

三谷川橋の設計と施工

～PCエクストラド - ズド橋～

Planning and Construction of SANTANI Bridge

秋山 照義
Teruyoshi AKIYAMA
川田建設(株)東京支店工務部次長

中島 道哉
Michiya NAKAJIMA
川田建設(株)大阪支店工務部工務長

大澤 浩二
Koji OSAWA
川田建設(株)開発部技術開発課課長

西村 勝
Masaru NISHIMURA
川田建設(株)大阪支店設計課係長

大石 昇
Noboru Oishi
川田建設(株)大阪支店設計課

小林 政郎
Masao KOBAYASHI
川田建設(株)大阪支店工務部

SANTANI Bridge, located on Tokushima Expressway, Tokushima, Japan was the first extradosed type bridge constructed by Kawada. The bridge, erected by the cantilever method, had some restricting features including: large width (20.4m), curved geometry (1000 radius) and unequal span (1: 1.6). These features lead to the adoption of a rather flat single tower located at median (1.0m x 5.5m) and one plane suspension. Major design considerations included: designing the tower as a PRC structure taking into consideration the significant out-of-plane force from stayed cable tension and the design of a special type of saddle to anchor the cables at the tower. In addition to full scale testing on the saddle, a series of FEM analysis were done for stress transfer from cables to girders, shear distribution in web plates and tower base stress. Major construction considerations were: the use of prefabricated re-bars, the use of a new type of traveler crane, and the monitoring of real time tower stress through the use of a satellite circuit.

Key words: extradosed prestressed concrete bridge, external prestressing cables

1. はじめに

「三谷川橋」は、**図1**に示す徳島自動車道 美馬～川之江東ジャンクション間のうち、井川池田インタチェンジ(仮称)の西方約13kmに位置する高速道路橋である。

本橋は支間比が1:1.6という不等径間に加えて、 $R=1000$ mの平面曲線を有している。橋梁形式として国内で施工実績の少ない、独立1本主塔を用いたエクストラドーズド橋を採用することとした。

本文は、「三谷川橋」の設計と施工について報告するものである。

2. 橋梁概要

「三谷川橋」の橋梁諸元を以下に、全体一般図を**図2**

に示す。

橋 種：プレストレストコンクリート道路橋
道路規格：第1種第3級B規格
橋梁形式：PC2径間連続エクストラドーズド箱桁
荷 重：B活荷重
橋 長：152.0 m
支 間：57.9 m + 92.9 m
幅 員：20.4 m (総幅員)
平面線形： $A=400 \sim R=1000$ m
横断勾配： $i=4.27\% \sim 4.50\%$
主桁形式：2室箱桁(4車線一体断面)
主塔形式：独立1本柱
架設方法：張出し架設

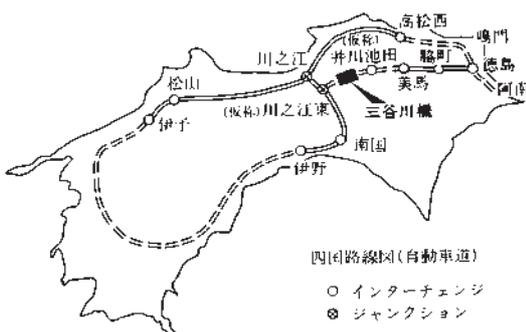


図1 架橋位置図

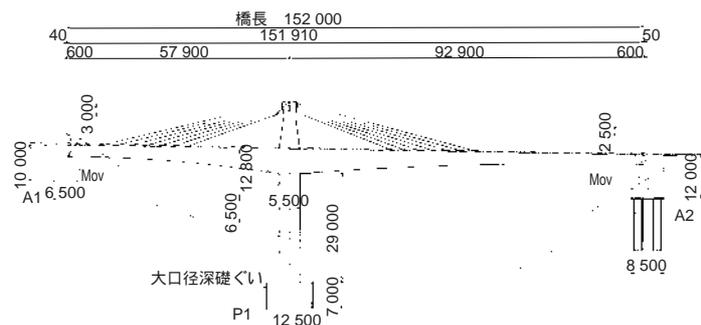


図2 一般図

3. 詳細設計

(1) 主方向の設計

断面力の算定は、平面フレームモデルを用いた微小変形理論に基づいて、施工段階を考慮して行った。さらに、平面線形によるねじりの影響は立体格子解析により考慮した。図3に設計荷重時の断面力を、図4に設計荷重時の合成応力度を示す。

(2) 特殊解析

本橋では、FEM解析（全体系・部分モデル）や非線形動的解析（全体系ファイバーモデル）等の特殊解析を実施していることから、各解析結果の概要を説明する。

a) FEM解析

概要

1面配置の大偏心外ケーブル構造、偏平な主塔断面、2室箱桁断面での張出し施工の特徴を考慮し、表1に示す5項目に着目した解析を実施した。モデルを図5～7に示す。

斜材張力の有効伝達長

本橋は、4車線一体断面の中央分離帯に斜材を1面配置しているため、斜材から導入される軸力が断面全体に均一に作用するまでに要する距離を把握することが必要であった。

最上段斜材を緊張した場合を想定し、架設系モデルの最上段斜材に緊張力相当の温度荷重を与えた。2次元骨組み解析結果を100%とした場合の上床版各位置でのFEM解析結果を図8に示す。

表1 解析項目とモデル

解析項目	適用モデル
斜材張力の有効伝達長	全体モデル（架設）
ウェブのせん断分担率	全体モデル（完成・架設）
塔基部と柱頭部の応力	部分モデル（塔基部）
桁側斜材定着部の応力	部分モデル（定着部）
主塔サドル部の応力	部分モデル（サドル部）

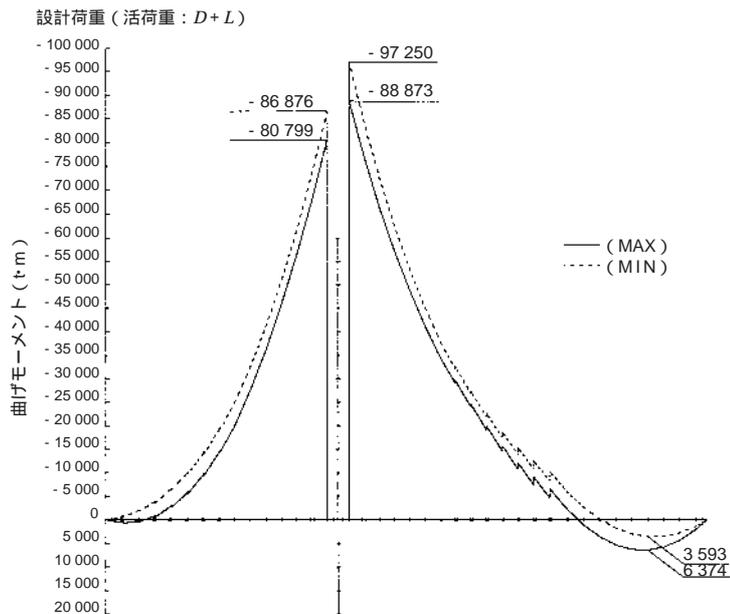


図3 断面力図（設計荷重時）

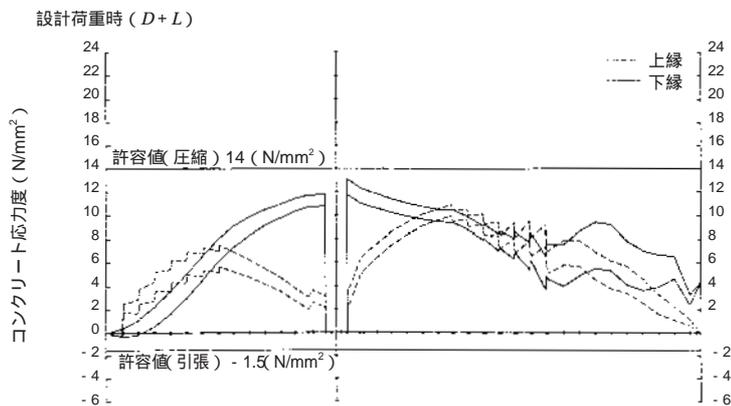


図4 合成応力度図（設計荷重時）

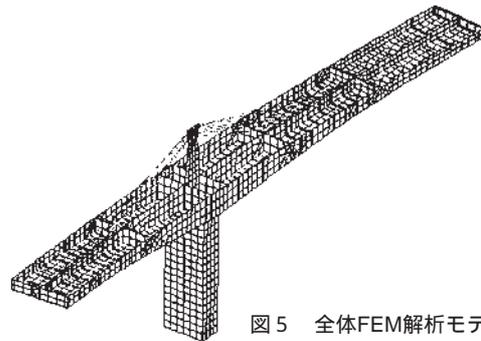


図5 全体FEM解析モデル

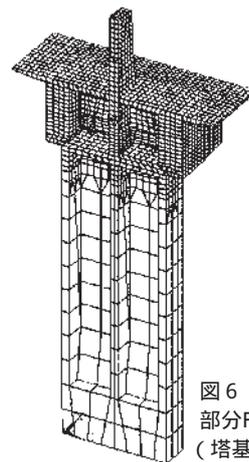


図6 部分FEM解析モデル（塔基部）

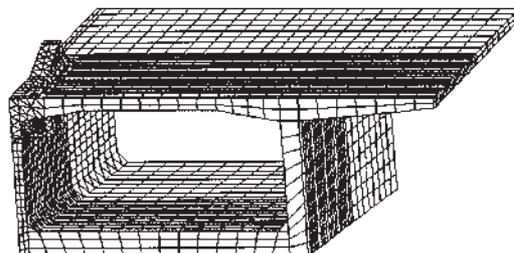


図7 部分FEM解析モデル（斜材定着部）

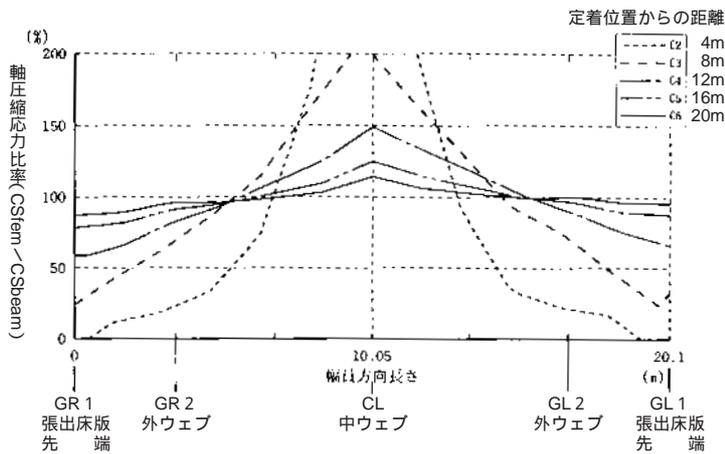
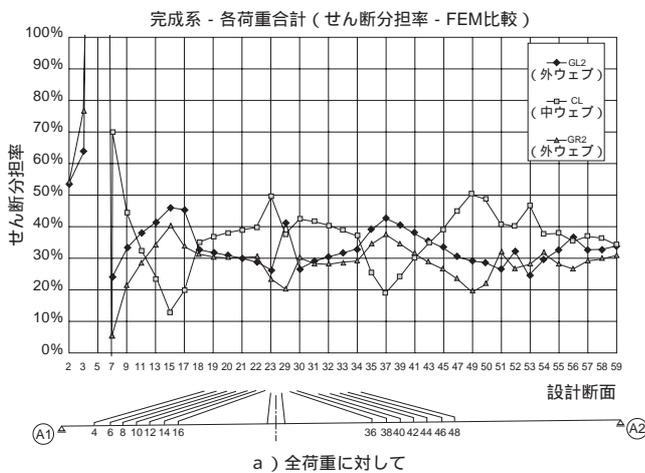
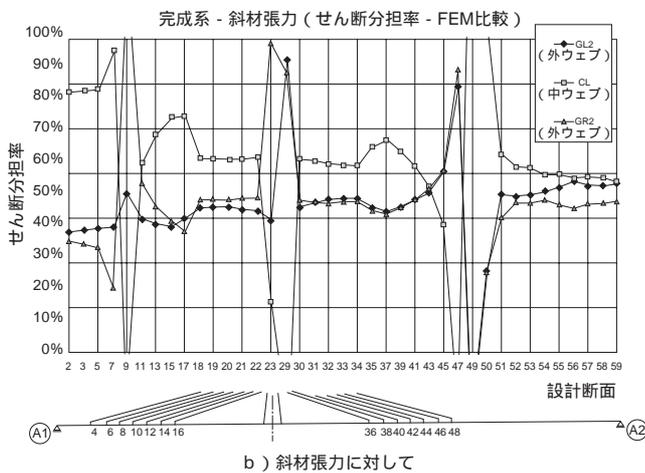


図8 斜材張力の有効伝達長



a) 全荷重に対して



b) 斜材張力に対して

図9 ウェブのせん断分担率

応力が張出し床版先端まで伝達するためには、斜材定着位置から4ブロック(16m)の距離を要するが、中間床版の中央までとした場合には、2ブロック(8m)以内となり、桁内PC鋼材の有効伝達長と同程度となる。そこで、斜材についても桁内PC鋼材と同様の取り扱いを行うものとした。

ウェブのせん断分担率

本橋の主桁は2室の箱断面であり、3枚のウェブで構

成されている。斜材が中央のウェブだけに定着される等、内外のウェブに作用するせん断力に大きな差が生じることが考えられ、各ウェブのせん断分担率を把握する必要があった。

完成系の合計荷重に対する分担率を図9 a)に示す。外側ウェブが40%から20%まで右がりに減少するのに対して、内側のウェブは逆に約20%から約50%まで右上がりに増加する。これは、自重などによるせん断力を打ち消す方向に作用する斜材張力が内側のウェブに偏って分担されているためである。ここで、斜材張力以外の荷重については、ほぼ均等に分担(均等分担率33%)されている。

斜材張力によるせん断の分担率を図9 b)に示すが、最下段斜材付近の断面では外側のウェブが約20%(均等分担率に対して6割)しか分担していない。そこで、斜め引張応力度の照査にあたっては、斜材張力によるせん断力を6割に低減した値に対しても行った。

塔基部近傍の応力分布

本橋の主塔は、構造寸法の制約により偏平な断面形状(5.5×1.0m)が採用されており、さらに平面線形の影響で斜材張力の面外分力に起因する曲げモーメントが発生する。また、主塔が設置される主桁の柱頭部は、3枚のウェブと2枚の隔壁で構成されており、塔基部から柱頭部、さらに橋脚への応力の流れに乱れが生じる可能性があった。

解析の結果、塔基部にわずかな応力集中が見られたが、全般的に問題となるような局部応力は発生しなかった。塔基部の圧縮応力分布を図10に示す。塔基部の縁端部に、直下に位置する隔壁の影響と考えられる、最大19.5N/mm²に達する圧縮応力が発生している部分があるが、鉄筋を考慮することで許容値(17N/mm²)以下の応力度になることから、特別な対策は講じなかった。

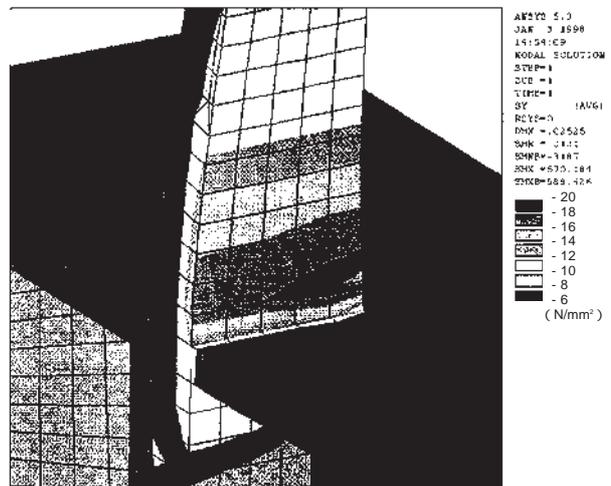


図10 塔基部の応力分布

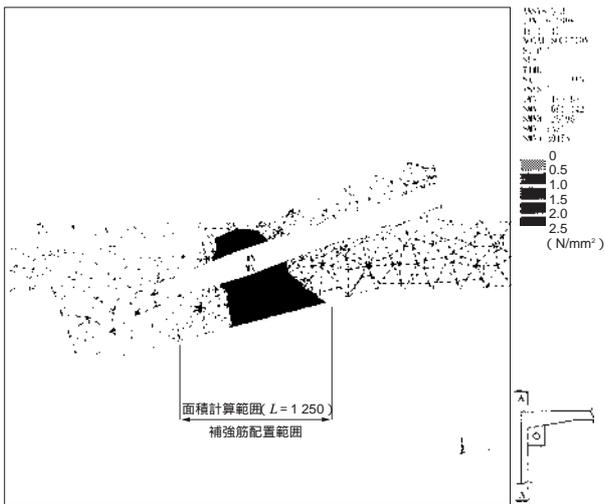


図11 桁側斜材定着部の応力分布

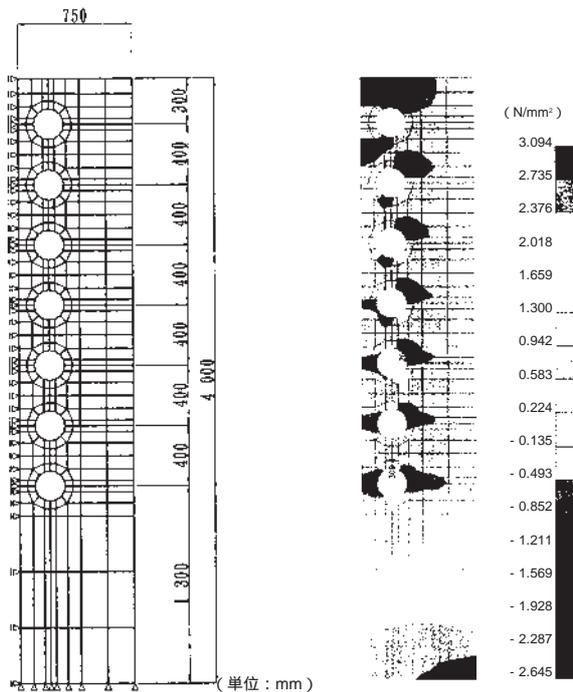


図12 解析モデル

図13 応力分布 (X方向)

桁側斜材定着部の局部応力

桁側斜材定着部は、2本のケーブルを平面的に広げ、中央ウェブの両縁で突起定着している。局部応力に対する補強鉄筋量は簡易計算によったが、その妥当性を確認するためにFEM解析を行った。今回、ケーブルの偏向力が作用することから、実際に配置する定着鋼管を考慮した現実的なモデル化を実施した。FEM解析結果より算出した補強鉄筋量は、いずれも簡易計算によるものを下回っており、設計の安全性を確認することができた。

図11に偏向部付近の応力分布を示す。

主塔サドル体付近の補強

主塔サドル部には、斜材を曲げ配置しているため、斜材張力の鉛直分力が発生する。サドル部での斜材配置間隔は水平間隔400mm、鉛直間隔が400mmの並列配置していることからFEM解析を実施した。解析モデルを図12に、主応力を図13に示す。斜材の鉛直方向分力によって、主塔上部および最下段のサドル間およびサドル直下に割裂応力度が発生していることから、この引張力に対して鉄筋による補強を行った。

b) 非線形動的解析

概要

本橋の下部工は、平成2年の「道路橋示方書 耐震設計編」に準拠して設計され、「耐震設計・施工要領(案)」に基づく下部工配筋修正方法に基づき、橋脚の配筋を修正・補強が実施されていた。そのため、現行の耐震規準による安全性を照査することを目的として、橋脚をファイバーモデルとした全体系スケルトンを作成し、非線形性を考慮した時刻歴応答解析を行った。

解析結果

橋脚基部でのタイプ 地震波とタイプ 地震波の曲げモーメント - 回転角 (M -) に関する応答履歴を図14に示す。両ケースとも許容曲率内に収まっており、耐震安全性の確認ができた。

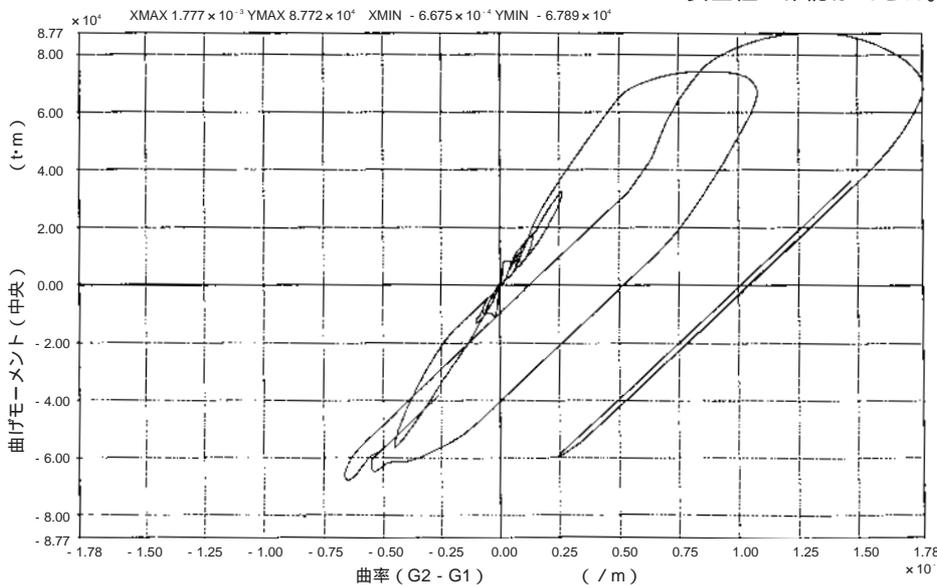


図14 橋脚基部の M - 応答履歴 (タイプ)

4. 上部工の施工

(1) 施工概要

本橋の張出し架設部のサイクル工程を図15に、施工手順を図16に示す。

施工は、A1側の側径間閉合までの対称張出し施工（13ブロック）の後、A2橋台側への片張出し施工（8ブロック）を行った。片張出し施工によるA1支点部に発生する負反力対策として、カウンターウエイトコンクリートの打設と橋体と橋台を鋼棒で緊結することにより対処した。

主桁断面は2室箱桁を採用した4車線一体断面であることから、コンクリート体積は柱頭部で630m³（355m³、275m³の2回に分割）、張出し施工部で1ブロック当たり50m³～100m³と従来断面に比べて2倍の量である。

(2) 主塔の施工

主塔は塔高12.8mの独立1本柱であり、上部工平面線形の影響による面外方向（R中心方向）の力を受けるため、PRC構造を採用している。

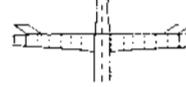
施工は総足場で行い、図17に示すとおり3ロットに分割して施工を行った。

コンクリートは、設計基準強度が50N/mm²であり、ワーカビリティの確保から高性能減水剤を使用した。なお、PC鋼材は12T12.7Bを15本配置した。

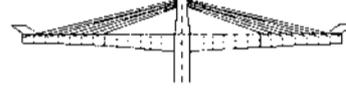
1. 柱頭部施工およびトラベラー組立



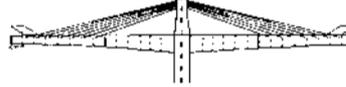
2. 主塔完成



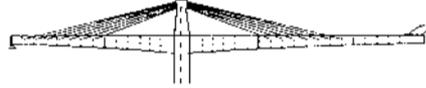
3. 全斜材緊張完了



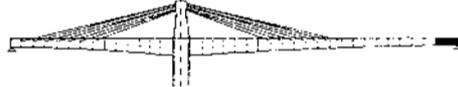
4. トラベラーによるA1側閉合



5. A2側片張出し施工



6. 固定式支保工によるA2側閉合



7. 完成

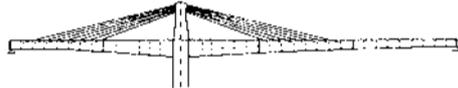


図16 施工手順

主桁標準ブロック（10日/サイクル）

工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
トラベラー移動	■													
外型枠組立		■	■											
ウェブ鉄筋地組									■	■				
鉄筋・PC組立			■	■	■	■								
内型枠組立				■	■	■	■							
コンクリート打設							■	■						
養生									■	■				
緊張（横締・鉛直）											■	■		
緊張（主ケーブル）													■	■

斜材定着ブロック（11日/サイクル）

工種				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
トラベラー移動														■
外型枠組立		■	■											■
ウェブ鉄筋地組														
鉄筋・PC組立														
斜材桁側定着管組立				■	■	■	■							
内型枠組立				■	■	■	■							
コンクリート打設								■	■					
養生														
緊張（横締・鉛直）														
緊張（主ケーブル）														
斜材ケーブル挿入														
斜材ケーブル緊張		■												
サドル部グラウト工														
斜材架設用足場組立			■											

図15 サイクル工程

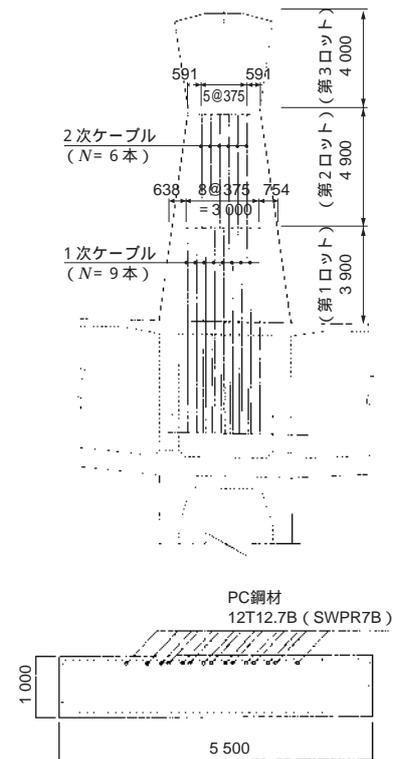


図17 PC鋼材配置図

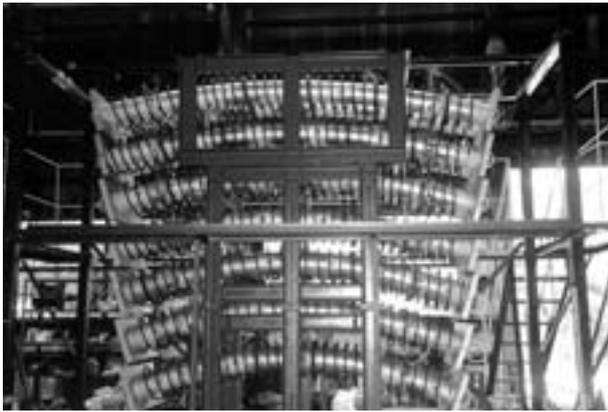


写真1 サドル組立状況



写真2 斜材架設状況(その1)

(3) サドル部の施工

サドル定着構造は「貫通固定方式」とし、組立状況を写真1に示す。定着方法は、斜材の張力差を斜材からグラウトを介して内管へ伝達させ、押さえブロックで定着する「押さえブロック方式」である。この方式は、過去に使用実例がないため、あらかじめ実物大供試体にて性能確認試験を実施した。

サドルは、配置精度の確保と現場作業の省力化を図るために、写真1に示すように内管と外管・補強鉄筋・小口型枠を架台を用いて一体化させた。なお高さは3.65m、架設質量で約7.1tとなるため、架設架台は3分割して現場に搬入し、タワークレーンにて設置した。架設架台を主塔に設置するとき、浮き止めと水平移動防止のため、第2ロットのコンクリート打設時にPCネジコンを埋設

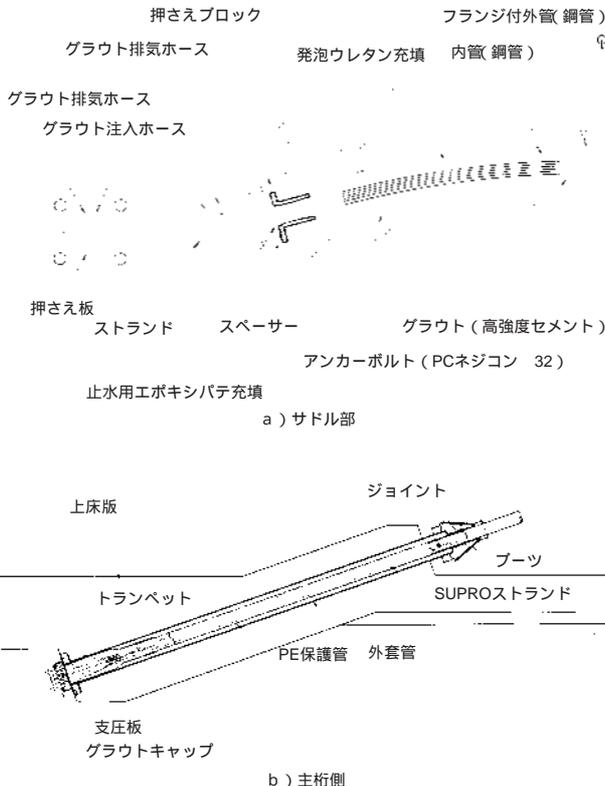


図18 斜材システム



写真3 斜材架設状況(その2)



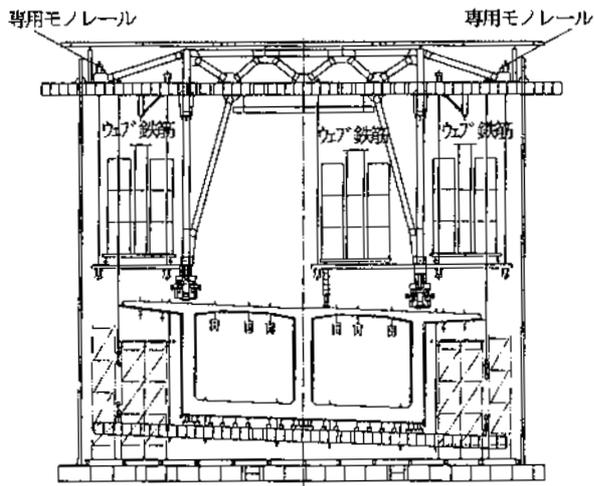
写真4 斜材緊張状況

し、高さ調整ボルトと鋼製受け皿にて水平位置と設置高さの微調整を行い、精度の高い据え付けを行うことができた。

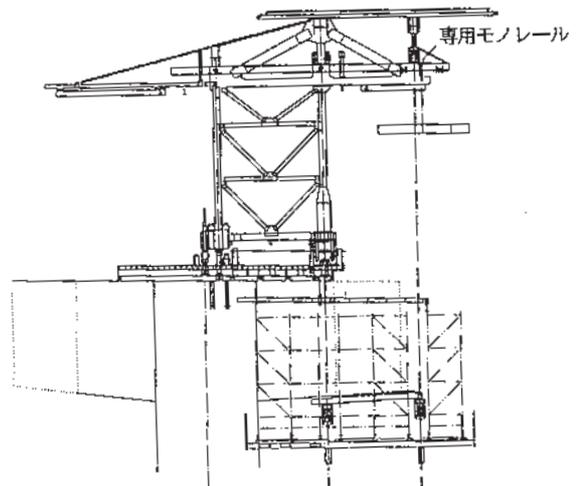
(4) 斜ケーブルの施工

斜材ケーブルは、セミプレハブケーブル(19S15.2B)を使用した。主桁側の定着工法は、交換可能な外ケーブル用システムとしている。図18に斜材システムの詳細を示す。なお、ケーブルの防錆はサドル部では単線PE被覆とグラウトの2重防錆とし、主桁側定着部においても単線PE被覆とグラウトで保護している。

斜材は写真2、写真3に示すとおり斜材ケーブルの形状を保持するため、斜材足場を組んでから斜材定着ブロックのコンクリート打設後にウインチにて引き込むことにより行った。



a) 断面図



b) 側面図

図19 大型移動作業車



写真5 ウェブ鉄筋先組状況



写真6 プレハブ鉄筋据付状況



斜材の緊張は400 tf (3 920kN) ジャッキ 2 台を用いて 1 本ごとに行った (写真 4)。初期導入緊張力は317～263 tf (3 107～2 577kN) で実施した。緊張管理は、ポンプのマノメータ値およびPC鋼材の伸びにより行い、伸び量は緊張計算の±5%を管理値とした。張力導入は、主塔の左右で不均衡張力が発生しないように油圧ポンプの圧力を5.0N/mm²ずつ上げることにより行った。

(5) 主桁の施工

張り出し施工 1 ブロック当たりの施工サイクルの短縮を図るためにウェブ鉄筋のプレハブ化を実施した。このため、図19に示す80N・m能力の大型移動作業車を採用した。

プレハブ鉄筋は、移動作業車後方にてウェブ鉄筋を組み立て (写真 5)、専用モノレールにて所定の位置まで移動し据え付ける (写真 6)。これにより、桁内に配置される全鉄筋量の27～35%はプレハブ化されることになる。

5. 主塔基部の応力計測

(1) 計測概要

本橋は、前述したように上部工平面線形等の影響により主塔基部の応力変動が著しく、施工段階における応力変動が著しいので、施工段階における応力度の変化を経時計測し、設計の妥当性を確認した。

(2) 計測方法

計測システムは、図20に示すとおり、現場側には主塔基部 (5.5m×1.0m) 四隅および中央の合計 6 力所に有効応力度計を埋め込み、スイッチボックス・データロガー・モデム・衛星携帯電話を設置し、本社側には、モデム・パソコンを設置した。なお、データ転送・計測機器の制御は本社側のパソコンにて行った。

(3) 計測結果

計測データのうち朝のデータをプロットしたものと、

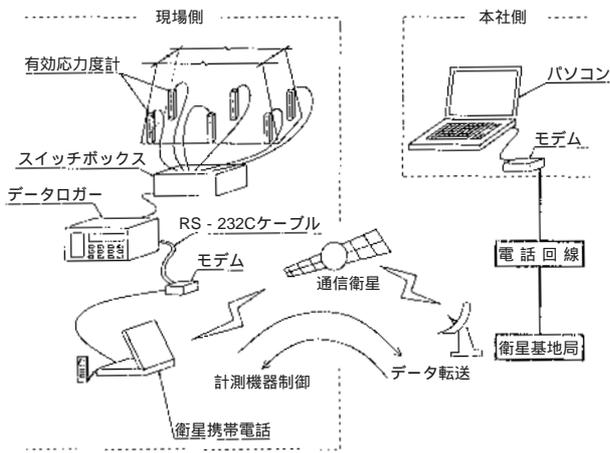


図20 計測システム

設計値を図21のグラフに示す。

計測を行った結果、4段目の斜材(S4)を緊張した時点で主塔に導入したプレストレスがキャンセルされ、それ以降応力が反転するが、7段目の斜材(S7)を緊張してから大きな変動はない。実測値は、設計値とほぼ一致しており、設計の妥当性が確認できた。

6. おわりに

本橋は平成11年8月に無事竣工し、本路線の開通を待つばかりである。地域のランドマークとして多くの人々に親しまれる橋梁になることを願う次第である。

最後に本橋の計画・設計・施工にあたり、多大なるご指導・ご尽力をいただいた関係各位に本誌面を借りて、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 飯束・花田・西村・大石：三谷川第二橋の計画と設計(その1), 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, Vol.8, pp.551~556, 1998.10.
- 2) 望月・安藤・北野・劉：三谷川第二橋の計画と設計(その2), 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, Vol.8, pp.557~561, 1998.10.
- 3) 飯塚・秋山・西村：三谷川第二橋(エクストラード橋)の設計とサドル構造の実物大試験, プレストレストコンクリート, Vol.41, No.1, pp.51~57, 1999 JAN.-FEB.

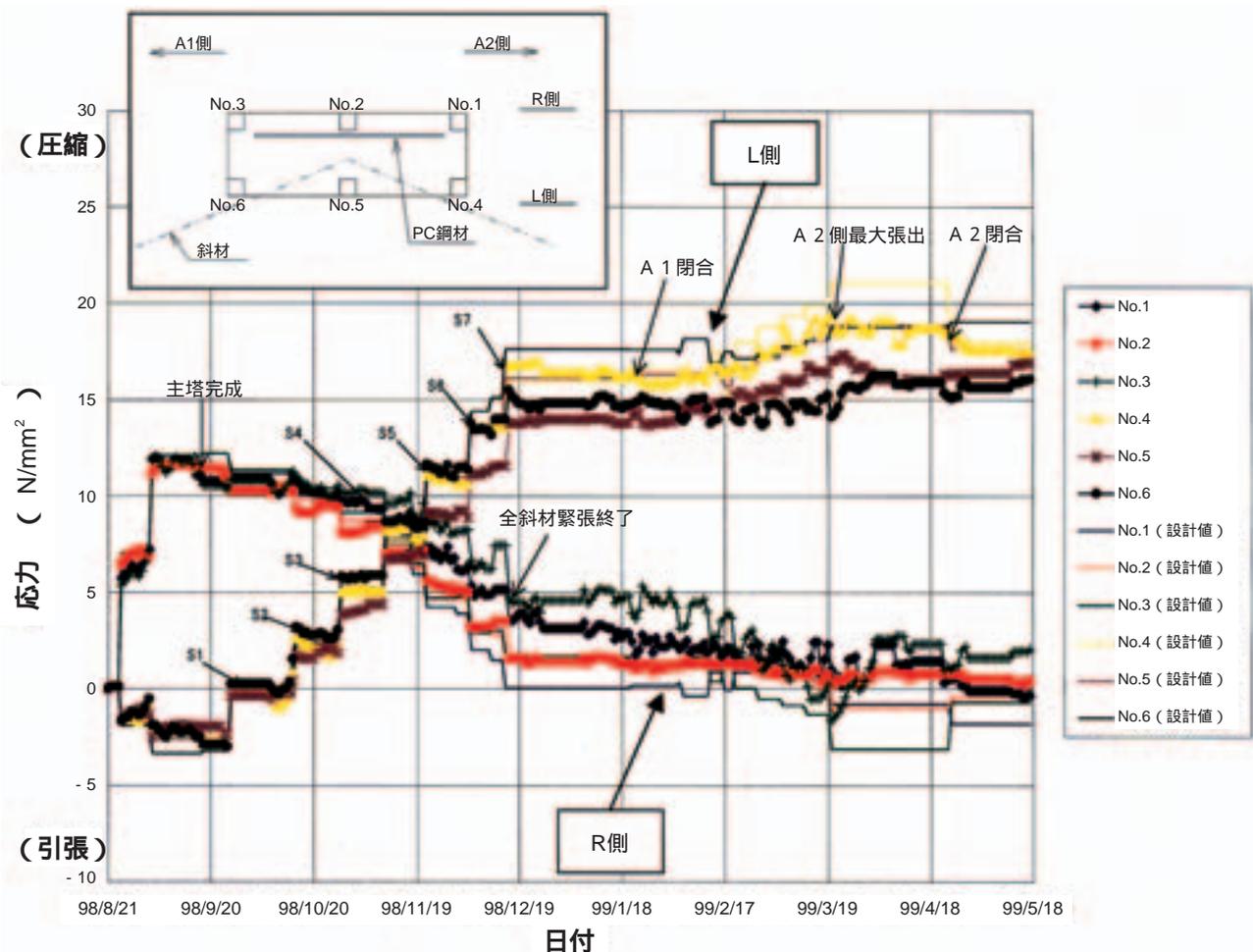


図21 計測結果