

I-18 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(株) 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(株) 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、あわせてリラクゼ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ブ、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。

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

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

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

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

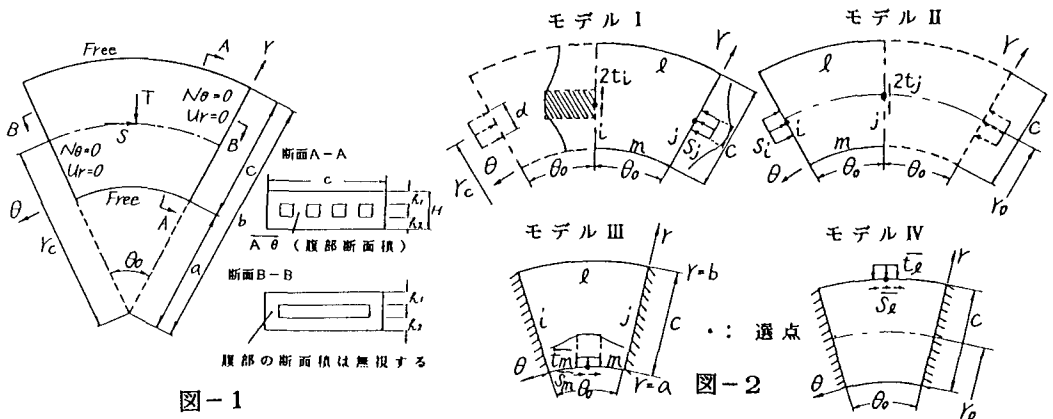


図-1

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ゼーション法の応用、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。

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($2r_0 \times \theta_0, c$)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($r_0 \times \theta_0, c$)の扇形板の自由辺上に線荷重 s, 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直接剛性法を用いて接続した曲線板の端辺に部分線荷重(s)を中央に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、謝意を表する。

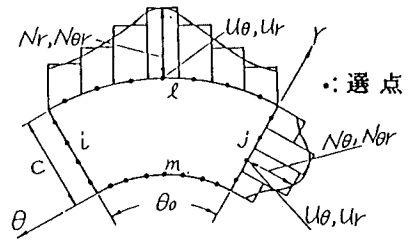


図-3

A-A断面			
	選点	数値解	解析値
U_r sL/EH	1	0.035786	0.035786
	3	0.151223	0.151223
	5	0.206337	0.206339
	6	0.206339	0.206339
	8	0.151223	0.151223
	10	0.035786	0.035787
U_θ sL/EH	1	0.176535	0.176532
	3	0.087182	0.087181
	5	0.017210	0.017210
	6	-0.017211	-0.017210
	8	-0.087182	-0.087181
	10	-0.176535	-0.176532

B-B断面

	選点	数値解	解析値
N_θ $sL^2/H^2 \times 10^{-2}$	1	-0.679276	-0.679270
	3	-0.522079	-0.521883
	5	-0.396692	-0.396798
	6	-0.336291	-0.336410
	8	-0.211019	-0.210870
	10	-0.077286	-0.077273
U_r sL/H	1	0.193029	0.193030
	3	0.200994	0.200967
	5	0.207434	0.207431
	6	0.209906	0.209910
	8	0.213266	0.213309
	10	0.215350	0.215351

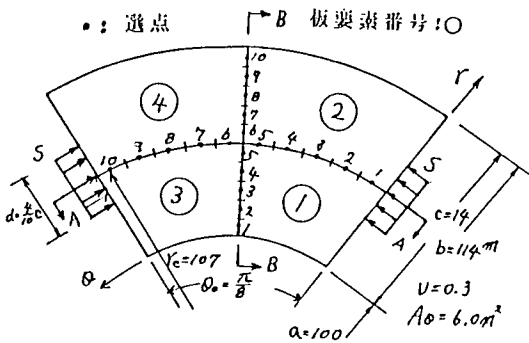


図-4