

愛媛大学工学部 正員 大賀 水田生
 (株)長大 正会員 高上 顕
 愛媛大学大学院 学生員 ○藤田 宏紀

1. はじめに

阪神大震災以降、これまでの許容応力度を用いた常時荷重作用時に対する設計法（許容応力度設計法）に加えて、大規模地震等による非常に大きな外力モデルや部材の真の強度を用いた設計法（限界状態設計法）が望まれるようになった。この要求を満足するには部材の座屈強度のみならず、最大耐荷力や座屈挙動および最大耐荷力以降の挙動など、部材全体としての特性をより詳細に検討する必要があると考えられる。一般的な鋼柱部材が軸方向力や面内曲げを受ける場合、複数の板パネルで構成される薄肉断面部材においては、薄肉断面部材が全体として座屈する全体座屈のみならず、部材の断面を構成する板パネルが局所的に座屈する局部座屈、さらには全体座屈と局部座屈が連成した連成座屈が発生する。このような薄肉断面部材の座屈現象を考慮して部材の耐荷力を正確に求めるため、現行の薄肉断面部材に対する限界状態設計における座屈強度は、部材の全体座屈強度および部材の断面を構成している板パネルの局部座屈強度を考慮して決定されている。しかしながら、面内曲げを受ける薄肉断面部材の限界状態設計法は確立しているとはいえない。そこで、本研究では、FEM 耐荷力解析を行い、面内曲げを受ける薄肉断面部材の非線形挙動および座屈強度について分析する。対象構造物として図-1に示すようなU型断面部材（ $\sigma_y=451.26\text{MPa}$, $b=20\text{cm}$, $h/b=1.0$, $b/t=25$, $L/b=2, 5, 10, 15, 20$ ）を採用する。次いで、FEM 耐荷力解析により得られた初降伏荷重および最大耐荷力を限界状態設計強度と比較した。

2. FEM 耐荷力解析

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る。

部材端部の上側に圧縮荷重を、下側に引張荷重を加えることにより、部材に曲げモーメントを与える。（図-2）

3. 解析に導入する初期不整

本研究では、局部的初期不整と全体的初期不整を組み合わせ図-3に示すような連成的初期不整を与えた。局部的初期不整は、伝達マトリックス法により得られた座屈モードに比例した形状をもつ。全体的初期不整は、部材全体が1波長の正弦曲線を示す形状をもつ。なお道路橋示方書に従い、連成的初期不整の最大面外変位は $W_0=b/150+L/1000$ とした。

4. 解析結果

ここでは $L/b=15$ の解析結果についてのみ示し、その後は割愛する。図-4に変形形状を示す。図中の A、

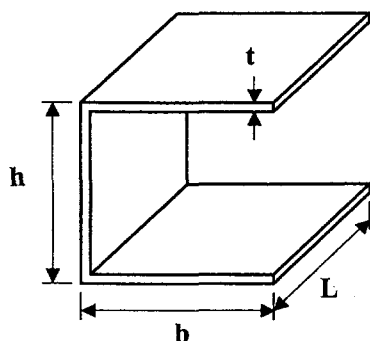


図-1 モデル図

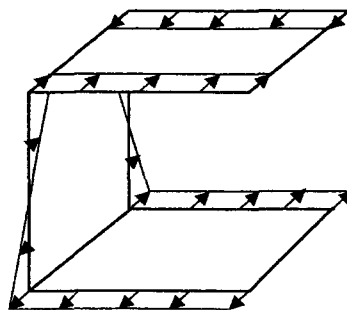


図-2 載荷方法

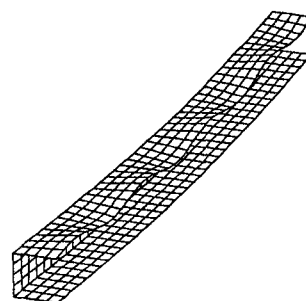


図-3 初期不整

B, C, D は図-5 の段階にそれぞれ対応する。 W_F, V_W はそれぞれフランジおよびウェブの面外変位であり、また左肩の数値は実際の部材の変形量に乗じた倍率を示している。 図-5 は初期不整を与えない場合の荷重-変位曲線である。 図-5 (a) の縦軸には部材軸方向平均応力 σ を降伏応力 ($\sigma_y=451.26\text{MPa}$) で除した値を、横軸には部材中央の上フランジの面外変位 w を板厚 t で除した値をとっている。 実線 U は部材軸方向変位を、破線 W_C は部材中央の上フランジ隅角部の z 方向変位を、点線 W_G は部材中央の上フランジ端部の z 方向変位、そして一点鎖線 W_L は上フランジの局部的変位 ($W_L=W_G-W_C$) を表している。 また、図. 5 (b) はウェブの面外変位 v を表した荷重-変位曲線である。

図-4 および図-5 より明らかなように、初期荷重段階(点 A)では、全体的変形と局部的変形の連成的な挙動を示している。 点 B 以降から面外変位が徐々に増加しており、明確な座屈現象は確認できない。 点 B 以降は部材の降伏が始まり、点 C で線形座屈強度 ($\sigma_k / \sigma_y=0.641$) と同じ程度の最大耐荷力 ($\sigma / \sigma_y=0.629$) が得られている。 最大耐荷力以降(点 D)では上フランジ中央の局部変形が著しく大きくなり、他の部分に生じた局部変形は全体変形に吸収されている。

現行の限界状態設計法で用いられている座屈強度の妥当性を確認するため、FEM 耐荷力解析により得られた最大耐荷力および初降伏荷重を現行の限界状態設計法で用いられている座屈強度と比較する。 図-6 に結果を示す。 初降伏荷重は□印、最大耐荷力は△印、限界状態設計強度は点線で表している。 最大耐荷力および初降伏荷重は部材長 L の増加により低減している。 初降伏荷重は限界状態設計強度とほぼ一致している。

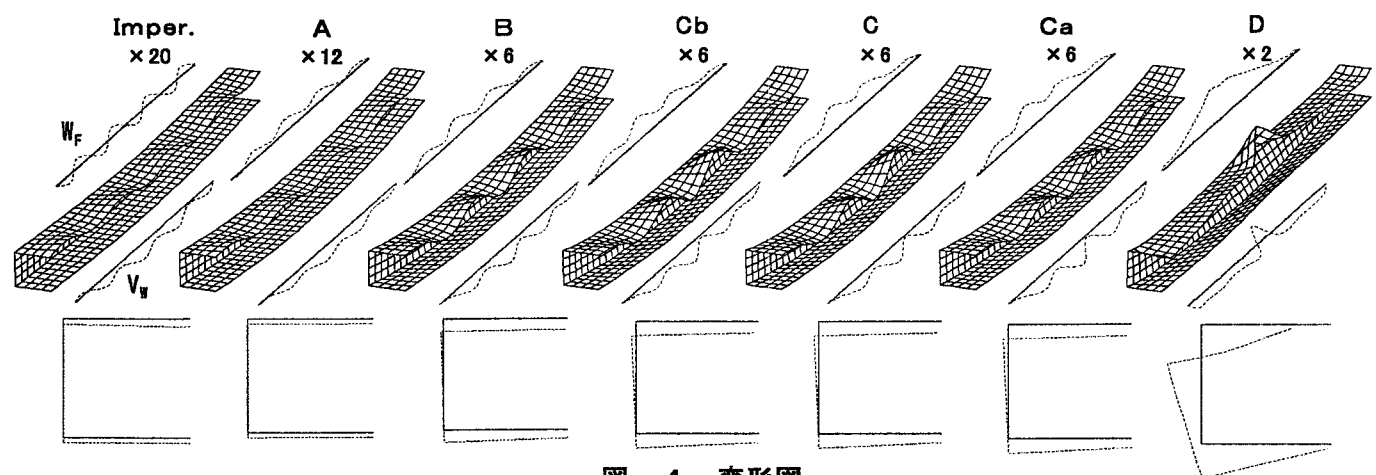


図-4 変形図

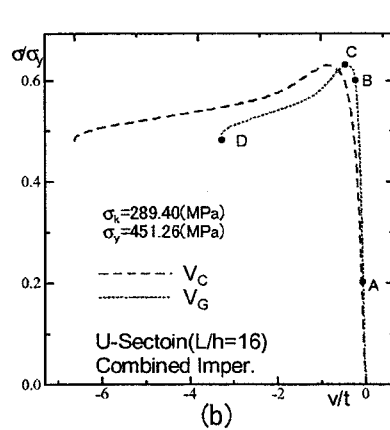
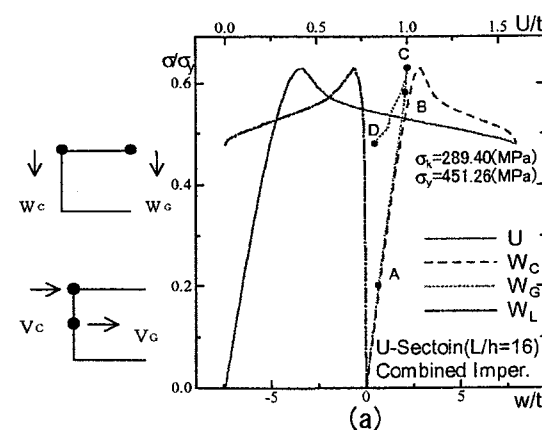


図-5 荷重 - 変位曲線

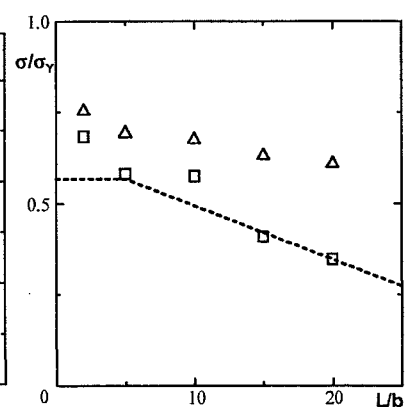


図-6 限界状態設計強度との比較($b=20\text{cm}$)