

リングシールド工法の開発（その16）

—シールド機動力学解析の基礎検討—

三菱重工業（株）大川賢紀　（株）錢高組　正会員 井田隆久
住友建設（株）桑原秀樹　東急建設（株）正会員 浅上祐司

1. はじめに

シールド工法における切羽安定性、姿勢制御性、負荷特性などに関する設計／施工上の不明点を解明するためのアプローチ法としては、要素実験、シミュレーション解析などが挙げられる。リングトンネル工法の開発研究¹⁾では縮尺模型による全断面及びリングシールドを比較して模型掘削実験を実施したが、機械～地盤系の模型実験では、相似則上の問題が存在するとともにパラメトリックな検討に限界がある。そこで、汎用的な動力学解析コードを用いたシールド掘削機のシミュレーションを実施し、その適用性の検討を行なった。

2. 計算概要

模型掘削実験を実施し、直進及びヨーイング時のカッタートルク、機体作用力、ジャッキ力等を検討し、以下の要領で解析モデルを構築した。解析条件は表1に示す。カッター前面に作用する土圧分布は図1に示す台形分布とし、地盤～機体間には圧縮：線形、引張り：リリースの非線形ばねを適用し、ばね定数は実験データをもとに設定した。機体周面の半径方向の土圧を P_r 、土と機体周面との摩擦係数は $\mu = 0.3$ 、カッタ一面での摩擦係数は $\mu' = \tan \phi$ としたとき、切羽土圧によるスラスト力 F_s 、機体周面摩擦力 F_f 、カッタートルク T_c 、カッター回転時に生じる不釣り合い力 F_h は次式で与えられる。ただし、砂質地盤のため、摩擦力 τ は付着力を考慮していない。

$$F_s = \oint P dA \quad (1) \quad F_f = \mu \oint LP_r dA \quad (2)$$

$$T_c = \oint \tau dA \quad (3) \quad F_h = \oint \tau \sin \theta dA \quad (4)$$

次に側方土圧係数 K を設定する必要があるが、ここでは(3)式、(4)式からカッタートルクと水平力がともに実験値（全断面）を満足するように図1の側方土圧係数 K' 及び土圧 P_1 を求めた。その結果を図2(a)に示すとともに、等価な側方土圧係数 K_{eq} を図2(b)に示す。同図より、実験の土圧分布はカッター上面で主働土圧側、下面で受働土圧側と推定される。また、リングシールド実機解析を行なう際には泥水補正を全断面実機実績に基づいて行なった。動力学モデルの構成及びアニメーションモデルを図3及び図4に示す。

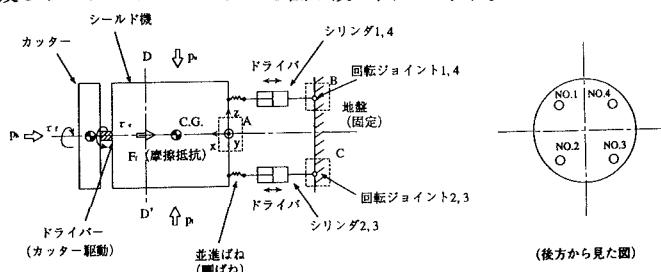


図3 解析モデルの構成

	記号	単位	実験	実機
土の単位体積重量	γ	t/m ³	1.6	1.6
相対密度	D_r	%	93.5	—
土の内部摩擦角	ϕ	deg	41	41
側方土圧係数	K	—	図2 (b)	0.34
地盤反力係数	k	t/m ³	6000	3000
土被り	H	m	1.35	14.78

表1 解析条件

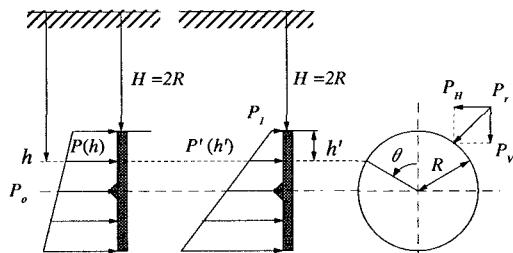


図1 切羽全面に作用する土圧分布

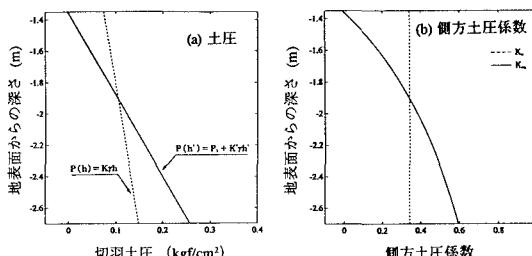


図2 土圧分布の評価

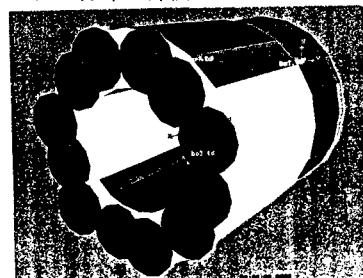


図4 アニメーションモデル

3. 結果

図5に実験モデル(全断面、リングシールド)の直進時のジャッキ推力分布を比較して示す。同図より、全断面シールドは機体左右に位置するジャッキ力がアンバランスであるが、これはカッターレバー回転時に生じる不釣り合い力をジャッキで負担してバランスさせているためである。しかし、実機では泥水圧をコントロールできるので、このアンバランスを低減することは可能であると考えられる。また、図6に機体にヨーイング角を与えた場合にジャッキで負担するヨーイングモーメントを実験データと比較して示す。同図より、実験では側方の地盤反力が支配的であるため、工法の差は認められなかったと言える。

次に、実機リングシールドについて、図7に機体直進時の推力分布及び図8にヨーイング角を与えた場合のジャッキで負担するモーメントを逆動力学解析により求めた例である。このように、掘進による推力分布の変化や姿勢制御時のモーメント変化を時系列で求めることができる。

4.まとめ

以上より、汎用の動力学解析コードを用いて、シールド機掘進時の動的挙動を把握するツールとしての適用性を検討した。その結果、時系列で機体挙動を予測でき、逆動力学解析による機体作用力の評価も可能である見通しを得た。今後、地盤～機体間のモーメント精度向上を図る予定である。

最後に、本研究を遂行するにあたり御助言賜った早稲田大学小泉淳教授に深甚なる謝意を表する。なお、本研究はリングシールド工法研究会〔五洋建設(株)、住友建設(株)、(株)錢高組、東急建設(株)、日本国土開発(株)、不動建設(株)、住友金属工業(株)、三菱重工業(株)〕の共同研究の一部として実施した。

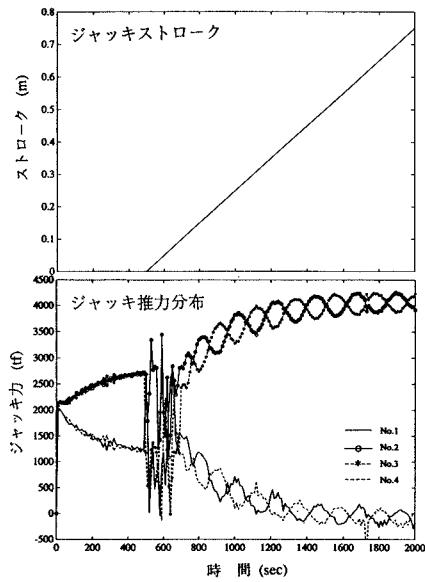


図7 実機解析結果(直進)

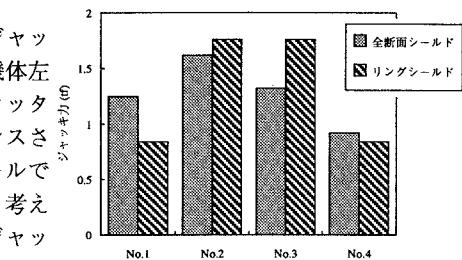


図5 推力分布(直進時)

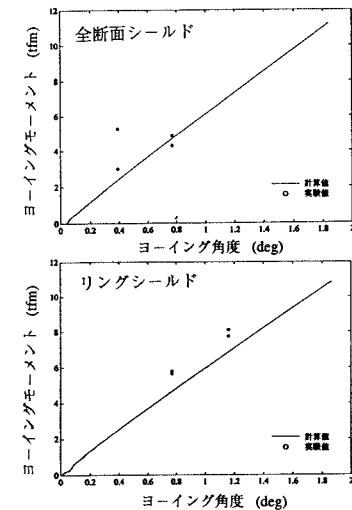


図6 ヨーイングモーメント

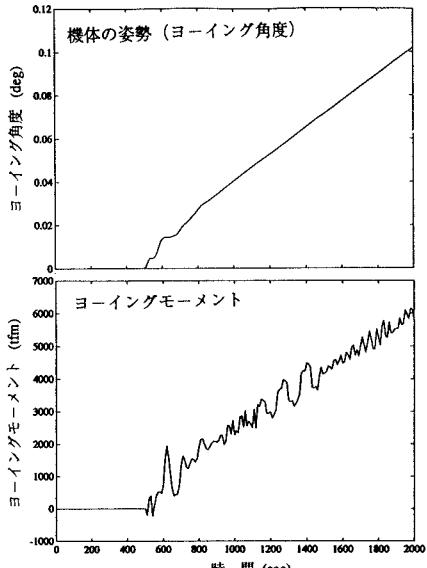


図8 実機解析結果(ヨーイング)

<参考文献>

- 1) リングシールド工法の開発(その1~13) 土木学会第48~51回年次学術講演会概要集(一部投稿中)