

プレートガーダーの耐荷力実験データの調査

AN INVESTIGATION ON TEST DATA OF PLATE GIRDERS

塩見弘幸 * 伊藤義人 ** 福本湧士 ***

By Hiroyuki SHIOMI, Yoshito ITOH and Yuhshi FUKUMOTO

A numerical data-base system (NDSS) has been developed for experiments on ultimate strength of steel plates and columns, and lateral-torsional buckling strength of steel beams. In this study a total 333 individual test results of ultimate strength of plate girders, prevented the lateral-torsional buckling, loaded in pure bending, shear, and combination of them are surveyed and added into the NDSS. Some parametric analyses for the data are made, and the results of comparison of the data with some strength formulas are discussed.

1. まえがき

各種の鋼構造部材の耐荷力に関する実験的研究は、各研究機関において様々な条件の下で数多く行われてきた。これらの実験データは各機関、論文集等で報告され、他の研究者の参考にされている。しかし、これらのデータを利用する場合、統一された様式で整理されていないため、利用者にはかなりの労力と時間が要求される。そこで、データバンクあるいはデータベースという考え方がこの方面にも採り入れられるようになり、福本・伊藤の一連の研究が行われた^{1)~3)}。これらの研究では、鋼材の材料強度、はり、柱、および板に関する広範囲の実験データがコンピュータに入力され、NDSSシステムとして利用に供されている。

プレートガーダーの耐荷力実験についてもかなりの量のデータが公表されているので、福本・伊藤の研究の延長として、これらのデータの整理をし収録を試みた。プレートガーダーの耐荷力に関する調査は、過去幾度か行われてきた。国内での主要なものとして、文献 4~9 を挙げることができよう。国外では、国内で発表されたように、広くかつ数多くの実験値を集めこれのみを発表するといった形式のものはみあたらないが、研究の現状を紹介し問題点を指摘し将来の展望を行ういわゆる State of the Arts Report の形式のものは盛んで、少し以前のものでは文献 10~12がある。最近のものとして文献 13 があるが、

* 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 名古屋大学助手 工学部土木工学科 (〒464 名古屋市千種区不老町)

*** 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)

これはプレートガーダーのあらゆる問題に対する従来の研究を紹介している。さらに、つい最近のものとして、BS5400の評価¹⁴⁾、EUROCODE 3の評価¹⁵⁾のために多くの実験データが参照されている。

上に挙げた調査研究によって、1970年代の終わりまでには、それまでに発表された水平補剛材を持たないプレートガーダーの曲げ耐荷力、せん断耐荷力に関する主な提案式に対しての議論はほぼ出尽くしたように思われる。そこで、本論文ではこれらの問題についてはあまり触れないことにし、データの紹介と分析を中心に述べることにする。このために、耐荷力については二三の評価式を用いて実験データとの関係を調べるに留めた。

表-1 採用したデータ数

2. 実験データについて

実験データは筆者等が先に取り扱ったデータ¹⁶⁾を基本に、内外の公刊された論文、報告集から選り追加したものが大多数であるが、一部は委員会等の席で報告された未刊のものも含む。これ等を参考文献17～56として掲げる。文献件数としては日本-21件、北アメリカ-10件、ヨーロッパ-9件である。ここでは横ねじれ耐荷力実験および疲労による耐荷力実験のデータは除外した。原著者のデータが無次元化されて公表されており、供試体の実寸法が明記されていないような場合には、原著者のデータが他の研究者に利用されており、利用したデータの紹介がある文献を参照した。しかし、原著者のデータと異なる場合は、そのデータは採用していない。

表-1に採用したデータ数を示す。ここにM、SおよびMSはそれぞれ曲げ、せん断、および曲げせん断耐荷力実験を示す。曲げモーメントが試験パネルの中央で0になるような載荷方法はSと判定したが、少しでも曲げモーメントが存在するような載荷方法はMSとした。したがって、原著者の論文の題目が「せん断耐荷力実験」としてあってもMSと分類されている場合もある。一つの供試体中最も弱いパネルが崩壊した後も、そのパネル部分を補強して実験が続行されたような場合は、実験に供されたパネル数をデータ数とした。

載荷方法が難しいので当然と思われるが、せん断耐荷力のデータが少ない。また、水平補剛材を有するものの実験は東欧圏では盛んに行われているようであるが、現在までにはそのデータの入手が不可能であった。収集した実験データは、コンピュータに入力した。その内容を表-2に示す。まず、Source DataとTest Dataを入力しParametric Dataを算出した。上下非対称およびカバプレートをもつもののデータも収録した。ただし、フランジが、例えばパイプのような板材以外のものは除外した。

Loading Type	L. Stiff.	Europe	North America	Japan	Total	
M (Bending)	no L. Stiff.	0	13	49	62	83
	with L. Stiff.	1	4	16	21	
S (Shear)	no L. Stiff.	0	10	21	31	38
	with L. Stiff.	0	7	0	7	
MS (M + S)	no L. Stiff.	73	42	46	161	212
	with L. Stiff.	24	6	21	51	
Total	no L. Stiff.	73	65	116	254	333
	with L. Stiff.	25	17	37	79	
		98	82	154	333	

表-2 入力したデータの内容

Source Data

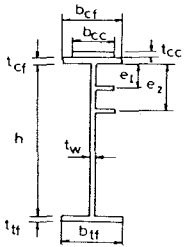
- 1) Reference Source
- 2) Name of Specimen and Loading Mode (M, S, MS)
- 3) Cross-sectional Dimensions of flanges, webs, and yield stresses
 $b_{cf}, t_{cf}, b_{tf}, t_{tf}, b_{cc}, t_{cc}, b_{tc}, t_{tc}, h, t_w$
 $\sigma_{yf}, \sigma_{yw}, \sigma_{yc}$, steel grade
- 4) Dimensions of Vertical and Horizontal Stiffeners and yield stresses
 (V) b_s, t_s (one or both sided), spacing, σ_{ys}
 (H) No. of Horizontal Stiffeners and Spacing
 $N_s, e_1/h, e_2/h$
 (H) b_s, t_s (one or both sided), σ_y
- 5) Span Length L and Laterally Unsupported Length L_b

Parametric Data

- 6) Non-dimensional Quantities
 $b_{cf}/t_{cf}, b_{tf}/t_{tf}, h/t_w, A_w/A_{cf}, a/h, L_b/b_{cf}, \gamma, \gamma^*, \delta$
- 7) Elastic Buckling Strength in Simply Supported Condition
 M_{crl} (lateral), M_{crf} (flange), M_{crw} (web bending), V_{cr} (web shear)
- 8) Yield and Plastic Strength
 M_f, M_y, M_p, V_p

Test Data

- 9) Ultimate Strength in Tests
 $M_u, M_u/M_f, M_u/M_y, M_u/M_p, V_u, V_u/V_p$
- 10) Shear-Bending Ratio at Failure
 V_u/M_u



寸法、荷重、および応力に関する単位は、それぞれmm tonf または tonf・m、およびkgf/mm² に換算した。崩壊形式は明記されていないものも多く、また、記入してあっても統一した見解の下で判定されていないので、収録は見合わせた。

3. 実験パラメータ

図-1はウェブ幅厚比とデータ数との関係を示したものである。横軸はウェブの幅厚比をSS41相当材に換算した $(h/tw\sqrt{\sigma_{yw}/24})$ 。M、MSのデータ中、水平補剛材を持たないもので $h/tw\sqrt{\sigma_{yw}/24}=150$ が最も頻度が高いのは、道路橋示方書⁵⁷⁾ に対する検討を試みたデータが多いということであろうか。Sデータにおいて200-250程度のデータが全くない。水平補剛材をもたないもので $h/tw\sqrt{\sigma_{yw}/24}=410$ 以上のものの内、最高はMデータについては415、MSでは800であった。

図-2はウェブとフランジの面積比とデータ数との関係を示したものである。Mデータでは、面積比の範囲は $0.5 < A_w/A_{cf} < 3.7$ と広範囲であるが、多くは $0.6 < A_w/A_{cf} < 1.8$ に集中している。SとMSのデータでは頻度の高い値はMデータとほぼ等しく $1.0 \sim 1.2$ であるが、分布の下限値はMデータよりも下回っている。これは曲げ耐力の値を上昇させ、せん断力での崩壊を期待したためであろう。

水平補剛材の配置は、一本；Mデータでは全て $0.2h$ MSおよびSデータは $0.25h$ 、 $0.33h$ 、 $0.5h$ 。二本；Mデータ2体のみで $(0.1h, 0.25h)$ 。MSでは $(0.1h, 0.25h)$ 、 $(0.2h, 0.5h)$ 、 $(0.33h, 0.67h)$ 、 $(0.25h, 0.5h)$ 、 $(0.123h, 0.40h)$ と種々の組み合わせがある。

水平補剛材の最小剛比 γ^* について、DIN 4114ではパネルが直応力のみを受ける場合とせん断応力のみを受ける場合は、それぞれについて補剛材最小剛比を算出し、さらに、これらの組み合わせの場合は、前二者の剛比を組合わせて算出することと定められているが、原著者等の取り扱いでは必ずしもこれに従っておらず、例えば、せん断耐力実験を目的としたものについても直応力のみを受ける場合の γ^* を用いて実験桁が製作されている場合もある。Mデータでは γ/γ^* の値は、ほとんどが $1.0 < \gamma/\gamma^* < 5.0$ である。

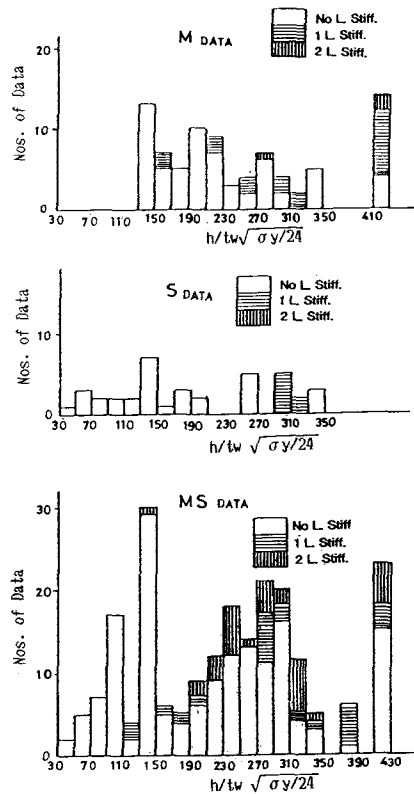


図-1 ウェブ幅厚比とデータ数

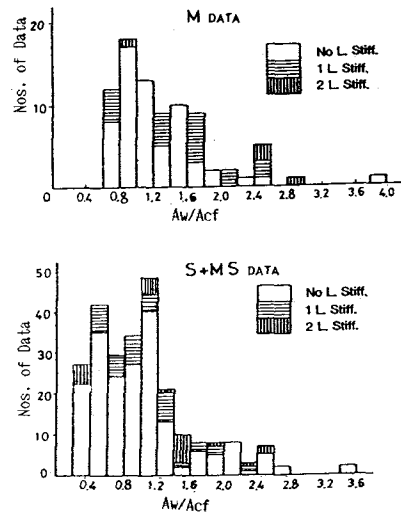


図-2 ウェブ/フランジ面積比とデータ数

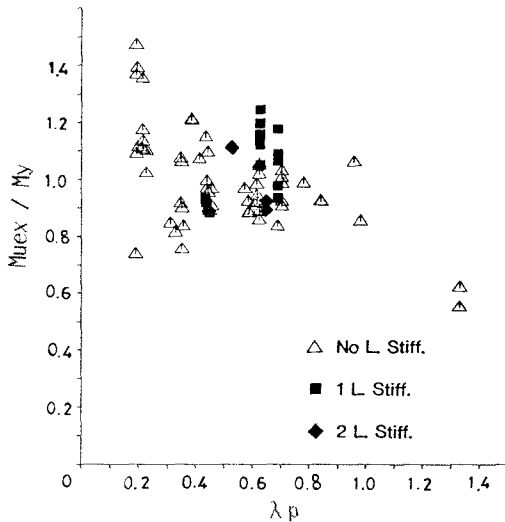


図-3 フランジねじれ座屈パラメータと曲げ耐力

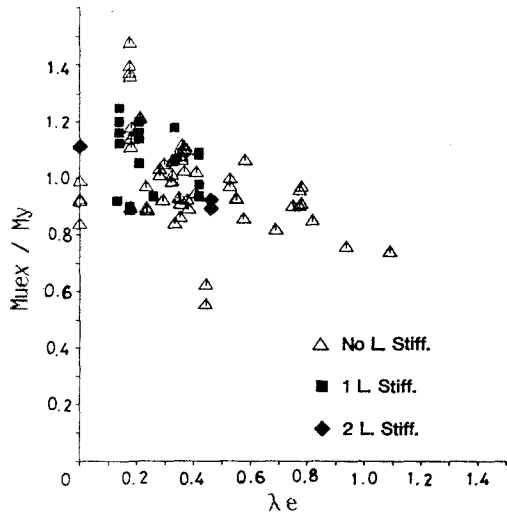


図-4 フランジ水平座屈パラメータと曲げ耐力

4. 座屈パラメータと耐力

図-3は曲げ耐力の実験データにおいてフランジのねじれ座屈パラメータ λ_p ($\lambda_p = \sqrt{\sigma_{ycf}/\sigma_{crf}} = 0.8 \times b_{cf}/t_{cf} \sqrt{\sigma_{ycf}/E}$)と曲げ耐力との関係を示したものである。ほとんどのデータがフランジのねじれ座屈が生じないといわれている $\lambda_p < 0.72$ の範囲にあるが、それ以上のものも数点あり、 $\lambda_p = 1.35$ の2点の耐力はかなり低下している。 λ_p が小さいにもかかわらず耐力が低下しているデータが2点あるが、これは次に述べる圧縮フランジの水平座屈の影響を受けたものと思われる。

図-4は圧縮フランジの水平座屈パラメータ λ_e ($\lambda_e = \sqrt{M_y/M_e} = (2\sqrt{3}/\pi)(L_b/b_{cf}) \sqrt{\sigma_{ycf}/E}$)と曲げ耐力との関係を示したものである。採用した曲げ耐力の実験データは圧縮フランジの水平座屈を防止するための防止枠が施されたもののみであるが、図から分かるように、 λ_e の大きなデータもあり、耐力の低下も顕著である。 λ_e の値が小さいにもかかわらず耐力の低いデータがあるが、図-3で分かるように、圧縮フランジのねじれ座屈の影響を受けたものと思われる。ウェブの曲げ座屈に起因する耐力のみを取り扱う場合は、これらのデータは取り除かれるべきであろう。

図-5は、ウェブパネルの弾性曲げ座屈パラメータ R_m ($R_m = \sqrt{\sigma_{yw}/\sigma_{crw}}$)を横軸にして曲げ耐力を整理したものである。

ここに、

$$\sigma_{crw} = k_m \times \pi^2 E / 12(1 - \nu^2)(t_w/h_i)^2 - (1)$$

水平補剛材のある場合は各パネルで
の値の最小値を用いた。

$$k_m = 23.9 / \{2/(1 - \psi)\}^2 \quad -7 \leq \psi \leq -1$$

$$k_m = 10 \psi^2 - 6.264 \psi + 7.636 \quad -1 \leq \psi \leq 0$$

$$k_m = 8.4 / (1.1 + \psi) \quad 0 \leq \psi \leq 1$$

σ_{yw} = ウェブパネルの降伏点応力。

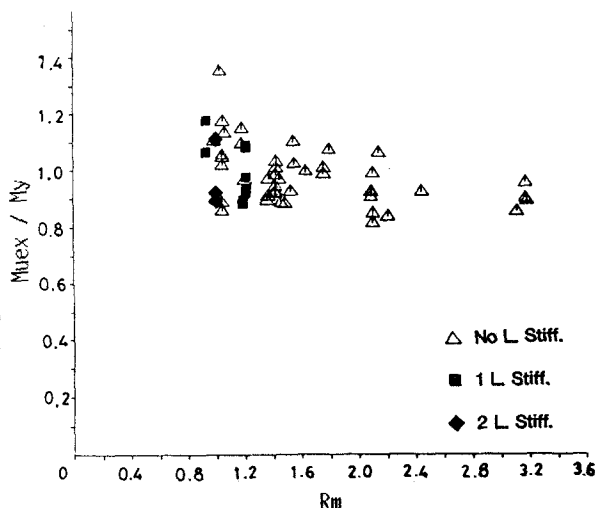


図-5 ウェブ曲げ座屈パラメータと曲げ耐力

$h_i = \sigma_{crw}$ を計算したウェブパネルの高さ、 ϕ = ウェブの各パネルの応力勾配

R_m の値に対し曲げ耐荷力の実験値は顕著には変化しない。水平補剛材があるものは k_m が小さくなるが h_i も小さくなるため、 R_m は全体として小さい範囲に集中している。

図-6はウェブパネルの弾性せん断座屈パラメータとプレートガーダーのせん断耐荷力の関係を示したものである。ウェブパネルの弾性せん断座屈パラメータ R_s ($R_s = \sqrt{\tau_y / \tau_{cr}}$) を横軸に選び、せん断耐荷力の実験値を整理したものである。ここに、

$$\tau_{cr} = k_s \times \pi^2 E / 12(1 - \nu^2) \times (t_w / h_i)^2 \quad \text{-----}(2)$$

水平補剛材のある場合は各パネルでの値の内の最小値を用いた。 $\tau_y = \sigma_{yw} / \sqrt{3}$ 、 $k_s = 5.34 + 4 / \alpha$ ただし $\alpha > 1.0$ 、 $k_s = 4 + 5.34 / \alpha$ 、ただし $\alpha < 1.0$ 、 α = ウェブパネルのアスペクト比

この図におけるせん断耐荷力の実験値にはMSのデータの内、 $M_{uex} / M_f < 1$ のものも含んでいる。かなり相関性が強く現れている。DUBAS は V_u / V_p の下限値を $0.9 / R_s$ としているが、この図では R_s の小さい範囲でこれを下回るデータもある。水平補剛材を持つものは、ないものよりも下限値が幾分高い。

$R_s > 5.0$ において耐荷力が極端に高いデータがあるが、これ等は全て $h / t_w \sqrt{\sigma_{yw} / E} \approx 800$ である。また、 R_s の小さい範囲でせん断耐荷力の非常に高いデータがあるが、これ等はほとんどMSデータで、 A_w / A_{cf} および h / t_w が非常に小さい。M

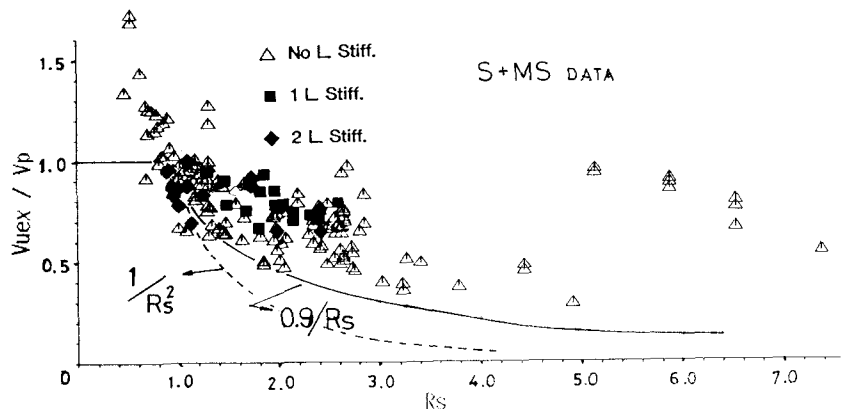


図-6 ウェブせん断座屈パラメータとせん断耐荷力

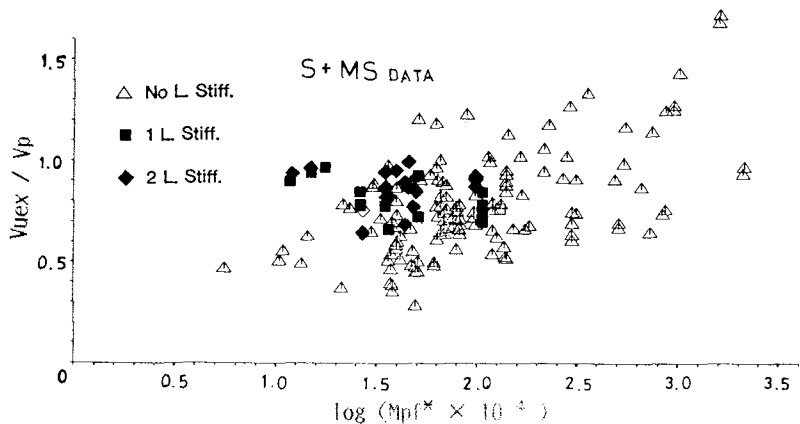


図-7 フランジ剛性に関するパラメータとせん断耐荷力

Sデータを除くと $V_{uex} / V_p > 1.0$ のデータは4点のみとなる。

図-7は横軸に $\log(Mpf^* \times 10^4)$ を取り、せん断耐荷力の実験値を整理したものである。 Mpf^* を座屈パラメータと呼ぶことには問題があるが、圧縮力との関係を表したのでこの節に入れた。

ここに、 $Mpf^* = Mpf / (h^2 \times t_w \times \sigma_{yw})$ -----(3)

$$Mpf = 1/4 \times b_{cf} \times t_{cf}^2 \times \sigma_{ycf}$$

Mpf^* の値が $0.56 \times 10^{-3} < Mpf^* < 0.22$ と小さいため、横軸のパラメータをこのような表示とした。水平補剛材のないものは右上がりの傾向を示している。頻度の高い範囲は $1.6 \sim 2.2$ であるが、水平補剛材

のあるものは一般にはウェブ高さの大きいデータが多いため、 Mpf^* の比較的小さい範囲に集中しているしたがって耐荷力との関係は顕著に現れていない。この図からSデータのみを取り出すと、大部分のデータは 1.4~1.9 と Mpf^* の低い範囲にある。

5. 二三の評価式と実験値

プレートガーダーに関する耐荷力式は多く提案されているが、ここでは単に実験パラメータを分析するために水平補剛材をもつものに対する式、さらには、これらが曲げとせん断の相関式として適用できうる形式のものに関する若干の耐荷力式を取り扱うことにした。なお、基本的な耐荷力式として、単に応力欠損を考慮したものや BASLER の提案式も取り扱う。

5-1. 曲げ耐荷力

ウェブの応力欠損を考慮した曲げ耐荷力式¹⁵⁾ では、板の有効幅の理論をウェブパネルに適用し、これに基づいて断面2次モーメントを算出し曲げ耐荷力を計算している。

$$bew / y_c = 1 / \lambda p \times \{ 1 - 0.05 \times (3 + \psi) / \lambda p \} < 1 \text{ -----(4)}$$

$$Muth = \sigma_{uf} \times I_e / (y_c + e + t_{cf} / 2) \text{ -----(5)}$$

ここに、 $\sigma_{uf} = bef / b_{cf} \times \sigma_{ycf}$

$bef =$ 式 (4)において $\psi=1.0$ 、 $\lambda p = 0.8 \times b_{cf} / t_{cf} \times \sqrt{\sigma_{ycf} / E}$ を代入した bew の値

$I_e =$ 欠損部を考慮した断面2次モーメント

$e =$ 欠損部を生じたための中立軸の移動距離

図-8は横軸を $Muth / My$ として曲げ耐荷力を整理したものである。水平補剛材を持つものに対して計算式は下限値を評価している。水平補剛材をもつもので $Muex / My > 1.0$ のものがかなりの比率で存在する。

BASLERの曲げ耐荷力式は次式で表される⁵⁸⁾。

$$Muth / My = 1 - 0.0005 \times Aw / Acf \times (h / tw - 5.7 \times \sqrt{\sigma_{yw} / E}) \text{ ----(6)}$$

ただし、 $h / tw \leq \sqrt{\pi^2 / 24(1 - \nu^2) \times Aw / Acf \times E / \sigma_{yw}}$

COOPER³⁹⁾ は水平補剛材を持つプレートガーダーに対しても式(6)を用いることを提唱している。図-9はこれらの値で曲げ耐荷力の実験値を整理したものである。水平補剛材があるものでは、計算値が少し

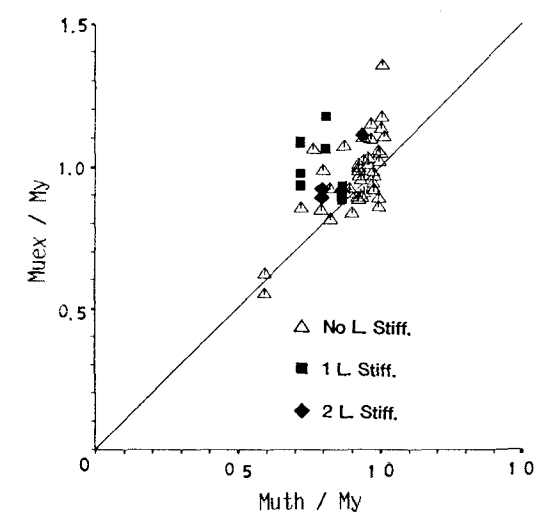


図-8 曲げ耐荷力の実験値と計算値
(応力欠損を考慮した式)

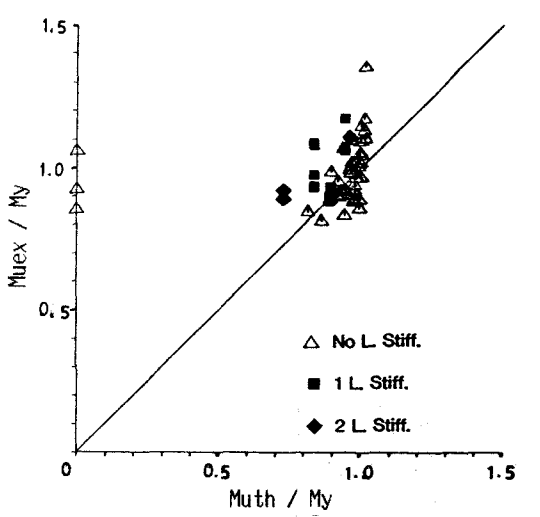


図-9 曲げ耐荷力の実験値と計算値
(BASLER式)

低めを評価しているが、実験値の下限値を示しているとも言える。

三上等は、水平補剛材と中間補剛材とで囲まれた部分を単パネル、中間補剛材で囲まれた部分を部分パネルと呼び、さらに広い範囲を全体パネルと名付け、次のような計算手順による曲げ耐荷力式を提案した⁵⁹⁾。単パネルについては、それぞれのパネルを四周単純支持とした場合のパネルの非弾性座屈応力を計算する。また、部分パネルおよび全体パネルについては、直交異方性板に対する考え方をうい、それぞれの非弾性座屈応力を求める。以上の非弾性座屈応力の内、最小の値を選ぶ。

$$M_{uth} = \sigma_{uf} \times h (A_{cf} + 1/6 A_w) \quad \text{----- (7)}$$

$$M_{uth} = h (\sigma_{uf} \times A_{cf} + 1/6 \sigma_{uw} \times A_w) \quad \text{----- (8)}$$

ここに、 σ_{uf} および σ_{uw} はそれぞれフランジプレートおよびウェブパネルの非弾性曲げ圧縮座屈応力である。式(7)と式(8)とを比べ小さい方を曲げ耐荷力の値とする。

図-10は実験値との関係を示したものである。水平補剛材のないものはばらつきが大きいがほぼ下限値を示している。 $M_{uex}/M_y < 1.0$ のものについてはまとまりがよい。水平補剛材一本よりも二本の方がばらつきは小さい。実験桁では2本の垂直補剛材で囲まれたもののみが実験パネルとして設計されている場合が多いため、三上の計算式における全体パネルの計算は省略される場合が多い。

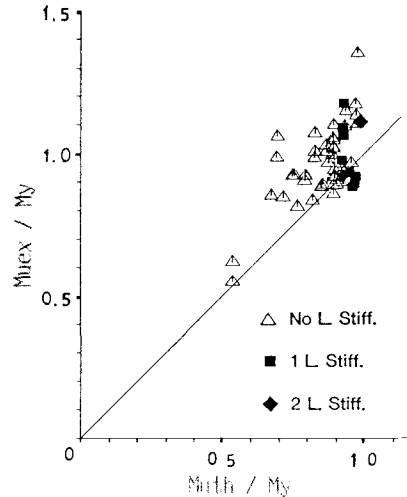


図-10 曲げ耐荷力の実験値と計算値 (三上式)

5-2 セン断耐荷力

BASLERのせん断耐荷力式は次式で表される⁶⁰⁾。

$$V_{uth} = h \times t_w \{ \tau_{cr} + \sqrt{3(\tau_y - \tau_{cr}) / 2\sqrt{1 + \alpha^2}} \} \quad \text{----- (9)}$$

長谷川は式(9)を水平補剛材を有するせん断耐荷力の評価式として利用することを提案した⁴⁰⁾。これは水平補剛材と中間補剛材とで囲まれたそれぞれのウェブパネルについて四周固定支持の場合のせん断座屈係数を用いて、式(2)からせん断座屈応力を求め、それらの最小値を式(9)の τ_{cr} として計算する方法である。これを拡張されたBASLER式と呼ぶことにする。

図-11は拡張されたBASLER式を含めた計算値と実験値とをそれぞれ V_p ($V_p = \sigma_{yw} \times A_w$)で無次元化して示したものである。水平補剛材のあるものについてはばらつきも小さく、ほぼ下限値を示している。

三上等は曲げ耐荷力と同様な手法で次のせん断耐荷力式を提案した。

$$V_{uth} = A_w \times \tau_u \quad \text{----- (10)}$$

ここに、 τ_u はウェブパネルの非弾性せん断座屈応力

図-12はこれに対する実験値との比較を示したものである。水平補剛材のないものはほぼ平均値を示しているが、水平補剛材のあるものについては下限値を示している。

ROCKEY等は曲げとせん断耐荷力との相関関係を表すため、それまでに提案したせん断耐荷力式を拡張し M_f/M_p におけるせん断耐荷力式を提案した⁶¹⁾。この式は中間補剛材と水平補剛材とで囲まれたウェブパネルの弾性座屈応力を用いることによって、水平補剛材をもつプレートガーダーにまで適用が可能であるとしている。

$$V_{sth}/V_p = \tau_{cy} + \sqrt{3} \sin^2 \theta (\cot \theta - a/h) \times \sigma_{ty} + 4\sqrt{3} \sin \theta \sqrt{\sigma_{ty} \times M_p f^x} \quad \text{-- (11)}$$

$$V_{cth}/V_p = \tau_{cy} + \sigma_{ty} \times \sin 2\theta (0.554 + 36.8 M_p f/M_f) \{ 2 - (a/h)/8 \} \quad \text{----- (12)}$$

ここに、 V_{sth} =純せん断耐荷力、 $\tau_{cy} = \tau_{cr}/\tau_y$ 、 θ =張力場の傾き、 $\sigma_{ty} = -\sqrt{3}/2 \times \tau_{cy} \times \sin 2\theta + \sqrt{1 + \tau_{cy} \times 2(3/4 \times \sin^2 2\theta - 1)}$ 、 $V_{cth} = M_f/M_p$ におけるせん断耐荷力である。なお、こ

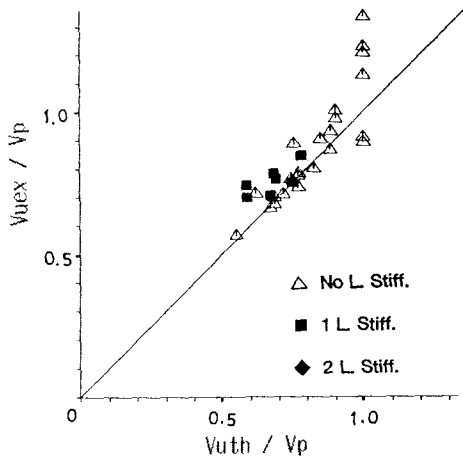


図-11 セン断耐荷力の実験値と計算値
(BASLER、拡張BASLER式)

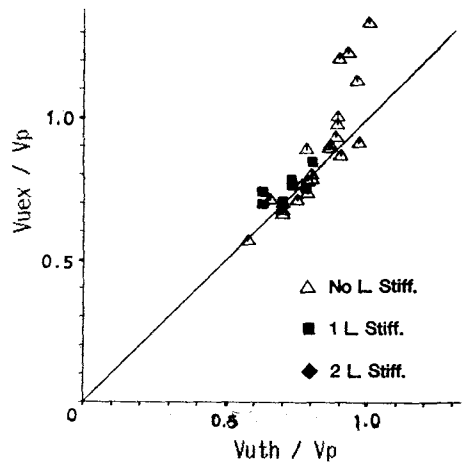


図-12 セン断耐荷力の実験値と計算値
(三上式)

ここに示したものは、基本式のみであり、これに対し M_p および τ_{cr} / τ_{yw} の大きさによる制限、厚いウエブプレートを持つ場合等、細かな条件が付けられているが、ここではその紹介を省略する。

図-13は、式(11)と純せん断耐荷力の実験値との関係を示したものである。計算値は幾分高めの評価をしている。特に補剛材のあるものについてこの傾向が強い。

式(9)および(10)はフランジの剛性の効果を無視した耐荷方式である。前にも述べたように、Sデータで水平補剛材のないものは図-7において $1.4 < \log(Mpf^* \times 10^4) < 1.9$ の範囲にあり、フランジの剛性は小さい。すなわち式(9)および(10)に適した条件をもつデータである。したがって、図-11および12では耐荷方式はほぼ平均値を示しているものと考えられる。一方、式(11)はフランジの剛性の効果を考慮した耐荷方式であるが、図-13に見られるように計算式の方が高い。

Mpf^* のもう少し大きな値をもつデータと比べなければ断言できないが、フランジの剛性が低いプレートガーダーに対してのみ、このような傾向をもつのではないと思われる。Sデータで水平補剛材をもつものは $\log(Mpf^* \times 10^4) \approx 2.05$ 付近に集中している。また、式(9)および(10)とも水平補剛材の剛性は考慮されていないので、これらの図からのみ考察することは難しい。

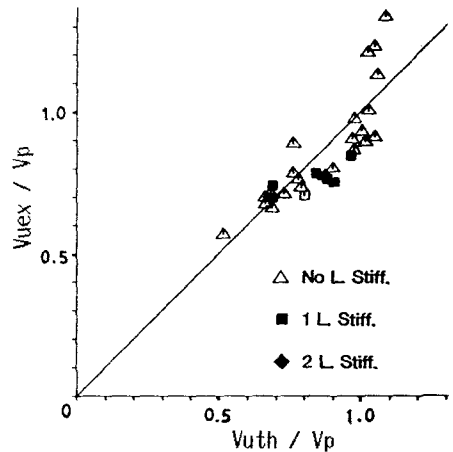


図-13 セン断耐荷力の実験値と計算値
(ROCKEY 式)

5-3 曲げとせん断耐荷力との相関関係について

曲げ耐荷力とせん断耐荷力との相関関係を調べるために、まず、縦軸にせん断耐荷力の実験値に対する計算値の比を取り、横軸には曲げ耐荷力を降伏モーメント M_y で無次元化した値を取った。図-14は前節で述べた BASLER および拡張された BASLER 式についてのものであるが、 $M_{ux}/M_f < 1$ の範囲で $V_{ux}/V_{uth} < 1$ のデータがかなりある。水平補剛材があるものは、水平補剛材のないものよりばらつきは少ないようである。ここには図示されていないが、三上の式で整理したものは図-14 に比べるとばらつきは大きい。図中の実線は次式を表したものである。

$$(\text{縦軸の値})^2 + (\text{横軸の値}) = 1 \quad \text{------(13)}$$

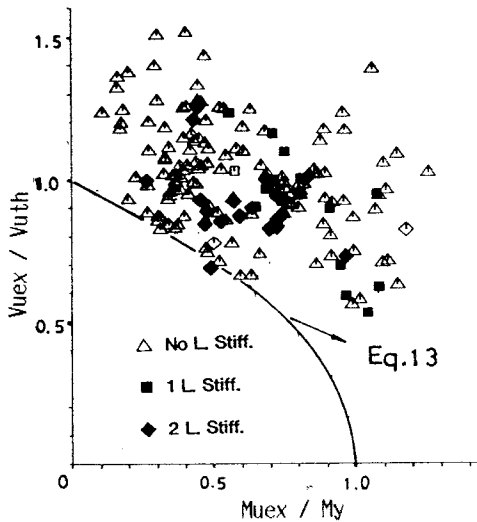


図-14 曲げとせん断耐力の相関関係
(BASLER、拡張BASLER式)

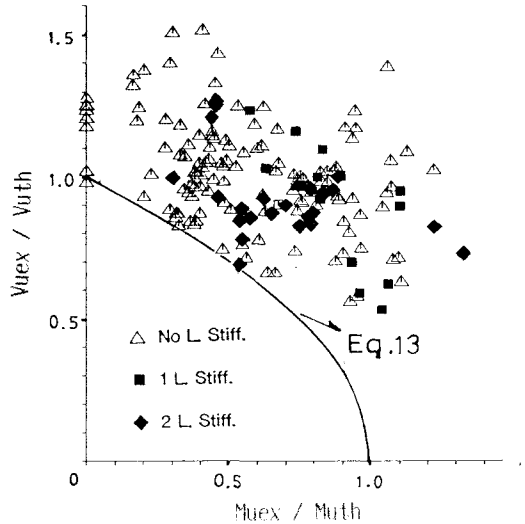


図-15 曲げとせん断耐力の相関関係
(BASLER、拡張BASLER式)

この場合、この曲線がほぼ実験値の下限値を示している。

ROCKEY等は曲げ耐力とせん断耐力の相関関係を示すために、 M_f/M_p における Vu_{ex}/V_{uth} の計算式を提案しているため、この式により実験値を整理した場合、1個のデータのみを図示することはできるが2個以上のデータを同一の座標上に図示することができない。

図-15は図-14の横軸の M_y の代わりに BASLER の曲げ耐力式を用いたものである。図-14に比べて大差は見られない。つまり、 $M_{uth} \approx M_y$ のデータがかなり多いことが分かる。この場合も式(13)は実験値の下限値を示している。

図-14および図-15 共にかなりのばらつきがあるので、このような大きなばらつきがある場合に、単に下限値を示すことによってこれを耐力方式とするには問題があろう。前にも述べたように、実験値を整理したせん断耐力式は、フランジの剛性の効果を考慮していない。MSデータでは M_{pf}^* の値は広範囲に亘っているので、これを的確に評価している耐力方式を用いる必要がある。なお、図-14および図-15において $Vu_{ex}/V_{uth} > 1.6$ のデータがそれぞれ6個あるが、表示を省略した。

6. まとめ

鋼構造部材の耐力の実験値に関するデータベース・NDSSに、新たにプレートガーダーの実験値333件を入力しこの概要について述べた。これらの実験値を分析した結果から主な事項を列記すると、

- 1) 曲げ耐力実験では圧縮フランジの水平座屈が防止されたデータのみを選んだが、フランジの水平座屈パラメータで整理すると、明らかにこの影響により耐力が低下したと考えられるデータがある。
- 2) 水平補剛材をもつ実験桁で、曲げ耐力実験に供されたものの r/r^* の範囲は1.0~5.0に限られている。
- 3) 試験パネルの中央で曲げモーメントが0のものを純せん断耐力データ(S)としたが、これらのデータ数が少ない。また、これらのほとんどはフランジの剛性効果を無視したせん断耐力式に適したデータである。

- 4) せん断耐力とウェブパネルの弾性せん断座屈強度との関係を調べると、それらの相関性は強いが、極端に大きなウェブ幅厚比をもつ桁では弾性せん断座屈強度は小さくても、耐力はそれほど低下しなく、特異な存在のデータとなる。
- 5) γ^* の計算には DIN 4114 で定められた方法を取りながらも、曲げとせん断の組み合わせ荷重を受ける桁については、必ずしもこの規定を遵守した供試体が設計されていないものがある。
- 6) 曲げとせん断の組み合わせ荷重が載荷された場合、ちなみにそれぞれの耐力をBASLERの曲げ耐力式およびせん断耐力式で無次元化して表すと、作用曲げモーメントが小さな範囲から、せん断耐力が低下する多くのデータが見られる。また、ばらつきも非常に大きい。評価式の形式としては、曲げとせん断耐力の相関関係として表すのが合理的であると考えられるが、さらに今後の研究が必要であろう。

参考文献

1. 福本湧士・伊藤義人：鋼構造部材の耐力評価システムのための数値データバンクの作成と利用、土木学会論文報告集、第312号、1981年8月、pp.59-72。
2. 福本湧士・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、第341号、1984年1月、pp.137-146。
3. Y. Fukumoto・Y. Itoh :Basic Compressive Strength of Steel Plate from Test Data、Proc. of JSCE, No.344/1-1, Apl.,1984, pp. 129-139.
4. 関西橋梁鉄骨溶接研究会編：プレートガーダーの耐力に関する理論と実験、1965年。
5. 関西橋梁鉄骨溶接研究会編：プレートガーダーの座屈に関する調査と研究、1969年。
6. 日本鋼構造協会技術委員会安全性分科会・座屈小委員会・プレートガーダー研究班：特集プレートガーダー、JSSC、Vol. 4, No. 27, 1968年3月、pp.1-73。
7. 日本鋼構造協会技術委員会・安全性小委員会・塑性設計小委員会・橋梁の極限設計研究班：鋼橋設計の考え方、JSSC、Vol. 9, No.86, 1973年2月、pp.5-21。
8. 長谷川彰夫・堀口隆良・西野文雄：プレートガーダーの耐力に関する一考察（上）、橋梁と基礎、1977年4月、pp.25-32、同（下）、1977年5月、pp.8-12。
9. 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（下）、橋梁と基礎、1980年12月、pp.38-44。
10. Second international Colloquium on Stability:6.3 Design of Webs of Plate and Box Girders、ECCS、Introductory Report、Tokyo, Sept.,1976、Lieage Apl.,1977, Washington May, 1977, pp. 178-208.
11. The Task Committee on Longitudinally Stiffened Plate Girders of the ASCE-AASHTO Committee on Flexural Members of the Committee on Metal of the Structural Division:Theory and Design of Logitudinally Stiffened Plate Girders、Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.104, No. ST4, Apl.,1978、pp.697-716.
12. R. Bjorhovde :Research Needs in Stability of Metal Structures, Journal of Structural Division, ASCE, Vol.106, No.ST12、Dec.,1980、pp.2425-2442.
13. P. Dubas, and E. Gehri :Behaviour and Design of Steel Plate Structures、ECCS, CECM, EKS, Jan., 1986, pp.93-169.
14. R.Sen :Evaluation of BS5400 Plate Girder Rules, Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, Vol. 81, Sept.,1986, pp. 335-352.

15. H. R. Evans: Assessment of Eurocode 3 - Determination of Model Factors for Plate Girders Report CAR/BRE, University College Cardiff, 1986.
16. 塩見弘幸・福本嘯士: 鋼構造部材の耐荷力の一算定法、土木学会論文報告集、第309号、1981年5月 pp.155-158。
17. 森脇良一・藤野眞之: 初期不整を有するプレートガーダーの純曲げ強度に関する実験的研究、土木学会論文報告集、No.264, 1977年8月、pp. 1-15。
18. P.S. Carskaddan: Bending of Deep Girders with A514 Steel Flanges, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 95, No. ST 10, Oct.,1969, pp. 2219-2242.
19. H. Shiomi: Static Ultimate Strength of Plate Girders in Bending, Memoirs of Chubu Inst. of Technology, Vol. 16-A, Oct.,1982, pp.119-128.
20. 秋田好雄・藤井登喜男: 座屈を考慮した最小重量設計第2報、日本造船学会論文集、No. 120, 1966年12月, pp.156-164。
21. K. Basler, B.T.Yen, J.A.Muller, and B.Thurimann: Web Buckling Tests on Welded Plate Girders, WRC Bulletin, Series No. 64, Sept.,1960, pp.1-63.
22. 小西一郎・米沢博・三上市蔵: プレートガーダーの曲げ弾性座屈、土木学会論文集、No. 143, 1967年7月、pp. 1 - 8。
23. 森脇良一・藤野眞之・森修: プレートガーダーのフランジ剛度が耐荷力に及ぼす影響に関する実験的研究、橋梁の極限設計研究班研究資料、No. 122。
24. 長谷川彰夫・西野文雄・奥村敏恵: 水平補剛材を有するプレートガーダーの曲げ耐荷力実験、土木学会論文報告集、No.234, 1975年2月, pp. 33-44。
25. 前田幸雄・川合豊: 上下非対称水平補剛材を有する完全ハイブリッドガーダーの曲げ耐荷力に関する実験的研究、大阪大学、昭和46年6月。
26. M.A.D'Apice, D.J.Fielding, and P.B.Cooper: Static Test on Longitudinally Stiffened Plate Girders, Bulletin No.117, Welding Research Council, New York N.Y.,Oct.,1966.
27. P.J.Patterson, J.A.Corrado, J.S.Huang, and B.T.Yen: Proof-Tests of Two Slender-Web Welded Plate Girders, Fritz Engineering Laboratory Report, No. 327.7, 1969.
28. 森脇良一・藤野眞之: 初期不整を有するプレートガーダーのせん断強度に関する研究、土木学会論文報告集、No. 249, 1976年5月、PP.41-54。
29. P.B.Cooper, H.S.Lew, and B.T.Yen: Welded Constructional Alloy Steel Plate Girders, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 90, St 7, Feb.,1964, pp.1-36.
30. 坂井藤一・土井和彦・西野文雄・奥村敏恵: 大型試験体によるプレートガーダーの耐荷力実験、第21回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部、昭和41年5月。
31. 坂井藤一ほか: 桁高の低いプレートガーダーのせん断耐荷力、第22回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部、昭和42年5月。
32. 奥村敏恵・森下光政・佐伯晃一: プレートガーダーの座屈後挙動について、第20回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部、昭和40年5月。
33. 関西橋梁鉄骨溶接研究会: プレートガーダーの耐荷力に関する理論と実験、昭和40年7月、pp. 60-118。
34. 佐伯晃一: プレートガーのウェブのせん断強さについて、東大奥村研究室研修報告(未刊行)、昭和50年5月。
35. 森脇良一・藤野眞之: 初期不整を有するプレートガーダーの組み合わせ強度に関する実験的研究、土木学会論文報告集、No.269, 1978年5月、pp.1-16。

36. E.Longbottom, and T.Heyman: Experimental Verification of the Strength of Plate Girders Designed in Accordance with the Revised British Standard 153 Test on Full-Sized on Model Plate Girder, Proc. of ICE, Vol. 5, PartIII, 1956, pp. 462-521.
37. T. Fuzii: A Comparison between Theoretical Values and Experimental Results for the Ultimate Shear Strength of Plate Girders, IABSE Colloquium, London, 1971.
38. K.C.Rockey, and M.Skaloud: The Ultimate Load Behaviour of Plate Girders Loaded in Shear, The Structural Engineer, Vol. 50, No.1, Jan.,1972, pp. 29-47.
39. P.B. Cooper: Strength of Longitudinally Stiffened Plate Girders, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 93, No. ST2, April, 1967, pp. 419-450.
40. 長谷川彰夫・西野文雄・奥村敏恵: 水平補剛材を有するプレートガーダーのせん断耐荷力、土木学会論文報告集、No.235, 1975年 2月, pp. 13-28。
41. W.Schneller and A.Ostapenko: Static Tests on Unsymmetrical Plate Girders, Main Test Series Fritz Engineering Laboratory Report, No.328.6, Sept.1968.
42. F.Nishino, and T.Okumura: Experimental Investigation of Strength of Plate Girders in Shear 8th Congress IABSE, New York, 1968, pp.451-462.
43. J.R.Dimitri and A.Ostapenko: Pilot Tests on the Ultimate Static Strength of Unsymmetrical Plate Girders, Fritz Engineering Laboratory Report, No.328.5, June, 1968.
44. I.Lyes, and H.J.Godfrey: Investigation of Web Buckling in Steel Beams, Trans. of ASCE, Vol 100, 1935, P. 675.
45. K.H.Tang, and H.R.Evans, Transverse Stiffeners for Plate Girder Webs - an Experimental Study, J. of Constructional Steel Research, Vol.4, No.4, 1984, pp.253-280.
46. K.C.Rockey, and G.Valtinat: The Design of Transverse Stiffeners on Webs Loaded in Shear - an Ultimate Load Approach, Proc.Instrn. Civ. Engrs, Part 2,Vol.71, Dec.,1981, PP.1069-1099
47. S.Komatsu: Ultimate Strength of Stiffened Plate Girders Subjected to Shear, Final Report, Proc. 8th Congress, IABSE, New York, Sept.,1968, pp.49-65.
48. P.S.Carskaddan: Shear Buckling of Unstiffened Hybrid Beams, Journal of Structural Division ASCE, Vol.94, No. ST8, Aug., 1968, pp.1965-1990.
49. 長谷川彰夫・和田耕造・西野文雄: ウェブの剛性に注目したプレート・ガーダーの曲げ耐荷力実験、土木学会論文報告集、No. 305 号、1981年 1月、pp.1-9。
50. 土木研究所: 未刊行。
51. H.R.Evans and K.H.Tang : The Influence of Longitudinal Web Stiffeners Upon the Collapse Behaviour of Plate Girders, J. of Construct. Steel Research, No. 4, 1984, pp.201-234.
52. H.Nakai and M.Sakano : An Experimental and Analytical Study on Ultimate Strength of End Transverse Stiffeners in Plate Girder Bridges, Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City Universty, Vol. 26, Dec.,1985, pp. 207-231.
53. H.R.Evans: An Appraisal, by Full-Scale Testing of New Design Procedures for Steel Girders subjected to Shear and Bending, Proc.Instrn. Civ. Engrs, Part 2, June, 1986, pp.175-189.
54. H.R.Evans and K.H.Tang : Longitudinal Stiffeners for Girder Webs; Their Behaviour and Design, J. of Construct. Steel Research, No. 6, 1986, pp. 173-197.
55. K.C.Rockey, H.R.Evans, and D.M.Porter: Tests on Longitudinally Reinforced Plate Girders subjected to Shear, Stability of Steel Structures, Preliminary Report, Liege 13-15 Apl. 1977, pp. 295- 304.

56. T.Hoglund: Simply Supported Long Thin Plate I-Girders without Web Stiffeners Subjected to Distributed Transverse Load, IABSE Colloquium, London, 1971, pp. 85-97.
57. 日本道路協会：道路橋示方書 同解説、昭和55年 2月。
58. K. Basler, and B. Thurlimann: Strength of Plate Girder in Bending, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, ST6, Aug.,1961, pp 153-181.
59. 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.
60. K. Basler :Strength of Plate Girders in Shear, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, No.ST7, Oct.,1961, pp.151-180.
61. K.C. Rockey, H.R. Evans and D.M.Porter:A Design Method for Predicting the Collapse Behaviour of Plate Girders, Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 2. Vol. 65, Mar.,1978, pp.85-11.

1986年10月17日 受付