

トラスの溶接化について

東京大学工学部 奥村敏恵

同 上 西脇威夫

はしがき

橋梁の経済的建設は橋梁工学の重要な一つの課題である。一方最近交通車両の重量や数量が飛躍的に増大し、このため橋梁の耐久期間における活荷重の大きさおよび頻度の増大は世界各国共通の問題としてとりあげられた。

これに対処するため橋梁の死荷重を軽減することが必要となつてきた。このような橋梁特に上部構造の軽量化をはかるため (1)橋梁の構造をより合理的にする。 格子構造、鋼床板等の応用。 (2)より高度な材料を使用する。 (3)材料の結合法を合理化する。 (4)構造物にプレストレスを与える。などの工夫がなされてきた。

この内(3)に示す結合法すなわち溶接接合の応用は橋梁構造の最近の著しい進歩に大きな貢献をなしているといえる。

特にここ数年の間のわが国における溶接工学の著しい進歩にともなつて、各種形式の橋梁に溶接により接合および綴り合わされた部材が採用され、従来慣用されたリベット工法によるものより約15～25%の重量節約を果している。すぐれた溶接構造細部に要求される条件として、(1)できるだけ構造を単純化すること、(2)力の流れに適合できるようにすることなどがあげられるが、このような条件を満足するように努力すれば、従来のリベット工法によつたものと違つた無駄のないものができる。ただしこの場合理論または実験によつて従来あいまいにすごされたものを明確にする必要がある。このような努力が積み重ねられることによつて、更に将来の発展が期待される現状にある。

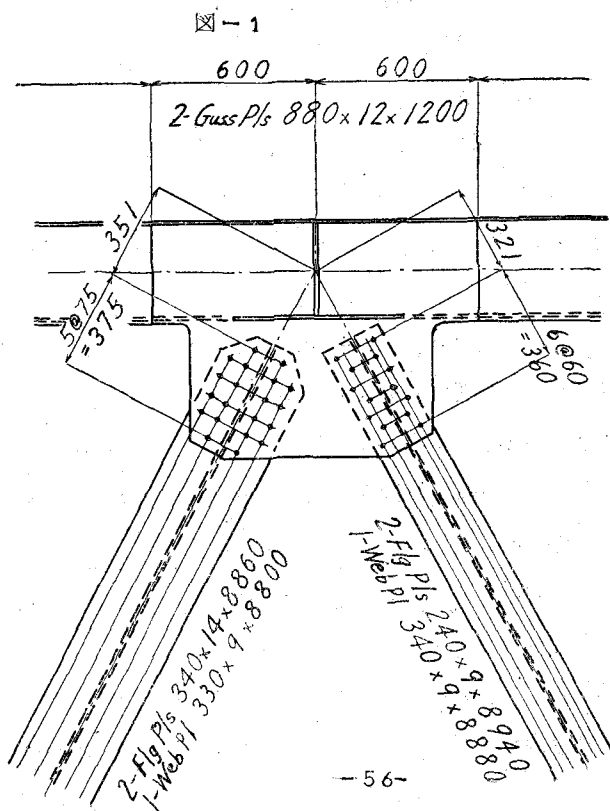
溶接構造の特徴は板構造にあるため、プレートガーダ形式には比較的早くその採用を見た。トラス橋の部材は多くの場合型钢をリベットで綴り合わせたものを用いていたが、座屈、疲労などの現象が幾分明確にされるにおよんで溶接によつて綴り合わせた部材を使用する溶接トラスの実現を見るに到つた。この場合圧縮材は箱形断面、引張材はI形断面を採用しており、格点においてはガセットプレートを介してリベットあるいはボルト結合をおこない、溶接による収縮応力の影響を避けるように努力している。形式は殆んどワーレントラスであり、垂直材を用いるものと、用いないものとある。垂直材を用いる場合特に支点近くの垂直材の集まる格点を通してかなりの二次応力が生ずるから、設計上ではできるだけ垂直材のないのが望ましいようである。

現在なお研究すべき問題として、格点構造の明確化、溶接によつて綴り合わされた部材の座屈などの問題があり、特に高張力鋼の利用などの問題がある。筆者は特に高張力鋼によつてつくられた箱形断面の溶接部材の座屈の研究をおこない、なお格点構造についても現在実験を進行中である。ここでは箱形断面の座屈について述べたいと思う。

我が国の溶接トラスの現情

従来ガセットプレート、レーシング、バー、タイプレートなどのとりつけに溶接が採用されていたが、所謂溶接トラスとして本格的な形体を見るようになったのはここ2、3年の間である。

我が国の道路橋の実情を示すと、表-1に示すようであり、単純、連続、の溶接ワーレントラスが本格的につくられるようになった。共通した特徴は垂直材を用いており、箱形断面の端部はしぼつた形にしてガセットにリベット結合している。しかし最近部材のウェブの端部をくし形にあなをあけて結合するような形式もあらわれている。なお図-1に示すように上下弦材のウェブとガセットを一枚にして突合溶接をし、隅角部をまるめ、板を重ねることを避け、すべて一枚板でとおすなど疲労に対する考慮をはらっている。しかし多くの附属物



がつく場合にはなお工夫を要する面がのこされているようである。

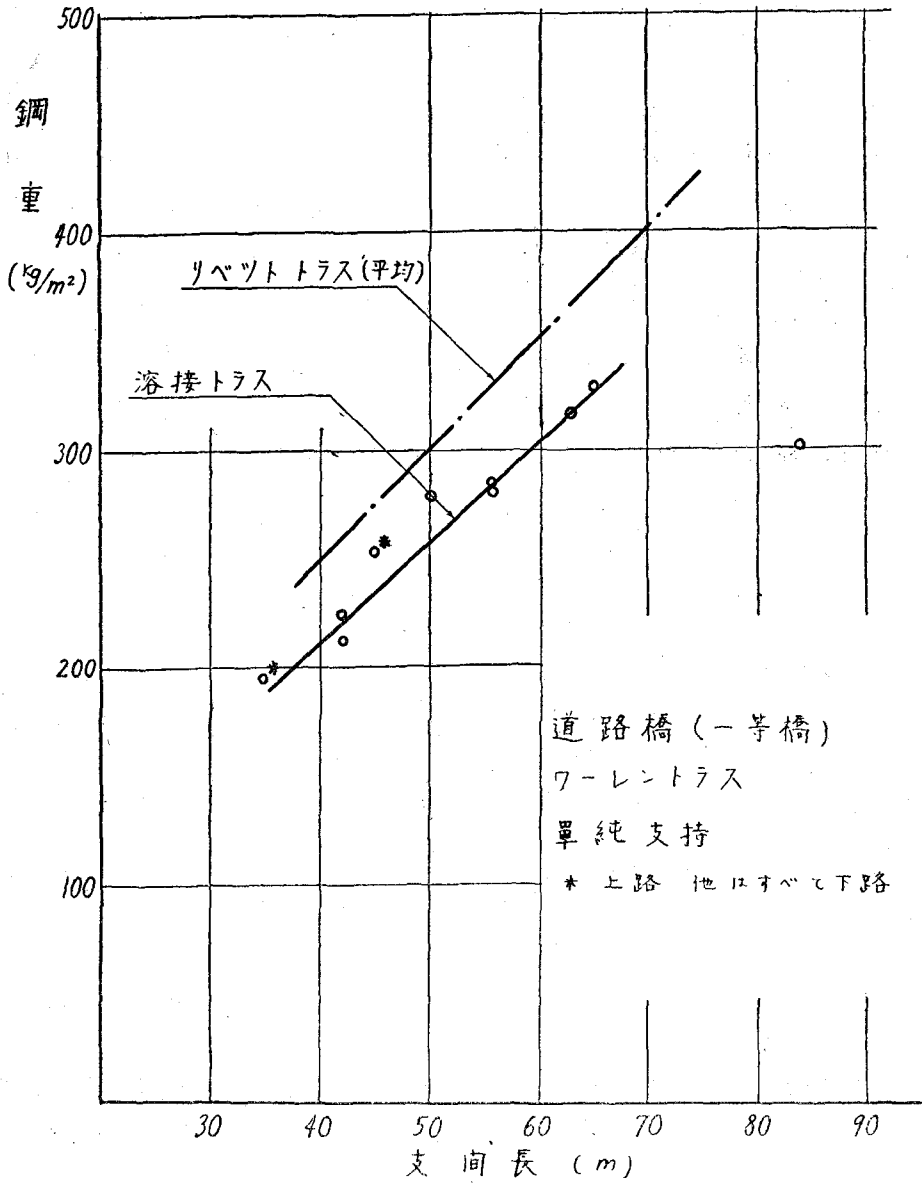
溶 接 ト ラ ス 橋

年度	橋 名	所在県	支 間 (m)	巾 員 (m)	鋼重 (Kg/m^2)	備 考
三 十 二 年 度	千 歳	茨 城	65	7.0	3 2 9	I形断面のみ溶接部材
	跡津川	岐 阜	56	6.0	2 8 4	
	吉野川	高 知	56	6.0	2 8 0	
	庄 司	千 葉	34.4	6.0	1 9 8	
三 十 三 年 度	物 言	秋 田	45	5.5	3 2 3	斜橋
	金 山	福 島	36+45+36	7.0	2 1 0	3 径間連続
	坂 東	群 馬	63+84+63	8.0	2 6 0	3 径間連続
	穂 刈	長 野	50	7.0	2 8 0	上路
	平	富 山	63	5.5	3 2 0	
	昭 和	新 潟	42	5.5	2 1 2	
	宝 島	新 潟	42	5.5	2 2 5	
	笠 置	京 都	62.2+74.6+62.2	5.5	2 8 8	3 径間連続
	岩 崎	宮 崎	44.5	6.0	2 5 5	
	庵の前	奈 良	84	5.5	3 0 3	

なおこれらの設計資料より支間長に対する鋼重 (Kg/m^2) を示すと、図-2に示すものとなる。上路であつたり、斜橋であつたり、幅員が大となると幾分鋼重をますようであるが、鎖線で示すリベットトラスの平均値と比較すると約15%の材料の節約を示す。

比較のため溶接構造が高度に採用されている各種のプレートガーダ橋(桁橋)の鋼重を図-3⁽¹⁾に示す。支間長40mをこすと、設計上の色々な工夫をこらしても溶接トラス橋が有利となることが言える。なお横河橋梁芝浦工場で行つた各種溶接鋼橋の直接工数の比較⁽¹⁾によると、普通ガーダーを100とすると、トラス117、箱桁132、鋼床版桁133、合成桁124となつてゐる。これより見てわかるように溶接トラスの工数は普通のプレートガーダに比しはほとんど著しい増加を示さない。このような点より支間が40m〜80mになると、箱桁橋などより総工費を安くすることができる。なおこれらの製作費は同一形状のものが多いこと、溶接量が少く、自動溶接し得る比率が高いこと、変形の処理が容易なること等で減少することができる。トラスのような構造ではこれらに対する工夫

図-2

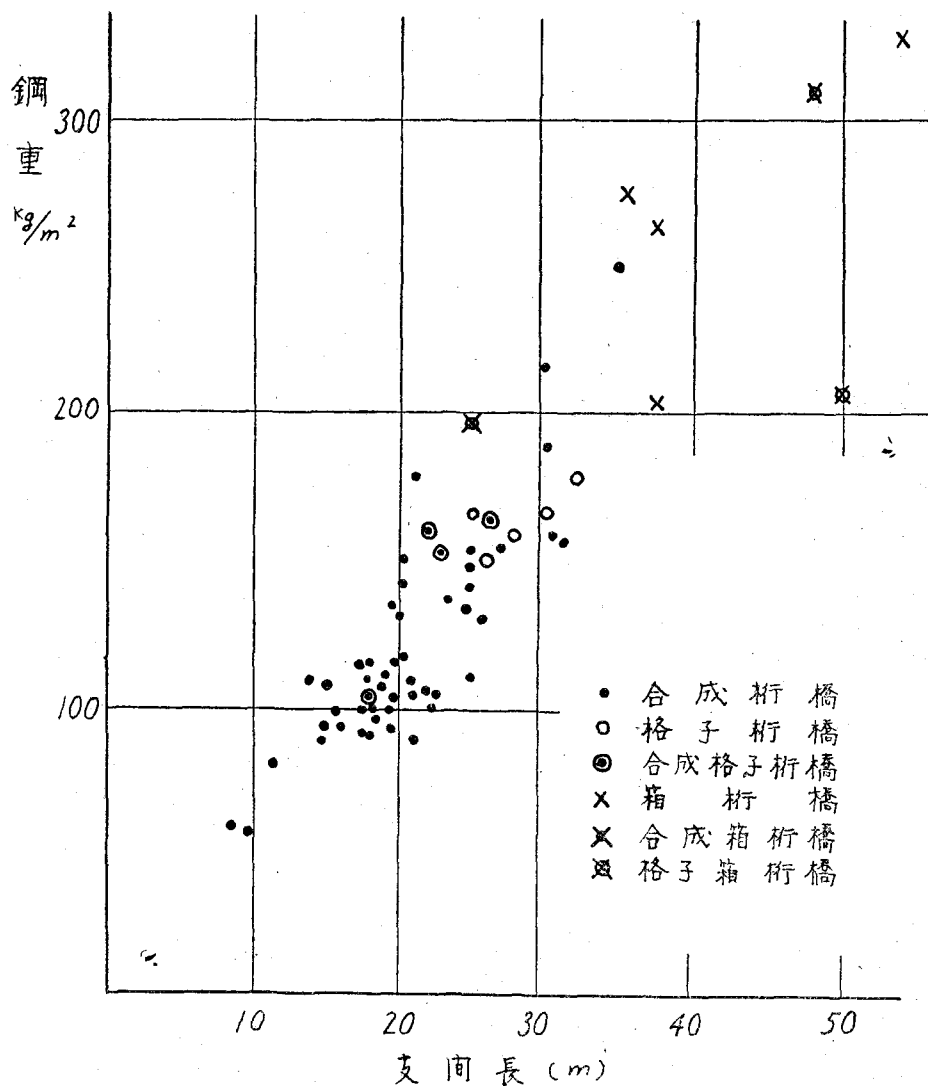


は比較的容易であつて、鋼重の節約のみならず、総工費の節約を期待することができる。

格点構造に対する考慮

格点構造に対する考慮は力の流れがもつとも円滑になるように工夫することであつて、こ

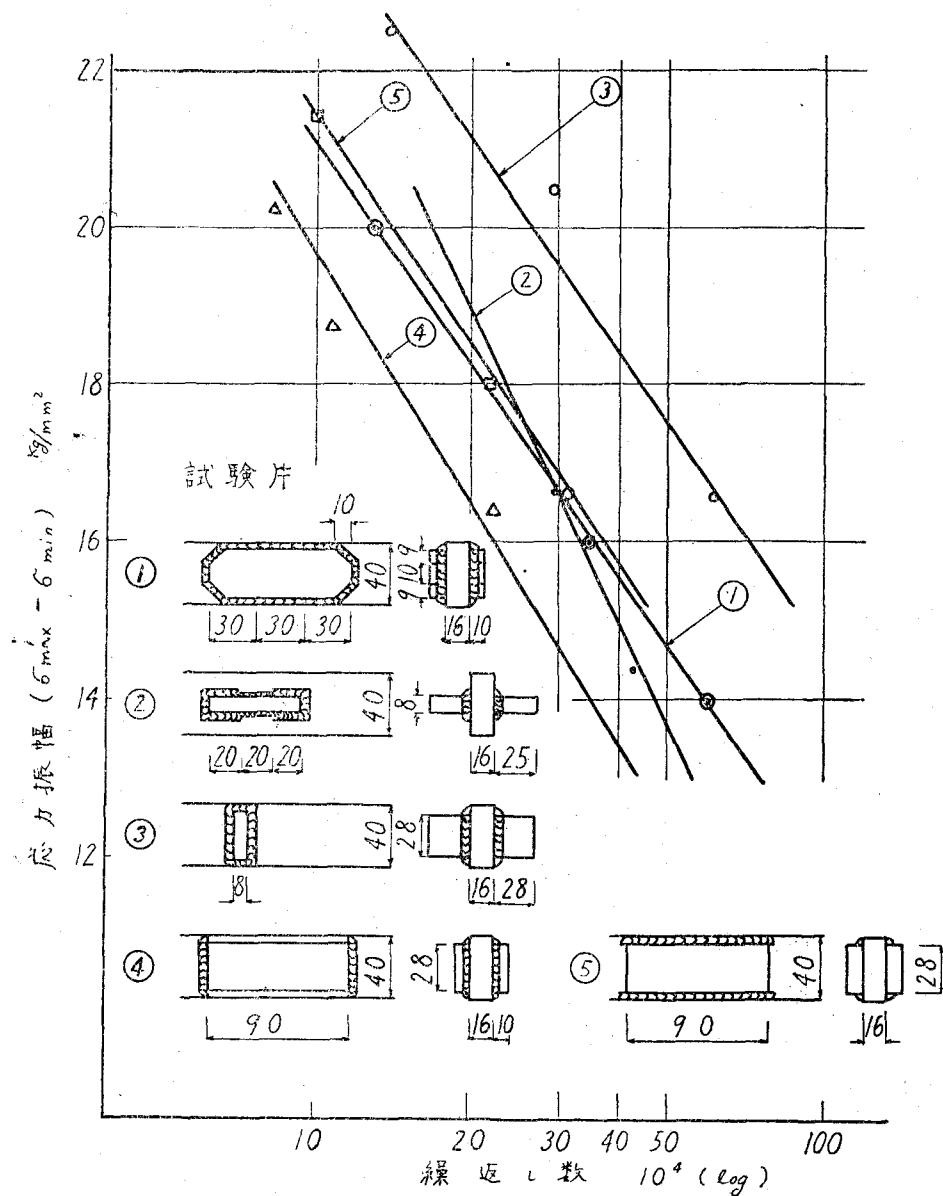
図-3



れによつて疲労値を増すことができる。プレートガーダの局部とちがつて疲労による核が発生するとその影響は重大であるから注意を必要とする。このためガセットプレートを含み部材を構成する各部の板は一枚とし、突合溶接を用いて板厚を要求に応ずるように変える。不連続点を避け、附属物を溶接したときはその終端部は部材片の内部におかないようにするな

どの注意を必要とする。格点構造としての疲労試験は行っていないが、各種材片を隅肉溶接した部材の疲労試験値を示す図-4はその基本的な考え方を示すものと考えられる。この結果は応力集中の原因となる隅肉端部はできるだけ断面中央部より、側部においた方が有利であることを示す。疲労破断面を見ると明らかにこの応力集中の発生する隅肉端部に疲労の核

図-4



を生じ、荷重の繰返しに従つて次第に増大し、しかも隅肉溶接の趾の断面に沿つて発達し、その線を含み板面にはほぼ直角な断面で破壊している。なお一部は疲労による破断、他は急激な破壊の脆性破断を示す。この核が断面内部で発生するものは脆性破断部が多く、全断面を十分有効に利用できない破壊するため、その破断強度が低下するのである。なおこれらの破断後の試験片の標点間隔の伸びは耐久疲労回数（同一荷重に対する）と図-5に示すような関係を与える。このことは構造物が比較的柔であることが、耐久疲労回数を増す一つの要素となつてゐることを示すものである。従つて格点構造に対してはできるだけ単純な、あまり剛度を与えない構造が疲労の面からは望ましい。

圧縮材、特に高張力鋼を使用した箱形断面の座屈に関する実験

溶接トラスでは重要な問題の一つとして圧縮材の座屈があげられる。溶接で綴り合わされた部材（溶接部材）が、リベットで綴り合わされた部材と異なる点は、溶接部材では綴り合わせの材片を用いないで、直接に個々の部材片を隅肉溶接で結合していることである。従つて各材片の結合部分の撓み変形に対する剛性は、リベット部材に比較すると、著しく低下すると考えねばならない。リベット橋の示方書で定めている圧縮部材の板厚の制限の条項は、この綴り合わせの材片

で示される結合線が、座屈を生ずる瞬間でも、常に一直線を保つとする仮定の下で定めている。²⁾つまり部材を構成するすべての材片部分が、横として局部的に座屈する値を、この結合線が一直線を保つものとして計算する。この局部的座屈値と圧縮部材の全体としてこの座屈値を等しくおく条件より板厚を安全且経済的に定めようとし

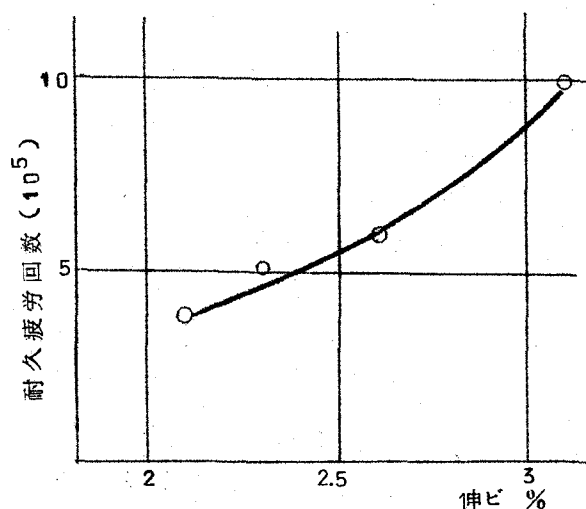


図-5 拘束型試験片の剛度と耐久疲労回数

ている訳である。綴り合わせの材片の存在はこの条件を確保するに十分であるが、溶接部材では必ずしもこの条件をそのまま適用してよいとはいえない。従つて溶接圧縮材の設計にあつて、リベット部材の条件をそのまま適用すると、局部座屈が、全体座屈に先行して、十分に断面積を利用できない恐れがある。溶接部材の板厚の制限にはこの立場に立つて再検討する必要がある。

なお橋梁部材としては、細長比の低い値の圧縮材がより多く使用されるから、弾性限度をこえて、塑性領域に入つた場合の塑性座屈の範囲内でも、安全且有効に部材を働かせるためには上記の仮定そのものの影響が強調されてあらわれてくることが予想される。このため全体座屈で安全である部材について変形が塑性領域に入つた場合、各部分の局部座屈が如何なる現象をとまうかを実験により観測することにした。同時に塑性領域の変形を支配する条件をみつけ出すことにも実験の目標をおいた。なお溶接部材のも一つの特徴として、溶接による残留応力の影響が考えられる。これは弾性係数 E と座屈係数 T の比に直接影響を与え、この結果局部座屈値を不利にすると考えられる。

実験は特に高張力鋼材 $W e l - T e n 5 0$ を使用して実施することにした。高張力鋼材を使用する場合は $S M 4 1$ で代表される普通構造用鋼材を使用する場合に比較して、溶接による冶金的な影響が危険側に強調される他に、破壊強さ、降伏点が高い割に、弾性係数は変わらない。また設計にあつては、細長比の低い場合には許容応力も高くなるため、局部座屈に対する安全の保証もより厳密に考えねばならない。

高張力鋼材を使用してより経済的に溶接トラス橋を設計するためには、これらの事象を明確にする必要があり、この観点より我が国の現情に則して十分安全に溶接圧縮材を設計する基本的資料を求めることを実験の目標においた。

実験は予備実験と本実験において行つた。予備実験では対称 I 断面の小型試験体を細長比を種々変えて製作し、その座屈性状を調査し、主として座屈係数を求めることにした。本実験は実際に用いられる箱形断面の圧縮材の約 $1/2$ 程度の試験体をつくり、主として局部座屈の現象を観測した。

(a) 小型試験体による実験

実験に先立つて使用材料の応力歪特性を抵抗線歪計を用いて測定し、直線限界 25.2

Kg/mm^2 、弾性係数 $E = 2.07 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ を得た。これより直線限界に相当する細長比 $\lambda/r = 90$ となることがわかつた。実験は $\lambda/r = 40, 60, 80, 100$ となるような I 形断面の圧縮材を設計し、座屈試験を行つた。試験に使用した主要寸法および

図-6

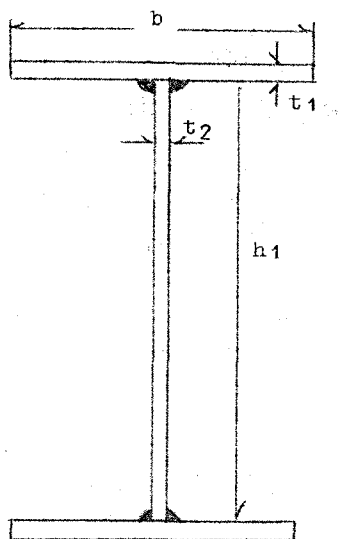


図-7

支持方法

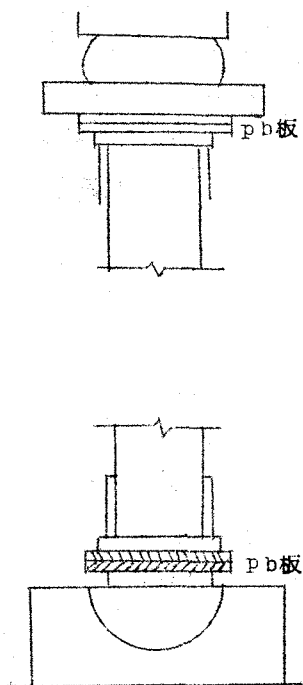


表-2

試験体番号	b (mm)	h_1 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)
1	80	80	3.2	3.2
2	60	60	3.2	3.2
3	50	60	3.2	3.2
4	40	60	3.2	3.2

形状は表-2および図-6に示す。試験片は各番号夫々2個製作された。なお試験体の組立は低水素系の溶接棒により、端部はフランジ部分に長さ6~8mmの核を補強に加え、端部を

溶接した応力の均一化をはかつた。試験体の支持方法は実験結果に鋭敏に影響するものであり、そのための考慮は相当に困難をきわめるが、この実験では図-7に示すような支持形式のもとで試験を行つた。完全中心圧縮に考えるように、定規その他で支承の位置を決定する。なお最初に適当な荷重をのせて、上下フランジにはつた歪計の読みの差に著しい偏差のないことを確認した。

座屈値 σ_k が l/r と直線関係にあると仮定し、実験値を整理すると、

$$\sigma_k = 4750 - 24.8 (l/r) : \text{Kg/cm}^2 \dots \dots \dots (1)$$

となる。この値を用いて座屈係数 T と弾性係数 E との比を示すと、

$$\frac{T}{E} = \frac{\sigma_k}{\pi^2 E} \frac{(4750 - \sigma_k)^2}{(24.8)^2} \dots \dots \dots (2)$$

今圧縮材の基本の許容応力を 1700 Kg/cm^2 にとるものとする、局部座屈に対する板厚の制限は⁽²⁾

$$h/t \leq 36$$

但し h は板の巾、 t は板の厚さを示す。

で与えられる。なお(1)より $l/r = 50$ 附近で降伏点に達することがいえる。

(b) 大型試験体による実験

(a)では主として座屈係数を求める準備として単純な断面を採用したが、実際に使用されるのは箱形断面で、しかも材の降伏点附近、すなわち $l/r = 50$ 以下の場合が多い。このため表-3、図-8(a) (b)に示すような箱形断面の圧縮材を設計し、圧縮試験を行つた。

表-3

試験体番号	断面積 A (cm^2)	最小回転半径 r (cm)	座屈長 l (cm)	l/r	断面形状
1	51.6	8.1152	406.0	50	図-8(a)
2	"	"	"	"	"
3	"	"	324.0	40	"
4	"	"	"	"	"
5	120	13.722	412.0	30	図-8(b)

なお図-8に示すよう $l/r = 40, 50$ に対しては $h/t = 34$ $l/r = 30$ に対しては $h/t = 40$ とした。これは(a)で得た限界 $h/t = 36$ の値に近いが、これより大きい値を示す。

実験はすべて局部座屈によつてその終局強度が支配された。この値は図-9に示す。この値は(a)より得られた値より低い値を示し、特に $l/r=30$ 、 $h/t=40$ では局部座屈のため座屈値が著しく低下することを示した。なお局部座屈に際し、各材片の結合は殆んど直線を保ち、設計の基準となつた考え方の正しいことを保証した。また $l/r=50$ で材の降伏点近い値となることも示された。

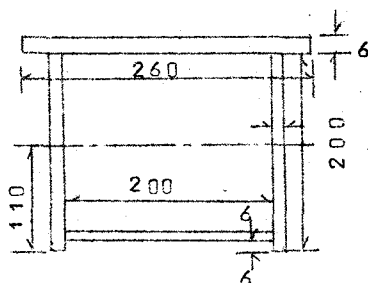


図-8(a)

単位 m.m.

(c) まとめ

この実験結果に基いて総合的考察を下すと次のようである。

- (1) 高張力鋼を使用した場合 Euler 荷重の適用される細長比の限界は $l/r=90$ である。
- (2) 予備実験に基いて部材の板厚の制限を求めると

$$h/t \leq 36$$

である。しかし降伏点に達する

l/r の値を採用するとき局部座屈が強調される傾向にあるので、実際の設計にあつては安全のため $h/t \leq 30$ くらいが望ましい。

- (3) 局部座屈の場合各材片の結合線にほぼ直線を保ち、溶接部材に対しても、計算の基準になつた仮定が されることが実証された。
- (4) 細長比 $l/r=50$ の附近で材の降伏点に達する。従つて $l/r=40 \sim 50$ 位の設計が最も有効な断面の利用となる。これ以下の l/r では必ずしも経済的とはいえない。局部座屈に対し考慮をほらえば $l/r=50$ が最も経済的断面といえる。これにより

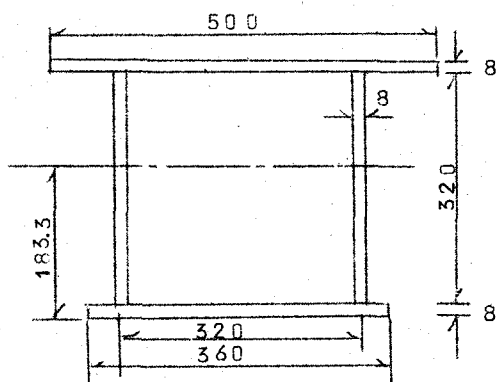
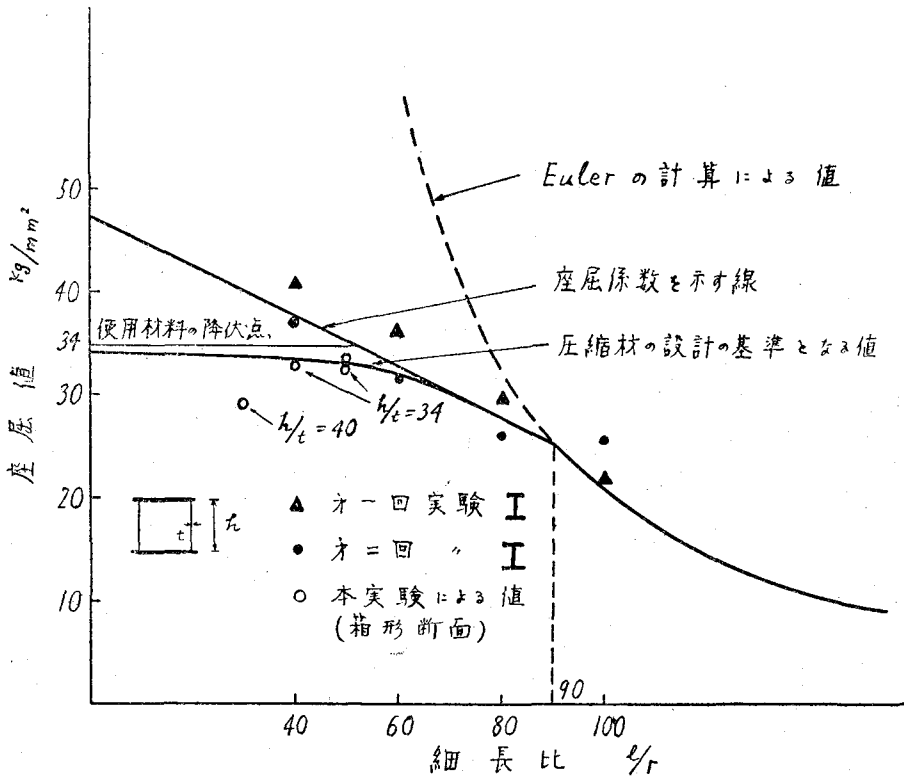


図-8(b)

図-9



S M 4 1 に比し降伏点の比だけ軽くできる。

(5) 設計の一つの基準として、図-9 に示す値が考えられる。

参考文献 (1) 田中五郎、住谷秀夫、中山義昭：新形式橋梁の経済的考察について、

第4回日本道路会議論文集

(2) 奥村敏恵：曲げモーメントと軸圧力を受ける部材の安定、土木学

会論文集 第33号