

(6) 綾部5号橋の設計・施工

京都府道路公社	建設事務所建設第一課	井爪智則
川田建設 (株)	大阪支店工事部工事課	正会員 ○坂井秀男
(株) 富士ピーエス	大阪支店工務部工事課	正会員 藤木和敏
川田建設 (株)	大阪支店工事部工事課	正会員 吉岡勝彦

1. はじめに

京都縦貫自動車道は、宮津市と久世郡久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～坊口町に計画された綾部5号橋（仮称）上部工を施工するものである。

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、免震装置を用いて耐震性を向上させる構造形式を採用している（図-1、2参照）。

橋長697mの内、PC15径間連続桁橋部（P2～A2、596m）に免震設計を採用しており、免震設計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ている（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について述べるものである。

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10日
工事場所	京都府綾部市金河内町～坊口町地内
発注者	京都府道路公社
橋長	697.000m
支間長	2@49.650m 39.000m+13@39.800m+38.000m
有効幅員	10.250m
平面線形	R=700～A=350
縦断勾配	-3.0%～+4.0%
横断勾配	-4.0%～+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

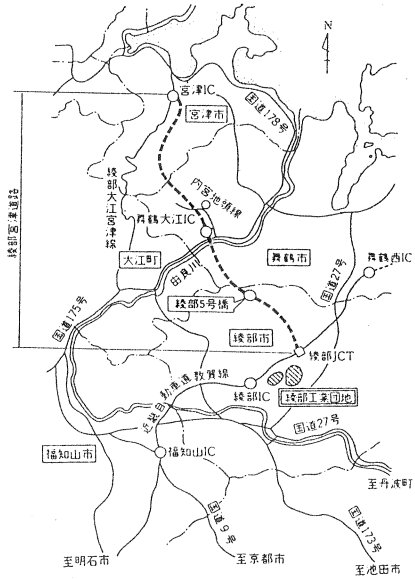


図-1 架橋位置図

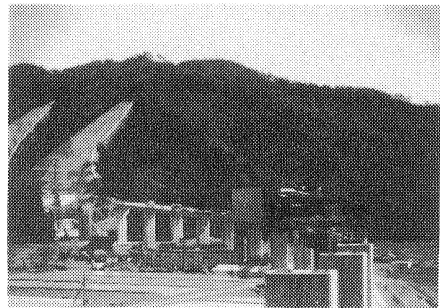


写真-1 施工状況

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	φck=35N/cm ²	m ³	5,468
		PC鋼より線	SWPR7A 12T12.4	t	116
		PC鋼より線	SWPR7A 12T15.2	〃	20
		PC鋼線	SWPR1 12φ7	〃	58
		PC鋼棒	SBPR930/1180 φ32	〃	6
		鉄筋	SD295A	〃	573

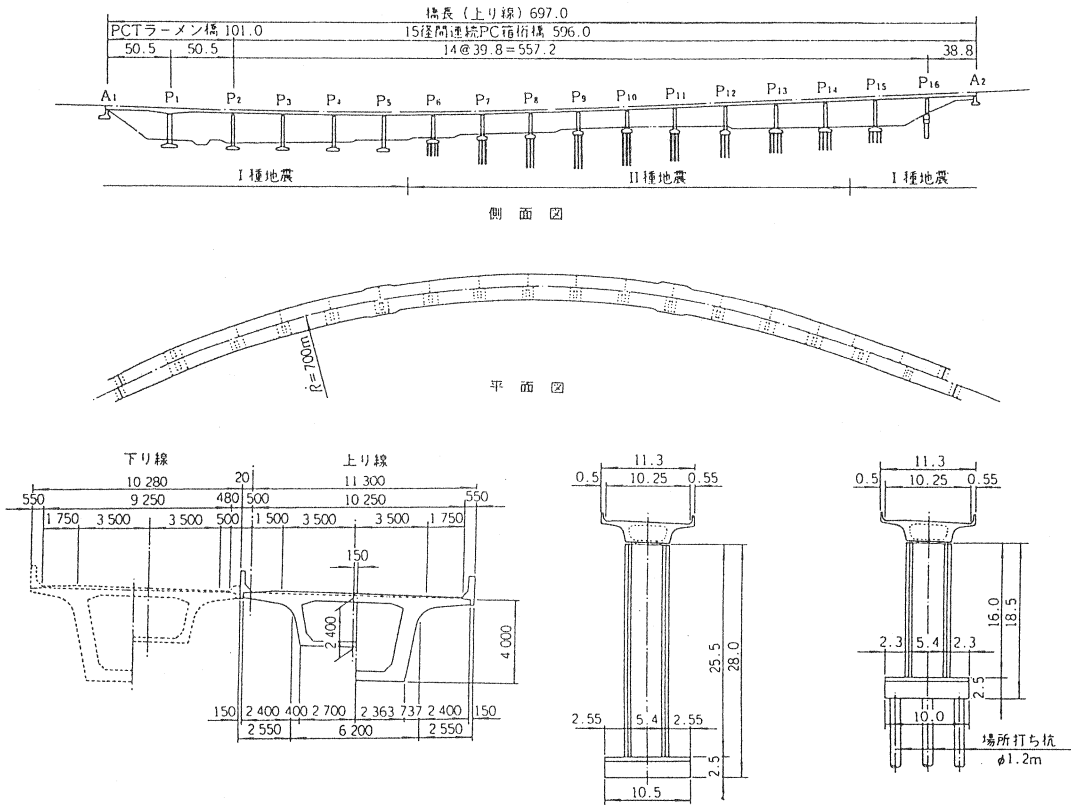


図-2 全体一般図

3. 免震設計¹⁾

3-1 設計方針

免震橋においては、免震装置は地震力を低減するた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、支承部に免震装置を用い、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1.5sec程度になるようにした(表-2参照)。

なお、主桁のクリープ乾燥収縮は免震支承に予備せん断変形を与えることで軽減させるが、クリープ乾燥収縮の推定値の不確実性を考慮して50%が残留するものとして設計した。

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(0.16)
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(0.55)

注) ()内はI種地盤、()外はII種地盤を示す。

3-2 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(Ce=0.7)。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。

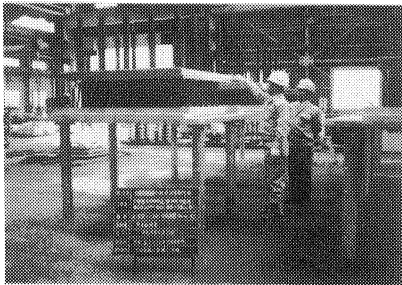


写真-2 免震支承

表-3 免震支承の計算結果

特性値	P ₂ 橋脚	P ₃ 橋脚	P ₉ 橋脚	P ₁₂ 橋脚	A ₂ 橋台
平面形状	63×93cm	123×123cm	123×123cm	123×123cm	63×93cm
コーナー部の曲率	9.0cm	19.0cm	19.0cm	19.0cm	9.0cm
有効断面積	5789cm ²	14819cm ²	14819cm ²	14819cm ²	5789cm ²
ゴム厚	1.8cm×13層	3.2cm×6層	2.9cm×5層	3.2cm×5層	1.8cm×13層
鋼板厚	0.32×12枚	0.45×5枚	0.45×4枚	0.45×4枚	0.32×12枚
基数	2	2	2	2	2

4. 高減衰ゴム支承の特性確認試験

4-1 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され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。

4-2 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。使用した試験装置の能力、製作した供試体形状をそれぞれ表-4、5に示す。

表-4 試験装置の能力

		試験機A	試験機B
最大鉛直荷重	tf	2000	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/sec	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	1250	100	520
橋直寸法	b	mm	1250	100	520
コーナー	r	mm	200	20	100
ゴム厚	te	mm	34	2.5	13.8
層数	n		5	5	5
被覆ゴム	tc	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

4-3 13項目の試験の内容

実施した試験項目を表-6に示す。

4-4 試験結果概要

(1) 等価剛性・等価減衰定数

ひずみ率50~150%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。

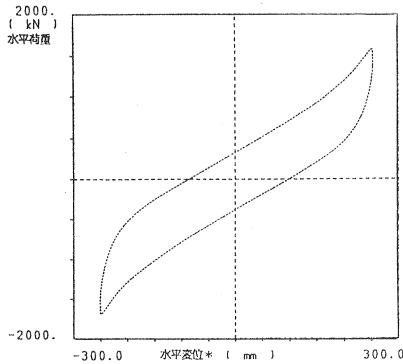


図-3 P-δ曲線(供試体A)

(2) 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12.5~50%での水平力緩和率の設計値との比率は、-8~+1%であった。

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回正負繰り返し載荷試験	A・B
③ 残留変位確認試験	C
④ 繰り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り返し変位に対する耐久性確認試験	B
⑪ クリープ性能試験	B
⑫ -10°Cと+40°C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試験	A

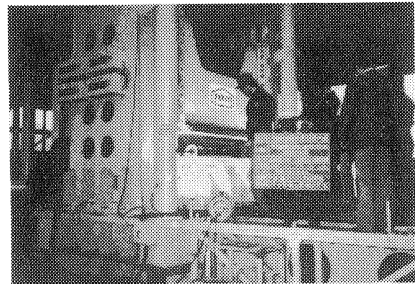


写真-3 確認試験状況

5. 施工

5-1 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、第一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)のタワミを小さくし、型枠の上げ越管理を容易にするため、H=2.5mの箱形断面とした。平面線形がR=700mとあり、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、平面線形及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のメタルホーム一体構造とし、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。

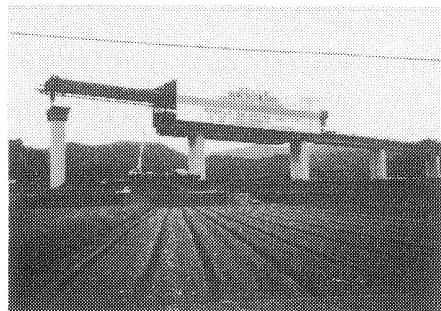


写真-4 大型移動支保工

5-2 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、柱頭ブロックを主桁全断面で4.5m場所打ちにて先行施工することにした。

5-3 主桁型枠

側型枠および底板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、横断変化に対しては型枠の回転およびスライド構造とした。内型枠は組立、脱型作業の省力化を図るため、2~3mのメタルホーム製とし、脱型後は後方橋面上へホークリフトにて移動管理することにした。

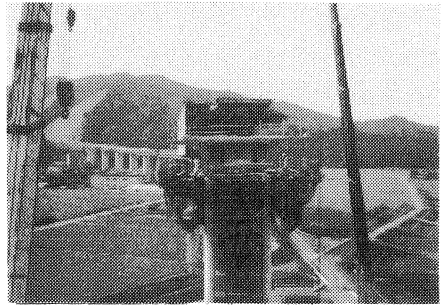


写真-5 柱頭ブロック

5-4 コンクリート打設 (写真-6 参照)

1径間のコンクリート量は柱頭ブロック約55m³、一次コンクリート約200m³、二次コンクリート約45m³で合計約300m³である。全断面を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、一次・二次コンクリートと分割施工することで回避した。

5-5 施工工程

移動支保工の標準サイクル工程を表-7に示す。

表-7 移動支保工標準サイクル工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
橋脚・橋の組み立て																						
基礎コンクリート打設(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																						
内型枠撤去(1次打設)																						
上層型枠組立(2次打設)																						
上層コンクリート打設(2次打設)																						
コンクリート打設(2次打設)																						
多層養生シート敷設(コンクリート打設)																						
プレストレスト筋入																						
型枠撤去、運搬、設置																						
完成工事																						

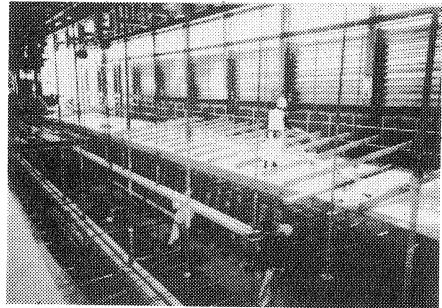


写真-6 断面分割施工状況

5-6 免震支承の施工

本橋は連続支間長594.4mの多径間連続桁橋であり、クリープ乾燥収縮等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。これを緩和するために、当初計画ではあらかじめ支承に逆方向のせん断変形を与える予備せん断方式が計画されていたが、今回の施工では先に変形を与えず、構造完成後に下沓を移動させるポストスライド方式を採用した。

ポストスライド方式の施工手順を図-4に示す。まず、支承据え付け時に支承中心をこの移動量分だけ橋脚中心に対してセットバックしておく。構造完成後までに発生した移動量から最終的な移動量を推定し、下沓部をジャッキにてスライドさせ固定する。これにより、クリープ乾燥収縮が完了した時点には支承は直立し、せん断変形していない状態になるとともに、下部工に対する偏心も無くなる。

移動量が最も大きくなる施工起点側のP2橋脚の場合、109mmのセットバックに対して、構造完成時までには約43%の47mmの収縮が生じ、ポストスライド工を行った時点では約67%の62mmのせん断変形が残留する。

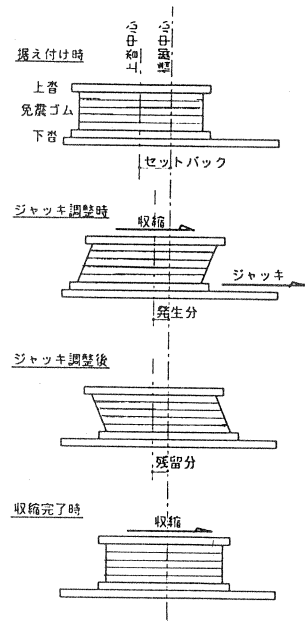


図-4 ポストスライド方式

6. 支承変位計測

今回採用したポストスライド方式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ている。センサーの設置位置図を図-5に示す。

計測は橋軸方向の変位と主桁温度を中心としているが、本橋がR=700m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ている。

また、クリープ乾燥収縮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ている。

写真-7に変位計測用のセンサーの取り付け状況を示す。

自動計測は第2径間(P3~P4)施工時から開始しており、現在も計測を継続中である。中間報告として、図-6にP3橋脚の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。

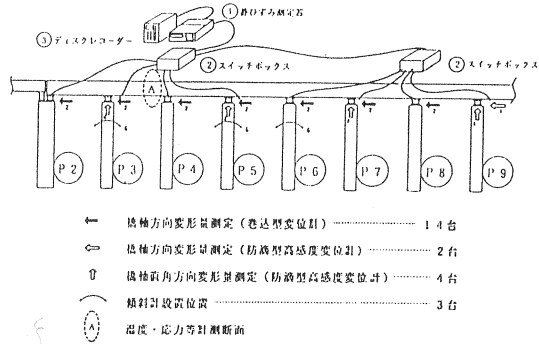


図-5 センサー位置図

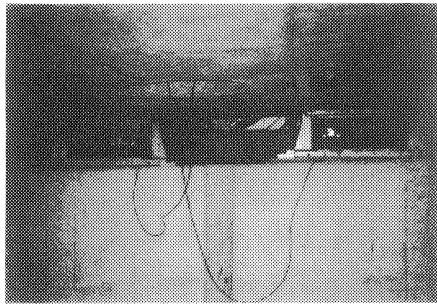


写真-7 センサー取り付け状況

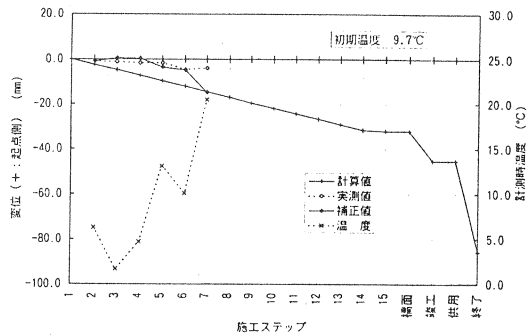


図-6 P3軸方向変位の計測結果

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、計算値と同様の傾向を示しているが、径間数の増加とともに温度の影響が大きくなっていることがわかる。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、橋軸直角方向変位と橋脚の倒れについては、現在までのところほとんど生じていない。なお、最終的な計測結果については、別の機会に報告したいと考えている。

7. あとがき

現在施工中である多径間連続桁形式の綾部5号橋の設計施工について、免震支承を中心に報告した。本橋は多径間連続桁形式としては日本で最大級の規模のものであり、耐震性の向上を図るために高減衰ゴム支承を用いた免震設計を行っている。今回の施工では、ポストスライド方式を採用し、支承変位の自動計測を行い、計測結果を施工に反映させることで、管理の合理性・信頼性を向上させることを目指している。

本工事は、平成9年3月の竣工まで約8ヶ月を残すところであり、施工は最盛期を迎えている。最後に、本橋の設計施工にあたり多大なるご指導・ご尽力を頂いた関係各位に紙上をお借りして感謝の意を表す次第です。

[参考文献] 1) 神・堀田・佐藤・林・青木: 綾部5号橋の(仮称)の設計, 橋梁と基礎, 95-9, P.19~27