

光弾性しま模様の自動解析への試み

成 岡 昌 夫*
 川 本 朧 万**
 水 島 章 次***

1. 緒 言

問題解決の手段としての電子計算機の利用度は、近年いちじるしいものがある。土木工学においても、各種の数値計算からはじまって、最近、設計図まで自動的に作成されるようになってきている^{1),2)}。一般に、解くべき問題の手がかりとなる情報は図形から得る場合が多く、その情報を符号化して電子計算機に入力する方法をとる。設計図のようなもの場合には、各諸元は図に明記されているから、それを符号化して入力する方が有利である。しかし、本文で述べる光弾性しま模様のようなもの場合、そのしま模様より応力解析に必要な数値をとり出すこと自身、かなりの熟練を要する。このために生ずる実験結果解析の遅滞などによる時間的損失を減少させるため、また、解析における精度をより高めるために、筆者らは光弾性しまの処理に電子計算機を用いることを試みた。

2. 光弾性しま模様の量子化パターン

図形としては、一般に、設計図のように線で表わされるものと、写真のように濃淡で表わされるものがある。

濃淡で表わされる図形を問題の意に沿って処理する場合、プログラミング上に多くの困難を生ずるが、光弾性しま模様のように、本来の性質上、線図形として表わされるものであれば、以下に述べる方法を採用することにより、その処理はかなり数式化でき、プログラミングが容易になる。

(2) 量子化パターンの作成

光弾性実験によって得られるデータは、実験条件による

* 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科
 ** 正会員 工博 名古屋大学助教授 工学部土木工学科
 *** 名古屋大学助手 工学部土木工学科

数値データと等色線、等傾線の2種類のしま模様がある。このうち、しま模様の方は図-1(1)のように幅 l の等間隔メッシュ ($m \times n$ 格点) 中にあてはめ、図形とメッシュの格点に近い方をとって、量子化パターンとする。計算機内には、 $m \times n$ の2次元配列をとり、図-1(2)の図形を再現するエリアとする。なお、この図形の大きさは、メッシュ間隔を $l \text{ mm}$ とすると、 $(m \times n) \cdot l \text{ mm}^2$ である。

(2) 量子化パターンの入力

量子化パターンに変換されたしま模様を計算機内に入力するには、以下に述べる2つの方法が考えられる。

a) チェイン表現による入力^{3),4)}

図-2に示すように、量子化パターンの各要素を結んだ折線で近似し、数値化して入力する。この場合、図-3に示すように、1つの要素について8つの方向を考え、0~7の数(以後、この数を方向指示子と呼ぶ)を対応

図-1 線図形より量子化パターンへの変換

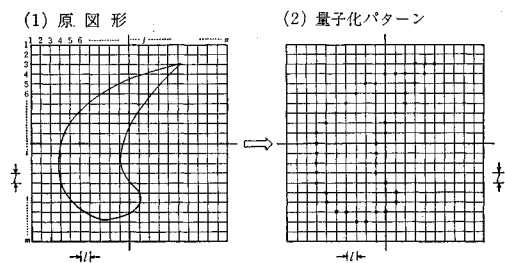
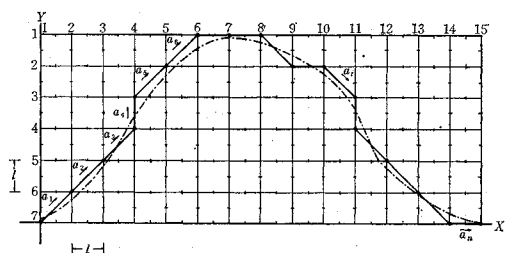


図-2 線図形のチェイン表示



させる。

たとえば、図-2 に対して

1 1 1 2 1 1 0 0 7 0 7 6 7 7 7 0

のように表わすことができる。以後、このような数列をチェーンと呼ぶことにする。

一般に、線図形において、その構成線分の1つについて着目すると、この線分が閉じていれば任意の一点を、閉じていなければ端点を基点と考えて、線分をつぎのような式で表わすことができる。

$$\prod_{i=1}^n a_n = a_1 \cdot a_2 \cdots a_i \cdots a_n \cdots (1)$$

ただし、 a_1 は線分の基点でのつぎの要素のある方向を与える。 n は1つの線分の量子化パターンの方向指示子の総数である。

このようにして、線図形をチェーンで表現すれば、次のように一次元配列として格納することができる。

$$A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \cdots (2)$$

b) 量子化パターン表現による入力

図-1 (2) のように表現された量子化パターンのままの形状で入力する場合には、この $m \times n$ 格点の大きさの配列をつくる。このとき、配列の各要素の値は、格点に量子があれば1、なければ0とする。たとえば、図-2 については、 7×15 の配列となり、このときの第1行目について考えれば

(0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0)

となる。このようにして表わした配列を、計算機内にとった配列内にそのままの値で格納する。しかし、量子化パターンのままで入力された等傾線しま模様は、その処理上、チェーン表現がなされていなければならない。そこで、相隣る量子をトレースし、チェーン化を行なう。いま、しま模様のある配列を B とすると、

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & & & \\ \vdots & & & \\ b_{m1} & \cdots & b_{ij} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \cdots (3)$$

と表わすことができる。いま、チェーンをある要素までつくり、つぎの要素の位置が (i, j) であるとし、 b_{ij} の相隣る要素を含む配列 C を考えると、 C はつぎのように表わされる。

$$C = \begin{bmatrix} b_{i-1,j-1} & b_{i-1,j} & b_{i-1,j+1} \\ b_{i,j-1} & b_{ij} & b_{i,j+1} \\ b_{i+1,j-1} & b_{i+1,j} & b_{i+1,j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \cdots (4)$$

このとき、処理の便宜上、 b_{ij} を指示した要素の値を0としておくと、 $b_{ij}=1$ であり、他の要素のいずれか1つが1であり、他はすべて0である。たとえば、図-2 の場合の配列を B とし、 b_{ij} を $b_{3,4}$ とすると、この $b_{3,4}$ を指示した要素は $b_{4,4}$ である。そこで、 $b_{4,4}$ に0を入れると、

$$C = \begin{bmatrix} b_{2,3} & b_{2,4} & b_{2,5} \\ b_{3,3} & b_{3,4} & b_{3,5} \\ b_{4,3} & b_{4,4} & b_{4,5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

である。ここで、つぎのように、方向指示子を与える配列 D を考える。

$$D = \begin{bmatrix} 4 & 3 & 2 \\ 5 & 0 & 1 \\ 6 & 7 & 8 \end{bmatrix} \cdots (5)$$

この配列 D と配列 B の部分配列 C を用いて

$$E = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (c_{ij} \times d_{ij}) - 1 \cdots (6)$$

ただし、 c_{ij} , d_{ij} は C , D の要素である。

この計算を行なうと、この E は $0 \sim 7$ のいずれかの値をとり、図-3 に示したように b_{ij} のつぎに続く要素のある方向を与える。

以上のようにして、しま模様を量子化パターンに変換し、その後、等傾線パターンはチェーン化がなされる。また等色線パターンはそのまま配列として、計算機内に格納される。そこで、これらの入力されたパターンより、以下の処理が行なわれる。

3. 主応力線の作成

周知のように、主応力線(主応力の流れを示す線群)は等傾線を用いて求められるが、計算機によって作図させるためには、つぎの点に留意しなければならない。

① 両主応力の値の等しい点を除けば、たがいに交わらない。このことより、主応力線を1本の独立した線分と考えることができる。

② 等傾線は自由境界の接線が等傾線の指示する主応力方向に平行する点においてのみ自由境界と交わるから、主応力線図の起点を自由境界上にとることができる。

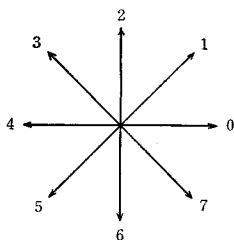
③ すべての等傾線は両主応力の値の等しい点(特異点:特別な場合として、自由境界上の応力が零の点がある)で交わる。この点では、特に定まった主応力軸方向は定義できない。

上述の性質より、主応力線の起点を自由境界上にとり、以下に述べるように、順次チェーンを作成する。

(1) 主応力線の基点の設定

上述のように、自由境界線上に主応力線の基点をとる

図-3 方向指示子



ことを考える。

一般に、一つの線図形を表すチェーン $\prod_{i=1}^n \hat{C} a_i$ において、その基点より j 番目の指示子 a_j の示す位置までの線分の長さ L は、次式で与えられる。

$$L = l \sum_{i=1}^j (\sqrt{2})^{P_i} \dots \dots \dots (7)$$

ただし、 P_i は a_i が偶数のとき 0、奇数のとき 1 の値をとる。

ここで、自由境界線図形を U 、チェーンを $\prod_{i=1}^n \hat{C} u_i$ とし、全長を L とする。また、このチェーン上の基点と終点の内側から、 k 本の主応力線を引くものとする、それぞれの基点の位置は $L/(k+1)$ 間隔となり、 $\prod_{i=1}^n \hat{C} u_i$ の基点より数えて q 本目の主応力線の位置 R_q は、次式で与えられる。

$$R_q = q \cdot L / (k+1) \dots \dots \dots (8)$$

ただし、 q は 1, 2, 3, ..., k のいずれかである。

しかし、一般に、 R_q は U の量子のある位置にはならず、次式に示す範囲内の位置をとる。

$$l \sum_{i=1}^{j-1} (\sqrt{2})^{P_i} \leq R_q \leq l \sum_{i=1}^j (\sqrt{2})^{P_i} \dots \dots \dots (9)$$

そこで、 R_q は $j-1$ 番目と j 番目で示される量子の近い方の位置をとって、 q 本目の主応力線の基点の位置とする。

(2) 主応力線作成

主応力線に関して、つぎのような近似を行なう。いま、等傾線 ϕ_i 上の一点から ϕ_{i+1} 上の点に主応力線を引くものとし、これらの等傾線の主応力方向が基準線に対してそれぞれ θ_i および θ_{i+1} の角をなしているものとする、 ϕ_i と ϕ_{i+1} の間の主応力線の基準線に対する角 θ とし、近似的につぎの値のものを用いることができる。

$$\theta = (\theta_i + \theta_{i+1}) / 2 \dots \dots \dots (10)$$

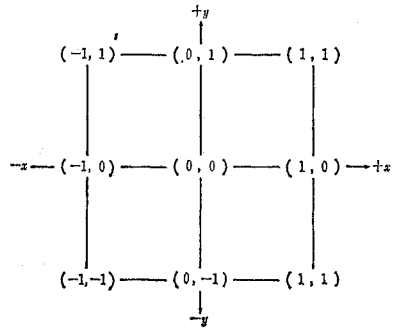
この θ を用いて、つぎのように主応力線群が作図される。

式 (3) で与えられる配列 B において、要素 b_{ij} (ϕ_i の要素) を原点とする座標を考え、 i 行を x 軸 (基準線と平行)、 j 列を y 軸とすると、勾配 a の直線 $y=ax$ の原点より r だけ離れた点までの方向指示子のチェーンは、つぎのようにして作成される。いま、直線 $y=ax$ 上の任意の点 (x_i, y_i) から、点 (x_{i+1}, y_{i+1}) までの変化 x_e, y_e は

$$x_e = x_{i+1} - x_i; y_e = y_{i+1} - y_i \dots \dots \dots (11)$$

である。ここで、点 (x_i, y_i) を原点とし、 $x_i - 1 \leq x_e \leq x_i + 1, y_i - 1 \leq y_e \leq y_i + 1$ の範囲の座標を考え、いま、 x, y はすべて小数点以下を四捨五入した値とすると、図-4 に示すように (x_e, y_e) はこの 9 つのいずれか一つの位置のみをとる。そこで、これを配列のように

図-4 直接のチェーン化のための局所座標



考えると、 (x_e, y_e) の示す位置に値 1 を入れ、他を 0 とすれば、式 (4) の配列 C と同ず性質となり、点 (x_i, y_i) から点 (x_{i+1}, y_{i+1}) への方向指示子が式 (5), (6) を用いて得られる。

(3) 対称図形の作成

与えられた試験片が対称形であり、かつ、荷重が対称的に作用していれば、主応力線も対称形となるから、片側のみを処理し対称点へ移動合成することができる。

いま、図形 S のチェーンを $\prod_{i=1}^n \hat{C} s_i$ とし、 S とある軸に対称な図形 Q のチェーンを $\prod_{i=1}^n \hat{C} q_i$ とすると、 S に対称な図形 Q のチェーンは、図形 S のデータから処理できる。

- ① 対称軸が基準線に対して垂直のとき

$$\prod_{i=1}^n \hat{C} q_i = \prod_{i=n}^1 (8 - s_i) \dots \dots \dots (12)$$

$$= (8 - s_n) \cdot (8 - s_{n-1}) \cdot \dots \cdot (8 - s_1)^*$$

- ② 対称軸が基準線に対して平行のとき

$$\prod_{i=1}^n \hat{C} q_i = \prod_{i=n}^1 (8 - s_i^{-1})^* \dots \dots \dots (13)$$

$$= (8 - s_n^{-1}) \cdot (8 - s_{n-1}^{-1}) \cdot \dots \cdot (8 - s_1^{-1})$$

ただし、 s_i^{-1} は s_i の逆方向を指示し、 $s_i^{-1} = (s_i + 4)^*$ で与えられる。

式 (12), (13) で求めた Q チェーンは、 S のチェーンの続きとして与えられている。たとえば、図-2 の図形を S とし、 X 軸に対称な図形を Q とし、 S と Q を合成した図形 T (チェーンを $\prod_{i=1}^{2n} \hat{C} t_i$ とする) は、

$$\prod_{i=1}^{2n} \hat{C} t_i = \prod_{i=1}^n s_i \cdot \prod_{i=1}^n \hat{C} q_i$$

$$= 1 \cdot 1 \cdot \dots \cdot 0 \cdot (8 - s_n^{-1}) \cdot (8 - s_{n-1}^{-1}) \cdot \dots \cdot (8 - s_1^{-1})$$

$$= 1 \cdot 1 \cdot \dots \cdot 0 \cdot 4 \cdot 5 \cdot \dots \cdot 3$$

* $(8 - s_i), (8 - s_i^{-1}), (s_i + 4)$ は 8 を法とする演算である。たとえば、図-2 の x 軸を基準線であり、対称軸であるとすれば、対称図形 Q はつぎのようなチェーンとなる。

$$\prod_{i=1}^n \hat{C} q_i = (8 - 0^{-1}) \cdot \dots \cdot (8 - 0^{-1}) \cdot \dots \cdot (8 - 1^{-1})$$

$$= (8 - 4) \cdot \dots \cdot (8 - 4) \cdot \dots \cdot (8 - 5)$$

$$= 4 \cdot \dots \cdot 4 \cdot \dots \cdot 3$$

で与えられる。このとき、図形 S のチェーンの最後の方向指示子 s_n により指示される位置 (X, Y) が対称軸より離れているときは、図形 Q のチェーンは位置 (X, Y) の対称な点を基点として処理されている。

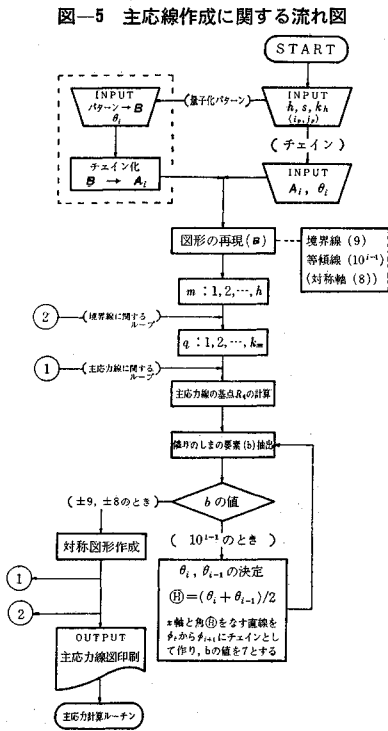
(4) 主応力線作成に関する流れ図

図-5 に、主応力線作成部分の流れ図を示す。ここで使用する入力データおよび記号はつぎのとおりである。

- 境界線図および境界線数 (h)
- 等傾線しま模様 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$
- 主応力線の基準線とのなす角 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$
- 図形の対称性 (S)
- 自由境界線上より引く主応力線の数 (k)
- 荷重作用点 (配列上の位置 $i_p, j_p, p=1, 2, \dots, r$)

また、等傾線しまをパターンエリアに再現したとき、処理上の便宜のために、配列の要素のとり状態別に、つぎの値をとり、主応力線と交わる要素は一符号をとる。

- $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ について $1, 10, \dots, 10^{n-1}$
- 境界線要素 = 9
- 対称軸 = 8
- 主応力線 = 7 (他の主応力線と交わる時 -7)



4. 応力成分計算⁵⁾

平面光弾性実験によって得られる等色線のしま次数を n とすると、周知のように、自由境界上では主応力 σ_1 ,

σ_2 のうち一方がゼロであるから、つぎの関係式が与えられる。

$$\sigma_1 = n/\alpha t \dots \dots \dots (14)$$

ここで、 α は光弾性感度、 t は板厚である。

試験片内部の応力成分に関して、せん断応力差積分法^{6,7)}を用いると、次式が与えられる。いま試験片の自重を無視し、図-6 のように x 軸に平行した点での応力を求めるために 2 本の補助線を使用すると、つぎの式 (15), (16), (17) より主応力を計算できる。

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\theta \dots \dots \dots (15)$$

$$\sigma_x = (\sigma_x)_0 - \frac{i}{6} \frac{d\tau_{xy}}{dy} \cdot \Delta x \dots \dots \dots (16)$$

$$(\sigma_x - \sigma_y) = (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta \dots \dots \dots (17)$$

ここで、 θ は主応力の x 軸に対する方向角であり、等傾線より求められるものである。そして、 n, θ はつぎのようにして、図形より決定される。

(1) 等色線しま模様の線図形化およびしま次数の決定

等色線しま模様は、一般に幅をもった図形として与えられるから、2. (2) b) の方法で入力され、そのままの状態で格納されている。しかし、等色線しま模様は、本来の性質より線図形と考えることができるから、つぎの処理を行ない、線図形とする。いま、図-7 に示すように、幅をもった量子化パターンの配列があるとき、式

図-6

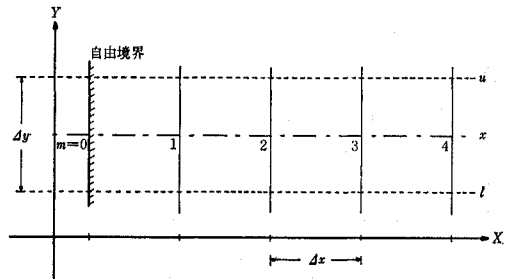


図-7 幅をもった図形の配列表示

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1	1	0
3	0	0	1	1	1	1	0
4	0	0	1	1	1	1	0
5	0	1	1	1	1	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0

(3) で説明したように、図形の配列 B の要素 b_{ij} に隣接する要素を含む配列 C を考える。このとき、 b_{ij} は値 1 をとるもののみを考慮すればよい。そこで、幅のある量子化パターンの外側の量子を消去するために、次式に示した配列 F_1, F_2, F_3, F_4 を考える。

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \begin{bmatrix} 0 & f & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & f & 1 \end{bmatrix}, F_2 = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & f \end{bmatrix} \\ F_3 &= \begin{bmatrix} f & 0 & f \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, F_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ f & 0 & f \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18)$$

ただし、 f は 0 でも 1 でもよい。

そうして、配列 C と配列 F_i が $C = F_i$ の関係をみれば c_{22} すなわち b_{ij} を 0 とし、 $C \approx F_i$ であればそのままとする。たとえば、図-7 の図形の配列を B とし、いま走査している要素 b_{ij} を b_{33} とすると、部分配列 C はつぎの関係をみだし、 b_{33} の値を 0 とする。

$$C = \begin{bmatrix} b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} = F_1$$

この操作を全要素に対してくり返せば線図形となる。その後、しま次数 n の決定がなされる。いま、等傾線しまより特異点を抽出することは容易になされ、この点を 0 次とすれば、この点に続いた量子を 2. (2) b) の方法でトレースし、抽出された要素の値を $n+1$ とする。この操作を各しまについて行なえば、それぞれのしまに次数を与えることができる。

(2) n_x, θ_x の決定

試験片内部の応力成分を、せん断応力差積分法を用いて計算するには、しま次数 n 、主応力線の基準線とのなす角 θ を必要とする。いま、基準線に平行な直線上の 2 点 (x_i, x_{i+1}) における n をそれぞれ n_i, n_{i+1} とし、他の 2 点 (x_j, x_{j+1}) における θ を θ_j, θ_{j+1} とすると、任意の点 $x(x_i, x_j < x < x_{i+1}, x_{j+1})$ において、しま次数 n_x はつぎの関係式で与えられる。

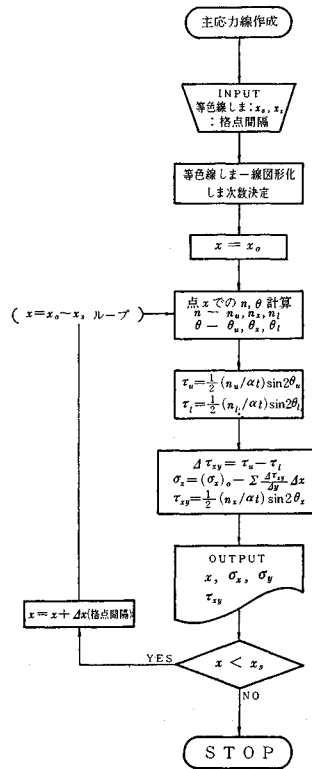
$$\left. \begin{aligned} n_i < n_{i+1} \text{ のとき } n_x &= n_i + \frac{(x-x_i)}{(x_{i+1}-x_i)} \\ n_i > n_{i+1} \text{ のとき } n_x &= n_{i+1} - \frac{(x-x_i)}{(x_{i+1}-x_i)} \end{aligned} \right\} \dots\dots(19)$$

また、その点 x における θ_x は

$$\left. \begin{aligned} \theta_i < \theta_{i+1} \text{ のとき } \\ \theta_x &= \theta_i + \frac{(x-x_i)}{(x_{i+1}-x_i)} \cdot (\theta_{i+1} - \theta_i) \\ \theta_i > \theta_{i+1} \text{ のとき } \\ \theta_x &= (\theta_i - 90^\circ) - \frac{(x-x_i)}{(x_{i+1}-x_i)} \cdot (\theta_i - \theta_{i+1}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(20)$$

で与えられ、これらは、図形の配列の各要素間を l とすれば容易に計算できる。

図-8 応力成分計算のための流れ図



(3) 応力成分計算のための流れ図

図-8 に応力成分計算の流れ図を示す。この処理における入力データおよび主応力線作成部分より引き渡されるデータは、つぎのとおりである。

- 等色線しま量子化パターン
- 主応力計算点 ($x_0 \leq x \leq x_s$)
- 格点間隔 (l)
- 特異点 (i, j), ……

また、処理上の便宜のために、等色線しまの配列の要素の値は、しま次数 $n=0, 1, 2, \dots$ に対し、それぞれ $n+1$ として与える。なお、この処理においては、一応 n を最大 6 までとるものとしている。

5. 計算機による処理例

ここでは、図-9 および 図-11 に示すように、円板および円環が垂直直径方向に、集中荷重を受ける場合のモデル内の主応力線の作図例を示す。この場合、等傾線を 10° 間隔で 0° から 80° まで撮影したものを拡大して、量子化パターンとしたもので、大きさは、2. (1) で述べた格子間隔を 1 mm として作成した。計算機により作成された主応力線をライン プリンターにより作図さ

図-9 円板の等傾線量子化パターン

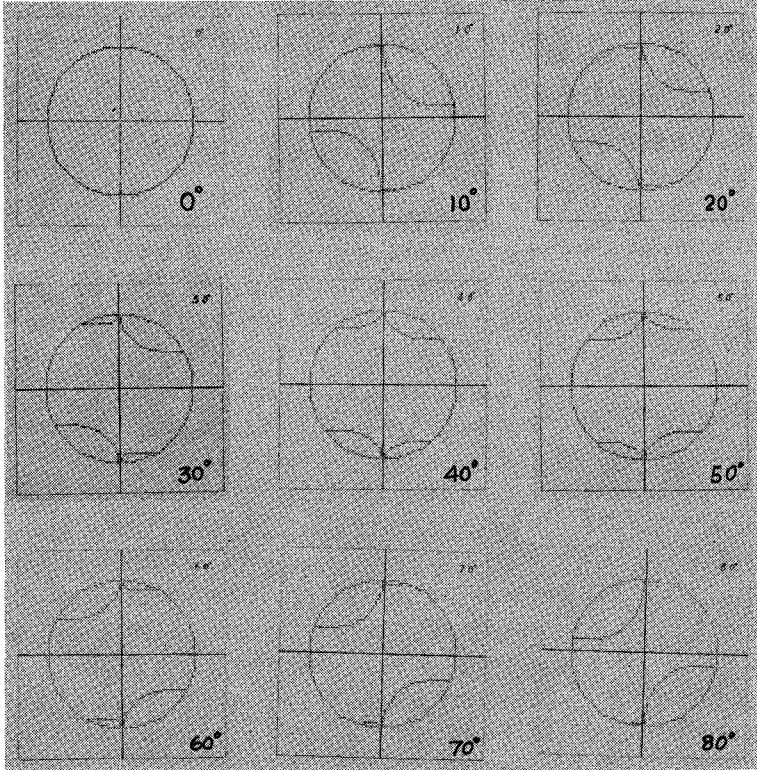


図-11 円環の等傾線量子化パターン

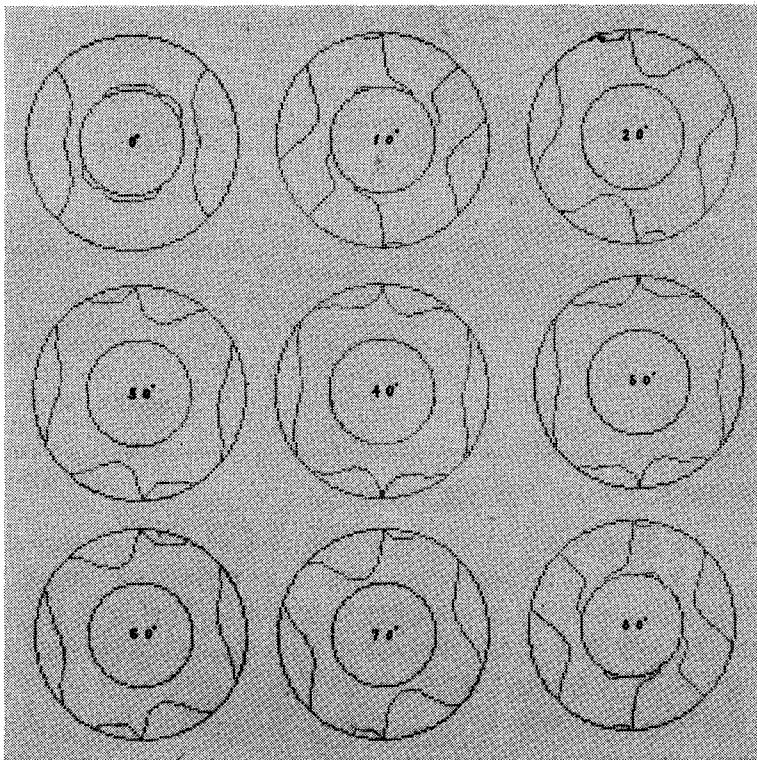


図-10 作成された主応力線

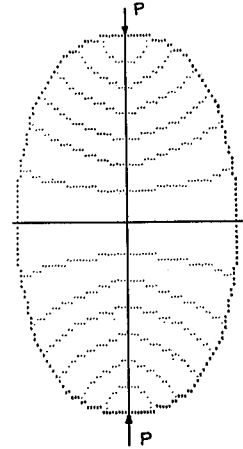
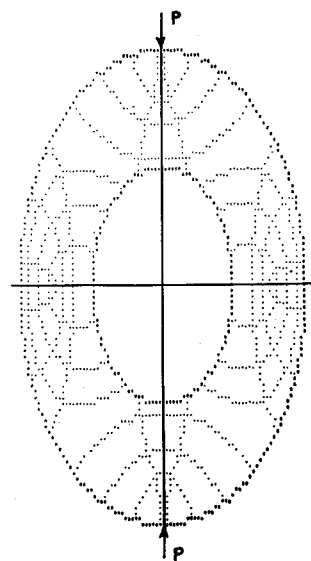


図-12 作成された主応力線



せたために、縦方向と横方向のピッチの違いによってわずんで見えるが、主応力の流れは十分につかめる。

(1) 相対する集中荷重を受ける円板の場合(図-9, 10)

直径 37.1 mm, 板厚 5.67 mm の円板が垂直直径方向に、集中荷重 61 kg を受けたときの等傾線しま模様を撮影し、直径 71 mm に拡大して、格点間隔 $l=1$ mm のパターン エリア (101×101 格点) 中にあてはめ、等傾線しまの量子化パターンとした。

(2) 相対する集中荷重を受ける円環の場合(図-11, 12)

内径 20 mm, 外径 55.2 mm, 板厚 5.67 mm の円環が、垂直直径方向に集中荷重 61 kg を受けたときの等傾線しま模様を撮影し、外径 83 mm に拡大して、格点間隔 1 mm のパターン エリア (101×101 格点) 中にあてはめ、等傾線しまの量子化パターンとした。

6. 検 討

以上述べたように、解析そのものは十分可能であるが、現時点では入出力装置にかなりの制限を受けている。このプログラムでは、入力側において量子化パターンに変換しなければならず、出力側では図形の印刷にライン プリンターを使用する不便さがあった。しかし、現在でも、プロッターなどの出力装置を使用すれば、印刷される図形の精度があがるだけでなく、処理が容易になるであろう。また、このプログラムでは不可能であった試験片内部の主応力の大きさを図示することも、プロッターなどの使用により可能となる。現在、プログラムは主応力線作成の部分と主応力計算の部分に分かれているが、今後、単一のプログラムとして作成しなければならない。また、応力集中点のように図形の集まる点の処理はまだ十分ではないが、今後、図形を拡大して処理を行なうことを考えている。

なお、5. に示した処理例のプログラムとしては、FORTRAN 様の言語で作成した場合は、パターンエ

リア (101×101) のために約 30 000 語も使用し、経済的ではないが、ASSEMBLER 様の言語で作成すれば、処理は複雑になるが、使用語数は 1 語約 10 桁として、全体で約 1/7 に減ずる。

7. 結 言

以上、digital computer を用いて、光弾性しまの処理を行なう方法について述べた。一般に数値計算だけでなく、線図形解析に digital computer を用いることが十分可能であることを示し、このような処理に興味を持つ方の参考に供した。

本文で説明したプログラムは、まだ、人間側における処理が多く、また、6. で述べたように、多くの問題点を残しているが、今後、これらの点に改良を加え、実用化させるつもりである。

なお、本研究において、主応力線作成に関しては、名古屋大学工学部総合計算室の NEAC-2203 B 電子計算機 (内部メモリー約 2 800 語)、主応力計算に関しては、東京大学大型計算機センターの HITAC-5020 E 電子計算機 (内部メモリー約 65 000 語) を使用した。

最後に、本報告に当り、多くの手数をわずらわした当研究室および名大総合計算室の諸氏に感謝の意を表する次第である。

参考文献, その他

- 1) 丸安隆和・中村英夫・村井俊治・若林芳夫：土木構造物の自動設計，土木学会誌，52.8 (1967)，pp. 20~27
- 2) 中村慶一・富田 努・岩松幸雄：土木構造物の標準化と自動設計，土木学会誌，52.8 (1967)，pp. 28~35
- 3) 坂井利之：文字，図形の認識機械，共立出版
- 4) H. Freeman：Techniques for the Digital Computer Analysis of Chain-Encoded Arbitrary Plane Curves，National Electronics Conference，Vol. 17，Oct. 1961
- 5) 辻 二郎・西田正孝・河田幸三：光弾性実験法
- 6) M. Gyenge：A Computer Program for Calculating Principal Stress in Photoelasticity，Fuels and Mining Practice Division (1967)
- 7) R.A. Thomson：The Use of Digital Computers in the Photoelastic Solution of the General Space Problem by the Shear-Difference Method，S.E.S.A. PROCEEDING Vol. XVI No. 2

(1968.2.6・受付)

人工軽量骨材コンクリート設計施工指針 (案)

内 容：1章 総則／2章 軽量骨材／3章 軽量骨材コンクリートの品質／4章 軽量骨材の取扱い／5章 配合／6章 練りませおよび運搬／7章 コンクリート打ちおよび養生／8章 試験／9章 設計に関する一般事項
付 録：1 骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法／付 録 2 軽量粗骨材の浮粒率試験方法／付 録 3 構造用軽量細骨材の比重および吸水量試験方法 (案)／付 録 4 構造用軽量粗骨材の比重および吸水量試験方法 (案)
体 裁：B 6判 53 ページ 定 価：300 円 会員特価：250 円 (〒 50)
申 込 先：土木学会 東京都新宿区四谷一丁目