

波形鋼板ウェブ複合桁のI型断面供試体の曲げ破壊実験

日本大学 大学院 正会員 ○堀川 長洋
 川田建設株式会社 正会員 工修 東房 健太
 日本大学 理工学部 正会員 工修 井戸 功誠
 日本大学 理工学部 正会員 Ph.D. 山崎 淳

1. はじめに

これまで波形鋼板ウェブ複合桁の耐荷機構の検討する目的で、図-1に示すI型断面の供試体を用いて、2点载荷実験を行ってきた。複合橋設計施工規準(案)¹⁾では、「曲げに伴うせん断力はすべて波形鋼板ウェブで抵抗するものとしてよい。」としていることから、実験では曲げ破壊が起こると想定していた。しかし、上床版でせん断破壊(写真-1参照)を起こした。²⁾その後の検討で、この断面では波形鋼板ウェブのせん断力分担率は約60%である事がわかった。

今回は、波形鋼板ウェブ複合桁の曲げ破壊挙動を確認するため、せん断スパンを長くし、図-2に示す供試体(図-1と同じ断面)を製作し、2点载荷実験を行い、曲げ破壊した。ここでは、実験方法と実験に対して行ったFEM解析方法、結果として2.検討項目に示す3点について報告する。

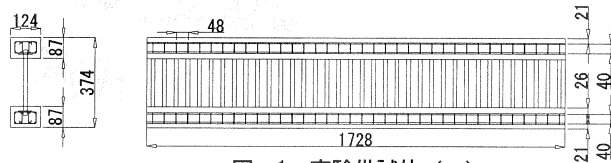


図-1 実験供試体 (mm)

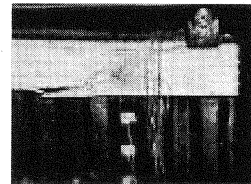


写真-1 破壊状況

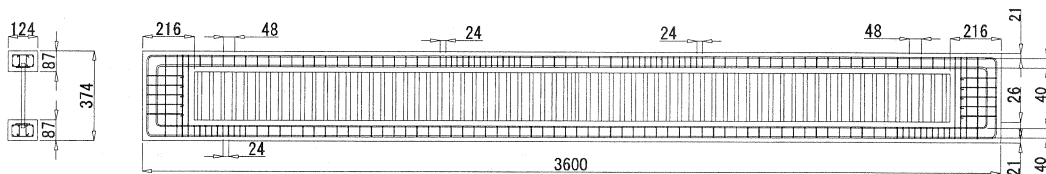


図-2 実験供試体 (mm)

2. 検討項目

本実験では、次の3点に着目した。

- 1) 荷重変位関係
- 2) 軸方向ひずみの桁高方向分布
- 3) 波形鋼板ウェブのせん断力分担率

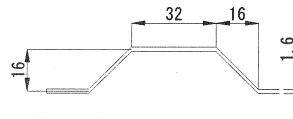


図-3 波形鋼板形状 (mm)

3. 実験供試体

これまでの実験で用いた供試体の寸法と同様に、上・下床版とも1段4本の主鉄筋(D6)を2段配置し、せん断補強のためにスターラップ(#14の針金)を48mm間隔で配置し、床版はコンクリートで製作した(図-2、図-3、表-1)。また、写真-1に示す上床版のせん断破壊した領域が約300mmであった事から载荷点付近・支点付近300mm部分のスターラップの配置間隔を24mmにした。桁中央部における波形鋼板間の接合は接合板を用いた2面摩擦接合を用いた。床版と波形鋼板の接合方法は埋め込み接合を用いた。

表-1 使用材料

主鉄筋 (D6)

材質	SD295
引張強度: f_y	300 N/mm ²
弾性係数: E_s	210 kN/mm ²
公称断面積: A_s	31.67 mm ²
橋軸横方向1列の本数	4本

波形鋼板

材質	SS400
波形鋼板厚	1.6 mm
波形鋼板高さ	270 mm
波高さ	16 mm
パネル幅	32 mm

4. 実験概要

載荷実験は、支間長 3000mm、載荷点距離 300mm (せん断スパン比=1350/353=3.82) の単純梁 2点載荷実験を行った。載荷装置を図-4 に示す。載荷はアムスラー試験機を用いた。荷重は荷重分配梁を介し、供試体に伝達される。実験は破壊に至るまで行った。

図-5 に計測位置側面図、表-2 に計測項目を示す。載荷荷重、桁中央の変位、計測面を設け、面に沿ってひずみを計測した (図-6 参照)。また、図-7 に示す通り π型変位計を取り付け、計測区間 200mm の変位を計測し、ひずみ分布を調べた (写真-2 参照)。

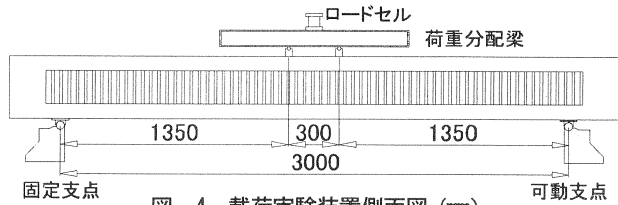


図-4 載荷実験装置側面図 (mm)

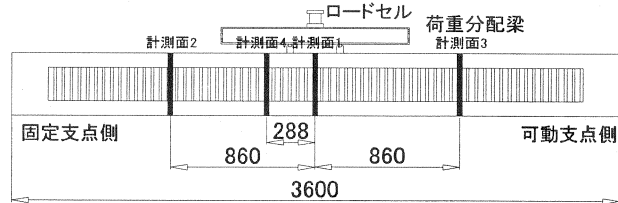


図-5 計測位置側面図 (mm)

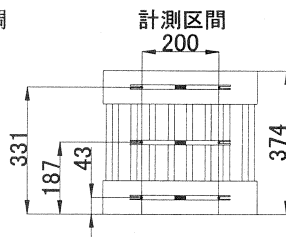


図-7 π型変位計設置図 (計測面 2) (mm)

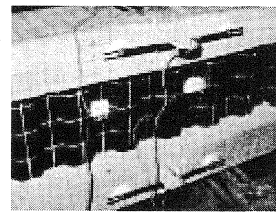


写真-2 π型変位計設置状況

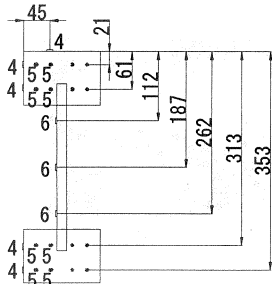


図-6 計測面ゲージ位置 (mm)
(計測面 2・3・4)
(ゲージの種類は表-2 参照)

表-2 計測項目

計測番号	計測項目	計測機器
1	載荷荷重	ロードセル
2	桁中央の鉛直変位	変位計
3	橋軸方向の変位	π型変位計
4	床版のひずみ	単軸ひずみゲージ
5	鉄筋のひずみ	単軸ひずみゲージ
6	波形鋼板ウェブのせん断応力度	3軸ひずみゲージ

注) 計測番号4~6は、図-6内のゲージ番号に対応

5. FEM 解析

FEM 解析は、有限要素法汎用構造解析プログラム「LUSAS Ver. 13.5」を用いて、3次元線形の FEM 解析を行った。図-8 に FEM 解析概要図を示す (左右対称条件から半分のみをモデル化)。表-3 の解析用値を解析条件に用いた。載荷荷重は、実験結果からひび割れ発生前の載荷荷重 5.0kN とした (2点載荷のため、2.5kN を作用)。

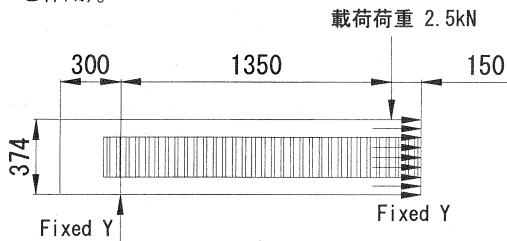


図-8 FEM 解析モデル概要図

表-3 解析用値

	コンクリート床版	波形鋼板ウェブ	主鉄筋
要素	Solid要素	Shell要素	Bar要素
弾性係数	20 kN/mm ²	200 kN/mm ²	210 kN/mm ²
ポアソン比	0.2	0.3	0.3

6. 結果と考察

検討項目の 3 点について、実験結果、予測値結果および FEM 解析結果を示す。

1) 荷重変位関係

図-9に実験値と予測値の荷重変位関係を示す。載荷荷重 5.2kN の時に下床版部にひび割れが発生し、載荷荷重 44.55kN の時に最下部鉄筋が降伏し、載荷荷重 65.25kN の時に上床版が圧壊した(写真-3参照)。写真-4に実験終了時の供試体の状況を示す。変位約 0.45mm までの実験値、予測値、FEM 解析値の荷重変位関係を図-10に示す。図-10より、実験値、予測値、FEM 解析値はほぼ一致した。

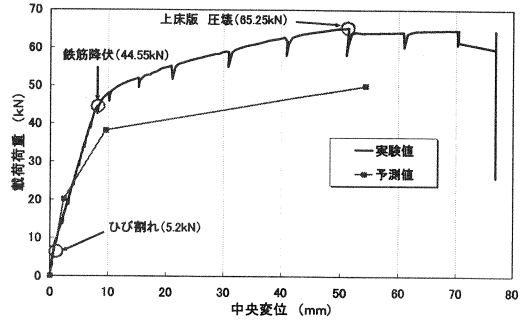


図-9 荷重変位関係図

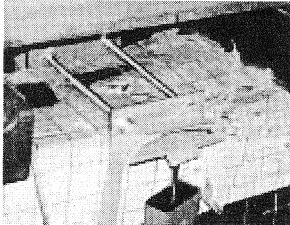


写真-3 上床版 圧壊状況

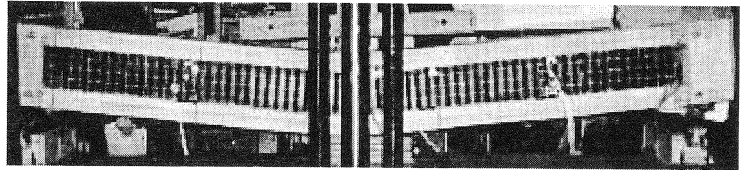


写真-4 供試体破壊状況

予測値計算は、ファイバーモデルを用いて断面力の計算を行い、各状態のモーメント-曲率関係を算出した。載荷荷重は、各状態のモーメントより算出した。変位は、各状態の曲率よりモーメントの定理を用いて算出した値に理論による計算結果³⁾から波形鋼板のせん断変形を考慮して、算出した。

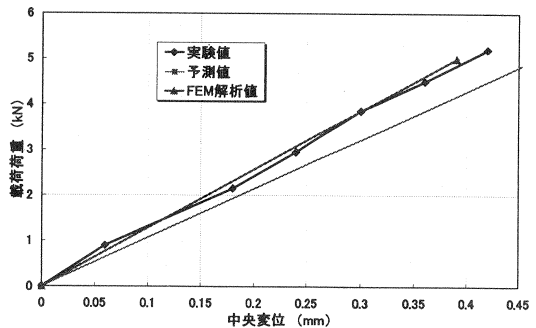


図-10 荷重変位関係図

2) 軸方向ひずみの桁高方向分布

桁中央から 860mm の位置 (計測面 2) での軸方向ひずみの桁高方向分布を図-11 (ひずみゲージ・ π 型変位計) に示す。図-11より、a) ひずみゲージを用いた場合、桁にひずみは発生しているが、ウェブのひずみはほぼゼロを示している。b) π 型変位計を用いた 200mm の計測区間では上・下床版とウェブの見かけのひずみは、ほぼ直線分布している。

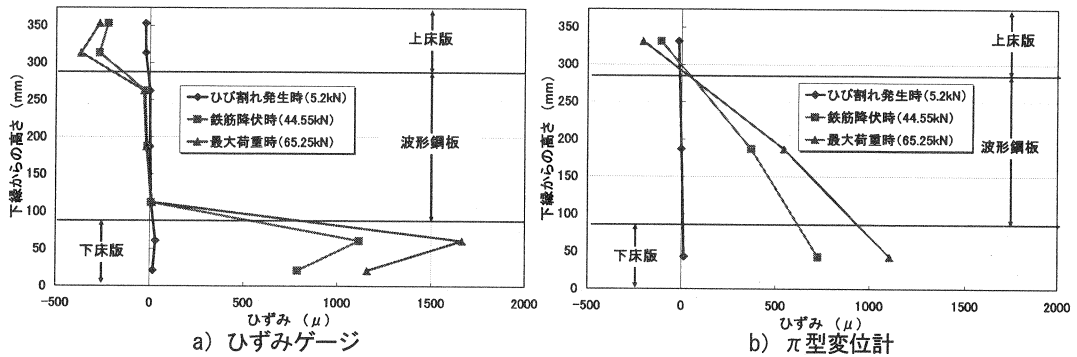


図-11 軸方向ひずみの桁高方向分布図

3) 波形鋼板ウェブのせん断力分担率

図-12に実験値と理論による予測値の載荷荷重とせん断力分担率の関係を示す。図-12より、波形鋼板は

60~70%のせん断力を分担している。

載荷荷重 5.0kN 時における計測面 2・3 の実験値, 予測値, FEM 解析値のせん断応力度分布図・せん断応力度×部材幅分布図を図-13 に示す。また, せん断力分担率の実験値, 予測値, FEM 解析値を表-4 に示す。図-13, 表-4 より波形鋼板ウェブ部分の実験値, 予測値, FEM 解析値がほぼ一致した。

表-4 せん断力分担率

	実験値	予測値	FEM解析値
せん断力分担率	66.1%	67.6%	63.8%

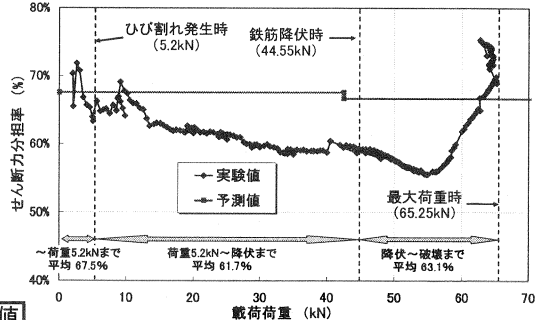
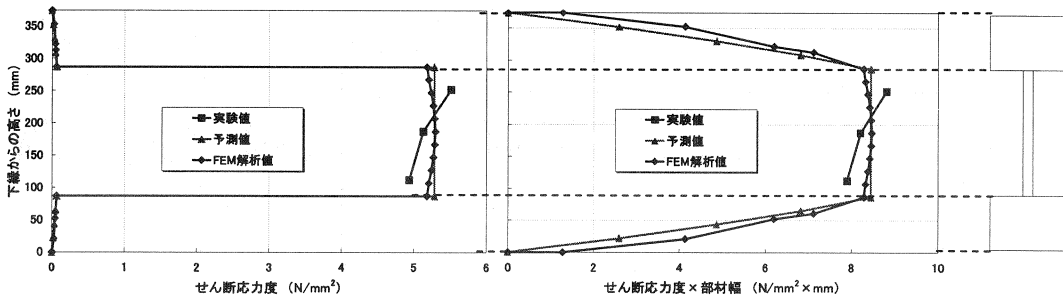


図-12 波形鋼板せん断力分担率



a) せん断応力度分布図

b) せん断応力度×部材幅分布図

図-13 せん断応力度分布・せん断応力度×部材幅分布図

7. まとめ

波形鋼板ウェブ複合桁の載荷実験を行い, 波形鋼板が変形する事なく, 曲げ破壊が起きた。曲げ破壊が起きた事によって, 以下に示す事が得られた。

- 1) 載荷荷重 5.2kN の時に下床版部にひび割れが発生し, 載荷荷重 44.55kN の時に最下部鉄筋が降伏し, 載荷荷重 65.25kN の時に上床版が圧壊した。また, 荷重変位関係において変位約 0.45mm までの実験値, 予測値, FEM 解析値がほぼ一致した。
- 2) ひずみゲージを用いた場合, 桁にひずみが発生しているが, ウェブでのひずみの値はほぼゼロを示した。π型変位計を用いた 200mm の計測区間では上・下床版とウェブの見かけのひずみは, ほぼ直線分布していた。
- 3) 実験値から, 波形鋼板が 60~70%のせん断力を分担していた。また, 載荷荷重 5.0kN 時の実験値, 予測値, FEM 解析値がほぼ一致した。

今後は, 波形鋼板ウェブ PC 複合桁を製作し, 曲げ破壊挙動の確認を行い, 比較・検討して行く。

謝辞

実験は, 平成 15 年度日本大学理工学部土木工学科卒業生の鈴木愛 (日本大学大学院理工学研究科), 村橋堅成 (日本防触工業株式会社), 森嶋淳一 (宮地建設工業株式会社) によって実施された。上記の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 複合橋設計施工標準 (案): 平成 11 年 12 月, (社) プレストレストコンクリート技術協会
- 2) 堀川, 東房, 井戸, 山崎: 波形鋼板ウェブ複合桁の耐荷機構に関する実験的研究, 第 12 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, (社) プレストレストコンクリート技術協会, pp. 545~548, 平成 15 年 10 月
- 3) 鈴木, 東房, 井戸, 山崎: 波形鋼板ウェブ複合桁のせん断力分担割合に関する一考察, 第 13 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, (社) プレストレストコンクリート技術協会 (掲載予定)