

# TBM センターカッタビットの配置間隔に関する基礎的研究

呉工業高等専門学校 学生会員 ○井原 雄大  
 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 非会員 寺脇 大雅  
 呉工業高等専門学校 非会員 村上 龍斗

## 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<sup>1)</sup>。図-1 に、芯取れ、芯残りの概略図を示す。芯取れとは、掘削を進めていくとディスクカッタから生じる亀裂が生じ、その亀裂が繋がることによって岩片が剥離する現象であり、芯残りとは、最小半径  $r$  が大きくなると、供試体内側で亀裂が繋がりにくくなり、芯取れが起これず刃より内側の供試体が残る現象のことである。以上の背景より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. 実験方法

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  $r=45, 55, 65, 75\text{mm}$  の4種類で実験を行い、内側にカッタ1(先端角  $\pi/2\text{rad}$  幅  $5.0\text{mm}$ )、カッタ1から  $25\text{mm}$  外側に斜めに  $\pi/6\text{rad}$  傾けたカッタ2(先端角  $\pi/4\text{rad}$  幅  $5.0\text{mm}$ )を配置した。また、カッタ1は直径  $150.0\text{mm}$ 、カッタ2は直径  $100.0\text{mm}$  を用意した。本実験では花崗岩供試体と水結合材比  $W/B=17\%$  の円柱状モルタル供試体を使用し、一軸圧縮試験の結果は平均値が  $153.5\text{N/mm}^2$  であった。設定垂直力  $F_{z\text{set}}=40\text{kN}$ 、ターンテーブルを  $2\text{r.p.m}$  で回転させ、掘削深さ  $z$  が  $20\text{mm}$  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  $F_x$ 、トルク  $T$  を測定した。

## 3. 結果と考察

表-1 に芯残りと最小半径  $r$  の関係を示す。掘削を進める上で必須条件となるのが芯取れの発生である。掘

削効率が良くても、芯取れが発生しなければ TBM が前進できず、作業自体が停止してしまう。最小半径  $r=65, 75\text{mm}$  では、芯取れより外側の破壊が先行し、理想の破壊形態とならなかったため考察の対象外とする。

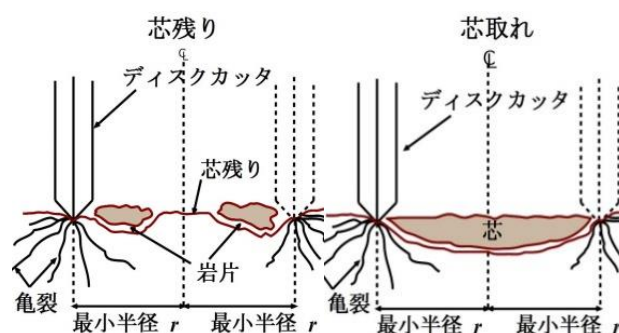


図-1 芯取れ、芯残り概略図

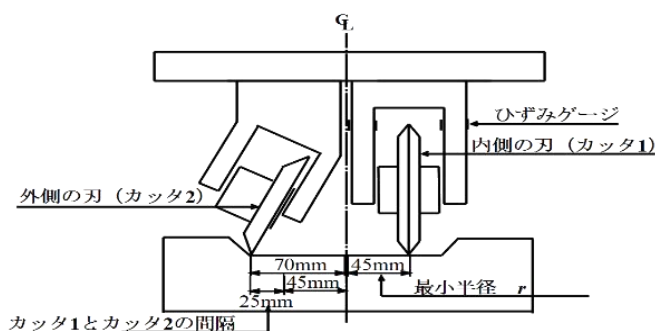


図-2 モデル掘削機の概略図

表-1 芯取れと最小半径  $r$  の関係

| 最小半径 $r$<br>(mm) | 実験回数 | 高強度モルタル |       | 花崗岩    |       |
|------------------|------|---------|-------|--------|-------|
|                  |      | 芯取れの有無  | 外側の破壊 | 芯取れの有無 | 外側の破壊 |
| 45               | 1    | 有       | なし    | 有      | なし    |
|                  | 2    | 有       | なし    | 有      | なし    |
| 55               | 1    | 有       | なし    | 有      | なし    |
|                  | 2    | 有       | なし    | 有      | なし    |
| 65               | 1    | 有       | あり    | 無      | あり    |
|                  | 2    | 有       | あり    | 無      | あり    |
| 75               | 1    | 有       | あり    | 無      | あり    |
|                  | 2    | 有       | あり    | 無      | あり    |

キーワード 最適化、端面掘削、センターカッタビット、ディスクカッタビット、TBM

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 TEL0823-73-8480

図-3 に掘削速度  $v$  と最小半径  $r$  の関係を示す。モルタル供試体では、最小半径  $r$  が大きくなるにつれて掘削速度  $v$  が遅くなる傾向がみられる。これは、最小半径  $r$  が小さくなるとカッタの軌跡で内周と外周に差が生じるため、掘削形態がスクレーパのような幅掘り状態となる。そのため、幅掘り状態での掘削抵抗は、岩盤の強度によって掘削速度  $v$  に影響を与える<sup>2)</sup>ことが考えられる。また、花崗岩供試体では、最小半径  $r$  の違いや芯取れの有無によらず、ほぼ同じ値となっている。これは、花崗岩の破壊形態によるものだと考える。芯残りは発生しても、芯が完全に残っているわけではなく、芯の外側から少しずつ壊れ、カッタが供試体を掘削する際にできる溝が深くなりやすいため、掘削深さ  $z=20\text{mm}$  に達するまでの時間に芯取れ時との差が出にくいことが考えられる。

図-4 に最大水平力  $F_{x\max}$  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。モルタル供試体では、最小半径  $r$  が大きくなるにつれて外向き水平力  $F_x$  の最大値が大きくなる傾向がみられた。これは、最小半径  $r$  が大きくなるにつれて供試体外側の破壊が進行し掘削面が不安定になることや、芯の大きさも大きくなるため、芯を取るために必要な力が大きくなり、最大水平力  $F_{x\max}$  が上昇したことが考えられる。花崗岩供試体では、比例的な増加傾向がみられる。しかし、最小半径  $r=65, 75\text{mm}$  では芯取れが発生していない。これは カッタ 1 より外側のひび割れや破壊により過剰な力が作用したことや芯取れより先に実験条件である掘削深さ  $z=20\text{mm}$  に達したことが考えられる。

図-5 に最大トルク  $T_{\max}$  と最小半径  $r$  の関係を示す。一般的にトルクとは回転軸周りの力のモーメントであるため、最小半径  $r$  が大きくなるとトルク  $T$  も大きくなると考えられる。本研究でも、最小半径  $r$  が大きくなるにつれて最大トルク  $T_{\max}$  も大きくなっている。

#### 4. 結論

- 1 平均掘削速度  $v$  は、高強度モルタルでは、最小半径  $r$  が大きくなるにつれて遅くなる傾向が見られ、花崗岩供試体では最小半径  $r$  の違いや芯取れの有無によらずほぼ同程度の値となった。
- 2 最大水平力  $F_{x\max}$  は高強度モルタルでは  $r=65\text{mm}$  以上で増加傾向が見られ、花崗岩供試体では比例的な増加傾向が見られた。

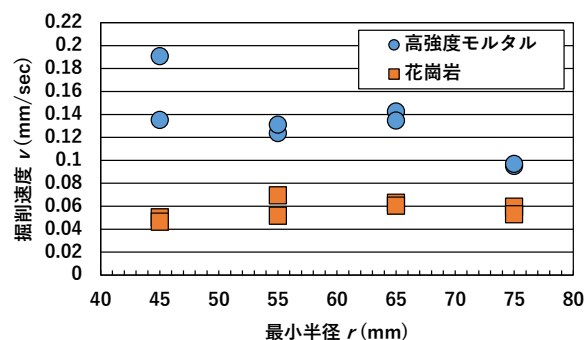


図-3 掘削速度  $v$  と最小半径  $r$  の関係

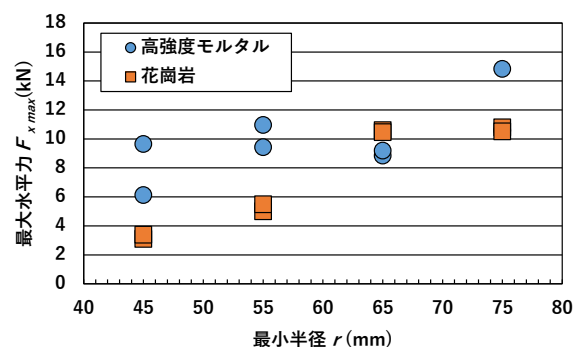


図-4 最大水平力  $F_{x\max}$  と最小半径  $r$  の関係

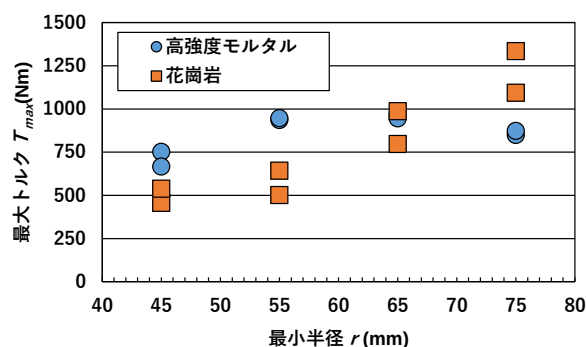


図-5 最大トルク  $T_{\max}$  と最小半径  $r$  の関係

- 3 どちらの供試体についても芯取れ時では最大トルク  $T_{\max}$  はほぼ同じ値を示し、芯残り時には増加傾向が見られた。
- 4 センターカッタの芯取れが発生する掘削効率の良い半径として、高強度モルタル供試体では最小半径  $r=65\text{mm}$  付近に存在し、花崗岩供試体は  $r=55\text{mm} \sim 65\text{mm}$  付近に存在すると考えられる。

#### 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, No.2, pp.121-128, 2013.
- 2) 西岳茂: 岩盤掘削中におけるディスクカッタ作用負荷の研究, 土木学会論文集, No554 III-37, p211-220, 1996.