

## 大井川水路橋の設計と施工について

中 森 悌 二  
湯 川 勝 太  
西 潟 義 一

### 1. 大井川農業水利事業の概要

#### (1) 目的

農林省大井川農業水利事業は、昭和 22 年 7 月着工、現在継続中の事業で、大井川の水資源の有効かつ合理的な利用のため、静岡県島田市より下流の農業用水施設の合同を行ない、上流の発電用貯水池の建設計画と相まって、さらに他流域の菊川、逆川沿岸に達する導水路の建設を行なうもので、豊富な水量と統一した用水系統により、関係地域のかんがい状態を改善し、農業経営の安定と食糧の増産を企画するものである。

#### (2) 計画の要旨 (図-1)

用水源は大井川より直接取水する従来の方法を廃止して、中部電力KKが建設する井川ダム (高さ 100 m, 堤長 240 m, 有効貯水量 12 500 万 m<sup>3</sup>) および川口発電所 (最大放水量 90 m<sup>3</sup>/sec, 常時 36.6 m<sup>3</sup>/sec) の放水を、直接取水しようとするものであり、かんがい期間中の全必要水量は 39.0 m<sup>3</sup>/sec である。ここから延長 3 300 m の大井川幹線トンネルで神座分水工に導水し、ここで左岸地区 27.78 m<sup>3</sup>/sec, 右岸地区 (五和金谷および菊川, 逆川沿岸区域) 10.22 m<sup>3</sup>/sec, 神座地区 1.0 m<sup>3</sup>/sec にそれぞれ分水する。

右岸地区に分水される用水は、262 m のトンネル, 507 m の鋼管伏越 (inverted syphon) を通り、その吐出水槽より 700 m の大井川水路橋で大井川を渡り、なお下流にトンネル, 開キヨ, 掛樋, 暗キヨ等により導水されてゆくものである (写真-1, 2)。

上記の大井川水路橋は、桁長 35 m, 桁高 2.5 m のポストテンション方式プレストレスト コンクリート桁 80 本を製作架設して、その合成された箱型断面の中を水路としたものである。

なおこのPC桁を採択するにあたっては、次の4つの工法について検討をした。すなわち、この工事は延長 700 m にもおよぶものであり、その工法いかんによっては、工事費、施工の難易および将来の維持管理費等に大きく差異を生ずるため、慎重を期したわけである。

**A案**：橋脚基礎は井筒工法により、上部を1径間 35 m, 全 20 径間 700 m のPC桁橋とし、1/550 の勾配で所要水量を通水する。

写真-1 左岸より見た全景

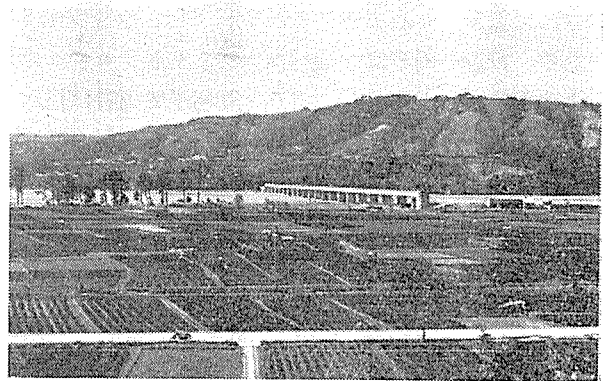
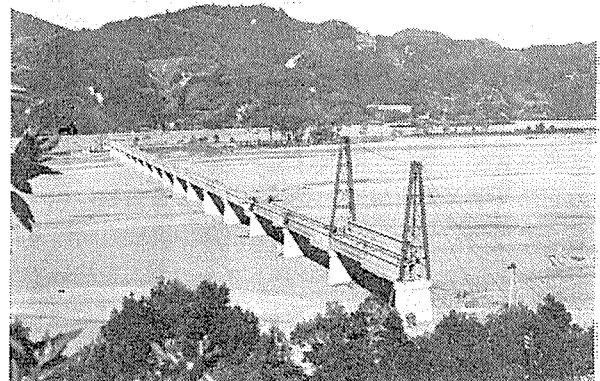


写真-2 右岸より見た全景



**B案**：下部構造はA案と同様であるが、上部の樋体はプレートトラス上に径 2.5 m の鋼管を敷設する。

**C案**：大井川渡川部区間を簡易ケーソン工法により、ケーソン躯体をラーメン構造のサイホンとして河床下に埋設する。断面は 2.8×1.8 m の矩形とする。

**D案**：大井川渡川部区間を井筒工法により、井筒内に内径 1.6 m のヒューム管を2列併設して、サイホンとし河床下に埋設する。

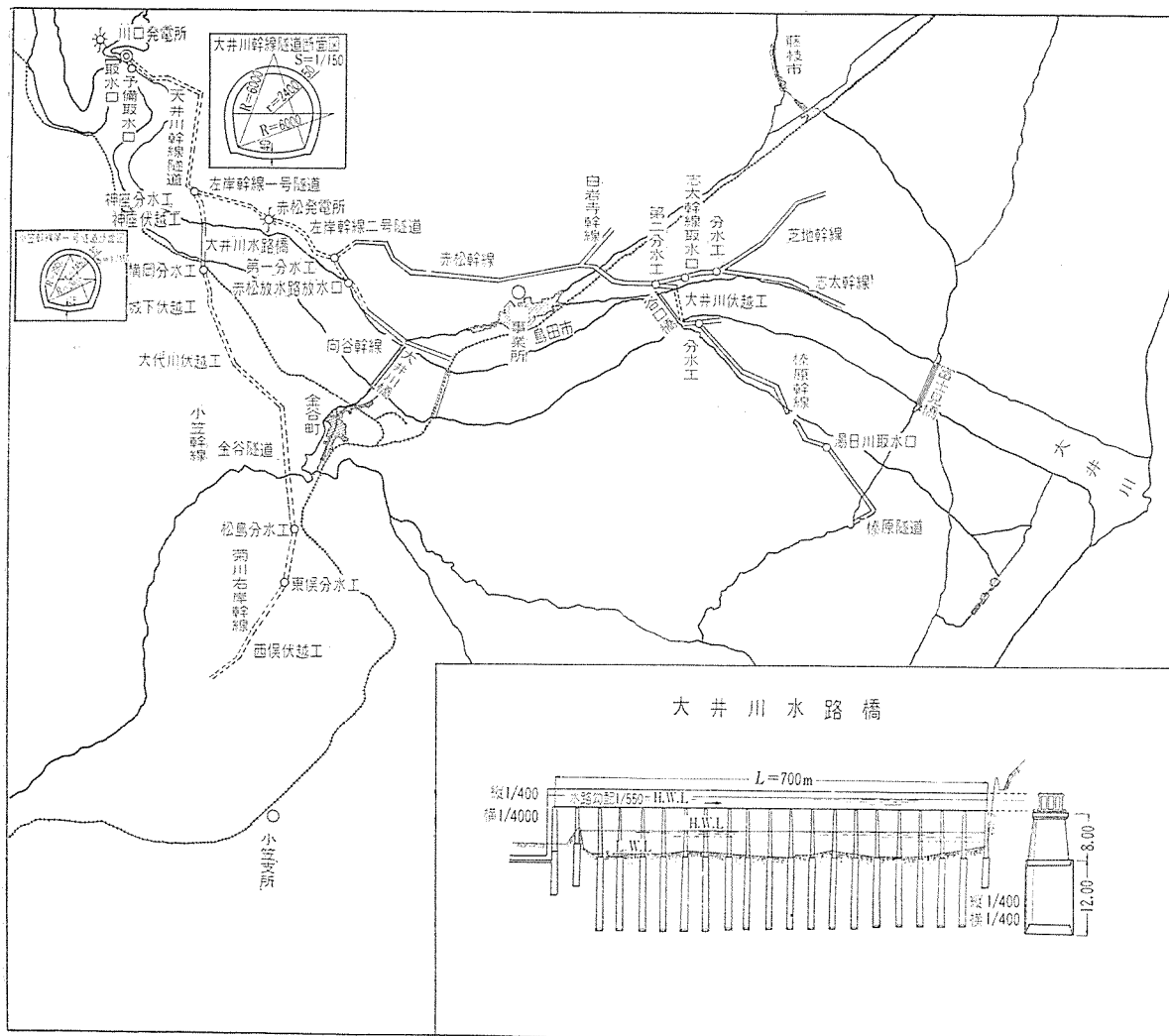
上記4案のうち **C** および **D** 案は、個々のケーソンあるいは井筒の工事は完全にできるとしても、それらの連結の工事が、伏流水の大きい大井川では完璧を期しがたく、また工事も長期にわたり災害をこうむる危険率も大きい。

**A, B** 両案については、工事の難易については大差ないが、工事費および将来の維持管理費の点で、PC桁が経済的であり妥当であるとの結論に達したのである。

#### (3) 水利計算

水深： $H=1.95$  m

図-1 工事計画平面略図



水路巾： $B=1.15\text{ m}$   
 断面積： $A=2.1665\text{ m}^2$   
 潤辺長： $P=4.934\text{ m}$   
 径 深： $R=0.853\text{ m (A/P)}$   
 勾 配： $I=1/550=0.001\ 818\ 2$   
 粗度係数： $n=0.015$

マンニングの公式により

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = 1.64\text{ m/sec}$$

$$Q = A \cdot v = 3.54\text{ m}^3/\text{sec}$$

$$3Q = 10.62\text{ m}^3/\text{sec} > 10.22\text{ m}^3/\text{sec} \text{ (所要通水量)}$$

## 2. 設 計

### (1) 断面の決定

現場は大井川の本流上であり、かつ河床上 8 m の橋脚に架設するのであるからステーキングによる現場打ち施工は不可能とはいえないが非常に危険をとまなうので I ビーム状のプレキャスト PC 桁を堤内で別途に製作して、それを架設することにした。従って PC 主桁を架設

後、各桁間に現場打ち中埋めコンクリートを打設して箱型断面とし、 $1.15 \times 1.95\text{ m}$  の断面を有する水路を 3 本つくり、所要水量を通すこととした（巻末・付図参照）。

### (2) 主桁の設計

中桁、耳桁および現場打ちコンクリートを付図（巻末）のように仮定する。荷重として考えられるのは次の諸項目である。

- a) 桁自重
- b) 下縁現場打ち中埋めコンクリートの自重
- c) 上縁 " "
- d) 地覆、舗装の自重
- e) 水荷重

上記の荷重による中央断面の曲げモーメントおよび支点上のせん断力は表-1 のようになる。

表-1 の値より桁中央断面における曲げ応力を計算する。断面係数算出については、施工順序に従って次のように分けた。

- a) 1次プレストレスについては、各主桁単独断面よりシース孔をさしひいた断面

表-1

	曲げモーメント t·m	せん断力 t
桁自重(中桁)	315.4	36.9
“(耳桁)	237.2	27.8
下縁現場打ち(中桁)	21.0	2.5
“(耳桁)	15.8	1.8
上縁現場打ち	55.1	6.5
舗装地覆高欄	102.4	12.0
水荷重	977.3	114.4

b) 下縁コンクリートについては、各主桁単独断面で1次プレストレス用PC鋼線を換算した断面

c) 2次プレストレスについては、主桁と下縁コンクリートを合成し、2次プレストレス用シーソ孔をさしひいた断面

d) 上縁コンクリートに対しては、上記の断面で2次プレストレス用PC鋼線を換算した断面

e) 舗装および水荷重に対しては、上縁コンクリートを合成した断面

荷重およびプレストレスによる曲げ応力を計算すると

表-2

項 目	中 桁		耳 桁		下縁コンクリート	
	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	上 縁	下 縁
	応力度	合 計	応力度	合 計	応力度	合 計
$P_1$ 第1次プレストレス	-22.3	+81.7	-27.9	+78.9		
$O$ 桁自重	+55.4	-48.4	+65.4	-60.1		
$P_1+O$	+33.2	+33.3	+37.5	+18.8		
$d_l$ 下突縁現場打ち	+3.6	-3.1	+4.3	-3.8		
$P_1+O+d_l$	+36.8	+30.2	+41.8	+15.0		
$P_2$ 第2次プレストレス	-14.3	+54.1	-14.3	+54.1		+54.1
$P_2+O+d_l+P_2$	+22.5	+84.3	+27.5	+69.1		
$d_u$ 上突縁現場打ち	+2.8	-1.9	+2.8	-1.9		-1.9
$P_1+O+d_l+P_2+d_u$	+25.3	+82.4	+30.3	+67.2		+52.2
$d_h$ 舗装, 地覆, 高欄	+4.5	-3.8	+4.5	-3.8		-3.8
$P_1+O+d_l+P_2+d_u$	+29.8	+78.6	+34.8	+63.4		+48.4
$W$ 水荷重	+43.4	-36.2	+43.4	-36.2		-36.2
合 計	+73.2	+42.4	+78.2	+27.2		+12.2

表-2 のようになる。

すなわち設計荷重作用時(通水時)にも主桁下縁はもちろん、下縁中埋コンクリートにも引張力を生じないので安全である。本橋の場合、荷重がすべて等分布荷重であるから、曲げモーメントの変化は放物線となる。従って曲げ応力度も放物線状に変わるものと考えてさしつかえない。これに対しプレストレスは、PCケーブルが桁の中心より離れるに従って曲げ上ってくるので、PC鋼線群の図心が変わり偏心量  $e_p$  が減少する。このためプレストレスが減少するので、ケーブルを曲げ上げる各点について、荷重による曲げ応力度とプレストレスの大きさを検討する。

計算の結果、各点における曲げ応力度の合計は表-3 のようになる。すなわち、いずれの点においても引張応力を生じないから安全である。なお支点より 6.40, 4.90, 3.40, 1.80, 0.30m の各点においては、曲げ上げケーブル

表-3

支点からの距離(m)	12.81	8.54	6.40	4.90	3.40	1.80	0.30	0
中 設計荷重作用時	上縁 (kg/cm <sup>2</sup> )	+66.7	+56.3	+56.8	+50.3	+40.8	+34.3	+28.0
	下縁 “	+47.7	+56.7	+56.0	+49.3	+56.5	+54.6	+51.8
耳 桁	上縁 ( “ )	+71.1	+58.6	+58.0	+51.8	+44.7	+42.6	+41.4
	下縁 ( “ )	+26.2	+44.5	+45.2	+43.0	+36.1	+32.2	+26.4
下縁現場打ち	設計荷重作用時 ( “ )	+14.3	+13.6	+6.0	+4.2	+3.1	+1.9	+1.8
				+7.4		+3.0	+3.2	

が定着されているので、この位置の前後で同様に応力を検討した結果も安全である。

せん断力は腹部と上のハンチの接合面、合成断面図心線、および腹部と下部ハンチの接合面の三つの面について検討した。

計算方法としては、昭和30年土木学会制定プレストレストコンクリート設計施工指針第52条によった。

曲げモーメントの計算と同様、支点より 0, 0.30, 1.80,

3.40, 4.90, 6.40, 8.54, 12.81 m

の各点につき合成せん断力を求めた。計算の結果、設計荷重作用時においては、 $\tau$  は許容値 9 kg/cm<sup>2</sup> を超えることはない。破壊荷重作用時(設計荷重の 1.75 倍)においては、中桁支点および支点より 0.30 m の断面において 9 kg/cm<sup>2</sup> を超えるが、主引張応力度はいずれも許容値 18 kg/cm<sup>2</sup> 以下であるので、計算上助鉄筋は必要としないことになる。

(3) 安全率

ひびわれに対する安全率は指針 49 条より

$$F = \frac{(\text{有効プレストレス}) + (\text{コンクリートの曲げ引張強度})}{(\text{荷重, 温度変化等による最大曲げモーメント})}$$

で表わされる。コンクリートの曲げ引張強度は同条より  $\sigma_{ts} = 450 \text{ kg/cm}^2$  の場合 55 kg/cm<sup>2</sup> である。上式を變形すると、

$$F = 1 + \frac{\sigma_{tu} - (\text{設計荷重時の引張応力度})}{(\text{活荷重による引張応力度})}$$

前記の曲げ応力合計表の数値を入れると、水荷重に対する安全率は

$$F = 1 + \frac{27.2 + 55.0}{36.2} = 3.27 \text{ (耳桁)}$$

$$F = 1 + \frac{42.4 + 55.0}{36.2} = 3.69 \text{ (中桁)}$$

$$F = 1 + \frac{12.2 + 55.0}{36.2} = 2.86 \text{ (下縁現場打ちコンクリート)}$$

となり、他の一般構造物に比して十分であると考えた。

### 3. 施 工

施工主体：農林省  
 施工業者：オリエンタル コンクリート KK  
 工 期：昭和 33 年 11 月～昭和 35 年 6 月  
 橋 長：20@35.0 m=700.0 m  
 巾 員：上部管理用通路 3.6 m  
         内部水路 3@1.15=3.45 m  
 工 事 費：107 650 000 円  
 構 造：ポストテンション方式 PC 単純桁

工事施工工程表は 表-4 のとおりで約 19 カ月を要した。なにぶんにも桁高 2.50 m，フランジの巾は，中桁 1.20 m，耳桁 0.60 m，ウェブの巾 0.20 m という巨大な鉄の I ビームの感さえる断面を有し，かつ桁 1 本の重量が約 80 t もあるので，このコンクリートの打込み，架設には非常な苦心を要した。以下順を追って簡単に施工要領を述べることにする。

表-4 実 施 工 程 表

工種	年/月	33/12	34/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	35/1	2	3	4	5	6	7	備 考
仮 設 工		■																				
主 桁 製 作 工			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
架 設 工				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
下 段 中 埋 ン グ コ ン ク リ ー ト 及 び 緊 張 工												■	■	■								含 2 次 緊 張
内 部 防 水 工															■	■						
伸 縮 継 手 工																■	■					
上 段 中 埋 ン グ コ ン ク リ ー ト 及 び 緊 張 工																■	■					
地 覆 他 仕 上 工																		■	■			
上 部 舗 装 工																			■	■		
塗 工																				■	■	

#### (1) 仮設段取り

仮設段取りは 図-2, 3 のとおりであるが，ちょうど水路橋に接続する上流のサイホンが，延長 500 m，巾 50 m にわたってオープン カットにより工事中のため，橋軸の延長方向に適当な作業場を作ることができず，架設にとってはかなり不便であったが，橋軸に直角方向に約 900

図-2 現場設備平面図

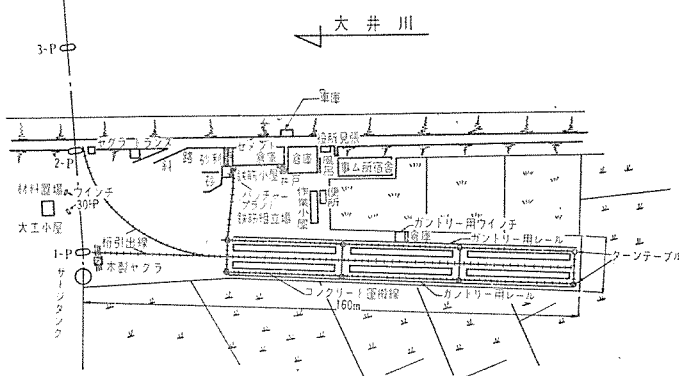
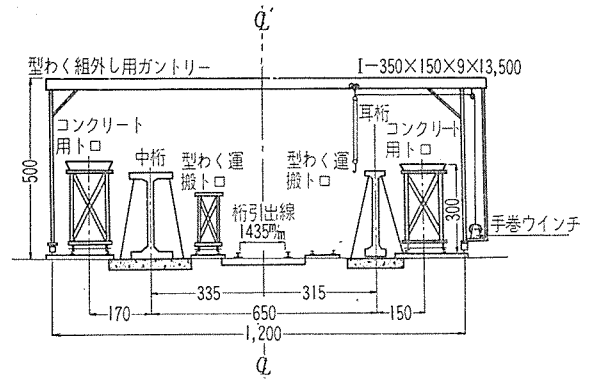


図-3 主桁製作場段取図



坪の水田を借上げて主桁製作場とした (写真-3, 4)。

主桁製作ベースは，中桁，耳桁各 3 基ずつ計 6 基をコンクリートで作り，メタル フォーム 2 組で 3~4 日に 1 本の割合で主桁を作ることができた。

#### (2) 型わく

メタル フォームを中桁，耳桁各専用に 1 組ずつ計 2 組準備した。桁高が高くフランジ巾が広い

ため，ウェブの中間で型わくを切り，上下のメタル フォームの間にクサビ状のプレートをはさんで，脱着の便をはかった。

型わくを垂直に保ち，腰折等を防ぐためには，引張用と押上用のターン バックルを併用した。また型わくの着脱には，両ベースの外側に敷設した，ゲージ 1m のレールの上を走行する

ガントリー クレーンを用い，特に上段の型わくの組払いには大きな威力を発揮することができた。

1 組の型わくは 92 個の側板と 2 個の妻板，およびターン バックル，コーン取付用舟，補強板，タイ アングル等よりなり，2 組分で約 65 t の鋼材を使用した (図-

写真-3 主桁製作作業場

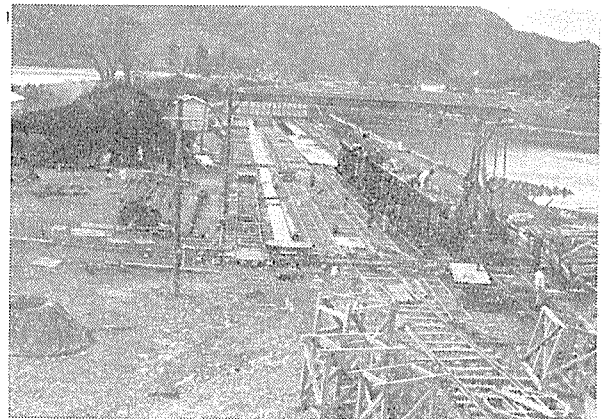


写真-4 背面より見た 16 切パッチャー プラント

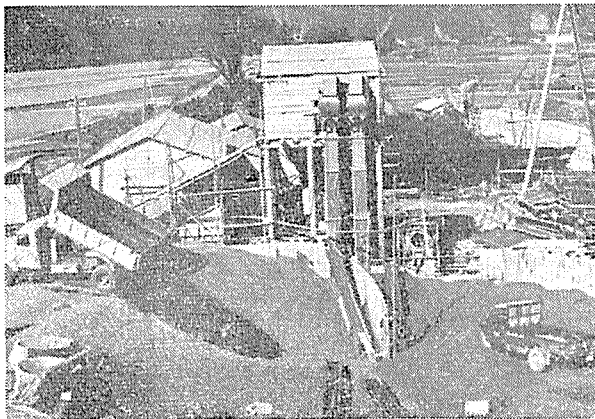


写真-5 耳桁型わく片側組立

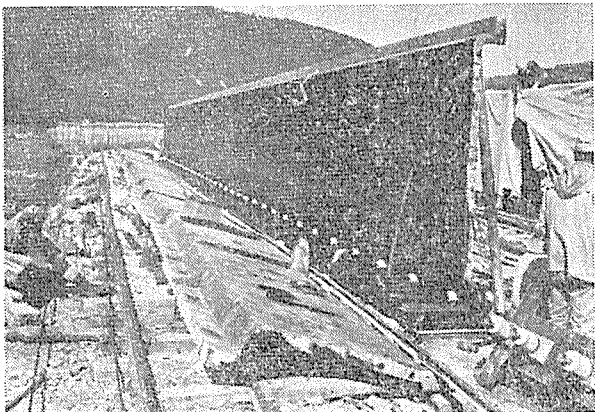


写真-6 中桁型わく組立

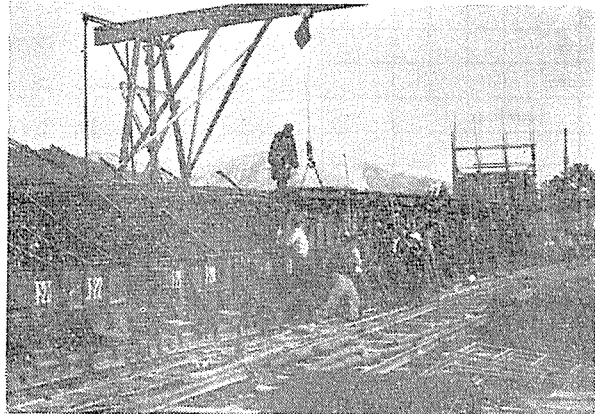


図-4 主桁型わく図

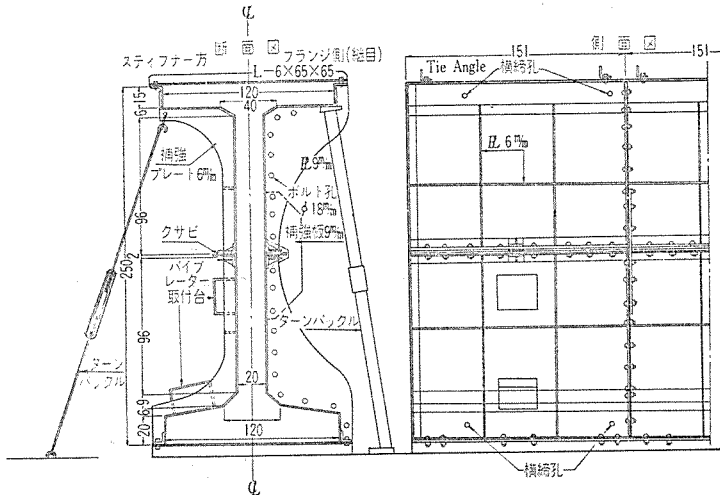
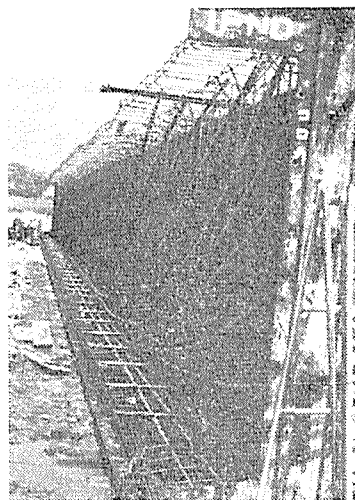


写真-7 中桁鉄筋シース組立



4, 写真-5, 6, 7)。

(3) コンクリート

われわれが最も心配したのは、このような断面を有する桁の下縁の端部 2.5 m の高さから、硬練りのコンクリートを打込んで完全に充填できるかということであったが、数回のコンクリート試験打込みの結果、このような断面でも、セメント使用量 450~470 kg/m<sup>3</sup>、骨材最大粒径 25 mm、スランプ 4~6 cm のいわゆる普通の PC 桁に使用するようなコンクリートならば、細心の注意を払えば完全に打込めることがわかった。示方配合は表-5 のとおりである。

下縁コンクリートの充填は、型わくバイブレーター 6 台 (片側 3 台ずつ) を用いて締固め、15×30 cm の取りはずし可能な検査孔を、下縁に設けて打込みの完全を期した。

ウェブおよび上縁は、φ 45 mm のエンジン フレキシブル バイブレーター 3 台で締固め、桁 1 本当り打込み所要時間は 4~6 時間であった (写真-8)。

写真-8 コンクリート打込み

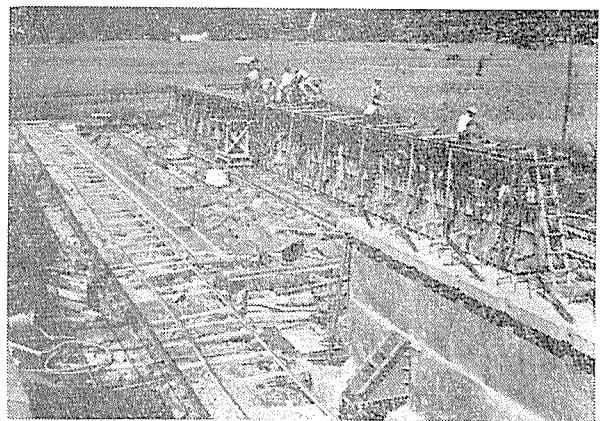


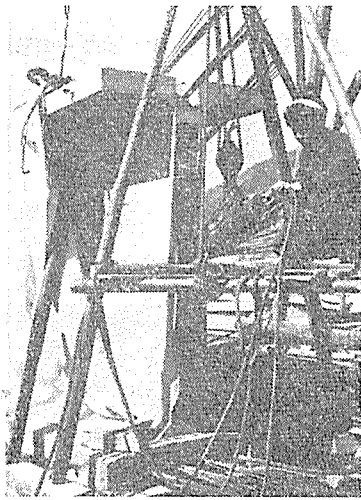
表-5 コンクリート配合表

所要強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	骨材最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	水セメント比 (%)	絶対細骨材率 (%)	表面乾燥飽和状態の骨材重量 (kg)		
							細骨材	粗骨材	全量
450	25	2~4	470	165	35	40	724	1 087	1 811

(4) プレストレッシング

本橋は水路橋であるので、完成後のろう水を防ぐため下縁中埋コンクリートには所要のプレストレスを与えておかないと、載荷時(通水時)中埋コンクリートに制限以上の引張応力を生じ、ろう水の原因となる。

写真-9 一次緊張



これを防ぐため、主桁の端部に定着されるPCケーブルを一次緊張して架設し(写真-9)、下縁の中埋コンクリートを打込み、横締めをして箱型断面に合成してから、残る20条(主桁1本あたり5条)のPCケーブルと、中埋コンクリート中に入れた4条のPCケーブルを二次緊張して、下縁全断面に所要のプレストレスを与えた(写真-10)。緊張作業のデータは表-6に示す。

写真-10 二次緊張

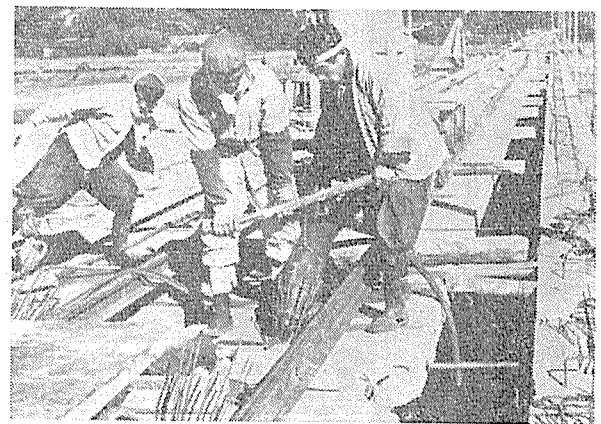


表-6 PC鋼線の緊張応力および伸びに関する表

	中 桁 一 次 緊 張					中 桁 二 次 緊 張				
シースNo.	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10-12</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
緊張応力度 (kg/mm <sup>2</sup> )	129.08	125.94	123.09	117.35	113.35	113.07	113.84	114.73	115.69	116.16
マンメーター (kg/cm <sup>2</sup> )	378.20	369.00	360.70	343.90	332.10	331.00	334.00	336.00	339.00	340.00
伸 び (cm)	19.90	19.08	18.73	18.33	18.13	12.59	14.04	15.58	17.18	18.04
	耳 桁 一 次 緊 張					耳 桁 二 次 緊 張				
シースNo.	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
緊張応力度 (kg/mm <sup>2</sup> )	126.07	123.12	120.34	114.73	110.82	113.07	113.84	114.73	115.60	
マンメーター (kg/cm <sup>2</sup> )	369.00	361.00	353.00	336.00	325.00	331.00	334.00	336.00	339.00	
伸 び (cm)	19.93	19.39	18.73	18.21	17.51	12.60	14.05	15.55	17.00	
	桁 間 縦 締 め					桁 間 横 締 め				
緊張応力度 (kg/mm <sup>2</sup> )	102.40					112.80				
マンメーター (kg/cm <sup>2</sup> )	300.00					340.00				
伸 び (cm)	14.40					2.19				

角変化による1ラジアンあたりの摩擦損失係数  $\mu=0.26$   
 長さに関する1mあたりの摩擦損失係数  $\lambda=0.0047$

(5) 架 設

桁高が2.5mもあり非常に高いので、主桁運搬用レールが1.067mのゲージでは運搬中の安定が悪く、転倒防止のサポートを取る余地もないので、1.435mの広軌のゲージで主桁運搬用レールを敷設するようにした。また桁を90°方向転換しなければならないので、運搬中に桁のフランジに無理な力を与えたり、損傷を与えたり

することのないようにレールの敷設には特に留意し、重量トロ台車もこれらの目的に適するよう、広軌のゲージで新規に製作準備した(写真-11,12)。

本橋は道路橋の桁と違ってダイヤフラムがなく、桁のこう上などでジャッキを仕かける手がかりがないので、桁の両端近くウェブの中間に120×120mmおよびφ80mmの穴をあらかじめあけておき、鋼製ブラケットを角



写真-11 ベースより運搬レールに横取り

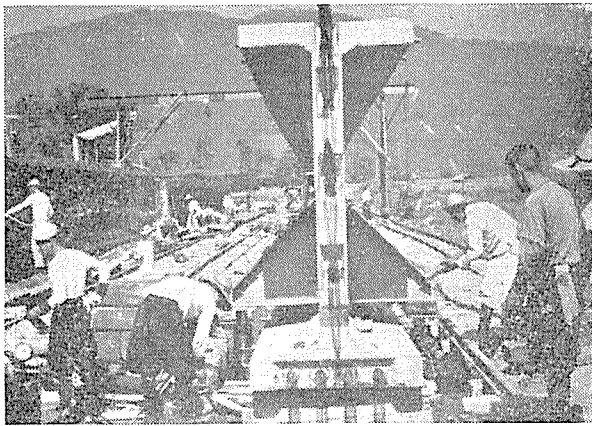
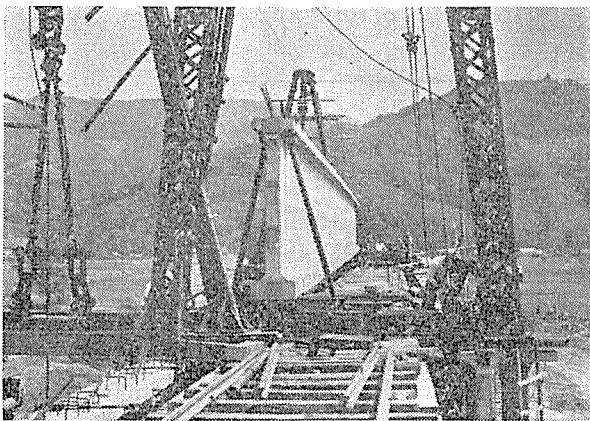


写真-12 第1径間において橋上運搬レールに横取り



ピンおよび丸ピンで取り付けジャッキの受け台とした。桁の吊上げまたは吊込みのときには、この角ピンに台つきワイヤーを取りつけた。

この角ピンを通す穴は、桁の自重と衝撃荷重の合計の1/2、すなわち50~60tの荷重が、わずか10~20cmのコンクリート面積にかかるので、周囲にラセン鉄筋などを十分に入れた上、コンクリートと角ピンの面のなじみを完全にしないと、コンクリートの許容圧縮強度を超えて縁が破壊するおそれがあるので入念に施工した。

2径間以降の桁は、第1径間に一度吊上げて、橋上に敷設したレールの上を運搬し、ケーブルエレクション方式によって所定の位置におさめた。ケーブルエレクシ

写真-13 第1径間における桁のつりあげ設備

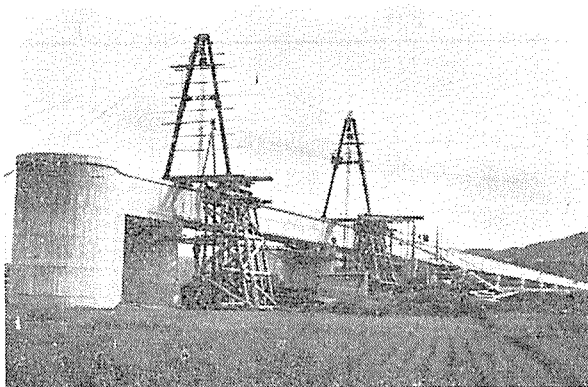


写真-14 エレクションタワーによるつり込み架設

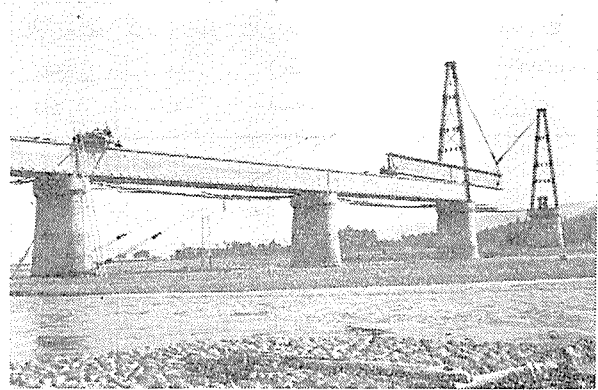
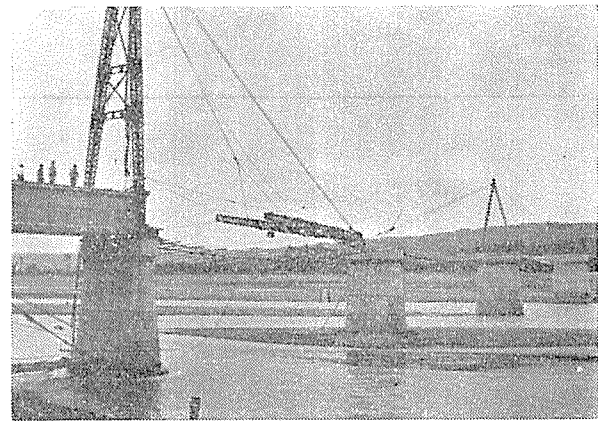


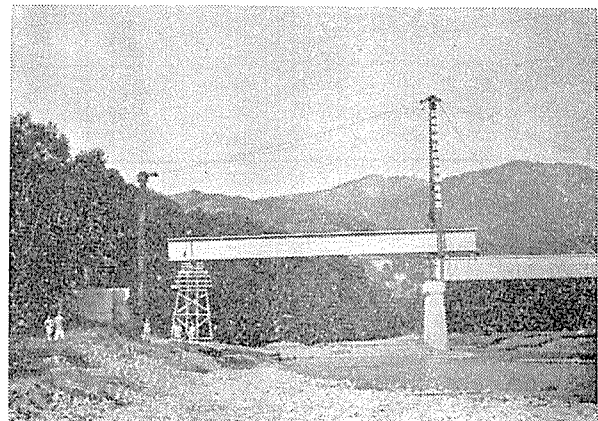
写真-15 エレクションタワーの移動



ョンによる架設については、本誌第1巻第4号の「城ヶ島大橋PC桁架設工事について」に詳述されているので参照されたい(写真-13,14,15)。

最終径間は、大井川鉄道が架設現場の近くを通っており、エレクションタワーのアンカーがどうしてもこれにかかるため、ケーブルエレクション方式をとることができず、やむなく河床を整地してレールを敷設し、この上に木製移動ベントを作り、桁の前端をこのベントに載せて引出し架設した(写真-16)。

写真-16 最終径間の移動ベントによる架設



4本の主桁を架設したのち下部中埋コンクリート、上部中埋コンクリートの順序に現場打ちコンクリートを施

写真-17 下部中埋現場打ちコンクリート終了

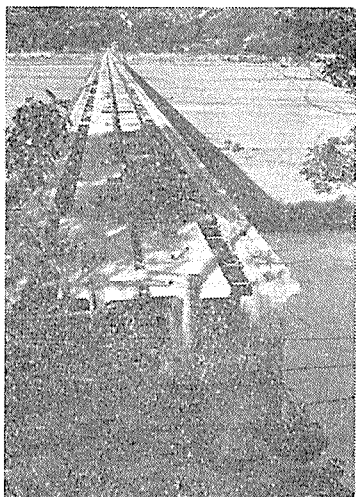
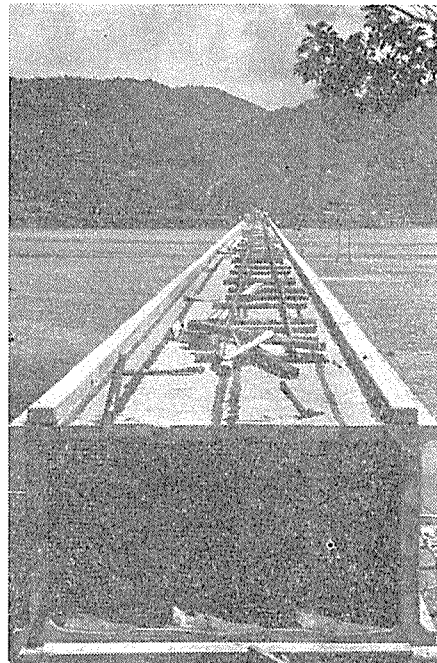


写真-18 側面防水塗装



写真-19 水路部詳細



工した(写真-17)。

(6) 防水工事

水は合成された箱型断面の中を直接流れるので、コンクリートの透水および施工ジョイントからのろう水を防ぐため、石炭系歴青質(タールピッチ)を基本とした防水剤および防水塗料を塗ることによって完璧を期した。(図-5、写真-18)。

図-5 防水工

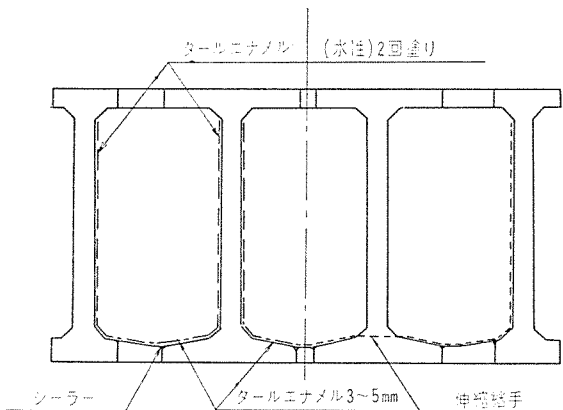
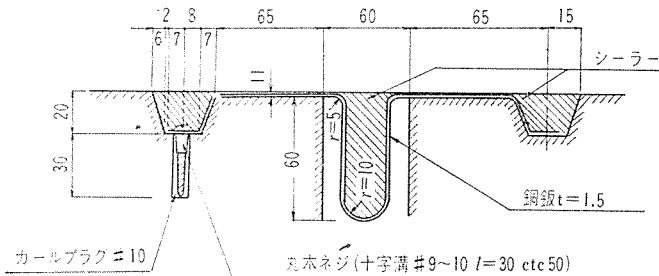


図-6 伸縮継手詳細図



伸縮継手は厚さ 1.5 mm の銅板を 図-6 のごとく

プレス加工したものを、箱型全断面を通じてU字型に取り付け、溝の部分を前記の防水剤(シール剤)で填充した。水密工法については、道路橋と違い、特に細心の注意をもって施工したのである。

4. 結 び

おそらく本水路橋は、工事の規模、通水量および長さからいっても、あるいはPC桁自体を水路橋とした点からいっても、わが国最初の画期的な計画であったと思う。それだけに本水路橋の計画、設計および施工にあたっては、諸種の困難な問題に遭遇せざるを得なかった。特に施工時における型わくの構造、およびコンクリートの完全な打設、現場打ち中埋コンクリートに対するプレストレス導入と二次緊張、およびろう水防止等に対する水密工法等については、そのつど想定される条件と同等の模倣試験として、納得のゆく結論を得た上で施工をした。

終りにのぞみ、施工者オリエンタル コンクリートKKが、困難な問題の解明に協力し、工事完工のため最大限の努力をもって、誠心誠意工事を施工されたことに対して関係諸氏に深甚の謝意を表わす次第である。

(中森：農林省喜瀬川農業水利事業所長  
湯川：農林省東京農地事務局建設部開墾建設課  
西潟：農林省大井川農業水利事業所第一工区長)