

実験データによるプレートガーダの 終局限界強度式の検討

AN INVESTIGATION OF THE ULTIMATE STRENGTH DESIGN METHOD OF
PLATE GIRDERS BY USING TEST DATA IN NDSS

塩見弘幸* 福本晴士**

By Hiroyuki SHIOMI and Yuhshi FUKUMOTO

Answering to the requirements for the establishment of the method of limit state design of steel structures a working committee in JSCE has published "The guidelines for the stability design of steel structures".

In this report one of the design methods for the ultimate strength of plate girders which is shown in the guidelines is evaluated by using the test data in the data base of NDSS. From the results some adjustments are pointed out.

1. まえがき

構造物の設計を限界状態設計法で行う気運が高まる中で、鋼構造の分野では「座屈設計ガイドライン」が刊行された¹⁾。プレートガーダに関しては、第9章に現行の道路橋示方書の検討に始まり、内外の研究結果の紹介および外国の設計指針等について詳細に述べられており、名実共に設計のガイドラインにふさわしいものと思われる。この中で 9.3 以降に述べられた方法、即ち単一パネルに対する極限強度の照査を行うと共に、水平および垂直補剛材を含めた補剛板を直交異方性板に置換して扱う方法に主力が注がれている。この 9.3 以降の方法は三上²⁾による方法を基本としている。

この方法に対して実験データを用いての検討が二三行われているが、いずれも断片的、あるいは概略的で詳細な検討をみない。筆者らは、先に鋼構造の耐荷力に関するデータベースの構築の一環として、プレートガーダに関して内外の耐荷力実験のデータを収集しその分析を行った³⁾。その際、上記の方法に対してもごく簡単に触れたが、本報告ではこの強度式について更に詳細に検討を行った。また、収集した一部のデータを使用し BS5400 の設計式との比較も行った。

2. 設計式について

ガイドラインの強度式をここでは設計式と呼ぶ。この計算手順を簡単に紹介する。プレートガーダの

* 工博 中部大学助教授 工学部土木工学科 (〒487 春日井市松本町)

** 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)

ウェブについて、水平補剛材と垂直補剛材で囲まれた一つのパネルを単一パネル、垂直補剛材間のパネルを部分パネル、さらに広い範囲を全体パネルと呼んでいる。単一パネルについては、それぞれのパネルを四辺単純支持と仮定した場合の弾性座屈強度から極限強度を計算する。部分パネルおよび全体パネルについては、直交異方性板としての極限強度を計算する。以上の内の最小の値を用いてプレートガーダーの耐荷力を計算するとしている。

2-1 曲げ耐荷力

単一パネルについては DIN 4114⁴⁾ および新たに誘導された座屈係数を用いて、弾性座屈強度を求める。この座屈パラメータを用い、宇佐美の式⁵⁾ によって極限強度を算出する。部分パネルは直交異方性板として扱われ、弾性座屈強度は近似式から計算され、極限強度はこの場合の座屈パラメータを用い FHWA 示方書案⁶⁾ の曲線を簡略化した式を用いて計算される。全体パネルについても、部分パネルと同様にして計算が行われるが、弾性座屈係数の算出方法が少し異なっている。以上の極限強度の内、最小の値を σ_{ultw} として、ウェブパネルの曲げ極限強度とする。一方、フランジの極限強度については、Basler⁷⁾ による片辺支持の極限圧縮強度と、道路橋示方書⁸⁾ における横倒れ座屈強度との値を比べ、小さい方を選ぶ。これを σ_{ultf} とする。曲げ耐荷力 M_{uth} は次式で表されている。

$$M_{uth} / M_y = \sigma_{ultf} / \sigma_y \quad : \sigma_{ultf} \leq \sigma_{ultw} \quad (1a)$$

$$M_{uth} / M_y = \sigma_{ultf} / \sigma_y \{ 1 - (1 - \sigma_{ultw} / \sigma_{ultf}) / (1 + 6 A_f / A_w) \} \quad : \sigma_{ultf} \geq \sigma_{ultw} \quad (1b)$$

ここに、 A_f および A_w はそれぞれ圧縮フランジおよびウェブの断面積である。

2-2 セン断耐荷力

単一パネルについては DIN 4114 の座屈係数を用いて弾性座屈強度を計算し、極限強度は先に述べた部分パネルの曲げ耐荷力に用いた低減曲線を用いる。単一パネルでは後座屈強度を期待しないものとしている。部分パネルでは、単一パネルで計算された強度の内、最も小さい値に斜張力強度を加えたものを極限強度とする。斜張力場は水平補剛材を無視して発生するものとしている。斜張力強度は渡辺の式⁹⁾ を修正したものをを用いている。全体パネルでは直交異方性板としてのパネルの縦横比を算出して用い、単一パネルと同じ方法で極限強度を算出する。以上の内、最小の値をウェブの極限せん断強度とし τ_{ult} とする。プレートガーダーのせん断耐荷力は次式で表されている。

$$V_{uth} = A_w \cdot \tau_{ult} \quad (2)$$

2-3 曲げ・せん断耐荷力

圧縮フランジの座屈が先行する場合は式 (1a) を用いるが、そうでない場合は次式の西野・長谷川¹⁰⁾ の提案している相関式を用いている。

$$\{M / M_{uth}\}^4 + \{V / V_{uth}\}^4 \leq 1 \quad (3)$$

ここに、 M および V はそれぞれ作用曲げモーメントおよび作用せん断力である。

3. 実験データによる検討

3-1 曲げ耐荷力

実験データはまえがきで述べたように文献 3 のものを使用した。同文献には、収集した実験データの詳細な分析が行われているので、ここでの説明は割愛する。なお、簡略化のために曲げ耐荷力、せん断耐荷力および曲げ・せん断耐荷力に関するデータをそれぞれ M, S および MS データと呼ぶことにする。

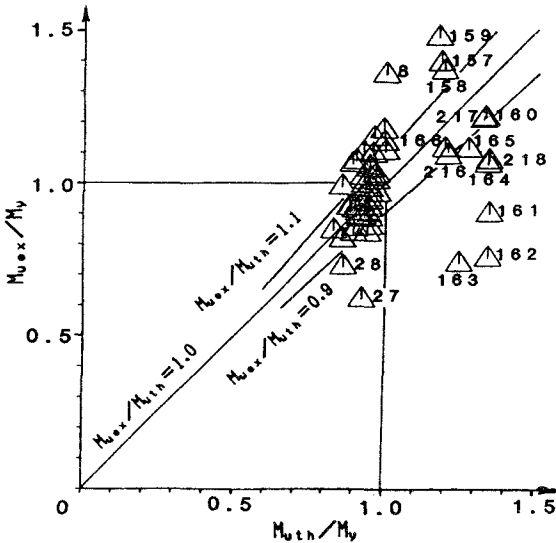


図-1 a 曲げ耐荷力の実験値と計算値
(水平補剛材無し)

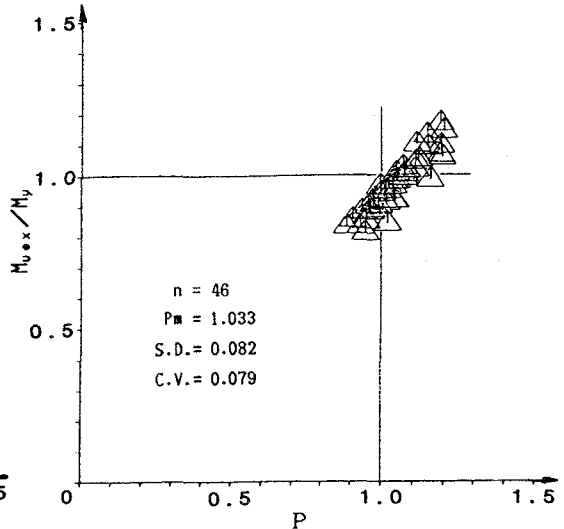


図-1 b 曲げ耐荷力の実験値と設計係数
(水平補剛材無し)

図-1a は水平補剛材を持たない M データ 62 点について、式(1)による値と比較したものである。ここに M_{uex} は実験値である。Nos.157~166 のデータはウェブが 3 種類の鋼種で溶接組立されており、他の実験データと異なっている。 $M_{uex}/M_{uth} \geq 1.1$ の範囲にあるデータは、ほとんどが $M_{uex}/M_y \geq 1.0$ のデータである。 $M_{uex}/M_{uth} \leq 0.9$ の範囲で $M_{uex}/M_y \leq 1.0$ のデータが 3 点 (161, 162 および 163) あるが、これらはいずれも a/h が大きく上下非対称のデータである。 $M_{uex}/M_y \geq 1.3$ における 4 点のデータ (8, 157, 158 および 159) と $M_{uex}/M_y \geq 1.0$ で $M_{uex}/M_{uth} \leq 0.9$ の範囲のデータ (164, 165 および 218) は同一文献における同一研究者によるデータで、いずれも初期不整を故意に調整したものであり、さらに上下非対称のデータである。さらに、実験値の強度が低い No.27 は上下非対称でねじれ座屈パラメータが極端に大きいデータである。また、No.28 のデータについては、公表されてはいるものの、実験者自身が、不適当な実験値で種々の設計式と比べることができないとしている。テストパネル中に垂直補剛材を持つデータについて調べると、設計式による値は単一パネルの極限強度が最小で、部分パネルとしての計算値はすべて σ_y を越えている。

図-1b は、図-1a に用いたデータの内、先に示した異種のデータおよび不適当なデータを省き、縦軸には無次元化された実験強度、横軸には設計係数 P (P は実測強度を設計式で与えられる強度で除したもので、文献 11 における設計係数とは厳密には異なる) を取り示したものである。 P の平均値 P_m 、標準偏差 S.D. および変動係数 C.V. は、それぞれ 1.033, 0.082 および 0.079 であり、設計式は良く実験値を説明していると言える。また、実験強度と設計係数との間には極めて明瞭な相関関係がある。したがってこの関係を設計式に取り入れれば、さらに良く実験値を説明することができよう。

図-2a はMデータで水平補剛材がある場合の実験値 21 点（水平補剛材 1 本のものが 18 点、2 本のものは 3 点）と設計式による計算結果との比較である。 $M_{uex}/M_y \geq 1.0$ のデータについては、水平補剛材のない場合と同じく $M_{uex}/M_{uth} \geq 1.1$ である。それ以外のほとんどのデータについても設計式は低めを評価している。これらのほとんどのデータに対し単一パネルの極限強度が最小値を示すことから、設計式はウェブの崩壊が先行すると評価している。したがって、単一パネルの極限強度をもう少し大きく評価する方法を構ずるとよい。例えば、注目している単一パネルの上下に隣接している板パネルの拘束が弾性座屈強度の上昇をもたらすが、これの最大効果を考え、水平補剛材に沿って固定支持条件として扱うことも一方法であろう。

図-2b は図-2a に用いたものと同じデータについて、その実験強度と設計係数との関係を示したものである。水平補剛材を持たないデータに比べるとばらつきが大きい、同じ様な傾向を示している。

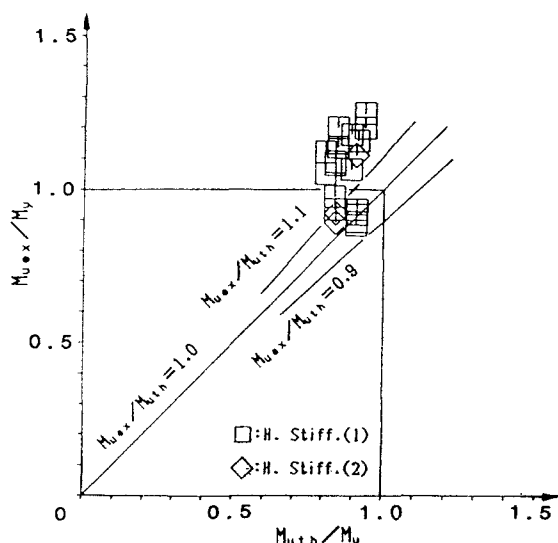


図-2 a 曲げ耐力の実験値と計算値
(水平補剛材有り)

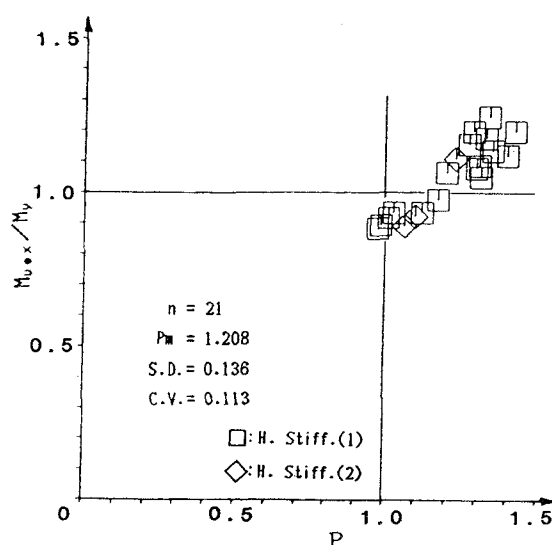


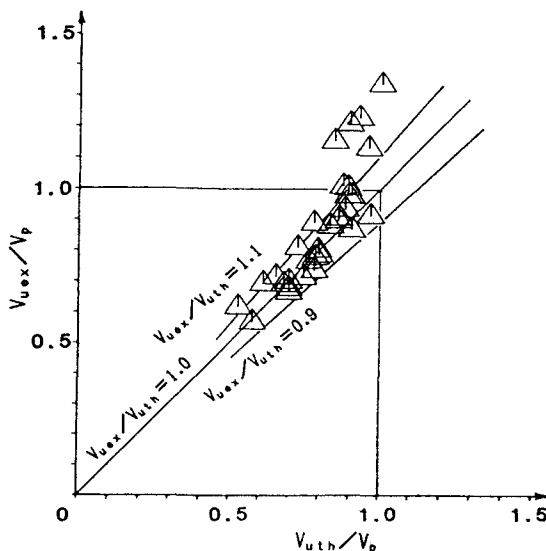
図-2 b 曲げ耐力の実験値と設計係数
(水平補剛材有り)

3-2 セン断耐力

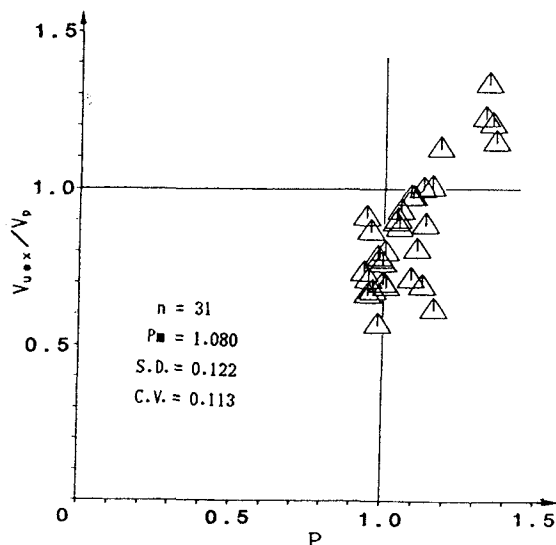
図-3a はSデータで水平補剛材がない場合の実験値 31 点と設計式の計算結果との比較である。実験強度 $V_{uex}/V_p \geq 1.0$ のデータに対して、計算値はかなり低めを評価している。これらのデータは縦横比が大きい（ $a/h = 2.0-6.0$ ）単一パネルの極限強度が低く算出されるためであろう。

図-3b は上と同じデータについて設計係数との関係を示したものである。曲げ耐力の場合とは様相が少し異なっている。

図-4 は、やはり上と同じデータについて、弾性せん断座屈に関する幅厚比パラメータ R_s ($R_s = \sqrt{\tau_y} / \sqrt{\tau_{or}}$, ここに、 τ_{or} は DIN 4114 のせん断座屈応力) で整理したものである。図中の実線は一般に下限値を表す曲線として使われているので、参考のために示したものである。 R_s が大きくなると、実験値との差がかなり大きく開く傾向を示している。 R_s が大きい値を取るにも関わらず V_{uex}/V_p がかなり高いデータが 3 点ある。これらは幅厚比が大きく $h/t_w = 300$ である。これらに対して設計式はかなり安全側を評価している。設計式では $h/t_w \sqrt{\sigma_y/E}$ が大きくなると R_s が大きくなる。この場合、設計式の部分パネルの極限せん断強度の計算式 (9.61) の第 2 項（塑性ヒンジの位置を限定した斜張力強度）はそれほど低下しないが、第 1 項（単一パネルの極限せん断強度）が急激に低下するため全体としては低く評価



図一3 a セン断耐荷力の実験値と計算値
(水平補剛材無し)



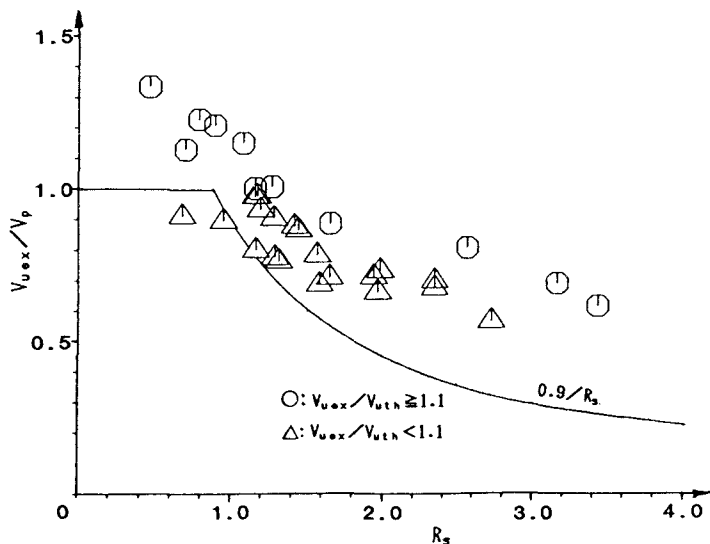
図一3 b セン断耐荷力の実験値と設計係数
(水平補剛材無し)

されることになる。

Sデータについても実験値と計算値は比較的良好な近似を示しているが、計算値が大きいデータ即ち図一3aにおいて $M_{uex} = M_{uth}$ の線の下側（危険側）のデータについて更に詳細に検討を行っておく。これらのデータは安全側のデータに比べ、部分パネルの極限強度と単一パネルの極限強度の差が大きい。即ち、斜張力強度が大きい。この斜張力強度を大きく見積ったために、計算値が大きくなったものと考えられる。ただし、 R_s が大きい場合やパネルの縦横比が大きい場合、単一パネルの極限強度が極端に低く算出されるデータはこの限りではない。

せん断耐荷力で水平補剛材のあ

るデータは、その後の調査で筆者らの分類上の定義では該当するものがなく、曲げ・せん断耐荷力のデータ中に含まれている。



図一4 セン断耐荷力とウェブ幅厚比パラメータ
(水平補剛材無し)

3-3 曲げ・せん断耐力

水平補剛材を持たない場合。

図-5 はMSデータで水平補剛材が無い場合の実験値 161 点の曲げ耐力とせん断耐力との相関関係を示したもので、実験値のそれぞれの値を式(1)および式(2)の設計式の計算結果で無次元化したものである。ばらつきが大きく危険側に位置するデータもある。データの内、 $V_{uex}/V_p \geq 1.0$ の範囲のものはすべて $V_{uex}/V_{uth} \geq 1.1$ と計算値が低い。これは設計式がフランジの剛性を考慮していないことも原因していると考えられる。 $M_{uex}/M_y \geq 1.0$ のデータはすべて $M_{uex}/M_{uth} \geq 1.0$ にある。なお、MSデータにおける曲げ耐力の値はテストパネルの中の最大曲げモーメントを選んでいる。 $M_{uex}/M_y \leq 1.0$ で $V_{uex}/V_p \leq 1.0$ のデータ(○印)の中で、 V_{uex}/V_{uth} の値が非常に高いものが幾つかある。これらを次図で検討する。

図-6は上に述べたMSデータについて、 V_{uex}/V_p と R_s および a/h の関係を示したものであるが、見やすくするためにパネルの縦横比 a/h の値によって分け、着目している実験値を黒く塗りつ

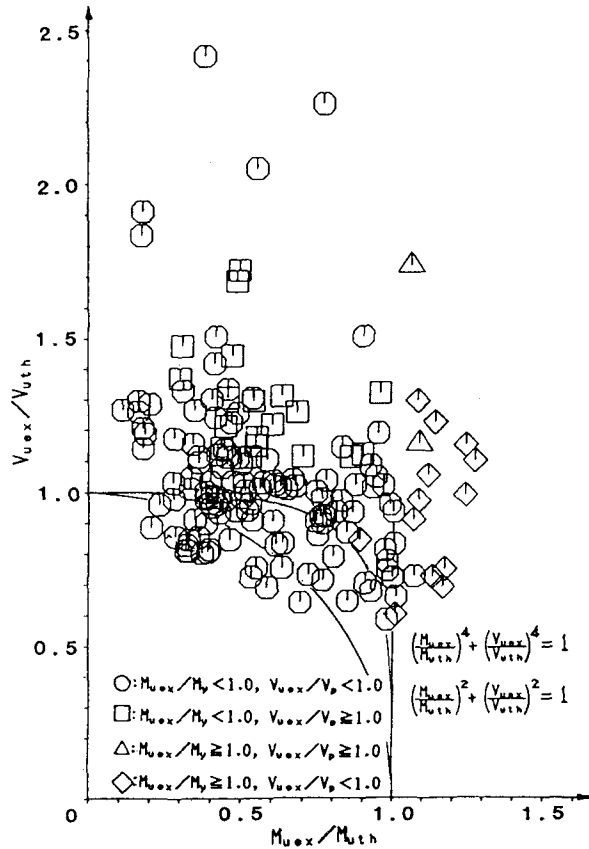


図-5 せん断耐力と曲げ耐力との相関 (水平補剛材無し)

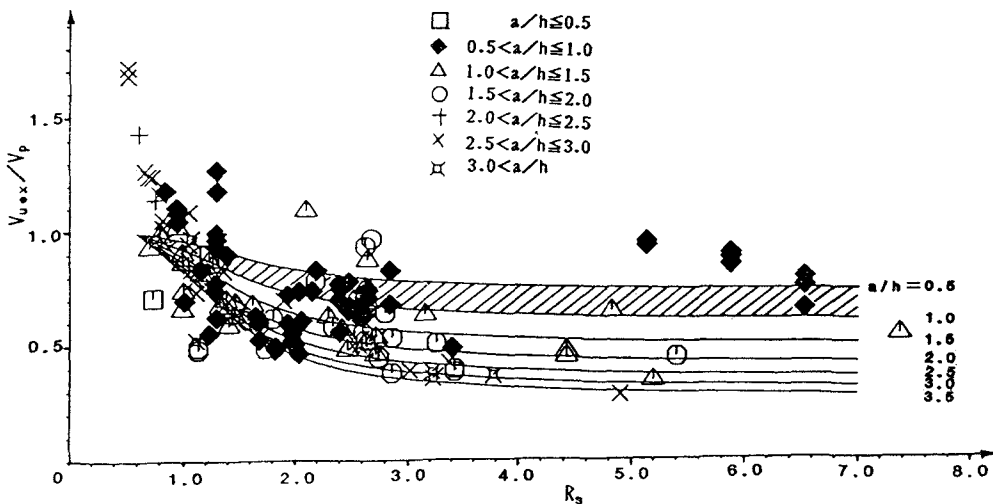
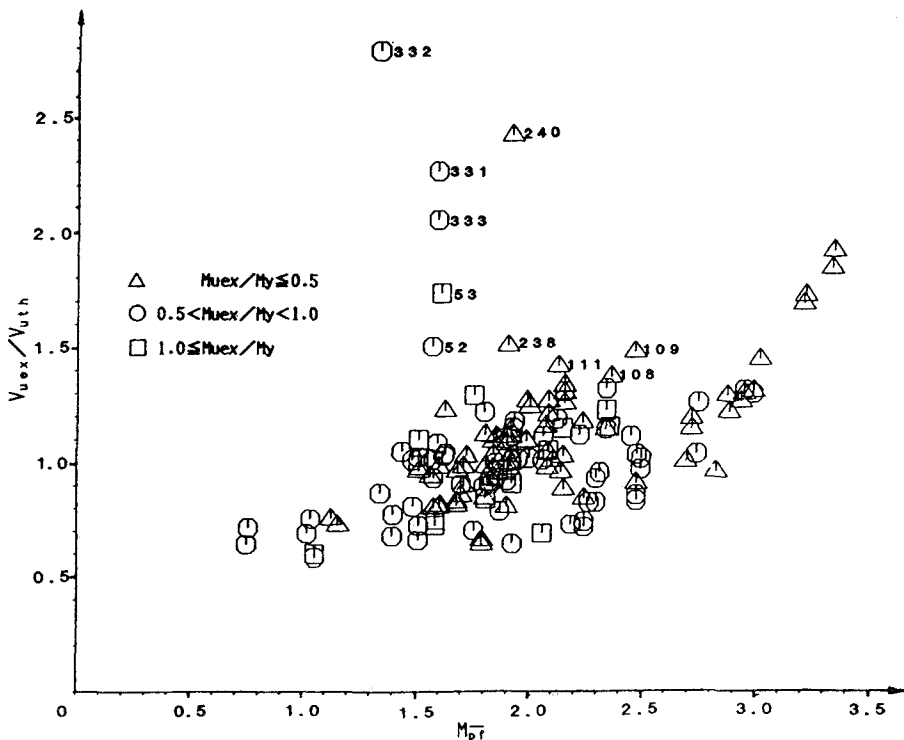


図-6 MSデータのせん断耐力と幅厚比パラメータおよび縦横比 (水平補剛材無し, $0.5 < a/h \leq 1.0$)

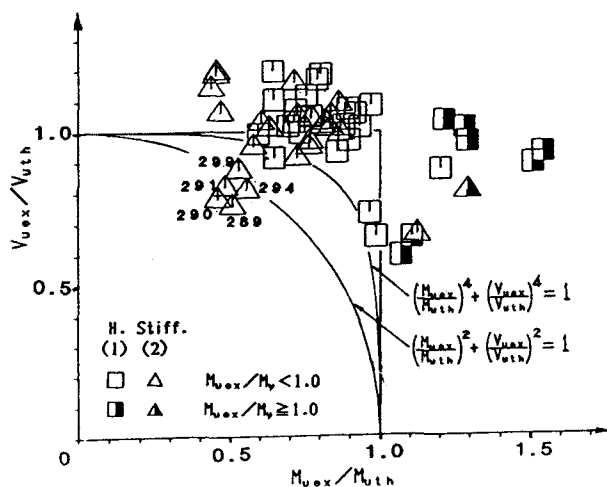
ぶして1例のみを示した。図中の曲線はせん断耐荷力に対する設計式を表したものである。したがって、曲げモーメントも作用していることを考慮すると、一般には実験値が着目している斜線を施した内部かその下であれば、計算値は良く実験値を説明していることになる。a/h が大きな値を持つデータに対して、Sデータと同様に計算値はかなり低めを評価し



図一七 MSデータのせん断強度比とフランジ剛性に関するパラメータ
(水平補剛材無し)

ている。また、 R_s が特に大きいデータでは、計算値は低めを評価している。全般的にみて V_{uex}/V_p が 1.0 から下降する横軸の位置は、設計式において $R_s = 1.0$ とみなしても実験値を充分説明できるようである。

図一7は上と同じデータについて V_{uex}/V_{uth} と $M_{\bar{p}}^{(3)}$ との関係を示したものである。ここに、 $M_{\bar{p}} = \log(M_{p1} \times 10^4)$ 、ただし、 $M_{p1} = b_{ef} \times t_{or}^2 \times \sigma_{yor} / 4 \cdot (h^2 \times t_w \times \sigma_{yw})$ 、 $V_{uex}/V_{uth} \geq 1.4$ の範囲にある特に大きい値をもつものについて調べた結果、1) 実験データに番号を付けたものを除くと、 $M_{\bar{p}}$ が大きいと縦軸の値も大きい。2) a/h の大きいものは V_{uth} が低いので縦軸の値は大きくなる。3) Nos.238,240 は全体パネルとして計算に用いられている中間補剛材の剛比が $r_t/r_o \leq 1.0$ と小さく (r_o : 道示の剛比 = $8[h/a]^2$) 全体パネルの極限せん断強度が部分パネルおよび単一パネルのそれよりも小さい。 ($r_t/r_o \geq 1.0$ の場合には、全体パネルの極限せん断強度



図一八 せん断耐荷力と曲げ耐荷力との相関
(水平補剛材有り)

が部分パネルや単一パネルのそれよりも小さくても、 $V_{u,th}$ の値はそれほど低くは算出されない）。4) Nos. 108,109 および 53 は $V_{u,ex}/V_p \geq 1.0$ のデータである。5) No.111 は A_w/A_{cf} が小さく $h/t_w \sqrt{\sigma_y}/\sqrt{E}$ が多少小さいので、 $V_{u,th}$ が低く評価される。6) No.52 は不明、強いて云うなら $h/t_w \sqrt{\sigma_y}/E$ が大きい。

次に $V_{u,ex}/V_{u,th}$ の値が低いものについて検討をすると、Sデータで述べたことがそのまま当てはまるようである。即ち、部分パネルにおける斜張力強度が大きめに評価されている。設計式では渡辺の式を修正して用いられているが、この場合にはBaslerの近似式¹²⁾を用いたほうがよいとも考えられる。

水平補剛材を持つ場合。

図-8は、MSデータで水平補剛材を有する実験値58点（補剛材1本が30、2本が28）について、実験値から得られる曲げ耐力とせん断耐力のそれぞれの値を計算値で無次元化して相関関係として示したものである。 $M_{u,ex}/M_{u,th} \geq 1.0$ のほとんどのデータは $M_{u,ex}/M_y \geq 1.0$ である。なおここでも曲げ耐力の実験値は、テストパネル中での最大曲げモーメントを使用しているので、多少大きい場合もあろう。 $V_{u,ex}/V_{u,th}$ も $M_{u,ex}/M_{u,th}$ も小さいデータNos.289,290,291,294 および 299 がある。これらの内、294 および 299 は水平補剛材が等間隔に 2 本入っている。したがって単一パネルとしての極限強度は大きい。さらにこれに部分パネルとしての斜張力強度（これはそれほど大きくはないが）を加えるために計算値が大きく評価されたと思われる。他のデータ 289, 290 および 291 については、水平補剛材の位置がウェブパネルの上から 0.1h および 0.25hにある。したがって第 3 パネルの高さが高くなることから、その単一パネルの極限強度は低く算出される。そのため渡辺の式から算出される部分パネルとしての斜張力強度は大きくなるが、さらに水平補剛材を無視した縦横比の影響を考慮するため、部分パネルの極限強度はかなり大き

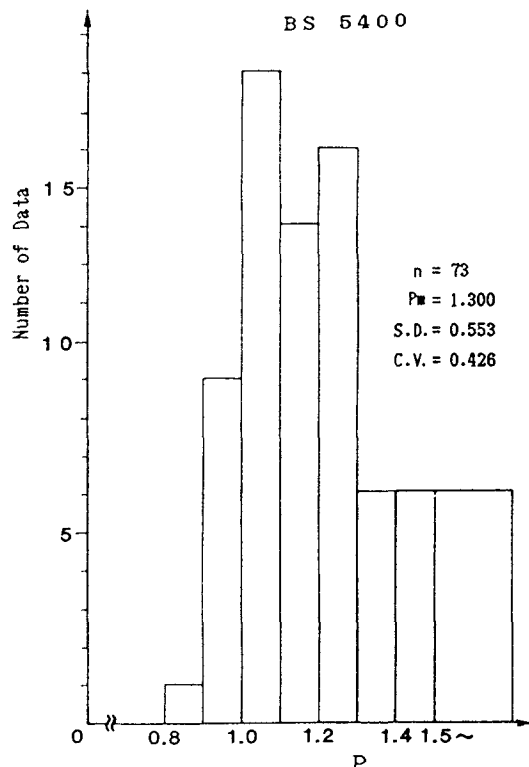


図-9 a BS 5400 に対する設計係数
(MSデータ, 水平補剛材無し)

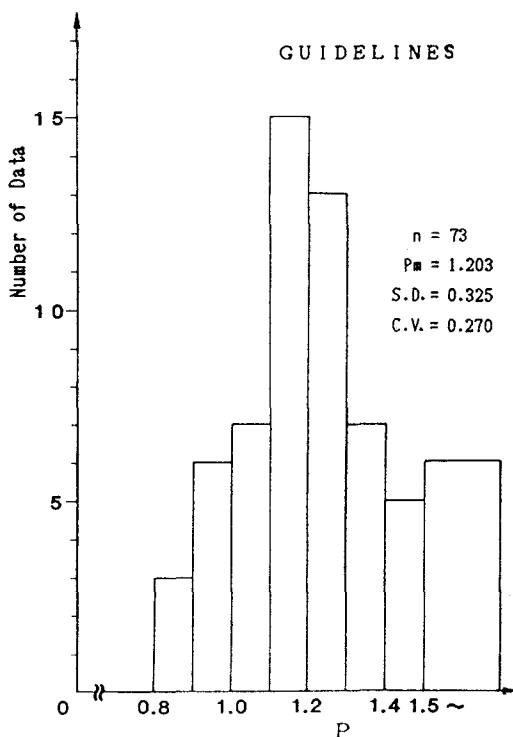


図-9 b ガイドラインに対する設計係数
(MSデータ, 水平補剛材無し)

くなる。テストパネルに中間補剛材が有る場合は、水平補剛材および中間補剛材の影響を考慮に入れるが、中間補剛材のない場合には、水平補剛材がせん断耐荷力に及ぼす影響を全く無視することになる。したがって部分パネルにおいて斜張力強度を計算する場合、一律に水平補剛材を無視する方法には問題があるようである。MSデータで水平補剛材を持つ場合、実験値と計算値との相関関係を示す図において、ばらつきが認められるのは以上のことも一因であると考えられる。

BS5400との比較

図-5に見られるように、ガイドラインの設計式で実験値を整理した場合、非常にばらつきが大きい、他の設計式で整理した場合はどうか興味のあるところである。ところで、文献 13 では独自に収集した実験データを用いて、BS5400 の設計式が検討されている。同論文では曲げ耐荷力とせん断耐荷力に対する安全率 r (factor of safety, 本論文では P に該当する) を同一としてこれを算出している。図-9a はそのようにして算出された P の内、NDSSのデータベースと共通のデータ 73 データについてそのヒストグラムを表したものである。 P の平均値、標準偏差および変動係数は、それぞれ 1.300、0.553 および 0.426 である。図-9b はこれと同じデータを使用してガイドラインの設計式の設計係数について表したものである。この場合の設計係数は BS5400 の設計式の検討と同じ考えに基づき式(3)に対して算出している。平均値、標準偏差および変動係数はそれぞれ 1.203、0.325 および 0.270 である。また、図-7 において縦軸で大きな値を示している Nos.331,332 および 333 は BS 5400 (ガイドライン) での P はそれぞれ 3.60 (2.27)、4.30(2.79) および 3.50(2.05) である。 $P < 1.0$ のデータ数は両者ともほぼ等しい。ここに用いられたデータと NDSS のデータを詳細に調べた結果、NDSS のデータの内、特に偏ったデータが使用されているとは認められない。以上のことから、ガイドラインの設計式は、MSデータについてはばらつきが大きい BS5400 の設計式よりもより良く実験値を評価しているといえる。なお、これ以外の曲げ耐荷力およびせん断耐荷力に関しては同文献で使用されているデータ数が少ないので、比較することを避ける。

4. まとめ

「座屈設計ガイドライン」におけるプレートガーダに関する設計式の内、その主たる一方法について、NDSSのデータベースを用いて検討した。その結果を列挙する。

- 1) 曲げ耐荷力、水平補剛材無し 特殊なデータを除き、設計式は実験値を良く評価している。ただし、ウェブパネルの縦横比の極めて大きいものや、上下非対称のデータに関してはこの限りではない。
- 2) 曲げ耐荷力、水平補剛材有り 設計式の値は実験値に比べ低く算出され安全側過ぎる場合が多い。したがって、単一パネルの座屈強度の計算条件を、水平補剛材のある辺に上下パネルの板の連続性を考慮したり、あるいはその辺を固定辺として扱うと云うように、強度を大きく評価するための何等かの修正がなされるのが望ましい。
- 3) せん断耐荷力、水平補剛材無し 設計式は実験値を良く評価しているといえるが、部分パネルにおける斜張力強度を少し大きく評価するきらいがあるので、斜張力強度については、例えば Basler の評価式を用いるなどの修正をすれば、多少危険側に偏っているデータに対して一層良好な近似が得られると思われる。
- 4) 曲げ・せん断耐荷力、水平補剛材無し 実験値を曲げおよびせん断耐荷力の設計値でそれぞれ無次元化しその相関関係を表すと、ばらつきが大きく、相関関係を示す設計値に対し、危険側に位置するデータもある。より良い近似を得るためには、2)で述べたことの他に、 M_{pr} の大きな値のデータは不必要に安全側に位置するため、耐荷力の算定にはフランジの剛性の影響を考慮する必要がある。しかしながら BS5400 の設計式と比較すると、ガイドラインの設計式は実験値に対する近似度については遜色がないといえる。

- 5) 曲げ・せん断耐荷力, 水平補剛材有り 4)で述べたことの他に, 設計式では部分パネルにおいて斜張力強度を計算する場合, 一律に水平補剛材を無視する方法を採っているが, これに対する何等かの修正が必要であると考えられる。
- 6) 補剛材剛度 道示の補剛材の必要剛度に対する供試体の剛度との比は, 水平補剛材で 0.11~56, 垂直補剛材では 0.06~500と非常に広い幅をもっているが, 様々な条件(例えば補剛材位置, 本数, 剛度, 垂直補剛材と水平補剛材の組合せ等)に分類すると, 各々の条件に合うデータ数の蓄積はまだ少ない。現在の道示の必要剛度よりも低い剛度で設計された実験供試体について, 少ないデータからではあるが, ガイドラインの設計式は安全側に評価する傾向にある。

謝辞; データ解析のための数値計算には, 中部大学建設工学専攻・田中誠人君の協力を得た。記して謝意を表したい。

参考文献

1. 座屈設計ガイドライン, 土木学会編, 1987-10.
2. 三上市蔵ほか: 多数の補剛材を有するプレートガーダーの曲げ強度算定法, 橋梁と基礎, 1983年1月, pp. 32-38
3. 塩見弘幸・伊藤義人・福本湧士: プレートガーダーの耐荷力実験データの調査, 構造工学論文集, Vol. 33A, 1987, pp. 127-139.
4. DIN 4114 Blatt 1: Stahlbau, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlagen, Vorschriften, Juli, 1952
DIN 4114 Blatt 2: Stahlbau, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlagen, Richtlinien, Feb., 1953
5. Usami, T.: Post-buckling of Plates in Compression and Bending, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST3, Mar., 1982, pp. 591-609.
6. Wolchuk, R., and Mayrbaur, R. M.: Proposed Design Specifications for Steel Box Girder Bridges, Report No. FHWA-TS-80-205, U. S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of research and Development, Washington, D. C., Jan. 1980.
7. Basler, K., and Thurlimann, B.: Strength of Plate Girders in Bending, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol. 87, No. ST6, Aug., 1961, pp. 153-181
8. 道路橋示方書・同解説, I 共通編・II 鋼橋編, 日本道路協会, 1980-2.
9. 丹羽義次・渡辺英一・森田修二: 多水平リブ付板のせん断耐荷力の評価法について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 1980-9, 1-144.
10. 西野文雄・長谷川彰夫: 道路橋示方書II 鋼橋編改訂の背景と運用, 8章プレートガーダー, 橋梁と基礎, Vol. 15, No. 6, 1981-6, pp. 8-13.
11. 東海鋼構造研究グループ: 鋼構造部材の抵抗強度の評価と信頼性への適用(上), 橋梁と基礎, 1980年11月, pp. 33-41
12. Basler, K.: Strength of Plate Girders in Shear, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol. 87, No. ST7, Oct., 1961, pp. 151-180.
13. R. Sen: Evaluation of BS5400 Plate Girder Rules, Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, Vol. 81, Sept., 1986, pp. 335-352

1987年10月16日受付