

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	松尾 勉 (まつお つとむ)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1119 号
○授与年月日	2016 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	SPH 法解析を用いたトンネル切羽および坑口斜面の崩壊挙動に関する基礎的研究
○審査委員	(主査) 深川 良一 (立命館大学工学部教授) 里深 好文 (立命館大学工学部教授) 持田 泰秀 (立命館大学工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

本研究では、トンネル掘削時から完成後までを通して、豪雨、地震、風化等の何らかの外力を受ける場合について SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を用いて一貫した評価を行うことを試みた。具体的には、SPH 法による進行性崩壊現象の再現と対策のための手法確立を目指して、建設時の土被りの小さいトンネル切羽の安定性、および完成後の坑口斜面の安定性について、実験的、解析的検討を行った。

第 2 章では、トンネル切羽や完成後の坑口斜面の安定性の評価、および崩壊時の挙動に関する既往の研究事例について調査した。

第 3 章では、施工中のトンネル切羽を対象として、室内モデル実験および数値解析を行い、SPH 法により実験の崩壊挙動を再現できることを示した。また、FDM (有限差分法) との比較を行い、大変形・崩壊挙動やその兆候となる分離型の変位挙動における SPH 法の優位性を示した。さらに、トンネル切羽を補強する補強工のモデル化を提案し、実トンネルでの崩壊事例に適用してそのモデルの有効性を確認した。

第 4 章では、トンネル完成後の坑口斜面を対象として、振動台を用いた実験により地震時の崩壊挙動について検討した。また、地山補強土工法を想定した補強材の配置により、地震時の表層崩壊に対する安定性向上効果を確認した。さらに、SPH 法による解析を行い、第 3 章で提案した補強工モデルによる地震時の補強効果を確認した。

第 5 章では、トンネル切羽およびトンネル坑口斜面における既存の設計、とくに数値解析における FEM (有限要素法) との関わりを示し、施工中および維持管理における SPH 法に基づく新たな設計方法を提案した。

第 6 章では、建設時から完成後のトンネル坑口部斜面の安定性・崩壊挙動の評価、および設計方法に関する一つのツールとしての SPH 法の有用性について総括した。

#### <論文審査の結果の要旨>

本研究は、建設時の土被りの小さいトンネル切羽の安定性、および完成後の坑口斜面の安定性について、実験的、解析的検討を行ったものである。大変形現象を表現可能な SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に基づいて、進行性崩壊現象の再現と対策のための手法確立を目指した点に特徴がある。数値シミュレーションが最終的に 2 次元に止まっている等の課題はあるが、以下の点で高く評価できる。

- 1) 施工中のトンネル切羽を対象として、アルミ棒積層体を用いた崩壊挙動に関する模型実験および SPH 法解析を行い、実験結果と解析結果がよく一致することを示した。
- 2) SPH 法と有限差分法 (FDM) との比較を行い、FDM では変形が大きくなり結果が得られないような条件でも、SPH 法では大変形・崩壊挙動、およびその兆候となる分離型の変位挙動を表現可能であることを明らかにした。
- 3) 実地盤を対象として、SPH 法によりトンネルが崩壊した事例の再現解析を行った。また、切羽安定対策工法の一つである補強工のモデル化を提案するとともに、実地盤に適用した時の挙動について解析を行い、モデルの有効性を確認した。
- 4) トンネル建設後の緩み領域のある坑口斜面に関して、震度 6 弱以上相当の激しい地震に対しては長い補強工で斜面全体のすべりを抑制する工法が有効であるが、震度 5 強相当までの地震には短い補強工で対応できる可能性があることを、実験と解析を通じて明らかにした。

5) 既存の有限要素法 (FEM) を用いた数値解析による設計方法を補完して、SPH 法を利用した施工中のトンネル切羽および完成後の坑口斜面の設計に関する新たなフローを提案し、進行性崩壊の評価や挙動予測等を織り込むことにより、建設時から完成後の維持管理までを見据えた設計手法の確立へ向けての道筋を示した。

本論文の審査に関して、2016 年 4 月 28 日 (木) 15 時 00 分～16 時 20 分トリシア I1 階環境都市系第 2 会議室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、動の実験においてアンカー長が短くても改良効果のある理由、2 次元解析の意義、実験と SPH 解析におけるすべり面形状の相違などに関する質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科環境都市専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有している

と確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。