

# 波形鋼板ウェブPCT桁の製作・施工報告

## - 曾宇川橋 -

北陸支店	七尾工場	鉄本忠男
北陸支店	工事部	石井一男
北陸支店	土木技術部	笛木 亮
北陸支店	土木技術部	松本一昭

概要：石川県加賀市に完成した曾宇川橋では、従来のプレキャストPCT桁橋のコンクリートウェブを、波形鋼板に置き換えた波形鋼板ウェブPCT桁橋(コルティー工法)を採用している。採用に際しては、実物大主桁載荷試験と実橋載荷試験を行い、設計で想定する所要の性能を確保していることを確認している。本稿は、2005年1月に世界初の波形鋼板ウェブPCT桁橋として完成した、曾宇川橋の主桁製作と現場施工に関して報告するものである。

**Key Words**：波形鋼板，プレキャストPCT桁，コスト縮減

### 1. はじめに

波形鋼板ウェブPCT桁橋(コルティー工法)は、従来の箱桁断面に採用されていた波形鋼板ウェブPC橋の技術を小～中支間対応のプレキャストPCT桁橋に適用し、従来のプレキャストPC桁橋に対し、コスト縮減および適用範囲の拡大を図ったものである。

波形鋼板ウェブPCT桁橋は、一般的な波形鋼板ウェブPC橋の有する、自重軽減、効率的なプレストレスの導入、高いせん断座屈耐力の特徴に加えて、以下の利点を兼ね備えている。

運搬可能なプレキャスト部材寸法の拡大が可能となり、主桁本数の低減、支承数の減少などからコスト縮減を図れる。

自重軽減効果により、従来のポストテンションT桁の領域に適用支間を拡大できる。

また、以下に示す条件において波形鋼板ウェブPCT桁橋は経済性で優位となる。

プレテンション方式PCT桁橋に比べ、主桁本数を6割以下にできる場合。

死荷重反力を軽減することで下部工費を縮減し、トータル工費の縮減ができる場合。

多径間連結桁における支承工費の割合が大きく、支承数の低減によるコスト縮減効果が期待できる場合。

2005年1月に世界初の波形鋼板ウェブPCT桁橋として、曾宇川橋(橋長23.9m、コルティー工法プレテンタイプ)が石川県加賀市に完成している。曾宇川橋では、波形鋼板使用による主桁の軽量化により、主桁本数の低減、PC鋼材量の低減、施工の省力化が図られ、上部工工費で約6%のコスト縮減に成功している。また、上部工の死荷重反力で約20%の軽減が可能となり、下部工への負担も低減できている。

曾宇川橋の施工に際しては、桁長23.8mの実物大主桁供試体を用いたせん断載荷試験および曲げ載荷破壊試験を行い、波形鋼板ウェブPCT桁の力学的特性、耐荷性能、破壊性状等を確認した。さらに橋梁完成後には、実橋載荷試験を行い、橋梁が設計で想定する所要の性能を有していることを確認した。

以下に、曾宇川橋の概要および主桁製作、現場施工について記す。



鉄本忠男



石井一男



笛木 亮



松本一昭

## 2. 曾宇川橋の概要

石川県加賀市に竣工した曾宇川橋では、主桁自重の軽量化により、主桁本数の低減ならびに上部工重量の軽減が可能となり、従来のプレテンション方式PCT桁に対して約6%のコスト縮減に成功している。

以下に曾宇川橋の概要を記す。

工事名: 南加賀道路いしかわ広域交流幹線軸  
道路整備工事(曾宇川橋上部工工事)

工事場所: 石川県加賀市曾宇町

橋長: 23.900m

桁長: 23.800m

幅員: 15.124m(A1) ~ 13.964m(A2)

斜角: 左 78° 16' 39"

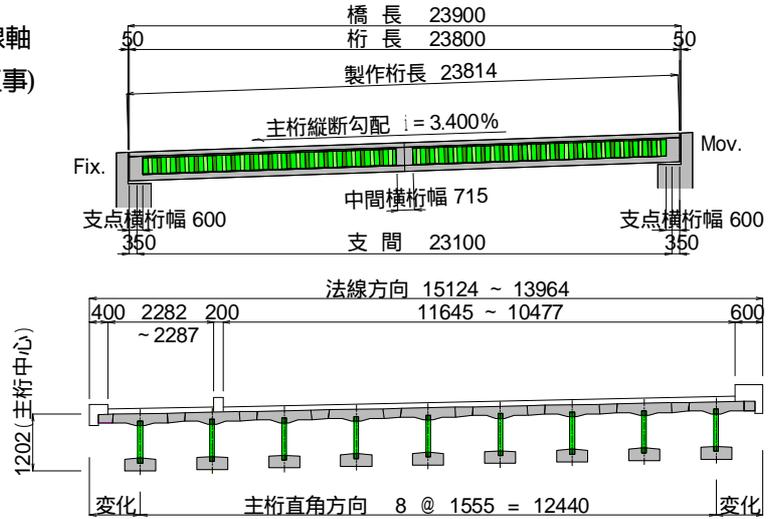
【使用材料】

コンクリート:  $ck=50 \text{ N/mm}^2$

主方向 PC ケーブル: SWPR7B 1S15.2

横方向 PC ケーブル: SWPR19 1S21.8

波形鋼板: SM490A t=9mm



### (1) 曾宇川橋の構造

#### 1) 主桁構造

曾宇川橋では、プレストレス導入方法としてプレテンション方式を採用している。図-2 に従来のプレテンション方式PCT桁との断面比較を示す。コンクリートウェブを軽量の波形鋼板に置き換えることで主桁重量を増加することなく上フランジ幅を800mmから1200mmに拡張することを可能としている。

当初設計時幅員の比較では、通常のPCT桁橋で14本必要(図-3)となる主桁本数を、波形鋼板ウェブPCT桁橋では9本(図-1)にまで減少することができた。これにより全主桁重量で35%、全死荷重でも20%の低減が可能となった。

図-1 曾宇川橋の諸元

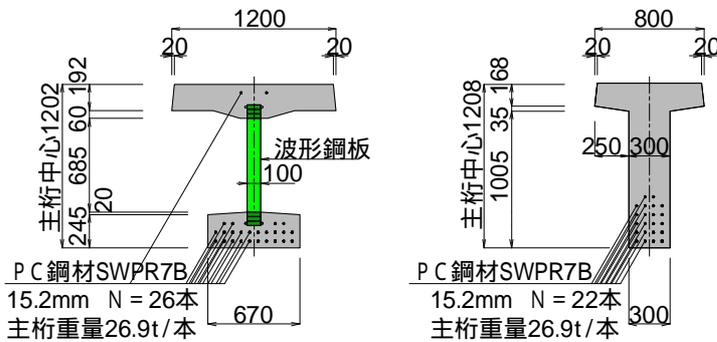


図-2 波形鋼板ウェブPCT桁と従来のPCT桁の断面比較



写真-1 曾宇川橋主桁断面

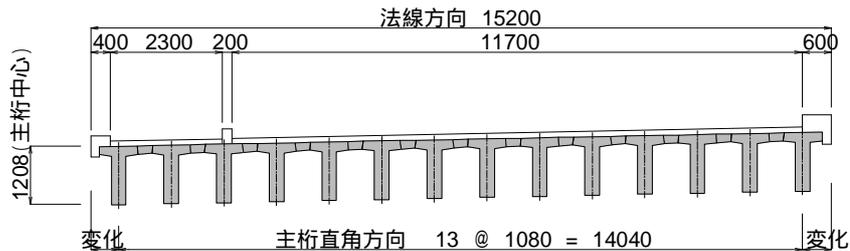


図-3 当初設計時のPCT桁の断面

## 2) 波形鋼板およびコンクリートとの接合部

曾宇川橋の主桁に使用した波形鋼板の形状は、1波長800mm、波高100mmとした(写真-2)。箱桁の実績に比較し、波形鋼板に作用する断面力が小さいため、箱桁で採用される一般的な形状よりコンパクトにしている。なお、波付けは1角ずつ折り曲げて製作するプレスブレーキ方式(写真-3)で実施した。

コンクリートと波形鋼板の接合部には埋込み接合方式を用いている(写真-4)。埋込み高は100mmとした。埋込み接合方式は、他の接合方法に比べ、フランジやスタッドジベルが不要であることから、省力化およびコスト縮減が可能となる。また、溶接部が少ないこと等から、疲労耐久性も他の接合構造に比較し優れていることが報告されている<sup>(1)</sup>。

接合部の耐久性を高めるため、下フランジ部の貫通鉄筋にはエポキシ塗装鉄筋を使用し、コンクリートと鋼板の境界部にはシーリング材を設置している。

曾宇川橋では、波形鋼板長(投影長)は23.340mとなる。波形鋼板は、最大3200mm(4波長分)の波形鋼板パネルを3組突合せ溶接によって接合し、最大9600mmの部材とした。この段階で波形鋼板に溶融亜鉛めっき処理を施した後、主桁製作工場である七尾工場へ運搬し、工場にて主桁製作前に、高力ボルトを用いた一面せん断摩擦接合(写真-5)により全長を一体化した。

石川県の鋼道路橋の防食方法は、飛来塩分の影響を避けるため海岸から700mを越え20kmまでの地域には溶融亜鉛めっき処理を標準としており、初の試みとなった。

1形鋼等を溶融亜鉛めっき処理する場合は、フランジとウェブの板厚が異なること等により、めっき槽浸せき時に両者の間に温度差を生じ、ねじりやはらみといった変形を生じることがある。埋込み接合方式の波形鋼板は、フランジを有していないためこのような問題は生じにくい。採用にあたっては、実寸法の波形鋼板を用いた確認試験を行い、めっき後の鋼板に異常な変形が生じていないこと、不めっき箇所がないこと、付着量が十分あること等を確認した。なお、曾宇川橋で使用した波形鋼板厚は、構造部材を溶融亜鉛めっき処理する場合の最小厚である9mmとしている<sup>(2)</sup>。



写真-2 波形鋼板形状図



写真-3 鋼板の曲げ加工状況



写真-4 下フランジ接合部



写真-5 一面せん断摩擦接合

### 3) 横桁構造

曾宇川橋の横桁は PC 部材としている。各支点部に支点横桁、支間中央部に中間横桁を設けている(写真-6)。横桁部に埋め込まれる波形鋼板には孔がけられており、その孔により形成されるコンクリートジベル、孔を貫通して配置される横締め PC 鋼材、鉄筋によって一体化される。



写真-6 横桁部の孔

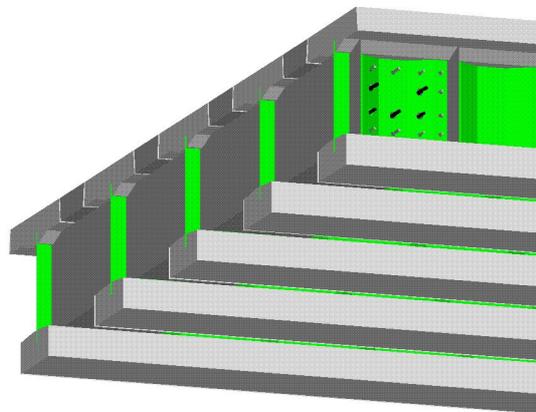


図-4 中間横桁部イメージ図

### 3. 主桁の製作

平成16年6月16日から7月20日の期間で、主桁10本(内1本は、載荷試験用の試験桁)を七尾工場で製作した。通常のプレテンション桁と比較して、コンクリートの配合(設計基準強度 50N/mm<sup>2</sup>、早強セメント)、蒸気養生(最高温度 50℃、トップ 5 時間、前置き・上昇・下降を含めて 15 時間)、およびPC鋼より線の緊張・導入作業等は変わらないので、それ以外の部分について記述する。

#### (1) 波形鋼板の組立

波形鋼板は(株)ハルテックで製作し、七尾工場であめつき高力ボルト(F8T)による接合をおこなった(鋼板1枚の長さは6870~9600mmで、それを3枚接合して23340mmとする)。あめつき高力ボルトはトルク計数値のばらつきが大きいので、ボルトの締付けはナット回転角法によりおこなった<sup>(2)</sup>。具体的な作業手順は、1次締付けをインパクトレンチにより締め付け、それが 200N・m 相当であることをトルクレンチで確認し、本締めは1次締め完了後のナットの回転角が 120° ± 15° となるようにスパナで締め付けた。組立時の通りだしと全長の微調整のために組立台を工場内に設置した。鋼板の取扱時は、あめつき処理を傷つけないよう細心の注意をはらった。



#### (2) 上フランジ型枠の漏れ止め対策

型枠は鋼製型枠とし、今回工事に新規に製作した。波形鋼板の波形状に対しては、それをはさみこむ構造の型枠となる。鋼板の波長 800mm に対して曲げ加工の製作寸法公差を累積最大で  $\pm 10\text{mm}$  とし、上フランジ型枠の付け根に波形鋼板との隙間を 20mm 設け、その隙間のコンクリート漏れ止め対策として、パッキン(30×30mm)を使用した。あらかじめ型枠側にパッキンの取付溝を設け、隙間 20mm の中でパッキンが 10mm つぶれることによりノロ漏れを防ぐことができた。パッキンの材質・硬さは予備試験により、発泡ウレタンの表面にゴム系の被覆を施したものを選定した。



### (3) 波形鋼板、鉄筋、PC鋼材組立

波形鋼板の吊り込みは、下フランジ鉄筋の組立とPC鋼材の緊張作業後、側枠の片側をセットしてから行った。波形鋼板の下には鉄筋用スペーサーと鉄筋加工したウマを組合せたものを 1m ピッチではさみ高さを決めた。波形鋼板側枠から仮にレバーブロックで固定しておき、もう片側の側枠建て込み後、側枠のリブにボルトで固定した木製の突っ張りにより横方向位置を決め固定した。



写真-11 波形鋼板組立状況



写真-12 上フランジ型枠と波形鋼板

### (4) コンクリート打設

コンクリートの打設は、下フランジ、上フランジの順に行った。下フランジ打設時はコンクリートバケットに斜めシュートを取り付け、桁の両側に人員を配置して一輪車を併用するなど、多くの人工を必要とした。コンクリートの締め固めは内部振動機により行い、打設時に鋼板が汚れないようあらかじめ鋼板露出面全面をビニールフィルムで養生した。ビニールフィルムは蒸気



写真-13 ビニールフィルム取付状況

養生で接着テープのリが鋼板に固着するおそれがあるため、フィルムをはがしながら下フランジ天端仕上げを行った。



写真-14 コンクリート打設状況



写真-15 下フランジ天端仕上げ状況

また、製品の取り出し・移動は、通常の吊り金具を埋め込まないため(埋め込み長が取れないため)、ワイヤーの大まわしによる玉掛けで行った。そのため底板型枠にはあらかじめ玉掛け位置に落としを設けた。

#### (5) 下フランジ防水工

製品取り出し後、下フランジコンクリートと鋼板の境界部に防水材料として弾性シーリング材を幅 20mm で塗布した。シーリング材塗布前の下地は清掃の後、鋼板側には鋼板用プライマー、コンクリート側にはコンクリート用プライマーを使用した。

#### (6) 主桁製作上の今後の課題

型枠の構造が特殊であるため、別の物件に型枠を転用するには大幅な改良を必要とする。

波形鋼板の接合作業はその取り扱いから桁製作のラインの並びで行う必要があり、場内に鋼板仮置き場も含めて大きなスペースを必要とする(今回工事では、第1工場 No.1 アバットで桁製作をおこない、No.2 と No.3 のアバットを鋼板接合作業と仮置きに使用した)。

下フランジのコンクリート打設は側枠リブの間からの作業となること、また、その打設天端に勾配が設けていることもあり、その打設作業に手間と時間を必要とする(通常の桁であれば天端仕上げは上床版のみであることを考えれば、倍以上の手間を必要とする)。

あらかじめ鉄筋をほぼ全て組立ててからラインに持ち込む通常の桁と異なり、ライン上での組立て作業等が多くなり、通常の桁製作における1日1サイクルの工程を確保できない(今回工事では、通常より多くの人員を配置し、1サイクルで1本の製作で臨んだが、打設は2日に1回のペースであった)。

以上の点を総合的に考えると、このタイプの主桁製作は、通常のプレテンション桁製作に比べ工種が多く、手間を掛ける必要がある。したがって、この手間をいかに合理化していくのが今後の課題である。



写真-16 下フランジ防水工

## 4. 現場施工

### (1) 施工上の課題

施工計画時に課題であった項目を以下に示す。

端支点部にコンクリートウェブがなく波形鋼板のみであるため、運搬、架設時の鋼板の座屈に対する補強  
端支点部は波形鋼板のみであり、通常の吊り上げ用金具の設置が困難であることから架設時の吊り方法  
横桁の貫通シーす及び鉄筋の挿入時の先端支持方法

横組コンクリートと波形鋼板との付着が通常のコンクリート桁に比べ小さいことへの対策

若材令時の舗装施工の振動による地覆のひび割れ防止

(2) 対応策

前述の課題に対して、以下の対応策を実施することとした。

の対策について

従来のPCT桁と違いコンクリートの横桁がなく、さらに支点部付近の鋼板はストレート形状であるため、運搬時の衝撃により鋼板が座屈を起こす可能性があることから、横桁鉄筋配置孔を利用した座屈防止対策としてアングルL-75×75を2組使用した補強を行う(写真-17)。

の対策について

上床版厚が180mmと薄く吊り金具は配置できないため、吊りワイヤーを大回しとし、吊りワイヤーによる角欠けを防止するため角当てを使用する。また、吊りワイヤーが架設途中で中央にずれないように床版に異形PC鋼棒を設置し、波形鋼板の背面からレバブロックで引っ張る処置を行う。さらに、ワイヤーセット箇所の上・下フランジの間に3寸角をセットし、コンクリートおよび波形鋼板に有害な応力を発生させない処置も行う(写真-18)。

の対策について

本橋に関しては、直下の道路を使用できたことから、鉄筋の先端支持は直接作業員が持つ程度で対応可能であった。

の対策について

波形鋼板と横組コンクリートの一体性を確実にするため、締固めには通常の棒状内部振動機の他に型枠の外周と鋼板に壁打振動機を当て入念な締固めを行う(写真-19)。

の対策について

従来のPCT桁に比べ橋体の剛性が小さく(実際に架設完了後に桁上を歩行したとき、桁のたわみが従来のPCT桁より大きいと感じられた)、地覆施工から舗装施工までの期間も短いため、舗装施工時の振動により地覆にひび割れの発生が懸念されることから、地覆に膨張コンクリートを使用する。

(3) 実施工

工場で製作された桁は、ポルトレラーに積み込まれ現場まで搬入し、橋台背面に据え付けられた200t吊り油圧式トラッククレーンにより、所定の位置に据え付けた。



写真-17 支点部の補強



写真-18 架設時の支点部補強



写真-19 横桁CON締固め状況



写真-20 支承施工状況



写真-21 主桁搬入状況



写真-22 主桁架設状況



写真-23 主桁架設完了状況



写真-24 吊り足場組立完了状況



写真-25 横桁鉄筋組立状況



写真-26 シース・PC鋼材組立状況

#### (4) 対策の結果

施工の結果、課題と施した対策の結果を以下に示す。

、の対策について

上・下フランジともにひび割れ等の異常は確認されなかった。

の対策について

作業する上では特に問題となる事象はなかったが、通し鉄筋組立時に朝顔のネットを一部撤去し開口部をつくる必要があった。

#### の対策について

目視の結果、コンクリートの乾燥収縮による肌隙が生じていないことを確認した。また、波形鋼板とコンクリートの継目からの漏水も認められなかった。

#### の対策について

舗装施工時の主桁のたわみおよび振動に対するひび割れ抑制の効果により、舗装施工完了時および実橋載荷試験以降のひび割れは発生しなかった。



写真-28 完成 (側面より)



写真-29 完成 (桁下より)

## 5. まとめ

波形鋼板ウェブPCT桁橋の構造特性、安全性に関しては、各種試験等により検証および妥当性の確認は完了したといえる。しかしながら、製作、施工面においては従来のプレテンション方式のPCT桁に比べて工種と手間の増加から工数が多くなるなど、今後、改善・解決すべき課題があることも事実である。

主桁製作面では、標準化されたプレテンション方式のPCT桁と競合することから、標準化によるコスト低減を図る必要がある(型枠の標準化)。さらに、型枠構造や施工手順の見直しによる工数低減、1サイクルの工程短縮も必要と考えられる。一方、現場施工においては、横組工の鉄筋組立、シーブ組立、型枠組立の作業性の改善が望まれる。特に、主桁製作時に支点横桁および中間横桁部のウェブをコンクリートで巻くことで、現場施工における課題の多くが改善される。しかしながら、一方で主桁製作の手間が増えること、運搬・架設重量増による制約が生じることなど、橋梁毎に十分検討する必要がある。

波形鋼板ウェブPCT桁は従来のPCT桁のウェブを波形鋼板に置き換えることにより、主桁本数を減らすことが可能となり、上部工コストの縮減や上部工死荷重反力の軽減など目的別に最適化することも可能であり、さらなる発展を期待できる工法である。今後、波形鋼板ウェブPCT桁橋は対応支間の拡大が期待されており、本稿の報告が今後の発展に貢献できれば幸いである。

## 謝辞

世界で初めての実績となる曾宇川橋の完成に至っては、石川県、独立行政法人土木研究所、(株)ハルテックをはじめとする様々な方々から多大なご支援を頂いた。これら関係各位に、心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 鈴木永之、紫桃光太郎、桜田道博、立神久雄：波形鋼板ウェブ橋におけるコンクリート床版接合部の横方向性状，コンクリート工学論文集第15巻第1号，2004.1
- 2) (社)日本橋梁建設協会，(社)日本溶融亜鉛鍍金協会：溶融亜鉛めっき橋ガイドブック，1998.2