

バイプレ方式による PC 桁の設計について

北 原 隆 司*
 渡 部 篤**
 海 津 誠 昭***

1. まえがき

市街地に建設される橋梁では、高水位時の桁下空間の確保、桁下の交通に対する建築限界の確保、あるいは取付け道路との取合せおよび周囲の景観との調和等の理由により、従来からより低い桁高が要求されている。

この要求に応えるものとして、従来のポストテンション方式による PC 桁の上縁に PC 鋼棒を配置し、これを圧縮、定着することにより、ポストテンション方式のみでは不可能であった、低い桁高の PC 桁を開発した。

以下において、主として桁高の最小化の理論と上記方法による PC 桁の設計方法および設計例について述べる。

2. 歴史上の発展

コンクリート部材に作用する圧縮応力を軽減するために、鋼材を圧縮してコンクリートに引張プレストレスを与えようとする考えは、1950 年の上半期に既にヨーロッパの発明家達によって話題にされていたようである。

1950 年 12 月 29 日に、イギリスの K. Billig は、特許庁に“Pretensioned Concrete”の名称で特許出願を行った。彼は、コンクリート柱を補強するために、図-1 に示すような、継ぎ合わせた鋼管の中にケーブルを挿通し、このケーブルを緊張して予め圧縮された鋼管（圧縮鋼管）を作り、これを鉄筋と同様に配置した後、コンクリートを打設し、コンクリートが硬化後、ケーブルの緊張を解除することにより、コンクリートに引張プレストレスを与える方法を発明した。

日本でも、ほぼ同様の発明が海上秀太郎氏によって行

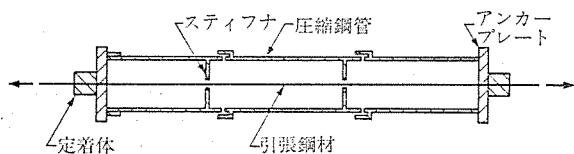
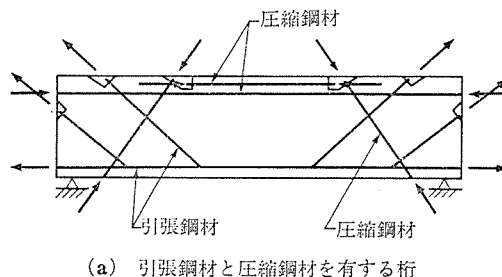


図-1 K. Billig による方法

* オリエンタルコンクリート (株) 東京支店工務部工務課長
 ** " 本社技術部主任研究員
 *** " 東京支店工務部工務課

われ、“予応力として引張力を導入するプレストレストコンクリートの製法”という名称で 1951 年 12 月 7 日に出願された³⁾。

また、前者の発明とは関係なく、ドイツの F.W. Mader は“Stahlbetonkörper mit einer vorgespannten Stahleinlage” (プレストレスト鋼材を有する鉄筋コンクリート体) という名称で、1952 年 1 月 1 日に特許を取得した (図-2 (a) 参照)。K. Billig との根本的な相違は、図-2 (b) に示すような鋼材を使用し、この鋼材をコンクリート打設前にプレストレスベッドの中で直接圧縮したことである。この方法では、鋼材が座屈しないように大きな鋼材断面積を必要とし、かつ十分な補強を行う必要があった。



(a) 引張鋼材と圧縮鋼材を有する桁



(b) 圧縮鋼材断面形状

図-2 F.W. Mader の方法

その後、オーストリアの H. Reiffenstuhl は 1956 年 1 月 24 日に 図-3 に示すような PC 桁の特許出願を行った。彼は、圧縮鋼材に PC 鋼棒を使用し、この鋼棒をシース中に挿入した状態でコンクリートを打設し、コ

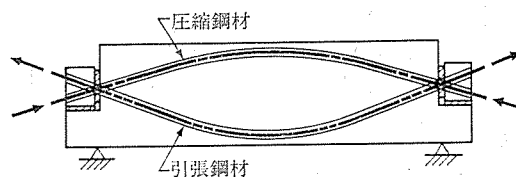


図-3 H. Reiffenstuhl の方法

ンクリートが硬化後この鋼棒を押し込み、端部定着する方法を發明した。シーす内は、圧縮鋼材の定着後グラウトが注入される。

1958年2月13日には、日本の中島儀八氏が“圧縮縁に引張力を与えた構造物”の名称で特許出願を行った。彼は、圧縮鋼管のかわりに、中央に孔をあけたプレキャストコンクリートを使用し、この孔の中に鋼棒を挿通し緊張することにより、予め圧縮されたコンクリート部材（転荷体と呼ぶ）を製作し、この転荷体を曲げ部材の圧縮域に配置し、曲げ部材の硬化後、転荷体中の鋼棒の緊張を解除することにより、曲げ部材の圧縮縁に引張力を与えようとした⁴⁾。

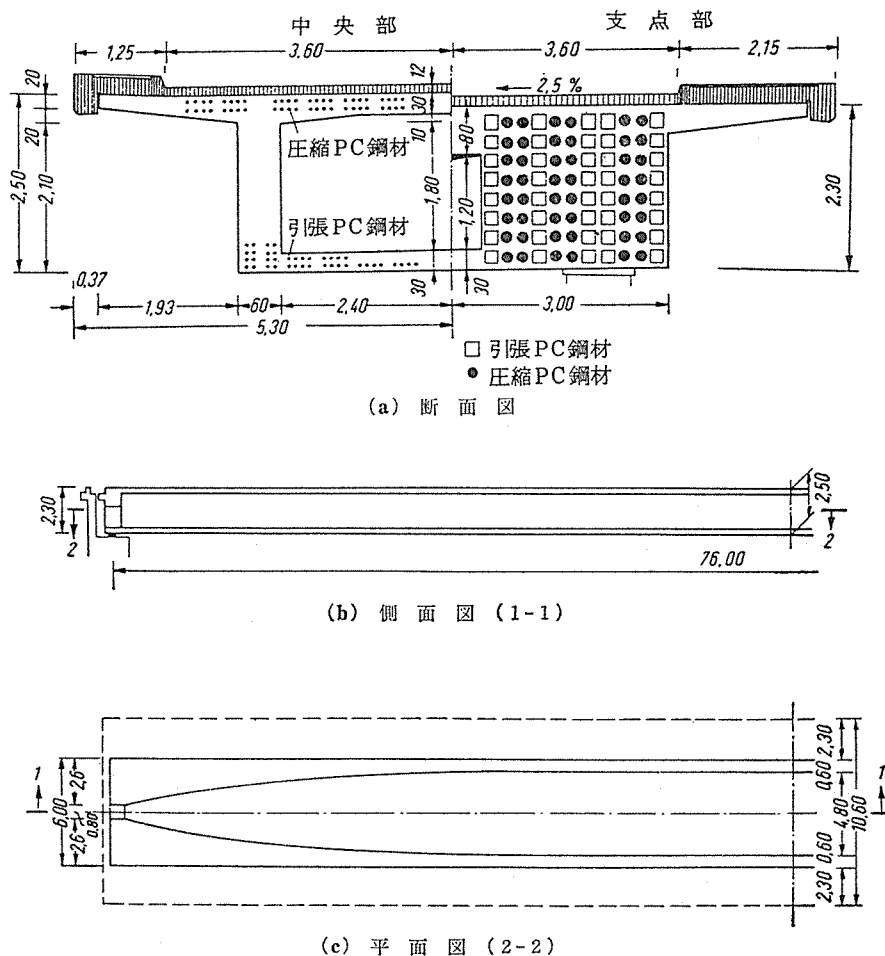
1977年に、H. Reiffenstuhel の設計による世界で初めての圧縮鋼棒を使用した PC 箱桁橋（Alm 橋）が建設された⁵⁾。図—4 に Alm 橋の構造概要を示す。従来のポストテンション方式のこのスパンの PC 箱桁橋では、桁高/スパン比は 1/17 程度であるが、Alm 橋では 1/30.4 であり、従来の PC 箱桁橋では不可能であった低い桁高が実現されている。

3. バイプレ方式の概念

バイプレ方式とは、「2つの」を意味する接頭語「bi: バイ」を使った、バイプレッシング方式（Bi-Prestressing System）の略称で、圧縮 PC 鋼材を圧縮するポストコンプレッション方式と従来の引張 PC 鋼材を緊張するポストテンション方式（あるいはプレテンション方式）を併用して、プレストレスを与える方式をこう呼ぶことにする。

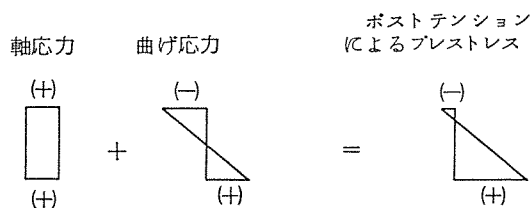
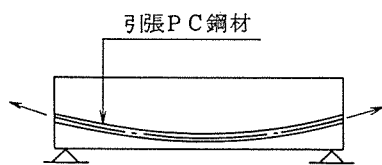
バイプレ方式の応力状態を図—5 に従って単純桁の場合について説明すると次のようになる。

- ① ポストテンション方式では、引張縁（桁下縁）付近に配置された引張 PC 鋼材を緊張し、軸圧縮力と偏心曲げモーメントを与えることにより、桁上縁で小さな引張応力、桁下縁で大きな圧縮応力が作用するプレストレス分布状態となり、プレストレスは主として荷重による桁下縁の引張応力を打ち消している。
- ② ポストコンプレッション方式では、圧縮縁（桁上縁）付近に配置された圧縮 PC 鋼材を圧縮し、軸引張力と偏心曲げモーメントを与えることにより桁上

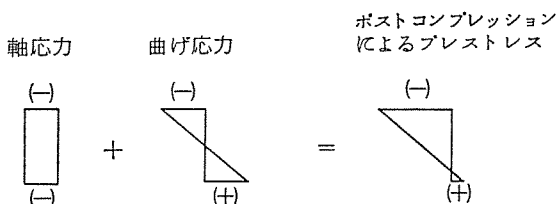
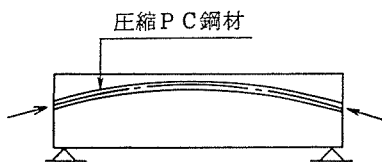


図—4 Alm 橋構造図

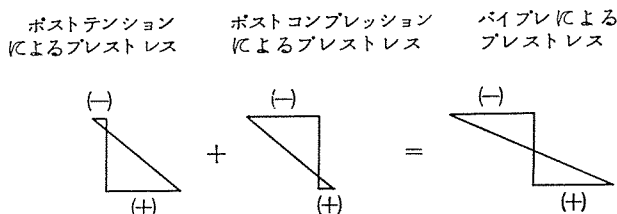
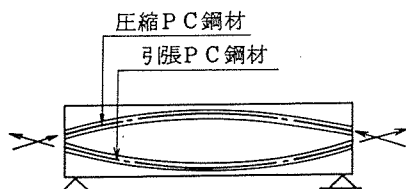
ポストテンション方式



ポストコンプレッション方式



バイプレ方式



図—5 コンクリート断面の応力状態 [(+): 圧縮, (-): 引張]

縁で大きな引張応力、桁下縁で小さな圧縮応力が作用するプレストレス分布状態となり、プレストレスは主として荷重による桁上縁の圧縮応力を打ち消している。

- ③ バイプレ方式では、2つの方式を組み合わせ、緊張力と圧縮力を調整することによって、軸圧縮応力が小さく曲げ応力が大きなプレストレス分布状態が可能となり、プレストレスは桁下縁において、荷重による大きな引張力を打ち消すだけでなく、桁上縁における大きな圧縮力をも打ち消している。

橋梁等にバイプレ方式を採用した場合、従来のポストテンション方式の場合に比べ、次のような利点がある。

- ① 桁高を低くすることができる。
- ② 桁自重を軽減できる。
- ③ 支間を増大することができる。
- ④ 圧縮鋼材の圧縮力の影響によって、コンクリートのクリープ、乾燥収縮による引張鋼材の引張応力の減少量が少なくなる。
- ⑤ コンクリートのクリープ、乾燥収縮によって、圧縮鋼材の圧縮応力は増加する。
- ⑥ 部材中により多くの PC 鋼材を配置することができる。

4. バイプレ方式 PC 桁の設計

従来のポストテンション方式のみの場合、支間 20~40 m の範囲の PC 桁橋において、施工性、経済性から、その有利さが発揮できることが知られている。建設省制定「土木構造物標準設計(ポストテンション方式 PC 単純Tげた橋)」(以下「標準設計」と呼ぶ)によれば、この範囲の桁高/支間比は 1/16.7~1/19.0 となっている。何らかの理由によって桁高が制限されないかぎり、この値を用いて桁高を決定すれば経済的な設計が可能である。しかしながら実務においては、しばしば、これより低い桁高が求められることがある。このような場合、これまででは、主桁本数を増やしたり、断面をずんぐりさせたりして、対処してきた。このような場合においても、桁高/支間比は T 桁橋の場合で 1/22~1/27 である。

より低い桁高への要望は、冒頭に述べたような理由から、近年深まるばかりであり、ここでバイプレ方式を採用することにより、一段と低い桁高の PC 桁橋の設計が可能である。

今回のバイプレ方式による PC 桁橋の設計に際して、以下のような基本方針を設定した。

- ① 道路橋を対象とする。
- ② プレキャスト方式単純桁橋を対象とする。

- ③ 圧縮 PC 鋼材, 圧縮力導入作業以外の諸事項は標準設計に準ずる。
- ④ 可能なかぎり桁高を低くした断面とする。
- ⑤ プレキャスト桁の 2 次緊張は行わない。
- ⑥ 実用化設計として構造の細部設計まで行う。

4.1 設計条件

形式：バイプレ方式 I 形単純桁橋
 橋 格：1 等橋
 支 間：25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 45 m, 50 m
 幅 員：9.0 m
 斜 角：90°
 荷 重：TL-20
 衝撃荷重： $i=10/(25+l)$

活荷重による許容たわみ： $\delta_i/l=1/600$

4.2 主要材料

主桁コンクリート： $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$
 場所打ちコンクリート： $\sigma_{ck}=300 \text{ kg/cm}^2$
 引張 PC 鋼材：12- $\phi 7$ (SWPR 1)
 12-T 12.4 (SWPR 7 A)
 圧縮 PC 鋼材： $\phi 32$ (SBPR 95/110)
 横締め PC 鋼材：1-T 17.8 (SWPR 7 B)
 鉄 筋：SD 30
 その他の条件, 許容値は道路橋示方書Ⅲに従った。

4.3 主桁の設計

主桁の設計手法は 図-6 に示すように圧縮 PC 鋼材のプレストレスの検討が加わる以外は従来のポストテンション方式と変るところはない。

4.3.1 断面力の計算

橋面荷重, 活荷重の荷重分配は Guyon & Massonnet の直交異方性版理論に基づいて行い, 各断面力を計算し

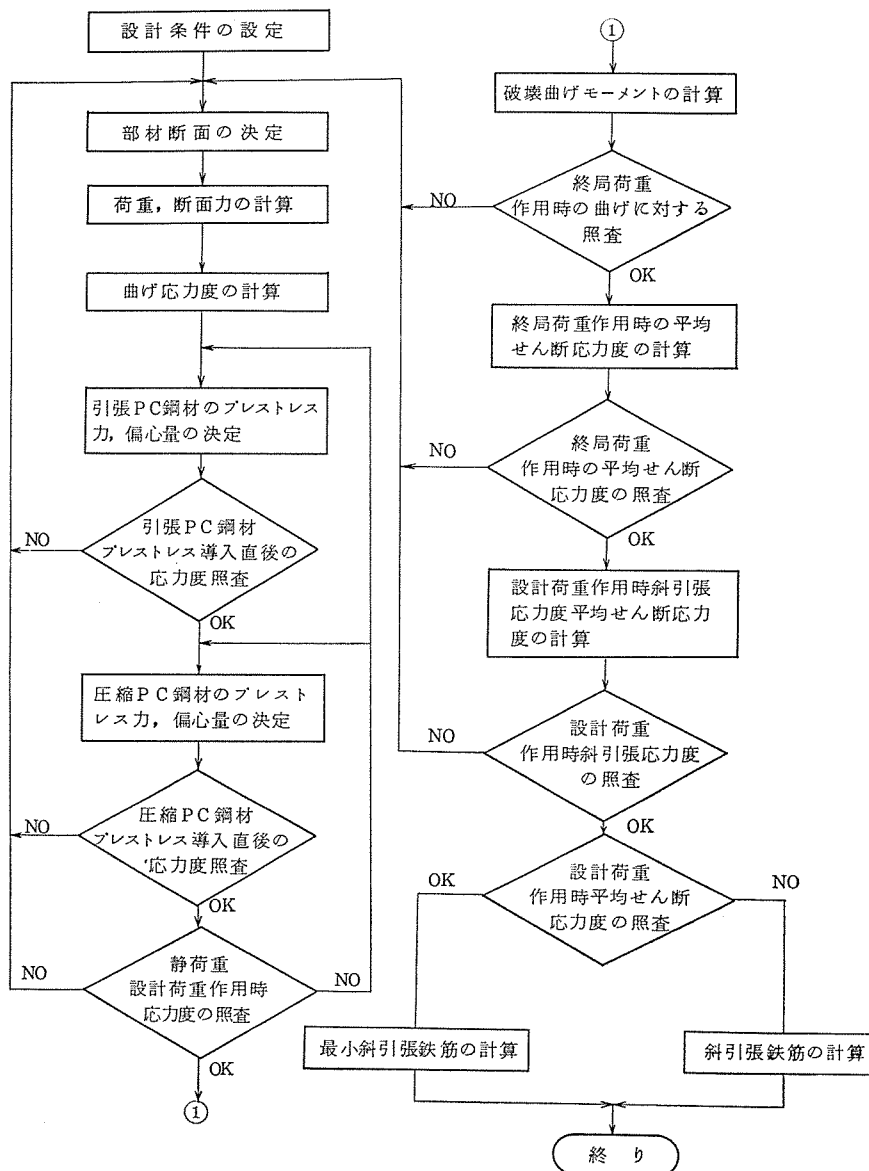


図-6 主桁の設計手順

た。

当初から横方向の剛度が小さくなることが予想されたので、標準設計より中間横桁を1か所増し、横桁寸法を大きくした(図-19 参照)。その結果、活荷重の荷重分配率は $1.05 B/N \sim 1.08 B/N$ (B : 幅員, N : 主桁本数) となり、標準設計の $0.95 B/N \sim 1.00 B/N$ より約 10% 程度多いものとなった。なお橋面荷重は平均荷重に近い値で、差は見られなかった。

4.3.2 主桁断面の決定

主桁の断面は、応力上の最小桁高断面を計算し、更に施工性等を考慮して細部形状を決定した。

(1) 最小桁高断面の計算

バイプレ方式 PC 桁に荷重が作用したときの主桁断面の応力条件式は式 (1) のようになる。

$$\left. \begin{aligned} & \frac{M_{d0}}{W'} + \frac{P_{tT}}{A} + \frac{P_{tT} \cdot e_{pT}}{W'} + \frac{P_{tC}}{A} + \frac{P_{tC} \cdot e_{pC}}{W'} \geq \sigma_{cat}' \\ & \frac{M_{d0}}{W} + \frac{P_{tT}}{A} + \frac{P_{tT} \cdot e_{pT}}{W} + \frac{P_{tC}}{A} + \frac{P_{tC} \cdot e_{pC}}{W} \leq \sigma_{cat} \\ & \frac{\Sigma M}{W'} + \frac{P_{eT}}{A} + \frac{P_{eT} \cdot e_{pT}}{W'} + \frac{P_{eC}}{A} + \frac{P_{eC} \cdot e_{pC}}{W'} \leq \sigma_{ca}' \\ & \frac{\Sigma M}{W} + \frac{P_{eT}}{A} + \frac{P_{eT} \cdot e_{pT}}{W} + \frac{P_{eC}}{A} + \frac{P_{eC} \cdot e_{pC}}{W} \geq \sigma_{ca} \end{aligned} \right\} (1)$$

- ただし、 M_{d0} : 主桁自重による曲げモーメント
- ΣM : 設計荷重時の曲げモーメント
- A : 主桁断面積
- W', W : 主桁の上縁および下縁の断面係数
- P_{tT}, P_{eT} : 引張 PC 鋼材のプレストレス導入直後および設計荷重時の引張力
- P_{tC}, P_{eC} : 圧縮 PC 鋼材のプレストレス導入直後および設計荷重時の圧縮力
- e_{pT} : 引張 PC 鋼材の偏心距離
- e_{pC} : 圧縮 PC 鋼材の偏心距離
- $\sigma_{cat}', \sigma_{cat}$: プレストレス導入直後の許容曲げ応力度
- $\sigma_{ca}', \sigma_{ca}$: 設計荷重時の許容曲げ応力度

荷重を受ける断面が式 (1) を満足するには、荷重と断面から求められる“許容曲げ応力度を満足するプレストレスの範囲”に実際のプレストレスがあれば良い。プレストレスをこの範囲におさまられない場合は、断面が不足している状態である。最小桁高断面の計算は、上記の

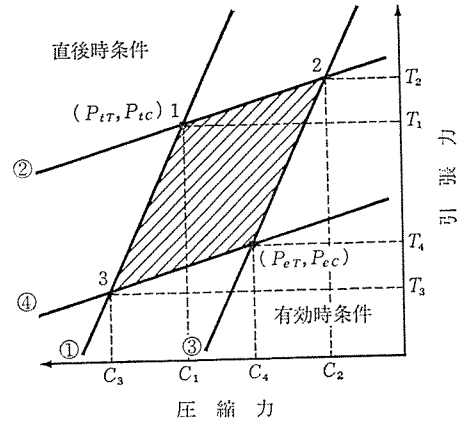


図-7 プレストレスの限界範囲

範囲を検討する方法で行った。

式 (1) を、引張力と圧縮力の関係式に変形したものが式 (2) である。図-7 は、これをグラフ化したもので、斜線部が式 (2) を満足する領域である。この領域は、荷重と断面を仮定したときのプレストレスの限界範囲を意味し、導入直後と有効プレストレスが共にこの領域内であれば、断面は許容応力度を満たしている状態にある。

$$\left. \begin{aligned} & P_{tT} \leq -\frac{W' + A \cdot e_{pC}}{W' + A \cdot e_{pT}} \cdot P_{tC} + \frac{A}{W' + A \cdot e_{pC}} \cdot (\sigma_{cat}' \cdot W' - M_{d0}) \dots \textcircled{1} \\ & P_{tT} \leq -\frac{W + A \cdot e_{pC}}{W + A \cdot e_{pT}} \cdot P_{tC} + \frac{A}{W + A \cdot e_{pT}} \cdot (\sigma_{cat} \cdot W - M_{d0}) \dots \textcircled{2} \\ & P_{eT} \geq -\frac{W' + A \cdot e_{pC}}{W' + A \cdot e_{pT}} \cdot P_{eC} + \frac{A}{W' + A \cdot e_{pC}} \cdot (\sigma_{ca}' \cdot W' - \Sigma M) \dots \textcircled{3} \\ & P_{eT} \geq -\frac{W + A \cdot e_{pC}}{W + A \cdot e_{pT}} \cdot P_{eC} + \frac{A}{W + A \cdot e_{pT}} \cdot (\sigma_{ca} \cdot W - \Sigma M) \dots \textcircled{4} \end{aligned} \right\} (2)$$

$\eta_T = P_{eT}/P_{tT}$, $\eta_C = P_{eC}/P_{tC}$ は実際のプレストレスの有効係数である。 $\eta_{Ta} = T_2/T_1 (= T_4/T_2)$, $\eta_{Ca} = C_1/C_2 (= C_3/C_4)$ は、荷重と断面から求めたプレストレスの許容有効係数で、これを限界有効係数と呼ぶ。

$\eta_T, \eta_C, \eta_{Ta}, \eta_{Ca}$ より求めた有効係数の許容領域は図-8 のようになる。断面が許容応力度を満たす条件 ($\eta_{Ta} \leq \eta_T, \eta_{Ca} \geq \eta_C$) の領域は斜線部であり、 $\eta_{Ta} = \eta_T, \eta_{Ca} = \eta_C$ となる断面が理論上の最小断面と考えることができる。

最小断面は、各種断面について図-8 の A 点に限りなく近づける検討を行って決定した。例として、支間 30 m での最終段階の検討結果を示したものが表-1、図-9、図-10 である。必要最小桁高は 90 cm, η_{Ta}, η_{Ca} の

表-1 $l=30\text{ m}$ に対する検討断面

Type	1	2	3	4	5
断面形状 $H=900$					
η_{ra}	0.722	0.730	0.752	0.788	0.841
η_{ca}	1.131	1.427	1.772	2.139	2.400

Type	1'	2'	3'	4'	5'
断面形状 $H=850$					
η_{ra}	0.774	0.780	0.800	0.836	0.890
η_{ca}	0.952	1.131	1.304	1.442	1.487

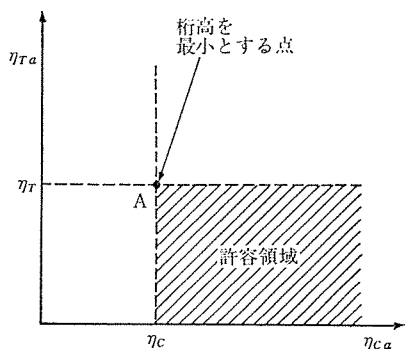


図-8 有効係数の許容領域

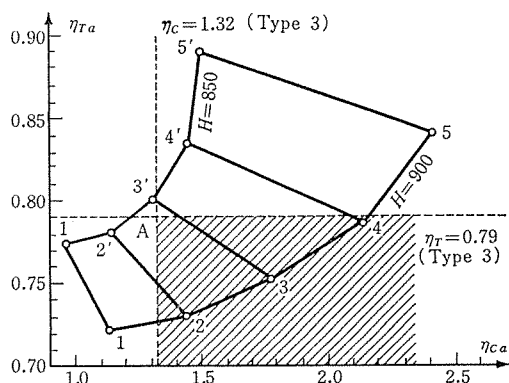


図-10 有効係数の許容領域 ($l=30\text{ m}$)

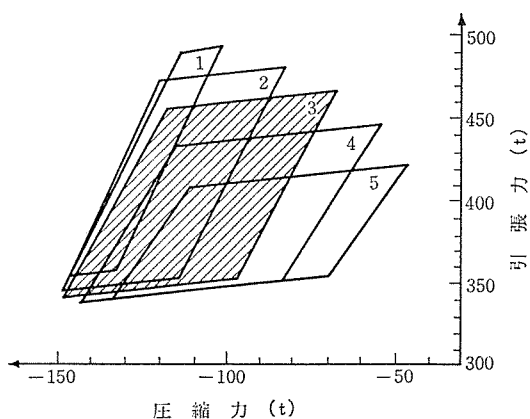


図-9 プレストレスの限界範囲 ($l=30\text{ m}$)

値(断面上下縁の応力バランス)を考慮して TYPE-3 を計算上の基本断面とした。

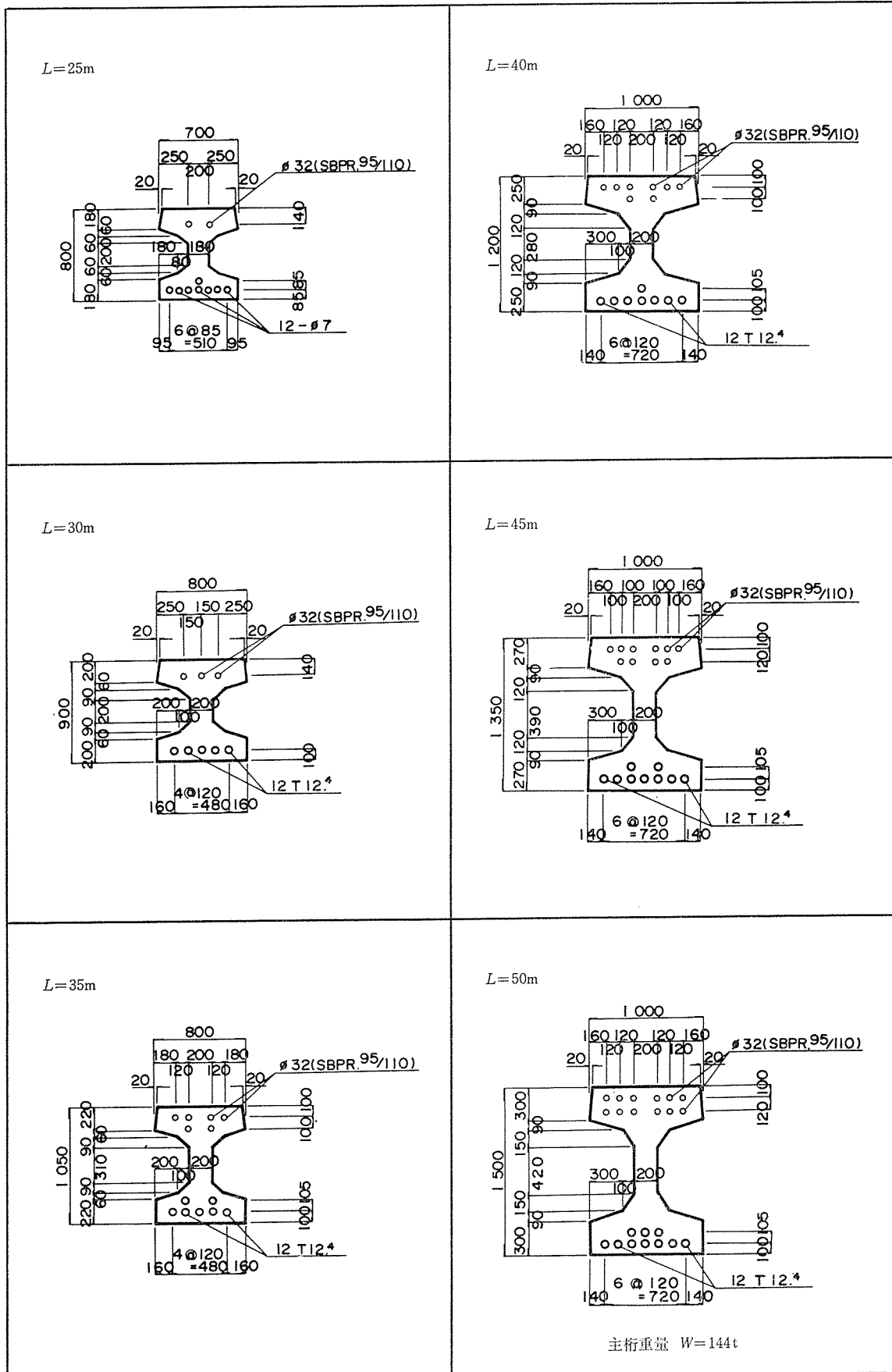
(2) 支間中央断面の決定

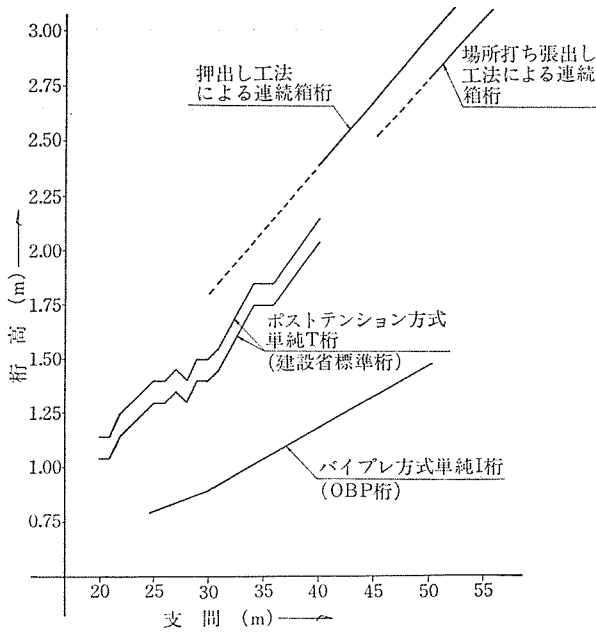
前項で計算した基本断面に、次のような点を配慮して使用断面を決定した。

- ① 本設計以外の支間でも断面の決定が容易にできるように、全支間にわたって断面形状、桁高等の連続性を考慮した。
- ② プレキャスト桁製作時の型枠組立作業の能率を検討し、上下フランジ、ウェブ付近の細部形状を決定した。
- ③ 場所打ち床版部の幅は、横組工施工のための最小値として 10 cm 確保した。

以上によって決定した支間中央断面の形状を表-2に示した。また 図-11 は、以上の結果得られた桁高と、ポストテンション方式のみによる他の PC 桁橋の桁高を比較したものである。図-12 は、曲げ応力度を示したものである。図-3 (a) には引張 PC 鋼材と圧縮 PC 鋼

表-2 支間中央断面





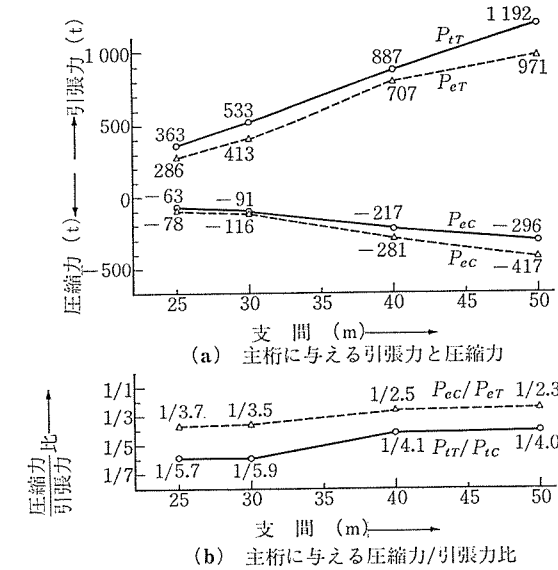
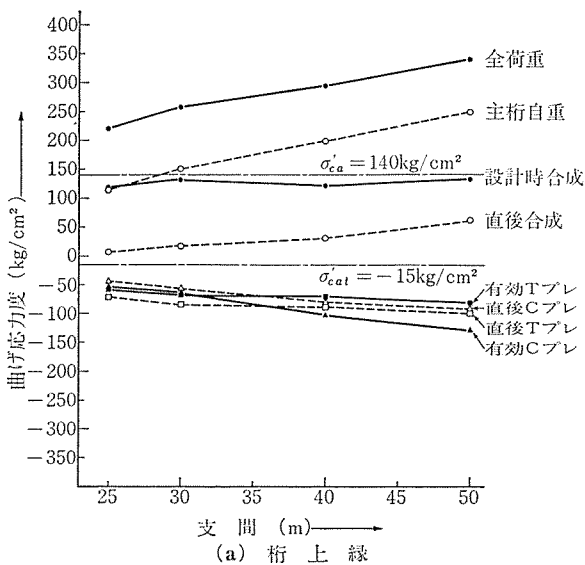
図一11 支間-桁高比較図

材による引張力と圧縮力を、図一13 (b) には、圧縮力/引張力比を示した。

(3) バイプレ方式による PC 桁の特徴

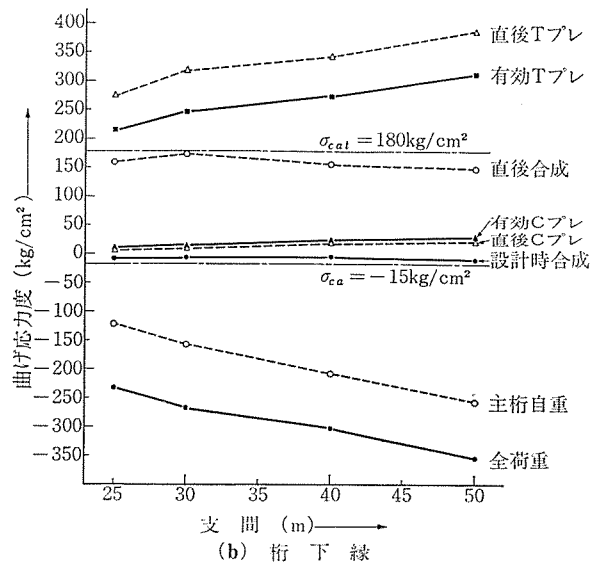
バイプレ方式 PC 桁の断面形状、応力状態は次のような特徴をもっている。

- ① 上下縁の形状が等しい断面 (I 形または箱桁) が最適断面である (本設計は、架設重量、圧縮鋼材の定着を考慮して I 形断面とした)。
- ② プレストレスによる断面上下縁の応力度の比率を自由に調整できるので、荷重によって断面圧縮縁に大きな圧縮応力が生じるようなきびしい断面でもプレストレスで補強することができる。



図一13 主桁に与える PC 鋼材のプレストレス力

- ③ 本設計の場合、圧縮力 P_{ec} と引張力 P_{eT} の比は 0.17~0.25 で、支間が長くなると大きな値となっている。これは、支間の長大化に伴う桁自重応力度の増加傾向によって荷重による合計応力度が大きくなると、断面上下縁の必要プレストレス量の比が大きくなるため、長大橋梁では更に大きな値となる。
- ④ 桁高/支間比は 1/31.3~1/33.3 で、従来の PC 橋では不可能な低い桁高を達成できた。また、本設計のように他支間との断面の連続性、施工性等の汎用性を考慮しなくても良い実施設計の場合には、プレキャスト I 桁橋で 1/35、場所打ち箱桁橋で 1/40 程度までの低い桁高が可能と思われる。
- ⑤ 本設計は桁高/支間比が一定になっているので、長支間の場合には桁自重、死荷重の断面力比が大き



図一12 曲げ応力度

報 告

くなりプレストレスの有効係数、断面の限界有効係数値が大きくなり、短支間より断面に多少余裕がある。

(4) 曲げ破壊安全度

終局荷重に対する曲げ破壊安全度は、圧縮 PC 鋼材を考慮しない場合で 1.14~1.29, 考慮した場合で 1.20~1.35 であった。

4.3.3 中央断面以外の検討

(1) PC 鋼材の配置

圧縮 PC 鋼棒は直線状に配置して上フランジ部に定着した。ただし、鋼棒を 2 段に配置している場合 (支間 35 m 以上) の下段については、定着部付近で曲げ下げてウェブ拡幅部に定着した。そのため、主桁々端付近拡幅部の断面形状は支点と同一の矩形断面とした (図-18 参照)。

引張 PC 鋼材は全数桁端定着とした。断面を絞っているため、ケーブルの配置限界範囲が狭いうえ、圧縮 PC 鋼棒の直線配置の影響を受けて曲げ上げ開始位置が従来の PC 桁橋より支間中央寄りとなる傾向が見られた。

(2) せん断力に対する検討

設計荷重時の平均せん断力が一部で許容値をわずかに超える断面があった (最大 3 kg/cm²) が、斜め引張鉄筋の計算上必要量は図面上のスターラップ配置間隔 (300 mm) の鉄筋量以下の値で、全体としてせん断力に対しては比較的余裕のある断面となっている。なお、せん断力に対する検討は、桁端付近の拡幅を 1:5 の勾配と想定して行った。

(3) たわみ

活荷重によるたわみ量は 図-14 に示すとおり許容値内にある。

4.3.4 圧縮 PC 鋼棒の細部について

圧縮 PC 鋼棒に関しての細部事項は以下のとおりである。

① PC 鋼棒は通常の熱処理鋼棒を使用し、設計々算

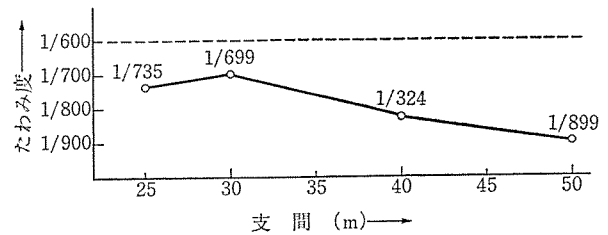


図-14 たわみ度

上の弾性係数 E_p は $20 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とした。

② シースは、圧縮された鋼棒がバックリングを起こすことがないように、一定の間隔でシースを絞り、鋼棒の横方向変位を拘束する“絞りシース”を使用した (図-15)。

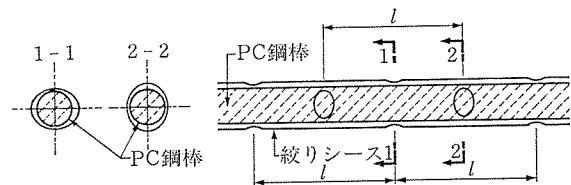


図-15 絞りシース

③ PC 鋼棒の圧縮・定着方法は 図-16 の要領で行い、ジャッキはセンターホールジャッキを使用する。なお、設計計算上の鋼材の摩擦係数値は、試験値より $\mu=0.6$, $\lambda=0.015$ を使用した。

④ PC 鋼棒の圧縮応力度は、コンクリートの弾性変形、鋼材のレラクセーションによって減少し、コンクリートのクリープ、乾燥収縮によって増加するが、計算方法は引張鋼材の場合と同様である。PC 鋼棒の許容圧縮応力度は $\sigma_{pea} = \sigma_{py} / 1.7 = 56 \text{ kg/mm}^2$ とした。また PC 鋼棒が桁上縁に配置されているので、アスファルト舗装による影響を考慮してレラクセーション値を 5% とした。

⑤ 一部の PC 鋼棒の定着部付近の曲げ半径は 25 m

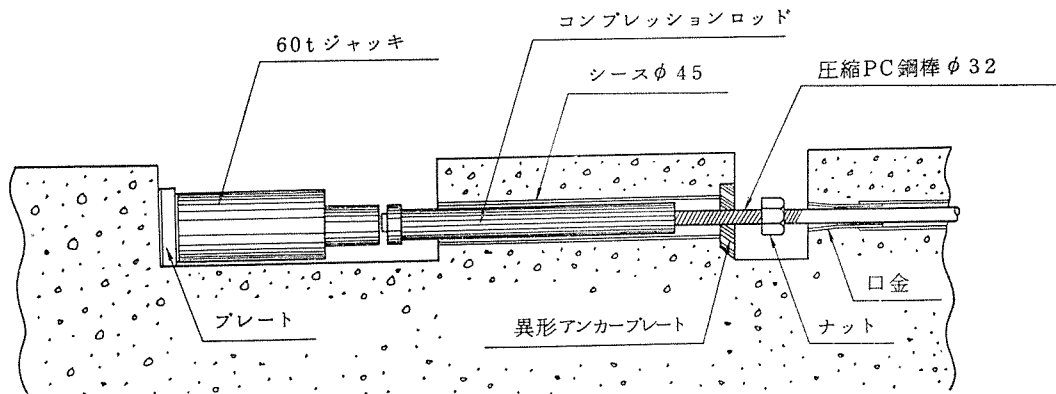
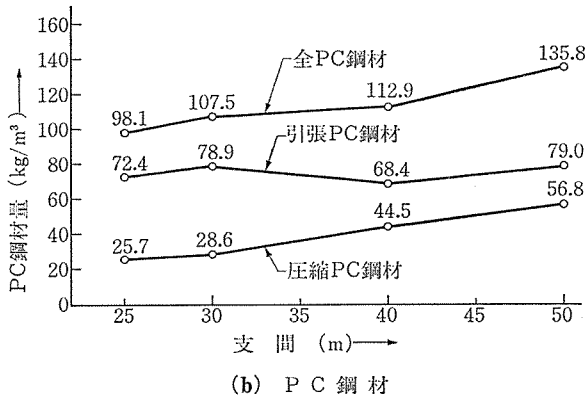
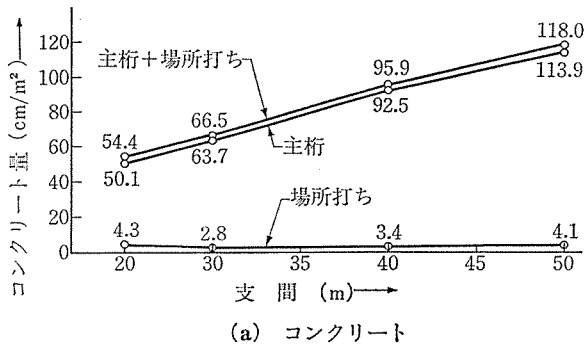


図-16 PC 鋼棒の圧縮、定着方法



図—17 使用材料

以上とした。

4.4 横方向の検討

4.4.1 床版

支間が短く床版が厚いので断面力は小さく、横締めPC鋼材はモノストランド 1-T 17.8 を 50 cm 間隔に配置した。

4.4.2 横桁

桁高が低いために、4.3.1 で述べたように、横桁箇所数を増し、横桁寸法を大きくしたが、幅員 20 m を超える場合には、更に横桁箇所数または横桁の寸法を増す必要があると思われる。

4.5 コンクリートおよび PC 鋼材使用量

本設計は桁高を低くしているため、コンクリートおよび PC 鋼材の使用量は、標準設計より多くなっている (図—17)。

5. 工事費

本設計の橋体工について工事費の概算を検討したところ、標準設計と比較して約 60% 増となった。しかし従来 PC 桁橋では不可能な低い桁高のために他工法で施工されていた場合の工事費と比較すると、パイプ方式は十分に採用価値のある方式と考えられる。

なお、比較検討のために、ポストテンション方式プレキャスト桁橋の限界に近い桁高制限橋として支間 30 m、

桁高 1.10 m の試設計を行い、工事費の概算を行ったところ、標準設計と比較して 31% 増であった。この 2 つの値を比較すると、本設計による工事費は従来の PC 桁橋よりも桁高制限がきびしくなったことにより増加したものと評価することができる。

6. 実用化試験

パイプ方式は、設計で見ることになり理論上、設計手法上特に問題となることはない。しかし、施工面において、圧縮鋼材の材料特性、圧縮力導入時の安定、諸係数、パイプ方式桁の応力状態の確認等、いくつかの課題があった。これらについては、設計に先立って実用化試験を実施して課題を解決した。試験の詳細については参考資料 5) で報告しているので、ここでは概要を述べるにとどめる。

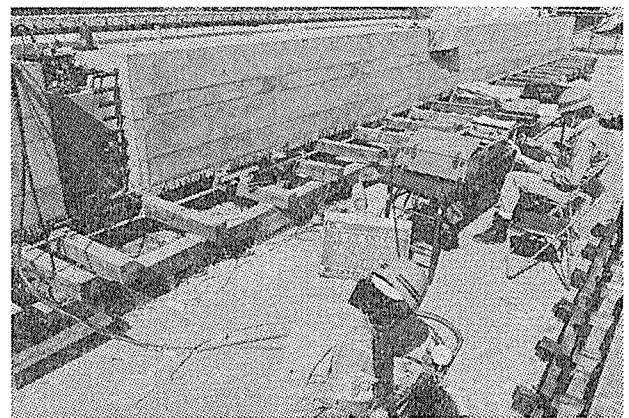
6.1 PC 鋼棒圧縮試験

PC 鋼棒の試験片 ($l=10$ cm) にアムスラー試験機で圧縮力を加え、応力-ひずみの関係を調査した。試験には JIS-G 3109 に規定する PC 鋼棒 (B 種 1 号, SBPR 95/110) $\phi 26$, $\phi 32$ の熱処理鋼棒を使用し、圧縮に対しても十分弾性域を確保しており実用上問題がないことと、圧縮時の弾性係数値が引張時と同様の値となることを確認した。

6.2 圧縮力導入試験

圧縮力導入に際しての、PC 鋼棒のバックリングに対する安定性、PC 鋼棒とシーす等間の摩擦係数、見かけの弾性係数を調査する目的で、絞りシーす、アンボンド鋼棒 2 種の計 3 種類について、それぞれ直線状、曲線状に配置した試験桁を製作して試験緊張の要領で測定した。

全ケースとも圧縮力-PC 鋼棒短縮量の関係は直線状を示し、バックリングに対する安定性の高さが確認できた。摩擦係数は、アンボンド鋼棒の値が小さかったが、アンボンド材の粘性抵抗力により鋼棒の変形 (短縮) 完



写真—1 圧縮力導入試験

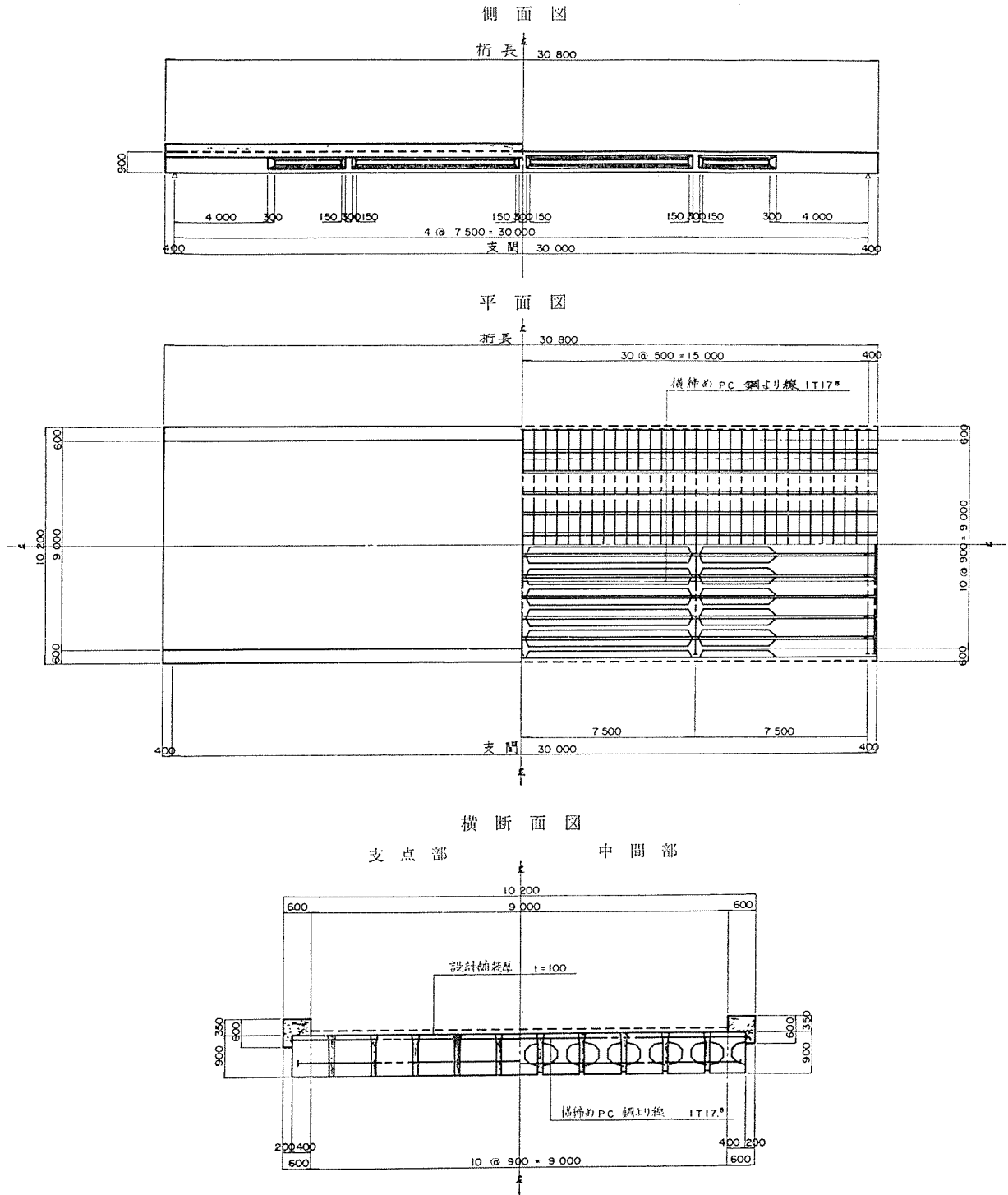
報 告

了まで 20 秒～30 秒の時間がかかるので、施工性を考慮して、当面は絞りシースを使用することにした（写真—1）。

6.3 曲げ試験

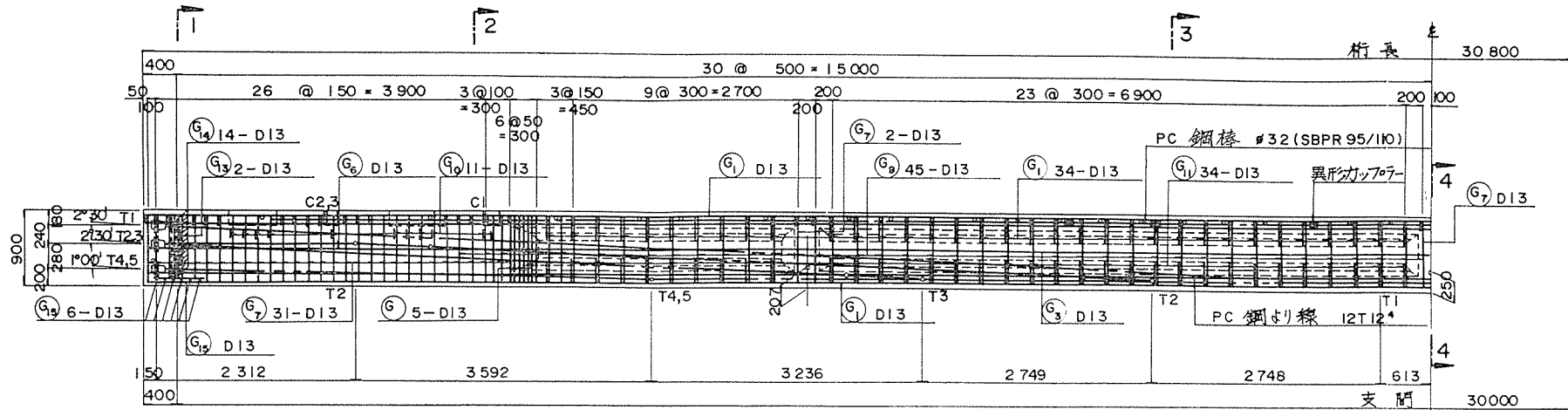
パイプ方式 PC 桁が計算上の応力状態にあることの確認と、PC 鋼棒の圧縮力導入作業、定着部の安定性を

調査する目的で、3 種類の試験体（ポストテンション方式 PC 桁、パイプ方式 PC 桁（絞りシース）、同（アンボンド））を製作し、静的曲げ試験を行って計算どおりのプレストレス導入と、耐力を確認し、同時に作業、定着部の安定性を確認した（写真—2）。



図—18 設 計 例（一般図）

側面図



平面図

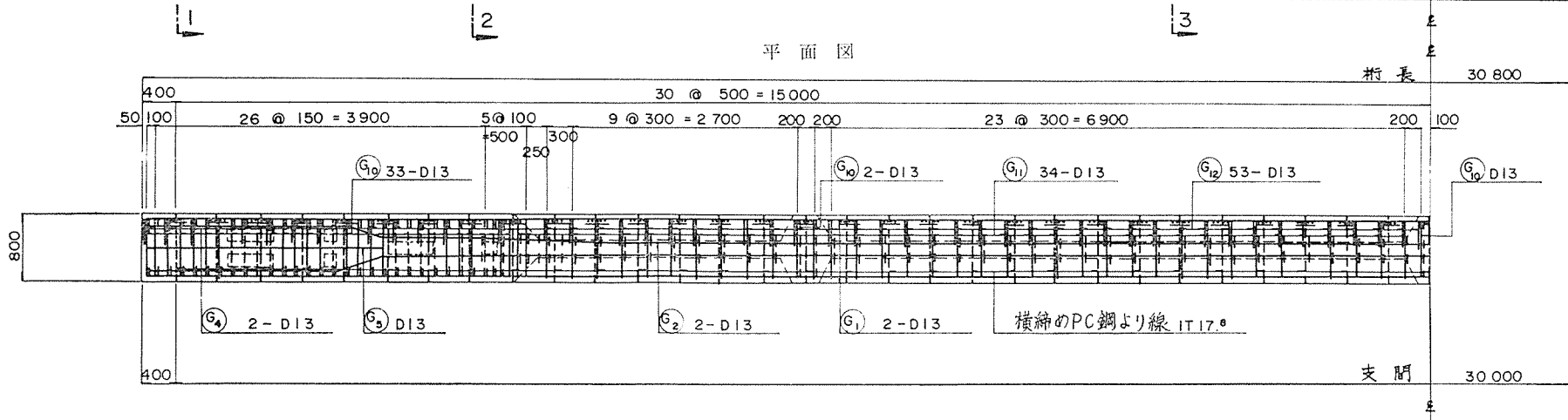
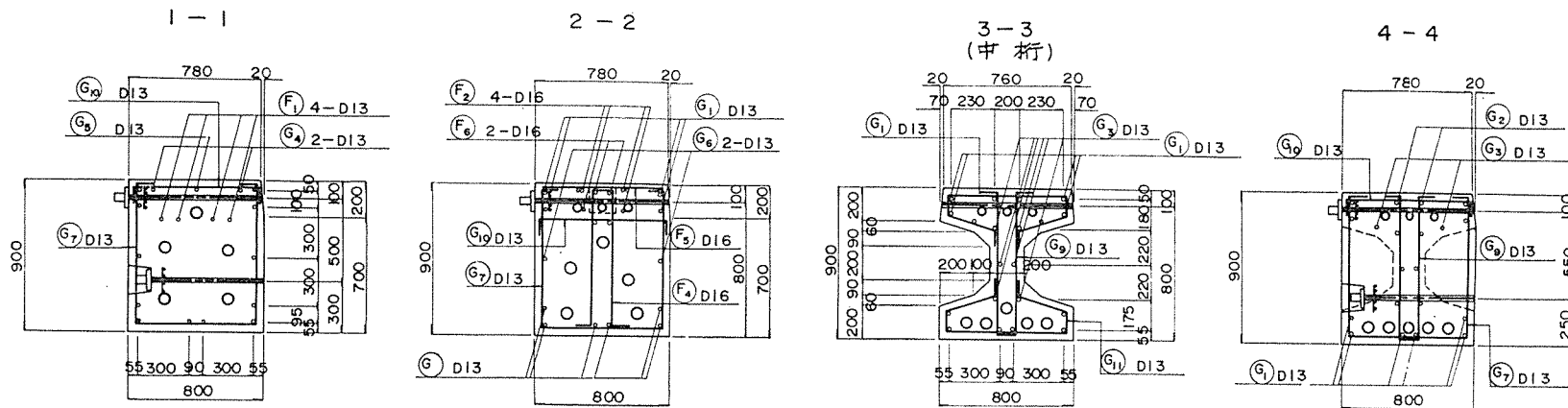
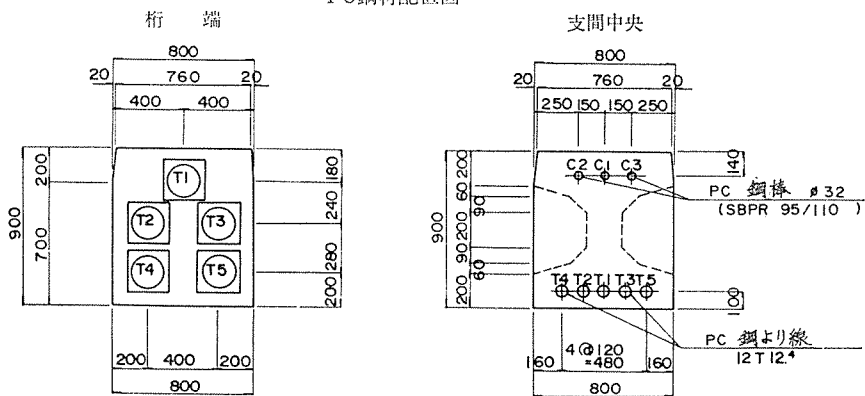


図-19 (a) 詳細図 (1)

断面図



PC鋼材配置図



PC鋼棒定着部詳細図

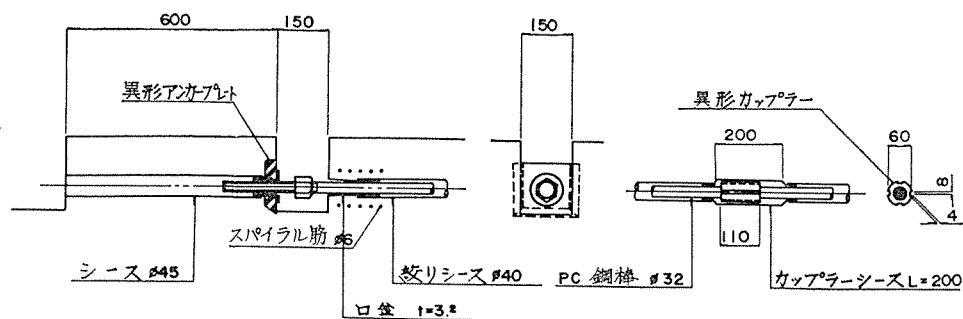
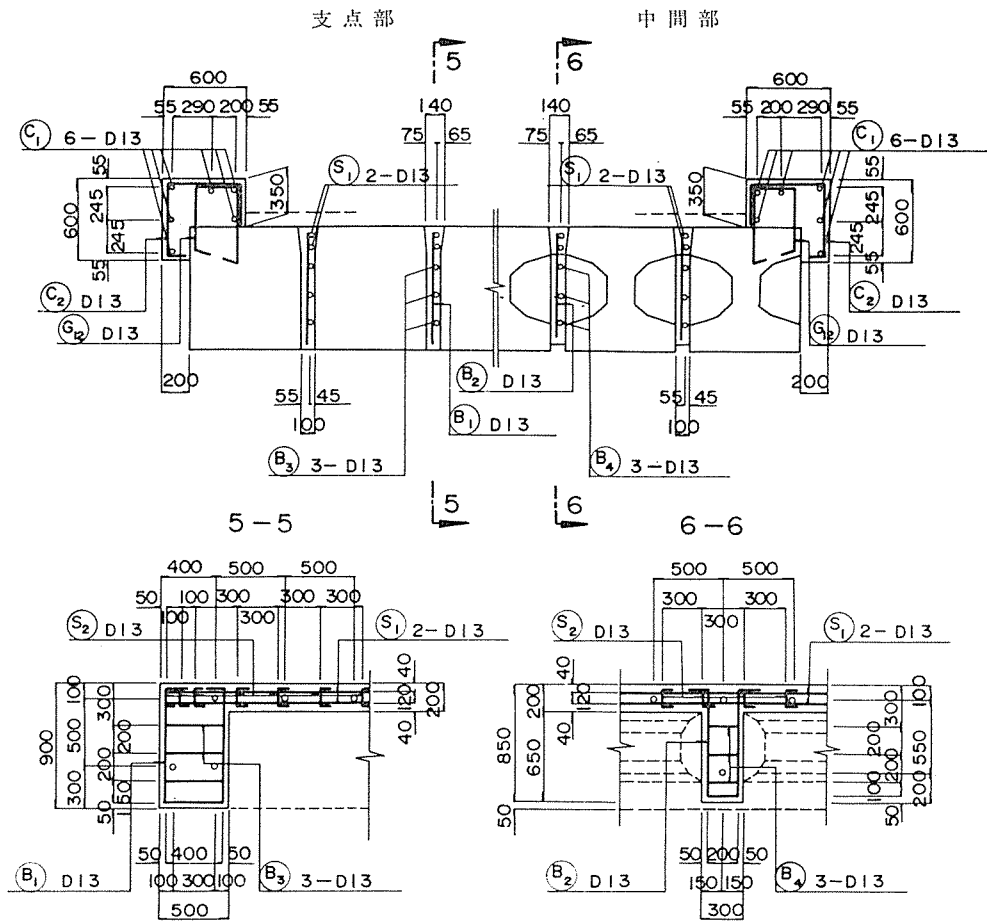


図-19 (b) 詳細図 (2)

横断面図



上縁定着部補強鉄筋配置図

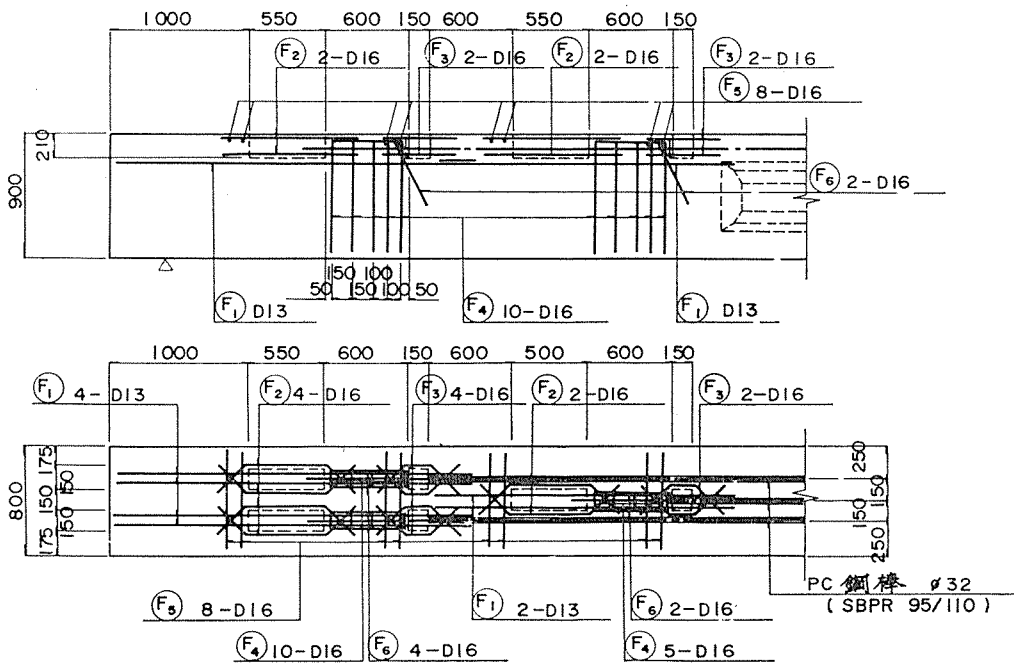


図-19(c) 詳細図(3)

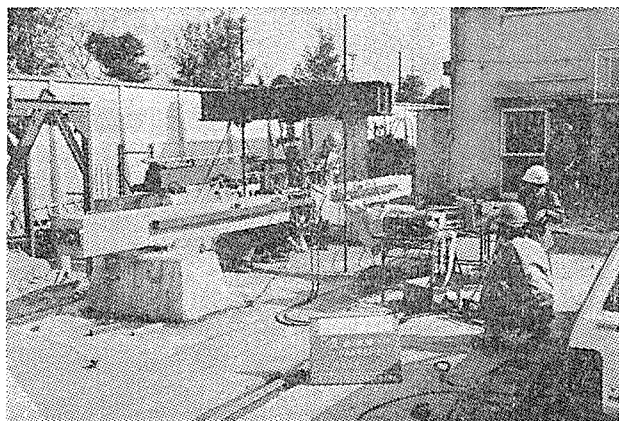


写真-2 曲げ試験

7. ま と め

バイプレ方式による PC 桁橋の実用化にむけて行った設計および試験の範囲で結果をまとめると以下のようである。

- ① 圧縮 PC 鋼材を使用することにより、桁高/支間比を 1/35 程度まで小さくすることができる。
- ② バイプレ方式による断面の最適形状は上下フランジの形状がほぼ等しい断面である。
- ③ 設計荷重時の PC 鋼材の圧縮力/引張力比は 0.17~0.25 の範囲が適当である。
- ④ 終局時の曲げ破壊安全度は、圧縮 PC 鋼材を考慮しなくとも規定を満たしているが、これを考慮することにより更に高いものとなる。
- ⑤ 活荷重によるたわみ度は 1/700 を超えることがない。
- ⑥ 橋面積 1 m² 当りの全橋体コンクリート量は、平均 0.86 m³ であり、標準設計に比べ、平均で約 82% 多い。
- ⑦ コンクリート 1 m³ 当りの全主桁 PC 鋼材量は平均 117.0 kg であり、標準設計に比べ、平均で約 247% 多い。
- ⑧ 工事費は、従来のポストテンション方式の限界に近い、低い桁高に比べ約 22% 増となり、標準設計に比べ約 60% 増となる。
- ⑨ 圧縮 PC 鋼棒は熱処理したものを使用すれば、圧縮域に対し十分弾性域を有しており実用上問題がない。
- ⑩ 圧縮 PC 鋼棒用シースは、絞りシースを使用すれば、実用的な範囲でプレストレスの導入が可能である。

⑪ 圧縮 PC 鋼棒によるプレストレスは、従来の引張 PC 鋼材によるプレストレスと同様に計算どおりに導入することができる。

⑫ 圧縮 PC 鋼材の圧縮作業は 図-16 の方法によって行えば、安全に行うことができ、プレストレスも確実に導入することができる。

8. あとがき

今回の設計は、バイプレ方式による PC 桁橋の、桁高を低くできる、という利点に着目し、一定の設計条件内で実用化のための設計を行ったものである。このために橋梁のみの経済性は多少犠牲にせざるを得ない結果となったが、これは現時点で可能な最小桁高としたことによるものであり、この桁高でなければというものではない。実施設計において、従来方式による桁高からバイプレ方式による桁高まで、従来よりも広い範囲で、許される工費内で桁高を自由に選択できるものである。

バイプレ方式による PC 桁橋の我が国における実施に際しては、圧縮 PC 鋼棒に関連する諸規定や、国内での実績がない等の問題はあつたものの、今回の設計・試験の結果からは、本質的な面で障害となる事項はないものと思われる。

また、バイプレ方式における圧縮 PC 鋼材は、単純形式の橋梁に使用されるだけでなく、連続形式の橋梁、アーチ橋、ラーメン橋、柱、コンクリート部材の補修等に使用することができ、従来のコンクリート構造物の限界を広げるための有効な方法であると思われる。

今回の設計・試験の成果がバイプレ方式 PC 桁橋の実現、発展に多少なりとも寄与することができれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Hans Reiffenstuhl : Druckspannbewehrung, ein neues Konstruktionselement zur entscheidenden Steigerung der Tragfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten (FIP 7-th Congress, New York)
- 2) O. Univ.-Professor Dr. techn. Hans Reiffenstuhl, Wien : Das Vorspannen von Bewehrungen auf Druck ; Grundsätzliches und Anwendungsmöglichkeiten, BETON UND STAHLBETONBAU 1982, No. 3 (69~73)
- 3) 特許公報「予応力として引張力を導入するプレストレスドコンクリートの製法」特願 昭 26-16268
- 4) 特許公報「圧縮縁に引張力を与えた構造物」特願 昭33-3519
- 5) 田島, 近藤, 横田 : 「バイプレストレス方式 PC 桁の実用化試験と試設計」橋梁と基礎, 1984, Vol. 18, No. 2 (16~21)

【昭和 59 年 2 月 22 日受付】