これらの測定結果と、実験結果等に基づいて岩盤挙動をモデル化した三次元応力変形解析結果とを比較し、等価な弾性体モデルで先受工と地山の挙動を十分に表現できることを示した。
- (3) このモデルを用いたトンネル掘進に伴う先受け工挙動のシミュレーション結果により、その支保機構について検討を行った結果、従来の考え方である鋼管曲げ剛性による効果は少なく、先受鋼管に生じる圧縮軸力の作用により切羽前面地山の安定性が増加するという効果が優ることを指摘し、先受け工による支保効果の新しい知見を示した。
- (4) この支保効果により、まず切羽前方の安定性を増加させることが重要であるという新しい先受け工設計の考え方を提案し、これに基づき、必要となる最小先受け長や、打設角度を増加させた場合の支保効果への影響等について検討を行った。

以上要するに、本論文はトンネル切羽における支保設計、特に軟岩トンネル掘削時の先受け支保工に関して、合理的な設計法の考え方を提案したもので、学術上、実際に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15年10月28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。