

I-12 面内曲げを受ける薄肉断面部材の全体および局部座屈挙動について

愛媛大学工学部 正 員 大賀 水田生
(株) 長 大 正 員 高上 顕
愛媛大学大学院 学正員 ○吉田 勝 司

1. はじめに

本研究では、面内曲げを受ける U 型、箱型および I 型断面部材(図-1)に種々の初期不整を導入した場合の弾性域及び弾塑性域における FEM 耐荷力解析を行い、導入した初期不整が変形状や最大耐荷力に及ぼす影響を検討した。

2. FEM 耐荷力解析に導入する初期不整

図-2 に本研究の FEM 耐荷力解析に導入した 4 種類の初期不整(①Bulge 型、②Local 型、③Global 型、④ Combined 型)を U 型断面部材を例にとり示している。Bulge 型初期不整は、部材中央の上フランジ端部に z 方向面外変位を与えたものである(図-2(a), $w_0=0.5$)。Local 型初期不整は、TMM により得られた面内曲げを受ける場合の局部座屈モードを初期不整として与えたものである(図-2(b), $w_0=b/150$)。Global 型初期不整は、部材全体が 1 波長の正弦曲線を示す変形状を与えたものである(図-2(c), $w_0=L/1000$)。Combined 型初期不整は Local 型および Global 型初期不整を組み合わせたものである(図-2(d))。なお、Local および Global 型の初期不整の大きさは道路橋示方書を参考に決定した。

3. FEM 耐荷力解析

本研究での FEM 耐荷力解析では、9 節点を有するアイソパラメトリック退化シェル要素(図-3)を用いており、弾性域での解析では幾何学的非線形性を、弾塑性域での解析では幾何学的非線形性に加えて材料的非線形性をも同時に考慮している。材料は von Mises の降伏条件に従うものとするとともに、*Prandtl-Reuss* の応力-ひずみ関係を採用している。非線形解析には荷重増分法を用いているが、各荷重増分段階における载荷法として、面内曲げモーメントによる軸方向応力の分布に対応した軸方向変位を部材端部に加える方法を用いている。

4. 解析結果

図-4 には、伝達マトリックス法(TMM)により得られた面内曲げを受ける U 型断面部材(図-1 (a)) : 断面の縦横比 : $h/b=1.0$, 幅厚比 : $h/t=25$, 部材長比 : $L/h=0.5 \sim 20$, $\sigma_y=451.26\text{MPa}$ での座屈係数 $k(=th^3/\pi^2 D \cdot \sigma, D$: 板パネルの曲げ剛性)と部材長比 L/h の関係を示している。図-4 には、上フランジの境界を単純-自由(S-F)および固定-自由(C-F)とした場合の座屈係数曲線も同時に示している

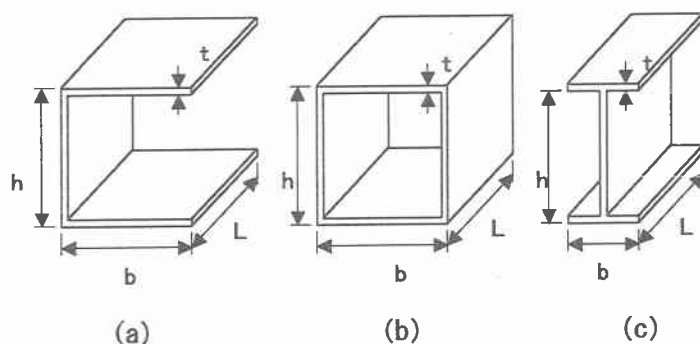


図-1 薄肉断面部材

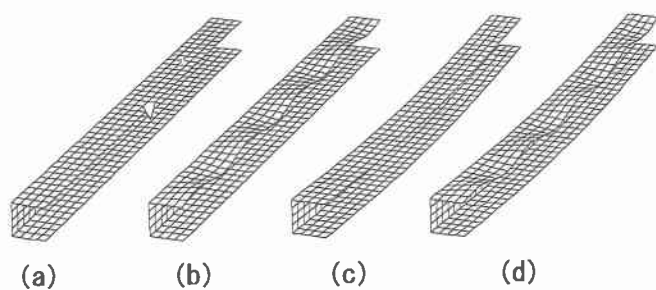


図-2 U 型断面部材の初期不整

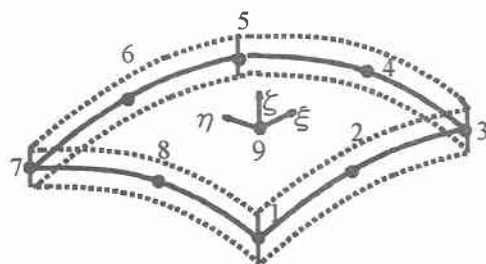


図-3 アイソパラメトリックシェル要素

(一様圧縮荷重)。図-4より明らかなように、U型断面部材の座屈係数は、この2種類の境界条件を有する上フランジに対する値の中間的な値を示しており、上フランジの強度が部材の座屈強度に対して支配的であると考えられる。

図-5には、U型断面部材(L/h=16)に4種類の初期不整を導入したFEM耐荷力解析により得られた荷重－変位曲線を示している。なお、この図の縦軸は部材軸方向平均応力 σ を降伏応力 σ_y で除した値を、横軸は部材中央の上フランジの端部点でのz方向面外変位wを板厚tで除した値をとっている。なお図-5には、これら4種類の初期不整を導入した場合に加えて、初期不整を与えない場合の結果も同時に示している。図-6(a),(b)には、Bulge型およびCombined型初期不整を導入した場合の種々の荷重段階(図-6:初期荷重段階(A)、分岐点付近(B)、最大耐荷力付近(C)、解析の最終段階(D))での部材の変形性状を示している。図-6には、部材全体の変形性状に加えて、ウェブ中央部の水平方向の面外変位、上フランジ自由縁の鉛直方向の面外変位および部材中央部断面の変形形状も同時に示しており、さらに左上の数値は実際の変形量に乗じた倍率である。

図-5より明らかなように、局所的な変形を含まない初期不整(初期不整無、Bulge, Global)を導入した場合の変形挙動はお互いによく似た傾向を示しており、いずれの場合も変形が急激に増加する局部座屈現象が発生するとともに、変形性状もよく似た形状となっている(図-6(a))。これに対し、局所的な変形を含む初期不整(Local, Combined)を導入した場合、解析を通じて面外変位は徐々に増加しており、明確な局部座屈現象は確認できない。また、変形性状もよく似た形状となっている(図-6(b))。それぞれの初期不整を導入した場合の最大耐荷力は、いずれの場合も2%以内の誤差で一致しており、初期不整が最大耐荷力に及ぼす影響はほとんど認められない。

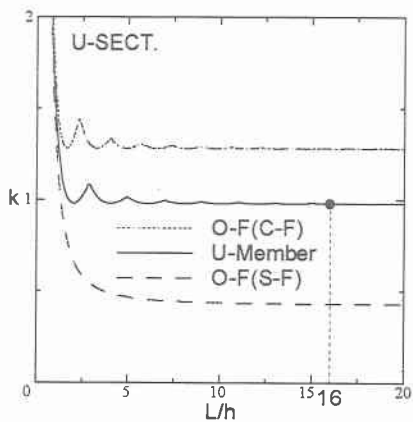


図-4 座屈強度曲線

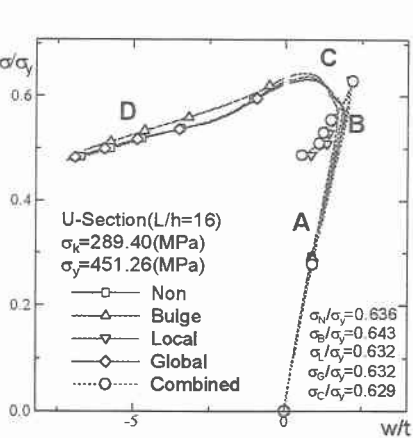
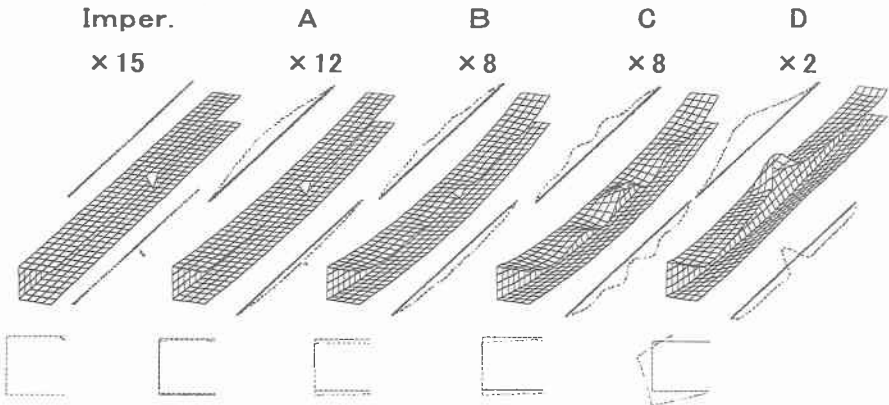
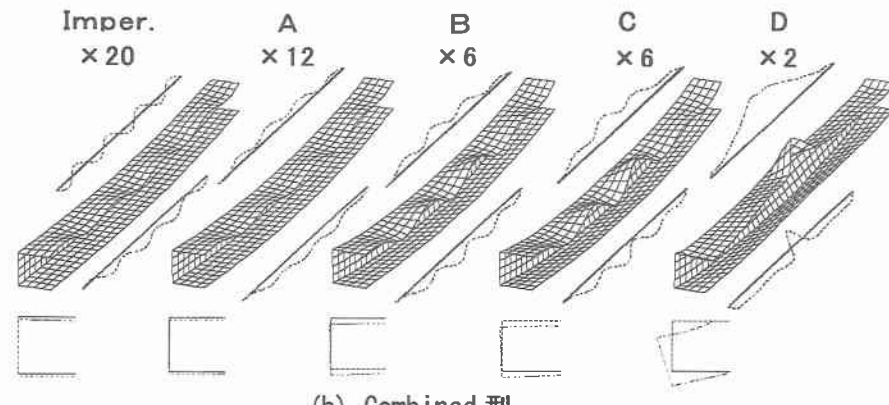


図-5 荷重－変位曲線



(a) Bulge型



(b) Combined型

図-6 初期不整の変形性状