

論文・報告

矢部川大橋の設計と施工

Design and Construction of Yabegawa Bridge

大谷 満 *1
Mitsuru OOTANI池田 潤 *2
Jun IKEDA今村 覚 *2
Satoru IMAMURA屋鋪 暁志 *3
Satoshi YASHIKI

本橋は、2009年現在、日本最長スパンの3径間連続プレストレストコンクリート箱桁斜張橋。主桁は重量の軽減と耐風性能向上のため極端な斜ウェブ形状で構成。道路橋としては大深度な約50mのニューマチックケーソン基礎構造をもつ。平面曲線による直角方向水平力を緩和するための斜め主塔及び機械式トリガーをもつ水平変位制限装置が設置されている。急速施工のために、発注後に超大型トラベラー（ワーゲン）による8mセグメント長の上部施工へと変更した。斜張橋の主要構造を構成する斜材には、日本国内初の形式となるノングラウト中空形式（保護管と鋼材間に空隙）の一面吊りを採用している。また施工途中の橋脚沈下により、沈下促進工としてのプレロード工、対策工としての周面摩擦強化工（下部対策）及び外ケーブル高強度PC鋼材（上部対策）を使用した。

キーワード：斜ウェブ、曲線斜張橋、斜塔、水平ストッパー、中空斜材、高強度PC鋼材

はじめに

矢部川大橋は、一級河川矢部川にかかる橋長517mのPC3径間連続斜張橋である。本橋上部工は、基礎ケーソンより上部を二工区に分割し2004年5月に発注された。当社は、このうち柳川市側（北部）の第2工区を清水・川田特定建設工事共同企業体として受注した。

図1に橋梁位置図を示す。

本橋は、有明海沿岸道路約23kmの一部をなす橋梁であり、当初は2008年春に開通する予定であった。

本稿では、矢部川大橋に関する設計と施工に対する全体像について記述する。なお、矢部川上部工関連及び沈下関連等本稿で記述不足の部分は文献1)2)3)4)を参照されたい。



図1 橋梁位置図

1. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を下記に示す。また、全体一般図、主塔正面図、主桁断面図を図2、3に示す。

| | |
|-------|--------------------------------|
| 道路規格： | 第一種 第3級 |
| 構造形式： | PC3径間連続斜張橋 |
| 設計荷重： | B活荷重 |
| 橋長： | 517.0 m |
| 支間長： | 126.0 m + 261.0 m + 126.0 m |
| 有効幅員： | 19.0 m |
| 平面線形： | R=1 150 m ~ A=500 |
| 縦断勾配： | +3.45 % ~ -3.74 % |
| 横断勾配： | 3.0 % ~ 2.0 % |
| 主桁形式： | 逆台形3室箱桁 |
| 主塔形式： | 逆Y字型主塔 |
| 橋脚形式： | 張出式橋脚 |
| 斜材形式： | 一面吊り、ファン型 |
| 基礎形式： | 橋台：場所打ち杭基礎 主塔：ニューマチックケーソン基礎 |

第2工区橋体概算数量

| | |
|-----------|-----------------------|
| コンクリート数量： | 10 200 m ³ |
| 鉄筋数量： | 2 000 t |
| PC鋼材数量： | 200 t |
| 斜材数量： | 160 t |

*1 川田建設(株) 東日本統括支店（東京支店）事業推進部 部長

*2 川田建設(株) 西日本統括支店（九州支店）事業推進部

*3 川田建設(株) 本社機材部機材課 係長

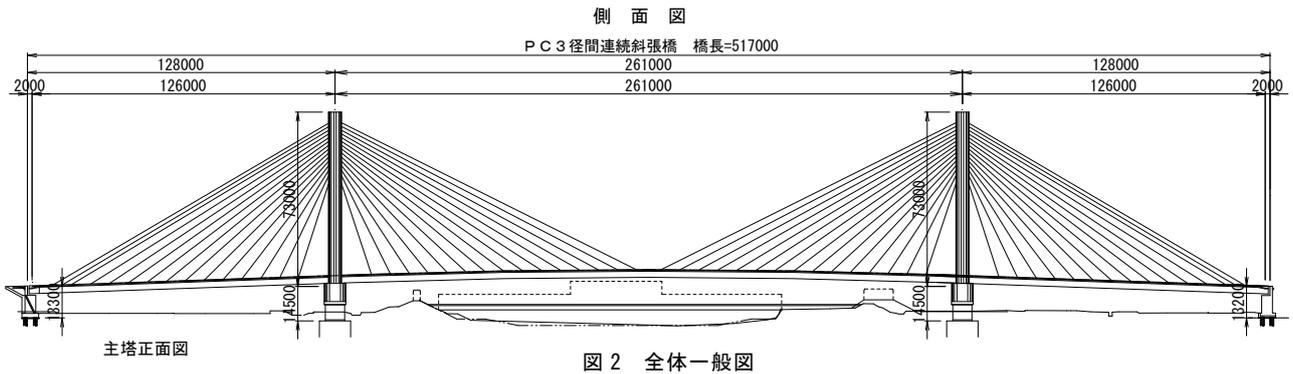


図 2 全体一般図

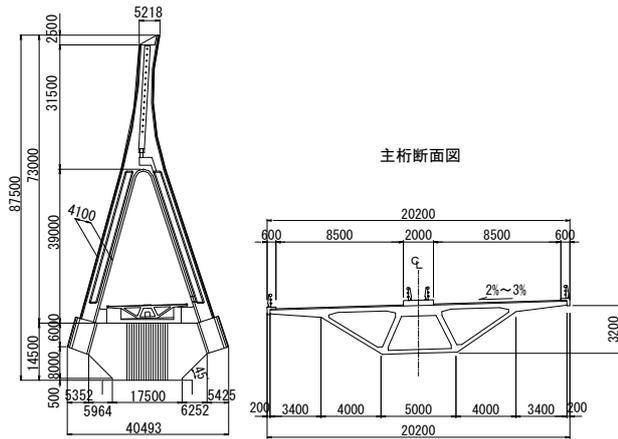


図 3 主塔正面図，主桁断面図

2. 設計概要

1) 主桁

主桁断面は、広幅員一面吊りであること、曲線橋であることからねじり剛性の高い箱桁形式を採用している。主桁断面の外側の形状は、風洞実験に基づき耐風性能の向上を目指している。中央ボックスの逆台形形状は、斜材定着部の強度アップにつながり、高強度コンクリートの使用とあわせて主桁重量約 22%の軽量化となっている。但し、鉛直部分の全くない断面形状、標準厚 25 cm の薄くて長い斜ウェブなど施工は極端に難しいものとなっている。

8 m ブロック超大型機械の使用に当たり、検証を行った。施工順序を追った骨組み解析、および局部応力照査として 3 次元 FEM 解析である架設系と当初設計の関係を次のようにした。

- ・架設完了後は、当初設計の構造系完成直後の断面力と同等の応力状態とする。
- ・上記のため架設系鋼材の一部は解放する。

架設系の変更による橋体応力度の当初設計よりのズレを、構造系完成直後の斜材張力調整によって完成系断面力へ移行させて当初設計と同等の応力状態とすることを前提条件とした。

また、架設時の主桁曲げ引張応力度の制限値は -1.5 N/mm^2 、斜引張応力度の制限値は、施工中の弱材令を考

| | ブロック長：4m | ブロック長：8m |
|-------------|--|--|
| 斜材定着部の施工 | ・斜材定着部を有するブロックと無いブロックを交互に施工する ・斜材配置、緊固は2ブロックに1回となる | ・毎ブロック斜材定着部を有するブロックの施工となる ・斜材配置、緊張は毎ブロックとなる |
| 移動作業車(ワーゲン) | 一般型 重量150ton (最大容量 400tm, 最大ブロック長 4m) | 超大型 重量約300ton (最大容量 1700tm, 最大ブロック長 8m) |
| 架設用PC鋼材の配置 | ・必要本数 本設 32 本 (φ32PC 鋼棒) ・緊張本数 16 本×2 断面 ・PC 鋼棒長は 4m で毎ブロック、カップリングして 8m 毎に緊張する | ・必要本数 本設 32 本 (φ32PC 鋼棒) 仮設 12~16 本 (") ・緊張本数 44~48 本×1 断面 張出架設完了後においては、仮設 PC 鋼棒を開放し、完成時計算結果と同等の断面耐力とする |

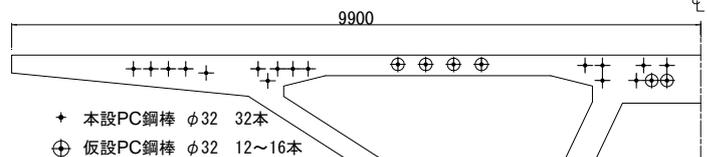


図 4 4m と 8m の比較

慮して -2.0 N/mm^2 ($\sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ の道示許容値は -2.3 N/mm^2) とし、斜材の有効軸力は、当初設計計算と同様に定着点から 16 m で全断面有効とした。

仮設 PC 鋼棒を配置し、斜材の張力を調整することによって、架設中の主桁応力度を制限値以下とし、さらに構造系完成後に全斜材の張力調整を行うことによって、主桁に発生する断面力を完成系設計での断面力と同等とした。

トラベラー荷重により主桁に発生するせん断力は、コンクリート打設時に卓越する。中ウェブで全せん断力を受け持つと仮定して道示式により斜引張応力を照査し、制限値を越える場合は仮設せん断鋼棒を追加配置した。

本橋の主桁断面は 3 室 4 ウェブの箱桁形状であり、これに超大型トラベラーのコンクリート打設時の荷重を載せた場合、局部的な引張応力度の発生が予想された。そこで、3 次元 FEM 解析によって、この応力度を算出し、補強の必要性を照査するとともに、トラベラー荷重の内

ウェブと外ウェブの分担比を決定し、トラベラー設計に反映させた。3次元 FEM 解析の主応力図を図 5 に示す。

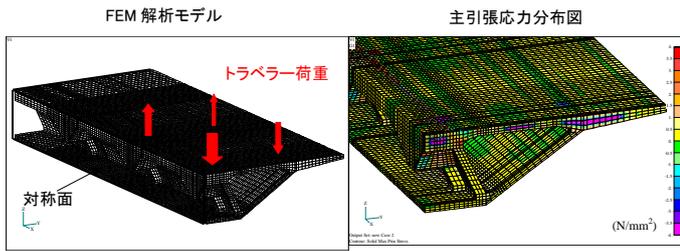


図 5 FEM 解析

2) 主塔

本橋は、平面曲線を有する斜張橋であるため、死荷重状態でも、橋梁各部の橋軸直角方向の水平力や曲げモーメントが発生する。このため、主塔を橋軸直角方向に傾斜させ、かつ斜材支持点を偏心させることにより、平面線形による断面力特性を改善している。

斜材定着部は、分離定着構造と鋼殻を使用することにより、主塔構造寸法を小さくしている。

3) 斜材

斜材は、SEEE 工法 F U T ケーブルを使用した。本斜材は充填グラウトを施工しない中空型斜材ケーブルである。非充実型の斜材の海外での実績は多々あるが、国内では初めての採用となる。この点でも今後の動向が注目される。

本斜材は現場製作ケーブルであり、単線のアンボンド鋼材が木製ドラムに巻かれた状態で現場に納入される。

架設には、保護管用の足場を一切必要としない。また、架設機材も特殊な機材は必要とするが、各機材重量は非常に軽いものとなっている。このため、架設に必要なクレーンなどの重機類も非常に小さい物で架設可能となる。

図 6 に斜材構造を示す。

| PE 被覆亜鉛めっき PC 鋼より線断面図 | | 55H | 61H | 64H |
|-----------------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ストランド断面図 | | | | |
| | 断面積 | 146.5m ² | 8057m ² | 8936m ² |
| 引張荷重 | 261kN | 14355kN | 15921kN | 16704kN |
| | | 70H | 77H | 85H |
| | | | | |
| | 断面積 | 10255m ² | 11280m ² | 12452m ² |
| | 引張荷重 | 18270kN | 20097kN | 22185kN |

図 6 斜材構造

3. 施工概要

本橋の上部工の施工フローを図 7 に示す。

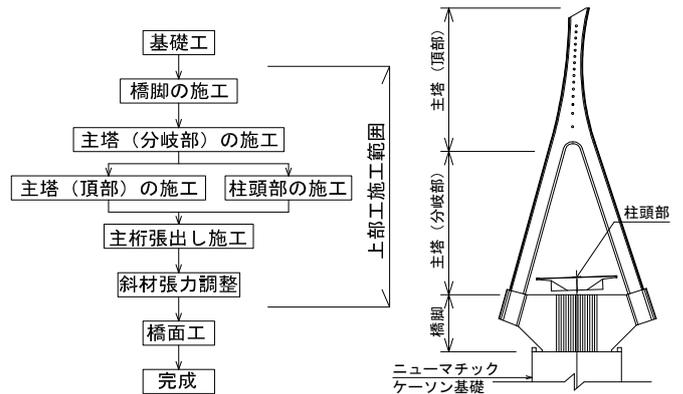


図 7 施工フロー

各施工部位の架設工法、ならびに主要使用材料の一覧を表 1 に示す。

表 1 主な架設工法および使用材料

| 施工部位 | 架設工法 | 使用材料 | | |
|------|--------------|-----------------------|-----------------------------|-------------|
| | | 主要 PC 鋼材 | コンクリート | |
| 橋脚 | 総足場 | 19S15.2mm φ32mm 鋼棒 | 40-18-20(L) | |
| 主塔 | (分岐部) | 昇降式移動足場 | 40-18-20(N) | |
| | (頂部) | 固定足場 | | |
| 主桁 | (柱頭部) | ブラケット式 支保工 | φ32mm 鋼棒 ほか | 50-18-20(N) |
| | (張出し 施工部) | 片持移動式作業 車 | φ32mm 鋼棒 12S12.7mm ほか | 50-18-20(H) |

1) 橋脚工

橋脚は、約 3 800 m³ のマスコンクリート部材である。

このため、当初よりひび割れの発生が予想された。

また工程短縮のため、リフト分割数を多くできないという制限があった。温度ひび割れ解析を行ったところ、設計配合では、大きな改善は見られなかったため、低熱セメントに変更した。改めて行った解析結果を図 8 に示す。

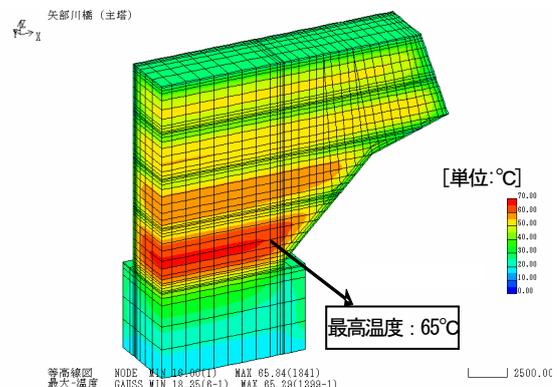


図 8 最高温度の履歴

低熱セメントの使用によって、橋脚内部の最高温度は 65 °C 程度に抑えられ、コンクリート表面における最小ひ

び割れ指数は 1.0 程度となった。

2) 主塔工

主塔構造は、逆 Y 型主塔であり、分岐部と頂部より構成されている。分岐部の施工時には、施工中の曲げモーメントに抵抗させるため、架設時においてストラットを配置した。主塔分岐部は、基部（充実断面）から結合部までの 39 m 区間であり、基部以外は中空断面である。

分岐部の施工においては、分離独立型昇降足場工法（以下 SKJO 式移動足場工法）を採用した。その特徴としては、主塔分岐部を 2 基の独立した移動足場によって施工することにより、鉄筋組立→型枠組立→コンクリート打設→足場移動のサイクル施工での労務配置を、効率良くすることが可能となっている。

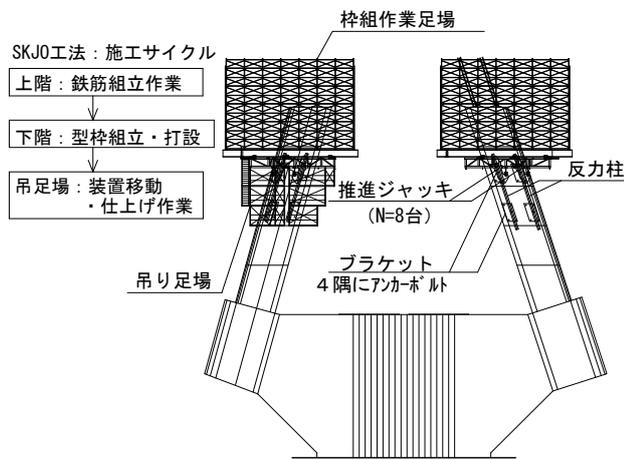


図 9 SKJO 工法

また、鉄筋を地組みしてプレファブ化することによっても作業効率の向上を図っている（写真 1）。内部鉄骨に支保工機能を持たせ、かつプレファブ鉄筋組立台としても兼用して施工した。



写真 1 プレファブ鉄筋架設

主塔頂部は総足場を組立て、施工した。斜材架設時に足場として使用したため、足場存置期間は約 3 年間となった。

3) 主桁工

柱頭部長は、通常 12 m が標準であるが、超大型トラベ

ラーを組み立てるため、20 m にブロック割りを変更した。支保工として大型ブラケットを別途製作し使用した。図 10 に変更後ブロック割りを示す。

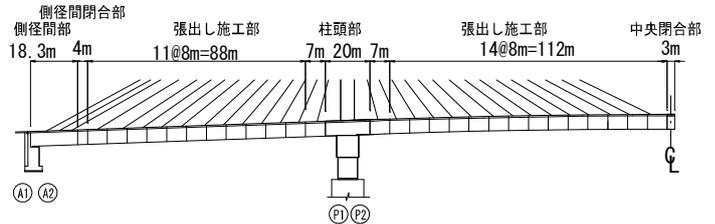


図 10 主桁ブロック割り

超大型トラベラーは、全重量が 3 000 kN に制限されかつ斜ウェブに多大な反力を掛けないため、反力分配横梁を持つ特殊な形状となった。部材は新設計製作部材と、既存機材の混用になっている。図 11 にトラベラーの概略断面を示す。

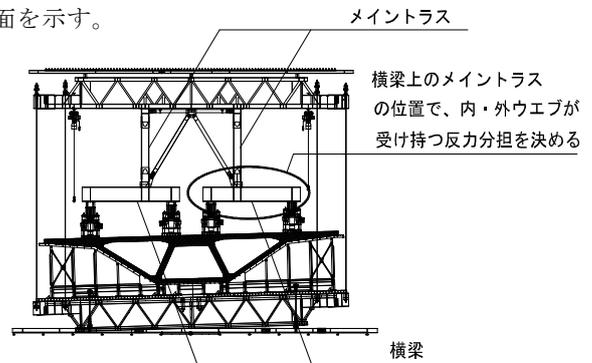


図 11 横梁を有するトラベラー

8 m ブロックの片側コンクリート打設数量は約 125 m³ となり、ブロック重量は、約 3 000 kN となった。この打設には、ポンプ車 2 台を使用して打重ね時間の短縮によりコールドジョイントの発生を防いだ。

張出し施工のサイクル工程表を図 12 に示す。当初左右の張出しブロックの工程を 1～2 日ずらすことで、労務配置の効率が向上するため、コンクリートの打設日をずらして施工した。しかし、徐々に打設によるアンバランスモーメントが大きくなり、主桁や主塔の引張応力度が過大となる。このため、5～12 ブロック（側径間側最終ブロック）まで左右ブロック同時打設で対応した。同時打設に生コン会社 1 社で対応が不可能であったため、2 社の生コン会社で打設を行った。施工サイクルは実働で、約 17 日/ブロックであった。

本橋の主桁の外ウェブは極端な斜ウェブであるとともに、その部材厚が 250 mm と薄い。これが内ウェブと下床版に結合されているため、コンクリート打設の際には、この結合部での充填性がポイントであった。そこでコンクリートは高性能 AE 減水剤を使用して流動性を高めるとともに、外ウェブの打設の際には、長さ 5 m の槍状バイブレータ（マルチバイブレータ）を使用し、結合部の

| | 1日 | 2日 | 3日 | 4日 | 5日 | 6日 | 7日 | 8日 | 9日 | 10日 | 11日 | 12日 | 13日 | 14日 | 15日 | 16日 | 17日 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| コンクリート打設・養生 | 打設 | 養生 | 養生 | | | | | | | | | | | | | | |
| 小口枠解体 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 横縮ケーブル・縦縮鋼棒緊張 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BOX内型枠解体 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ワーゲン移動・セット | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 型枠セット | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下床版・ウェプ鉄筋組立 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鉛直鋼棒組立 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BOX内型枠支保工組立 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 斜材ケーシングハイク設置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 上スラブ鉄筋組立 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 上スラブPC組立 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 打設準備 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (斜材架設) | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 12 主桁サイクル工程表

外側には型枠バイブレータ（鋼製型枠に取付）を使用し入念な締め固めを行った。

なお、主桁断面は全長にわたって変化しないため、この断面形状に合わせた一体型の外型枠を製作し使用した。

この型枠の面板には、ステンレス（3 mm）を使用し防錆処理とした。



写真 2 主桁型枠（緑）とトラベラー底版（黄）

本橋の架橋地点は豊富な水産資源の源である有明海に近接しており、上部工施工に伴う濁水の適正処理が地元漁業関係者からの強い要望であった。そこで、矢部川の上空となる中央径間側トラベラーの下段作業床には、厚さ 1.5 mm のゴムシートを溶着させ、強アルカリを含む水分の落下を防止している。ゴムシート上に溜まった水は、下段作業床に設けられた貯水箱に一旦集められ、これをポンプによって橋脚付近まで送った後、沈砂および PH 処理を施して放流している。

写真 3 に下段作業床のゴムシートおよび排水設備を示す。

4) 斜材工

本橋で用いた斜材は、φ 15.6 mm の亜鉛メッキ PC 鋼より線を主材とし、その表面にグリスが塗布され、最外縁部にポリエチレン樹脂によるコーティング加工された 3 重防食タイプ（現場製作型ノングラウトタイプ）である。1 主塔あたり両側の径間に、それぞれ 15 段ずつ配置されている。斜材定着方式はくさび定着方式、斜材の構成は、定着具、緩衝装置、ストランド、保護管、およ



写真 3 トラベラー下段作業床 排水設備

び制振装置によって組み合わされている。斜材架設での課題としては、現場製作型大容量のケーブルの架設方法と、緊張管理であった。

斜材の架設方法としては、ストランドの架設に先立って保護管を主塔～主桁間に第一ストランドと同時に張り渡し、それをシュート代わりに後続のストランドを 1 本ずつ架設していく、保護管先行架設方式を採用した（図 13）。

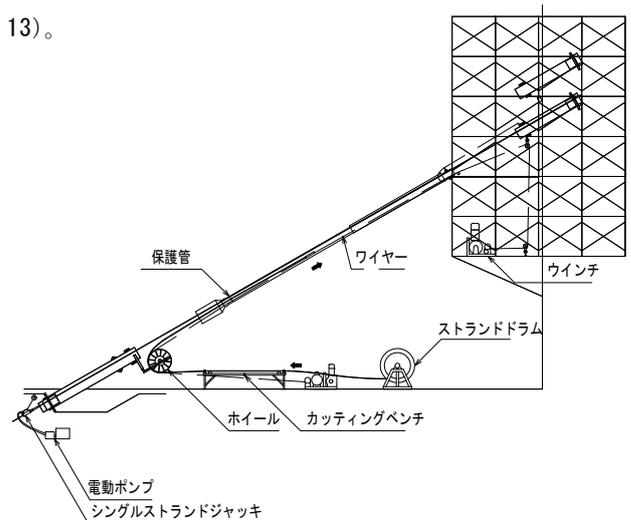


図 13 斜材架設概要図

架設手順を以下に記述する。

- ① 事前に保護管（1 本当たり 10 m）を橋面上にて、所定の長さで溶着する。この際に保護管（PE 管）が黒色であるため、日射による影響を受けやすく、湾曲する

恐れがあるため、溶着時はテントを設置し、直射日光や雨水等を防ぎ、これを防止した。

- ② 保護管の吊り上げは、第一ストランドを保護管内に挿入した状態で、タワークレーンで吊り上げ、塔側に定着する。
- ③ 桁側の定着具に桁側ストランド端を挿入し、シングルストランドジャッキで1本目の緊張を行うことにより、保護管の架設が完了する。
- ④ ドラム巻きされたストランドを、引き出し位置にセットし、保護管内部にワイヤーを塔側から桁側に向けて通す。
- ⑤ ワイヤー先端にストランドを接続して、ワイヤーをウィンチによって、保護管内部を主塔外側まで引き上げる。主塔外側まで引き上げられたストランドをワイヤーから切り離し、ベビーホイストにて塔内へ挿入・定着させる。
- ⑥ ストランドをカッティングベンチ上で所定の長さに切断して、桁側定着具に挿入・緊張してストランド1本の架設が完了する。

上記手順をストランド本数分繰り返して、1段分の斜材架設が完了する。

斜材の緊張管理は、第一ストランドの主塔側（固定側）にロードセルを取付け、その値を元に架設中の緊張力を管理していく。緊張は、一次緊張と二次緊張の2段階で緊張力を与えた。これは、1本毎にシングルストランドジャッキによって緊張力を与えるため、橋体の弾性変形および、斜材のサグの影響、および温度による影響が架設中に生じるためである。一次緊張は目標緊張力の70～80%にて緊張し、これらの影響を実測し、これを考慮したうえで、二次緊張にて100%の緊張力を導入した。

5) 計測工

斜張橋の施工においては、架設途中の橋梁の挙動が事前検討通りであるかどうかのチェックが重要である。長大斜張橋の場合、温度変化による影響が大きいため、本橋においても、これを考慮した計測管理を行っている。

温度による影響を与える因子としては、以下の5点を考慮している。

- 全体温度と設計時標準温度（20℃）の差
- 床版温度差（上床版と下床版の温度差）
- 斜材温度（全体温度と斜材の温度差）
- 主塔温度（全体温度と主塔の温度差）
- 主塔温度差（主塔の南面と北面の温度差）

張出し架設中の各施工ステップにおける構造系に対して、これらの因子による影響値を事前に算出し、実測された橋体の挙動（主桁高さ・斜材張力など）に温度補正を施して、現状の架設状態が正常であるか否かを確認し、次の施工ステップへ進む判断を行っている。

各計器の配置状況および、計測データの処理フローを図14および図15に示す。

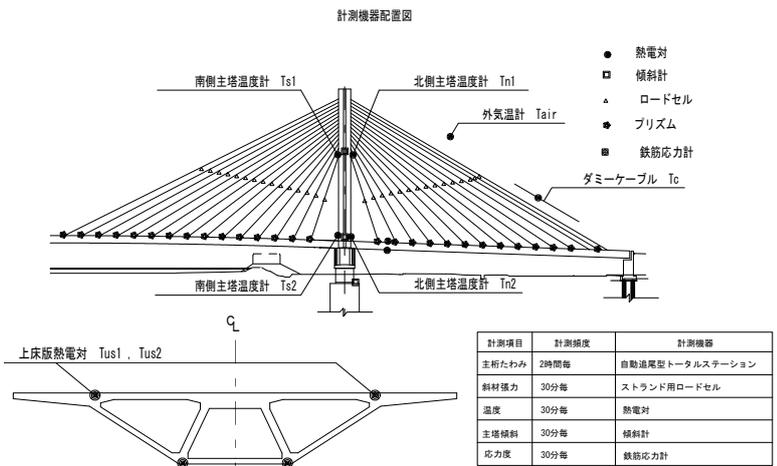


図14 計測用計器配置

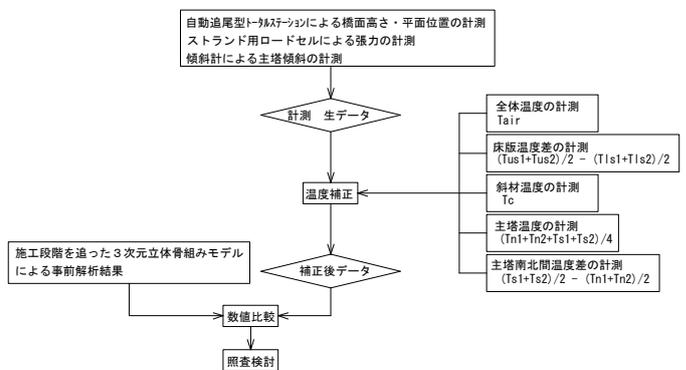


図15 計測データ処理フロー

4. おわりに

2005年5月より工事を開始して、途中二度の工事中止を経験し、平成21年3月約一年遅れで矢部川大橋は供用を開始した。開通直後に既設国道の渋滞は大幅に緩和されたことは確認している。

本工事に当たり、設計・施工計画の面で多くの方々にご多大なご協力をいただいたことに感謝する。またこのプロジェクトに関わった全ての人々に、平成20年度田中賞、同九州地整局長優良工事表彰、厚生労働大臣表彰をいただいた事を報告する。

参考文献

- 1) 小口, 横峯, 有角, 山田: (仮称) 矢部川橋の計画と設計, プレストレストコンクリート. Vol.48, No3(2006)
- 2) 小口, 久野, 荒巻, 大場, 中村, 小林: 矢部川橋梁の施工, 橋梁と基礎. Vol.42, No3(2006)
- 3) 小林, 大場, 大谷, ウィッチュグレエンカライ エカラット: 矢部川橋梁の上部工施工時計測に関する報告, 第17回PCシンポジウム論文集(2008).
- 4) 山北, 瓜生, 大場, 細見, 西田, 井之上: 矢部川大橋の設計と施工, 橋梁と基礎. Vol.43, No.5 (2009)