

1. 側圧係数の変化に伴うトンネル周辺応力の変化の光弾性学的研究

徳島大学工学部

小田英一

○丸上晴朗

東北大学修士コース

森 芽信

トンネル掘削以前の地山中の任意の点は静力学的に一つの平衡状態にあり、この場合の応力状態を1次応力状態という。この地山中にトンネルを掘削した場合、トンネル周囲の地山には応力状態の変化が起り、変形又は破壊を生ずる。この変形が弾性変形の場合には短時間に完了し、2次の平衡状態に達する。地山のポアッソン比 ν により1次応力状態は変化してくる。1次応力で鉛直方向直応力 P_v に対する水平方向直応力 P_h の比を側圧係数 λ_0 という。

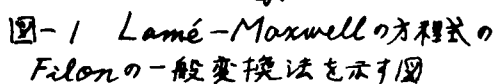
$$\lambda_0 = \frac{P_h}{P_v} = \frac{1}{\frac{1}{\nu} - 1} \quad \text{----- (1)}$$

地山の地表面が水平で、トンネルは二車線型の道路トンネルに使用される一般的な断面形をもったものとする。この素掘トンネル周辺の応力分布は λ_0 の値により変化してくる。トンネル周辺の応力分布は落盤の原因や土圧計算の基礎となるものであるが、トンネルの形が実際の一般的な形のものとは数学的取扱いが困難なので光弾性実験によって応力分布を研究することにした。またこのような問題はトンネル周縁についてはよく研究されているが、その地山の奥の応力分布までは研究されていない。落盤の範囲を知るにはこのような応力分布の研究が必要となるのである。

光弾性実験としてはエポキシ樹脂板にトンネル孔をあけ、これに鉛直方向荷重をかけた場合と水平方向荷重をかけた場合の縮次数の測定及び等傾線の観測をなした。鉛直方向荷重載荷のときのトンネル周辺の主応力線及び主応力分布を求め、また水平方向荷重載荷のときのトンネル周辺の主応力線及び主応力分布を求め、この二つの値を λ_0 を変化させて重ね合せて、トンネル周辺の応力分布を求めたのである。

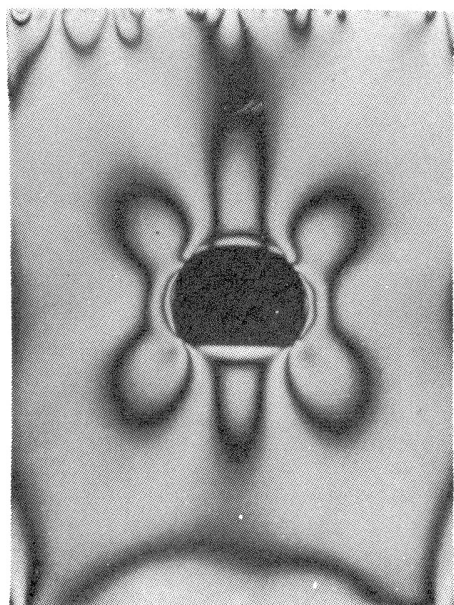
使用したエポキシ樹脂板は光弾性感度 $\alpha = 0.684 \text{ mm/kg}$ 、板厚さ $d = 5.75 \text{ mm}$ のものをを用いた。トンネル模型実験は $66 \times 88 \times 5.75 \text{ mm}$ のエポキシ樹脂板にトンネル孔を作ったもので光弾性実験をなした。写真-1は鉛直荷重 0.277 kg/mm^2 を載荷したときの縮模様であり、

等傾線の観測において、 θ ：検光子と偏光子を共に時計方向に回転する角度として、 $\theta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ の場合について写真撮影をなして等傾線を求めた。積次数と等傾線より主応力 σ_1 を求めるには Lamé-Maxwell の方程式の


$$\left. \begin{aligned} P_2 &= P_0 + \int_0^i (P - g) \cot \psi d\theta \\ g_2 &= g_0 - \int_0^i (P - g) \cot \psi d\theta \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

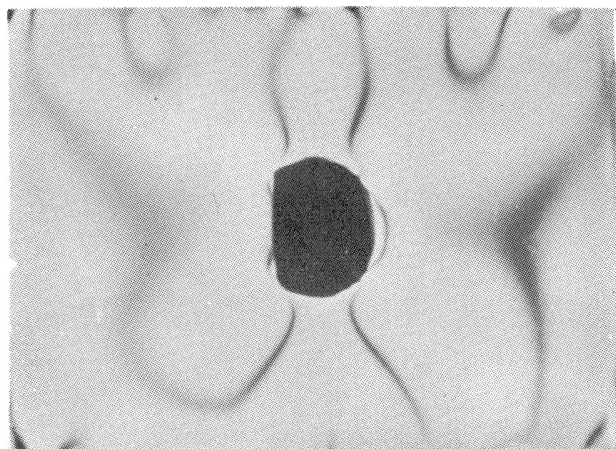
トンネル周縁の切線方向の直応力を σ_θ とし、法線方向の直応力を σ_r とする。このとき σ_θ の断応力を $\sigma_{\theta 0}$ とする。写真-1 と写真-2 の場合に対してそれぞれ P , Q を各点で求める。図-2, 図-3, 図-4 のような σ_θ , σ_r , $\sigma_{\theta 0}$ を求めるには図の I, II, III, IV, V, VI の直線方向に対して P , Q の方向と σ_θ , σ_r の方向のなす角を求めて、モールの応力円の原理を利用して σ_θ , σ_r , $\sigma_{\theta 0}$ を求める。 λ を変化した場合について鉛直荷重のときと水平荷重のときの P , Q をそれぞれ求めて上述の方法で重ね合せて、 λ の変化に対応する σ_θ , σ_r , $\sigma_{\theta 0}$ の応力分布を求めたのである。トンネル周縁応力 σ_θ は側圧係数が小的时候は上盤、下盤に引張応力が発生するが、側圧係数が 0.60 以上になると圧縮応力となる。また下盤両側の隅角部に非常に大なる応力集中が生ずることと判る。図-2, 図-3, 図-4 の応力分布は多少実験及び計算誤差が入っているが大体の傾向を示すものとみられる。 λ の変化に応じて上盤、下盤の I, II, 及び VI 線の σ_θ の変化は著しいが、起拱線附近ではあまり変化がみられない。III, V 線の σ_θ の変化は上下盤と起拱線との場合の中間的な変化の様相を呈するものである。

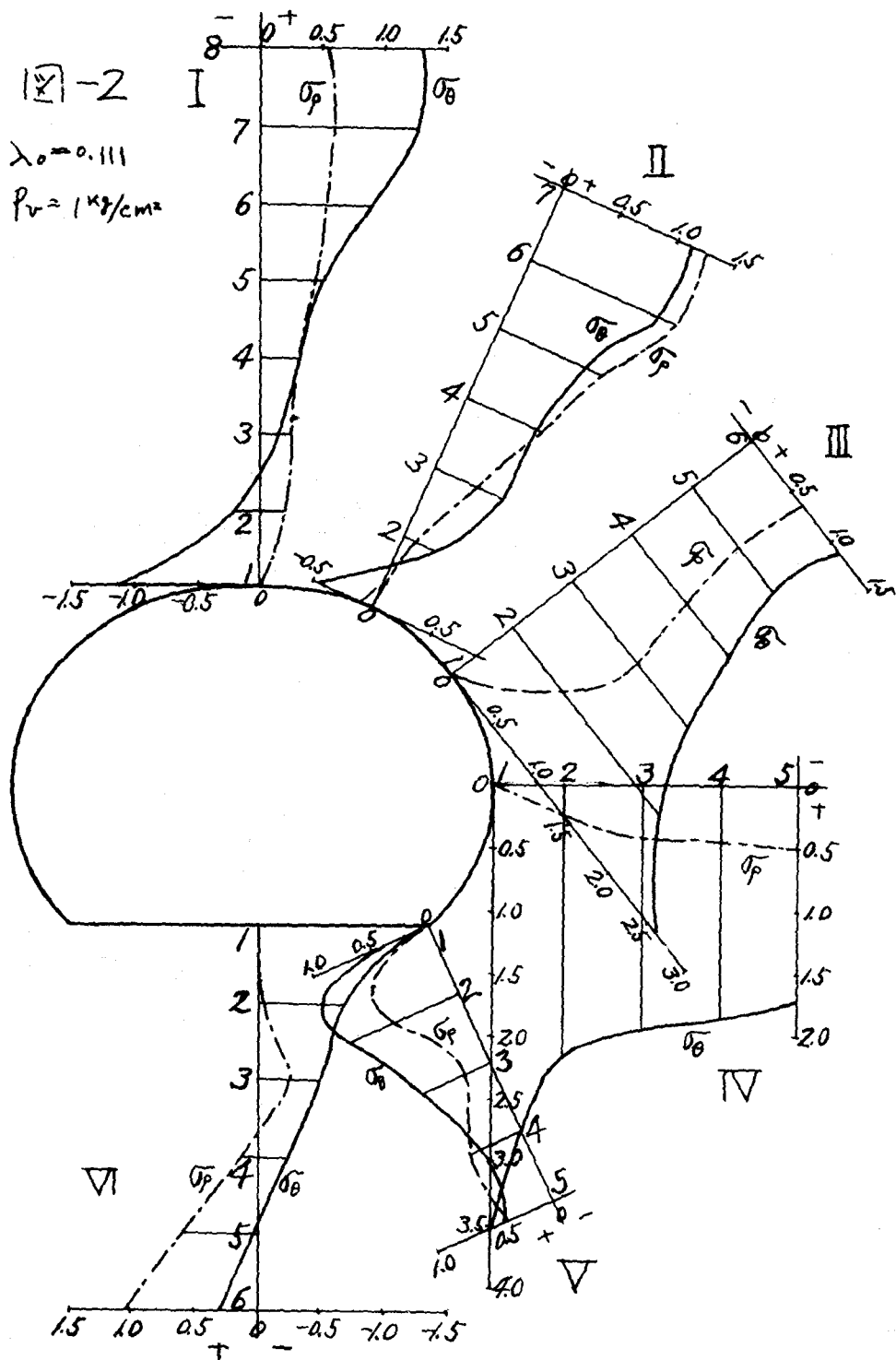
写真-1



一般にトンネル地山の硬いと
せき入の力で上盤の引張による
肌落ちによる土圧がおこり、
地山の軟いとせき入大でトン
ネル周辺応力は全部圧縮とな
り、塑性流動により側圧の増
大がおこると考へられるので
ある。

写真-2

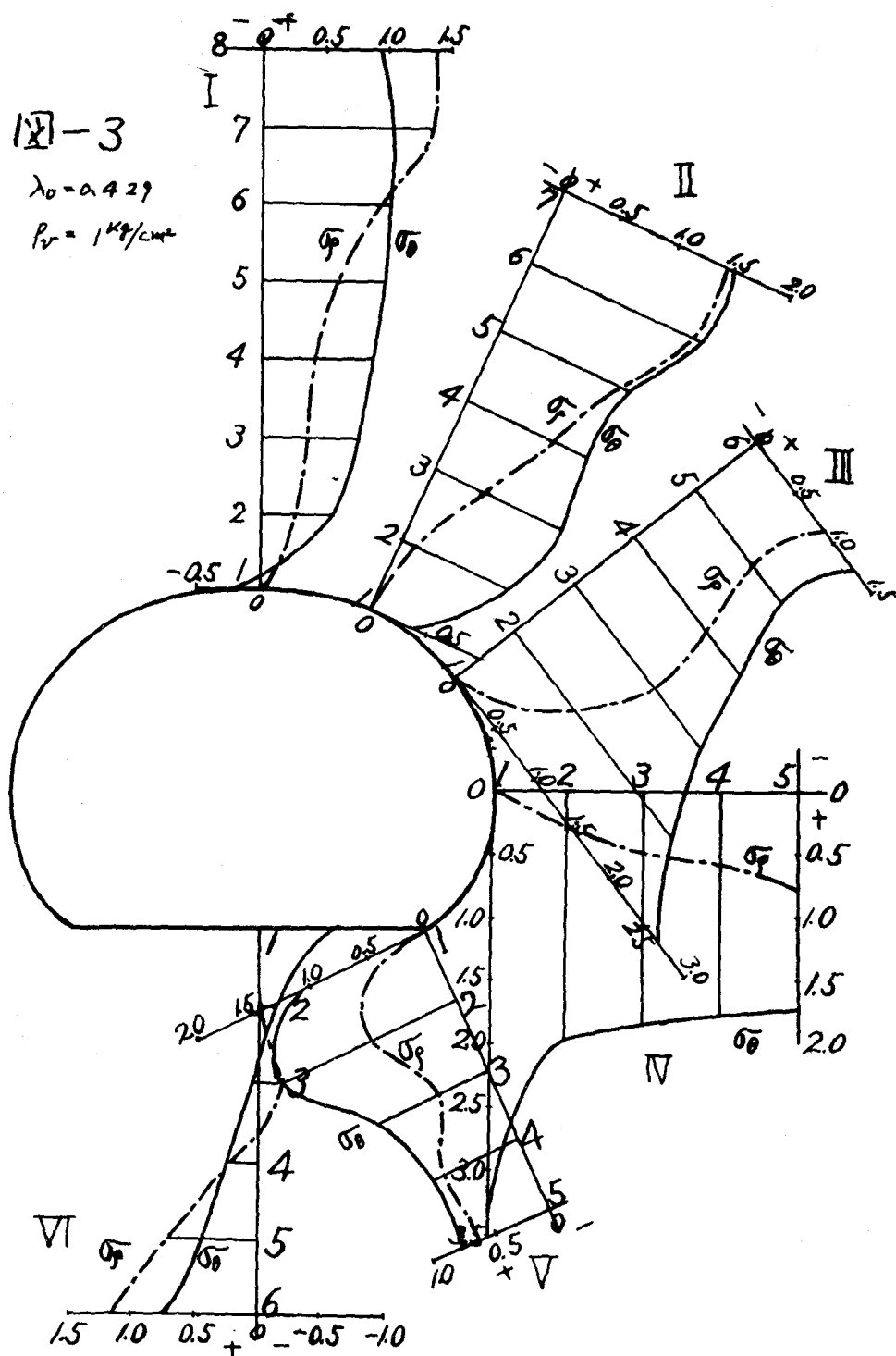




12-3

$$\lambda_0 = 0.429$$

$$P_r = 1 \text{ kg/cm}^2$$



12] - 4

$\lambda_0 = 1.00$

$P_V = 1 \text{ kg/cm}^2$

