

CS-60

波形鋼板ウェブを持つ合成桁の簡易非線形曲げ解析に関する研究

早稲田大学大学院 学生員 ○谷口 望

早稲田大学理工学部 正員 依田照彦

1. まえがき

波形鋼板をウェブに用いた合成桁は、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一次元解析を行うことでさえ容易ではない。そこで本研究では、曲げを受ける波形鋼板ウェブ I 形断面合成桁に対する簡易非線形曲げ解析法を提案し、実測値との比較により、その妥当性を調べることを目的とする。

本解析では、I 形断面桁を幅の等しい断面よりなる積層桁に等価換算し、その積層桁を N 個の微小層に分割することにより、各層内の変位・応力を線形近似している。得られた変位場・応力場をもとに通常のマトリックス法を用いて定式化を行っている。また桁の非線形解析には、初期応力法を用いている²⁾

2. 材料定数の換算手法

Fig.1のような合成桁のウェブは、Fig.2のように横断面形状が一樣でないで、波形鋼板ウェブの見かけの材料定数は、文献3)をもとに次式で表現する。

$$E_x = \frac{A+C}{3A+D} E_s \left(\frac{t}{H} \right)^2, G = \frac{A+C}{A+D} G_s, \nu_x = \nu_s \quad (1a, b, c)$$

ここに、A, C, D, t, H: Fig.2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 , ν_x : 軸方向 (x 方向) の見かけのヤング率および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 は変化させないものとする。

3. 積層桁の解析手法

曲げが卓越した両辺単純支持の桁に、鉛直方向荷重

$$q(x) = Q \sin(\pi/l)x \quad (2)$$

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。

$$u_{xi} = b_i w^{(1)}, \quad \tau_{xzi} = c_i w^{(3)} \quad (3a, b)$$

ここに、 u_{xi} , τ_{xzi} : i 層下面における水平方向変位およびせん断応力、 w : x のみの関数 ($= W_0 \sin(\pi/l)x$, W_0 : 定数)、 $w^{(n)}$: w の x 方向 n 階微分。式(3)を応力-ひずみ関係式・ひずみ-変位関係式・応力の釣り合い

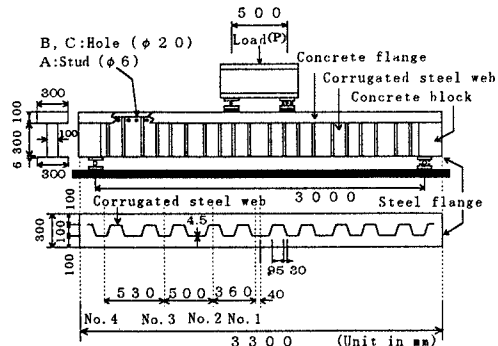


Fig.1: 試験供試体

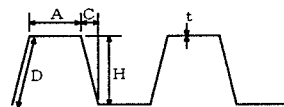


Fig.2: 波形鋼板

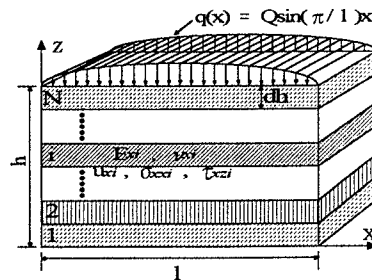


Fig.3: 積層構造モデル

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、 $c_1 = c_{N+1} = 0$ の 2 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 3 条件式を用いて、各層の b_i , c_i , W_0 および断面の曲げ剛性 EI を求めることができる。曲げ応力 σ_{xx} は、水平方向変位を用いて表現できる。

4. 初期応力法による非線形曲げ解析

曲げ問題の弾性桁の曲げモーメント M は、次式で示される。

$$M = -EI \cdot w^{(2)} \quad (4)$$

キーワード: 合成桁, 波形鋼板ウェブ, 積層構造, 初期応力法

連絡先: 早稲田大学理工学部土木工学科(〒169 新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3399, FAX 03-3200-2567)

ここに $w^{(2)}$ は曲率であり、非線形領域では曲げ剛性の値は軸方向曲げひずみ ϵ_{xx} の分布形状に依存する。

初期応力法では、不均質な剛性を持つ桁を、均質な桁に置き換えるために、等価応力または等価ひずみを用いるが、ここでは桁を一次元的に扱っているので、等価曲げ荷重 M^* および等価鉛直荷重 V^* を均質な桁の剛性変化部分に作用させる。つまり、これらの等価荷重を用いることにより、等価性を保証するのである。これを式(4)に適用すれば、

$$M = -EI \cdot w^{(2)} - M^* \quad (5)$$

となる。また等価鉛直荷重 V^* は、モーメント荷重 M^* の支点反力への影響を打ち消すように設定する。

5. 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（Fig.1）、分割層数 $N=135$ （ $dh=3\text{mm}$ ）を用い、コンクリートと鋼の材料定数は文献1)より次のようにおいた。また解析においては、A体（スリット使用）、B体（孔使用）、C体（孔と網筋使用）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、コンクリート部の圧縮ひずみが $\epsilon_{xx}=0.0035$ に達した点を破壊とした。

コンクリート： $E_c=2.8 \times 10^5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ ； $\nu_c=0.15$ ；

$\sigma'_{ck}=450 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ ； $E'_c=E_c/10000$ 。

鋼： $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ ； $\nu_s=0.3$ ；

$\sigma_{sy}=3150 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ ； $E'_s=E_s/450$ 。

ここに、 σ'_{ck} 、 σ_{sy} ：コンクリートおよび鋼の降伏応力、 E'_c 、 E'_s ：コンクリートおよび鋼の降伏点以降のヤング率。Fig.4～Fig.7にたわみ、曲げひずみおよびせん断応力について、各実測値との比較を示す。

6. まとめ

非線形解析に基づく簡易曲げ解析は、塑性化が部分的に進んだ後の剛性変化が容易に計算できるため、初期応力法と組み合わせることにより簡潔なものとなっている。

参考文献

- 1) 中島 陽・依田照彦・大浦 隆・佐藤幸一・武村浩志：波形鋼板ウェブとコンクリートフランジとの接合部の構造に関する実験的研究，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，No. 43，pp. 173-177，1995。
- 2) 山口栄輝・堀 宗朗・久保喜延：等価介在物法を用いた平面骨組構造物の弾塑性解析，構造工学論文集，Vol. 41A，pp. 9-14，1995。
- 3) 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，pp. 1251-1258，1993。

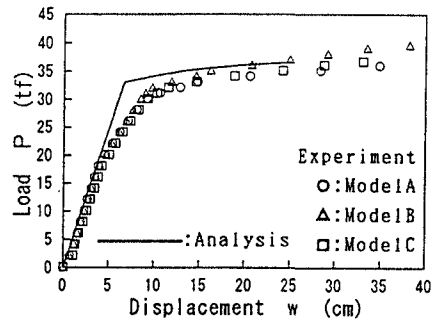


Fig.4：断面1における下フランジの荷重-たわみ図

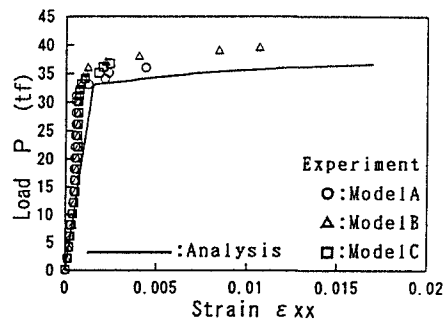


Fig.5：断面1における桁下面の荷重-曲げひずみ図

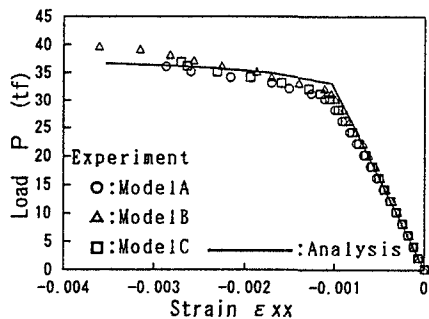


Fig.6：断面1における桁上面の荷重-曲げひずみ図

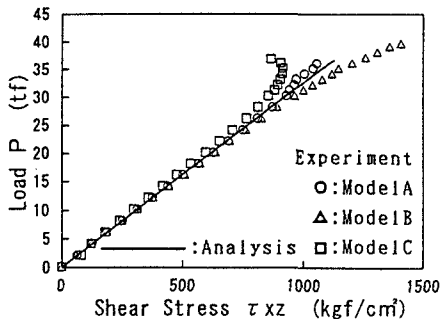


Fig.7：断面3におけるウェブ中央の荷重-せん断応力図