

PC箱桁橋の自重低減に向けて

～ 波形鋼板ウェブPC橋設計・施工の現況～

Design and Construction Reports of the PC Bridges with Corrugated Steel Webs

高橋 功
Isao TAKAHASHI

川田建設(株)技術部
技術課係長

内田 雅人
Masato UCHIDA

川田建設(株)大阪支店工事部
工事課総括工事長

松本 正之
Masayuki MATSUMOTO

川田建設(株)大阪支店技術部
技術課係長

小西 哲司
Tetsushi KONISHI

川田建設(株)技術部
技術課課長

波形鋼板ウェブPC橋とは

波形鋼板ウェブPC橋（以下、波形PC橋と記す）は、従来のPC箱桁のコンクリートウェブを波形形状に加工した構造用鋼板に置き換えたもので、コンクリートと鋼との複合構造の一種です。

図1に波形PC橋の概念図を示します。波形PC橋は以下のような特長を有しています。

ウェブを鋼板に置き換えることで自重を軽減でき、下部工を含めたトータルコストの低減が可能です。

波形鋼板のアコーディオン効果による効率的なプレストレス導入が期待できます。

鋼板を波形に加工することで、高いせん断座屈耐力が得られ、補剛材が省略できます。

ウェブの鉄筋・PC鋼材配置やコンクリート打設がなく、施工の省力化が図れます。

一方で波形PC橋はコンクリートで一体施工された橋梁と異なり、鋼ウェブと上下コンクリート床版が一体化して挙動するための接合構造、主にせん断力を負担伝達する波形鋼板同士の接合方法、波の形状および片持ち施工における外ケーブル定着突起と鋼ウェブとの取り合い構造など、これまでの鋼・コンクリート合成構造ではあまり問題にならなかった種々の解決しなければならない構造上の懸案点があります。

上記はFEM解析や解析に基づく実物大模型実験などで少しずつ解明されてきています。

そこで、今回これら波形PC橋に特有の構造上の特徴や実際の設計施工の現況についてまとめてみました。

また、施工中も含め、現在までの波形PC橋の実績を表1に示すこととしますが、当社では、この内4橋の設計施工を行っており、各種解析、実験を実施していることから、これらの結果についても波形PC橋の最新の状況と合わせて紹介したいと思います。

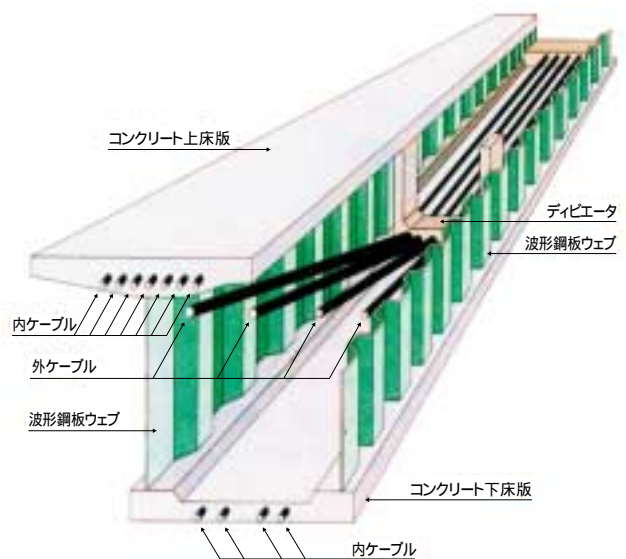


図1 波形鋼板ウェブPC橋の概念図

表1 施工実績 (平成13年6月現在)

橋名	施主	橋長(支間割)	施工方法
新開橋	新潟県	31.0 m(30.0 m)	固定支保工
銀山御幸橋	秋田県	210.0 m(27.4 + 3@45.5 + 44.9 m)	押し出し施工
本谷橋	JH名古屋支社	198.193 m(44.013 + 97.202 + 55.978 m)	張出し施工
中小沢橋	新潟県	47.8 m(23.4 + 23.4 m)	固定支保工
鍋田高架橋	JH名古屋支社	187.5 m(47.0 + 91.5 + 47.0 m)	固定支保工
鍋田高架橋西	JH名古屋支社	250.0 m(60.0 + 125.0 + 60.0 m)	張出し施工
中野高架橋 その1	阪神高速	東行き254.1 m(47.2 + 71.3 + 82.4 + 51.4 m)	張出し施工
		西行き251.0 m(44.8 + 62.8 + 84.5 + 57.1 m)	張出し施工
		西入路217.7 m(29.3 + 59.9 + 84.8 + 42.1 m)	張出し施工
		西出路202.2 m(29.3 + 58.5 + 75.6 + 37.3 m)	張出し施工
中野高架橋 その2	阪神高速	東行き253.8 m(67.5 + 83.9 + 60.5 + 39.8 m)	固定支保工
		西行き253.7 m(66.0 + 82.1 + 59.5 + 43.9 m)	固定支保工
前谷橋	JH九州支社	160.0 m(75.3 + 83.3 m)	張出し施工
勝手川橋	JH東北支社	227.0 m(59.3 + 96.5 + 69.8 m)	張出し施工
大内山第二橋	JH名古屋支社	437.0 m(49.0 + 66.0 + 120.0 + 57.0 + 43.0 + 34.0 m)	張出し施工
小犬丸川橋	JH関西支社	429.9 m(49.9 m + 4@81.0 + 54.1 m)	張出し施工
小河内川橋	JH九州支社	157.0 m(78.5 + 78.5 m)	張出し施工
下田橋	JH名古屋支社	269.5 m(44.3 + 136.5 + 48.9 + 38.4 m)	張出し施工

注) 着色は当社設計施工

表2 コンクリート床版と波形鋼板との接合構造

	スタッドジベル	埋め込み鉄筋	アングルジベル	パーフォボンドリブ
一般図				
利点	スタッドジベルはコストパフォーマンスに優れる。設計が容易。(設計方法が確立されている)	フランジプレートの溶接がなく、施工性に優れる。十分な疲労耐力を有することが実験により確認されている。	スタッドジベルに比べて剛な接合となる。	剛性が高い。
問題点	スタッドジベル引抜き力に対する疲労耐力。	波形鋼板の橋軸方向の変形により、埋め込みコンクリートと鋼板との一体性が失われる。	フランジプレートおよび山形鋼の溶接が必要。	フランジプレートおよびパーフォボンドリブの溶接が必要。

表3 波形鋼板の各種接合方法

種類	高力ボルト	現場溶接接合	
	重ね合せ継手	突き合せ継手	重ね合せ継手
一般図			
利点	ボルト接合であり、現場作業が省力化できる。	検査方法が確立されており、信頼性が高い。疲労強度が高い。	高さ調整、長さ調整が容易。
問題点	せん断力大きい継手箇所は継手構造が大きくなる。たわみおよび長さ調整が困難。	現場溶接のための防護工が必要。現場工程への影響が大きい。たわみおよび長さ調整が困難。	現場溶接のための防護工が必要。現場工程への影響が大きい。すみ肉溶接の品質検査が難しい。

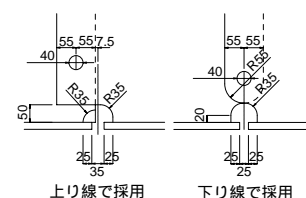


図2 鍋田西高架橋で採用したスカラップ形状

どのような構造が採用されてきたか

(1) コンクリート床版と波形鋼板との接合
表2に接合方法ごとの概念図と特徴を示します。鋼桁とコンクリートの接合方法として最も一般的なのが

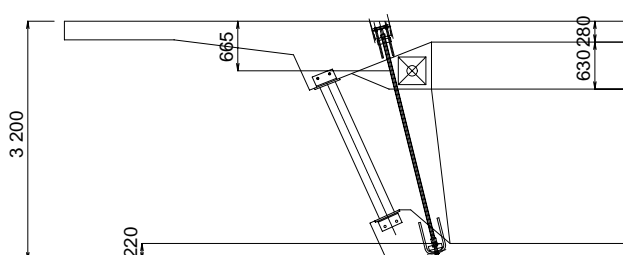


図3 片持ち架設の外ケーブル突起形状

ですが、波形鋼板と鋼フランジとの溶接接合に手間を要することからこの方式が日本独自で開発され使用されました。しかし、鋼板が橋軸方向に直線状に伸びる際にコンクリート床版には局部破壊が生ずることから、現在では最も施工実績の多い接合方法としてアングルによる接合が主流となっています。については各論で後述したいと思います。

(2) 波形鋼板相互の接合

表3に波形鋼板の各種接合方法の概念図と特徴を示します。当初、現場における施工性に優れることから高力ボルトによる摩擦接合が使用されていましたが、適用支間が延びるに連れて必要ボルト本数が多くなり、接合に要する添接構造が大きくなることから、現在は溶接構造が主流になっています。その中でも現在は施工方法に関わらず、現場溶接接合のすみ肉溶接(重ね継手)が施工

実績の多い接合方式です。

(3) すみ肉溶接のスカラップ形状

現場溶接接合のすみ肉溶接(重ね継手)の場合に疲労による応力集中とスカラップ形状が問題となっていたことから、数々の形状が提案され疲労試験結果より数案に絞り込み実橋で採用されています。図2に鍋田西高架橋で採用したスカラップ形状を示します。

(4) 外ケーブル定着突起形状について

外ケーブル定着突起は、ケーブル張力を円滑に主桁に伝達する機能を有するように設計する必要があります。したがって、突起形状の決定に対してはFEM解析と実物大モデルによる載荷試験を実施し、その安全性を確認し実橋に採用しています。当社で施工実績のある外ケーブル突起形状を図3に示します。

各橋梁におけるトピックス

これまで、波形PC橋の全般の特徴を記述してきましたが、以下には各橋梁における特有の事項について概要を記述します。

(1) 鍋田高架橋（実物横方向曲げ破壊試験）

通常のPC箱桁橋のコンクリートウェブと波形鋼板ウェブとでは床版支点部において剛性が異なると考えられます。このことから、道路橋示方書に示される床版支点部設計曲げモーメントを波形PC橋へ適用するための評価を行う必要があります。鍋田高架橋ではこれを実物大載荷実験とFEM解析により評価し、設計に用いる曲げモーメントの設定を行いました。

実験概要

実物大のセグメント（L=4.0 m）を製作し、床版支間中央に弾性域での載荷試験を行いました。なお、床版コンクリートと波形鋼板の接合は埋込み接合で行いました。載荷試験方法は図4の通りです。

実験結果とその評価

荷重 - 変位曲線を図5に示します。フレーム解析結果（ピン結合、剛結合）とFEM解析との関係は、FEMによる変位がフレーム解析のピン結合と剛結合の間にあり、剛結合に近い結合条件となります。また、実験値はFEM解析値と一致しています。

FEM解析による活荷重モーメントの提案式

道路橋示方書の活荷重モーメント算出式を、波形鋼板ウェブ橋に適用するため提案式を求めました。FEM解析値の妥当性は実験にて確認されていることから、FEM解析により以下のケースの組合せに対して検討を行いました。

幅員2ケース（11 m, 15 m）、桁高3ケース（3.2 m, 4.8 m, 6.4 m）

波高3ケース（160 mm, 190 mm, 220 mm）

構造ケース（波形鋼板ウェブ、コンクリートウェブ）

波形鋼板に発生する曲げモーメントと変位からパネ換算すると、波形鋼板のパネ値が大きくなるに従い曲げモーメントの比率は、連続版の式に近づきます。ここで、通常適用されている波形鋼板形状の範囲では単純版の式に対し0.9程度となります。この数値は現在波形PC橋の設計における標準値として用いられているものです。

(2) 中野高架橋（HK接合方式の採用）

阪神高速道路公団で初めて波形PC橋が採用されたのが中野高架橋ですが、従来構造にとらわれることなく様々な面から検討が行われました。特に床版と波形鋼板の接合構造にCT形鋼を用いたパーフォボンドリブとスタッドジベルを併用した接合構造（以下、HK方式と記す）を採用しています（表2参照）。

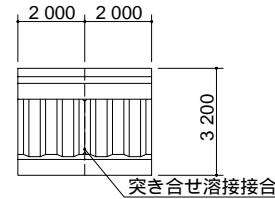
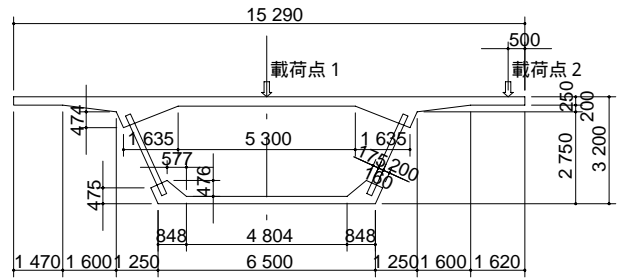


図4 供試体形状図

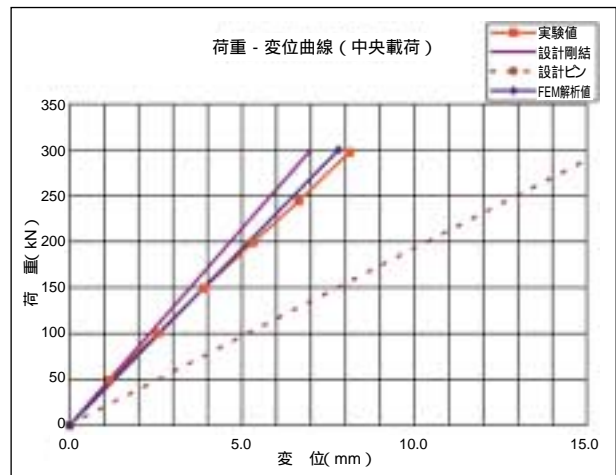


図5 荷重 - 変位曲線

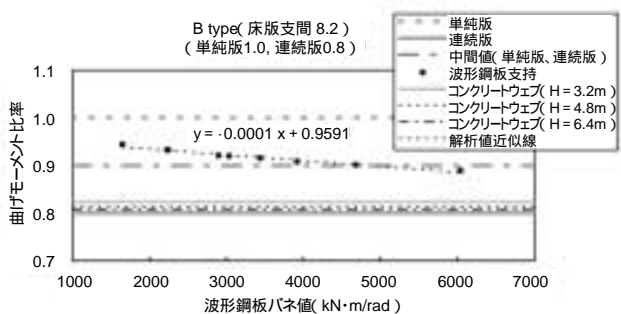
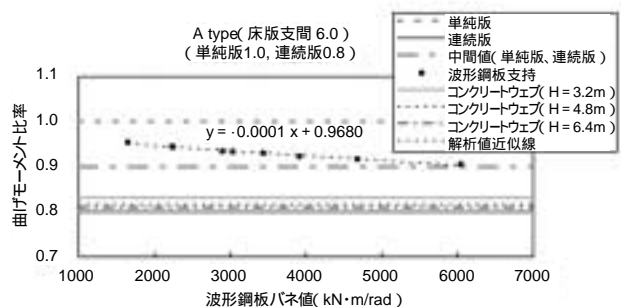


図6 床版モーメントの単純版に対する比率

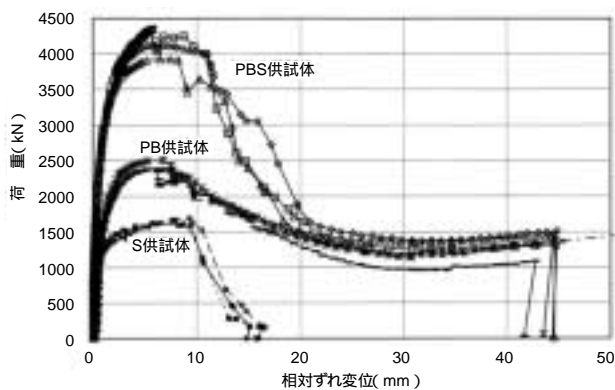


図7 せん断荷重 - ずれ変位関係

HK方式の特徴

以下にHK方式の特徴をまとめます。

フランジとスタッドジベルの働きで、回転に対する追従性に優れます。

破壊時の形状において、埋め込み方式はウェブ付近でひび割れが集中しますが、HK方式はひび割れが分散しており、床版の連続性が保たれます。

パーフォボンドリブとスタッドジベルのずれせん断耐力を累計した設計が可能です(図7)。

本橋では、HK方式が初めての採用であったことから、ジベルの配置等にかかなりの安全率を見込んでいます。今後は経済性を考慮した設計手法の検討が望まれます。

(3) 鍋田高架橋西

本工事は、第二名神高速道路の鍋田・木曾岬地区を通過する延長約1.26 kmの本線上下線および橋長155 mの2つのランプ橋からなる高架橋工事ですが、本線上下線各250 m区間には波形PC橋が採用されており、全外ケーブル方式の片持ち架設工法にて施工中です(写真1)。

本工事における波形PC橋について以下の点が特筆されます。

波形鋼板同士の接合は、柱頭部固定支保工区間(21 m)は突き合わせ溶接を行い、張出架設ブロックの波形鋼板高の調整が容易である一面重ねすみ肉溶接を採用しました。



写真1 鍋田西高架橋施工状況

波形鋼板形状の選定

本橋に使用する波形鋼板形状は1波長1.6 mとしました。図8に本橋で採用する波形鋼板形状を示します。

パネル幅について

これまでの実績から軸方向パネル幅と斜方向パネル幅を等しくしました。これは局部座屈強度が等せん断応力度下で単純支持された平鋼として計算をするため軸方向および斜方向パネル幅が同一の局部座屈強度を有することになり理想的な形状といえます。本橋ではパネル幅および斜方向パネル幅を430 mmとしました。

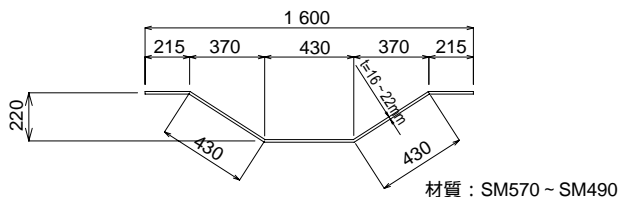


図8 波形鋼板形状

波高について

波高を低くすると軸方向の剛性が高まり、アコーディオン効果に悪影響をおよぼしたり横方向剛性が小さくなり構造上好ましくありません。また、板厚、桁高が一定の場合波高が高いほど全体座屈強度は大きくなります。

本橋は平面線形にR=1 000 mの曲線があるのに加え幅員の影響による活荷重等のねじりモーメントによるせん断力も発生するため座屈強度が大きくなるように既往の実績から220 mmとしました。

今後の展望について

以上、波形PC橋の設計・施工に関する現状を紹介してきましたが、表1の実績表に示すもののうち、施工が完了しているものは5件で、あとは施工中です(平成13年6月現在)。

波形PC橋はその合理性からトータルコストの低減が可能であり、現在計画中の波形PC橋は総延長で10 km以上にものぼるとの国土交通省の発表もあります。

しかし、構造的には、コンクリートと鋼板との接合部における疲労耐久性の把握や、配筋量の多いPC鋼材定着突起の合理的な構造の模索など、解決しなければならない点が残されています。

今後もこれらの問題の解明に積極的に取り組み、波形PC橋の更なる発展へ努力したいと考えています。

参考文献

- 1) 平成12年度 土木学会関西支部 年次学術講演会概要集, pp.148-152, 2000.5.
- 2) 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, pp.1-10, pp.859-874, 2000.12.