

初期たわみを有する高張力フランジの圧縮強度評価指標の検討

広島大学工学部 学生会員 ○清岡 直樹

高知工業高等専門学校建設システム工学科 正会員 海田 辰将

高知工業高等専門学校建設システム工学科 正会員 勇 秀憲

1. はじめに

近年、土木構造物において経理削減、合理化、省力化が重要課題として広く認識されている。一方、現在では様々な性能を有する高機能鋼材が開発されており、それら、種々の高張力鋼板や極厚板が橋梁に多く用いられるようになった。そこで本研究では、高張力鋼の高い降伏強度を有効活用するために、初期不整を有する厚板を含めた高張力鋼板の座屈強度を従来の w_0/b (w_0 : 初期たわみ量, b : 板幅) の代わりに、 w_0/t (t : 板厚) によって正確に評価することを目的とし、3辺単純支持一辺自由板の降伏応力の大きさに無関係な座屈強度曲線を提案する。

2. 初期不整を有するフランジの圧縮強度解析

図-1に本解析モデルを示す。このモデルを一辺が40mmの4節点正方形シェル要素を用いて分割し、フランジの左右対称性を考慮して、図中薄灰色で示す圧縮フランジの半分の領域についての弾塑性非線形有限要素解析をパラメトリックに実施した。なお、モデルの材料特性は、弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ を用い、鋼材の応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。

本解析モデルには、鋼板の初期不整として、初期たわみを考慮した。初期たわみの形状は図-2に示すように、 x 方向にはフランジの自由端中央で最大たわみ (w_0) を生じるような $\sin$ 半波の形状で、 y 方向には線形分布を与えている。

3. 初期たわみがフランジの圧縮強度に与える影響

図-3には $R=0.8, 1.2, 1.5$ でいずれも $\sigma_y=300\text{MPa}$ の板についての解析結果 (荷重-たわみ関係) を示している。図中①③⑤に示す初期たわみの無い板の解析結果から、幅厚比パラメータ R が大きくなるほど板の終局圧縮強度 (最高荷重) は低下しており、 $R=1.5$ の板では、一度弾性座屈を起こしても後座屈強度で強度を保つ弾性座屈が発生していることが確認できる。 $R=0.8$ の板では、他の2つの板に比べて板厚が厚いので、面外たわみは極めて小さく、荷重は最高荷重付近まで一気に上昇する塑性座屈の傾向が見える。これは、 R が大きい板は弾性座屈の影響により、変形が増大した後は板が受ける曲げモーメントが強度を支配する要因となるためであり、このような板は最終的に曲げ圧縮によって板の表面から徐々に降伏が進行する。一方、塑性座屈を起こす板は、板が材

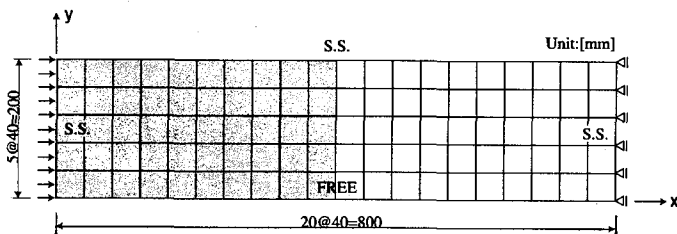


図-1 解析モデル

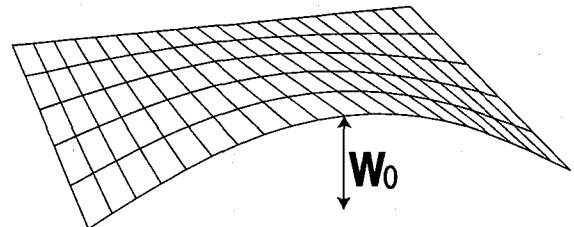


図-2 初期たわみ形状

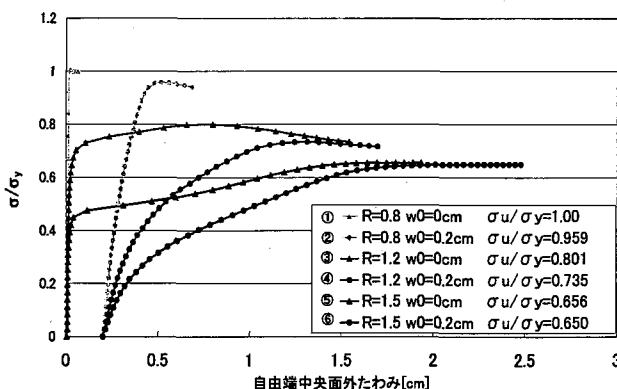


図-3 荷重-たわみ関係 ($\sigma_y=\text{const}$)

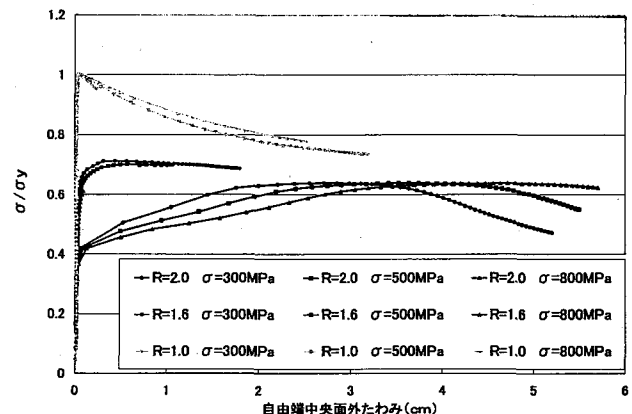


図-4 荷重-たわみ関係 ($R=\text{const}$)

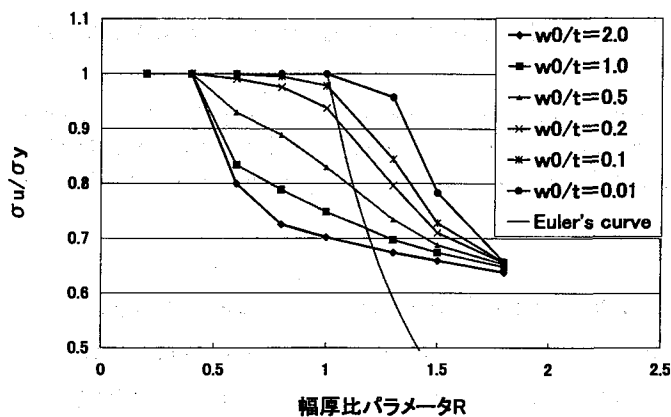


図-5 座屈強度曲線

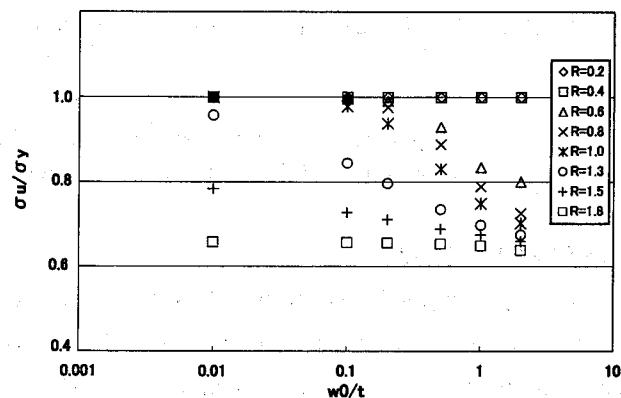


図-6 σ_u/σ_y - w_0/t 関係

料的に降伏するまで変形はほとんど生じないことによる。

次に、初期たわみを有する板の解析結果（図中②④⑥）について考察する。初期たわみを有する板は、初期たわみが無い板に比べていずれも荷重-たわみ関係の初期の傾きが低下していることが確認できる。これは、初期たわみがあることによって、荷重初期段階から板の各要素に荷重偏心のような形で曲げモーメントが付加されることにより、面外たわみが増大したことを示していると考えられる。その結果として、 $R=1.5$ の板などでは、弾性座屈荷重が初期たわみが無い板と比較して明確に判断できなくなっている。

一方、初期たわみを有する板の終局圧縮強度に着目すると、初期たわみの無い板よりも強度が低下することは自明であるが、その強度低下量は、 $R=1.2$ の板が最も大きくなっていることが確認できる。

4. w_0/t による強度評価の妥当性

全く異なる降伏強度（ $\sigma_y=300, 500, 800\text{MPa}$ ）を持つ板の R の値がそれぞれ 1.0, 1.6, 2.0 とするように板厚 t を決定し、それらの w_0/t の値が同じ（ $w_0=0.01$ ）になるように最大初期たわみを導入した解析モデルの荷重-たわみ関係を図-4に示す。図からわかるように荷重-たわみ関係の形には多少の違いがあるものの、終局強度については降伏応力の大きさに関係なくほぼ同じ値になっている。つまり、 w_0/t によって最大初期たわみの大きさを制限し、幅厚比パラメータ R ごとにその終局強度を整理すれば、降伏応力（鋼種）に関係なく圧縮強度を評価できることを図は示している。

5. w_0/t を用いた初期不整を有する圧縮フランジの強度評価

圧縮フランジをパラメトリックに解析を行い、 w_0/t ごとに整理した座屈強度曲線を図-5に示す。図から、 R が 0.5 付近より小さい板では、塑性座屈となるため、その圧縮強度は w_0/t の値に関わらず $\sigma_u/\sigma_y=1.0$ になることがわかる。また $R>1.5$ の場合も、 w_0/t による圧縮強度のばらつきは抑えられるが、これは板が弾性座屈を引き起こすので、初期たわみの大きさよりもむしろ板の曲げ剛性が強度の支配要因となるためと考えられる。

$0.5<R<1.5$ の範囲では、 w_0/t が 0.01, 0.1, 0.2 のように比較的小さい場合、 $1.0<R<1.5$ 付近で、強度低下が特に著しい。また、 $w_0/t=0.5$ では、 $0.5<R<1.5$ の間で R による強度低下はほぼ線形になることが確認できる。 w_0/t が 1.0 や 2.0 になると、強度低下は $0.5<R<1.0$ の範囲で最大となる。上記の結果から、残留応力が無い場合は w_0/t の大きさによって強度低下が著しい R の範囲が異なるので注意する必要がある。

6. 終局圧縮強度における w_0/t の影響

図-6は、圧縮フランジの強度解析の結果から、縦軸に σ_u/σ_y 、横軸に w_0/t を対数軸でとり、 R ごとにプロットしたものである。この図から、 $0.6<R<1.3$ の板において $0.1<w_0/t<1.0$ の初期たわみが大きな強度低下を引き起こすことが明らかになった。

7. まとめ

- (1) 本解析結果から、 w_0/t を用いて板の終局圧縮強度を評価すると、降伏応力とは無関係に1本の座屈強度曲線で表現できることが明らかになった。
- (2) $0.6<R<1.3$ の板では $0.1<w_0/t<1.0$ の初期たわみが大きな強度低下を引き起こす。

参考文献

- 1) T.Kaita, K.Fujii and I.Ario: Estimation for Influence of Initial Imperfections to Ultimate Strength of High Tensile Steel Plates Subjected to Uniform Compression, First International Structural Engineering and Construction Conference, Creative Systems in Structural and Construction Engineering, pp.919-924,2001.