

## 論文の内容の要旨

氏名：株 木 康 吉

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：山岳トンネルにおけるドーナツ型 TBM の掘削特性に関する実験的研究

トンネルは、太古の時代から洞窟などの形として用いられ、構造形式としては最も古いものであり、人類の歴史とともに歩んできた構造物である。トンネルを造る技術は、時代とともに進歩してきているが、岩石を破碎し、崩れてこないように支保して、大量のズリを搬出することは困難であるため、近代に至るまでは建設するのに可能な地山を選び行われてきた。現代では技術の進歩によって、ほとんどの地山条件に対してトンネルの建設は可能になり、技術的な目標はトンネルが建設できるかどうかではなく、いかに安全に、安く、速く、品質の優れたものを建設するかという点に移っている。

硬岩用の全断面型 TBM (Full-face type Tunnel Boring Machine:以下、TBMと呼ぶ) は、19 世紀末から試用されているが、実用化されたのは 1960 年代に入ってからである。我が国においては、青函トンネル、恵那山トンネル等で導入されたものの、施工件数は少なく、大部分が小口径断面を対象としたものである。2000 年代頃からは、新東名高速道路の導坑トンネル、東海北陸自動車道の飛騨トンネルの本坑、避難坑で採用され、水路トンネルでは豊川用水のトンネルなどで TBM の再評価が進められているが、広く採用される状況には至っていない。

TBM は、掘進速度が速く工期の短縮とコストの縮減が可能となり、切羽で直接作業する必要がなくなり安全性も向上する。同一地質が続く諸外国では、スイスのアルプス鉄道の Gotthard トンネル、マレーシアのパハンセランゴール導水トンネルなどで広く用いられ、TBM が掘削工法の主要な流れになっている。

我が国で TBM の普及が進まない理由は、地質の複雑さにある。低強度地山が断続的に出現することが多く、たびたび掘進困難となり、高速施工の利点を活かすことができないことが普及を妨げている。また、逆に堅固な岩盤の場合にはカッタの摩耗が大きくなることなどにより、カッタの取り換えなどで掘削停止による平均掘進速度の低下やコストの増加など不利なケースが挙げられる。

我が国の TBM の課題を解決し普及に資するために、硬軟地質の全岩盤を対象としたカッタヘッドの中心部に開口を設けたドーナツ型 TBM (以下、ドーナツ型と呼ぶ) を著者らが考案した。ドーナツ型は、現状では国内外とも施工実績がなく、実用に供するためには中心部を開口することによる掘削特性を評価する必要がある。

本研究ではドーナツ型の実用化に向けて、機構などの研究開発を行うとともに、中心部を開口にする掘削特性などによる施工性を評価する。また、カッタヘッドが接するすべての範囲を掘削する実験装置を新たに製作し、この装置を用いた掘削実験により、掘削特性の優位性などを明らかにする。さらに、経済性では NATM 工法と比較し実用性を明らかにする

本論文は、新しく考案したドーナツ型の研究開発と、その実用性について実験的研究した成果を取りまとめたものである。本論文の構成は、次のような全 6 章、28 節で論じている。

### 第 1 章 序論

本章では本研究の目的とその背景を述べるとともに、我が国の山岳トンネル施工法の歴史について、および山岳トンネル工法の掘削方式と支保工・覆工について概説した。掘削方式では、発破掘削方式と機械掘削方式について技術概要を詳述した。支保工・覆工方式では、在来工法、NATM 工法および TBM 工法に適用されている施工方式について概説した。

### 第 2 章 TBM の現状と課題

本章では TBM 工法の現状について、我が国に導入されてからの施工実績、および TBM の基本構造等についてそれぞれ記述した。また、TBM の岩盤破碎のメカニズムについて、溝掘りにより隣接剥離破碎される機構を概説し、ディスクカッタの種類と構造について詳述した。さらに、本研究に関係する既往の掘削実験について、掘削実験機、貫入量、ゲージカッタ、センターカッタ、掘削体積比エネルギーおよびカッタ摩耗量などに分けて概説し、最後に TBM の現状の課題としてまとめ、本研究の方向性を明らかにした。

### 第 3 章 ドーナツ型の施工性

本章では、研究開発したドーナツ型の中心部の開口径やカッタの配置をはじめとする機器構成、および掘削工、支保工などの施工性について詳述した。また、TBMの課題である低強度地山への対応策について、ドーナツ型による具体的な地山調査手法と補助工法を詳述した。

#### 第4章 ドーナツ型の掘削特性

本章では、ドーナツ型の掘削特性を評価するため、カッタヘッドが接するすべての範囲を掘削する新たな掘削実験装置を製作した。その実験により、センターカッタが無くなること、カッタ数が少なくなること、および掘進速度が早くなりカッタが岩盤に接触している時間が短くなることから、カッタ寿命が延伸することを明らかにした。

#### 第5章 ドーナツ型の実用性

本章では、ドーナツ型の山岳トンネルへの実用性について、モデルトンネルを想定した施工計画による施工シミュレーションにより評価した。その結果、全体工事費は、ドーナツ型の施工性や山岳ライナによる大幅な工期縮減などから、NATM工法と同程度の経済性になることを明らかにした。

#### 第6章 結論

本章では、各章で得られたドーナツ型の実用性に関する研究成果を取りまとめて本論文の結論とした。

ドーナツ型TBMは、世界的に技術開発されていない新技術であり、全断面型TBMよりも優位性があり、かつ、その最大の弱点である不良地山への対応も迅速・的確に実施できるという施工上の優位性も兼ね備えている。ドーナツ型TBM工法が実用化されれば、国内のみならず海外にも幅広く活用することができるなど、山岳トンネル工法に大きな変革をもたらすものと期待される。