

# PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の現状

## — 開発の経緯と今後の課題 —

酒井 秀昭\*

### 1. はじめに

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋は、PC 箱桁橋のコンクリート製のウェブを波形状に加工した鋼板に置き換えた構造で、作用荷重のうちせん断力を主に波形鋼板ウェブで、曲げモーメントを主にコンクリート床版で分担して抵抗する構造となっている。本形式の橋梁は、死荷重の低減による建設コストの削減を主な目的として、すでに数十橋を超える高速道路橋等に広く採用されている。

本報文は、この PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の現状について、過去の経緯と今後の課題も含めて述べるものである。

### 2. PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の概要

#### 2.1 構造の概要

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋は、コンクリートウェブを波形鋼板に置き換えることにより自重を低減できること、図-1 に示すように波形鋼板のアコーディオン効果により効率的なプレストレスの導入が可能となること、鋼板を波形状に加工することにより鋼板が図-2 に示すように高いせん断座屈耐力を有していることなどの特徴を有している。さら

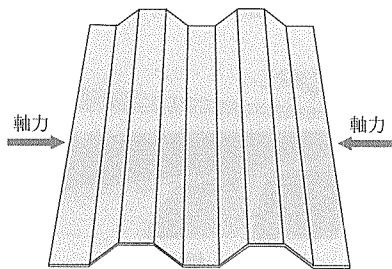


図-1 波形鋼板ウェブのアコーディオン効果

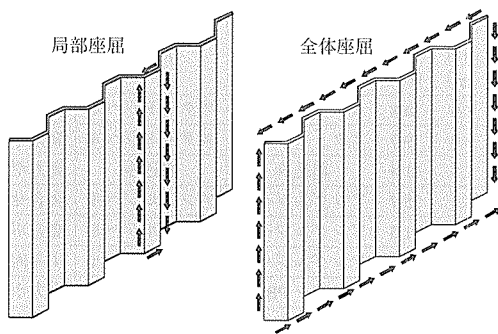


図-2 波形鋼板ウェブの高いせん断座屈耐力

に、コンクリートウェブの鉄筋、型枠、コンクリート施工などが省略できることから、現場施工の省力化および工期の短縮が可能となる。

#### 2.2 自重の低減効果

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の自重の低減効果を把握するため、既往の文献<sup>1)</sup>を調査し、既存のコンクリートウェブの PC 箱桁橋と比較した結果を図-3 に示す<sup>2)</sup>。

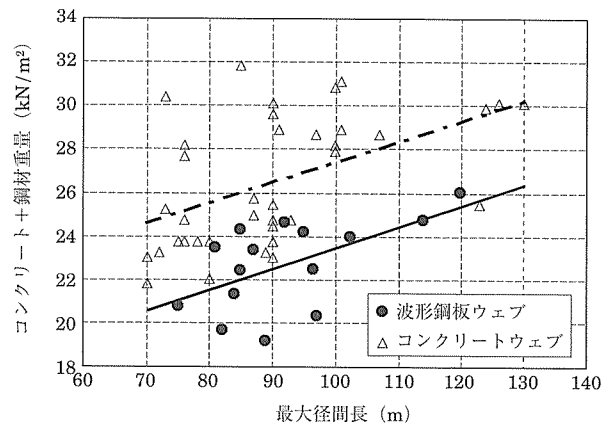


図-3 最大径間長と橋体重量

調査は、PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋について、旧日本道路公団が施工した 2 車線以上の自動車専用道路のうち、張出し架設工法による 3 径間以上で最大径間長が 70 ~ 130 m 間の 15 橋梁を対象とした。PC 箱桁橋については、同様に 41 橋梁を対象とした。データの分析にあたっては、対象橋梁の最大径間長と橋面積あたりのコンクリート重量に波形鋼板の重量を加算した重量（以下、「橋体重量」という）との関係に着目してグラフ化し、おのおのの橋種ごとに回帰直線を求めた。

図-3 に示したデータにはばらつきがあるものの、最大径間長と橋体重量との回帰式は、式 (1)、(2) のとおりとなった。

$$W_{cw} = 0.0941 \cdot l_{max} + 18.0 \quad (1)$$

$$W_{sw} = 0.0964 \cdot l_{max} + 13.8 \quad (2)$$

ここで、 $W_{cw}$  : PC 箱桁橋の橋面積あたりの橋体重量 (kN/m<sup>2</sup>)

$W_{sw}$  : PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の橋面積あたりの橋体重量 (kN/m<sup>2</sup>)

$l_{max}$  : 最大径間長 (m)

\* Hideaki SAKAI : 中日本高速道路(株) 博士 (工学)

### 3. PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の経緯

#### 3.1 海外

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋は、フランス人技術者 Pierre Thivans が考案したもので、1986年にコニャック橋（3径間連続箱桁橋、橋長 107.8 m、最大径間長 42.9 m）ではじめて採用された。同橋の標準横断面図を図-4に示す。

また、1994年には、7径間連続で最大径間長 80 m の張出し架設工法によるドール橋が建設された。同橋の側面図と完成写真を図-5および写真-1に、標準横断面図を図-6に示す。

#### 3.2 国内

わが国においては、1993年に単純箱桁橋の新開橋（径間長 30 m）が建設された。

その後、1995年には3径間連続箱桁橋の銀山御幸橋（最大径間長 45.5 m）が押し出し工法により秋田県内に施工され

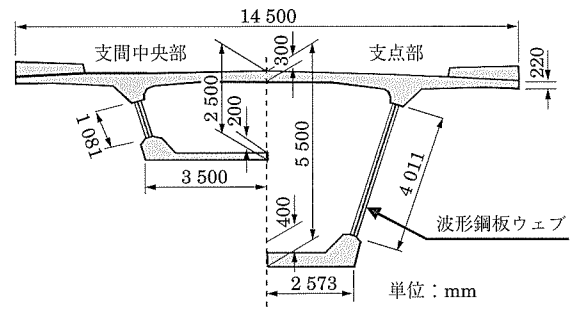


図-6 ドール橋の標準横断面図

た。同橋の側面図と完成写真を図-7および写真-2に、標準横断面図を図-8に示す。

日本道路公団（当時）は、ドール橋や銀山御幸橋の施工実績を参考として、死荷重の削減による建設コストの削減や現場工期の短縮を目的に、PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋を採用するための検討を行った。その結果、張出し架設工法で施工する東海北陸自動車道の本谷橋（3径間連続ラーメン箱桁橋、橋長 198.3 m、最大径間長 97.2 m）に、高速道路橋としてはじめて PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋を採用し、1999年に完成させた。

その後は、表-1に示すような新東名・名神高速道路の橋梁等に広く採用されている<sup>1)</sup>。

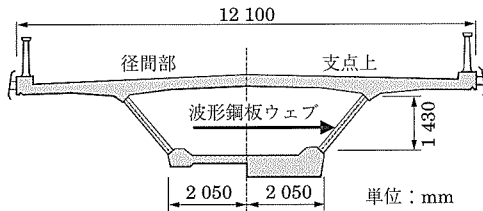


図-4 コニャック橋の標準横断面図

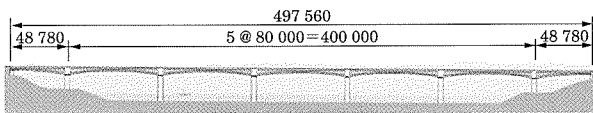


図-5 ドール橋の側面図



写真-1 ドール橋

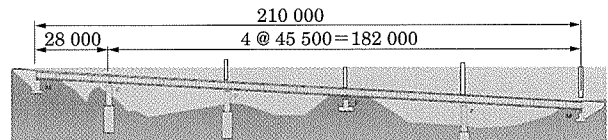


図-7 銀山御幸橋の側面図

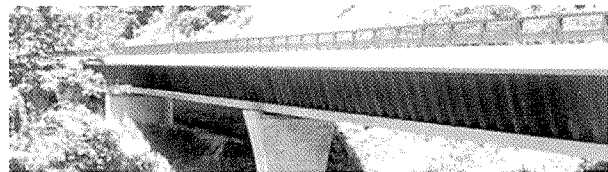


写真-2 銀山御幸橋

表-1 国内における施工事例（一部）

橋梁名	完成年	構造形式	橋長 (m)	支間割 (m)	桁高		幅員 (m)	ウェブの接合方法		ウェブ同士の継手
					中間 支点 (m)	支間 中央 (m)		上床版	下床版	
新開橋	1993	単純箱桁	31.0	30.0	1.9	1.9	14.8	スタッドジベル	スタッドジベル	突合せ溶接
銀山御幸橋	1995	5径間連続箱桁	210.0	27.4 + 3@45.5 + 44.9	3.0	3.0	9.7	スタッドジベル	スタッドジベル	高力ボルト
本谷橋	1999	3径間連続ラーメン箱桁	198.3	44.0 + 97.2 + 56.0	6.4	2.5	11.4	埋込み	埋込み	高力ボルト
鍋田高架橋	2000	3径間連続箱桁	187.5	47.0 + 91.5 + 47.0	3.2	3.2	15.7	アングルジベル	アングルジベル	突合せ溶接
勝手川橋	2001	3径間連続ラーメン箱桁	227.0	59.3 + 96.5 + 69.8	7.0	3.3	11.3	アングルジベル	アングルジベル	高力ボルト
下田橋	2002	4径間連続ラーメン箱桁	269.5	44.25 + 136.5 + 48.9 + 38.35	7.5	4.0	11.6	アングルジベル	アングルジベル	すみ肉溶接
遊楽部川橋	2004	3径間連続箱桁	235.5	65.35 + 102.5 + 65.35	6.5	3.3	10.4	ツインPBL	PBL + スタッド	高力ボルト
豊田東JCTランプ	2004	3径間連続ラーメン箱桁	244.4	86.0 + 94.0 + 61.9	6.5	3.7	12.9	ツインPBL	PBL + スタッド	高力ボルト
津久見川橋	2004	5径間連続ラーメン箱桁	291.0	49.6 + 2@75.0 + 47.0 + 42.6	5.0	3.7	10.7	スタッドジベル	埋込み	高力ボルト
杉谷川橋	2004	6径間連続ラーメン箱桁	453.0	51.2 + 4@87.0 + 52.1	5.1	3.0	12.5	アングルジベル	アングルジベル	すみ肉溶接
日見夢大橋	2004	3径間連続エクストラロード	365.0	91.75 + 180 + 91.75	4.0	4.0	13.0	アングルジベル	アングルジベル	すみ肉溶接
矢作川橋	2005	4径間連続複合斜張橋	820.0	173.4 + 2@235.0 + 173.4	6.0	4.0	43.8	アングルジベル	アングルジベル	すみ肉溶接

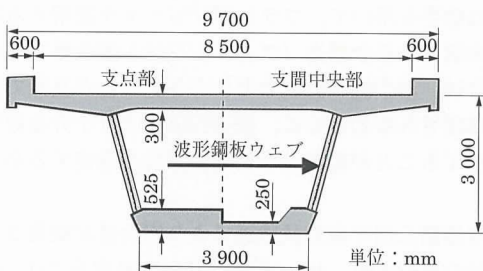


図 - 8 银山御幸橋の標準横断面図

PC 波形鋼板ウェブ構造は、死荷重の低減効果が大きいいため、斜張橋やエクストラード橋の主桁としても採用されている。2004 年には、3 径間連続エクストラード橋である日見夢大橋（橋長 365 m，最大径間長 180 m）が建設された。同橋の側面図と完成写真を図 - 9 および写真 - 3 に、標準横断面図を図 - 10 に示す。

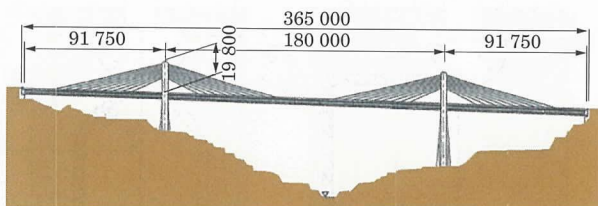


図 - 9 日見夢大橋の側面図

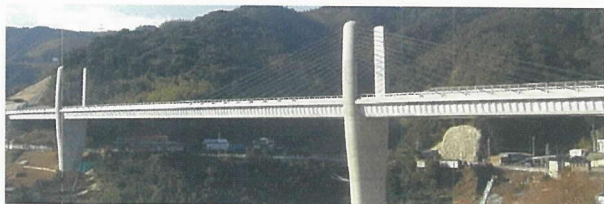


写真 - 3 日見夢大橋

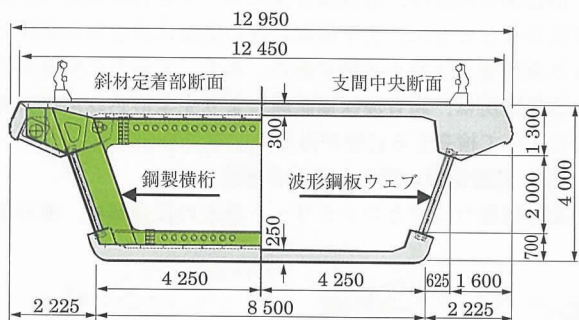


図 - 10 日見夢大橋の標準横断面図

2005 年には、主桁の一部に鋼床版箱桁を使用した 4 径間連続複合斜張橋である矢作川橋（橋長 820 m，最大径間長 235 m）が建設された。同橋の側面図と完成写真を図 - 11 および写真 - 4 に、標準横断面図を図 - 12 に示す。

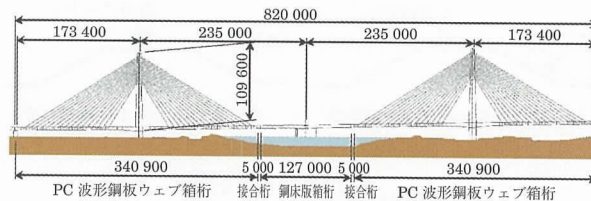


図 - 11 矢作川橋の側面図



写真 - 4 矢作川橋

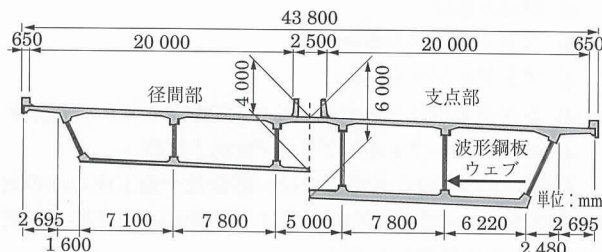


図 - 12 矢作川橋の標準横断面図

## 4. 波形鋼板の形状と接合構造

### 4.1 波形鋼板の形状

波形鋼板の形状は、座屈安全性、施工性、経済性、景観性等を十分に考慮して決定する必要がある。日本道路公団等においては、座屈安全性等の技術検討を行い、本形式の開発国であるフランスで実績のある図 - 13 に示す 1 600 型（波高 220 mm）が多く採用されている。

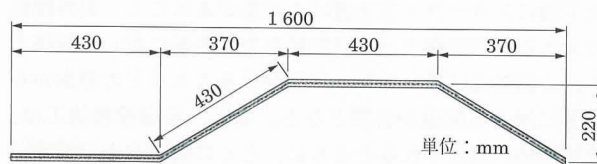


図 - 13 波形鋼板の形状

### 4.2 波形鋼板相互の連結方法

波形鋼板は、現場で相互に連結する必要があるが、その連結方法には主に図 - 14 に示す 3 種類がある。一般的には、架設時の誤差を吸収しやすい重ね継手（連続すみ肉溶接）が採用されるが、突合せ継手や重ね継手（1 面摩擦接合）が用いられる場合もある。

### 4.3 波形鋼板と床版との接合構造

波形鋼板ウェブとコンクリート上下床版との接合部は、波形鋼板ウェブを用いた PC 鋼複合橋においてもっとも重要な構成要素であり、その接合部に作用する橋軸方向の水

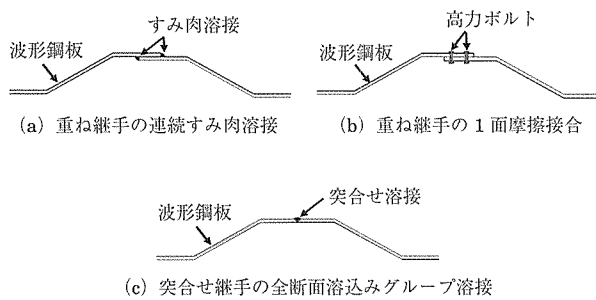


図 - 14 波形鋼板相互の連結方法

せん断力を確実に伝達でき、また、輪荷重による橋軸直角方向の床版の曲げ挙動を考慮し、箱断面が確実に構成できるように構造としなければならない。この性能を確保するため、現在までに主として下記の5タイプの接合構造が採用されている。その概略図を図 - 15 に示す。

- a) 埋込み接合
- b) スタッドジベル接合
- c) アンゲルジベル接合
- d) シングルパーフォンドリブ (SPBL) + スタッド接合
- e) ツインパーフォンドリブ (TPBL) 接合

接合構造の決定にあたっては、経済性や施工性のみの比較ではなく、当該橋梁の重要度や維持管理の方法等を適正に考慮する必要がある。

波形鋼板と下床版との接合部は、雨水や結露など直接作用する部位となるため、排水・止水措置を施すなど適切な防食を行うことが重要である。とくに、埋込み接合の場合は、コンクリート下床版に直接波形鋼板が埋め込まれているため、その界面に作用する雨水や結露などに対し、耐久性の低下を引き起こさないようシーリングなどの防錆対策を施すことが重要である。

#### 4.4 現場溶接箇所の構造と品質管理方法

図 - 14 に示した連続すみ肉溶接による重ね継手は、施工精度の許容範囲が広いという特長を有するが、部材の偏心により付加曲げ応力が生じること、溶接施工上の理由から上下端にスカーラップを設ける必要があること、面外剛性の大きな波形鋼板ウェブが床版たわみ変形に対して抵抗するため面外曲げモーメントが発生することなどの理由から疲労に対する配慮が必要となる。また、現場溶接施工は、溶接姿勢が限定されるとともに、とくに狭隘な上下端返し溶接部ではその施工性が問題となる。

したがって、波形鋼板相互の連結に連続すみ肉溶接によ

る重ね継手を用いて、フランジプレートを使用する波形鋼板と床版との接合構造（アンゲルジベル接合等）を採用する場合は、溶接施工試験などにより施工性が良好であることが確認されるとともに、疲労試験により十分な疲労耐久性を有することが確認された継手形状を選定する必要がある。

日本道路公団で疲労試験等により安全性が確認された継手形状の事例を図 - 16 に示す。重ね溶接継手では、部材の偏心による付加曲げ応力の影響から、疲労き裂の発生位置は溶接止端部となるが、溶接止端部における疲労強度は、溶接止端仕上げにより向上することが可能であるので、回し溶接部などの応力集中部位においては必要に応じて止端仕上げを実施することが望ましい。

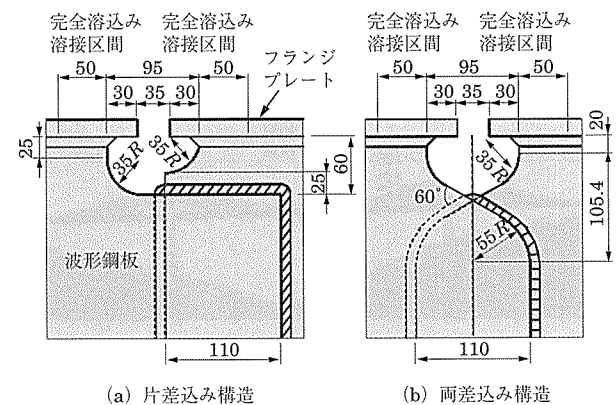


図 - 16 現場溶接構造の事例

現場溶接部は、現場溶接施工に先立って現場溶接施工性試験を実施し、施工方法の妥当性等を検証するとともに適切な品質管理を行う必要がある。現場溶接にあたっては、施工に先立ち部材同士を仮固定し溶接欠陥を防止するため、肌隙を少なくする（1 mm 以下）ことが必要である。過去の施工事例では、部材同士の仮固定にはスタッドボルトを用いている。

溶接部の検査は、溶接線全長について目視による外観検査を行うとともに、上下床版に近い部位は磁粉探傷試験により表面検査を行う必要がある。なお、工場での完全溶込み溶接箇所は、超音波探傷試験により完全溶込み溶接の可否について検査する必要がある。

#### 4.5 波形鋼板と横桁との接合構造

波形鋼板ウェブとコンクリート横桁の接合部は、波形鋼

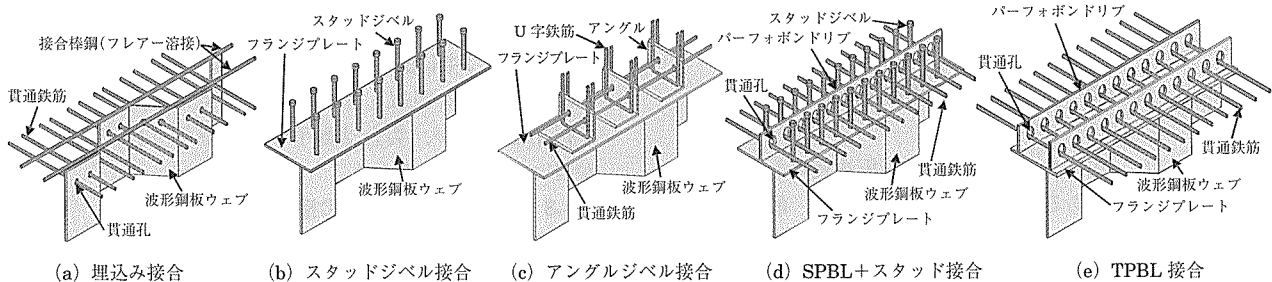


図 - 15 波形鋼板と床版との接合構造

板ウェブとコンクリート床版との接合部同様、重要な構成要素であり、その接合部に作用する橋軸方向の曲げせん断挙動にともなう鉛直せん断力を確実に伝達できるような構造とする必要がある。また、接合部は鋼とコンクリートとの異種部材の組み合わせで構成されるため、耐用期間中にその機能を十分に発揮できるように適切な防食を施す必要がある。この接合構造としては、孔あき鋼板ジベル接合、アングルジベル接合、SPBL + スタッド接合などが採用されているが、接合構造の選定にあたっては、構造的性、経済性を検討するとともに安全性が実験などで確認されたものを選定する必要がある。アングルジベル接合の事例を図 - 17 に示す。

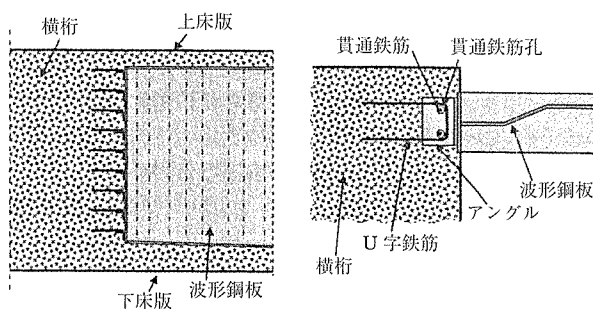


図 - 17 アングルジベル接合による横桁との接合事例

## 5. 外ケーブルの定着部および偏向部の構造

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋はコンクリート床版と波形鋼板ウェブとの複合構造であり、コンクリート部と波形鋼板部の剛性に大きな違いがあるため、橋軸方向力（プレストレス等）に対しては、そのほとんどが上下床版のみでしか抵抗しない。これに対して、コンクリートウェブを有する箱桁橋は、床版とウェブ双方で橋軸方向力を分担することとなる。

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋は、ウェブが波形鋼板構造となっているので、PC 鋼材の配置にあたっては外ケーブル構造の採用が前提となる。外ケーブルを主桁途中に定着する場合には、外ケーブルの緊張力は床版のみにしか伝達されないため、コンクリートウェブを有する箱桁橋に比較してコンクリート床版に発生する応力は大きくなる。また、定着突起付近の波形鋼板ウェブの挙動も複雑となるため、定着部の構造は、波形鋼板を含めた周辺部材の安全性も考慮して選定する必要がある。したがって、外ケーブルを定着する場合は、支点横桁や隔壁などの剛性の大きい構造の箇所定着することが望ましい。

同様に偏向部やその周辺部材に発生する応力度は、コンクリートウェブを有する箱桁橋と比較すると、波形鋼板ウェブの面外方向剛性が小さいため大きくなる傾向がある。したがって、偏向部は横リブを設けた構造とするとともに、鉛直方向の偏向角が大きい場合や偏向する PC 鋼材の本数が多く鉛直方向分力が大きくなる場合には、上下床版を結合した中間隔壁あるいは鉛直リブにより補強することが望

ましい。

張出し架設時の主桁中間での外ケーブルや内ケーブルの定着部は、図 - 18 に示す横リブ構造や図 - 19 に示す縦リブも併用した構造とすることなどの検討を行う必要がある。

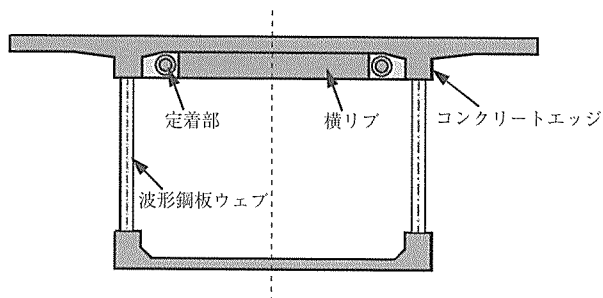


図 - 18 横リブを用いた定着構造の事例

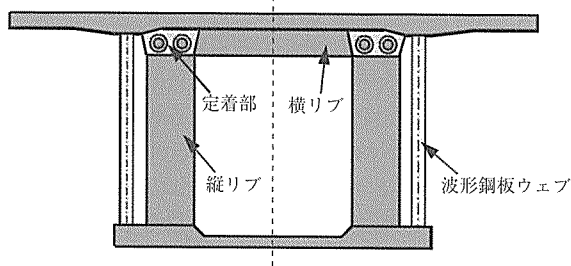


図 - 19 横リブと縦リブを用いた定着構造の事例

## 6. 今後の課題

### 6.1 橋梁計画

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋は、従来のコンクリートウェブ箱桁橋と比較した場合に、桁高の増大による死荷重の増大の影響が少ないものと推察される。しかし、現状においては、コンクリートウェブをそのまま波形鋼板ウェブに変更した事例が多いため、本形式としての最適径間長や桁高とは相違している可能性が高く、本形式のメリットを十分に活かしていないものと推察される。

したがって、今後は橋梁計画段階において、PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋の特性を理解し、経済性や施工性を考慮した橋梁計画を行うことが重要となる。また、橋梁計画を速やかに進めるため技術資料の蓄積も重要となると思われる。

### 6.2 使用材料

PC 波形鋼板ウェブ箱桁橋に使用されているコンクリートや PC 鋼材等の材料は、従来のコンクリートウェブ箱桁橋と同様な強度のコンクリートや PC 鋼材が使用されている事例が多い。

しかし、既往の研究結果<sup>2)</sup>からは最大径間長 115 m の橋梁の試算結果より、「コンクリートの設計基準強度を 40 N/mm<sup>2</sup> から 60 N/mm<sup>2</sup> および 80 N/mm<sup>2</sup> に変更することにより、道示のコンクリート応力度の制限値を用いた場合に、

下床版のコンクリート体積を76%および61%に、橋軸方向PC鋼材量を92%および88%に削減することが可能となる」ことなどが報告されており、PC波形鋼板ウェブ箱桁橋としての適切なコンクリートの設計基準強度の設定が必要となるものと推察される。

また、近年は従来の強度を2割程度増大させた高強度PC鋼材等も開発されていることから、橋梁形式に適合したPC鋼材強度の検討も必要になるものと思われる。

### 6.3 波形鋼板と床版との接合構造

波形鋼板と床版との接合構造は、接合部に作用する橋軸方向の水平せん断力を確実に伝達でき、また輪荷重による橋軸直角方向の床版の曲げ挙動を考慮し、箱断面が確実に構成できるような構造としなければならない。

既設橋の施工事例では、図-15に示した構造を採用しているが、経済性からは床版に波形鋼板をフランジプレートなしに直接埋め込む「埋込み接合」がもっとも初期建設コストの削減が可能となるため、とくに最近多く採用されている。

しかし、埋込み接合は、鋼材をコンクリート中に直接埋め込むため、コンクリートと鋼材の界面付近に作用する雨水や結露などに対し、耐久性の低下を引き起こさないような対策が重要となる。対策が不十分な場合は、2007年に発生した木曾川大橋のトラス斜材の破断のような損傷が発生する可能性がある。したがって、埋込み接合を採用する場合には、埋込み接合の接合部の防食方法について、十分な検討を行う必要がある。

### 6.4 ライフサイクルコスト

橋梁の構造形式や規模の決定においては、初期建設コストの比較のみならず維持補修費等も含めたライフサイクルコストを比較することがきわめて重要である。

したがって、PC波形鋼板ウェブ箱桁橋においては、波形鋼板の耐久性や補修補強費等もライフサイクルコストの算定のうえでは重要となる。本形式の採用事例が多い高速道路会社においては、波形鋼板の桁外面には、ポリウレタン樹脂塗料またはフッ素樹脂塗料を、桁内面には変性エポキシ樹脂塗料を用いることとし波形鋼板の耐久性の向上を図っている。また、埋込み接合を採用した波形鋼板と下床版との接合部の界面には、シリコン系の材料によるシーリングが行われている。

ただし、これらの防錆対策については年数があまり経過しておらず、補修補強等の事例もないことからライフサイクルコストとして評価することは困難である。したがって、今後は、波形鋼板部の耐久性等の評価や補修補強費等の検討を行うことが重要となる。

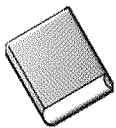
## 7. おわりに

わが国で初のPC波形鋼板ウェブ箱桁橋である新開橋が完成して15年が経過し、本形式も、PC箱桁橋と同じように、橋梁計画を行う場合の比較対象形式として定着しつつある。しかし、本形式は鋼部材とコンクリートとの複合構造であり、この特性を十分に理解して計画・設計および施工を行うことがきわめて重要となっている。

本報文が、その一助となることを期待する。

### 参考文献

- 1) 高速道路技術センター：波形鋼板ウェブを用いたPC橋設計施工ガイドライン（案），2005
- 2) 酒井ほか：PC波形鋼板ウェブ箱桁橋への高強度コンクリートの適用，プレストレストコンクリート，Vol.49，No.6，2007，pp.85-92  
【2008年1月17日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 複合橋設計施工規準

頒布価格：会員特価 6,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 6,825 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 編  
技報堂出版