

一ノ瀬橋 (PC 斜張橋) の設計と施工

時 本 博 次*
 加 藤 俊 晴**
 酒 井 利 隆***
 森 田 雄 三****

1. ま え が き

本橋は兵庫県多紀郡丹南町西古佐地内に位置し、一級河川篠山川に架けられた2径間のPC斜張橋である(図-1)。

本工事は篠山川と宮田川が合流する地点に架けられていた「小滝橋」旧橋が昭和57年8月の台風10号により流失したため、災害復旧工事として、旧橋の下流側400mの位置に架け換えたものである。当初は、小滝橋(仮称)として施工が開始されたが、竣工後はこの地にあった「一ノ瀬の渡し」の名を取って「一ノ瀬橋」と改名された。架橋地点のすぐ下流には近畿農政局を事業主体とする東播用水農業水利事業の一環として「川代ダム」が建設中であり、将来はダム周辺の公共施設整備とともに、この地域のランドマークとして、斜張橋特有の景観美をダム湖面に映すものとなる(写真-1)。

2. 工 事 概 要

本工事の概要を以下に示す。

橋 名：一ノ瀬橋
 工 事 名：(仮称)小滝橋橋梁復旧工事
 工事場所：兵庫県多紀郡丹南町西古佐地内
 路 線 名：町道西古佐旧国道線
 河 川 名：一級河川篠山川(加古川水系)
 道路規格：3種5級
 橋 種：プレストレストコンクリート道路橋
 構造形式：2径間PC斜張橋
 橋 格：2等橋
 施工方法：全支保工施工
 工 期：昭和59年3月～昭和60年3月
 施 主：兵庫県丹南町
 設 計：(株)阪神コンサルタンツ
 施 工：住友建設・フジタ工業共同企業体

3. 計画および設計条件

3.1 計 画

橋梁形式の選定にあたり、①2径間連続PC箱桁橋・②2径間PC斜張橋・③2径間単純合成鉄桁橋・④2径間鋼斜張橋の4案について詳細な検討が行われた結果、第②案の2径間PC斜張橋が採用された。斜張橋は周知のごとく、設計の自由度が高い形式であるため、本橋についても構造系形式、主桁断面形状、塔形状、斜材形状

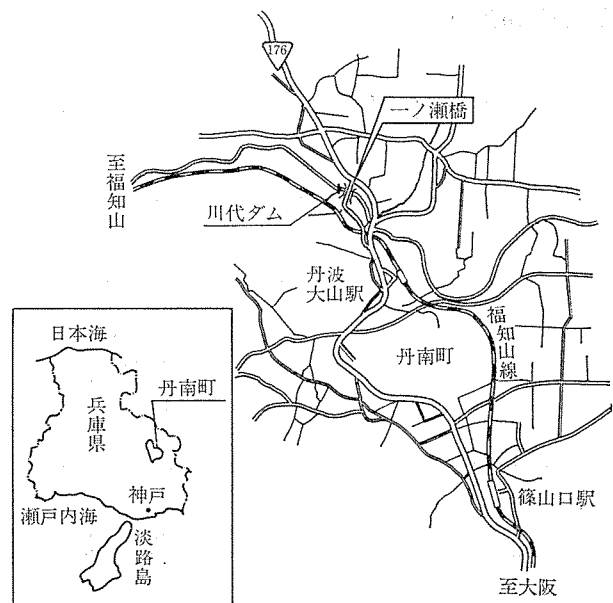


図-1 位置図

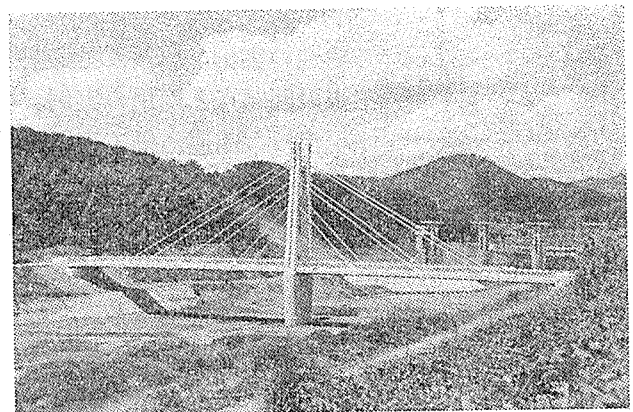


写真-1 完成写真

* 兵庫県丹南町建設課課長
 ** (株)阪神コンサルタンツ神戸支店設計部第1課
 *** 住友建設(株)大阪支店(前:小滝橋作業所所長)
 **** 住友建設(株)土木部設計第3課

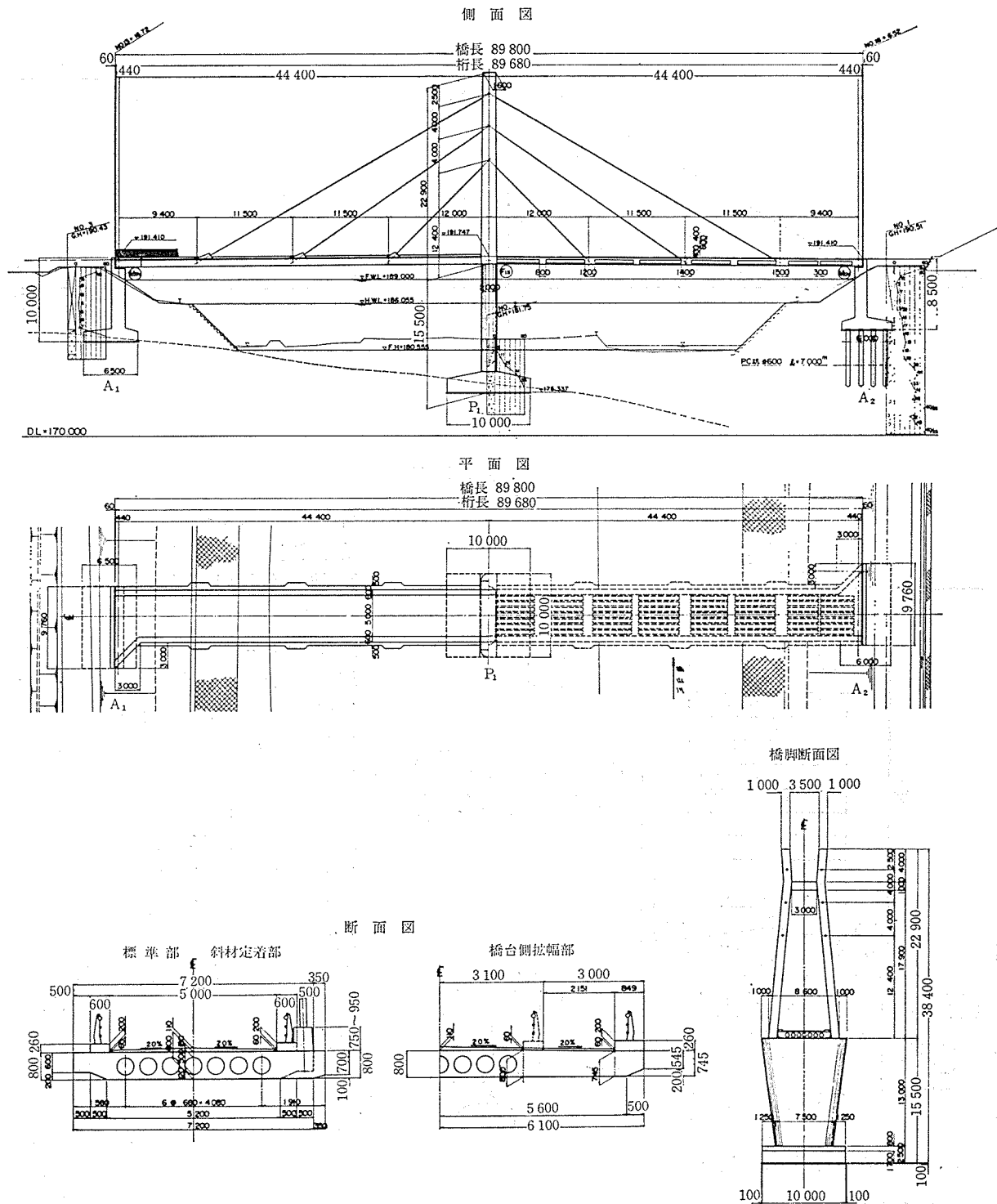


図-2 一般図

等について比較検討がなされた結果、一般図(図-2)に示すように主桁をホロースラブとし、中央橋脚部において、主塔・主桁・橋脚が互いに剛結となる2径間対称スパン割をもつ構造形式が採用された。

3.2 設計条件

橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 構造形式：2径間PC斜張橋

橋格：2等橋
 橋長：89.8 m
 支間割：44.4 m+44.4 m
 幅員：有効幅員 5.0 m, 総幅員 7.2 m
 横断勾配：2.0% / \ 2.0%
 縦断勾配：1.5% / \ 1.5% 放物線
 斜角：90°

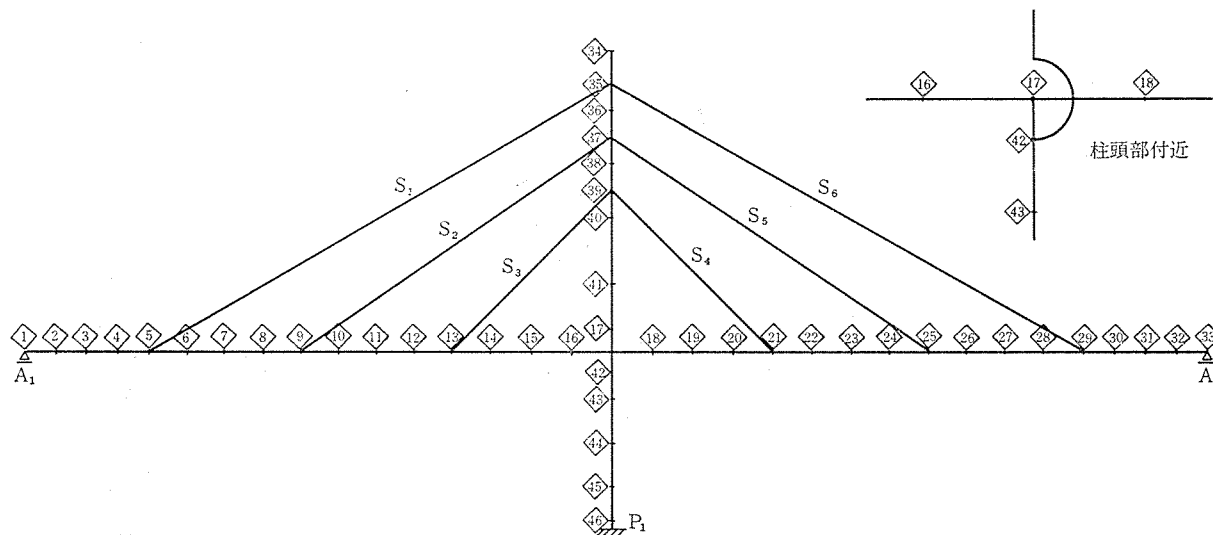


図-3 全体構造系

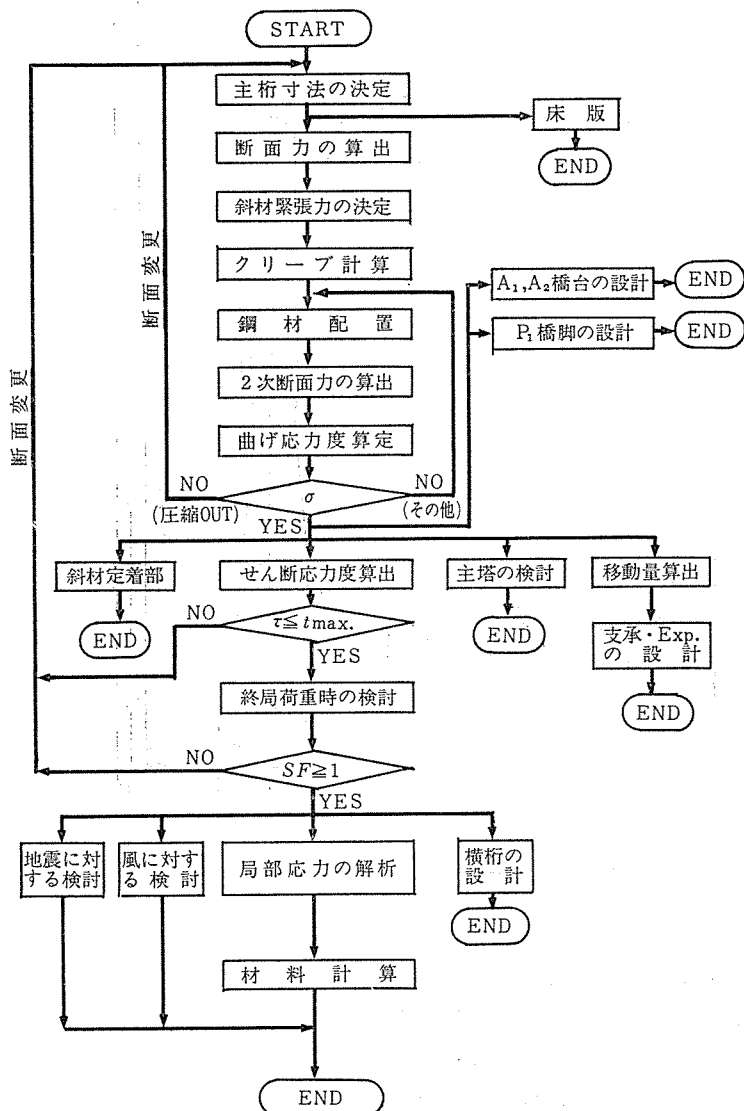


図-4 設計フローチャート

荷重: TL-14

設計震度: $K_h=0.18$

3.3 使用材料および数量

コンクリート

主桁 $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$; $V=412.6 \text{ m}^3$

塔 $\sigma_{ck}=350 \text{ kg/cm}^2$; $V=84.6 \text{ m}^3$

橋脚 $\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$; $V=442.9 \text{ m}^3$

橋台 $\sigma_{ck}=210 \text{ kg/cm}^2$; $V=393.5 \text{ m}^3$

鉄筋

主桁 SD-30; $W=86.8 \text{ ton}$

塔 SD-30; $W=24.0 \text{ ton}$

橋脚 SD-30; $W=41.0 \text{ ton}$

橋台 SD-30; $W=14.1 \text{ ton}$

PC 鋼材

主鋼棒 SBPR 95/120 $\phi 32 \text{ mm}$;
 $W=19.4 \text{ ton}$

横締め鋼棒 SBPR 95/120 $\phi 26 \text{ mm}$;
 $W=1.9 \text{ ton}$

斜材

斜材鋼棒 SBPR 95/120 $\phi 32 \text{ mm}$;
 $W=11.4 \text{ ton}$

保護管 SGP 200 A; $W=10.7 \text{ ton}$

4. 設計

4.1 設計概要

本橋の構造解析は、図-3 に示す構造系に対して変位法による平面骨組解析プログラムを使用し各種荷重による断面力を算定した。コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による不静定力の算定においても同様の構造系を用いて変位法により算定した。なお、コンクリートのクリ

一係数・乾燥収縮度については、あらかじめ概略工程を仮定し、持続荷重載荷時のコンクリート材令を定め、「道路橋示方書」より各係数を求めた。

斜張橋の場合、他の構造形式に比べ検討を要する諸項目がある。本橋の設計においても、斜材定着部の応力集中に対する補強方法、衝撃係数の考え方、斜材のみかけのヤング係数、主桁の応力分布および耐風安定性の検討が挙げられ、各々の検討を行った。

これらの設計フローチャートを 図-4 に示す。

4.2 主桁の設計

主桁は全幅 7.2 m、桁高 0.8 m のホロー断面であり、主桁には $\phi 500$ mm の円筒型枠が 7 本配置されている。主桁の設計にあたっては、数多くの荷重組合せに対して断面力を求め、各断面力に対して主鋼棒 (SBPR 95/120 $\phi 32$ mm) によりプレストレスを与え、許容値内の応力度とした。主鋼棒は中央橋脚位置において 34 本配置されている。

コンクリートのクリープおよび乾燥収縮については、施工工程を考慮し、クリープ係数 $\varphi=1.9$ とし、乾燥収縮度 $\epsilon=17 \times 10^{-5}$ とした。クリープによる断面力移行に対しては、クリープ進行度 1/2 の場合とクリープが終了した状態を考慮して検討を行った。各荷重状態の曲げモーメント図を 図-5 に示す。

一方、斜材張力による主桁応力分布を確認するため FEM 解析を行った。ここでは斜材張力により生ずる曲げモーメントは通常の支点反力と同様とみたが、軸力分布が全断面一様な応力分布となるまでに一定の距離が必要であるとの観点から、前述の解析を行った。この解析結果より、斜材張力により生ずる主桁軸方向力は、斜材定着位置から 1 設計断面分 (約 3.0 m) ずれた位置で全断面に均一に軸方向応力が分布していることが確認された。

4.3 主塔の設計

主塔形状は基部で拡がりをもつ H 形形式であるが、このような構造系を立体的に考えた場合、解析が複雑となることから本橋においては、橋軸方向・橋軸直角方向の断面力を平面的な骨組構造として解析した。また、斜材定着部断面の部材応力度の検討に際しては、定着部切欠きによる断面欠損を考慮した矩形断面を有効として検討を行った。この結果、主塔各部はほとんど圧縮部材となっており、この圧縮応力度についてもすべて許容応力度以下となり、主塔の主鉄筋の配置は最小鉄筋量により決定された。

4.4 斜材の設計

斜張橋に用いる斜材にはこれまでの実績から数種類の定着工法が挙げられるが、本橋の場合には経済性・施工

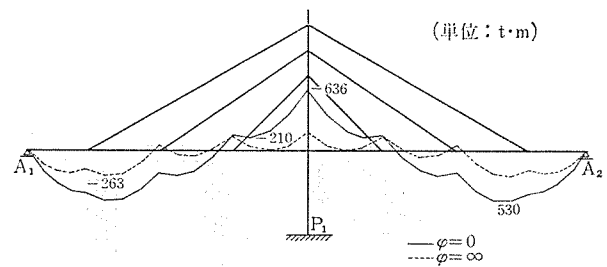


図-5 (1) 自重による曲げモーメント

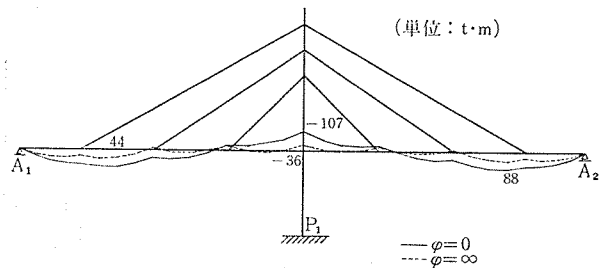


図-5 (2) 橋面荷重による曲げモーメント

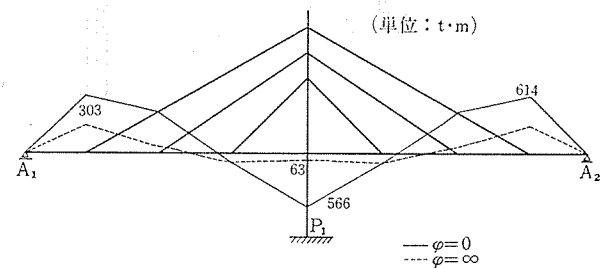


図-5 (3) 斜材調整力による曲げモーメント

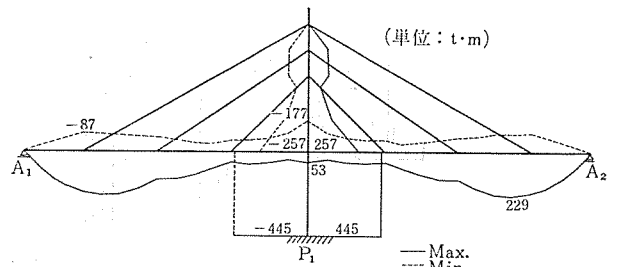


図-5 (4) 活荷重による曲げモーメント

性から、斜材としてディビダーク鋼棒 (SBPR 95/120 $\phi 32$ mm) が採用された。各斜材には 5 本の PC 鋼棒を配置し、各鋼棒の許容応力度としては引張強度 σ_{pu} に対して 2.5 の安全率を確保した。斜材の設計に際しては斜材のサグの影響によるみかけのヤング係数についての照査を Ernst の公式により行った。この結果、設計荷重時における斜材の許容応力度を $\sigma_{pa}=0.4 \sigma_{pu}$ としていることから、各斜材ともサグの影響による、みかけのヤング係数の低下がないことを確認した。

5. 施 工

5.1 施工概要

本橋の施工は、図-6 に示すような以下の手順で行っ

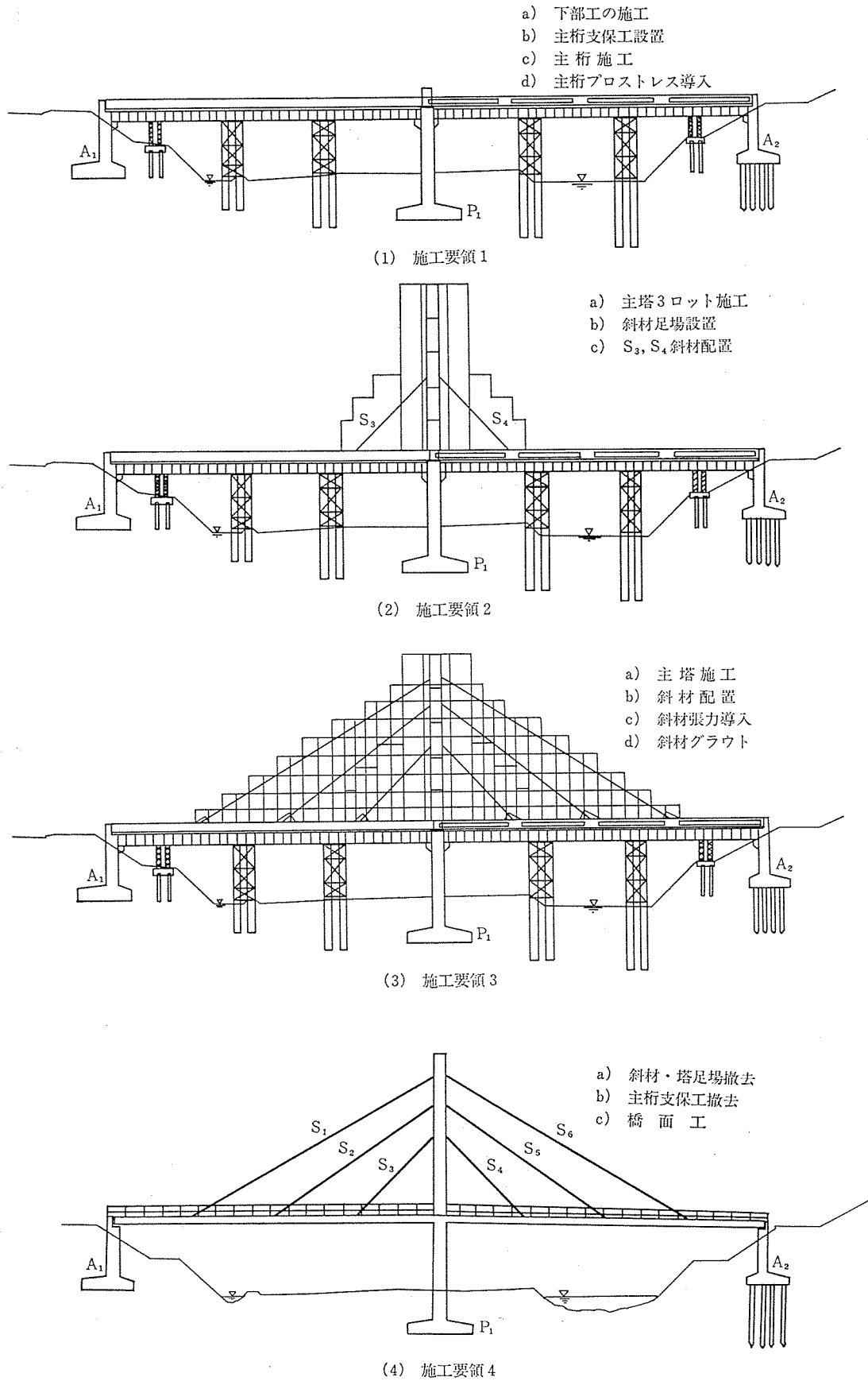


図-6 施工要領

表-1 実施工程表

工程	年・月	59.3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	60.1	2	3
準備工			■											
A ₁ 橋台工				■	■									
P ₁ 橋脚工					■	■								
A ₂ 橋台工						■	■							
主桁製作工							■	■	■					
主塔工								■	■	■				
斜材工										■	■			
橋面工												■	■	
取付け道路工														■

た。表-1 に本橋施工の実施工程を示す。

- ① 橋台および橋脚の施工
- ② 主桁支保工の設置
- ③ 主桁の施工
- ④ 主桁プレストレスの導入
- ⑤ 主塔の施工
- ⑥ 斜材足場の設置
- ⑦ 斜材架設
- ⑧ 斜材緊張および斜材グラウト
- ⑨ 支保工撤去
- ⑩ 橋面工施工

5.2 主桁の施工

主桁は全支保工施工であり、橋台・橋脚施工後(図-6(1))に示すように、両スパンとも中間に3本の仮支柱を設け、主桁縦断勾配の適応性、支保工撤去時の施工性等から、H-400の梁材の上に一段分の枠組み足場を組み立て支保工とした。型枠セット・鉄筋およびPC鋼棒の配置後、主桁コンクリートをポンプ車2台を用いて連続打設した。コンクリートの養生後、主鋼棒および横締め鋼棒の緊張を行った(写真-2)。

5.3 主塔の施工

主塔の施工は5ロットに分割して行った。まず、2ロット分を施工し、引き続いて最下段斜材(S₃, S₄)の定着部が位置する第3ロットの施工を行った。斜材定着体の

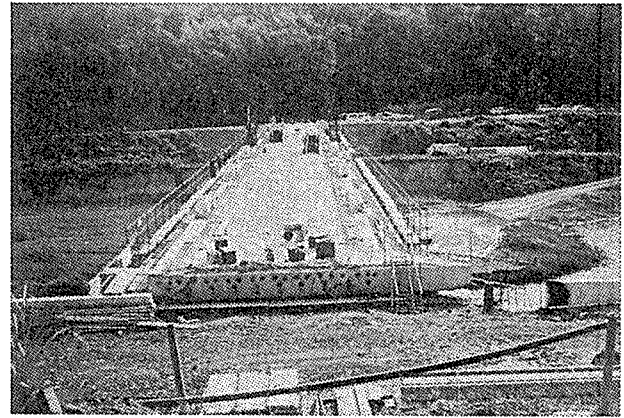


写真-2

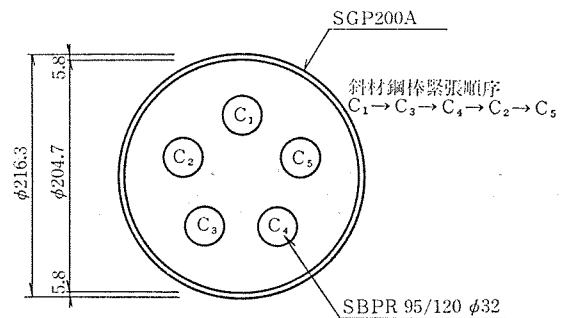


図-7 斜材断面図

セットは、主塔内に設置された鉄骨を利用し、定着体の位置および方向を精密に測定し仮固定した。その後、水糸を用いて定着体の位置・方向を再確認したのち固定した。第4ロットの施工と併行して、最下段斜材架設用の足場を橋面上に設置し、斜材の架設を行った。この手順をくり返して第5ロット施工後、最上段斜材の架設を完了した。

5.4 斜材の架設

各斜材は、図-7に示すように、5本のPC鋼棒(SBPR 95/120 φ32 mm)と保護管(溶融亜鉛メッキされたSGP 200 A)とから構成されている。各鋼棒および保護

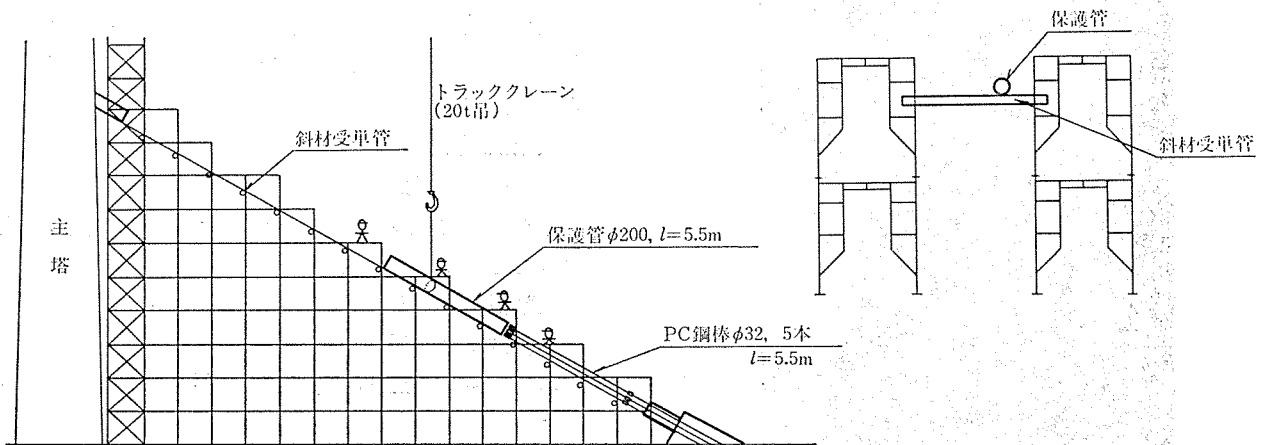


図-8 斜材組立て要領図

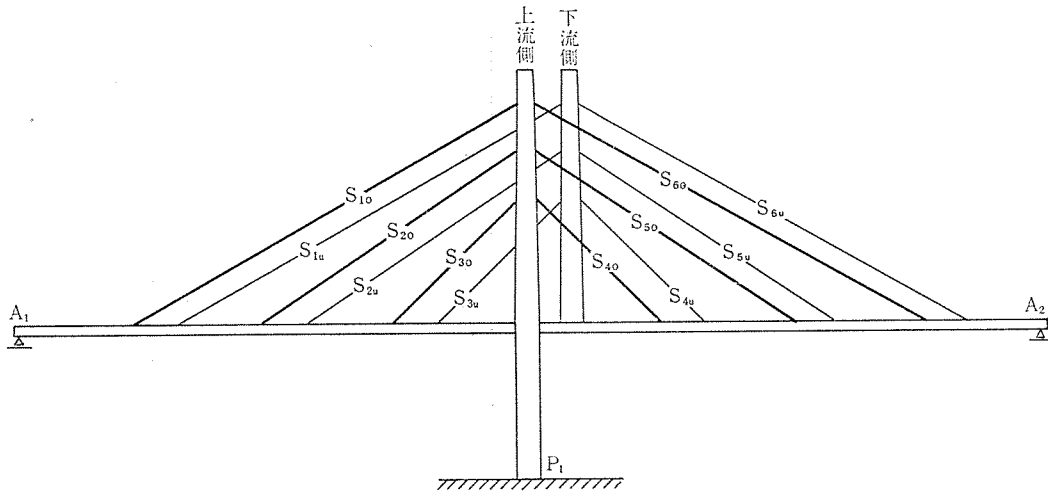


図-9 斜材番号

管は基準長を 5.5 m とし、橋面上に設置された斜材架設用枠組み足場に単管を渡し、この上で順次下方から継

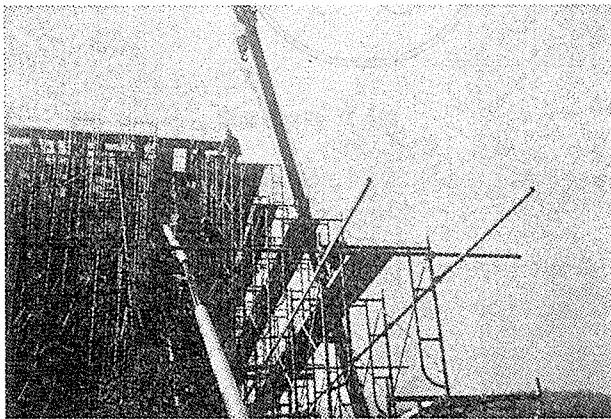


写真-3

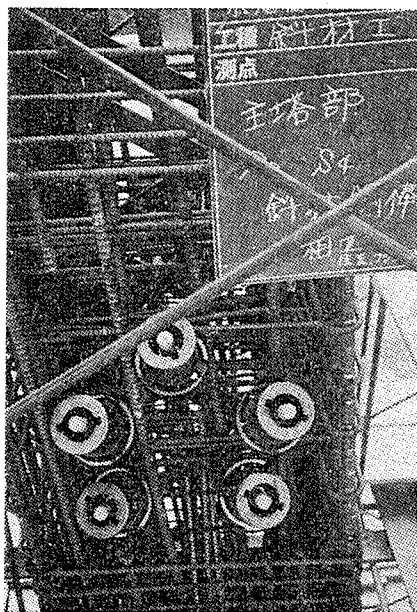


写真-4

ぎ足して、図-8 の要領で行った。保護管内では 5.5 m ピッチに配置したスペーサーにより、鋼棒は所定位置に保持されている(写真-3,4)。

5.5 斜材の緊張

斜材の緊張は、図-9 に示す、 S_{30} 、 S_{3u} 、 S_{40} 、 S_{4u} の 4 斜材の緊張から開始した。緊張にはディビダークジャッキ 4 台を 2 台の油圧ポンプにより作動させ、各斜材に張力差を生じさせないように緊張を行った。1 斜材を緊張するには、5 本の鋼棒を $C_1 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_2 \rightarrow C_5$ の順で 1 本ずつ鋼棒の緊張を行ったが、上記の緊張順に従って先に緊張した鋼棒が次の鋼棒の緊張により張力が減少することを予め考慮しておき、5 本の鋼棒緊張後に C_1 鋼棒の張力が計算値どおり C_5 の張力と同値であることを確認しつつ緊張作業を進めた。

斜材の緊張は以下に示す 3 段階の手順をふみ所定の張力を与えた(図-10)。

1) 斜材 1 次緊張

主桁自重により生ずる斜材張力および斜材調整力の 70 % を斜材導入力とし、これにより主桁は支保工から離れ、完成構造系となる。

(緊張順序; $S_3, S_4 \rightarrow S_2, S_5 \rightarrow S_1, S_6$)

2) 斜材 2 次緊張

斜材調整力の残り 30 % 分を加え、所定の全張力を導入力として張力導入。

(緊張順序; $S_1, S_6 \rightarrow S_2, S_5 \rightarrow S_3, S_4$)

3) 斜材 3 次緊張

斜材の温度補正分の調整および斜材張力の最終チェック。

(緊張順序; $S_3, S_4 \rightarrow S_2, S_5 \rightarrow S_1, S_6$)

各段階の斜材張力の経過の計算値を表-2 に示す。表

表-2 斜材張力の推移

(単位: ton)

斜材張力		S ₁ , S ₆	S ₂ , S ₅	S ₃ , S ₄
主桁自重およびその他の荷重		112.4	214.5	194.0
斜材調整力		171.0	63.7	-1.9
合計		283.4	278.2	192.1
一次緊張	S ₃ , S ₄ 緊張時			259.6*
	S ₂ , S ₅ "		298.2*	203.6
	S ₁ , S ₆ "	232.1*	259.1	188.2
二次緊張	S ₁ , S ₆ 緊張時	304.3*	235.5	178.9
	S ₂ , S ₅ "	285.4	291.4*	147.7
	S ₃ , S ₄ "	283.4	278.2	185.7*
三次緊張	S ₃ , S ₄ 緊張時	280.6	265.9	210.2*
	S ₂ , S ₅ "	273.7	287.5*	198.2
	S ₁ , S ₆ "	289.4*	282.4	195.1

*印の張力は緊張時導入力

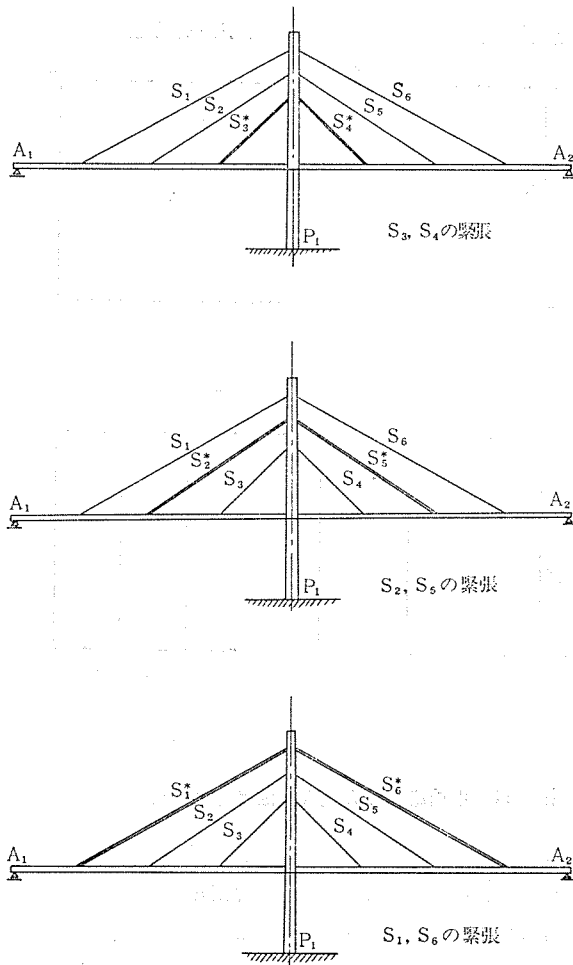


図-10 斜材緊張順序 (一次緊張)

内の主桁自重およびその他の荷重としては、先に示した設計計算値に橋面上の斜材足場等を考慮し、斜材調整力としては鋼棒のリラクセーションによる減少分および温度補正分を考慮した値である。

5.6 斜材の緊張管理

斜材鋼棒の緊張管理は、油圧ポンプのマノメータ示度、ダイナモメータ示度および、材・塔・主桁に埋設したゲージによる応力測定値を用いて行った。斜張橋の場合、ケーブルのサグの影響、主桁の変位などの影響で、一般の桁内鋼棒のような伸び管理では不十分であるため、上記のように鋼棒の張力を管理する方法とした。油圧ポンプのマノメータ示度は1目盛りで20 kg/cm²あり、鋼棒本当りの張力としては2.9 tonとなる。このため、緊張時には油圧ポンプの圧力を所定の示度まで上昇させ、その後ダイナモメータにより、更に詳しく導入力を確認して緊張作業を進めた。なお、ダイナモメータの1目盛り当りの鋼棒緊張力は0.55 tonとなり、この値は最終緊張力の1.9%~2.8%の値となる。

また、斜材には9か所にひずみゲージが取り付けられ



写真-5

ており、同様に主塔には8か所、主桁には24か所に埋込み型ゲージが埋設されており、各鋼棒の緊張ごとに各々の計測データを探り、斜材張力や塔・主桁応力のバランスを確認しつつ、緊張作業を進めた(写真-5)。

5.7 グラウト工

斜材緊張後、保護管内部のグラウトをセメントミルクを用いて行った。斜材には、主桁側定着体、塔側定着体および保護管の下端・上端の計4か所のグラウト注入排出口を設け、グラウト注入を段階に分けて行った。まず、主桁側定着体から保護管下端のグラウト注入口(φ20 m)までの区間を手動式ポンプで行い、続いて下端注入口より電動式ポンプ(スネーク型、能力20 kg/cm²)を用いて、一気に塔側定着体までのグラウトを行った。なお、保護管上端に排出口には透明ビニールホースを取り付け、これを塔頂部で配置してグラウトの充填を確認し、ブリージングの排除を行った。

6. 計 測

本橋では、主桁・塔・斜材にひずみ計を埋設して施工時の応力変化を測定し、橋体完成後には載荷試験を行

◇報告(投稿)◇

い、各部の応力および主桁のたわみ量を測定した。なお、応力測定は竣工後約1年間にわたり継続して行い、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮などによる応力変化についてのデータを収集する予定である。

6.1 測定位置

測定位置は、主桁の4断面、Sect. 6, Sect. 11, Sect. 18, Sect. 32 (図-3 参照) を選び、各断面とも6点にひずみ計を取り付け、主塔には橋面より上方4.0mの位置に、4点ずつ計8点のひずみ計を測定している。斜材には上流側斜材6本と下流・左岸側斜材3本のC₁鋼棒にひずみ計を取り付けている。また、各ひずみ計設置位置では計測値に対する温度影響を知るため、温度測定も行っている。

6.2 施工時応力測定

施工時の応力測定は、主として斜材張力導入前後の応力変化に着目した。図-11 に主桁応力の曲げ成分についての比較を示し、表-3 に斜材張力の測定値と設計値との比較を行う。

主桁応力の曲げ成分を比較した結果、各断面とも設計値とよく一致しており、断面内の上縁付近、下縁付近のひずみ計の値もバラツキがなく、断面内には一様な軸力・曲げモーメントが生じていることを確認した。斜材張力については、測定値と設計値の差は±4%内に収まっており、主塔応力についても斜材張力導入とともに各計測値とも同等のひずみ変化が生じており、斜材張力がバランス良く導入されたことを確認した。

6.3 載荷試験

橋体完成後、実橋載荷試験としてダンプトラック(全重量17.3ton)2台を使用して、各部の応力測定および主桁のたわみ変化(12点測定)を測定した。同時に、ライトバンを使用し、制動荷重による構造系の振動特性についても加速度計(6点測定)を用いて測定した。

この結果、径間部の主桁応力度は計算値とよく一致していたが、柱頭部付近(Sect. 18)では計算値に比べ応

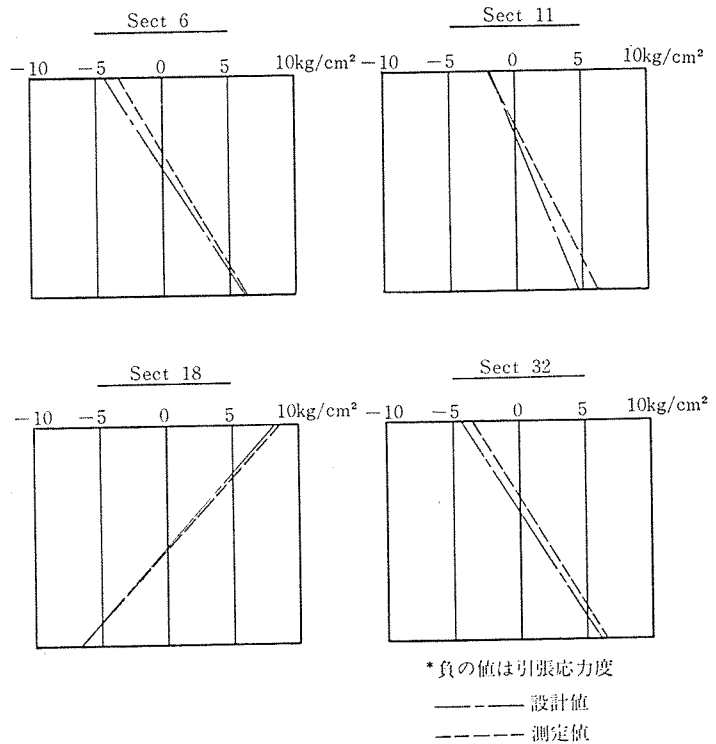


図-11 主桁応力度の比較(曲げ応力成分)

力変化が小さな値を示した。塔応力についても、わずかながら計算値よりも小さな応力変化量を示した。このほか、斜材張力、主桁たわみ変化についても同様に計算値よりも小さな測定結果を得たが、これは載荷試験時の荷重が本橋において初めての荷重であったことなども、計算値と測定値とに差異が生じた要因と考えられる。

7. あとがき

本橋は昭和60年3月に竣工を迎え、橋面にはメロディー高欄が取り付けられた。丹波中央地区整備計画のシンボルとして、PC斜張橋「一ノ瀬橋」が地域住民に親しまれる橋となることを関係者一同願うとともに、本橋が今後のPC斜張橋の発展に対して何らかの参考になれば幸いである。最後に、本橋の設計・施工にあたり、多大な御指導を頂いた神戸大学工学部藤井学博士、ならびに兵庫県土木部の関係各位に対し、厚く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 本間秀世, 森田雄三: 不静定 PC 構造物のクリープによる影響, プレストレストコンクリート, Vol. 19, No. 4
- 2) 小川英信, 成井信, 岡野哲: PC 斜張橋の紹介, 橋梁と基礎, 82-3, 4, 7, 9.
- 3) 尾野公威, 時本博次, 加藤俊晴: 仮称 小滝橋(PC斜張橋)の計画と設計, 橋梁, 1984-7

【昭和60年8月5日受付】

表-3 斜材張力の比較

(単位: ton)

斜材番号	設定導入張力	張力測定値	差 分
S ₁₀	28.9	28.1	- 0.8
S ₂₀	28.2	27.9	- 0.3
S ₃₀	19.6	19.5	- 0.1
S ₄₀	19.6	20.4	0.8
S ₅₀	28.2	26.2	- 2.0
S ₆₀	28.9	28.0	- 0.9
S _{1u}	28.9	28.0	- 0.9
S _{2u}	28.2	27.5	- 0.7
S _{3u}	19.6	19.7	0.1