

PC斜張橋“^{つくはら}衝原大橋”の設計と施工

吉 村 戌*
植 木 義 春**
今 井 義 明***

1. まえがき

衝原大橋は、農林水産省が実施する東播用水農業水利事業の一環である^{どんと}呑吐ダムの湖面橋として建設された、橋長 174 m の 2 径間連続 PC 斜張橋である。スパン 86.3 m、主塔・橋脚高 88.6 m の本橋は我が国を代表する PC 斜張橋の一つであり、主桁は場所打ちカンチレバー工法により架設された。力強く伸びたタワーと低い桁高のスレンダーな主桁は、斜張橋特有の現代的構造美を創出し、清澄な湖面や周囲の環境と見事な調和を見せるものと期待されている。

本稿は、衝原大橋の設計・施工の概要について述べるものである。

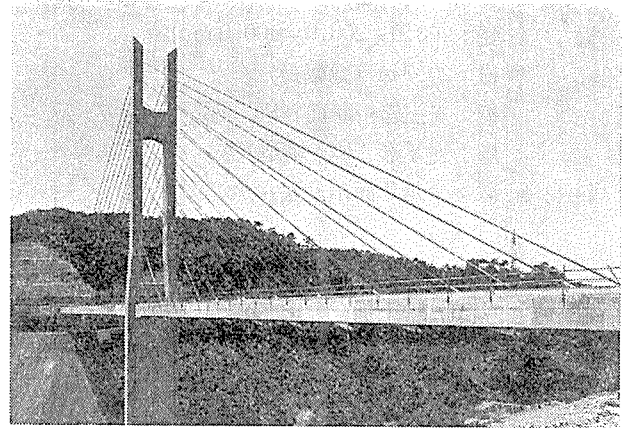


写真-1

2. 工事概要

橋 名：衝原大橋
場 所：兵庫県神戸市北区山田町衝原地先
工 期：昭和 60 年 4 月～昭和 61 年 11 月
発 注 者：農林水産省近畿農政局東播用水農業水利事業所

工事内容：

橋 種；プレストレストコンクリート道路橋
橋 格；2 等橋
構造形式；上部工 2 径間連続 PC 斜張橋
下部工 直接基礎
橋 長；174.0 m

表-1 主要材料

種 別	規 格	単 位	数 量	摘 要
コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$	m ³	855	主 桁
	$\sigma_{ck}=350 \text{ kg/cm}^2$	m ³	334	主 塔
	$\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$	m ³	1 851	橋 脚
	$\sigma_{ck}=210 \text{ kg/cm}^2$	m ³	355	橋台、地覆
鉄 筋	SD 35	t	410	
PC 鋼 材	SWPR 7 B ϕ 15.2	t	19	主 桁
	SBPR 95/110 ϕ 32	t	25	主 桁
斜ケーブル	SWPR 7 B ϕ 15.2	t	36	亜鉛メッキ PC 鋼より線

支 間；86.3 m + 86.3 m
幅 員；総幅員 6.36 m
有効幅員 車道 4.0 m

勾 配；

縦断勾配 2.18% 直線
横断勾配 1.5% 直線

斜 角；90 度

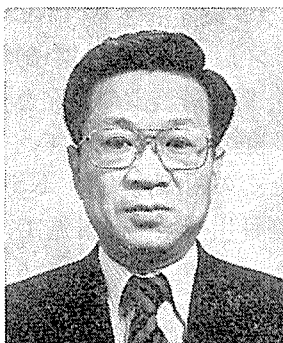
主要材料；表-1 に示す。
工事工程；図-2 に示す。

3. 本橋の特色

本橋の特色を以下に列記する。

- 1) 本橋は斜ケーブルが 7.0

プレストレストコンクリート



* Mamoru YOSHIMURA
近畿農政局東播用水
農業水利事業所長



** Yoshiharu UEKI
近畿農政局東播用水
呑吐支所係長



*** Yoshiaki IMAI
大成建設(株)土木本部
設計部構造設計室係長

工種	月	昭和 60 年										昭和 61 年									
		4月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
橋脚工		■	■	■																	
主塔工					■	■	■	■	■	■	■										
主桁柱頭部					■			■													
トラベラー組立解体								■	■	■	■										
主桁一般部									■	■	■	■	■	■							
橋台工								■	■	■	■										
橋面工・付帯工																				■	■

図-2 工事工程

m 間隔で主桁に定着されたマルチ（多段）ケーブル形式で、桁高が 1.6m と非常に低い。

桁高・スパン比は、3 径間連続形式に換算すると約 1/108 である。

2) 主桁は下床版のない 2 主桁断面を採用した。

このタイプの主桁は施工性が良いだけでなく、斜ケーブルが主桁ウェブを貫いて桁下端で定着されているため、斜ケーブル張力の主桁への伝達性能に優れている。また、曲げ剛性の小さい 2 主桁断面の採用は、荷重を桁の曲げ剛性よりも斜ケーブルの伸び剛性で受け持たせるという、最近の長大 PC 斜張橋の設計思想に基づくものである。

3) 斜ケーブルは、亜鉛メッキ PC 鋼より線 φ15.2 mm を束ねてポリエチレンコーティングした、ノングラウトタイプのケーブルを用いた。定着は HiAm アンカーである。

このケーブルは、グラウトタイプのケーブルに比較して外径が 2/3 程度に細くなるため、外観が良い。また、グラウトに要する期間を省略できるため、工期を短縮できる。

4) 地震エネルギーの吸収を目的とし、主桁両端部と橋台との間に耐震ゴムダンパーを挿入した。

5) 主桁のカンチレバー施工は、工期短縮を図るため、斜ケーブルを利用して斜ケーブル間隔 7.0 m を一度に施工する新工法を採用した。

6) 5) と同様な理由から、主桁のカンチレバー施工と主塔の施工とを並行して行った。主塔の施工は主桁より数リフト先行させた。

4. 設 計

4.1 設計条件

設計条件は以下に基づき、設定した（表-2、3）。

- ・道路橋示方書 I, III~V
- ・(財) 海洋架橋調査会 調査研究報告書 “PC 斜張橋

表-2 荷重条件

項目	内 容	備 考
活 荷 重	TL-14	
衝撃係数	主 桁 $i=10/(20+l)$ 床版, 横桁 $i=20/(50+l')$	l, l' : 支間長
地 震	<静的解析> $K_H = \begin{cases} 0.08 & (\text{橋軸方向}) \\ 0.18 & (\text{橋軸直角方向}) \end{cases}$ $K_V = 0$	応答を考慮した修正震度法による
	<動的解析> 応答スペクトル法, 入力最大加速度 120 gal	建設省土木研究所, 応答スペクトル曲線を使用
風	$w=300 \text{ kg/m}^2$	道路橋示方書による
クリープ・乾燥収縮	クリープ係数・乾燥収縮度は構造物の周辺の湿度, 部材断面の形状寸法, コンクリートの配合, 材令等を考慮して定める。	
レラクセーション	5% 3%	PC ケーブル PC 鋼 棒
温 度	1) 全体系の温度変化 $\pm 15^\circ\text{C}$ 2) 主桁上面の温度上昇 5°C 3) 斜ケーブルの温度上昇 15°C 4) 1), 2), 3) の可能な組合せ	

上部工設計指針（案）”, 昭和 56 年 3 月

・建設省 “新耐震設計法（案）”, 昭和 52 年 3 月

4.2 設計概要

設計は、完成系に対して行うほかに、主桁のカンチレバー施工時、桁内 PC ケーブル緊張時、斜ケーブル張力調整時等についても応力度照査を実施した。カンチレバー施工時の解析は、移動式作業車（以下、トラベラーと称す）の移動、コンクリート打設、PC 鋼棒緊張、斜ケーブル緊張等の各施工ステップを正確にシミュレートできる電算プログラムによった。

クリープ解析を含む一連の構造解析は、微小変形理論による平面骨組弾性解析プログラムを用いた。構造解析における斜ケーブルの弾性係数は、Ernst の等価弾性係数によりサグの影響を考慮した。

表—3 材料強度および許容応力度

(1) コンクリート (単位: kg/cm²)

		主桁	主塔	橋脚	橋合・地覆
設計基準強度		400	350	240	210
許 容 応 力 度	曲げ圧縮 応力度	プレストレス導入時	180	—	—
		設計荷重作用時	140	115	80
	軸圧縮 応力度	プレストレス導入時	145	—	—
		設計時	110	95	65
	曲げ引張 応力度	プレストレス導入時	-15	—	—
		静荷重時	0	—	—
	軸引張 応力度	設計荷重作用時	-15	—	—
		設計時	0	—	—
	せん断 応力度	設計荷重作用時	5.5	5.0	3.9
		終局時	53	46	32
斜め引張 応力度	せん断力のみまたはねじりモーメントのみを考慮する時	-10	—	—	
	せん断力とねじりモーメントをともに考慮する時	-13	—	—	

(2) PC 鋼材 (単位: kg/mm²)

	斜ケーブル	主 桁	
	SWPR 7B 11φ15.2 ~15φ15.2 (亜鉛メッキ)	PC ケーブル VSL E 6-12 SWPR 7B 12φ15.2	PC 鋼棒 SBPR 95/110φ32
引張強度	168	190	110
降伏点応力度	126	160	95
許 容 応 力 度	緊張作業時	—	144
	プレストレス導入直後	—	133
	設計荷重作用時	67	114

(3) 鉄筋 SD 35

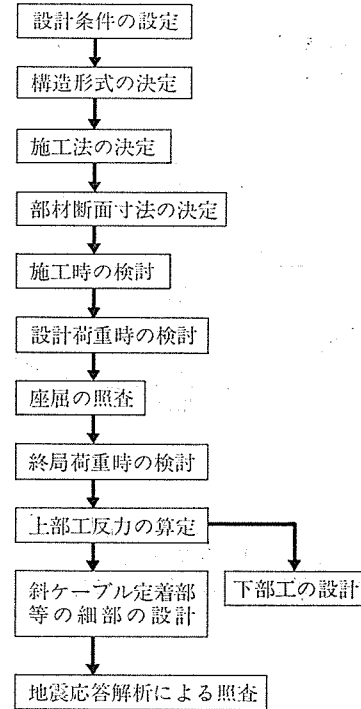
常時	一般部材	$\sigma_{sa}=1800 \text{ kg/cm}^2$
	床版	$\sigma_{sa}=1400 \text{ "}$
	下部工(水中)	$\sigma_{sa}=1600 \text{ "}$
地震時		$\sigma_{sa}=3000 \text{ "}$

カンチレバー施工時のクリープ解析では、解析に先立って概略工程を作成し、クリープ係数、乾燥収縮度の設定を行った。部材の材令は、主桁のカンチレバー施工3ブロック分を1材令に近似した。

カンチレバー施工時に主桁に発生する曲げモーメントに対しては、斜ケーブル張力およびPC鋼棒で抵抗させた。PC鋼棒はクリープによる断面力を低減させるために軸力配置とした。架設終了後に載荷される橋面工荷重、活荷重およびクリープ・乾燥収縮等により生ずる断面力に対しては、PC鋼棒、PCケーブル、斜ケーブル調整力により抵抗させた。

主塔と主桁の斜ケーブル定着部の設計は、Iyengar, Leonhardt 等の提案式により局部応力度を計算するとともに、FEM(有限要素法)解析を行い、補強方法を検討した。

主桁および主塔・橋脚の座屈に対する検討は、2次元



図—3 設計の手順

骨組モデルによる弾性座屈固有値解析を行い、座屈モードと固有値を算出して安定性を照査した。その結果、十分安全であることが確認された。

図—3 に設計の手順を示す。

4.3 地震応答解析

衝原大橋は1次固有周期 2.6 sec の長周期構造物であり、動的解析法によって耐震設計を行うのが合理的な構造物である。このため、本橋の耐震設計は応答を考慮した修正震度法によるほか、応答スペクトル法による弾性応答解析を実施した(入力加速度 120 gal)。また、構造物の規模と重要性を考慮して、入力加速度 500 gal の弾塑性応答解析を行い、大規模地震時の安全性を照査した。詳細は文献 5) を参照されたい。

5. 施 工

5.1 施工概要

施工要領図(図—4)に従って、施工の概要を述べる。

(1) 橋脚の施工

1リフトの高さは4.0mとし、型枠は大型パネル形式とした。型枠の移動にはタワークレーンを用いた。

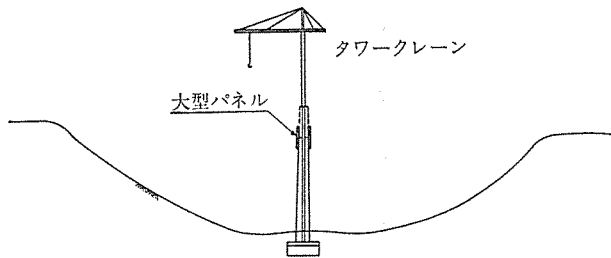
水平打継目はウォータージェットにより、レイタンスとゆるんだ骨材を除去した。また、コンクリート打設前に、コンクリート中のモルタルより富配合のモルタルを敷きならし、付着性能の向上と豆板の防止を図った。

(2) 柱頭部主桁および主塔の施工

橋脚の施工完了後、柱頭部主桁を枠組支保工で施工し

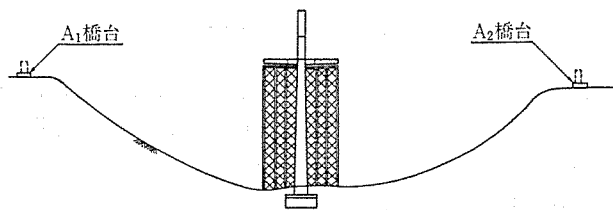
① 橋脚の施工

- ・1リフト高さは4.0m



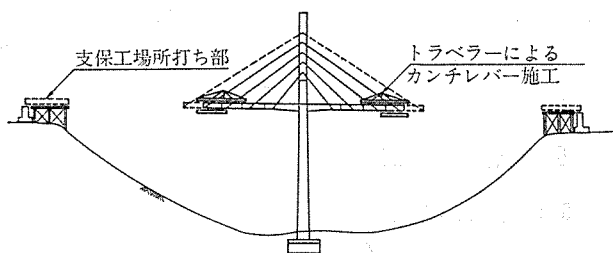
② 柱頭部主桁および主塔の施工

- ・柱頭部主桁は2回に分割して施工。



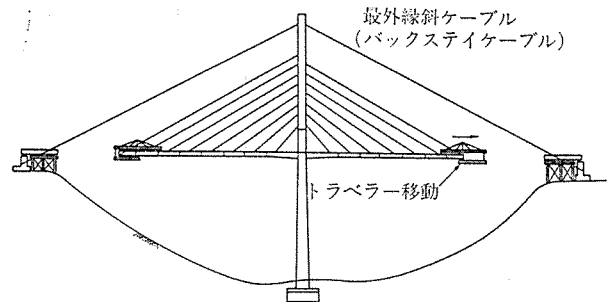
③ 主桁の左右同時カンチレバー施工（第1～第4ブロック）

- ・主桁の1ブロック長は7.0m
- ・斜ケーブルの緊張は主塔側で実施。



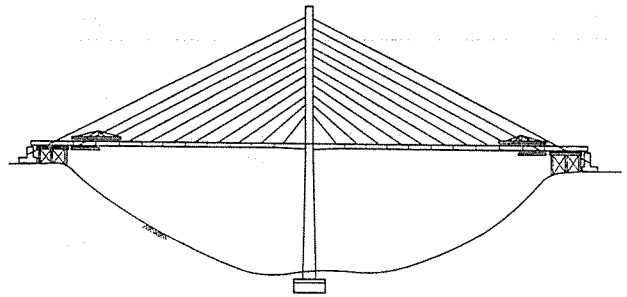
④ 主桁の交互カンチレバー施工（第5～第8ブロック）

- ・主塔の施工完了後、最外縁の斜ケーブルを架設。
- ・主桁の交互カンチレバー施工を実施。



⑤ 閉合工

- ・閉合ブロックの施工。
- ・最外縁斜ケーブルの橋台から主桁への盛換え。



⑥ 斜ケーブル張力の最終調整、橋面工の施工、ほか

- ・PCケーブル緊張後、斜ケーブル張力の最終調整
- ・主塔の斜ケーブル定着部の後埋め。
- ・ゴムダンパーの主桁端部への取付け。

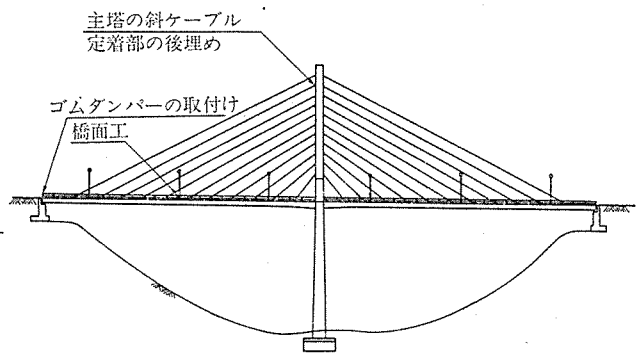


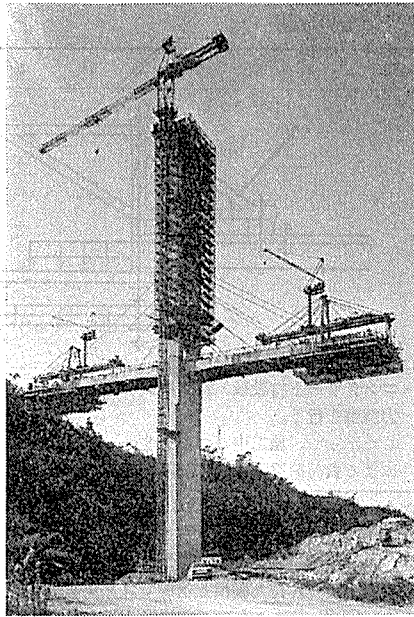
図-4 施工要領図

た。主塔の施工を先行させるために、柱頭部主桁は2回に分割してコンクリートを打設した。すなわち、中央部約7mをまず施工し、主塔の施工を先行させながら残りの両側部分を施工した。

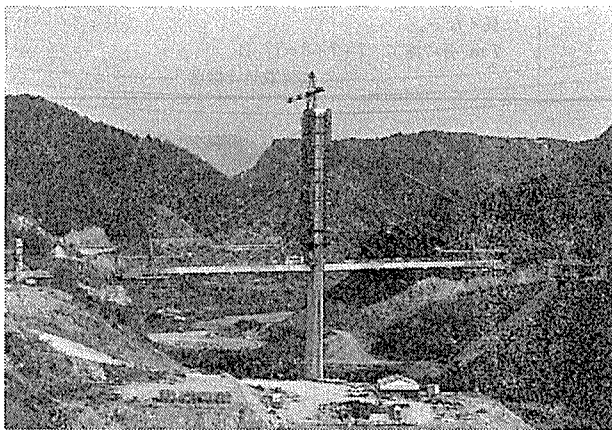
(3) 主桁の左右同時カンチレバー施工（第1～第4ブロック）

主桁の第1～第4ブロックのカンチレバー施工は主塔

の施工との並行作業となった。この場合、左右両ブロックを交互に施工すると、主塔に傾きが生じ、主塔の鉛直精度の確保が難しいため、第4ブロックまでは左右の主桁を同時に施工した。カンチレバー施工の1ブロック長は、5.2に後述する新工法を採用して斜ケーブル間隔と同じ7.0mとし、工期の短縮を図った。斜ケーブルの緊張は作業の能率と安全を考慮して、主塔側で実施した。



写真—2



写真—3

コンクリートはポンプ打設としたが、その圧送距離が長い（鉛直高約 40 m）、スランプ 12 cm の流動化コンクリートとした（ベーススランプ 8 cm）。左右同時打設の方法としては、柱頭部に配置した分岐管を用いた。この際、2.18% の縦断勾配により下り勾配側の吐出量が若干多くなるため、上り勾配側を 1 m³ 程度先行打設した。

（4）主桁の交互カンチレバー施工（第 5～第 8 ブロック）

主桁の第 4 ブロックの施工完了時には、主塔の施工も完了した。第 5 ブロックからは、作業の能率化を考え、左右の主桁の交互カンチレバー施工を実施した。交互カンチレバー施工に当たっては、施工中の安定を確保する目的で、最外縁の斜ケーブル（以下、バックステイクケーブルと称す）を利用して主塔頂部の変形を拘束する方法を採った。

バックステイクケーブルは、その先端に総ネジ PC 鋼棒を継ぎ足し、橋台に仮定着した。ケーブルの架設は、長さ約 100 m、重量約 2.2 t と大規模なため、索道により実施した。

（5）閉合工

主桁の閉合はトラベラーを利用して行った。すなわち、トラベラーの型枠を端部既設桁に固定して、コンクリートを打設した。コンクリート打設後、PC 鋼棒を緊張し、閉合ブロックの斜ケーブルを架設・緊張した。バックステイクケーブルを橋台から主桁に盛り換え、端部支保工を撤去して、閉合工を完了した。

（6）斜ケーブルの張力調整、橋面工の施工、ほか

主桁の閉合が完了し、PC ケーブルを緊張した後、最終的な斜ケーブルの張力調整を実施した。

主塔の斜ケーブル定着部の後埋め、ゴムダンパーの主桁端部への取付け、橋面工の施工等を実施して、本橋は完成した。

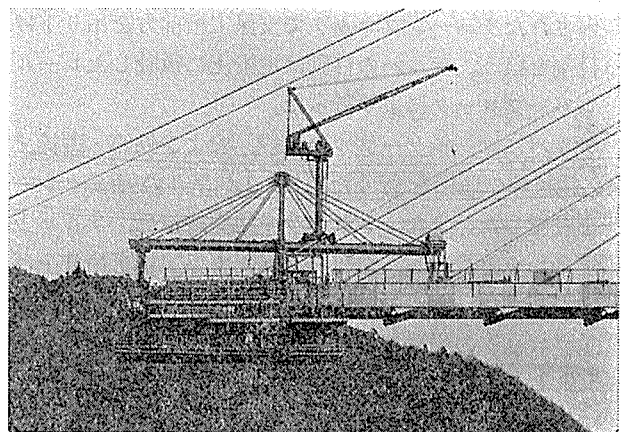
5.2 先端吊りカンチレバー工法（SLT 工法）

5.2.1 新型トラベラー

本橋では、主桁の施工に SLT 工法（Suspended Long Traveller 工法）を採用した。SLT 工法はトラベラーの先端を斜ケーブルで吊った状態でコンクリートを打設する工法であり、斜張橋の構造特性を巧みに利用した世界で初めてのカンチレバー工法である。

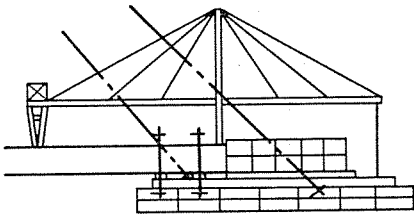
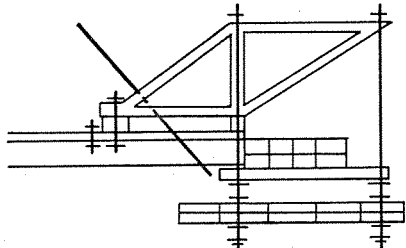
本工法で使用する新型トラベラーは、支保工桁とテルハトで構成される。支保工桁は、コンクリート打設時には、先端を次ブロックの斜ケーブルで支持され、後端を既設桁に鋼棒で仮固定される。支保工桁と斜ケーブルとの連結は、斜ケーブルのソケットが主桁下端部までしか届かないことから、ソケットにプルロッドを継ぎ足し、支保工桁にナット定着させる。

斜ケーブルで仮支持するため、支保工桁先端には定着用治具、ジャッキ等を装備している。定着治具は、各張



写真—4

表—4 衡原大橋における SLT 工法と従来工法の比較

	SLT 工 法	従 来 工 法
トラベラー側面図		
施 工 方 法	・コンクリート打設前にトラベラー支保工桁を斜ケーブルで吊り、コンクリートを打設する。 したがってコンクリートおよびトラベラーの負荷荷重は既設桁と、斜ケーブルに負担される。	・コンクリート打設後、斜ケーブルを主桁本体に取り付け張力調整を行う。 したがって、施工中のコンクリートおよびトラベラー重量による負荷荷重はすべて既設桁に負担される。
施工時のブロック長	斜ケーブル取付け間隔 7.0 m	斜ケーブル取付け間隔の半分 3.5 m
トラベラー重量	1ブロック重量の 60% 程度。90 t/1ブロック×0.6=54 t	1ブロック重量の 70% 程度。45 t/1ブロック×0.7=32 t
特 性	先端の斜ケーブルがコンクリート打設時にかなりの荷重を負担するため、張出し時に必要な PC 鋼材は減少し、既設桁に配置されている斜ケーブルの負担も減る。	既設桁からの片持ち張出し状態でコンクリートが打設されるため、SLT 工法に比べて架設時の断面力が増大し、必要な PC 鋼材量が増加する。 また、既設桁の斜ケーブルの荷重負担も多くなる。
工 期	1 サイクル工程は長いがサイクル数が少ないので全工程は短くなる。 7 m 分 12 日	1 サイクルの工程は短いサイクル数が多いので、全体工程は長くなる。 7 m 分の施工 7+7+3=17 日 斜材取付け緊張

出しブロック毎に斜ケーブル着点の位置、着点角度が変化するため、すべてのブロックに正確に対応できる可動着構を考案した。さらに、支保工桁に導入される斜ケーブルの水平分力に対しては、支保工桁後方部分に設けた突起を既設ブロックの斜ケーブル着点突起と突き合わせることで抵抗させた。コンクリートの打設・養生後、PC 鋼棒を緊張し、斜ケーブル張力の支保工桁から主桁着点部への移行を行った。

作業用足場は支保工桁から吊り下げた構造とし、ジャッキ着脱作業、型枠脱型組立作業、支保工桁の定期点検等に使用した。

新型トラベラーのもう一つの構成部材であるテルハは、支保工桁の移動に対する補助的機能を有しており、装備されたチェーンブロックで支保工桁前方を吊り下げる役割を担う。テルハの移動は主桁上に敷設したレールとレバーブロックにより行った。

テルハには、斜ケーブルの架設、および鉄筋・型枠・PC 鋼材等の運搬を行うために、1 t 吊りの簡易クレーンを設置した。また、トラベラー組立時には、テルハ上にウィンチを設置し、地組みされた支保工桁を吊り上げた。

1 ブロックの作業工期は平均 12 日であった。

5.2.2 SLT 工法の特長

SLT 工法と従来の移動式作業車を用いた場所打ちコンクリート工法（以下、従来工法と称す）との比較を

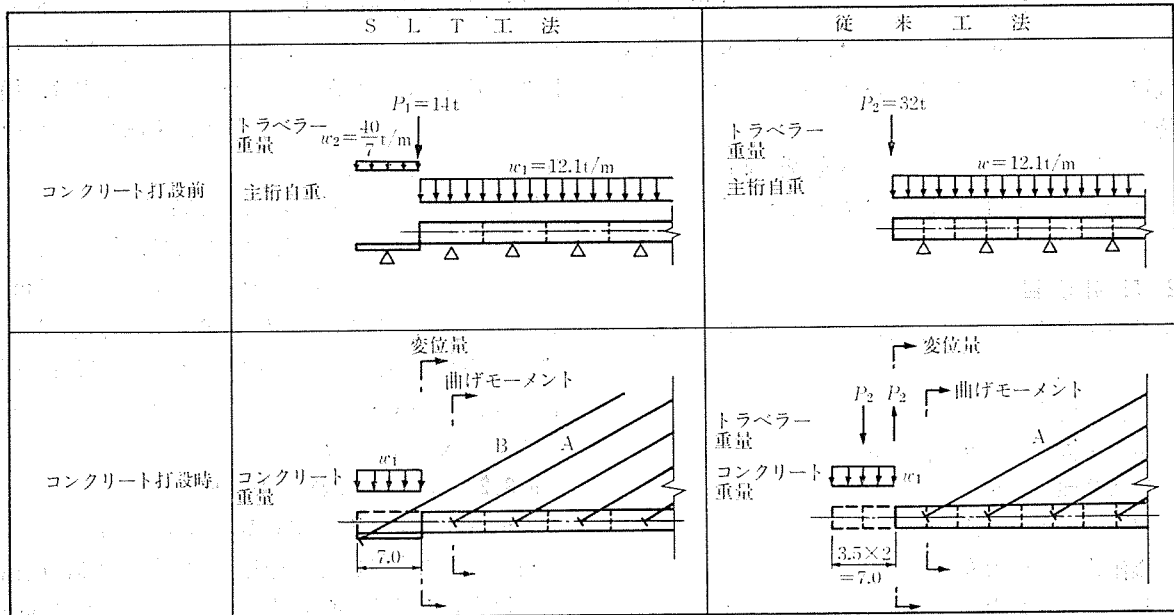
表—4 に示す。

SLT 工法の特長は次のとおりである。

- 1) 斜ケーブル間隔（本橋では 7.0 m）を一度に施工するため、1 ブロック長を 3.0~5.0 m とする従来工法に比べて工期が 2/3 程度に短縮される。
- 2) 支保工桁先端を吊っている斜ケーブルに打設コンクリート重量が分担されるため、既設桁に作用する断面力が従来工法に比べて低減し、架設時に必要な PC 鋼材量が減少する。
- 3) 2) と同様な理由で、コンクリート打設時に、既設桁先端を吊っている斜ケーブルに導入される張力が従来工法に比べて減少し、架設時の斜ケーブル張

表—5 SLT 工法と従来工法の比較表

比較項目		SLT 工法	従来工法	SLT 工法 従来工法	
斜ケーブル張力 (t)	Aケーブル	打設前	197.9	268.5	0.696
		〃時合計	49.4	87.0	
	Bケーブル	打設前	86.9	—	
		〃時合計	66.0	—	
Aケーブル着点曲げモーメント (t・m)	打設前	-85.2	-163.9	0.727	
	〃時合計	-307.6	-376.7		
	合計	-392.8	-540.6		
ブロック間継目変位量 (cm)	打設前	0.0	0.0	0.563	
	〃時合計	12.0	21.3		
	合計	12.0	21.3		



図—5 工法比較における解析モデルと荷重

力の安全率が増す。

本橋をモデルとして、両工法の違いを試算した結果を図—5 および表—5 に示す。対象とした構造系は、主桁のカンチレバー施工が7ブロック（主塔中心から61.65m）まで終了し、8ブロック7.0m分を施工する状態である。既設桁の曲げモーメント分布は、斜ケーブル張力の調整により、斜ケーブル定着位置で支持された連続桁の曲げモーメント分布になっているものと仮定した。この状態で8ブロックのコンクリートを打設した時の主桁断面力の比較を行った。トラベラー重量としては、SLT工法54t、従来工法32tと仮定した。

計算結果を見ると、既設桁先端の斜ケーブル張力およ

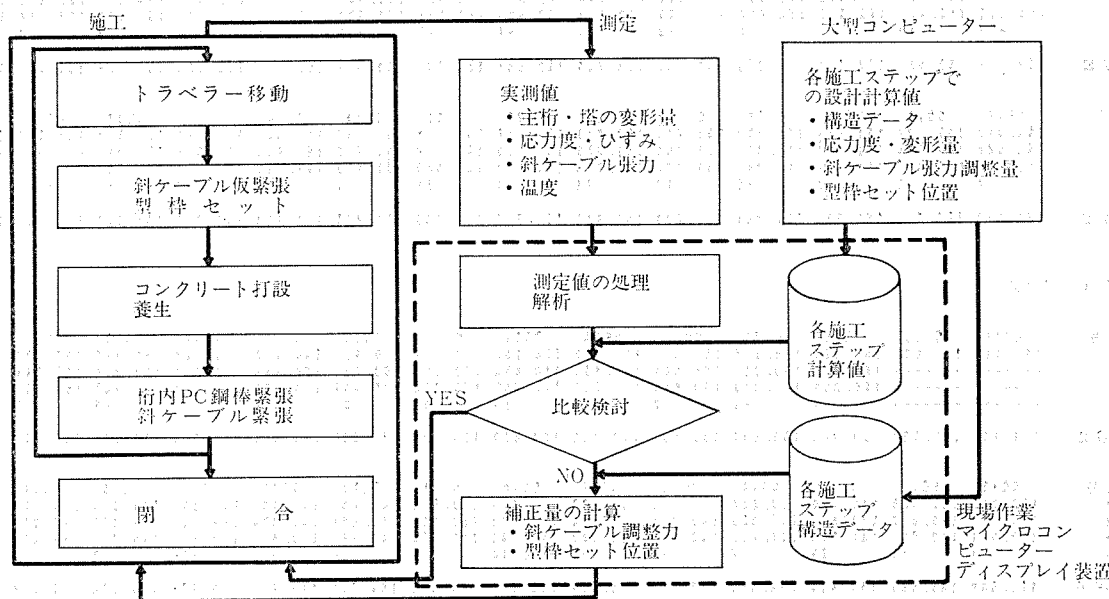
びその定着部の曲げモーメントは、SLT工法では従来工法の約70%しか発生していない。

以上から、SLT工法は上記特長1)～3)を備えた合理的なカンチレバー工法であることがわかる。

6. 施工管理

6.1 マイコンコンピュータ(マイコン)による施工管理

衝原大橋は場所打ちカンチレバー工法により施工されたが、PC斜張橋のカンチレバー施工は我が国では実施例が少ないため、主桁のたわみ管理、斜ケーブルの張力管理等を課題とした。構造系が施工ステップごとに変化



図—6 マイコンによる施工管理フロー図

するカンチレバー施工においてはマイコン等の電子機器による施工管理が不可欠と考えられ、本橋の場合も橋梁架設現場にマイコンを設置し、厳密で能率的な施工管理を実施した。

マイコンによる施工管理フロー図を図-6に示す。これらのシステム装置は桁上に設けた計測室内に設置した。

6.2 計測項目

施工管理を実施するために計測した項目を以下に列記する。

- ① 主桁の変位
- ② 主塔・橋脚の変位、傾斜角
- ③ 橋体各部の温度
- ④ 斜ケーブルの温度
- ⑤ 橋体各部の応力度
- ⑥ 斜ケーブル張力
- ⑦ 杓反力
- ⑧ コンクリート試験

強度、単位体積重量、乾燥収縮ひずみ、ヤング係数およびクリープ係数

6.3 主桁のたわみ管理

たわみ管理の目的は、実測値と計算値とを比較して計画高さを確保できるか検討を加え、必要に応じて上げ越し量の修正を行うことにある。

PC斜張橋におけるたわみ管理は、i) 主桁の剛性が小

さく変形量が大きいこと、ii) 斜ケーブルの温度変化の影響を鋭敏に受けること、等から、一般の桁橋に比べて特別な配慮が必要である。たわみ管理の要点は、橋体コンクリートのヤング係数の把握と、実測レベル値の温度補正の実施であった。

6.3.1 コンクリートのヤング係数の設定

たわみ管理用のヤング係数としては、橋体コンクリート打設時にコンクリートブロック(1.0m×1.0m×1.0m)を製作し、各材令ごとにコア供試体を採取し、その試験結果を用いた。コアの弾性係数は、設計基準強度400 kg/cm²の主桁コンクリートに対して、材令28日で2.85×10⁵ kg/cm²であった。

6.3.2 実測レベル値の温度補正

主桁のレベルは基準温度15°Cの時に所定の計画高さとなるように管理した。実測レベルに対する温度補正值は、橋体および温度測定用ダミー斜ケーブルに埋設された熱電対のデータを基に、マイコン内で自動的に算出される。

図-7にマイコンによる自動計算結果の一例を示す。

ダミーケーブルは実際の斜ケーブルと同じ断面をもつ、長さ1m程度のケーブルで、内部に熱電対を埋設したものである。4体製作したダミーケーブルを各スパンの代表的ケーブルに添わせて設置し、主桁の架設状況に合わせて順次前方へ移動させてケーブル温度を測定した。

Step J 4 GG01-GG55 JLR TR4 (11, 11' ケーブル二次緊張)														変位量 単位 (mm)		04-03-1988		
L e f t A 1側																		
節点番号	GG01	GG02	GG03	GG04	GG05	GG06	GG07	GG08	GG09	GG10	GG11	GG12	GG13	GG14				
計算値	153.002	152.988	152.953	152.901	152.820	152.734	152.658	152.576	152.505	152.429	152.362	152.288	152.220	152.146				
実測値	153.015	152.998	152.982	152.907	152.825	152.748	152.680	152.597	152.508	152.434	152.360	152.281	152.209	152.130				
補正後	153.015	152.998	152.982	152.907	152.825	152.748	152.680	152.583	152.520	152.447	152.371	152.291	152.218	152.138				
誤差	-13	-10	-9	-6	-5	-14	-4	-7	-15	-18	-9	-3	2	8				
最終目標値	153.001	152.988	152.956	152.909	152.826	152.756	152.683	152.604	152.531	152.451	152.378	152.298	152.225	152.146				
節点番号	GG15	GG16	GG17	GG18	GG19	GG20	GG21	GG22	GG23	GG24	GG25	GG26	GG27	GG28				
計算値	152.079	152.004	151.936	151.880	151.789	151.711	151.627	151.555	151.480	151.398	151.323	151.243	151.200	151.115				
実測値	152.088	151.995	151.928	151.861	151.768	151.675	151.610	151.538	151.477	151.409	151.330	151.291	-----	-----				
補正後	152.075	152.001	151.942	151.886	151.772	151.676	151.613	151.540	151.479	151.410	151.331	151.292	-----	-----				
誤差	4	3	-7	-6	17	33	24	15	1	-12	-8	-9	-----	-----				
最終目標値	152.072	151.992	151.920	151.841	151.768	151.688	151.615	151.535	151.462	151.383	151.310	151.271	151.191	151.107				
R i g h t A 2側																		
節点番号	GG29	GG30	GG31	GG32	GG33	GG34	GG35	GG36	GG37	GG38	GG39	GG40	GG41					
計算値	151.115	151.032	150.954	150.917	150.847	150.772	150.702	150.624	150.553	150.472	150.398	150.315	150.239	150.153				
実測値	-----	-----	150.958	150.918	150.844	150.781	150.684	150.600	150.527	150.454	150.383	150.314	150.244	150.156				
補正後	-----	-----	150.959	150.919	150.845	150.763	150.688	150.603	150.531	150.458	150.388	150.320	150.250	150.163				
誤差	-----	-----	-5	-2	2	9	18	21	22	14	10	-5	-11	-10				
最終目標値	151.107	151.023	150.943	150.904	150.831	150.752	150.679	150.599	150.528	150.448	150.373	150.294	150.221	150.141				
節点番号	GG42	GG43	GG44	GG45	GG46	GG47	GG48	GG49	GG50	GG51	GG52	GG53	GG54	GG55				
計算値	150.075	149.989	149.910	149.824	149.745	149.660	149.585	149.508	149.437	149.364	149.297	149.255	149.226	149.214				
実測値	150.083	149.997	149.885	149.808	149.741	149.654	149.578	149.510	149.457	149.379	149.311	149.258	149.225	149.220				
補正後	150.071	149.977	149.895	149.817	149.754	149.669	149.595	149.510	149.457	149.379	149.311	149.258	149.225	149.220				
誤差	4	12	15	7	-9	-9	-10	-4	-20	-15	-14	-3	1	-6				
最終目標値	150.068	149.989	149.916	149.838	149.763	149.683	149.610	149.531	149.458	149.378	149.305	149.258	149.226	149.213				

図-7 マイコンによる実測レベル値の温度補正計算結果

6.3.3 たわみ管理の結果

主桁のキャンバー出来形は、最終的に $\pm 20 \text{ mm}$ の誤差範囲に収まった。これは、i) カンチレバー施工時の上げ越し計算が現実を十分反映した解析方法であったこと、ii) 計算に用いたコンクリートのヤング係数の設定値が実構造物の値とほぼ一致していたこと、等を検証するものである。

本橋の主桁はフレキシブルな2主桁断面であり、コンクリート打設、斜ケーブル緊張などで $\pm 200 \text{ mm}$ 程度のレベル変化があることを考えると、設計値と実測値との誤差は、1割程度であり、精度の良いたわみ管理を実施できたものとする。

6.4 橋体応力度の管理

施工中の橋体応力度を計測し、設計値との照合を行いながら施工を進めた。データの自動記録は2時間ごとに1回とし、その他は必要に応じて任意の時刻に測定した。

実測値と設計値は良く一致し、設計計算の妥当性と施工の安全性を同時に確認することができた。

6.5 斜ケーブルの張力管理

強制振動法により張力測定を行い、測定結果をマイコンに入力し、設計張力との比較を行った。強制振動法とは、ケーブルに1次か2次の調和振動を生じさせてその固有振動数を計測し、これから張力を算定する方法である(文献6)参照。

施工中の斜ケーブル張力の誤差は $\pm 10\%$ を目標に管理した。斜ケーブルの張力調整は、カンチレバー施工3ブロックごとに必要に応じて行い、主桁の閉合前後には全ケーブルについて調整を実施した。各ケーブルの調整張力の決定は、ケーブルが互いに干渉し合うこと、張力差に計測誤差を含むこと等の理由からかなり面倒であり、従来は簡単な計算を併用しつつ試行錯誤により調整

を行うことが多かった。本橋においては、張力調整の方法として最適化手法を用いて張力調整量を決定した。この方法は、ケーブル長変化量とケーブル張力変化量との間に成立する線形関係式を導き、最適化手法によって調整量を算定するものである(文献6)参照)。斜ケーブル張力の誤差は、最終的に目標張力の $\pm 5\%$ の範囲に収めることができた。

7. あとがき

以上、衝原大橋の設計と施工の概要を述べたが、誌面の関係上、PC斜張橋の振動性状を把握するために実施した振動実験の報告は割愛した。これについては、機会をみて他稿にて報告する予定である。

PC斜張橋は長大橋に適した合理的な橋梁形式であり、我が国においても既に数橋の長大PC斜張橋の建設が予定されている。衝原大橋の建設が、我が国の長大PC斜張橋建設の嚆矢となることを望むとともに、本稿が今後の計画の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 服部, 植木: 衝原大橋(仮称)の概要, 橋梁, 1986.1
- 2) 林, 今井, 田中, 南部: EIMEIKAN BRIDGE (PC斜張橋)の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol. 19, No. 7, 1985
- 3) F. Leonhardt: Latest Developments of Cable-Stayed Bridges for Long Spans, Bygningsstatistiske Meddelelser, Vol. 45, No. 4, 1974
- 4) 藤井: コンクリート構造物における局部応力とその設計について, コンクリート工学, Vol. 14, No. 10, Oct. 1976
- 5) 高部, 今井, 横山, 田中: PC斜張橋の弾塑性地震応答解析——衝原大橋をモデルとして——, 橋梁と基礎, Vol. 20, No. 11, 1986
- 6) 松村, 新家, 頭井, 寺西: 斜張橋のケーブル張力計測と張力調整, 橋梁と基礎, Vol. 13, No. 8, 1979

【1986年9月27日受付】

◀刊行物案内▶

穴あき PC 板設計施工指針・同解説

体裁: B5判 128頁 ビニール製の表紙で現場持ち歩きに便利
 定価: 1800円(会員特価: 1600円) 送料: 450円
 内容: 1. 総則 2. 材料および許容応力度 3. 部材の設計 4. 構造設計
 5. 接合部の設計 6. 施工(含取付・補修等)
 お申込みは代金を添えて、(社)プレストレストコンクリート技術協会へ