

NIPPO コーポレーション 正 会 員 ○ 其田直樹
 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経済性の向上に寄与することが期待される．

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我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，負曲げ域の合成桁を対象に，コンパクト断面と判定できるウェブと圧縮フランジの限界幅厚比，それらの相関関係を明らかにする．

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．図 - 1 は AASHTO LRFD¹⁾におけるコンパクト断面の条件，解析モデルのパラメータ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 は圧縮フランジの幅厚比の条件を，グループ B は圧縮域のウェブの幅厚比を，グループ C は圧縮域のウェブ幅厚比と圧縮フランジ幅厚比に関する相関関係の条件を明らかにする解析モデルである．ウェブ幅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 としている．

2.2 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 となるようウェブ高と等しくし，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．また，グループ A の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．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，座屈発生時の断面に作用している曲げモーメントを読み取り，この値を曲げ耐力とする．

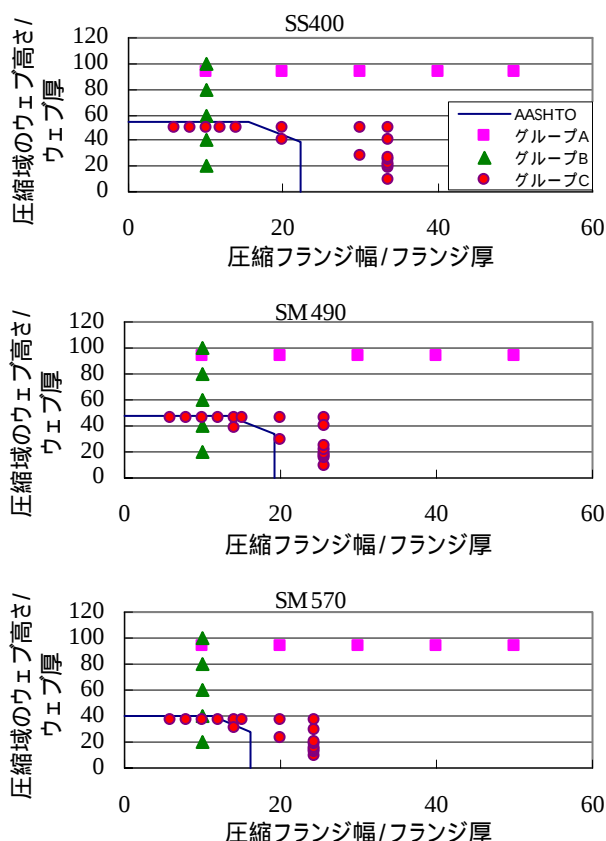


図 - 1 解析モデルのパラメータ

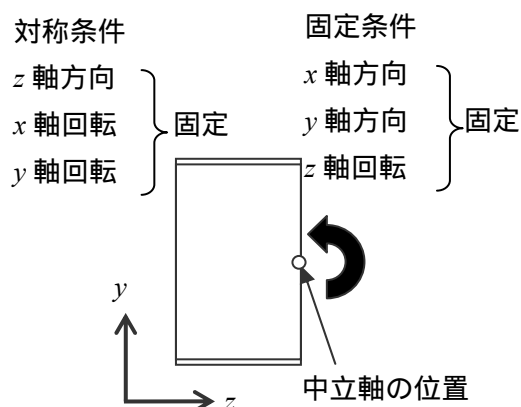


図 - 2 解析の条件

2.3 鋼材特性と初期不整合

応力 - ひずみ関係には土木学会鋼構造新技術小委員会で提案された構成則²⁾ (図 - 3)を用いる。ひずみ硬化後の関係式を式(1)に、本解析で用いる応力 - 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/mm^2 ，ポアソン比は 0.3 とする。

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

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³⁾の部材精度の規定(図 - 4 参照)を参考に設定している。

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(図 - 5)を仮定する。

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

3. 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、3 鋼種において全塑性モーメント M_p で無次元化した曲げ耐力 M_{cr} と圧縮フランジの幅厚比 b_f/t_f の関係を図 - 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幅厚比を求める。同様に、ウェブの限界幅厚比を求め、圧縮フランジとウェブの限界幅厚比をもとにそれらの相関関係を明らかにする。その結果を、AASHTO LRFD の条件式の書式にならない定式化すると、式(4)～(6)が得られる。AASHTO LRFD の規定と比較すると、圧縮フランジ幅厚比の条件はかなり緩和され、ウェブ幅厚比の条件はやや制限される結果になっている。

$$\text{圧縮フランジ幅厚比} : \frac{b_f}{2t_f} \leq 0.504 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (4)$$

$$\text{ウェブ幅厚比} : \frac{2d_{wc}}{t_w} \leq 3.32 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (5)$$

ウェブ・圧縮フランジ幅厚比相関式：

$$\frac{2d_{wc}}{t_w} + 5.59 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \leq 4.20 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (6)$$

4. あとがき

本研究では、負曲げ域の合成桁を対象に、コンパクト断面と判定できるウェブと圧縮フランジの限界幅厚比、およびそれらの相関関係を明らかにすることができたが、今後部材としての横ねじれ座屈を防止するための条件についても明らかにする必要がある。

【参考文献】 1) AASHTO : LRFD Bridge Design Specifications, 1998. 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。

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

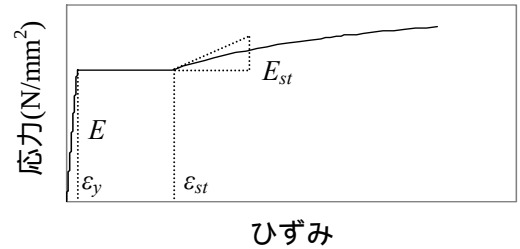


図 - 3 鋼材の応力 - ひずみ関係

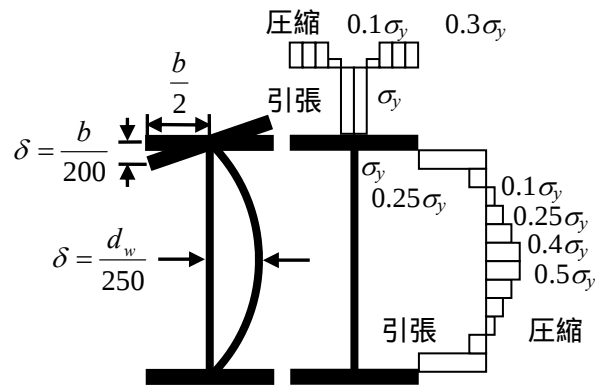


図 - 4 初期たわみ

図 - 5 残留応力分布

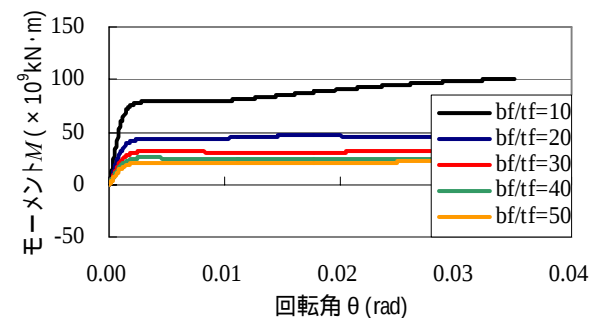


図 - 6 SS400 の $M-\theta$ 関係

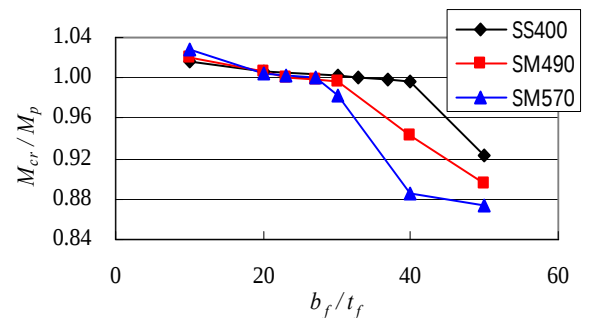


図 - 7 3 鋼種の曲げ耐力