

第3会場(1)～(15) (応用力学)

(3-1) 滑り面と交わったトンネル覆工の応力

正員 大阪大学工学部 伊 藤 富 雄

1. 覆工の模型 国鉄単線第1号型トンネルに厚さ 50 cm の覆工を施し、仰拱を設けなくて側壁の根入れを 50 cm にした場合と、半径が側壁と等しい仰拱を設けた場合とを例にとる。かかる覆工の模型を厚さ 7 mm のフェノライトを用いて、1/150 の縮尺で作製する。

2. 地山の模型 覆工周囲の地山を石膏で作し、それに覆工の起拱点を結ぶ線分の midpoint をとおるような滑り面を入れ、それが水平となす傾斜角を 30° または 45° にする。かくして作った模型の大きさは巾 15 cm 高さ 20 cm で、起拱線から上縁までの距離は 12 cm である。

3. 実験方法 模型を鉛直にし、その水平な上縁に等分布荷重を加えて光弾性実験を行ない、覆工の内面に作用する応力を測定した。

4. 結論 実験結果の詳細は講演当日に譲るが、おもな結論を述べると、滑り面が覆工に対して左下りに交わるものとすれば、

a. いずれの場合にも、右側起拱点の上方約 130 cm の点と拱頂より左約 80 cm の点では、内面応力が 0 となり、この両点の間のアーチの部分では引張応力、その他のアーチ及び側壁には圧縮応力を生ずる。ただし仰拱を設けた場合には、左側側壁の下端の一部に引張応力がおこる。

b. いずれの場合にも、最大圧縮応力を生ずるのは左側起拱点のやや上方であつて、仰拱を設けると、この最大応力の値が、仰拱を設けないときの 1/2 以下に減少する。

c. 仰拱の応力は大部分引張応力であつて、その最大値は仰拱の左端に生じ、これが覆工全体の最大引張応力になる。なお覆工右端の一部には圧縮応力を生ずる。

(3-2) 塑性体としての水平成層を有する

地山中のトンネル応力について

正員 広島大学工学部 小 田 英 一

弾性体とみなし得る地山中に厚さの薄い水平成層が存在し、この成層は塑性体とみなし得るとする。この成層中に可撓的な鳥居形の支保工を有する導坑を穿つた時、成層中の物質が塑性流動を起す時の応力状態を考える。ただし導坑の高さは成層の厚さと大差ないものとする。

導坑中心を座標原点とし、図-1 のごとく水平軸 x 軸、鉛直軸 y 軸を設定する。成層の厚さは僅小であるからその自重の影響はないものとする。 σ_x : 水平方向の直応力、 σ_y : 鉛直方向の直応力、 τ : 剪断応力、とすれば応力の平衡条件式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ρ : 塑性体の内部摩擦角、 φ : 水平軸と最大主応力のなす角、 $\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ とすれば図-2 より塑性条件式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= \sigma(1 - \sin \rho \cos 2\varphi) \\ \sigma_x &= \sigma(1 + \sin \rho \cos 2\varphi) \\ \tau &= \sigma \sin \rho \sin 2\varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

'2)式を(1)式に代入して

図-1

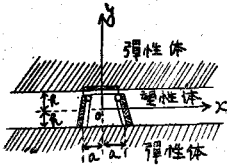


図-2

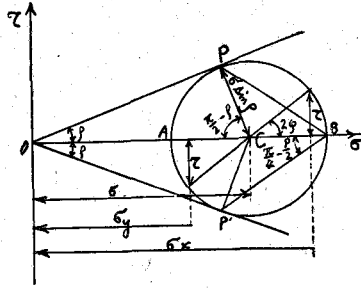
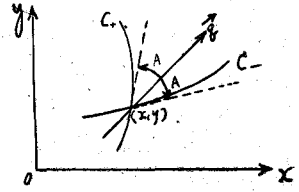


図-3



$$\left. \begin{aligned} (1 + \sin \rho \cos 2\varphi) \frac{\partial \sigma}{\partial x} + \sin \rho \sin 2\varphi \frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2\sigma \sin \rho \sin 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + 2\sigma \sin \rho \cos 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} &= 0 \\ \sin \rho \sin 2\varphi \frac{\partial \sigma}{\partial x} + (1 - \sin \rho \cos 2\varphi) \frac{\partial \sigma}{\partial y} + 2\sigma \sin \rho \cos 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + 2\sigma \sin \rho \sin 2\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

(3)式を解くことは次の特有連立方程式を解くことに帰着する。ただし α, β は特有変数とする。

$$C_+ \text{ 曲線 } \frac{\partial y}{\partial \alpha} = \frac{\sin 2\varphi + \cos \rho}{\cos 2\varphi + \sin \rho} \frac{\partial z}{\partial \alpha} \dots (4)$$

$$C_- \text{ 曲線 } \frac{\partial y}{\partial \beta} = \frac{\sin 2\varphi - \cos \rho}{\cos 2\varphi + \sin \rho} \frac{\partial z}{\partial \beta} \dots (5)$$

$$\Gamma_+ \text{ 曲線 } \frac{\partial \sigma}{\partial \alpha} = -2\sigma \tan \rho \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} \dots (6)$$

$$\Gamma_- \text{ 曲線 } \frac{\partial \sigma}{\partial \beta} = 2\sigma \tan \rho \frac{\partial \varphi}{\partial \beta} \dots (7)$$

(4), (5)式は物理面 x, y についての特有曲線で、図-3より C_+, C_- 曲線の交点をとる主応力線のベクトル $\vec{q}$ と C_+, C_- の交点における各切線となす角 A を特有条件式より求めれば、この2つの角は等しく $A = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$ となり C_+, C_- 曲線は slip line となる。

導坑に向い塑性流動を起す場合塑性体と弾性体との境界面すなわち $y = -h$ または $y = h$ において最大主応力は x 軸とそれぞれ $\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right)$ または $-\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right)$ の角をなす。また φ は x には無関係であるから $\varphi = f(y)$ として(3)式より次式が得られる。

$$C_y = 2\varphi \sin \rho - \sin 2\varphi + C_2 \dots (8)$$

ただし C, C_2 は積分常数である。

(8)式を用いて(4)式より、

$$C_x = -2\varphi \cos \rho - \cos 2\varphi + \text{const.} \dots (9)$$

(8)式を用いて(5)式より

$$C_x = 2\varphi \cos \rho - \cos 2\varphi + \text{const.} \dots (10)$$

(6), (7), (9)及び(10)式より

$$\sigma = C_1 \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} (\cos 2\varphi + C_x) \right] \dots (11)$$

ゆえに (2)式より

$$\sigma_x = C_1 (1 + \sin \rho \cos 2\varphi) \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} (\cos 2\varphi + C_x) \right] \dots (12)$$

$$y=0 \text{ において } \varphi = \frac{\pi}{2} \text{ なることより } C_2 = -\pi \sin \rho$$

また境界条件より

$$C = \frac{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho}{2h}$$

(12)式に代入して

$$\sigma_x = C_1(1 + \sin \rho \cos 2\varphi) \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} \left\{ \cos 2\varphi + \frac{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho}{2h} x \right\} \right] \dots\dots\dots (13)$$

いま導坑側壁中央において、すなわち $y=0, x=a$ における水平直応力を $\sigma_{a,0}$ とすれば、 $y=0$ において $\varphi = \frac{\pi}{2}$ なることより

$$C_1 = \frac{\sigma_{a0}}{1 - \sin \rho} \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} \left\{ 1 - \frac{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho}{2h} a \right\} \right] \dots\dots\dots (14)$$

(13), (14)式より(2)を用いて

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= \frac{\sigma_{a0}}{1 - \sin \rho} (1 - \sin \rho \cos 2\varphi) \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} \left\{ \cos 2\varphi + \frac{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho}{2h} (x-a) + 1 \right\} \right] \\ \sigma_x &= \frac{\sigma_{a0}}{1 - \sin \rho} (1 + \sin \rho \cos 2\varphi) \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} \left\{ \cos 2\varphi + \frac{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho}{2h} (x-a) + 1 \right\} \right] \\ \tau &= \frac{\sigma_{a0}}{1 - \sin \rho} (\sin \rho \sin 2\varphi) \exp \left[\frac{\tan \rho}{\cos \rho} \left\{ \cos 2\varphi + \frac{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho}{2h} (x-a) + 1 \right\} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

いま地山は水平な地表面を有するとし、導坑は地表面より h' なる深さに存在するとし、地山の単位容積当りの重さを γ として塑性流動限界曲線を求める。 $N_\rho = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$ として φ を副変数として用いれば

$$x = \left[\frac{\cos \rho}{\tan \rho} \left\{ \log \left(\frac{\gamma h' (1 + N_\rho) (1 - \sin \rho)}{2 N_\rho \sigma_{a0}} \right) \right\} - (\cos 2\varphi + 1) \right] \frac{2h}{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho} + a \dots\dots\dots (16)$$

(8)式より

$$y = 2 \frac{(2\varphi - \pi) \sin \rho - \sin 2\varphi}{(\pi + 2\rho) \sin \rho + 2 \cos \rho} h \dots\dots\dots (17)$$

(16), (17)式により塑性流動限界曲線が求められる。

(3-3) 重力及び地震力をうけるダム内部応力 分布に関する遠心力光弾性学的研究

正員 京都大学工学部 工博 石 原 藤 次 郎
正員 同 工博 小 西 一 郎
正員 同 ○丹 羽 義 次

高ダムを合理的に設計するためには、その内部応力を適確に把握しなければならない。このためにすでに多数の權威者によつて、種々の外荷重をうける堤体の内部応力に関する理論的研究が行なわれ、ある程度厳密な応力を求めることができるようになってきた。また実験的研究もかなり活潑に行なわれてきたが、自重及び静的に考へた地震力による堤内応力に関しては、実験がきわめて困難であるためほとんど行なわれていない。このために著者等は重力及び地震力の作用による応力が構造物の安全性を左右するいわゆる重量構造物、例えばダム、トンネル、長大トラス等の応力を究明するために高速度遠心力光弾性装置の試作を行つた。これは従来の光弾性装置の載荷枠を遠心機に改良し、模型を高速度で回転して遠心力の場内におき、重力場における応力と相似の応力を惹起させて、これを光弾性学的に究明しようとするものである。

本研究はこの遠心力光弾性実験の基礎となる実物模型との間に成立する相似の法則について考察を行ない、その実験装置の概要をのべ、つぎに重力及び地震力をうけるダムの内部応力について本実験結果と、従来算出されている応力分布とを比較し、両者のいちじるしい差違を明らかにして、今後の設計に資すべき若干の考察を行なつたものである。