

花崗岩供試体における TBM センターカッタビットの最適化に関する基礎的研究

呉工業高等専門学校 学生会員 ○河相 拓真
 呉工業高等専門学校 正会員 重松 尚久
 呉工業高等専門学校 正会員 河村 進一

1. はじめに

現在、TBMにおけるディスクカッタの間隔は現場の経験則に基づいて設定されており、数や式などの理論は確立されていない。またカッタの間隔が広すぎると芯残りという現象が発生し掘削効率が悪くなる問題が生じる¹⁾。そこで本研究では掘削効率を向上させるため、掘削中心から最も内側の刃までの距離(以降 最小半径 r と呼ぶ)の最適化に関する研究を行った。

2. 実験装置及び実験方法

図-1 に実験装置の概略図を示す。幅 1,370mm、奥行き 1,100mm の鋼板の上に乗っており、横に設置されている油圧シリンダを伸縮させることで実験装置を横転させることが可能である。横転させた供試体の真下に、掘削土を回収するための受け皿を設置し、その下に荷重計を設置し掘削土の質量 m (kg) の測定を行った。

図-2 にモデル掘削機の概略図を示す。サドルで固定された 2 枚のカッタと鋼製の台座で構成されている。最小半径は $r=45, 55, 65, 75$ mm の 4 種類で実験を行い、内側にカッタ 1(刃先角 $\pi/4$ rad 幅 5.0mm)、カッタ 1 から 25mm 外側に斜めに $\pi/6$ rad 傾けたカッタ 2(刃先角 $\pi/4$ rad 幅 5.0mm)を配置した。また、カッタ 1 は直径 小 100.0mm、中 125.0mm、大 150.0mm の 3 種類を用意した。供試体は中国産花崗岩(一軸圧縮強度 139.0N/mm²)を円柱状供試体に加工し使用する。設定垂直力 $F_{zser}=40$ kN、ターンテーブルを 2r.p.m で回転させ、掘削深さ z が 20mm になるまで掘削し、各掘削時間 t における垂直力 F_z 、掘削深さ z 、水平力 F_x 、掘削土量 m 、トルク T を測定した。

3. 結果と考察

TBM におけるディスクカッタでの掘削を進める上で芯取れの発生は必須条件である。芯取れが発生しなければ TBM が前進できず、作業を中断しなければならないからである。表-1 にカッタ別の芯取れと最小半径 r を示す。カッタ小、中では、最小半径 $r=55$ mm までが

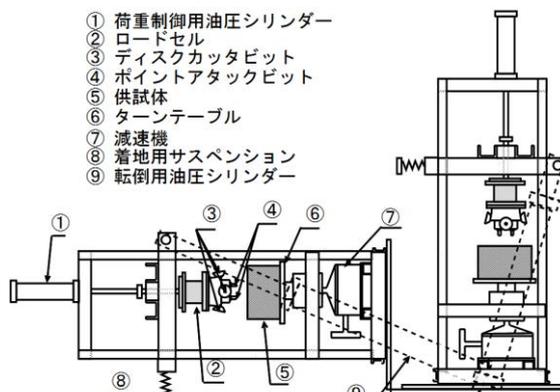


図-1 実験装置 概略図

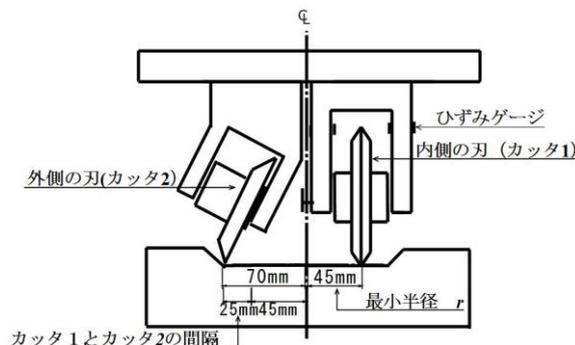


図-2 モデル掘削機 概略図

表-1 芯残りと最小半径 r の関係

| 半径 r (mm) | 回数 | 芯残りの有無 | | |
|-------------|----|--------|------|------|
| | | カッタ小 | カッタ中 | カッタ大 |
| 45 | 1 | 無 | 無 | 無 |
| | 2 | 無 | 無 | 無 |
| 55 | 1 | 無 | 無 | 無 |
| | 2 | 無 | 無 | 無 |
| 65 | 1 | 有 | 有 | 無 |
| | 2 | 有 | 有 | 有 |
| 75 | 1 | 有 | 有 | 無 |
| | 2 | 有 | 有 | 有 |

芯取れの発生を満たしている。カッタ大では、最小半径 $r=65$ mm 以降において、芯残りの発生や供試体外側のひび割れなど不安要素を含むため今回は考察の対象外とした。したがって、すべてのカッタで最小半径 $r=45, 55$ mm から、最適な最小半径 r の考察を行う。ここでの最適な最小半径 r とは、芯取れが発生し、掘削効率の良い、カッタ 1 から供試体中心までの間隔が最も大きいことを指す。

キーワード TBM, センターカッタビット, 最適化,

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2 丁目 2-11 呉工業高等専門学校 環境都市工学分野 TEL 0823-73-8480

図-3 にカッタ別の最大トルク T_{max} と最小半径 r の関係を示す。最小半径 $r=45,55\text{mm}$ では、最大トルク T_{max} の値は、比較的近いといえる。最小半径 $r=65\text{mm}$ 以上では、最小半径 r の増加と共に最大トルク T_{max} は大きくなっている。最小半径 $r=55\text{mm}$ までは、芯取れが発生しているため、芯取れ発生時のトルク T は、最大トルク $T_{max}=600\text{Nm}$ 付近に存在すると考えられる。最小半径 $r=65\text{mm}$ 以上では、カッタが供試体に深く入っていくため、カッタと供試体の接地面が増加することが考えられる。

図-4 にカッタ別の最大水平力 F_{xmax} と最小半径 r の関係を示す。ディスクカッタに内から外に作用する力を正とする。最小半径 $r=45,55\text{mm}$ では、最大水平力 F_{xmax} の大きさは比較的同じだといえるが、最小半径 $r=65\text{mm}$ 以上では、最大水平力 F_{xmax} が大きくなっている。最小半径 $r=55\text{mm}$ までは、芯取れが必ず起こっており、水平力 $F_{xmax}=6\sim 8\text{kN}$ が最小半径 $r=55\text{mm}$ までの芯取れに必要な水平力 F_x だと考えられる。

図-5 にカッタ別の平均掘削速度 v と最小半径 r の関係を示す。どのカッタにおいても、最小半径 r の違いによる掘削速度 v の差はあまり見られず、ほぼ横ばいとなっている。カッタ小では、平均掘削速度 $v=0.08\text{mm/sec}$ 付近、カッタ中では、平均掘削速度 $v=0.07\text{mm/sec}$ 付近、カッタ大では、平均掘削速度 $v=0.06\text{mm/sec}$ 付近に分布していることが分かる。

図-6 にカッタ別の1回転当たりの掘削量 V_{round} と最小半径 r の関係を示す。今回の実験では、掘削時間 t_s は芯取れまでの時間とし、半径、芯取れ時の深さから得る芯の体積を掘削土量 m としている。それらを掛け合わせて1回転当たりの掘削量 V_{round} を算出している。カッタ小、中では、最小半径 r の増加と共に1回転当たりの掘削量 V_{round} は増加している。これは、最小半径 r が大きくなることで芯の体積が増加することや、掘削時間 t_s の差が少なかったことが考えられる。カッタ大では、最小半径 $r=55\text{mm}$ までは、1回転当たりの掘削土量 V_{round} の差が小さい。これは、掘削時間 t_s に差がみられることが原因だと考えられる。

4. 結論

掘削速度 v は、芯取れの有無による影響は少なく、カッタ小では、掘削速度 $v=0.08\text{mm/sec}$ 付近、カッタ中では、掘削速度 $v=0.07\text{mm/sec}$ 付近、カッタ大では、掘削速度 $v=0.06\text{mm/sec}$ 付近に分布している。最大水平力

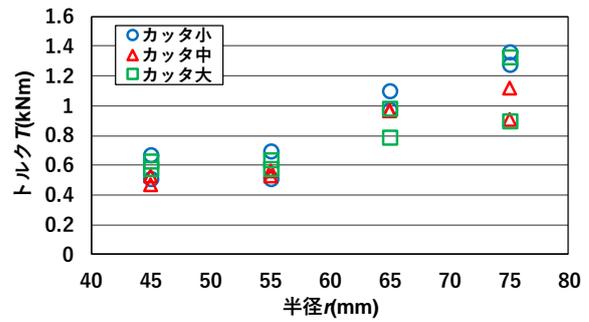


図-3 最大トルク T_{max} と最小半径 r の関係

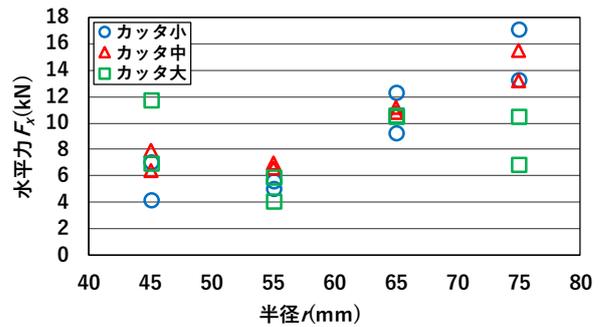


図-4 最大水平力 F_{xmax} と最小半径 r の関係

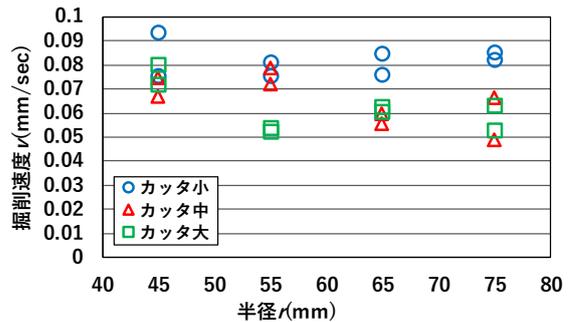


図-5 平均掘削速度 v と最小半径 r の関係

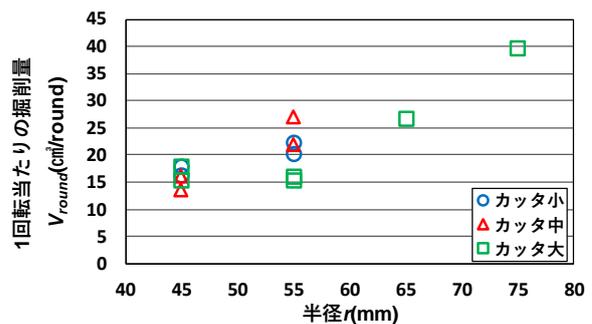


図-6 1回転当たりの掘削量 V_{round} と最小半径 r の関係

F_{xmax} や最大トルク T_{max} では、カッタの違いによる芯取れ時の数値の差が小さく、芯残り時は最小半径 r の増加と共に大きくなる傾向がみられた。1回転当たりの掘削量 V_{round} は最小半径 r の増加と共に増加している。

参考文献

- 1) 重松尚久,北岡一成,室達朗,小田登,河村進一: 多段型端面掘削方式を用いた深礎掘削機の性能に関する室内実験,土木学会論文集 F1 (トンネル工学) Vol.69 (2013) No.2, pp.121-128, 2013.