

プレハブ方式のレオンハルト工法によるPC橋

黒 崎 護*

1. あらまし

レオンハルト工法が 1948 年に発明されて以来、すでに 17 年間も経た。最近では、大規模な橋梁群にレオンハルト工法が採用されるにいたった。

日本における代表的橋梁としては、国鉄吉井川橋、札幌南大橋、新幹線矢作川橋梁などがあげられる。

橋梁の大形化、労力費の削減、型わく支保工の経済性、構造物の品質管理の点から、架設工法も現場打ち方式からプレハブ方式へと進歩してきた。

プレハブ方式のレオンハルト工法によるPC橋梁として、海外ではアガー橋、トラウン橋、カロニ橋、国内では神奈川県柿生小田急立体交差橋がある。

場所打ち方式も、ますます普及発展するものと考えられるが、これについては、すでに種々発表されているので省略し、プレハブ方式のレオンハルト工法の概略、構造、施工についてオーストラリアに架設されたアガー橋を中心にして、さらに内外の実施橋梁および計画中の橋梁を参照して述べる。

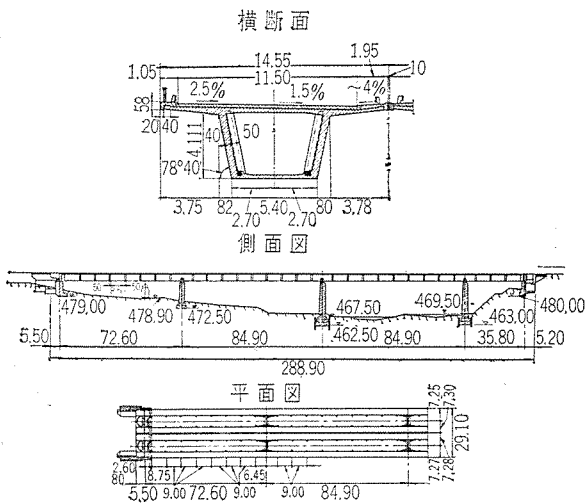
2. 特 徴

(1) 概 要

アガー橋は支間長 72.60+84.90+84.90+35.00 m の 4 径間連続桁で、全橋幅 29.10 m、桁高 4.5 m、二室箱型断面である (図-1)。施工は一室ずつわけてしている。

この連続桁はレオンハルト工法で実施し、集中ケーブル

図-1



*大成建設KK土木設計部

は箱型断面、腹部の内側に沿わせて布設した。すなわちアウトサイド ケーブル方式である。

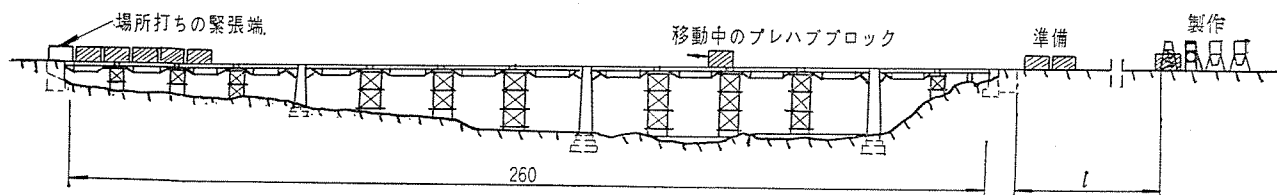
この橋梁の架設法として、最初支保工でコンクリート打ちする場所打ち工法が考えられたが、この工法では橋の全長にわたって支保工と型わくを組む必要がある。それで型わくと支保工を経済的にするため、橋体を主桁方向にいくつかわけてコンクリートを打ち橋体を横に移動する方法が考えられた。しかしこの方法でもやはり収縮ひびわれを防止するため、あらかじめ目地を緊張前に小さくなるようにすることが必要であった。しかもこの方法では、一時的に非常に多くの大工とコンクリート打ち熟練者が必要であり、したがってこの架設方法は高い賃金と熟練労務者の不足の場合は非常に不経済となる。このような状況において大きなプレキャスト部材を使用する新しい架設法、すなわちプレハブ工法へと発展してきた。

(2) 構 造

プレハブ ブロックは、長さ 8.5 m 全断面のものが堤防内の一つの場所で作る。これを下床版幅のせまい簡単な支保工上のすべり面をずらして橋梁が架設される場所におく (図-2)。そして、このブロックは相互間隔 50 cm を保っておかれる。集中式PCケーブルは腹部に沿ってすえつけられ、この開かれた目地部に屈曲部支承をおく。この目地にコンクリート打ちすることで、この位置が横方向ラーメンとなり、橋梁構造において生ずる大きなPCケーブルの屈曲幅を支持する。目地が全部閉じられたのち、すぐさま橋梁端部の緊張ブロックから緊張する。このプレハブ ブロックは、箱型断面からさらに 3.75 m の片持ばりがあり約 180 t の重量がある。径間標準断面の腹部は約 40 cm で支承上では 100 cm である。支承上部分のプレハブブロックも同じ重量にするため 5.65 m の長さに短かくしてある。横断面で腹部と下床版はPC構造で、橋梁全長にわたって同じ間隔で鉄筋を配置する。そのためプレハブブロックの鉄筋は決った手順で配筋でき、上床版はレオバ S 33 を 90 cm 間隔で横締めしている。

大きな断面のPCケーブルは直接腹部に沿わせておかれるのでプレハブブロック内にPCケーブルとを埋込みコンクリートの被覆は必要ない。これは、主桁方向プレストレス荷重が大きい場合大きな利点となる。ただし、プレハブブロックの腹部内には、プレストレス緊張後、

図-2 プレハブブロックの支保工式架設法



腹部とPCケーブルを結合する鉄筋を内型わくに折り曲げて入れておく。主桁プレストレスに対して9mmワイヤーストランドを各ケーブル20層29列、計580本を配置する。

プレストレス荷重は、ほとんどフルプレストレスである。しかし、乾燥収縮とクリープ終了後、支承上においては約3kg/cm²、最大支間中央に8kg/cm²が生ずる。だが、パーシャルプレストレスの許容応力内に入っている。橋体全張にわたって縦筋を15~30cmの間隔で幅10~14mmで補強してある。この縦筋は横目地上で重ね合せ継手をしている。PCケーブルは1つのプレハブブロック内では直線に配置され、継目部の横方向ラーメンとなる範囲で折り曲げられて、レオンハルト工法特有のPCケーブル形状となる。折り曲げ点の横方向ラーメンは腹部側面より50cm突出しておりPCケーブルの屈曲部支承を包み、この位置のスターラップは特に狭く補強されている。屈曲部支承には4mm厚鋼板とパライオンを塗ったすべり板をおく。

プレハブ方式のレオンハルト工法では、長い桁に生ずる乾燥収縮と温度変化によるひびわれを、かなりの安定性をもって防ぐことができる。収縮減少の大部分はプレハブブロックを暖い季節に作り、放置している限り、目地にコンクリートを打つ前に生じてしまう。プレハブブロックは、緊張開始時にはほとんどすでに1ヵ月以上の材令となっている。そのため収縮とクリープによるコンクリートの減少は計算上、 $\epsilon_{sk}=8 \times 10^{-5}$ 、 $\phi_k=1.6$ の小さい値でよい。

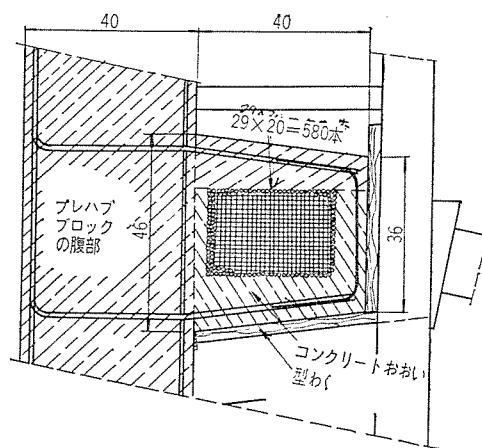
PCケーブルと腹部間の結合応力は設計荷重時でせいぜい2kg/cm²であり、破壊状態においても低い。したがってこのため鉄筋はφ12mmを20~30mの間隔において十分である。

4m前後の高い腹部は、施工時PCケーブルと無関係であるから、簡単、正確にコンクリート打ちができる。

PCケーブルが腹部にないため、腹部の斜め主引張荷重と主圧縮荷重の応力の流れは、乱されることがないので、腹部は局部的に弱体化することはない。また、緊張時、この腹部の摩擦は非常に小さく、実際、摩擦損失はないと見てよい。緊張後、PCケーブルとは簡単完全にコンクリートでおおうことができる。この場合、PCケーブルと主桁の結合はモルタルの付着強度でとるのは

なく、腹部補強鉄筋でとる(図-3)。

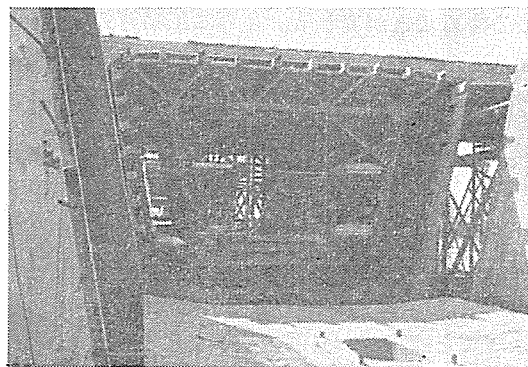
図-3 腹部にとりつけられたPCケーブル



(3) 施工

プレハブブロック全部が1個の鋼製固定型わくによって作られる(写真-1)。の型わくは、内、外、わくと

写真-1 鋼製内型わく

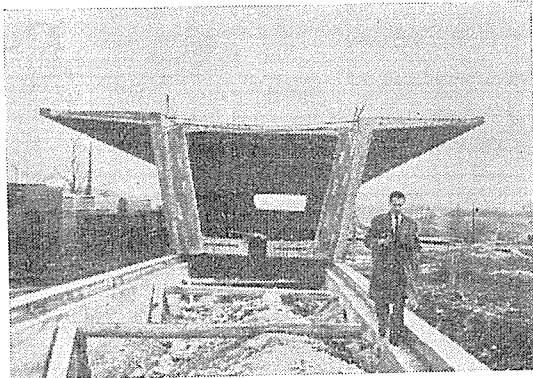


もスピンドルによって動く。コンクリートプラントはこの型わくのすぐそばに建てられた。この運搬は、タワークレーンなどが良い。腹部と床版の鉄筋は鉄筋間隔の決められた型板であまれ、その全体をタワークレーンで型わく内に入れる。

プレハブブロックの作業工程はつぎの順序で行なわれる。

- 1) 下床版のコンクリート打設、この部分の鉄筋は他の場所で組立てられ、タワークレーンで運ばれる。
- 2) 箱型断面の型わくに硬化した下床版のそう入。
- 3) 両外側78°傾むいた腹部内に、組立て準備されている鉄筋を配置。
- 4) 内型わくの調整、正しい位置に据付ける。

写真-2 プレハブ ブロック



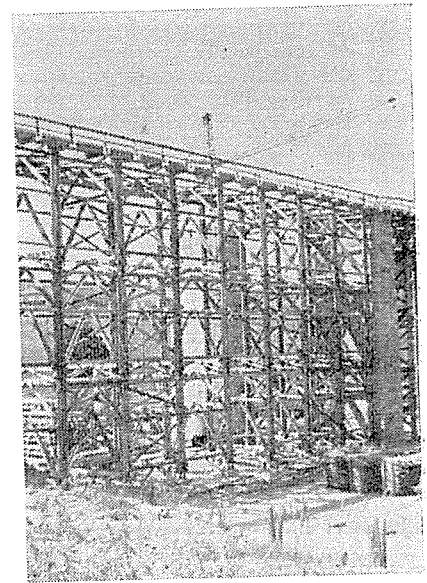
- 5) 腹部のコンクリート打ち
- 6) 組立て準備されていた上床版の鉄筋とレオバS33の配置
- 7) 上床版のコンクリート打ち。
- 8) 外型わくの取外しと型わくからすべり台へプレハブ部材の移動
- 9) 上床版のPC鋼材のプレストレスとグラウト（写真-2）。

プレハブ ブロックの製作日数は普通四、五日必要である。非常に急げば、1週間2個製作できる。腹部の厚い支承上のは同じ外型わくを使用するが、内型わくは別を使用するのでわずかながら多くの日数がかかる。

この作業には 11~12 人の労務者で十分である。常にくり返される同じ作業工程によっていちじるしい労務費の節減をすることができる。さらに工場方式の製作と生コンクリートの短い運搬距離が均一なコンクリート強度が得られる。すべり軌道は、松材の厚板を使用する。上面のすべり面は機械的にカンナをかけ、その上に特殊すべり材を 1~2mm の厚さで塗る。プレハブ ブロックの下面にもカンナをかけた柔い木材をつける。横方向移動を防ぐため腹部みぞをつける。これは両側二つの軌道の摩擦の非対称と他の異常の面から必要である。経験からわかったことは、すべり面の軌道がたとえ少しずれても移動することである。そのさいの面支圧力は約 3.5 kg/m² である。それですべり材は 0.5 mm 程度の薄い層でも良い。プレハブ ブロックの移動にはウインチを使用する。180 t のプレハブ ブロックの移動荷重は 20~30 t で摩擦係数は 0.13~0.18 である。このブロックが連続的に動き、その速度は 1 m/sec である。

プレハブ ブロックの橋脚の 施工と同時にコンクリート打ちされ、橋台の外側のすべり軌道上に用意されている。それで工程表において橋脚、橋台、支保工がプレハブ ブロックと同時にできあがるので、支保工と全体の構造物の架設に要する時間は少なくてすむ。しかも支保工は上部構造物の全重量に対して計算されているが、場所打ち方式にくらべて狭い部分で良い。というのは上床版

写真-3 架設された支保工



の片持部の支持が必要ないからである。両側のすべり軌条に沿って2つの狭い走行台がおかれる(写真-3)。

支保工は木支柱で、その上に桁支柱をおき、その上にすべり軌道用の木材の厚板をおく。支保工の高さの修正は横目地にコンクリートを打つ前にすれば良い。

プレハブ ブロックを整然とならべられ、継目にコンクリートを打つ前に、ワイヤー ストランドが従来の方法で布設する。ここでは箱型断面内にジープを走らせて鋼線を布設している。この布設後、横目地の位置に支圧板とすべり板をおき、正確なる傾斜ですえつける。横目地を外面に、横ラーメン内面にして鉄筋を組みコンクリート打設をする。この作業は太陽光線による橋軸方向変位の最も悪い影響を最小とするため、すべての目地を閉じるのに、ごくわずかの日数でできるように、十分前もって用意する必要がある。最終の目地を閉じた後、わずかの時間でプレストレス荷重を導入する。それには 350 t 能力ジャッキを最大 20 台すえつける。緊張は、最初、橋の両側から同時に緊張する。その後、一端ごと交互に緊張する。摩擦係数は測定結果、0.10 より低い値である。PCケーブルの移動はわずかの屈曲部点のすべり材によってまったく一樣になめらかにできる。

PCケーブルのおおいは 7~15 mm 粒径の砂利をPCケーブルと型わくと腹部の間に満たし、固いセメントモルタルを上側から流しこみ、簡単な型わくバイブレータで振動させる。このようにしてPCケーブルの上面までコンクリートでおおうので決してPCケーブルの腐食の心配は生じない。

かくして、プレハブ方式のレオンハルト工法が確証したということが出来る。

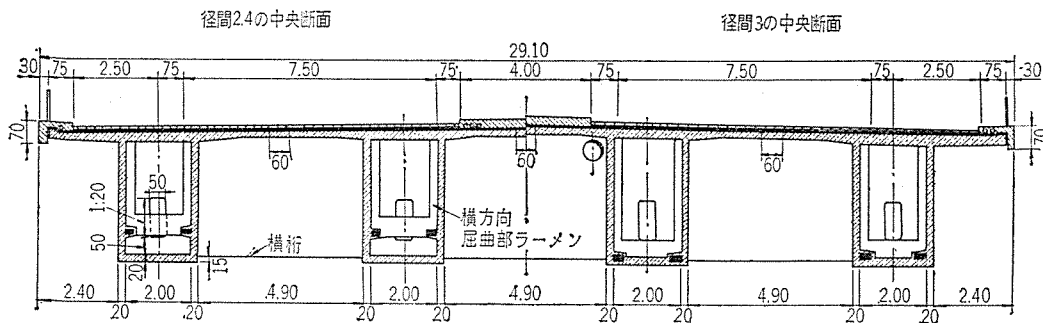
3. 各種架設法

(1) 概 要

プレハブ方式のレオンハルト工法の各種架設法を実施橋と計画橋にもとずいて述べる。

架設法としては、

図-4



① 支保工式：トラウン橋，アガー橋，柿生立体交差橋

② 押し出し式：カロニ橋

③ つり出し式

(2) 支保工式

この方式は前述したアガー橋で代表される。日本においては柿生立体交差橋が最近実施されたが、この詳細に関しては別紙で述べる。

a) トラウン橋 この橋梁が初めてアウトサイドケーブル工法を採用し、その後のプレハブ工法の母体となった。すなわち、この橋梁に用いられた工法は純粹にはプレハブ方式とはいえず、場所打ち方式との中間の工法といえる。

橋梁形式は5径間連続桁(56.25+75.00+93.25+75.00+56.25m)で、全長は356.25mである。断面は4主桁構成で1主桁が1室箱型断面である(図-4)。この1主桁、約5000t重量を横方向に移動して架設する。

この架設法を 図-5 にもとずいて説明すると、

1) 支保工上で上側が開かれた断面(U字型)にコンクリートを打つ。この断面は24ヵ所で50cmの開きで切断されている。

2) PCケーブルを布設。

3) 目地部(50cmの開き)と上床版にコンクリート打ち。

4) PCケーブルの緊張とそのまわりのコンクリート打ちをして、この断面を最終位置まで横移動する。

5) 一番目の主桁と同様にして二番目の主桁を作り横移動させる。

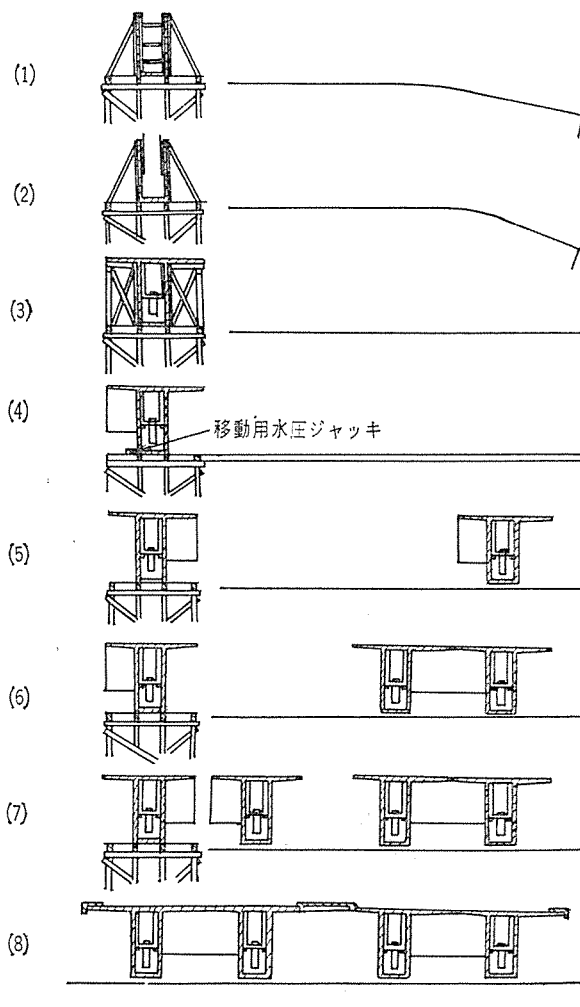
6) 三番目の主桁も同様に作り横移動させる。

7) 最初の主桁を作る。

8) 4主桁構成の横桁とする。

この架設法の特徴は、主桁を縦方向に切断し、このブロックの大きさの型わくをくり返して利用する転用方式でコンクリート打ちすること、また、この構造形式ではPCケーブルを腹部内にいれなく、腹部に直接すえつけることが可能であること、腹部にシースがないのでコンクリート打ちが一段と容易なることにある。

図-5 トラウン橋の架設方法



主桁の継目は、ケーブル布設後、上床版のコンクリートが打込まれるまで開けられている。したがって温度と収縮による縦変位はほとんど有害の影響を与えないので、長い橋梁でも収縮ひびわれの危険が表われない。

PCケーブルは緊張中、何もおおわれていないので緊張伸びと摩擦が良く観察され、その結果、摩擦係数は約 $\mu=0.10$ である。

緊張後、PCケーブルのまわりをコンクリートで包装するが、これには砂利をつめてセメントを流しこみ、バイブレーターをかける。

b) 計画橋 A この橋梁は単純桁と連続桁について計画された。図-6 は支間長 50 m, 2 室箱型断面の単純桁である。プレハブブロックの長さは 3 300 m, 目地間隔は 0.300 m である。緊張は片端緊張法としてある。図-7 は同じく 2 室箱型断面, 支間長 50 m の 3 径間連続桁である。プレハブブロックの長さは 3.800 m である。

c) 計画橋 B 支間長 71.500 m, 2 室箱型断面, 2 径間連続桁である (図-8)。プレハブブロックの長さは 6.00 m, 目地は 0.500 m である。この架設法の特徴は一連目橋梁の架設終了後, その上をプレハブブロックをすべらし, その橋端から高さの違う支保工に落すのに特殊の装置を使うのにある (図-9)。これによって, 逐次,

2 連目, 3 連目と架設してゆく。

d) 計画橋 C 4 径間連続桁で支間長 47.00+61.00+61.00+47.00 m の 4 径間連続桁, 有効幅員 7.500 m の 2 室箱型断面である (図-10)。この架設法の特徴はプレハブ方式のレオンハルト工法で 2 径間連続桁として初めの一連目を架設し, つぎに中央橋脚上で PC ケーブルをオーバーラップ ジョイント (図-11) して, つぎの 2 径間を施工して最終的に 4 径間連続桁する。

e) 計画橋 D KS-18 の鉄道橋で支間長 72.00 m 複線下路単純桁である。断面はそれぞれ左右 1 個の 1 室箱型断面の主桁からなっている (図-12)。架設法としては, それぞれ 1 室箱型断面の主桁の長さ, 3.50 m のプレハブブロックを作成して支保工に引き出し, 配置し

図-6 計画橋 A, 単純桁

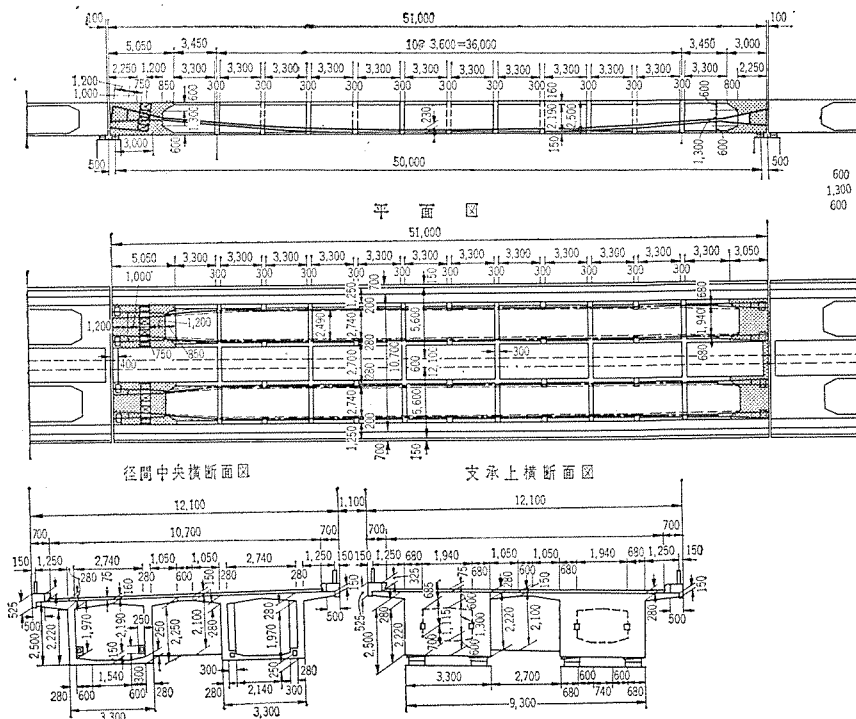


図-7 計画橋 A, 3 径間連続桁

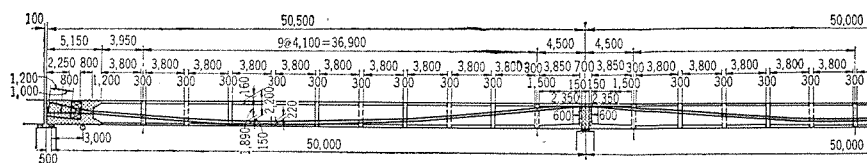


図-8 計画橋 B

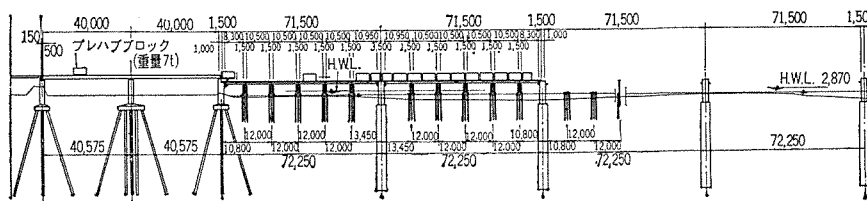


図-9 プレハブブロック沈下装置

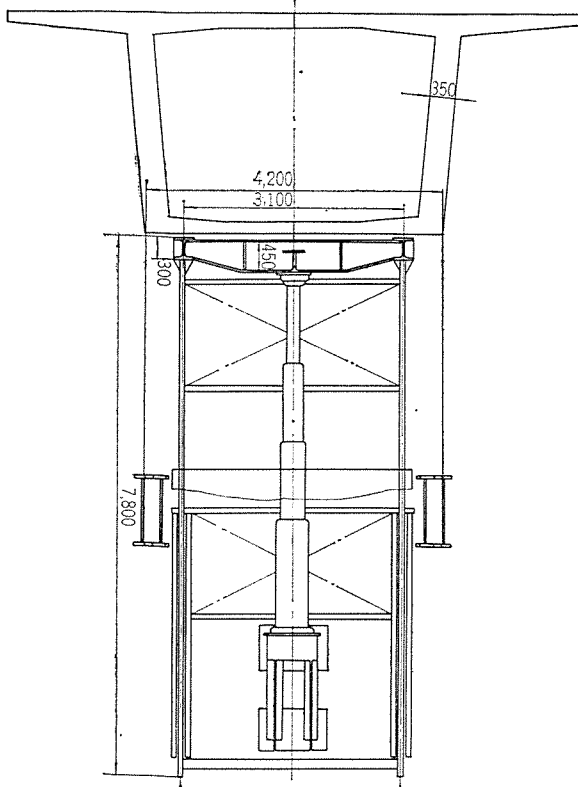


図-10

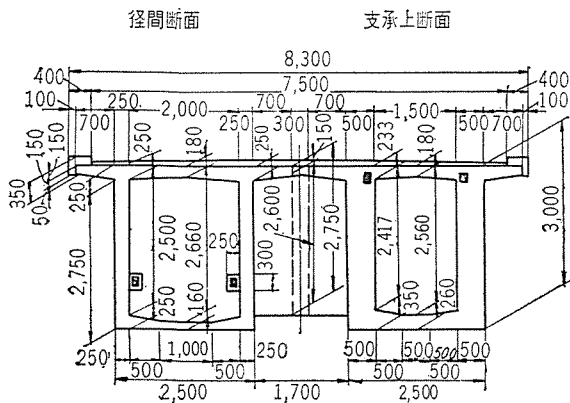
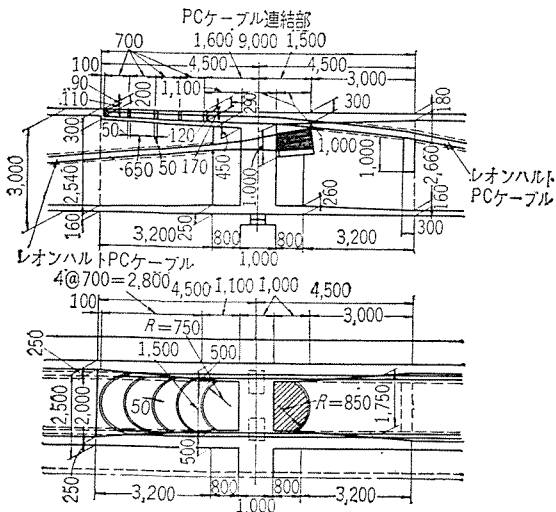


図-11



てケーブルを布設する。その後、プレハブブロック間の目地と箱型断面間の軌道支持用の横桁にコンクリートを打設する。コンクリート硬化後、軌道支持用横桁にプレストレスを導入し、その後、主桁方向の緊張をする。

(3) 押し出し式

a) カロニ橋 本橋は、支間長 $2 @ 48.00 + 4 @ 96.00$ m, 全長 480 m の 1 室箱型断面の道路橋である(図-13, 写真-4)。架設地点は雨期に高水位となり,流水のため支

図-13 カロニ橋の断面図

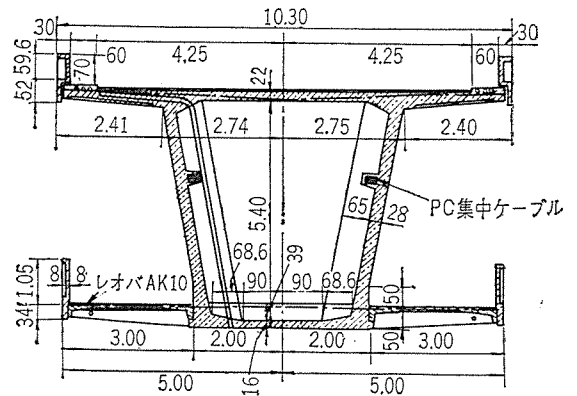
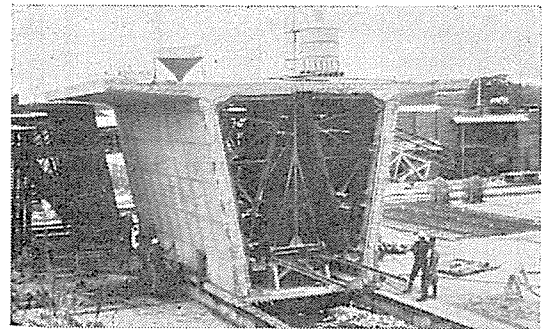


写真-4 プレハブブロック



保工は架設することはできないので、アガー橋と同様な方法でプレハブブロックを作り、これを堤防内で全長 480 m にわたってならべ、PCケーブルを布設し緊張した。そのときのPCケーブルとの位置は箱型断面の重心点の高さに直線状にした。この全長 480 m 重量 8 800 t の重い上部構造は固定された水圧ジャッキと2つの特殊すべり支承で橋脚上へ移動させた(図-14)。上部構造の先端には鋼製トラスの突出しガイドをつけた(写真-5)。永久橋脚の間に補助橋脚をおき、その上にすべり支承をおいた。この支承は高い圧縮力とゆるやかな動きで約1%のわずかの摩擦係数しか示さなかった。この移動方法で全構造物が二、三週間で所定の位置にきた。その後、PCケーブルとは水圧ジャッキで直線状からレオンハルトケーブル特有の多角形状の位置に配置される。このようにして腹部に沿って配置されたケーブルに最終的なコンクリートが打込まれる。

PCケーブルを多角形状にするのに上下方向に動かすため、ある場合にはPCケーブルが許容荷重以上にな

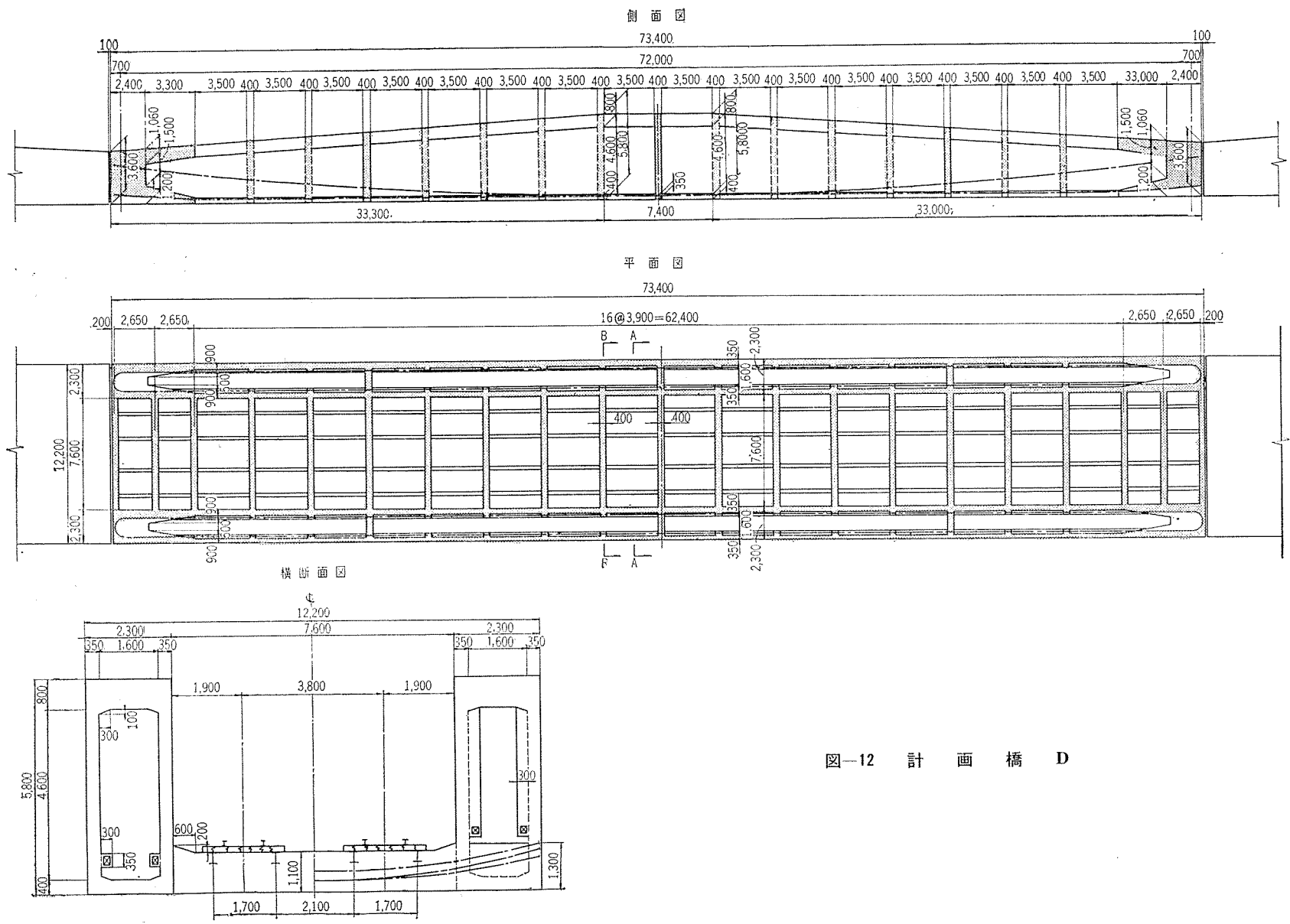


図-12 計 画 橋 D

図-14 カロニ橋の架設法(押し式)

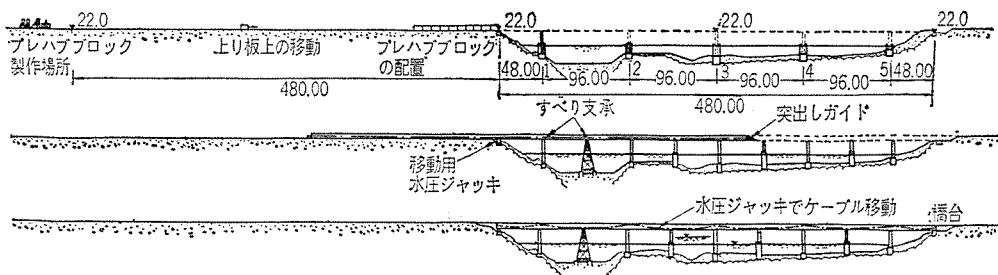
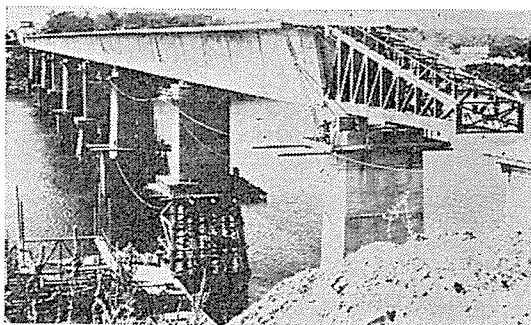


写真-5 鋼製ガイドをつけて架設中



る。そのときは、許容荷重以上の応力をさけるため、端部緊張端でケーブルをゆるめる。

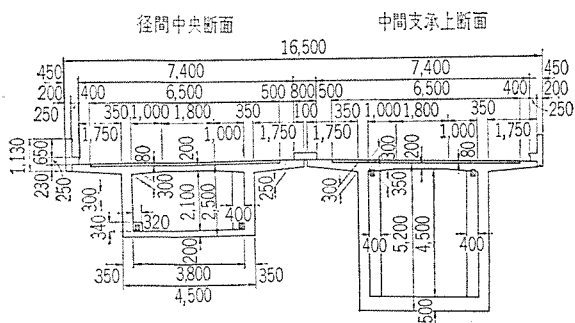
最後に架設移動用すべり支承と補助橋脚を取外して36mの支間長とする。PCケーブルと腹部間の結合方法はアガー橋と同じである。

(4) つり出し式

a) 計画橋 E 本橋は、ラーメン橋を有する2径間連続桁である。支間長は70.50+97.00m、それに張出し桁28.00mと支間長48.00mのつり桁から構成されている。断面は一方向1室箱型断面である(図-15)。プレハブブロックは、変断面部分3.30m、等断面部分5200mの長さで製作する。

つり出し架設法の詳細を図-16にもとずいて述べる。

図-15 計画橋



1) 中間支承上①の部分に場所打ちコンクリートを打つ。2) ①の部分にプレハブブロックつり上げ用トラスをおく。3) プレハブブロックを左右対称に各4個つり上げる。(②の部分) PC鋼棒をプレハブブロック断面内(永久的使用)と箱型断面内部の上床版から下側から突き出した仮設用コンクリート断面に配置する。

4) ①部分の継目にコンクリートを打設し、その硬化後PC鋼棒を緊張する。

5) つり上げ用トラスを左右に移動して、②部分のプレハブブロック各3箇所をつり上げる。

6) ②部分と同様にPC鋼棒をとおして継目にコンクリートを打設し、PC鋼棒を緊張する。

7) つり上げ用トラスを左右から突き出した主桁にのせ、支間中央部のプレハブブロック③の部分をつり上げる。

8) 箱型断面内とレオンハルトケーブルとを布設する。その後、④の部分の継目と全長の継目に作られる横断面ラーメン部分(PCケーブルの屈曲点で支圧力が作用する部分)にコンクリートを打設する。

9) 最終打設コンクリート硬化後、橋端からレオンハルトケーブルを緊張する。と同時に中間支承上にある仮設用PC鋼棒をとりのぞく。

このようにしてつり出し工法の架設が実施される。

(5) アウトサイドケーブル工法による橋の拡幅法

a) 計画橋 F 当初、総幅員14.30mの橋梁を23.30mに拡幅するために、アウトサイドケーブルを利用する。

この方法は、1) 図-17(a)のように総幅員14.30mの2室箱型断面としておく。2) 図-17(b)のように断面の外側両側面に張出しばりをつける。箱型断面の内側両側面にアウトサイド方式でケーブルを布設し、下床版をつけ緊張する。このようにして幅員は拡大される。

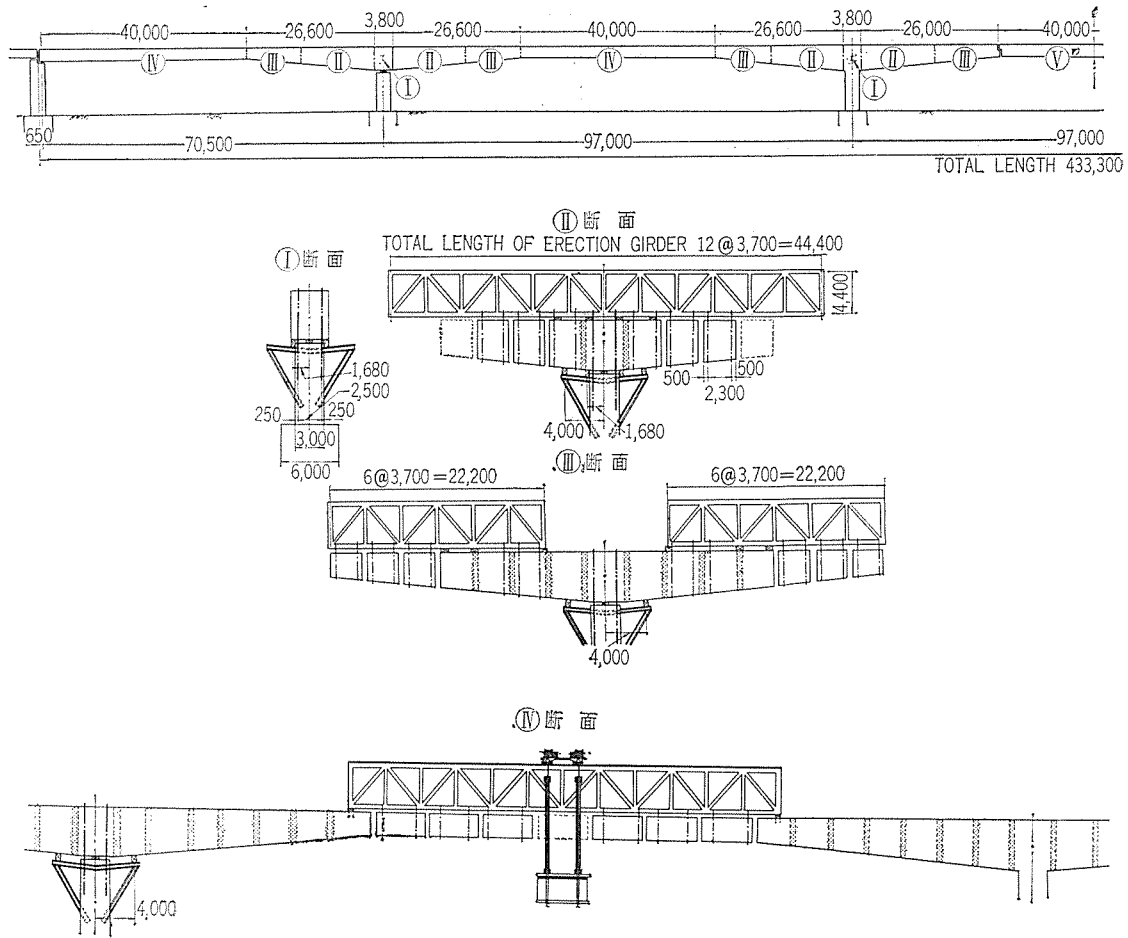
(6) 新工法の利点

プレハブ方式のレオンハルト工法の特徴、架設法を述べてきたが、ここで利点を挙げる。1) 等しい大きさのプレハブブロックは固定型わくともそのすぐそばにおかれたコンクリートプラントを回転してできる工場製作様式、すなわち構造物は多くの要素(型わく鉄筋シースPCケーブル)の断面を組立てる必要はない。

2) 主桁腹部のコンクリート打ちはPCケーブルとシースによって妨げられない。3) プレハブブロックの製作に雨や太陽の影響を受けない。それは製作場所を簡単におおいをすることができるからである。

4) 大きな型わくが機械的な装置で、すばやく、組

図-16 計画橋 E の架設法 (つり出し式)



立、分解ができ何回も転用できること。

5) カロニ橋に実施した押出し式、計画橋 E のつり出し式では全構造物が洪水の危険がなくして架設できる。

6) 橋脚、橋台、補助支柱の基礎の施工は乾期の低水位のときに利用する。上部構造の製作はこの作業と無関係にできる。

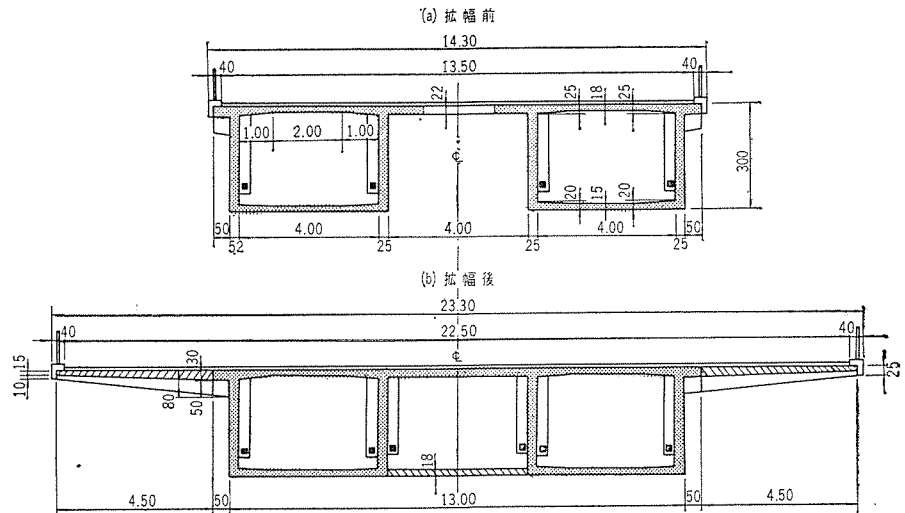
7) 流水中の支保工を避けることができる。わずかの補助支柱が安全に作られるのでほとんど洪水の危険はない。

8) 橋梁の完成状態において PC ケーブルの腐食を防ぎ、腹部と PC ケーブルとの結合を簡単にできる。

9) 場所打ち工法で一体として作られた橋梁と同じ構造状態をもつ。というのは横目地はプレストレスによって圧縮力を保っているからである。

10) 材料は大橋梁にかかわらず少なくできる。これは腹部を薄くできるからである。

図-17 計画橋 F



6. あとがき

本原稿の執筆に当たり、レオンハルト博士、横道教授、および当社、土木設計部の湯田坂氏に種々ご指導いただき感謝します。レオンハルト PC ケーブルの特性とプレハブ方式のもつ種々の有利性とが調合された本工法は、大規模化する PC 橋梁により多く適用される傾向になると考える次第です。

1965.2.26・受付