

波形鋼板ウェブを有する変断面PC桁のせん断特性解析

九州大学工学部 学生会員 源川祐介
 九州大学工学研究院 正会員 黄 玲
 九州大学工学研究院 フェロー会員 彦坂 熙

1. 研究の目的

波形鋼板ウェブを持つPC橋の設計において、鉛直せん断力はすべて鋼板ウェブが担うものと仮定されているが、実態は異なる。本研究では、波形鋼板ウェブに特有のアコーディオン効果を簡易な二次元モデルで考慮できる解析法を提案し、変断面PC桁における波形ウェブのせん断力分担率特性を明らかにする。

2. 波形鋼板ウェブの2次元解析モデル

波形鋼板ウェブの特徴はアコーディオン効果により軸方向の剛性が非常に小さいことである。本研究では、この特徴を簡易に評価できる2次元モデルを提案する。図1(a)は、板厚 t 、軸方向パネル幅 b 、斜方向パネル幅 $2s$ の波形鋼板ウェブである。斜方向パネルの中点 A, B で切出されたウェブ高さが単位長 1 の半波長ウェブを同図(b)の台形折板と考え、端点 A, B に働く一対の仮想力 P による折板部材の軸力と曲げモーメントから AB 間の軸方向相対変位 Δ を求めれば、

$$\Delta = \left(\frac{1}{k_N} + \frac{1}{k_M} \right) P \quad (1)$$

ここに、 $k_N = E_s t / (b+2s\cos^2\theta)$, $k_M = E_s t^3 / 12 s^2 \sin^2\theta (b+2s/3)$, E_s はウェブ材のヤング係数である。式(1)において、 P/k_N , P/k_M はそれぞれ軸方向相対変位 Δ に対するウェブ折板の面内変形と面外曲げ変形の寄与分を表す。

図1(c)の構造系は、図(b)の台形折板の水平射影長 $b+2s\cos\theta$ をもつ棒に剛性 k_M の軸方向ばねを直列に組合せたものである。ただし、波形ウェブの斜方向パネルを射影した長さ $s\cos\theta$ の部分の板厚を $t' = t/\cos\theta$ に置き換える。図(c)の板ばね系 AB が軸力 P を受けるとき、AB 間の軸方向相対変位は式(1)の Δ に厳密に一致する。2次元FEM解析を行う際、波形ウェブの斜方向パネル中央鉛直線上に設けられる節点では、相隣する半波長の台形折板を図2に示す2次元アコーディオンリンク要素で接合する。リンク要素の水平ばね剛性 k_h は、単位長のウェブ高さに対して算定される k_M にウェブの鉛直方向節点間距離を乗じて得られる。鉛直ばね剛性 k_v には、せん断力 Q を完全に伝達させるため大きな値を与える。

3. 解析方法

本研究では、まず、阿田ら¹⁾による載荷試験結果が報告されている図3の波形鋼板ウェブPCはり供試体を対象として、本提案モデルを用いた2次元FEM解析を行い、モデルの適用性を明らかにする。つぎに、この供試体の寸法を参考に、波形鋼板ウェブを有する変断面片持ちPCはりモデルを考え、その波形ウェブのせん断力分担率特性を明らかにする。

図3の供試体の波形鋼板ウェブは板厚9mmのSM490Y材で製作され、その軸方向および斜方向パネル幅 $b = 2s = 430\text{mm}$ 、傾斜角 $\theta = 30^\circ$ は、実橋に用いられているものと同じである。ウェブの上下端には $320 \times 16\text{mm}$ の鋼フランジが溶接され、鋼フランジの上下面に配置されたアングルジベルを介して厚さ27cm、幅100cmのコンクリートフランジが取付けられている。上下のコンクリートフランジには、それぞれ軸方向鉄筋D16が2段に14本配置されている。載荷試験が行われた材令10日におけるコンクリートの圧縮強度 $f_c' = 37.9\text{ MPa}$ 、ヤング係数 $E_c = 23.8\text{ GPa}$ を解析にも用いる。

次に、図4の変断面波形鋼板ウェブを有する片持ち梁モデルの自由端に、集中荷重($P = 20\text{tf}$)を載荷した。解析は2ケースを考

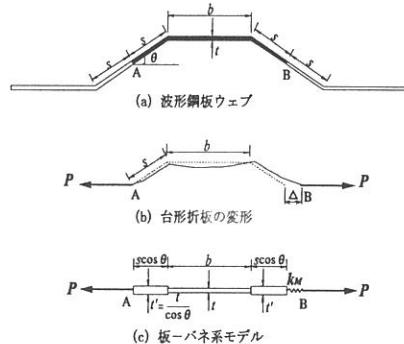


図1 波形鋼板ウェブのモデル

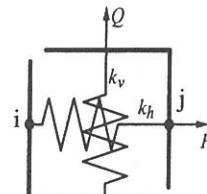
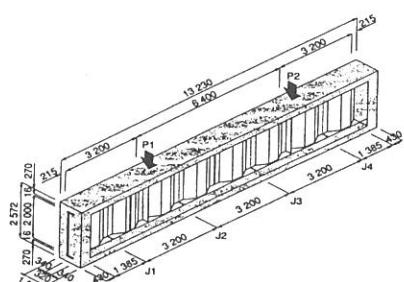


図2 アコーディオンリンク要素

図3 波形鋼板ウェブPCはり供試体¹⁾(mm)

えた。CASE1 では上下コンクリートフランジの厚さは 28cm 一定にし、下フランジが水平となす角度 θ を 5° , 10° , 15° と変化させた。CASE2 では $\theta=5^\circ$ と下フランジ右端の厚さ 28cm を一定とし、下フランジ左端の厚さ F を 28, 38, 48, 58(cm) として途中を直線変化させた。

変断面 PC 梁の 2 次元 FEM メッシュを図-4 に示す。コンクリートフランジと鋼ウェブに平面応力要素、鋼フランジと軸方向鉄筋に 1 次元棒要素を用いた。図-4 のウェブに ● を付した節点に図 2 のアコードィオンリンク要素を 9 段配置した。鋼フランジとコンクリートフランジ間は完全付着を仮定する。

4. 解析結果と考察

実験値との比較： 提案したモデルでは、ウェブ断面のアコードィオンリンクの鉛直せん断力 Q を合計して、この波形鋼板ウェブが分担するせん断力を簡単に計算できる。図-5 は図-3 の単純支持供試体が单一集中荷重 $P=100kN$ の載荷条件下で、波形鋼板ウェブの分担するせん断力の解析値と実験値を示す。実験値は実測ひずみから求めたせん断応力にウェブ断面積を乗じたものである。

CASE1： 下フランジの角度を変えた結果、図-6 のせん断力分担率を得る。角度が増すにつれて波形鋼板のせん断力分担率が下がり、また、固定端に近いほど分担率が小さくなっている。

CASE2： コンクリート下フランジの厚さを変えた場合のウェブのせん断力分担率は、図-7 の通りである。下フランジの厚さを増加しても、鋼板ウェブのせん断力分担率に及ぼす影響は小さい。

せん断応力分布： 解析ケース 2 の $\theta=5^\circ$ のモデルから得られた断面のせん断力分布を図-8 に示す。断面の位置は図-4 に示す。

5. 結論

- ・下フランジが水平となす角度を大きくすると、ウェブのせん断力分担率は大きく低下し、また、片持ちはりの固定端に近いほど低減する。
- ・コンクリート下フランジの厚さを大きくしてもウェブのせん断力分担率に及ぼす効果は小さい。
- ・波形鋼板ウェブのせん断力分担率は最大でも 80% 程度である。設計において、鉛直せん断力すべては波形鋼板ウェブが担うと仮定することは安全側であるが、変断面域においては不経済となる。

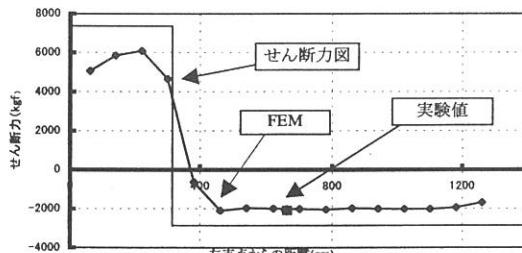


図-5 供試体ウェブの分担するせん断力

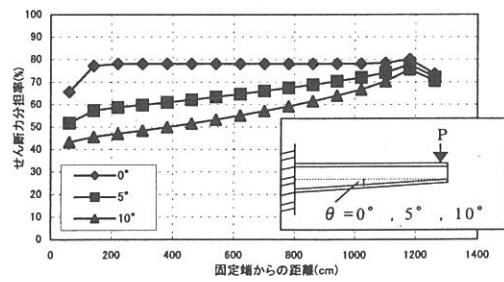


図-6 下フランジの角度によるせん断力分担率の変化

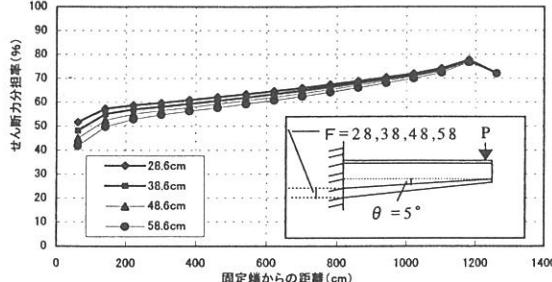


図-7 下フランジの厚さ変化によるせん断力分担率の変化

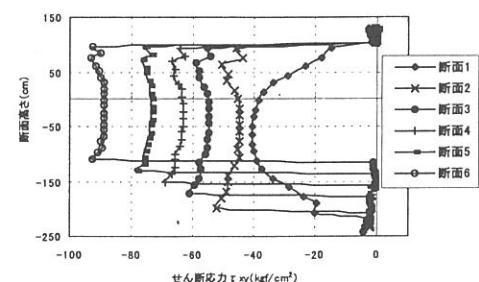


図-8 せん断応力分布

参考文献

1. 阿田芳久, 落合 勝, 溝江慶久, 町田文孝: 波形鋼板ウェブ PC 橋の実物大模型試験体を用いた静的載荷・疲労試験, プレストレストコンクリート, Vol. 43, No. 4, pp. 72-81, 2001.