

## 波形鋼板ウェブ橋における裏打ちコンクリートの力学的挙動

㈱富士パワースタール・日本高圧コンクリート㈱JV 正会員 ○ 河邊 修作  
 日本道路公団 中部支社 忽那 幸浩  
 日本道路公団 北海道支社 安里 俊則  
 ㈱富士パワースタール・日本高圧コンクリート㈱JV 正会員 富田 淳生

### 1 はじめに

波形鋼板ウェブ橋では、せん断が卓越する中間支点部付近には波形鋼板の座屈防止や主げた剛性の急変にともなう局部応力の発生を防止することを目的として、裏打ちコンクリートを施工する場合がある。

裏打ちコンクリート部の設計は、『波形鋼板ウェブ橋設計・施工マニュアル』(以下、マニュアル)では、完全合成の仮定のもとで算出される分担せん断力に対して、「道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋編」に準じて設計することとしている。しかし、裏打ちコンクリートのひびわれ発生後の挙動やせん断耐荷力機構についての詳細な実験・研究データが少なく、その力学的挙動が解明されていないのが現状である。

そこで、裏打ちコンクリートを施工した波形鋼板ウェブの供試体を用いた実験を行い、裏打ちコンクリート部の力学的挙動を解明して、その有効性と効果を検証するとともに、合理的なせん断設計の方法について検討を行った。

本稿は、供試体試験より得られた結果の概要と、これを基に提案した裏打ちコンクリート部のせん断に対する設計方法について報告するものである。

### 2 実験の目的

#### 2.1 目的

裏打ちコンクリート部は波形鋼板との合成部材であることから、せん断耐荷力機構の異なる供試体を用いた実験を行い、裏打ちコンクリートを施工した波形鋼板ウェブの挙動を明らかにすることで、その設計方法を提案することを目的とした。

なおマニュアルでは、波形鋼板は全せん断力に対して設計することになっている。したがって本検討では、弾性せん断剛性比で分担させたせん断力で設計を行う裏打ちコンクリートを座屈防止のための補助的部材として機能を限定することで、合理的な設計方法を検討することとした。

#### 2.2 明らかにすべき課題

##### a) せん断力分担率

裏打ちコンクリートのひび割れ発生にともなう剛性低下を考慮した、終局荷重時の作用せん断力算出のためのせん断力分担率。

##### b) 裏打ちコンクリートの耐荷機構

裏打ちコンクリートの破壊性状と圧壊耐力の算定方法。

##### c) 斜引張鉄筋

波形鋼板ウェブと合成されたコンクリートウェブの斜引張鉄筋の効果と必要量の算定方法。

##### d) 合成度

波形鋼板と裏打ちコンクリートの合成度と耐荷力の関係。

### 3 実験概要

実験供試体は、実橋との整合性を保つためにせん断剛性比を同等とした縮小モデルとした。縮小比は、裏打ちコンクリートが施工できる最小寸法の 80mm を基本として波形鋼板のサイズを決定し、縮小比を約 1/2.5 とした。また、実橋の裏打ちコンクリートの厚さについても、施工できる最小厚 200mm と設定した。

供試体は、事前に弾塑性有限変位解析にて耐力の算定を行った上で、破壊荷重まで載荷できる強度とした。解析には、コンクリートの非線形性を考慮した構成則を適用して行った。

荷重の載荷方法は、PCケーブルによる静的載荷試験として、供試体が降伏する時点まで載荷した。

縮小比率を表-1、供試体を図-1、載荷状況を写真-1に示す。

表-1 供試体 比率 (mm)

	実橋	供試体	比率	
板厚	22	9	1/2.4	
波高	220	90	1/2.4	
波長	1600	654	1/2.4	
1パネル	430	176	1/2.4	
裏打ちコンクリート	最小厚	200	80	1/2.5
	平均厚	310	125	1/2.5
裏打ちコンクリート分担率	71.6%	71.3%		

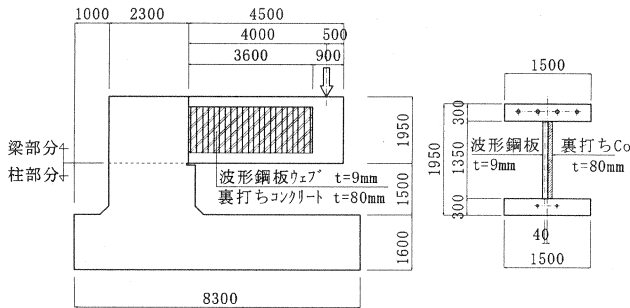


図-1 実験供試体

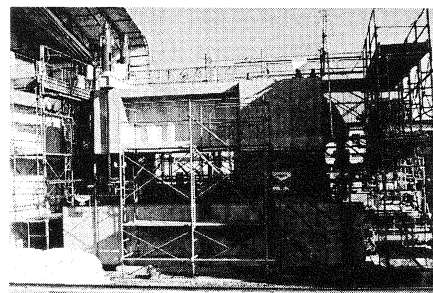


写真-1 実験状況

実験は前述の課題に対して、供試体のパラメータを裏打ちコンクリートの有無、スターラップ量、スタッド量と設定した。各供試体のパラメータの組み合わせを表-2に示す。また、以下にそれらの概要を示す。

表-2 供試体パラメータ

case	裏打ちコンクリート		スターラップ量		スタッド量	
	有	無	As1(D16)	As2(D19)	Asd1	Asd2(1/2)
A		○				
B	○		○		○	
C	○			○	○	
D	○		○			○

a. 裏打ちコンクリートの有無

支点部付近の裏打ちコンクリートの有効性と機能を把握して、実験の基本値となる供試体 B と裏打ちコンクリートを施工しない供試体 A を設定した。

b. スターラップ量

スターラップ量の算定は、終局荷重作用時に対する斜引張鉄筋量(As2)の供試体 C と裏打ちコンクリートの耐力相当の荷重に対する斜引張鉄筋量(As1)の供試体 B の比較を行った。これは、裏打ちコンクリートの耐力以上の鉄筋量を配置することが全体の耐力に影響を及ぼすか、また必要量の算定方法の検証を行った。

c. スタッド量

スタッド量は、波形鋼板との合成度による裏打ちコンクリートの耐力および機能を検証する為、合成床版のずれ止めとして定められている最大配置とこれまでの施工実績から ctc600 を基本とした ctc240(Asd1)の供試体 B と、合成度を半減させた ctc480(Asd2)の供試体 D の比較を行った。

## 4 実験結果

### 4.1 実験の妥当性

図-2に計測値とFEM解析値の荷重-変位曲線を示す。図より、供試体Bについては、計測値と解析値はよく一致していることから、本実験の計測値は妥当であると考えられる。供試体Aについては、解析値と離れているが傾向は一致していることから計測値を妥当と考える。これは、波形鋼板のせん断変形の影響が大きい為と考えられる。

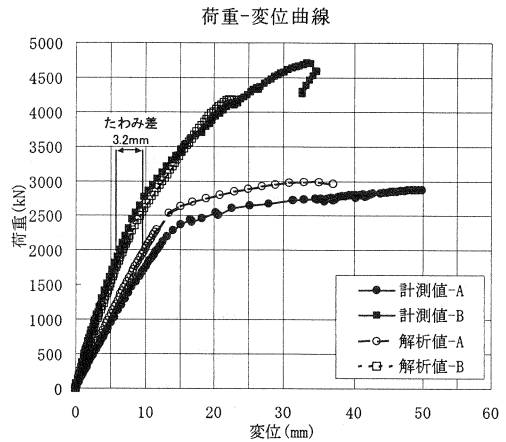


図-2 荷重-変位曲線

### 4.2 裏打ちコンクリートの有効性

計測結果から、裏打ちコンクリートの有無によるたわみの差は 2000kN 時では 5.5mm であり、解析値では 3.2mm であった。たわみの成分を曲げたわみとせん断たわみに分解すると、曲げ成分は裏打ちコンクリートの有無に係らず約 5mm と同値であった。しかしながら、せん断成分は裏打ちコンクリートを施工することにより、裏打ちコンクリートが無い場合に比べせん断変形が約 6 割軽減されることが解った。これは、せん断弾性係数から求まるせん断たわみの差と一致しており、裏打ちコンクリートはせん断変形ともなう付加応力の抑制をすることができることが解る。

### 4.3 せん断分担率

図-3に波形鋼板に貼付した三軸ひずみゲージの計測値から算出したせん断力から、載荷荷重と裏打ちコンクリートのせん断力分担率の関係を示す。

図より、ひび割れ発生までは弾性せん断剛性比で求めた分担率と一致している。ひび割れ発生後は設計上の終局荷重時までは、ほとんど分担率の低下は見られず、降伏時においても 15%程度の低下である。

以上より、裏打ちコンクリートは十分にせん断分担すると考えられ、設計上考慮するせん断分担率は、弾性せん断剛性比によって算出するものでよいと言える。また、各供試体のばらつきはスタッド量の少ない供試体Dの分担率が低く、スタッド量の多い供試体Cの分担率が高くなっている。

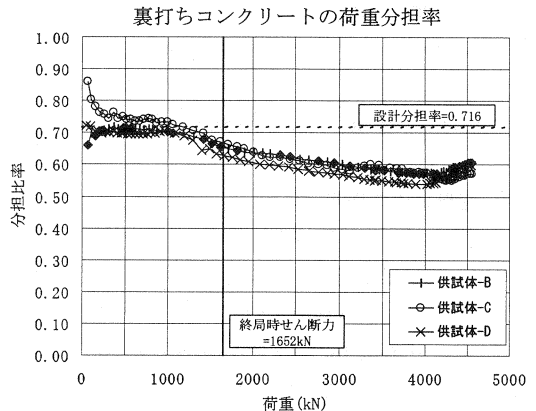


図-3 裏打ちコンクリートの荷重分担率

### 4.4 せん断耐荷力

#### ① スターラップ

図-4に載荷荷重とスターラップの応力度の関係を示す。図より、裏打ちコンクリートのひび割れ後は、スターラップひずみが増大しており、解析値とほぼ一致する。しかし、トラス理論の計算値と比べると、ひずみは小さい。また、スターラップ量の違う供試体BおよびCの両者について同様の傾向であった。これは、

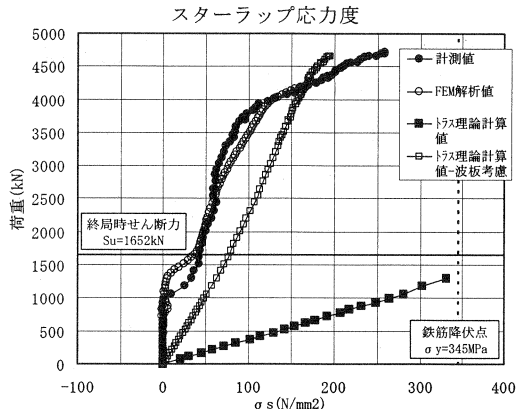


図-4 スターラップ応力度

図-5に示すように、そのほとんどを隣接する波形鋼板ウェブが引張材として負担していることが要因であると考えられる。便宜上、波形鋼板を引張材として換算したトラス理論値とは、傾きがよく一致している。

従って、スターラップの必要鋼材量を算出する際には、波形鋼板ウェブを鉄筋換算した鋼材量を引張材として考慮して良いと考えられる。

② コンクリート

裏打ちコンクリートの圧縮破壊時の最大圧縮ひずみは、 $0.5\sigma_{ck}$  まで達していた。計測値は、式(1)により求まる $45^\circ$  方向のひび割れに対する圧縮場理論式とよく一致していた。図-6に斜め圧縮力の機構を示す。

波形鋼板ウェブ橋における裏打ちコンクリートの設計では、圧縮場理論を導入することで経済的な設計を行うことができると考えられる。また計測値は、平均せん断応力度に基づくせん断耐荷力(圧壊耐力)と比較すると、約3.9倍となった。

4.5 合成度の違い

たわみや各ひずみ、座屈荷重等の計測結果から、波形鋼板と裏打ちコンクリートの合成度の違いによる顕著な差は見られなかった。従って、スタッドボルトの配置は波形鋼板と裏打ちコンクリートが乾燥収縮等で肌分かれしない為の目的で配置する程度でよいことがわかる。

5 設計方法の提案

実験結果より、波形鋼板を全せん断力で設計することを原則として、次の提案を行った。

- i) せん断力は、波形鋼板と裏打ちコンクリートの弾性せん断剛性比に比例して分担する。
- ii) 斜引張鉄筋の算出は、波形鋼板を鉄筋換算して考慮した鉄筋量で算出する。
- iii) 圧壊耐力の算定は、圧縮場理論を適用し、式(1)により照査する。
- iv) スタッド配置は、肌分かれ防止程度として、配置間隔を600mm以下とする。

6 おわりに

本実験により、裏打ちコンクリートは波形鋼板と同様に荷重に対する十分な耐荷力を有することが解った。裏打ちコンクリートの設計において、設計手法の一提案を行うことができ、裏打ちコンクリートの機能に見合った設計・施工をすることができた。

また、裏打ちコンクリートが施工される部位では、波形鋼板と裏打ちコンクリートの合成部材として設計することにより、合理的かつ経済的な設計をすることができる。

本報告が、今後の同様の形式の設計における一助となれば幸いである。

最後に、本実験を進めるにあたり、数々のご助言を頂きました関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) (財)高速道路技術センター：波形鋼板ウェブ橋設計施工マニュアル (案) (平成14年4月)

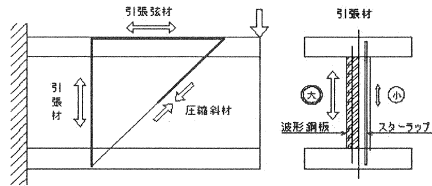
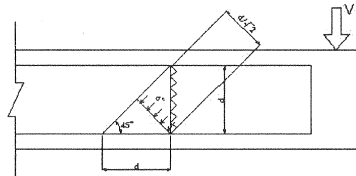


図-5 トラス機構



斜め圧壊照査式 (提案式)

$$V = \sigma_c \cdot \frac{d}{\sqrt{2}} \cdot b \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{より}$$

$$\sigma_c = \frac{2V}{d \cdot b} < \alpha \cdot \sigma_{ck} \quad \dots (1)$$

- V : 裏打ちコンクリートに作用するせん断力(N)
- b : 裏打ちコンクリートの厚さ(mm)
- d : 裏打ちコンクリートの有効高さ(mm)
- $\alpha$  : ひび割れコンクリートの圧縮強度低減係数=0.5
- $\sigma_{ck}$  : コンクリートの設計基準強度(N/mm<sup>2</sup>)

図-6 斜め圧縮力の機構