

I-35

波形鋼板ウェブのせん断座屈強度に関する一考察

(株)ピー・エス 正員 ○関井勝己
 (株)ピー・エス 正員 大浦 隆
 早稲田大学理工学部 正員 依田照彦

1. まえがき

波形鋼板とプレストレストコンクリートを用いた新しいタイプの合成箱桁がフランスを始め日本でも建設されている。そこでは、波形鋼板ウェブを用いることにより、主桁の重量の軽減が図れ、鋼製箱桁に比べてウェブのせん断座屈強度が増大するので、ウェブを薄くすることができることが利点の一つになっている。

本報告では、前述の波形鋼板ウェブがせん断力のみには抵抗しプレストレスングによる軸力に抵抗しないように設計されていることを念頭に置き¹⁾、せん断応力のみを受ける波形鋼板ウェブのせん断座屈強度について検討することを目的とする。

2. 波形鋼板ウェブの座屈モードとその強度

既往の研究²⁾によれば、波形鋼板ウェブのせん断座屈の座屈モードは次の3つのタイプに分類される。

- (1) 局部座屈モード：等せん断応力のもとで2つの折り目間で単純支持されているものと見なせる座屈で、鋼帯板の座屈に対応する。
- (2) 連成座屈モード：せん断応力下での全体座屈と局部座屈の連成作用の結果と考えられる最も複雑な座屈である。
- (3) 全体座屈モード：波形鋼板を直交異方性板と仮定できるような全体的な座屈。ただし、数値計算上は波形鋼板の曲げねじり剛性は考慮していない。

2. 1 せん断局部座屈強度

波形鋼板ウェブを用いた合成P C箱桁の場合にはせん断応力を受けるウェブの局部座屈を考える際の境界条件は、床版との接合部を固定支持に、鋼板の折曲げ点をヒンジとみなすことができる。この時せん断局部座屈強度 τ_{cr} は、Southwell and Skan の式²⁾を用いて次のように表される。

$$\tau_{cr} = \frac{E \pi^2}{12(1-\nu^2)} \frac{t^2}{b^2} - k \quad (1)$$

ここに、E：ヤング係数、 ν ：ポアソン比、t：板厚、a：長辺長、b：短辺長、k：アスペクト比b/aより得られる係数²⁾、である。

2. 2 せん断全体座屈強度

せん断全体座屈強度は、図3に示すような波形鋼板を直交異方性板とみなし、既往の研究成果であるEasley の式³⁾を用いて算出する。この時、せん断全体座屈強度 τ_{cr} は、次式により求まる。

$$\tau_{cr} = 36\beta \frac{(EI_y)^{1/4} (EI_x)^{3/4}}{h^2 t} \quad (2)$$

ここに、 I_x ：X軸に関する単位長さ当たりの断面2次モーメント、 I_y ：Y軸に関する単位長さ当たりの断面2次モーメント、t：板厚、h：ウェブの高さ、 β ：材端の固定度を示す係数 ($1.0 \leq \beta \leq 1.9$)

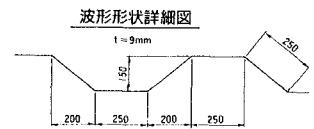
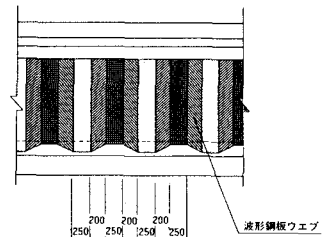


図1 波形鋼板ウェブ

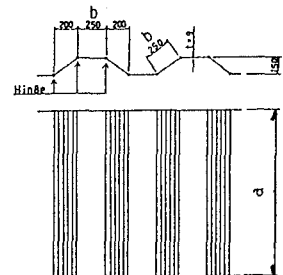


図2 せん断局部座屈の解析モデル

で、単純支持のとき $\beta=1.0$ 、固定支持のとき $\beta=1.9$ 、である。本報告では、 $\beta=1.9$ を採用した。

2. 3 セン断連成座屈強度

連成座屈強度については、連成強度を推定する式が既往の研究の中にみられないので、設計公式を作成する前段階として、ここでは有限要素解析を用いて連成せん断座屈強度を含めたせん断座屈解析を試みる。解析モデルは図1に示した波形鋼板であり、パラメータとしてウェブの高さのみを変化させている。境界条件としては、波形鋼板周辺を回転拘束し、面内方向変位は対角の位置で支持している。要素分割等は標準的な有限要素法に従っている。図4に計算結果を示す。図よりFEM解が局部座屈と全体座屈との間の連成座屈強度を適切に近似していることが分かる。FEM解の方がウェブの高さの低い部分で局部座屈強度より大きいのは、局部座屈強度式では折り曲げ点を単純支持としているためである。表1にFEM解析の結果と座屈モードの詳細を示す。表中には1次から3次までのモードについての計算結果と座屈している箇所を併記している。座屈モードがウェブ両側の境界条件に左右されていない様子を図5に示す。座屈モードの状態からも本報告のFEM解が妥当であることが分かる。

3. あとがき

有限要素法によるせん断座屈強度計算結果から、波形ウェブの場合、全体座屈と局部座屈の連成の程度はそれほど大きくなく、局部座屈[式(1)]と全体座屈[式(2)]で近似できる範囲が多いことが分かった。しかしながら、実際に使用する波形ウェブの高さが連成座屈の生じる範囲にあることを考えると、連成座屈強度を推定する近似式をパラメータ解析等により誘導することが今後必要になると思われる。

参考文献

- 1) 依田照彦・大浦隆：波形鋼板ウェブを用いた合成PC箱桁のねじり特性について、構造工学論文集、Vol. 39A、1993年3月、pp. 1251-1258.
- 2) Jacques Combault (大浦隆訳)：シャロール近くのモープレ高架橋、プレストレストコンクリート、Vol. 34, No. 1, プレストレストコンクリート技術協会、1992年1月、pp. 63-71.
- 3) J.T. Easley: Buckling formulas for corrugated metal shear diaphragms, ASCE, ST7, July 1975, pp. 1403-1417.

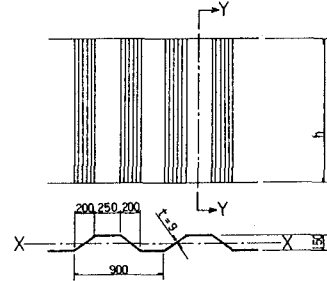


図3 セン断全体座屈の解析モデル

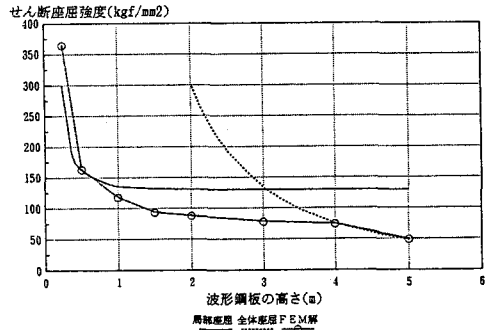


図4 セン断座屈強度曲線

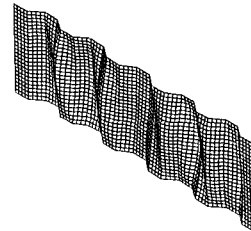


図5 セン断座屈のモード図(H=1.5 m)

表1 有限要素解析の結果

せん断座屈強度(kgf/mm2) 対角支持、両側回転固定

鋼板高さ	モード	数値	初期せん断	座屈応力	座屈場所	局部座屈	全体座屈
H=0.1m	1次	1827.8	0.46-0.42	812.4	?		
	2次	2895.5		1286.9	全体		
	3次	2943.6	0.4444	1308.3	全体	1508.2	119077.9
H=0.25m	1次	2048.3	0.181-0.174	364.1	全体		
	2次	2277.1		404.8	全体		
	3次	2437.4	0.1778	433.3	全体	302.1	19052.5
H=0.5m	1次	915.4	0.182-0.175	162.7	全体		
	2次	925.3		164.5	全体		
	3次	949.1	0.1778	168.7	全体	164.8	4763.1
H=1.0m	1次	659.8	0.182-0.175	117.3	全体		
	2次	781.6		139.0	全体		
	3次	790.6	0.1778	140.6	全体	137.5	1190.8
H=1.5m	1次	522.5	0.182-0.175	92.9	全体		
	2次	559.6		99.5	全体		
	3次	578.9	0.1778	102.9	全体	134.1	529.2
H=2.0m	1次	491.2	0.182-0.175	87.3	全体		
	2次	514.5		91.5	全体		
	3次	527.2	0.1778	93.7	全体	132.9	297.7
H=3.0m	1次	418.2	0.182-0.175	74.4	端		
	2次	420.8		74.8	端		
	3次	437.5	0.1778	77.8	全体	132.0	132.3
H=4.0m	1次	414.2	0.182-0.175	73.6	中央		
	2次	442.5		78.7	中央		
	3次	492.3	0.1778	87.5	全体	131.7	74.4
H=5.0m	1次	273.8	0.182-0.175	48.7	中央		
	2次	274.1		48.7	中央		
	3次	291.4	0.1778	51.8	全体	131.6	47.6