

# 波形鋼板ウェブ橋の施工技術

河村 直彦\*

波形鋼板ウェブ橋は1980年代にフランスで開発され、わが国では1993年に最初の施工事例である新開橋が完成した。以来、技術者の努力により多方面に応用されて、現在では120橋以上の橋梁が完成している。

構造形式としては、当初の箱桁ばかりでなくT桁橋や斜張橋・エクストラードズド橋に採用され、施工方法も支保工施工・張出し架設・押し出し架設等の実績がある。波形鋼板の取扱いに注意すれば、施工技術は通常のPC橋のものを応用できるほか、最近では波形鋼板の特性を活かした施工技術も開発されている。

本稿では、波形鋼板ウェブ橋の施工技術の変遷を述べ、波形鋼板ウェブ橋を施工するにあたっての注意点や管理手法および最新の施工技術について概説する。

キーワード：波形鋼板ウェブ橋、鋼コンクリート接合部、鋼板の接合、上げ越し管理

## 1. 波形鋼板ウェブ橋の概要

波形鋼板ウェブ橋は1980年代にフランスで開発され、コニャック橋（1986年）、モープレ橋（1987年）、ドール橋（1994年）に導入された。わが国では1993年に完成した新開橋が最初の施工事例となる。以来、技術者の努力により多方面に応用され、2010年8月現在で120橋以上の橋梁が完成している<sup>1)</sup>。

構造形式も当初は箱桁のみであったが、桁橋、斜張橋、エクストラードズド橋に用いられている。施工方法も通常のPC橋の施工技術を応用することが可能であり、支保工施工・張出し架設・押し出し架設・プレキャストセグメント工法が採用されている。

波形鋼板ウェブ橋の特徴は、①ウェブを軽量の波形鋼板とすることにより自重の低減が可能となる、②波形鋼板のため高いせん断抵抗性を有する、③アコーディオン効果による効率的なプレストレスの導入が可能となる、④コンクリート打設の難しいウェブにコンクリートを打設する必要がなく品質が向上する、ことがあげられる。

波形鋼板ウェブ橋の構造概念図を図-1に、完成年ベースでの累計施工実績数を図-2に示す。

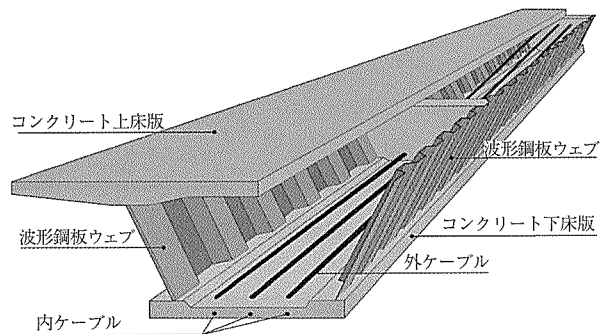


図-1 波形鋼板ウェブ構造の概念図

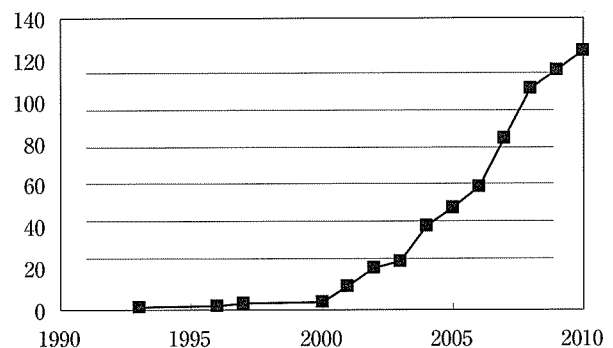


図-2 波形鋼板ウェブ橋の累計施工実績数

## 2. 波形鋼板ウェブ橋の施工技術の変遷

### 2.1 導入期

導入期の施工事例として、新開橋（1993年、写真-1）、銀山御幸橋（1996年）、本谷橋（1999年）があげられる。導入期には波形鋼板ウェブ橋の基本的な性質を確認する実験や解析が精力的に行われ、既存のPC技術を応用できることが確認されている。

波形鋼板とコンクリートとの接合方法は、当初は鋼橋の



\* Naohiko KAWAMURA

(株)ピーエス三菱 波形鋼板ウェブ合成構造研究会 幹事長

例にならってスタッドジベルによる接合（図 - 3）としていたが、本谷橋の施工においてコスト削減を目的に波形鋼板の埋込み接合（図 - 4）が提案され、各種実験<sup>2)~4)</sup>の後に実用化されている。

これらの施工実績により、波形鋼板ウェブ橋のコストパフォーマンスが評価され、こののち多数の橋梁に波形鋼板ウェブ橋が採用されることとなった。



写真 - 1 新開橋

## 2.2 拡大期

波形鋼板ウェブ構造の性能の高さが認められ、2000年以降多くの橋梁に採用されることとなった。とくに、当時計画・設計段階にあった新東名・新名神高速道路の大規模橋梁に多数採用され、最大支間長が100mを超える橋梁も出現している。

また、より長支間の橋梁に適用するため、斜張橋やエクストラードード橋への採用も図られている。主な施工事例として、日見夢大橋<sup>5)</sup>（2003年）、豊田アローズブリッジ<sup>6)</sup>（2005年、写真 - 2）、近江大鳥橋<sup>7)</sup>（2007年、写真 - 3）等がある。

これらの大規模橋梁に対しては、せん断伝達能力の高さおよび波形鋼板の取扱いの容易さにより、上下床版との接合部にはフランジプレートが使用されるようになり、その接合方法は、アングルジベル接合（図 - 5）やパーフォボンドリブ接合（図 - 6）が採用されている。上床版接合部においては、パーフォボンドリブ接合の合成効果および横

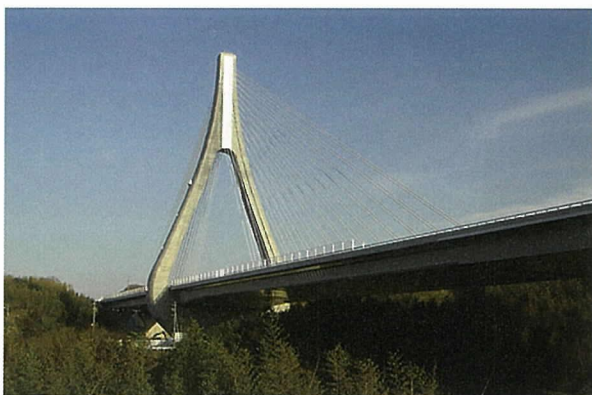


写真 - 2 斜張橋への適用（豊田アローズブリッジ）

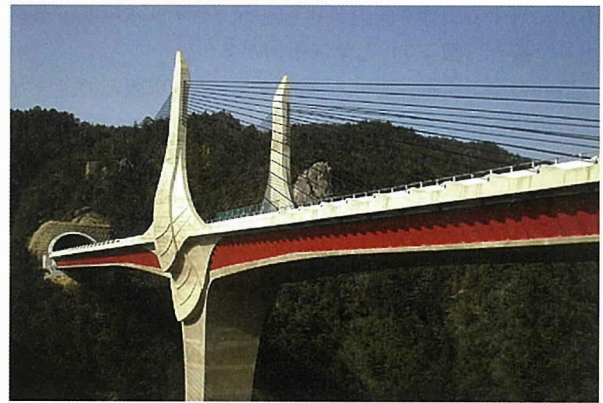


写真 - 3 エクストラードード橋への適用（近江大鳥橋）

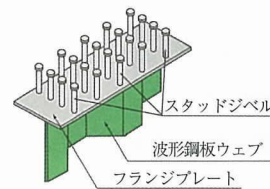


図 - 3 スタッドジベル接合

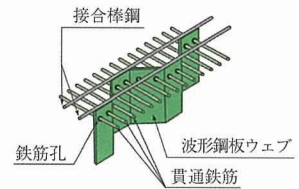


図 - 4 埋込み接合

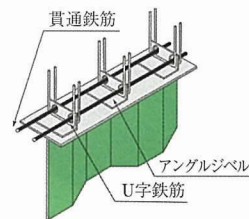


図 - 5 アングルジベル

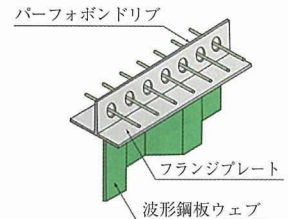


図 - 6 パーフォボンドリブ

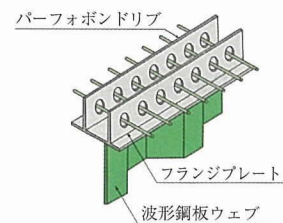


図 - 7 ツインパーフォボンドリブ

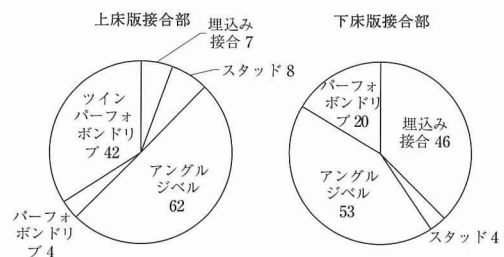


図 - 8 波形鋼板と床版との接合方法の内訳

方法に対する剛性を向上させるため、ツインパーフォボンドリブ接合（図 - 7）とする事例が多い。

既往の施工実績における波形鋼板と上下床版との接合方法の内訳を図 - 8 に示す。

一方、小規模橋梁に対しては、プレテンションT桁橋にも適用されている。施工事例として、曾宇川橋<sup>8)</sup>（2005年、写真 - 4）等がある。



写真 - 4 プレテンションT桁橋への適用（曾宇川橋）

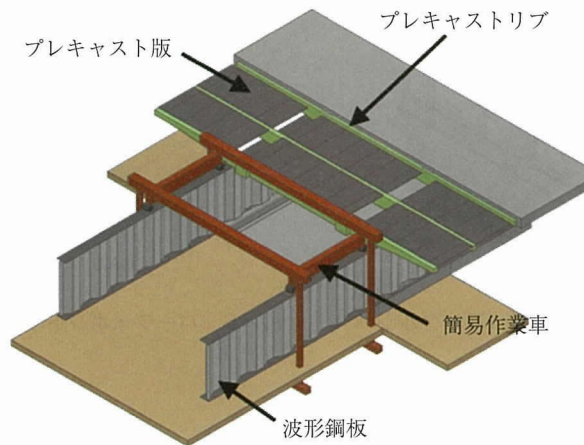


図 - 9 Rap-Con 工法の概要図



写真 - 5 波形鋼板を架設桁とした施工（鬼怒川橋）

### 2.3 展開期

施工事例が増えて波形鋼板ウェブ橋に対する知識が広まったことにより、新たな領域に展開することとなった。本節では、張出し架設および押し出し架設において、波形鋼板自身を架設部材として利用する新しい施工技術を紹介する。

#### 2.3.1 張出し架設で波形鋼板を架設部材として利用した事例

フランジプレートに有する波形鋼板は、それ自体が剛性



写真 - 6 押し出し架設の施工例（桂島高架橋）



写真 - 7 押し出し架設の施工例（鳥崎川橋）



図 - 10 波形鋼板を先行押し出し架設する工法の概要図

を有するため、架設部材として利用できる。張出し架設において波形鋼板を架設桁として利用する方法では、前方でも荷重を支持するため移動作業車を簡素化することができ、施工ブロック長を伸ばして施工日数を短縮することが可能となる。

波形鋼板を架設部材として利用し、さらに上床版にプレキャストリブを使用して、より施工の合理化を図る工法である Rap-Con 工法の概要図を図 - 9 に示す。

波形鋼板を架設部材として利用したものとして、近江大鳥橋で側径間施工時に吊支保工として利用した施工事例がある<sup>9)</sup>。さらに、波形鋼板を張出し架設時での架設部材として利用した施工事例として、信楽第七橋<sup>10)</sup> (2004年)、津久見川橋<sup>10)</sup> (2004年)、鬼怒川橋<sup>11)</sup> (2006年、写真 - 5)、杉谷川橋下り線<sup>12)</sup> (2007年) 等がある。

### 2.3.2 押出し架設で波形鋼板を架設部材として利用した事例

押出し架設の場合は、一般に架設時においてせん断力が卓越すること、押出し時の自重の低減を見込めることから、波形鋼板ウェブ構造は有利な構造である。さらに押出し荷重の低減を図るため、コア断面で押出し施工を実施し、張出床版をあと施工した桂島高架橋<sup>13)</sup> (2005年、写真 - 6) の事例がある。

押出し架設においては、通常手延べ桁が必要である。これに対して、波形鋼板自身を手延べ桁とすることにより架設用部材を省略することができ、コスト縮減が可能となる。この方式は、わが国最初の押出し架設による波形鋼板ウェブ構造の事例である銀山御幸橋で採用されている。ただし、銀山御幸橋では先端部の垂下がりに対処するために仮支柱を設けて押出し架設を行っている。近年の大規模な施工事例として、下フランジに UFC を使用することにより剛性を高めて押出し架設を行った鳥崎川橋<sup>14)</sup> (2006年、写真 - 7) がある。

さらに、波形鋼板のみを先行して押出し架設を行い、これを架設部材として上下床版を製作する工法も提案されている<sup>15)</sup> (図 - 10)。

## 3. 波形鋼板ウェブ橋の施工における留意点

### 3.1 波形鋼板の運搬

波形鋼板ウェブ橋の施工方法は、一般に通常の PC 橋と同様であるが、鋼部材である波形鋼板の運搬のために揚重設備や転回設備が必要である。

揚重設備および転回設備については、とくに張出し架設において重要な検討項目である。波形鋼板の揚重については、通常設置されるクレーンで行うことができるように、波形鋼板の分割長を工夫することが一般的であり、波形鋼板の重量の上限を 5 ton 程度とすることが多い。これは、移動作業車の部材重量程度とすることで、通常使用されるタワークレーンで波形鋼板を荷揚げすることが可能となるように配慮したものである。

橋面上での波形鋼板の移動については、門型クレーンやフォークリフト等にて行われる。

製作ブロックでは、橋面上を水平に運搬された波形鋼板

を転回して、所定の位置にセットすることとなる。この作業のために、移動作業車に電動チェーンブロック等が設置される例が多い (写真 - 8)。

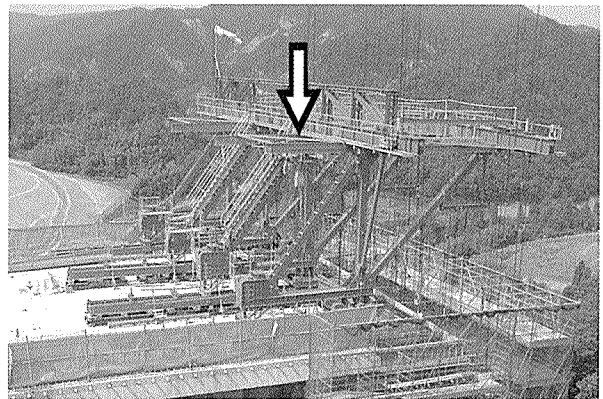


写真 - 8 移動作業車に設置される設備の例

### 3.2 波形鋼板の固定

波形鋼板はコンクリート打設などの作業においてもずれたり曲がったりしないよう、堅固に固定する必要がある。固定支保工では支保工から直接仮固定することとなるが、張出し架設では既設ブロックと移動作業車の両方から仮固定される例が多い。

留意点として、コンクリート打設にともなう支保工の変形への対処が必要である。支保工や移動作業車の変形と波形鋼板の変形が異なる場合は、上下床版接合部での肌すきが生じるおそれがあるため、事前に変形予測を実施しておく必要がある。

張出し架設では、上床版コンクリートを下床版より先行させて打設する手法もある。これは、上床版型枠の一部は波形鋼板から固定されていること、フランジプレートの上にコンクリートが打設されるので変形が追従しやすいこと、一般に上床版の方がコンクリート量が多いため変形への寄与が大きいこと等を考慮したものである。

### 3.3 波形鋼板同士の接合

波形鋼板同士の接合は、ボルト接合または溶接接合となる。鋼板同士の接合方法の概要を表 - 1 および図 - 11 に示す。

表 - 1 波形鋼板同士の接合方法の概要

接合方法		継手形式	特徴
ボルト 接合	摩擦接合	1面摩擦	現場での接合は比較的容易
		2面摩擦	
	支圧接合	重ね継手	
溶接 接合	グループ 溶接接合	全断面溶込み	現場溶接に適する設備や溶接工が必要
		部分溶込み	
	すみ肉溶接接合	重ね継手	

鋼橋のウェブの接合においては、原則としてウェブ同士の中心軸を合わせる必要があるが、波形鋼板ウェブ構造の

場合はせん断力のみを伝達すればよいため、重ね継手が採用されることが多い。

既往の施工実績における波形鋼板同士の接合方法の内訳を図 - 12 に示す。

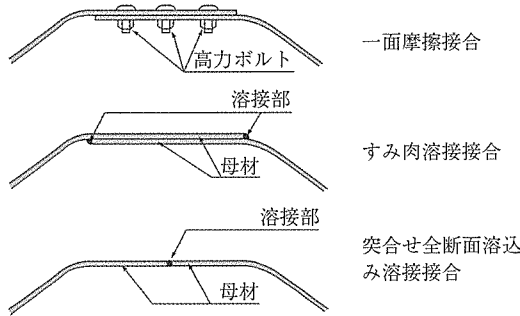


図 - 11 波形鋼板同士の接合方法の例

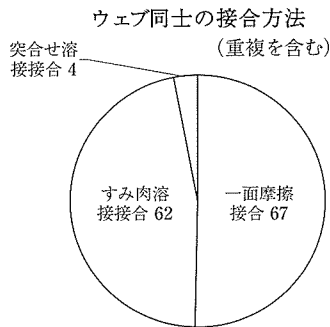


図 - 12 波形鋼板同士の接合方法の内訳

### 3.4 移動作業車の固定方法

通常の PC 箱桁橋の張出し架設では、ウェブ内にデッドアンカーを埋め込み移動作業車を固定する方法が一般的であるが、波形鋼板ウェブ橋ではその方法が使用できない。そのため、図 - 13 のような方法で固定する。いずれの

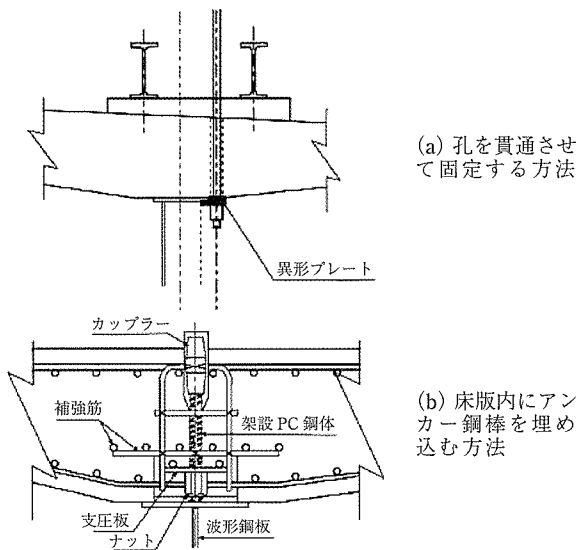


図 - 13 移動作業車の固定方法

場合も通常のコンクリートウェブ橋に対して埋込み長は短くなるため、床版コンクリートに豆板を発生させないように入念な締固めが必要である。

### 3.5 上げ越し管理

張出し架設における上げ越し管理については、基本的に通常の PC 橋と同様の管理となるが、波形鋼板ウェブ橋の変形においては、せん断変形による影響が大きいことが知られている。すなわち、曲げ変形だけを考慮して上げ越し計算を行うと、実際の変形量が大きくなって管理値をはずれる可能性が大きくなる。既往の研究では、通常の PC 箱桁の変形のうち、せん断変形による割合は全変形量の 7% 程度であるのに対し、波形鋼板ウェブ橋では 47% に達するとの試算結果<sup>16)</sup>がある。一方で、桁高変化を有する橋梁ではウェブに作用するせん断力が大きく低減されるため、せん断変形がほとんど発生しないという報告<sup>17)</sup>もある。

せん断変形を考慮した変形量の算出方法として、せん断修正係数による方法<sup>18)</sup>や有限要素法により全体モデルを作成する方法がある。

図 - 14 に本谷橋における張出し架設中の変形量の設計値と実測値を示す<sup>19)</sup>。設計値は、せん断変形を無視する(曲げ変形のみを考慮する)場合とせん断変形を考慮する場合の 2 ケースを示す。

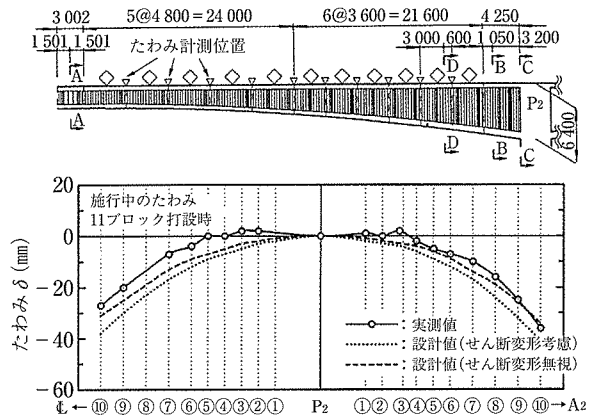


図 - 14 本谷橋における変形量の設計値と実測値

### 3.6 波形鋼板とコンクリートとの接合部の施工

波形鋼板と上下床版コンクリートとの接合部は、鋼・コンクリート・空気(水)の 3 者が触れ合ういわゆる Triple Contact Point と呼ばれる領域であり、もっとも腐食が進行しやすい部位として知られている。したがって、鋼コンクリート接合部の施工の良否が波形鋼板ウェブ構造の耐久性に大きく影響することとなる。

フランジプレートにより下床版との接合する場合はコンクリートを逆打ちすることになるため、コンクリートの充てん確認を容易に行えるような対策が必要である。透明型枠の使用や、打設確認試験が有効であると考えられる。

埋込み接合の場合は、接合部のコンクリート面に排水勾配を設けること、シール材により Triple Contact Point を保護することが有効である。シール材としては、耐候性や耐

紫外線性に優れたシリコンゴム系弾性シーリング材が使用される例が多い。

写真 - 9 に中子沢橋における埋込み接合部の施工状況を示す。

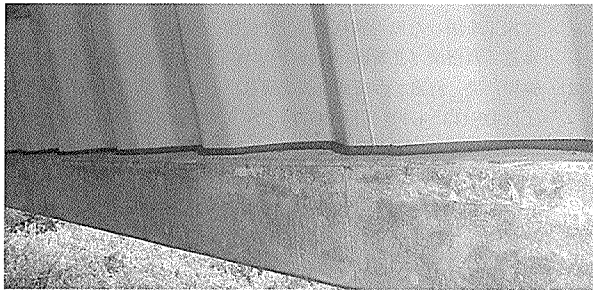


写真 - 9 中子沢橋における埋込み接合部の施工状況

### 3.7 波形鋼板の座屈対策

波形鋼板は、その形状から座屈強度は高いものであるが、長支間橋梁の柱頭部のように鋼板高さが高くなるものは座屈のおそれが考えられる。このような場合は、裏打ちコンクリートにより座屈を防止する対策が取られることが多い。ただし、施工時において裏打ちコンクリートをあと施工するような場合には、施工途中での座屈に対する安全性を照査する必要がある。

波形鋼板の座屈に対する検討例として、西田橋における検討結果を図 - 15 に示す<sup>20)</sup>。

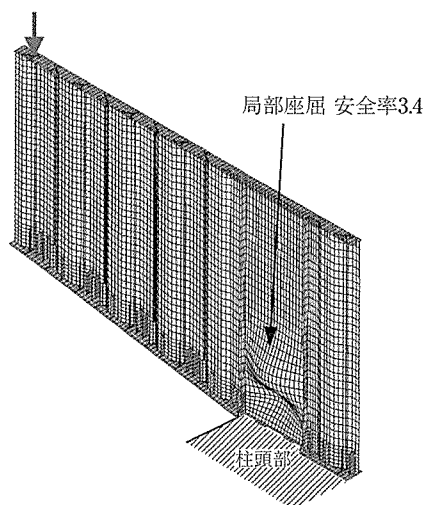


図 - 15 施工時の波形鋼板の座屈検討結果

## 4. ま と め

波形鋼板ウェブ橋は、コンクリートと鋼の両者の長所を活かすことにより、ライフサイクルコストを最小限とし環境負荷を低減する技術である。

波形鋼板ウェブ橋はフランスで開発されたものであるが、わが国に導入されて以来、多数の設計・施工・研究が行われて多くのノウハウが蓄積され、海外に技術指導を行

うまでになっている<sup>21)</sup>。今後の世界的なインフラストラクチャーの需要増大に有用な技術であり、世界市場においてさらなる発展が期待できるものと考えられる。本稿がその一助となれば幸いである。

本稿は波形鋼板ウェブ合成構造研究会幹事会の共著である。著者以外の幹事会委員を以下に付記しておく。

武知 勉 (オリエンタル白石)

中山良直 (川田建設)

永元直樹 (三井住友建設)

藤田貴敏 (ドーピー建設工業)

寺口秀明 (日本ピーエス)

中村定明 (ピーシー橋梁)

堤 忠彦 (富士ピー・エス)

田中喜一郎 (横河工事)

江崎 守 (安部日鋼工業)

平田雅也 (極東興和)

鳥田義夫 (コアツ工業)

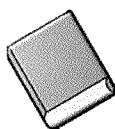
佐藤 徹 (昭和コンクリート工業)

### 参 考 文 献

- 1) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会ホームページ：<http://www.namigata.org/>
- 2) 山口 (恒), 山口 (隆), 池田: 波形鋼板ウェブ構造のせん断挙動について, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.77-82, 1995.11
- 3) 中島, 依田, 大浦, 佐藤, 武村: 波形鋼板ウェブとコンクリートフランジとの接合部の構造に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.173-177, 1995.11
- 4) 水口, 芦塚, 依田, 佐藤, 桜田, 日高: 本谷橋の模型実験と実橋載荷実験, 橋梁と基礎, Vol.32, No.10, pp.25-34, 1998.10
- 5) 佐川, 酒井, 岡澤, 益子, 春日, 田添: 日見橋の設計と施工 - 波形鋼板ウェブエクストラード橋 -, 橋梁と基礎, Vol.37, No.6, pp.2-10, 2003.6
- 6) 第二東名高速道路矢作川橋小特集, 橋梁と基礎, Vol.39, No.2, 2005.2
- 7) 宮内, 安川, 中藪, 森, 張: 第二名神高速道路栗東橋の計画と設計 - 波形鋼板ウェブPCエクストラード橋 -, 橋梁と基礎, Vol.37, No.12, pp.9-18, 2003.12
- 8) 藤岡, 飯田, 吉田, 角田: 波形鋼板ウェブPCT桁橋 (コルティエ工法) の開発 - 曾宇川橋の概要 -, 第14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.627-630, 2005.11
- 9) 中藪, 福原, 西田, 須田: 第二名神高速道路栗東橋の施工 - 波形鋼板ウェブPCエクストラード橋 -, 橋梁と基礎, Vol.38, No.10, pp.5-11, 2004.10
- 10) 村尾, 田中, 宮内, 佐川, 毛利, 西村: 信楽第七橋, 津久見川橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.38, No.2, 2004.2
- 11) 浅井, 野村, 土橋, 中村: 北関東自動車道鬼怒川橋の設計と施工, 第14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.217-220, 2005.11
- 12) 芦塚, 高橋, 當真, 小林: 第二名神高速道路杉谷川橋 (下り線) の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.49, No.3, 2007.5
- 13) 青木, 大井, 小寺, 松本: 桂島高架橋の施工 - リブ・ストラット付き波形鋼板ウェブPC箱桁橋 -, 第14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.369-372, 2005.11

- 14) 吉田, 中村, 白谷, 大島: 波形鋼板ウェブと超高強度繊維補強コンクリートを用いた手延べ桁の開発 - 北海道縦貫自動車道鳥崎川橋 -, プレストレストコンクリート, Vol.48, No.3, pp.56-63, 2006.5
- 15) 森, 大山, 志道: 波形鋼板ウェブを用いた新しい押し出し工法の開発, プレストレストコンクリート, Vol.49, No.2, pp.34-40, 2007.3
- 16) 山崎, 内田, 御子柴: 波形鋼板ウェブのせん断変形を考慮したコンクリートスラブの設計法の提案, 第8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.25-30, 1998.10
- 17) 水口, 芦塚, 佐藤, 桜田: 本谷橋(波形鋼板ウェブPC変断面箱桁橋)のたわみに関する検討, 第9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.47-52, 1999.10
- 18) 上平, 立神, 本田, 園田: 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, 1998.5
- 19) 太田, 山下, 日高, 山本: 本谷橋の設計・施工および実験, ピーエス技術資料第15号, 1999.3
- 20) 梶谷, 渡辺, 遠藤, 古村: 下部工断面力の改善と上部工の合理化施工を図った波形鋼板ウェブPC橋の設計・施工 - 磐越自動車道 西田橋(Ⅱ期線) -, ピーエス三菱技報第6号, 2008.10
- 21) 熊屋, 堤, 河邊: 台湾初の波形鋼板ウェブPC橋の設計 - C707工区 UNIT3・C708工区 UNIT4 -, 第18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.303-306, 2009.10

【2010年8月23日受付】



図書案内

## National Report

— The Third *fib* Congress 2010  
Washington D.C. USA (英・和文併記)  
—  
2010年5月

頒布価格: 定 価 6,000 円/送料 500 円  
: 会員特価 5,000 円/送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会