

建設省土木研究所 学生員・石村利明
同 正員 猪熊 明

1. はじめに

トンネルの覆工に作用する応力を理論的に推定することは非常に困難であり、近年においてもその理論的計算手法は確立されていない。そこで模型実験により土圧を計測してトンネル覆工に作用する外力を推定することとした。今回の報告は、トンネル径(D)とその2倍の径(2D)を持つトンネルの模型実験を行ない、それぞれを比較したものである。

2. 実験方法

実験は次の2種類の実験方法をとった。

- (1)乾燥砂実験-----地山材料に乾燥砂を用いてトンネル覆工を覆うトンネルカバーを引抜くことによりトンネルが掘削されたとして土圧を測定する。
- (2)普通砂実験-----乾燥砂に水を加え含水比約2%として水のサクション効果により粘着力を持たせて実際にトンネルを掘削して土圧を測定する。

材料は共に同一のレキまじり砂(レキ分16%, 砂分82%, シルト粘土分2%)を用いた。土圧の計測はトンネル覆工直下に設置した荷重計, トンネル周辺に設置した荷重計によりトンネル土圧, トンネル周辺土圧を掘削段階ごとに行なった。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-1に示す。相似則⁽¹⁾に関しては、今回は特に粘着力パラメータ-C/γH, C/γDが土圧パラメータ-T/γDにどのように影響するかを調べることにした。ただし、Cは粘着力, γは単位体積重量, Hは土かぶり, Tをトンネル土圧とする。以下、トンネル土圧と周辺の地山中の応力に分けて記す。

(1)トンネル土圧

トンネル土圧と土かぶりの関係を図-1に示した。テルツァギのトンネル土圧式

$$T = \frac{D\gamma - 2C}{2\lambda \tan\phi} (1 - e^{-\lambda(2H/D)\tan\phi}) \dots\dots\dots (1)$$

を用いて算出した土圧の値と比較する。

ただし、λは側圧係数

φは内部摩擦角である。

図-1中はφ = 25°

C = 0およびC = 6.01 gf/cm², λ = 1のときの

(1)の曲線を示すが、実験結果とよく一致する。

地山定数C, φについては三軸圧縮試験(U₁₀)、一面せん断試験が行なわれており、

Cはともに0.8 gf/cm², φはそれぞれ41°, 43°

表-1 模型実験の比較

		乾燥砂模型実験						普通砂模型実験						
π ₁	H/D	D/2D	0.4	0.9	1.3	1.8	2.2	2.7	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
π _{2A}	C/γD	D/2D	0.0						0.28 0.13					
π _{2B}	C/γH	D/2D	0.0						0.55	0.28	0.19	0.14	0.11	0.09
π ₃	tanφ	D/2D	0.87						0.27	0.13	0.09	0.07	0.05	0.04
π ₅	T/γD	D/2D	0.45	0.70	0.73	1.00	0.95	0.95	0.17	0.16	0.25		0.32	0.30
		D/2D				1.10	1.40	1.40	0.24	0.53				0.71
φ	°	D/2D	41						40					
C	gf/cm ²	D/2D	0.0						6.01					
γ	gf/cm ²	D/2D	1.75						1.70					
H	cm	D/2D	5.7	11.4	17.1	22.8	28.5	34.2	6.4	12.7	19.1	25.4	31.8	38.1
		D/2D	13.2	26.4	39.6	52.8	66.0	79.2	13.2	26.4	39.6	52.8	66.0	79.2
D	cm	D/2D	12.7 26.4						12.7 26.4					
T	gf/cm ²	D/2D	10.0	15.4	16.2	22.1	21.2	21.2	3.7	3.5	5.4		6.9	6.5
		D/2D				51.0	64.4	64.4	10.6	23.8				31.9

を示した。しかし、この定数を用いて算出した土圧は本実験とは一致せず上記のように値を大幅に小さくした値でないとは合致しなかった。この原因は模型実験の地山の力学的状況と工賃試験その試料の力学的状況が異なるためだと思われる。

図-2, 3に地山の粘着力パラメータ $C/\gamma D$, $C/\gamma H$ とトンネル土圧パラメータ $T/\gamma D$ の関係を示した。図-2より $C/\gamma D$ が小さい場合 ($C/\gamma D < 0.3$) トンネル土圧は $C/\gamma D$ に大きく影響される。また、土かぶりの薄いトンネルについては $C/\gamma D$ はトンネル土圧に与える影響は少ないが土かぶりが増加するに従ってその影響が大きくなっていくことがわかる。ただ $C/\gamma D$ が高い値のときは土かぶりに関係なくほぼ一定の土圧を示すのではないかと考えられる。 $C/\gamma H$ の場合もほぼ同様である。(図-3)

(2) トンネル切羽周辺の地山中の応力

図-4, 5にトンネルを掘削した後のトンネル側面の地山中の鉛直応力を示した。図-4より H/D が同一のときでもトンネル径が変化することにより異なる地山の挙動を示すことがわかる。トンネル径 D の実験の場合、トンネル掘削後の地山の鉛直応力は地山の軸圧縮強度以下であり弾性的な挙動を示すが、トンネル径 $2D$ の場合は地山が降伏するような挙動を示す。また図-5から $C/\gamma H$ がほぼ同一のときはトンネル径に関係なく D , $2D$ 共によく似た傾向を示すことがわかる。以上のことからトンネルを掘削したときの地山の挙動を推定するには $C/\gamma H$ が良いパラメータであることがわかる。このことは仲野の言う地山強度比が地山の挙動を推定するのに有効であることを思いさせる。

参考文献 1) 猪熊, 石村 トンネル切羽付近の応力状態に関する模型実験
13回岩盤力学に関するシンポジウム

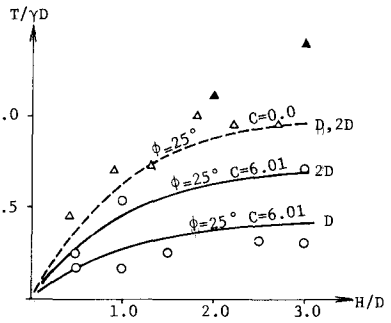


図-1 土かぶり H/D とトンネル土圧 $T/\gamma D$

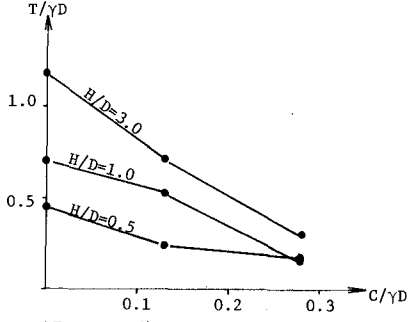


図-2 粘着力パラメータ $C/\gamma D$ とトンネル土圧

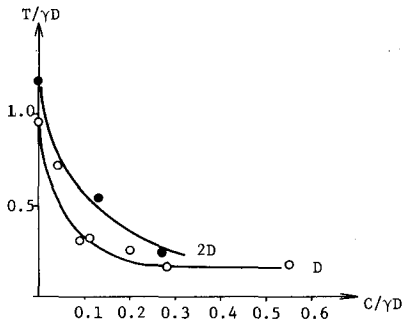


図-3 粘着力パラメータ $C/\gamma H$ とトンネル土圧

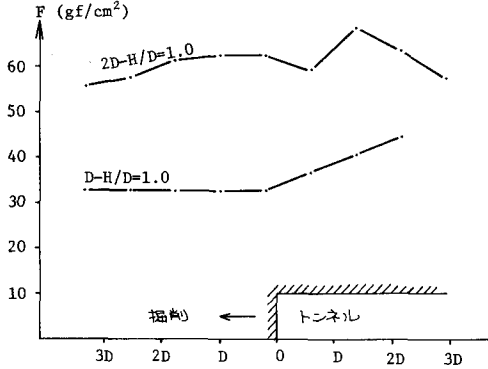


図-4 トンネル側面の地山中鉛直応力 (H/D が同一)

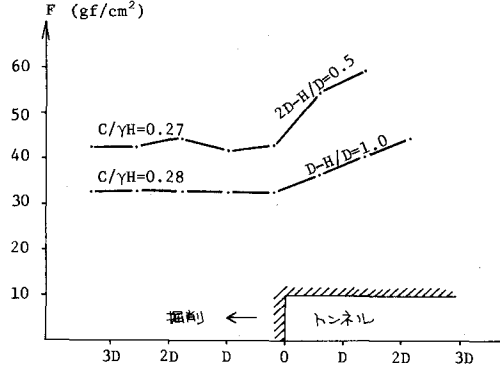


図-5 トンネル側面の地山中鉛直応力 ($C/\gamma H$)