

京都大学

正員 丹羽義次

大阪市役所 正員 加藤隆夫

松尾橋梁

正員 上田浩太

京都大学 ○正員 渡辺英一

1. はじめに

本研究は多補剛材を有する鋼箱桁腹板の耐力に関して載荷実験を行ないその諸特性を調べた。特に水平補剛材および垂直補剛材の剛度とせん断、および曲げせん断耐力の関係、せん断ひずみ分布、主ひずみ方向等によって特性づけられる後座屈領域での腹板の挙動の解明に重点を置いた。

供試体の幾何学的縮尺は1/6であり、道路橋示方書に準拠して製作された。水平・垂直補剛材はいわゆる最適剛度もしくはそれ以上の剛度を保持しているものと考えられるが、しかし多くの水平補剛材を有する場合には厳密にはこの示方書が通用できない。

実験の結果、水平補剛材の剛度を最適剛度の5倍にしたところかなりの耐力の向上が認められた。一方垂直補剛材剛度を示方書に定められている値の2.5倍にしてもそれ程の効果は認められなかった。

また、不等分割要素による簡易化要素法(SEM)によって曲げせん断を受ける多補剛板の座屈解析を行い最適剛度を検討するとともに単純化された力学モデルによってせん断耐力の算出を行なった。実験に関しては阪大・小松研究室・関大三上研の御協力を得た。

2. 実験の概要

実験の概要を簡潔書きすればつぎのとおりである。

(1) 供試体の寸法と載荷条件: 図-1(a) のもの3体

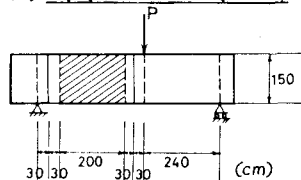


図-1(a) セン断試験体

図-1(b) のもの2体の計5体であり側面は図-2に示されるように水平リブ5本、垂直リブ4本、ダイヤフラム2体。

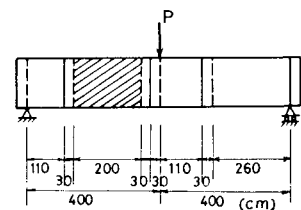


図-1(b) 曲げせん断試験体

P_n 6	10.5	S_5
P_n 5	12.0	S_4
P_n 4	13.5	S_3
P_n 3	16.5	S_2
P_n 2	45.0	S_1
P_n 1	高さ 52.5 (cm)	

図-2 縦横補剛材

(2) 腹板部の材質: Welten 60

(3) 縦横補剛材の剛度: 表-1に示されているとおり。

表-1 補剛材剛度

実験桁	A	B	C	D	E	* $\gamma_H / \gamma_{HSPEC}$
載荷形式	Q	Q	Q	M&Q	M&Q	
水平リブ剛度*	1	1	5	1	1	** $\gamma_V / \gamma_{VSPEC}$
垂直リブ剛度**	1	2.5	1	1	2.5	

(4) 降伏強度: 松尾橋梁・阪大・関大で行われたが平均値は 52.0 kg/mm^2 であった。

(5) 初期不整測定: 水平たわみの初期不整および残留変形は腹板を 15×40 分割し増動型変位計にて行なった。水平リブの鉛直横断初期・残留たわみの測定はダイヤルキャリパーとガラス板、マグネットから成る装置で行ない変形前後の相関を取るために考えられた。腹板部の残留応力の測定は松尾橋梁が行ったが詳細は発表時に中ずる。

(6) 載荷実験の主な結果: 表-2に最終耐力(ジャッキ荷重)が示されている。また、同時に箱桁に作用した極限曲げモーメントとせん断力がそれぞれ与えられている。ここに M_p と V_p はそれぞれ全塑性モーメントと同せん断力である。モードは載荷形式のことである。

表-2 箱桁供試体の耐力

試験桁	ジャッキ荷重 P_u (ton)	最大BM M_u (t-m)	最大Q V_u (ton)	M_p (t-m)	V_p (ton)	M_u / M_p	V_u / V_p	モード
A	535	596	229	819	288	0.728	0.796	Q
B	535	596	229	819	288	0.728	0.796	Q
C	581	647	249	820	288	0.789	0.864	Q
D	465	791	199	819	288	0.965	0.691	BM&Q
E	469	797	201	819	288	0.973	0.697	BM&Q

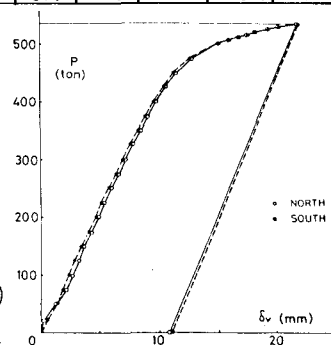
(7) 荷重-変形たわみ

曲線: 図-3に示す。

耐力は荷たわみの速度が激増する荷重点により決定した。

(鉛直たわみは2個の増動型変位計で計測)

図-3 荷重-変位曲線



(8) 腹板パネルの最大面内主ひずみ方向：図-2のパネル $P_{n1} \sim P_{n6}$ におけるパネル中央点の主ひずみ方向をプロットすれば図-4のとおりである。(供試体 A)

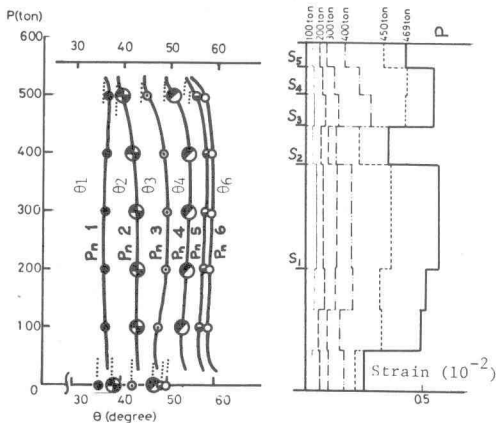


図-4 最大主ひずみ方向

平均せん断ひずみ 図-5 分布

(9) 腹板パネルの平均せん断ひずみ分布：図-5に供試体 E のものを示す。

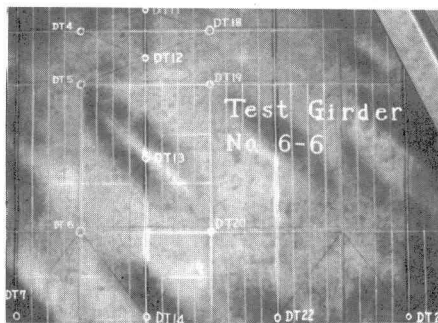


写真-1 腹板の斜張力場の形成

(10) 腹板パネルの破壊：写真-1に供試体 B の斜張力場の形成を示す。各パネルに単独に波が生じている。〈大阪大学構造実験室を借りて実験を行いました〉

3. 簡易化要素法による座屈荷重の算定

10×10分割の SEM によって腹板系の座屈解析を行なったところ表-3 のような結果が得られた。

表-3 供試体の座屈荷重

Test Girder	要素法による座屈荷重			座屈ジャッキ荷重(ton)	
	水平リブ間比 δ_x	水平リブ高比 δ	垂直リブ高比 γ_y	全辺 SS	載荷辺 SS 非載荷辺 CL
A	8.2	0.03	115	200.5	222.6
B	8.2	0.03	289	202.8	224.2
C	42.6	0.05	115	204.4	225.1
D	8.2	0.03	115	129.6	143.1
E	8.2	0.03	289	130.6	143.9

さてリブの剛性を更に大きくすれば座屈荷重はどれ程度上昇するかを考えよう。せん断パネルに話を限定するが、 $\delta_y = 115$, $\delta = 0.03$ の下で δ_x を大きくし 1000 にすれば全辺単純支持として $P_{cr} = 208.3 \text{ ton}$, $\delta_y = 289$, $\delta = 0.03$ の下では $P_{cr} = 208.4 \text{ ton}$ となる。また、 $\delta_x = 8.2$ の下で ($\delta = 0.03$ として) δ_y を増加して $\delta_y = 1000$ とすれば $P_{cr} = 206.0 \text{ ton}$ となり、何れも数%の座屈荷重の上昇が可能である。(ただしねじり剛性は無視する)[パネル毎に Timoshenko の表より P_{cr} を求めたものはほぼ同値のものとなったことを付記する]

4. 単純モデルによる耐荷力解析 (任意個数の水平リブ)

現在のところ多リブの腹板の耐荷力を直接計算できる理論は非常に少ない。そこで Rockey の理論を拡張し、前述、特に 2(8), 2(9) に説明済の実験的事実と良く説明できる理論を考えてみた。図-6 は水平リブ数が m 個としたとき、水平リブ、フランジと垂直リブによって囲まれた腹板パネルのせん断力 V を考えるものである。黒丸は塑性ヒンジを示す。この場合せん断分担力 V_i は

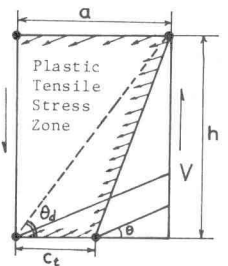


図-6 セン断モデル

一方、中間パネルは水平・垂直リブに囲まれ、力の分担は

$$\frac{V_i}{\sigma_y t h} = 3 m_p \sin \theta \cot \theta_d + (\cot \theta - \cot \theta_d) \sin^2 \theta + 2 m_p^2 \cot \theta_d \quad (1)$$

ただし、 $m_p^t = \sqrt{M_p^t / (\sigma_y t a^2)}$ (M_p^t : 塑性モーメント)

$$\frac{V_i}{\sigma_y t h} = h \sin \theta \cos \theta + 2 m_p^{t2} + 2 m_p^2 \quad (2)$$

つぎに各パネル間の斜張力方向の依存関係は水平リブの仮想仕事を考えれば求められる。任意の水平リブ a 上のパネルの斜張力方向を θ_{r+1} , 下側のそれを θ_r とすれば

$$\sin^2 \theta_{r+1} - \sin^2 \theta_r = 4 m_p^{r2} \quad (3)$$

となる。式 (1), (2) の和を拘束条件 (3) の下で極大にすれば解が得られる。例えば最下段パネルの θ_1 を独立として

$$\frac{\partial}{\partial \theta_1} \left(\sum_{i=1}^{m+1} \frac{V_i}{\sigma_y t h} \right) = 3 m_p \cot \theta_d \cos \theta_1 + \cos 2 \theta_1 - \cot \theta_d \sin 2 \theta_1 + \sum_{i=2}^{m+1} \cos 2 \theta_i \cdot \frac{\partial \theta_i}{\partial \theta_1} = 0 \quad (4)$$

となる。 M_p については有効幅の概念が必要だが発表時に説明。