

曲げを受ける鋼 I 形断面のコンパクト断面の限界幅厚比

長崎大学大学院 学生会員 ○池末 和隆
片山ストラテック 正会員 山野 修

長崎大学工学部 正会員 中村 聖三
長崎大学工学部 フェロー 高橋 和雄

1. はじめに

現行の道路橋示方書¹⁾では、許容応力度設計法が採用されている。一方、欧米等の諸外国では塑性域を考慮した限界状態設計法が採用されている。こうした塑性設計法の適用は、鋼橋の更なる合理化とコスト縮減に寄与できるものと考えられ、我が国も将来的には塑性設計法の内容を導入した合成桁の断面区分の規定が必要である。そこで本研究では、シェル要素を用いたパラメトリック解析により、曲げを受ける鋼 I 形断面のコンパクト断面の限界幅厚比を算出する。なお、本研究は AASHTO LRFD²⁾の断面区分を参考にし、終局状態で全塑性モーメントまで達することができる断面をコンパクト断面とする。

2. 解析概要

解析対象は鋼 I 形断面であり、橋軸方向における垂直補剛材間一パネルを取り出した部分をモデル化する。断面形状とパラメータを図-1 に示す。解析モデルは全て $D=3000\text{mm}$, $b_f=1000\text{mm}$ に固定し、ウェブ高と橋軸方向の長さにおけるアスペクト比が 1.0 となるようにする。また、解析時間を短縮させるため、橋軸方向の対称性を考慮して橋軸方向 1/2 をシェル要素によりモデル化する。

解析には MSC. Marc³⁾を用い、鋼 I 形断面のウェブ・フランジのどちらか一方の幅厚比を固定し、他方の幅厚比をパラメトリックに変化させる弾塑性有限要素解析を行う。境界条件として一端に対称条件を与え、他端を平面保持しながらその中立軸位置に回転を徐々に与えることで、反力として発生する曲げモーメントの最大値を曲げ耐力とする。

材料特性は、図-2 に示す土木学会鋼構造新技術小委員会⁴⁾で提案された応力-ひずみ関係を用いる。詳細なパラメータは文献 4)を参照されたい。

初期不整として、初期たわみと残留応力を考慮する。初期たわみについては、図-3 に示すように、最大値を道路橋示方書に規定された許容値である $b_f/200$, $D/250$ とする正弦波を与える。残留応力は図-4 に示すように、フランジとウェブの溶接部に引張残留応力として降伏応力を与え、その他の部分では自己平衡条件が成立するような分布形状を仮定したものをを用いる。

3. 解析結果

縦軸に解析結果の曲げ耐力 M_c を全塑性モーメント M_p で除して無次元化した値、横軸に幅厚比をとったものを図-5 に示す。なお、紙面の制約上鋼種 SS400 のみを示している。図-5 の関係から、 $M_c/M_p=1.0$ を挟む 2 点の値を用いて、直線補間により曲げ耐力が全塑性モーメントと見なせる幅厚比の限界値（限界幅厚比）を求める。図-5 の関係において、一般に幅厚比が減少すると曲げ耐力も減少する傾向があるが、図-5 (b) では一部曲げ耐力が増加するところが見られる。これは、図-6 に示すように座屈モードが変化していることが原因と考えられる。

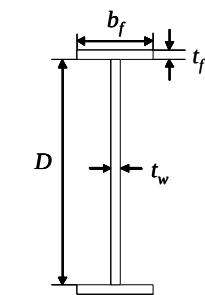


図-1 鋼 I 形断面

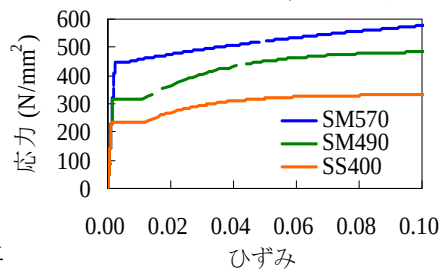


図-2 応力-ひずみ関係

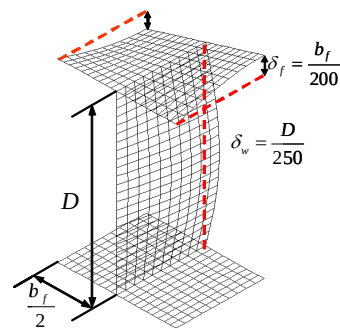


図-3 初期たわみ

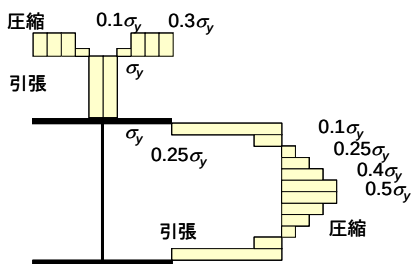


図-4 残留応力

キーワード 断面区分, 耐荷力, コンパクト断面, 鋼 I 形断面, 塑性設計

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1 番 14 号 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL095-819-2626

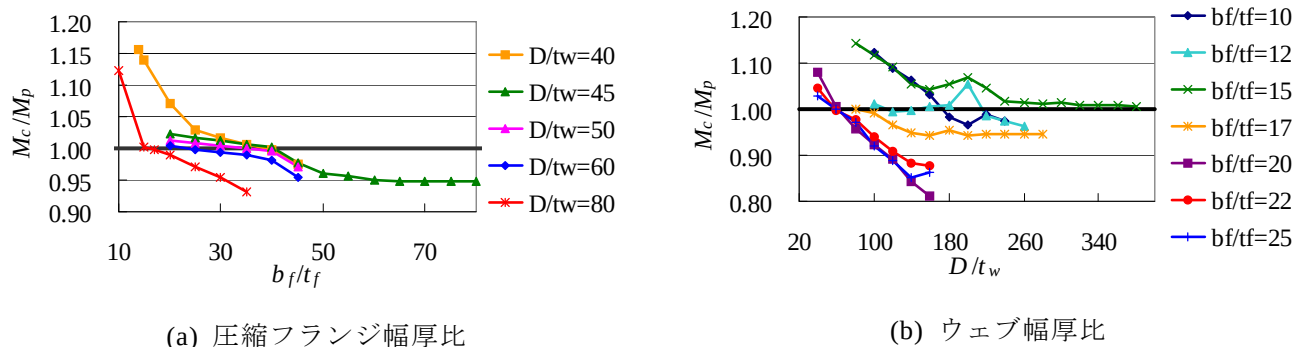


図-5 曲げ耐力/全塑性モーメントと幅厚比(鋼種: SS400)

4. コンパクト断面の限界幅厚比

コンパクト断面とみなせるフランジ、ウェブの幅厚比の組み合わせを全鋼種に対してプロットしたものを図-7に示す。同図においては、AASHTOの条件式を参考に、鋼材強度の影響がなくなるよう幅厚比を標準化している。

図-7より、鋼種ごとのプロットにはあまり大きなばらつきがなく、今回検討した範囲では塑性域での材料特性の影響はそれほど大きくないことがわかる。また、全鋼種に対して安全側の限界幅厚比を与えるように配慮すれば、コンパクト断面とみなせるフランジ・ウェブの幅厚比の関係は、次式のように近似できる。この近似曲線とAASHTOのコンパクト断面の条件とを比較すると、フランジ・ウェブの相関関係辺りでは、やや制限されていることがわかる。

$$\frac{b_f}{t_f} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} = 1.32 \frac{t_w}{D} \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} + 0.04 \quad (1)$$

5. 今後の課題

AASHTOのようなコンパクト断面の条件式を提案する上で、まず、フランジ・ウェブいずれか一方の幅厚比が極めて小さい領域における他方の限界幅厚比をどのように規定するか検討しなければならない。それ以外にも、許容される初期たわみ、荷重パターン、応力勾配等の影響に関する検討も必要である。また、コンパクト断面の条件式が確立できた後には、ノンコンパクト断面の条件式の構築に向けた検討も実施したいと考えている。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説: (社) 日本道路協会, 平成14年3月
- 2) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Second Edition: Washington (DC), 1998
- 3) MSC. Marc 2000 Japanese manual, Volume A-E: MSC. Software Corporation, 2000
- 4) 鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術: 土木学会鋼構造委員会 鋼構造新技術小委員会, 1996

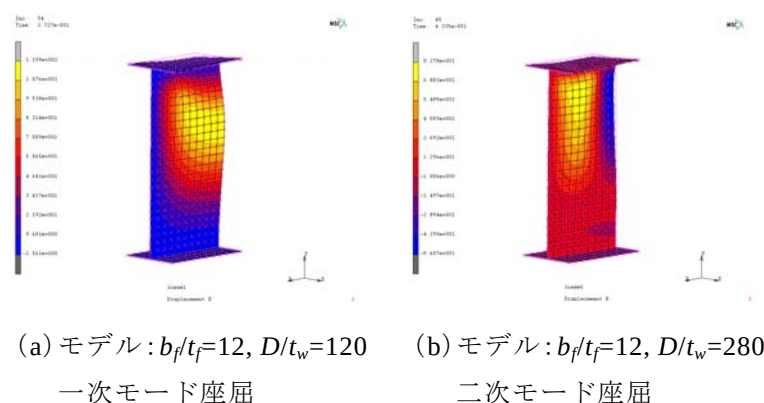


図-6 座屈モード

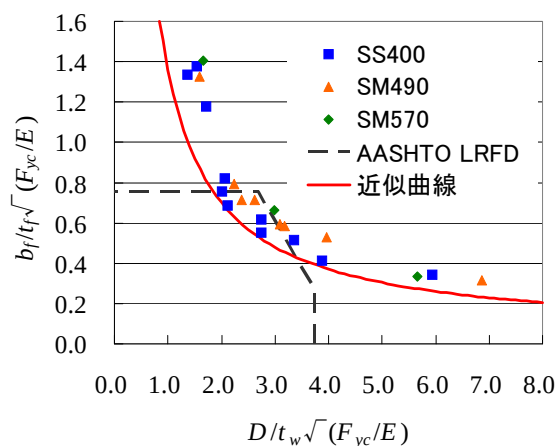


図-7 コンパクト断面の限界幅厚比