

## 桁高変化を考慮した波形鋼板ウェブPC部材のせん断分担率に関する検討

オリエンタル建設株式会社 第二技術部 正会員 ○浦川 洋介  
 オリエンタル建設株式会社 第二技術部 正会員 正司 明夫  
 広島大学 大学院工学研究科 助教授 藤井 堅  
 広島大学 大学院工学研究科 吉田 直人

### 1. はじめに

近年実績が増えている波形鋼板ウェブPC橋に対しては、既往の実験や解析を含め、そのせん断特性等に関して多くの研究が行われている<sup>1)2)</sup>。設計においては、部材に作用するせん断力は、すべて波形鋼板ウェブが受け持つとして計算されるが、実際に波形鋼板ウェブと上下床版コンクリートが受け持つせん断力の分担率を適切に評価できる式は確立されていない。また、桁高変化区間では波形鋼板ウェブのせん断分担率が小さくなり、せん断変形も小さくなる傾向にあるため、等断面区間と変断面区間でのせん断分担率の違いや上下床版厚と波形鋼板ウェブ高の関係によるせん断分担率の傾向を把握する必要がある。

本検討では、波形鋼板ウェブPC部材における、桁高変化を考慮したせん断分担率の評価を目的とし、下床版厚および桁傾斜角をパラメータとした3次元FEM解析を行った。

### 2. 検討概要

本検討では、波形鋼板ウェブPC箱桁を対象とし、波形鋼板ウェブと上下床版コンクリートのせん断分担率を確認するために、桁傾斜角および下床版厚をパラメータとした3次元弾性FEM解析を行った。

ここで、解析モデルは、片持ち梁形式とし、上下床版をSOLID要素、波形鋼板ウェブおよび鋼フランジをSHELL要素でモデル化した。基準断面は、上床版幅10.0m、下床版幅6.5m、上床版厚300mm、下床版厚250mmとし、波形鋼板厚は10mmとした。波形形状は、実施された波形鋼板ウェブPC橋の波形形状における形状係数(水平長と実長の比) $\eta$ が0.90~0.95であるため、その平均的な値( $\eta=0.930$ )とする。張出長さは波形形状に則して16.0mとし、自由端側の桁高は一般的な波形鋼板ウェブPCラーメン橋の支間中央断面を想定した3.55m(鋼板高さ3.0m)とし、桁傾斜角 $\alpha$ を $0^\circ \sim 12^\circ$ に変化させている。下床版厚は、250mm、500mm、750mmの3ケースとし、厚さは一定とした。荷重は、片持ち梁の自由端に集中荷重を載荷し、荷重載荷位置には隔壁を設けた。表-1に解析ケースを、表-2および表-3には波形形状および材料諸元を示す。また、図-1に解析モデルを示す。

表-1. 解析ケース

MODEL NAME	桁高 (m)		桁傾斜角 ( $^\circ$ )	床版厚 (m)		鋼板高さ (m)		備考
	固定端	自由端		上床版	下床版	固定端	自由端	
00-250-16	3.550	3.550	0	0.300	0.250	3.000	3.000	等断面, 基準モデル
06-250-16	5.222	3.550	6	0.300	0.250	4.672	3.000	桁高変化
12-250-16	6.877	3.550	12	0.300	0.250	6.327	3.000	桁高変化
00-750-16	3.550	3.550	0	0.300	0.750	2.500	2.500	下床版厚変化
06-750-16	5.222	3.550	6	0.300	0.750	4.172	2.500	下床版厚変化

表-2. 波形形状

パネル幅 $a$		430	
水平長 $b$		370	
波高さ $d$		220	
斜長さ $c$		430	
波板実長 $s$		1720	
波板水平長 $q$		1600	
板厚 $t$		10	
形状係数 $\eta$		$\eta = L / \Sigma l = s / q$	0.930

表-3. 材料諸元 (基準モデル)

		コンクリート		鋼 波形ウェブ
		上床版	下床版	
ヤング係数	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	3.10E+07	3.10E+07	2.00E+08
ポアソン比	$\nu$	0.167	0.167	0.3
せん断弾性係数	$G$ (kN/m <sup>2</sup> )	1.33E+07	1.33E+07	7.69E+07
高さ(鋼板高)	(m)	0.300	0.250	3.000
幅(板厚)	(m)	10.000	6.500	0.010@2

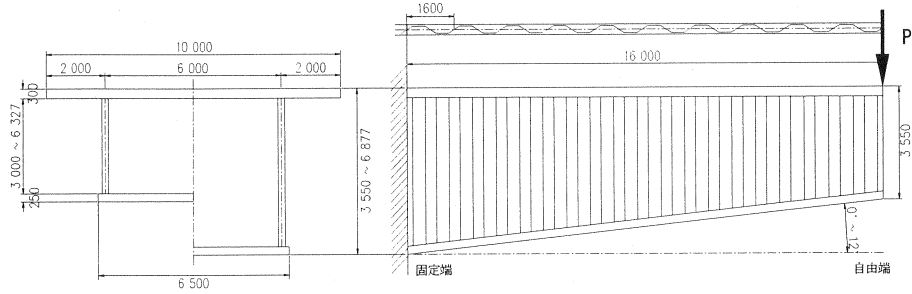


図-1. 解析モデル

### 3. 解析結果

図-2にFEM解析より得られたせん断分担率の結果の例を示す。等断面基準モデルでは、波形鋼板ウェブのせん断分担率は90%程度であるのに対し、下床版厚を250mm→750mmとしたモデルでは約80%となり、下床版厚と波形鋼板ウェブ高の比率によりせん断分担率が異なることが確認できた。さらに、等断面モデルと変断面モデルの比較においては、等断面モデルでは、固定端から4.0m～自由端の範囲でせん断分担率が一定であるのに対し、変断面モデルでは、同区間においても自由端側ほど波形鋼板ウェブのせん断分担率が大きくなっている。また、固定端付近では拘束の影響により波形鋼板ウェブのせん断分担率が小さくなっている。

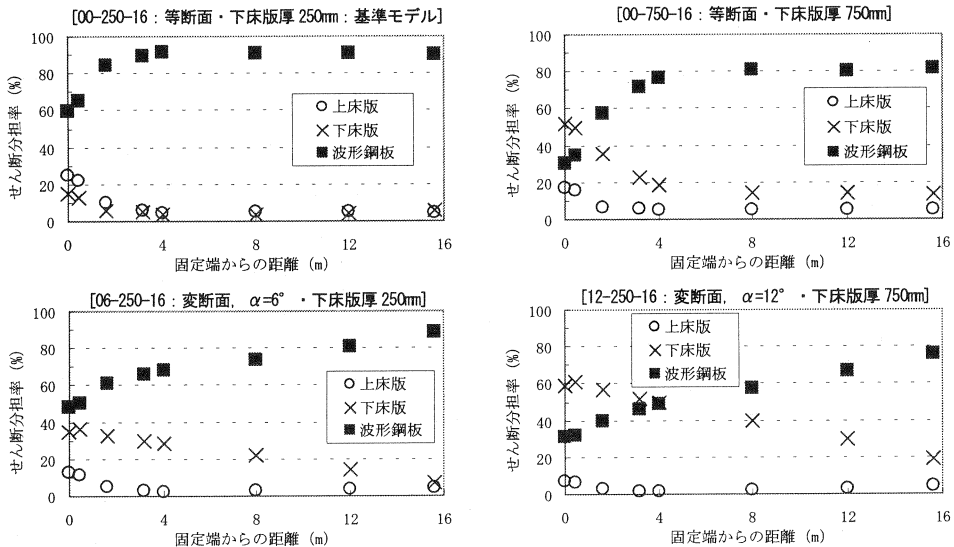


図-2. せん断分担率の比較 (FEM 解析結果)

### 4. せん断分担率の評価

#### 4. 1 等断面モデルのせん断分担率に関する評価

等断面モデルでの結果においては、下床版厚と鋼板高の比によりせん断分担率が変化することが分かるが、せん断力の分担率は、上下床版および波形鋼板ウェブのせん断剛性の比に依存すると考えられるため、これらの構成要素のせん断剛性  $G$  に着目し、検討を行うこととした。諸元については、表-3を参照されたい。

各構成要素 (上下床版, 波形鋼板ウェブ) のせん断剛性は、式(1), (2)で表される。上下床版のせん断剛性算出における有効幅のとり方により上下床版のせん断剛性は異なるが、本検討では、有効幅  $b_w$  をウェブ板厚  $t$  の3倍とした場合にFEM解析値と計算値のせん断分担率が良い一致を示した。よって、ここでは式(2)における上下床版の有効幅を式(3)とした。

・波形鋼板ウェブのせん断剛性

$$G_s A_s = G_s \cdot t \cdot h \cdot \eta \quad \dots (1)$$

ここに、 $G_s$  : 鋼のせん断弾性係数  
 $t$  : 波形鋼板ウェブの板厚  
 $h$  : 波形鋼板ウェブの鋼板高  
 $\eta$  : 波形鋼板ウェブの形状係数

・上下床版のせん断剛性

$$G_c A_c = G_c \cdot b_w \cdot d \quad \dots (2)$$

ここに、 $G_c$  : コンクリートのせん断弾性係数  
 $b_w$  : 上下床版の有効幅  
 $b_w = 3.0 \cdot t \quad \dots (3)$   
 $d$  : 上下床版厚

以上より、等断面波形鋼板ウェブPC部材に対する各構成要素が分担するせん断力は、断面に作用するせん断力を式(4)とすると、以下の式(5-1~5-3)で表される。下床版厚の異なる等断面モデル(下床版厚 250mm, 750mm)に対して、式(5-1~5-3)を用いて算出したせん断分担率を、FEM解析結果と併記して図-3に示す。これらより、等断面モデルにおける上下床版および波形鋼板ウェブのせん断分担率は、式(5-1~5-3)によりせん断剛性の比で表される。

$$S = S_u + S_l + S_w \quad \dots (4)$$

$$S_u = S \cdot \frac{G_{cu} \cdot b_{wu} \cdot d_u}{\sum GA} \quad \dots (5-1)$$

$$S_l = S \cdot \frac{G_{cl} \cdot b_{wl} \cdot d_l}{\sum GA} \quad \dots (5-2)$$

$$S_w = S \cdot \frac{G_s \cdot t \cdot h_w \cdot \eta}{\sum GA} \quad \dots (5-3)$$

添字の  $u, l, w$  は、それぞれ上床版、下床版、波形鋼板ウェブを表す

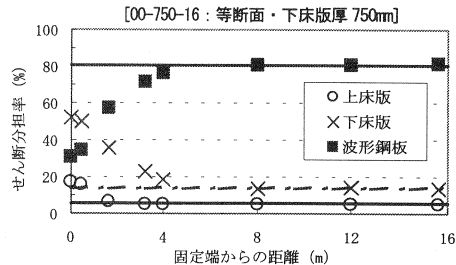
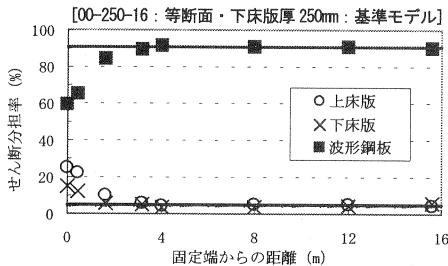


図-3. 等断面モデルのせん断分担率分布 (プロット: FEM解析値, 破線・実線: 計算値)

4. 2 変断面モデルのせん断分担率に関する評価

等断面モデルでの検討より、せん断分担率は上下床版と波形鋼板ウェブのせん断剛性の比で表現できることが確認されたが、変断面モデルに対する3次元 FEM 解析結果(図-2 下段)では、桁高(鋼板高)の高い固定端ほど波形鋼板ウェブのせん断分担率は減少し、逆に下床版では増大する結果となった。この傾向は、桁傾斜角が大きいほど顕著になる。これは、変断面モデルにおいては、桁高変化に伴うせん断分力の影響により、ウェブの負担するせん断力が減少するためと考えられる。桁高変化に伴うせん断分力は式(6)により表され<sup>3)</sup>、この  $S'$  を上下床版および波形鋼板ウェブで分配するものと考えられる。

$$S' = -\frac{M}{d} \tan \beta - \frac{M}{d} \tan \gamma = S'_u + S'_l \quad \dots (6)$$

ここに、 $S'$  : 桁高変化によるせん断分力  
 $M$  : 断面に作用する曲げモーメント  
 $S'_u, S'_l$  : 上床版, 下床版の傾斜によるせん断分力  
 $\beta, \gamma$  : 上床版, 下床版が部材軸となす角度  
 $d$  : 有効高

以上より、変断面部材の各構成要素が分担するせん断力は、以下の式(7-1~7-3)により表される。

$$S_u = S \cdot \frac{G_{cu} \cdot b_{uw} \cdot d_u}{\sum GA} + S'_u \quad \dots (7-1)$$

$$S_l = S \cdot \frac{G_{cl} \cdot b_{wl} \cdot d_l}{\sum GA} + S'_l \quad \dots (7-2)$$

$$S_w = S \cdot \frac{G_s \cdot t \cdot h_w \cdot \gamma}{\sum GA} - (S'_u + S'_l) \quad \dots (7-3)$$

添字の  $u, l, w$  は、それぞれ上床版、下床版、波形鋼板ウェブを表す

変断面モデルに対して、式(7-1~7-3)を用いて算出したせん断分担率および FEM 解析におけるせん断分担率の分布を図-4に示す。FEM 結果をプロット、式(7-1~7-3)によるせん断分担率を実線および破線で併記している。この図より、桁高変化を考慮した波形鋼板ウェブ断面のせん断分担率は、式(7-1~7-3)により適切に評価できることが確認された。

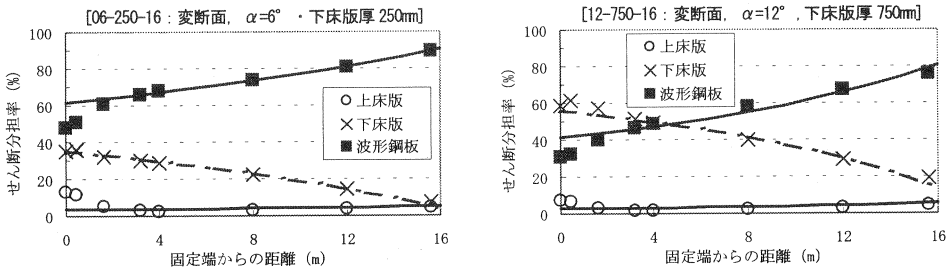


図-4. 変断面モデルのせん断分担率分布 (プロット: FEM 解析値, 破線・実線: 計算値)

### 5. まとめ

本検討により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 本検討のような片持ち梁形式の場合、固定端付近では拘束の影響により波形鋼板ウェブのせん断分担率が減少するものの、等断面部材におけるせん断分担率は一定の分布を示す。
- (2) 等断面波形鋼板ウェブ PC 部材のせん断分担率は、上下床版および波形鋼板ウェブのせん断剛性比により表される。本検討では、せん断剛性の算出において上下床版の有効幅を波形鋼板ウェブ板厚の3倍とすることで、FEM 解析におけるせん断分担率と良い一致を示した。
- (3) 変断面波形鋼板ウェブ PC 部材においては、桁高変化にともない曲げモーメントによるせん断分力が生じることにより、せん断分担率が変化する。このことから、等断面部材におけるせん断剛性の比によるせん断分担率の評価に対して、桁高変化によるせん断分力の影響を考慮することで、変断面部材を含めたせん断分担率についても適切に表現できることが確認された。

### 参考文献

- 1) 上平謙二, 立神久雄, 本田秀行, 園田恵一郎: 波形鋼板を有する PC 箱桁橋のせん断およびねじり特性に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.40, No.3, pp.16-25, May.1998
- 2) 蛭名貴之, 上平謙二, 立神久雄, 本田秀行: 波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の変断面化に対する力学特性の研究, 第7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, pp.725-730, 1997.10
- 3) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, III コンクリート橋編, 2002.3.
- 4) 吉田直人, 藤井堅, 中村秀治, 浦川洋介: 波形鋼板ウェブ橋梁解析のはり要素, 第58回土木学会年次講演論文集, 2003 (掲載予定)