

面内力を受ける直交異方性大形扇形平板要素の剛性マトリックスの作成

東洋技研コンサルタント 正員 藤井 修

大阪工業大学

正員 岡村 宏一

東洋技研コンサルタント 正員 石川 一美

1. まえがき: これまでに、長大な多格間平板構造の全体系、局所系を同時に解析する方法として、大形の長方形板要素の剛性マトリックスを導入し、あわせてリラクセーション法に属する一種の分配法を併用する方法を提案した。また、数十パネルの板要素と梁要素で構成される有梁板の解析を行い良好な結果を得た。¹⁾ さらに、この方法を多格間曲線構造の解析に拡張していく目的で、曲げを受ける二方向の大形の扇形平板要素の剛性マトリックスを作成し、精度についての検討を行った。²⁾ 今回は、引続き面内力を受ける二方向の大形の直交異方性扇形平板要素の剛性マトリックスを作成し、精度についての検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 直交異方性扇形板の一般解: 図-1に示すような、中空断面のスラブを考え、フランジ部分をシャイベ、腹部をはり部材とすると、面内力を受ける直交異方性扇形板の基礎式は応力関数(ϕ)を用いると次式で与えられる。

$$X_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial r^4} + 2X_1 \frac{1}{r} \frac{\partial^3 \phi}{\partial r^3} + \frac{1}{r^2} \left\{ 2X_2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial r^2 \partial \theta^2} - X_3 \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} \right\} + \frac{1}{r^3} \left\{ X_3 \frac{\partial \phi}{\partial r} - 2X_2 \frac{\partial^3 \phi}{\partial r \partial \theta^2} \right\} + \frac{1}{r^4} \left\{ X_3 \frac{\partial^4 \phi}{\partial \theta^4} + 2(X_2 + X_3) \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} \right\} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $X_1 = 1 - \alpha$, $X_2 = 1 + \nu \cdot \alpha$, $X_3 = 1 - \nu^2 \cdot \alpha$, $H = h_1 + h_2$, ν : ポアソン比

$$\alpha = \frac{\kappa \theta}{1 + \kappa \theta - \nu^2}, \quad \kappa \theta = \frac{(1 - \nu^2) A \theta}{c H} \quad A \theta: \text{腹部総断面積} (\Sigma A \theta)$$

次に、4辺に自由な材端力と材端変位を与える扇形平板要素の剛性マトリックスを

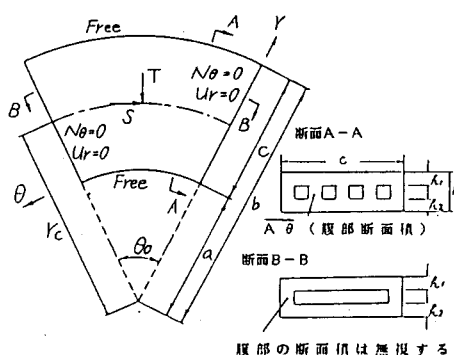


図-1

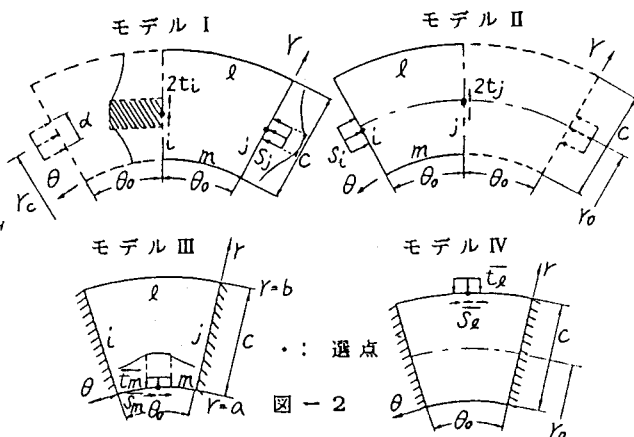


図-2

1) 岡村、石川、古市: 多格間平板構造の立体解析におけるリラクセーション法の応用、年次大会、1986. 2) 岡村、石川、公文: 曲げを受ける大形扇形板要素の剛性マトリックスの作成、年次大会、1987.

Osamu FUJII, Hirokazu OKAMURA, Kazumi ISHIKAWA

級数解法と選点法を併用して求める。すなわち、図-2に示すように板の材端力を与える力の分布を、ある選点を含む分割区間で等分布する形に近似する。したがって、このような力による変位、断面力の影響係数を単級数の形で計算するために、まず、図-1に示すような板の任意点に集中力(S, T)が作用する解を、式(1)の同次解(級数解)で与え、2つのパネルを接続する

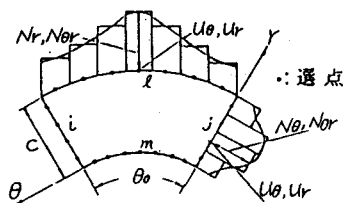


図-3

形で求める。次に、図-2に示すような θ 方向、 r 方向に分布幅(d)を持った荷重を受ける場合の解を、図-1の荷重状態での解を分布幅で積分することによって求める。

3. 剛性マトリックスの作成: 図-3に示す4辺(i, j, l, m)に任意の材端力(軸力 N_θ, N_r ,せん断力 $N_{\theta r}$)と任意の材端変位(軸方向変位 u_θ, u_r)を持つ扇形平板要素の剛性マトリックスを、次の方法によって求める。すなわち、剛性マトリックスは、図-2に示すような辺長($2r\theta, c$)の扇形板の端辺に θ 方向の線荷重 s を作用させたモデルIと、中央に r 方向の線荷重 t を作用させたモデルII、さらに、辺長($r\theta, c$)の扇形板の自由辺上に線荷重 $\bar{s}, \bar{t}$ を作用させたモデルIII、IVを重ね合わせ、選点法によって作成される。結果的に、材端力の分布は節線上で分割された小区間の選点における平均量の重ね合わせによって近似され、それぞれの選点の材端変位と関係づけられる。

4. 計算例: ここでは、扇形平板要素の剛性マトリックスの精度を検証するための基本的な例題を示す。図-4に示す解析モデルは、4枚の扇形平板要素を接続した曲線板の端辺に部分等分布荷重(s)を偏心載荷させたものである。ここで各扇形平板要素の節線上の小区間の分割は等5分割としている。

表-1には、A-Aならびに、B-B断面での変位と断面力を、板を分割しない単一板として計算した級数解と比較している。ただし、ここで示した値は倍精度で計算したものであるが級数解との差は1%以内となっている。

なお、本研究を行うにあたって、当時の大阪工業大学卒研究生の青木宏君、大浦良雄君、粉野勝也君、森本茂君の協力を得たことを記し、謝意を表す。

表-1 L: 中央の円弧長

A-A断面			
	選点	級数解	解析値
U_r ($\text{cmL}/\text{EN} \times 10^3$)	1	0.020249	0.020259
	3	0.080190	0.080191
	5	0.107919	0.107917
	6	0.107919	0.107920
	8	0.080190	0.080191
	10	0.020249	0.020259
U_θ ($\text{cmL}/\text{EN} \times 10^3$)	1	3.757300	3.757303
	3	2.337400	2.337609
	5	0.484259	0.484270
	6	-0.484253	-0.484360
	8	-2.337454	-2.337599
	10	-3.757300	-3.757301

B-B断面			
	選点	級数解	解析値
N_θ ($\text{cmL}^2/\text{N} \times 10^3$)	1	-0.764322	-0.764191
	3	-0.508926	-0.508994
	5	-0.280472	-0.280344
	6	-0.171077	-0.171700
	8	0.040325	0.040324
	10	0.253001	0.253011
U_r ($\text{cmL}/\text{EN} \times 10^3$)	1	0.104587	0.104577
	3	0.107526	0.107529
	5	0.108091	0.108091
	6	0.109238	0.109240
	8	0.109241	0.109240
	10	0.108381	0.108381

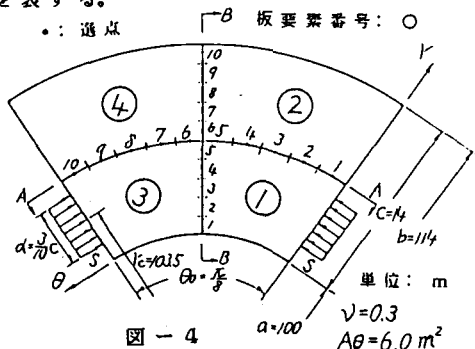


図-4