

III-456

多円形断面シールド(MFシールド)の模型実験 その1

東京大学 松本 嘉司

(株)熊谷組

新井 時夫・大田 弘・岸 研司

三菱重工業(株) 波多腰 明・大石 善啓

1. まえがき

MFシールド工法は前後ずれのある2枚のカッタヘッドを有し、同時に2本のトンネルを掘削することができるシールド掘削機であり、従来の円形断面シールド工法に比べ、不要な掘削・覆工が少ない経済的な工法である¹⁾。

一方、構造および作用力が非対称であることから表-1に示すような問題が予想され、これらの基本特性を解明する目的で模型実験を実施した。

このうち本文において、シールドの負荷特性の代表値であるカッタトルクについて報告する。

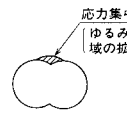
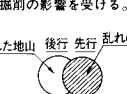
2. 実験の概要

地盤〜機械系の模型実験では、相似則をすべてにわたって厳密に満足することは困難である。そこで実用上取り扱いが難しい相似則条件については経験則を用いて決定し、予備実験で実験結果への影響が少ないことを確認した。さらに、実験結果の評価にあたって図-1の考え方を用いることで対処することとし、模型実験は円形シールド(複線等価断面)とMFシールドの両者について比較実験した。

実験装置・カッタ構造・地盤条件・計測項目等の概要を図-2に示す。切羽の自立性が実験結果に大きな影響を及ぼすと予想されたため実験地盤条件は表-2に示す2種類とした。

また、2種類のカッタビット高さをを用い円形シールドで比較模型実験を行ったがカッタトルクへの影響はなかった。

表-1 予想されるMFシールドと円形シールドとの相違点

相 違 点	円形シールドと比較した予想現象	施工時の具体的現象
掘削断面形状	地山のアーチ効果が減少する 	① 部地山の崩落による土砂の過剰とり込み ② ゆるみ領域の拡大 ③ 土圧のアンバランスによる蛇行力の発生
掘削時間のズレ	先行掘削の影響を受ける。 	① 偏土圧の作用 ② 土圧のアンバランスによる蛇行力の発生

模型実験(円形シールド) 模型実験(MFシールド)

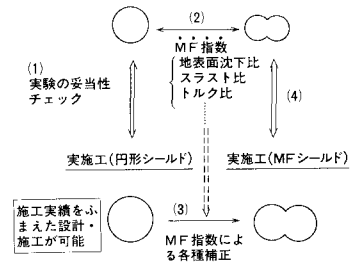


図-1 実験結果の評価法

表-2 地盤条件

	軟地盤	硬地盤
湿潤密度 γ_t (g/f/cm ³)	1.61	1.71
乾燥密度 γ_d (g/f/cm ³)	1.46	1.57
含水比 w (%)	10.0	9.0
間隙比 e	0.80	0.68
飽和度 S_r (%)	34.4	34.9
コーン指数 q_c (kgf/cm ²) (シールド掘削断面位置)	10~30	100~130

(各土質データはシールド天端(深さ1m)位置の測定値)

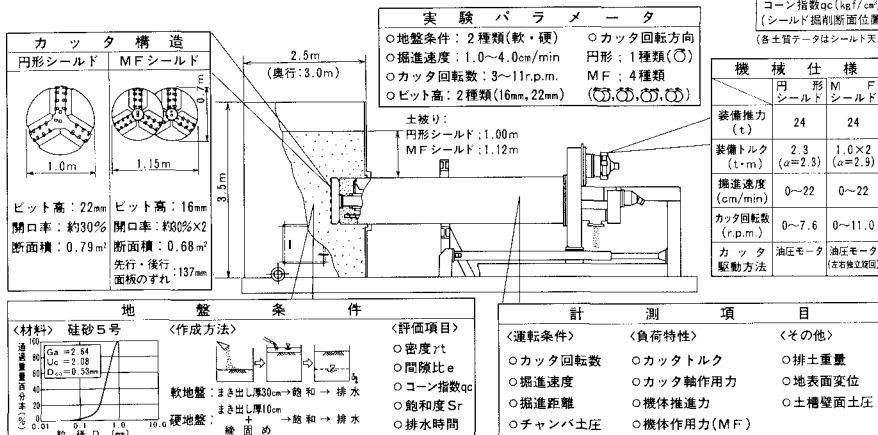


図-2 実験概要

3. 実験結果

カッタトルク（ T ）についての実験結果をまとめると次の様になる。

(i) 基本特性

負荷特性の代表値であるカッタトルクは掘進条件（掘進速度 V 、カッタ回転数 f ）・地盤の硬軟により影響を受ける。（図-3・4）

$T \sim V/f$ 関係は硬地盤においては強い線形相関性が認められるが軟地盤でかつ V/f が小さくなると切羽の自立性が確保しにくい状態となりバラツキが多くなり明瞭な相関性は認められなくなる。

また、MFシールド模型実験においてカッタ回転方向・前後カッタの回転数差の影響（先行・後行カッタの相互干渉作用）を実験したが上記傾向は変わらなかった。

これによりMFシールドにおいては切羽が安定的であれば先行・後行それぞれのカッタが相互干渉無しに独立的に挙動することが推察される。

(ii) 円形シールドとの比較

トルクに関するMF指数を図-3・4の $T \sim V/f$ 直線回帰式より求めると、図-5となる。実機シールドの設計用トルク算定経験式 $T = \alpha D^3$ （ α ：工法別係数 D ：シールド直径）を用いて計算されるMF指数と比較して実験データは地盤にかかわらず小さな値であり、MFシールドの断面形状による悪影響はないものと推察できる。

(iii) 先行・後行カッタのトルク比

MFシールドの先行・後行カッタのトルク分担率は運転条件・地盤の硬軟の影響を受ける。 V/f が大きくなる（押しつけぎみの運転条件）と先行カッタにトルクが集中し、逆に V/f が小さくなると先行・後行カッタのトルクが均等化する傾向が認められ、特に軟地盤においてその傾向が顕著である。（図-6）

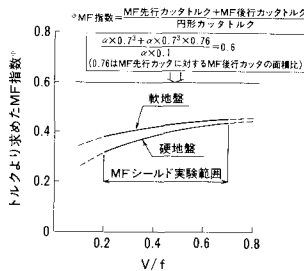


図-5 トルクより求めたMF指数 $\sim V/f$ の関係

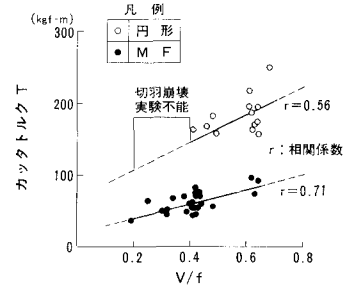


図-3 カッタトルク $T \sim V/f$ の関係（軟地盤）

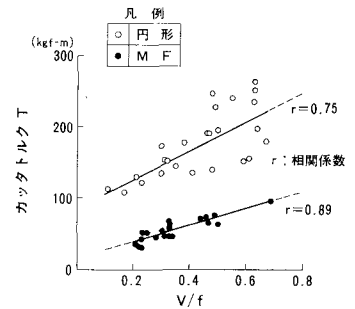


図-4 カッタトルク $T \sim V/f$ の関係（硬地盤）

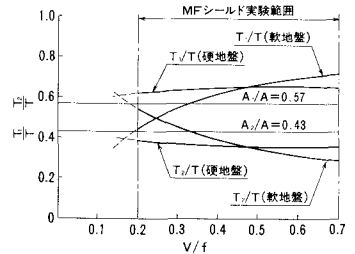


図-6 T_1/T , $T_2/T \sim V/f$ の関係
注) T_1 : 先行カッタトルク A_1 : 先行部断面積
 T_2 : 後行カッタトルク A_2 : 後行部断面積
 T : $T = T_1 + T_2$ A : $A = A_1 + A_2$

4. まとめ

模型実験から推察されるMFシールドのカッタトルク特性を総括的に述べると次のようになる。

- ① カッタトルク等の負荷特性は運転条件・地盤の硬軟に影響される。また、安定的な運転条件下では先行・後行カッタが相互干渉無しに独立的に挙動する。さらに、複線等価断面円形シールドと比べて負荷特性は有利であり、先行・後行カッタは基本的に従来の円形シールドの設計法を踏襲してよいものと考えられる。
- ② 先行・後行カッタのトルク等の分担率も運転条件・地盤の硬軟に影響され、場合によっては後行カッタのトルクが大きくなることも考えられる。このことから、先行・後行カッタの能力は同程度としておく必要があると推察される。

5. 謝辞：本実験にあたり、ご指導をいただいた東京大学西松裕一教授・小長井一男助教授・杉本光隆助手に感謝の意を表します。

参考文献：1) 松本嘉司：マルチフェイスシールドトンネル，SUBWAY，日本地下鉄協会報第45号，1987年5月