

トンネル逆巻工法におけるアーチ部完成時の荷重による地山応力の
光弾性実験について

徳島大学工学部
阿南工業高専
奥村組

正会員
正会員

工 博

小田英一
○米津 聖
大西 仁

1. まえかき

トンネルの上部半断面掘削、底設導坑併進方式の掘削段階において、アーチ部巻立を完了して、大背掘削に移行するとき、全断面掘削を行わずに上部半断面底設導坑掘削を行ない地山圧力をアーチの巻立を通じて土平でとたせて、側壁部施工のとき土平の破壊を起させないで、安全にそれ以後の掘削を進めてゆくためには土平附近の応力状態を知る必要があり、また、トンネルの形状が複雑なためこの問題を解決するためには、エポキシ樹脂使用による光弾性実験が最適であるという考えにとづいて研究を行なった。

2. 実験概要

トンネル周辺地山、あるいはトンネル巻立を完全な弾性体と考えて、地山に作用する応力の単位荷重の主働土圧がトンネル中心を通り鉛直線より水平方向に向い、 0° , 30° , 60° の角度の方向にトンネルアーチを通じて、それぞれ作用した場合の地山の応力分布を求め三次元の問題として考えられる地山を二次元問題として取り扱い、板の応力問題として考えた。すなわち、応力状態が Hooke の法則にしたかう弾性限内にあるという考えから光弾性実験を行なった。光弾性実験にお

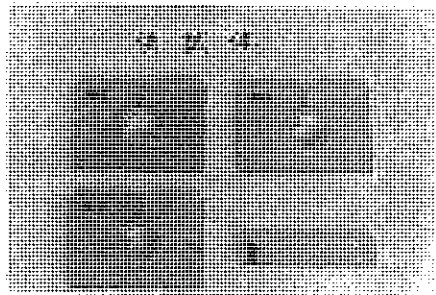


写真-1

いて地山、あるいはトンネル巻立の材料に用いたエポキシ樹脂の力学的特性は次の通りである。光弾性感度は 0.929 mm/kg 、板厚は 6.25 mm 、ヤング率 $E = 3.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ である。また、トンネル半径 R に対する巻厚 t の比を $0.4/5$ とした。実験方法として、トンネル逆巻工法のアーチ部の供試体を写真-1のごとく作製し、この供試体に荷重を作用させると写真-2の等色線測定結果がえられた。また、巻立部および地山の繰りかえしの分布とその次数、等傾線を記録して、その上で主応力線を図上に記入し、 $\text{Shear Difference Method}^{(1,2)}$ によって直応力、せん断応力を求めた。

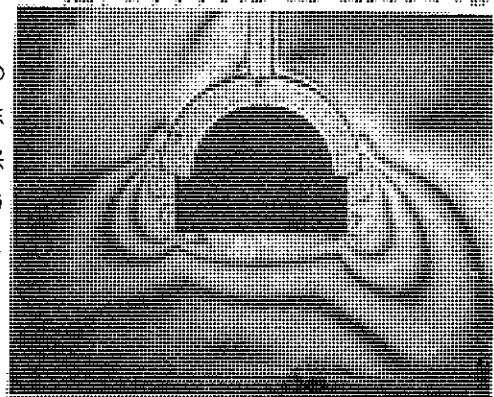


写真-2

3. 実験結果とその考察

(1). トンネル周辺の応力解析

載荷重が鉛直線方向に作用した場合は写真-1のNo.1の場合であつて、これについて述べる。

載荷重を単位荷重 / Fringe とした場合の供試体 NO.1 におけるトンネル周辺の σ_x の分布を示したのが図-1 であり、トンネル周辺の σ_y の分布を示したのが図-2 であり、さらに、トンネル周辺の τ_{xy} の分布を示したのが図-3 である。

(ii). 実験の考察

トンネル周辺地山の σ_x の分布について、(図-1 参照)

応力分布の値は載荷重 / Fringe に対する値をもって示すこととする、底設導坑の底部の面より上の土平部分の地盤では圧縮応力が生じ、下では引張応力を生じている。これは導坑中央より外方に向いアーチ脚部の作用力の水平分力が作用しているため導坑底部中央を外方に引張るためと考えられる。圧縮応力の最大値は⑤列の3点で載荷重 / Fringe に対して 0.617 Fringe である。全体的にみるとトンネルライニングの脚部附近で大きい圧縮応力を生じている。底設導坑部ではほとんど応力を生じない。

トンネル周辺地山の σ_y の分布について、(図-2 参照)

全体的に見て土平の地盤においてはほとんど圧縮応力を生じ、トンネルライニングの脚部附近で大きい圧縮応力を生じ、土平においてアーチの脚部より下に行くにしたがい、また、側壁より地山の中に向うにしたがい圧縮応力は減少してくる、そして、その最大値は④列の0点で載荷重 / Fringe に対して 0.451 Fringe である。

トンネル周辺地山の τ_{xy} の分布について、(図-3 参照)

トンネル周辺の地山は大部分が正の値である。そして、その値はトンネルライニング脚部において大きな値が出ている。側壁より土平地山の中に向うにしたがい、また、土平地山を下に向うにしたがってせん断応力の値は小さくなっている。そして、このせん断応力 τ_{xy} の応力分布はアーチ脚部附近に大きな応力の値を生じ、土平地山の④, ③, ②, ①列の τ_{xy} の分布は下の列に行くほど広い範囲にフラットになってゆき、最大値は次第に小となっていることがわかる。トンネル周辺地山においてせん断応力の最大値は⑤列の最下点において最大値を示し、その値は載荷重 / Fringe に対して 0.191 Fringe を示している。

4. 起拱線附近地山の反力について

図-5 に示す符号を用いて、G. Sonntag³⁾ の方法により

$$-s^* = \frac{-\alpha^2 \sin \alpha + (1 - \cos \alpha)(\alpha + \sin \alpha) + \frac{1}{12} r^2 [-\alpha^2 \sin \alpha + (1 - \cos \alpha)(\alpha - \sin \alpha)]}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \alpha - \frac{1}{12} r^2 (\sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha)} \quad \text{----- (1)}$$

$$H/p = \frac{-s^* - (\alpha \sin \alpha + \cos \alpha - 1)}{2(\alpha \cos \alpha - \sin \alpha)} \quad \text{----- (2)}$$

$$f^* = 6r^2/k^2 s^* \quad \text{----- (3)}$$

$$S_0/p = 0.5 \sin \alpha + H/p \cos \alpha$$

$$f^* = S_0/p (B - \alpha) \quad \text{----- (4)}$$

ただし、

k : 巻立の厚さ

r : 円形巻立中心軸の半径

P : アーチ頂点の荷重

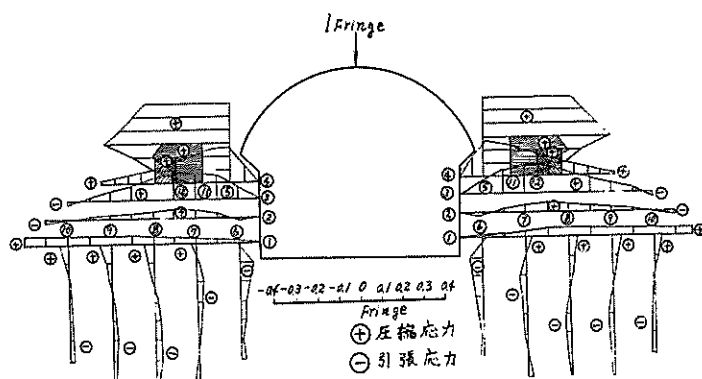


图-1

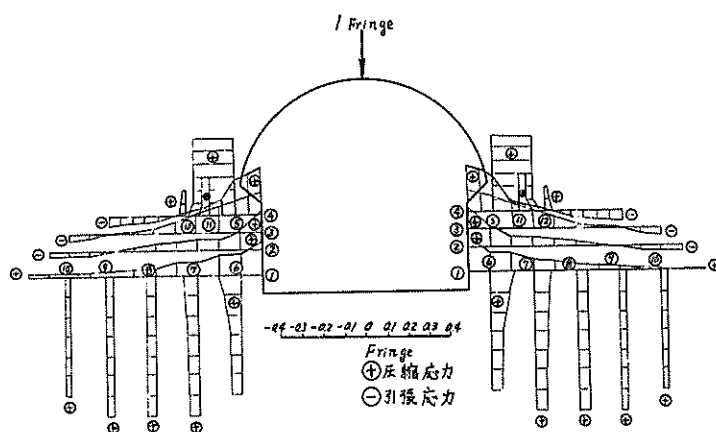


图-2

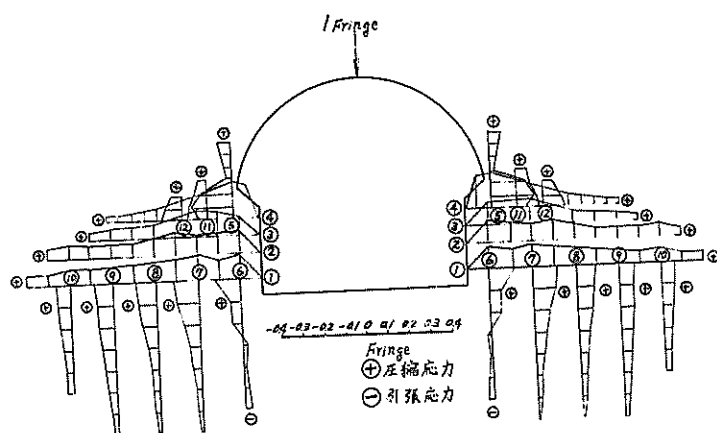


图-3

H: 水平方向の比山反力

S_B : B 点の接線方向圧縮力

α : 水平方向に起る荷重位置 B 点から単位荷重の位置 C 点までの角度

β : 巻立脚部 A 点から扶頂 C 点までの角度

上式の計算結果から図-4を描くと(3)式の曲線と(4)式の曲線の交点より α がわかる。

この場合、図-4においては、

$$r = 0.770 \text{ cm} \quad r' = 2.260 \text{ cm} \quad \beta = \pi/2$$

$$P = 1 \text{ Fringe}$$

として計算したものであつて、 $\alpha = 66^\circ$ となる。

これは、写真-2よりみるごとく、BC間の角度とほとんど一致する。

$\alpha = 66^\circ$ に対して(2)式より $H = 0.51P$ がえられる。

また、 $V = 0.5P$ となる。

これは、図-1よりB点の $\sigma_x = 0.62P$ となり、
図-2より、 $\sigma_y = 0.45P$ となつていて、光弾性実験結果
の方が水平方向反力Hが多少、大きい値に出ている。
また、鉛直方向反力Vが多少、小さく出ている。

参考文献

- 1). Max Mark Frocht: Photo-Elasticity
Volume I, Third Printing August 1949.
- 2). 辻二郎, 西田正孝, 河田幸三共著: 光弾性実験法.
- 3). G. Sonntag: Der Bauingenieur 31 (1956)
Heft 11, Page 408~412.

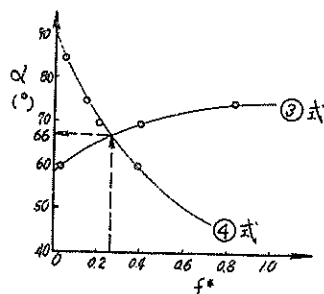


図-4

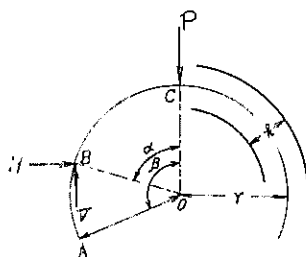


図-5