

扇形補剛板の非線形解析

関西大学工学部 正員 米沢 博
 関西大学工学部 正員 三上 市蔵
 関西大学工学部 正員 堂垣 正博
 鹿島建設(株) 正員 ○新森 英夫

1. まえがき 最近、鋼橋構造物の薄肉軽量化、長大化が推進され、圧縮力を受ける薄肉密接集成部材の強度設計の重要性が認識されるようになってきた。薄肉部材には、密接による残留応力および初期たわみなどの初期不整が不可避免的に生じる。これらの初期不整が圧縮部材の座屈強度、耐荷力等に及ぼす影響は重大で、これらの初期不整を考慮に入れた圧縮部材の座屈前後における非線形挙動を明確にすることが極めて重要な問題であると考えられる。ここでは、一様面内圧縮荷重を受ける扇形補剛板を初期たわみを考慮した弾性有限変形理論に基づいて解析し、不可避免的に生じる初期たわみが、いわゆる座屈荷重前後の面外たわみあるいは膜力に及ぼす影響を調べた。また、理論結果の妥当性を検討するために模型実験を行なった。

2. 基礎方程式と境界条件式 図-1に示すような一様面内圧縮荷重を受ける極異方性扇形板を考える。初期たわみを考慮した極異方性扇形板の弾性有限変形理論に基づく基礎方程式は、面外たわみ w と半径方向の面内変位 u 、および円周方向の面内変位 v を未知数として表わされる¹⁾。図に、 D_r 、 D_θ は極異方性扇形板の曲げ剛さ、 E_r 、 E_θ は極異方性扇形板の伸び剛さを表わす。

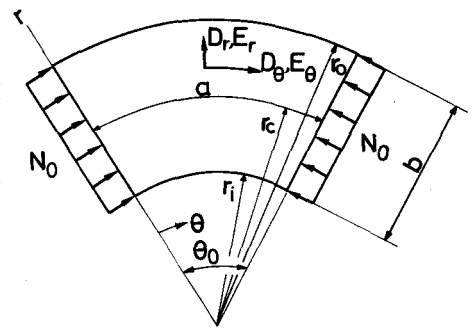


図-1

曲げに関する境界条件として、全辺で単純支持あるいは固定されているとして、膜作用に関しては、直線辺で円周方向膜力 N_θ が一様面内圧縮荷重に等しく、膜せん断力 $N_{r\theta}$ がゼロという条件、また、曲線辺では半径方向変位 u を拘束し、境界辺に生じる膜せん断力 $N_{r\theta}$ が境界部材の円周方向の力の变化量に釣り合うという条件を用いる²⁾。すなわち、つぎのようになる。

(i) $\theta = 0, \theta_0$ において

$$N_\theta = -N_0, \quad N_{r\theta} = 0 \quad (1)$$

(ii) $r = r_i, r_o$ において

$$u = 0, \quad N_{r\theta} = \mp \frac{1}{r} N_{\theta,0} \quad (2)$$

ここに、 N_0 は境界部材の有効断面積 A_w を考えたときの円周方向の力で、 $N_{\theta,0} = EA_w \frac{1}{r} (u + v_\theta)$ である。 E は縦弾性係数である。なお式中のコンマの後の添字はそれによる微分を表わす。

3. 数値計算結果とその考察 基礎方程式は非線形連立偏微分方程式であり、解析的に解くことはほとんど不可能である。そこで差分法を適用し、さらに加速Jacobi法およびAitkenの外挿法を適宜用いて収束を早めた。初期たわみは半径方向(非載荷方向)に4種類のモ

ードを考えた。それは図-2に示してあるように、半径方向全体に半波長の初期たわみ波形を実線で、扇形板の中心線から外側曲線辺までに半波長の初期たわみ波形を一点鎖線で、また、扇形板の内側曲線辺から中心線までに半波長の初期たわみ波形を二点鎖線で、さらに半径方向全体に一波長の初期たわみ波形を破線で示してある。初期たわみの最大値を w_{0max} とした。以下に $D_0/D_r = 10$, $r_i/r_o = 0.5$, $a/b = 1$, 境界部材の有効断面積と扇形板断面積との比、すなわち、断面積 $A_w/bh = 0.5$ の場合の結果の一例を示す。

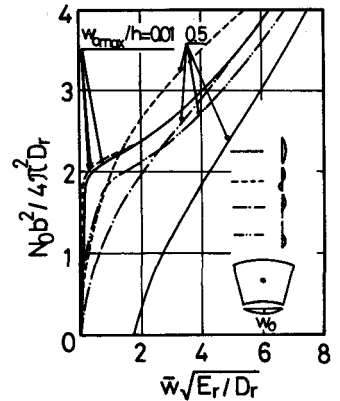


図-2

初期たわみのモードの違いの影響を知るために、扇形板の中央点における面外たわみと荷重曲線を図-2に示す。初期たわみの最大値が小さい場合には、初期たわみのモードの違いによる影響はほとんどないが、初期たわみの最大値が板厚の0.5倍程度になると初期たわみのモードの違いによる影響がかなり顕著に現われる。

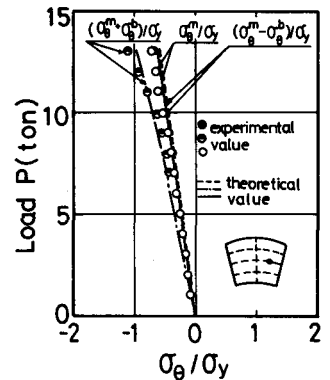


図-3

4. 実験結果と理論値との比較 曲率半径4m、スパン4.2mの π 形断面曲線桁に2点載荷し、上フランジ中央部の対象パネルに一様面内圧縮荷重を作用させた。対象パネルは幅60cm、長さ100cm、板厚0.322cmで中央に3.16×0.288cmの横リブ1本と3.16×0.288cmの縦リブ3本で等間隔に補剛されている扇形補剛板で、 $D_0/D_r = 3.221$, $a/b = 1.67$, $r_i/r_o = 0.86$, 有効断面積は30t(た:腹板厚)を採用すると、 $A_w/bh = 0.161$ である。図-3は荷重と円周方向応力曲線を示す。ここに σ_y は材料の降伏応力で、応力の計算はリブとリブの中央までを有効断面として計算している。理論における初期たわみはほぼ実験値を用いた。図-4は扇形板の3 $\theta_0/4$ 断面における各荷重段階ごとの円周方向の面内応力の分布図である。ここに実線は一様面内圧縮荷重を作用させた場合で、破線は曲率の影響を考慮した面内荷重を作用させた場合である。リブで補剛されている点では実験値と理論値はほぼ一致している。

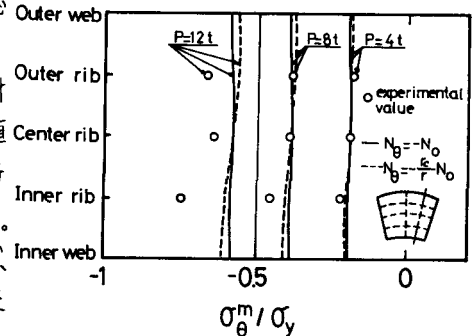


図-4

1) 米沢・三上・新見: 初期たわみを有する扇形補剛板の解析, 昭和51年度関西支部年次学術講演会講演概要, I-29, 昭51. 2) 米沢・三上・堂垣・福・赤松: 扇形補剛板の非線形挙動, 昭和52年度関西支部年次学術講演会講演概要, I-38, 昭52.