

曲げを受ける鋼 I 形断面に対する断面区分基準の提案

長崎大学工学部 学生会員 ○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. 研究の背景と目的

我が国の道路橋の設計に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。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る。本研究では、終局状態で曲げ耐力が全塑性モーメントに達することができる断面をコンパクト断面、降伏モーメントに達することができる断面をノンコンパクト断面とし、負曲げ域の合成桁を対象に、局部座屈に着目したそれらの条件式を算定し、我が国独自の鋼 I 形断面に対する断面区分基準を提案する。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

負曲げ域の合成桁を対象とすることから、解析モデルの断面は合成桁で引張側にあるコンクリート床版を無視した鋼 I 形断面とする。本研究では SS400, SM490, SM570 の 3 鋼種に対して解析を行う。図-1 には、一例として SM490 に対する解析モデルを、AASHTO LRFD¹⁾におけるコンパクト断面、ノンコンパクト断面の条件とともに示している。AASHTO LRFD では図中にある線の内側の幅厚比をもつ断面をそれぞれコンパクト断面、ノンコンパクト断面とみなしている。

2.2 解析方法

解析には汎用有限解析ソフトウェア MARC を用いる。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。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 モデルとし、シェル要素を用いてモデル化する。図-2 に解析モデルと要素分割数を示すが、ウェブ高さと圧縮フランジ幅については、全ての解析モデルにおいてそれぞれ 3000mm, 1000mm と固定し、板厚のみを変化させることで、所定の幅厚比となるようにする。解析モデルに与える拘束条件を図-3 に示す。なお、フランジの限界幅厚比を検討する解析では、この拘束条件に加え、ウェブが座屈しないよう面外変位を固定している。また右端断面には、ユーザーサブルーチンを適用した平面保持条件も与えている。以上の条件下で、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最初に座屈する節点の面外変位の関係から、局部座屈が発生した際の曲げモーメントを読み取り、曲げ耐力とする。

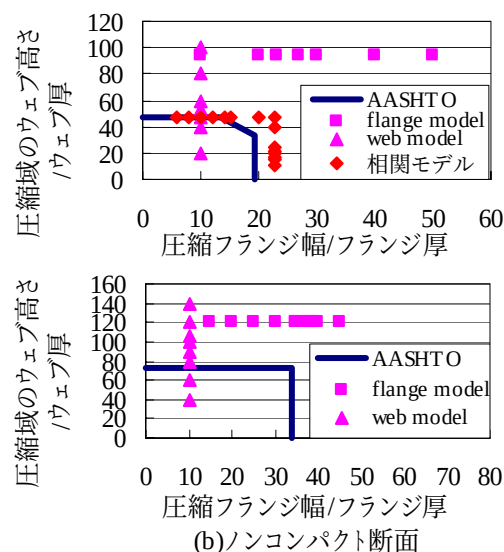


図-1 解析モデルの断面諸元

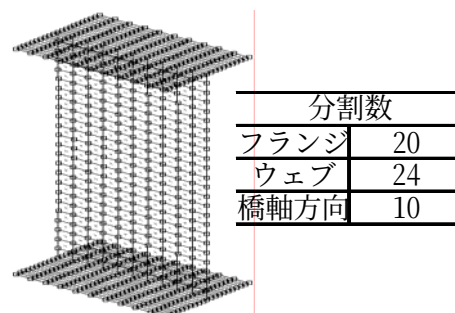


図-2 解析モデル

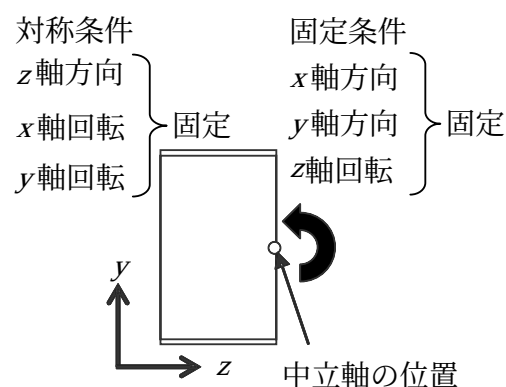


図-3 境界条件

キーワード：断面区分，コンパクト断面，ノンコンパクト断面，AASHTO LRFD，全塑性モーメント，降伏モーメント

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町1番14号 TEL 095-819-2613 FAX 095-819-2627

2.3 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²⁾で提案された式(1)を用いる．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．ヤング係数は 200000N/mm²，ポアソン比は 0.3 とする．

$$\sigma_s = E \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_y, \quad \sigma_s = \sigma_y \quad \varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st} \quad (1)$$

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

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

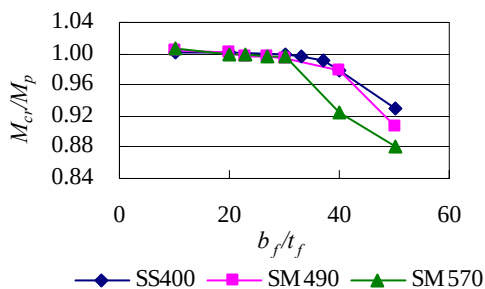
2.4 初期不整

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は，道路橋示方書³⁾の部材精度の規定を参考に，その最大値がウェブにおいてウェブ高の 1/250，フランジにおいてはフランジ幅の 1/200 である正弦波とする．

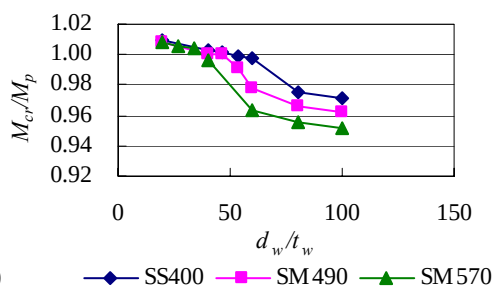
残留応力は，フランジとウェブの溶接部に引張残留応力として降伏応力 σ_y を与え，その他の部分では自己平衡条件が成立するような分布形状を仮定する．

3. 解析結果の一例

一例として，縦軸に曲げ耐力を全塑性モーメントで除して無次元化した値，横軸に圧縮フランジ幅厚比をとったものを図－4，横軸をウェブ幅厚比としたものを図－5 に示す．両図から $M_{cr}/M_p=1.0$ を挟む 2 点の値を直線補間してコンパクト断面に対する限界幅厚比を求めると，表－2 のような結果となる．



図－4 フランジ幅厚比



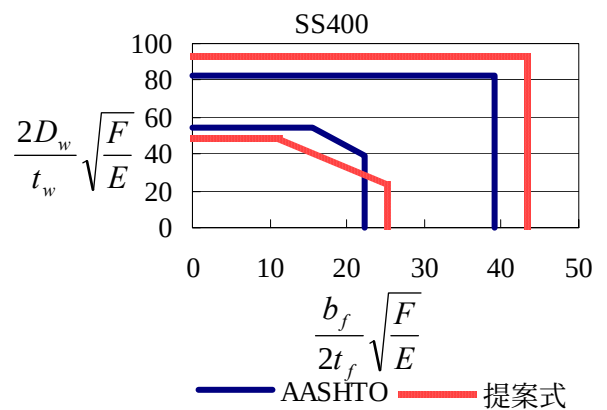
図－5 ウェブ幅厚比

表－2 鋼種別の限界幅厚比

	b_f/t_f	d_w/t_w
SS400	27.26	51.17
SM490	22.72	46.80
SM570	19.13	36.89

4. 鋼 I 形断面の断面区分基準の提案

解析結果から求めたそれぞれの断面に対する限界幅厚比をもとに，AASHTO LRFD の書式にならい定式化した図－6 を断面区分基準として提案する．同図の縦軸はフランジの，横軸はウェブの換算幅厚比である．今回提案した基準と AASHTO LRFD の基準を比較すると，圧縮フランジ限界幅厚比においては両断面とも約 10%緩和されたものとなり，ウェブの限界幅厚比ではコンパクト断面において 13%制限され，ノンコンパクト断面においては 22%緩和されたものとなっている．



図－6 提案基準と AASHTO LRFD の比較

5. あとがき

本研究では，AASHTO LRFD の規定にならい，新たな鋼 I 形断面の断面区分を提案した．しかし，断面が全塑性モーメントや降伏モーメントに到達するためには，ウェブや圧縮フランジの局部座屈だけでなく，部材の横ねじれ座屈も防止する必要がある．今後，この条件についても明らかにしなければならない．また，ウェブアスペクト比の影響やノンコンパクト断面での相関関係の必要性についても検討していく必要がある．

参考文献

- 1) AASHTO: LRFD Bridge Design Specifications, 1998, 2005.
- 2) 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.
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 平成 14 年 3 月.