

I-26 2次元的な岩盤模型の応力測定に関する一考察

京都大学工学部 正員 丹羽義次

京都大学大学院 学生員 O山本和夫

I まえがき 岩盤模型を対象とする応力測定法には抵抗線歪計のほか光弾性歪計<sup>1)~3)</sup>による方法が考えられる。後者の光弾性歪計は、光弾性測定片を物体内に埋設する埋設法<sup>4),5)</sup>と物体の表面に光弾性皮膜を接着する皮膜法の2種類がある。ここでは、光弾性皮膜法による応力測定についてその概略を述べ、基礎的実験の一例と理論的考察を行う。この場合岩盤模型として、ある程度力学的性質が似ているセメント・モルタルブロックを用いた。

II 光弾性皮膜法による応力測定

1. 光弾性歪計の構造 図-1に本実験に使用した光弾性歪計の構造を示す。Aは内径4mm,外径14mm(うち接着部2mm)厚さ4mmのAraldite Bの円環光弾性皮膜であり、内孔は応力集中効果の作用をする。Bは被接着部Cをおおう薄いゴム板である。Dは皮膜と下地材料(セメント・モルタルブロック)Sとの接着部であって、下地材料の歪を伝達する。Eはアルミはくを接着した反射面である。Fは下地材料の歪を完全に皮膜に伝達するための隅肉部分である

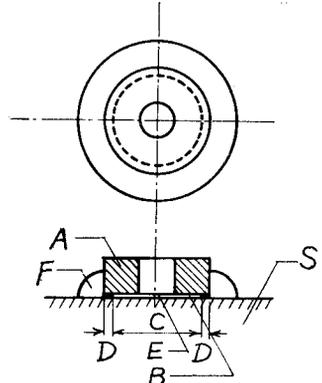


図-1 光弾性歪計

2. 理論的考察 本応力測定法を検証するため、Airyの応力関数を用い理論的考察を行った。ここでは、簡単に半無限板と仮定した下地材料に、x方向の1軸応力(等分布応力  $P \text{ kg cm}^{-2}$ )が作用した場合について考える。図-2に示すように極座標をとれば、下地材料におけるAiryの応力関数 $\phi$ は周知のように、

$$\phi = \frac{P}{4} r^2 - \frac{P}{4} r^2 \cos 2\theta$$

となり、応力成分はつぎのように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{P}{2} + \frac{P}{2} \cos 2\theta, & \tau_{r\theta} &= -\frac{P}{2} \sin 2\theta \\ \sigma_\theta &= \frac{P}{2} - \frac{P}{2} \cos 2\theta. \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

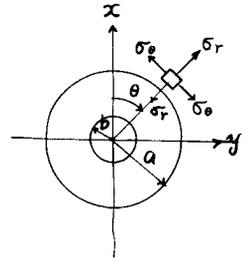


図-2

また、皮膜における( $a \geq r \geq b$ ), 応力関数 $\phi'$ は  $\phi' = A_0 \log r + B_0 r^2 + C_0 r^2 \log r + (A_2 r^2 + B_2 r^4 + A_2' r^2 + B_2') \cos 2\theta$

となり、応力成分はつぎのように表わされる

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r' &= A_0 r^{-2} + 2B_0 + 2C_0 \log r + C_0 - (2A_2 + 6A_2' r^2 + 4B_2' r^2) \cos 2\theta \\ \sigma_\theta' &= -A_0 r^{-2} + 2B_0 + 2C_0 \log r + 3C_0 + (2A_2 + 12B_2 r^2 + 6A_2' r^4) \cos 2\theta \\ \tau_{r\theta}' &= (2A_2 + 6B_2 r^2 - 6A_2' r^4 - 2B_2' r^2) \sin 2\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

ここに、境界条件はつぎのように表わされる。

内孔面 ( $r = b$ )において,  $\sigma_r' = 0, \tau_{r\theta}' = 0 \dots\dots(3)$

外孔面 ( $r = a$ )において,  $\epsilon_r = \epsilon_r', \epsilon_\theta = \epsilon_\theta' \dots\dots(4)$

(3),(4)式に、(1),(2)式を代入して、応力関数の係数を求め、各応

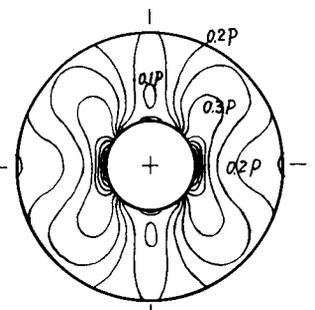


図-3 ( $\sigma_r - \sigma_\theta$ )

力成分を求めることができる。図-3は、数値計算より求めた理論的等色線縮模様（等主応力差線 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ ）を示す。

### III 実験結果の一例

1. 材料試験 皮膜 Araldite B および下地材料セメント・モルタルの力学的、光学的性質は材料試験の結果つぎのようである

	ヤング率 ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$ )	ポアソン比	応力-フリンジ値 ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$ )
Araldite B	$E' = 29,000 \sim 32,000$	$\nu' = 0.35 \sim 0.37$	$f_0 = 10.0 \sim 11.0$
セメントモルタル	$E = 150,000 \sim 200,000$	$\nu = 0.15 \sim 0.25$	—

上述の理論的計算では、 $E' = 30,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ ,  $\nu' = 0.36$ ;  $E = 170,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ ,  $\nu = 0.20$  を採用した。

2. 実験結果の一例とその考察 写真-1は、1軸応力（等分布応力  $P = 100 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ ）を与えた場合の等色線縮模様を示す。この結果と先に理論的計算で求めた図-3と比較すれば、縮次数はほぼ一致するが、縮模様の形にある程度相違が認められる。その原因についてつぎのように考えられる。

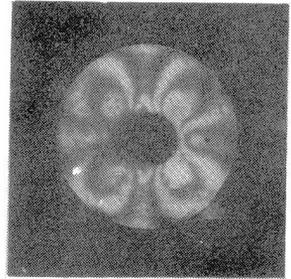


写真-1

1) 接着の不完全 本測定法では、皮膜と下地材料とは皮膜の外周部分で完全に接着されていなければならない。接着が不完全であればその部分において歪が完全には伝達されず、下地材料と皮膜との歪状態は異なってくる。しかし、部分的な接着の不完全さは、縮模様から判定できる。写真-1における縮模様がやや対称性を失っているのは、部分的な接着の不完全さを示すものと思われる。

2) 初期応力の影響 接着剤硬化の際の収縮による初期応力、接着時と実験時の温度の差異による初期応力および時間の経過に伴って成長する境界縁応力によって、皮膜の縮模様が攪乱される。

3) 皮膜の厚さの影響 接着が完全ならば、皮膜の下面において下地材料の歪がそのまま伝達されるが、皮膜が厚ければ一様には伝達されず、皮膜における応力-歪状態は3次元のものとなると考えられる。したがって、等色線から求まる応力は皮膜の厚さ方向の平均値を示すことを考慮すると、2次元的な応力-歪状態としたときの応力とは異なる。

IV あとがき 以上、光弾性歪計による応力測定法について、その概要を述べたが、皮膜法による光弾性歪計は、まだ途についたばかりで今後改良すべき多くの問題を残している。これらの点について、さらに考察をすすめて本応力測定法を確立し、種々の荷重状態にある岩盤模型の応力測定に適用したいと思っている。

(参考文献) 1) 西田・小西・丹羽：セメント技術年報第4巻, p.295~298, S.25.10  
 2) 平松・丹羽・岡：水曜会誌第14巻第1号, p.7~10, S.34.9  
 3) 村山・丹羽・川本：土木学会論文集第63号, p.66~73, S.34.7  
 4) G.U.Oppel：Experimental Mechanics, p.65~73, March 1961  
 5) 西田：応用物理第31巻第10号, p.823~829, S.37.9