

III-52

多円形断面シールド（MFシールド）の模型実験 その6

—— 姿勢制御性について ——

東京理科大学 松本 嘉司

（株）熊谷組 新井 時夫・岸 研司・喜多 信仁

三菱重工業㈱ 大石 善啓・森 輝幸

1. はじめに

MFシールドの掘削特性を
 解明する目的で模型実験を
 実施した¹⁾。本文においては姿
 勢制御性に関する結果につ
 いて報告する。

2. 要因の分類

シールドの不つり合いモー
 メントは、ヨーイングモーメ
 ント M_y 、ピッチングモーメ
 ント M_p 、ローリングモーメ
 ント M_r である。これらシ

ールドの蛇行を支配する不つり合いモーメントは、カッタ
 ートルク、カッターへの作用力、周面摩擦、シールドの
 自重などによって生ずる。表-1は、不つり合いモーメ
 ント算定において考慮すべき要因を整理したものである。
 図-1に一例として上部先行縦型MFシールドの不つり
 合いモーメントの計算式を示す。

3. 実験結果

不つり合いモーメントを発生させる要因に関する実験

結果を以下に述べる。なお、シールドの自重によるモー
 メントは、計算によって求まるが、実機では同一径のシールドでも異なる値
 をとるため、実験の評価から除外した。

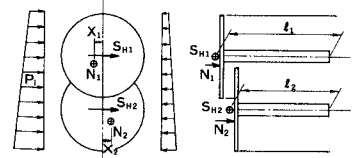
- ① 面外荷重（カッター軸力）：軸力 N はいずれのシールド型式においても、
 カッタートルク T との間に良い線形相関性が認められた（表-2）¹⁾。
- ② 面内荷重（面内せん断力）：面内せん断力は鉛直方向成分 S_v と水平方
 向成分 S_H とに分けた。横型MFシールドの後行カッターにおいて、 S_v
 と T との間に線形相関性が認められたが、他は T にかかわらず S_v はほぼ
 0であった。 S_H はいずれのシールド型式においても T との間に良い線形
 相関性が認められた（表-3）¹⁾。
- ③ 周面摩擦：周面摩擦力がスキンプレート全体に一樣に作用しているもの
 とし、推進力の平均増加量から、スキンプレートの前後ずれ部の摩擦力に
 よる不つり合いモーメントを求めた。

以上の結果から発生する不つり合いモーメントを表-4に示す。同表の
 T_c 、 T_F 、 T_R にカッター回転方向による符号を考慮したカッタートルク

表-1 不つり合いモーメント算定
 において考慮すべき要因

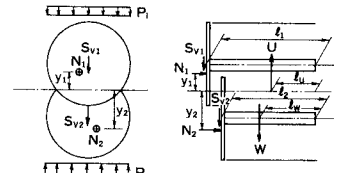
シールド型式	要因	横型MF	縦型MF	円形
ヨーイングモーメント	面外摩擦	△	○	△
	面外荷重	△	○	△
	面内荷重	○	○	○
ピッチングモーメント	設置アンバランス	□	□	□
	周面摩擦	○	△	△
	面外荷重	○	△	△
ローリングモーメント	面内荷重	×	○	×
	カッタートルク	○	○	○
	傾倒	△	△	×

○：考慮すべき要因。実験結果も適用。
 □：考慮すべき要因。今回の検討では考慮せず。
 △：考慮すべき要因となる可能性がある要因。
 ×：考慮不要な要因。



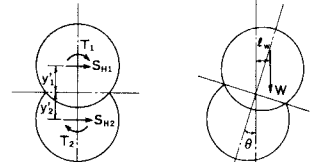
$$M_y = \sum X_i' \times P_i \times X_i + \sum N_i \times X_i + \sum S_{vi} \times l_i$$

(a) ヨーイングモーメント M_y



$$M_p = W \times l_w - \sum U_i \times l_i + \sum P_i \times y_i + \sum N_i \times y_i + \sum S_{vi} \times l_i$$

(b) ピッチングモーメント M_p



$$M_r = \sum S_{vi} \times y_i + \sum T_i + W \times l_w$$

（但し、 y_i はローリング回転中心
 からカッター軸までの距離）

(c) ローリングモーメント M_r

図-1 不つり合いモーメント要因分類（上部先行縦型MFシールド）

表-2 N回帰結果

シールド型式	回帰式	相関係数
円形	$N = 2.17T + 521$	0.66
横型MF	先行カッター $N = 3.7T + 76$	0.64
	後行カッター $N = 7.1T - 14$	0.74
上部先行縦型MF	先行カッター $N = 6.7T + 52$	0.68
	後行カッター $N = 4.7T + 142$	0.95
下部先行縦型MF	先行カッター $N = 3.7T + 111$	0.67
	後行カッター $N = 6.7T + 51$	0.70

表-3 S_H 回帰結果

シールド型式	回帰式	相関係数
円形	$S_H = 1.71T$	0.96
横型MF	先行カッター $S_H = 2.40T_F$	0.96
	後行カッター $S_H = 1.80T_R$	0.98
上部先行縦型MF	先行カッター $S_H = 2.46T_F$	0.99
	後行カッター $S_H = 3.22T_R$	0.99
下部先行縦型MF	先行カッター $S_H = 2.46T_F$	0.99
	後行カッター $S_H = -1.67T_R$	0.97

（右回転を正、左回転を負）

表-4 機体に作用する不つり合いモーメント整理結果一覧表 (単位: kgf・m)

を代入することにより、各不
つり合いモーメントの大きさ
および方向を求めることがで
きる。

4. 不つり合いモーメントの 試算

MFシールドは個々のカッ
ターの回転数を独立に制御す
ることができる。そこで、先
行カッターと後行カッターの
回転数 (f_F , f_R) が同一の
場合 ($f_F = f_R$) および回転数に差を与えた場合 ($f_F \neq f_R$) について、各不つり合いモーメントが
どのような範囲をとり得るのかを求めた。ただし、実験結果より表-4の式の T_F と T_R は独立に取り扱
うことができ、また、カッタートルクは、下記の値とした。

円形シールドカッター: $125 \leq T_c \leq 250$ (kgf・m)

MFシールド先行カッター: $15 \leq T_F \leq 70$ (kgf・m)

MFシールド後行カッター: $5 \leq T_R \leq 50$ (kgf・m)

計算結果を図

-2に示す。M
FシールドのM
yおよびMrの
方向と大きさは、
シールドの型式
にかかわらずカ
ッターの回転方
向により異なり
広範囲な値をと
り得ることがわ
かる。また、M
pは、横型MF
シールドでは、
ほぼ0であり、

要因	シールド型式	円形	横型 MF	縦型 MF	
				上部先行型	下部先行型
ヨーイング モーメント	①周面摩擦	0	49.7	0	0
	②面外荷重	0	$M_y = 0.70 T_F - 1.58 T_R + 20.5$	0	0
	③面内荷重	$M_y = 1.57T_c$	$M_y = 2.21T_F + 1.41T_R$	$M_y = 2.26T_F + 2.52T_R$	$M_y = -1.30T_R + 2.26T_F$
	①+②+③	$M_y = 1.57T_c$	$M_y = 0.70 T_F - 1.58 T_R + 2.21T_F + 1.41T_R + 70.2$	$M_y = 2.26T_F + 2.52T_R$	$M_y = -1.30T_R + 2.26T_F$
ピッチ モーメント	④周面摩擦	0	0	37.6	-41.2
	⑤面外荷重	0	0	$M_p = 1.3 T_F - 0.9 T_R - 20.2$	$M_p = 1.8 T_R - 0.7 T_F - 13.5$
	⑥面内荷重	0	$M_p = -0.33T_R$	0	0
	④+⑤+⑥	0	$M_p = -0.33T_R$	$M_p = 1.3 T_F - 0.9 T_R + 17.4$	$M_p = 1.8 T_R - 0.7 T_F - 68.7$
ローリング モーメント	⑦面内水平力	0	$M_r = -0.09T_c$	$M_r = 0.55T_F - 0.72T_R$	$M_r = -0.37T_R - 0.55T_F$
	⑧カッタートルク	$M_r = -T_c$	$M_r = -T_F - T_R$	$M_r = -T_F - T_R$	$M_r = -T_R - T_F$
	⑦+⑧	$M_r = -T_c$	$M_r = -T_F - 1.09T_R$	$M_r = -0.45T_F - 1.72T_R$	$M_r = -1.37T_R - 1.55T_F$

T_c : 円形カッタートルク, T_F : MF先行カッタートルク, T_R : MF後行カッタートルク
面外荷重の合力の作用位置はカッター軸中心とした (実験にて偏心量が小さいことを確認)

凡例

●	$f_F = f_R$ における 最大値, 最小値
○	$f_F \neq f_R$ または $f_F = f_R$ における範囲

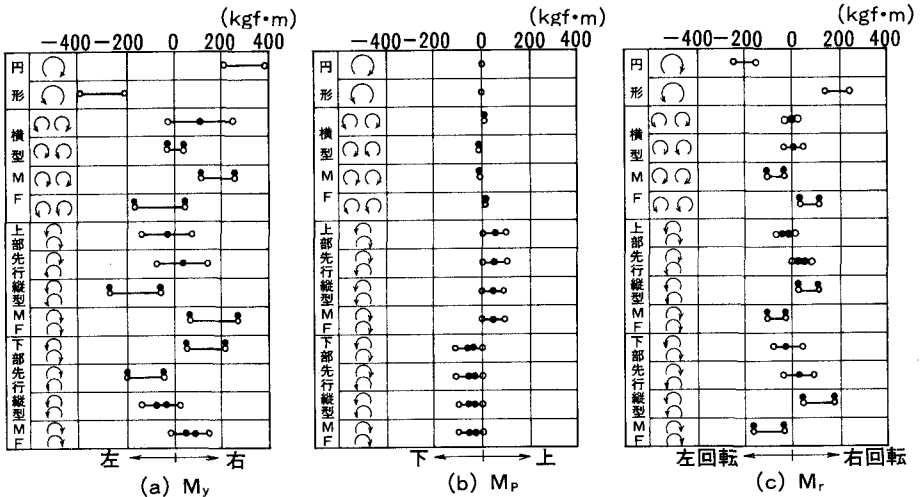


図-2 不つり合いモーメントの計算結果

縦型MFシールドでは上部先行型が上方向、下部先行型が下方向となっているが、カッターの回転数に差
を与えることにより小さくできることがわかる。これらのことより、MFシールドは、例えば直線区内で
は不つり合いモーメントを小さくし、逆に曲線区内では M_y をその方向を考慮して発生させることができる。

5. まとめ

多円形断面シールド (MFシールド) の模型実験結果から、不つり合いモーメントとカッタートルクの
関係を整理し、不つり合いモーメントを試算した。その結果、MFシールドはカッターの回転方向や回転
数を選択することにより、広範囲な不つり合いモーメントを得ることができ、姿勢制御性に関して円形シ
ールドに比べ機動性に優れていることがわかった。

<参考文献> 1) 松本嘉司他: 多円形断面シールド (MFシールド) の模型実験 その3, 4, 土木学会第44回年次学術講演会, 1989年10月