

I-A 442 波形鋼板ウェブを持つ合成桁の簡易曲げ解析法に関する研究

早稲田大学理工学部 学生員 ○谷口 望
東京電力 正 員 中島 陽
早稲田大学理工学部 正 員 依田照彦

1. はじめに 波形鋼板をウェブに用いた桁は、力学的に優れた合成桁であるとの評価が定着しつつある¹⁾。しかしながら、このような合成桁に対する構造解析は容易ではない。そこで本論文では、曲げを受ける I 型断面波形鋼板ウェブ合成桁に対する簡易解析法を提案し、実験値との比較により、その妥当性を調べる。

解析では、桁の軸方向を X 軸、高さ方向を Z 軸、奥行き方向を Y 軸とする直交座標系を用いて、I 型断面桁を等幅断面の積層桁に等価換算する。また、その積層桁を N 個の微小層に分割し、各層内の変位・応力を線形近似する²⁾。ただし、生じる変位はいずれも微小とする。

2. 材料定数の換算手法 波形鋼板ウェブの見かけの材料定数は、文献3)、4)をもとに次式で表現する。

$$E_x = \frac{A+C}{3A+D} E_s \left(\frac{t}{H} \right)^2, \quad E_z = E_s$$

$$\nu_x = \nu_s, \quad \nu_z = \nu_s (E_x / E_z)$$

$$G = \frac{A+C}{A+D} G_s \quad (1a, b, c, d, e)$$

ここに、A, C, D, t, H : 図1に示す波形鋼板の形状寸法

E_s, G_s : 鋼のヤング率およびせん断弾性係数

G : 見かけのせん断弾性係数

E_x, E_z : 軸方向 (X 方向) および高さ方向 (Z 方向) の見かけのヤング率

ν_x, ν_z : 軸方向 (X 方向) および高さ方向 (Z 方向) の見かけのポアソン比。

また、桁断面の幅の違いを等価弾性定数を用いて換算し、奥行き方向 (Y 軸) に生じる現象を一樣と見なす。ただし、ポアソン比 ν_x, ν_z およびせん断弾性係数 G はそのまま用いるとする。

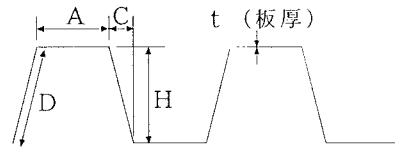


図1. 波形鋼板ウェブ

3. 積層桁の解析手法 両端単純支持の桁に、鉛直荷重 $q(x) = Q \sin(j\pi/l)x$ (j は任意の正の整数) が桁の上面に作用する場合を考える。本解析では変位・応力を次のように仮定する。

$$u_{xi} = b_i w^{(1)}, \quad u_{zi} = d_i w$$

$$\tau_{xzi} = c_i w^{(3)}, \quad \sigma_{zzi} = f_i w^{(2)} \quad (2a, b, c, d)$$

ここに、 u_{xi}, u_{zi} : i 層下面における水平方向変位および鉛直方向変位

τ_{xzi}, σ_{zzi} : i 層下面におけるせん断応力および垂直応力

w : x のみの関数 ($= W_0 \sin(j\pi/l)x$, W_0 : 定数)

$w^{(n)}$: w の x 方向 n 階微分。

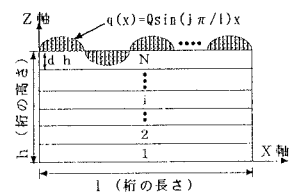


図2. 積層はりモデル

式(2)を応力～ひずみ関係式・ひずみ～変位関係式・応力の釣り合い式に適用することにより、 i 層下面の変位・応力は $i-1$ 層下面の変位・応力で表される。

次に、桁の上下面での応力に関する境界条件より、 $c_1 = c_{N+1} = f_1 = f_{N+1} = 0$ の4式、さらに外力のする仕事とひずみエネルギーの関係より1式の合計5条件式を用いて、各層の b_i, c_i, d_i, f_i および W_0 を求めることができる。曲げ応力 σ_{xx} は、水平方向変位と垂直応力を用いて表現できる。付言するならば、桁の長さが高さに比べて十分に長い場合には、 $\sigma_{zzi} = 0, u_{zi} = \text{const.}$ として一次的に解析することも可能である。このとき、条件式は、 $c_1 = c_{N+1} = 0$ およびエネルギー条件式の計3式により各層の b_i, c_i, W_0 を求めることになる。

また、荷重状態は、フーリエ級数を用いることにより任意の状態に対応できる。

4. 数値計算例 解析モデルは、実測値が示されている文献1)と同様なコンクリートと波形鋼板より成る合成桁とし（図3）、荷重 $P=10t$ 、分割層数 $N=135$ （ $dh=3m$ ）、フーリエ級数の項数 $J=200$ を用い、コンクリートと鋼の材料定数は文献1)より以下のようにおいた。また解析においては、A体、B体、C体で接合部に若干の差異は見られるが、全ての供試体について、コンクリートフランジと波形鋼板との接合部においてずれは生じないとした。

図4～図8にせん断応力、曲げ応力およびたわみについて、各実測値との比較を示す。

コンクリート： $E_c=2.8 \times 10^5$ (kgf/cm²)； $\nu_c=0.15$

鋼： $E_s=2.1 \times 10^6$ (kgf/cm²)； $\nu_s=0.3$

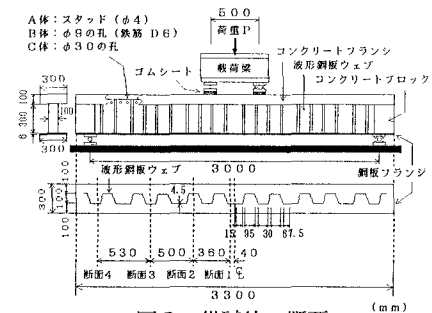


図3. 供試体の概要

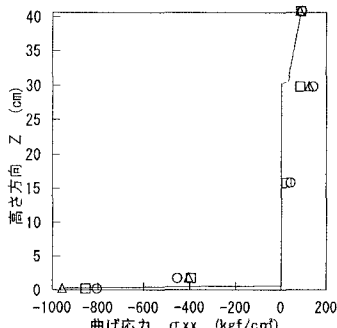


図4. 断面1における曲げ応力 σ_{xx} の高さ方向分布

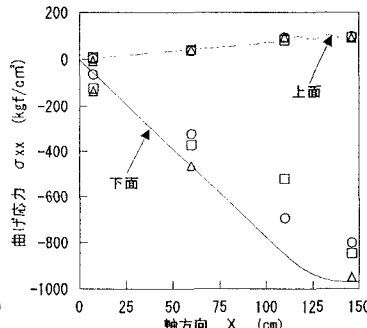
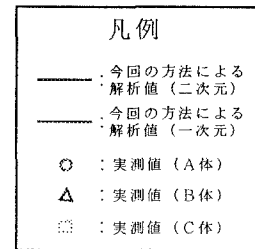


図5. 桁上下面における曲げ応力 σ_{xx} の軸方向分布（左端を $X=0$ とする）



※曲げ応力 σ_{xx} については、圧縮応力を正とした。

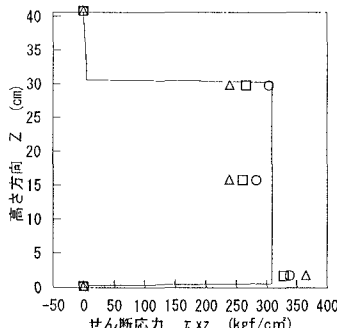


図6. 断面4におけるせん断応力 τ_{xz} の高さ方向分布

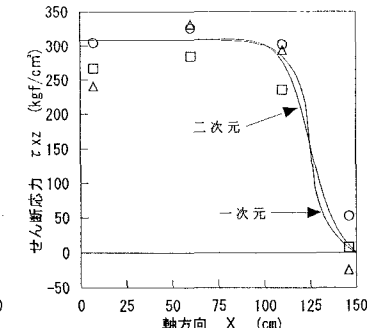


図7. $Z=29.6$ (cm) 水平面におけるせん断応力 τ_{xz} の軸方向分布（左端を $X=0$ とする）

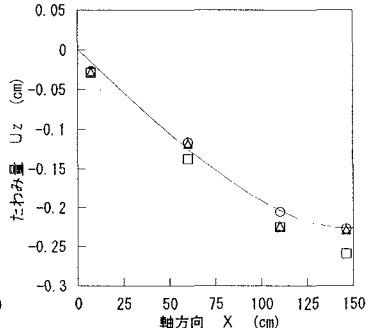


図8. 桁下面におけるたわみの軸方向分布

5. まとめ 本解析より、以下の結果が得られた。①解析結果のうち各変位・応力については、実測値とほぼ一致する。しかし、ウェブのひずみについては、解析上見かけの弾性定数を用いたため実測値と異なる値が得られた。②式1)に示した波形鋼板ウェブの剛性換算手法は妥当である。③本解析に用いたモデルは、垂直応力 σ_{zz} の影響が小さいため、はりと見なすことができ、一次元的解析が適用できるモデルである。

参考文献

- 1) 依田・多田・中島・大内: 波形鋼板ウェブを持つ合成桁の力学的挙動に関する実験的研究、鋼構造論文集、Vol. 11 No. 2, pp. 57-66, 1994
- 2) 谷口・依田: 軸力と曲げを受ける積層はりの簡易解析法に関する研究、第23回関東支部技術研究発表会、pp. 14-15, 1996
- 3) 依田・大浦: 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, pp. 1251-1258, 1993
- 4) 関井・大浦・依田: 波形鋼板ウェブのせん断座屈強度に関する一考察、第48回年次学術講演会概要集第1部、pp. 218-219, 1993