

曲げを受ける鋼 I 形断面の断面区分に関する研究

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. まえがき

現在，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．しかし，この設計法では鋼材の特徴である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．さらに，長い不況の影響から橋梁の分野に関しても，構造的工夫や新材料の開発などによりコスト縮減が進められている．このような状況の中，我が国でも塑性設計法を導入することで，鋼橋の更なる合理化と施工時におけるコスト縮減に寄与できるものと考えられる．本研究では，負曲げ域の合成桁を想定し，コンパクト断面，ノンコンパクト断面のウェブと圧縮フランジの限界幅厚比を明らかにすることにより，鋼 I 形断面における断面区分の基準を提案する．

2. 解析モデル

負曲げ領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が，図 - 1 には，一例として SS400 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コンパクト断面，ノンコンパクト断面と見なしている．

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．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．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．図 - 2 に解析モデルを示すが，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方向に固定している．また右端断面においては，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

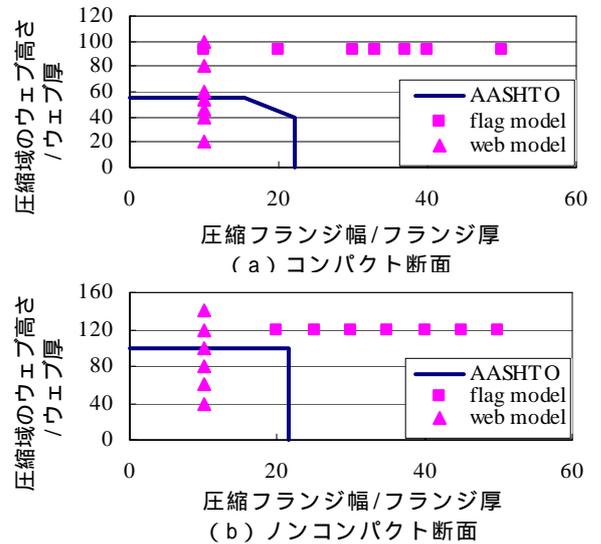


図 - 1 解析モデルの断面諸元

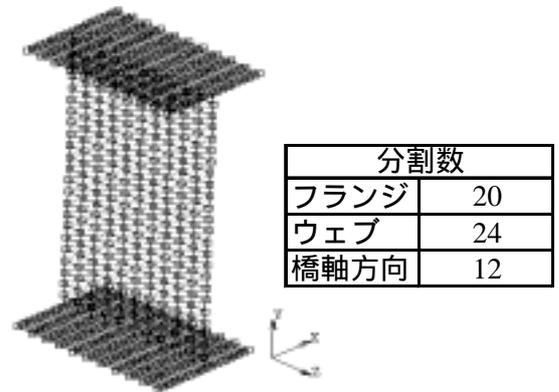


図 - 2 解析モデル

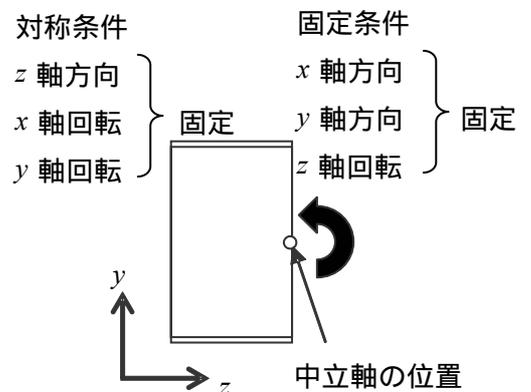


図 - 3 解析の条件

曲げモーメントと回転角，または最初に座屈する節点の面外変位との関係から，局部座屈や圧縮フランジとウェブが連成座屈した際の曲げモーメントを読み取り，曲げ耐力とする．

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．

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

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

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はウェブ高の 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，図 - 5 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 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．

6. 解析結果の一例と算定式

一例として，解析結果より得られた曲げモーメントを，全塑性モーメントで除して無次元化した曲げ耐力と圧縮フランジ幅厚比の関係を図 - 6 に示す．図 - 6 の関係から， $M_{cr}/M_p = 1.0$ を挟む 2 点の値を用いて，求めた限界幅厚比を表 - 2 に示す．この結果からコンパクト断面の圧縮フランジ幅厚比の条件式を AASHTO LRFD の条件式の書式にならい定式化すると，式(4)~(6)が得られる．今回算定した条件式を AASHTO LRFD の規格と比較すると，緩和されたものとなり，限界幅厚比においては 20%程度大きくなっている．

・ SS400 の算定式 $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.467 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (4)$

・ SM490 の算定式 $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.451 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (5)$

・ SM570 の算定式 $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.454 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (6)$

7. あとがき

本文では圧縮フランジについて，3 鋼種に対してコンパクト断面とみなせる限界幅厚比と算定式のみを示した．今後，コンパクト断面に対するウェブの限界幅厚比，ウェブおよび圧縮フランジの限界幅厚比における相関関係，さらにノンコンパクト断面に対するウェブおよび圧縮フランジの限界幅厚比に関して検討を実施し，講演時にはそれらの結果も発表する予定である．

参考文献

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

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

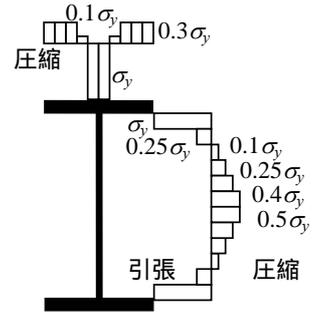


図 - 5 残留応力

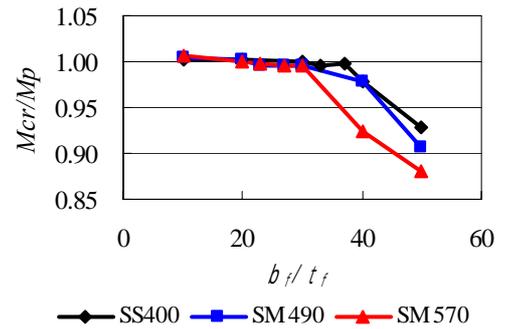


図 - 6 鋼種別の曲げ耐力

表 - 2 算出した限界幅厚比

	限界幅厚比
SS400	27.26
SM490	22.72
SM570	19.13