

波形鋼板を有する PC 箱桁のせん断およびねじり特性に関する研究 — 研究当時を振り返り —

立神 久雄*

波形鋼板ウェブ橋は、日本で最初に新潟県で 1993 年に単純桁の新開橋が建設され、その後、秋田県で 1995 年に 5 径間連続桁の銀山御幸橋、次いで、1998 年に 3 径間連続形式の本谷橋が建設された。波形鋼板ウェブ橋の日本での建設当初、その曲げ特性に関しては、平面保持の仮定に基づき上下のコンクリート床版のみで抵抗する曲げ部材で評価できることが知られていた。一方、せん断およびねじり特性に関しては、曲げ特性ほど明らかになっていない状況であった。

このようななか、本研究においては、剛なコンクリート床版と柔な波形鋼板の形状特性を考慮した解析により、ねじり定数の修正式などを提案した。

本報文では、研究当時を振り返るとともに、その後の波形鋼板ウェブ橋の発展を述べるものである。

キーワード：波形鋼板、ねじり特性、接合構造、振動特性

1. はじめに

波形鋼板ウェブ橋は、コンクリート橋のウェブを波形に折り曲げた鋼板で置き換えた構造であり、波形鋼板は軸方向力にはほとんど抵抗しないため（アコーディオン効果）プレストレスをコンクリート床版に効率良く導入することができ、自重を 10～20% 軽減することができる。また、波形鋼板はせん断座屈耐力が高いため補剛材が不要でありウェブコンクリートの施工を省略できることにより施工の合理化や工期の短縮が可能となる。

波形鋼板ウェブ橋はフランスで考案された橋梁であり、波形鋼板とコンクリートのそれぞれ短所を補い、長所を生かすことによって生まれた橋梁である。フランスでは 1986 年にコニャック橋（3 径間連続橋）、1987 年にモープレ橋（7 径間連続橋）、1995 年にドール橋（7 径間連続橋）が建設された。日本では、1994 年に新潟県で初めて新開橋¹⁾が 2 主箱桁の単純桁として建設された。次いで、秋田県で 1995 年に 5 径間連続桁の銀山御幸橋²⁾（波形鋼板を手延べ桁とし、ピロン柱を併用した押し出し工法）、その後、張出し架設により 3 径間連続ラーメン形式の本谷橋³⁾が建設された。日本では、上記の 3 橋が建設されてからは、波形鋼板ウェブ橋に関する種々の研究が進められ、波形鋼板ウェブ橋は、加速度的に建設が進められるようになる。

写真 - 1 にモープレ橋を、写真 - 2 に銀山御幸橋を示す。



写真 - 1 モープレ橋

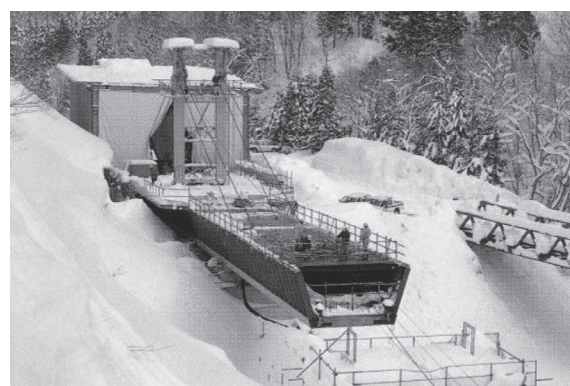


写真 - 2 銀山御幸橋



* Hisao TATEGAMI

ドーピー建設工業(株)
技術部 東京グループ

2. 力学的特性

研究当初は、波形鋼板ウェブ橋の曲げ特性^{4,5)}に関しては、平面保持の仮定に基づき上下のコンクリート床版のみ

で抵抗する曲げ部材で評価できることが知られていた。一方、せん断およびねじり特性に関しては、曲げ特性ほど明らかになっていない状況であった。そこで筆者らは、図 - 1 に示す箱桁断面の高さと幅の比として表される h/b の変化によって、波形鋼板とコンクリート床版に生じるねじりせん断応力度の分担が変わることに注目し、その分担率を考慮できる修正係数 a を導入した評価式の提案を行った。この修正係数は、図 - 2 に示すようにほぼ線形分布となり、式 - 1 に示すように表すことができた。

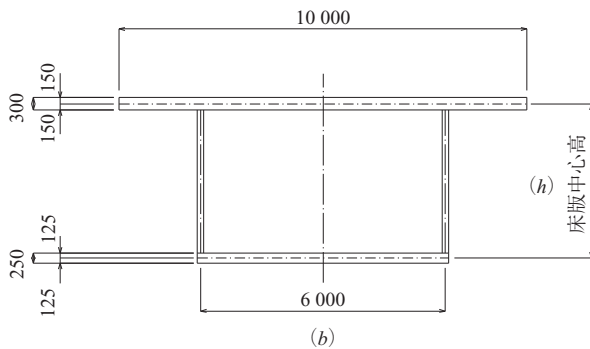


図 - 1 箱桁断面の高さと幅の比 (h/b)

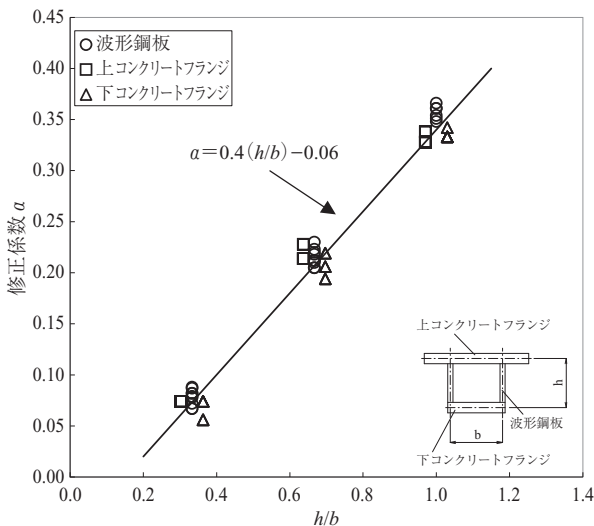


図 - 2 各部材の修正係数分布

$$a = 0.4 \cdot \frac{h}{b} - 0.06 \geq 0 \quad (1)$$

ここに、 a : 修正係数
 b : ウェブ中心幅
 h : 床板中心高

$$\text{波形鋼板} : \tau = \frac{M_t}{2 \cdot A_m \cdot t \cdot (1+a)} \quad (2)$$

$$\text{コンクリート床版} : \tau = \frac{M_t}{2 \cdot A_m \cdot t \cdot (1-a)}$$

ここに、 τ : ねじりせん断応力度
 M_t : ねじりモーメント
 A_m : ボックス断面積 ($= b \cdot h$)

b : ウェブ中心幅
 h : 床板中心高
 a : 修正係数
 t : 波形鋼板あるいはコンクリートフランジ厚

$$J_t = \frac{4A_m^2}{\left(\frac{h}{n_s \cdot t_1 (1+a)} + \frac{b}{t_2 (1-a)} + \frac{h}{n_s \cdot t_3 (1+a)} + \frac{b}{t_4 (1-a)} \right)} \quad (3)$$

ここに、 J_t : ねじり定数
 A_m : ボックス断面積 ($= b \cdot h$)
 b : ウェブ中心幅
 h : 床板中心高
 n_s : G_s/G_c
 G_s : 鋼のせん断弾性係数
 G_c : コンクリートのせん断弾性係数
 t_1, t_3 : 波形鋼板ウェブ厚
 t_2, t_4 : 上下コンクリートフランジ厚
 a : 修正係数

この修正係数を用いて、ねじりせん断応力度の修正式を提案したのが式 - 2 であり、ねじり定数の修正式を提案したものが式 - 3 である。これらの式は、波形鋼板ウェブ合成構造研究会より、平成 10 年 12 月に発刊された『波形鋼板ウェブ PC 橋 計画マニュアル (案)』⁶⁾にも掲載され、建設初期の波形鋼板ウェブ橋の設計には多少は貢献できたのではないかと考える。

以降には、研究当時は波形鋼板ウェブ橋の力学的特性の他に、接合部構造などの検討も行われていたので、これらに関して、簡単に振り返ってみたいと思う。

3. 接合部構造

波形鋼板ウェブ橋における波形鋼板とコンクリート床版の接合部は、本形式橋梁の構造性能を確保するうえでは非常に重要な部位となる。

開発国であるフランスの波形鋼板ウェブ橋には、図 - 3 に示すアングルジベル接合が採用されている。また、日本での初期に建設された新開橋および銀山御幸橋には、図 - 4 に示す頭付きスタッドによる接合、本谷橋においては、図 - 5 に示す埋込み接合が採用されていた。

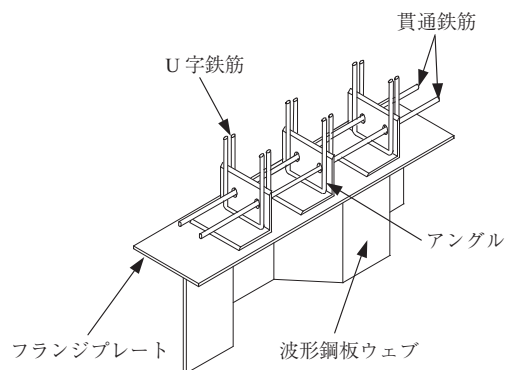


図 - 3 アングルジベル接合構造

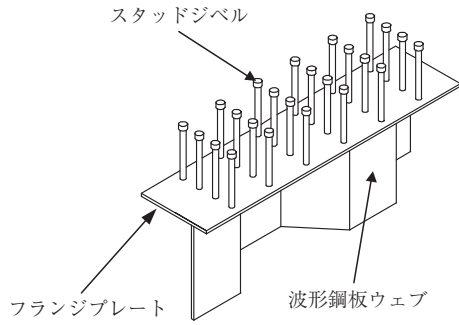


図 - 4 スタッドジベル接合構造

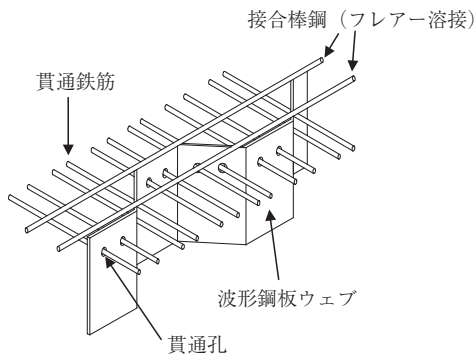


図 - 5 埋込み接合構造

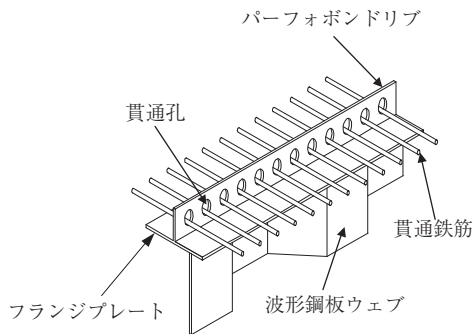


図 - 6 シングルパーフォボンドリブ接合構造

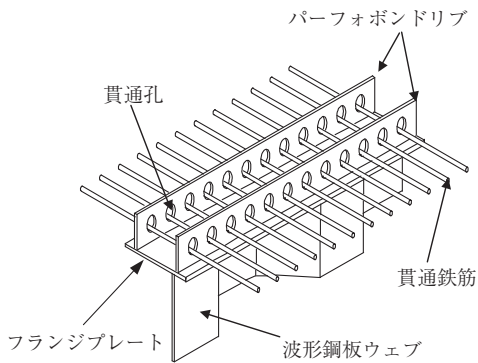


図 - 7 ツインパーフォボンドリブ接合構造

当時筆者らは、上記の接合方法のほかに、図 - 6、7 に示すレオンハルトら⁷⁾によって提案されていた孔あき鋼

板ジベル（パーフォボンドリブ：PBL）に着目し、この接合方法を採用するための、ずれせん断挙動の安全性を確認することを目的に押抜き試験などを実施⁸⁾した。この中で図 - 7 に示すツインパーフォボンドリブ接合は、PBL をフランジプレート上に2枚設けることにより橋軸方向の水平せん断耐力の向上と、橋軸直角方向の輪荷重に伴う首振り挙動に対して有効に抵抗できる構造となっている。

また、ドイツで建設された波形鋼板ウェブ橋（Alt-wipfergrund 橋⁹⁾の下床版との接合部は、当時の日本では例を見ない接合方法を採用していた。波形鋼板下端に鋼製の下フランジを溶接し、その下フランジと波形鋼板によってコンクリート下床版を抱え込むような形状となっている（写真 - 3）。そして、その波形鋼板および下フランジと下床版が接合している部分にはスタッドジベルを配置し、せん断力を伝達している。また、同様の接合方法が近年の日本でも採用に至っている。

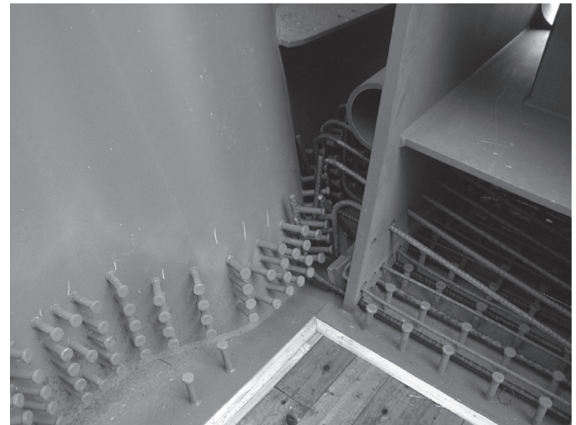


写真 - 3 Altwipfergrund 橋の接合方法

4. 振動特性

研究当初は、先に述べた波形鋼板ウェブ橋独自の曲げ特性およびせん断ねじり特性を有することから、振動特性に関しても十分に確認はされていなかった。このような状況のなか、筆者らは波形鋼板ウェブ橋である、銀山御幸橋および小河内川橋において振動実験を行う機会を得ることができた。

銀山御幸橋の振動実験¹⁰⁾は、既知重量の大型ダンプトラックを実験車両として用い、速度、走行位置などの走行状態を変化させて振動性状を計測し、固有振動数、振動モードおよび減衰定数を確認することができた。本実験により得られた振動モード図を図 - 8 に示す。

小河内川橋¹¹⁾（写真 - 4）は、東九州自動車に建設された2径間連続ラーメン形式の橋梁である。本橋の振動実験^{12,13)}には、写真 - 5 に示す起振機を用いて加振を行い、固有振動数、振動モードおよび減衰定数を確認するとともに、曲げおよびせん断剛性評価方法の確認も行った。

5. おわりに

近年、筆者が波形鋼板ウェブ橋に携わったのは、写真

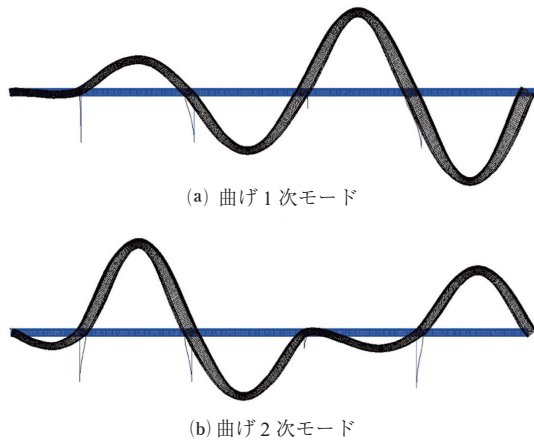


図 - 8 銀山御幸橋の振動モード図



写真 - 6 谷津川橋



写真 - 4 小河内川橋



写真 - 5 実験に使用した起振機

- 6 に示す、平成 22 年 8 月に竣工を迎えた谷津川橋（上り線）であり、ストラットを有する 5 径間連続形式の橋梁である。本橋では、設計管理技術者を務めさせていただくことができたが、これも、波形鋼板ウェブ橋の建設初期から各機関で種々の研究、検討を行ったきた賜物と考える。近年では台湾での施工実績ができ、さらなる計画も進められているようである。今後、さらなる波形鋼板ウェブ橋の発展を願う次第である。

参考文献

- 1) 近藤昌泰, 清水洋一, 大浦 隆, 服部政昭: 波形鋼板ウェブを有する PC 橋, プレストレストコンクリート, Vol.37, No.2, pp.69 ~ 78, 1995
- 2) 石黒 互, 村田嘉広, 須合孝雄: 松の木7号橋（銀山御幸橋）の設計と施工, プレストレストコンクリート, pp5 ~ 14, Vol.38, No.5, Sept. 1996
- 3) 水口和之, 芦塚憲一郎, 古田公夫, 大浦 隆, 滝 憲司, 加藤卓也: 本谷橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.32, No.9, pp.2 ~ 10, 1998
- 4) 服部政昭, 大浦 隆: 波形鋼板ウェブを用いた PC 単純桁の一試設計, 第 2 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.53-58, 1991
- 5) 立神久雄, 上平謙二: ウェブに波形鋼板を用いたボックス桁の力学的特性, 第 3 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.187-192, 1992
- 6) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会: 波形鋼板ウェブ PC 橋 - 計画マニュアル (案), 1998
- 7) eonhardt, F., Andra, W., Andra, H.P, und Harre, W., : Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton-Uud Stahlbetonbau, pp.325 ~ 331, 1987
- 8) 立神久雄, 蛭名貴之, 上平謙二: 孔あき鋼板ジベルを用いた波形鋼板とコンクリート床版の接合方法の開発, プレストレストコンクリート, pp59 ~ 67, Vol.49, No.2, Mar. 2007
- 9) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会: 「Altwpfergrund 高架橋 - ドイツ初の波形鋼板ウェブ PC 橋 - », プレストレストコンクリート, pp5 ~ 14, Vol.44, No.1, 2002
- 10) 立神久雄, 須合孝雄, 蝦名貴之, 梶川康男, 深田宰史, 福島幸治: 波形鋼板ウェブを有する 5 径間連続 PC 箱桁橋の振動特性, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.45A, pp.649 ~ 658, 1999
- 11) 前田良文, 津田敏行, 和田教志, 足立大介: 東九州自動車道小河内川橋（波形鋼板ウェブ PC 橋）の設計について, 第 10 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, プレストレストコンクリート技術協会, pp.837 ~ 842, 2000
- 12) 角谷 務, 青木圭一, 山野辺慎一, 吉川 卓, 立神久雄: 波形鋼板ウェブ橋の振動特性 その 1 - 振動実験 -, プレストレストコンクリート, pp90 ~ 99, Vol.45, No.2, Mar. 2003
- 13) 角谷 務, 青木圭一, 山野辺慎一, 吉川 卓, 立神久雄: 波形鋼板ウェブ橋の振動特性 その 2 - 振動解析 -, プレストレストコンクリート, pp35 ~ 43, Vol.45, No.3, May. 2003

【2012 年 8 月 31 日受付】