

(39) ウェブに波形鋼板を用いたボックス桁の力学的特性

ドーピー建設工業(株) 本社 正会員 ○立神 久雄
 ” 本社 正会員 上平 謙二

1章 研究の目的

合成構造としてウェブに波形鋼板を用いたPC橋においては、

- ① PC橋と比較して自重を軽減できる
- ② クリープ・乾燥収縮による2次力を無視できる
- ③ 曲げ挙動については波形鋼板を無視できる

等の特徴を有すると言われている。本研究は、ウェブに波形鋼板を用いたボックス桁の力学的特性を把握し、この種の構造を日本で採用するにあたっての設計思想を固めることを目的とし、軸変形特性、曲げ特性及びねじり特性に的を絞り検討を行なった。

2章 波形鋼板を用いたボックス桁の軸変形特性

本検討の対象とした橋梁は、図-1に示す3径間連続桁である。ここでは、プレストレスの軸力による波形鋼板の軸変形挙動と上床版、ウェブ及び下床版への荷重分担について検討する。

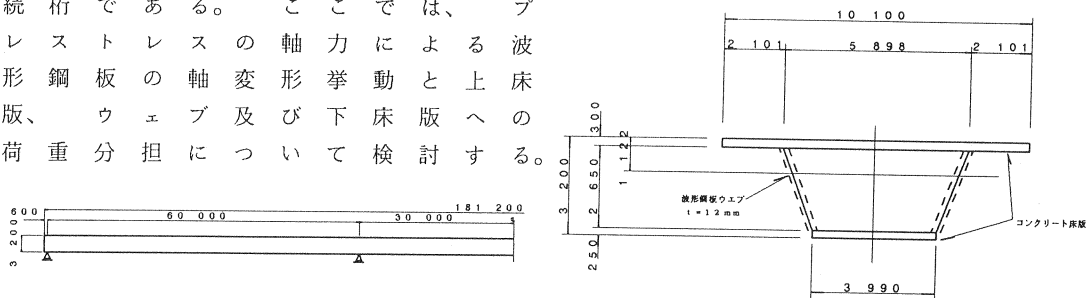


図-1 連続桁の構造図

2.1 解析モデル

先ず、波形鋼板のみの軸変形挙動を把握するため、波形鋼板を図-2に示すような折れ梁構造とした。

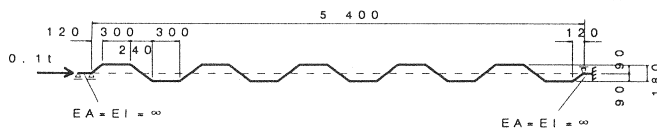


図-2 波形鋼板の構造図

2.2 軸変形特性の検討

2.2.1 軸変形量

計算の結果、軸変形量は $\delta_{wP} = 0.00432511 \text{ m}$ となった。この変形量となるような平鋼板の厚みがどのようになるかを計算すると次のようになる。

$$P \cdot L$$

$$t_{sP} = \frac{P \cdot L}{E_s \cdot B \cdot \delta_{wP}}$$

ここに、
 P : 荷重強度
 L : 部材の長さ
 E_s : 鋼のヤング係数 (= 2.1 × 10⁷ tf/m²)
 B : 鋼ウェブの高さ
 δ_{wP} : 波形鋼板の変形量

上式を用いて計算すると、t_{sP} = 0.025 (mm) となり、全く無視できる厚さとなる。

2.2.2 荷重分担

前述から、鋼ウェブは無視できる程の板厚となったが、簡単な軸ひずみモデルを用い、軸力が上・下床版とウェブにどのように分担するかを調べるため、軸方向の等ひずみ問題として、各部材をバネ置換し検討を行った。検討モデルは図-3のとおりであり、計算結果は表-1のようになる。但し、この場合、波形鋼板ウェブ厚については、先程計算した平鋼板の換算板厚を用いるものとする。この結果を用いて各部材が同じ量だけ変形した場合の各部材の荷重分担は次式により計算できる。

$$P_i = k_i \cdot \delta_i$$

ここに、
 P_i : 各部材に作用する軸力
 k_i : 各部材のバネ定数
 δ_i : 各部材の変形量 (δ_i = 0.1 mm)

計算結果は、表-2のようになる。このことから、軸力については波形鋼板は全く抵抗せず、すべて上・下のコンクリート床版が受け持つことがわかる。

表-2 荷重分担

	荷重分担 (t)
上床版	160.1
波形鋼板ウェブ	0.0
下床版	78.9

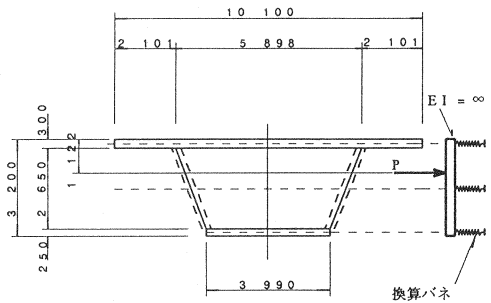


図-3 バネ換算モデル

表-1 各部材の換算バネ定数

部材	E (tf/m ²)	A (m ²)	k (tf/m)
上床版	3.10E+06	2.790	1.601E+06
ウェブ	2.10E+07	6.048E-05	2.352E+02
下床版	3.10E+06	1.375	7.894E+05

但し、L = 5.400 m で一定とする。

3章 波形鋼板を用いたボックス桁の曲げ特性

ここでは、波形鋼板ウェブから構成される合成断面に作用する、①曲げ応力度、②せん断応力度及び③合成断面のたわみに着目し、検討を行なうものである。

3.1 解析モデル

本解析に用いた断面は、図-1に示す3径間連続桁

の支とをては、成をよとの横に
 点と対象は、断面把握とし、荷重集中
 上んモデル化し、断面三次元荷重
 近断した。4ボックスの先配置し、
 傍力した。4ボックスの先配置し、
 のの片を示す。プレ剛性を100tf
 曲卓持ち解す。桁の剛性を100tf
 げ卓越し、解析の剛性を100tf
 モす構解析の全要素の高剛性を
 ーる造モに、全体要素の高剛性を
 メ区とモデル、挙動に高い剛性を
 ン間し、合動に高い剛性を

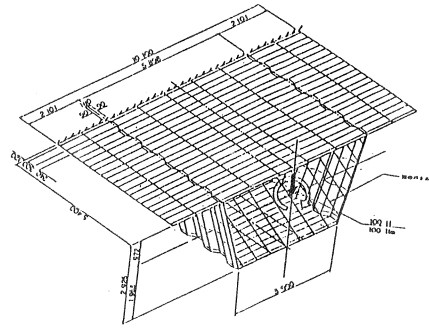


図-4 曲げFEMモデル

表-3 モデルの諸元

	コンクリート床版	波形鋼板
ヤング係数	3.10E-6 tf/m ²	2.10E7 tf/m ²
ポアソン比	0.167	0.3
部材厚	上床版	30 cm
	下床版	25 cm

3.2 曲げ特性の検討

3.2.1 曲げ応力度

FEM解析と梁理論における
 主要断面の曲げ応力度は、
 図-5に示すように、梁理論
 による計算結果は、一
 致している。

3.2.2 せん断応力度

FEM解析によるウェブの
 せん断応力分布は、図-6
 のように、一般断力分
 布の挙動を示す。ここで、
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による
 せん断力とせん断力による

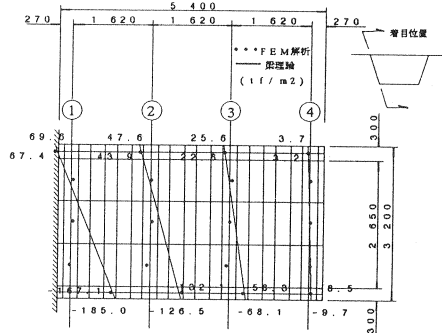


図-5 曲げ応力度

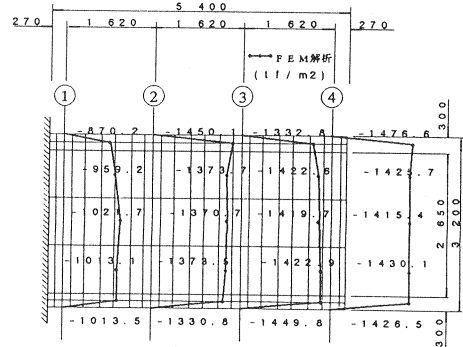


図-6 せん断応力度

表-4 せん断力の分担

	(tf)	
	ウェブ	床版 合計
①	-73.2	-24.6 -97.8
②	-101.5	-3.1 -104.6
③	-104.8	-0.3 -105.1
④	-105.3	-0.2 -105.5

3.2.3 たわみ

合成断面のたわみを以下の方法で比較した。

- ① FEM解析値、
- ② せん断変形を考慮した梁理論、
- ③ 波形鋼板の実長によるせん断変形を考慮した梁理論、
- ④ コンクリート断面のみを有効とした梁理論。

① については、ウェブの上縁の各要素の値である。

② については、曲げ変形のファクターとして波形鋼板ウェブを無視したコンクリート床版のみの剛性を評価し、また、せん断変形のファクターとしては波形鋼板ウェブのみがせん断変形に寄与すると考え、有効せん断面積は鋼ウェブの実断面積を用いた。特にポアソン比については鋼のせん断弾性係数と等価となるように、コンクリートのヤング係数を用いた場合のポアソン比に換算して計算を行なった。

③ については、そのたわみ量は一般式を用いて計算した。それぞれの変形のファクターは、②と同様とした。波形鋼板の長さについてはまっすぐ延ばした全長を考慮した。

④ については、せん断変形の影響を無視し、コンクリート断面のみから構成される断面性能を用いてたわみ量を計算した。

計算結果は図-7のとおりとなり、全体のたわみ量についてはせん断変形による要因が非常に大きいことが解かる。また、せん断変形を考慮した①、②及び③の、3つの方法ではたわみ量がほぼ一致した。

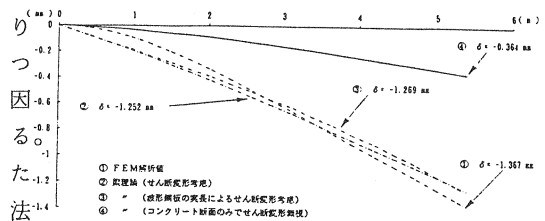


図-7 たわみの比較

4章 波形鋼板を用いたボックス桁のねじり特性

ここでは、通常コンクリートボックス桁のねじりの評価と同様に、道路橋示方書の規定に従って実施できるかを確認するものである。

4.1 解析モデル

本解析モデルは、図-4に示すように曲げ挙動の検討に用いたモデルと同様であり、ねじりモーメントは張出し先端部に剛性の高い横桁を配置し、その断面図心に100tfmの集中ねじりモーメントを載荷した。

4.2 ねじり特性の検討

4.2.1 ねじり剛性の評価

ねじり剛性の評価は単純ねじりが基本となっているため、先ず合成断面のねじり角が部材の長さ方向に線

形となっているかをチェックする必要がある。結果はほぼ直線分布となっており、単純ねじりの条件が満足されていると確認した。次に、ねじり剛性を評価するにあたり、以下に示す単純ねじりの基本式よりねじり定数を評価することとした。

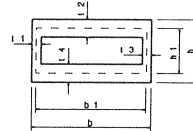
$$M_t = G \times \theta \times J_t$$

ここに、 M_t : ねじりモーメント (tf・m)
 G : せん断弾性係数 (tf/m²)
 (コンクリートの値)
 θ : ねじり率 (rad/m)
 J_t : ねじり定数 (m⁴)

この場合、 J_t は道路橋示方書の式を用いるが、ウェブが鋼板となっているため、ウェブ厚にヤング係数比 (n) を乗じてコンクリート換算する。そうすると合成断面のねじり定数は次式で計算できる。

$$J_t = \frac{1}{4 A_m^2} \cdot \left[\frac{h_1}{n \cdot t_1} + \frac{b_1}{t_2} + \frac{h_1}{n \cdot t_3} + \frac{b_1}{t_4} \right]$$

ここに、 $A_m = b_1 \cdot h_1$
 また、ねじり率は以下のように計算される。



$\theta = \theta / L$ ここに、 θ : ねじり角 (rad)
 L : 部材長さ (m)

結局ねじりモーメントは $M_t = 104.2 \text{ tfm}$ となり、外力としてのねじりモーメント 100 tfm とよく一致した。この結果から、波形鋼板を有する合成断面のねじり定数の評価は、本計算手法を用いれば十分であることがわかる。

4.2.2 ねじりせん断応力度の評価

本解析結果による主要断面でのねじりせん断応力度は図-9のとおりである。このねじりせん断応力度も道路橋示方書の式で評価できることを確認するため、以下に示す示方書の式で計算した。

$$\tau_{t,i} = \frac{M_t}{K_{t,i}} \quad \text{ここに、} \quad K_{t,i} = 2 A_m \cdot t_i$$

計算結果を表-5に示す。計算結果とFEM解析結果を比較すると、ねじりせん断力のほとんどがウェブで負担されることを考えれば、計算結果の方が若干安全側に出ているため、ねじりせん断応力度の算出についても道路橋示方書の式で十分評価できることがわかった。

5章 ま と め

検討の結果以下の結論を得た。
 ① 断面力、曲げ応力度の計算については、断面剛性は鋼ウェブ下を無視したコンクリート上・下床版のみを評価すればよい。
 ② 波形鋼板ボックス断面のねじり剛性 (GJ) については道路橋示方書の式を基本として、鋼ウェブをコンクリートに換算し式を代用出来る。
 ③ 合成断面に作用するねじりモーメントによるねじりせん断応力度については道路橋示方書に示れる式をそのまま代用出来る。
 ④ 合成断面に作用するせん断力についてはすべて鋼ウェブで負担すると考えてよく、また、設計時ににおける鋼ウェブのせん断応力度については平均せん断応力度でチェックしてよい。
 ⑤ 合成断面に作用する軸圧縮力及び曲げモーメントにより、波形鋼板ウェブにはほとんど応力が生じなく、すべてコンクリート断面で負担するので、合成構造特有のコンクリート床版のクリープと乾燥収縮による拘束力については無視してよい。

このように、断面力及び応力度のレベルでは、前述のように考えられるが、波形鋼板を用いた合成断面の場合には、せん断変形の影響が大きくなるので、たわみの計算については注意が必要となろう。最後に本研究に際して、ご協力下さった中井博 大阪市立大学教授 (N C B 研究会) に感謝の意を表す次第であります。

(参 考 文 献)

1) Jacques Combaut、大浦 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、pp63～pp71、1992. 2
 2) 服部、大浦：波形鋼板ウェブを用いたPC単純桁の一試設計、第2回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp53～pp58、1991. 11

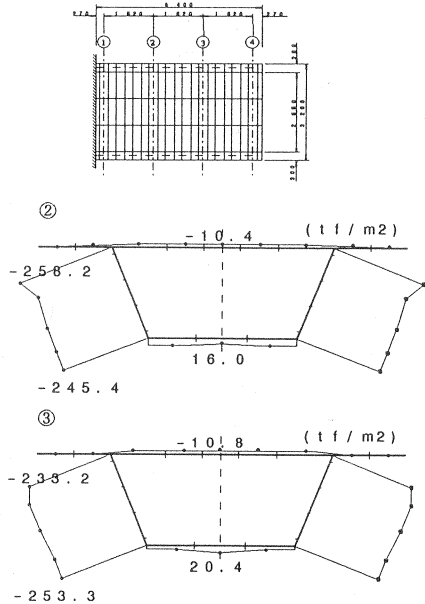


図-9 FEM解析

表-5 示方向

	Kt	rt
上床版	8.656 (m ³)	11.6(tf/m ²)
波形鋼板ウェブ	0.346 (m ³)	289.9(tf/m ²)
下床版	7.213 (m ³)	13.9(tf/m ²)