

(14) 初期不整を有するプレート・ガーダーの純曲げ耐荷力特性について

大阪市立大学 大学院 ○坂口三代治
大阪市立大学 工学部 中井 博
大阪市立大学 工学部 北田 俊行
川崎重工 技術研究所 大南 亮一

1. まえがき

これまで、プレート・ガーダーの曲げ耐荷力を取り扱った研究は多い。^{1) 2) 4)}しかしながら、いずれの場合もある崩壊モデルを考え、耐荷力の近似公式を誘導したものであり、圧縮・引張フランジ、ウェブ、水平補剛材、垂直補剛材などの薄板から構成された板要素の集成体としてアプローチした研究は少なく、著者らの知る限りでは、渡辺⁵⁾、上田・松石・森・村川⁶⁾の研究があるに過ぎない。

本論文は、プレート・ガーダーを板要素の集成体として捉え、その純曲げ耐荷力特性を有限要素法を用いて解析するものである。ただし、桁の横倒れ座屈に起因するものは取り扱わず、圧縮フランジのねじり座屈とウェブの曲げ座屈の連成崩壊現象について言及する。このような解析法によると、不可避の初期不整(残留応力及び初期たわみ)ならびに構成板要素の局部座屈がプレート・ガーダー全体の極限強度に及ぼす影響を正確に評価することができる。最近、西野³⁾らも新しい近似解析モデルを用いて、プレート・ガーダーの耐荷力公式を発表しているが、初期不整の考慮については残留応力のみに留まっている。本論文では、残留応力と初期たわみが同時に存在するプレート・ガーダーの極限強度について解析する。過去、両初期不整を有するプレート・ガーダーの極限強度について解析的に取り扱った研究は少ない。^{5) 6)}また、両初期不整に着目して実験的に取り扱ったものとしては、森脇・藤野の研究がある。⁷⁾以下に、本論文の内容を明記する。

- 1) 残留応力と極限曲げモーメントの関係を明らかにする。
- 2) 初期たわみと極限曲げモーメントの関係を明らかにする。
- 3) 構成板要素の局部座屈と桁全体の極限曲げモーメントの関係を明らかにする。

2. 本論文中で用いる記号

寸法諸元	b : フランジ全幅, b : フランジ突出幅, h : 桁高, L : 垂直補剛材間隔, t_f : フランジの板厚, t_w : ウェブの板厚 (Fig.1(a)参照)
断面力	M : 作用曲げモーメント, M_u : 極限曲げモーメント, M_Y : 降伏曲げモーメント ($= 2 \sigma_Y \frac{I}{h}$)
残留応力	$\sigma_{rc,f}$: フランジの残留圧縮応力度, $\sigma_{rc,w}$: ウェブの残留圧縮応力度
初期たわみ	W_0 : ウェブの最大たわみが生じる点での初期たわみ量, $W_{0,f}$: フランジの最大初期たわみ量, $W_{0,w}$: ウェブの最大初期たわみ量
解析上の変位	U_r : 増分圧縮変位, θ_r : 増分回転角
応力・ひずみ	$\bar{\sigma}$: フランジに作用する平均圧縮応力度, $\sigma_{cr,f}$: 3辺単純支持板にモデル化したフランジの弾性座屈応力度, $\sigma_{cr,w}$: 周辺単純支持板にモデル化したウェブの弾性曲げ座屈応力度, σ_f : フランジに作用する応力度, $\bar{\sigma}_m$: フランジの極限平均圧縮応力度 ($= \int_0^b \sigma_f dY / b$), σ_Y : 降伏点, ϵ_t : 引張側の垂直ひずみ, ϵ_c : 圧縮側の垂直ひずみ
変位	W_m : ウェブの最大たわみ
無次元パラメーター	R_f : フランジの幅厚比パラメーター ($= \sqrt{\sigma_Y / \sigma_{cr,f}}$), R_w : ウェブの幅厚比パラメーター ($= \sqrt{\sigma_Y / \sigma_{cr,w}}$), α : ウェブの縦横比 (L / h), α_f : フランジの縦横比 (L / b)
その他	I : プレート・ガーダーの断面2次モーメント, N_w : ウェブの深さ方向の分割

3. プレート・ガーダーの弾塑性有限変位解析

(1) 解析モデル

本研究においては、文献 10) の有限要素法による圧縮板の弾塑性有限変位解析法を用いて、上下対象断面を有するプレート・ガーダーの曲げ耐荷力を算定する。

Fig.1(a) に示すようなプレート・ガーダーの垂直補剛材間パネルを板要素の集成体として取り出し、Fig.1(b) のようにモデル化する。すなわち、垂直補剛材の取付線で単純支持された曲げを受ける折板構造として解析を行う。

(2) 荷重の与え方

Fig. 2 に示したように、載荷辺に剛棒を取り付け、平面保持の状態では強制曲げ変位を漸増する。すなわち、剛棒を取り付けることにより、載荷辺上にある有限要素の各節点変位を剛棒の外側に設けた節点 R における回転変位 θ_r と圧縮変位 U_r に置換する¹¹⁾。そして、軸力を拘束しないように、 U_r を自由にして、 θ_r を与えることにより純曲げ状態を再現する。

(3) 解析に用いた初期不整

プレート・ガーダーに存在する初期不整に関しては、過去において多数の研究が成されている。特に、I 桁の残留応力については、近藤・日浦・菊地の研究があり、その研究では実際のプレート・ガーダーに比べて桁高の低いものを取り扱っているが、残留応力分布のパターン化については参考になる点が多い。一方、実測された初期たわみに関する統計的な研究成果が、JSSC 関西地区委員会の IDM 委員会から報告されており、プレート・ガーダーの耐荷力を評価するにあたり、有益な資料を与えている。

a) 残留応力 現在のところ十分有用な残留応力の推定公式がないので、本研究では近藤・日浦・菊地によって提案されている推定式を準用することにした。そこでは、ガス切断によって切り出された鋼板から成る溶接 I 桁（以下、ガス切断タイプという）の実測値に基づいて、フランジ及びウェブの残留応力度を入熱量の関数として求めている。そして、I 桁断面が自己平衡するように、残留応力分布の推定公式を提案している。

本研究では、圧縮フランジの強度と 3 辺単純支持の圧縮板の強度との比較・検討が可能のように、フランジ、ウェブ共 Fig. 3 に示すような自己平衡分布（残留応力による軸方向合力 $N_{rr} = 0$ ）を仮定し、その大きさについてのみ文献 8) の推定式を採用した。すなわち、フランジの残留圧縮応力度を $\sigma_{rc,f} = -0.4 \sigma_y$

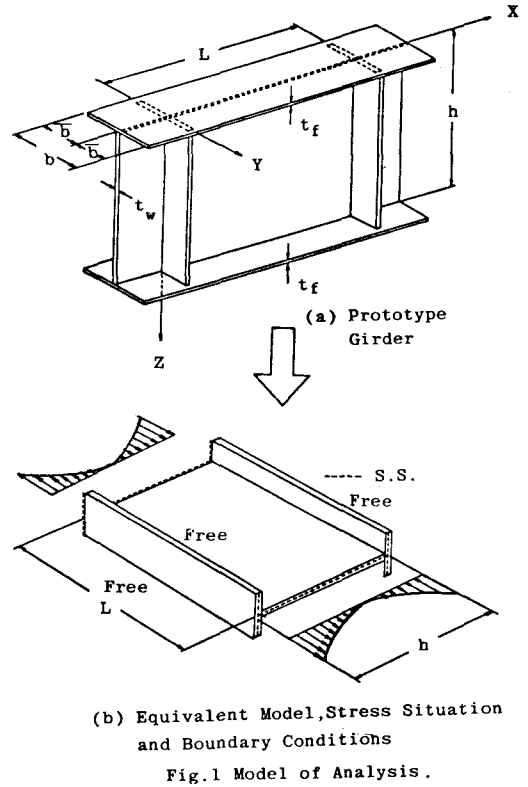


Fig.1 Model of Analysis.

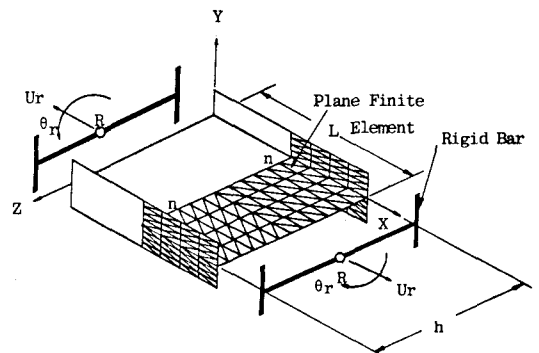


Fig.2 Meshing and Application of Bending Moment by Displacements U_r and θ_r .

とすれば、ウェブの残留圧縮応力度は $\sigma_{rc,w} = -0.22 \sigma_Y$ になる。ただし、実際にはフランジ先端部にガス切断による引張の残留応力が存在する (Fig. 4 参照) が、今回の解析においては安全側の見地より、先端部には圧縮の残留応力が存在するものとした。なお、著者らも実物大のプレート・ガーダーの残留応力を測定する機会を得たので、その結果を Fig. 4 に示す。

図より、ウェブ及びフランジに存在する残留圧縮応力度はかなり小さく、また本解析に導入した残留応力分布は十分に安全側であるものと思われる。

b) 初期たわみ 本解析では、文献 9) を参照にして、フランジとウェブに Fig. 5 に示すような初期たわみ波形を導入した。その初期たわみ量としては、フランジ、ウェブに対して道路橋示方書 (以下、道示という) の直角度規準値及び初期たわみ規定値 ($W_{0,f} = \bar{b} / 100$, $W_{0,w} = h / 250$) をそれぞれ基準に取った。

4. 計算精度の検討

曲げモーメントを受ける部材に対しては、一定ひず

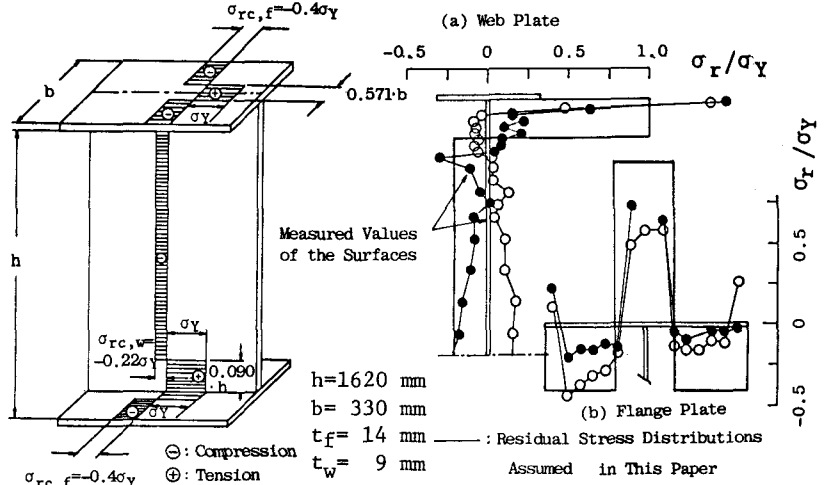


Fig.3 Assumption of Residual Stress Distributions.

Fig.4 Example of Residual Stress Distributions Measured.

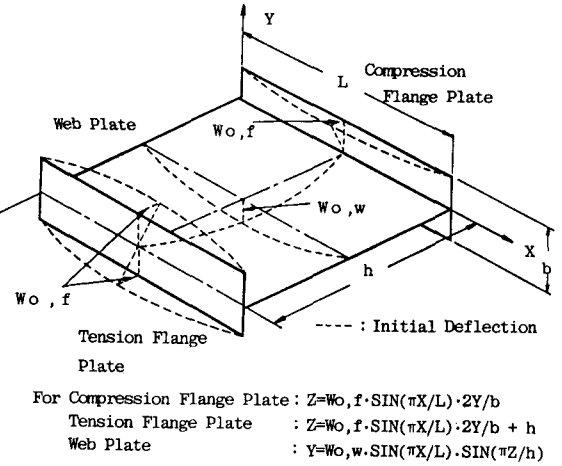


Fig.5 Assumption of Initial Deflection for Each Plate Element.

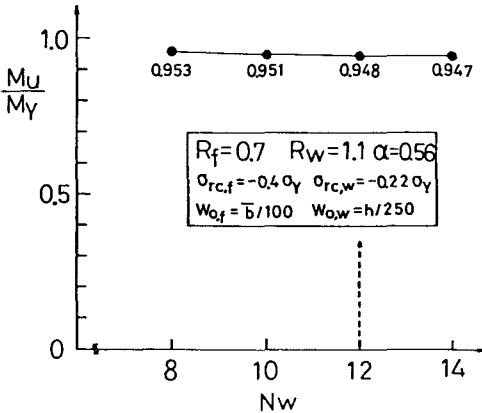


Fig.6 Accuracy due to Mesh Number N_w of Web Plate.

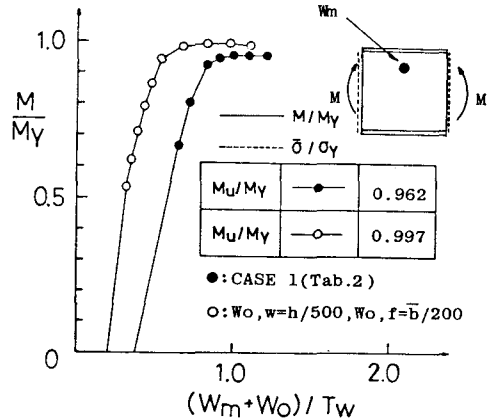


Fig.7 M/M_Y and Deflection $(W_m + W_o)/T_w$ Curves for Initial Deflection.

みの三角形要素は一般に精度が悪いと言われている。そこで、メッシュ分割と精度の関係を調べたのが Fig. 6 である。図中、 N_w はウェブの深さ方向の分割数であり、 M_u/M_y は無次元極限曲げモーメントである。図より、 $N_w = 12$ 以上であれば、実用上十分な精度が得られることがわかる。また、文献 11) によれば、フランジ幅方向は 8 メッシュ分割、垂直補剛材間隔は 4 ～ 5 メッシュ分割で十分収束している。ここで、計算に用いた幅厚比パラメーターは、道示の場合、 $R_f \leq 0.7$ であればフランジの局部座屈を設計に考慮しなくてもよく、 $R_w = 1.1$ は $h/t_w = 152$ (SS 41 の場合) のウェブの許容限界幅厚比に相当するものである。

Fig. 7 は、フランジ幅方向を 8 メッシュ、垂直補剛材間隔を 4 メッシュ及びウェブの深さ方向を 14 メッシュの分割で、残留応力がない場合の計算結果の 1 例を示したものである。幅厚比パラメーターが $R_f = 0.7$ 、 $R_w = 1.1$ であるプレート・ガーダーは残留応力及び初期たわみが存在しなければ、最終的には圧縮フランジの局部座屈で極限状態に達すると考えられるので、 M_u/M_y はほぼ 1.0 になるものと思われる。Fig. 7 より、 $W_{0,f} = \bar{b}/100$ 及び $W_{0,w} = h/250$ の初期たわみが存在する場合には $M_u/M_y = 0.962$ であるが、それぞれの初期たわみを $1/2$ にすれば、 $M_u/M_y = 0.997$ となり、本解析値はほぼ妥当であることがわかる。

5. 数値計算結果と考察

(1) 初期たわみモードと極限強度の関係

まず、初期たわみモードと極限曲げモーメントの関係を Tab. 1 に示す。この計算に用いた幅厚比パラメーターは、Fig. 6 の場合とまったく同様である。いずれもフランジの初期たわみは先端で最大となっている。座屈後のウェブにおいて最大たわみが生じるのは、圧縮フランジから $0.2 h$ 付

近である。表の E モードは、ウェブの初期たわみの最大値がこの位置に存在する一次の座屈モードに類似したモードであり、最も極限曲げモーメントが低下していることがわかる。その他のモードにおいては、ウェブの初期たわみはウェブ中央で最大となるものであり、それぞれの極限曲げモーメントは Tab. 1 に示す通りである。A モードと E モードではそれ程も耐荷力に差がないこと、及び E モードのような最も不利な初期たわみ形状が生じる確率は極めて小さいということより、本論文においては一般によく用いられている A モードを用いて種々の考察を加えることにした。

Tab.1 Variation of Ultimate Strength due to Initial Deflection at Mid-Pannel of Web Plate n - n (cf. Fig. 2).

	A	B	C	D	E
Initial Deflection Mode					
M_u / M_y	0.947	1.000	0.946	1.000	0.938

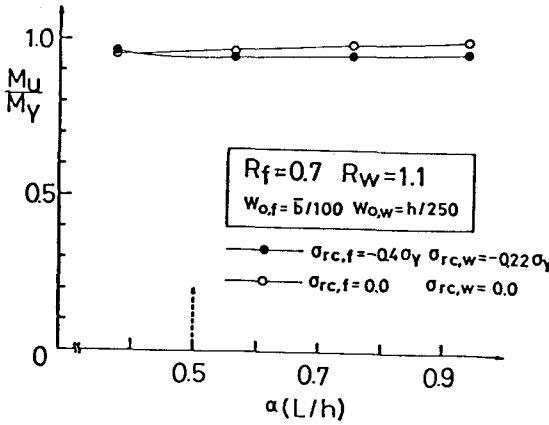


Fig. 8 Variation of Ultimate Strength due to Aspect Ratios $a(L/h)$ of Web Plate.

Tab.2 Relationship between Ultimate Strength and Residual Stress.

CASE	R_f	R_w	$a(L/h)$	$W_{0,f}$	$W_{0,w}$	$\sigma_{rc,f}$	$\sigma_{rc,w}$	M_u/M_y	$\bar{\sigma}_m/\sigma_y$
1	0.7	1.1	0.56	$\bar{b}/100$	$h/250$	0.0	0.0	0.962	1.000
2	0.7	1.1	0.56	$\bar{b}/100$	$h/250$	0.0	$-0.22\sigma_y$	0.950	1.000
3	0.7	1.1	0.56	$\bar{b}/100$	$h/250$	$-0.40\sigma_y$	0.0	0.935	0.963
4	0.7	1.1	0.56	$\bar{b}/100$	$h/250$	$-0.40\sigma_y$	$-0.22\sigma_y$	0.947	1.000

(2) ウェブの縦横比と極限強度の関係

ウェブの縦横比と極限曲げモーメントの関係を Fig. 8 に示す。図より、 M_u/M_Y は α が 0.4 ~ 0.9 ではあまり α に影響しないが、しいて言えば $\alpha = 0.5$ 付近で最小となることがわかる。これは、文献 12) の結果とも一致している。フランジ及びウェブの幅厚比パラメーターがそれぞれ $R_f = 0.7$, $R_w = 1.1$ の付近である限りは、曲げ耐力力を支配する関数の中に α を考慮する必要がないことがわかる。¹⁵⁾ 本研究では、著者らが先に実施した実績調査ならびに文献 9) に基づき、使用頻度が最も大きい $\alpha = 0.56$ で解析を行っている。ここで、 α がラウンド・ナンバーになっていないのは、¹¹⁾ 3 辺単純支持板にモデル化した自由突出圧縮フランジの解析結果との対比が可能のように、フランジの縦横比を $\alpha_f = 3$ にしたためである。

(3) 残留応力と極限強度の関係

3. で述べた方法で導入した残留応力と極限強度の関係を Tab. 2 に示す。フランジとウェブの残留応力の有無によって、CASE 1 ~ 4 の 4 種類の解析モデルを考えた。Fig. 9 は、これら 4 ケースに対する作用曲げモーメントとウェブの最大たわみの関係を表わしている。これらの図及び表より、フランジに残留応力が存在すると、低い荷重段階 ($\bar{\sigma} \approx 0.6 \sigma_Y$) からフランジの降伏が始まり、その有効断面積が減少しその結果、桁全体としての有効曲げ剛性が小さくなっていることがわかる。また、CASE 3 の極限曲げモーメントが CASE 1 に比べて低下していることから、フランジに存在する残留応力は極限強度に影響を及ぼす

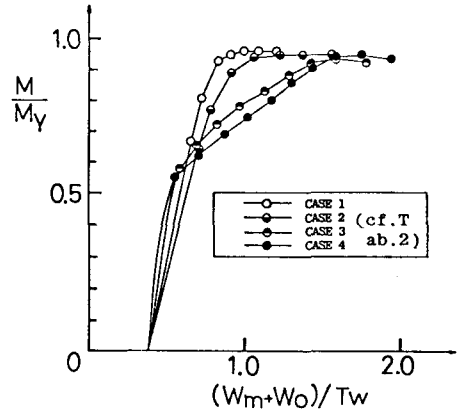


Fig. 9 M/M_Y and Deflection $(W_m + W_o)/T_w$ Curves for Residual Stress.

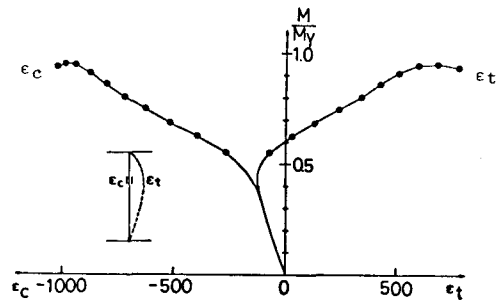


Fig. 10 Moment-Normal Strain Curve at the Surface of Maximum Deflection's Point in Web Plate.

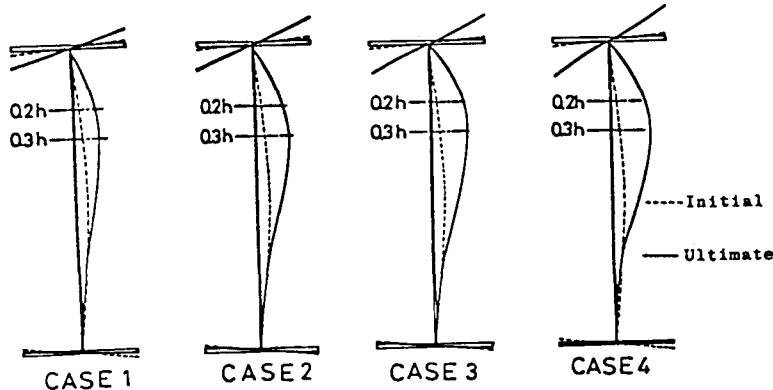


Fig. 11 Out of Plane Deflection of Mid Section of Web Plate $n-n$ (cf. Fig. 2) at Ultimate State.

ことがわかる。

これに対して、ウェブに残留応力が存在しても作用曲げモーメントー変位曲線は大きく変化せず、極限曲げモーメントの低下も1.2%に留まる(CASE 2)。これは、ウェブに残留応力がある程度存在しても、圧縮フランジとの接合辺付近に引張の残留応力が存在していること及び圧縮応力を受ける残留圧縮応力の領域が少ないことなどに起因していると思われる。

フランジとウェブの両方に残留応力が存在するCASE 4の場合、ウェブのたわみは最も進行するが、極限曲げモーメントは1.6%の低下に過ぎない。

さらに、フランジに作用する極限平均圧縮応力度($\bar{\sigma}_m/\sigma_Y$)と残留応力の関係もTab. 2に示した。CASE 3を除いてすべて $\bar{\sigma}_m/\sigma_Y = 1.000$ となった。フランジを3辺単純支持1辺自由の板にモデル化した場合の極限平均圧縮応力度は、残留応力がない場合には、 $\bar{\sigma}_m/\sigma_Y = 0.976$ 、 $-0.4\sigma_Y$ の残留応力が存在する場合には、 $\bar{\sigma}_m/\sigma_Y = 0.956$ となる。これらの値とTab. 2の $\bar{\sigma}_m/\sigma_Y$ の値を比較してみると、以下のことがわかる。すなわち、ウェブのフランジに対する回転拘束はわずかではあるが期待できる。特に、ウェブに残留応力が存在する場合には、フランジとウェブの接合部付近の引張の残留応力により、その部分が高い荷重段階においても弾性のままで残るため、CASE 4の回転拘束はCASE 3より大きくなっている。

Fig. 10は、CASE 4のウェブの最大たわみ点での表と裏の垂直ひずみと作用曲げモーメントの関係を示している。さらに、上述の各ケースに対する桁の極限状態におけるたわみ波形(初期たわみを含む)と塑性域の拡がりの状況をそれぞれ、Fig. 11とFig. 12に示す。ただし、Fig. 11のたわみ波形はFig. 2の

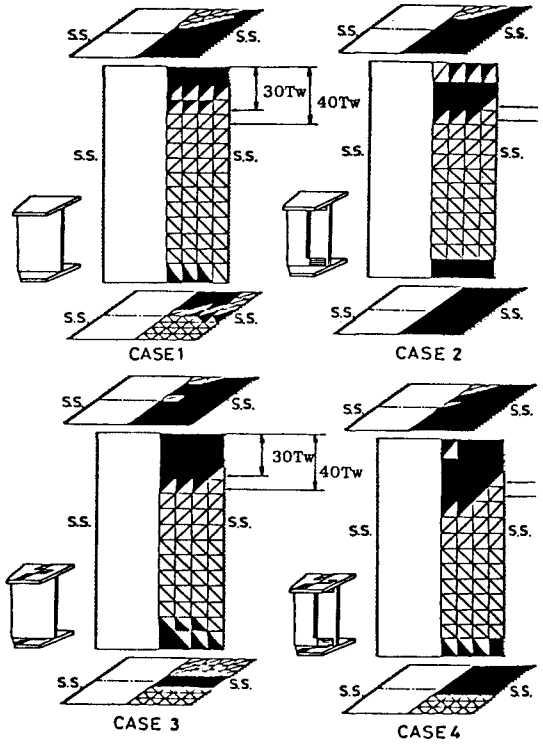


Fig.12 Yielded Zones at the Ultimate State.

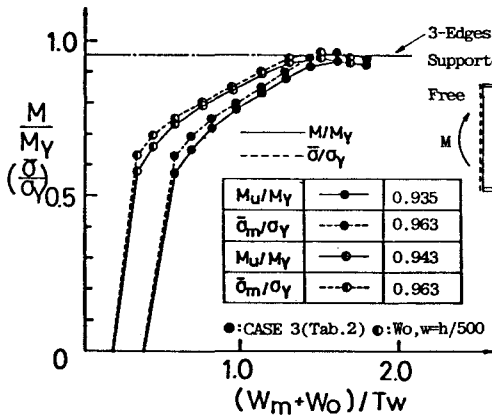


Fig.13 M/M_Y and Deflection(W_m+W_o)/ T_w Curves for Initial Deflection of Web Plate.

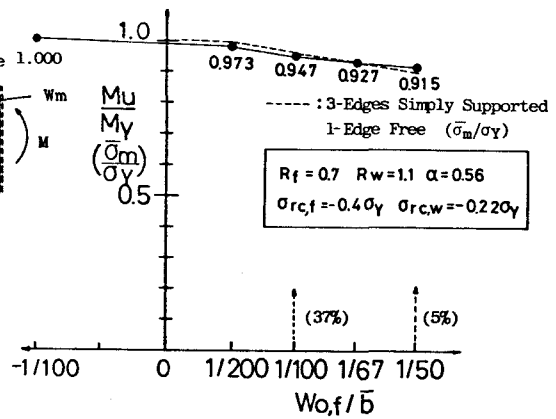


Fig.14 Sensibility of Ultimate Bending Moment for Initial Deflection of Flange Plate.

断面 $n-n$ におけるものであり、Fig.12の塑性域の拡がりには上下フランジの上面及びウェブの凹面に関するものである。CASE 2及び4では、ウェブの付け根においてかなりの弾性部分が残っていた。また、Fig.11の各ケースとも最大たわみは、 $0.2h \sim 0.3h$ 付近で生じている。これは、初期たわみ形状をAモードに仮定したためと考えられる。荷重初期段階では、 $0.2h$ 付近のたわみ増分量が最大であった。

(4) 初期たわみと極限強度の関係

Fig.13～15に初期たわみと極限強度の関係を示す。まず、Fig.13はCASE 3の解析結果(●)とウェブの初期たわみを $1/2$ にした場合の結果(○)、及び3辺単純支持板にモデル化したフランジの極限平均圧縮応力度¹¹⁾(---)を比較したものである。図より、ウェブの初期たわみに対しては、極限曲げモーメントはほとんど左右されないことがわかる。フランジの極限平均圧縮応力度(---)は、いずれの場合も 0.963 であり、3辺単純支持のモデル化による解析結果に比べて若干上昇していることより、ウェブのフランジに対する回転拘束度は、ごくわずかながら存在することがわかる。

Fig.14及びFig.15は、フランジとウェブの両方に残留応力を入れたCASE 4に対して、初期たわみと極限強度の関係を示したものである。Fig.14より、フランジの初期たわみと極限曲げモーメントの関係は、3辺単純支持の圧縮板の初期たわみと極限平均圧

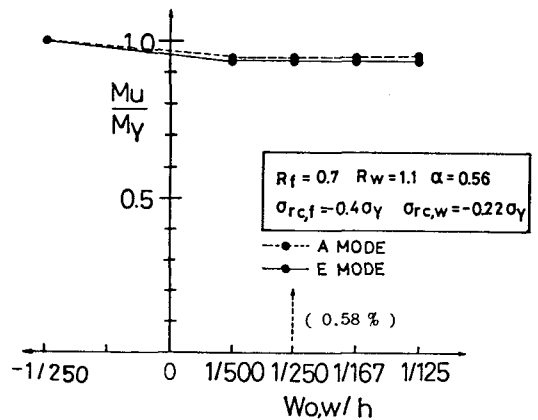


Fig.15 Sensibility of Ultimate Bending Moment for Initial Deflection of Web Plate.

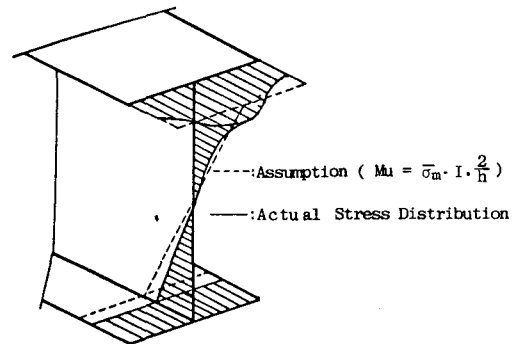
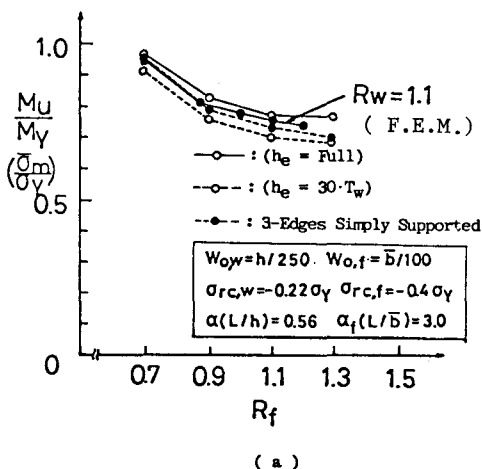
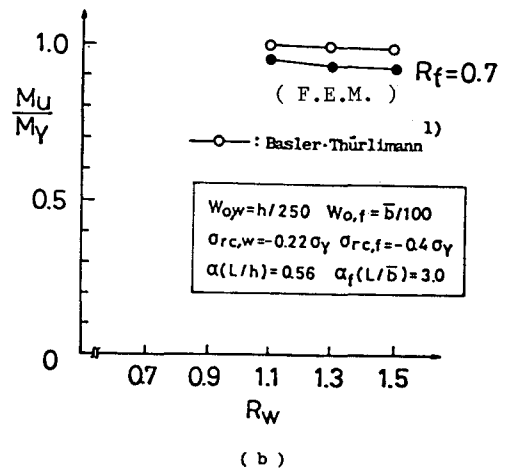


Fig.16 Stress Distribution at Ultimate State.



(a)



(b)

Fig.17 Variation of Ultimate Strength due to Plate Slenderness Parameter R_f , R_w .

縮応力度の関係に類似していることがわかる。道示に
 11)
 における直角度規準 ($\bar{b}/100$) 及びその2倍の初期た
 わみが存在する場合のプレート・ガーダーの極限曲げ
 モーメントは、それぞれ降伏曲げモーメントより5.3
 %及び8.5%程度低下することがわかる。文献9)に
 よれば、実橋においては $\bar{b}/100$ の初期たわみを超過
 する確率は約3.7%であり、 $\bar{b}/50$ を超える確率は
 5%である。したがって、プレート・ガーダーに十分
 な曲げ耐荷力を保持させるためには、圧縮フランジに
 対する明確な初期たわみの制限方法を設ける必要があ
 ると思われる。Fig.15には、ウェブの初期たわみと
 極限曲げモーメントの関係を示すが、AモードとEモ
 ードのいずれの場合も $1/500 < W_{0,w}/h < 1/$
 125 の範囲では、初期たわみに対して極限曲げモーメ
 ントはほとんど敏感でないことがわかる。文献9)に
 よれば、ウェブの初期たわみが道示の許容限界値であ
 る $h/250$ を超える確率は0.58%と極めて小さく、
 ウェブの初期たわみは純曲げを受けるプレート・ガー
 ダーの極限強度には実際上あまり問題とならないもの
 と思われる。

(5) フランジ、ウェブの幅厚比パラメーターと極
 限強度の関係

最後に、Fig.17～19及びTab.3はフランジ及
 びウェブの幅厚比パラメーターと極限曲げモーメント
 の関係を示したものである。Fig.17の(a)は $R_w=1.1$
 に固定し、 R_f と極限曲げモーメントあるいはフラン
 ジの極限平均圧縮応力度の関係を、(b)は $R_f=0.7$ に
 固定し、 R_w と極限曲げモーメントの関係をそれぞれ
 表わしている。Fig.17より、ウェブに比べてフラン
 ジの局部座屈の方がプレート・ガーダーの極限曲げモ
 ーメントに敏感に影響を及ぼすことがわかる。また、
 Fig.17(a)には、3辺単純支持板にモデル化したフラ
 ンジの極限平均圧縮応力度 ($\bar{\sigma}_m = \frac{M_u}{I} \cdot \frac{h}{2}$, $\sigma_Y = \frac{M_Y}{I}$
 $\cdot \frac{h}{2}$, $\bar{\sigma}_m/\sigma_Y = M_u/M_Y$) も示してあるが、プレ
 ート・ガーダーの極限曲げモーメントは、この極限平均
 圧縮応力度と良く一致している²⁾。これは、ウェブのフ
 ランジに対する回転拘束度のため、若干フランジの強
 度が上昇したことと、ウェブの局部座屈による強度低
 下が丁度打ち消し合い良好な一致を示したものと想わ
 れる。しかし、この崩壊モデルでは応力分布をFig.
 16のように仮定していることになり、実際の応力分
 布を忠実に表現していないことになる。この応力分布

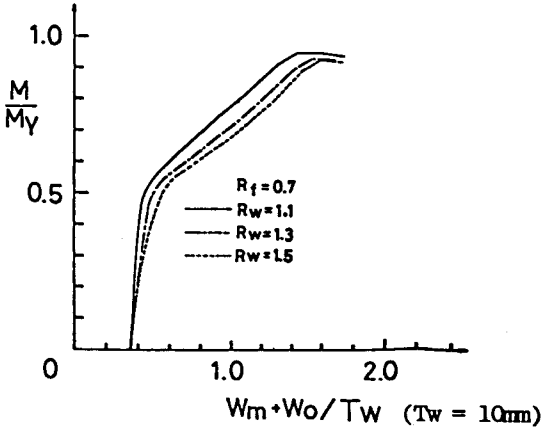


Fig.18 Moment-Deflection Curves at the
 Maximum Deflection's Point in
 Web Plate for Various Ratios R_w .

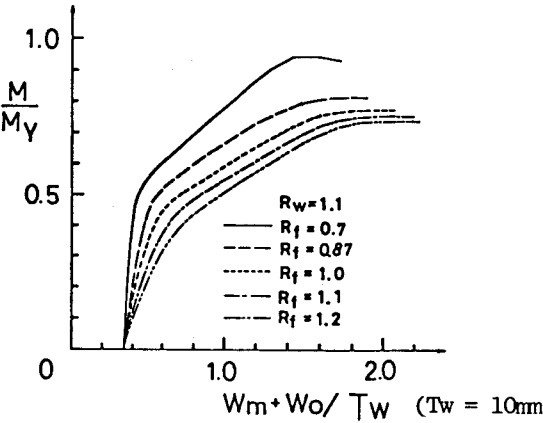


Fig.19 Moment-Deflection Curves at the
 Maximum Deflection's Point in
 Web Plate for Various Ratios R_f .

Tab.3 Relationship between M_u/M_Y
 and $\bar{\sigma}_m/\sigma_Y$ for Various Ratios
 R_f, R_w .

$R_f \backslash R_w$		0.7	0.87	1.0	1.1	1.2
1.1	M_u/M_Y	0.947	0.814	0.775	0.757	0.738
	$\bar{\sigma}_m/\sigma_Y$	1.000	0.920	0.897	0.893	0.890
1.3	M_u/M_Y	0.930	—	—	—	—
	$\bar{\sigma}_m/\sigma_Y$	0.994	—	—	—	—
1.5	M_u/M_Y	0.925	—	—	—	—
	$\bar{\sigma}_m/\sigma_Y$	0.989	—	—	—	—

を忠実に表現する方法として、有効幅の考えを用いる方法がある。すなわち、局部座屈するような圧縮フランジに対しては、その有効幅 b_e を $\bar{\sigma}_m / \sigma_Y \cdot b$ とし極限曲げモーメントを算定する。ただし、ウェブの有効幅 b_e は、 $3.0 t_w$ とした場合と全幅有効とした場合の2通りについて計算を行っている。この方法で求めた耐力も図中に示してあるが、ウェブの有効幅 b_e を正確に評価すれば本解析値と良く一致するものと思われる。

さらに、ウェブ及びフランジの幅厚比パラメーターと極限曲げモーメント及びフランジに作用する極限平均圧縮応力度の関係を Tab.3 に示したが、表よりフランジの局部座屈の影響の方が大きいことがわかる。

Fig.18 及び Fig.19 は R_w , R_f それぞれに対する作用曲げモーメントとウェブの最大たわみの関係を示したものである。 R_f が大きくなるにつれて、フランジのウェブに対する回転拘束度が弱まるためウェブの横たわみが大きくなっていることがわかる。そして、フランジに作用する極限平均圧縮応力度と極限曲げモーメントの差も大きくなっていることが Tab.3 からわかる。また、 R_w が大きくなっても後座屈強度が期待でき、極限曲げモーメントはそれ程も低下しないことがわかる。

6. 結言

本論文は、横倒れ座屈を起こさないプレート・ガーダーの純曲げ耐力特性について取り扱ったものである。以下、本論文で得られた代表的な結論を示す。

- 1) ①ウェブに存在する残留応力はプレート・ガーダーの極限強度にあまり効かない。
②フランジに存在する残留応力はプレート・ガーダーの極限強度に影響を及ぼす。
- 2) ①ウェブの初期たわみはプレート・ガーダーの極限強度にほとんど効かない。
②フランジの初期たわみはプレート・ガーダーの極限強度に影響を及ぼす。
- 3) ①ウェブに比べてフランジの局部座屈の方がプレート・ガーダーの極限強度に影響を及ぼす。

参考文献

- 1) 例えば, Basler, K. and Thürlimann, B.: Strength of Plate Girders in Bending, Proc. of ASCE, Vol.87, No. ST6, pp.153~181 (Aug.1961).
- 2) 小西一郎, はか: プレート・ガーダーの耐力に関する理論と実験, 関西橋梁鉄骨溶接研究会, 昭和40年.
- 3) 長谷川・堀口・西野: プレート・ガーダーの耐力に関する一考察(上), (下), 橋梁と基礎, Vol.11, No.4, No.5, pp.25~32, pp.8~12, 1977年4月, 5月.
- 4) 長谷川・和田・西野: プレート・ガーダーの曲げ耐力に関する新しい理論, 土木学会論文報告集, 第800号, pp.33~42, 1980年8月.
- 5) Watanabe, E.: Postbuckling Analysis of Rectangular Panels with Flanges Behaving Elasto-Plasticity, Proc. of JSCE, No.220, 1973.
- 6) 上田・松石・森・村川: 曲げを受ける横桁の最終強度に関する研究, 造船学会論文集, 第139号, 1976年, pp.111~121.
- 7) 森脇・麻野: 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, 第264号, pp.1~15, 1977年8月.
- 8) 近藤・日浦・菊地: 溶接I桁断面部材の残留応力の推定に関する研究, 土木学会論文報告集, 第288号, pp.1~11, 1979年8月.
- 9) 小松編: 鋼橋部材の形状初期不整と耐力の統計学的研究, JSSC 日本鋼構造協会誌, Vol.16, No.170, 1980年4月.
- 10) 小松・北田・宮崎: 残留応力および初期たわみを有する圧縮板の弾塑性解析, 土木学会論文報告集, 第244号, pp.1~14, 1975年12月.
- 11) 小松・北田: 初期不整を含む自由突出圧縮鋼板の極限強度特性について, 土木学会論文報告集, (投稿中).
- 12) 小松・奈良・小島: 初期不整を含む圧縮と面内曲げを受ける鋼板の弾塑性崩壊について(第2報), 土木学会第34回年講要集, 1~112, 昭和54年10月.
- 13) 中井・北田・大南: 曲線桁橋腹板の極限強度に影響を及ぼす各種パラメーターの実験調査結果, 土木学会第35回年講要集, 1~153, 昭和55年9月.

On the Ultimate Bending Strength of Plate Girder
with Initial Imperfections

By Miyoharu Sakaguchi^{*}, Hiroshi Nakai^{**},
Toshiyuki Kitada^{***} and Ryoichi Ohminami^{****}

The bending strength of a plate girder has been already studied by many researchers. However, almost all studies were based upon the simplified collapse models. It is important to inquire the ultimate strength of the plate girder as an assembly of plate elements consisting of the flange as well as the web plates.

This paper analyzes the ultimate strength of the assembled plate model by taking into the consideration of the finite displacement and elasto-plastic behaviors of each plate element (Fig.2). Moreover, the influences of the initial imperfections (residual stress and initial deflection) and local buckling of the plate elements upon the ultimate strength of plate girder without lateral buckling can rationally be considered in this analysis. Thus, the interactions between torsional buckling of the compression flange plate and bending buckling of the web plate can fairly be predicated numerically.

The aims of this paper are as follows;

- 1) To clarify the imperfections such as
 - (a) residual stress
 - (b) initial deflectionupon the ultimate bending moment of the plate girder.
- 2) To evaluate the interactions between local buckling of the compression flange plate and the web plate.

In order to estimate such behaviors, the various numerical calculation were carried out and some important informations can be obtained as shown in Fig.7~Fig.19 and Tab.1~Tab.3. Through such parametric studies, the main conclusions obtained in this paper can be summerized as follows;

- 1) The residual stress associated with the initial deflection of the web plate give the negligible effect to the ultimate strength of the plate girder.
- 2) The residual stress and the initial deflection of the compression flange are thought to be an important factor in estimating the ultimate strength of the plate girder.
- 3) The local buckling of the compression flange plate remarkably influences upon the ultimate strength of the plate girder in comparison with the web plate.

* Post Graduate Student, Department of Civil Engineering, Osaka City University.

** Professor, Department of Civil Engineering, Osaka City University.

*** Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Osaka City University.

**** Researcher, Research Laboratory, Kawasaki Heavy Industries Ltd.