

曲げを受ける鋼 I 形断面に関するコンパクト断面の条件式

長崎大学大学院 学生会員 ○池末 和隆
片山ストラテック株式会社 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

現在、我が国の道路橋の設計法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部分係数を用い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。その際、国により鋼材性能や許容される製作誤差等が異なる。そうした状況に対して著者らは、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 形断面の断面区分を提案した¹⁾。しかし、この提案では圧縮フランジの初期たわみが適切に考慮されていなかった。そこで本研究では、道路橋示方書²⁾で許容された圧縮フランジの初期たわみを考慮した解析を実施し、新たにコンパクト断面の条件式を提案する。なお、本研究では AASHTO LRFD³⁾の断面区分を参考にするが、局部座屈が生じることなく全塑性モーメントまで到達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 形断面とし、断面形状及び条件式に用いるパラメータを図-1 に示す。本解析は 3 種類の鋼材を用い、圧縮フランジの限界幅厚比を明らかにするための解析では、ウェブの幅厚比を局部座屈が生じないと思われる一定値 (SS400, SM490, SM570 に対して、それぞれ $D/t_w=60, 40, 20$) に保ったまま、圧縮フランジ厚のみを変化させる。ウェブの限界幅厚比を明らかにするための解析も同様、圧縮フランジの幅厚比を鋼種 SS400, SM490, SM570 ごとに、それぞれ $b_f/t_f=10, 8, 5$ と固定し、ウェブ厚のみを変化させる。

解析には MSC. Marc⁴⁾を用いる。解析モデルは全て $D=3000\text{mm}$, $b_f=1000\text{mm}$ に固定し、橋軸方向の長さはウェブのアスペクト比が 1.0 となるようにウェブ高と等しくする。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。解析モデルに与える境界条件を図-2 に示す。右端断面を平面保持させながら、中立軸の位置に回転を徐々にかけていくことで、反力として発生する曲げモーメントと回転角の関係でピークが存在すれば、そのときの反力モーメントの値を曲げ耐力とする。ピークが明確でないときは、局部座屈が生じたと思われる値を曲げ耐力とした。

初期たわみは、道路橋示方書の部材精度の規定を参考に、式(1)に示すように設定した。

$$\text{ウェブ} \quad \delta_w = \frac{D}{250} \sin\left(\frac{\pi}{D} y\right) \cos\left(\frac{\pi}{D} z\right) \quad \cdot \quad \text{フランジ} \quad \delta_f = \frac{b_f}{200} \cos\left(\frac{\pi}{D} z\right) \quad (1)$$

なお、解析方法の詳細は文献 1)を参照されたい。

3. コンパクト断面の限界幅厚比

縦軸に曲げ耐力 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-3 に示す。図-3 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、すなわち限界幅厚比を求め、その値を表-1 に示す。

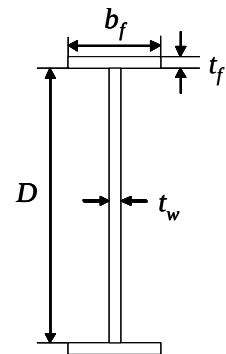


図-1 断面形状とパラメータ

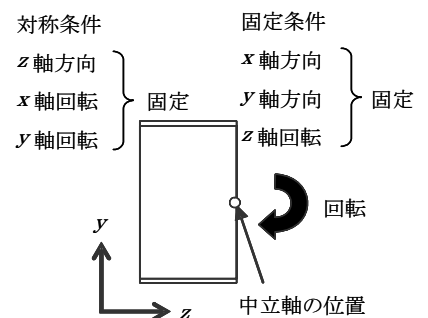
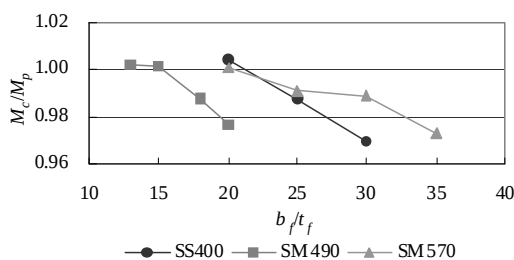
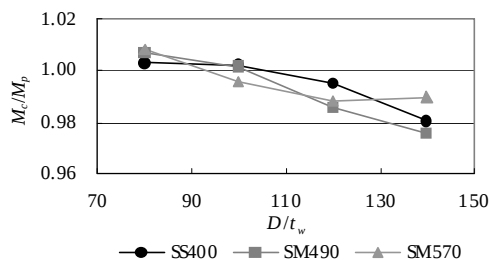


図-2 境界条件



(a) 圧縮フランジ幅厚比



(b) ウェブ幅厚比

図-3 曲げ耐力/全塑性モーメントと幅厚比

4. 条件式の提案

求められた限界幅厚比をもとに、コンパクト断面と見なすことのできる条件式を構築する。圧縮フランジの条件式は、鋼種の中で最も条件が厳しい SM490 とし、ウェブの条件式も同様に考え、SS400 とする。AASHTO の限界値の条件式をフランジとウェブでそれぞれ公式化したものを式(2)に示す。パラメータ A , B の値は、より安全側となるように 5% の余裕を持たせ、表-2 に示す。

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq A \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad \cdot \quad \frac{2D_{cp}}{t_w} \leq B \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (2)$$

D_{cp} : 全塑性状態における圧縮ウェブ高さ

表-2 より、本研究の提案式は、既発表、AASHTO の条件式と比較するとパラメータの値が異なっていることがわかる。既発表と比較すると、圧縮フランジの限界幅厚比が約 33% 制限され、ウェブの限界幅厚比は約 4% 緩和されている。圧縮フランジの限界幅厚比は圧縮フランジの初期たわみの影響を受け、制限されていることがわかる。ウェブの限界幅厚比は、座屈が生じないフランジ厚を用いていることから、圧縮フランジの初期たわみの有無にそれほど影響されないことがわかる。AASHTO と比較すると、圧縮フランジの限界幅厚比が約 24% 制限され、ウェブの限界幅厚比は約 8% 制限されている。

5. 今後の課題

今回実施した解析においては、図-4 に示すように反力モーメントと回転角の関係にピークがある場合とない場合が存在したが、特に SM490, SM570 の圧縮フランジの限界幅厚比を求める解析では、反力モーメントと回転角の関係に明確なピークが存在せず、曲げ耐力を決定しづらいことが多かった。このような場合、曲げ耐力の判定が必ずしも客観的に行われていない可能性がある。圧縮フランジの限界幅厚比が、結果的にかなり制限されたことの一因は、この点である可能性を否定できない。今後、一貫した曲げ耐力の定義の方法を検討しなければならない。それ以外にも、今後、ノンコンパクト断面の条件式、断面区分条件におけるウェブと圧縮フランジの相関関係の必要性等に関する検討が必要であると考えている。その際、許容される初期たわみ、荷重パターン、応力勾配等の影響も検討したいと考えている。

参考文献

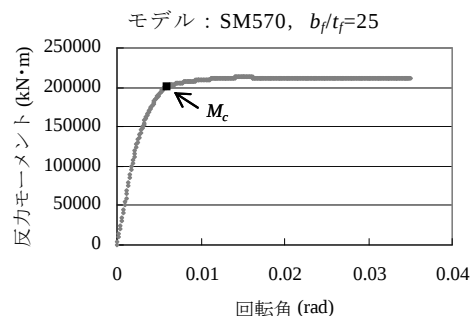
- 1) 山野修, 中村聖三, 高橋和雄: 曲げを受ける鋼 I 形断面の断面区分に関する研究, 平成 19 年度土木学会西部支部, 平成 20 年 3 月
- 2) 道路橋示方書・同解説: (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月
- 3) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Second Edition: Washington (DC), 1998
- 4) MSC. Marc 2000 Japanese manual, Volume A-E: MSC. Software Corporation, 2000

表-1 限界幅厚比

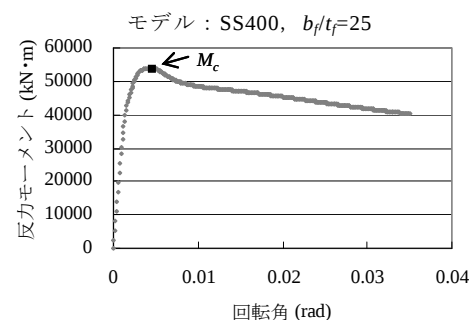
	b_f/t_f	D/t_w
SS400	21.21	106.44
SM490	15.33	101.97
SM570	20.49	93.08

表-2 条件式のパラメータ

	A	B
AASHTO LRFD	0.382	3.76
既発表の条件式	0.431	3.33
本研究の条件式	0.289	3.47



(a) ピークが存在しない



(b) ピークが存在する

図-4 反力モーメントと回転角の関係