

曲げを受けるI形断面はりおよびプレートガーダーの強度設計法の一提案

A PROPOSAL ON STRENGTH DESIGN OF I-BEAMS AND PLATE GIRDERS IN BENDING

西村宣男*, 秋山寿行**, 松村達生***

Nobuo NISHIMURA, Hisayuki AKIYAMA and Tatsuo MATSUMURA

Unified requirements of design code for steel structures are necessary for a purpose to expand the possible range of steel structure design for civil engineers. The expansion of design ranges means the establishment of a comprehensive design code including from plastic design for stocky frame works to buckling design for slender structures in both cross-section and also member.

This paper presents a proposal on the strength design of I-section beams and plate girders including stiffened bridge members. The concept of a structural classification concerning both cross-sectional classification and member slenderness classification is introduced. The limiting slenderness parameters for each classification, a selection flow chart of the classification and ultimate strength formulae are discussed.

1. まえがき

我国における社会基盤整備の要請に対して他の分野と競合する境界領域の構造物についても土木技術者が優位に対応できるためには、各種構造物の設計に柔軟に適用できる設計規準を準備しておくことが重要である。これまで、土木の鋼構造分野では鋼橋を対象とした道路橋示方書¹⁾が中心的存在であり、大学・高専における土木鋼構造教育では専ら道路橋示方書の解説に重点が置かれていると言っても過言ではない。そのため土木技術者が鋼橋以外の鋼構造物を設計する際にも、拠り所として道路橋示方書の力学条項を参考にすることが多く、他分野との競合において不利となることが指摘されている。鋼橋以外の鋼構造物の中でも最も多用されているはりおよび桁構造に対して道路橋示方書の関連条項を適用することによる問題点としては以下の項目が挙げられる。

- 1) 曲げ強度の上限値を降伏強度に取っているため、厚肉断面で降伏モーメントを越える強度の活用が許容されない。
- 2) 断面の降伏強度を保証するための限界幅厚比のうち、フランジについては単一の自由突出板ないしは十字断面柱のデータにもとづいており、厚い腹板を用いた場合の腹板による拘束効果が考慮されていない。

* 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科 (〒565 吹田市山田丘2-1)

** 工修 駒井鉄工(株) (〒555 大阪市西淀川区中島2-5-1)

*** 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程 (〒565 吹田市山田丘2-1)

3) 限界幅厚比を越えた薄いフランジあるいは腹板の強度を弾性座屈曲線と類似の曲線によって表現しており、耐荷力を過小に評価している。

4) はりの横ねじれ座屈強度とプレートガーダー圧縮フランジの横座屈を同一に扱っているため、圧延ばりの曲げ強度を過小に評価している。

本文では、これらの問題点を適切に修正し、一般の鋼構造物への適用を目的とした設計規準への一つのアプローチとして、はりおよびプレートガーダーの曲げ強度の包括的評価を試みる。

2. 1 形断面曲げ部材の強度設計法の枠組み

前述の問題点1)を修正したはりおよびプレートガーダー強度の包括的評価のためには、現行の道路橋示方書において考慮されていない構造区分の考え方を導入する必要がある。構造区分は断面構成要素の幅厚比に関係する断面区分と部材座屈に関係する細長比区分から構成される。

まず、断面の構成要素の幅厚比による断面区分の導入により、塑性設計法を適用できる断面、塑性設計法のように部材軸方向の断面力分布の再分配は認めないが一段面の全塑性強度までを利用できる断面、降伏強度を利用できる断面および局部座屈による断面強度の降伏強度からの低減を考慮する断面の仕分けを行う。以下ではこれらの4区分をそれぞれ塑性設計適用断面、塑性強度断面、降伏強度断面および座屈強度断面と称する。塑性設計適用断面と塑性強度断面の境界、塑性強度断面と降伏強度断面の境界および降伏強度断面と座屈強度断面の境界を与える幅厚比をそれぞれ塑性設計適用限界幅厚比、塑性限界幅厚比および降伏限界幅厚比と称することとし、以下の記号で表示する。

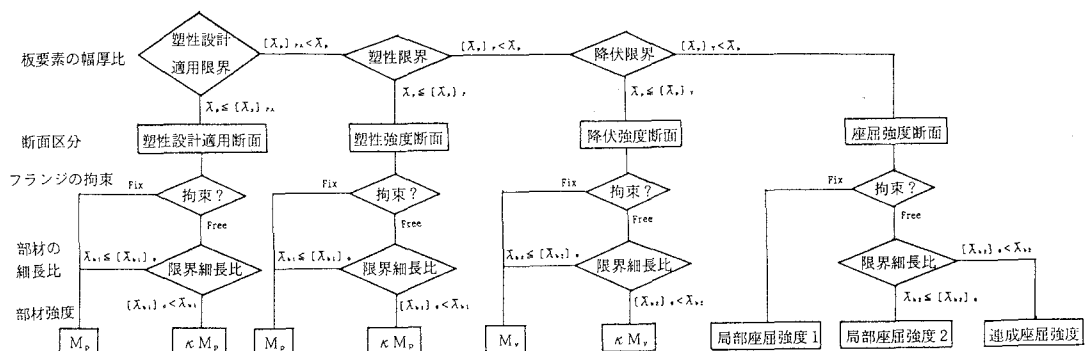
塑性設計適用限界幅厚比: $[\bar{\lambda}_p]_{PA}$, 塑性限界幅厚比パラメータ: $[\bar{\lambda}_p]_P$,

降伏限界幅厚比パラメータ: $[\bar{\lambda}_p]_Y$

これらの限界幅厚比を断面を構成する各板要素に対して個々に与える方法と各板要素間の相互拘束効果を考慮してフランジと腹板の幅厚比の相関式で与える方法がある。

座屈強度断面の強度に関してもフランジと腹板の相互拘束効果を考慮すると局部座屈強度を精度良く評価できるが、限界幅厚比との整合性を保つことと実務設計において煩雑さを避けることを念頭に置くと各板要素に対して限界幅厚比を与える方法が合理的であると考えられる。

一方、部材強度に関しては限界細長比によって部材座屈を無視できる領域と部材座屈による強度低下を考慮する領域に分ける。塑性強度断面では部材座屈を考慮する場合、部材強度は全塑性強度 M_p に強度低減係数 κ を乗じて求める。降伏強度断面では部材座屈を考慮する場合、部材強度は降伏強度 M_y に強度低減係数 κ を乗じて求める。座屈強度断面は降伏強度断面に準じ全体座屈と局部座屈の連成効果による強度低下を考



図ー1 はりおよびプレートガーダーの強度設計法のフロー

慮する。塑性強度断面に対する部材強度低減係数 κ は細長比パラメータ $\bar{\lambda}_{b1} = \sqrt{M_p/M_E}$ の関数として表現する。降伏強度断面および座屈強度断面に対する部材強度低減係数 κ は細長比パラメータ $\bar{\lambda}_{b2} = \sqrt{M_y/M_E}$ の関数として表現する。ここに、 M_E は弾性横ねじれ座屈強度を表す。また圧縮フランジがコンクリート床版等により拘束されている場合は部材座屈による強度の低下は考慮しないものとする。以上の条件を考慮したはりおよびプレートガーダーの強度設計法のフローを図-1に示す。

3. 断面区分と限界幅厚比

(1) 構造区分

一般の鋼骨組構造物の強度設計においては、図-2の概念図に示すように板要素の幅厚比に関する断面区分と部材の細長さで仕分けられる構造区分を導入することにより、後述する各構造区分に応じた強度評価法を適用する。

(2) 断面区分

構造区分のひとつの指標である断面区分はI形断面についてはフランジ（圧縮を受ける自由突出板）と腹板（曲げを受ける周辺支持板）について個々に規定した設計規準が多い。日本建築学会の限界状態設計法規準案²⁾ではフランジと腹板の相互作用を考慮した断面区分を与えている。フランジと腹板の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{bf}$ 、 $\bar{\lambda}_{pw}$ をそれぞれ縦軸および横軸にとって、代表的鋼構造設計規準における断面区分を図-3に比較して示す。なお、AISC-LRFD⁵⁾には降伏限界に関する断面区分は含まれていない。

断面区分は前述の塑性限界幅厚比と降伏限界幅厚比に加えて塑性設計適用限界幅厚比を規定している規準がある^{2), 8), 4)}。塑性限界幅厚比および降伏限界幅厚比は終局強度の観点から決定されるのに対して、塑性設計適用限界は変形能の観点から決定される。また地震地域では地震荷重が設計上支配的となる構造物に塑性設計を適用する場合は、より大きな変形能ないしはエネルギー吸収能を発揮できるよう厚肉の板要素を要求する塑性設計適用限界幅厚比が規定されている²⁾。図-4に各設計規準における塑性設計適用区分を比較

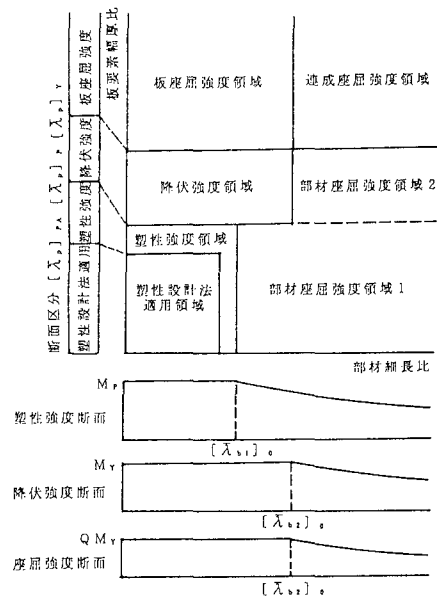


図-2 曲げ部材の構造区分

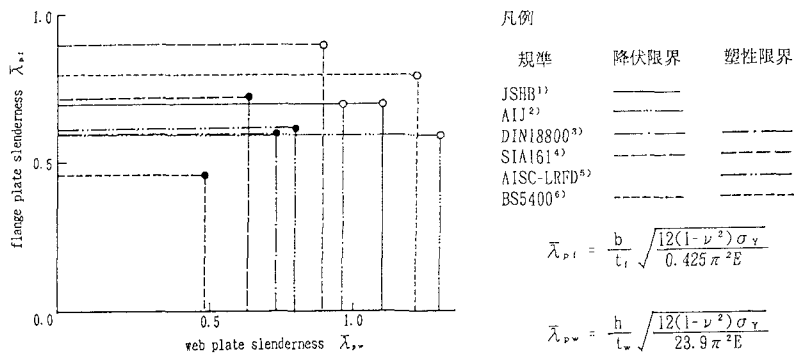


図-3 代表的鋼構造設計規準における断面区分の比較

して示す。

(3) 限界幅厚比

純曲げを受ける I 形断面はりの降伏限界について、フランジと腹板の相互拘束効果を明らかにするために、西村ら⁷⁾はフランジと腹板の幅厚比を適宜組み合わせた 9 体の供試体を対象とした耐荷力実験を行った。さらに有限要素法により、初期たわみと残留応力を考慮した弾塑性有限変位解析により実験結果と数値解析の一致を確認したのち、数値解析により塑性限界および降伏限界幅厚比に対する力学パラメータの影響を調査した。2 軸対称 I 形断面の局部座屈強度に影響を与える力学パラメータとしては、フランジと腹板の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pf}$ および $\bar{\lambda}_{pw}$ 、腹板高さとフランジ幅の比 h/b 、断面の形状係数 Z/W (塑性断面係数と弾性断面係数の比)

および腹板とフランジの断面積比 A_w/A_f が挙げられる。断面の幾何学的寸法に関する一次量は腹板高さ h 、フランジ幅 b 、腹板厚 t_w およびフランジ厚 t_f の 4 個であるから、独立な力学パラメータとして $\bar{\lambda}_{pf}$ および $\bar{\lambda}_{pw}$ を選ぶと、それ以外の 3 個のうちの 1 つが独立なパラメータとなり、残りは従属量となる。ここでは A_w/A_f を独立量として、フランジと腹板の幅厚比パラメータを任意に組合せた断面の強軸回りの純曲げに対する極限強度ならびに変形量 (強制回転角 θ) を立体板構造の弾塑性有限変位解析のための有限要素プログラム N A P L A T を用いた数値シミュレーションによって求めた。その結果より得られた腹板とフランジの各限界幅厚比の組合せを図-5 に示す。

図-5 に示した数値シミュレーション結果より以下の特性が明らかになった。

- 1) 断面積比 A_w/A_f は降伏限界幅厚比に対して若干の影響を与えるが、塑性限界および塑性設計限界幅厚比に与える影響は僅少である。
- 2) 降伏限界幅厚比に関してはフランジと腹板の相互拘束効果が顕著に現れる。これに対して塑性設計適用限界と塑性強度限界に関してはフランジと腹板の相互拘束効果は僅少である。

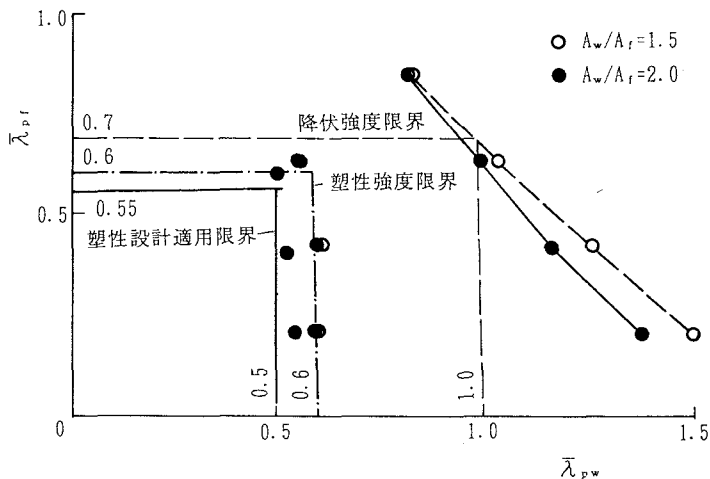


図-5 数値シミュレーションによる I 形断面の限界幅厚比

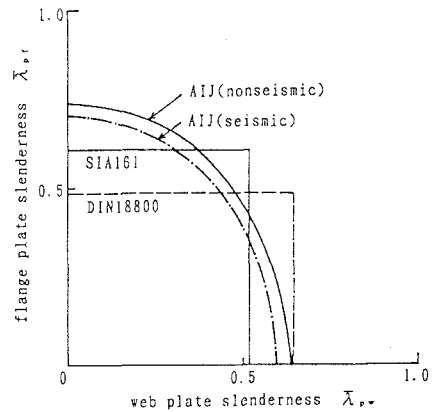


図-4 塑性設計適用断面区分の比較

このような特性より降伏限界については、フランジと腹板の幅厚比に無数の組合せが可能である。フランジの横座屈も考慮して、単位重量当たりについて最大の断面係数を与えるフランジと腹板の幅厚比の組合せを調べたところ、道路橋示方書のフランジと腹板の最大幅厚比の組合せが最適断面に近いことが明かとなった。

4. 断面強度の評価法

(1) 強度評価法の選択

塑性設計法適用区分、塑性強度区分および降伏強度区分における断面強度としては、前2者は全塑性強度、後者は降伏強度を用いる。全塑性強度から降伏強度まで幅厚比の増加にともない断面強度を連続的に変化させることも可能であるが、設計の簡便さを考慮して降伏強度領域では断面強度を一定とした。

ここでは、座屈強度断面の曲げ強度を評価する方法について検討する。座屈強度断面の曲げ強度評価法として現行の設計規準および研究レベルで提案されている代表例を以下に示す。

- 1) 各構成板要素の局部座屈強度に対応した曲げモーメントの最小値を断面の強度とする。道路橋示方書¹⁾に採用されている最も安全側の評価法である。
- 2) フランジの局部座屈が腹板の局部座屈に先行する場合はフランジ座屈強度に対応する曲げモーメントを断面の強度とする。腹板座屈がフランジ座屈に先行する場合は腹板分担モーメント $M_{w,ult}$ を腹板座屈強度と関連付け、フランジの局部座屈に対応するフランジ分担モーメント $M_{f,ult}$ との和を断面強度とする方法で三上らがプレートガーダー強度算定法^{9), 10)}に採用している。
- 3) 構成板要素の座屈強度に等価な有効板厚を与える方法でBS5400⁶⁾では腹板にこの評価法を採用している。なお、BS5400ではフランジについて局部座屈を生ずる板厚の使用を認めていない。
- 4) 構成板要素の座屈強度に等価な有効幅を与える方法でSIA161⁴⁾、EC3¹¹⁾などの規定および宇佐美ら¹²⁾の研究に採用されている。
- 5) 板要素間の相互作用を考慮した断面の局部座屈に関する等価幅厚比を求め、断面の抵抗強度を等価幅厚比パラメータの関数として与える方法で、西村らの研究¹³⁾、久保らの研究¹⁴⁾で採用されている。

垂直補剛材のみ有する断面については2)～5)のどの方法を用いても断面強度を適正に評価できる。腹板に垂直および水平補剛材を有する断面では腹板については、補剛材で囲まれた単一板パネル、垂直補剛材間の部分補剛板パネルおよび横桁間全体パネルの強度を評価する必要がある、無補剛断面から補剛断面までを統一的に取り扱うには2)の方法が適している。

(2) 単一板の基本強度

I形断面の構成板要素の強度を評価するためにフランジは純圧縮を受ける3辺単純支持・1辺自由（自由突出板）、腹板は純曲げおよび純圧縮を受ける周辺支持ないしは上縁固定他3辺単純支持の長方形板と考える。初期不整による平均値強度からの強度の変動は部材安全係数で考慮するものとし、板要素の極限強度としては平均値相当の強度式を採用するものとする。⁸⁾

純圧縮を受ける自由突出板：

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_Y} = \begin{cases} 1 & \bar{\lambda}_{pf} \leq 0.7 \\ (0.7/\bar{\lambda}_{pf})^{0.64} & 0.7 < \bar{\lambda}_{pf} \end{cases} \quad (1)$$

純圧縮を受ける長方形板：

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_Y} = \begin{cases} 1 & \bar{\lambda}_{pw^c} \leq 0.7 \\ (0.7/\bar{\lambda}_{pw^c})^{0.86} & 0.7 < \bar{\lambda}_{pw^c} \end{cases} \quad (2)$$

純曲げを受ける周辺支持板：

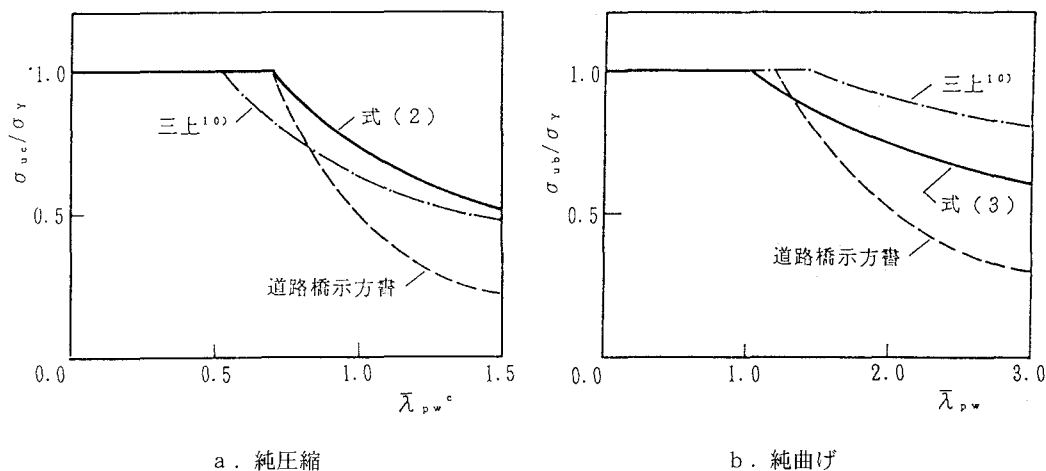


図-6 板要素の基本強度式の比較

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_Y} = \begin{cases} 1 & \bar{\lambda}_{pw} \leq 1.0 \\ (1.0/\bar{\lambda}_{pw})^{0.72} & 1.0 < \bar{\lambda}_{pw} \end{cases} \quad (3)$$

板要素の幅厚比パラメータは次式による。

$$\bar{\lambda}_{pt} = \frac{b'}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{0.425\pi^2E}}, \quad \bar{\lambda}_{pw^c} = \frac{h'}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{k_c\pi^2E}}, \quad \bar{\lambda}_{pw} = \frac{h'}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{k_b\pi^2E}} \quad (4)$$

ここに、座屈係数は4辺単純支持の場合： $k_c = 4.0$ ， $k_b = 23.9$

上縁固定他3辺単純支持の場合： $k_c = 7.0$ ， $k_b = 39.6$

なお三上らの方法⁹⁾では腹板単一パネルの強度評価に用いる周辺支持板の純圧縮強度として実験データの(平均値-標準偏差)に相当する曲線を、また純曲げ強度として奈良¹⁵⁾による残留応力の実測値の上限値を用いた解析結果による強度曲線を採用している。残留応力は板の面内曲げ強度を上昇させる効果を有しているため、大きな残留応力を考慮した場合は強度の平均値を上回る。図-6に本法と三上らの採用している板要素の基本強度曲線を比較して示す。

三上らの方法では、このように純圧縮と純曲げとで異なる性質の強度曲線を採用しているの、水平補剛材を有する断面については各単一パネルの強度がバランスする補剛材位置の決定に大きな影響を与え、現行の設計規準で指示されている水平補剛材位置とは異なり圧縮フランジに水平補剛材を近づけることを推奨している¹⁰⁾。たとえば水平補剛材1段の場合、一般には水平補剛材は圧縮フランジから腹板高さの0.2とされているのに対し、三上らの評価法では0.1を推奨している。

(3) 断面強度

断面強度の算定法は基本的には三上らの方法⁹⁾に準拠する。すなわち、2軸対称断面の場合

$$\frac{M_u}{M_Y} = \frac{\sigma_{uf}A_f + \sigma_{uw}A_w/6}{\sigma_{Yf}A_f + \sigma_{Yw}A_w/6} \quad (5)$$

ここに、 A_f ：フランジ断面積， A_w ：腹板断面積， σ_{Yf} ：フランジ降伏応力度， σ_{Yw} ：腹板降伏応力度， σ_{uf} ：フランジ強度で式(1)の局部座屈強度，

σ_{wb} ：腹板の強度に対応する曲げ応力度で、各単一パネル、部分パネルおよび全体パネルのうちの最小値。

曲げと圧縮の組合せ応力を受ける単一パネルの強度は式(2) および(3) の基本強度を用いて、次式により算定する。

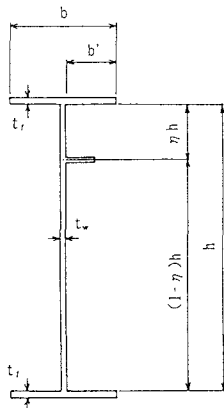
$$\sigma_{ult} = \frac{1}{(1 + \phi)/2\sigma_{uc} + (1 - \phi)/2\sigma_{wb}} \quad (6)$$

ここに、 ϕ ：板パネルの応力比、 σ_{uc} ：式(2) で与えられる板パネルの圧縮強度、 σ_{wb} ：式(3) で与えられる板パネルの曲げ強度。

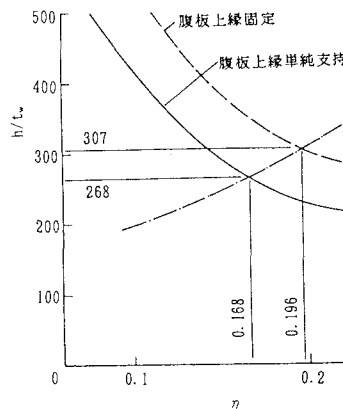
図－7 に示す鋼種 S S 4 0 0 の水平補剛材 1 段を有するプレートガーダーについて、水平補剛材の取付位置を変化させ、上パネルおよび下パネルについて式(6) を用いて求めた降伏強度を確保できる板パネルの幅厚比を図－8 に示す。上パネルの上縁が固定と考えられる場合、上下板パネルの限界幅厚比は $(h/tw)_{cr}=307$ 、水平補剛材の最適位置は $\eta=0.196$ となる。また、上パネルの上縁単純支持の場合、限界幅厚比は $(h/tw)_{cr}=268$ 、水平補剛材の最適位置は $\eta=0.168$ となる。道路橋示方書¹⁾ の規定では $(h/tw)_{cr}=256$ 、水平補剛材位置は $\eta=0.2$ となっており、上パネルの上縁単純支持、すなわち床版や上フランジによる拘束効果を無視しても、現行の道路橋示方書の規定値より若干限界幅厚比が大きくなる。水平補剛材位置は上フランジに近づくものの、三上らのように $\eta=0.1$ と極端に上フランジに接近することはない。なお、このような水平補剛材を有するプレートガーダーの曲げ強度については、立体板構造を対象とした弾塑性有限変位解析により同様の特性が得られることを確認している¹⁸⁾。なお、水平補剛材は道路橋示方書に規定されている必要剛比を遵守している。

5. 部材座屈強度

局部座屈を生じない板要素で構成された I 形断面曲げ部材の基本強度に関しては、数多くの実験データを収集して、統計的評価により圧延はり、溶接はりおよびプレートガーダーについて平均値および下限値曲線を与えた福本・伊藤の研究¹⁷⁾、実測された初期不整の統計値を用いて、モンテカルロシミュレーションにより初期たわみと残留応力の組合せを発生させて、数値解析によりはりの極限強度分布を求め、圧延はりと溶接はりの平均値および下限値曲線を与えた西村ら¹⁸⁾ の研究がある。これらの研究成果に基づき、実験データと解析結果の整合性ならびに断面区分を考慮して以下の極限強度式が提案されている⁹⁾。



図－7 プレートガーダー断面



図－8 水平補剛材位置と限界幅厚比

$$M_u = \kappa M_n \quad (7)$$

ここに、塑性強度断面： $M_n = M_P$ ，降伏強度断面： $M_n = M_Y$ ，座屈強度断面： $M_n = M_u$ [式(5)]

$$\kappa = [1 + \alpha(\bar{\lambda}_b - \bar{\lambda}_{b0}) + \bar{\lambda}_b^2 - \sqrt{\{1 + \alpha(\bar{\lambda}_b - \bar{\lambda}_{b0}) + \bar{\lambda}_b^2\}^2 - 4\bar{\lambda}_b^2}] / 2\bar{\lambda}_b^2 \leq 1$$

圧延ばりでは $\alpha = 0.15$ ， $\bar{\lambda}_{b0} = 0.4$ ，溶接ばりおよびプレートガーダーでは $\alpha = 0.25$ ， $\bar{\lambda}_{b0} = 0.4$ とする。

6. 局部座屈と横座屈の連成

断面区分が座屈強度断面で部材としての横ねじれ座屈に関する細長比が限界細長比を越える場合、部材の横ねじれ座屈と局部座屈の連成効果を考慮する必要がある。道路橋示方書¹⁾を始めとして多くの設計基準では圧縮部材の連成座屈の場合とは異なり、フランジの局部座屈強度と部材の横ねじれ座屈強度の小さい方を極限強度として規定しており、連成座屈効果による強度の低減は無視している。わずかにSIA161⁴⁾では圧縮部材と同様のいわゆるQ-factor法による連成座屈強度評価法をより部材に対しても導入している。

はり部材の連成座屈に関するいくつかの実験的研究^{19), 20)}は報告されているが、組立断面を対象として初期不整を考慮した連成座屈強度に関する理論的研究

は少ない。そこで図-9に示すような骨組と立体薄板構造の結合モデルを用いた弾塑性有限変位解析によって溶接薄肉I形断面曲げ部材の連成座屈強度の数値解析を行った。初期不整の分布パターンは図-9に示す通りで、考慮した初期不整量の最大値（実測データの平均値⁸⁾）は以下の通りである。

部材の初期たわみ	$V_0 = L/1826$	圧縮残留応力	$\sigma_{rc} = 0.12\sigma_Y$
フランジの初期たわみ	$\delta_f = b/216$	引張残留応力	$\sigma_{rt} = \sigma_Y$
腹板の初期たわみ	$\delta_w = h/275$		

部材が等曲げモーメントを受ける場合について、フランジと腹板の幅厚比を適宜組み合わせた3種類の断

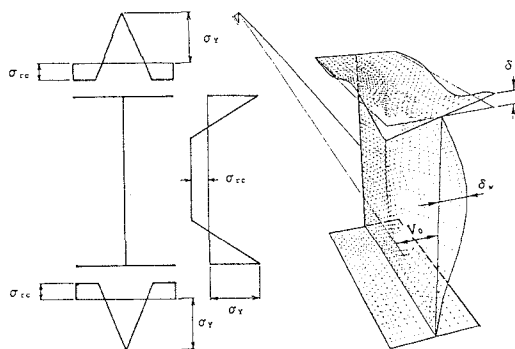


図-9 骨組-板構造結合モデルと初期不整

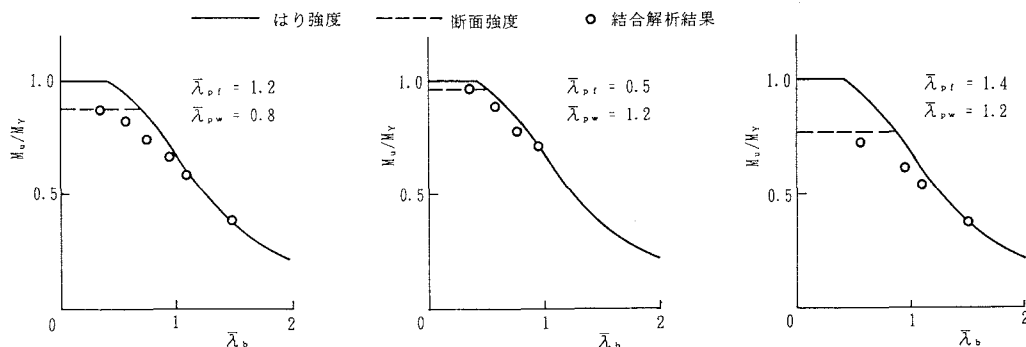
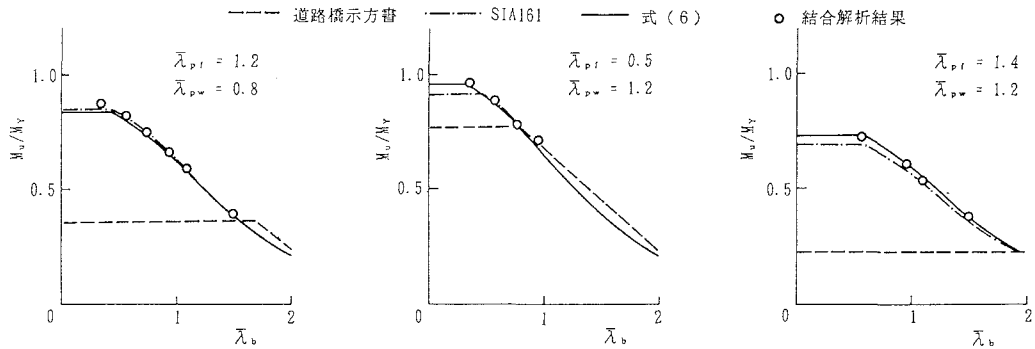


図-10 はりの連成座屈強度特性



図－１１ はりの連成座屈強度と設計規準の比較

面について、部材の長さを変化させて極限強度解析を行い、図－１０に示す結果を得た。３種類の断面とは i) フランジの局部座屈が卓越する断面 ($\bar{\lambda}_{pf}=1.2, \bar{\lambda}_{pw}=0.8$)、ii) 腹板の局部座屈が卓越する断面 ($\bar{\lambda}_{pf}=0.5, \bar{\lambda}_{pw}=1.2$)、iii) フランジと腹板の局部座屈がともに影響する断面 ($\bar{\lambda}_{pf}=1.4, \bar{\lambda}_{pw}=1.2$) である。断面の局部座屈モードによって部材座屈強度と局部座屈強度が接近したときの連成座屈効果による強度低下に相違がある。すなわち腹板の局部座屈が卓越する場合は部材座屈と局部座屈の連成効果による強度低下は僅少である。このような特性は圧縮部材²¹⁾における連成座屈現象に見られるのと同様であり、フランジ座屈卓越型やフランジと腹板の同時座屈型の場合は連成座屈効果による強度低下がはり部材の場合にも生じている。

解析によって得られた連成座屈強度と現行の設計基準（道路橋示方書¹⁾，SIA161⁴⁾）に準拠して評価した強度の設計値と比較して図－１１に示す。道路橋示方書では連成座屈効果を考慮していないが、何れの解析結果に対しても安全側の評価となっている。これは板座屈および部材座屈に対して何れも安全側の基本強度式を採用していることによる。SIA161のはり強度式は平均値相当、板に対しては平均値強度より若干高めめの強度式を採用しているが、連成座屈効果をQ-factor法で評価しており、解析結果と良い相関を示している。何れにせよ、部材強度や板要素の局部座屈強度を例えば平均値相当強度を評価するように与えた場合、はり部材についても連成効果による強度低減を考慮する必要がある。前述の部材強度式(7)は座屈強度断面の場合、部材座屈と局部座屈との連成効果を考慮したいわゆるQ-factor法に相当しており、SIA161と同様に解析結果と良い対応を示している。

6. 結論

以上、本文では鋼構造物の基本部材のひとつである曲げ部材について、構造区分を導入することによる包括的設計法の枠組を示し、区分の指標となる幅厚比の限界値と断面の局部座屈および部材座屈関連の力学条項について考察を加えた。本研究によって得られた主な成果は以下の通りである。

- (１) 構造区分を導入することにより、塑性設計法を適用できる厚板断面から座屈設計の対象となる薄肉断面までを包括する鋼構造物設計法の枠組みを提案した。
- (２) 構造区分の重要なパラメータである断面区分を塑性設計適用断面、塑性強度断面、降伏強度断面および座屈強度断面に分け、断面を構成する板要素の限界幅厚比パラメータに関するデータを示した。
- (３) 座屈強度断面を対象として水平補剛材を有するプレートガーダーにも適用できる断面強度の評価法を示した。
- (４) 曲げ部材の横ねじれ座屈に関する基本強度式を示し、同一の評価式によって局部座屈と部材座屈の連

成座屈強度の評価にも適用できることを示した。

本論文では曲げ部材についてのみ構造区分を導入した設計法の枠組みを提案したが、一般の曲げと軸力やせん断力の組合せ状態に対しても同様な考え方で、統一的な設計法を組み立てることができる。このことについては稿を改めて発表する予定である。

なお、曲げ部材に関する断面区分の考え方や基本強度式の取りまとめについては、大阪大学福本昤士教授ならびに名城大学久保全弘教授の示唆に負うところが多い。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1990.
- 2) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計規準（案），1990.
- 3) DIN18800:Stahlbauten, Stabilitätsfalle, Knicken von taben und tabwerken, Teil 2, 1988.
- 4) SSEA:SIA161, Steel Structures, 1979.
- 5) AISC:Load & Resistance Factor Design, 1987.
- 6) BSI:BS5400, Part 3, Code of practice for design of steel bridges, 1982.
- 7) 西村宣男・大崎史淳・長谷川徹雄：曲げを受ける鋼 I 形断面の局部座屈強度と限界幅厚比に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 37A, 1991.
- 8) 福本昤士（研究代表者）：文部省科学研究費総合研究 A，研究成果報告書一鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究，1990.
- 9) 三上市蔵・木村泰三・山里靖：設計のためのプレートガーダーの終局強度の算定法，構造工学論文集，Vol. 35A, 1989.
- 10) 三上市蔵・木村泰三：プレートガーダーの補剛材の配置と剛度，構造工学論文集，Vol. 36A, 1990.
- 11) EUROCODE 3 : Common Unified Code of Practice for Steel Structure, 1989.
- 12) 宇佐美勉・天雲宏樹：圧縮力と曲げを受ける板要素の極限強度と有効幅公式，土木学会論文集，
- 13) 西村宣男・吉田信博・竹内正人：局部座屈を考慮した鋼箱形断面はり一柱部材の強度評価式，土木学会論文集，No. 416, 1990.
- 14) 久保全弘・小川春由樹：薄肉鋼はりの極限強度の簡単な評価法，構造工学論文集，Vol. 37A, 1991.
- 15) 奈良敬・津田真・福本昤士：面内曲げと圧縮を受ける鋼板の極限強度評価に関する研究，土木学会論文集，No. 392, 1988.
- 16) 松村達生・石井晃・西村宣男：水平補剛材を有するプレートガーダーの曲げ強度，土木学会第 46 回年次学術講演会概要集，I-101, 1991.
- 17) 福本昤士・伊藤義人：座屈実験データベースによる鋼はりの横ねじれ基準強度に関する実証的研究，土木学会論文報告集，No. 341, 1984.
- 18) 西村宣男・久保全弘・西井学・福本昤士：鋼はりの横ねじれ座屈強度の統一評価，土木学会論文集，No. 416, 1990.
- 19) 久保全弘・福本昤士：フランジの局部座屈を伴う鋼 I 形断面はりの横ねじれ座屈，構造工学論文集，Vol. 34A, 1988.
- 20) 興田香二・今井克彦・小川厚治・黒羽啓明：幅厚比の大きい溶接 H 形鋼はりの曲げ変形挙動，日本建築学会構造系論文報告集，No. 397, 1989.
- 21) 西村宣男・吉田信博：鋼 H 形断面柱部材の連成座屈強度特性と設計公式，土木学会論文集，No. 398, 1988.

(1992年9月21日受付)