

東九州自動車道 田久保川橋の設計と施工

バタフライウェブを用いたPC連続箱桁橋

芦塚 憲一郎・花田 克彦・西村 公・片 健一

東九州自動車道の日向ICと都農IC間に位置する田久保川橋（仮称）では、世界で初めての構造である「バタフライウェブ構造」が採用されている。この構造は、コンクリート箱桁のウェブ部分に、高強度繊維補強コンクリートを用いた工場製の蝶型のプレキャストパネルを用いるものであり、主桁の軽量化と施工の合理化による工期の短縮が可能な構造である。主桁重量を約10%低減することが可能となり、PC鋼材量の低減や支承の縮小によるコストの縮減が図られている。また本構造では、プレキャストパネル間の接合部も簡素化されているため、波形鋼板ウェブ橋のような複合構造と比較しても、施工が迅速化され工期短縮に効果がある。

キーワード：バタフライウェブ、軽量化、コスト縮減、工期短縮

1. はじめに

田久保川橋（仮称）は、東九州自動車道の日向ICと都農IC間に位置する橋長712.5mのPC10径間連続箱桁橋である。本橋では、箱桁のウェブに蝶型形状のコンクリート製パネルを用いた「バタフライウェブ構造」（以下「本構造」と称す）を世界で初めて採用している。

この構造は高強度の繊維補強コンクリートを用いた工場製のプレキャストパネルであり、従来のコンクリート箱桁に比べて上部工重量を約10%軽減することができ、工期の短縮や建設コストの縮減を図ることが可能な構造である。本稿では、田久保川橋における「本構造」の採用の効果とその特性および設計と施工に関して報告する。

2. 橋梁概要

田久保川橋の全体一般図を図-1に、橋梁諸元を表-1に示す。本橋の標準支間は73.5mであり、市道を横断するP1-P2径間が最大支間長の87.5mを有する。橋梁の構造形式はラーメン構造であるが、橋

表-1 橋梁諸元

工事名	東九州自動車道 田久保川橋 (PC 上部工) 工事
構造形式	PC10 径間連続バタフライウェブ箱桁橋
橋長	712.5 m
支間長	58.6 + 87.5 + 7@73.5 + 49.2 m
有効幅員	9.26 ~ 9.46 m
縦断勾配	3.0%
横断勾配	4.5 ~ 2.5%
平面線形	R = 1200 m ~ A = 450 m ~ R = ∞

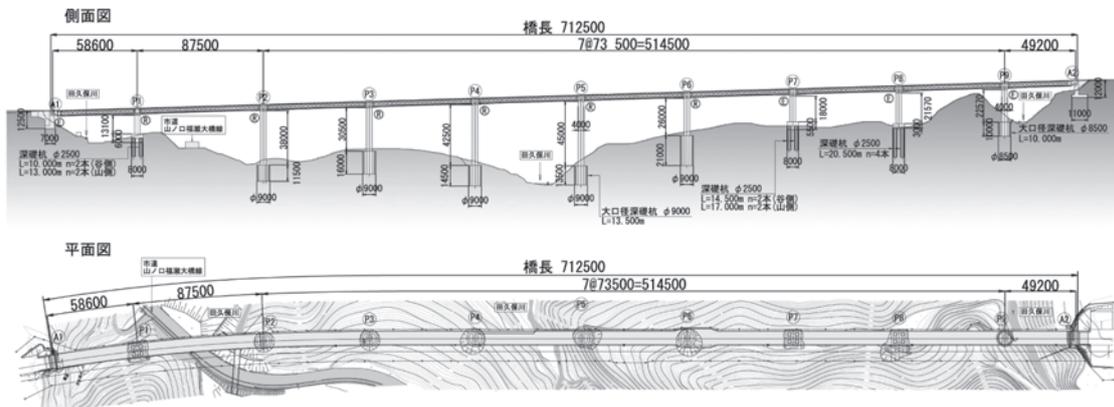


図-1 全体一般図

長が712.5 mであり端支点側の橋脚高さが相対的に低いので、主桁の伸縮が橋脚に与える影響を軽減するためにP1とP7～P9は支承構造としている。

3. 「本構造」について

(1) 構造の特徴

「本構造」は、蝶型形状のパネルを箱桁のウェブに用いる構造であり、パネル同士は各々独立して配置されている。そのため作用する外力に対して図-2のようにダブルワレントラスと類似した挙動を示す。よって、せん断力は圧縮力と引張力に分解されてパネル内に伝達することになり、この挙動が解析および実験にて確認されている^{1), 2)}。

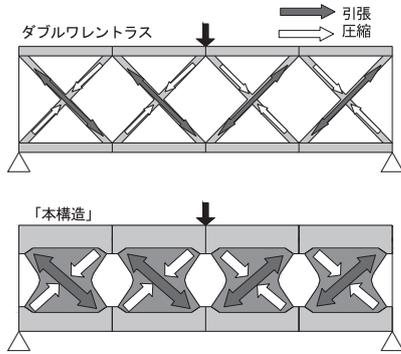


図-2 構造特性

本橋ではこのパネルの材料に設計基準強度 80 N/mm² の高強度繊維補強コンクリートを使用しており、圧縮力に対してはコンクリートで抵抗する構造となっている。また繊維材には鋼繊維を用いている。引張力が作用する方向にはPC鋼材としてφ 15.2のシングルストランドを配置して、プレテンション方式でプレストレスを与えることによって補強しており、パネル補強のための鉄筋は配置されていない。また、上下床版とは鋼管ジベルと鉄筋を用いて接合している(図-3)。

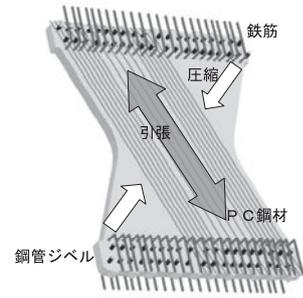


図-3 構造の概要

(2) 田久保川橋における採用について

田久保川橋は、コスト縮減を目的とした契約後VE方式で発注された工事であった。基本設計の段階では設計基準強度 40 N/mm² のコンクリートを用いたPC連続箱桁橋であり、本工事の契約後に「本構造」の採用による効果を検討した。この結果、「本構造」の採用に加え、上下床版に設計基準強度 50 N/mm² のコンクリートを用いることによって、基本設計に比べて主桁重量が約 10%低減できることが可能となり、これにともないPC鋼材の数量や支承寸法を低減できることが確認された。

施工面においても基本設計のコンクリートウェブ構造に比べて主桁重量が低減されるので、張出し施工のブロック長を長くすることが可能となった。基本設計では 3.0～4.0 m のブロック長であるのに対し、「本構造」ではブロック長をウェブのパネル 2 枚を 1 ブロック内に配置する 6.0 m と設定できる。これにより本橋の標準支間長である 73.5 m を例にすると、基本設計ではブロック数が 8BLであったのに対し「本構造」だと 5BLとなり、ブロック数が低減され工期短縮を図ることが可能となる(表-2)。

これらにより田久保川橋において「本構造」の採用はコストの縮減が可能となりVEの目的が達成できるため採用するに至った。

また、上部工の工期短縮は工事全体の調整にも大き

表-2 基本設計(コンクリートウェブ)との比較

	側面図	上部工重量	PC鋼材	張出しブロック
基本設計 コンクリート ウェブ		153000kN (1.00)	250t (1.00)	3.0~4.0m 8BL
「本構造」		138800kN (0.91)	210t (0.84)	6.0m 5BL

な効果を発揮した。本工事では一部で仮設構台を上下部工で共用する期間があった。上下部工で各々重機を配置すると両者の工事効率が大きく低下し、かえって工程が遅延することが予想された。全体の工事工程を遅滞なく遂行するために、上部工での工程短縮の余裕を利用し、上部工における建設重機の使用時期を遅らせることで構台使用に対する下部工施工との競合を軽減し、下部工を効率的に進めることが可能となった。

4. 田久保川橋の設計

(1) 「本構造」の設計

前述したように「本構造」のパネルは設計基準強度 80 N/mm^2 の高強度繊維補強コンクリートを用いた工場製のプレキャスト製品である。パネルの寸法は一般公道をトレーラーにて運搬可能となるように幅を 2.9 m と設定している。パネルの厚さは補強のための PC 鋼材が配置できることと、終局荷重時に作用する圧縮力に抵抗することを満足するために 150 mm と設定した。また、本橋は桁高が柱頭部で 4.5 m 、支間中央で 4.0 m へと変化するが、パネルはプレキャスト部材の製作メリットを活用するために、端支点の長さ調整パネルを除き、全径間にわたり同一形状とした。

前述のように「本構造」のパネルは、 $\phi 15.2$ のシングルストランドで補強しており、補強のための鉄筋は配置していない。この PC 鋼材量は、各荷重状態でパネルに生じる応力に対して、死荷重時にてフルプレストレス、設計荷重時に対してひび割れが発生しないように設定しており、その結果、最も作用せん断力が大きいパネルには 36 本の PC 鋼材を配置している。また PC 鋼材は、各パネルが用いられる部位に生じるせん断力に応じてその配置本数を変更する必要があるため、全 444 枚のパネルに対して合計 9 種類の PC 鋼材の配置パターンに分類している。

パネルの端部は上下床版に埋め込まれる構造になっている。一般にプレテンション方式の場合、プレスト

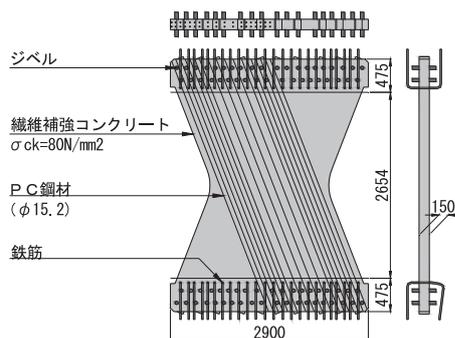
レスの付着定着長は 60ϕ と設定しているが、本構造では、この長さが長くなると埋め込み部の長さを延ばす必要があり上下床版との接合部寸法が大きくなるので、主桁重量が増加することになる。そこで製作に先立ち PC 鋼材の定着実験を行い、埋込み長さ 475 mm 内で十分な定着付着長が確保されていることを確認している（図—4）。

(2) 主桁の断面形状

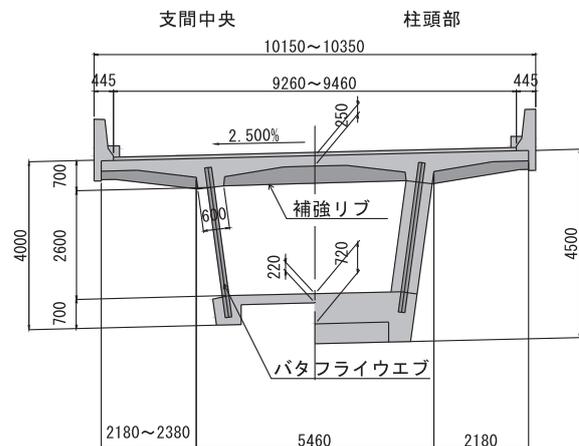
本構造では、「本構造」パネルが橋軸方向に 3.0 m ピッチで配置され、パネルどうしは連続していない。また、その部材厚も 150 mm であるためウェブの横方向の剛性が小さい。そこでパネルの継ぎ目位置には補強リブを配置して、上床版及びパネルの変形を抑制し、床版に発生する応力度を軽減している。

また、同一形状のパネルを用いながら、主桁の桁高を柱頭部の 4.5 m から支間中央の 4.0 m へと変化させているので、桁高の変化は下床版の厚さを変えて対応することで桁内の形状を一定に保っている。柱頭部ではこの下床版厚の増厚によりパネルが負担するせん断力が軽減され、補強のためのパネル内の PC 鋼材が多量になることを防いでいる。

本構造の特徴として、ウェブ部に開口部が生じることになる。これにより暴風雨時に雨水が桁内に浸入・滞留することが懸念される。そこで主桁の断面は浸入した雨水が再び桁外へ排水しやすいように、下床版の形状はパネルとの接合部を下側に突出させたエッジビーム形状を採用している（図—5）。この形状により桁内の下床版は突出物がなくなるので雨水が浸入しても、縦断・横断勾配を利用して再び桁外に排出させることができる。



図—4 「本構造」パネルの構造



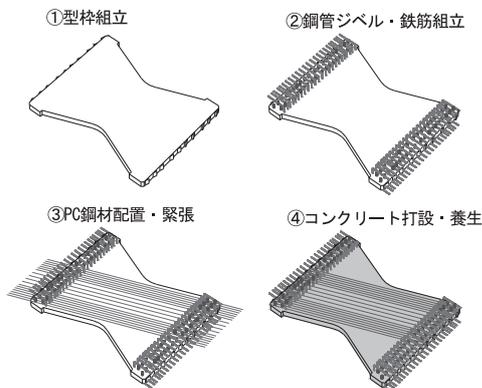
図—5 主桁断面図

5. 田久保川橋の施工

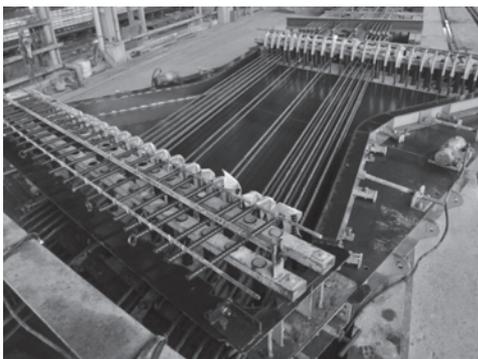
(1) パネルの製作

「本構造」のパネルは、架橋位置から約 270 km 離れた佐賀県内にある PC 工場にて製作し、現地までトレーラーにて運搬している。パネルは PC 鋼材および鋼管ジベルの本数に応じて複数の種類があり、現地では 1 ブロックにパネルを片側 2 枚配置するので両ウェブで 4 枚のパネルを使用することになる。よって左右の張出しでは合計 8 枚のパネルが必要となる。加えて張出し施工の進行にともない、パネルに必要な PC 鋼材の本数が変化するので、架設するパネルの種類が変わる。そこでパネルの製作が施工工程に対してクリティカルにならないように、同一種類のパネルを効率的に製作するように計画した。図一 6 と写真一 1 にパネルの製作サイクルと状況を示す。

また、パネルは内部に配置する PC 鋼材本数より複数のパターンになるが、外観寸法が同一のため製作後に形状から分別することが非常に困難である。さらに製作と現地運搬、架設とパネルを取り扱う時期が複数回発生するので、製作後の混同による架設ミスを防ぐために、全てのパネルに種別番号をつけ、現場の受け入れ時と架設時にマーキングされた種別番号をその都度確認した。



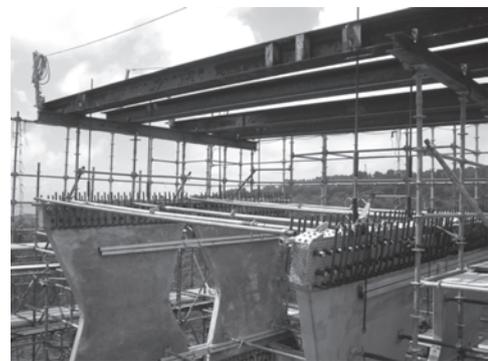
図一 6 「本構造」パネル製作サイクル



写真一 1 「本構造」パネル製作状況

(2) 柱頭部の施工

柱頭部はブラケット支保工を用いて施工した。本橋では主桁の施工区分が「本構造」のパネルの長さによって決定される。パネルは 3.0 m ピッチに配置されるので、中央閉合部と張出し施工部のパネル配置により、柱頭部の長さが設定されることになる。この結果、柱頭部の長さは支間長に応じて 8.3 m ~ 12.3 m の範囲をとることになった。また、柱頭部にもパネルが配置されるので、パネル吊り下げ用の架設術を支保工上に設置し、パネルを所定の位置に配置したあとで、鉄筋と型枠を組み立てた。柱頭部でのパネルの施工状況を写真一 2 に示す。

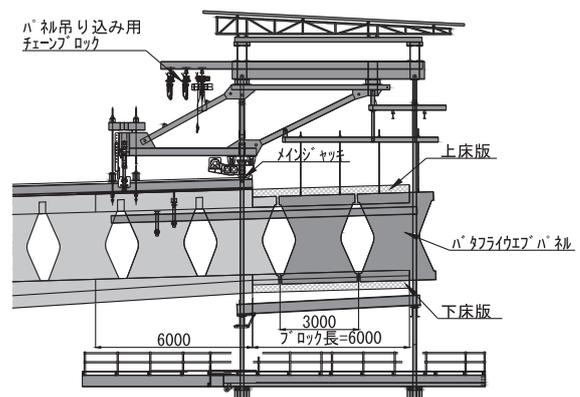


写真一 2 柱頭部のパネル施工状況

(3) 張出し施工

張出し施工は移動作業車を用いて施工を行った。張出し施工は 1 ブロックの長さを「本構造」のパネル 2 枚分が配置できる 6.0 m とした。張出し施工の概要を図一 7 に示す。

また、移動作業車内にはパネルを吊り込んで所定の位置に移動させるためのチェンブロックが設置されている。現場に運搬されたパネルはクレーンにより橋面上に運ばれ、台車を用いて移動作業車の後方まで運搬される。ここでチェンブロックを用いて移動作業車の型枠内に移動させ、所定の位置にて角度調整を



図一 7 張出し施工の概要



写真一3 張出し施工状況

行って固定する。「本構造」はパネルどうしを橋軸方向に接合する必要がないので、パネルが固定された後は、直ちに型枠、鉄筋組立ての作業を開始することができる。張出し施工の状況を写真一3に示す。

(4) 中央閉合工

中央閉合部は移動作業車を用いて実施した(写真一4)。中央閉合部の長さは、張出し施工部先端からパネルが1.1mずつ突出しておりその中央に3.0m中央閉合部のパネルを1枚落とし込む配置となるため、全体で5.2mの施工長を有している。



写真一4 中央閉合状況

パネルの配置間隔の精度を向上しながら、中央閉合時のパネルの架設遊間を確保できるよう、張出し施工時には逐次中央閉合部長さの測量を実施した。

中央閉合部の上下床版コンクリートを打設した後に、完成鋼材として外ケーブル19S15.2を緊張し、中央閉合を完了した。

6. おわりに

田久保川橋では、バタフライウェブという世界で初めての構造を採用した。本構造は、主桁の軽量化とこれともなう下部構造の縮小、加えて張出し施工ブ

ロック数の低減による工程短縮により建設コストの縮小に効果があると言える。

またバタフライウェブパネルは、ウェブを構成する部分には鉄筋が配置されておらず、工場製作による高い品質が確保できるため、塩害や中性化による鉄筋腐食の懸念が低く、高い耐久性を有することから維持管理性に優れると考えられる。

本工事は、平成25年5月現在で工事の90%以上進捗しており、張出し施工が完了したところである。本工事の成果が今後の橋梁建設の発展に寄与できれば幸いである。

JICMA

【参考文献】

- 1) 芦塚, 花田, 中積, 片ノ東九州自動車道 田久保川橋の設計と施工, 橋梁と基礎 vol.46, pp.1-6, 2012.11
- 2) 芦塚, 花田, 中積, 片ノ東九州自動車道 田久保川橋の計画と設計, 第21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.9-12, 2012.10
- 3) 永元, 片, 浅井, 春日ノ超高強度繊維補強コンクリートを用いた新しいウェブ構造を有する箱桁橋に関する研究, 土木学会論文集E vol.66, No.2, pp.1-6, 2010.4
- 4) 芦塚, 花田, 中積, 片ノバタフライウェブ橋の設計と施工, コンクリート工学 vol.51 No.2, pp.188-193, 2013.2
- 5) 片, 高木, 中積, 春日ノ新しいウェブ形式を有する複合橋の接合部に関する研究, 第15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.527-530, 2006.10

【筆者紹介】



芦塚 憲一郎 (あしづか けんいちろう)
西日本高速道路㈱
九州支社 構造技術課



花田 克彦 (はなだ かつひこ)
西日本高速道路㈱
九州支社 延岡高速道路事務所



西村 公 (にしむら いさお)
三井住友建設㈱
九州支店 田久保川橋作業所



片 健一 (かた けんいち)
三井住友建設㈱
土木本部 土木設計部