

学位論文題名

直角に方向制御可能なシールドに関する研究

学位論文内容の要旨

我が国の都市部におけるインフラストラクチャ関連のトンネルは、年毎に深部化しているが、地表下50～60mまでの深度ならば現有のシールド技術で十分に対処することができる。これに対し、シールドの発進立坑の構築技術には解決されるべき問題が多く残されている。特に、高い地下水圧に対する技術に未解決な部分が多い。このため、大深度のシールドトンネルを施工するための合理的な立坑築造方法の出現が望まれている。

この問題の抜本的な解決を計るために、直角に方向制御可能なシールド（以下新シールドと呼ぶ）によって発進立坑と横坑を連続的に掘進する工法（以下新工法と呼ぶ）の研究開発を進めることにした。本工法には、①立坑の築造工程が短縮する②立坑を施工するための設備とトンネルを掘進するための設備が共通のため段取り替えが不要である③立坑底部でのシールド発進作業が不要である④立坑寸法が小型化する、などの従来技術にない利点が期待できる。

新工法の実用化を計るために、新シールドを設計し、必要な各種要素技術の開発を進め、実規模実験によって性能を確認した。また、新シールドを用いた施工法を研究するとともに、地盤制御の観点から新工法の特徴を明らかにした。さらに新工法の経済性、安全性、能率などについての調査を踏まえて、本施工法が有利に応用できる分野について検討した。また、これらの基礎的な研究と並行して、新工法を用いた工事数の増加に努め、実施した5つの施工事例を通して、新技術の有効性を確認した。本論文はこれらの成果をまとめたもので、6章より成っている。

第1章は序論で、シールドを用いたトンネル施工技術に関する既往の研究を述べ、本研究の意義と目的を示している。

第2章では新シールドの研究開発について述べている。まず、ハードウェアと施工法の両方の観点から基本設計を進め、新シールドの構造をヨコシールドが収納された球体を内蔵するタイプとし、装備すべきトルク、推進力、排泥処理能力などを見積もるとともに、立坑壁を構成するセグメントと立坑底の強度計算を行っている。これらの一連の設計作業を通して新シールドにより立坑・横坑の連続掘削が可能であるという見通しを得ている。

次に、本機に必要な要素技術の開発を進め、これらが所期の性能を有していることを2種類の実規模実験によって実証している。まず、立坑掘削実験から以下の諸点を明らかにしている。

- ①シールド掘削におけるカッタトルクは、立坑掘削時にはヨコシールド掘削時の1/10程度の大きさになり、ヨコシールドのカッタ駆動装置で掘削径の大きなタテシールドを駆動できる。
- ②通常の横坑を掘削する密閉型シールドのカッタヘッドで立坑掘削が可能である。また、カッタビットの高さは大きいほど掘削ズリの流れがよくなり立坑掘削には有利になる。
- ③掘進速度とともに掘削抵抗が急に増す。したがって、所与の掘削装置の下では最適の掘進速度が存

在し、これを維持するための管理が重要になる。

次に、シールの性能検証実験から以下の点を明らかにしている。

①底部球体シールおよび球体シール内のグリース圧は、初期の設定値の大きさにかかわらず、外部水圧が1MPa以下であれば水圧とともに直線的に増加しシール機能を維持する。

②球体を回転させるときの抵抗力は水圧に比例して増加する。

これらの実験を基に、新シールドが深度70mまでの立坑・横坑の連続掘削に対して十分な適応性を持っていることを明らかにしている。

第3章では、応力解析と浸透流解析の連成解析によって得られた立坑・横坑の施工に伴う地盤変状と地下水理の変化に関する下記の予測について述べている。

①新工法では切羽水圧に対し泥水圧を僅かに高く保持しながら掘削するために、地下水理場はほとんど擾乱されないのに対し、従来工法の一つであるケーソン工法では釜場で水抜きする必要があるために、大きく擾乱される。

②新工法では、立坑の密閉状態が保持されるために、掘削の初期の段階においては地下水圧により地表が隆起するが、その量は僅少である。施工に伴う地表の隆起・沈下は、新工法の方が従来工法に比べ全体に小さい。

このように、新工法は地盤に与える影響が従来工法に比べて小さいと予測される。

第4章は新工法の総合的な評価を扱ったもので、用地占有面積、施工時間、工事の安全度および工事費用の観点から次の諸点を明らかにしている。

①新工法では、立坑径を従来工法の1/2～3/4に小さくすることができる。

②新工法による施工では、マシーン製作がクリティカルパスとなり、全体工期は従来工法に比べ短縮されるとは限らないが、現地での作業工期は大幅に短縮される。また、シールド外径が大きいほど、トンネル深度が深いほど、施工日数が短縮される。

③新工法は従来工法に比べて地盤の汚濁、騒音、振動が少なく、作業員に対する安全性が高い。また、材料の消費が少ない。

④新工法では従来工法と比べて立坑深度に伴う工事費の増加率が小さく、トンネル深度が大きいほどコスト面で有利になる。一方、マシーン価格は大口径になると急激に高くなる。このため新工法は立坑・横坑の径が小さくなるほど有利になる。

⑤工法の総合的な評価を与えるAHP法（Analytic Hierarchy Process）を用いることにより、新工法の適応領域を合理的に見いだすことができる。

第5章では、新工法を用いた3つの実施例を述べている。各事例毎に、トルクや推力および掘進速度や作業時間に関する測定結果を示し、予測と実際の差違が小さく、設計が妥当であることを明らかにしている。同時に、経済性、安全性、掘進能率の観点から新工法が優れていることを確認している。

第6章は結論で、本研究で得られた結論を総括するとともに、今後の研究課題および将来展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 島 洋 二

副 査 教 授 中 島 巖

副 査 教 授 土 岐 祥 介

副 査 教 授 三田地 利 之

学 位 論 文 題 名

直角に方向制御可能なシールドに関する研究

我が国における都市部のトンネルは年毎に深部化しているが、地表下50～60mまでの深度のトンネルならば現有のシールド技術によって問題なく施工することができる。これに対し、シールドの発進立坑の施工法に関しては、高い地下水圧への対処技術の開発が遅れており、大深度立坑を合理的かつ安全に築造する方法の出現が望まれている。

本研究は、この問題を抜本的に解決するために、直角に方向制御可能なシールド（以下新シールドと呼ぶ）によって発進立坑と横坑を連続的に掘進する工法（以下新工法と呼ぶ）の開発を行ったものである。

本研究の主要な成果は以下のように要約される。

- 1) ハードウェアと施工法の両方の観点から新シールドの基本設計を進め、機械の構造をヨコシールドが収納された球体を内蔵するタイプとし、装備すべきトルク、推進力、排泥処理能力などを見積もるとともに、立坑壁を構成するセグメントと立坑底の強度計算を行い、新工法により立坑・横坑の連続掘削が可能であるという見通しを得ている。
- 2) 本機に必要な要素技術の開発を進め、これらの性能を確認するための立坑掘削実験から、立坑掘削時のカットトルクはヨコシールド掘削時の1/10程度になるのでヨコシールドのカッタ駆動装置で掘削径の大きなタテシールドを駆動できること、通常の横坑を掘削する密閉型シールドのカッタヘッドで立坑掘削が可能であること、カッタビットは高いほど掘削ズリの流れがよくなり立坑掘削に有利になること、掘進速度とともに掘削抵抗が急に増すので最適の掘進速度が存在することなどを明らかにしている。また、シールドに関する性能実験から、底部球体シールドおよび球体シールド内のグリース圧は、外部水圧が1MPa以下であれば初期の設定値の大きさにかかわらず水圧とともに直線的に増加しシールド機能が維持されること、球体の回転時の抵抗力は水圧に比例して増加することなどを明らかにしている。

以上の実験を基に、新シールドが深度70mまでの立坑・横坑の連続掘削に対して十分な適応性を持っていることを確認している。

- 3) 応力解析と浸透流解析の連成解析を基に、新工法では泥水圧を切羽水圧より僅かに高くするために従来工法と異なり地下水理場がほとんど擾乱されないこと、施工に伴う地表の隆起・沈下は新工法の方が従来工法に比べ全体に小さいことを明らかにしている。
- 4) 新工法では、従来工法に比べて、立坑断面が大幅に小型化されること、シールド外径やトンネル深度が大きくなるほど現地での作業工期が大幅に短縮されること、従来工法に比べて地盤の汚濁、騒音、振動が少なく作業員に対する安全性が高いこと、材料の消費が少ないこと、立坑深度に伴う工事費の増加率が小さくトンネル深度が大きいほどコスト面で有利になることなどを明らかにしている。さらに新工法の場合、大口径になるとマシン

価格が急激に高くなるので立坑・横坑の径が小さいほど有利になること、マシン製作がクリティカルパスになるなどを見いだしている。そしてAHP法（Analytic Hierarchy Process Method）が新工法の適応領域を合理的に見いだす上で有用なことを明らかにしている。

5)新工法を用いた3件の実施例について、トルクや推力および掘進速度や作業時間に関する測定結果を各事例毎に示し、予測と実際の差違が小さく、設計が妥当であることを確認するとともに、経済性、安全性、掘進能率の観点から新工法が優れていることを実証している。

以上のように本研究は、立坑と横坑を連続して掘進可能なシールドを開発し、3件の施工事例によって新工法の実用性を確認したものであり、資源開発工学、特に岩石力学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。