

シールドマシンと地山の摩擦に関する模型実験

首都高速道路公団 正会員 松下 雅行
同 上 正会員 小森 和男
日本シールドエンジニアリング 正会員 白井 孝典

1. 目的

大断面・小土被りのシールドトンネルの施工では、シールド通過に伴い、小土被りに起因して、マシンと地山との摩擦による周辺地山の引きずりが懸念される。

本実験は、従来あまり問題とされていなかった、このような大断面・小土被りのシールドトンネルと周辺地山との摩擦に着目し、マシンと地山の摩擦係数、土被り比、地下水の有無及び土質をパラメータとして、地表面及び周辺地盤への影響を調べるために行ったものである。

2. 実験概要

想定しているシールドトンネルの外径は約15mであり、実験規模を考慮して実験供試体は1/30のモデル（ ϕ 500mm）とした。実験土槽の大きさは、模型シールドと土槽壁面との間隔を2D以上あけることとし、幅3000×長さ3000×深さ2500mmとした。実験装置の概略図を図-1に示す。

実験ケースは、表-1に示すように、①土被り比の違いによる影響②地下水の有無③管表面の粗さ（摩擦係数）の違いによる影響④土の違いによる影響⑤再現性⑥破壊形態を確認するための19ケースを行った。

使用した土質材料は表-2に示すものであり、また管表面の粗さの違いは、管表面にサンドペーパーを貼ることで表現した。それぞれの管表面の摩擦係数は、一面せん断試験機を改良した装置により測定した。その結果を表-3に示す。模型シールドの掘進はスクリージャッキを用いた変位制御とし、掘進速度は現状で制御可能な5mm/minとした。

3. 計測項目

計測項目及び計測位置の代表例をそれぞれ表-4及び図-2に示す。模型シールドのひずみ測定には半導体ゲージを用いた。また、地中変位測定には事前に曲げ曲率とひずみの関係を検定し、両面にひずみゲージを貼り付けたリン青銅板を地中に埋め込み、そのひずみより地中変位を求めることとした。なお、リン青銅板の端部（土槽壁面側）を不動点と仮定して、変位を求めた。

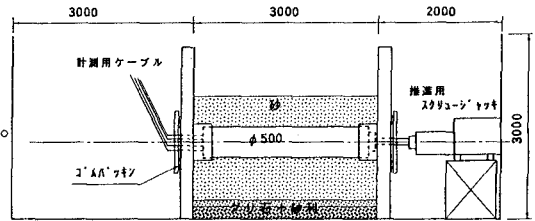


図-1 実験装置概略図

表-1 実験ケース一覧表

地盤の種類	ケース	土被り比			地下水		管表面粗さ			
		0.5	1	1.5	有	無	120	800	極粗	無
砂質土 締固め密	1	○			○		○			
	2		○		○		○			
	3			○	○		○			
	6	○			○			○		
	7		○		○			○		
	8			○	○				○	
	9	○			○					○
	10			○	○					○
	11	○			○				○	
	12	○				○				○
	13	○				○	○			
砂質土 締固め粗	4	○			○					
	5	○			○		○			
	14	○			○					○
砂・中粗 粘性土	15		○		○					○
	16			○	○					○
	17				○		○			
	18	○					○			
	19	○					○			

表-2 使用した土質材料

	$\gamma d(t/m^3)$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	備考
砂・密	1.7	0	36.7	鬼怒川砂
砂・粗	1.4	0	27.5	均等係数
砂・中粗	1.6	0		$U_c=5.64$
粘性土		1		ベントナイト
		3		セメント混合物

表-3 管表面摩擦係数

管表面	摩擦係数
無加工	0.22
#800	0.61
#120	0.74

表-4 計測項目

計測項目	計測数
推力	1
推進量	1
模型シールドひずみ	8
土圧	12
水圧	2
地表面変位	3
地中鉛直変位	12
地中水平変位	3

4. 実験結果

模型シールド推進量と推進荷重の関係の一例を図-3に示す。これは管周面にサンドペーパー＃120（摩擦係数0.74）を貼り付けたもので、土被り比0.5Dのものである。図より明らかなように、推進開始直後に荷重が増加し、推進量約2.5mmで尖ったピークを示している。その後すぐに荷重が減少し、推進量が40～50mm程度ではば一定になっている。このピークまでが模型シールドと地山の静摩擦領域と考えられる。他のケースにおいては、尖ったピークを示さないものもあったが、次第に荷重が減少してはば一定の値に収束する傾向は同じであった。

次に、推進量と地表面水平変位（模型シールド推進方向変位）の関係の一例を図-4に示す。これは図-3と同一実験の結果である。水平変位は推進開始直後に約1.7mm変位し、その後一定となっている。この変位が一定となる位置は、前述の推進荷重のピーク位置とほぼ一致しており、地表面変位は、推進荷重のピーク（静摩擦領域）まででそのほとんどが発生していることがわかる。これらの傾向は、他のケースについても同様であった。

図-5に、管表面の粗さの違いと地表面水平変位との関係を示す。模型シールドの表面摩擦が小さいほど、変位も小さくなる傾向がみられる。

図-6には、土被り比の違いと地表面水平変位（模型シールド推進方向変位）との関係を示す。土被り比が小さくなる程、変位が大きくなっている。その差は、締め固めが粗な砂ほど顕著である。

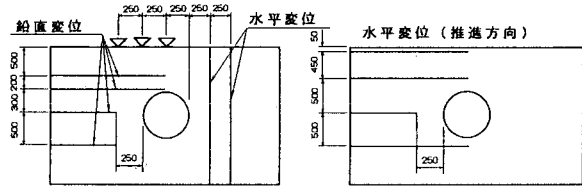


図-2 地中変位計測位置の例（土被り1.5Dの場合）

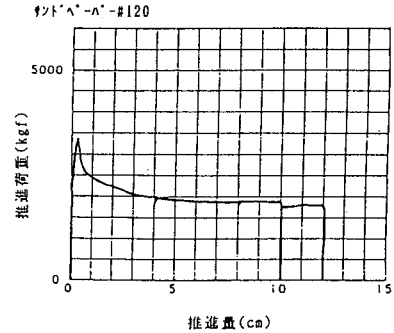


図-3 模型シールドの推進量と推進荷重の関係

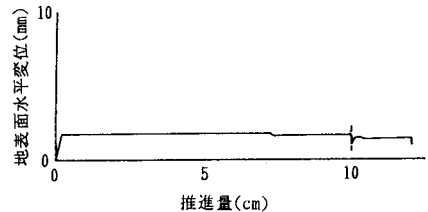


図-4 推進量と地表面水平変位の関係：推進方向（サンドペーパー＃120）

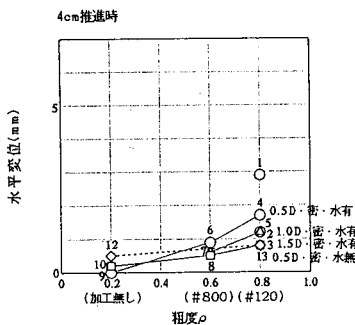


図-5 模型シールドの周面摩擦の違いと地表面水平変位の関係

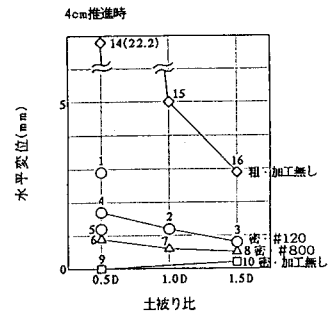


図-6 土被りと地表面水平変位の関係（模型シールド推進方向）

5. まとめ

本報告は、大断面・小土被りのシールドトンネルと上部地山の摩擦に着目し、1/30の模型実験を実施して摩擦による周辺への影響を把握すべく試みたものである。

今回の実験結果からは摩擦係数が小さいほど地表面変位は小さく、土被り比が大きいほど地表面変位は小さくなることが確認された。今後は、これらの相関関係も含めて、解析的な検討を進め、影響解析に反映させていきたいと考えている。