

志賀郷高架橋(綾部 5 号橋)の設計・施工

Design and Construction of the SHIGASATO Viaduct (AYABE No. 5 Bridge)

石井 英則

Hidenori ISHII

川田建設㈱大阪支店技術部設計課

坂井 秀男

Hideo SAKAI

川田建設㈱大阪支店工事部工事課課長

吉岡 勝彦

Katsuhiko YOSHIOKA

川田建設㈱大阪支店工事部工事課係長

虎本 真一

Sin-ichi TORAMOTO

川田建設㈱大阪支店工事部工事課

The Shigasato Viaduct in Ayabe—Miyazu highway consists of a two span continuous PC box girder bridge and a fifteen span continuous PC box girder bridge which together total 697 meters in length. Due to its location, in the most probable area of earthquakes, the fifteen span continuous box girder bridge was designed and constructed based on the seismic dampering design, a method that uses rubber bearing supports to absorb energy vibration. This report presents an outline of the seismic dampering design and construction work on the bridge.

Key words : the seismic dampering, large-scale form work launching girder, bearing adjustment work

1. はじめに

京都府縦貫自動車道は、宮津市と久世郡御山町を結ぶ高規格幹線道路（一般国道478号の自動車専用道路）であり、その一部を構成する綾部宮津道路は、綾部市と宮津市を結ぶ延長約25kmの道路である。本工事は、その建設工事の一環として、綾部市金河内町から坊口町に計画された志賀郷高架橋（綾部 5 号橋）の上部工を施工したものである。

本橋は、橋長697mのPC橋梁であるが、国内の強震地帯に位置していることから、免震装置（免震支承）を用いて耐震性を向上させる構造型式を採用している（図1、2参照）。

橋長697mのうち、PC15径間連続桁橋部（P2～A2、596m）に免震設計を採用しており、免震橋梁としては日本最大級の規模である。

また、施工方法については、PC2径間ラーメン橋部（A1～P2、101m）は梁・支柱式支保工で、PC15径間連続桁橋は大型移動式支保工にて施工した（写真1参照）。

本報告は、PC15径間連続桁橋に免震装置を採用した免震設計および、その施工概要について述べるものである。

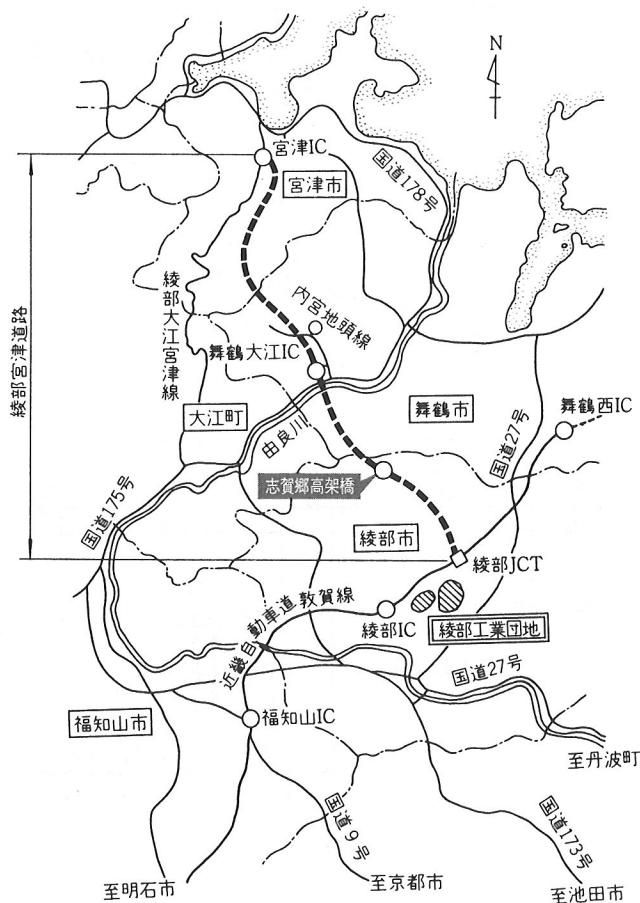


図1 架橋位置図

2. 工事概要

工 事 名：京都縦貫自動車道（綾部宮津道路）

橋梁新設工事（補助）綾部5号橋（上部工）

工事期間：平成6年12月13日～平成9年3月25日

工事場所：京都府綾部市金河内町～坊口町内

発 注 者：京都府道路公社

橋 長：697.000m

支 間 長：39.000m+13@39.800m+38.000m

有効幅員：10.250m

平面線形： $R=700\text{m}\sim A=350\text{m}$

縦断勾配： $-3.0\%\sim+4.0\%$

横断勾配： $-4.0\%\sim+0.45\%$

活 荷 重：B活荷重

構造形式：PC2径間ラーメン橋，PC15径間連続桁橋

主要材料：表1参照



写真1 施工状況

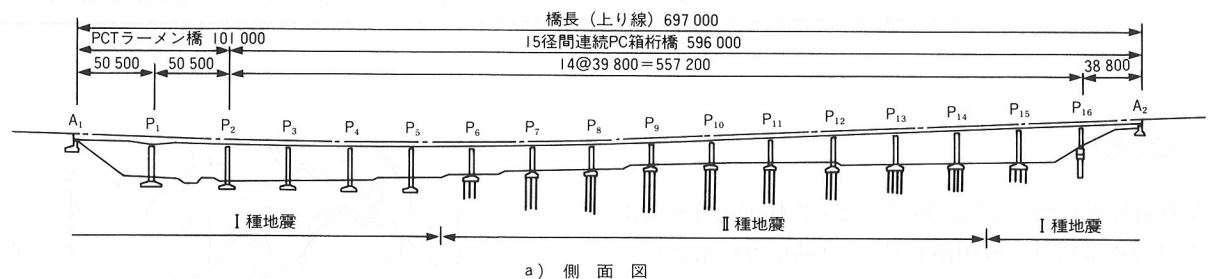
表1 主要材料

工 種	種 別	細 目	仕 様	単位	数量
上部工	主桁工	コンクリート	$\sigma_{ck}=350\text{kg/cm}^2$	m ³	5468
		PC鋼より線	SWPR7A12T12.4	t	116
		PC鋼より線	SWPR7A12T15.2	t	28
		PC鋼線	SWPR1 12φ7	t	58
		PC鋼線	SWPR930/1180φ32	t	6
		鉄 筋	SD295A	t	573

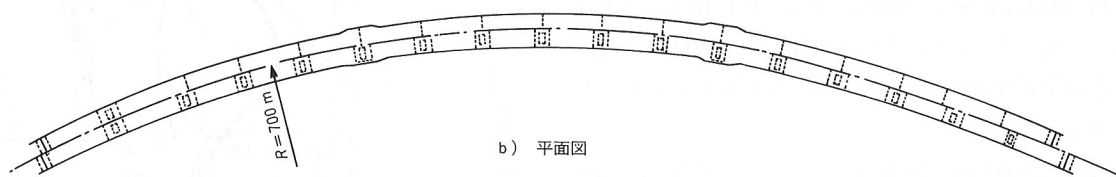
3. 免震設計

(1) 設計方針

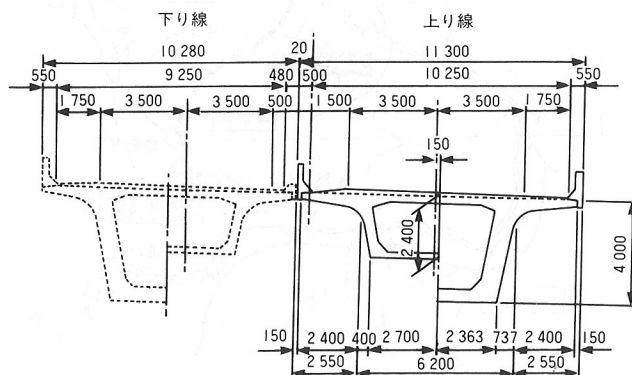
免震設計においては，免震装置は地震力を低減するた



a) 側面図



b) 平面図



c) 断面図

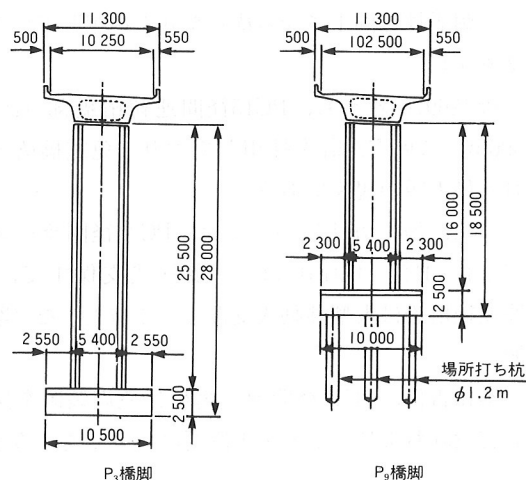


図2 全体一般図 (mm)

表2 固有周期・設計水平震度

		橋軸方向		橋軸直角方向	
		固有周期 (sec)	設計水平 震度	固有周期 (sec)	設計水平 震度
震度法	非免震	0.74	0.25(0.20)	0.72	0.25(0.20)
	免震	1.56	0.22(0.16)	1.51	0.23(0.15)
地震時保有 水平耐力法	非免震	0.89	0.85(0.70)	1.02	0.85(0.70)
	免震	1.97	0.74(0.56)	2.03	0.73(0.35)

注) () 内はI種地盤, () 外はII種地盤を示す。

めに重要な構造要素であり、関東大震災級の大地震に対しても十分な機能を保持する必要があることから、免震装置は「建設省・道路橋の免震設計法マニュアル(案)」(以下、マニュアル(案)と称す)に従い、震度法と地震時保有水平耐力法を併用して設計した。

免震設計は、支承部に免震支承を用い、橋の固有周期の増大と減衰性能の向上により慣性力の低減を図るものであるが、本設計では「マニュアル(案)」の「はじめに」に従い減衰効果は期待しないこととした。

橋を長周期化することによって、橋に作用する慣性力の低減を図るとともに、地盤と橋との共振を避けるために、免震装置を用いた場合(免震)の固有周期は、免震装置を用いない場合(非免震)の固有周期の2倍程度を目標とした。また、橋の固有周期を過度に長周期化させることは、上部構造の地震時変位を増大させ、伸縮装置の設計に困難な問題を発生させるため、震度法レベルの橋の固有周期を1.5秒程度になるようにした(表2参照)。

(2) 免震装置の設計

免震装置として使用した高減衰積層ゴム支承は、水平荷重と水平変位の関係が非線形な特性を示し、この履歴復元特性はバイリニア型にモデル化することができる。免震設計では、これを等価線形化法に置き直して設計した。免震装置の設計水平震度は、震度法レベルでは「道示」に従って設計しているが、地震時保有水平耐力法レベルでは「マニュアル(案)」に従い、減衰効果を期待することとし、設計水平震度を低減している($C_e=0.7$)。

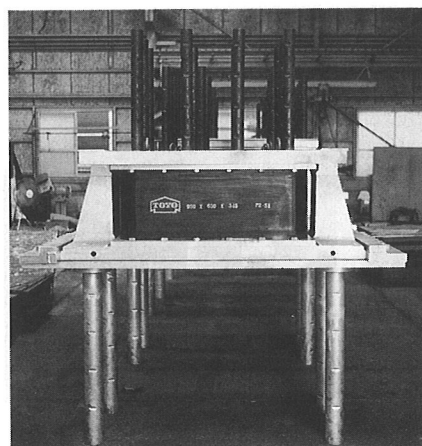


写真2
免震支承

表3 免震支承の計算結果

	P2橋脚	P5橋脚	P9橋脚	P14橋脚	A2橋台
平面形状	63×63	123×123	123×123	123×123	93×93
コーナー部の曲率	9.0	19.0	19.0	19.0	9.0
有効断面積	5.8m ²	14.82m ²	14.82m ²	14.82m ²	5.8m ²
ゴム厚 (cm)	1.8×13	3.2×6	2.9×5	3.2×5	1.8×13
鋼板厚 (cm)	0.32×12	0.45×5	0.45×4	0.45×4	0.32×12
基数	2	2	2	2	2

また、すべての橋脚について地盤種別をII種地盤としている。

本橋梁は橋脚高が変化していることと、基礎形式が異なっていることなどから、9タイプの形状の免震支承を使用して地震時水平力の分散を図っている。なお、支承の設置方向は平面線形の接線方向とし、拘束条件は両端部のP2橋脚とA2橋台の直角方向を非免震とし、他はすべて免震化した。本橋梁に用いた代表的な免震支承の荷姿および計算結果を写真2および表3に示す。

4. 高減衰ゴム支承の特性確認試験

(1) 試験の目的

「マニュアル(案)」のなかに、免震支承の特性確認試験方法が示されている。これまで多くの免震橋が施工されたが、示された試験をすべて実施したとの報告はないため、今回すべての試験を実施し、高減衰積層ゴム支承の特性を把握することを目的として行った。

(2) 供試体

「マニュアル(案)」では、試験条件の中に加振周波数について規定がなされている。しかし、加振周波数は、試験機の能力により可否が決定されるため、後述する試験装置に応じた供試体を作成し、かつ実物大においても

表4 試験装置の能力

		試験体A	試験体B
最大鉛直荷重	tf	2 000	20
最大水平荷重	tf	±400	±5
最大水平変位	mm	500	200
最大加振速度	mm/s	3.7	60

表5 供試体形状

			供試体A (実物大)	供試体B	供試体C
橋軸寸法	a	mm	1 250	100	520
橋直寸法	b	mm	1 250	100	520
コーナー	r	mm	200	20	100
ゴム厚	t_e	mm	34	2.5	13.8
層数	n		5	5	5
皮膜ゴム	t_c	mm	10	2	10
形状係数	S		9.04	9.60	9.06
縮小率			1/1	1/12.5	1/2.4

試験装置の能力限界内で行える範囲のものを実施した。
使用した供試体の能力、製作した供試体形状をそれぞれ表4、5に示す。

(3) 13項目の試験内容

実施した試験項目を表6に示す。

(4) 試験結果概要

a) 等価剛性・等価減衰定数

ひずみ率50~100%に対して、実測値は、等価剛性が-8~-4%，等価減衰定数が+10~0%となり、いずれも判定基準(±10%)以内に収まった。図3に供試体Aの150%ひずみ時のP-δ曲線を示す。

表6 実施試験項目

	試験内容	使用供試体
①	等価剛性、等価減衰定数の確認試験	A・B
②	保有水平耐力法時設計変位による50回正負繰返し 載荷試験	A・B
③	残留変位確認試験	C
④	繰返し載荷に対する安定性試験	A・B
⑤	履歴経路に対する安定性試験	A・B
⑥	支圧応力度の変化に対する安定性試験	A・B
⑦	変形速度の変化に対する安定性試験	B
⑧	静的予変位に対する安定性試験	A・B
⑨	温度変化に対する安定性試験	B・C
⑩	温度変化に伴う常時の水平繰返しに対する耐久性 確認試験	B
⑪	クリープ性能試験	B
⑫	-10℃と+40℃時の等価剛性確認試験	B・C
⑬	緩速変形による水平反力特性実験	A

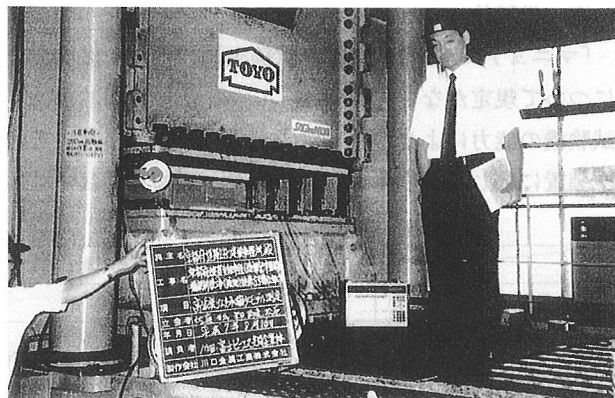


写真3 確認試験状況

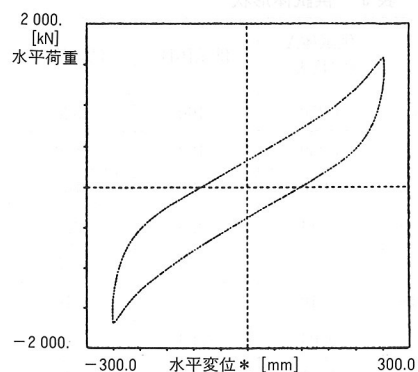


図3
P-δ曲線
(供試体A)

b) 緩速変形

緩速変形については判定基準が規定されていないが、ひずみ率12.5から50%での水平力緩和率の設計値との比率は、-8~+1%であった。

5. 施工

(1) 大型移動式支保工 (写真4参照)

本工事の大型移動支保工の特徴としては、第1径間より移動支保工にて施工するために後方支点がTラーメン支点部に当たるP2橋脚上に、特殊な仮支柱を設けた。また、移動ステップも通常移動状態(ローラーおよび車輪)に入るまではステンレス板とテフロン板による滑り移動とした。

スパンが40mと長いため、2本の主梁(メインガーダー)のたわみを小さくし、型枠の上げ越し管理を容易にするため、 $H=2.5\text{m}$ の箱型断面とした。平面線形が $R=700\text{m}$ であり、メインガーダーが直線のため、全体のシフト量の1/2を移動前、残り1/2は移動後に行う方法とした。

移動作業時の重量を小さくする目的と、平面線形および縦横断の変化に対応して側型枠の調整をスムーズに行うため、主桁型枠を長さ4mのメタルフォーム一体構造とし、支保工移動時は地上へ降下仮置きし、移動後再び吊り上げ組立する方法を採用した。

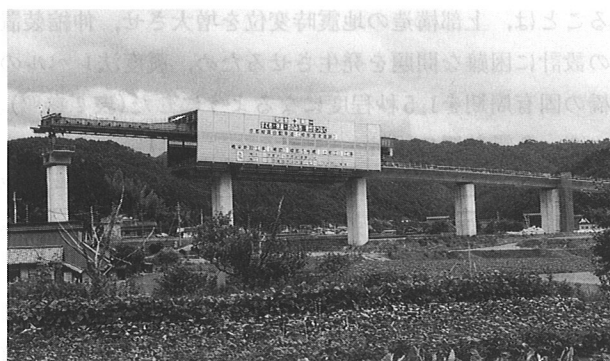


写真4 大型移動支保工

(2) 柱頭ブロック (写真5参照)

移動支保工の中間支点となる場所で、コンクリート打



写真5 柱頭ブロック

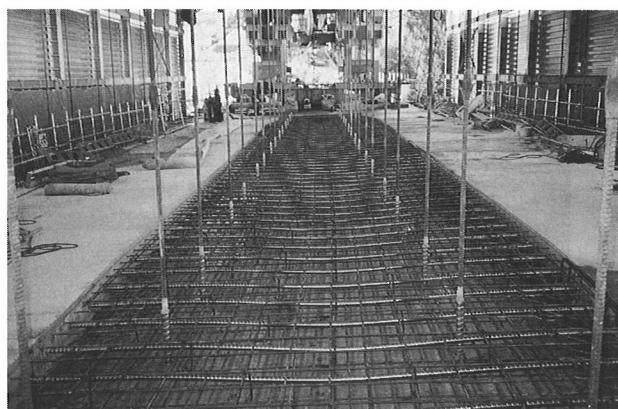


写真6 断面分割施工状況

設時の最大反力は約1200tと大きくなるため、柱頭ブロックを4.5m場所打ちにて先行施工することとした。

(3) 主桁型枠

側型枠および底枠は平面線形に対応するため長さ4mの分割点に調整型枠を挿入し、内型枠は組立・脱型作業の省力化を図るため2～3mのメタルフォーム製とし、脱型後は後方橋面上へフォークリフトにて移動管理することにした。

(4) コンクリート打設

1径間のコンクリート量は柱頭ブロックで約55m³、1次コンクリート約200m³、2次コンクリート約45m³である。全断面同時打設することによる箱桁内の作業環境の悪さを改善する目的で、1次・2次コンクリートと分割施工することで対処した(写真6)。

(5) 施工工程

移動支保工の標準サイクル工程を表7に示す。

6. ポストスライド工法

(1) ポストスライド概要(図4参照)

本橋は連続支間長594.4mの多径間連続橋であり、クリープ・乾燥収縮により生じる支承のせん断変形が大きく、そのままでは下部工に常時大きな水平力が作用することになる。これを緩和させるために施工終了時に下沓

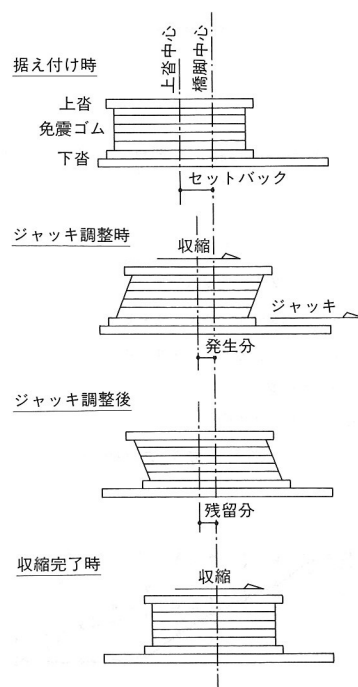


図4 ポストスライド方式

を移動させるポストスライド工法を採用した。

(2) 変位計測結果

今回採用したポストスライド工法では支承変形量の管理が重要となるため、施工起点側の半分の橋脚に対して支承変位量の自動計測を行った。センサの設置位置図を図5に示す。

計測は橋軸方向の変位と主桁温度を中心としたが、本橋が $R=700\text{m}$ の平面曲線を有するため、橋軸直角方向の変位にも着目した。

また、クリープ・乾燥収縮度の進行度を別の観点から判断する材料を得るため、図のA部にはひずみ計・有効応力計・無応力計を埋設し、直接クリープ・乾燥収縮ひずみを計測した。

写真7に変位計測用のセンサ取り付け状況を示す。自動計測は、第2径間(P3～P4)施工時から開始し、

表7 移動式支保工標準施工サイクル

	1	2	③	4	5	6	7	8	⑨	⑩	11	12	13	14	15	16	⑰	18	19	20	21
底版・側枠組立調整																					
鉄筋・シース組立(1次打設)																					
内型枠組立(1次打設)																					
コンクリート打設(1次打設)																					
養生																					
内型枠脱型(1次打設)																					
上床版型枠組立(2次打設)		休							休	休							休				
上床版鉄筋・シース組立(2次打設)		日							日	日							日				
コンクリート打設(2次打設)																					
支保工支柱・レール基礎コンクリート打設																					
プレストレス導入																					
型枠解体・運搬・仮置き																					
支保工移動																					

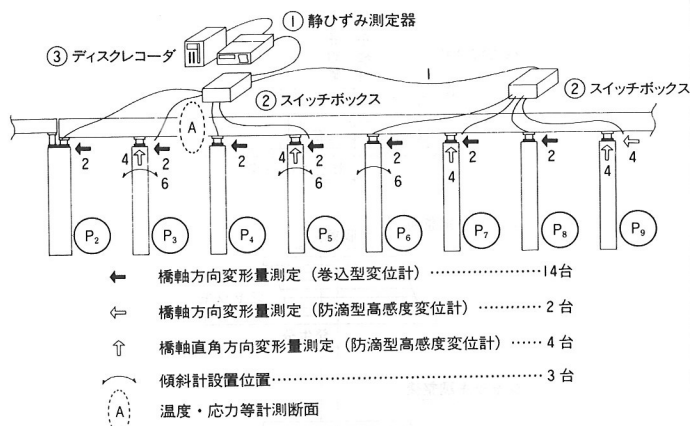


図5 センサ位置図

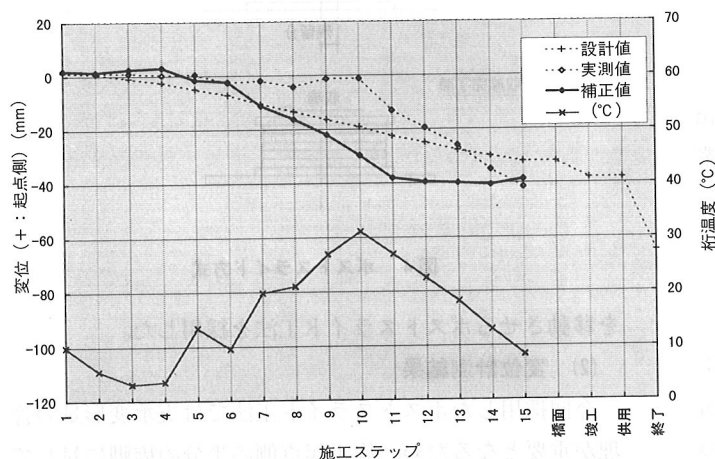


図6 P3橋軸方向変位の計測結果

表8 ポストスライド量

	P2	P3	P4
設計値	102.4	65.0	49.9
基-セット	-13.4	-9.5	-7.7
調整量	89.0	55.5	42.2

注) 基-セットは、設計温度 (15°C) と支承据付け時温度との差を考慮した値である。

施工終了時まで行った。図6にP3橋軸方向変位を施工ステップ単位で計算値と比較した結果を示す。

ここで、ウェブ中心の温度を×印、左右の支承変位の平均値を◇印、温度補正を行ったものを◆印、計算値を+印のプロットとしている。温度補正を行った実測値は、計算値とほぼ同様の傾向を示しているのが分かる。なお、自動計測は4時間ごとに行っているが、主桁断面内の温度分布が安定している早朝のものをその日の代表値とした。また他の支承についても同様の結果が得られた。

橋軸直角方向変位は、わずかに円中心方向に移動している傾向が見られたが、2～3mm程度であるため問題となる数値ではないと判断した。橋脚の傾斜についても、計算値とほぼ同様の結果が得られた。

なお、計測結果より設計値と実移動量はほぼ一致すると考えられるため、ポストスライド量は、施工終了時の残移動量に支承据え付け時温度と設計温度 (15°C) を補

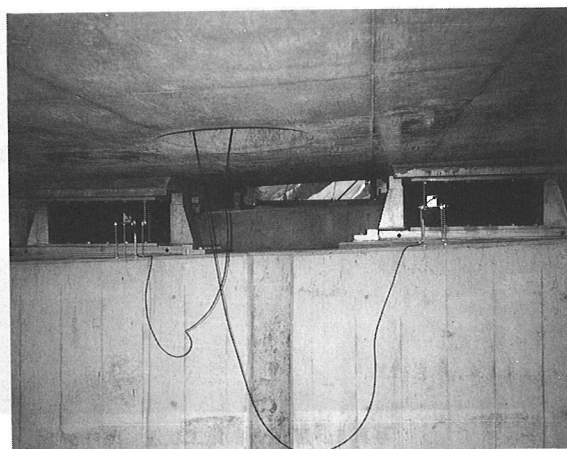


写真7 センサ取り付け状況

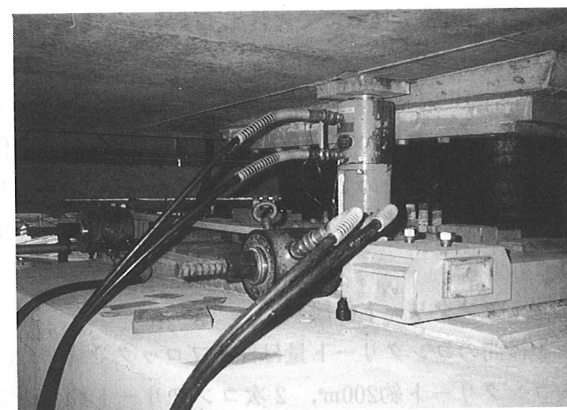


写真8 ポストスライド施工状況

正した値とした。ポストスライド量を表8に示す。

(3) 作業結果

ポストスライド作業は、1支承当たり端支点部で230t、中間支点部530tの死荷重反力が生じているため下沓とベースプレート間のテフロンパウダーにて摩擦力を低減させる方法を採用した。これにより端支点部では、初期荷重30t、スライド時20～50t、中間支点部では、初期荷重50t、スライド時30～90tの水平荷重であった。しかし、一部漏水による原因で摩擦力が切れにくい支承があった。完全な漏水対策がこれからの課題であるといえる (写真8参照)。

7. おわりに

本橋は、平成9年3月に無事竣工した。本橋の設計施工にあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 神・堀田・佐藤・林・青木：綾部5号橋 (仮称) の設計、橋梁と基礎、95-9, pp.19～27.
- 2) 井爪・坂井・藤木・吉岡：綾部5号橋の設計・施工、第6回プレストレストコンクリートシンポジウム, pp.29～34.