

## 波形鋼板ウェブ複合桁の耐荷機構に関する実験的研究

日本大学 大学院 正会員 ○堀川 長洋  
 日本大学 大学院 正会員 東房 健太  
 日本大学 理工学部 正会員 工学修士 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

近年、ウェブに波形鋼板を適用した波形鋼板ウェブ橋の設計・施工が多く行われている。2003年5月末現在、日本国内で30橋以上の橋梁が設計・施工されている。そこで、波形鋼板ウェブ橋の特徴に対する明確な根拠を得るために確認する実験を行っている。

今回は、図-1に示す上・下床版部分と波形鋼板ウェブ部分を有した3種類の縮小供試体を製作し、2点载荷実験を行った。ここでは、実験概要・結果、FEM解析について報告する。現行の規準<sup>1)</sup>では「ウェブで全てのせん断力に抵抗するとしてよい」としている事から、実験では曲げ破壊が起こると想定したが、実際にはせん断破壊が起きた。

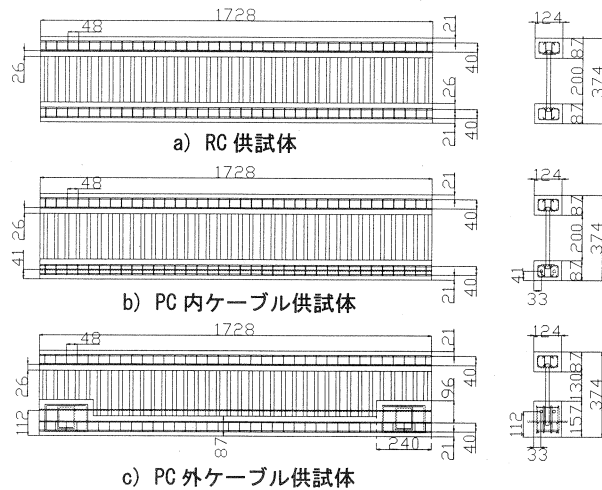


図-1 実験供試体 (mm)

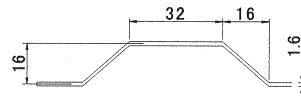


図-2 波形鋼板形状 (mm)

### 2. 検討項目

本研究では、次の3点に着目した。

- 1) 破壊までの挙動
- 2) 橋軸方向ひずみの桁高方向の分布
- 3) 波形鋼板ウェブのせん断力の分担率

### 3. 実験供試体

実験供試体の構造を簡易化するため、上・下床版と波形鋼板ウェブからなる1ウェブのI型断面の供試体を製作した(図-1、図-2、表-1)。ただし、今回は床版をモルタルとした。3種類の供試体の断面寸法は同じであり、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間隔で配置した。床版と波形鋼板の接合方法には、埋め込み接合を用いた。

下床版内にアンボンドでPC鋼線を配置し、下床版端部で定着させたものをPC内ケーブル供試体とする。また、PC鋼線を下床版端部の突起部に定着させたものをPC外ケーブル供試体とする。PC鋼線配置位置の違いによる挙動を確認するため、アンボンドを用いた。

表-1 使用材料

主鉄筋 (D6)	
引張強度: $f_t$	0.3 kN/mm <sup>2</sup>
弾性係数: $E_s$	210 kN/mm <sup>2</sup>
公称断面積: $A_s$	31.67 mm <sup>2</sup>
橋軸横方向1列の本数	4本
PC鋼線 (SWPD3)	
引張強度: $f_{pu}$	1.9 kN/mm <sup>2</sup>
弾性係数: $E_p$	223 kN/mm <sup>2</sup>
本数	2本

### 4. 実験概要

载荷実験は、3種類の供試体とも支間長1500mm、载荷点距離500mmの単純梁2点载荷実験を行った。载荷実

験装置 (RC供試体) を図-3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。載荷実験は破壊に至るまで行った。

計測は、図-4のように載荷荷重をロードセル、桁中央の変位を変位計、ひずみを桁中央・桁中央から左右に384mmの位置に計測面を設け、面に沿って取り付けたいひずみゲージにより計測した。計測項目・計測方法を表-2に示す。また、各々の計測面におけるゲージ位置については、図-5に示す。

PC鋼線は、2本配置し、プレストレス (以下、P/S) 導入は1本ずつ導入した。P/S導入装置を図-6に示す。P/S導入量は、RC供試体でのひび割れ発生荷重 (49.99kN) を載荷させた時にデコンプレッション状態となる量とした。PC内ケーブル供試体には40.0kNを導入し、PC外ケーブル供試体には、44.2kNを導入した。

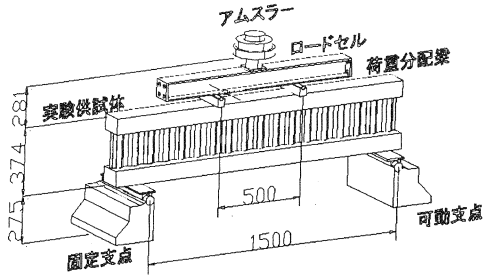


図-3 載荷実験装置 (mm)

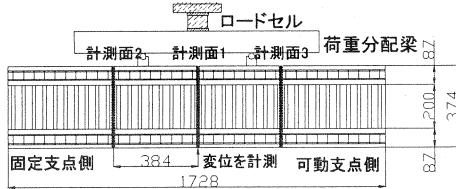


図-4 計測位置側面図 (mm)

表-2 計測項目

計測番号	計測項目	計測方法
1	載荷荷重	ロードセル
2	P/S導入荷重	ロードセル
3	桁中央の鉛直変位	変位計
4	波形鋼板ウェブのせん断応力度	3軸ひずみゲージ
5	波形鋼板ウェブのひずみ	単軸ひずみゲージ
6	床版のひずみ	単軸ひずみゲージ
7	鉄筋のひずみ	単軸ひずみゲージ

注) 計測番号4~7は、図-5内のゲージ番号に対応

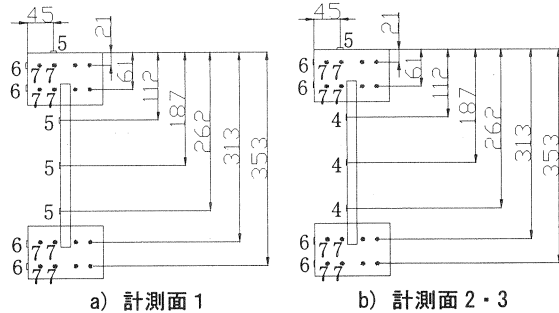


図-5 計測面ゲージ位置 断面図 (mm)

## 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. 13.4」を用いて3次元FEM解析を行った。図-7にFEM解析モデル概要図を示す (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。載荷荷重は弾性範囲内で行うため、任意の載荷荷重20kNを載荷荷重とした (2点載荷のため、10kNを作用させた)。P/Sは、外力として作用させた。

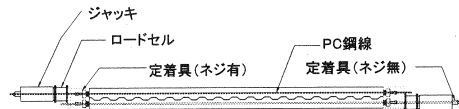


図-6 P/S 導入装置

表-3 解析用値

要素	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	28 kN/mm <sup>2</sup>	210 kN/mm <sup>2</sup>	210 kN/mm <sup>2</sup>
ポアソン比	0.2	0.3	0.3

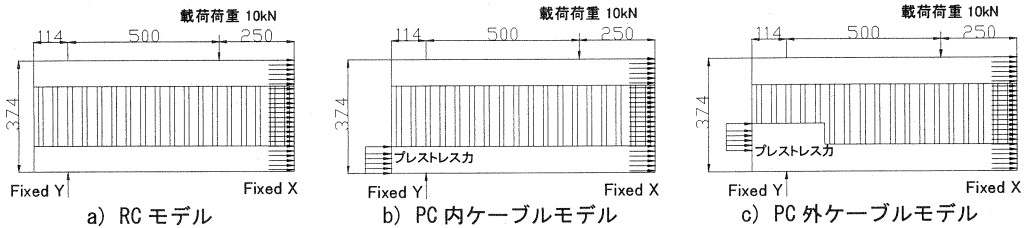


図-7 FEM 解析モデル概要図

## 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) 破壊までの挙動

図-8に3種類の供試体の実験値と予測値の荷重変位関係を示す。予測値の変位は、表-4のFEM解析結果から波形鋼板のせん断力の分担率を60%として、波形鋼板のせん断変形を考慮し、算出した。

図-8から、実験値のグラフ形状が鉄筋降伏付近までほぼ一致している。その後、各々の供試体において載荷荷重159.2kN・154.1kN・168.5kNの時に大きな音とともに、上床版において写真-1 (PC内ケーブル供試体) に示すようなせん断破壊が起きた。また、PC内・外ケーブル供試体において桁端部・載荷点付近で写真-2のような波形鋼板の変形を確認した。

床版がせん断破壊した事を受けて、破壊時に床版にせん断力がどの程度発生していたかを検討する必要が生じた。検討については7. 破壊に対する検討で述べる。また、床版のせん断に対する補強方法の検討の必要が生じた。

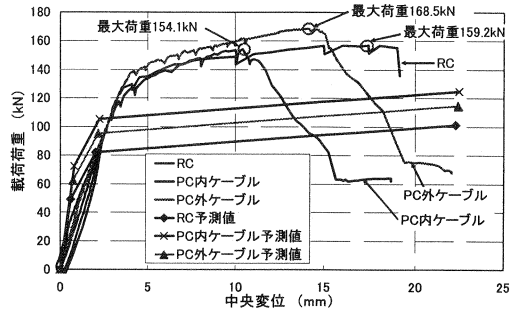


図-8 荷重変位関係図

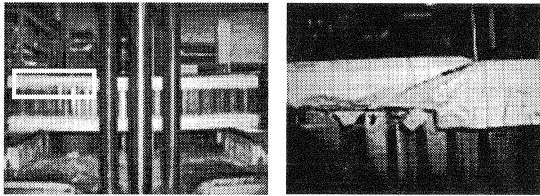


写真-1 供試体破壊状況

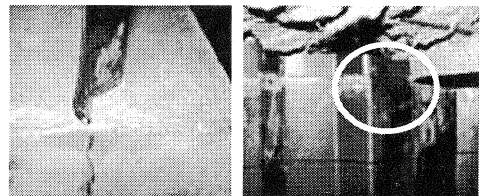


写真-2 鋼板変形

2) 橋軸方向ひずみの桁高方向の分布

載荷荷重20kN時の桁中央から384mmの位置 (計測面2) での橋軸方向ひずみの桁高方向に分布させたグラフを図-9 (実験値とFEM解析値) に示す。図-9から3種類の供試体とも波形鋼板に大きなひずみが発生していない事がわかる。この事から、波形鋼板が橋軸方向に抵抗していない事がわかった。

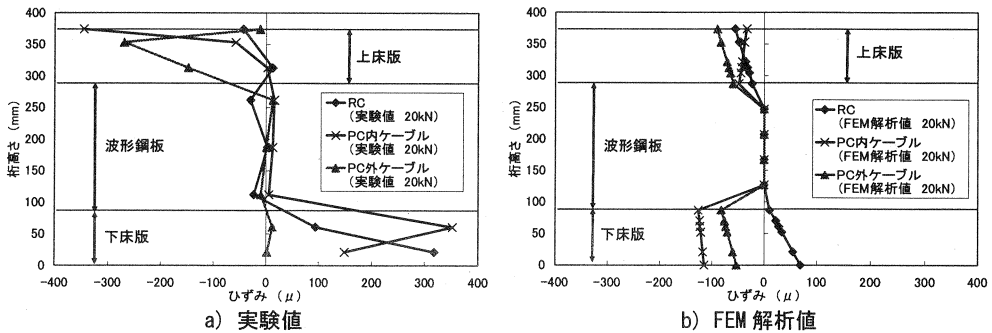


図-9 橋軸方向ひずみの桁高方向分布図

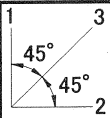
3) 波形鋼板ウェブのせん断力の分担率

波形鋼板ウェブのせん断力分担率に着目した。載荷荷重とせん断力分担率の関係を図-10に示し、載荷荷重20kN時における床版と波形鋼板ウェブのせん断力分担率の実験値とFEM解析値を表-4に示す。図-10より、せん断力分担率はほぼ一定値を示している事がわかった。また表-4より、実験結果とFEM解析結果が一致する結果になり、波形鋼板が約60%のせん断力を分担している事がわかった。

この事から、床版のせん断力に対する補強方法を検討する必要が生じた。

ここで、実験値は以下のように算出した。波形鋼板の3軸ひずみゲージ(図-5参照)の計測値から下記に示す計算方法からせん断応力度を算出した。これらの平均値から実験時における波形鋼板ウェブのせん断力を算出した。

**計算方法**



$$\tau = \frac{E}{2(1+\nu)} \sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}}$$

$\tau$ : せん断応力度  
 $E$ : 弾性係数 (= 210 kN/mm<sup>2</sup>)  
 $\nu$ : ポアソン比 (= 0.3)

第1軸:  $\varepsilon_1$   
 第2軸:  $\varepsilon_2$   
 第3軸:  $\varepsilon_3$

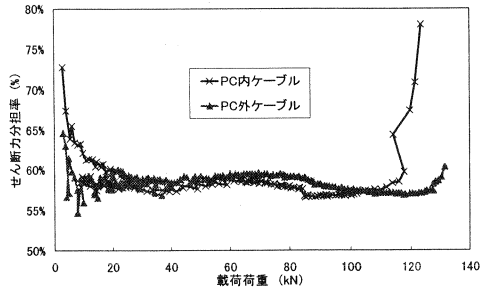


図-10 波形鋼板せん断力分担率

表-4 せん断力分担率

検討部材	PC内ケーブル供試体				PC外ケーブル供試体			
	実験結果		FEM解析結果		実験結果		FEM解析結果	
	せん断力 kN	分担率 %	せん断力 kN	分担率 %	せん断力 kN	分担率 %	せん断力 kN	分担率 %
床版	8.1	40.5	8.1	40.5	8.2	41	7.8	39
波形鋼板ウェブ	11.9	59.5	11.9	59.5	11.8	59	12.2	61
合計	20	100	20	100	20	100	20	100

## 7. 破壊に対する検討

床版がせん断破壊した時に、床版にせん断力がどの程度発生していたかを検討する。検討を行うにあたり、上床版のみに着目し、梁として考えた。コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>に則して、梁のせん断耐力を算出した結果、せん断耐力は16.3kNとなった。この値からせん断破壊した時の床版と波形鋼板のせん断力分担率を算出し、表-5に示す。表-5より、せん断破壊時において波形鋼板のせん断力分担率が約60%である事がわかった。

一方、本検討におけるせん断力の算出方法の検討も十分ではない。引き続き、この内容に対する検討の必要が生じた。

表-5 せん断力分担率

	RC供試体		PC内ケーブル供試体		PC外ケーブル供試体	
	せん断力 kN	分担率 %	せん断力 kN	分担率 %	せん断力 kN	分担率 %
	床版	32.6	41	32.6	42	32.6
波形鋼板	47.0	59	44.5	58	51.7	61
合計(破壊時の荷重の1/2)	79.6	100	77.1	100	84.3	100

注) 床版のせん断力は、計算により算出した床版のせん断耐力である。

## 8. まとめ

本研究で行った実験とFEM解析によって、以下に示す結論を得た。

- (1) 曲げ破壊を想定していたが、せん断破壊が起きたため、曲げ破壊の挙動を確認する事ができなかった。床版でせん断破壊が起きた事からせん断に対する補強方法の検討の必要が生じた。また、写真-2のような波形鋼板の変形が起きた事と床版のせん断破壊が起きた事の関係性の検討の必要が生じた。
- (2) 波形鋼板の特性である橋軸方向に抵抗しない事が実験結果からわかった。
- (3) 実験値とFEM解析値から波形鋼板ウェブがせん断力を約60%分担している事がわかった。「ウェブで全てのせん断力に抵抗するとしてよい」という現行の規準<sup>1)</sup>の内容とは異なる結果となった。今後は、波形鋼板ウェブ複合桁の曲げ破壊等、今回生じた検討について取り組んで行く。

## 参考文献

- 1) 複合橋設計施工規準(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) Kosei, Ido : Experimental Study of Composite Girder with Corrugated Steel Web, 第11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, 平成13年11月, pp11 - 16
- 3) 土木学会 : 2002年制定コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]