

建設省土木研究所 正員 猪熊 明

建設省土木研究所 学生員 石村 利明

1. まえがき

従来からトンネル土圧を解明するために落戸の実験(降下床実験)が行なわれている。しかし従来の実験は、2次元的东西のものが多く、側壁の摩擦の影響が心配される。この影響を除くため、およびトンネル切羽付近のトンネル土圧を調べるため、3次元的事象実験を行つたので報告する。

2. 実験方法

実験はあらかじめ設置した模型トンネルの上にトンネルカバーを設置し、その上から砂を盛る。トンネルカバーを引抜くとき、砂がトンネルカバーからトンネルまで落下することにより、トンネル掘削を近似する。砂は、粘着力 $C = 0$ 砂、摩擦角 $\phi = 41^\circ$ 、単位体積重量 $\gamma = 1.75 \text{ gf/cm}^3$ である。今回は、ゆるみ量とゆるみ域がトンネル土圧にどんな影響を与えるかを調べるため、図1~図3に示すような断面形状の実験A~Fを行なつた(表1を参照)。

トンネル土圧模型実験の相似則パラメーターは (1) H/D , (2) $C/\gamma L$, (3) $\tan \phi$, (4) d/D , (5) $T/\gamma L$ ($L = D$ または H) の5個が考えられるが、今回は特に d/D に注目をした。ただし、 $H = \text{土かぶり}$, $D = \text{トンネル代表長さ}$, $C, \phi = \text{前述}$, $d = \text{ゆるみ量}$, $T = \text{トンネル土圧}$ とする。

3. 実験結果および考察

実験結果を表1にまとめる。それを d/D について整理したものが図4である。実験C,Dについては突出部を全周に平均してゆるみ量 d を算出した。相似則パラメーターでは、パラメーター(2),(3)が同じ地山質量を使っているため同一であり、残る(1)と(4)がトンネル土圧パラメーター(5)に影響を与える因子となる。しかるに、実験によれば、パラメーター(1)は $H/D > 20$ のとき、トンネル土圧にほとんど影響を与えない。したがって、Aを除いては、 $H/D = 1.79$ のときの実験値を用いて整理した。

3. (1) Aのトンネル土圧が大きいことについて

Aのトンネル土圧が他と比較して大きいのは、次のような理由が考えられる。オ1に土圧を測定する位置が、他と異なり、トンネルの天端部付近だけであることによる。オ2にトンネル側方地山の沈下が大きいことがあげられる。乾燥砂が沈下した場合、沈下部分の土圧は小さくなり、その周囲の土圧が大きくなることと報告されている。このことと先のオ1, オ2の理由を考え合わせると、Aの土圧は他と同じように計測していれば、図4矢印のようにより小さいものになると思われる。

3. (2) B,C,Dの土圧の比較について

Bは標準タイプであるが、Bと比較してよりゆるみ量の大きいCが小さい土圧を示す理由は不明である。ゆるみについては、その量だけで

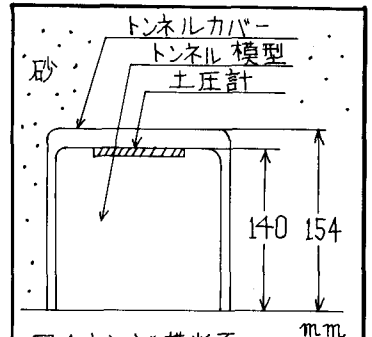


図1 トンネル横断面 (実験A)

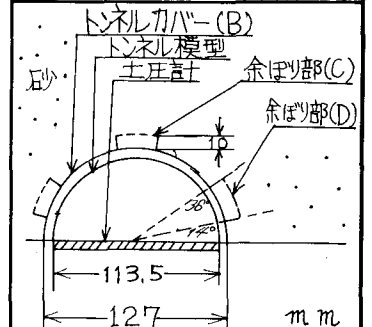


図2 トンネル横断面 (実験B,C,D)

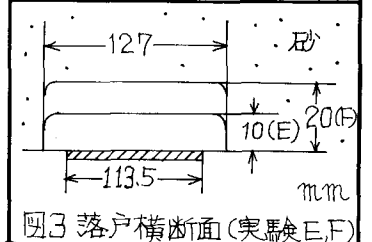


図3 落戸横断面 (実験E,F)

くどくどゆるむかにもよるものと思われる。Dは側方を大きくゆるませた場合である。Dの工圧はBよりも大であるが、Aほどではない。

3. (3) E, Fの工圧の比較について

FがEより大きい工圧を示す原因は、Fの方が落差(ゆるみ量)が大きいためであるが、ゆるみ領域の側方への拡がりにはE, Fでほとんど差はない。ちなみに、落差分の砂の重量を除いてやれば、(E', F'に示す)、E, Fの差は認められず。乾燥砂の場合、ゆるみが大きくなれば、ゆるんだ砂の重量だけ工圧が増すようである。

3. (4) Gの工圧について、切羽付近のトンネルが受ける工圧について

Gは文献(3)による $\phi=34.3^\circ$ の乾燥砂の実験結果である。Gの工圧が小さいのは、Gは円筒形土槽内の中心に位置する円形落戸の実験であるため、落戸周辺の地山より3次元の摩擦抵抗をうけるためであると思われる。ひらがえってトンネル切羽付近について考えてみると、切羽直近のトンネル支保部材はこうした3次元的效果が期待でき、そのトンネル工圧は後方のトンネル工圧により小さく予想される。今回の乾燥砂の実験でも切羽直近では工圧は小さくなっている。

3. (5) テルツァギの土圧公式, 工圧表

図4にテルツァギの土圧公式から求めた土圧を示すが、 $\phi=41^\circ$ では、実験結果より大幅に小さい。Gより推定すれば、A~Fの実験はゆるみ量が大きいため工圧が大きくなっていると考えられる。テルツァギの土荷重の表によれば、6等級の地山(乾燥砂は6等級に相当すると考えられる)では、 $1.1 \times (a+h) \times 0.5$ の工荷重がトンネルに作用するとある(たとえばトンネルの幅及び高さ)。図4からすれば、

これはかなりゆるんだ状態の土荷重をあらわしていると考えられる。また実験結果よりすれば、hよりaの方がより重要な影響を与えようと思われる。土式より、 $1.1 \times 2.8 \times 0.5$ の値の方が良く、工荷重と一致する。

3. (6) 現場への適用

実際のトンネルの天端の泥流量を d として、ゆるみを求めると図4のようになる。GにFると乾燥砂の場合、最小工圧となるのは d/D が約1%のときで、両トンネルとも良い施工がなされたと考えられる。しかし、両方ともNATMであるから、他の工法の場合にも、ゆるみがあると思われる。いづれにしても、土圧公式, 工圧表を現場に適用するには、 d/D が1%前後であるの否かを考慮する必要があることがわかる。

文献) 1) 猪熊, 石村; トンネル切羽直近の応力状態に関する模型実験; 岩田岩盤シンポジウム(1980)

2) 村山, 松岡; 砂質土中のトンネル土圧に関する基礎的研究; 工本論文集 187号(1991)

3) 小野, 貞井; 乾燥砂層における垂直土圧; 工本会誌 24巻5号(1978)

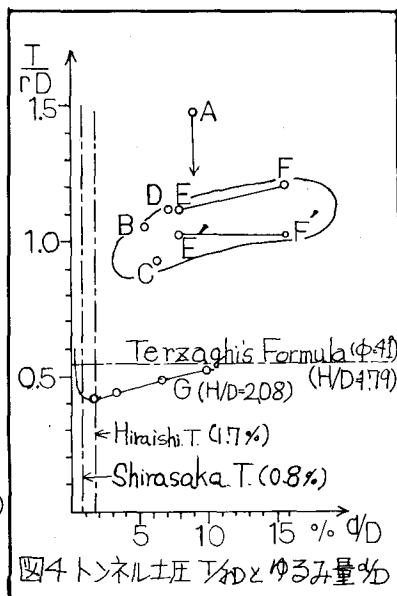


表-1 実験結果。(H/D, d/D, T/rDには掘削時のトンネル径を用いた)

形状	H (外半径)mm	D (掘削)mm (径保)mm		H/D	d (ゆるみ)mm	d/D	T (土圧)gf/cm ²	rH gf/cm ²	rD gf/cm ²	T/rH	T/rD
A	196	154	140	1.29	14	9.1	39.9	34.3	26.95	1.16	1.48
B	227	127	113.5	1.79	6.75	5.3	23.31	39.93	22.22	0.59	1.05
C	227	127	113.5	1.79	$(6.95 \times 227 + 6.95 \times 159) / 7.97$	6.3	20.97	39.93	22.22	0.52	0.93
D	227	127	113.5	1.79	$(6.05 \times 227 + 6.05 \times 130) / 8.0$	7.2	24.90	39.93	22.22	0.63	1.12
E	227	127	113.5	1.79	10	7.9	24.99	39.93	22.22	0.62	1.12
F	227	127	113.5	1.79	20	15.7	26.92	39.99	22.22	0.68	1.21