

阪神高速大阪松原線における 1 ヒンジ付多径間 連続 PC ゲルバー橋の設計施工について

本 村 春 一*
鳥 谷 越 壮 二**

表一 大阪松原線における上部構造形式一覧表

		スパン (m)	延 長 (m)	そ の 他 (%)	摘 要		
PC構造 5 254m 47%	プレテン桁	合 成 行	15	15	0.1	主に曲線区間	
		非合成桁	単純連続 3 a 20=60	12~15 180	103 1.6	0.9 1.6	連結桁
	ポステン桁	合 成 桁	単純連続 3 a 25=75	18~30 225	605 2.0	5.4 2.0	主に曲線区間 連結桁
		非合成桁	16~35	2379	21.3		
	3 径間連続箱桁 PCゲルバー桁		42~70 27~35	155 1592	1.4 14.2		
	RC構造 2 790 m 25%	T 型 桁	単 純 連 続	8~10 3 a 10=30	208 2582	1.8 23.2	地下鉄との一体区間 " "
単 純 合 成 1 桁			20~55	1616	14.4		
鋼構造 3 147 m 28%	合 成 箱 桁	単 純 連 続	46~74 38~68	698 396	6.2 3.5		
	鋼床版箱桁	単 純 連 続	62 60~111	62 375	0.6 3.4		
		計		11 191	100		

(注) 本線部のみである。

1. はじめに

阪神高速道路公団において大阪市
内と西名阪（近畿自動車道天理吹田
線）松原インターチェンジと結ぶた
め、現在大阪府道高速大阪松原線約
11.2 km が建設中である。

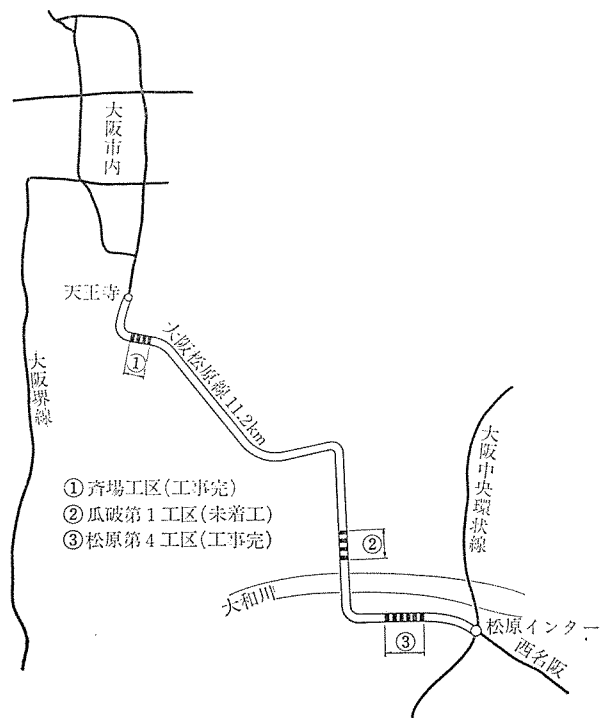
この大阪松原線が通過するところ
は大半が住居地域であるので、上部
工の 72% がコンクリート構造物を
採用している。このうち 25%(2790
m) はRC構造物で地下鉄一体の立
体ラーメン、他の 47% (5254 m)
がPC構造物である。

本稿で述べるPCゲルバー橋は齊
場工区、瓜破第2工区および松原第
4工区の計3工区1592 mである。
なお大阪松原線の上部形式の内訳を
表一1 に示す。

2. PCゲルバー橋の計画

始めにも述べた様に大阪松原線はコンクリート構造物の採用を原則としている。その中でも都市美を考慮して通称ピルツと称される構造に大変似ている多径間連続PCゲルバー橋の採用を図った。採用できたところは前述の3工区でその位置を図一1で示す。各工区の条件は表一2のとおりである。

表一2 でわかるように立地条件として神戸西宮線灘第5工区（すでに開通している）は国道43号線上、また現在工事中の大阪松原線においては齊場工区は公団用地内、瓜破第2工区および松原第4工区では同時計画の関連街路上である。このようにいずれも工事敷地幅の確保が可能で、また道路の線形が平坦なところとなっている。



図一 大阪松原線PCゲルバー橋位置図

* 阪神高速道路公団大阪第一建設部
** " " "

表-2 各工区の条件等

路線名		大 阪 松 原 線			神 戸 西 宮 線
工 区		齊 場 工 区	瓜 破 第 1 工 区	松 原 第 4 工 区	東 灘 第 5 工 区
場 所		大 阪 市 阿 倍 野 区	大 阪 市 平 野 区	松 原 市	神 戸 市 東 灘 区
構 造 条 件	構造形式	1 ヒンジ付ゲルバー橋	同 左	同 左	2 ヒンジ付ゲルバー橋
	橋 長	329.0m	436.0m	827.0m	635.0m
	標準径間	5@27.0+4@27.0m	13@30.0m	22@35.0m	13@35.0+5@36.0m
	標準幅員	19.0m	19.0m	25.5m	20.25m
線 形		R=∞	S字形; R=800	一部拡幅; R=∞	R=∞
工事敷地の条件		○公園用地内 ○工区中央に将来横断方向の街路計画あり	○関連街路新庄大和川線(幅 40.0m)用地内 ○街路工事前に着工予定	○関連街路堺松原線(幅 38.0m)用地内 ○街路工事と平行して工事	○国道43号線(幅 50m)内 ○2車線占用して工事
支 保 工		ビティアー支保工	地上移動支保工	地上移動支保工	地上移動支保工

3. 設 計

3.1 構造形式

一般的にピルツと呼ばれる構造のものには、桁式と版式の2種類があるが、当公団においては桁式を採用し、構造形状そのものを格子桁とした。すなわち、図-3で示すような上部工（6本の主桁と数本の横桁により構成された格子桁）に1本の橋脚が剛結されており、一径間に一個所のゲルバー支点を有する立体ラーメン構造のものである。

当初大阪松原線においても、神戸西宮線東灘第5工区と同様、各径間ごとに上部工に可動および固定の2つのヒンジを有する構造を計画していた。しかし、近年大型重量車の増加に伴い騒音問題、ジョイント部の管理の問題が大きくクローズアップされ、現在の都市内高速道においては、そのため連続桁化の傾向にある。

そのような理由からこのPCゲルバー橋においても可動側のヒンジのみを残し、固定側を剛結したヒンジ付の構造形式を採用した。

3.2 2ヒンジ付と1ヒンジ付との比較

2ヒンジ付ゲルバー橋と1ヒンジ付ゲルバー橋との比較の概要を述べると次のようである。

(1) 2ヒンジ付ゲルバー橋 この構造は受桁（橋脚と一体）および吊桁から構成される。外的静定の構造形式である。構造解析は比較的簡単で代表径間をもって行う。支保工は受桁用と吊桁用に分割される。工程は受桁→吊桁の順序ではほぼ任意の橋脚番号から施工でき、複数個の支保工を用いることによって工期の短縮も可能である（ただし高価となる）。一回当たりコンクリート打設量は受桁と吊桁とに分割されるので、250~400m³程度である。

(2) 1ヒンジ付ゲルバー橋 2ヒンジ付の場合の吊桁と受桁が固定ヒンジ部で剛結された外的不静定の構造形式である。したがって構造解析、施工管理面、上げ

越しおよび緊張計算では、ヒンジ構造にくらべ複雑である。支保工は一径間施工可能なものを必要とする。工程はその形状から下部工施工後、上部工は第1径間から最終径間へ向う片押し施工となり工期は径間数が多くなればなるほど長くなる。また一回当たりコンクリート量は大きく400~620m³におよぶ。

(3) 下部工の設計 3工区において照査した結果、2ヒンジ付および1ヒンジ付の下部工の設計断面はほとんど同等で可能である。

(4) 経済性 地盤が良好ならば2ヒンジ付と1ヒンジ付とは大差がない。経済性の差は支保工の使用回転数、すなわち径間数によるところが大きい。地盤が軟弱ならば不等沈下による桁断面の増加あるいはPC鋼材の増加等により1ヒンジ付が不利となる。

以上のように設計施工上からは2ヒンジ付が容易であるが、現在都市内高速道路の置かれている立場から1ヒンジ付の構造形式を採用した訳である。

本稿において以後3工区のうちもっとも長大である松原第4工区について述べる。

3.3 設計条件および材料強度

橋 種 プレストレストコンクリート道路橋

支間割 28.5m+22@35.0m+28.5m=827.0m

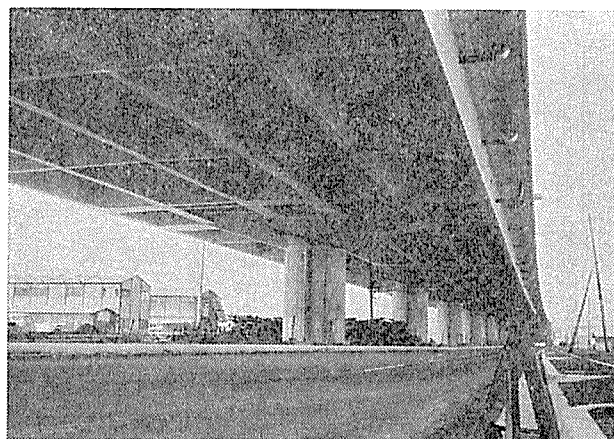
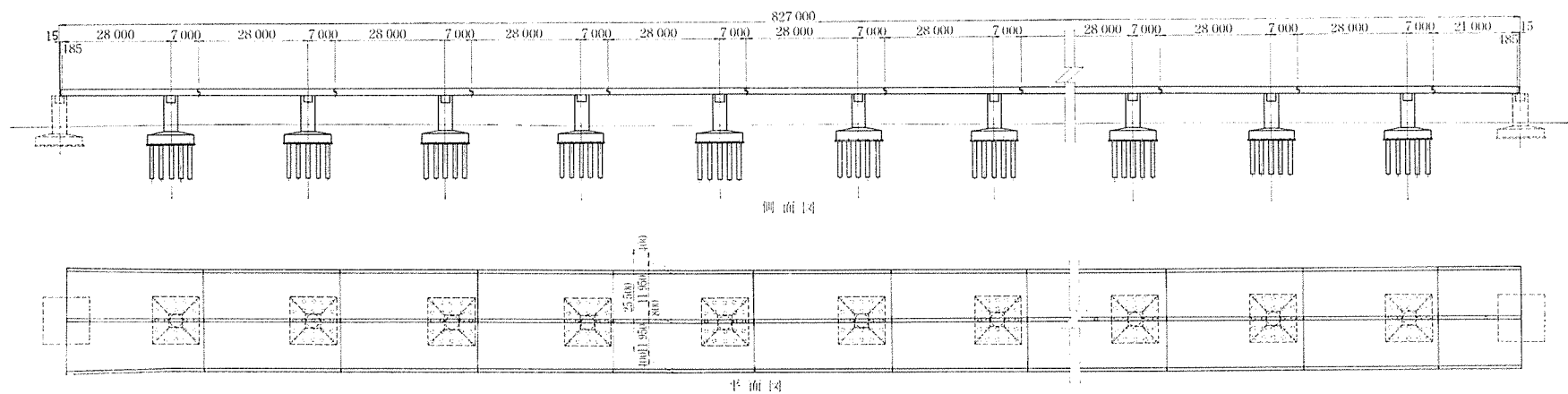
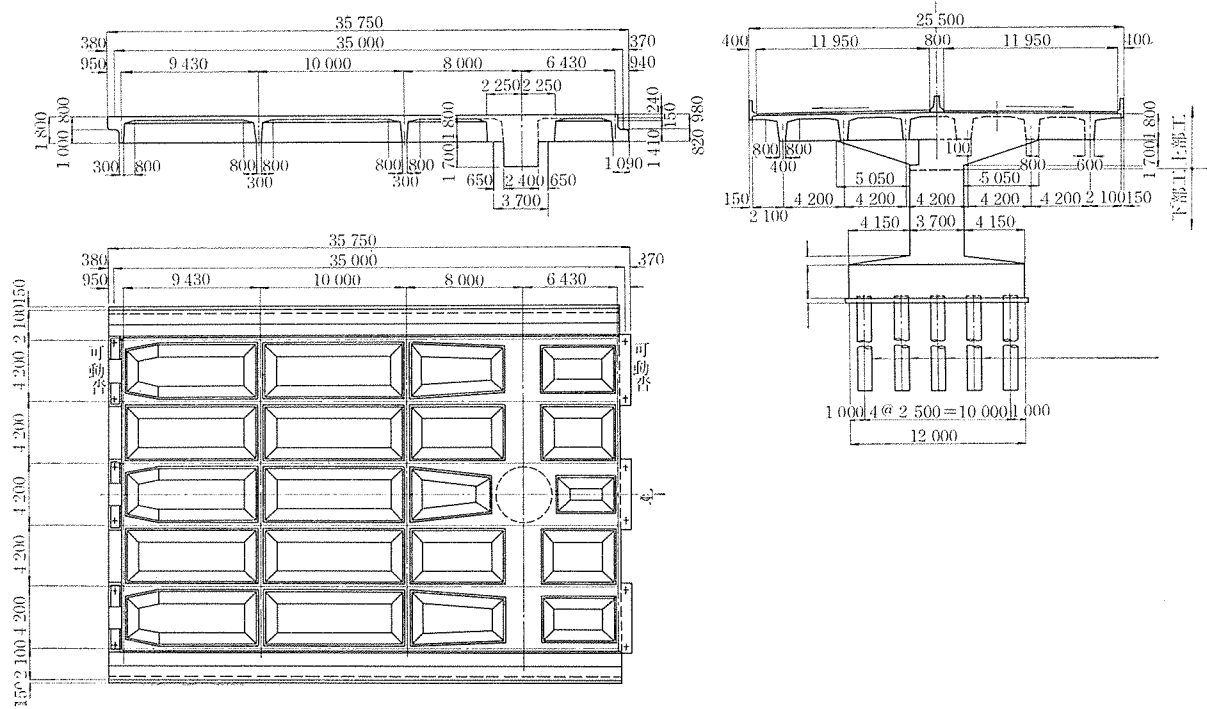


写真-1 完 成



圖—2 松原第4工区一般図



圖—3 構造一般図

幅員 標準部 25.5 m (6車線)
 方式 ポストテンションングディビダーク方式
 活荷重 TT-43 (他工区は TL-20)
 支点沈下 $\delta=20$ mm (弾性計算用換算値は 10 mm)
 水平震度 $K_h=0.22$
 コンクリート $\sigma_{ck}=400$ kg/cm² (早強)
 PC鋼棒 SBPR B種 2号 $\phi 26$
 鉄筋 SD-30

3.4 構造解析

本橋の構造は幅 25.5 m 長さ 35.0 m を有する格子桁に1本の橋脚が剛結された多数径間連続の立体ラーメンである(図-2, 3 参照)。この構造を連続立体ラーメンとして直接解くことは電子計算機の容量上難しく、また実用上からも必要ではない。本橋では実用上安全な範囲内で次のような解析の簡易化を図った。

① 立体ラーメン構造を平面格子構造に置き換えた。そのために橋脚の変形量の影響が上部工に伝えられるようなバネ支承を仮定し、この支承体に支えられる平面格子構造として設計を行った(図-4)。

② 多径間連続において着目する径間に対し影響の少ない径間を省略した。今便宜的に上部工を棒構造として計算した場合の左側1径間目の支点反力の影響値を見ると図-5のように着目径間に対する第2径間の影響は、7.8%、第3径間は0.6%、第4径間では0.05%である。格子桁として解析する場合にはその影響値はさらに小さくなる。したがって実用上は着目する桁の両隣りを入れた3径間を用いて計算すれば十分であった。

3.5 設計一般

各部材の設計計算は他の形式のPC橋の場合に比べて特に変わった点はないが、構造上および施工上において設計面にとくに注意したことを次に列記する。

① 桁断面は構造美および移動支保工上での一体施工(型枠組立脱型、PC鋼棒配置・鉄筋組立、コンクリート打設)を考慮し、下側にテーパを有する単純な形状とした(図-7 参照)。

② PC鋼棒の配置についてはプレストレスによる2次モーメントが生じないようできるだけコンコーダントな配置を留意し、また構造的に緊張方法が片引きとなるので緊張力が設計断面およびゲルバー部分に十分入るような配置とした(折込付図参照)。

③ 施工順序を考えたクリープ・乾燥収縮の影響について：本橋の施工順序は一径間単位で第1径間側から最終径間側へと移動するものである。この場合と全径間支保工で同時施工する場合とはクリープ等の進行によって有効プレストレスの値が異なってくる。その差を検討してみた結果は前者の場合が1%小さい。しかしこの応力差は微少なので同時施工と仮定して計算した。

④ ゲルバー部の集中応力に対しては東灘第5工区工事で行った実験結果にもとづき斜PC鋼棒を配置した。

⑤ ゲルバー部の沓は将来管理が困難であるから鋼沓を用い、また上沓側には埋殺鋼製型枠を用いた。ゲルバー部の詳細を折込付図に示す。

⑥ 排水管の設置については美観を重視することで主桁および横桁に $\phi 250$ 大の孔を作りそこを通し橋面排水の処理をした。しかし、この部分が結果的に応力上の弱点を作ることになった。このような付属物についてはその配置を当初から計画しておくことが望ましい。

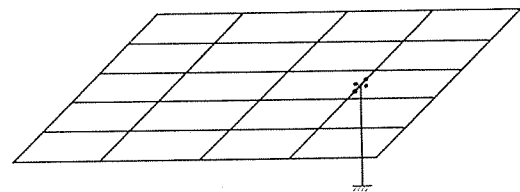


図-4 立体ラーメン構造

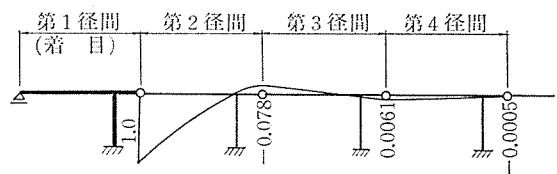


図-5 第1径間支点反力の影響線

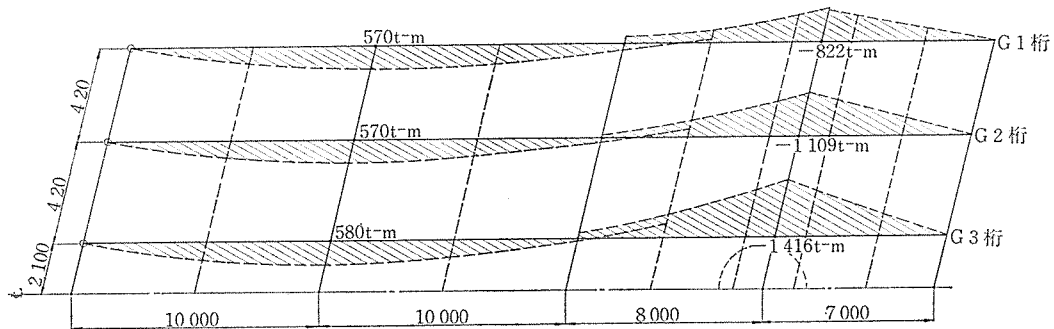


図-6 主桁モーメント図(設計荷重時)

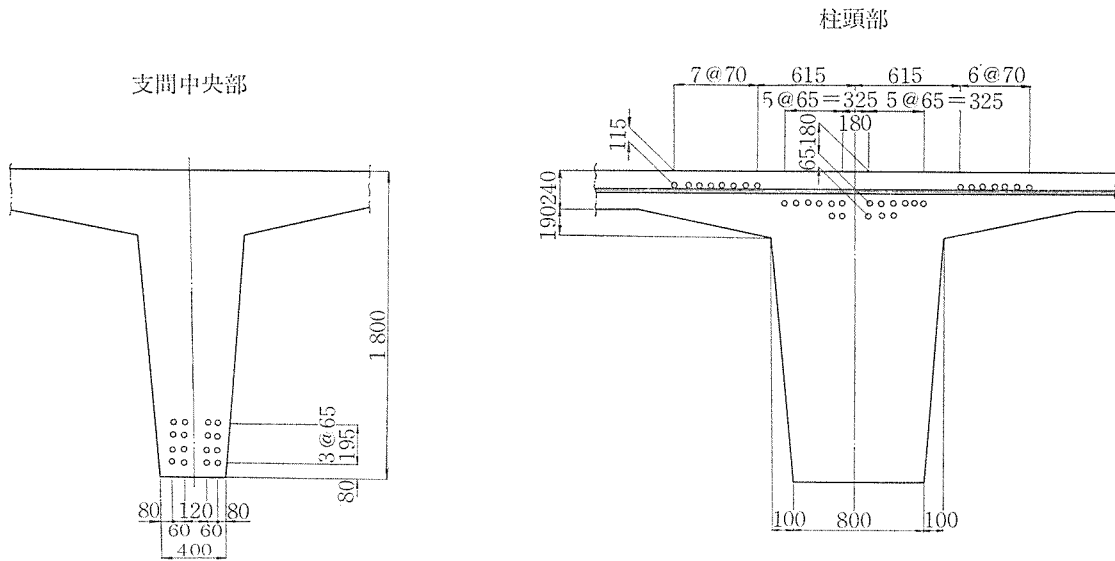


図-7 主桁断面図

4. 施 工

4.1 支保工の比較

本橋のような構造物を施工する場合、その支保工の方法として、① 現地で1回ごと組立解体するビティー等支保工、② 一径間当りを一体で地上を移動することができる地上移動支保工、③ 空中を移動する吊支保工が考えられる。これらについて簡単に比較する。

(1) ビティー等支保工 この支保工は径間数が少ない場合には経済的である。しかし一径間当り工程が長くなること、施工時の不等沈下による管理面が大変であることなどの欠点がある。

(2) 地上移動支保工 本体が2ヒンジ付の場合は受桁用と吊桁用に分離する。本橋のように1ヒンジの場合は一径間大のものを使用する。支保工の製作費は比較的高価であるから経済性上からは本体が10径間以上の連続桁であることが望ましい。工事敷地は本体幅+柱径+両側に余裕1mあればよい。一般の高架高さであれば支保工内で工事用車輛を通すこともできる(門型支保工)。支保工の反力は地上に取る関係上ある程度良好な地盤であることが望ましい。軟弱な場合は表土を砕石等で置き換える。支保工の工場製作は7か月、一径間当り工程は標準25日から28日程度である。

(3) 移動吊支保工 移動吊支保工は、通常の支保工施工では困難な都市内の高架建設に伴う交通障害の防止の必要な場合、あるいは支保工基礎条件等が非常に悪

い場合に用いられ、さらには工事の省力化、工期短縮(移動吊支保工では、通常1サイクル工程は12~14日である)が望まれる場合にも採用されているが、大阪松原線では、工事敷地幅が狭く、通常の移動吊支保工ではその条件を満足しないこと、高架橋直下、橋軸方向に工事用道路を設け常時工事用車輛の通行を許さなければならぬ条件となっており、移動時等吊支保工を下げた時所定の桁下空間が取れないこと、工期に余裕があること、移動吊支保工を採用した場合、経済性が成り立たないこと、等を考え合わせ特殊な地上移動吊支保工の採用を決定した。

4.2 地上移動支保工

大阪松原線においては移動支保工を原則とし、一部ビティー支保工によった。次に一径間長の移動支保工について述べる。

(1) 支保工の構造 一径間同時施工の機能を有する支保工を製作する。構造は橋軸方向数本の主桁(H900×300程度)に直角方向の横桁(H700×300程度)を取り付け格子状に組立てる。設置時にはその後端部をすでにできあがっている本体からP C鋼棒で、また前端部は門型支保工から吊上げる。径間内には支柱を取付ける。これらですべての施工時荷重を支える。施工時荷重のうち本体重量、型枠重量および支保工重量を示せば表-3のとおりである。これらの m^2 当り重量は $2.4t/m^2$ である。

(2) 支保工の移動 型枠、支保工ともに左右2つ

表-3 施工時重量

	A支保工	B支保工	総重量	m ² 当重量
移動支保工重量	269 t	181 t	450 t	0.50 t/m ²
鋼製型枠重量	93.7 t	60.3 t	154 t	0.17 t/m ²
コンクリート重量			1550 t	1.74 t/m ²
合計	362.7 t	241.3 t	2154 t	2.41 t/m ²

に分割する。そのうち一方をまず支柱を折り込み支保工全体を地上に設置してある台車に載荷する。前面の門型クレーンを移動する。支保工の前進に当たって橋脚が当たる場合は台車上で外側へ移動しレール上を一径間分前進させPC鋼棒および門型クレーンにより吊上げセットする。その後残りの支保工を同様にして移動させる。その移動方式を図-8に示す。この方法によれば少なくとも一方に工事用車輛通行の確保ができる。

4.3 型 枠

工程を短縮するために型枠は鋼製によって大ブロックで製作し、一径間大のものを形成した。本体の桁断面形状も下側にテーパを有しているから脱型は容易で迅速にできる。また型枠と支保工は一体化されており型枠の解体は行わない。支保工の移動時には左右に分割できて、支保工と一体となって動く。

道路線形に一部曲線またはバチがある場合は格子桁の配置は一定形状とし、外桁の張出し床版部の張り出し長を調整する方法で行った。

4.4 鉄筋・PC鋼棒の組立

主桁断面が小さいから型枠の中で鉄筋やPC鋼棒を組立てる作業は困難である。したがって第1径間を除き2径間目からはすでに完成している隣りの本体の上に台車を据え付けて、その上で各主桁ごとに組立てクレーンにより引出し型枠の中にセットする方法を採用した。横桁

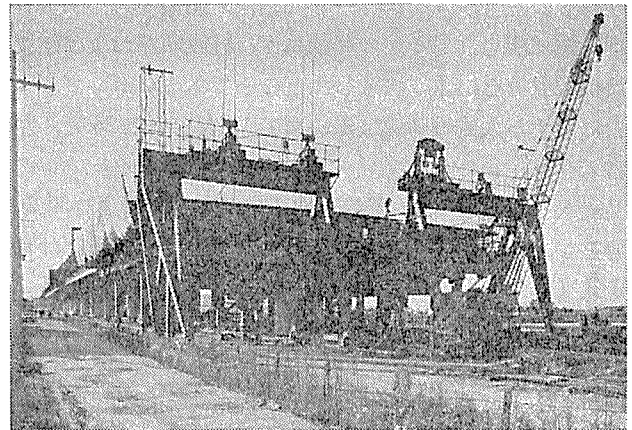


写真-2 移動支保工

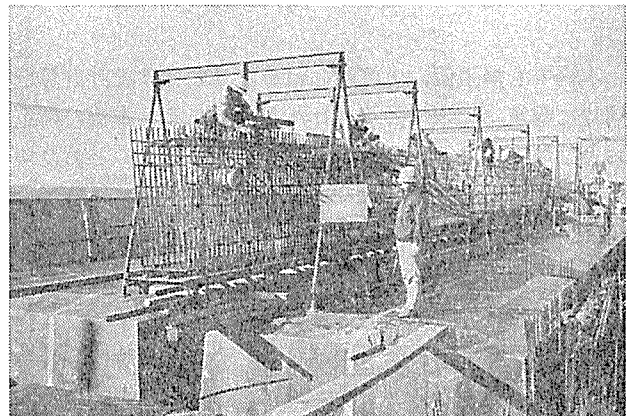


写真-3 主桁鉄筋・PC鋼棒の一括組立て

内の組立はその型枠の一部に取り外すことのできる窓を設け、支保工上から手を入れて組立てを行った。

4.5 コンクリート打設

本橋の一径間当り最大(早強)コンクリート量は620m³である。この点からも1ヒンジ付にすべきか、2ヒンジ付にすべきか議論の対象になった。桁断面が小さく鉄筋等が密に配置されているのでコンクリートの打継ぎが困難であるから1径間分を1日で打設する必要がある。すなわち大量の早強コンクリートを打設できるかどうかであった。しかし種々の検討の結果完成後のことを考えて1ヒンジ付と決定した。

620m³を1日で打設、作業時間を7時間とすれば時間平均90m³/時、最大時では120m³/時程度におよぶ。これに対して4台のコンクリートポンプ車を配置する計画を立てた(1台当り平均25m³/時とした)。大量打設とポンプ車使用に対し、コンク

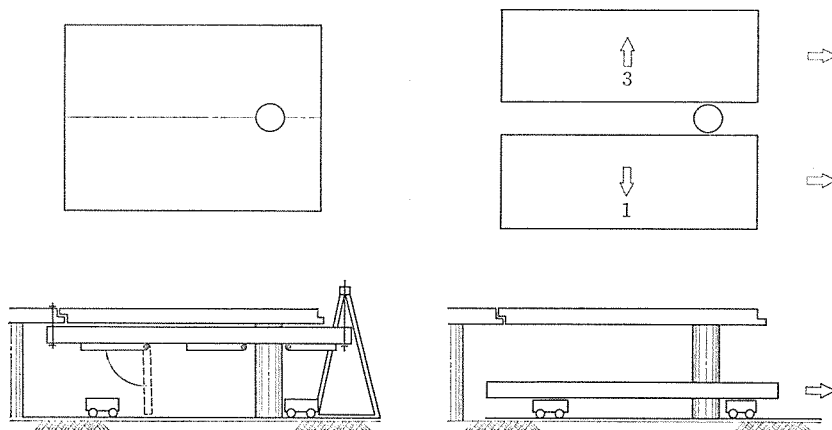


図-8 支保工の移動方法

リートの配合、コンクリートの確保、運搬能力、品質管理、機械能力、パイプの移動易さ、打設順序および作業員の配置等を厳重に注意したところである。ポンプ車4台に対する人員の構成はポンプ工12人、土工25人、左官工6人、またパイプレーターは16台である。コンクリートの運搬は5m³車が平均3分に1台、所要時間30分として25~30台で回転させた。なお橋面仕上げは自走式(外部振動機4台を装備)のコンクリートフィニッシャーを使用し、省力化、平坦性等の向上を図った。

4.6 緊張

緊張値の計算およびPC鋼棒の製作はすでに万博関連事業、たとえば阪神高速大阪堺線大和川工区ディビダーク橋の設計施工時に電算のプログラムが完成されている。

本橋でも緊張値、上げ越し量等については設計計算と同時に電算によって計算されたものである。本橋の構造および施工方法からくる緊張上の特殊性は次のとおりである。

① 格子状の全桁が支保工の上で一体施工されるからPC鋼棒の緊張の順序は一般のポストテンション1桁や主桁数の少ない連続箱桁より複雑である。格子状のどの主桁または横桁から緊張するかは、その緊張時における変形量の影響がもっとも小さいところから原則的に行った。

② 今施工をしている径間に着目すると橋脚より後の長い側の張り出し桁はすでにでき上がっている桁の上に載っているが、前面の短い側の桁はフリーの状態である。

したがってこの短い桁の施工時曲げモーメントは完成時に比べると非常に小さいために、設計荷重時に必要なプレストレスをすべて導入すると桁下縁の引張応力度が許容値を超えることになる。したがってその一部の緊張は次の径間が完成してから行い許容値内に入るようにした。

③ コンクリート打設が1日中かかっているので緊張導入まで中4日取っている。

4.7 上げ越し量

格子桁として一体施工であるから橋脚に直接取付いている横梁の弾性沈下も考慮しているところが、一般のPC桁と異なるところである。一例を示せば図-9のようになる。

4.8 標準工程

本橋は構造上、片押し張出し工法となり1サイクル工程の短縮が全体工期に大きく影響するため、できる限り工程短縮を図った。2次要素を含めて工程短縮を行った事項をまとめると次のとおりである。

- ① 格子形状を一定にし桁断面を単純にすることによって型枠の組立脱型を容易にした。
- ② 移動支保工を採用した。
- ③ 主桁鉄筋・PC鋼棒の組合をブロック化した。
- ④ コンクリート打設は1径間分を1日で行ったなどである。一径間の施工順序は次のとおりである。

型枠支保工のセット→柱頭部横梁配筋→ブロック化された主桁の鉄筋・PC鋼棒の移動およびセット→横桁配筋→柱頭部横梁および横桁PC鋼棒の配置→

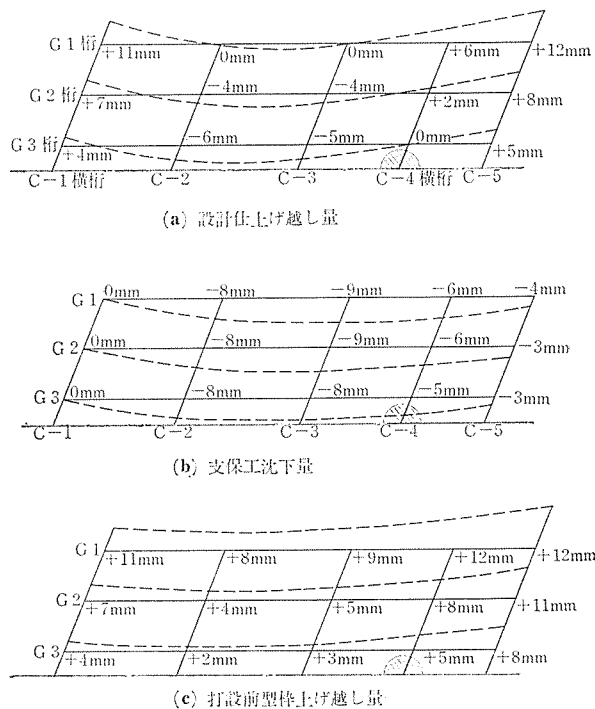


図-9 上げ越し量

表-4 標準工程

工 種	日 数																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
支保工移動段取	■																												
支保工吊下げ・移動・吊上げ		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
型 枠 組 立										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
主桁鉄筋・鋼棒・ブロック組立																													
鉄筋・鋼棒組立																													
型枠内洗滌清掃																													
コンクリートフィニッシャー・据付・検査																													
コンクリート打設																													
養生																													
プレストレス導入																													

床版下側配筋 → 床版PC鋼棒配置 → 床版上側配筋 → コンクリート打設 → 養生 → 緊張 → 型枠支保工の脱型および移動。

以上1サイクル標準 28 日である。なお曲線部等一部型枠形状の手直しがある場合は5日程度加算する。

純工事期間は次の式で表わされる。

$$7 \text{ か月 (支保工製作)} + 28 \text{ 日} \times \text{径間数} + \text{跡片付け}$$

5. コンクリート

コンクリート配合は表-5で示すとおりである。

表-5 コンクリート配合

組骨材 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	水セメント 比 (W/C) (%)	細骨材率 S (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混 和 剤 Pz No. 5L No. 8
					水 W	セメント C	細骨材 S	組骨材 G	
25	7±1.5	3±1	36.9	37.9	161	436	655	1097	1090 kg/m ³

強度 $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$, スランプ 5~7 cm, 組骨材の最大寸法 25 mm である。

本橋でとくに考慮したことは、①柱頭部横梁は大断面でかつPC鋼棒等が密に配置され硬いコンクリートは打設しにくいこと、およびポンプ車を使って大量に打設することを考え、標準より単位セメント量を 20 kg/m^3 程度増しスランプ値をやや高くした。②工事が長期に渡るので夏冬の気候の変化に対応し混和剤を変えた。③品質管理としては規定の生産工場管理によるほかポンプの入口、出口のものについて厳重に行った。——などである。

6. PCゲルバー橋の採用について

齊場工区および松原第4工区の工事はすでに竣功した。あと瓜破第1工区を残すのみとなった。今の時点で本橋のような構造の橋を計画することについて感じたことを記すと次のようなものである。

(1) 経済性について 本構造は一般の単純ポストテンション桁または鋼単純合成桁などと経済比較される場所である。これらと経済比較上、等価または安価であるためには支保工および型枠を安価にする。すなわち使用回転数を上げねばならない。したがって、a) 道路線形が平坦で計画高さが適当であること。b) 連続等径間が多いこと。c) 移動支保工を用いるためにはある程度地盤が良好であること。d) 工区内に重要な幹線あるいは河川等が横断していないこと。e) 文化財の遺跡指定地付近はなるべくさけること(調査によっては下部工位置の変更が生じるから——瓜破第1工区は現在調査中である)。

(2) 施工性について 一般の高架橋では移動支保工で施工することが適当であると思われる。ここでは移

動支保工で行う場合について記す。a) 工事敷地が本体幅より少々広く確保できること。b) できれば本体の桁下高さがほぼ一定で地上から5~6mであることがもっとも作業性がよい。すなわち工事敷地内に工事用道路が常に確保できることと支保工の経済性がバランスする。c) コンクリートの確保および運搬が容易であること。d) 本体下の平面街路等と同時施工になることをさけること。

(3) 工期について 1ヒンジ付の場合は前述のとおり工期が大変長くなる。工期に余裕がない場合は2ヒンジ付構造に変更するか、他の橋種に変更すべきである。

(4) 基礎地盤が軟弱な場合 不等沈下量が大きい場合は構造的に本橋は無理であるから2ヒンジ付か他の橋種にすべきである。1ヒンジ付構造で施工する場合の不等実沈下量は40mm程度すなわちコンクリートのクリープ変形を考慮に入れて弾性沈下として計算する場合の換算弾性沈下量として20mm程度までが限度である(1径間長:25~35mとしたとき)。

おわりに

大阪松原線の工事は下部工がほとんど発注済みで、今山場である。瓜破第1工区は現在文化財の遺跡調査中であるが、今年夏には上部工を着工したいと考えている。

私達のように建設を行い、その後道路としての機能を管理している立場から見ると、本橋のような中小橋を重視せざるを得ない。ともすれば私達技術関係に携わる者は長大橋により関心を抱くものであるが、現に、すでに供用開始されている路線、あるいは工事中の路線を見ると長大橋よりはるかに中小橋の占める割合が大きいものである。私達は技術性の高さというよりも、道路機能としての完成度の高さを重視せざるを得ない。この意味から中小橋は機能上優れたものでなければならない。過去多数のPC中小橋が建設されて来たが、決して完成されたものとは言い難い。管理面上にも幾度も欠点が見い出されている。今後とも、沓やジョイントを含めて構造が優れ、美観も良く、施工が容易で、供用開始後も耐久性があって走行性が良く走行騒音の小さい中小橋を長大橋に掛けると同様の力を入れて研究され、完成度の高い中小橋の建造を要望する次第です。

おわりになりましたが本稿にまとめるに当たり、設計および工事の内容について、住友建設大阪支店 尾原文宏氏に協力を得ました。紙面を借りて感謝致します。