

本州四国連絡橋公団 正員 ○ 吉 田 好 孝
 本州四国連絡橋公団 正員 北 川 信
 石川島播磨重工業 正員 宇野 名右衛門

1. 序 この実験では補剛板のリブ剛度、応力勾配、フランジとウェブ(補剛板)の相対強度の差などが、溶接箱型部材の座屈強度および極限耐力に及ぼす影響を実験的に確認することを目的としている。供試体は4組8体の座屈試験用供試体と1体の残留応力測定用供試体より成り、座屈実験は広島大学工学部船舶工学科大型強度試験室の横型試験機により行なった。

2. 座屈実験 実験に使用した供試体の形状寸法および鋼材の降伏応力は以下の通りである。表-1に示すように、応力勾配は三角形分布($\varphi = 1.0$)と台形分布($\varphi = 0.5$)の2種類を考えた。

座屈パラメータは

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2) \cdot \sigma_y}{\pi^2 E \lambda}}$$

$$\text{但し } R = \frac{8.4 n^2}{2.1 - \varphi/n}$$

σ_y : 降伏応力度

一般に横方向補剛材は剛性が充分高く、座屈時に node となり得るので、 λ の場合についてのリブ剛度の式も以下に示す。

$$\text{リブ剛度 } D = \rho \cdot 4\alpha^2 n \left(\frac{t_0}{t}\right)^2 (1 + n\delta) - \frac{(\alpha^2 + 1)^2}{n}, \quad \rho = \frac{2.1 - 0.9\varphi}{2.1 - \varphi/n}, \quad \alpha = \frac{a}{b} = 2.0, \quad \delta = \frac{F}{b \cdot t}$$

供試体の軸方向圧縮力と曲げモーメントを与えるには、供試体に偏心圧縮力を加える方法をとった。試験機の出力は、試験機に設置されている水圧計により制御し、実荷重は試験機と供試体の間に置かれたロードセルにより求めた。全供試体について、変位の増加に対して荷重が増加しなくなる極限荷重まで荷重を載荷した。

応力勾配は、フランジの座屈荷重に近く、かつ全断面が弾性範囲内にある場合で左右のウェブに若干の差が生じたが、降伏荷重の算出には、この平均応力を用いた。

3. 実験結果および考察 フランジの座屈応力は、フランジの表裏に貼られた歪ゲージによる荷重-歪曲線が乱れるところと判断し、極限荷重を歪曲線に対して荷重が増加しなくなるころと考えた。ウェブの座屈応力はあまり明確な形では現れず、フランジ座屈の後にウェブの座屈が起こり、これが極限荷重になったとも考えられる。

実験の結果、次の結論が得られた。

1). 供試体の極限強度は、フランジ座屈後に起こったウェブの座屈によって決定されたものであると考えれば、ウェブのリブ剛度はいずれの条件においてもよく充分である。

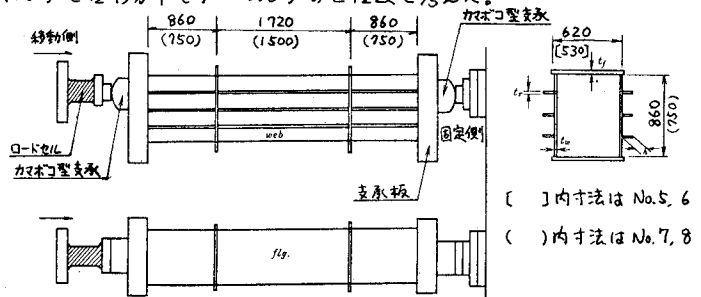


図-1 供試体形状

表-1 実験系列

	応力勾配係数 φ	座屈パラメータ R		ウェブのリブ剛度
		フランジ	ウェブ	
No. 1	0.5	0.7	0.75	8
No. 2	0.5	0.7	0.75	26
No. 3	1.0	0.7	0.75	8
No. 4	1.0	0.7	0.75	26
No. 5	0.5	0.6	0.75	8
No. 6	0.5	0.6	0.75	26
No. 7	0.5	0.7	0.6	8
No. 8	0.5	0.7	0.6	26

表-2 使用鋼材

使用箇所	鋼種	板厚	降伏応力
縦リブ	SM50A	11.7 mm	37.2 %
フランジ	SM50A	18.8	37.1
ウェブ	SM41A	6.2	35.9
フランジ	SM41A	6.0	36.2
ウェブ	SM41A	6.1	34.1
フランジ	SM41A	6.2	31.1

2). リブ剛度を2倍に上げることによる若干の効果は認められる。それは曲げモーメントが支配的荷重状態 (No.3とNo.4) において顕著である。

3). 現行示方書によれば、純圧縮の場合、座屈パラメータが0.7以下であれば降伏荷重以下で座屈は生じないとみなせるが、本実験ではフランジは降伏荷重以下の荷重で座屈した。(降伏荷重の93%~98%) フランジ中の狭い供試体であるNo.5およびNo.6が比較的低い荷重で座屈している(94%および93%)ことから、溶接による圧縮残留応力の影響が大きいと思われる。また、偏心荷重載荷により、フランジに曲げ変形が生じ、耐力力が低下したことも一因であろう。

4). リブの降伏応力度がウェブの降伏応力度よりやや高かったこともあり、リブ内の溶接残留応力が供試体の座屈および極限耐力に及ぼした影響は少なかつたように思われる。最終変形時にリブが座屈していたのは供試体No.1のみであった。

5). ウェブの支配的な座屈モードはNo.1,2がリブ間の部分座屈, No.3,5,6,7,8が補剛板の全体座屈, No.4が部分座屈と全体座屈の複合した形であった。フランジの座屈モードは、軸方向には数波形、軸面内方向は10波形であった。

6). 供試体の極限強度は、全てのケースでフランジおよびウェブの降伏荷重を越えており、部材としては十分な強度を有している。

4. 溶接残留応力 (軸方向応力)

1) フランジ

ウェブ直上 (外面) 14.6 ~ 18.4 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
その他 (内外面) -0.9 ~ -3.0 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

2) ウェブ

ウェブとフランジの継手部近傍 (内外面) 28.8 ~ 32.9 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
リブの真裏 19.2 ~ 27.1 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
リブ中肉部 (内外面) 12.4 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ 以下

3) リブ

隅内溶接部近傍 6.2 ~ 23.3 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
リブ中央 -18.6 ~ -9.0 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

参考文献 1). 本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書 昭和52年3月

2). 宇佐美勉, 福本勝士: 圧縮力と曲げモーメントを受ける補剛材つき板の座屈強度と設計, 土木学会論文報告集, 第272号 1976-3.

表-3 降伏荷重, 座屈荷重および極限荷重

	① P_{wy}	② P_{fy}	③ P_{fb}	④ P_{cr}	⑤ $\frac{P_{fb}}{P_{fy}}$	⑥ $\frac{P_{cr}}{P_{fy}}$	⑦-⑧	⑨
No.1	1059 [†]	1041 [†]	1012 [†]	1090 [†]	0.972	1.047	0.015	1.05
No.2	1121	1101	1042	1139	0.946	1.035	0.089	1.03
No.3	707	698	650	714	0.931	1.023	0.092	1.02
No.4	729	718	702	756	0.978	1.053	0.075	1.05
No.5	912	926	868	951	0.937	1.027	0.090	1.03
No.6	971	986	917	1027	0.930	1.042	0.112	1.04
No.7	883	949	924	983	0.974	1.036	0.062	1.04
No.8	906	973	956	1022	0.983	1.050	0.067	1.05

P_{wy} : ウェブの降伏荷重

P_{fb} : フランジの座屈荷重

P_{fy} : フランジの降伏荷重

P_{cr} : 極限荷重

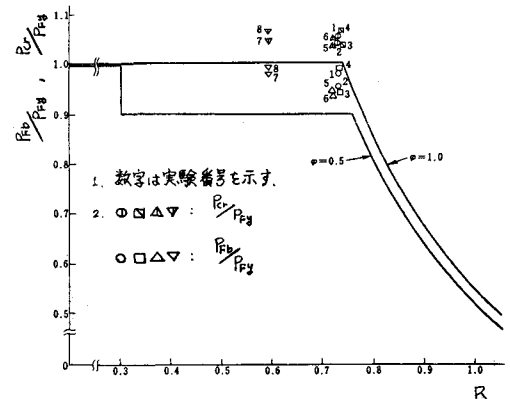


図-2 設計基準の基本強度曲線と実験値との比較

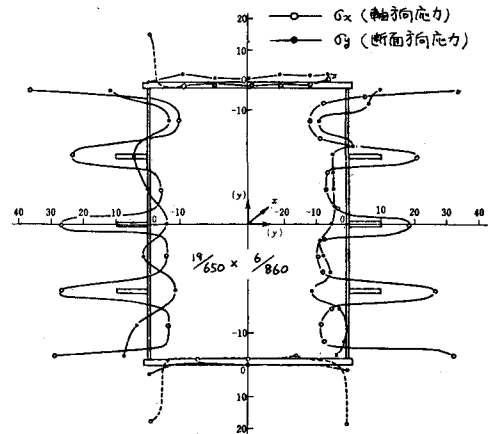


図-3 溶接残留応力の分布 (単位: $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$)