

三保ダム松ヶ山橋上部工の設計と施工について

浜 田 昌 彦†
大 工 原 襄*
森 伸 樹**
中 上 昌 二 郎***

1. ま え が き

近年、国の内外を問わず橋梁の発展はめざましいものがあるが、今後、スパンの長大化、低騒音構造等は時代のニーズであると思われる。PC斜張橋はこの要求を満たす新しい橋梁のタイプとして注目されており、我が国においても数橋建設が始められている。ここに紹介する“松ヶ山橋”は、道路橋として我が国初の本格的PC斜張橋であり今後の長大PC斜張橋建設の礎となると確信するものである。

この松ヶ山橋は、神奈川県企業庁が神奈川県足柄上郡山北町に建設した三保ダムの洪水吐の下流に架かる橋梁で、管理用道路の一部をなすものである。この橋を計画するに当っては、河川敷内に橋脚を設けられないので、スパンは約 100 m と長くなること、右岸側橋台は既設護岸を利用するため大きい反力を支えられないことなどの制約条件があった。したがって、橋梁形式は左岸側橋台にタワーを立てこの橋台より主桁を張出し、その重量は主に斜材を通してタワーの剛性と橋台重量で受け持たせる斜張橋とした。さらに、耐風、耐振の問題、維持管理の問題、美観上の問題等を検討した結果PC斜張橋を採用することにした。神奈川県は我が国初のPCカンティレバー橋を施工した実績を持ち常に新しいものへの研究を熱心に押し進めており、ここに我が国で道路橋として初めてのPC斜張橋“松ヶ山橋”を施工した実績もそれら幾多の諸先輩の研究の上に生かされたものである。本橋においては、耐風安定性に対して風洞実験を行い、また耐震性についても耐震解析、振動実験を行い十分な安全性の確認を行った。完成後のクリープ測定等の種々な測定を今後行う予定であり多くの資料を得ることができると考えている。

以下にこの橋梁の設計と施工の概要を報告する。

† 神奈川県企業庁酒匂川総合開発事務所工務第2課長

* 鹿島建設株式会社酒匂出張所工事部長

** 鹿島建設株式会社土木設計本部設計主査

*** 鹿島建設株式会社土木設計本部

2. 工 事 概 要

本橋の工事概要は次のとおりである(図-1 参照)。

工 事 名：三保ダム建設工事洪水吐下流橋梁工

橋 名：松ヶ山橋

場 所：神奈川県足柄上郡山北町神尾田字田の入

工 期：昭和52年10月～昭和53年6月(上部工)

構造形式：ディビダーク式プレストレストコンクリート斜張橋

橋 長：96.5 m (支間長 96.0 m)

幅 員：4.2 m (有効幅員 3.0 m)

縦断勾配：2% 放物線勾配

横断勾配： ”

主要工事数量：

コンクリート ($\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$) 538 m³

鉄筋 (SD 30) 58 t

PC鋼棒 (主桁 SBPR B種2号 $\phi 26$) 9.2 t

” (斜材 SBPR B種2号 $\phi 32$) 26.2 t

3. 設 計

3.1 構造の選定

斜張橋の上部構造は大別して、斜材、タワー、主桁の3要素より成り立っておりそれぞれ種々の構造形式および結合構造が考えられる。これらの要素は密接な関係があるので総合的に判断して決定しなければならない。

本橋の場合、まえがきに述べたように各種制約条件より左岸側橋台にタワーおよび主桁を剛結し、主桁の重量は主に斜材を通してタワーの剛性および左岸側橋台の重量で受け持たせる構造とした。

3.1.1 斜 材

斜材の形状については、斜張橋の外観を大きく支配するので美観上からも十分検討する必要がある。本橋では斜材形状として、片側4本、2面吊り、ファン型を選定したが以下にその選定理由を述べる。

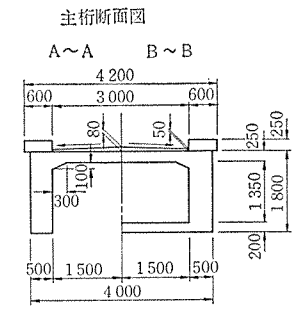
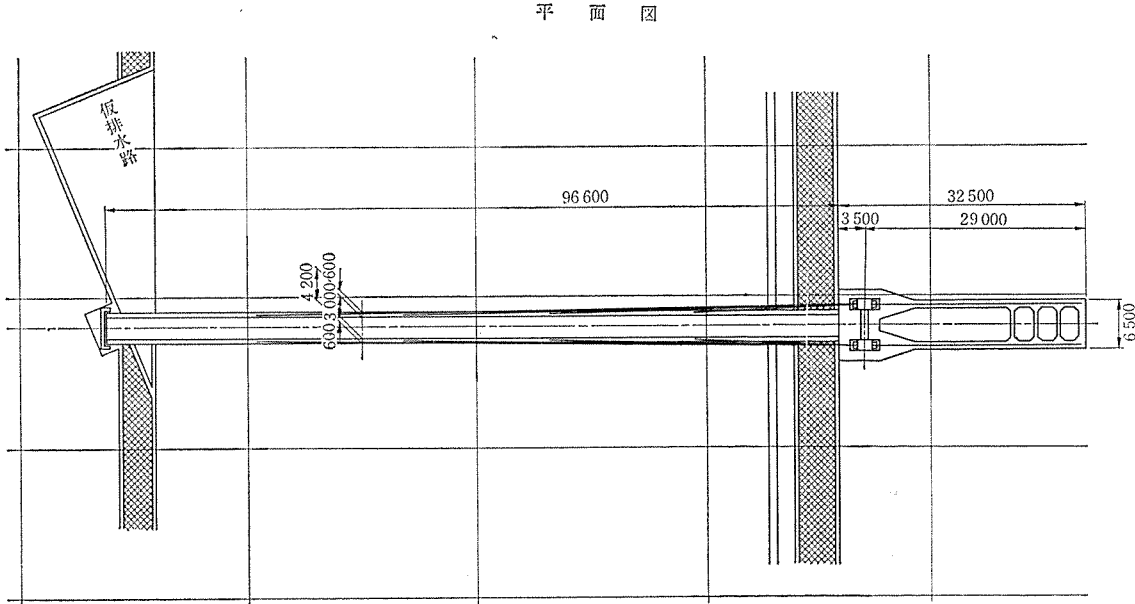
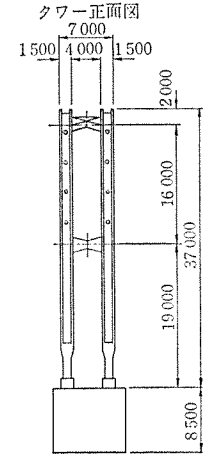
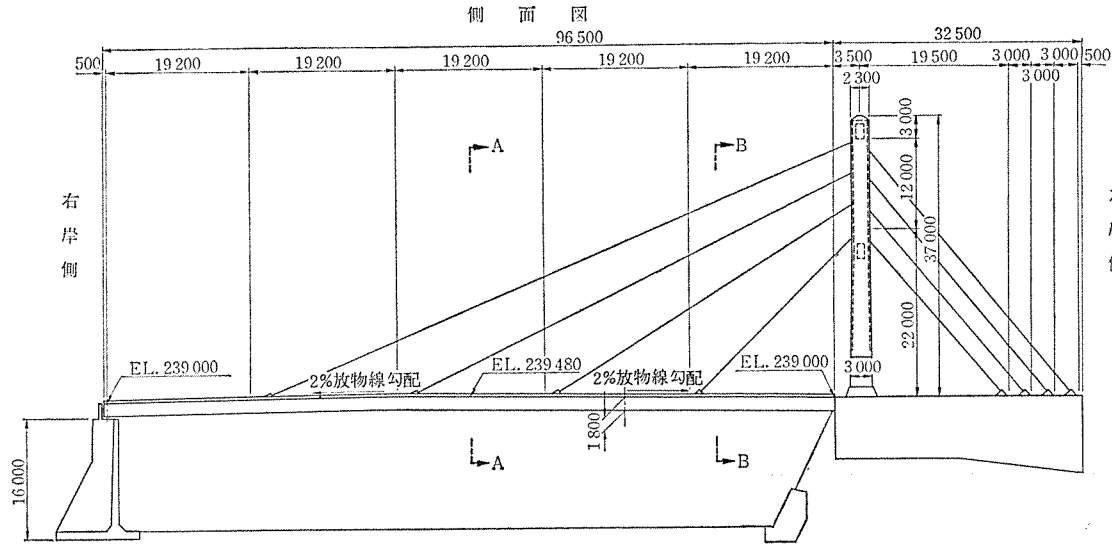


図-1 一般図

- i) 本橋の場合、主桁のスパン長と左岸側橋台の長さが異なること、およびタワー部での斜材定着点を左右一致させた方がカンティレバー施工に適していることを考え斜材形状はファン型とした。
- ii) 本橋は一車線の道路橋であるので2面吊りが適している。なお有効幅員が3.0mと狭く、2面吊りにした場合路面走行時に圧迫感を感じる恐れがあるので斜材の定着間隔は主桁で3.5m、タワーで5.5mと広げた。
- iii) 斜材本数については多数ケーブルとした方がカンティレバー架設に適しており斜材定着部が分散できるので定着スペースを小さくでき、また桁高も低くすることができる。本橋では、左岸側橋台でT字路になりその橋台部での建築限界より斜材の最も内側の位置が決定された。またタワー部での橋台側斜材の定着スペースの関係から斜材本数を4本とした。

斜材の材料としては、鋼橋に使用されているパラレルワイヤーやロックドコイルはアンカー部をコンクリートに埋込んだ例がないこと、および諸外国のPC斜張橋においてはむしろPC鋼材が多く使用されていることを考え本橋でもPC鋼材用アンカーを使用することにした。また本橋は我が国において道路橋として初めての計画であり、斜材張力を管理する上で伸び、圧力の両方から検討できるネジ式定着が良いと判断し、ディビダーク工法用のPC鋼棒(SBPR B種2号φ32)を用いた。また、この鋼棒を防護するためφ200(主桁側)およびφ250(橋台側)のうす肉鋼管で覆い鋼管内をモルタルで充填することにした。しかし設計上はあくまでPC鋼棒のみで全荷重を受け持たせるものとして解析している。斜材の定着部での鋼棒配置例を図-2に示す。

3.1.2 タワー

タワーの形状については、斜材を2面吊りにした場合、A型、二本タワー、門型タワーなどの形状が考えられるが、本橋では橋軸直角方向地震に対する耐力、施工性、美観を検討し、中間梁を有する門型タワーを選定した。タワーの高さは斜材重量を少なくする観点から考えれば高い方が良いが、地震力の影響、タワーの工費をも合わせて考えねばならない。現在まで施工されたPC斜張橋の実績を見るとタワー高さ(h)とスパン(l)との関係は大体 $h/l=0.18\sim 0.25$ の範囲にあり、ファン型の場合はこの範囲でも0.18に近い方が多い。本橋では3案比較検討を行い最適な $h=37.0$ mを採用した($h/l=0.19$ 、ただし l は本橋の場合片側張出しスパン96mであるので $96\times 2=192$ mとした)。断面形状については、斜材定着スペースおよび美観をも十分検討して決定した。なお、タワーはすべてRC構造とした。

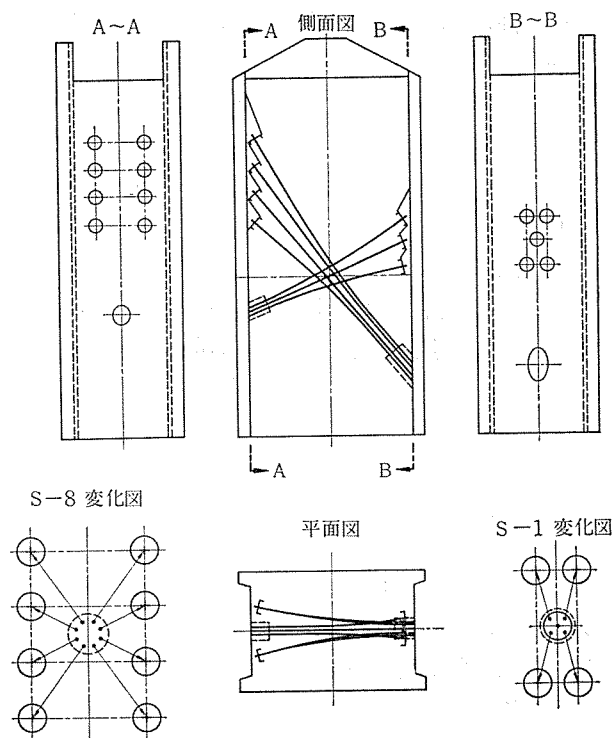


図-2 斜材定着部鋼棒配置

3.1.3 主 桁

主桁の断面については、斜材の吊り間隔が19.2mであるので施工中、完成時の応力度を考慮し、等桁高1.8mの2主桁断面とした。ただし、左岸側橋台と第1斜材間は、橋台剛結部が設計荷重時に下縁の圧縮応力度が大きくなるので、箱桁断面とした。

3.2 設計条件

- 構造形式：1径間(片側剛結)PC斜張橋
- 橋 長：96.5m(支間長96.0m)
- 幅 員：4.2m(有効幅員3.0m)
- 活 荷 重：TL-6, 群衆荷重 $w=350$ kg/m²
- 衝撃係数： $i=10/25+l$ l ；斜材間隔
- 地震々度： $k_H=0.15$, $k_V=0$
- 風 荷 重： $w_W=300$ kg/m²
- 温 度 差：部材相対温度差 10°C
部材厚温度差 $\pm 5^\circ\text{C}$

- クリープ係数： $\phi=2.0$
- 乾燥収縮度： $\epsilon=15\times 10^{-5}$
- レラクゼーション： $\eta=3\%$
- 材料強度および許容応力度：

主桁コンクリート

- 設計基準強度 $\sigma_{ck}=400$ kg/cm²
- 許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}=130$ kg/cm²
- 許容曲げ引張応力度 $\sigma_{cta}=0$

タワーコンクリート

- 設計基準強度 $\sigma_{ck}=400$ kg/cm²

許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca} = 130 \text{ kg/cm}^2$
 鉄筋 規格 SD-30
 許容引張応力度 1800 kg/cm^2
 (ただし床版は 1400 kg/cm^2)

P C 鋼材

主桁鋼棒

規格 SBPR B種2号 $\phi 26 \text{ mm}$
 許容引張応力度 $\sigma_{ta} = 0.75 \sigma_{py}$
 $= 71.25 \text{ kg/mm}^2$

斜材鋼棒

規格 SBPR B種2号 $\phi 32 \text{ mm}$
 許容引張応力度 $\sigma_{ta} = 0.42 \sigma_{pu}$
 $= 50.4 \text{ kg/mm}^2$

(注: この値は DIN の値を採用した)

3.3 設計の基本的考え方

設計の際 P C 斜張橋特有の問題となるのは、斜材張力の決定方法およびクリープ乾燥収縮による断面力の解析法である。以下、それについて述べる。

1) 斜材張力による断面力

斜材の緊張力は、施工中に必要な緊張力と完成後に必要な緊張力に分けられる。施工中に必要な緊張力はカンティレバー架設時に必要な量をなるべく各斜材の調整回数が少なくなるように、また完成後に必要な緊張力とのバランスを考慮して決定すればよい。本橋の場合、各施工段階では新しく配置した斜材およびその前の施工段階に配置した斜材計4本の調整を行い施工中に必要な緊張力を導入した。さらに、静荷重施工前に死荷重、活荷重のバランスを考え全斜材の調整を行い主桁完成後に必要な緊張力を導入した。なお橋台側の斜材張力は、タワーにアンバランスモーメントが極力小さくなるよう考えて決定した。

2) クリープ、乾燥収縮による断面力

クリープ、乾燥収縮による断面力は基本的には通常

の P C 桁橋の考え方と変わるところはない。ただ P C 斜張橋の場合、クリープ変形を起こさない部材(斜材)があること、高次の不静定構造物であることより断面力の変化が複雑となる。クリープによる断面力は、 n 次の不静定構造物の場合、時間 dt 間の一般式は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^n \delta_{ji}^* \cdot X_i d\varphi + \sum_{i=1}^n \delta_{ji} \cdot dX_i + \delta_{j0} d\varphi = 0$$

δ_{ji} ; i 点に $X_i=1$ が作用した時の j 点の X_j 方向の変位

δ_{j0} ; 実荷重が作用した時の j 点の X_j 方向の変位

δ_{ji}^* ; クリープを起こす部材の i 点に $X_i=1$ が作用した時の j 点の X_j 方向の変位

X_i ; 不静定力(経過時間 T_k 時)

dX_i ; dt 間に生ずる不静定力

$d\varphi$; dt 間のクリープ係数

この連立方程式を解き dX_i を求め、逐次累加して X_i を算出し時間 $t = \infty$ 時のクリープによる不静定力 $X_i(t = \infty)$ が求まり断面力が解析できる。

本橋の解析に当り、本橋のように上部工工期が短くまた持続荷重のバランスがよい構造ではクリープ係数、進行率の相異による影響および施工中のクリープの進行は殆どないと判断されるので、クリープ、乾燥収縮は主桁完成後から一斉に進行し、また、全部材が完成時同一の材齢(平均材齢 50 日)として解析を行った。なお、クリープ係数、乾燥収縮度は P C 道路橋示方書の値を使用した。

3.4 各荷重による断面力と部材安全度の検討

3.4.1 各荷重による断面力

各荷重のうち、自重、プレストレス(桁)、斜材張力による断面力は施工中に逐次構造系が変化していくので計画した施工順序に従って忠実に算定し、応力度の照査を行った。また、静荷重、活荷重による断面力は主桁完成

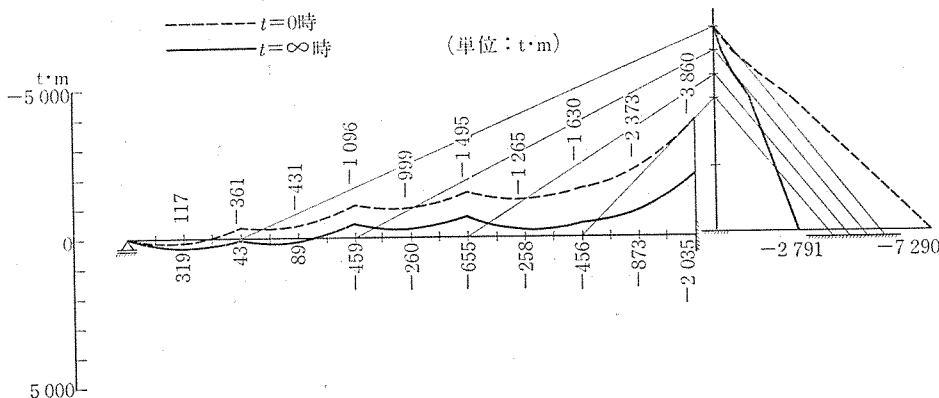
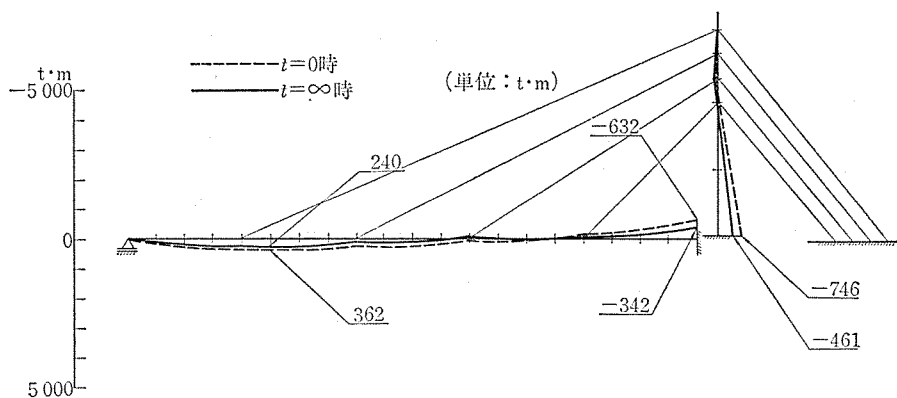
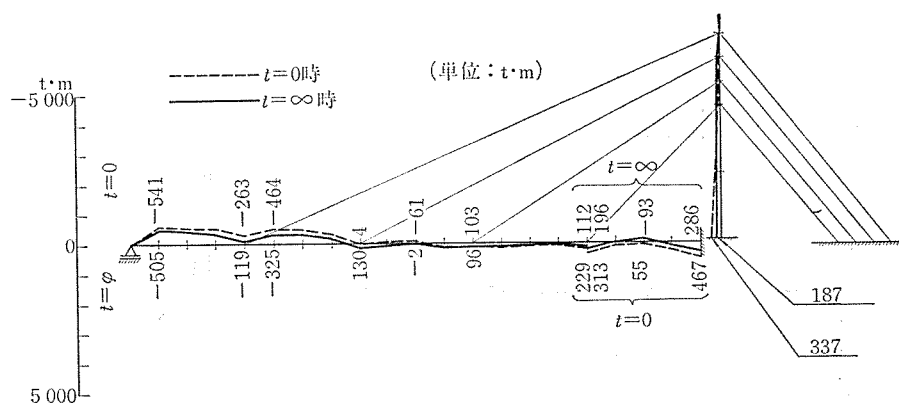


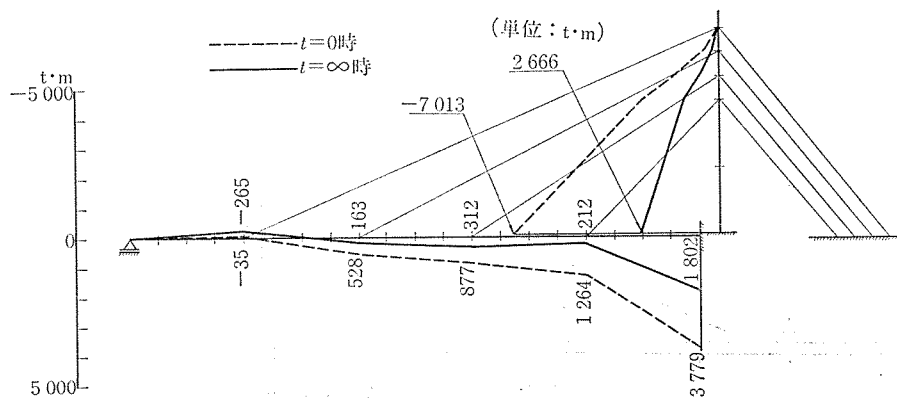
図-3 自重による曲げモーメント図



図—4 静荷重による曲げモーメント図



図—5 プレストレス (桁) による曲げモーメント図



図—6 斜材張力による曲げモーメント図

後に載荷されるので完成系で断面力を求め応力度の検討を行っている。

各荷重による曲げモーメントを 図—3～図—8 に施工完了直後 ($t=0$) とクリープ、乾燥収縮終了時 ($t=\infty$) について示す。

3.4.2 部材安全度の検討

i) 主桁およびタワーの検討

部材安全度の検討については通常の場合と変るところはないが、ただ斜張橋の場合、活荷重によっても軸

力が作用するので検討ケースが多くなる。活荷重の荷重状態は、曲げモーメントの最大、最小、軸力の最大、最小、せん断力の最大、最小の状態がありそれぞれの状態において安全度の検討を行わなければならない。

主要断面の曲げ応力度を 図—9 に示す。従荷重作用時で最も厳しいのは橋軸直角方向の地震力作用時で、その合成応力度は -10 kg/cm^2 である。

ii) 斜材

斜材の引張応力度の最大値は施工中で 61.7 kg/mm^2

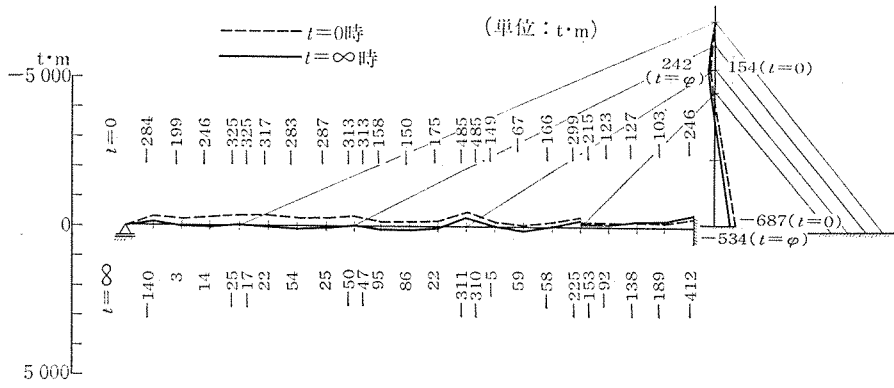


図-7 全持統荷重による曲げモーメント図

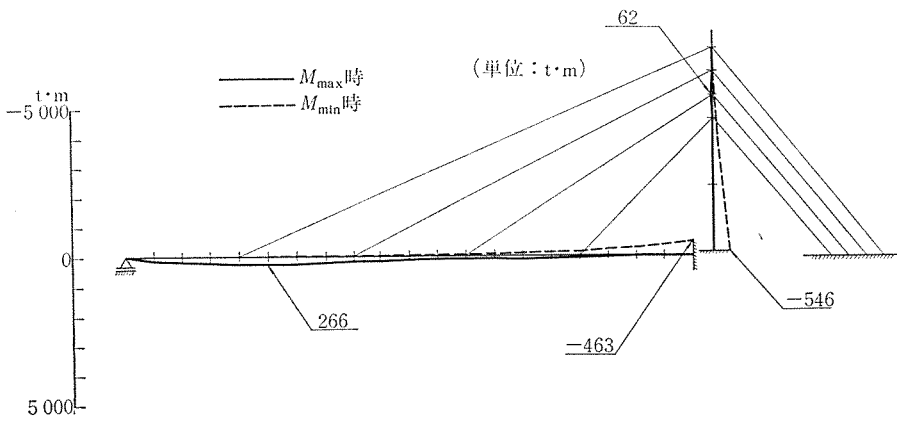
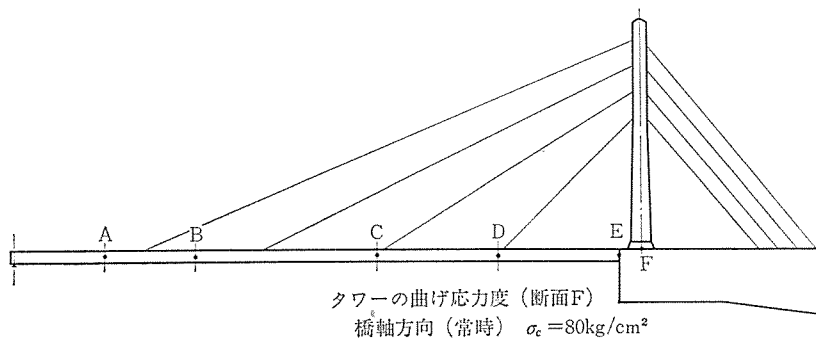


図-8 活荷重による曲げモーメント図



主桁の曲げ応力度 (kg/cm²)

断 面	上縁応力度		下縁応力度	
	最小	最大	最小	最大
A	23	48	6	54
B	36	67	10	68
C	6	31	74	117
D	21	38	54	113
E	5	38	76	110

図-9 主要断面の曲げ応力度

($\sigma_{t_a} = 71.25 \text{ kg/mm}^2$), 完成後で 50.2 kg/mm^2 ($\sigma_{t_a} = 50.4 \text{ kg/mm}^2$) であり, そのうち活荷重による変動幅は最大 5.0 kg/mm^2 である。また, クリープ乾燥収縮による応力度の変化は最大 4.0 kg/mm^2 である。

iii) 斜材定着部

斜張橋の場合, 斜材定着部の破壊は直ちに橋の破壊につながるので十分その安全性について検討する必要がある。定着部には斜材鋼棒アンカーが密集して配置されているので, そのアンカー群の前面の割裂応力および背面でのコンクリートの引張応力について検討しなければならない。割裂応力は, Mörsch の方法および F.E.M. 解析結果より検討し, そのうち大きい方で補強鉄筋を配置した。引張応力については, タワー部の鋼棒は反対側のコンクリート面にアンカーされているのでこの引張応力は生じない。主桁部および橋台部については, F.E.M. 解析の結果より鉛直方向に縦締鋼棒および鉄筋で十分補強を行った。

4. 施 工

PC斜張橋の施工法は種々考えられるが, 本橋では長大橋の一般的施工法であるカンティレバー架橋を採用して図-10に示すような施工区分で施工した。図-11, 12に施工順序の概要および工事工程を示す。

上部工の施工は大きく, 主桁工, タワー工, 斜材工の三つに分かれる。以下にその概要を述べる。

4.1 主 桁 工

主桁工については, 通常のPC桁橋の施工と同じで特に問題になる点はなかった。本橋の場合工期の関係上, 桁下端より約 15m 下の河床岩盤よりステージングを組

立てるオールステージング工法で施工を行った。なお最終ブロックは三保ダム仮排水路の下流に位置し基礎岩盤がかなり深く洗掘されている恐れがあること, および渇水期を過ぎると多量の水が放出されることになり, 支保工支柱に直接ぶつかる危険性があることから, 吊支保工施工とした。支保工状況は写真-1を参照。

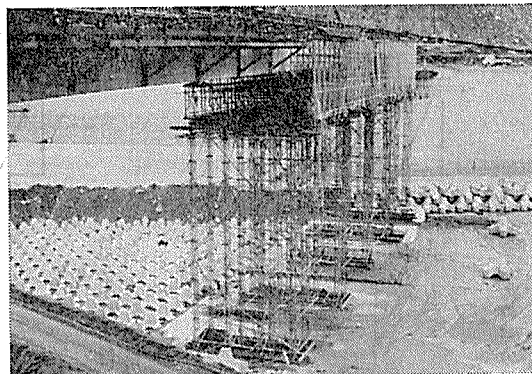


写真-1 主桁支保工組立て状況

4.2 タワー工

タワー工については, ハイピアーの施工と同じと考えられるが, 斜張橋において, タワーは構造上, 美観上重要な部材であるので, 施工に際しても特に注意を払った。本橋の場合, タワー高さ 37m とそれほど高くはなく, 材料の揚重には 40t クローラークレーン(ブーム長 36.5+12.0m) を使用し, コンクリート打設もポンプ車で行った。また足場も, タワーのまわりにビティ枠を組立て各作業足場とした。

4.3 斜 材 工

斜材工は斜張橋独自のもので施工に当っては種々の比較検討を行った。本橋の場合斜材には PC 鋼棒 (SBPR

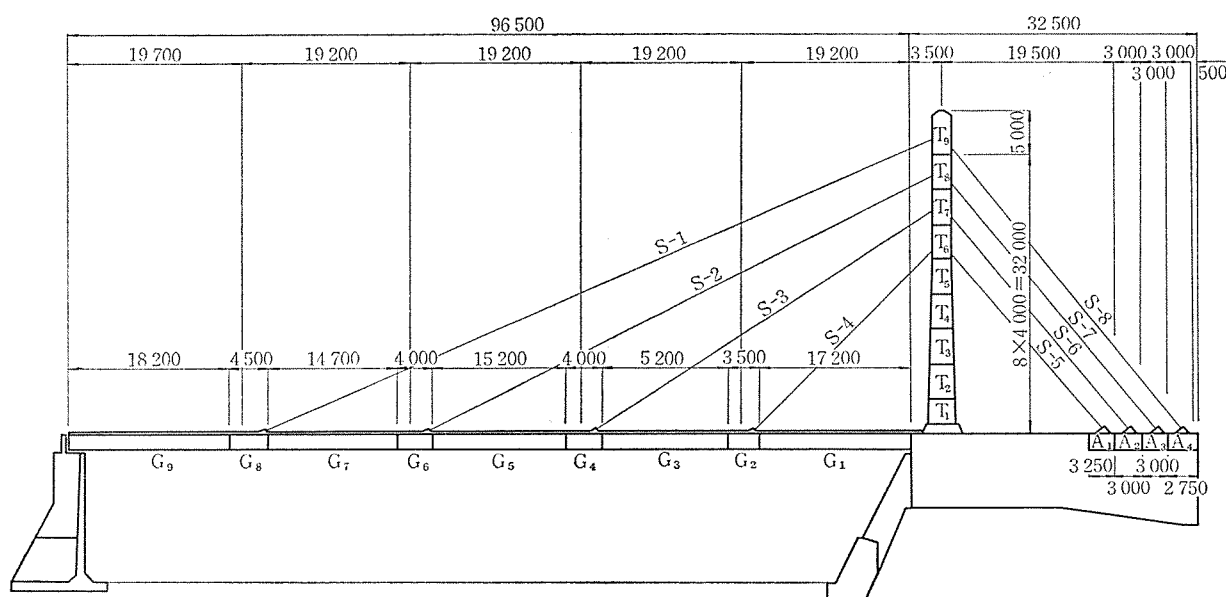
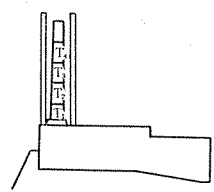
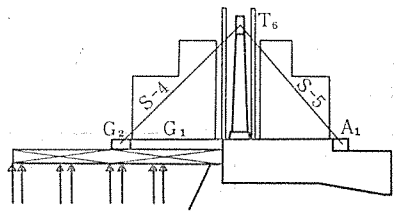


図-10 上部工施工区分

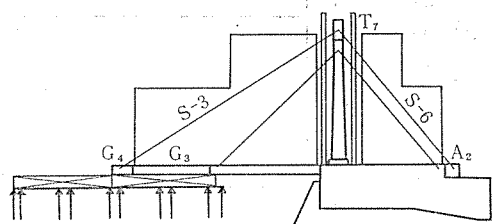
① 主桁部施工に先立ち、タワー部 T_5 ブロックまで施工する。



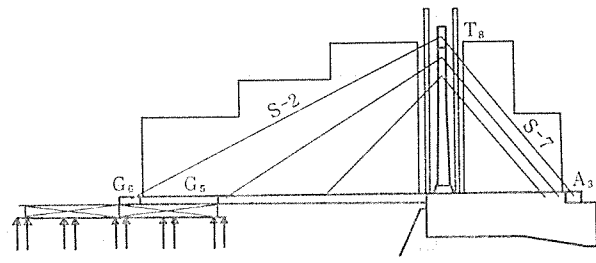
② 主桁支保工を2スパン分 ($G_1 \sim G_9$ 用) を組立て G_1 ブロックを施工する。
 G_1 ブロック、 A_2 橋台上に斜材吊上げ用支保工を組立て、斜材 $S-4$, $S-5$ をセットする。
 G_2 , A_1 , T_6 ブロックを同時にコンクリート打設する。
 主桁鋼棒に引続き $S-4$, $S-5$ を緊張し主桁支保工を撤去する。



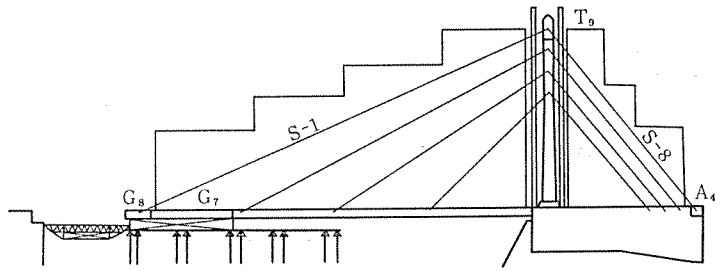
③ 同じ工程で G_3 , G_4 , A_2 , T_7 , $S-3$, $S-6$ を施工する。



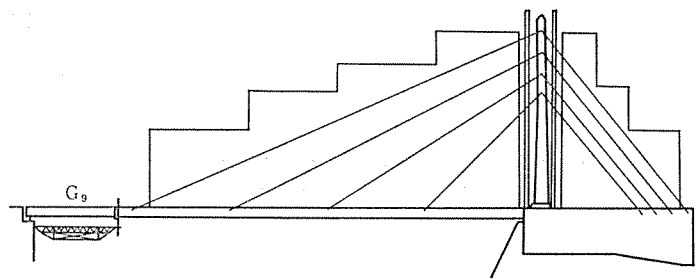
④ 同じ工程で G_5 , G_6 , A_3 , T_8 , $S-2$, $S-7$ を施工する。



⑤ 同じ工程で G_7 , G_8 , A_4 , T_9 , $S-1$, $S-8$ を施工する。



⑥ G_9 ブロックを吊支保工上で施工。
 主桁プレストレス導入後吊支保工を撤去する。



⑦ $S-1 \sim S-8$ を再緊張する。
 グラウト注入後斜材吊上げ用支保工を撤去する。
 橋面工を施工する。

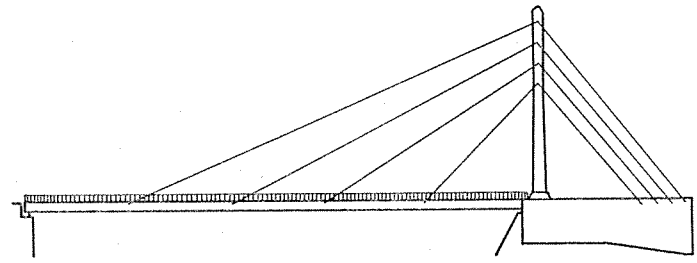
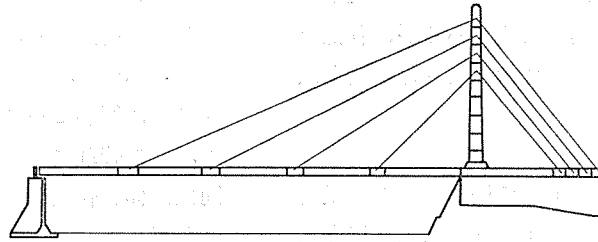


図-11 施工順序の概要



昭和 52 年	10月	
	11月	T ₁ T ₂ T ₃ T ₄ T ₅
	12月	G ₁ G ₂ S-A T ₆ S-5 A ₁
昭和 53 年	1月	G ₃ G ₄ S-3 T ₇ S-6 A ₂
	2月	G ₅ G ₆ S-2 T ₈ S-7 A ₃
	3月	G ₇ G ₈ S-1 T ₉ S-8 A ₄
	4月	G ₉ 主桁鋼棒グラウト
	5月	斜材鋼管グラウト
	6月	橋面工

図-12 上部工工程表

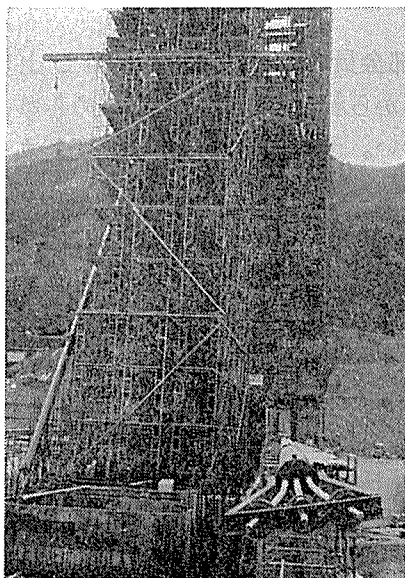


写真-2 斜材組立て用および吊上げ用支保工

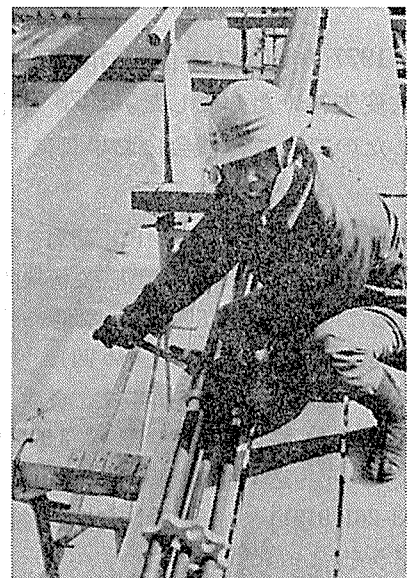


写真-3 斜材組立て状況

報 告

B種2号φ32)を所定の長さにカップラーにて接続し、保護鋼管の中に3～8本差し込む形式であるが、各部材の形状寸法、立地条件等を考慮して次のような架設方法を採用した。

○斜材の組立て

S-1～S-4側は主桁支保工上の桁側面のビティ足場を斜材組立て用足場として兼用するとともに主桁支保工のなくなる部分では桁側面にブラケット足場を設け足場とした(写真-2参照)。S-5～S-8側は地上より橋台側面にビティ枠を組立て、斜材組立て用の足場とした。斜材の組立て手順はレベル調整をした斜材組立て台の上に鋼管を並べ溶接で一本物とした後、鋼棒をカップラーにて継ぎ足しながらウィンチを利用してその鋼管の中に引き込み、斜材の組立てを行った(写真-3参照)。

○斜材の吊上げ

橋面上に組立てたビティ支保工上に鋼材を渡しその鋼材に取付けた滑車を利用して橋面上に配置されたウィンチにより吊上げた。所定の高さまで吊上げた後あらかじめ正規の位置にセットされた架台上にそれぞれ固定した。

○斜材の緊張

コンクリートが所定の強度($\sigma_c=340\text{ kg/cm}^2$)に達した後主桁鋼棒の緊張に引き続き斜材鋼棒の緊張を行った。本橋の場合鋼棒の緊張端はタワーに設けたが、タワーに偏心モーメントが作用しないよう順次緊張した。緊張管理については、通常のディビダーク工法と同様に伸び管理とし、その時の圧力についてもチェックを行った。

○斜材のグラウト

斜材鋼棒の防錆として鋼管内にモルタルを斜材最下端より圧入した。モルタルの配合はC:S=1:0.25、W/C=51%で早強セメントを使用した。各試験結果は、フロー値 16 ± 1 、純膨張率1.4%、圧縮強度 $\sigma_{28}=357\text{ kg/cm}^2$ であった。

5. あとがき

以上、日本で初めての本格的道路橋としてのPC斜張橋“松ヶ山橋”の概要を述べてきたが説明不足の点が多々あることが心残りである。しかし今後の長大PC斜張橋の設計および施工に取組もうとされる方々の御参考になれば望外の喜びであり、忌憚のない御批判を頂ければ幸いである。

1978年版 FIP Notes 購読予約受付について

1977年版は入手部数の関係上、折角のお申込みに対し一部会員の方々にはお断り申し上げ大変失礼いたしました。1978年版につきましてはFIP本部から若干の増量発送が認められましたので、この機会にお早目に下記要領にてお申し込み下さい。予約価格は前年度と変わりません。

- 1) 内 容：ロンドンに事務局を置くFIP (Fédération Internationale de Précontrainte の略)は、PC技術普及発展のため国際交流機関で、その組織下にある各種委員会の活動状況や世界各国の技術水準を知るにふさわしい工事写真、報告、論文等が掲載されている。
- 2) 発 行：隔月刊(年6回)
- 3) 体 裁：A4判の英文、頁数12～16(不含表紙)
- 4) 価 格：年間(6冊分)3600円(送料手数料共)
- 5) 申 込：希望者は「ハガキ」に必要部数、送付先(〒)、氏名、所属会社名記入のうえ協会事務局(電03-261-9151)へ、送金は三井銀行銀座支店(普通預金)920-790。なお、部数に制限がありますのでお早目にどうぞ。