

I-9 軸圧縮力を受ける薄肉断面部材の弾塑性座屈挙動について

愛媛大学工学部	正 員	大賀 水田生
(株)長大	正 員	○高上 顕
(株)五洋建設	正 員	井澤 広 志

1. はじめに

本研究では、軸圧縮力を受ける I 型断面部材 (図-1 : $b/h=0.25$, $t/h=0.01$, $L/h=15$) において、部材端部の境界条件を固定支持状態(図-1(a))およびピン支持状態(図-1(b))とし、種々の初期不整を導入した場合の弾性および弾塑性域での FEM 耐荷力解析を行い、解析に導入した初期不整が変形状および耐荷力に及ぼす影響を検討するとともに、部材の非線形挙動、特に全体および局部座屈の連成挙動についての考察を行った。

2. FEM 耐荷力解析に導入する初期不整

図-2 は本研究の FEM 耐荷力解析に導入した 5 種類の初期不整(①Bulge(Y)型、②Bulge(Z)型、③Local 型、④Global 型、⑤Combined 型)を示している。Bulge(Y)型初期不整は、部材中央のウェブ中央に y 方向面外変位を与えたもの(図-2(a), $w_0/b=0.025$)、Bulge(Z)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(図-2(b), $w_0/b=0.025$)、Local 型初期不整は、TMM により得られた軸圧縮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(図-2(c), $w_0=b/150$)、Global 型初期不整は、部材全体が半波長の正弦曲線を示す変形状を与えたもの(図-2(d), $w_0=L/1000$)、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(e), $w_0=b/150 + w_0=L/1000$)。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、種々の荷重増分段階における載荷法として、部材端部に強制的に軸方向変位を加える強制変位法を用いている。なお、2 種類の境界条件における載荷法は、固定支持状態では部材端部に一様(Constant)に強制変位を与える方法、ピン支持状態では部材端部に設けた載荷板の一点(One Point)に強制変位を与える方法をとっている。

3. 解析結果

図-3 は、弾塑性域での FEM 解析により得られた種々の初期不整を導入した場合の荷重-変位曲線を示しており、図-3(a)は固定支持状態を、図-3(b)はピン支持状態の結果を示している。図-3 は縦軸に部材軸方向の平均応力を降伏応力 σ_y で除した値を、横軸には部材中央のウェブ中央における面外変位を v を板厚 t で除した値をとっており、TMM で得られた線形座屈強度($m=15$)も同時に示している。図-4 (a)、(b)には固定支持状態において、Bulge(Y)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-3(a) : 初期荷重

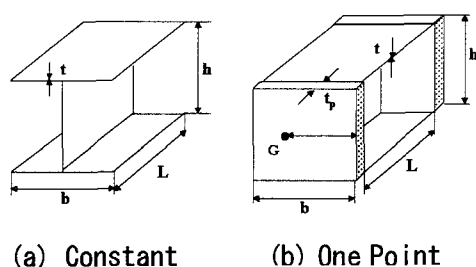


図-1 解析モデル

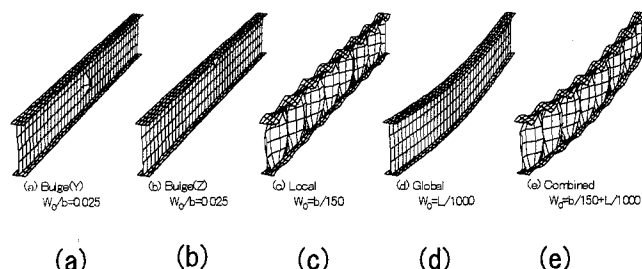
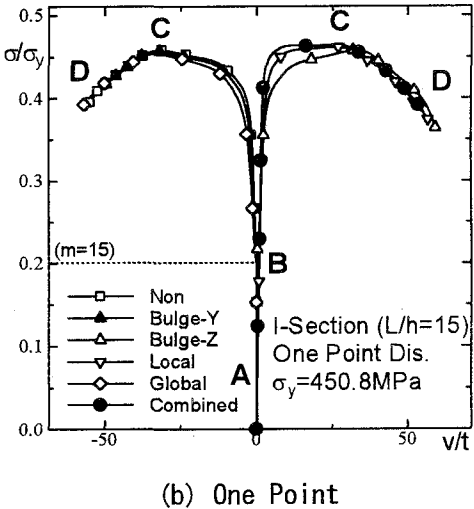
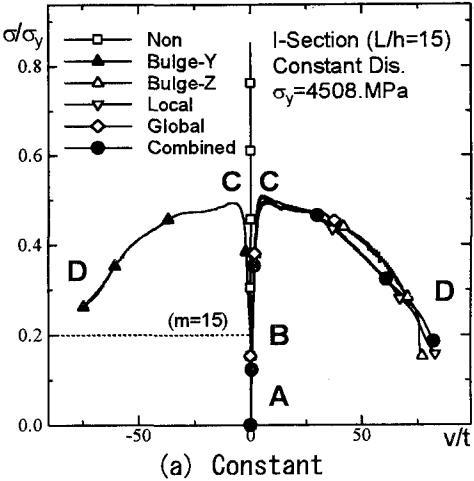


図-2 初期不整

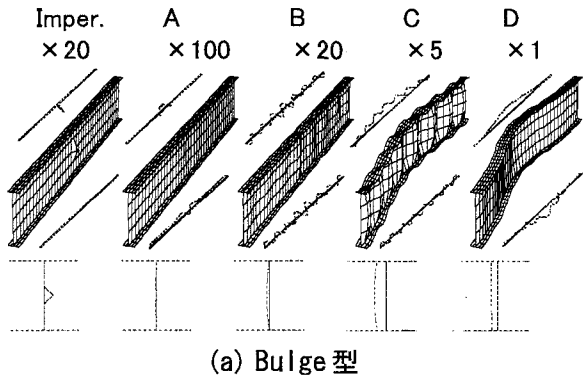
段階(A),局部座屈強度付近(B),最大耐荷力付近(C),解析の最終段階(D))における変形性状の変化を示している。図-4(a)、(b)には部材全体の変形性状に加えて、ウェブ中央の水平方向の面外変位、上フランジ自由縁の鉛直方向面外変位および部材中央部断面の変形性状も同時に示しており、左上の数値は実際の変形量に乘じた倍率である。図-5(a)、(b)にはピン支持状態において、Bulge 型および Combined 型初期不整を導入した場合の変形性状を示している。

図-3(a)より明らかなように、Bulge(Y)型初期不整を導入した場合、局部座屈強度付近(点 B : $\sigma/\sigma_y=0.20$)で急激に面外変位が大きくなる局部座屈現象が生じている。この場合の変形モードは局部座屈強度に対する座屈モード($m=15$)と一致している。その後、点 C 付近では横方向の全体変形が生じると同時に最大耐荷力($\sigma/\sigma_y=0.49$)に達している。解析の最終段階(点 D 付近)では部材中央の変形が著しく大きくなっており、部材中央が破壊したと考えられる(図-4(a))。一方、Combined 型初期不整を導入した場合、荷重の初期段階から部材の変形挙動は徐々に増大し、点 C で横方向の全体変形が生じると同時に最大耐荷力を示している($\sigma/\sigma_y=0.51$)。解析の最終段階(点 D 付近)では部中央の変形が著しく大きくなっており、部材中央が破壊したと考えられる(図-4(b))。

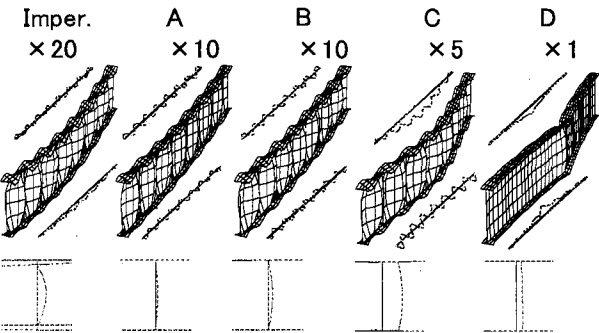
図-3(b)より明らかなように、ピン支持状態において、Bulge(Y)型および Combined 型初期不整を導入した場合、固定支持状態と異なり、部材全体の変形が生じた後も耐荷力は微小ではあるが増加し、点 C で最大耐荷力に達している。



(b) One Point
図-3 荷重-変位曲線

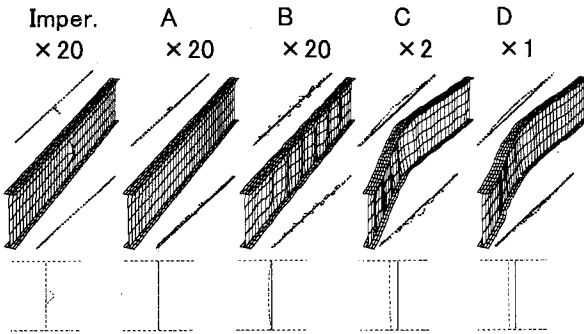


(a) Bulge 型

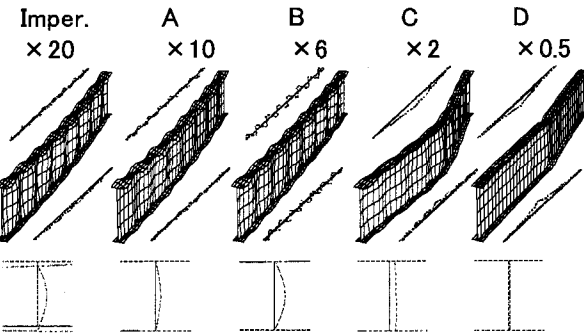


(b) Combined 型

図-4 変形性状 (Constant)



(a) Bulge 型



(b) Combined 型

図-5 変形性状 (One Point)