

氏名	土門 剛 ^{どもん つよし}
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市環境博 第 199 号
学位授与の日付	平成 29 年 3 月 6 日
課程・論文の別	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題名	支保部材や切羽形状の効果を考慮したトンネル支保設計における力学モデルに関する研究
論文審査委員	主査 西村 和夫 教授 委員 宇治 公隆 教授 委員 小田 義也 准教授 委員 今田 徹 技術顧問（一般財団法人国土技術研究センター）

【論文の内容の要旨】

山岳トンネルにおける支保設計は、基本的には過去の実績に基づいてなされる。そのため、設計根拠を論理的に説明することが難しい。一方、構造物設計の基本が国際標準化されるようになったのをきっかけに、構造物の使用目的や機能、さらにはその機能を実現する根拠に至るまで、それも調査・設計から維持管理段階に至るまで、第三者に対して全行為段階を論理的にわかりやすく説明できることが要求されるようになってきている。

本研究の目的は、1980年代から山岳トンネルの標準工法と位置づけられるようになった NATM において、その支保効果を力学モデルとして明示的に表現することにある。トンネル施工において、切羽の安定性を脅かすことなくかつ周辺地山に過度な影響を与えることなく掘削するには、地山の変位を適度な支保内圧によって抑制するか、あるいは地山自身に改良を加えて適度に強度を増すかのいずれかである。本研究では、前者が NATM によるトンネル施工にとって適切な手段であるとし、周辺地山への影響を抑制するにはすべて支保部材によるトンネル壁面あるいはトンネル近傍地山に作用する支保内圧効果によるものと位置づけて論じる。また、支保内圧効果を活かす具体例として、トンネル横断面ではパターン打設したロックボルト（以下、ボルト）の効果を、トンネル縦断面では鏡補強工および切羽形状による効果に着目し、この効果を活かすことのできる支保工あるいは切羽形状とは何かについて 2, 3 の例を抽出して論じる。その中で、NATM の原理のわかりにくさを払拭する一方法として、支保効果をわかりやすく説明し得る力学モデルとそれに基づく設計法を提案する。

本論文は 7 章で構成される。また、トンネル支保設計に用いる二次元力学モデルの検討を横断面および縦断面にわけ、前半の第 2 章から第 4 章では、トンネル横断面の力学モデ

ルを扱い、後半の第 5 章および第 6 章では、トンネル縦断面の力学モデルを扱う。以下、各章ごとの概要を述べる。

第 1 章は序論であり、山岳トンネルにおける設計論あるいはその基礎となる力学モデルの変遷を振り返りながら、本研究の背景および目的を示す。また、本研究の対象を明示するとともに、それらの対象における先行研究も紹介する。本章の最後に本論文の全体構成を概説する。

第 2 章から第 4 章では、トンネル横断面のボルト支保に関する力学モデル構築および簡便な設計法について論じる。

第 2 章では、まずボルト単体と地山との相互作用を引抜き実験により明らかにする。つぎに、円形土槽中央に円形トンネルを、その支保として軸対称にボルトをそれぞれ配置した軸対称荷重実験を実施し、ボルトの長さや配置パターンとトンネル壁面変位抑制効果との関係などを明らかにし、ボルトの軸対称応力場での支保効果を明らかにする。

第 3 章では、前章で明らかとなった軸対称応力場でのボルトの支保効果を、ボルト頭部軸力がベアリングプレートを介してトンネル壁面に支保内圧として作用する現象と捉え、この効果を単純な力学モデルで表現する。そのモデルによりトンネル壁面変位量を考慮した簡便に支保を設計する方法を論じる。ここでは、地山からみた安定支保内圧、ボルトからみた有効支保内圧という新しい概念により論じる。

第 4 章では、第 2 章で明らかにした軸対称応力場におけるパターンボルトの効果について、前半では、非軸対称応力場でも同様の効果が得られるかを検証するため、矩形土槽を用いた二軸応力場で実施した実験結果を示す。軸対称応力場では塑性領域は同心円状であるが二軸応力場では荷重圧の増加に伴ってトンネル肩部より地表部に向かって塑性領域が進展すること、また、ボルトを配した場合の塑性領域の抑制効果をボルトに作用する軸力分布等から考察する。また後半では、ボルト単体と地山との付着特性を考慮した引抜き挙動や二軸応力場での実験におけるボルト挙動および変位抑制効果を数値解析で再現できることを示すとともに、ボルトに生じる軸力のメカニズムに基づき、塑性領域の進展あるいはその形状について、既往理論と比較しながら論じる。

第 5 章および第 6 章では、トンネル縦断面の補強工および切羽形状を考慮した力学モデルについて論じる。

第 5 章では、トンネル鏡面における補強工として最も多用されている鏡ボルト工の力学モデルを提示する。このモデルは、前章までの地山とボルトとの相互作用を考慮した力学モデルの応用系として表現できること、また、その新たに提案した応用系モデルにより鏡ボルトの簡易設計ができることも示す。

第 6 章では、鏡面の補強を支保部材に依存するのではなく地山特性を積極的に利用するとの発想から、鏡面の形状を曲線状にすることによって周辺地山を安定させる曲面切羽の効果について、一般的な切羽形状である直面切羽と比較しながら模型実験ならびに数値解析により明らかにする。

第 7 章は結論であり，本研究で得られた結果をまとめるとともに，残された課題を明らかにする．