

モルタル供試体の TBM センターカッター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、ディスクカッターの最小半径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。またカッター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センターカッタービットの刃までの距離 (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. 実験装置および実験方法

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 枚のカッター(刃先角 $\pi/4\text{rad}$)と掘削の半径を変更するための台座で構成されている。最小半径は $r=45, 55, 65, 75, 85\text{mm}$ の 5 種類の間隔で内側にカッター 1(直径:小 100.0mm、中 125.0mm、大 150.0mm 幅 5.0mm)を設置し、カッター 1 から 35mm 外側に斜め $\pi/6\text{rad}$ のカッター 2 を配置した。供試体は水結合材比 $W/B=17\%$ の円柱状モルタル供試体を使用した。一軸圧縮試験の結果は平均値が 144.4N/mm^2 であった。設定垂直力 $F_{\text{zser}}=40\text{kN}$ 、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 、水平力 F_x 、トルク T 、掘削深さ z 、掘削土の質量 m を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 各種力と掘削時間 t の関係

図-3 に水平力 F_x と掘削時間 t の関係について示す。ディスクカッターに内から外に作用する力を正とする。ディスクカッター小、最小半径 $r=45\text{mm}$ 、1 回目を例とすると、約 300 秒のところで水平力 F_x が急に小さくなっている。ビデオ映像で確認したところ、芯が大きく取れていることが分かった。

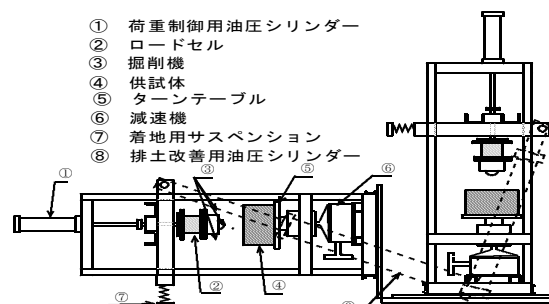


図-1 実験装置の概略図

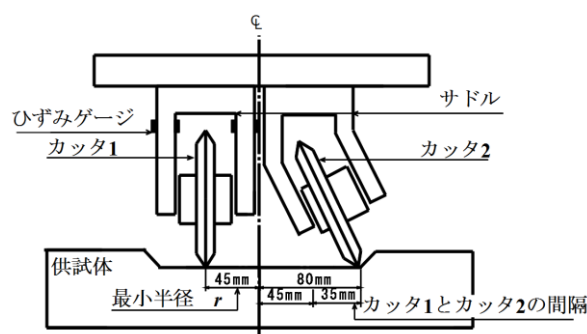


図-2 モデル掘削機の概略図

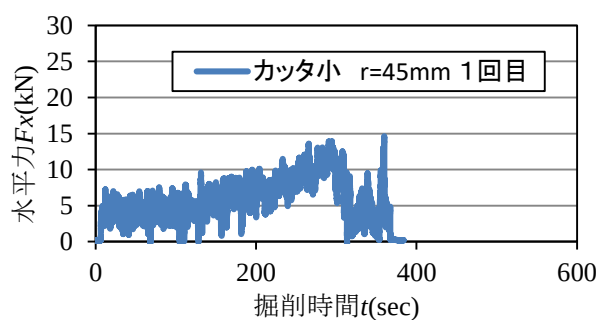


図-3 水平力 F_x と掘削時間 t の関係

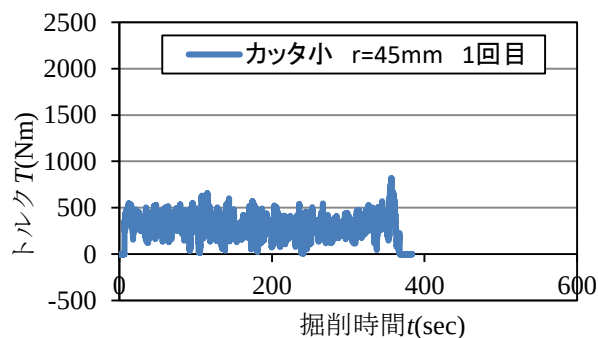


図-4 トルク T と掘削時間 t の関係

キーワード TBM, センターカッタービット, 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

T E L 0823-73-8480

図-4 にトルク T と掘削時間 t の関係について示す。
基本的に一定値で増減を繰り返していることがわかる。
3.2 各種力と最小半径 r の関係

図-5 に掘削速度 v と最小半径 r の関係を示す。すべての大きさの刃において最小半径 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。また、どの最小半径 r においても刃の違いによる掘削速度 v の差はみられない。

図-6 に最大水平力 F_{xmax} と最小半径 r の関係を示す。最小半径 $r=45\text{mm}, 55\text{mm}, 65\text{mm}$ 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芯残りが発生しやすくなるため、その影響で水平力が大きくなっていると考えられる。しかし、最小半径 $r=75\text{mm}, 85\text{mm}$ では水平力 F_x の最大値が小さいものになっている。ビデオ映像、写真を確認したところ、これは、ディスクカッタの外側の破壊の進行度によるものが関わっていると考えられる。外側の破壊によって外側に力が逃げてしまうからだと考えられる。芯残りのしない最小半径 r の中で、最も大きいものが最適なものといえる。ここでは半径 $55\text{mm}, 65\text{mm}$ が最適であると考えられる。

図-7 に最大トルク T_{max} と最小半径 r の関係を示す。最小半径 r の増加とともに最大トルク T_{max} も大きくなっている。半径 $75\text{mm}, 85\text{mm}$ に関してはカッタの外側の破壊があるため最大トルク T_{max} が小さいが半径 65mm でカッタ大が小中に比べ大きい値を取っていることがわかる。トルクとはねじりの強さのことなので芯残りの無く値の大きい半径 $65\text{mm}, 75\text{mm}$ が最適でありカッタが大きいほど掘削効率が良いと考えられる。

表-1 に芯残りと最小半径 r の関係を示す。ディスクカッタが掘削を進める上で最低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。 $r=85\text{mm}$ と 65mm の 1 回目以外は芯がとれているが $r=75\text{mm}$ はカッタの外側の破壊が芯が取れるより先に生じたため目的の破壊とならなかった。よって $r=65\text{mm}$ までは芯取れの条件を満たす限界であると考えられる。

4. 結論

- (1) 掘削速度 v は最小半径 r の増加に伴い減少していく。
また、最大水平力 F_{xmax} と最大トルク T_{max} は増加していく。
- (2) 最小半径 r は $r=65\text{mm}$ までは正確な芯取れの発生を満たす限界である。
- (3) 各ディスクカッタの最適な間隔の可能性として、
 $r=55\text{mm}$ から 65mm の間にあると考えられる。

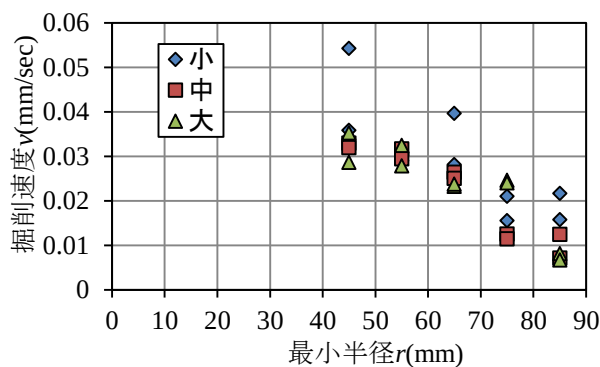


図-5 掘削速度 v と最小半径 r の関係

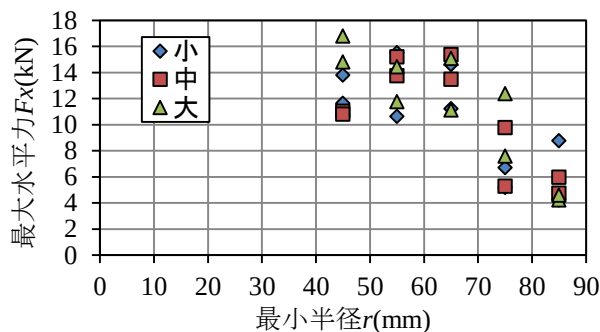


図-6 最大水平力 F_{xmax} と最小半径 r の関係

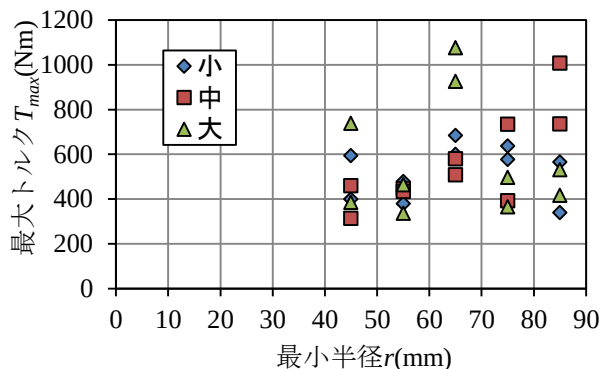


図-7 最大トルク T_{max} と最小半径 r の関係

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(小)	芯残りの有無(中)	芯残りの有無(大)
45	1	無	無	無
	2	無	無	無
55	1	無	無	無
	2	無	無	無
65	1	無	有	無
	2	無	無	無
75	1	無	無	無
	2	無	無	無
85	1	有	有	有
	2	有	有	有

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.