

高強度コンクリートを用いた長大エクストラードード橋の設計・施工

— 辻堂バイパス ゆめかけおおはし 夢翔大橋 —

大塚 俊次*1・栢木 宏彰*2・松尾 保明*3・秋山 博*4

夢翔大橋は、PC 2 径間連続箱桁橋および PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋からなる橋梁群である。PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋区間 (P 2 ~ A 2) では、主桁および主塔に設計基準強度 60 N/mm² の高強度コンクリート、橋脚躯体に設計基準強度 40 N/mm² の高強度コンクリート、橋脚・主塔の主鉄筋に高強度鉄筋 SD 490、鋼殻を用いた主塔部斜材定着構造、Y 字形主塔など特色ある技術を採用している。以下では、夢翔大橋のうち P 2 ~ A 2 間の PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋の設計・施工に関して報告する。

キーワード：エクストラードード PC 橋、高強度コンクリート、高強度鉄筋、Y 字形主塔

1. はじめに

一般国道 168 号辻堂バイパスは、奈良県五條市大塔町宇井～同市大塔町小代に建設中の延長 4.1 km の紀伊半島振興の核となる南北の幹線道路である。本事業は、幅員狭小、線形不良、異常気象時の通行規制の解消、災害対策、五條吉野地域の活性化および観光・林業の振興支援を目的とするものであり、夢翔大橋はこの国道 168 号線辻堂バイパス整備事業の一環として建設された橋梁である。

本橋は、奈良県五條市大塔町辻堂地内に建設中の一級河川熊野川を渡河する PC 2 径間連続箱桁橋および PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋からなる橋梁群である (写真 - 1、図 - 1)。このうち、PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋区間 (P 2 ~ A 2) では、主桁および主塔に設計基準強度 60 N/mm² の高強度コンクリート、橋脚躯体に設計基準強度 40 N/mm² の高強度コンクリート、橋脚・主塔の主鉄筋に高強度鉄筋 SD 490、鋼殻を用い

た主塔部斜材定着構造など特色ある技術を採用している。以下では、夢翔大橋のうち P 2 ~ A 2 間の PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋の設計・施工に関して報告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

本橋 (エクストラードード橋部) の諸元を表 - 1 に示す。

表 - 1 橋梁諸元および使用材料

道路規格	第 3 種 2 級 B 規格 設計速度 V = 60 km/h
構造形式	PC3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋
橋 長	290.0 m
支 間	42.250 m + 127.000 m + 118.900 m
有効幅員	10.510 m ~ 13.552 m
平面線形	R = 200 m ~ A = 110 m, L = 58 m ~ 5 000 m
縦断勾配	2.470 % ~ 5.000 %
横断勾配	1.500 % ~ 6.000 %
主桁断面	1 室箱桁断面
コンクリート	60 N/mm ² (主桁・主塔), 40 N/mm ² (橋脚)
斜材ケーブル	SWPR7B 27S15.2
内ケーブル	SWPR7B 12S12.7
外ケーブル	SWPR7B 19S15.2
鉄 筋	SD 490 (橋脚・主塔の主鉄筋) SD 345 (その他の部材)
地盤種別	I 種地盤

本橋のうち P 2 ~ A 2 区間は PC 3 径間連続エクストラードードラメン箱桁橋であり、同形式としては最大張出し長が 104.5 m とわが国有数の規模を誇る橋梁である (図 - 2)。

2.2 本工事の特徴

本橋は熊野川沿岸の急峻かつ狭隘な地形条件下にて渡河

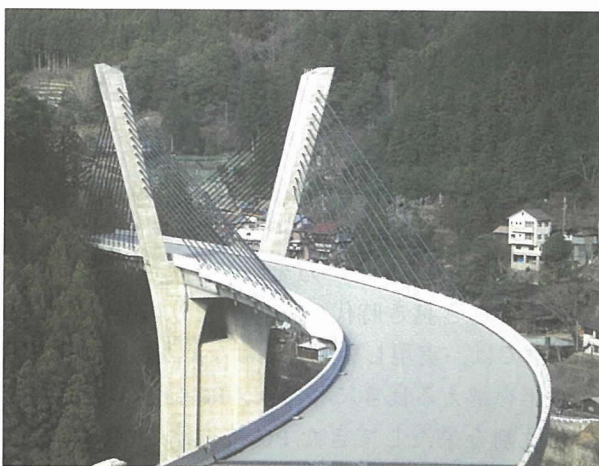


写真 - 1 夢翔大橋全景

*1 Shunji OTSUKA : 奈良県五條土木事務所工務二課 係長

*2 Hiroaki KAYANOKI : 奈良県五條土木事務所工務二課 主査

*3 Yasuaki MATSUO : (株) 銭高組・昭和コンクリート工業 (株) 特定建設工事共同企業体 副所長・監理技術者

*4 Hiroshi AKIYAMA : (株) 銭高組 土木事業本部営業・生産本部技術部設計課 副課長

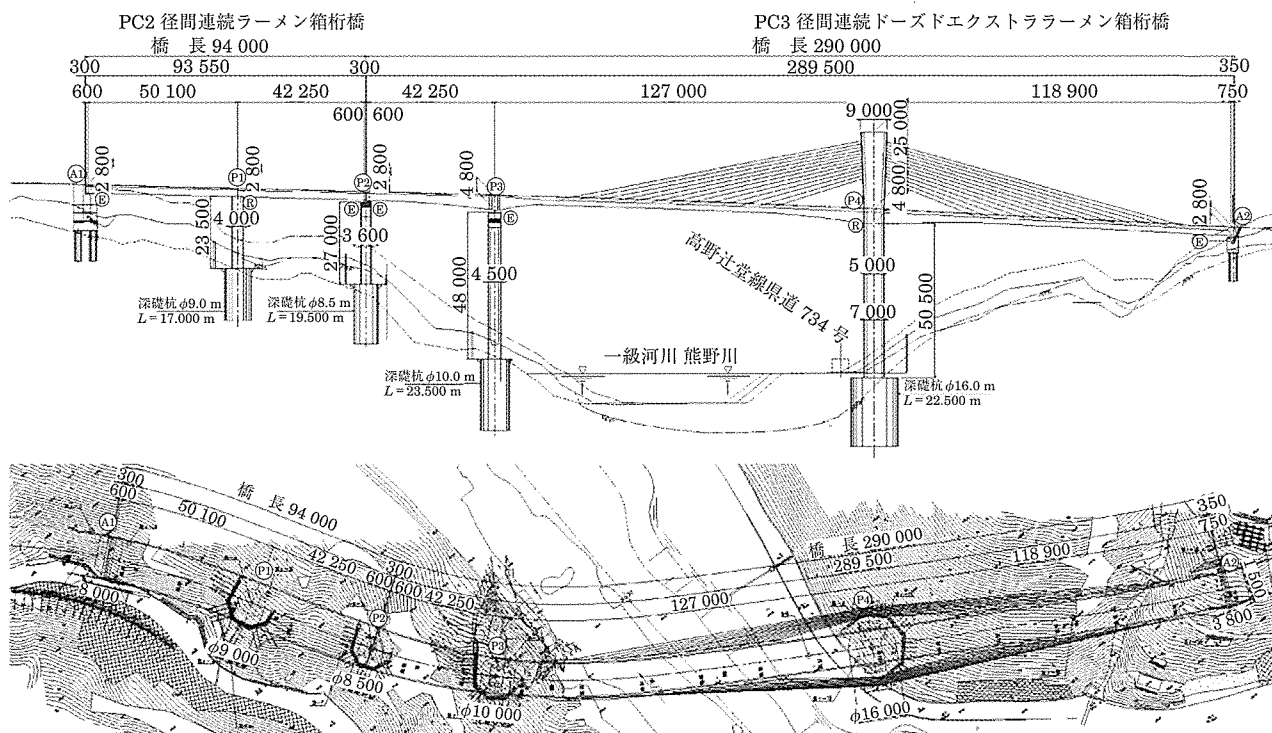


図-1 全体一般図

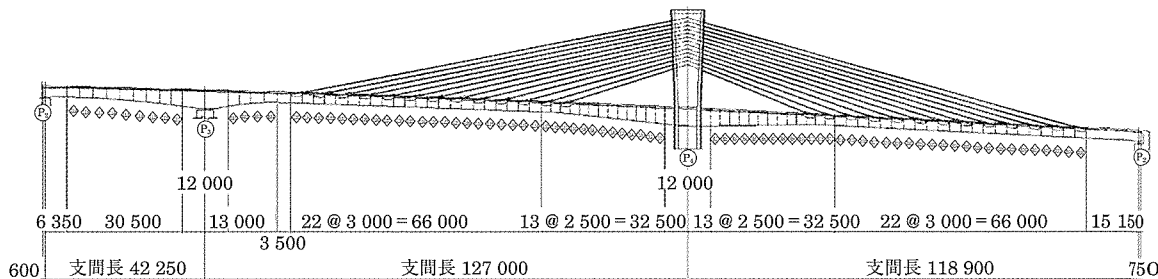


図-2 主桁ブロック割り

する必要から、P3橋脚付近からP1橋脚近傍にかけてクロソイド曲線により熊野川左岸川の道路にすりつけた平面線形を有した曲線橋となっていることも特徴の一つである。

架設地点における地質は、紀伊半島を構成する基盤の岩石の帯状区分としては日高川帯に属しており、下部工設置箇所の地盤の岩種区分としては左岸側(A1～P3)が砂岩、右岸側が緑色岩および頁岩により構成されている。基礎形式は急峻な斜面地形にあることから、いずれも深礎基礎を採用しており、P4橋脚では直径 $\phi=16$ m、深さ $L=22.5$ mの大口径深礎となっている。

橋脚躯体には設計基準強度 40 N/mm²、主塔および主桁には設計基準強度 60 N/mm²の高強度コンクリートを用いるほか、橋脚躯体および主塔の主鉄筋には高強度鉄筋SD490を採用して、断面をコンパクトにすることによりコストダウンと高耐久化を図っている。

箱桁断面は、P2橋脚から中央径間のP3橋脚に近い区間では一般的な桁橋と同様なPC箱桁断面であるが、斜材が配置され吊構造をなしている区間では斜材定着のため、一般的な桁橋の箱桁断面と比べて張出し床版を長くできない

ため、最大 8.4 mの設計床版支間をもつ広幅員1室箱桁断面としている(図-3)。本橋の主塔はY字形に開いており、斜材が平面的に角度をもって定着されるため、斜材定着部では高欄外側に 1.4 m幅の斜材の定着空間を設けている。

主塔形式は独立二本柱形式を採用しており、鉛直柱とした場合にはクロソイド曲線を有する平面線形に応じて配置する斜材に対する道路の建築限界を確保できなくなることから、正面から見て鉛直：水平 $=1:0.25$ の比率でY字形に開いた形状を採用した(図-4)。

このため、斜材がほとんどの区間で平面的に橋面より外側に配置されることとなり、グラウト注入を要するタイプの斜材システムの場合には斜材を保持する支保工の設置が困難なため、斜材ケーブルには27S15.2のノングラウトタイプの工場製3重被覆ケーブルを用いた斜材システム(SEE/FUT-Hシステム)を採用して施工性および耐久性を確保している(図-5)。

主桁側での斜材の定着は、桁内定着に比べて下床版幅が狭く箱桁自重を軽減できる張出し床版下面での突起定着、主塔側では、主塔を挟んだ両側で異なる斜材配置角度への

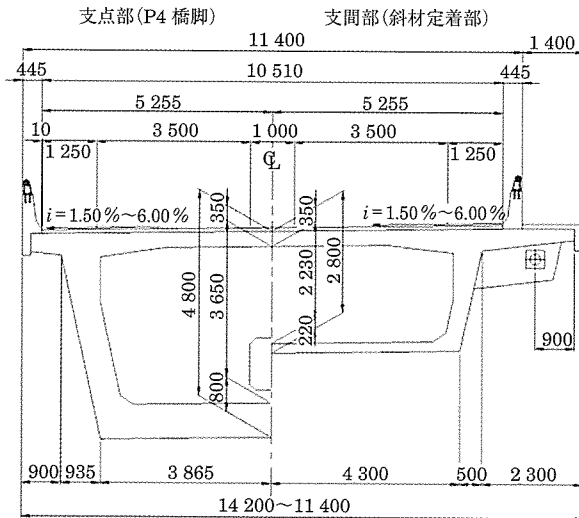


図 - 3 主桁断面図

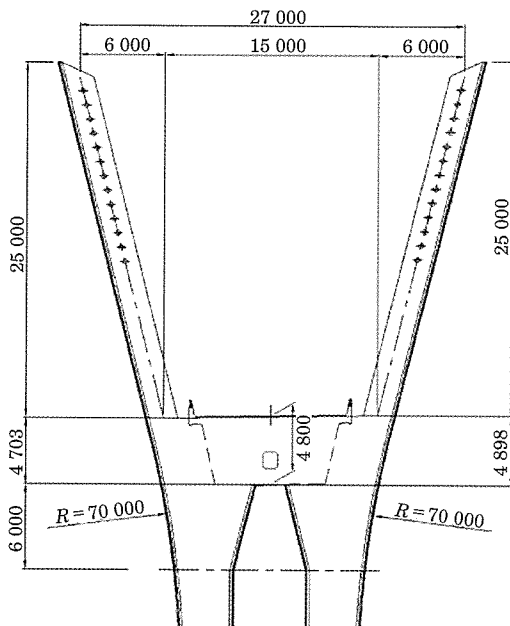


図 - 4 主塔正面図

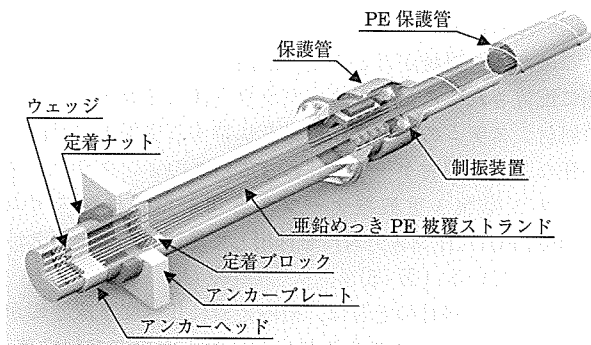


図 - 5 斜材定着システム

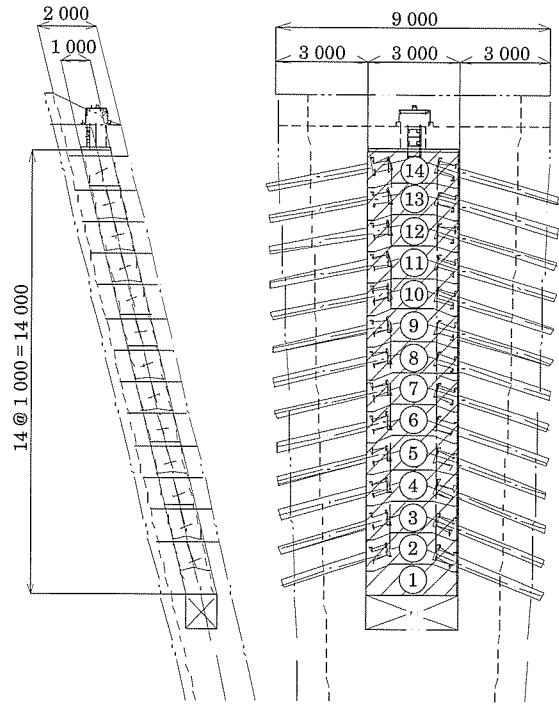


図 - 6 主塔斜材定着部透視図

対応が容易なことに加えて主塔の断面寸法をコンパクトにできる鋼殻を用いた分離定着とした（図 - 6）。

3. 設 計

3.1 高強度コンクリートを用いた部材のスリム化

本橋は急峻な地形条件の熊野川左岸のP2、P3橋脚およびA2橋台の構造寸法をコンパクトにすることにより地形の改変を最小限とすることに加え、高野辻堂線県道734号との干渉を避けるためP4橋脚の下部工寸法を可能なかぎり抑制する必要がある。これらの厳しい地形的制約条件のため、橋脚には高強度コンクリート（設計基準強度40 N/mm²）および高強度鉄筋SD490を用いた高強度鉄筋コンクリート部材を採用するほか、上部工重量を軽量化するために主塔を含めた上部工コンクリートには設計基準強度60 N/mm²の高強度コンクリートを用いて下部工寸法を縮小した。

また、上下部工が剛結構造であるP4橋脚を除いた各橋脚上には高減衰ゴムを用いた免震支承を配置し、耐震設計においてその減衰効果を考慮して下部工寸法の縮小を図った。

3.2 構造特性

前述のとおり、本橋は設計基準強度60 N/mm²を用いたわが国屈指の規模を誇るエクストラード橋である。高強度コンクリートを用いて桁高を低くしたスレンダーな構造である本橋と従来の主要長大エクストラード橋との構造特性を比較すると表-2のようになる。

桁高支間比に関しては、一般的なエクストラード橋の桁高は換算支間長のおおむね1/60程度とされているの比べると、本橋では約1/80とスレンダーな構造になってお

表 - 2 主要長大エクストラード橋の主要構造特性値^{1~3)}

	主塔高	換算支間長	柱頭部桁高	標準桁高	主塔 / 支間比	桁高 / 支間比	斜材応力 振幅	鉛直荷重 分担率	斜材安全率	主桁コンク リート
	m	m	m	m	-	-	N/mm ²	-	-	N/mm ²
夢翔大橋 ^{※1}	25.0	221.3	4.8	2.8	1 : 8.9	1 : 79.0	41	19.7 %	1.67	60
徳之山八徳橋	22.5	220.0	6.5	3.5	1 : 9.8	1 : 62.9	55	25.7 %	1.67	50
三戸望郷大橋 ^{※2}	25.0	200.0	6.5	3.5	1 : 8.0	1 : 57.1	47	25.3 %	1.67	40
衝原橋	16.0	180.0	5.5	3.0	1 : 11.3	1 : 60.0	36	22.0 %	1.67	40
翔鷹大橋 ^{※3}	22.1	180.0	5.6	3.3	1 : 8.1	1 : 54.5	105	61.0 %	2.50	40

※1 夢翔大橋の換算支間長は主塔両側の支間の平均長の1.8倍とした。※2 三戸望郷大橋の斜材応力振幅は群集荷重分を含む値である。
 ※3 翔鷹大橋のみ連続形式であり、その他の橋梁はラーメン形式である。

り、高強度コンクリートを用いた効果が発揮されている。

一方、斜材の応力振幅や斜材分担率に関して、桁高が低く主桁剛性が小さいにもかかわらず、高レベルになっていないのは表 - 2 の橋梁群のうち、本橋以外では主塔における斜材配置としてサドル構造を採用しており、斜材配置がファン形となるのに対して、本橋では鋼殻を用いた分離定着構造を採用しており、斜材角度がサドル構造の場合よりも小さく、他橋よりもハープ形に近い配置形状となっていることに起因するものと考えられる。

活荷重による主桁の計算たわみ量はP4-A2間で最大71.4mm(対支間比: 1/1665)である。参考までに、コンクリ

ート系の橋梁は道路橋示方書Ⅲ等では走行性等の使用性能に対する活荷重によるたわみの制限値は設けられていないものの、鋼斜張橋のたわみの制限値(= $L/400$ (L : 支間長))と比較すると十分抑制されたレベルに収まっている。

4. 施 工

4.1 施工順序

上部工の施工は、移動作業車を用いた張出し施工により図 - 7 に示す施工順序で実施した。

P3 橋脚からの張出し施工に関しては、P2 側 9 ブロック、P4 側 4 ブロックの非対称なブロック割りである。当初計

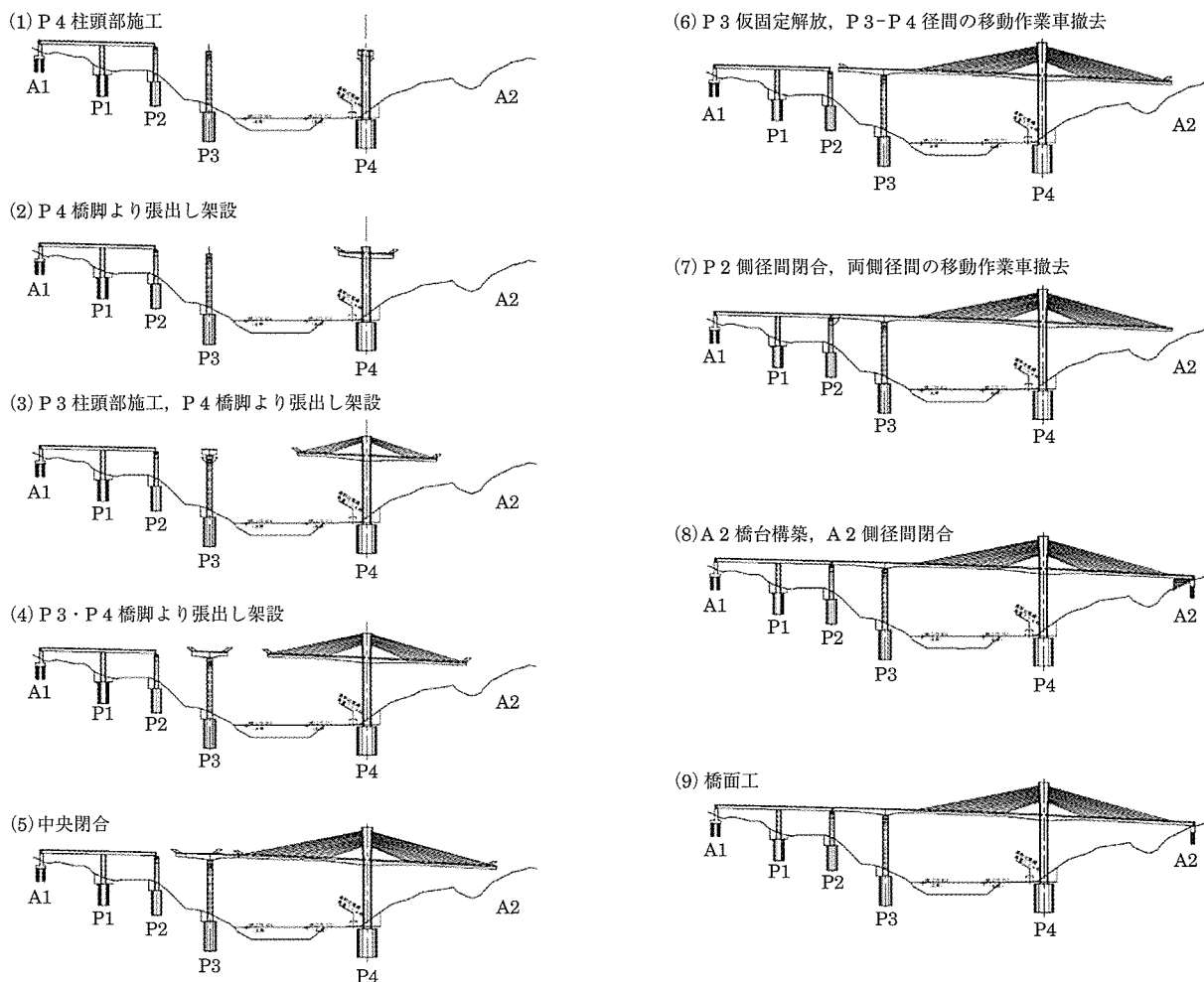


図 - 7 施工順序図

画は、第4ブロックまで対称に張出し、中央閉合を行った後にP2側の残る5ブロック分を施工して側径間を吊支保工により閉合する施工法であり、中央閉合後のあと工程に期間を要するものであった。そこで、本工事では工期短縮のためP3柱頭部仮固定工の補強を行い、P2側は6ブロックまで、P4側は4ブロックまで非対称に張出し架設をした状態でP3-P4間の中央閉合を行った後、残るP2側の第9ブロックまでを施工することとし、約3週間の工期短縮を行った(写真-2)。

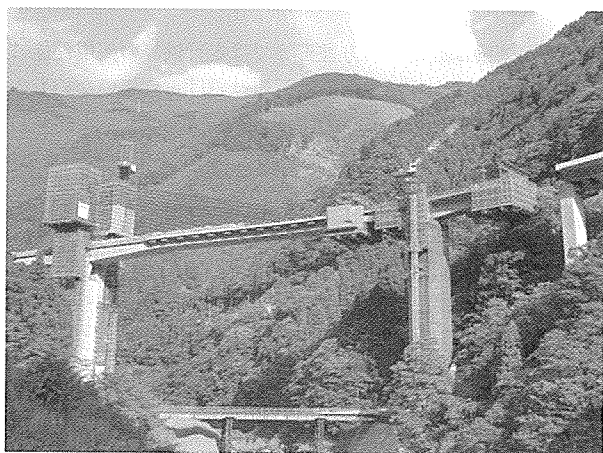


写真-2 張出し架設状況

4.2 高強度コンクリート

主塔および主桁に採用した設計基準強度 60 N/mm² の高強度コンクリートでは粘性が高くなるため、充てん性の向上を目的として自己充てん型コンクリートを採用した。スランプフローの設定では、本橋の主桁および主塔の構造条件が自己充てん性ランク 1⁴⁾ に該当することからスランプフローの設定範囲は一般に 600 ~ 700 mm となる。本工事では粒形の良い熊野川産の川砂利が入手可能であったため、同一スランプフローでも砕石を用いた場合に比べて充てん性が向上することおよび過度の流動性は縦横断ともに急勾配となる区間を有する本橋では、とくに床版の仕上げにおける施工性を損なうことからスランプフローを 600 mm に設定し、内部振動機を併用してコンクリート打設を行うこととした。

練混ぜ試験では実機ミキサを用いて試験練りを行い、各材料の1バッチあたりの重量を確実に計量できること、ミキサの練混ぜ時間が所要の製造速度を満足できること、スランプフロー(管理基準: 600 mm ± 50 mm) および 500 mm フロー到達時間(管理基準: 5 ~ 20 秒)による材料分離抵抗性を確認した。

スランプフローロス試験については、60分までは練上がり時とほぼ同じスランプフロー値であり、材料分離もみられないことから、練混ぜ終了から60分程度の間は性状に変化はなく良好な状態で打設できると判断した。60分を過ぎるとフローは若干減少する傾向はみられたものの、材料分離はみられず、練混ぜから60~90分の間においても状態は良好であることも確認した。

なお、プラントから現場までの運搬時間は20分程度であり、練混ぜから打込み完了まで60分以内の打設計画とした。

また、主桁コンクリート打設時には圧送負荷が高くなるため、P4橋脚基部に鉛直圧送用のポンプを設置し、柱頭部に水平圧送用の中継ポンプを設置して圧送を行った結果、トラブルも無く、配管の吐出口における材料分離やワーカビリティ低下等の品質低下は見られなかった。

4.3 主桁の施工

張出し架設部の箱桁断面コンクリートの施工では、本配合では流動性が高く、下床版に上面型枠を設置しない一般的な箱桁断面の打設方法では1回打ちが困難なため、下床版上面の全面にかぶせ型枠を設置してコンクリートの噴上がり防止対策を実施した(写真-3)。下床版型枠は、コンクリート打設がウェブ上端まで進行した段階で取り外して仕上げを行い、かぶせ型枠下面の気泡あばたの発生を防止した。

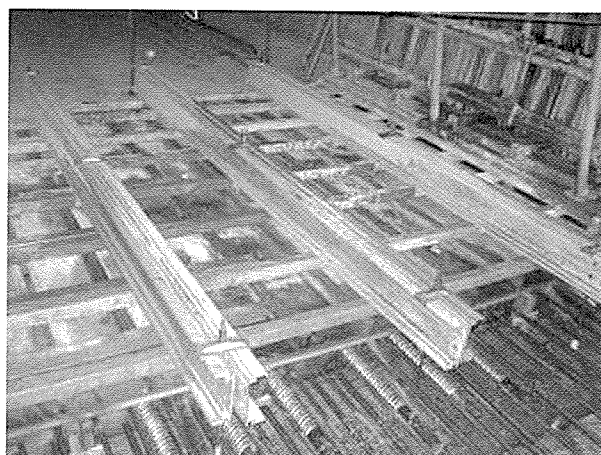


写真-3 下床版かぶせ型枠

4.4 主塔の施工

主塔は、斜めに立ち上がる形状であるため、ブラケットを設置して階段状に支保工を設置して施工を行った(図-8)。

脚頭部および柱頭部の築造では、脚頭部は4リフト、柱頭部は2リフトに分けてコンクリート打設を行った。

主塔は鋼殻下までは3回打ちとし、鋼殻から上部(斜材部)については主塔側定着具の鋼管セットに施工上の余裕を与えるために斜材配置間隔と等しく1.0mごとにリフト分割を行って施工を行った(写真-4)。

本橋はY字形から主桁に向けて平面的に角度をもって配置されていることから、主塔は斜材緊張にともない橋軸直角方向に見て内側(構造中心側)に水平分力を受けるため、橋軸直角方向にも変形が生じる。その推定変形量は最大で約20mmであり、主塔構築においてこれを考慮して施工を行った。

4.5 斜材の施工

本橋は一部に急曲線を有する曲線橋であり、Y字形に開いた主塔から配置される斜材は同一段であっても4方向す

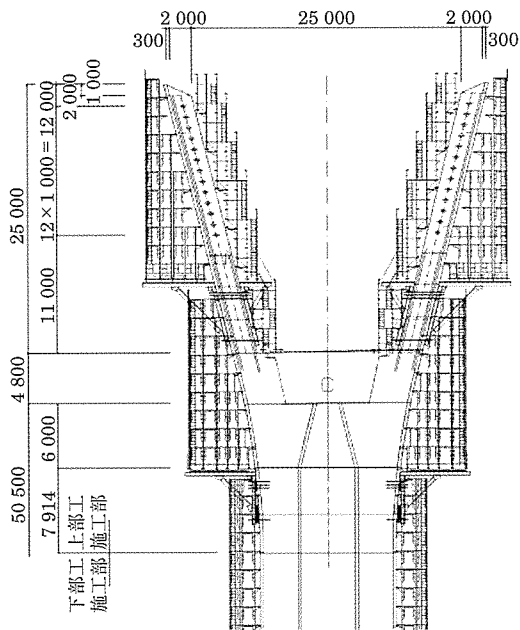


図 - 8 脚頭部・主塔部支保工

斜材の架設は、橋面上においてストランドを1本だけ挿入した保護管をタワークレーンおよび補助クレーンを用いて仮架設して緊張することでサグを取った後、残りのストランドを挿入した（写真-5）。

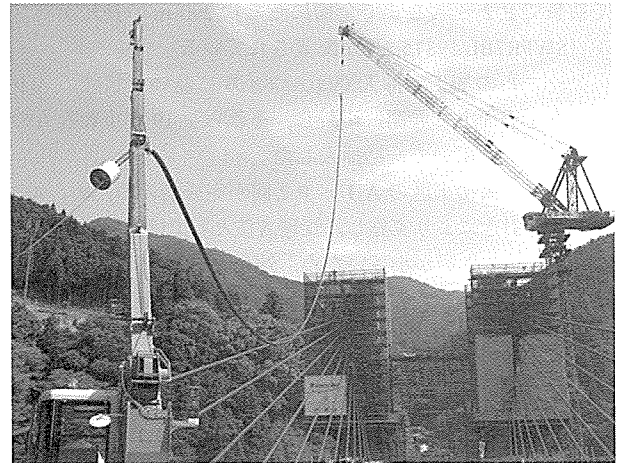


写真 - 5 斜材架設状況

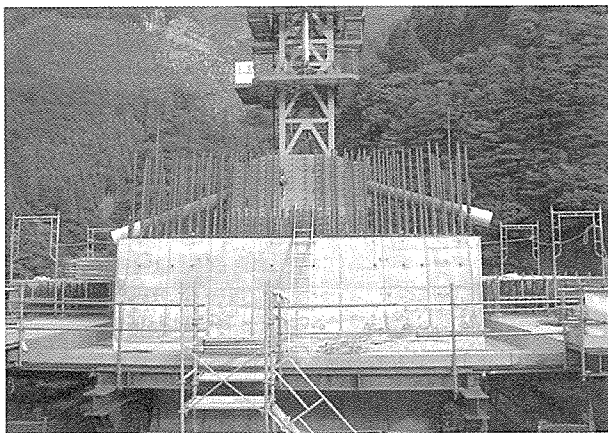


写真 - 4 主塔部斜材鋼管セット状況

べて鉛直、水平角とも主塔側・主桁側定着部おのこの箇所ので据付け方向が異なるうえ、主桁のたわみが大きいことから斜材定着具の保護管には高い施工精度が求められた。

このため、主桁側斜材定着具の保護管の据付けには、レーザー測量器を用いて主塔鋼殻内部よりレーザー光を主桁側定着点側に照射して形状管理精度を確保した（図-9）。

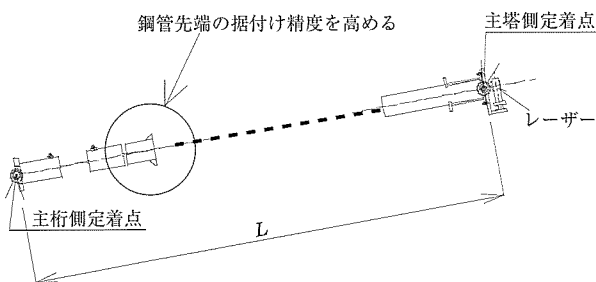


図 - 9 斜材保護管設置概要

斜材の緊張は主桁・床版および斜材の温度を計測し、弾性短縮によるケーブル張力の減少量を把握するとともに温度の影響を考慮して主桁側に配置した4基のシングルストランドジャッキにより2段階に分けて同時緊張を行った（写真-6）。

緊張作業は、1次緊張において弾性短縮によるケーブル張力の減少量を把握した後、2次緊張において1次緊張で把握した弾性短縮による張力減少量と温度変化による影響を補正した目標張力に対して斜材プレストレスを導入した。温度変化の影響としては、主桁（ウェブ）、床版およびダミー斜材を用いて計測した斜材温度の計測データをもとに標準温度に対する構造物全体の温度変化、主桁と斜材との温度差、主桁と床版との温度差の3種類の温度変化の影響を考慮して補正張力を求めた。

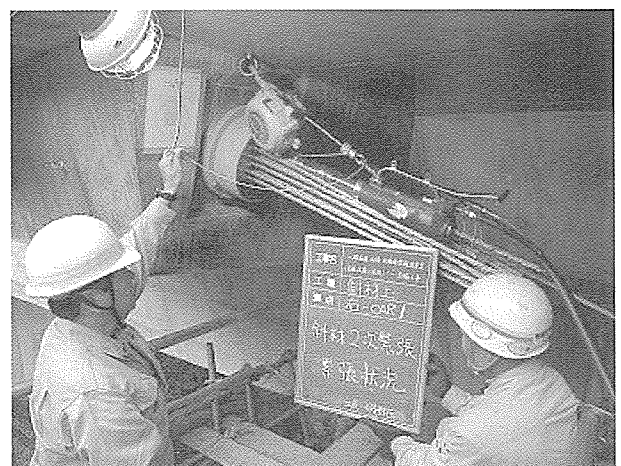


写真 - 6 斜材緊張状況

4.6 外ケーブルの施工

本橋は桁高変化が小さいため、PC鋼材を連続配置した場合でも角変化が小さく、上部工にプレストレスを与えるうえで長尺ケーブルでも摩擦損失の影響が比較的小さい外ケーブルの特長が発揮できる橋梁であり、この特長を生かして最長でP2～A2まで全橋に渡る約290mの長尺ケーブル(SWPR7BL19S15.2)が配置されている。

ケーブルの加工・挿入では、コイルに巻いた状態のストランドを橋面上で展開・切断し、それらを19本束ねたものをウインチを用いて一括挿入した。

緊張は、隣接工区のA1～P2間が完成済みのため、A2側より片引きにより実施し、管理方法としては鋼材長は長いものの摩擦の影響が小さいため、外ケーブルの管理法として一般的に用いられている鋼材の伸びと圧力計示度による手法を用いた。緊張工では、サグ取りおよびジャッキの盛替え作業に労力を要したものの、設計値に対して0～+5%以内の範囲の誤差でプレストレスの導入ができ、鋼材の伸びと圧力計示度との関係には長尺ケーブルであることによる特別な差異は認められなかった。

外ケーブルのグラウトには超低粘性タイプのグラウトを採用した結果、注入作業を効率的に行うことができ、注入口の盛替えは要しなかった。

5. おわりに

本工事報告では、上部工・主塔および橋脚に高強度コン

クリートを用いた長大エクストラード橋の設計・施工に関して報告を行った。

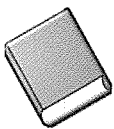
本橋のような急峻な地形あるいは既設構造物と近接する場合に基礎を含めた下部工寸法を小さくする必要がある場合には、部材寸法の縮小に加えて高耐久化も図れるため、有効な手段の一つであると思われる。本報告が今後同種の橋梁の設計・施工の参考になれば幸いである。

本橋は2010年3月に無事故無災害にて無事竣工を迎えた。本工事に際し、発注者ならびに(株)長大・有角 明技師をはじめご指導・ご協力いただいた関係各位に対し、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) PC斜張橋・エクストラード橋設計施工規準, プレストレストコンクリート技術協会, Apr. 2009
- 2) 山崎, 山縣, 春日: 斜材により補強されたコンクリート橋の構造特性, 橋梁と基礎, Vol.29, No.12, pp.33-38, 建設図書, Dec. 1995
- 3) 岡, 春日, 山崎: エクストラード橋の構造特性に関する一考察, プレストレストコンクリート, Vol.39, No.4, pp.53-58, プレストレストコンクリート技術協会, Mar. 1997
- 4) 自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物設計・施工指針(案), 土木学会, June, 2001
- 5) 秋山, 大塚, 松尾, 有角: 高強度コンクリートを用いたPCエクストラード橋の設計・施工 — 辻堂バイパス夢翔大橋 —, 第18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.119-122, プレストレストコンクリート技術協会, Oct. 2009

[2010年3月2日受付]



図書案内

National Report

The Third *fib* Congress 2010
— Washington D.C. USA (英・和文併記) —
2010年5月

頒布価格: 定 価 6,000 円/送料 500 円
: 会員特価 5,000 円/送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会