

鋼 I 桁におけるウェブ及び圧縮フランジの幅厚比に関するコンパクト断面の条件式

佐世保重工業(株) 正 会 員 ○梶田太一
長崎大学大学院 学生会員 江頭克礎

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. まえがき

現在、我が国の道路橋設計に用いられている道路橋示方書¹⁾には、許容応力度設計法が採用されている。しかし、この設計法では鋼材の塑性域での伸び性能やひずみ硬化等の性質が有効活用されていない。一方、アメリカ²⁾等の諸外国では部分安全係数を用いた限界状態設計法が採用されており、断面の全塑性モーメントを基準とする設計法の規定もある。現在の日本の厳しい社会状況に対して、こうした塑性設計法の適用はコスト縮減に寄与できるものと考えられる。

本研究では終局状態において全塑性モーメントに達することができるコンパクト断面のわが国独自の設計法の確立を最終目的とする研究の一環として、鋼 I 桁を対象としてコンパクト断面と判定できる圧縮フランジの幅厚比、およびウェブと圧縮フランジの幅厚比における相関関係を明らかにする。

2. 解析モデルの諸元

負曲げ領域を想定し、解析モデルの断面は引張となるコンクリート床版を無視した鋼 I 形断面とする。図-1 は AASHTO LRFD におけるコンパクト断面の条件と解析モデルを鋼種別に表したものである。AASHTO LRFD では図中にある線の内側の幅厚比をもつ断面をコンパクト断面と見なしている。グループ A は圧縮フランジの限界幅厚比を、グループ B はウェブ幅厚比と圧縮フランジ幅厚比の限界幅厚比における相関関係を明らかにするための解析モデルである。ウェブ厚と圧縮フランジ厚については、全ての解析モデルにおいてそれぞれ 15mm, 30mm としている。

3. 解析方法

解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用いる。解析モデルは鋼桁の一部分を取り出し、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。ただし、解析時間を短縮させるため、橋軸方向の対称性を考慮し、シェル要素を用いて橋軸方向に 1/2 のモデルとする。解析モデルの要素分割については、ウェブ高さ方向に 24 分割、フランジ幅方向に 20 分割、橋軸方向に 10 分割とする。解析モデルに与える拘束条件を図-2 に示す。グループ A の解析ではウェブが座屈しないように面外方向に固定している。この右端断面を平面保持させながら、塑性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、または最初に局部座屈する節点の面外変位との関係から、座屈時の断面に作用しているピークの曲げモーメントを読み取り、この値を曲げ耐力とする。

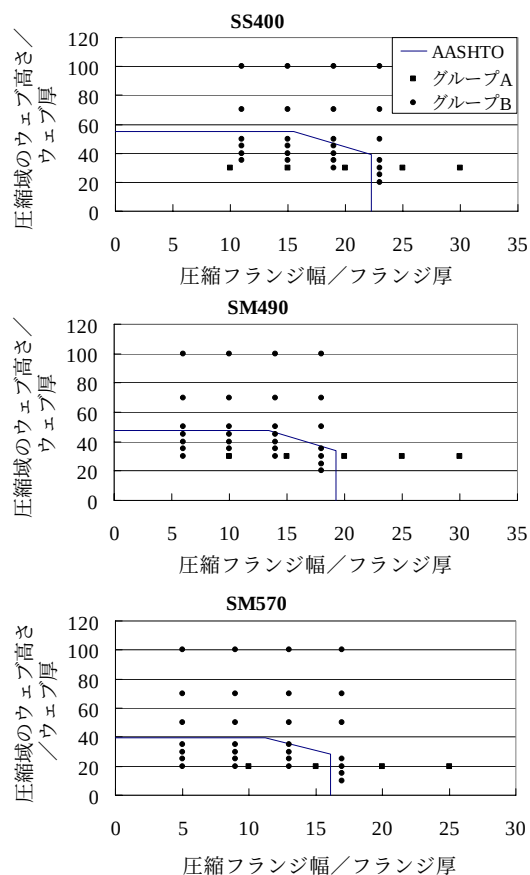


図-1 コンパクト断面と解析モデル

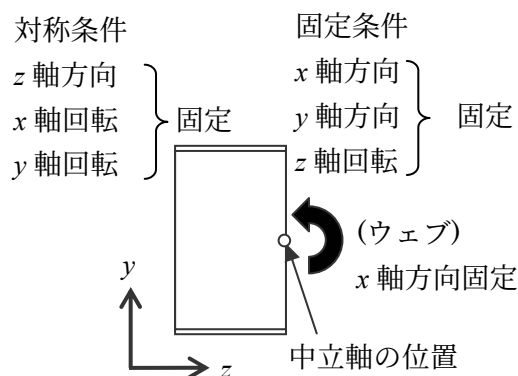


図-2 解析の条件

キーワード：塑性設計、コンパクト断面、圧縮フランジ幅厚比、ウェブ幅厚比、曲げ耐力、全塑性モーメント

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 TEL/FAX: 095-819-2613, e-mail: snakamura@civil.nagasaki-u.ac.jp

4. 鋼材特性

応力－ひずみ関係には土木学会鋼構造新技術小委員会³⁾で提案された式(1)を用いる。その概略図を図-3に、本解析で用いる鋼材3種類の応力－ひずみ関係を決定するパラメータを表-1に示す。ヤング係数を200000N/mm²，ポアソン比を0.3とする。

$$\sigma_s = E \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_y, \quad \sigma_s = \sigma_y \quad \varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st}$$

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{E_{st}}{E} \left[1 - \exp \left\{ -\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} \right) \right\} \right] + 1 \quad \varepsilon_s \geq \varepsilon_{st} \quad (1)$$

5. 初期不整

解析モデルに考慮するウェブと圧縮フランジの初期たわみをそれぞれ式(2), (3)に示す。この初期たわみは道路橋示方書の部材精度の規定を参考に設定している(図-4参照)。

残留応力は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 σ_y 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する(図-5参照)。

$$\delta_w = \frac{d_w}{250} \sin \left(\frac{\pi}{d_w} y \right) \cos \left(\frac{\pi}{d_w} z \right) \quad (2) \quad \delta_f = \frac{x}{100} \cos \left(\frac{\pi}{d_w} z \right) \quad (3)$$

6. 解析結果の一例と算定式

SS400の解析モデルに対するモーメントと回転角の関係を図-6に示す。また、縦軸に各モデルの解析によって得られた曲げ耐力と全塑性モーメントの比，横軸に圧縮フランジ幅厚比をとったものを図-7に示す。図-7の関係から， $M_{cr}/M_p = 1.0$ 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圧縮フランジ幅厚比の限界値，すなわち限界幅厚比を求めると26.2となる。同様にしてSM490，SM570についても限界幅厚比を求めると，それぞれ21.9，18.4となる。この結果を，AASHTOにおけるコンパクト断面の圧縮フランジ幅厚比の条件式にない定式化する。その際，鋼種によって係数に差異が生じるが，その値は小さいため，設計の利便性を考慮し，全ての鋼種で安全側となるように係数を決定する。得られた条件式を式(4)に示す。

$$\text{圧縮フランジ幅厚比} : \frac{b_f}{2t_f} \leq 0.430 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (4)$$

7. あとがき

本文には，紙面の制約から圧縮フランジに関する検討結果のみを記載している。ウェブ幅厚比と圧縮フランジ幅厚比の限界幅厚比における相関関係についてはAASHTO LRFDにおけるウェブと圧縮フランジ両者の幅厚比を含む相関関係式が，本研究では圧縮フランジ剛性の増加に対しウェブ限界幅厚比が減少せず，圧縮フランジ幅厚比に無関係な式となった。今後，この原因を検討する必要がある。また，コンパクト断面とみなすためには， M_p に到達するまで横ねじれ座屈を防止する必要があるため，この条件についても明らかにしていく必要がある。

【参考文献】 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成14年3月 2) AASHTO：LRFD Bridge Design Specifications, 1998. 3) 土木学会鋼構造委員会 鋼構造新技術小委員会：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，1996.

表-1 鋼材のパラメータ

	ξ	$\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$	E/E_{st}
SS400	0.06	10	40
SM490	0.06	7	30
SM570	0.02	3	100

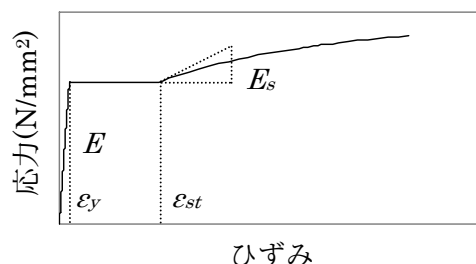


図-3 鋼の応力－ひずみ関係

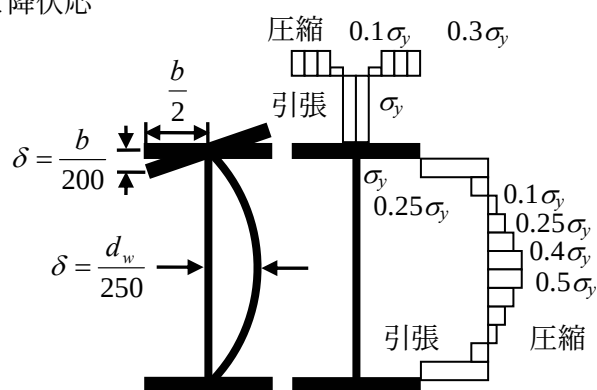


図-4 初期たわみ

図-5 残留応力分布

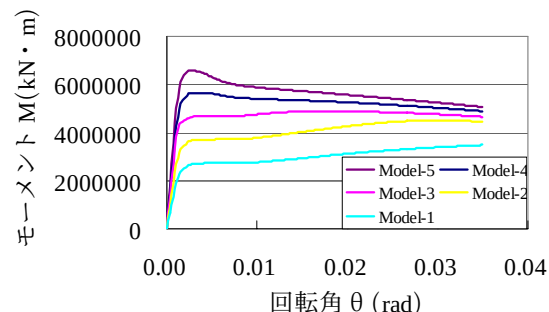


図-6 SS400のM-θ関係

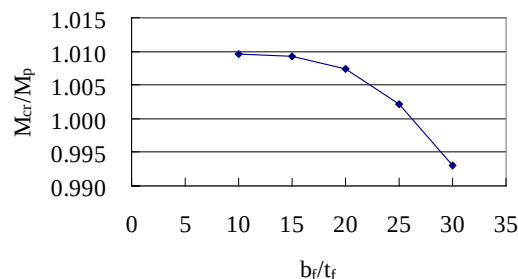


図-7 SS400の曲げ耐力