

# 大形扇形板-シェル要素を用いた曲線薄肉箱構造の立体解析

大阪工業大学 大学院 学生員○河田 真一  
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: 曲線箱桁橋などに見られるような、ダイヤフラム等の中間補剛材を持つ曲線薄肉箱構造の立体解析には、有限要素法や曲線帯板(円筒殻)と扇形帯板を組み合わせた有限帯板法などが用いられている。有限要素法を用いる場合には、一般に大容量の計算が必要となる。また、有限帯板法を用いる場合には、支持条件などに制約を受けるという問題が生ずる。しかし、筆者がこれまでに提案した、大形かつ高精度の曲げ、ならびに面内力を受ける扇形板要素<sup>3)</sup>、ならびに円筒シェル要素<sup>2)</sup>の剛性マトリックスを採択し、さらにその接続に、直接剛性法とリラクセーション法に属する分配法を併用<sup>1)</sup>すれば、比較的少ない自由度で曲線薄肉箱構造の全体系と局所系の挙動を同時に解析することが可能になると考えられる。今回は、腹板に大形の円筒シェル要素をフランジ部分に大形の直交異方性扇形板要素を用いて曲線薄肉箱構造の基本的な解析を行ったので報告する。

2. 扇形板要素、シェル要素の剛性マトリックス: 図-1(a)に示す大形の扇形板要素は、鋼床版、下フランジをモデル化する時に用いる開断面、閉断面リブを考慮した曲げ、ならびに面内力を受ける直交異方性扇形板要素で、4辺(i, j, l, m)に任意の材端力(曲げモーメント $M_\theta, M_r$ 、換算せん断力 $V_\theta, V_r$ 、軸力 $N_\theta, N_r$ 、せん断力 $N_{\theta r}$ )と隅角点を含めた任意の材端変位(たわみ $w$ 、たわみ角 $\theta_\theta, \theta_r$ 、軸方向変位 $u_\theta, u_r$ )を与えている。また、図-1(b)に示す大形の円筒シェル要素は、腹板をモデル化する際に用いるもので、4辺(i, j, i, m)に任意の材端力(曲げモーメント $M_x, M_\theta$ 、換算せん断力 $V_x, V_\theta$ 、軸力 $N_x, N_\theta$ 、せん断力 $N_{x\theta}$ 、換算接線力 $T_\theta$ )と隅角点を含めた任意の材端変位(たわみ $w$ 、たわみ角 $\theta_x, \theta_\theta$ 、変位 $u, v$ )を与えている。これらの剛性マトリックスは、級数解法と選点法を併用して作成されている。ここで、材端力の分布は図の様な近似分布で与えられ、それぞれの選点の材端変位と関係づけられている。この剛性マトリックスの作成方法は文献2)3)に示してある。さらに、ブラケット等の中間補剛材をモデル化する際に用いる梁要素についても偏心合成を考慮できる剛性マトリックスを同様の手法で与えている。

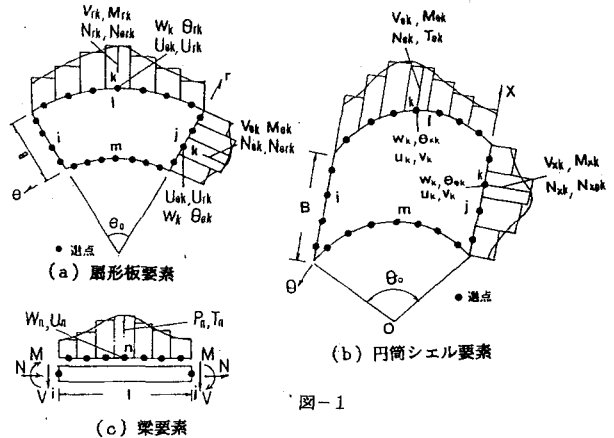


図-1

3. 解析方法: 図-2に解析方法の手順を示す。まず、部材座標での大形扇形板要素、円筒シェル要素の剛性マトリックスを座標変換マトリックスを用いて全体座標系に置き換え、幅の方向に1列に並んだこれらの要素を直接剛性法を用いて接続する。その結果として、例えば、節線K2, K3の材端力と材端変位を未知量とした一方の曲線箱構造(ブロック要素)の剛性マトリックスが導入される。次に、このよう

- 1) 岡村、石川、古市: 大形平板要素による薄肉箱構造の立体解析、年次大会、1988
- 2) 岡村、石川、林: 大形薄肉円筒シェル要素の剛性マトリックスの作成、年次大会、1989
- 3) 岡村、石川、古市: 大形直交異方性扇形板要素の剛性マトリックス、第14回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、日本鋼構造協会、1990

Shiniti KAWADA, Hirokazu OKAMURA, Kazumi ISHIKAWA

な要素の長手方向の接続に、リラクセーション法に属する一種の分配法を用いる。すなわち、節線K1～K5上の選点において、導入された初期概算値による不平衡力を釣合条件と変位の連続条件によって反復修正する。

4. 計算例：図-3は、直交異方性扇形板、円筒シェルに部分線荷重( $p$ )を作用させたもので、この時、半径( $R$ )を変化させた解析結果を表-1に示す。この結果より半径( $R$ )が大きくなれば矩形板の解に接近している。これらの結果は、曲線箱桁橋の立体解析を行う際に用いるブロック要素が半径( $R$ )、あるいは開角( $\theta_0$ )に制約を受けないことを示唆している。図-4(a)は、2つのブロック要素を直接剛性法で接続したもので、この時の各板要素の節線の選点の分割は等5分割としている。図-4(b)に等分布荷重が内側に偏心载荷した時の断面A-A断面での断面変形の模様を示している。図-4(c)には、等分布荷重が外側に偏心载荷した時の断面変形を示している。

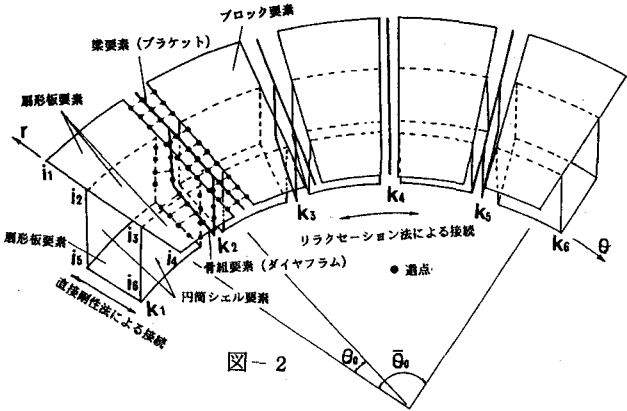


図-2

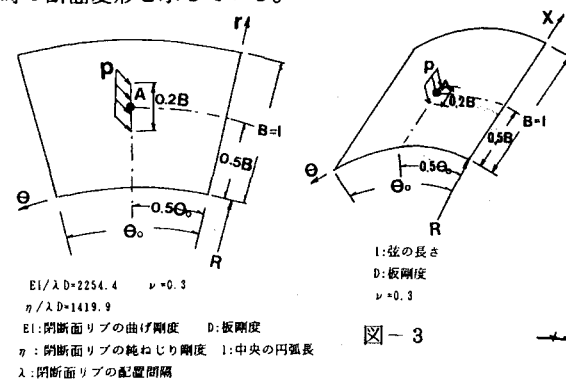
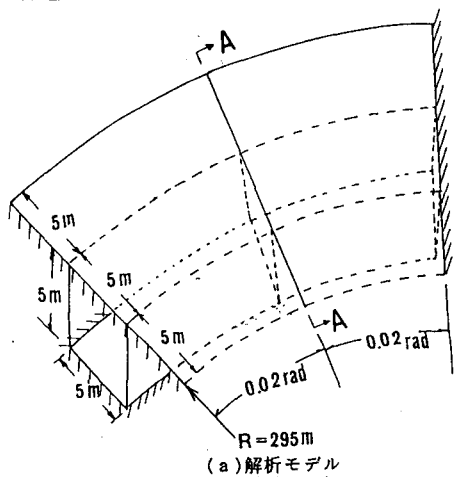


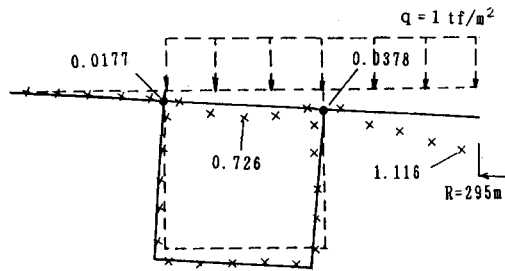
図-3

| R/l   | 扇形板の解                    |                | 円筒シェルの解                  |                          |
|-------|--------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
|       | $W(p l^3/D)$             | $M\theta(p l)$ | $w(p l^3/D)$             | $M\theta(p l)$           |
| 50    | $0.69959 \times 10^{-5}$ | 0.12823        | $0.33207 \times 10^{-2}$ | $0.69615 \times 10^{-1}$ |
| 100   | $0.68894 \times 10^{-5}$ | 0.12785        | $0.33208 \times 10^{-2}$ | $0.69617 \times 10^{-1}$ |
| 500   | $0.67423 \times 10^{-5}$ | 0.12731        | $0.33208 \times 10^{-2}$ | $0.69618 \times 10^{-1}$ |
| 1000  | $0.67407 \times 10^{-5}$ | 0.12731        | $0.33208 \times 10^{-2}$ | $0.69618 \times 10^{-1}$ |
| 矩形板の解 | $0.67404 \times 10^{-5}$ | 0.12728        | $0.33209 \times 10^{-2}$ | $0.69619 \times 10^{-1}$ |

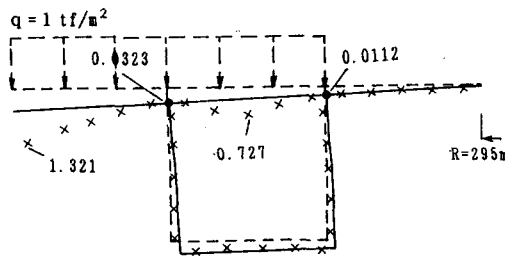
表-1



(a) 解析モデル



(b) 内側偏心载荷 (単位mm)



(c) 外側偏心载荷 (単位mm)

図-4