

トンネル周辺におけるアーチ作用の研究

大阪大学工学部 正 員 伊 藤 畠 雄
 同 正 員 藤 井 清 司
 高松工業高専 正 員 小 副 川 徹

1. はしがき 砂層中にあるトンネル等の構造物の変位により、その上および周辺地山中の土圧分布がいかに変化するかを図-1に示す実験装置を使って測定する。そのさい土かぶりHを100, 60, 30 cmの3種に変化させ、砂高100 cmのときの測定値とつぎの3つの理論式による計算結果とを比較する。

2. 理論計算式 Terzaghi 式は坑頂幅をBとして単位面積当りの鉛直圧 σ_v を上載荷重がなく、粘着力のないとき次式で与える。

$$\sigma_v = \frac{Br}{2K \tan \phi} \left[1 - \exp(-2K \frac{h}{B} \tan \phi) \right]$$

ここで、 r : 砂の単位体積重量, ϕ : 内部マサツ角, K : 土圧係数($\neq 1$)
 伊藤式による単位奥行当り鉛直圧 P_v は

$$P_v = 2 \left\{ \frac{1}{3} Ha^3 - ab(E + r + bJ) \right\}$$

ここで、 $2a$: 坑頂幅, b : アーチ高さ, H, E, J : 定数
 Finn 式は、土を半無限完全弾性体と仮定してつぎのとおりである。坑頂部中央を原点として上方に y 軸、横方に x 軸をとると土中の鉛直方向土圧分布は

$$\sigma_y = \frac{d}{2\beta\pi} \left[\frac{x+b}{(x+b)^2+y^2} - \frac{x-b}{(x-b)^2+y^2} + \frac{2(x+b)y^2}{\{(x+b)^2+y^2\}^2} - \frac{2(x-b)y^2}{\{(x-b)^2+y^2\}^2} \right] - \delta(h-y)$$

ここで、 d : 坑頂部沈下量, $2b$: 坑頂幅, $\beta = (1-\mu)^2/E$, h : 坑頂の土かぶり高さ

3. 実験 図-1の実験装置底面中央にトンネルの坑頂部に相当する落し戸を設け、これをダイヤルゲージで計りながら沈下させる。そして、坑頂部、およびその左右の不動領域に $\phi 30$ mm, 出力 $75 \times 10^{-6}/100$ g/cm²の土圧計を図-2のように配置し、上方に砂を積み上げて、坑頂部を沈下させる。砂はゆる詰めにして、その単位体積重量は 1.49 g/cm³, 内部マサツ角 $35^\circ 43'$, 均等係数 2.5 である。

4. 実験結果と理論計算値との照査 実験値は最初坑頂部には砂高に比例した土圧がかかっているのであるが、

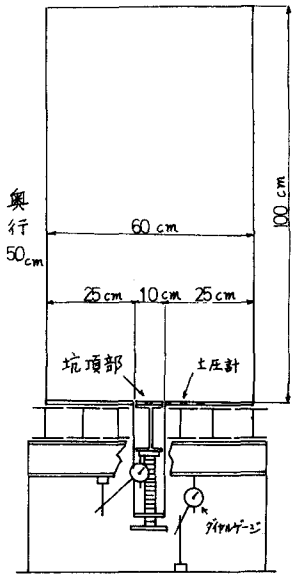


図-1 実験装置

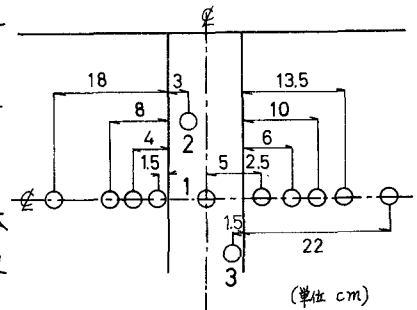


図-2 土圧計配置図

坑頂部をわずかに沈下させただけでもその坑頂圧は急激に減少し、ある一定最小値になり、その後さらに坑頂部を沈下させても坑頂圧は変化せず定常土圧となる。土がぶり100cmの場合の定常状態の土圧を照査すると、表-1のようになり、伊藤式でアーチ高さ b を12cmとしたときの値とかなり近いことがわかる。なお、Finn式は弾性学に基づいているため、坑頂部の沈下とともに土圧が急激に減少し、定常土圧となる沈下量

	坑頂部にかかる全土圧
Terzaghi	103.5 g/cm
伊藤	107.62 -
Finn	127.0 -
実験値	110.4 -

表-1 理論値と実験値

0.6mmでは坑頂部圧は小さくなりすぎるので、表示の値は沈下量を0.05mmとして計算したものである。これらの理論式の計算では、Terzaghi式は K の値、伊藤式は b と K の値、Finn式は弾性係数とポアソン比の値等の決定に問題があるものと呉われる。

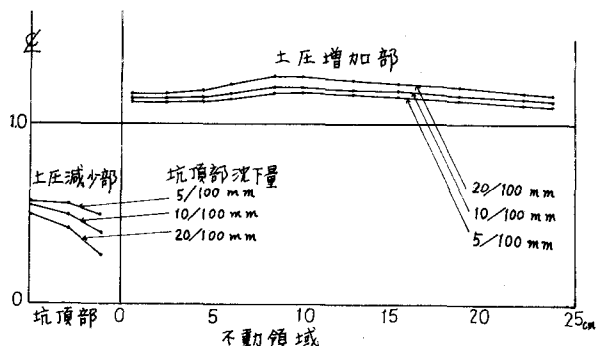


図-3 土圧分布図

5. 土圧分布 坑頂部の沈下量 $\delta = 0.05, 0.10, 0.20 \text{ mm}$ の場合の土圧分布を図-3に示す。この実験では一般にいわれているような坑頂の左右の不動領域の応力集中が認められず、図示のように全体的な土圧の増加がみられた。最初の砂高に相当する土圧は、坑頂部の沈下とともに不動領域では増加し、坑頂部では減少する。

坑頂部沈下量	土圧減少量	土圧増加量
5/100 mm	24 0.5 g/cm	266.09 g/cm
10/100 mm	27 9.5 -	290.25 -
20/100 mm	33 1.5 -	357.15 -

表-2

その増加分全土圧と減少分全土圧を示めると表-2のようになる。これから明らかのように土圧増加量と減少量はほぼ等しい値をえている。

6. 砂高と定常土圧との関係 定常土圧となるときの坑頂部沈下量は表-3に示したようになり、

砂高	坑頂部沈下量	土圧計番号		
		1	2	3
100 cm	0.5 ~ 0.7 mm	30	22	10
60 cm	0.7 ~ 1.0 mm	28	19	14
30 cm	1.0 ~ 2.0 mm	16	15	6

(単位: g/cm^2)

表-3 定常土圧となった時の坑頂部沈下量と土圧分布

砂高が大きくなるほど、その沈下量は小さくなる。また、砂高が変化すると定常状態の土圧も変化する。

しかし、その変化の割合は砂高が大きくなるほど大きく変化しない。定常土圧に入ってから以後、坑頂部をさらに沈下させると、アーチの頂上が逐次上昇し、ついには地表面に達する。そして、アーチの崩壊によって考えられる土圧の急変が認められる。このことは、当然であるが砂高が低い程、小さい沈下量でおこる。

参考文献: 伊藤富雄 "砂層中に掘った導坑の坑頂圧に関する理論的研究" 昭46. 第14回年次講演録

Terzaghi "Theoretical Soil Mechanics" Wiley & Sons. N.Y. 1943

W.D. Liam Finn "Boundary Value Problems of Soil Mechanics" A.S.C.E. No. SM5 Sept. 1963