

II-8

光弾性皮膜法に関する実験的研究

—その応力，ひずみの関係について—

九州大学 正員 村上 正
同 同 〇斎藤利一郎
同 同 藤田 寛孝

§1, まえがき

皮膜法は、被測定物の測定箇所、の表面に反射面を作り、それに厚さ t (mm)の光弾性樹脂を施し、反射光を用いて、二次元光弾性と同じ原理で皮膜内の応力 $\sim$ ひずみを測定し、その連続性から被測定物の表面応力を求める方法である。この方法による研究の牛始めとして下地材料にアルミ板を選び、それに皮膜を施した場合の応力 $\sim$ ひずみ関係を調べた結果を報告する。

§2, 主応力，主ひずみの関係式

平面応力状態にある皮膜の主応力 (σ_1, σ_2) と主ひずみ (ϵ_1, ϵ_2) の関係は、

$$\sigma_1 = E(\epsilon_1 + \mu \epsilon_2) / (1 - \mu^2), \quad \sigma_2 = E(\mu \epsilon_1 + \epsilon_2) / (1 - \mu^2) \quad (1)$$

ここに E : ヤング率, μ : ポアソン比である。この式より主応力差と主ひずみ差の関係を導けば

$$\sigma_1 - \sigma_2 = E(\epsilon_1 - \epsilon_2) / (1 + \mu) \quad (2)$$

然るに光弾性皮膜のひずみは下地材料の表面ひずみと一致することから、下地材料のその値に'をつけて表わすと、

$$\epsilon_1 = \epsilon'_1, \quad \epsilon_2 = \epsilon'_2 \quad (3)$$

皮膜の等色線シマ次数 N は、垂直入射の場合、皮膜の主応力差に比例し、1にがって下地材料の主ひずみ差 $(\epsilon'_1 - \epsilon'_2)$ に比例することとなる。この場合の光弾性法則は、次の式で示される。

$$N = z \alpha t (\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{z \alpha t E}{1 + \mu} (\epsilon'_1 - \epsilon'_2) = z t \beta' (\epsilon'_1 - \epsilon'_2) \quad (4)$$

ここに、 N : シマ次数, t : 皮膜の厚さ (mm), α : 光弾性感度 (mm/kg), β' : 主ひずみ差感度 $= \alpha E / (1 + \mu)$, 特に単軸引張りの場合には、

$$\epsilon'_2 = -\mu \epsilon'_1 \quad (5)$$

$$\therefore \epsilon'_1 - \epsilon'_2 = (1 + \mu') \epsilon'_1 \quad (6)$$

この関係を(4)に代入すれば

$$N = z \alpha t E (1 + \mu') \epsilon'_1 / (1 + \mu) = z t \beta \epsilon'_1 \quad (7)$$

ここに、 $\beta = \alpha E (1 + \mu') / (1 + \mu)$: 主ひずみ感度であるが、これは皮膜を下地に施した場合であって、皮膜材料単独の場合には、

$$\beta = \alpha E \text{ (mm}^{-1}\text{)} \quad (8)$$

(4)式および(7)式は実用上の式であって

$$\text{一般の場合: } \epsilon'_1 - \epsilon'_2 = N / z t \beta' \quad (8)$$

$$\text{単軸引張りの場合: } \epsilon'_1 = N / z t \beta \quad (9)$$

になる。

§3. 検定曲線

下地材料にアルミ板 (1mm) を使用する場合、文献(1), (2)を参照して、良好な β (mm⁻¹), α

(mm/kg) を有していると思われる皮膜材料として重量比で主剤：硬化剤：軟化剤＝100：10：20のものを選んで、軟化剤が20以下のものは、ガラス状になり、実験の際、剥離するシと考えられ、また縁辺の仕上げおよび接着の困難さを認めた。

下地材料の応力-ひずみの関係を与える曲線を検定曲線として、利用するものとし、皮膜の等色線写真から主ひずみ、主応力の分布曲線を求める際に換算用スケールの役割をもたせる。ここでは図-1に示すような引張り試験片を用いて、測定するシにした。すなわち、試験片に皮膜を接着し、図に見るように一端にテーパーをつけた結果、引張り試験片の一部分に次数0, 1, 2, ... 程度のシマが順次現われ、テーパー部を除いた平面部に生じるシマ次数を誤りなく読みとることができた。単軸引張りであるから、ストレイン・ゲージによるひずみ値 ϵ_1 とシマ次数 N との関係は(9)式に適用して β が決定され、また、(4), (7) 式からは、 β が求まる。ついで(8)式により $\epsilon_1 - \epsilon_2$ が求められ図-2が描かれる。

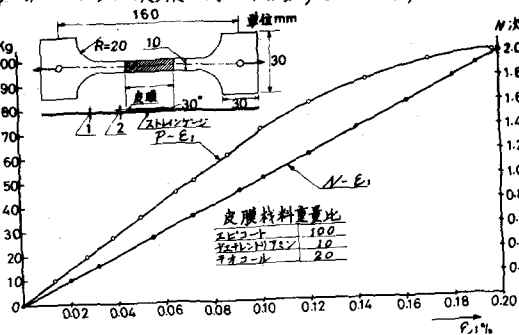


図-1

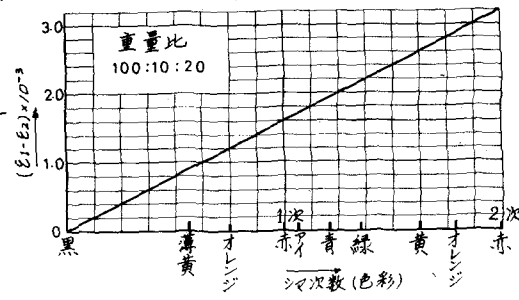


図-2

ここでは2次まででプロットを打切っているが3次程度まで観測しておけば、シマ次数の間を補間でき便利であると思われる。

§4. 実験の手順.

皮膜の作製の手順は、文献(1)を参照した。皮膜の接着に際しては、前述の検定用、実験用の両試験片とも同一のセメタイン/500を使用した。また気泡の残らぬように一様に圧着し、接着後24時間保持した。下地材料に被覆した皮膜は、その皮膜層に初期ひずみが残っているかどうかを調べ、初期ひずみがあると認められたものは、貼りかえた。反射面は、その表面の油脂や異物を除去するだけにとどめたが、観測の結果は十分なものを得ることができた。

シマ次数の観測に当って、周縁の接線方向に作用する応力の符号が引張りであるか、圧縮であるかの判定は次の手順によった。まず装置を等傾曲線を観測する光学系にセットし、自由周辺の測定点に等傾曲線が一致するまで検光子を回転させ、さらに、1/4波長板をこの光学系に入れ、偏光子と検光子を固定する。次に検光子を回転させ、低次のシマが測定点にくるようにする。この場合、検光子を時計方向に回転させて、低次のシマが測定点に向うなら引張りであり、反時計方向なら圧縮である。

周縁のもう一つの主応力 $\sigma_2 = 0$ であり、少なくとも下地材料の弾性範囲内では、(2)式を用い、次のようになる。

$$\sigma_2 = 0, \quad \sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_1 = E(\epsilon_1 - \epsilon_2) / (1 + \mu) \quad \text{--- (2)'}$$

§5. 実験例.

ここに、シマ次数の観測が比較的容易なものとして、図-3, 4, 5のような長円孔をもつ直線は

リと、曲がりばりの二つについて、それらが
はりの面内で純粋曲げを受ける場合の実験を
試みた。

試験片の詳細については、図を参照のこと。

写真-1, 2に等色線写真の例を示す。

このように、シマ次数を判読できる写真を得る
ことができた。また接着むらも認めなかった。

図-6は、上下縁の応力 $\sim$ ひずみ分布の例で
シマ次数単位で示している。

これを図-1と対比することによって、シマ
次数(N) $\sim$ ひずみ(ϵ)の関係が明らかになる。

上縁において、NO.1 $\rightarrow$ NO.7になるにつ
がつて、シマ次数の減少を見るが、これは、長
円孔が上縁に近づくにつれて、その応力集中が
シマ次数分布に影響したものと考えられる。

下縁においても同様なおことが言える。この他
に長円孔の上下方向の移動に伴って、中立軸が
移動し、その影響も入ってくる。

これは、直線ばりについても同様な傾向を認
めた。図-7は、曲がりばりの孔周縁の応力 $\sim$ ひずみ
分布をシマ次数単位で示したものである。

図に見るように、応力の符号がかわる点(0次)の
存在を認める。すなわち、長円孔が上縁に近い試験片、
NO.1, 2に全て引張りが生じるが、NO.4, 5で
は、ほぼ中立軸の近傍で引張り、下縁に圧縮さ
れるのを認める。

図-8, 9は直線ばり、曲がりばりの各点の応
力集中係数Kの値を C/R , C/R をパラメータ
として示したものである。ここで言う応力集中
係数とは、図-8の点1又は4において工学的
曲げ理論より算出した応力 σ と、各点における
測定応力 σ_N との比で、

$$K = |\sigma_N / \sigma|$$

として求めた。

図に見るように、二つの試験片とも同様な傾向
を認めるが、NO.1, 7を除いてNO.2 $\rightarrow$ 6ともさほど大きな差を認めない。

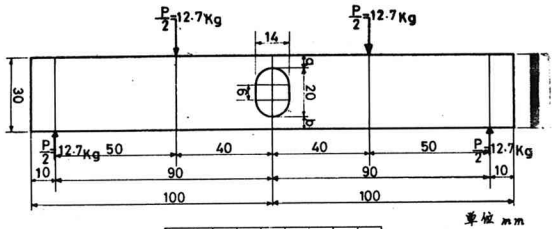


図-3

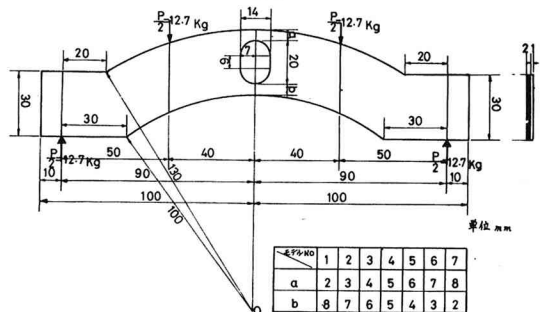
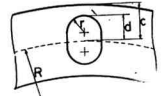
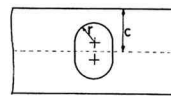


図-4



シマ次数	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{C}{R}$	1.71	1.86	2.00	2.14	2.29	2.43	2.57

シマ次数	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{C}{R}$	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16

図-5

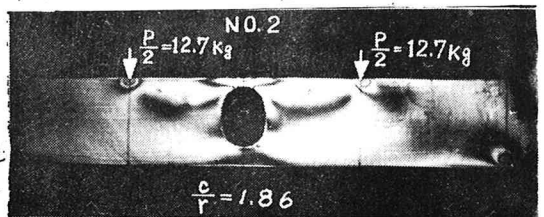


写真-1

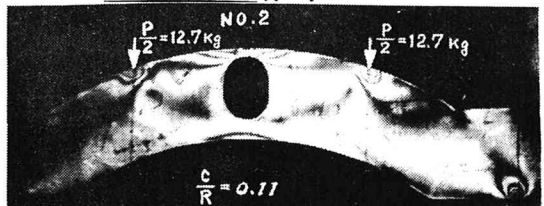


写真-2

NO.1の点Z,
NO.7の点3での

Kの値は、 $K=1.0$ の値を大きく越えるが、これは、図-7に見られるように、孔周縁の応力集中が高まって、その影響によるものである。また

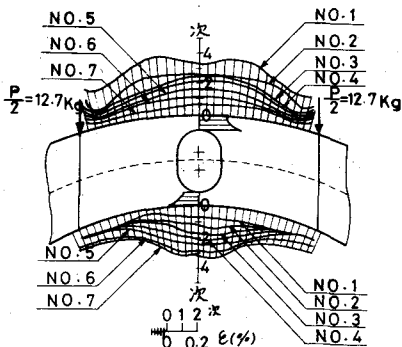


図-6

NO.4 ($C/R=2.14$, $C/R=0.13$) では、各点での応力集中係数に大きな違いがなく、上下縁および、孔周縁の干渉が少ないことを意味する。

ろ6. おまじ

本実験の範囲から明らかになることはおよそ次のようである。

(1). 市販の実験装置は、改良、工夫の余地があり、種々の問題がある。特に、N-E 曲線を得る場合、材料の感度不足で低次のシマ次数の補間が容易ではないことを知ったが、ニにて試みにより、式(8)の関係をその差度グラフ化し、実験値と対比する方が望ましいと思われる。

(2). 比較的、皮膜の接着面積が大きいために、下地にかかる応力および、ひずみの一部が、皮膜に負担され、皮膜の補強効果が現われていると考えられるが、この場合には、平面応力の場合の補正基本式を導いて、ニれを実験的に検討することが必要であろう。

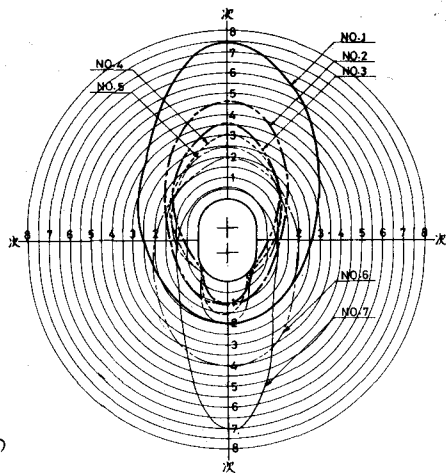


図-7

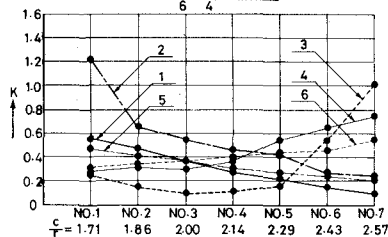
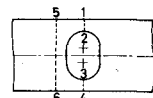


図-8

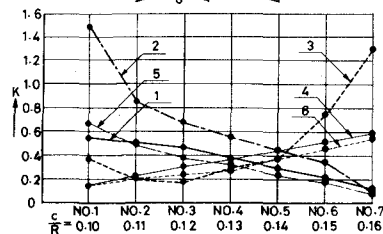
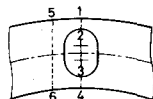


図-9

参考文献

- 1). 村上 青藤, 平野; 皮膜法に関する実験的研究; 昭和42年度土木学会西部支部研究発表会論文集.
- 2). 村上 青藤, 藤田; 皮膜法に関する実験的研究; 第23回年次学術講演会 講演概要, 昭和43年10月.
- 3). M.M. Frocht, photo-elasticity Vol. 1, 2, 1948.
- 4). S. Smith: Advanced Mechanics of Materials 2nd edition 1952
- 5). 西田; 応力集中, 昭和43年.