



(講演中の Leonhardt 氏)

## 欧米における P C 長大橋について

F. Leonhardt

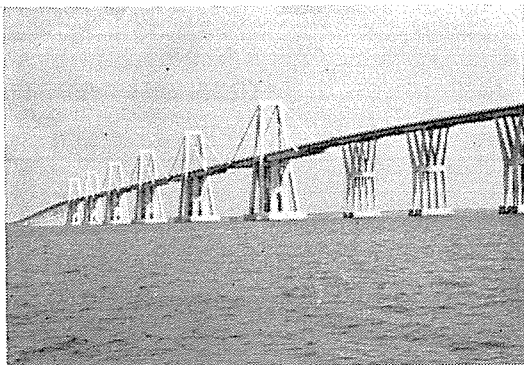
### 1. はじめに

私は、1949年ハイムロンに最大スパン97.5mの最初の連続プレストレスト コンクリート橋を架けました。1950年から現在までに、スパン73m以上のP C橋が約300以上ヨーロッパにあり、このため多くのP C工法が開発されました。ベネズエラのマラカイボ湖の横断橋は、現在のP C橋で最大のスパン238mを有しており、ヨーロッパ人技師によって架けられました(写真-1, 2)。

写真-1 マラカイボ橋



写真-2 マラカイボ橋

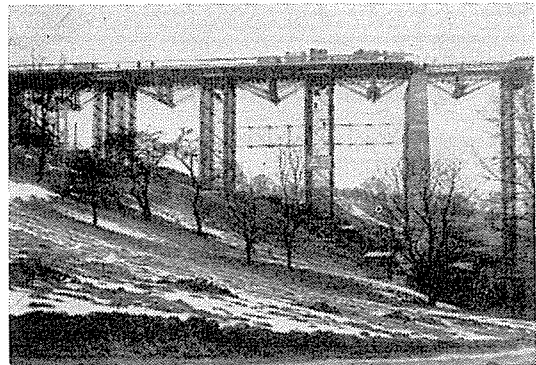


P C長大橋は多くの有利な長所を持っています。すなわち、経済性、耐久性、低い維持費、高い疲労強度、極端にスレンダーネスになる可能性などが実証されています。P C長大橋には各種のポストテンショニング方式緊張法が使用されています。例えば緊張力からいうと、P C鋼棒は30tから50t、P Cケーブルは50tから180t、主に7本よりP Cストランドから構成されている集中式ケーブルは、1ケーブル当り1000~3000tなどに分類されます。

### 2. 最新の場所打ち工法

P C橋の始まりから各種の架設法があります。ハイムロン橋は支保工上で場所打ちしました。フレッシュナーはマルヌ橋をプレハブブロックの孔にP Cケーブルを通し緊張しました。フィンズルツルダの橋は突出し式鋼製支保工上で場所打ちしました。この3種類の工法はいまなお使用されており、皆様方の中には、なぜこの最も古い場所打ち工法がいまなおヨーロッパで特にドイツで普及していることに不思議に思われるでしょう。以前、支保工上で型わくを作るため非常に多くの熟練労働者と木材が必要でありましたが、現在この工法の多くは簡単、標準化されて発展されましたので、型わく組立のほとんどが不熟練労働者でしかも以前必要としていた半分以下の労働時間でよくなりました。この第一の原因は、支保工に特殊装置をつけたためです。この支保工には軽量鋼

写真-3



製支柱、三脚支柱タワー、ラチス式水平支保工で構成され長さを変えられるテレスコープ式などがあります。普通、各種支柱式タワーは簡単なラチス状に組合わさっており、また、支保工桁は木材キャンパーに代ってそりをつけることができます(写真-3)。非常に大規模な橋梁に、このような支保工と型わくを使用する結果、プレハブ化のごとく他工法との激しい競争においても経済的であることが実証されました。

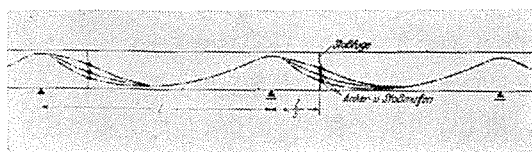
### 3. 連続橋の長所

場所打ち工法は伸縮目地が少なく、PC鋼材を節約する長い連続橋の架設にも役立ちます。細長いPC連続橋のピアの不等沈下はあまり影響がありません。この沈下による曲げモーメントはコンクリートのクリープの大きな広がりによって減少します。ごく最近、ドイツ炭鉱地帯に12スパンの連続桁を架設しましたが、ここの地盤は今後25年間に約4.6mの沈下があると予想しています。そのためピアには、垂直方向は水圧で調整する装置、水平方向地盤移動のためにローラーシューをそれぞれすえつけました。この極端な場合でもPC橋の連続性は、鋼橋あるいは単純桁にくらべて有利であることが実証されています。といいますのは、塑性変形のはね返り能力はPC橋が鋼橋より相当に大きく、また、単純桁では沈下期間中、交通を通すことはほとんど不可能であるからです。

### 4. 緊張材の継手

最近、連続桁はたびたびスパンからスパンへと順次施工され、その緊張材の継手はスパンの1/5のところにつけます(図-1)。このための支保工は取外してすぐ転用したりレール上に支保工を乗せて動かします。この工法

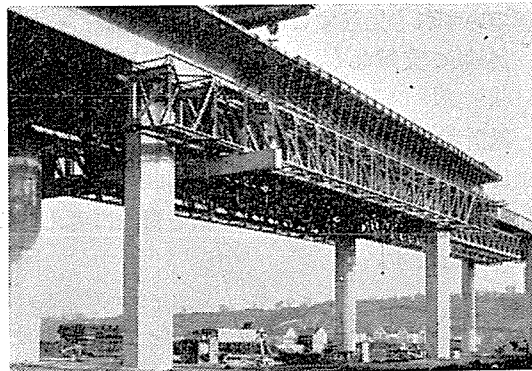
図-1



によって長い高速高架橋が架設されます。例えばデュッセルドルフ高架橋、曲線形で34スパン、桁長850m以上の鋼製の連続桁があります。ドイツの建設業者の中には、鋼製トラスに型わくを取付けた機械を開発しました。この鋼製トラスのスパンはピア間隔であり、つぎのスパンへの移動は他の鋼製桁上を動かして行ないます。

コンクリート主桁を支持するトラスがつぎのスパンに動かされ、床版突出し部分の型わくをもった外側のトラスが前のスパンにいまなおある状況が写真-4に見ることができます。引出し桁とトラスは永久ピアで支持さ

写真-4



れるので特にそのための基礎が必要ありません。

これと同様に簡単な工法として、孔あき箱型鋼桁をPC橋の架設地点におきます。この支持は橋脚柱から出ている横桁で行ないます。この箱型桁が型わくを支持し、プレストレス緊張後、この桁と型わくはジャッキによって低くされ、つぎにラチスと桁の組合わせによる移動装置によってつぎのスパンに動かします。この装置はライン狭谷の深い谷間で架橋困難な地方において非常な成功をおさめました。

### 5. 突出し工法

突出し工法は全世界に広がっています。私は皆様方へ場所打ちの突出し工法の最近の業績についてお話ししましょう。

PC鋼棒使用による突出し工法は、6~9mごとに継がれますので多くの継手が必要となり、そのためコストも高く、また、かような緊張棒はプレストレス力が限られているので長大スパンには非常に多くのPC鋼棒が必要となります。PCケーブルによる大きなプレストレス力はもちろん有利で、事実ドイツの一業者はフランクフルト近くのメイン河を越えるスパン143mの橋梁をこの突出し工法で架設しました。これは突出しモーメントの抵抗の必要度に応じて100t PCケーブルを入れました。

突出し工法が非常に有利であることは明らかであり、特に大きな緊張材を使用するときにはいえます。施工工程は3日サイクルのくり返しであり、このため労働者は高い能率と高い技術の水準に達することができます。

### 6. 場所打ち工法の有利性

場所打ち工法がいまなお施工されている第一の理由として、コンクリートプラント設備がほとんどすべて機械化され、どこにおいても短い期間で作ることができ、しかも普通2人で十分に機械を操作できるからです。それで大量にコンクリートが必要なとき、工場製作コンクリートは現場製作コンクリートにくらべてなんら有利では

## 講演要旨

ありません。さらに場所打ちコンクリートの有利性としてつぎのいずれも見逃すことはできません。

1) 目地に支障なく、十分均一な構造物がえられます。

2) 設計者が最も経済的な横断面、あるいは桁の配列を自由に選べることで、橋の斜断面、曲線形、拡幅部などのたびたび出くわす不規則な形状を自由に考えることができることです。

## 7. プレハブ工法

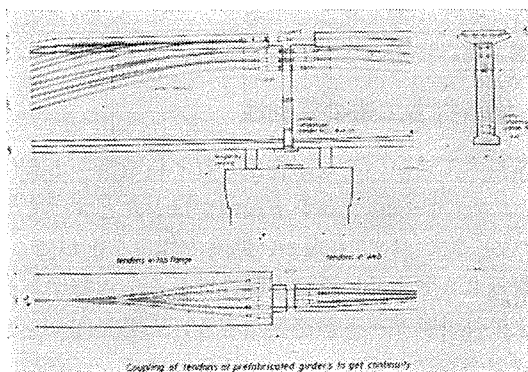
### (1) 全径間長の桁

多くの場合、プレキャスト工法が場所打ち工法にくらべて非常に有利であり、特に等スパンの桁を多く架設する場合にいえます。プレハブ工法による橋梁の最も簡単な形式は橋脚上に伸縮目地のある単純桁であり、このタイプの橋はフランスとアメリカで非常に発展していますが、普通スパン 37 m 程度が限界です。といたしますのはそれ以上の長い桁は運搬と取扱いに関してあまりにも重いからです。

長大橋では橋梁架設地点のすぐそばにプレハブのためのプラントを作り、つぎには重いプレハブ桁を引き出すすえつけるための設備を作ります。一例としてセントローレンス河を渡った橋梁は桁長 53.6 m、重量 180 t、これを鋼製トラスで送り出すすえつけました。

最近、ドイツとルクセンブルグに、プレハブ桁を架設位置に動かす簡単な道具を開発しました。ある業者は、簡単な圧延鋼桁をピアで支持し、その鋼製桁に架設される PC 桁をおき、わずかに 3.5 HP エンジンで動く長いジャッキで PC 桁を動かし、さらに横方向に動かされて架設位置にすえつけています。私はこのような単純桁を架設後、連続桁にする工法を開発しました(図-2)。このため PC 鋼材量が約 20% 節減でき、また重量の節減もできます。例えばスパン 58 m、主桁間隔 3.6 m の桁が重量 140 t、72 t PC ケーブル 10 本で十分でありました。この 10 ケーブルの緊張は 3 段階で行ない、その方法はピア上の負モーメントに抵抗するように上床版に圧

図-2



縮力を、しかしその上床版に引張力が生じないようにピア上のジョイント部を継ぎました。

この工法はスパン 60 m 程度が限界であります。その理由は、これ以上の長いスパンはあまりにも重量が大きくなり取扱いがむずかしいからです。もし載荷能力 200 t 以上あるクレーン船を使える水面上に橋梁が架設されるならば、もちろんさらに重いプレハブ桁を架設できます。マラカイボ橋ではこの工法によってスパン 47 m、重量 180 t のプレハブ桁を数多く架設しました。

フランス人技師、ニコラス・エスクウイランと彼の会社ボーシロンでは、西アフリカ、イボリイ沿岸、アビジャンに、箱型断面で上床版をハイウェー、箱断面内を鉄道が走るプレハブ桁を全長一体として作りました。この桁はスパン 43 m、重量 800 t、海岸で作られ、それを 2 隻のハンケで架設位置まで運びました。この工法によると、さらに大きなプレハブ桁を作れることは確かです。

この可能性の良い例は、アメリカにおいてプレハブ化した大きな中空部分を浮べる工法、あるいは浮舟式橋梁桁をあげることができます。

これらの例はスパン全長にわたって桁をプレハブ化するものであり、もしこの桁を分割する場合は縦方向ジョイントだけがつきます。もちろん全断面あるいは部分的断面の短い部材長さのプレハブ化も可能であります。この工法による良く知られた最近の例は、ロンドン、ハンマースミス交差点の構造物で、これには橋の全重量を支持するため支保工が使われました。

### (2) 横方向単位に切断したプレハブ工法

より大きい、長大スパン橋のプレハブ化に対してより長いより重い単位のプレハブを使用するのを目的とした新工法を私は開発しました。

オーストリアのアガー橋がこの工法の例としてあげられます(図-3)。これは 4 径間連続桁、最大スパン 96 m、2 つの箱型断面からなっており、1 箱型断面の幅約 12 m、桁高 4.3 m 3 車線の高速道路であります。プレハブ単位としては、この一箱主桁断面の全幅にわたって横断面を、縦方向 9 m の長さで切りました。その重さは約

図-3

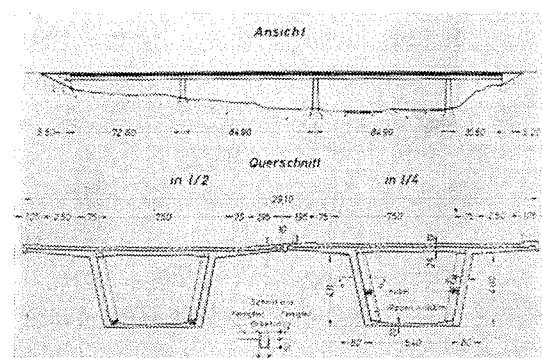
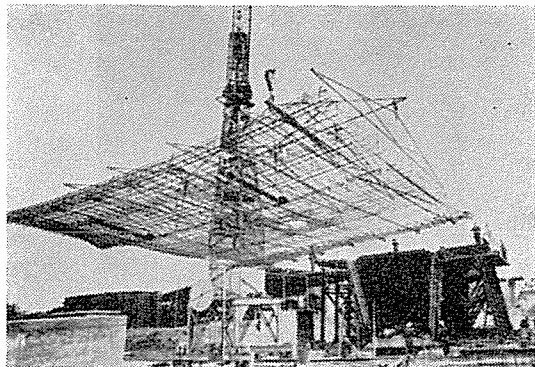


写真-5 カロニ橋の組立て鉄筋



180 t であり固定型わくを使用してプレハブにしました。鉄筋は型わく外で前もって組立てタワークレーンで型わく内に据付けました(写真-5)。このプレハブは 11 人の労働者で 4 日間で作ることができました。このプレハブブロックは普通のクレーンで動かすにはあまりにも重いので、表面に油を塗った木製レール上をすべらして動かしました。このレールは谷を横切った狭い支保工で支持しておいたので、すべてのプレハブブロックは橋を形づくるため、4 スパンのその上に順次ならべました。

つぎに集中ケーブルは箱型断面内の腹部の側面に沿って敷設しました。その PC ストランド敷設のため、箱型断面内の下床版上をジブを走らせました(写真-6)。PC ケーブルすえつけ後、プレハブブロックの継目をコンクリート打ちしました。この継目はケーブル方向を変えるために生ずる垂直力に抵抗するケーブル支圧面をもった横ラメンとなっています。このケーブルはレオンハルト工法で橋の両端の可動アンカーによって緊張しました。ケーブルは長く、多くの屈曲点がありますが、ケーブル支圧面のすべり板、テフロンによって非常に低い摩擦損失になります。

ケーブルと腹部の確実な結合力は腹部から出ている鉄筋によって得られ、またケーブルの腐食はコンクリートおおいによって防いでいます(図-4)。いままでに、この架設法が最少の労働力と長大スパンに関しての材料が

写真-6

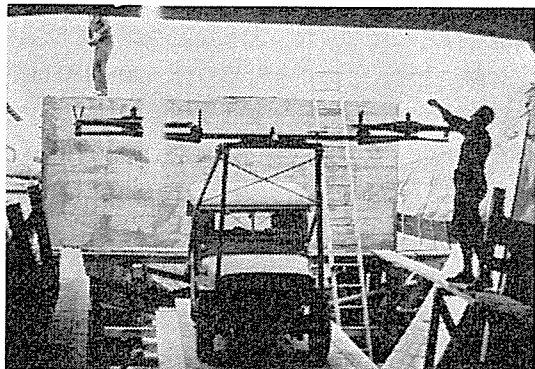


図-4

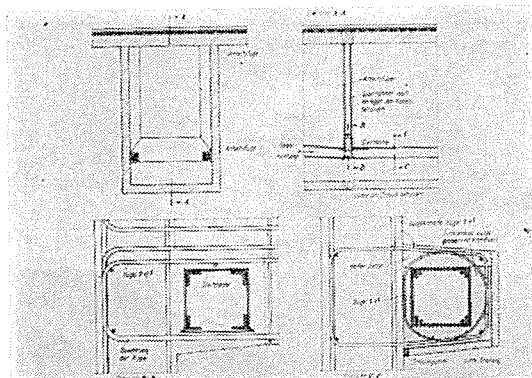
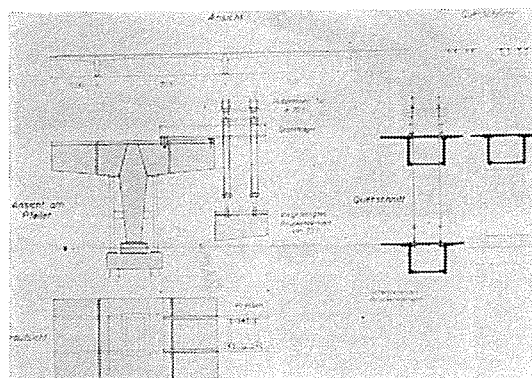


図-5



非常に少ない量しか必要でないことがわかりました。プレハブの橋梁部分はその架設場所ですり上げられるならば、突出し工法によって水面を越えて長大スパン橋を作ることができます(図-5)。

このような橋梁として、スパン 73 m のものが設計されています。プレハブブロックは突出し鋼製ガーダーとそれについている持上げ装置でつり上げることができます。中空箱型桁の一部が架設位置につり上げられると、PC ケーブルは上床版の孔にとおされ、緊張します。そしてつぎのプレハブブロックをつり上げます。長大スパンで多スパンの橋梁のように大きなプレハブブロックの型わくが何回も転用できるのでしたら、明らかに経済的でしかも早い期間で架設できます。

この工法の変化したものが、ベネズエラ、カロニ川を渡る橋梁を架設するために使用されました。この橋梁は 6 径間連続桁でそのうち 4 スパンは 96 m、2 スパンは 48 m であります(図-6、写真-7)。熱帯口の大河川はたびたび大洪水が生じるので支保工は使用できません。そのため全長 506 m の全橋がアガー橋と同工法で河川取付部においてプレハブ製作しました。この橋のプレハブブロックを作るための鋼製型わく(写真-8)は木製レール上ですえつけました。腹部の内側にそった大きな PC ケーブルは断面の重心の高さに水平な状態で最初すえつけ、軸圧縮力だけを導入しました。これでこの橋梁のその後の取扱い中に生ずる正または負モーメントに抵

図-6

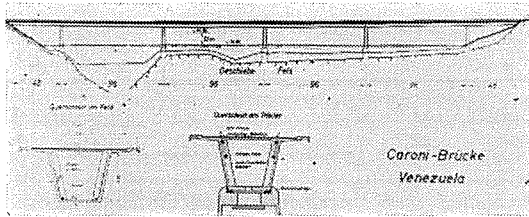


写真-7

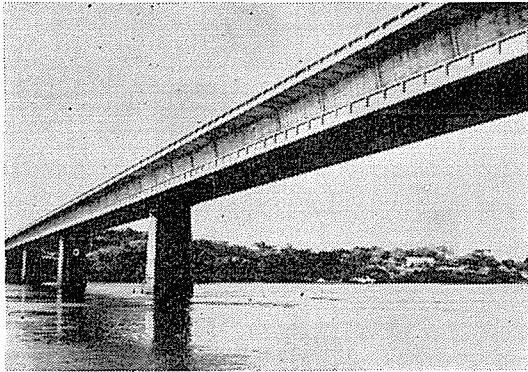


写真-8

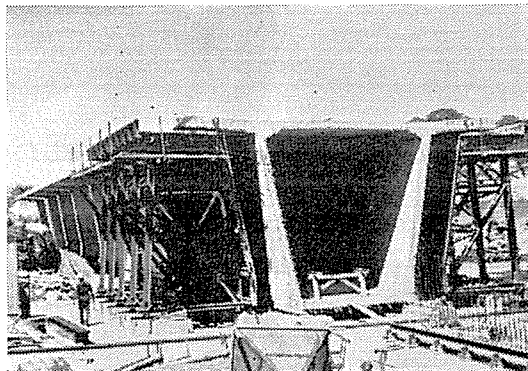


写真-9

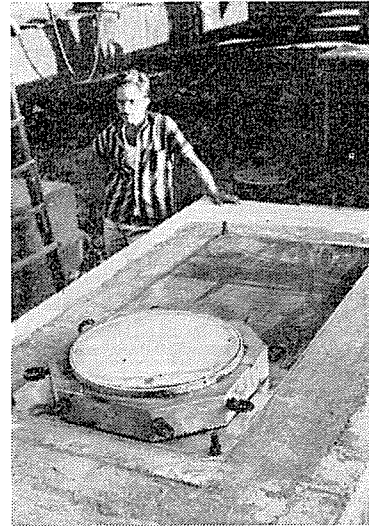
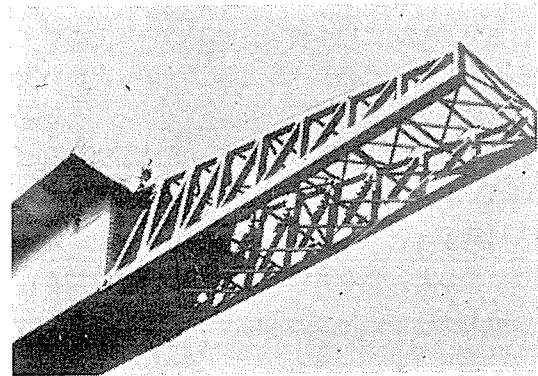


写真-10



抗できました。緊張は橋端の大きなアンカーブロックを動かして、ケーブルの伸びは約2.4 mに達しました。

この橋梁の重量は約10 000 tで、河を越すため橋梁全体を水圧ジャッキで動かしました。新しいすべり支承、テフロンを取付部に沿って48 mの間隔で、4つの永久橋脚と4つの一時的な仮橋脚の天端に使われました(写真-9)。250 t能力の水圧ジャッキを2つ橋台に定着し、これを反力として橋梁全体を動かしました。動く橋梁の先端の片持ばりによる曲げモーメントを減少させるため、軽い鋼製トラスを橋梁の先端に固定しました(写真-10)。橋梁が最終架設位置に達すると、水平に敷設されていたPCケーブルは、垂直に、橋脚上では上方に、径間内では下方に動かして最終の曲線形にして固定します。したがってこのケーブルの曲線形による偏心力で大スパンを支持できます。つぎに仮橋脚を取のぞきます。

プレハブの有利性は、型わくの転用、前もって鉄筋をすべて組立てておけること、自動式コンクリートプラントのすぐそばの位置でコンクリート打ちができること、

などです。このようにして、場所打ちされる継目の数とコンクリート量は最少に低減できます。

PC緊張材はプレハブブロックを組立てたのち、長い長さのケーブルを作るために、孔の中にPCケーブルをとおしたり、ストランドを回すようにしてすえつけます。この二つの方法はケーブルを作るための労働者の量を最小にできるのでポストテンションは非常に経済的になります。特にストランドの径が10~12 mmのように大きく、あるいは緊張力100 t以上に開発された大きなケーブルでは有利です。

### (3) タイケーブルによる長大スパン

熱帯国では、たびたび悪い土質条件の沖積層で非常に深い基礎を作らねばならない大きな河を越えて橋梁を作る必要があります。このような場合は120~180 mのスパンが経済的であり、以前は鋼製トラスがほとんど唯一の解決策でありましたが、私はプレストレストコンクリートを使用した非常に経済的な工法を開発しました(図-7、写真-11)。

それはウエル基礎の上に、道路面の高さに水平ばりをもったA型タワーを建てます。このタワーは両側から突き出した長いスレンダーネスの桁を斜めタイケーブル

図-7

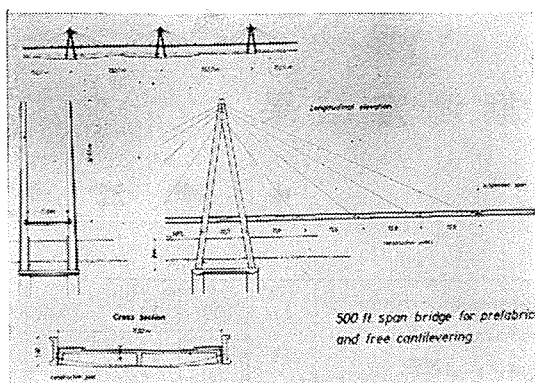
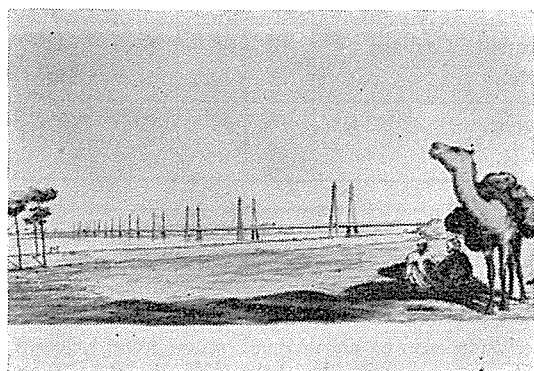


写真-11



で、ほぼ18~24 mごとにつつて支持します。このワイヤケーブルは欄干を同時に形成する端桁に直接定着します。この桁配列で、この端桁はほぼ18~24 m長さのプレハブ部材とすることができます。この端桁は容易に道路や

タワーの間の簡単な架設橋をとって、クレーンまたは特別な架設車で組立てることができます。端桁がワイヤケーブルにつられるとすぐ道路床版用のプレハブ部材が端桁の間におかれます。2つのタワーの突出し桁端部の間はつり径間で閉じられます。コンクリートとPC鋼材の量は、この形式のPC長大橋ではいちじるしく少なく、しかもわずか3種類の異なったプレキャスト部材しか上部構造に必要ありません。

このタワーは追上げ式わくで場所打ち、またはプレキャスト部材を使っても作ることができます。

この端桁は2ないし3個の緊張材で主桁方向に緊張します。この緊張材は突出しの組立が終わったのち、桁の孔をとおします。もし平行なワイヤケーブルが斜めタイとして使われるならば、この主桁に生ずる曲げモーメントは比較的小さくなります。

私はこのような橋梁の設計に当って、その施工方法をその最初の時点で考え、明らかにしておくことを強調します。施工法は設計に非常な影響を与えます。

私が示すことができたPC長大橋の分野に土木技術者の直観と創造を駆使し、実証する良き機会を得られることを皆様に希望し、さらにこの分野のよりいっそうの発展が、いまなおわれわれの前にあるということを期待できます。

注：この講演内容は、昭和40年4月14日、ホテルニューオータニで行なわれたものである。

【大成建設KK土木本部設計課提供】

## 資料頒布について

下記の資料は、本年1月ニュージーランドにおいて行なわれたFIP耐震設計部会(部会長：武藤清博士)特別委員会で査読されたもので、多少の余部がありますのでご希望の方は下記ご参照の上お申し込み下さい。お申し込みは前金にて本協会事務局あてにお願いいたします。

### 記

#### プレストレスト コンクリート構造物耐震設計要綱(本文は英文)

(General principles of earthquake resistant design of prestressed concrete structures)

内容：本文6ページ 付録一荷重一変形曲線集、実在建物固有周期集、橋梁固有周期減衰常数集、橋梁耐震設計詳細集、各国設計規準一覧表一約55ページ 計61ページ

体裁：A4版 オフセット印刷

頒価：350円(〒40円)