

(30) エクストラードーズドPC橋 (保津橋) の施工

京都府 亀岡土木事務所 道路計画課
 (株) 総合技術コンサルタント大阪支社
 住友・川田・金下共同企業体
 住友・川田・金下共同企業体

塩見寛之
 牧田淳二
 中川敏彦
 正会員 ○ 鈴木正敏

1. はじめに

府道亀岡園部線は京都市の西方約 20km にある亀岡市と園部町を結ぶ主要地方道である。本路線上の保津橋は 6 径間連続 PC エクストラードーズド橋で、一級河川桂川を渡河する(写真-1)。施工上の特徴は、

- ① 先行ストランドを利用して足場なしで保護管と斜材を架設した。
- ② 中間横桁の後打ち施工でひび割れを防ぐために高流動膨張コンクリートを打設した。
- ③ せん断鋼棒のグラウトシステムに改良を加えて閉塞を解消し 100% 注入を達成した。
- ④ 鉄筋、型枠、PC のプレファブ化を行った、などである。

④については本シンポジウムで「ワーゲン施工における鉄筋プレファブ化技術の開発と施工」と題し論じられるので、本文はエクストラードーズド施工全般と品質管理を中心に報告する。

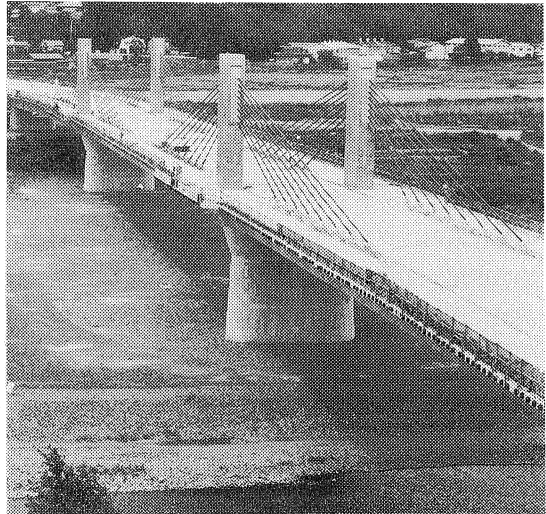


写真-1 全景

2. 橋梁概要

一般図を図-1に、橋梁諸元、主要数量を表-1, 2に示す。本橋は橋長 368m の 6 径間連続 PC エクストラードーズド橋で、桁高 2.8m、総幅員 15.3m~18.3m、床版支間 8.6m~9.6m、ウェブ幅 0.45m~1.27m の等桁高一室箱桁断面である。平面線形は A1~P2 間に半径 360m の曲線がある他直線であり、縦断線形は A1~P6 に向かい 0.96% の上り直線勾配である。主塔は高さ 10m の独立 2 本柱形式、8 段の斜材は主塔内で偏向して主桁の箱桁内に定着されている。主桁と橋脚との結合方式は P2~P4 でラーメン構造、端部の A1、P1、P5、P6 で分散ゴム支承による弾性支持構造であり、基礎は直接基礎構造である。

設計的な特徴として、エクストラードーズド道路橋で等桁高であること、我が国最大の床版支間 9.6m を持つこと、3 脚ラーメン構造であることが挙げられる。

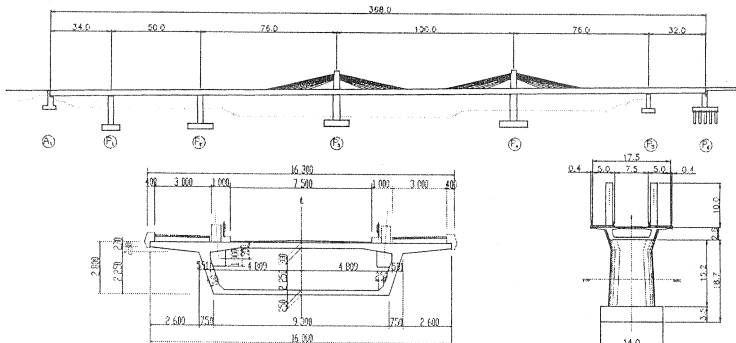


図-1 一般図

表-1 橋梁諸元

工 事 名 : 府道亀岡園部線橋梁新設改良工事
 桂川広域基幹河川改修工事(保津橋上部工)
 工 期 : 平成10年10月10日~平成13年3月10日
 位 置 : 京都府亀岡市保津町
 道路規格 : 第3種第2級 荷 重 : B活荷重
 形 式 : 6径間連続PCエクストラードーズド箱桁橋
 橋長支間 : 368.0m(34.0+50.0+76.0+100.0+76.0+32.0)
 有効幅員 : 車道7.5m 自歩道3.0m×2

表-2 主要数量

材 料	仕 様	数 量	用 途	
主 桁	コンクリート	$f_{ck}=40\text{N}/\text{mm}^2$	4,912 m ³	
	鉄筋	SD345	956 t	
PC鋼材	12φ12.7, 12φ15.2	122 t	縦横	
	7φ12.7 930/1180φ32	50 t 24 t	床版横桁 せん断	
料 材	PC鋼材	19φ15.2	42 t	
主 塔	コンクリート	$f_{ck}=40\text{N}/\text{mm}^2$	181 m ³	
	鉄筋	SD345	59 t	
橋 脚	PC鋼材	930/1180φ32	1 t	鉛直桁
	コンクリート	$f_{ck}=24.30\text{N}/\text{mm}^2$	2,365 m ³	P3, P4
	鉄筋	SD345	509 t	

3. 施工概要

施工順序を図-2に示す。陸上部のA1~P2+24.5mとP5-4.5m~P6は接地式支保工にて施工、河川内のP2+24.5m~P5-4.5mはワーゲン(架設作業車)5台を用いた張出し施工とした。

本作業所では朝礼時に体操、作業内容確認、安全指示に続いて品質確保のための具体策を作業員が発表し、品質に対する意識高揚を習慣付けた。

4. 斜材の施工

4-1 定着体とサドルの据付

斜材構成は19S15.2であり、主塔のサドルを介して両端を主桁で定着されている。主桁側の定着システムはウェッジを用いたディビダーク外ケーブルシステム、交換可能なMCタイプであり、内側はPEトランペット、

外側は端部にディアポロを設けた鋼管となっている。定着体の据え付け(図-3)は、①定着体前面と型枠の固定、②定着体の方向決め、③定着体後部と既設ブロックの固定の順に行った。据え付け時には、完成時に外管と内管が芯ずれて斜材が折れ曲がらないようにした。以下に詳細を示す。

①定着体前面と型枠の固定

主桁側の斜材基準点は美観を重視して、橋面上突起の中心に合わせた。その為に定着体の位置は全て桁内定着突起の中で横方向に変化する。これに対応するためワーゲンのメタル枠の一部を木製とし、定着体の方向を1本ずつキャンバーで調整した。

②定着体の方向決め

据え付け作業の基準軸線として、レーザー光線やトランシット、ピアノ線が多く用いられている。レーザーは発光体取付けにおける微調整が難しく、日中は照度が不足する。またトランシットは器械の据え付けが困難という問題があるが、両者とも精度は高い。一方、ピアノ線は取り扱いが容易であるが、サグや風の影響を受けやすい。本橋の場合、最長斜材でもL=43mと短い。φ0.7mmのピアノ線を0.3KNで緊張すればサグは24mmで、完成時の斜材のサグと同等となる。よって主桁定着体前面と主塔サドル孔の中心にピアノ線を通し、これを緊張して方向決めの基準軸とした。

③定着体後部と既設ブロックの固定

外鋼管の固定はまず既設ブロックに埋設した鉄筋で行った。コンクリート打設時に定着体が固定点まわりに回転するため、外鋼管出口部で基準線から10mm下げて固定した。

サドル据え付け(図-4)の管理基準は明確に規定されていないため、本橋では標高±5mm、傾斜0.1%

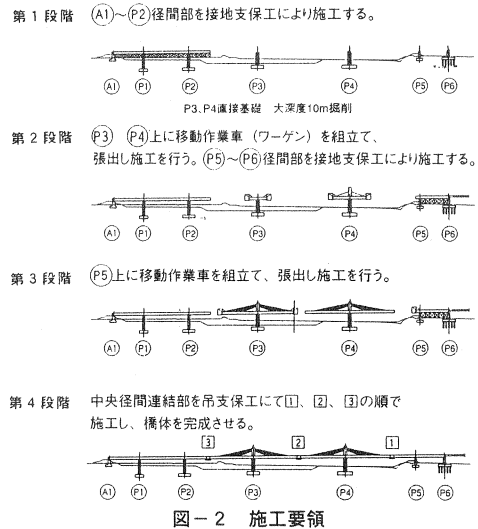


図-2 施工要領

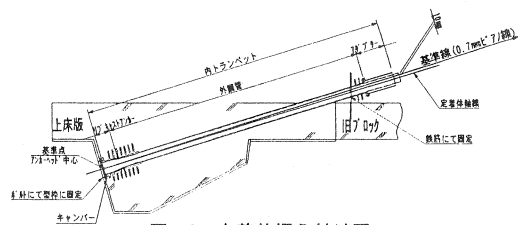


図-3 定着体据え付け図

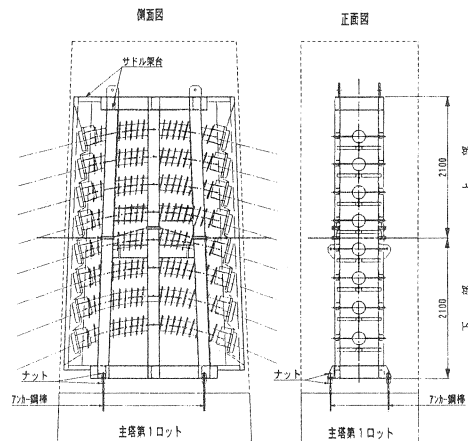


図-4 サドル据え付け図

で自主管理した。サドルの全高は、4.2mと高く公道上を輸送できない。また重量も 5.2 t あり架設機械が大規模となる。そこで高さ 2.1m の上部、下部に2分割とし製作・搬入・架設した。

サドルは下部、上部の順にクレーンで架設し、高さ約 5m の主塔1ロットに埋設したアンカー鋼棒 (φ 32 mm) 4本と支持ナット2個で固定した。また、標高・傾斜の精度を高めるために、支持ナットで上下方向に微調整を繰り返し所定の位置に据え付けた。架設完了後はアンカー鋼棒の支持ナットと下部プレートを溶接して補強した。

4-2 保護管と鋼より線の架設

斜材 (図-5) の保護管は外径 114 mm のリブ付き HDPE 管 (高密度ポリエチレン管) を採用した。架設足場は省略し、クレーンを用いて張出しブロック毎に架設した (図-6)。先行ストランド (φ 15.2 mm) を保護管内に通して保護管自身の架設、サグ取りを行い、その後に桁上にセットしたプッシングマシンにて鋼より線を1本ずつ挿入した。保護管の内側のリブは、PC鋼線の回りにセメントグラウトを行き渡らせるために付けている。それは挿入方向に直行して厚さ 3 mm、15 cm 間隔で設けられており、鋼より線の潜り込み防止と摩擦低減に有効であった。架設手順を以下に示す。

①保護管の接続

保護管は、高熱板を用いて接合面を溶融するパット溶着器を使用した。接続はリブの部分の厚さを避けて管厚の等しい部分で行い、応力集中を避けた。

②保護管の架設

主塔側では、保護管に鋼製のつかみ治具を取り付けてクレーンで主塔足場内に引き込み、主塔のアンカーからレバーブロックで仮固定した。主桁側も主塔側同様に仮固定した。保護管が長いものは、既設の斜材からロープ (φ 16 mm) で吊り上げてサグを取った。

③先行ストランドの挿入、緊張

仮固定した保護管の中に先行ストランドを通した。主塔サドル側は一段上の斜材孔 (最上段ではガイドパイプ設置) に挿入し、主桁側は定着体の上側に予め埋設したガイドパイプ (φ 23 mm のガス管) に挿入した。先行ストランドはサドル内を貫通させ主桁側で定着した。シングルストランドジャッキで約 20 kN / 本の緊張を行い、鋼より線を挿入しやすいように保護管のサグと先端角度を微調整した。

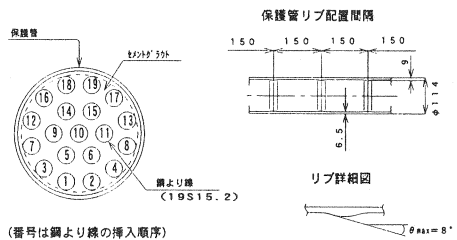


図-5 斜材構成図

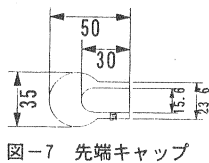


図-7 先端キャップ

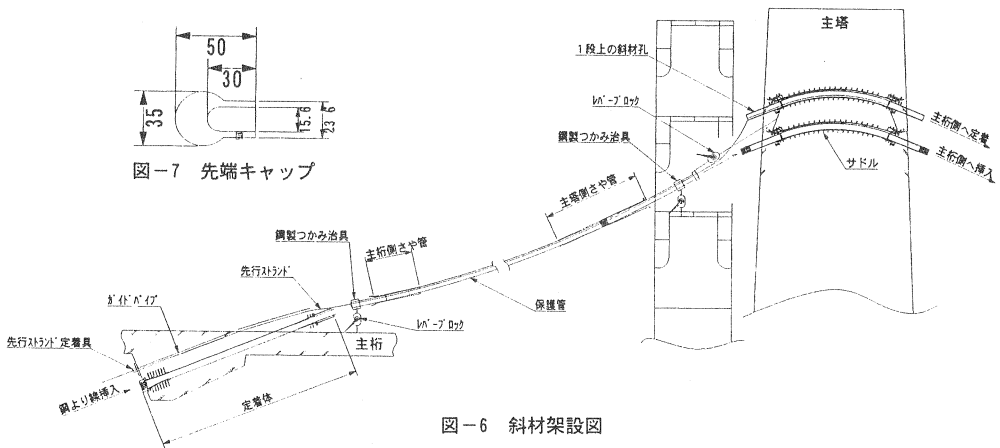


図-6 斜材架設図

④鋼より線の挿入

鋼より線は、挿入時の潜り込みによる“よれ”を避けるために先端キャップ(図-7)を使用した。さらに、鋼より線が常に保護管の出入口部で下側に接している状態を保つように、保護管両端の高さに補正を加えながら作業を行った。

⑤先行ストランドの解放、撤去

先行ストランドは、挿入した 19 本の鋼より線全てにウェッジを取り付けた後に解放した。鋼より線の自重が増加しているため解放時の緊張力は増しているが、その力は一番長い斜材でも 60KN/本であった。

今回、鋼より線挿入の作業効率を上げるために、**A** アンカーディスクを両方取り付けた状態、**B** 出口側だけアンカーディスクを離した状態、**C** アンカーディスクを両方離した状態(写真-2)の3方法で施工試験した。

アンカーディスクを約 30 cm 離して作業することで、①迎え棒(図-9)の使用がなくなり、②先端キャップの抜き差し回数が減り、③交差の有無が目視できるために“よれ”のないことが確認できる。結果 **A** **B** **C** 方法の挿入時間の比率は、2:1.5:1 となり、**C** 案を採用した。

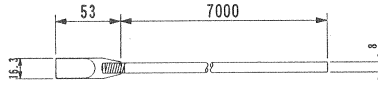


図-9 迎え棒

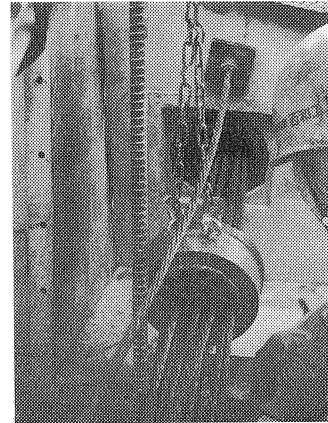


写真-2 アンカーディスク

4-3 緊張管理

斜材緊張では、アンバランス力による面外方向への桁のねじれとサドルでのすべりを防ぐため、主桁側に設置した4台の大型ジャッキで一括緊張した。斜材の活荷重応力振幅は 33N/mm^2 と小さく、引張許容値は他のエクストラード橋同様に 0.6Pu (約 3000KN/本) で設計されている。

本橋の斜材は自由長部、主桁内とも直線配置であり、かつ定着体内部が高密度ポリエチレン管の2重構造であるため摩擦ロスが小さい。そのため緊張力(ジャッキのポンプ圧)を直接管理する方法を採用した。ただし伸び量も測定し、サドル部の摩擦係数およびPC鋼より線のヤング係数のばらつきなど含めた伸びの誤差が最大5%と小さいことも確認している。さらに加速度計とポータブル周波数解析器を用いて斜材の振動計測も行った。計測目的は経時変化計測による設計の妥当性確認と供用後の維持管理の2点である。

経時変化を計測するには、主桁コンクリートの中でどこが斜材振動の固定端になるかを予め明確にして、弦長をキャリブレーションしておかねばならない。このためにまず緊張作業中の斜材8段の卓越振動数を計測し、振動方程式から弦長を求めた。結果、各斜材の弦長は考え得る最大長さ(主桁アンカーディスクからサドル出口部までの距離)より1~4%短くなった。これを用いて張力の経時変化を計測したところ、施工中の張力はほぼ設計通りの推移を示し、斜材グラウト直前の張力は-3%~+8%となった。

そして斜材グラウト硬化直後も振動を計測した。グラウトの自重増加と曲げ剛性の影響を考慮し、グラウト自重の影響以外は張力変化が無いと仮定して弦長を逆算したところ、弦長が1割程度短くなるという傾向が得られた。この結果を新たな弦長とすることで、供用後も張力を容易に測定して設計値と比較することが可能である。

4-4 グラウト

斜材は交換可能なように桁内で2重管構造となっているため、グラウトは内側の保護管内部のみである。保護管内壁に設けられたリブによって斜材のかぶり確保され外周の充填性が高められている。

高低差10mのグラウトを桁内定着体から橋面上1.5mの高さまでの1次グラウト、サドル出口部までの2次グラウトの2段階に分けてグラウトすることで、注入圧を軽減した(写真-3、図-9)。

混和材料はノンブリーディング低粘性型とした。その理由は、①素線間の充填性を高めるには低粘性型の方が適する、②リブ勾配が斜材勾配よりゆるくエアは溜まらない、以上2点である。注入速度は毎分8リットル程度に抑えた。

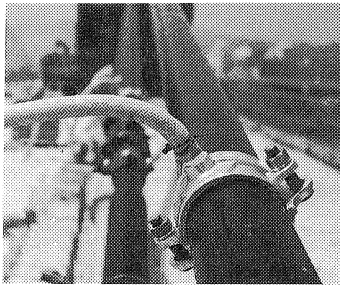


写真-3 2次グラウトの注入

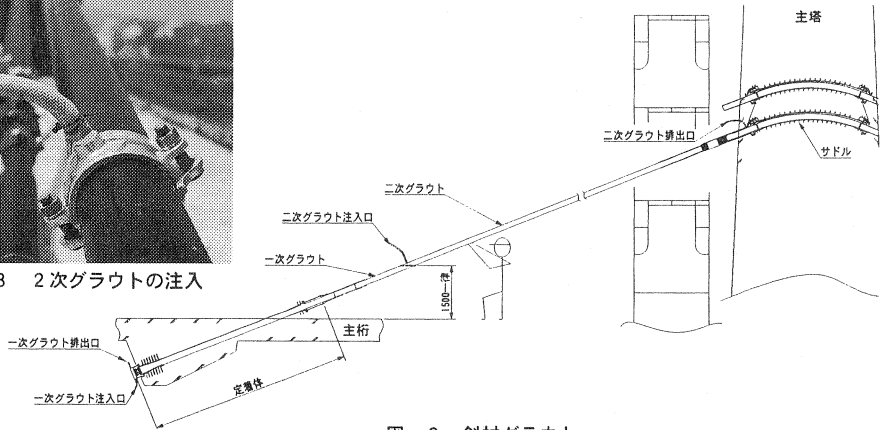


図-9 斜材グラウト

5. 上げ越し管理

張出し施工中は、主桁橋面の各ブロック先端に埋め込んだピンの高さを各施工段階毎に測り、主桁中心線上の高さと直角方向のたわみを管理した。温度の影響を最小にするため測量は午前8時定時に行った。

上げ越し計算では、ワーゲン（架設作業車）の弾性変形 15 mmと支間長 1/3000 相当の美観上の上げ越しを考慮した。結果、連結後の主桁高のばらつきを規格値±20 mm以内に収めることができた。

横方向のたわみは、主桁の上げ越し管理は道路中心の高さで行うため、中間床版中央の高さを桁の高さとして無理なく扱えるように横方向の出来形精度を高める必要がある。本橋の主桁は中間床版 9.6m、全幅 16mの広幅員一室箱桁断面であため、既設ブロックの中間床版は次ブロックの打設コンクリート重量によってたわみ易くその影響を無視できない。計算たわみ 3 mmに対して 3~5 mmの実測たわみが得られたため、中間床版中央で 5 mm上げ越して妻枠をセットした。

6. 高流動膨張コンクリートの施工

張出し施工区間の中間横桁は、鋼製型枠の組替えに伴う工程ロスを避けるため後打ち施工した（図-10）。本橋ではこの後打ちコンクリートに以下の基本方針で検討を加えた。

- ① 後打ち部は先行打設された硬化部に収縮を拘束されるため、ひび割れが発生しやすい。この収縮をキャンセルさせるため、後打ち部全てを膨張コンクリートとする。
- ② その中でも特に弱点となりやすい逆打ち部（天井部分）は、ブリーディング水やレイタンスを溜めないように高流動コンクリートとする。
- ③ 打設充填、レイタンス処理などの施工性を確保し、かつ高流動コンクリートの数量を減らす。

検討の結果、横桁を天井から 30 cm残して膨張コンクリートで一次打設し、残りをブリーディングの無い高流動膨張コンクリートで二次打設するものとした。上床版にはφ200の打設孔4つ、φ70のバイブレータ孔を設けておいた。一次の膨張コンクリートは4つの

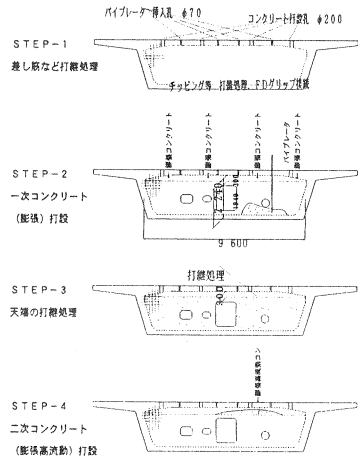


図-10 中間横桁施工順序

打設孔からポンプ打設して、パイプレータで締め固め、天端を打ち継ぎ処理した。二次の高流動膨張コンクリートは、1ヶ所の打設孔から打設するとパイプレータ無しで全長に行き渡った。

コンクリート強度は一次で 52N/mm²、二次で 61N/mm² 得られた。

元設計（主桁）、膨張コンクリート（横桁一次）、高流動膨張コンクリート（横桁二次）の配合を表-3に示す。

表-3 配合示方

セメントの種別	呼び強度 (N/mm ²)	スラブ [スラングフロー] (cm)	空気量 (%)	混和剤 (C+E) × %	単位量 (kg/m ³)					水結合材比 (%)	
					単位水量 W	単位結合材 B					
						セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G		
主桁コンクリート	早強	40	8	4.5	0.20 ※1	172	435	0	689	1015	39.5%
横桁一次打設	早強	40	8	4.5	0.20 ※1	172	391	44 ※3	689	1015	39.5%
横桁二次打設	早強	40	[60]	3	1.50 ※2	175	430	43 ※3	887	807	37.0%

※1 AE減水剤 ハリックSA ※2 高性能AE減水剤ハリックFP300S ※3 イクスパン

7. せん断鋼棒のグラウト

鉛直締めP C鋼材はグラウト不良を理由に、プレグラウト化されたりそれ自体なくされたりしている。せん断鋼棒の注入不良の主な原因は下側の注入ホースの座屈による閉塞や接続後の抜け落ちである。本橋ではせん断鋼棒グラウトホースの組立方法（図-11）を改善し100%グラウト注入を実施した。

①ホース内部にピアノ線を挿入

ホースの座屈を防ぐためにホース曲げ部にφ2 mmのピアノ線を挿入したところ、無理に曲げてもホースは座屈せず内空断面を確保出来た。

②ナイロン製の締め付け治具

ホースの抜け落ちを防ぐために、グラウトマニュアルあるような固定治具で堅固に締め付けておかねばならない。ねじ式の治具（金属製）は、予めホースを通して接続、ねじを回さねばならない等の理由で手間がかかるが、結束線より施工のばらつきが小さく信頼性が高い。今回は新たに、同等の性能を持つナイロン製の治具を採用した。締め付け作業はペンチで行うので施工性が向上した。

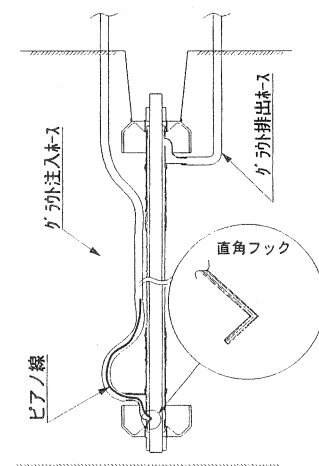


図-11 せん断鋼棒組立図

8. あとがき

近年コンクリート構造物の長寿命化が求められ、施工時のかぶりや強度確保、ひび割れ防止といった基本的な施工管理の重要性が叫ばれている。そして品質を確保、向上するための技術的な取り組みは、どの現場でも行われ蓄積されている。この報告はその取り組みの一例を紹介した。

本橋架設工事は平成 12 年 5 月に最終コンクリートを打設して桁本体を完了した。この報告が他の P C 橋施工の一助となれば幸いである。

参考文献

- ・ 渡利：P C 橋の合理的な設計と施工の省力化の事例，月間建設，建設省，1999 年 7 月
- ・ 林、岸上、牧田、齋藤：保津橋の計画と設計，第 9 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 年 10 月
- ・ 張出し施工による P C 桁橋の上げ越し計算マニュアル ディビダーク協会，1991 年 6 月