

III-46 ローラカッタの掘削抵抗に関する基礎実験

京都大学名誉教授 正会員 皇昭治郎 京 都 大 学 正会員 建山和由
三 菱 重 工 業 株 正会員・大石善啓 三 菱 重 工 業 株 岡本和之

1. まえがき

近年、上・下水道を初めとするインフラ整備のためのトンネル建設工事の増大に伴い、T.B.M.やシールド掘削機による岩盤、礫層地盤でのトンネル施工事例が増加している。T.B.M.や礫層対応シールド掘削機は、カッタフェイス上に装備されたローラカッタの転動による掘削を行うが、ローラカッタに作用する掘削抵抗力は極めて複雑であり、掘削条件（岩盤条件、運転条件など）との関係も不明な点が多い。

本研究では、ローラカッタの回転半径すなわちカッタフェイス上の取り付け位置が掘削抵抗に及ぼす影響を調べるため、模型のローラカッタを用いた室内実験を行った。なお、ローラカッタによる掘削機構についても定性的にはあるがビデオ等の目視結果から検討を行った。

2. 実験装置・方法

ローラカッタ模型は、2個1組のディスクカッタ（直径108mm、先端角60°）であり、これを図-1に示すようにフレームに取り付け、回転させながら試料に押しつけて掘削を行った。なお、ローラカッタの回転半径 r は、 $r=0, 420, 805\text{mm}$ の3通りとした。掘削抵抗はカッタとフレームとの間に取り付けた2組の3成分ロードセルにより右下記の4成分の抵抗を計測した。実験に用いた試料はコンクリートモルタル（水セメント比50%）であり、実験時の一軸圧縮強度は、 330 kgf/cm^2 であった。実験は、カッタを試料表面に1 tf前後の力で押しつけて貫入させた後回転を与え、回転中は基本的には鉛直変位を与えないものとした。

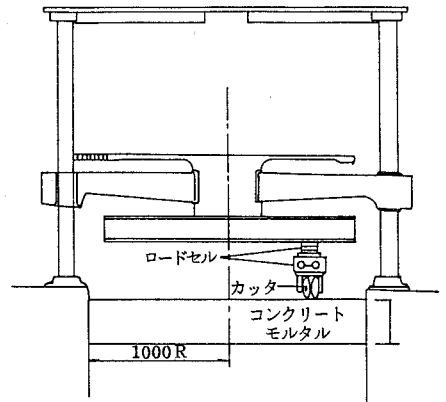


図-1 実験装置の概要

掘削抵抗の計測項目

- | | |
|----------------|-------------------------------|
| 1) 鉛直抵抗 | $V\text{ (kgf)}$ |
| 2) 回転半径方向の水平抵抗 | $H_r\text{ (kgf)}$ |
| 3) 回転接線方向の水平抵抗 | $H_t\text{ (kgf)}$ |
| 4) 水平面内モーメント | $M\text{ (kgf}\cdot\text{m)}$ |

3. 掘削抵抗に及ぼす回転半径の影響

図-2に水平抵抗の回転接線方向成分と鉛直抵抗との関係を示す。また、図-2の水平抵抗の回転接線方向成分と鉛直抵抗の関係を線形回帰し、この操作を他のケースについても行って、線形回帰式の傾きと回転半径との関係を整理すると図-3のようになる。バラツキはあるが、回転半径の増加にしたがって水平抵抗の回転接線方向成分が増加する傾向にあることがわかる。

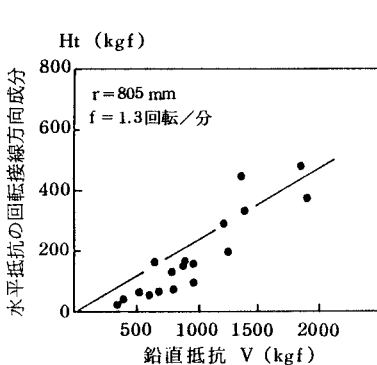


図-2 水平抵抗の回転接線方向成分と鉛直抵抗との関係

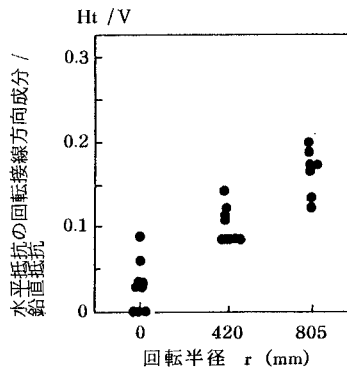


図-3 水平抵抗の回転接線方向成分 / 鉛直抵抗と回転半径との関係

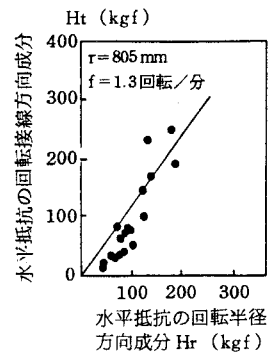


図-4 回転接線方向と半径方向の水平抵抗の比

図-4は2種類の水平抵抗の関係の一例である。この場合も両者の関係を線形近似してその傾きを回転半径に対してプロットすると図-5が得られた。この図より、回転半径が大きいと水平抵抗のうち回転接線方向の成分が大きくなり、逆に回転半径が小さいと半径方向成分が卓越することがわかる。すなわち水平抵抗の合力の方向は、回転半径が大きい場合には回転接線方向に近いが、回転半径が小さくなるにしたがって回転中心を向くようになる。

次に鉛直抵抗が1tf時の水平抵抗の合力の大きさを求め、回転半径に対してプロットすると図-6のようになる。この図より、水平抵抗の合力は回転半径の影響をあまり受けず、その値は、0.1～0.25tfであることがわかる。なお、回転を与えない直線掘削の場合の過去の実験¹⁾では、水平抵抗と鉛直抵抗との比が0.2～0.4程度という結果が得られていることや、図-6でも回転半径が増えたと水平抵抗の合力も増加する傾向があることから、回転半径が増加すると若干ではあるが水平抵抗は増加するようである。これは後述のように、直線掘削の場合にはカッタの貫入により試料内に引張り破壊を生じさせて掘削を行うのに対し、回転掘削の場合には回転にともなうモーメントの作用によってカッタでこじめるような形で掘削を行うため、回転掘削の方が掘削抵抗が小さくなるからではないかと考えられる。

図-7はモーメントと鉛直抵抗との関係を線形回帰し、その傾きと回転半径とをプロットした図である。この図より、一部の例外はあるもののモーメントは回転半径 $r=0\text{mm}$ のときに著しく大きく、回転半径が増加すると小さくなるのがわかる。

4. 掘削機構に及ぼす掘削間隔の影響

掘削状況ならびに試料表面の掘削跡の観察によると、掘削間隔が広い場合（95mm）には、掘削跡の試料表面は2本の溝が残るのみで有効な掘削が行われているとはいえない。これに対し掘削間隔が狭い場合（30mm）には、掘削による2本の溝の間の試料が剝離している場合が多い（図-8に実験跡の試料表面の状態を型取りゲージにて計測した一例を示す）。同様の現象として、90mm間隔で掘削した後、30mmあるいは65mm間隔で掘削するとやはり先にできていた溝と新しい溝との間が剝離する場合も多数観察された。このことより掘削条件に応じた有効な掘削間隔が存在するものと考えられる。

また、回転半径が小さい場合、部分的に試料表面が剝離している場合がみられる。これは、ローラカッタの水平面内での回転にともなってモーメントによりこじめるような作用で試料表面に剝離を生じさせているのではないかと考えられる。

5. あとがき

ローラカッタの回転半径が掘削抵抗に及ぼす影響を実験的に検討した。この結果、作用力と回転半径との基本的な関係についていくつかの知見が得られた。今後は、岩種や押し付け条件（掘進速度、カッタ回転数）などと掘削抵抗との関係について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 昌昭治郎：掘削機械基礎調査報告書（その2）
昭和47年3月，PP.48-51

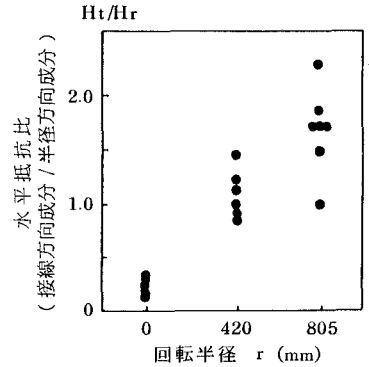


図-5 接線方向と半径方向の水平抵抗比と回転半径との関係

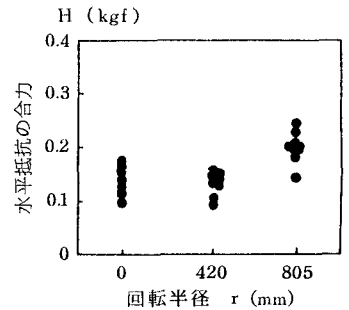


図-6 水平抵抗の合力と回転半径との関係

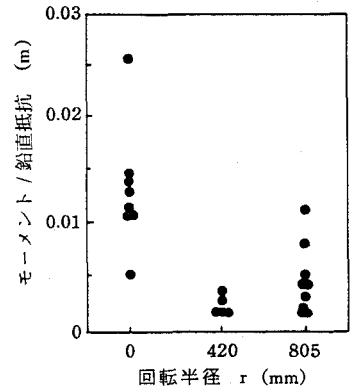


図-7 (モーメント / 鉛直抵抗) と回転半径との関係

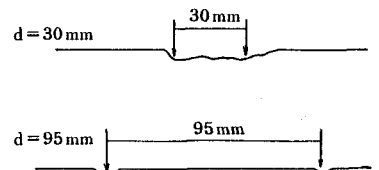


図-8 掘削後の試料表面形状の一例
($r = 420\text{mm}$, $f = 1.3$ 回転/分)