23. ディスクカッタビット摩耗検知

システムの開発のための基礎的研究

呉工業高等専門学校	○ 河村	倫太郎
呉工業高等専門学校	重松	尚久
(株)スターロイ	小田	登

1. はじめに

硬質岩盤の掘削に当たり、TBM 工法やシールド工 法においては、掘削の進行に伴う掘削機のカッタ ヘッドにおけるビットの摩耗およびそれに伴う掘 削効率の低下が問題となる。ビットの摩耗を低減 させるためには、過去の実験により平面掘削との 比較実験において、掘削時に必要なエネルギーが 約1/10に減少することが明らかとなっている端面 掘削方式¹⁾を利用する方法がある。切削ビットに ディスクカッタビットを用い、端面掘削方式を利 用することで、効率のよい掘削が可能であると考 えられる。

しかし端面掘削方式を利用したとしても,硬質 岩盤の掘削においてはディスクカッタビットの摩 耗を完全に避けることは不可能である。したがっ て,ディスクカッタビットの摩耗進行を検知する



図-1 実験機概略図

ことができれば、ディスクカッタビットの交換を 効率的に行うことができ、掘削にかかわる施工ロ スが低減されることが予想される。現在用いられ ている摩耗検出の方法としては、カッタビット内 に油圧パイプを通し、ビットの破損による油圧の 減少によって検出するものや、超音波を用いてビ ットのすり減りを検出するものなどが知られてい る。

本研究を実施するに当たっては、過去に行った ディスクカッタビットの摩耗度を変化させて掘削 を行う変位制御実験²⁾において、ディスクカッタ ビットの摩耗度の変化によって各方向への作用力 が異なっていたことに着目した。本研究では、よ り実機に即した油圧による荷重制御実験を行い、 ディスクカッタビットの摩耗が、ディスクカッタ ビットに作用する横方向力 *Fy*、転がり抵抗力 *Fx* および掘削速度 *V*に及ぼす影響を検討し、ディス クカッタビット摩耗検知システムの開発のための 基礎的データを得ることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験方法

図-1 に実験装置概略図を示す。2r.p.m.で回転す る擬似岩盤(円柱形供試体,高さ 270mm,直径 200mm、水結合材比 W/B17%の高強度モルタルで あり,一軸圧縮強度 120N/mm²以上)の端部に 2 つ のディスクカッタビットを油圧による荷重制御に よって押し付けることで掘削を行う。上部に設置 したロードセルよりディスクカッタビットに作用 する垂直力 Fz, トルク T, 掘削深さ z を測定し, トルクTより転がり抵抗力Fxを算定する。また, ディスクカッタビットに取り付けられたロードセ ルより, 横方向力 Fy を測定する。 データの利用の 際、横方向力Fvは、2つのロードセルから得られ る値を平均したものを用いる。また、供試体端部 からの切込幅Sを15mm, 20mm, 25mmの3種類, 貫入力 P を 7.5kN, 10.0kN, 12.5kN の 3 種類とし て実験を行う。

2.2 ディスクカッタビット

写真-1 に本研究で使用するディスクカッタビッ トを示す。ディスクカッタビットは直径 80mm, 刃物角 55°,逃げ角 4°であり,刃先の曲率半径 のみ 1mm(刃 B), 3mm(刃 C), 5mm(刃 D)の3 種類 に変化させた。曲率半径が大きくなるにつれて, 摩耗が進行していることを示す。

3. 実験結果および考察

3.1 実測値

図-2に刃D,切込幅15mm,垂直力10.0kNにおける横方向力Fyと時間tの関係を,図-3に転がり抵抗力Fxと時間tの関係を示す。掘削開始時から約120秒までの間は初期端面掘削時に相当し、それ以降が定常端面掘削に相当する。初期端面掘削とは、大きな剥離を起こしながら掘削が進行していく区間で、定常端面掘削とは、小さな剥離を引き起こしながら掘削が進行する区間である。横方向力Fyおよび転がり抵抗力Fxは、初期端面掘削時には供試体の破壊が著しく一定に定まらないが、定常端面掘削時には時間経過とともにほぼ一定の値を中心にして小さな増減を繰り返しながら掘削が進行していくという傾向が見られた。

3.2 データの整理法

実測値を示すだけでは設定条件の違いによる傾向を読み取りにくいため、15秒を1区間として定め、その区間内の横方向力Fyおよび転がり抵抗力Fxの平均値を該当区間における横方向力fyおよび転がり抵抗力fxとする。また、区間内の掘削深さzの平均をその区間での掘削深さzとし、横軸を掘削深さzとして比較を行う。一例として、図-4に刃D、切込幅15mm、垂直力10.0kNにおける横方向力fyと掘削深さzの関係を示す。このうち、定常端面掘削時に生じた横方向力fyおよび転がり抵抗力fxrとし、定常端面掘削時の抵抗力fxrとして、各掘削条件における作用力および掘削速度Vの比較検討を行った。



1mm 3mm 5mm 写真-1 ディスクカッタビット



図-2 横方向力 F_vと時間 tの関係



図-3 転がり抵抗力 F_xと時間 tの関係







図-5 転がり抵抗 fx と掘削深さ z の関係



3.3 作用力への影響

図-6 に切り込み幅 20mm における横方向力 fyr とディスクカッタビットの曲率半径の関係を,図 -7 に転がり抵抗力 fxr とディスクカッタビットの 曲率半径の関係を示す。ここで,横方向力 Fy は供 試体外側方向を正として測定を行っている。ディ スクカッタビットの摩耗進行に伴い,横方向力 fyr および転がり抵抗力 fxr は減少する傾向が見られ る。また,転がり抵抗力 fxr は横方向力 fyr に比 べて小さな値を示し,減少幅も小さい。ディスク カッタビットの摩耗進行によって横方向力 fyr が 減少するということは,ディスクカッタビットの 摩耗の進行に伴い,ディスクカッタビットが供試 体中央へ向かおうとする力が増加していることを 示している。

3.4 掘削速度への影響

図-8に切り込み幅25mmにおける掘削速度 Vとディスクカッタビットの曲率半径の関係を示す。ディスクカッタビットの摩耗進行に伴い,掘削速度 V が減少する傾向が見られる。また,垂直力 Fz が大 きくなるにつれて,掘削速度 Vの減少幅は大きく なり,掘削速度 V が低下する傾向をより明確に確 認することができる。



ディスクカッタビットの曲率半径の関係

3.5 比エネルギーへの影響

図-9 に切り込み幅 20mm における比エネルギー Es とディスクカッタビットの曲率半径の関係を示 す。ここで、比エネルギーEs とは、実験機の効率 的な掘削性能を表す指標であり、式(1)より求めら れる³⁾。

ここで, *Es* は比エネルギー, P_A は掘削に要する 全動力, V_E は単位時間掘削土量のことである。掘 削に要する全動力 P_A は式(2)より求められる。

$$P_A = \frac{2\pi NT}{60} + F_Z V \qquad (2)$$

ここで、N(r.p.m.)はターンテーブルの回転数、 T(kNcm)は回転トルク、Fz(kN)は垂直力、V(cm/s)は掘削速度である。前半部が回転動力、後半部が 推進動力とみなすことができる。また、単位時間 掘削土量 V_E は、式(3)より求められる。

$$V_E = (r_0^2 - r_1^2)\pi z + \frac{\pi h (r_0^2 + r_0 r_1 + r_1^2)}{2} \cdots (3)$$

ここで, r₀(cm)は供試体の半径, r₁(cm)は供試体 の中心から掘削面までの距離, z(cm)は供試体上端 から掘削面までの距離, h(cm)は掘削面から掘削終 了面までの距離である。写真-2 に, 実際の掘削終 了時の供試体を, 図-10 に, 仮定する掘削終了時の 供試体の図を示す。

上記の式で算出した比エネルギーEs が小さいほ ど掘削性能が良いことを示している。ディスクカ ッタビットの摩耗進行によって比エネルギーEs は 増加する傾向が見られる。比エネルギーEs が増加 するということは掘削効率が低下することと同義 であるので、ディスクカッタビットの摩耗が掘削 性能を低下させる原因であることを示している。

3.6 考察

以上の本研究で得た結果より、ディスクカッタ ビット摩耗検知システムの構築に重要な要素は、 横方向力 Fyおよび掘削速度 Vである。掘削を行う 際にそれらを測定することによって、ディスクカ ッタビットの摩耗度を検知することが可能である。 横方向力 Fyおよび掘削速度 Vは貫入力 Pによって 変動するため、将来的には、横方向力 Fyおよび掘 削速度 Vに、貫入力 Pを加味して検討する必要が ある。また、横方向力 Fyは、ディスクカッタビッ トの形状や配置に依存される値である。本研究で は、ディスクカッタビットの摩耗により横方向力 Fyが減少する傾向が見られたが、一般的な掘削機 においてはディスクカッタビットの摩耗により横 方向力 Fyの変化量が顕著になると考えられる。

また,変位制御による過去の実験²⁰においては, ディスクカッタビットの曲率半径の増加に伴い作 用力が増加する傾向が見られたが,本研究ではデ ィスクカッタビットの曲率半径の増加に伴い横方 向力 Fyおよび転がり抵抗 Fx は減少した。これは, 変位制御実験においてはディスクカッタビットの 曲率半径の増加に伴い垂直力 Fzを含む全ての作用 力が増加していたのに対して,本研究では垂直力 Fz が一定となるように貫入力 Pを制御していたた め,このような結果になったものと考えられる。

4. 結論

(1)ディスクカッタビットの摩耗が進行することに よる転がり抵抗力 F_x への影響は小さいが、横方向 カ F_y および掘削速度Vは減少し、比エネルギー E_s は増加する。

(2)荷重制御で掘削を行う場合,掘削中に横方向力 Fyもしくは掘削速度 Vの変化を測定することで, ディスクカッタビットの摩耗を検知することが可 能である。



写真-2 掘削終了時の供試体 (刃D, 切込幅 20mm, 垂直力 12.5kN, 1 回目)



参考文献

- 室達朗, 土屋清, 河野幸一, 若林優輔: ディスクカッ タビットによるモルタル端面の定常掘削特性に関する 実験的考察, 土木学会論文集, No.687, pp.37-47, 2001.9
- 2) 重松尚久・花岡尚・高垣夏輝:硬質岩盤におけるディス クカッタビットを用いた掘削機の開発について、建設 施工と建設機械シンポジウム、pp.128-129, 2009.11
- Snowdon R.A., Ryley M.D., Temporal J. :A study of disc cutting in selected British rocks, Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. pp.107-121, 1982.