

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 学生員 ○井澤 広 志

1. はじめに

本研究では、種々の初期不整を導入して軸圧縮力を受けるU型断面部材（図-1： $b/h=1$, $t/h=0.01$, $L/h=16$, 60）の FEM 弾性非線形解析を行い、解析に導入した初期不整が解析結果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 非線形解析

本研究での FEM 非線形解析では 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いる。非線形計算は荷重増分法を用いているが、各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一樣な軸方向変位を加える強制変位法を用いており、両端の支持条件は固定支持状態と考えられる。解析に導入した初期不整としては、1) 部材中央の上フランジ先端に局部的な面外変形を与えた場合（図-2(a); bulge）、2) 局部座屈荷重に対する座屈モードを初期不整として与えた場合（図-2(b); local）、3) 半波長の変位を部材全体に与えた場合（図-2(c); global）、4) 初期不整 2) と 3) の組合せ（図-2(d); combined）の 4 種類とした。さらに、この 4 種類の初期不整に加えて初期不整を与えない場合の解析も行った。

3. 荷重－変位曲線

図-3 に、それぞれの初期不整を導入した場合の FEM 非線形解析により得られた荷重－変位曲線の比較を示している。なお、縦軸には部材軸方向の平均応力を TMM により得られた線形座屈荷重で除した値 σ/σ_k を、横軸には部材中央のフランジ端部における面外変位 w を板厚 t で除した値 w/t をとっている。図-3 より明らかなように、 $L/h=16$ の場合は連成的初期不整を導入した場合に、 $L/h=60$ の場合は全体的初期不整および連成的初期不整を導入した場合に解析を通じて安定した解が得られており、その他の初期不整を導入した場合は解析の途中で解が発散している。図-4 に連成的初期不整を与えた場合の部材の変形形状の変化の様子を示している。解析を通じて $L/h=16$ の場合は局部的変形が、 $L/h=60$ の場合は全体的変形がより支配的になっているが、いずれの場合も局部的な変形と全体的な変形の連成が生じてる。このことが局部的な変形と全体的な変形を同時に含む連成的初期不整の場合にのみいずれの部材長においても安定した解が得られている原因と考えられる。

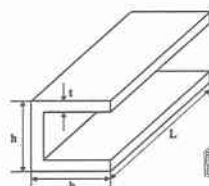


図-1 解析モデル

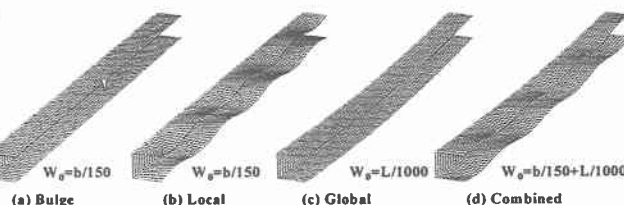


図-2 初期不整

4. 各パネルの応力分担

図-5 にU型断面部材($L/h=16$)の断面を構成する各板パネル（上,下フランジ, ウェブ）の軸方向応力の変化の様子を示している。縦軸には各パネルの軸方向応力を部材の平均軸方向応力で除した値（応力分担率）を、横軸には部材の平均軸方向応力を線形座屈応力で除した値 σ/σ_k をとっている。図-5(a)に示す部材端部においては、局部的初期不整を含まない場合（non imper.,

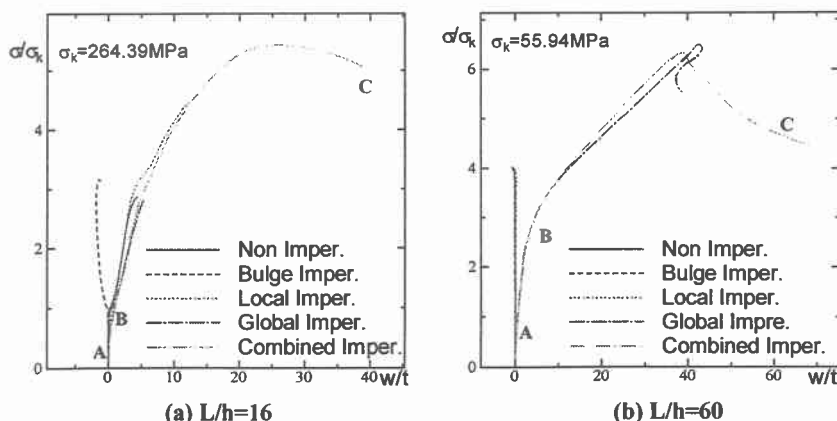


図-3 荷重－変位曲線

bulge, global) , 線形座屈荷重付近までは各板パネルに同程度の応力が生じているが、その後ウェブの応力分担率が上下フランジに比較して大きくなる傾向を示している。これは、線形座屈強度付近で部材に局部座屈が発生したためであると考えられる。なお、上下フランジの応力分担率にはほとんど差異は認められない。一方、局部的初期不整を含む場合(local, combined) , 荷重の初期の段階からウェブとフランジの応力分担率に差異が生じており、荷重の増加とともにウェブの応力分担率がフランジに比較して大きくなる傾向を示している。上下フランジの応力分担率の比較については、 $\sigma/\sigma_k=3$ 付近まではほとんど差異はみられないが、それ以降上フランジの分担率が小さくなる傾向を示している。この原因としては、部材に全体的な変形が生じ部材端部付近に負の曲げモーメントが生じたためと考えられる。

図-5(b)に示す部材中央部においては、全体的な変形が生じている範囲($\sigma/\sigma_k>3$)での応力分担率が部材端部の場合と異なっており、ウェブの応力分担率が小さくなる傾向を示しているのに対し、フランジ、特に上フランジの応力分担率が大きくなっている。この原因としては、全体的初期不整方向の変形に加えてウェブが外に膨らむような変形が生じているためである(図-4 参照)。

部材長比 $L/h=60$ の U 型断面部材においては、全体的な初期不整を含まない場合(non imper., bulge, local) , 部材端部および中央部いずれにおいても各板パネルには同程度の応力が生じているが、全体的な初期不整を含む場合は(global, combined) , 初期の荷重段階から各板パネルの応力分担率に差異が認められ、上フランジの分担率は部材端部では最も小さく、部材中央部では逆に最も大きくなっている。

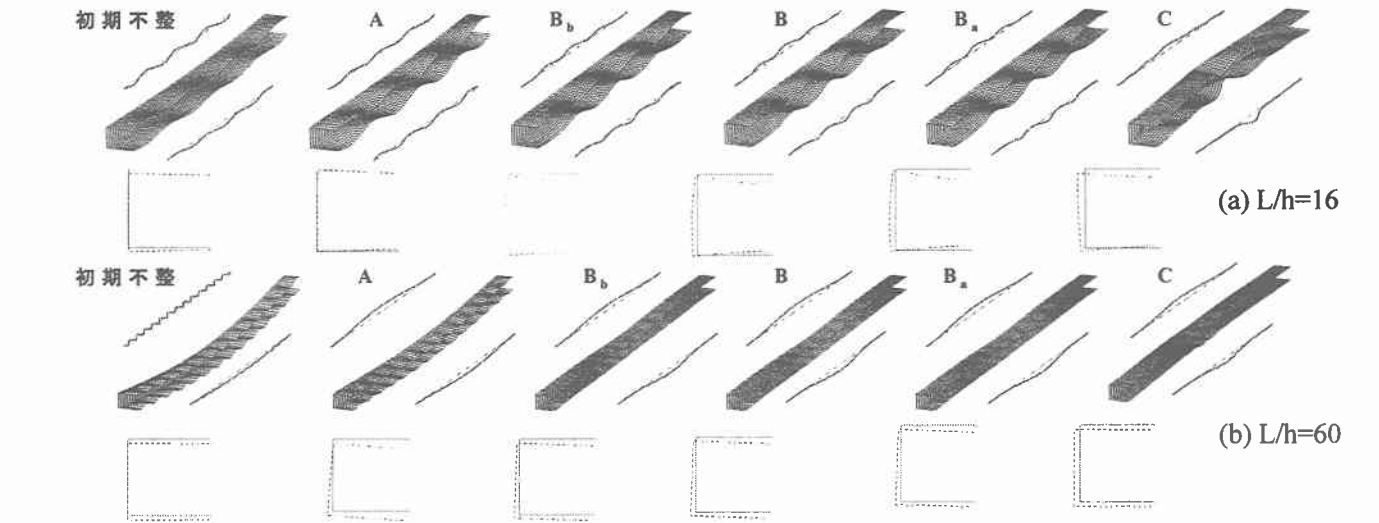


図-4 変形形状

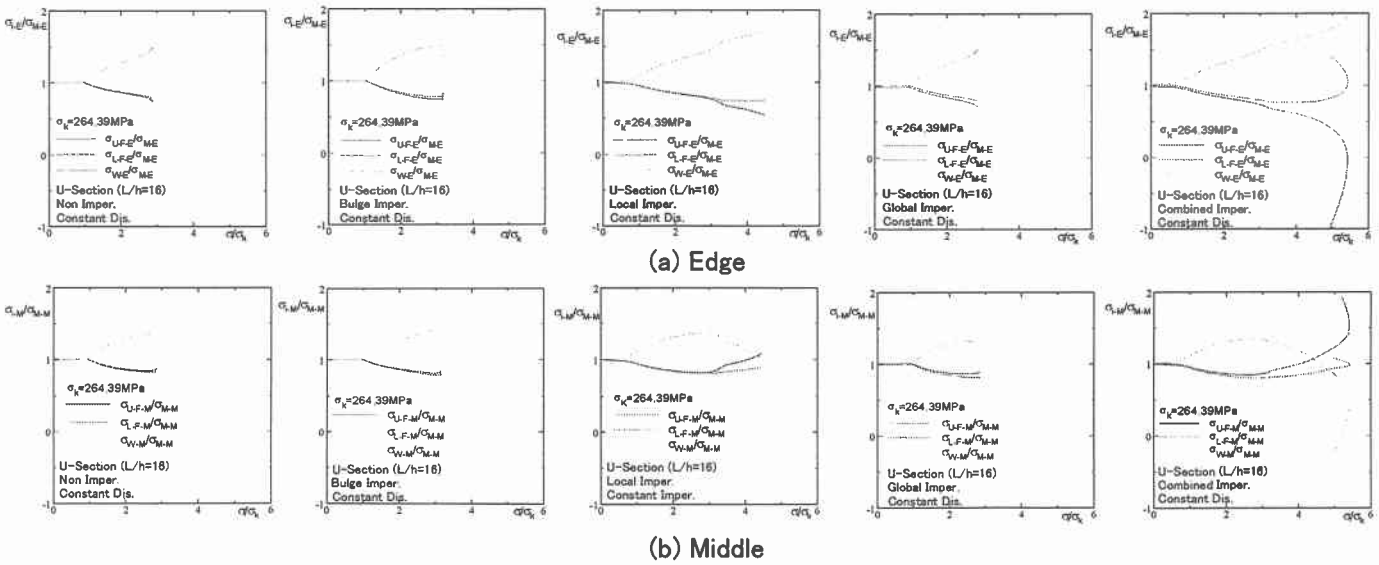


図-5 板パネルの応力分担率($L/h=16$)