

猪名川第2橋梁の計画概要

大阪第二建設部 調査課 加藤 幹夫
同 部 同 課 南 荘 淳

まえがき

阪神高速道路大阪池田線（延伸部）に建設される猪名川第2橋梁は、橋長約400mの2径間連続PC斜張橋で計画されている。

欧米においては近年、大規模なPC斜張橋が幾つか建設されるようになってきたが、わが国ではまだ小規模なものしか実績がない。また本橋は、河川に対して24度の斜角で渡河するため、橋脚構造が複雑になり、設計、施工上難しい問題が生ずる。

このようなことから、57年度より2年間にわたって、主として長大PC斜張橋を設計する上での基本的な問題点の抽出と、それらに対する基礎的な調査検討を実施してきた。

本報告は、橋梁計画の経緯と、上記の調査検討結果の概要について取りまとめたものである。

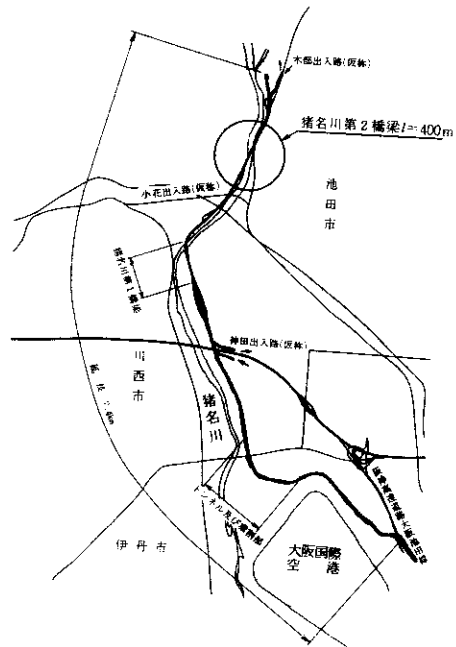


図-1 路線計画ルート図

1. 架橋地点の概要

阪神高速道路大阪池田線（延伸部）は、図-1に示すように現在の空港線の豊中市蛍池西町から分岐して大阪国際空港に向かい、伊丹市の下河原地区を経て池田市、川西市の猪名川沿いを北上し、池田市木部町にて国道173号に連絡する幅員18m、延長7.4kmの路線である。

本路線には、大阪府池田市と兵庫県川西市の府県境を流れる一級河川淀川水系猪名川を渡河する箇所、2つの長大橋梁が計画されている。

猪名川第2橋梁はこのうち上流側の橋梁であり、河川を約24度という斜角で横断するため、河川幅

（98m）に比べて非常に長い橋長となる。また河川管理用通路（6m）を所定の位置に確保できるように端橋脚を設置することが制約条件となるため、橋長は約400mとなる。なお、架橋地点は河川改修が並行して行われるため、工程面で河川工事との調整を図る必要がある。

次にこの付近は五月山公園の直下であり、住宅地域も隣接するため、特に景観面、環境面への配慮が必要となる。

一方、既存資料やボーリング調査の結果によれば、図-2に示すとおり架橋地点の地質はGL-

1.0 m以深より基盤岩である古生層（丹波層群）が分布し、主として粘板岩と一部砂岩から成っている。しかしこの古成層はGL-8.0 m付近まで風化が進み土砂化しており、さらにGL-25mまでは著しく破碎・軟質化した状況を示している。これはこの部分の丹波層群が、架橋地点の南側に位置する一般の活断層である有馬-高槻構造線と、北から西にかけて位置する五月山断層に挟まれたせん裂帯にあり、著しい断層作用により破碎されたものと考えられる。

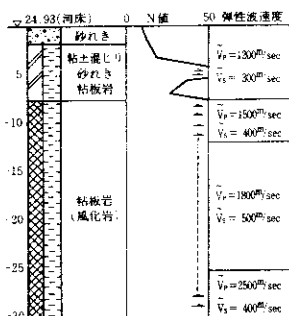


図-2 地質柱状図

2. 橋梁形式の検討

2-1 上部工形式の検討

支間割などの条件から適用可能な上部工形式を検討した。

経済性では、工事費だけを比較すると鋼斜張橋が有利であるが、維持費を含めたトータルコスト、遮音壁設置の可能性、景観、維持管理、環境面への配慮などの観点から、2径間連続PC斜張橋を採用した。

2-2 基礎工形式の比較

河川内橋脚の基礎については、表-1に示すように種々の基礎工形式が考えられるが計画河床面付近から設計上の支持地盤とみなせる地層となっており、直接基礎でも設計可能であるが、施工時の河川占用をできるだけ小さくし、短期間にする必要があるため、大口径深礎形式で検討している。

2-3 主桁の断面形状

主桁の断面形状としては、ホロースラブ、2主桁、箱桁断面などの実績がある。これらは橋梁の

表-1 河川内橋脚基礎工形式比較表

形式	直接基礎	4本深礎	オープンケーソン	大口径深礎
形状寸法				
概略数量	フォーチングコンクリート 5400m ³	フォーチングコンクリート 3700m ³ 深礎コンクリート 2900m ³	オープンケーソン 6200m ³ 頂版コンクリート 1100m ³	大口径深礎コンクリート 6200m ³
工事費 (仮設費含む)	546,000千円	585,000千円	563,000千円	610,000千円
工期	1.5年(1.5乾水期)	2.5年(2.5乾水期)	2年(2乾水期)	1.0年(1乾水期)
施工中の 河川占用	河川断面方向で36mの築島	河川断面方向で31mの築島	河川断面方向で26mの築島	河川断面方向で26mの築島
施工上の問題	工期は比較的短く、かつ安定しているが河川占用、大きくなる。フォーチングが分割施工となるので構造的にむづかしい。	工期が最も長くなりまた河川占用も大きくなる。深礎の掘削が水中のため困難。	沈没が地質によって不安定となることから工期が長くなる恐れあり。2期目の沈下が困難と思われる。	土留杭で締切った後掘削するので工期が短くかつ安定している。また、河川占用は少なくて済む。
評価	△	X	△	○

種別、規模、幅員構成、ケーブルの配置などに関連して決まるものであるが、特に長大橋においては、耐風安定性を重視しなければならない。本橋梁では次の理由から図-3に示すとおり、1箱桁断面を選定している。

- ①一般高架部が1箱桁タイプの断面であるため、景観面からの調和から同タイプが望ましい。
- ②斜角ピアの影響が大きいのでねじり剛性の大きい箱桁が望ましい。
- ③長大橋であるため、耐風安定性の優れた箱桁が有利である。

次に桁高は実績などを参考にして、支点上付近 $H = 3.5\text{ m}$ ($H/\ell \doteq 1/110$)、標準部 $H = 2.8\text{ m}$ ($H/\ell \doteq 1/140$)と設定したが、今後さらに桁高、腹板の傾斜角、張出し床版先端部形状、高欄、遮音壁形状などについて、風洞実験の結果などに基づいて検討する必要がある。

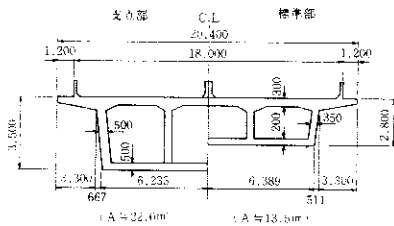


図-3 主桁形状

2-4 主塔形状

主塔形状は斜材の配置方法と密接な関係にあるが、一般的には図-4に示すとおり①独立1本柱、②独立2本柱、③H型柱、④逆Y型柱に分類できる。このうち①、②は当橋梁では、規模的に、幅員構成上適当でないので、③または④となる。

一般的には、構造面では逆Y型が、施工面ではH型が有利といえるがその差はわずかであり、本

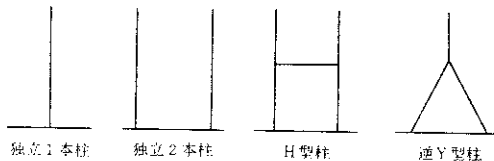


図-4 主塔形状

橋梁では、景観検討の結果、逆Y型が望ましいと考えられる。

主塔高は、全体的なバランス、主塔上の定着構造などから考え、主塔高 $h = 90\text{ m}$ とした。

2-5 斜材の配置および材料

斜材の配置は主塔形状と密接な関係があるが、主塔を逆Y型とした場合、定着構造の大きさなどを考慮すると交差2面吊ファンタイプとなる(図-5参照)。

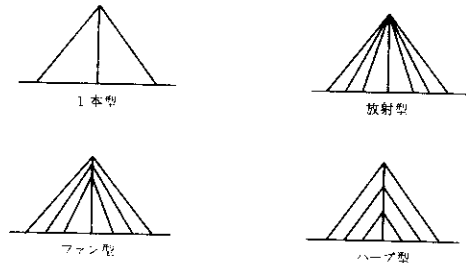


図-5 斜材配置

さらに、このような長大橋梁に対しては、定着部の構造スペース、1段あたりの斜材構成のバランス、桁高に対する影響、施工時のワーゲンの能力、耐震上の有利さなどを考慮して、15段のマルチケーブル方式としている。

材料についてはPC鋼より線、PC鋼線 ($\phi 7\text{ mm}$)、PPWS ($\phi 5\text{ mm}$ 亜鉛メッキ鋼線) が施工実績からみて一般的である。これらを比較したものを表-2に示す。

どれを用いるかについては今後詳細な検討が必要であるが、プレハブ化されたPC鋼線は施工性

表-2 平行線ストランド比較表

ケーブルの名称	P C 鋼より線	P C 鋼線	PPWS
施工法	現場で束ねる	プレハブ化されたもの	プレハブ化されたもの
材料	2WPC鋼線 2mm-15 鋼線	φ7mm 平行鋼線	φ5mm 亜鉛メッキ鋼線
定着部	プレキャストコンクリート	自由及び他	等長鋼線及びきりばみ
断面構成	61-φ15.0mm	1-φ7mm×255	3-φ5mm×271
施工法	現場で鋼線またはステンレス管の束を1本づつ束ねて束定するの連続工法による	プレハブ化されているので施工性	左記の他に、高欄が適合しやすいため、鋼線が適合しやすいため、鋼線が適合しやすいため
材料	ブラスと亜鉛	亜鉛	亜鉛メッキ
製造国	Brasope、フランス、Latta、日本	East-England、France-Kanawick 製	大和川、かもめ建設
評 価			鋼線強度が多数

が有利でありケーブル1段当り1ストランドで可能なため、当面これを用いるとして計画を進めている。

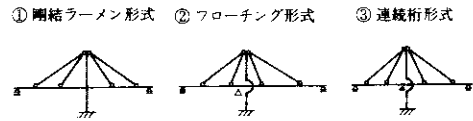


図-6 支承形式

2-6 支承条件

支承条件については次の3タイプ(図-6)が考えられるが、③の連続桁形式は規模的に中間支承の設計が困難なこと、力学的に①のタイプと同等であることから、①と②について比較検討を行

った。

結果を表-3に示すが、中間支点付近の構造が簡素になること、外的に本橋は静定構造物であること、斜角が急なため耐震上オールフリーにする

表-3 剛結ラーメン形式とフローティング形式との比較表

項目	剛結ラーメン形式	フローティング形式
構造系		
主桁	支点上に負の曲げモーメントが発生するため、主塔部付近の桁高が大きくなる。	桁高は斜材ケーブル吊点間で決まり、等桁高断面となる。
斜材	主桁の剛性が大きくなるため、ケーブル鋼材量は少ない。	主桁の剛性が小さいため、ケーブル鋼材量は多い。
主塔	地震時水平力は主桁を介して直接橋脚に伝達されるため、塔の断面は小さい。	主桁および主桁上の荷重は斜材を介して塔に集中するため、塔の断面は大きくなる。
斜角ピラー受梁	主桁の横桁と受梁とを一体化するための断面の節約と簡素化が図れる。 	主塔部と主桁を独立した構造とするため、断面が大きくなり、部材長も大きくなる。また、塔から作用する断面力も大きくなり、断面が大きくなる。
耐震性	通常のPC桁橋に近い固有周期となる。また、橋軸方向地震時の主桁水平変位は小さい。	橋軸方向の主桁の固有周期は大きくなり、長周期構造物に対する設計地震力の低減が期待できる。しかし、本橋のように斜角のある場合、橋脚断面は橋軸方向以外の地震力で決るため、メリットは少ない。また、長周期の入力地震波をどのくらいに設定するか大きな問題となる。
耐風安定性	主桁の剛性が高く、剛結されているため、耐風安定性はすぐれている。	主桁の剛性が小さいため、耐風安定性は、剛ラーメン形式に比べ劣る。
施工性	通常のビロン併用のカンチレバー架設と同等である。	施工主塔部に仮固定構造を必要とする。

メリットがないこと、施工性などの理由から、④の剛結形式を採用している。

3. 計画設計

PC斜張橋の設計フローと検討項目を図-7に示す。このうち現在基本計画断面としての概略設計まで実施しているが、特に河川内橋脚の大きさ、形状が河川管理上基本的な問題となるため、断面決定の主要素である耐震設計については特に模型実験を含めた密度の濃い検討を行った。設計条件を下記に示す。

- (1) 構造形式；2 径間連続 PC 斜張橋
- (2) スパン長； $200\text{ m} + 200\text{ m} = 400\text{ m}$
- (3) 幅員； 20.4 m
- (4) 活荷重； $TL-20$
- (5) 衝撃係数； $i = \frac{10}{25 + l}$
- (6) 耐震設計上の地盤種別；1 種

ただし、橋脚および基礎の設計は動的応答解析の結果による。

(7) 使用材料

1) コンクリート

表-4 に示す。

2) 斜材 (SWPR $\phi 7$ 145 / 165)

表-5 に示す。

3) 主桁鋼棒 (SBPR 80 / 105、A種 2号、 $\phi 32$)

4) 横桁ケーブル (SWPR 7A 150 / 175、12-T12.4)

表-4 コンクリートの許容応力度

	kg/cm ² σ_{ck}	kg/cm ² E_c	kg/cm ² σ_{ca}
主桁	400	3.5×10^5	140
塔・受梁	400	3.5×10^5	133
橋脚	300	3.0×10^5	100

表-5 鋼線の設計値

サイロ名	規格	E_s (kg/cm ²)	P_u (kg)	P_a (kg)
S-1~S-4	265	2.05×10^6	1682	1245
S-5~S-8	211	"	1339	1071
S-9~S-15	163	"	1035	828

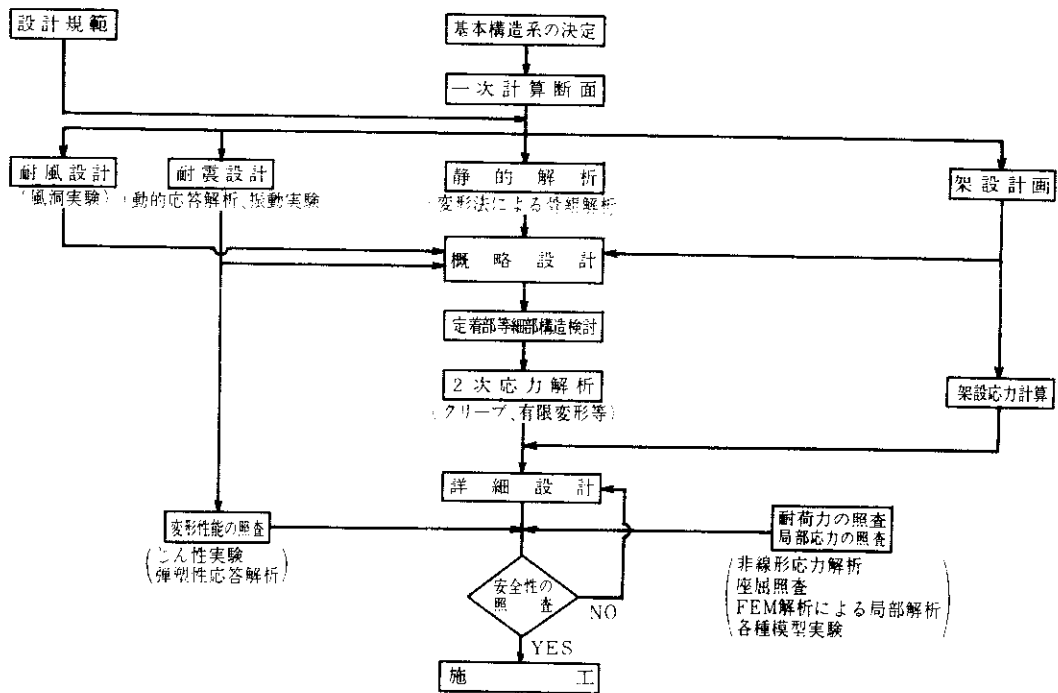


図-7 PC斜張橋設計フロー

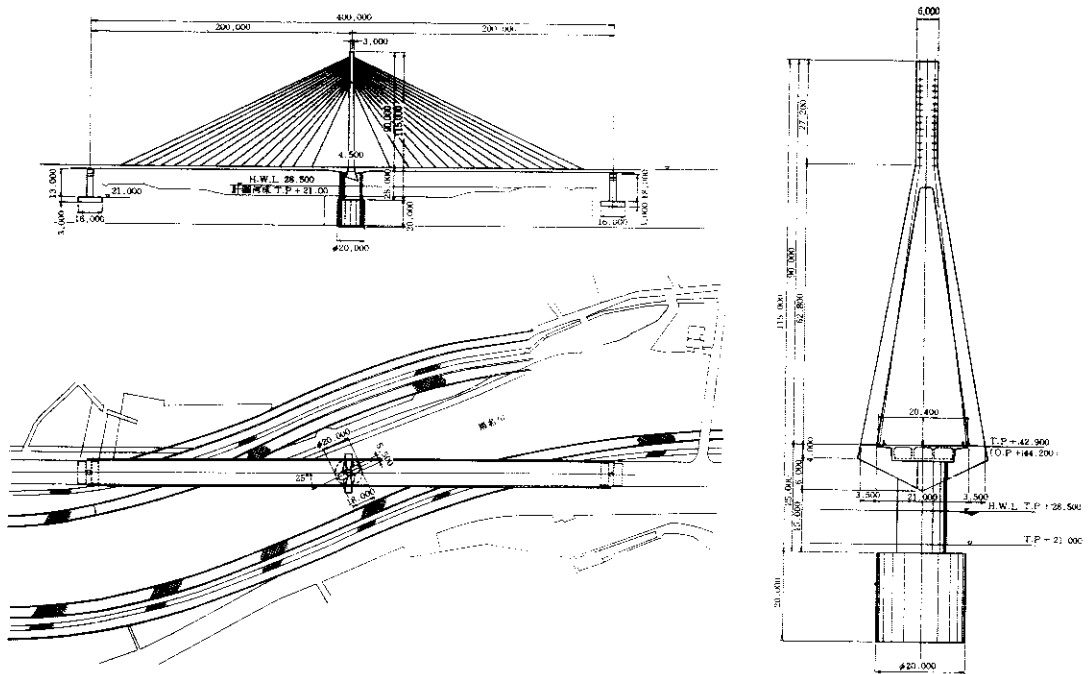


図-8 猪名川第2橋梁基本計画一般図

5)鉄筋 (SD30)

斜張橋は、構造系、主桁形状、主塔形状、斜材配置など自由度の大きい構造形式である。最終的には施工性など詳細な検討を行った後決定する必要があるが、現在は下記の基本構造系で主要断面を求めた。

(1)主要諸元

- 1)主桁形状；1箱3室構造 (PC)
- 2)主塔形状；逆Y型 (RC)
- 3)斜材配置；交差2面吊マルチファンタイプ
- 4)斜材材料；平行線ストランド
- 5)支点条件；中間支点で主桁、橋脚、主塔剛結、端橋脚で可動とする。
- 6)河川内橋脚；RC 壁式橋脚
- 7)基礎；大口径深礎

(2)主要断面 (図-8 参照)

- 1)主桁；桁高 2.8 m ~ 3.5 m
- 2)主塔；H = 路面から 90 m 基部 4.5 m × 3.5 m 塔頂 3.0 m × 3.0 m × 2
- 3)橋脚；壁厚 5.5 m、長さ 18.0 m
- 4)基礎； ϕ 20.0 m × 20.0 m

4. 耐震性の検討

4-1 耐震設計の方法

静的解析 (修正震度法)、および動的解析 (応答スペクトル法) について、河川内橋脚の断面を比較するための予備検討を行った。その結果を表-6 に示す。このように各手法によって大きな差が生じた。本橋梁のように複雑な振動特性を示す大型構造物の場合、1自由度相似による修正震度法では合理的な耐震設計が期待できないと判断されるため、動的設計を行うこととした。

表-6 設計方法の比較

(橋脚基部の断面力)

耐震設計の考え方	静的解析 (修正震度法)	動的解析 (応答スペクトル法)
断面力 (地震時)	弱軸方向 Mx = 180000tm N = 31250tm	弱軸方向 Mx = 70000tm N = 31250tm

4-2 応答スペクトル法による動的解析

以上の検討結果を踏まえて、立体モデルによる応答スペクトル解析を行った。最大入力加速度は 180 gal、入力方向は表-7 に示す 4 方向、応答スペクトルは道路橋示方書修正震度法相当スペク

トル(第1種地盤)を用いた。

1次モードは桁の面内(X振動)で、その固有周期は約3秒である。2次モードは主塔の面外(Y)振動で、その固有周期は約2秒である。いずれの場合もXY両方向の刺激係数がみられる。表-7を見ると、橋軸方向($\theta = 0^\circ$)に入力された地震力に対しても橋軸直角方向に大きな応答を示している。

また問題となる橋脚弱軸方向の曲げモーメントは、橋軸直角方向の地震力に対して最も大きい応答を示した。これらは斜角の影響と考えられる。

表-7 主要点の最大応答値一覧表

ケース			$\theta = 0^\circ$	$\theta = 24^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 114^\circ$
変位 (cm)	塔頂部	橋軸方向	7.8	6.4	2.4	5.0
		橋軸直角方向	7.0	14.5	39.6	37.4
曲げ モーメント (tm)	塔基部	橋軸回り	2,065	2,099	2,138	2,104
		橋軸直角回り	3,024	2,620	2,442	2,872
	橋脚下部	橋軸回り	76,655	74,292	37,711	42,167
		橋軸直角回り	20,150	28,955	68,688	65,461

4-3 模型振動実験

前述したように、本橋梁の下部工については動的応答解析の結果を用いて設計する方針である。この場合、本橋梁の動特性を正確に把握する必要がある。そこで、実橋の1/130の全体模型(写真-1,2)を製作し、入力方向、振動数を変化させて振動実験を実施し、解析値との比較を行った。結論を取りまとめると以下のとおりとなる。

- ①斜橋であるため、入力方向と直角な方向にも連成して振動する。橋軸、橋軸直角、橋脚弱軸および橋脚強軸の各4方向から入力した全ての場合においてほとんど同じ共振振動数と振動モードが認められた。したがって地震時における部材力を算定するためには、立体的な振動解析が必要である。
- ②任意方向からの入力に対する応答は、直交する2方向入力に対する応答をベクトルの的に合成することにより精度よく評価できる。
- ③塔、主桁、ケーブルが大きく共振する振動数は比較的よく分離されており、これらが同時に共振する可能性は少ない。
- ④模型の共振曲線に見られた顕著な共振振動数



写真-1 模型全景



写真-2 中間橋脚部

と振動モードは、実橋の断面の諸定数に基づいた基礎固定の数値解析結果と比較的よく一致する。したがって、この数値解析モデルはほぼ妥当であると言えよう。

⑤橋脚の弱軸方向に入力したケースにおいて、塔部が面外方向に最も大きな応答倍率を示した。耐震設計にあたっては特にこの振動数、振動モードに注目した解析を進める必要がある。

4-4 主塔の変形性能

主塔は非常に高軸力のコンクリート部材となり、一般の部材に比べてじん性が低下することが予想されるため、地震時の変形性能について弾塑性解析を行った。

解析は主塔のみを取り出したもの、および全体を簡略化したモデルの2種類について実施した。なお入力加速度をいくりに設定するかについては今後の検討課題であるが、一応弾性解析の2~3倍を用いることとし、600 galで入力した結果、塔

基部の応答曲げモーメントは降伏曲げモーメントに達せず、ひびわれモーメントを超える程度であった。

このことから、供用中に稀にしか発生しないような大地震に対しても、基本設計断面で十分な耐震性を確保できると思われる。

5. 景観検討

本橋の架橋地点は五月山公園の直下にあたり、景観面からもシンボルとなることが予想される。特に問題となるのは100 m近くの高さになる主塔および斜材形状である。そこで次の2形式について様々な視点から基本的な見え方について評価するため、透視図またはフォトモンタージュの手法により比較した。

ケース1 逆Y型タワー+ファン型ケーブル
ケース2 H型タワー+ハープ型ケーブル
一例を図-9から図-12に示す。

これらの図からわかるように、当橋梁は河川内橋脚が河川管理上壁式の橋脚形状に限られることから、この橋脚と主塔のバランスに注目する必要がある。この観点からいうならば、逆Y型タワーの方が自然な安定感があるといえ、現段階では景観面から逆Y型タワーを採用することとした。

あとがき

57, 58年度に実施した猪名川第2橋梁に関する概略検討の結果を述べてきたが、本橋梁は河川条件、地域条件の厳しい地点に計画されているため、設計上の制約が多いが、今後問題点を解明し、実現していく予定である。最後に本橋梁に関してご指導いただいている阪神高速道路公団技術審議会耐震設計分科会(主査;山田善一 京都大学教授)コンクリート構造分科会(主査;岡田清 京都大学教授)に感謝の意を表します。

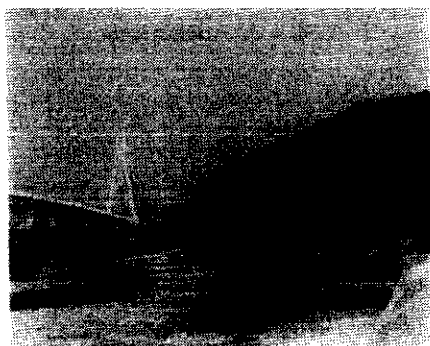


図-9 呉服橋からみた完成予想図

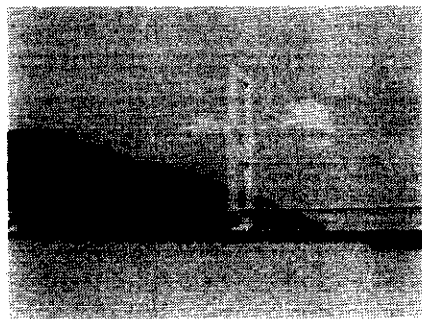
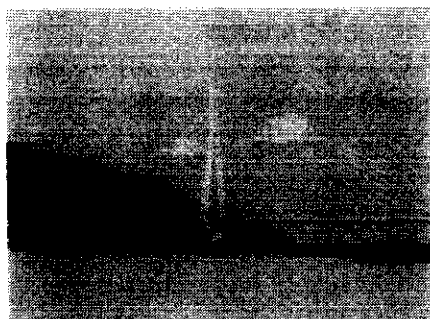


図-10 川西市住宅街よりみた完成予想図

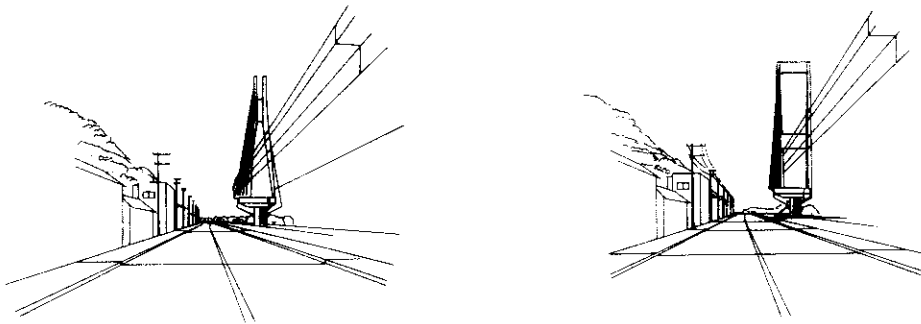


図-11 国道173号からみた完成予想図

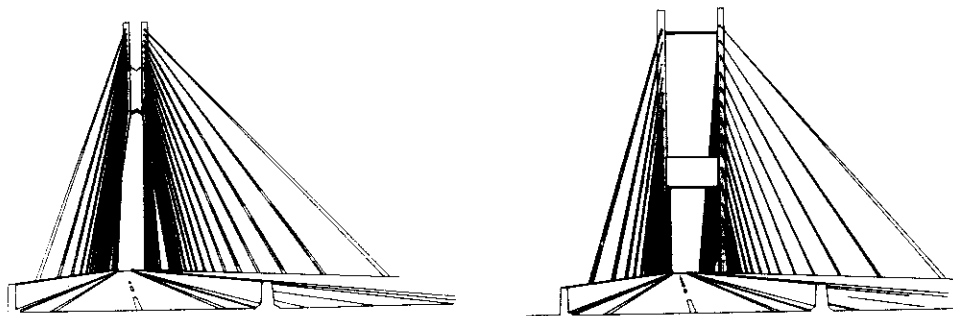


図-12 走行上のドライバーよりみた完成予想図

参考文献

- 1)加藤，門倉；大阪池田線（延伸部）の構造物計画、技報第二号、昭和57年12月
- 2)大阪池田線（延伸部）猪名川第2橋梁調査報告書（昭和57,58年度）、阪神高速道路公団大阪第二建設部、昭和59年3月

- 3)加藤，平田，岡田；コンクリート斜張橋の耐震性に関する検討、土木学会第39回年次講演会概要集、昭和59年10月
- 4)南荘，山田，家村；コンクリート斜張橋の振動実験、土木学会第39回年次講演会概要集、昭和59年10月