

III-644

多連マルチフェイスシールド掘進機の位置・姿勢制御に関する研究

日立造船(株) 技術研究所 正会員 清水 賀之
 日立造船(株) 建機設計部 西田 昭二
 日立造船(株) 技術研究所 鈴木 基光

1. はじめに

近年のシールドトンネル工事では、施工精度の向上と施工期間の短縮を目的とした効率的な機械が望まれている。マルチフェイス（MF）シールドをはじめとする多円形シールド掘進機は、目的とするトンネル断面を効率的に建設できることからその施工件数が増えてきている。横二連MFシールドは複線の地下鉄トンネルに、また三連MFシールドは地下鉄駅部に、さらにまた縦二連MFシールドは地下高速道路あるいは地下駐車場などの建設を目的として使用される。

このMFシールドは、前後に複数の掘削面板をもつという構造上、機械の形状が従来の単円形シールドと異なり、機械に作用する外力ならびにその外力によっておこる機械の位置と角度の変化の仕方も単円形シールドと異なってくる。著者らは、横二連MF、縦二連MFあるいは単円形シールドについて、それぞれの機械に作用する力と位置と角度の変化について、模型実験ならびに実機データを解析することによりその特性を把握した。本研究は、これらの研究をもとに、MFシールドの位置・姿勢変化特性ならびにその制御アルゴリズムを検討したものである。

2. MFシールドの位置・姿勢変化特性

表1は、単円形、二連MF、三連MFシールドについて掘進中に地山から機械に作用する外力によって発生する旋回モーメントを比較して示したものである。

表1 掘進中に機械に作用する旋回モーメント

		ローリング				ピッチング				ヨーイング			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
カット 面 板	スラスト	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-
	トルク	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
	接線 方向力	-	○	○	○	-	○	-	○	-	-	○	-
外周部	摩擦力	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-

1. 単円形 2. 横二連MF 3. 縦二連MF 4. 三連MF

MFシールドの場合には、前後に面板が重なっているという構造上、地山のゆるみが起こったり切削不要部分が存在するため、たとえ硬さ分布が同じ地山であっても面板に不釣合力が発生し、機械の角度を変化させようとするモーメントが発生することになる。とくに二連MFシールドでは、機械の幾何学的な非対称性

により、面板の掘削反力と摩擦力から不釣合モーメントが発生し、機械の角度を変化させる力となる。またMFシールドの場合には、単円形シールドと異なり、機械の回転運動の中心が面板の回転軸上にないため、掘削トルクのほかに回転軸に垂直な面内に作用する掘削反力がモーメントとして作用する。

図1は、ヨーイングとピッチング方向についての機械の旋回性能の考え方を示したものである。地山の変形により発生する機械外周部の抵抗モーメントMRは、ほぼ式(1)で与えられる。

$$MR = \frac{K L^4 D}{24} \frac{d\theta_i}{dz} \quad (1)$$

ここにL, Dは機械の長さ、外径を、Kは地盤反力係数を、また $d\theta_i/dz$ （添字 i は、y または p をとり、y はヨーイング方向、p はピッチング方向をあらわす。）は単位掘進距離

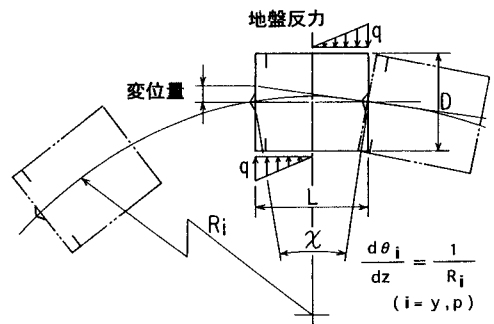


図1 シールドの旋回性能
（ヨーイング、ピッチング方向）

あたりの角度の変化をあらわす。

この抵抗モーメント M_R が、推進用油圧シリンダによって発生する旋回モーメントあるいは掘進中に地山から受ける外力により発生する旋回モーメントと等しくなりながら、機械は角度変化していく。

図2は、三連MFシールドのローリング角変化特性を概念的に示したものである。三連MFシールドがローリングモーメントを受けた場合の地山の变形による抵抗モーメントはほぼ式(2)で与えられる。

$$M_R = 2 K L^2 L_1^2 L_2 \frac{d\theta_r}{dz} \quad (2)$$

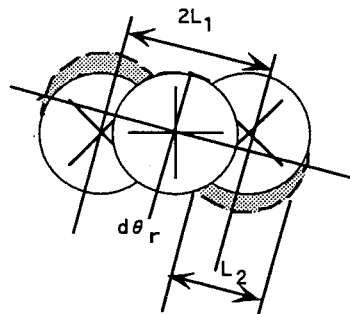


図2 三連MFシールドの旋回性能
(ローリング方向)

ここに $d\theta_r/dz$ は単位掘進距離あたりのローリング角の変化をあらわす。

図3は、縦二連MFシールドの模型実験でローリング方向について、面板に作用する掘削反力により発生するモーメント M_r と単位掘進距離あたりの角度の変化 $d\theta_r/dz$ の関係を示したものである。模型に作用するモーメント M_r と単位掘進距離あたりの角度の変化 $d\theta_r/dz$ は正の相関がある。これは、ヨーイングおよびピッチング方向の機械の角度変化特性と同じである。

3. MFシールドの位置・姿勢制御手法

図4は、MFシールドの位置・姿勢制御システムの概念を示したものである。ヨーイングおよびピッチング方向については、従来の単円形シールドのアルゴリズムと同様である。ただしMFシールドでは、面板に作用する掘削反力によって旋回モーメントが発生するので、その項を補助的な制御手段として使うことが有効である。また単円形シールドと異なり、ヨーイング方向とピッチング方向で、地山から受ける抵抗モーメントが異なるため、制御システムのパラメータが異なってくる。ローリング角制御については、図3に示す角度変化特性からフィードバックゲインを求めることができる。ローリング角を制御するためのローリングモーメントの発生手段としては、回転パターンの組み合わせによる方法が有効であると考えられる。

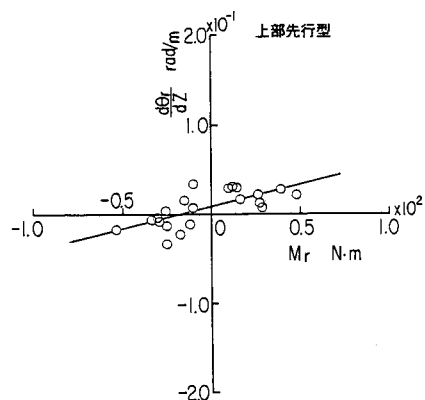


図3 M_r と $d\theta_r/dz$ の関係

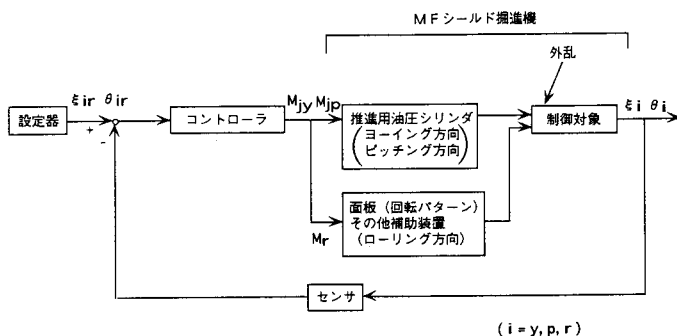


図4 MFシールドの位置・姿勢制御システム

4. まとめ

横二連、縦二連あるいは単円形シールドの模型実験ならびに実機データを解析することにより、多連MFシールドの位置・姿勢変化特性ならびにその制御アルゴリズムを検討した。実機では、制御手段すなわち操作量として他に、例えば可動そりなどの補助装置が考えられる。また、機械の製作精度によっても機械の運動特性は変化する。これらについて今後検討を重ね、多連MFシールドの位置・姿勢制御システムの高度化をはかっていく予定である。