

Ⅲ-663

シールドマシンと地山の摩擦を考慮した地盤変状予測

－実験結果を利用した3次元FEM解析－

首都高速道路公団 正会員 松下雅行
 日本シールドエンジニアリング 正会員 白井孝典
 日本シールドエンジニアリング 正会員 野口利雄

1. はじめに

大断面・小土被りのシールドトンネルの施工では、従来あまり問題とされていなかったシールドマシンと地山との摩擦による地山の引き擦りが考えられる。以前に、地山の引き擦り問題に関して、多様な土質状態を再現しながら推進模型実験を実施し、成果を得た¹⁾²⁾。本報告は、地山とマシンの摩擦によって発生する地盤変状を解析で表現し、実機の場合の地盤変状予測を行うものである。

2. 解析条件

解析手法は、有限要素法を用い、3次元半断面モデルにより計算を行った。解析ケースを表-1に、解析に用いた物性値を表-2に示す。表中のDはマシン外径を示す。

表-1 解析ケース

解析No.	実験No.	土被り比	管表面粗度	摩擦係数	側圧係数	摩擦縁長さ(mm)	最大推進力(kgf)
①	4	0.5D	#120	0.76	2.55	2.50	3366
②	6	0.5D	#800	0.56	2.00	3.85	3152
③	実機	0.73D	無し	0.18	0.43	75.00	

表-2 解析に用いた物性値

解析No.	項目	弾性係数(kgf/cm ²)	ポアソン比	γt (t/m ³)
①	実験地山4	118	0.3	1.867
②	実験地山6	118	0.3	1.944
③	沖積層	50	0.4	1.500
	上部東京層(礫層)	550	0.3	2.000
	上部東京層(砂層)	400	0.3	1.900
	下部東京層(砂層)	800	0.3	1.900
	下部東京層(粘性土)	850	0.3	1.900
シールドマシン		2100000	0.3	

実験を対象とした解析モデルを図-1、実機を対象としたモデルを図-2に示す。解析モデルは地山部分とマシン部分から構成される。実験を対象とした図-1のモデルは、約4000節点、約800要素である。模型実験状態を再現しているため、トンネル軸方向全体にマシンモデルが入っている。マシンモデルの外径は、50.8cmである。実機を対象とした図-2のモデルは、約7000節点、約2800要素である。マシンモデルの外径は、14.36mである。

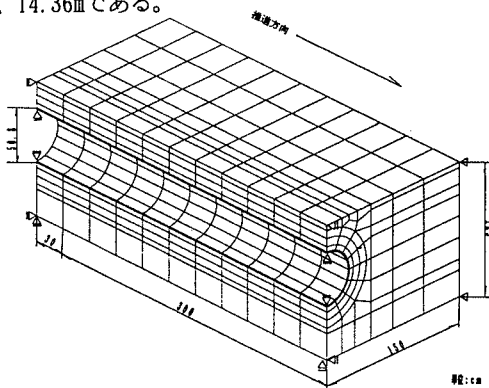


図-1 解析モデル（ケース①、②）

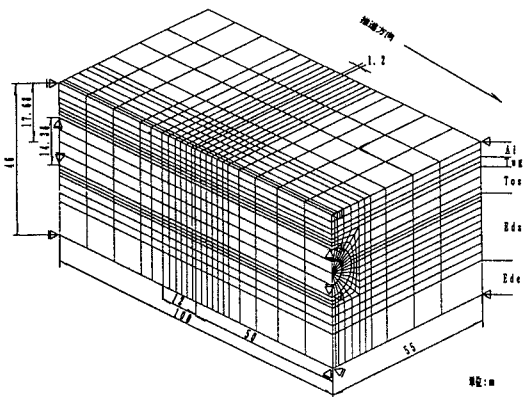


図-2 解析モデル（ケース③）

両者ともに、地山とマシンの間には、図-3に示すバネ要素が組み込まれている。マシンと地山は、バネ要素を介して力の伝達が行われる。このバネは、地山とマシンとの水平方向の相対変位がある値 $\delta e0$ になると、バネ力が一定値 F_{max} となる非線形のパネである。 $\delta e0$ は実験結果より得られ、 F_{max} は鉛直抗力にマシンと地山との摩擦係数を乗じることにより求められる²⁾。

3. 解析結果

荷重条件としてマシンモデルに強制変位を与えて、解析を行った。また、実機解析では、セグメント1リング分の幅(1.2m)の強制変位をマシンモデルに与える。このとき発生した地表面水平変位を重ね合わせて、マシンが影響範囲を通過するまでに地盤に与える最終的な変位を求めた。

実機解析に対する縦断方向の地盤変形状態を図-4に、解析ケース①、②における変位の経時変化を図-5に示す。また、各解析ケースのシールド軸方向の地表面水平変位量の解析結果を表-3に示す。変位の比較は、シールド直上部に相当する地表面で行っている。解析では鉛直方向の変位はほとんど生じていない。マシン掘進時の地山の引き擦りは、地盤の水平方向に影響を与える結果となっている。シールド軸方向の地表面水平変位については、実験値と解析値はほぼ一致している。

実機については、1回の掘進によって発生するシールド軸方向の地表面水平変位量は、シールド推進方向に0.37mm、最終変位量が約17mmである。この値は、地盤の剛性、シールド機の規模、土被りなどから判断して、妥当な値であると考えられる。

表-3 地表面軸方向水平変位量（シールド直上部）

解析No.	実験結果(mm)	3次元解析(mm)
①	1.7	1.22
②	0.9	0.96
③		17.08(0.37)

*括弧内はセグメント幅分掘進時の変位量、括弧外が最終変位量。

4. 考察・まとめ

解析結果より、以下のことが判明した。

- ①バネモデルにより、地盤とシールドマシンとの間の摩擦の表現をした。地表面水平変位については、実験値と解析値ではほぼ一致した。
- ②摩擦係数が小さいと地表面変位量が少なくなる傾向を示す。
- ③この手法を用いて、実機解析を行うと、シールド軸方向に約17mmの地表面水平変位が発生する。

参考文献

- 1) 松下・小森・白井：シールドマシンと地山の摩擦実験に関する模型実験，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集Ⅲ，pp.1328～1329，1994年9月
- 2) 首都高速道路公団・日本シールドエンジニアリング：平成5年度 中央環状新宿線シールド掘進模型実験報告書

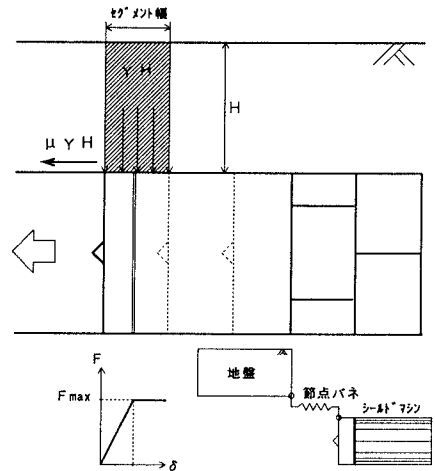


図-3 摩擦モデル

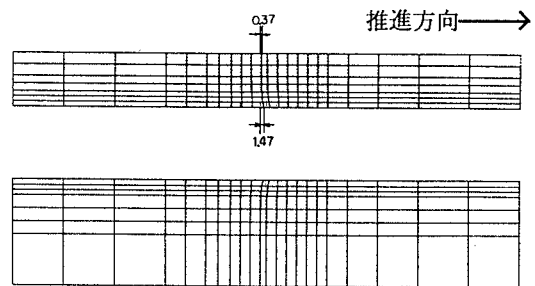


図-4 解析結果（実機・縦断方向）

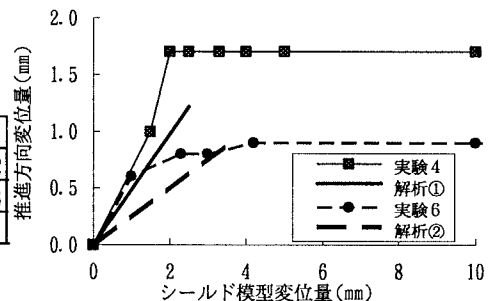


図-5 地表面変位の経時変化（実験・解析の比較）