

第二名神高速道路杉谷川橋（下り線）の設計・施工 — 実橋への新工法の適用 —

芦塚 憲一郎*1・高橋 章*2・当真 正夫*3・小林 仁*4

1. はじめに

従前から、山岳部の急峻地形においては、大規模な工事用道路を必要としない片持ち張出し架設工法によるPC箱桁橋が多く採用されているが、工費縮減ならびに施工の合理化を図るために、波形鋼板ウェブ構造が積極的に採用されるようになってきた。

波形鋼板ウェブPC箱桁橋は、1980年代にフランスで開発され、その後、わが国においてさまざまな改良が加えられ実橋に採用されてきた。旧日本道路公団が初めて波形鋼板ウェブ構造で施工した本谷橋（東海北陸自動車道）では、工費縮減や施工の合理化などを目的として波形鋼板とコンクリート床版ならびに波形鋼板相互の接合方法においてわが国独自の構造が採用されている¹⁾。その後、接合部のさらなる耐久性向上などの観点から、波形鋼板とコンクリート床版の接合構造については、フランジプレート²⁾を有する構造が主流となっており、旧日本道路公団では、本谷橋、弥富高架橋（第二名神高速道路）以外の橋梁にこの構造が採用されている。

杉谷川橋（下り線）においても、当初はフランジプレートを有するアングルジベル接合が採用されていたが、今後の第二名神高速道路への適用を考慮し波形鋼板ウェブPC箱桁橋のさらなる工費縮減、施工の合理化を図ることを目的として、詳細設計において架設工法ならびにコンクリート下床版と波形鋼板ウェブの接合方法について新たな取組みを実施した。

本文は、今回採用した新工法を用いた設計・施工について報告するものである。

2. 工事概要

工事名：第二名神高速道路
杉谷川橋（PC上部工）下り線工事
道路規格：第1種1級（A規格）
工期：平成17年7月～平成19年7月
形式：PC6径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋
橋長：445.39 m
支間割：49.09 + 3@79.0 + 94.0 + 63.55
有効幅員：11.46 m
平面線形：R = 4 500 m
縦断勾配：2 %
横断勾配：2.5 %
図-1に全体一般図を示す。

3. 新しい架設工法の採用

3.1 概要

波形鋼板をウェブに用いた橋梁は、国内実績ですでに100橋を上回っている。高強度で軽く、プレストレスの導入効率に優れるという波形鋼板の特性により、ウェブをコンクリートとした場合に比べ、多くの場合に全体工事費が低下するとされている。これまでの経済性評価は、ウェブの材料をコンクリートから波形鋼板に置き換えたことによる材料費の低減、および死荷重の低下による下部工のスケールダウンといった、完成後の構造に着目した議論にとどまっていた。しかし近年、波形鋼板にある程度の施工時荷重を負担させることで、施工の合理化を図った事例が報告されるようになってきた。杉谷川橋と同じ大津工事管内で

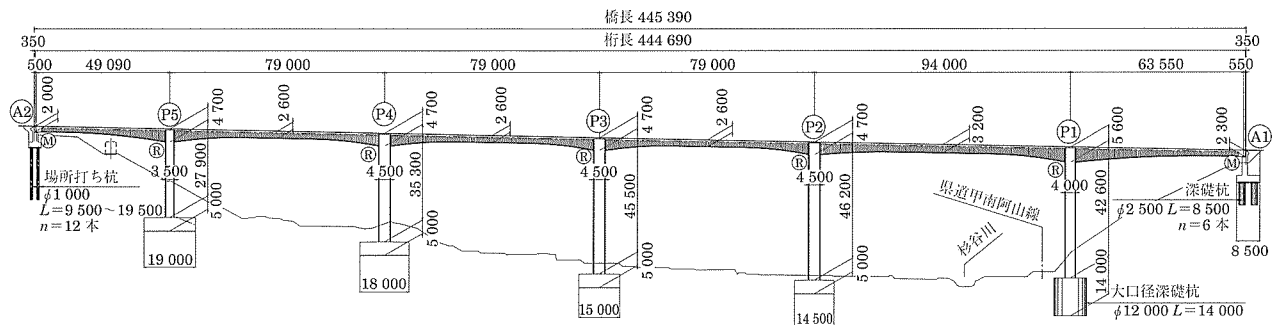


図-1 全体一般図

*1 Kenichiro ASHIZUKA：西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 構造技術グループ サブリーダー
*2 Akira TAKAHASHI：西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 構造技術グループ
*3 Masao TOHMA：(株)ピーエス三菱・コーアツ工業(株) 共同企業体
*4 Hitoshi KOBAYASHI：(株)ピーエス三菱 大阪支店 土木統括部 技術部 設計グループ リーダー

竣工した第二名神高速道路の近江大鳥(栗東)橋^{2),3)}, 信楽第七橋⁴⁾では, 波形鋼板の上下フランジを橋軸方向に連続させることで, 曲げモーメントに対する耐荷性能を付与し, 工費縮減・工期短縮を図っている。

杉谷川橋でも, 波形鋼板のもつ優れた性能を施工時において最大限発揮させるため, 鋼フランジの連続化に加え, 下床版にPC板を使用する新しい施工方法を採用した。図-2に標準断面を示す。PC板は下床版施工時に型枠・支保工として機能し, コンクリート重量を波形鋼板に伝播させる。これにより, 架設時の荷重を支持する従来型の移動作業車は不要となり, 架設機械の軽量・簡素化が可能となる。この結果, 架設PC鋼材など, 使用材料の減少や工期短縮を図ることができ, 施工コストが縮減される。また, PC板を断面性能に見込むことで, 合理的な設計が可能となる。

杉谷川橋では, さらに柱頭部の施工においても波形鋼板に施工時荷重を負担させることで, ブラケット支保工を不要としている。同様の工法は, 第二東名高速道路伊佐布2号高架橋⁵⁾で採用されている。

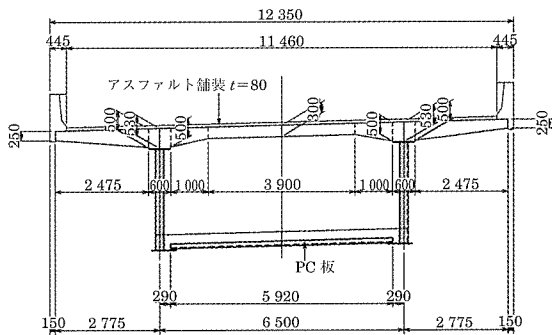


図-2 標準断面図

3.2 新工法の特長

(1) 新しい架設機による張出し施工

杉谷川橋では, 従来の移動作業車にかわる新しい架設機を新規製作し, 施工を行った。新しい架設機による施工のイメージを図-3, 図-4に示す。

図に示すとおり, 張出し施工中は3ブロックの同時施工となる。

- ・前方ブロック (N+1ブロック)
→ 波形鋼板の架設とPC板の敷設
- ・中間ブロック (Nブロック)
→ 下床版コンクリートの打設
- ・後方ブロック (N-1ブロック)
→ 上床版コンクリートの打設と架設ケーブル緊張

こうした3ブロック同時施工は, 施工中の荷重を基本的に波形鋼板に負担させることで可能となっている。

波形鋼板は, 鋼フランジ同士を高力ボルト継手で接合し連続化する。下床版重量は, PC板を介して波形鋼板に伝播させる。上床版重量についても, 型枠受け梁の支点を前方ブロックの鋼フランジ上にあずけることで, 波形鋼板に負担させる。以上により, 施工中の主桁重量はすべて波形鋼板に負担させることができる。したがって, 一般的な張出

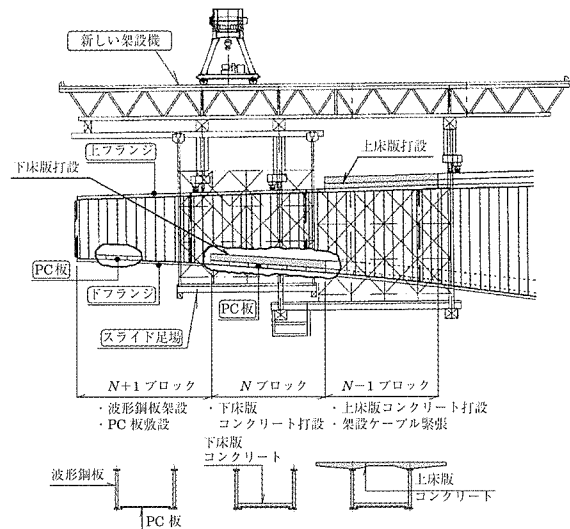


図-3 新しい架設機による施工のイメージ図

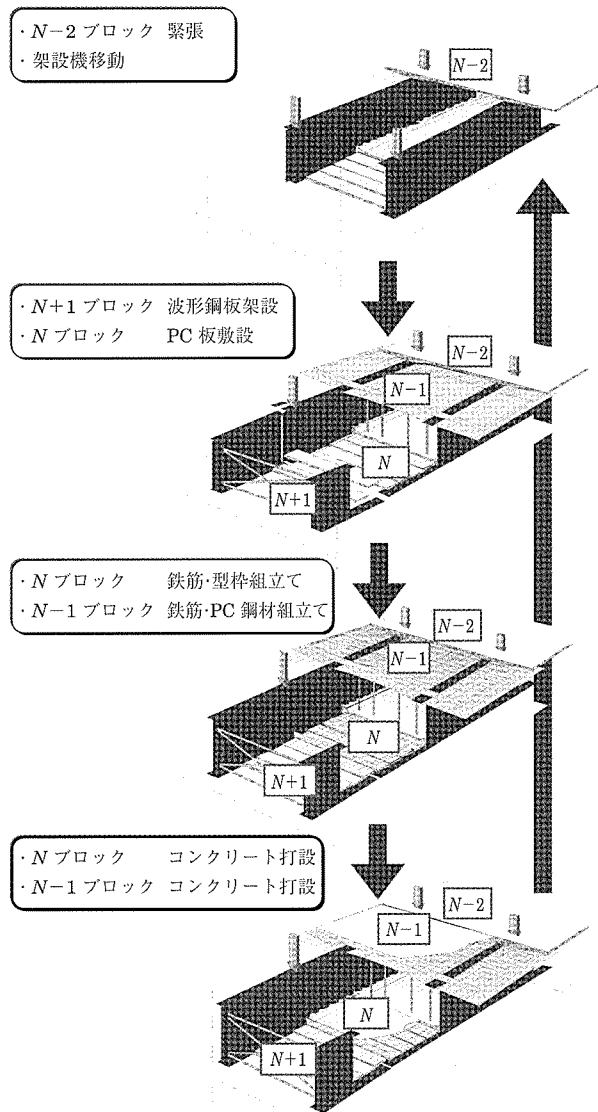


図-4 標準施工サイクル

○ 工事報告 ○

し施工における移動作業車は不要となり、基本的に足場・作業荷重のみを負担する架設機を用意すればよいことになる。

これにより、張出し架設の施工性能は従来工法と比べ飛躍的に向上する。杉谷川橋では、施工ブロック長が従来工法の4.0 mから4.8 mに拡張され、ブロック数を減少することが可能となった。たとえば、張出し長が最大であるP1橋脚の場合には、施工ブロック数が基本設計の12から10に減少している。また、3ブロック同時施工により、サイクル工程もおよそ1.5日の短縮が可能である(表-1)。以上により、新しい工法を用いた場合の工期短縮効果は大きいと考えられる。

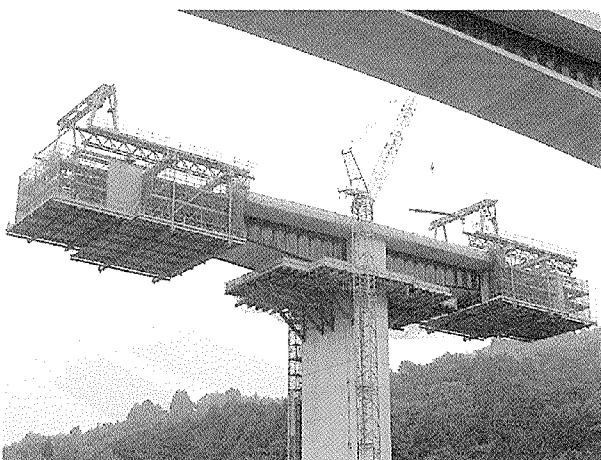


写真-1 新しい架設機 (手前は従来工法による上り線)

表-1 サイクル工程の比較

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
打設・養生	●●●●●										
緊張・架設機移動		●●●●●									
波形鋼板溶接・検査			●●●●●								
PC板設置				●●●●●							
型枠組立て					●●●●●						
鉄筋組立て・打設準備						●●●●●					

(2) プレキャスト PC 板の使用

下床版の重量を波形鋼板に負担させる方法として、

- ① 鋼下フランジを利用し、型枠を支承する
- ② 鋼下フランジ間に埋設型枠を設置する

の方法が考えられる。杉谷川橋では、施工者のプレキャスト部材製作工場(株)ピーエス三菱滋賀工場が架橋地点より車で15分程度と近く、運搬にかかるコストを抑えられるため、②の埋設型枠としてプレキャストPC板を用いる方法を採用した。下床版にPC板を使用する利点として、以下があげられる。

- ・下床版施工時の足場が不要となり、作業に対する安全性が高い。なお、PC板敷設時は、架設機前方のスライド式足場を施工ブロックの下に移動させる。
- ・PC板を埋設型枠として断面の一部に見込むことで、合理的な設計が可能となる。

・鋼下フランジの下面に下床版を接合する従来の構造と比べると、逆打ちを行う必要がなく、接合部近傍のコンクリートの充てん性が向上する。

・耐久性上の留意点であるトリプルコンタクトポイントを箱桁内に限定することができ、維持管理性に優れる。

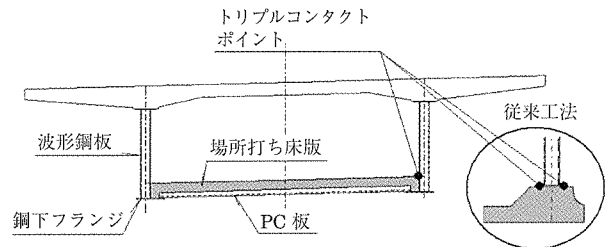


図-5 PC板とトリプルコンタクトポイント

(3) 柱頭部施工の合理化

柱頭部は一般的に、脚頭部にPC鋼棒などで取り付けられたブラケット上で支保工施工を行う。柱頭部施工においても、張出し部と同様に波形鋼板に施工時の荷重を負担させることで、ブラケット支保工を不要にすることができる。実際には足場としてのブラケットは必要であるが、支保材数量は大幅に低減し、ブラケットの設置・撤去に要する日数も短縮することができる。

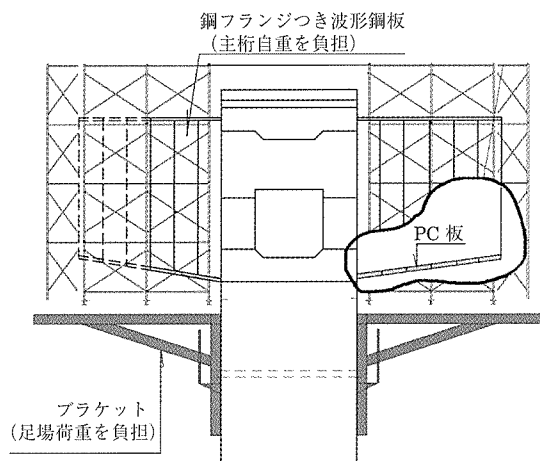


図-6 柱頭部の施工イメージ

4. 設 計

4.1 基本方針

(1) 曲げモーメントに対して

曲げモーメントに対しては、以下に示す方針によるものとした。

- ・主方向(設計荷重時)
 - PC板を断面性能に見込む(圧縮領域のみ)
- ・主方向(終局荷重時), 横方向
 - PC板を断面性能に見込まない。

PC板を使用した合成構造のほとんどが上床版への適用であり、通常、PC板の剛性は横方向(直角方向)の設計にお

いて考慮される。しかし、下床版に作用する横方向の断面力は上床版に比べ小さく、積極的に合成構造とする必然性が薄い。一方、PC板を主方向（橋軸方向）の抵抗断面として考慮することができれば、場所打ち床版厚を低減することが可能となり、より経済的な設計を行うことができる。このため、杉谷川橋では主方向のみPC板の剛性を見込むこととした。ただし、図-7に示すとおり、PC板は橋軸方向に不連続に配置されるため、下床版が引張を受ける状態や終局状態まで合成構造とみなすのは困難であると判断し、設計荷重時の下床版が圧縮を受ける状態のみを有効とした。

なお、主方向の圧縮領域では、PC板と場所打ち部が設計荷重時において一体挙動していることを実験で確認している（5. PC板の合成効果確認実験）。

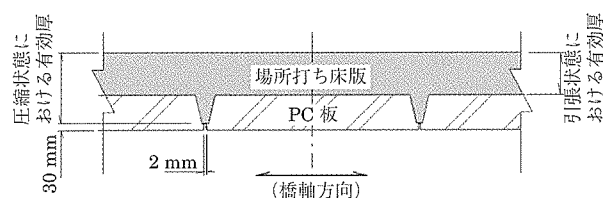


図-7 下床版の有効厚さについて

(2) せん断力に対して

通常の波形鋼板ウェブ橋と同じく、主方向のせん断力はすべて波形鋼板が負担するものとした。

今回、波形鋼板が下床版コンクリートの下縁まで延びている新しい構造形式のため、せん断力に対する有効高の検証が必要となる。

杉谷川橋では、FEMなどによる検討結果をふまえ、せん断力に対する有効高は平均せん断応力度に対する検討、座屈に対する検討ともに上下鋼フランジ間距離とした。波形鋼板のせん断力分担率はFEMによると80%程度であったが、設計上、100%負担するものとしている。

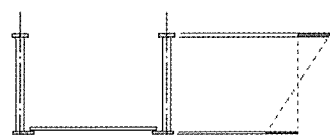
なお、橋体完成後、実橋載荷により波形鋼板の実せん断応力度を計測する計画である。

4.2 鋼フランジ

(1) 設計方針

3ブロックの同時施工により、各ブロックで主方向の断

架設時の応力分布



箱桁構成立後の応力分布 (上下鋼フランジは無視)

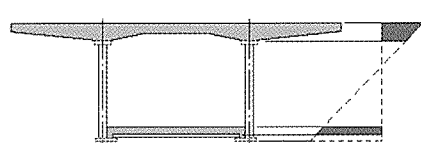


図-8 主桁の曲げ応力度分布

面形状が異なる（図-3）ため、架設時の断面形態に応じた応力計算を行い、フランジの安全性を照査した。

上床版打設、緊張により箱桁構造が成立した後は、通常の波形鋼板ウェブ橋と同様、鋼フランジ、ウェブを無視した設計を行っている。

なお、杉谷川橋では、架設時に鋼フランジに生じる応力を低いレベルで抑え、構造系完成以降の増分応力を見込んでも設計時の許容応力度を超過することがないように、フランジの厚さを決定している。

(2) 鋼フランジの諸元

表-2に示す。

表-2 鋼フランジの諸元

位置	材質	上フランジ		下フランジ	
		幅(mm)	厚さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)
端支点部	SM490YB	550	18	660	21
中間支点部			19 ~ 21		23, 24
径間部			18 ~ 27		21 ~ 36

(3) 鋼フランジ同士の接続

上下フランジとも、鋼フランジ同士の接続には高力ボルト継手を使用している。

添接板の板厚、必要ボルト本数とも、継手位置のフランジ実応力度と全強の75%応力度のうちの大きな方を用いて設計している。また、母材および添接板のボルト孔は、現場施工性を考慮しφ26.5拡大孔を使用している。

高力ボルト継手の諸元を表-3に示す。

表-3 高力ボルト継手の諸元

位置	上フランジ			下フランジ		
	添接板		M22	添接板		M22
	材質	厚さ(mm)	本数	材質	厚さ(mm)	本数
中間支点部	SM490YA	16 ~ 18	16 ~ 19	SM490YA	10, 11	14 ~ 16
径間部	SM490YB	15 ~ 23	12 ~ 25		10 ~ 16	14 ~ 33

4.3 P C 板

(1) 基本形状

基本的な断面形状は、PCコンポ橋を参考に決定しているが（図-9）、横断勾配に対する対処として下面にレアを設けている（図-10）。これは、工場における部材切断、および溶接の作業性を考慮し、PC板をはずける鋼下フランジ

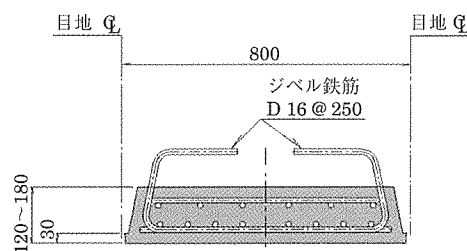


図-9 PC板標準断面図

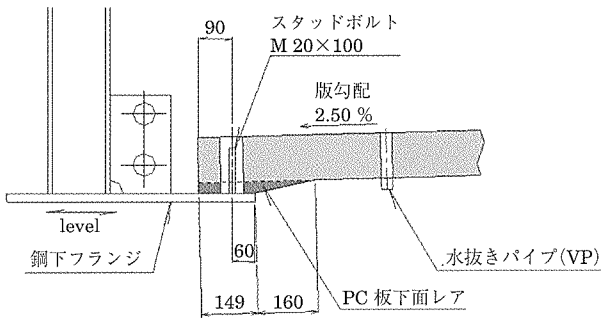


図 - 10 PC板と鋼下フランジの接合部

を波形鋼板に対し直交させたことによる。

鋼フランジの添接板上に設置されるPC板には切り欠きを設け、設置後に切り欠き部を無収縮モルタルで充てんしている。

なお、PC板の厚さについては、場所打ち部に対する型枠として必要な寸法である120～180mmの6種類とした。

(2) 鋼下フランジとの固定

PC板両端中央の1箇所ずつを鋼下フランジに工場溶植したボルトで固定する(図-10)。PC板の設置後、φ60の箱抜きを無収縮モルタルで充てんする。なお、固定ボルトの設計においては、下床版打設時の作用力をFEMで求めている。また、ボルトにより生じる拘束応力に対し、PC板上面を鉄筋で補強している。

(3) 場所打ち部との接合

PC板と場所打ち部の合成については、PC板の表面処理として4つの方法を選定し、実験(5. PC板の合成効果確認実験)により性能確認を行った。

実験ではいずれのタイプも完全合成と見なせる結果が得られたが、安全のため、ジベル筋によりPC板と場所打ち部を機械的に縫い付ける方法を採用した。

なお、横方向(直角方向)の検討では、4.1基本方針で述べたとおりPC板の剛性を無視しているが、ジベル筋の使用により実際には合成床版として機能する可能性がある。その場合、PC板の下面に引張応力が生じるが、ひび割れ発生限界の制限値以内であることを確認している。

(4) 設 計

既述のとおり型枠として必要な厚さを決定し、主方向の設計時における圧縮領域では部材の一部として応力照査を行っている。

PC鋼材は1S15.2を断面内に6～8本配置しており、軸圧縮応力度を10N/mm²程度に制御している。PC板の厚さが異なってもキャンパー(反り)量に大差がないよう、変形量により断面内の鋼材配置(偏心量)を決定している。キャンパー量は、導入時で8～11mm、架設時(材齢90日)で13～18mm、場所打ちコンクリート打設時で-0.3～-1.4mmとなっている(正が上向き)。

なお、使用コンクリートの設計基準強度は50N/mm²である。

4.4 下床版コンクリートと波形鋼板の接合

(1) プレートジベル接合

既述のとおり、波形鋼板が下床版コンクリートの下縁ま

で延びている新しい構造形式のため、波形鋼板と下床版の接合部も新しい構造にする必要がある。このため、複数の接合構造を提案し、実験により性能比較を行った。提案した接合構造の詳細、実験の内容については文献6)で詳しく報告しているため割愛する。

杉谷川橋では以下の理由から、図-11に示すプレートジベル構造を採用することとした。

- ・プレートタイプのジベルにより、波形鋼板と鋼下フランジ間の補強リブを兼ねることができ経済的である(TYPE.C)。

- ・波形鋼板から下床版に至る応力の流れが明解であり、合理的な構造であると考えられる。

なお、プレートジベルの諸元は次のとおりである。

プレート：SS400、 $t = 12\text{ mm}$

PBL孔φ60、貫通鉄筋D16×2本

(2) 設 計

設計は基本的に、孔あき鋼板ジベルにおける手法を準用しており、橋軸方向のずれせん断力、直角方向の曲げモーメントに対し十分な耐力を有するよう、仕様を決定している。接合部の設計手法についても文献6)に詳しく記載されており参照されたい。

5. PC板の合成効果確認実験

5.1 実験方法

既述のとおり、PC板を主方向の抵抗断面として考慮することが可能か、実験で確認を行った。

実験では供試体に圧縮力を与え、下床版の応力状態を再現する。柱頭部は桁高が大きく、下床版の応力度分布は長方形に近似されるため、供試体は下床版部分のみを取り出した等断面の梁形状とし、プレストレスにより軸圧縮応力を与えた。

なお、導入応力度は場所打ち部($\sigma_{ck} = 40\text{ N/mm}^2$)の設計時の許容値(14N/mm²)を目標とした。

5.2 供 試 体

供試体の寸法を図-12に示す。橋軸方向寸法(5400mm)は、FEMによりPC板位置でのプレストレスによる応力が均一になる長さとして決定した。供試体高さ(750mm)はP1下床版の実寸法とし、直角方向寸法(1130mm)については供試体の安全性より決定している。

PC板も実寸法とし、1供試体について4枚配置した。

5.3 PC板の表面処理

PC板と場所打ち部の合成については、以下に示す4つの方法を選定し、性能確認を行った(図-13)。

TYPE-1：粗面仕上げ

TYPE-2：凹凸模様(コンボ橋方式)

TYPE-3：ジベル筋

(PC板表面積の0.2%：道示合成げた橋の推奨値⁸⁾)

TYPE-4：ジベル筋

(PC板表面積の0.4%：TYPE-3の2倍)

5.4 合成の評価方法

合成の評価は、供試体の各高さにおける軸方向ひずみを計測し、その分布形状より判断するものとした。

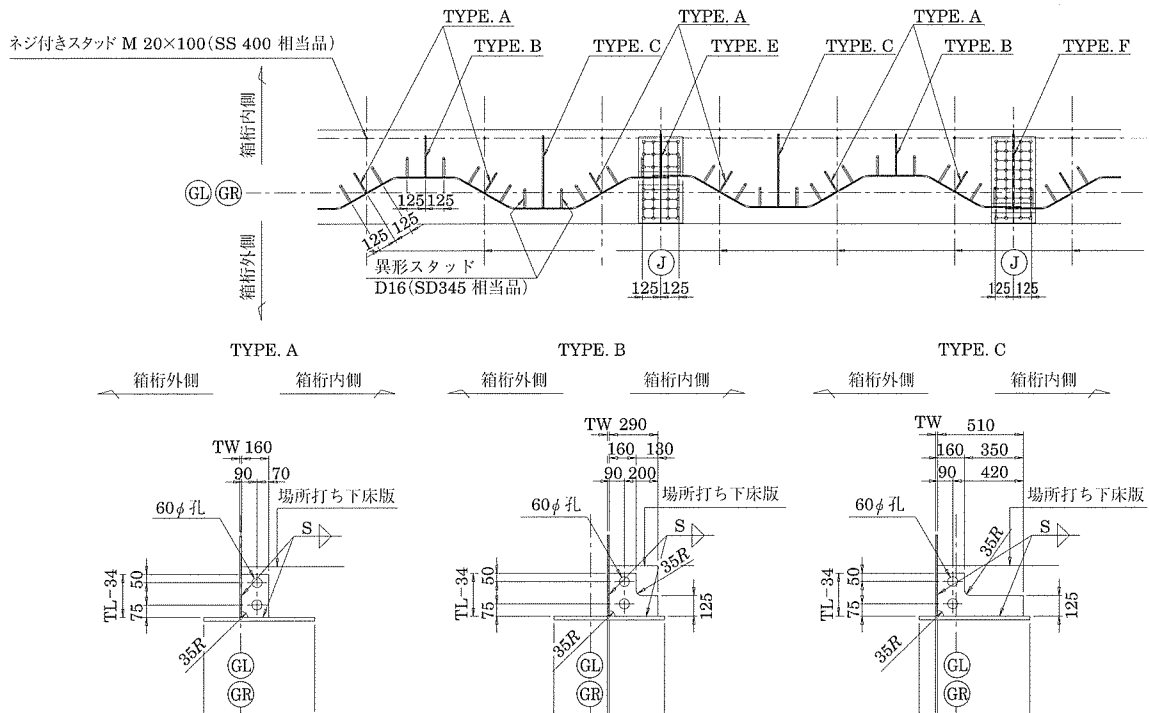


図 - 11 プレートジベル構造図

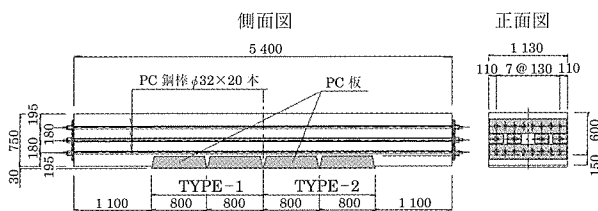


図 - 12 供試体構造図

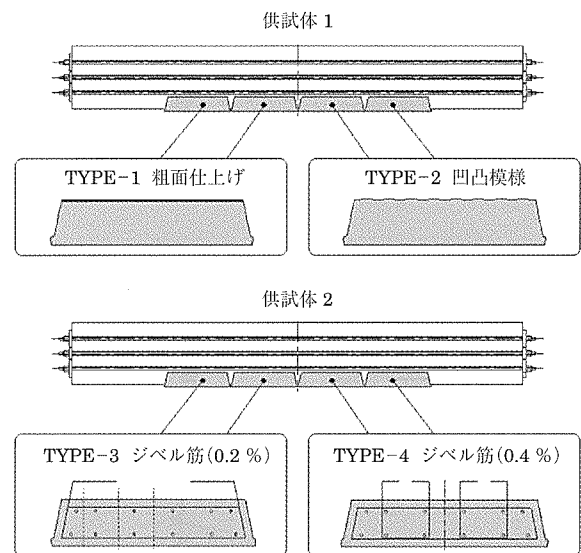


図 - 13 PC 板の表面処理

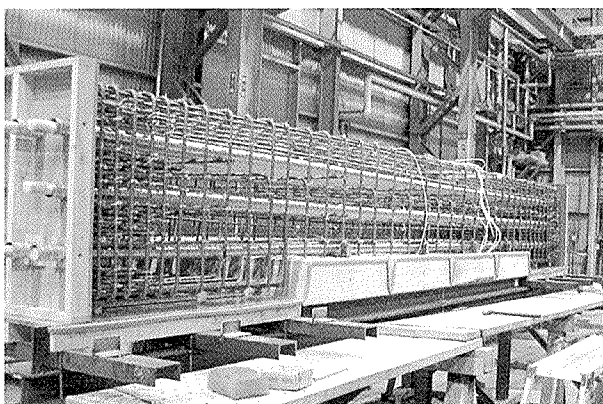


写真 - 2 供試体 (打設前)

ひずみゲージは、供試体の表面、鉄筋に設置した。計測位置を図 - 14 に示す。また、PC 板と場所打ち部の界面に亀裂変位計を設置し、水平方向および鉛直方向の目開き量についても計測を行った。

5.5 実験結果

選定した 4 種類の表面処理方法に大きな差は見られなかった。実橋に採用した TYPE - 3 (ジベル鉄筋 0.2%) の実験結果を図 - 15 に示す。

断面 ①では、実験値、解析値ともにひずみが直線分布と

ならず、PC 板遊間に大きな圧縮ひずみが生じる結果となった。ひずみ量は実験値で 660μ であり、供試体下縁の解析値 517μ に対し 1.27 倍のオーダとなった。応力に換算すると 19.9 N/mm^2 となり設計荷重時の許容値を超過したが、FEM によると局所的な応力集中であり、供試体に損傷は確認されなかった。なお、ひずみ分布は ① から遠ざかるにしたがい、直線分布に近づいた。

① を含むすべての断面において、実験値と解析値はよい精度で一致している。解析では PC 板と場所打ち部を一体化させており、設計荷重時における圧縮状態下では両者の合成が確認されたと判断される。

また、初等梁理論による軸方向ひずみは、PC 板遊間の近

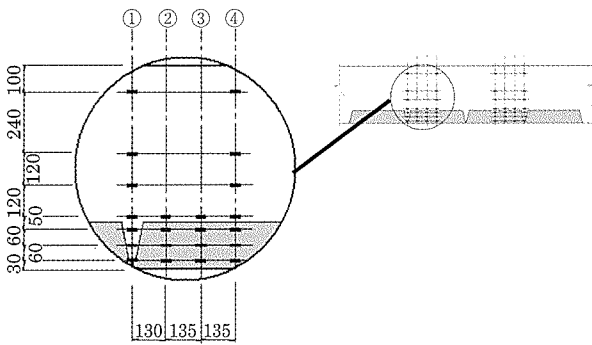


図 - 14 ひずみゲージ位置

傍を除きおおむね実験値，解析値と一致した。これより，応力の算定にあたり標準的な設計手法の適用が可能であると判断される。

TYPE - 3 は TYPE - 1, 2 と異なり PC 板表面の付着性能を期待せず，ジベル筋による機械的な接合を合成の基本としていたが，結果に大差がなかったことから，実際には付着の効果が反映されたと思われる。

5.6 表面処理方法の選定

以下の理由により，ジベル筋を PC 板表面積に対し 0.2 % 配置する TYPE - 3 を採用した。

- ・ 下床版において PC 板を合成床版として使用した事例がなく，より安全性が高いと思われる方法を採用すべきであること。
- ・ 実験では引張荷重に対する安全性を確認していないが，活荷重により圧縮・引張の応力がともに作用する部位があるため，より確実な合成が期待できるジベル筋接合が

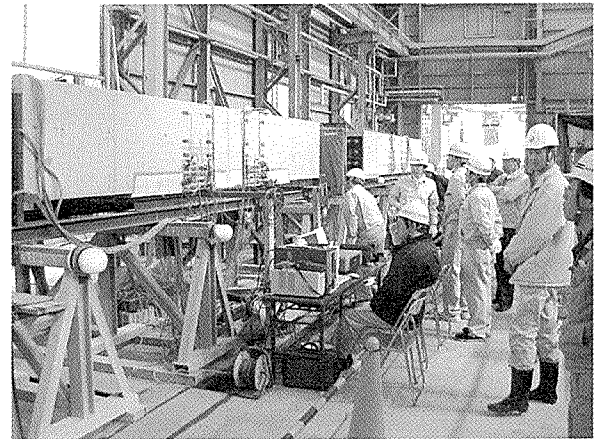


写真 - 3 実験風景

望ましいと思われること。

・ ジベル筋の鉄筋量による明らかな性能差が確認されなかったため，示方書で規定される 0.2 % の鉄筋量を配置すればよいと判断されること。

なお，FEM 解析により供試体が引張を受ける状態について検証を行ったが，結果は PC 板の部分で断面欠損とした状態に近く，設計の仮定が正しいことを裏付けている。

6. 施工状況

6.1 柱頭部 (PC 板敷設)

平成 18 年 3 月より柱頭部の施工を開始した。柱頭部には平均で 3 箇月程度の施工期間を要した。写真 - 4 は柱頭部分の PC 板敷設状況である。

前述のとおり PC 板自体が場所打ちコンクリートの代替

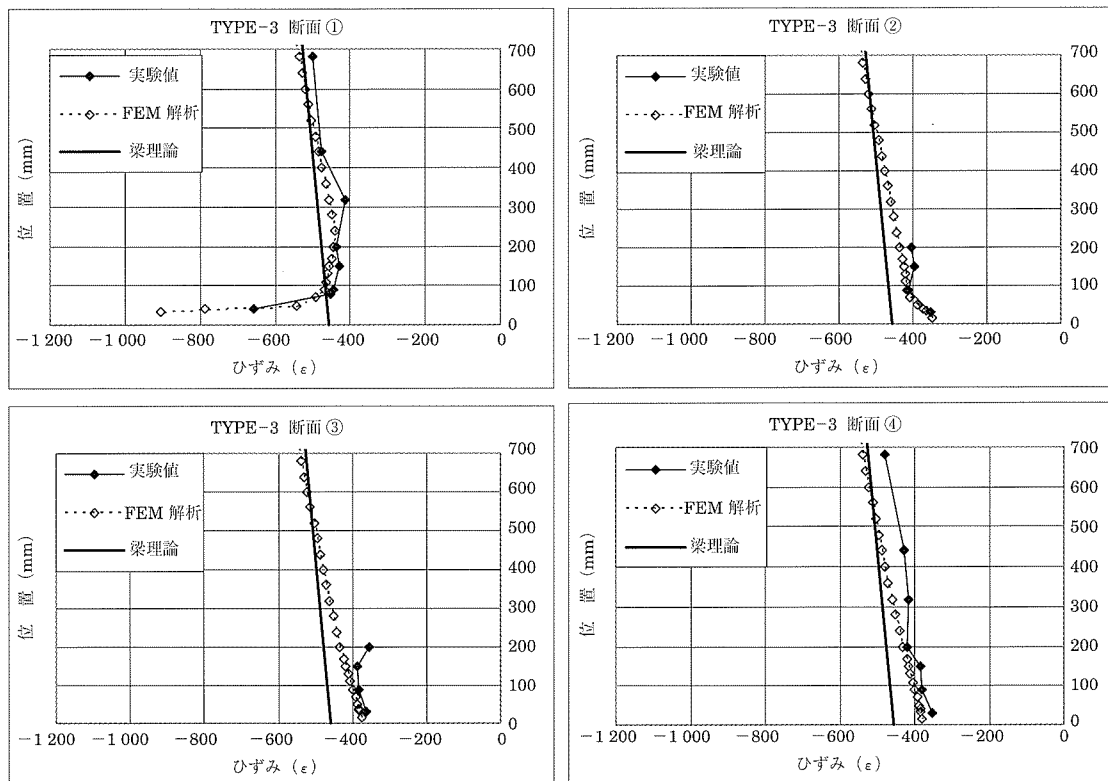


図 - 15 実験結果 (TYPE-3)



写真-4 柱頭部施工状況

支保工となることから、従来のステージング（枠組支保工）は不要である。

6.2 架設機

写真-5は架設機の全景である。従来の移動作業車と異なり前方への転倒モーメントが発生しないため、組立～移動～解体までの安全性が向上している。



写真-5 張出し施工中の架設機

6.3 コンクリート打設

新工法の特徴のひとつとして、前方ブロック下床版と後

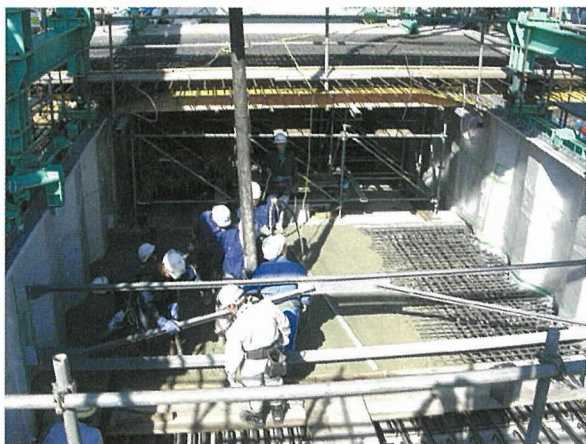


写真-6 下床版打設状況

方ブロック上床版の同時施工があげられる。下床版の施工を行うブロックでは上方空間が開放されており、コンクリート打設、材料の搬出入などにおいて、従来工法に対し施工性が向上している。

写真-6は下床版コンクリート打設時の状況である。打設完了後、引続き上床版コンクリートの打設を行う。

なお、波形鋼板との肌隙防止、PC板による収縮の拘束応力補償として、下床版には膨張コンクリートを使用している。

7. おわりに

杉谷川橋（下り線）では、PC板を用いた新しい張出し架設工法を採用し、工期短縮・工費縮減を図った。現在、7月の竣工に向けて鋭意施工中である。

品確法の施行に伴い、耐久性の高い構造物を経済的に施工する技術の開発が、建設業界に課せられた使命である。本橋で採用された新しい施工方法が、同規模橋梁における計画の一助になれば幸いである。



写真-7 橋体完成前の杉谷川橋（下り線）

参考文献

- 1) 加藤，芦塚，加藤，日高：本谷橋（波形鋼板ウェブPC箱桁橋）の設計について，第7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，1999.10
- 2) 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，橋梁と基礎，2003.12
- 3) 井手，計良，須田，橋野：栗東橋の施工と計測，プレストレストコンクリート，Vol48，No.5，2006
- 4) 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，2004.2
- 5) 武村，青木，三井，川除：柱頭部合理化施工を採用した波形鋼板ウェブ橋の設計－伊佐布2号高架橋下り線工事－，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，2006.10
- 6) 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，Vol49，No.2，2007
- 7) 複合橋設計施工規準，(社)プレストレストコンクリート技術協会編，技報堂出版
- 8) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 11.3 けたと床版の結合，(社)日本道路協会

【2007年4月16日受付】