

溶接組立梁の局部座屈と塑性変形能力について

LOCAL BUCKLING STRENGTH AND PLASTIC DEFORMATION OF WELDED BEAMS

森脇良一^{*}, 林 健治^{**}, 後藤茂之^{***}

By Yoshikazu MORIWAKI, Kenji HAYASHI and Shigeyuki GOTO

Lately, the ultimate state design has become of general interest concerning with steel structures. The present allowable stress design is fundamentally based on the design concept that does not occur local buckling before structural members yield. On the other hand, special attention should be paid to not only ultimate strength but plastic deformation capacity such as ductility and toughness in the ultimate state design.

Standing on the above point of view, it is the purpose of this paper to investigate deformation characteristics of structural members composed of various steels and flange width-thickness ratios. Bending tests of I-shaped welded beams varying with width-thickness ratio (R) were carried out to examine buckling strength, ultimate strength and plastic deformation capacity of them from the synthetical viewpoint.

1. まえがき

構造物に用いられる材料に要求される機械的性質としては、強度、延性（ダクティリティ）や靱性（タフネス）等があるが、一般に橋梁などの多くの構造物に用いられる鋼材に必要なとされる力学的特性としては、強度、特に許容応力度設計法によって設計する場合に最も重要なのは降伏応力や極限強度であるといつてよく、靱性や延性は構造物の安全性に関係するものの設計条件として直接陽の形で出てこない場合がほとんどである。

ところで最近建築関係の耐震設計では、激震時における建築構造物の崩壊に至るまでの変形能力が、一つの重要な指標として注目されるようになり、耐震面から変形能を重視することが鋼材の要求特性のあり方の見直しにもつながってきている^{1)~3)}。

いっぽう構造物に作用する荷重及び構造材料の強度は、いずれも統計的ばらつきを持った確率変数であり、構造物の安全性はこれらの確率変量の同時確率分布を用いて、はじめて合理的に評価されるということが認識されるようになってきた。その結果現在、土木の鋼構造の関係でも許容応力度設計法から限界状態設計法へ移行するという大きな潮流がある。

限界状態設計法においては、構造物が限界状態へ移行する現象をあらゆる方面から検討するという立場を

* 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科 (〒501-11 岐阜市柳戸 1-1)

** 工修 トピー工業(株) 第一技術研究所 (〒441 豊橋市明海町 1)

*** 岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程在学中

そこで本研究では、以上の背景を踏まえて種々の幅厚比パラメータよりなる構造部材の強度のみならず、変形性状をも明らかにしようとするものであり、構造部材としてはとりあえず41キロ鋼および60キロ級高張力鋼よりなる溶接組立I型梁を取り上げ、その耐荷力実験を行うことにより、座屈耐荷力さらにはたわみやエネルギー吸収能力などの総合的観点より検討を行い、限界状態設計法に向けて基礎となる資料を収集しようとするものである。

し、その後それぞれの長さに切断している。よってこの試験体は、載荷試験体の純曲げを受ける部分と同等の溶接条件下で製作されたものと言える。なお一般的に残留応力試験体の長さは、梁高さの2倍以上の長さであれば長尺のものとはほぼ同等の残留応力分布を有するとされているため、長さは100cmとしている。

(3) 実験方法

まず使用鋼材の機械的性質を調べるために単軸引張試験を行った。本研究は部材の変形能力も評価するというので、特に鋼材の一樣伸びも求めることにした。そのため、JIS14B試験片を各鋼材それぞれ3本ずつ製作して、ひずみゲージ及び変位計によって破断までの応力-ひずみ関係を求めた。次に残留応力を測定するため試験体のパネル中央断面上で上フランジの表裏面に計9枚、腹板両面に計8枚、また下フランジの表裏面に計5枚のゲージ長さ5mmの2軸ゲージを貼付した。残留応力の

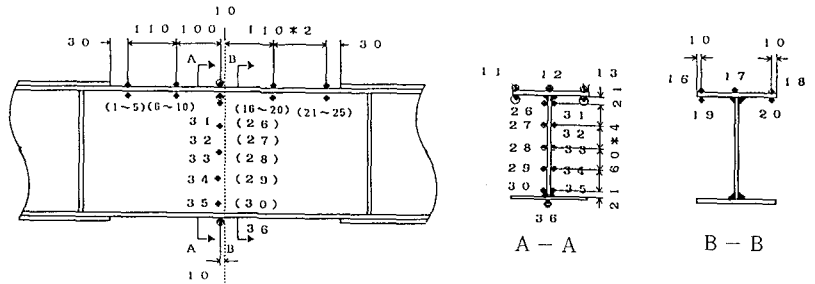


図-2 載荷試験体のひずみゲージ貼付位置

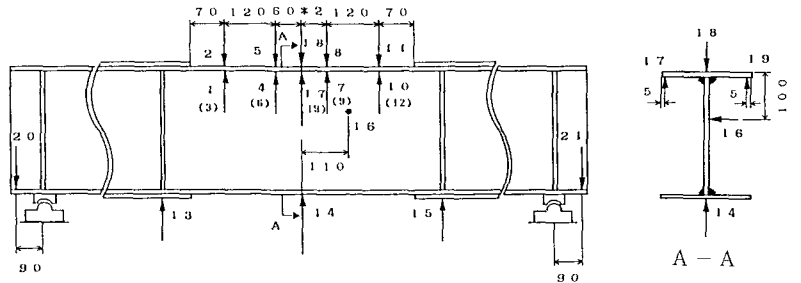


図-3 載荷試験体の変位計取付位置

の測定は、部材を切断することによって残留応力を解放し、それによって生じるひずみから計算によって求めるという切断法で行った。なお、切断は全ての試験体をほぼ2cm角に切断した。次に載荷試験体でのひずみゲージ貼付位置を図-2に示す。スパン中央でのひずみ分布を求めるとき、ねじれ座屈によって大きく変形したフランジのひずみを、弾性ゲージで精度よく求めるのは少々困難であると思われるため、スパン中央部のフランジのゲージ (No. 11~15と36) は測定容量の大きい塑性ゲージを使用し、その他の部分は弾性ゲージを使用した。弾性ゲージ、塑性ゲージ共にゲージ長さ5mmの単軸ゲージとした。また変位計取り付け位置を図-3に示す。変位計は、ストローク100mm、精度1/20mmの摺動形変位計を用いた。載荷実験用のフランジの初期たわみは、2軸方向に任意に移動可能な治具を考案し、これに精度1/100mmの変位計をセットして測定した。なお測定点は試験パネルで7列5行の系35点であった。

載荷実験は図-4に示すように、載荷フレームの架台上に試験体を設置し、門型ラーメンの梁中央に設

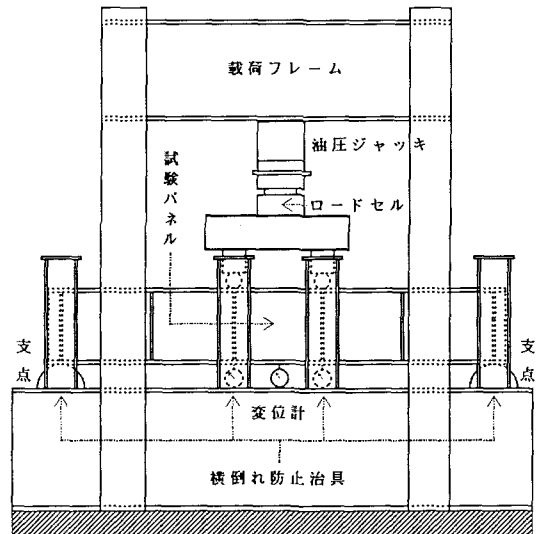


図-4 載荷装置

置された電動油圧ジャッキの反力（荷重）を載荷ビームを支持した 2 個のローラーに等分し、このローラーの反力（2 点載荷）によって着目パネルに純曲げモーメントを生じさせる方式により実施した。実験は荷重制御により行い、載荷速度は載荷点近傍のたわみが3~5mm/min. となるように制御した。荷重の検出は、油圧ジャッキと載荷ビーム間に挿入したロードセルにより行った。載荷中は、荷重、変位およびひずみをパソコンによる自動制御により連続計測するとともに、CRT上に任意点の変位やひずみに関する荷重-変位曲線および荷重-ひずみ曲線を描画し、試験の状況を判断しながら試験を実施した。

3. 実験結果および考察

(1) 材料試験および断面諸量

(a) 材料試験

材料の応力-ひずみ関係の一例を図-5に示す。60キロ級高張力鋼ともなると明確な降伏点を示さないことが多いが、今回使用したものについては、いずれもはっきりとした降伏棚を示した。また今回の実験では鋼材入手の都合上、やむをえずSM41では 3種類、SM58で 2種類の鋼材を使用している。但し同一試験体については、同一鋼種番号の鋼材で製作されていることは言うまでもない。材料試験より求めた材料の機械的性質（各 3本の平均値）を表-2に示す。この表で σ_y ：降伏応力、 σ_u ：引張強度、 ϵ_{st} ：ひずみ硬化開始ひずみ、 ϵ_u ：一様伸び、 ϵ_B ：破断伸び、 E_{st} ：ひずみ硬化係数である。

表-2 鋼材の機械的性質

鋼 種	試験片番 号	σ_y kgf/cm ²	σ_u kgf/cm ²	ϵ_{st} %	ϵ_u %	ϵ_B %	E_{st} kgf/cm ²
SM 4 1	S4-1	2979	4392	3.00	27.4	34.7	39500
	S4-2	2799	4440	2.46	29.6	37.2	116600
	S4-3	3459	4549	2.52	20.2	31.9	52300
SM 5 8	S6-1	5558	6364	2.21	13.8	22.4	42700
	S6-2	5448	6250	2.11	10.3	22.8	46400

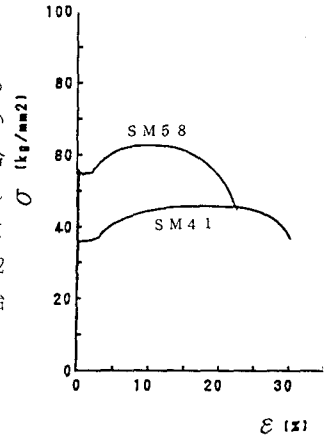


図-5 応力-ひずみ線図

(b) 断面諸量

材料試験による降伏応力と、載荷試験体の実測値から求めた試験体の断面諸量を表-3に示す。この表において、a：純曲げ区間、B：フランジ全幅、H：梁高さ、 t_c ：圧縮フランジ厚、 t_w ：

表-3 試験体の諸元

諸元	試験体	S 4 R 5	S 4 R 7	S 4 R 9	S 4 R 11	S 6 R 5	S 6 R 7	S 6 R 9	S 6 R 11
σ_y (kgf/cm ²)		2979	3459	2799	3459	5448	5558	5558	5448
σ_u (kgf/cm ²)		4392	4549	4440	4549	6250	6364	6364	6250
a (cm)		60	60	60	60	60	60	60	60
B (cm)		15.8	20.2	26.4	30.8	12.1	16.7	21.2	25.5
H (cm)		30.0	30.0	30.0	30.1	30.2	30.1	30.1	30.2
t_c (cm)		0.91	0.90	0.90	0.90	0.93	0.91	0.96	0.93
t_w (cm)		0.92	0.91	0.90	0.90	0.95	0.95	0.94	0.94
I (cm ⁴)		7801	9401	11818	13422	6520	8292	10407	11769
Z (cm ³)		520	827	787	895	435	550	691	784
Z_p (cm ³)		601	722	875	997	528	634	779	887
b/l		8.24	10.72	14.15	16.61	5.99	8.67	10.59	13.20
Rf		0.497	0.702	0.836	1.088	0.493	0.718	0.876	1.086
P_y (tf)		28.1	39.4	40.0	56.3	43.1	55.3	69.4	77.7
M_y (tf·cm)		1.56×10^3	2.17×10^3	2.20×10^3	3.10×10^3	2.37×10^3	3.04×10^3	3.81×10^3	4.27×10^3
P_p (tf)		32.4	44.7	50.6	62.2	51.5	66.4	79.1	87.5
M_p (tf·cm)		1.78×10^3	2.46×10^3	2.44×10^3	3.42×10^3	2.83×10^3	3.52×10^3	4.33×10^3	4.81×10^3
λ_T		0.531	0.734	0.861	1.119	0.534	0.761	0.917	1.125
λ_L		0.495	0.418	0.284	0.274	0.875	0.637	0.504	0.415

ウェブ厚、I：断面 2 次モーメント、Z：弾性断面係数、 Z_p ：塑性断面係数、 R_f ：フランジの幅厚比パラメータ、 M_y ：降伏モーメント、 M_p ：全塑性モーメント、 λ_T ：棒理論に基づくねじれ座屈パラメータで $\lambda_T = (r_o^2 \cdot P_{yf} / C_f)^{1/2}$ 、 $r_o = I_{po} / A_o$ 、 I_{po} ：圧縮フランジの 2 次極モーメント、 A_o ：圧縮

フランジの断面積、 C_f ：圧縮フランジのSt.Venantのねじり剛性、 λ_L ：棒理論に基づく水平座屈パラメータで $\lambda_L = (L^2 \cdot P_{yf} / B_f)^{1/2}$ 、 L ：横構間隔、 P_{yf} ：圧縮フランジの降伏軸力、 B_f ：圧縮フランジの水平曲げ剛性である。また板厚は両フランジ、腹板とも9mm一定とした。

次に座屈モードについて考えてみる。本研究での純曲げ崩壊モードは、圧縮フランジのねじれ座屈に焦点を絞っているため、水平座屈が生じる恐れがないかどうかを検討してみた。圧縮フランジがねじれ座屈と水平座屈のいずれで崩壊するかについての限界式は、森脇・藤野が提案¹²⁾しており、この限界式によって崩壊モードを検討してみた。その結果、崩壊モードはすべてねじれ座屈ということであった。

(2) 予備実験

(a) 初期たわみ

現在のところ道路橋示方書¹³⁾には自由突出フランジの初期たわみに対する明確な基準が存在しないため、本試験体の初期たわみが許容範囲以内にあるのかどうか判断できない。あえていま仮に、図-6に示す腹板とフランジの直角度基準¹³⁾をフランジの初期たわみの w に準用し、 $w = b/200$ (b :フランジ幅)という許容値を仮定する。本研究に用いられた試験体がこの許容値にはいるかどうか検討した結果、S6R7が113%、S6R9が106%およびS6R11が68%許容値を超過しているが、他の全てのものはこの基準を満足していた。

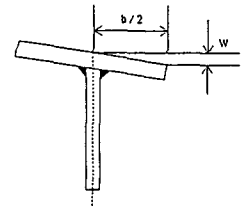


図-6 直角度の基準

(b) 残留応力

残留応力は、一般的によくみられように溶接部近傍で高い引張応力が、腹板中央付近ではほぼ一定の圧縮応力が測定された。さらに、フランジ中央の引張残留応力が、SM41では降伏応力よりも高く、SM58では降伏応力とほぼ同じであるということがわかった。いっぽう圧縮残留応力の板表裏面での平均値は、SM41では降伏応力の48～58%であり、SM58では14～20%であった。

(3) 載荷実験

(a) 梁のひずみおよびたわみ

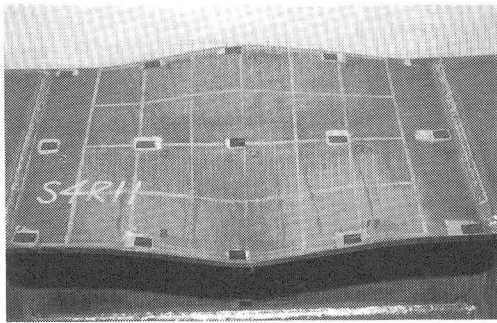
ねじれ座屈の場合、ねじれ座屈が即ねじれ崩壊と言うことになるが、本研究では耐荷余力の比較も行いたいということから、座屈開始荷重も求めてみることにした。

一般に、座屈開始荷重を推定する方法としては、 $P-\epsilon$ 法、 $P-\delta$ 法、 $P-\delta^2$ 法などがある¹⁴⁾が、本研究では $P-\delta^2$ 法を用いた。ねじれ座屈開始点と思われる点は各変位計でみられるが、その中で最も早く δ^2 が急激に増大し始めた点の荷重を P_i とした。その結果を表-4に示す。またねじれ座屈による変形状

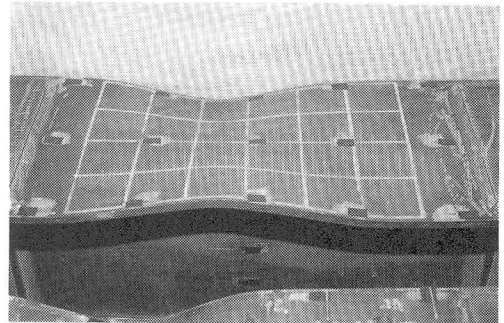
表-4 実験結果

	S4R5	S4R7	S4R9	S4R11	S6R5	S6R7	S6R9	S6R11
Rf	0.497	0.702	0.836	1.088	0.493	0.718	0.876	1.086
Py(tf)	28.1	39.4	40.0	56.3	43.1	55.3	69.4	77.7
Pi(tf)	32.6	40.2	40.2	54.8	46.0	60.0	66.8	78.2
Pu(tf)	36.8	41.9	45.9	56.3	51.5	63.1	74.7	81.9
My(tf-cm)	1.56×10^3	2.17×10^3	2.20×10^3	3.10×10^3	2.37×10^3	3.04×10^3	3.81×10^3	4.27×10^3
Mi(tf-cm)	1.79×10^3	2.21×10^3	2.21×10^3	3.01×10^3	2.53×10^3	3.30×10^3	3.67×10^3	4.30×10^3
Mu(tf-cm)	2.02×10^3	2.30×10^3	2.52×10^3	3.10×10^3	2.83×10^3	3.47×10^3	4.11×10^3	4.50×10^3
Mp(tf-cm)	1.78×10^3	2.46×10^3	2.44×10^3	3.42×10^3	2.83×10^3	3.52×10^3	4.33×10^3	4.81×10^3
δy (mm)	7.003	8.703	7.753	10.207	12.184	13.381	14.605	15.184
δu (mm)	47.882	24.340	17.510	14.420	54.800	37.608	25.084	20.220
Mu/My	1.295	1.060	1.145	1.000	1.194	1.141	1.079	1.054
Mu/MP	1.135	0.935	1.033	0.906	1.000	0.986	0.949	0.936
Mi/My	1.147	1.018	1.005	0.971	1.068	1.086	0.963	1.007
$\delta u / \delta y$	6.837	2.797	2.258	1.413	4.498	2.811	1.717	1.332
W _N	5.7489	2.3447	1.6904	1.0785	3.7259	1.9966	1.1173	0.9703

注) Py: 降伏荷重 My: 降伏モーメント δy : 降伏時のたわみ
 Pi: 座屈開始荷重 Mi: 座屈開始モーメント δu : 最大荷重時のたわみ
 Pu: 最大荷重 Mu: 最大モーメント W_N: 最大荷重時までの変形能力



S 4 R 1 1



S 6 R 1 1

写真-1 圧縮フランジの変形形状の一例 (S 4 R 1 1、S 6 R 1 1)

の一例を写真-1に示す。

荷重とスパン中央部あるいはその近傍のフランジ部のひずみの関係 $P - \varepsilon$ 曲線の一例を図-7に示す。SM41、SM58ともに、この図のように座屈開始荷重 P_i 程度より表裏面のひずみが反転する傾向を示した。また R_f の違いでみると、 R_f の値が小さくなるにつれてかなり大きな鉛直変位を受けた後、ひずみが反転する、すなわちねじれ座屈が生じるという特徴が認められた。

また荷重と梁の鉛直成分を除去した圧縮フランジ板のたわみの関係の一例を図-8に示す。圧縮フランジ板のたわみについては純曲げパネル中央断面およびその近傍のフランジ両端の変位を示しており、フランジのねじり変形が卓越することからはほぼ対称なたわみ経路となっている。

(b) 極限強度

載荷試験による結果をまとめたものを表-4に示す。また載荷試験で得られた荷重とスパン中央部の鉛直たわみの

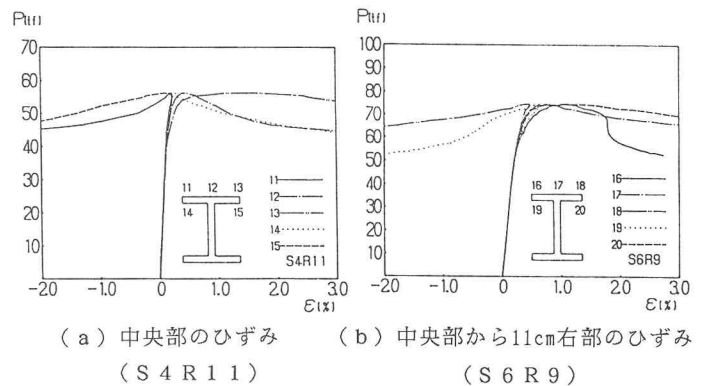


図-7 荷重-スパン中央のひずみの一例

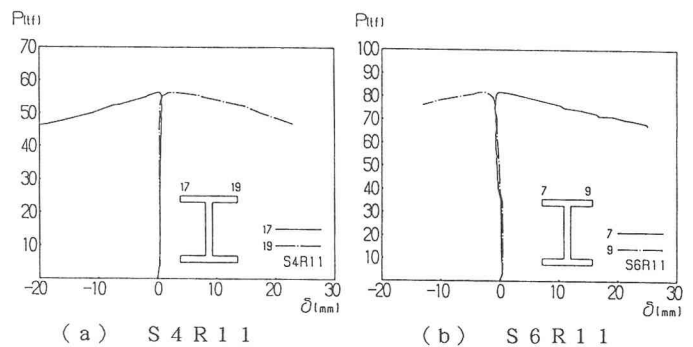


図-8 荷重-圧縮フランジのたわみの一例

関係 $P - \delta$ 曲線をそれぞれSM41とSM58でまとめたものを図-9に、 P_y 及びそのときのたわみ δ_y で各々無次元化した $P/P_y - \delta/\delta_y$ 関係を、SM41とSM58についてまとめたものを図-10に示す。図-9よりSM41、SM58ともに R_f が大きいほど極限強度は大きくなるが、極限強度までの変形量 (δ_u) は小さくなることがわかる。また P_i から P_u までの耐力余力についても、SM41の方がSM58より、大きい傾向が認められる。さらに図-10で、極限強度以降の降下曲線の勾配 (水平線と降下曲線のなす角度で構造部材のタフネスを示す) の実験値を、極限強度直後の急激な耐力低下領域を除いて、最大変形までの曲線を最小二乗法で直線近似して評価する¹⁰⁾ と、SM41についてはR5で5度、R7で10度、R9で10度、R11で20度というように R_f が

大きくなると若干勾配は大きくなるようである。いっぽう、SM58については、R5で20度、R7で30度、R9で20度、R11で30度というように、SM41にくらべて降下曲線の勾配は R_f が同一で比較すると若干急になるようであるが、 $0.5 \leq R \leq 1.1$ では20度～30度の間にあることがわかる。

M_i/M_y および M_u/M_y を縦軸にとり、幅厚比パラメータ R_f を横軸にとって実験データを整理したものを図-11に示す。この図より本研究では、フランジ、腹板とも9mm厚のものを使用しているので、腹板の拘束効果が若干大きくなったため、全般的に従来のデータより少々高目の実験値を与えていることがわかる。またこの図より全般的にSM41の方がSM58より、耐荷余力が大きい傾向が認められる。

図-12は、最大耐力の上昇度合を示す図で、縦軸に M_u/M_y および M_u/M_p をとって示したものである。ところで、SM41に使用鋼材の降伏点の違い(表-3参照)などによると考えられるかなりのばらつきが認められるので、スプライン補間によって曲線を求めている。こ

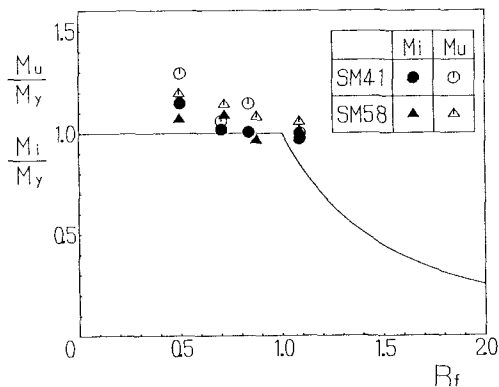


図-11 座屈曲線

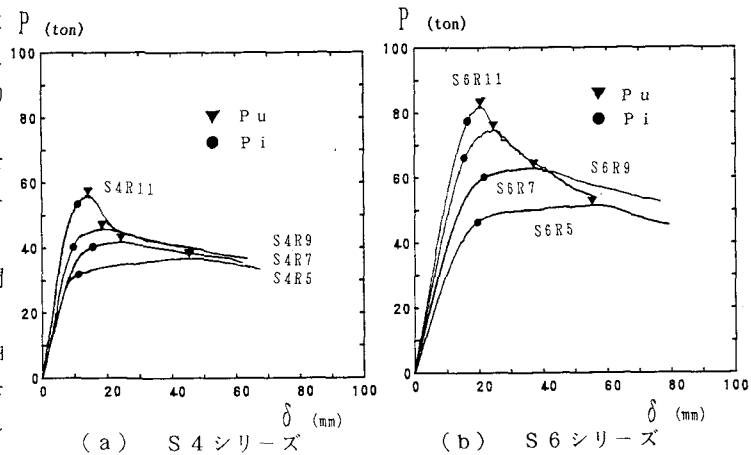


図-9 P- δ 線図

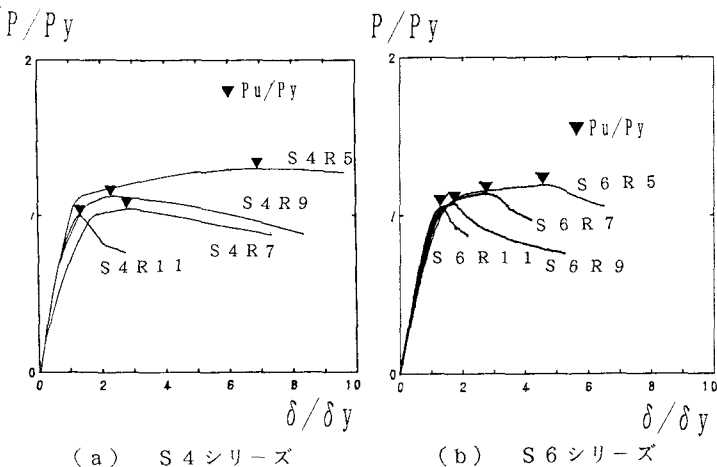


図-10 P/P_y - δ/δ_y 線図

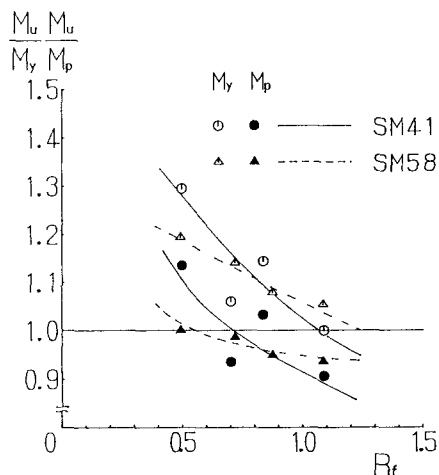


図-12 M_u/M_y 、 M_u/M_p - R_f 線図

の図で M_u/M_y と M_u/M_p の両曲線を合わせて評価することによって、以下のようなことがわかる。なお本研究での塑性断面、コンパクト断面などの断面区分はEurocode 3¹⁵⁾の考え方によっている。

まず M_u/M_y および M_u/M_p 線図をみるに、 $R_f=1.1$ ではSM58の値がSM41の値より若干大きい、 R_f が小さくなるにつれて両者は接近し、 R_f がほぼ0.8で同一となり、それより R_f が小さくなるとSM41の値がSM58の値より大きくなり、それぞれ塑性断面あるいはコンパクト断面を示す $R_f=0.5$ では M_u/M_y 値および M_u/M_p 値とも、両者の差はかなり大きくなることわかる。

ところで、これまで構成板要素の幅厚比パラメータが各鋼種で同一であるのかどうか不明であり、きわめて曖昧な状態で残されていたが、この図より一つの解答が得られたと考えてよかろう。つまりコンパクト断面を示す R_f の値がSM58では0.5であるのに対してSM41では0.7となるということ、いっぽう $R_f=0.5$ と比較するとSM58ではコンパクト断面を示すのに対し、SM41では塑性断面ということになる。つまりこの事実は塑性断面、コンパクト断面などの区分を示す幅厚比パラメータの値が、各鋼種によって変化する可能性のあることを示唆しており、少なくともSM41とSM58ではかなり異なることを示していると考えてよかろう。

さらに塑性限界幅厚比パラメータと降伏限界幅厚比パラメータについて考えてみよう。ここで塑性限界幅厚比パラメータとは断面強度が全塑性モーメントまで保証される幅厚比パラメータのことであり、降伏限界幅厚比パラメータとは断面強度が降伏モーメントまで保証される幅厚比パラメータのことである。この図より塑性限界幅厚比パラメータについては、SM41とSM58ではかなりのひらきが認められ、SM41の構成板要素の幅厚比パラメータを、SM58のそれより若干大きくとることが可能なようである。いっぽう降伏限界幅厚比パラメータについては、逆にSM58の幅厚比パラメータがSM41のそれより大きくなるようである。これらのことは構成材料の降伏点の大小関係から考えてみると、既報の結果¹⁶⁾とほぼ同様な傾向を示しているが、本研究のSM41の M_u/M_y 値および M_u/M_p 値のばらつきが大きいと言うことを勘案の上で、この結果の妥当性について早急に検討してみたいと考えている。

次にSM41の幅厚比パラメータで考えてみるに、本研究では $R_f=0.50$ 、 $R_w=0.24$ のものが塑性断面を、また $R_f=0.70$ 、 $R_w=0.25$ のものがコンパクト断面を示しており、これらの数値はEurocode 3をはじめとする各国の設計基準値とかなり食い違いをみせている。このようになった理由は、以下のように考えられる。すなわち、本研究ではフランジのねじれ座屈、それも上フランジ板のみのねじれ座屈に焦点を絞っている。そこで腹板の面外変形がフランジの座屈強度や変形状に、できるだけ影響を与えないようにするため厚肉のものとしている。そのため腹板の拘束効果が大きく、この影響によって上記の食い違いを生じたものと考えられる。

(c) ダクティリティおよびタフネス

塑性変形能力を、ここでは梁のスパン中央のたわみ δ を降伏強度時のたわみ δ_y で無次元化した δ/δ_y と吸収エネルギー W_N ($P/P_y-\delta/\delta_y$ 線図での最大荷重点までの面積を吸収エネルギーと定義する。ただしここで δ は荷重点直下のたわみ量である。)の両面より検討する。

図-13 はダクティリティを示す δ_u/δ_y を縦軸にとり横軸に R_f をとって示したもので、この図から $R_f>0.8$ ではSM41の値とSM58の値がほぼ同一の性状を示すようであるが、 $R_f<0.8$ ではSM41の値がSM58の値を次第に引き離していくという傾向が見受けられる。

図-14 はタフネス(靱性)を示す W_N を縦軸にとり、横軸に R_f をとって示したものである。この図は基本的に先の図-13のダクティリティとほぼ同様な傾向を示すことが

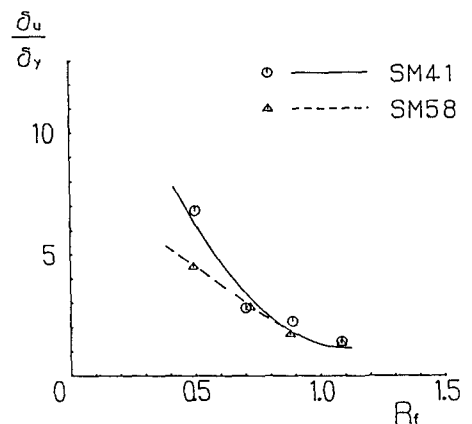


図-13 δ_u/δ_y-R_f 線図

わかる。この図より W_N つまり靱性について評価すると、 $R_f > 0.8$ では SM41 と SM58 がほぼ同一の挙動を示すのに対して、 $R_f < 0.8$ では SM41 が SM58 を漸次引き離していくようである。

これらのことから、道路橋示方書では、これまで全く問題にしていなかった構造部材としてのダクティリティ（本研究では δ_u / δ_y ）およびタフネス（本研究では W_N ）については、以下のようなことが明かとなった。すなわち全般的に両者ともほぼ同一の性状を示し、 $R_f \geq 0.8$ のセミコンパクト断面より薄肉断面領域に向けては、SM41 と SM58 の δ_u / δ_y および W_N はそれぞれ同一曲線上にあるのに対し、 $R_f < 0.8$ のセミコンパクト断面よりコンパクト断面や塑性断面領域に向けては、SM41 の δ_u / δ_y および W_N が SM58 のそれらより漸次大きくなっていくことがわかる。

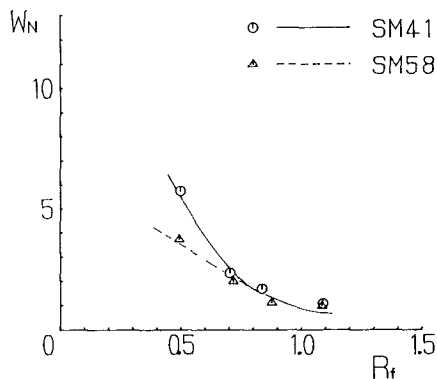


図-14 W_N - R_f 線図

(d) 総合評価

以上の結果より総合的に評価すると、

- 1) $R_f < 0.8$ のセミコンパクト断面よりコンパクト断面や塑性断面領域に向けては、 R_f が小さくなるにしたがって、 M_u / M_y 、 M_u / M_p はもとより δ_u / δ_y および W_N のいずれも、SM41 は SM58 を次第に引き離していくようである。
- 2) $R_f \geq 0.8$ のセミコンパクト断面より薄肉断面領域に向けては、 M_u / M_y 、 M_u / M_p とも、 R_f が大きくなるにしたがって漸次 SM58 の方が SM41 より大きくなる傾向が認められる。いっぽう δ_u / δ_y 、 W_N とも R_f が大きくなるにつれて、両者はほぼ同一の曲線上をたどるようである。

4. 結論

本研究では、限界状態設計法に向けての基礎資料を収集するために、それぞれ SM41 と SM58 よりなる溶接組立 I 型梁の圧縮フランジのねじれ座屈に焦点を絞って耐荷力実験を実施し、鋼種によってまた圧縮フランジの幅厚比パラメータによって、座屈強度、耐荷力のみならず、ダクティリティやタフネスのような塑性変形能力がどのような影響を受けるかを検討した。その結果を要約すると以下のとおりである。

(1) 耐力の上昇率を示す M_u / M_y および M_u / M_p と R_f の関係でみると、 $R_f = 1.1$ では SM58 の M_u / M_y および M_u / M_p 値が SM41 のそれより若干大きいようであるが、 R_f が小さくなるに連れて両者は接近し、 R_f がほぼ 0.8 で一致する。その後 R_f がさらに小さくなってセミコンパクト断面よりコンパクト断面や塑性断面領域に向かうにしたがって、SM41 の M_u / M_y および M_u / M_p 値が SM58 のそれより漸次大きくなっていくようであり、塑性断面あるいはコンパクト断面を示す $R_f = 0.5$ では SM41 と SM58 の両者の差はかなり大きくなることがわかった。

(2) 塑性断面、コンパクト断面などの区分を示す幅厚比パラメータの値が、SM41 と SM58 ではかなり異なることが明かとなった。

(3) 構成要素の降伏限界幅厚比パラメータおよび塑性限界幅厚比パラメータの値が、SM41 と SM58 とでは異なる可能性のあることが明かとなった。

(4) ダクティリティを δ_u / δ_y さらにタフネスを無次元化された $P-\delta$ 曲線の最大荷重時までの面積と定義すると、両者ともほぼ同一の性状を示し、 $R_f \geq 0.8$ のセミコンパクト断面領域より薄肉断面領域に向けては、SM41 と SM58 はダクティリティ、タフネスともそれぞれ同一の曲線上にあるのに対して、 $R_f < 0.8$ のセミコンパクト断面よりコンパクト断面および塑性断面領域へ向けは、SM41 のダクティリティおよびタフネス

がSM58のそれらを漸次引き離していくことがわかった。

(5) 無次元化された $P-\delta$ 曲線の最大荷重以後の曲線の勾配については、 $0.5 \leq R_f \leq 1.1$ ではSM41およびSM58とも降下曲線の勾配は、 R_f が大きくなると若干急になる傾向が認められた。またSM41とSM58とを比較するとSM41の方がSM58より一般的に降下曲線の勾配は緩やかであることもわかった。

本研究の実施に際して、協力いただいたトピー工業(株)の関係各位に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 加藤 勉：高張力鋼の高層建築物への利用，製鉄研究，321号，PP.1-7，1986年。
- 2) 加藤 勉：建築用鋼材の降伏比について，鉄と鋼，第74年，第6号，pp.11-21，1988年。
- 3) 高張力鋼ワーキンググループ：建築構造用60キロ高張力鋼の機械的性質の目標値について，日本鉄鋼協会構造用鋼材の機械的性質に関する調査研究委員会資料，pp.1-96，1988年3月。
- 4) 加藤 勉，福知保長：板要素の変形能力について，日本建築学会論文報告集，第147号，PP.19-25，1968年5月。
- 5) 加藤 勉，秋山 宏，帯 洋一：局部座屈を伴うH形断面部材の変形，日本建築学会論文報告集第257号，pp.49-58，1977年7月。
- 6) 鈴木敏郎，小野徹郎，金箱温春：せん断曲げをうける鉄骨H型断面梁の局部座屈挙動と塑性変形能力，日本建築学会論文報告集，第260号，PP.91-98，1977年10月。
- 7) 牧野 稔，松井千秋，三谷 勲：H形鋼柱の局部座屈後の変形性状(その1～その4)，日本建築学会論文報告集，第281号，PP.71-80，1979年7月。第286号，PP.23-28，1979年12月。第288号，PP.49-58，1980年2月。第290号，PP.45-55，1980年4月。
- 8) 鈴木敏郎，小野徹郎：圧縮と曲げを受ける鉄骨H形断面柱の塑性変形能力に関する研究(その1)，日本建築学会論文報告集，第292号，PP.23-29，1980年6月。
- 9) 桑村 仁：降伏比の異なる高張力鋼を用いたH形断面短柱の終局強度と変形能力について，構造工学論文集，Vol.34B，pp.75-84，1988年3月。
- 10) 與田香二，今井克彦，黒羽啓明，小川厚治：幅厚比の大きい溶接H形鋼ばりの曲げ変形挙動，日本建築学会構造系論文報告集，第397号，pp.60-72，1989年3月。
- 11) 豊田政男，小井 衛，萩原行人，瀬戸厚司：骨組溶接構造体の変形能に及ぼす鋼材変形特性の影響，溶接学会論文集，第8巻，第1号，pp.112-119，1990年。
- 12) 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，第264号，PP.1-15，1977年8月。
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、丸善、1990年。
- 14) 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実験的研究，土木学会論文報告集，第249号，1976年5月。
- 15) Eurocode No.3, Design of Steel Structures, Draft, 1990.
- 16) 森脇良一：降伏比の異なる60キロ級高張力鋼による溶接組立梁の極限強度と変形性能について，構造工学論文集，Vol.37A，PP.155-166，1991年3月。

(1991年9月30日 受付)