

I-65

等曲げを受ける二辺回転固定、二辺単純支持板の後座屈挙動

東北大学工学部	○正 員	中沢 正利
東北大学工学部	正 員	岩熊 哲夫
東北大学工学部	正 員	倉西 茂

1. まえがき

平板が初期分岐座屈した後にさらに起こる不安定挙動については、板の有限変形が深く関与する高次非線形問題となるため、これまでほとんど言及されたことがない。これまで著者ら^{1,2)}は、四辺単純支持板が等曲げ荷重を受けた場合の後座屈不安定挙動が飛び移り座屈現象によるものであることを示し、さらにこの不安定現象の生じるパネル縦横比の範囲およびパネルの初期たわみと後座屈挙動の関係についても明らかにしている。これに対し本研究では、実際のプレートガーダー腹板などが周辺補剛材によって回転拘束を受けることを考慮し、二辺回転固定、二辺単純支持された平板の等曲げに対する後座屈挙動を調べ、同様に不安定現象の機構、その生じる範囲および初期たわみの及ぼす影響などを明らかにした。

2. たわみ形の仮定と解析法の概要

板の面外たわみ w および初期たわみ形 w_0 の仮定には、二辺回転固定、二辺単純支持境界条件に対して森脇ら³⁾の提案している近似変位関数を用いた：

$$w = t \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} b_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cdot \left\{ \cos\left[\frac{(n-1)\pi y}{b}\right] - \cos\left[\frac{(n+1)\pi y}{b}\right] \right\},$$

$$w_0 = t \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cdot \left\{ \cos\left[\frac{(n-1)\pi y}{b}\right] - \cos\left[\frac{(n+1)\pi y}{b}\right] \right\},$$

ここで、 m, n はそれぞれ x, y 方向への半波の数、 t はパネル板厚である。また a_{mn} は初期たわみの振幅、 b_{mn} は未知係数である。計算は、Karman-Marguerreの大たわみ微分方程式にGalerkin法を適用した準解析的解法^{4,5)}によった。この b_{mn} に関する連立3次代数方程式を、Newton-

Raphson法を用いて解いている。収束計算の各段階で係数行列の固有値解析を行ない、得られた解の妥当性をその正負から検討するための指標として用いている。また、 m, n の採用項数と解の精度の関係を調べ、 $m=n=6$ としている。

3. 不安定挙動のメカニズム

図-1に解析対象パネルおよび面外変位参照位置($x=0.35a, 0.65a$, $y=0.3b, 0.70b$)の代表的4点①～④)を示す。図-2はモーメント-面外変位関係からみた後座屈挙動をパネル縦横比 $\alpha=0.5$ の場合に対して示したものである。等曲げを受ける平板パネルは $m=1$ の初期分岐座屈荷重に達すると $m=1$ の面外変位を生じるが、荷重の増加と共に $m=3, 5$ の成分も発生し、ある荷重レベルに達すると m の全てのモードが有意な値を持って分岐座屈を起こす。

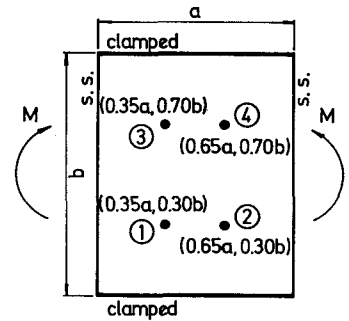


図-1 解析パネルおよび面外変位参照位置

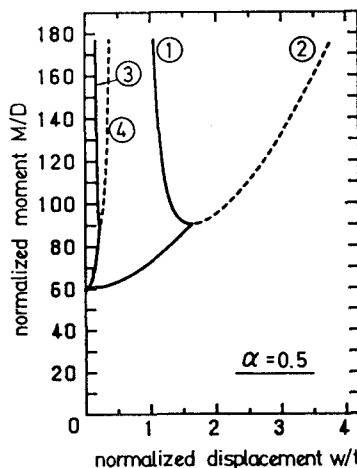


図-2 後座屈挙動($\alpha=0.5$)

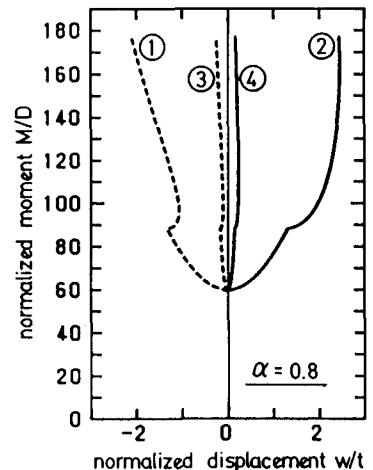


図-3 後座屈挙動($\alpha=0.8$)

一方、縦横比 $\alpha=0.8$ (図-3)および1.0の場合には $m=2$ で初期座屈した後 $m=2,6$ のモードが混在し、やはり分岐座屈した後全てのモード成分が値を持つ。

4. 不安定挙動の生じる範囲

図-4は初期たわみが無い場合に後座屈不安定挙動を示すモーメントの値を、パネル縦横比 α をパラメータとして示したものである。縦横比が $0.5 < \alpha < 1.3$ のいずれの場合にも後座屈領域での分岐座屈が生じており、しかも比較的低い荷重レベルで起こる場合がある。図中には点線により初期分岐座屈荷重も合わせて示しているが、特にその分岐座屈モードの移り変わる縦横比付近での二次分岐座屈荷重が低くなるという特性が得られた。

5. 初期たわみのあるパネルの場合

図-5は $m=1, n=1$ の半波モードの初期たわみを与えた縦横比 $\alpha=0.5$ のパネルの後座屈挙動を示している。初期たわみの大きさを $0.0 < a_{11} < 1.0$ と変化させて、後座屈挙動に及ぼす初期たわみの影響を調べている。初期たわみの大きさが大きくなるにつれて分岐座屈荷重も高くなる傾向にあるが、荷重の大きい範囲では初期たわみの影響はさほど大きくないと言えよう。一方、 $m=1, n=1$ の半波モードの初期たわみを与えた縦横比 $\alpha=0.8$ の場合の後座屈挙動(図-6)では、初期たわみが存在するにもかかわらず、初期たわみが無い場合の初期分岐座屈荷重付近でやはり分岐座屈を起こす。さらに、初期たわみがない場合の二次分岐座屈荷重付近では分岐ではなく、飛び移り現象と思われる不安定挙動が生じている。この飛び移りの不安定点前後での挙動の変化は、数値解 bmn のうち主要な成分が $m=1$ から $m=2$ へと移行することに対応している。この様に、後座屈挙動に及ぼす初期たわみの影響は縦横比によっても大きく異なり、極めて複雑であることが判る。

6. まとめ

二辺回転固定、二辺単純支持板が等曲げを受ける場合には、初期分岐座屈以降にも比較的低い荷重段階での不安定現象が生じ、それは主に分岐座屈現象によるものであることが判った。しかし、初期たわみが存在する場合には、パネルの縦横比によって後座屈挙動も大きく異なり、分岐の他に飛び移り現象と思われる複雑な挙動を呈する場合もあることが判明した。

7. 参考文献

- 1) 日高・中沢・倉西：等曲げを受けるパネルの後座屈不安定挙動、東北支部発表会、pp.40-42, 1990年3月。
- 2) 中沢・倉西・岩熊：等曲げを受ける平板パネルの座屈後不安定挙動、第45回年講概要集、I-34, pp.98-99, 平成2年9月。
- 3) 森脇・奈良：面内組合せ荷重を受ける鋼桁腹板の座屈強度、構造工学論文集、Vol.35A, pp.127-134, 1989。
- 4) Timoshenko, S.P., Gere, J.M.: Theory of Elastic Stability, 2nd Ed., Chap.8,9, 1961。
- 5) 中沢・倉西・佐々木：曲げとせん断を受ける鋼桁パネルの連成挙動の解析的解法、東北支部発表会、pp.48-49, 1989年3月。

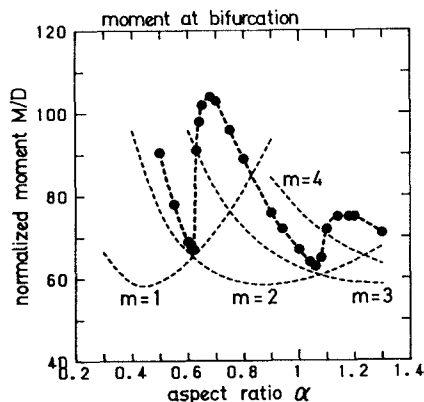


図-4 二次分岐座屈の生じる範囲

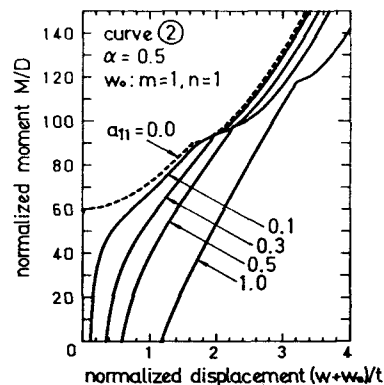


図-5 後座屈挙動と初期たわみの関係 ($m=n=1, \alpha=0.5$)

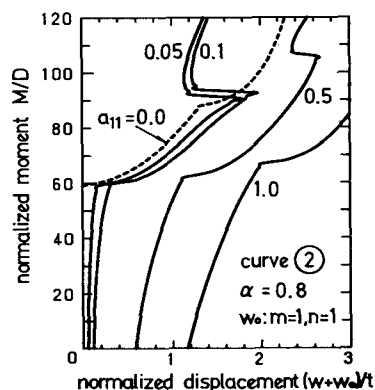


図-6 後座屈挙動と初期たわみの関係 ($m=n=1, \alpha=0.8$)