

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 陳 文 莉

本論文では、既往の研究がほとんどない機械掘削におけるずりの寸法と形状について論じている。本論文の背景として、近年、環境保全のために、主として都市部の地下空間の開発・利用が話題になっていることや、それに伴って、トンネルや地下空間の掘削方法として機械化掘削が増加していることがあげられる。本論文で取り上げられた全断面トンネル掘進機（TBM）の掘削ずりは、他の掘削方法によるずりに比べて薄板状のものが多く、経験的に硬質な岩盤ほど薄板状となりやすいといわれてきた。この性質が確かならば、掘削ずりを観察することによって切羽の岩盤特性を判断することができるはずである。この他にも掘削ずりは様々な情報を含んでいるものと考えられる。また、切羽から掘削ずりを運搬する方法の選択・操業条件の最適化、掘削ずりの再利用・処分方法、粉塵対策などにおいて、掘削ずりの形状や粒度分布が重要と考えられるが、掘削ずりに関する研究は比較的遅れている現状といえる。

本論文では、まず、基礎データを収集するため、一軸圧縮試験を中心とした室内試験を行った結果が述べられている（2章）。ついで、本研究の中心をなす、TBMのずりの収集とその分析を実施した結果（3章）、さらに、自由断面掘削機、回転削孔機、削岩機などの掘削ずりについて調査・検討した結果が述べられている（4章）。また、エネルギー効率の観点から、いくつかの機械掘削について評価している（5章）。最後に、室内試験と原位置で採取したずりの検討結果を踏まえて、理論的な考察をしながら、TBMの適用性などについて検討している（6章）。

第二章では、岩片の粒度分布に関する基本データを得ることを目指した室内実験結果が述べられている。まず、基本的な試験条件下で、三城目安山岩を用いて試験を行った。ついで、岩種の影響を調べるため、岩石試料として来待砂岩・田下凝灰岩・葛生ドロマイト・秋吉大理石を追加して同じ基本条件で試験を行った。さらに、試験条件（例えば：試験片寸法、端面の整形、湿潤状態）の影響を調べるため、いくつかの条件を変えて試験を実施した。得られた結果は、①一軸圧縮試験の岩片の粒度分布は2桁程度の範囲内に分布する。②秋吉大理石以外の岩石では、粒度分布の傾向はあまりかわらない。③粒径は消費エネルギーと密接な関係がある。

第三章では、TBMのずりについて調査、検討した結果が述べられている。TBMの掘削ずりは、ずり捨てピットから一回あたり20kgを回収して実験室に搬送し、乾燥させてから、ふるい分けにより粒度を求めた。さらに質量が5g以上のずりを対象として形

状の測定を行った。結果をまとめると次のようになる。①TBMの掘削ずりの粒度分布は2桁程度の範囲内に分布し、一軸圧縮試験の岩片の粒度分布と似た傾向を示す。②TBMの掘削ずりは特種の扁平状となることがある。③掘削ずりの形状は二次破砕の影響を受けている可能性がある。

第四章では、TBMの掘削ずりの結果と比べるため、他の機械掘削方法のずりについて調べた結果が述べられている。現場から削岩機・スロット削岩機、ブームヘッダーおよび発破の掘削ずりを採取し、三章で述べたふるい分け法を用いて粒度分布を調べた。また、実験室で行った、PDC回転削孔試験と回転振動削孔試験のずりも回収して、粒度分布を求めた。その結果、各種機械掘削方法のずりの粒度分布はほぼ2桁程度の範囲内に分布し、傾向は一軸圧縮試験での岩片やTBMの掘削ずりと大差なく、各種機械掘削方法のずりの粒度分布は代表長さにより正規化できることがわかった。

第五章では、エネルギー効率の観点から、一軸圧縮試験での岩片、TBMの掘削ずり、他の機械掘削方法のずりについて検討した結果が述べられている。岩盤掘削のために消費されたエネルギーは、掘削方法の評価に際して重要であり、掘削体積比エネルギーやこれを一軸圧縮強度で割った値などを用いて議論している。得られた結果は次の通りである。①室内試験における掘削体積比エネルギーは比較的小さい。②原位置での掘削の中では、発破の値が一番小さい。③掘削機械の中で、TBMの値が小さい。④掘削ずりの粒子径だけに着目するとき、BONDの式である程度説明できる。

第六章は考察である。ずりの形状に関して、西松の提案した掘削に関する理論を適用したところ、ある程度、この理論によりTBMなどの掘削ずりの形状が説明できることがわかったとしている。また、TBMなどの機械化掘削にあたっては、その適用性を事前に検討することが大切であるとし、その適用性を検討するためのエキスパートシステムを検討している。

主たる結論は次の2つである。(1)ずりの粒度分布は掘削方法によらない。(2)ずりの形状は西松の理論で説明可能。(1)の結果は、掘削方式を多少変更したとしても、従来の積み込み、運搬方式を大幅に変更する必要がないことを意味している。また、掘削機械の寸法拡大や縮小にあたっては、積み込み・運搬機械の拡大や縮小を決める基礎になりえると思う。さらに、掘削したずりを再利用する場合、計画段階で役立つ情報と思う。

ずりの形状は、TBMにおける流体輸送の際のずりの運搬効率、さく岩機や回転削孔機のずりの運搬効率、さらにはタイヤなどの消耗品の損耗と関係がある。(2)の結果によれば、岩盤の物性値あるいは簡単な室内試験から、このずりの形状が前もって予測できることになる。また、今後の検討が必要であるが、ずりの形状から、岩盤の物性値を推定できる可能性も示唆している。本論文の主たる結論(1)と(2)は、常識的な結果ともいえるが、これまでに学問的な検討がほとんどなされてこなかった分野であり、掘削機械の設計や選定、施工条件の決定などにおける一つの基礎を与えるものと考えている。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。