

波形鋼板ウェブの全体せん断座屈挙動実験

瀧上工業（株）正会員 ○織田 博孝 正会員 長谷川 桂
愛知工業大学 正会員 青木 徹彦 学生員 佐藤 徹也

1. まえがき

波形鋼板ウェブを用いた PC 箱桁橋の合理性が注目され、最近、各機関で精力的に研究が進められている。その中で、波形鋼板ウェブのせん断座屈挙動は幾何学的な形状の特殊性のため、特異なモードの挙動を示し未解明な点が残されているように思われる。また、既に波形鋼板ウェブのせん断座屈耐荷力の算定式^{1), 2)}が提案されているが、さらに多くの実験および解析結果を得て精度を高めることが望ましいと思われる。そこで本研究は、実験により基礎的な現象を観察し、データの蓄積に寄与することを目的とした。

2. 波形鋼板ウェブのせん断座屈耐荷力算定式

波形鋼板ウェブのせん断座屈モードには次の3つのモードがある。①波形の平板部分(縦長の帯板)の座屈：局部座屈，②波形ウェブを直交異方性板として見ることができる座屈：全体座屈，③局部座屈と全体座屈が混合した連成座屈，である。

文献1) の設計マニュアル案では、①の局部座屈と②の全体座屈に対して、いずれの座屈耐荷力も降伏耐力以上になるように寸法制限(座屈パラメータの制限)を設けている。局部座屈に関しては文献4) に示される、次の式(1)の無補剛平板のせん断耐荷力式に基づいて局部座屈パラメータ $\bar{\lambda}_p \leq 0.6$ としている。

$$\begin{aligned} \tau_u / \tau_y &= 1 & : \bar{\lambda}_p \leq 0.6 \\ &= 1 - 0.614(\bar{\lambda}_p - 0.6) & : 0.6 < \bar{\lambda}_p \leq \sqrt{2} \\ &= 1 / \bar{\lambda}_p^2 & : \sqrt{2} < \bar{\lambda}_p \end{aligned} \quad (1)$$

一方、全体座屈に対しては Easley が直交異方性板理論に基づいて求めた波形板の弾性せん断座屈強度により座屈パラメータ $\bar{\lambda}_g$ を定義すると、全体座屈に対しても式(1)が適用でき、 $\bar{\lambda}_g \leq 0.6$ で降伏耐力が確保できるとしている¹⁾。Easley による波形板の弾性せん断座屈強度 $\tau_{cr,g}$ は次式で表される。

$$\tau_{cr,g} = 36\beta \frac{\sqrt[4]{D_x D_y^3}}{h^2 t} \quad (2)$$

ここで、 D_x ：波形板の鉛直軸周り(弱軸)の曲げ剛度、 D_y ：水平軸周り(強軸)の曲げ剛度、 β ：上下辺の回転拘束を表す係数(単純支持=1.0, 固定支持=1.9)である。連成座屈に対しては、局部座屈と全体座屈に対して降伏耐力を確保していることから照査しなくてもよいことになっている。

3. 試験体

上で述べたように $\bar{\lambda}_g = 0.6$ が降伏耐力を確保できる限界点となっている。そこで、 $\bar{\lambda}_g = 0.6$ 付近の試験体で波形鋼板ウェブのせん断耐力を求めることは意義があると考えた。この観点から図-1, 2に示す試験体を製

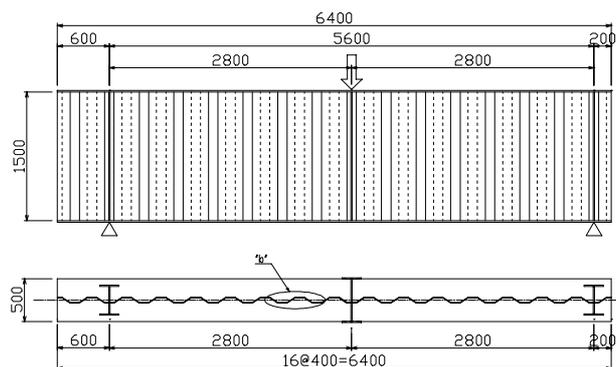


図-1 試験体全体図

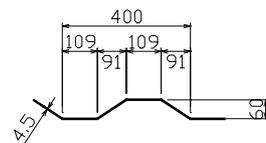


図-2 波の形状

表-1 試験体の諸元・パラメータ

幅厚比(腹板高/板厚比)		h/t	333
波高/板厚比		d/t	13.3
アスペクト比	帯板パネル	a/h	0.0727
	全体	L/h	1.87
曲げ剛度	弱軸	D_x	16.7×10^5
	強軸	D_y	4982.0×10^5
局部座屈パラメータ		$\bar{\lambda}_p$	0.350
全体座屈パラメータ	$\beta = 1.9$	$\bar{\lambda}_g$	0.500
	$\beta = 1.0$	$\bar{\lambda}_g$	0.689
降伏応力(MPa)		σ_y	351
		τ_y	203

キーワード：波形鋼板ウェブ，せん断座屈，実験，全体座屈，局部座屈

連絡先：名古屋市 中川区 清川町 2-1 瀧上工業(株) 技術部, TEL:052-351-2214, FAX:052-361-5468

作した。試験体の諸元（パラメータ）を表-1にまとめて示す。全体座屈パラメータは $\beta=1.9$ に対して $\bar{\lambda}_g = 0.500$ 、 $\beta=1.0$ に対して $\bar{\lambda}_g = 0.689$ となっている。全体アスペクト比は十分安全側の結果になるように1.87とした。なお、フランジは局部座屈および横倒れ座屈しない寸法として決定した。また、局所的な応力集中が生じないように荷重は支間中央の垂直補剛材から伝え、支点は中立軸の高さでピンにより支持した（写真-1、2参照）。

4. 実験結果および考察

実験は愛知工業大学・耐震実験センターで実施し、荷重は

400t サーボ式油圧アクチュエータで静的かつ単調に荷重あるいは変位が増大する方向に行った。このシステムでは変位制御も（最小0.2mm）可能である。荷重と支間中央のたわみの関係を図-3に示す。降伏荷重の約0.6倍までは荷重制御で載荷し、その後、変位制御に切り替えて慎重にたわみを増大させていった。荷重は降伏荷重の0.815倍で頭打ちとなり、およそ降伏変位 δ_y の2倍のたわみで、大きな音とともに荷重が急激に低下し、たわみも約 δ_y だけジャンプしてしまった。このとき最小の変位制御（0.2mm）で載荷していたが制御不能となり、この間のつり合い経路を測定できなかった。最初の座屈直後の変形形状を写真-1に示す。ウェブ高の中央辺りに2つの座屈変形が見られるが、まだフランジにはつながっておらず、局部座屈と全体座屈が連成したモードかもしれない。その後さらに変位を増大させていくと、荷重は再び増加に転じ、座屈変形が1つになりフランジに達した辺りで荷重が低下し始めた。最終の変形形状を写真-2に示す。



写真-1 座屈モード（荷重急変直後）



写真-2 座屈モード（終了時）

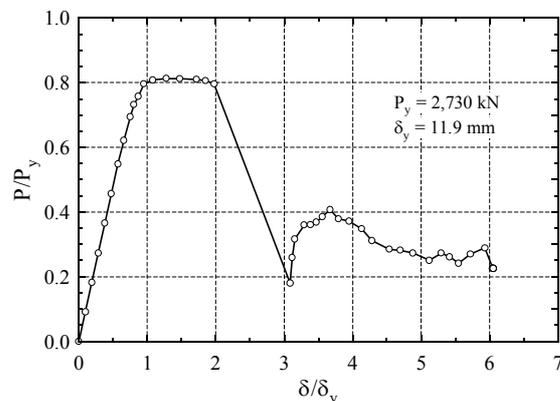


図-3 荷重-鉛直変位曲線

この実験で得られた耐荷力を式(1)および文献2)、3)に示される実験結果と比較してまとめたものが図-4である。文献2)の結果は上下辺の境界条件を単純支持 ($\beta=1.0$)として整理したもので、式(1)によく合っている。文献3)の結果は上下辺の境界条件を固定支持 ($\beta=1.9$)で整理してあり、式(1)より多少低いが比較的合っていると言える。（文献3には明示されていないが筆者の計算によれば $\beta=1.9$ が用いてあり、 $\beta=1.0$ とすれば座屈パラメータは1.37倍になる。）今回の実験結果は $\beta=1.0$ 、1.9の両方で整理してみたが、 $\beta=1.0$ の方が式(1)に近い。しかし、他の結果に比べれば低い耐荷力になっている。

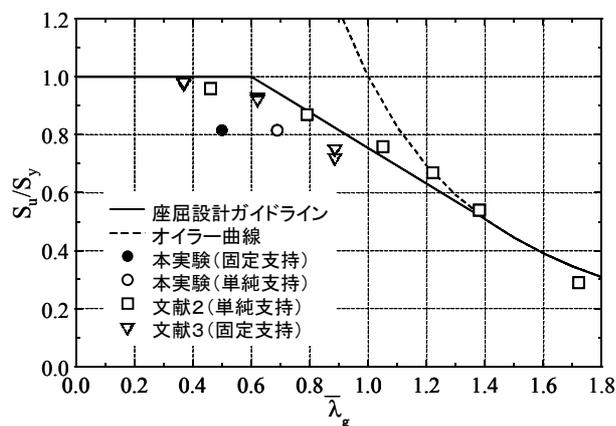


図-4 せん断耐荷力曲線

5. あとがき

今回の実験結果を説明するためには、実験では測定し得ない細部の挙動を調べるためにも有限要素解析を併せて検討する必要があるだろう。解析では溶接による残留応力だけではなく、鋼板の冷間曲げ加工の影響を考慮する必要があるかもしれない。

参考文献

- 1) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会:波形鋼板ウェブ PC 橋計画マニュアル(案),1998.12.
- 2) 山崎:波形鋼板ウェブの座屈耐荷力, 構造工学論文集, Vol.47A, 2001.3.
- 3) 角谷, 青木, 富本, 狩野:波形鋼板ウェブのせん断耐力評価, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.1, 2001.1.
- 4) 土木学会:座屈設計ガイドライン, 1987.10.