

VI-7 新しいトンネル掘削方式に関する実験的考察

愛媛大学大学院

愛媛大学工学部

新居浜市役所

(株)富士通愛媛情報システムズ

学生会員 ○戒田幸子

フェロー 室 達朗

弓立真人

林田貴水

1 はじめに 現在、シールド掘削方式において、さらなる掘削効率の向上が求められる。従来の1自由面掘削の平面掘削とは異なる、2自由面を掘削する端面掘削方式を提案する。図1に端面掘削概略図を示す。これにより、数十分の1の力で大きな掘削土量を得られること¹⁾が考えられるが、その切込み幅や、掘削刃を地盤に貫入させていく速度である貫入速度の条件が掘削刃によってどのように異なり、また最適な条件について考察することを目的とする。

2 実験方法 実験には回転式端面掘削実験機を用いて、一軸圧縮強度 0.10kN/cm^2 の固結砂質土供試体を製作し使用した。供試体を回転させ、掘削刃を上から貫入させることで、掘削機構を再現している。図2に示す、切込み幅 S を 1.0, 2.0, 3.0cm、貫入速度 $p=0.05, 0.10, 0.20\text{cm/round}$ をパラメータとし、それぞれ新品時及び摩耗長が1cmという3種類の掘削刃で掘削実験を行なった。図3に掘削刃の形状を示す。掘削刃に作用する掘削力は、接線方向力 F_x 、横方向力 F_y 、推進力 F_z に分けてダイナモメータで測定した。また、実験で発生した掘削土量を電子天秤で測定した。なお、ターンテーブルの回転数は 1.75r.p.m. とし、すべての実験において一定とした。

また、フレッシュな端面を掘削するのを初期状態、一度端面破壊した状態から、連続して掘削するのを定常状態と定義し、それぞれの掘削状態の変化における違いを実験後考察する。

3 実験結果 図4に端面掘削実験結果として掘削力 $F_x, F_y, F_z(\text{kN})$ と掘削時間 $T(\text{s})$ との関係を示す。この波形の各頂点において破壊が生じており、これらの極大値の平均を掘削力 F_{xp}, F_{yp}, F_{zp} とした。図中の太線より左が初期端面掘削であり、右が定常端面掘削である。図より、初期端面掘削から定常端面掘削に移行するとき、接線方向力 F_x 、横方向力 F_y 、推進力 F_z の3力とも減少していることがわかる。

3方向の掘削力 F_{xp}, F_{yp}, F_{zp} を用いて次式で合成力 F を求め、切込み幅 S との関係を図5に示す。

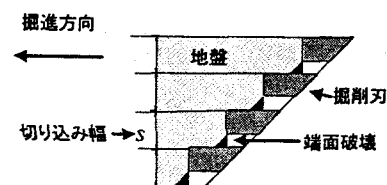
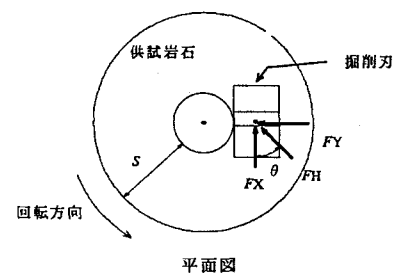
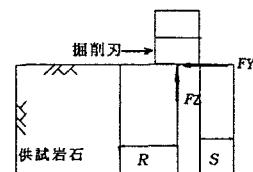


図1 端面掘削外略図



平面図



側面図

図2 掘削実験概略図

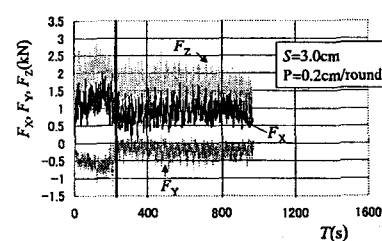


図4 新品時掘削刃 B-1 における掘削力 F_x, F_y, F_z と掘削時間の関

係

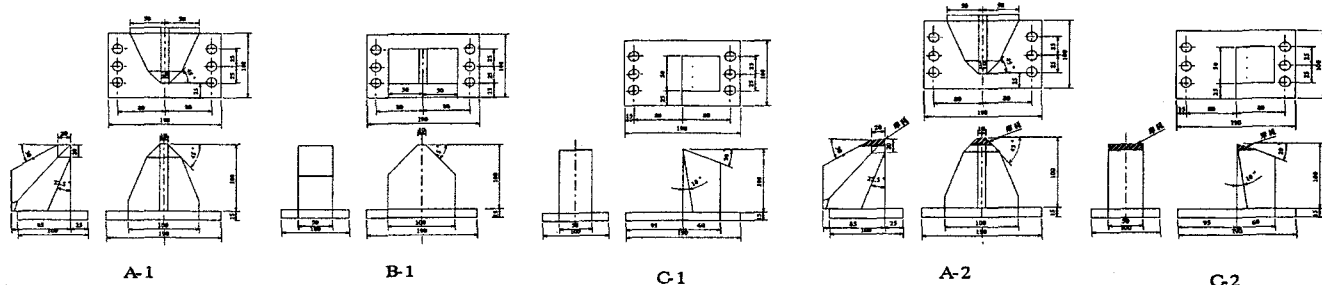


図3 掘削刃形状

$$F = \sqrt{F_{XP}^2 + F_{YP}^2 + F_{ZP}^2} \dots \dots \dots (1)$$

図より定常状態は初期状態よりも合成力 F が減少するのは明らかだが、貫入速度および切込み幅との関係をみるためそれぞれの掘削刃において重回帰分析を行い次式に示す実験式を得た。 r は重相関係数である。

初期状態

$$A-1 \quad F=2.376p^{0.292}S^{0.438} \quad (r=0.837) \dots \dots \dots (2-1)$$

$$B-1 \quad F=4.213p^{0.471}S^{0.348} \quad (r=0.692) \dots \dots \dots (2-2)$$

$$C-1 \quad F=1.337p^{0.011}S^{0.320} \quad (r=0.758) \dots \dots \dots (2-3)$$

定常状態

$$A-1 \quad F=2.453p^{0.267}S^{0.194} \quad (r=0.627) \dots \dots \dots (3-1)$$

$$B-1 \quad F=4.605p^{0.594}S^{0.406} \quad (r=0.835) \dots \dots \dots (3-2)$$

$$C-1 \quad F=1.374p^{0.034}S^{0.175} \quad (r=0.460) \dots \dots \dots (3-4)$$

掘削動力は、回転動力 P_R (kNcm/s) と推進動力 P_T (kNcm/s) に分けることができる。回転動力 P_R (kNcm/s) は、接線方向力 F_X (kN) に関する動力であり、推進動力 P_T (kNcm/s) は、推進力 F_Z (kN) に関する動力である。また、回転動力と推進動力の和を全動力 P (kNcm/s) として算定した。その割合は図 6 に一例を示すが、どの掘削刃においても回転動力が約 96%、推進動力が残り約 4%となっており、回転動力の影響が大きいことがわかり、主に回転動力により掘削が行われていると考えられる。

効果的な掘削を示す指数として、掘削に要する全動力 P (kNcm/s) をその時に発生した掘削土量 V_E (cm³/s) で除した値を比エネルギー E_s (kNcm/cm³) とする。 $(E_s = P/V_E$ (kNcm/cm³))ここに掘削土量とは、掘削により発生したずりを固結砂質土供試体の単位体積重量と掘削時間で除したものである。比エネルギーは、ある一定体積に対する必要な掘削動力であり、小さい値を示すほど効果的である。表 1 に切込み幅 S を貫入速度 p と掘削終了までの周回数 n で除した S/pn と比エネルギー E_s の平均値と標準偏差を示す。

4 考察 合成力 F における定常状態の初期状態に対する比率は、

掘削刃 A-1 において約 94%、B-1 において約 85%、C-1 において 86%となっており、いずれも減少するが違いがあるのは、掘削刃の形状による供試体との接地方式の違いが切込み幅や貫入速度の違いよりも大きく影響していることが考えられる。A-1 は 1cm²、B-1 は 2.5cm²の面で接地、C-1 は長さ 2.5cm の線で接地しており、A-1 は初期から定常に変化しても接地する状態の変化が少ないため合成力も他の刃に比べて比率が大きいと考えられる。また、掘削刃 C の新品時 C-1 と磨耗した状態である C-2 とでは、線から面へと変化し、磨耗による影響が大きい。しかし掘削土量あたりの動力を考える比エネルギーを見ていったとき、大きな掘削土量を期待できる掘削刃 B-1 が今回の実験でも最も効率がよい値を示した。

5 まとめ 定常状態は初期状態よりも掘削力が低下し、その比率は掘削刃形状に依存するところが大きい。今回の実験範囲において、掘削刃 B-1 が最も効率がよい掘削刃であることがわかった。

6 参考文献 1) 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/Ⅲ-56, 37-47, 2001.9

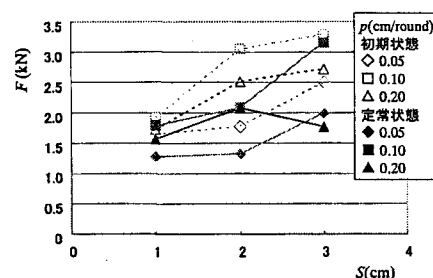


図 5 合成力 F と切込み幅 S の関係 (掘削刃 A-2)

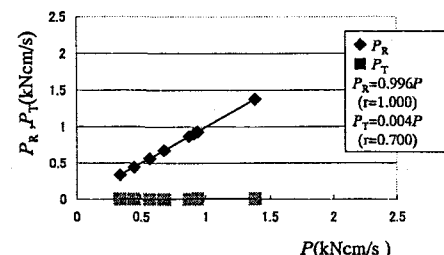


図 6 掘削動力 P_R, P_T と P の関係 (初期状態, 掘削刃 A-1)

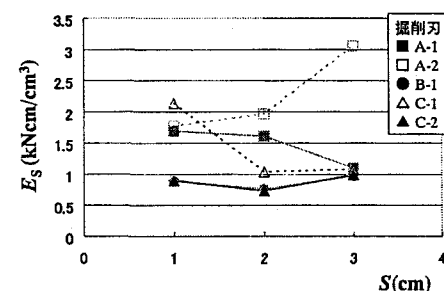


図 7 比エネルギー E_s と切込み幅 S の関係

表 1 E_s および S/pn の平均値と標準偏差

掘削刃	E_s (kNcm/cm ³)	S/pn
A-1	1.273±0.643	1.715±1.333
A-2	1.720±0.815	1.188±0.682
B-1	0.825±0.282	1.058±0.441
C-1	0.873±0.434	1.144±0.327
C-2	1.017±0.549	1.357±0.572