

## 橋 梁 設 計

横 溝 幸 雄\*

## 1. 概 説

前回のニューヨークにおける会議についての猪股博士の本誌報告 (Vol. 16, No. 5) にもあるように、PC は各種構造物に対して広範囲に応用されており、橋梁はその一部分にすぎないという方向に向かいつつあるが、現在ではやはり第一に位する部門であり、発表論文も多かった。会議3日目、5月2日(木)は橋梁デーと称し、午前は最近における各国の橋梁がスライドを使って紹介され、日本のものは、東工大長滝助教授によって発表された。午後にはセミナーが代表的6橋について開かれ、日本からは浜名大橋が発表された。いずれも、主会議場で開かれた。その他各室では寄稿論文による発表が多くあり、橋梁設計だけに着目してみても同時に発表されたりして、本テーマについて直接見聞きしたことを十分に記すことができないので、その概要を資料などにより報告する。また当技術協会の視察団が会議の後フランスおよび西ドイツの現場見学したものうち対照的な2橋について極く簡単にふれることにする。

また、入手できた資料のうち、橋梁の設計施工に対して参考になりそうなものをまとめて最後に目録として示す。本報告文の写真および図の大半は、これらの資料より直接使用したことをおことわりしておきます。

## 2. RIP 橋 (オーストラリア)

(A. Fried)

本橋は、シドニー北方 90 m, New South Wales に位置し、RIP 運河を横断する橋長 330 m, 中央支間 183 m で、1974 年に完成された道路橋である。運河をひとまたぎする必要から、鋼桁を用いた吊構造が考えられるが、オーストラリアでは、費用の点でコンクリート橋とするのが妥当である。地形および景観を考慮すると、アーチ橋が考えられるが、スパンライズ比と施工の困難さから、最終的な設計は、下弦材がアーチ形状となっているトラスカンチレバー形式とし、中央に 37 m の軽量コンクリートを用いた吊桁を配した構造であり、非常にユニークで最新の技術を駆使したプレキャスト工法となって

いる。すべての部材は極力プレハブ化するように考慮され、支間 180 m の橋梁が小部材の組合せで作られているのは驚異である。

設計の複雑性その他から、施工業者が独自の設計照査を行った。完成後、37 t のトラック 4 台により載荷試験が行われ、たわみの測定値は計算値の約 80% であった。

設計の要点がわかるコンパクトな図および写真が示されているので、写真-1, 図-1 に示す。なお本橋については、1975 年 10 月に HIGHWAYS AND CONSTRUCTION 誌に発表されている。

## 3. HAMANA 橋 (日本)

(K. Imamura, F. Nemoto, Y. Nojiri)

我が浜名大橋は、支間割り、構造寸法、施工性、そのうえ特に動的解析を行った耐震設計およびその確認等を主眼において報告された。本橋については、国内に多数の発表がなされているので省略する。

## 4. COLOMBIA 川 (Pasco-Kennewick) 橋

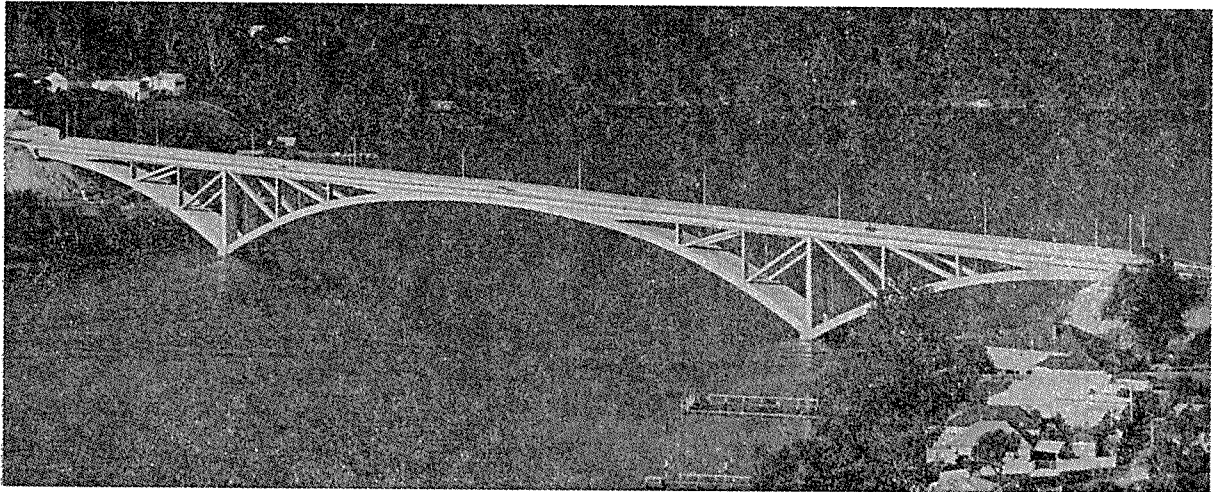
(アメリカ)

(F. Leonhardt (西ドイツ), W. Zellner, H. Svensson)

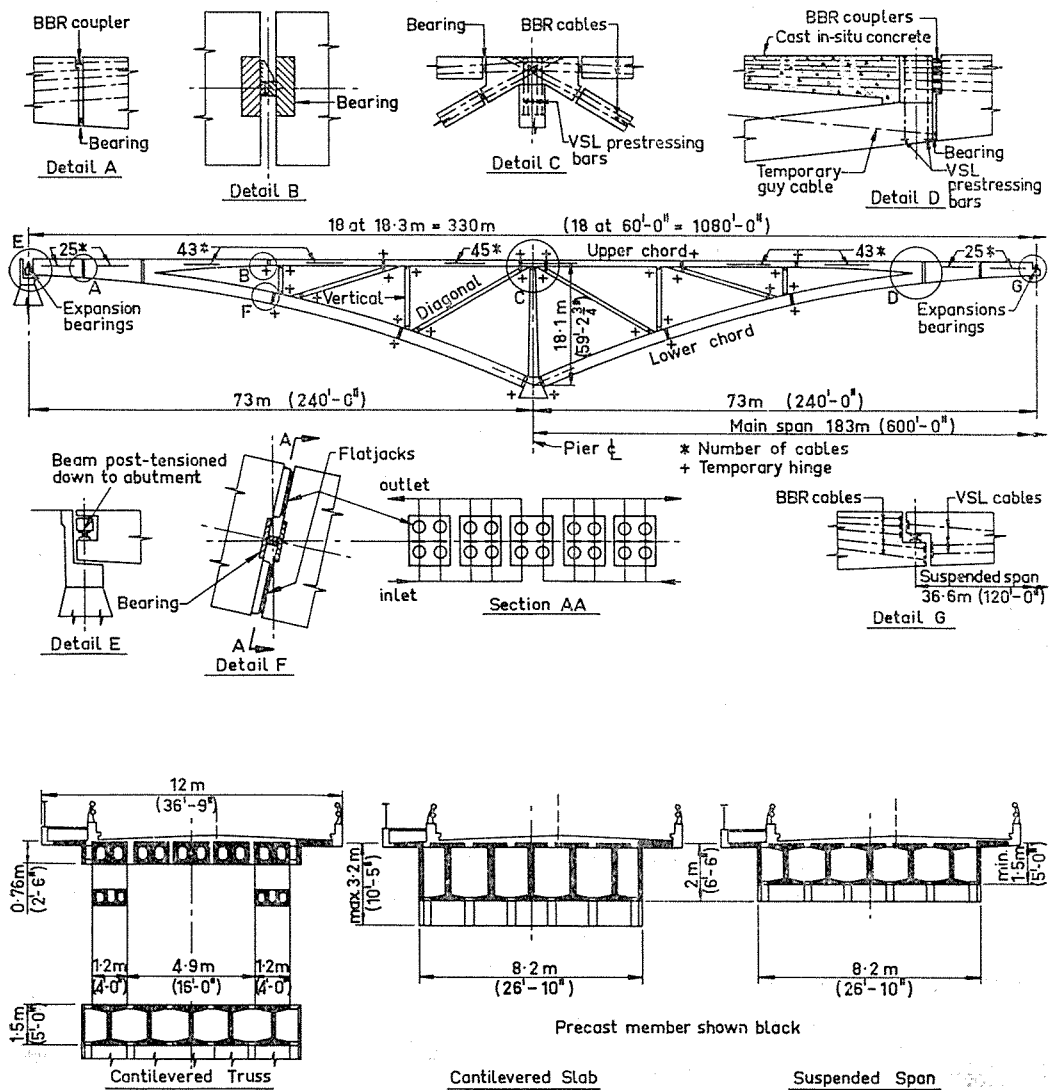
本道路橋は、Pasco-Kennewick, Washington に建設されたもので、本誌 p. 24, 「橋梁施工」の図-8 に示すように、ファン型斜め吊配置を行った主支間約 300 m の長大斜張橋である。ステイクールは HiAm アンカーを桁断面両側に 8.3 m 間隔で多数本配置し、桁高は 2.13 m で、幅員方向の長さにより決定されて非常に低く、本橋の特徴となっている。桁はプレキャスト部材で、断面は両側に三角形閉合部を有するダブルT形断面である。死荷重は全幅橋面  $\text{m}^2$  当り 0.7 t と軽く、死荷重による幅員方向 1 m 当り軸方向力は約 170 t である。

基本温度変化は、 $+25^\circ\text{C}/-30^\circ\text{C}$ 、ケーブルと桁の温度差は  $\pm 14^\circ\text{C}$ 、タワーおよび桁の断面内の温度差は  $\pm 6^\circ\text{C}$  としている。コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響は小さい。本橋は地震地帯にあるが、地震力に直接抵抗できるように全部材を強化すべきでないと考え、限

\* (株) オリエンタルコンサルタンツ, 技術士



写真一 RIP 橋全景 (資料 4) より



図一 RIP 橋概要 (資料 4) より

界を設けて振動による変位を許すようにして、地震動による大きな力を避けることができる。部材寸法は AAS-HTO による終局限界状態設計により定められた。

本橋は他の形式より美観上優れており、また建設費用および保守費用は比較しうる鋼橋よりも少ない。技術的各種の検討に加え、美しい橋を作ることはいつものことながら要望される。タワーのスレンダーさを特に考慮し、桁、ステイケーブルを含めて繊細さが強調されるようすべての部材のプロポーションを定めた。ステイケーブルは明るく輝き、空にかかるくもの巣のごとく見えるであろうと思われる。

この設計を行った経験から、PC 斜張橋は、いまや道路橋に対して 700 m、鉄道橋に対しては 500 m まで経済的に建設されるであろうということが出来る。本橋は、F. Leonhardt により指導されたアメリカのコンサルタントが実施設計を行ったものである。

### 5. BROTONNE 橋 (フランス)

(J. Mathivat)

現状における張出架設桁工法は、支間 50 m~150 m の

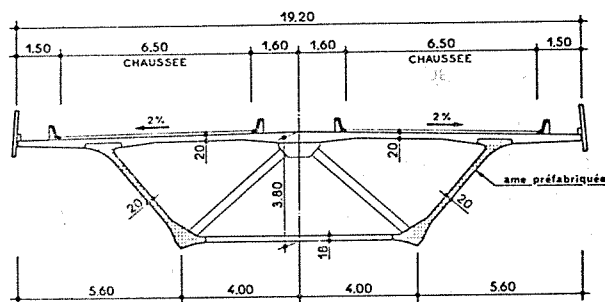


図-2 Brotonne 橋断面図 (資料 5) より



写真-2 Brotonne 橋 歩道上より

コンクリート橋の設計施工には最も適している。200 m を超えるとなりの問題点があると思われるが、特別な検討がなされ、日本における例その他で何橋かの張出架設桁工法による長大橋が架設されている。その問題を解決するには、桁断面と PC 鋼材との偏心距離を大きくとることであり、タワーを用いてステイケーブルをアンカーする構造に発展する。すなわち、アウトケーブルの PC 橋を張出架設すれば長大スパンに適したものになるという基本的考え方により、プロトヌ橋が生まれたわけで、しかも本橋は世界最長支間、320 m の準ファン方式の PC 斜張橋である。

本橋の特徴を記すと次のようである。

- a) 延長 1280 m のうち中間伸縮継手が 1 個所しかないユニークな連続構造である。
- b) 全幅 19 m を 1 室箱桁断面で構成し、断面内に斜めストラットを有する (図-2)。
- c) 直径 15.2 mm の PC 鋼より線を用いて鋼パイプに通常の配置をし、セメントグラウトされた斜め吊材を 1 列配置している。
- d) 橋面上 70 m の高さのコンクリート柱を用いている。

本橋はルーアン近くのセヌ川に架設され、1977 年秋に交通が解放された。本誌 Vol. 19 No. 2, Vol. 20 No. 4 に詳しい記事が発表されているので参照されたい。桁断面 (図-2) および筆者が 1977 年末に写した橋面歩道上からの写真 (写真-2) を示し、その他は省略する。

### 6. RUCK-A-CHUCKY 橋 (アメリカ)

(T.Y. Lin, F. Kulka, P. Chow, A. Firmage)

本橋は、カリフォルニア州アメリカン川の幅 400 m を跨ぐ橋梁であり、兩岸は約 40 度の傾斜で峡谷となっている。取付道路の掘削、トンネル等の関係で、河川上をアーク状曲線とする橋が適切であると考えられ、現状の基本設計の段階では、Hanging Arc 形式が決定されている。これは、写真-3 (パース) に見られるように、一般の橋につきものの橋脚橋台はなく、曲線桁を兩岸斜

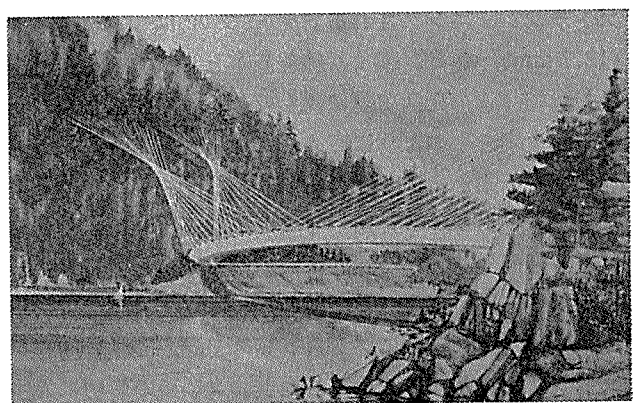


写真-3 Ruck-A-Chucky 橋 (パース)(資料 1) より

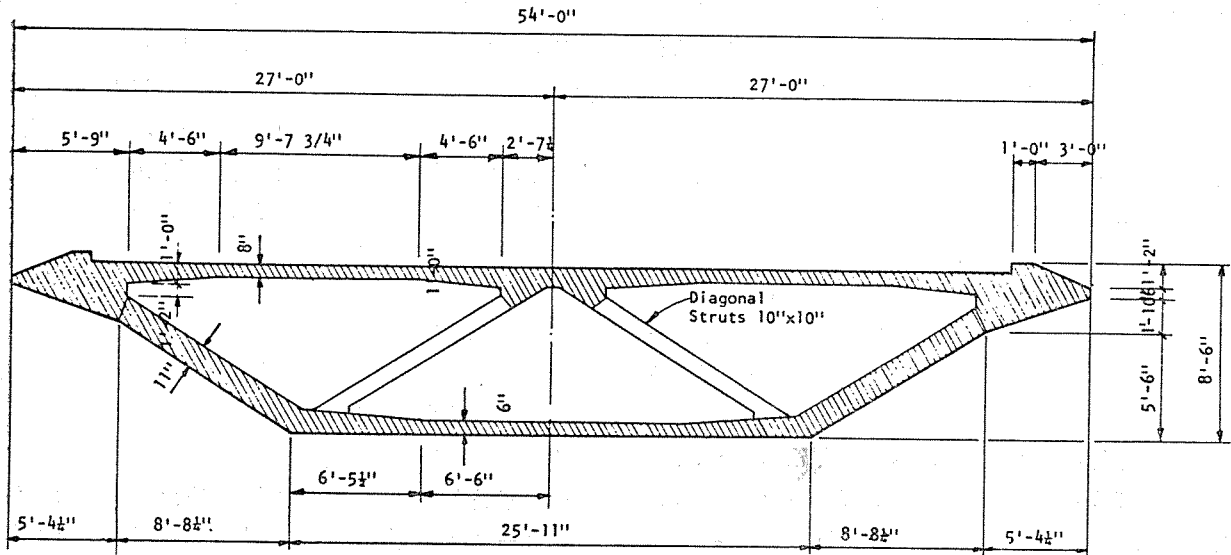


図-3 Ruck-A-Chucky 橋桁標準断面 (資料 1) より

面にアンカーされた多数本のケーブルで吊りあげるとい  
うまったくユニークな形式が立案されている。

構造計画は、前回のニューヨーク大会で、アラスカ  
シベリア間に 360 m 支間のプレキャスト PC 箱桁斜張  
橋 (車道は箱桁内) を Peace Bridge と称してプロポー  
ザルを提出したりして、近年活躍の著しい T.Y. Lin  
International で行われた。本橋の計画はこのほかに、  
エンジニアリング、建築・環境についてのコンサルタン  
トが参加しており、自然環境をこわさずいかにして調和  
を保ち、もちろん景観を重視することにプライオリティ  
を置いている。

Hanging Arc の形式は、このような背景のもとに、  
従来のありとあらゆる形式 15 案が検討されたが満足す  
る結果が得られず安易な妥協をしなかったうえに、16 番  
目の案として考え出されたものであり、この過程は興味  
深いと思われる。

ケーブル配置形状は平面形状とからめて 100 種類以上  
のものが検討され、死荷重のたわみが 0 になるようにポ  
ストテンションされる。ケーブルは 1/2 インチ  
(12.7 mm) の PC 鋼より線を基本としており、死荷重  
に対して 2.7、死活荷重に対して 2.25 の引張強度に対  
する安全率をもつように定められた。桁はメタル案とコン  
クリート案とにより設計されており、コンクリート案  
は軽量コンクリートを用いることになっている。コンク  
リート断面 (図-3) の寸法は、ねじり剛性、荷重のケー  
ブルへの伝達、断面内の点検通路の確保、施工性等から  
定められ、上下床版にプレストレスを導入し 2 方向プレ  
ストレス部材となっている。地震および風の影響に対す  
る模型試験が行われ、安全性が確かめられている。

## 7. GRETA 橋 (イギリス)

(T.G. Hancock, T.N. Pemba)

本橋は A 66 幹線道路の Keswick バイパスが Greta

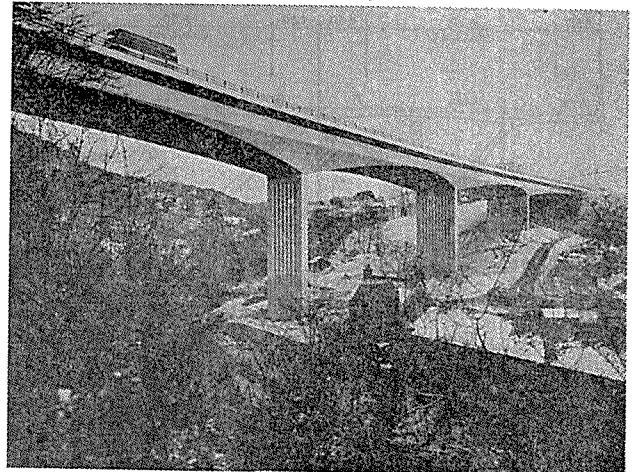
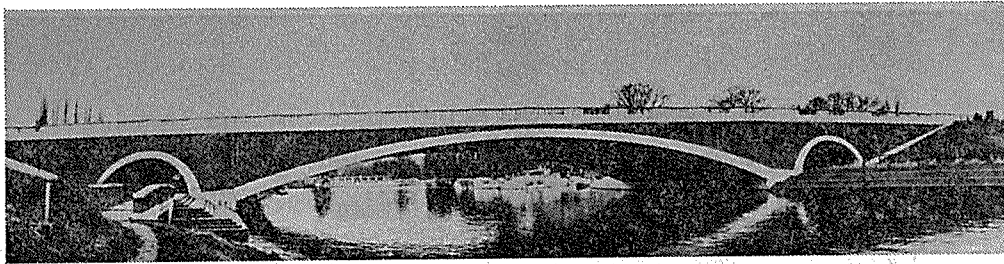


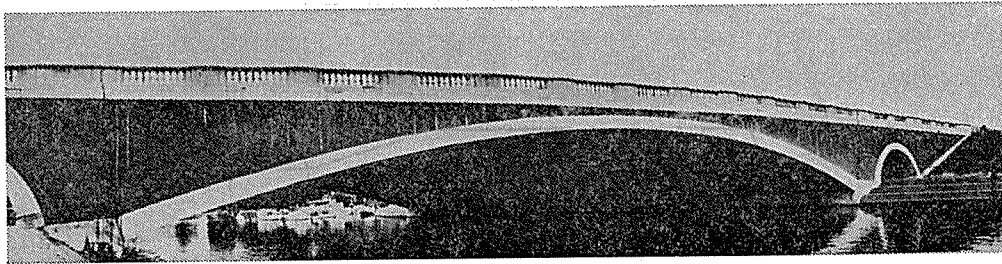
写真-4 GRETA 橋 (資料 27) より



写真-5 GRETA 橋 (会議中のスライドより)



Existing Bridge



Same view point—new bridge interposed.

EXTENTION OF EXISTING BRIDGE—PHOTO MONTAGE

写真—6 RUNNYMEDE 橋 フォトモンタージュ (資料 28) より)

渓谷を渡る部分、延長 220 m に架設され、1976 年に完成した。設計に際し特に重要視されたのは、周囲のすばらしい自然とマッチするよう美観に着目したことおよび施工中でも現状の環境をできるだけ保証するように配慮したことである。したがって橋の計画を比較するには、地形を含めてコンピューターによるパースを画くことに力がそそがれた。

橋梁形式を定めるに際し、11 種の計画案が検討されたが、アーチは渓谷の形、工費の点で、斜張橋はタワーの景観から、鋼橋は橋の規模、保守の点から、それぞれ好ましくなく、結局 4 径間 PC 連続 4 室箱桁橋が選ばれた。外形およびコンクリート面のテクスチャーについて特別の配慮がなされた (写真—4, 5)。排水管は外に出すようなことはせず、桁、橋脚内に埋めこまれた。橋脚上はコンクリートヒンジで桁に結合されている。プレストレス力は CCL 工法によって導入された。

設計計算は、UNIVAC 1108 を使用した連続箱桁用プログラムと細部は折板理論など種々の解析法のうちから適切であると判断した FEM によって解析した。施工は 1 径間ずつ場所打ちステージング工法による。

## 8. RUNNYMEDE 橋 (イギリス)

(R. Behaim, W. Smith)

橋は、“Architecture”であるという序文で始まる本論文の橋梁は、在来の橋梁に並んで建設中 (写真—9) のものである。本橋は延長 125 m で、近辺が観光地である

テムズ川を M25 道路が渡る部分に位置している。在来橋は Sir Lutyens によって設計され、1960 年に完成した鉄筋コンクリートアーチ橋で、スパンドレル付近が美しくデザインされている。新しい橋を設計するに際して技術的な考慮をすると、地盤があまりよくないのでアーチの大きな水平力は避ける必要があると判断した。したがって、第 1 案として在来橋に準じた形式が検討され、フォトモンタージュ (写真—6) まで作ったが、桁下がトンネル状に見えるなど景観上もよくないので採用しなかった。また、連続桁など各種の案が模型を作るなどして検討されたが、最終的には、旧橋とマッチし、かつ最新の技術をとりにれた、写真—7, 8 に示すような形式が決定され、各案のうち工費が最も安くなっている。

本橋は、一見アーチ橋にみえるが、基本的にはラーメン構造であり (図—4)、フーチングの上に合成ゴム支承を置いて橋全体を支持している。コンクリートは白色セメントおよび白色の骨材を使い、プレストレス力は BBRV ケーブルを用いて導入する。

施工は両岸で半分ずつ別々に場所打ちされ、移動する予定で、最大移動量は 50 m、重量は約 1000 t である。コンクリート打設で最も重要なことは、打継目の処理であるが、本橋では半分の構造部材全体を連続打設する予定である。

## 9. CHLICY 橋と RÜSSELSHEIM 橋

当協会視察団が会議終了後に見学したものうち対照

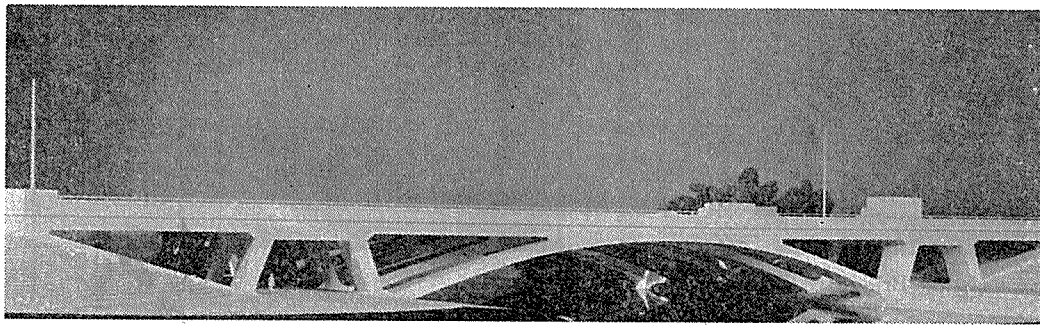


写真-7 RUNNYMEDE 橋 完成予想図



For Members shown  $\rightarrow$  Principal action is normal force  
For Members shown  $\text{---}$  Principal action is bending

図-4 RUNNYMEDE 橋 応力図

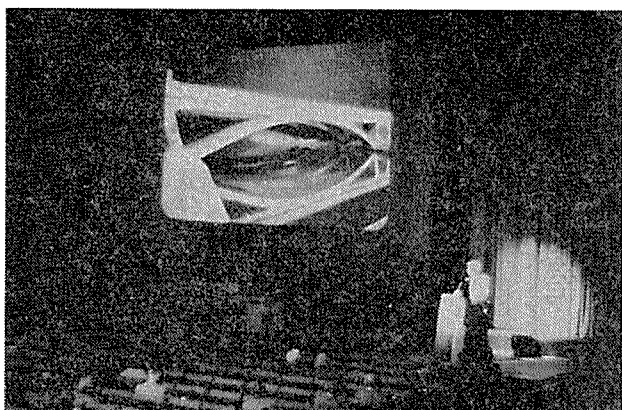


写真-8 RUNNYMEDE 橋 (会議中のスライドより)

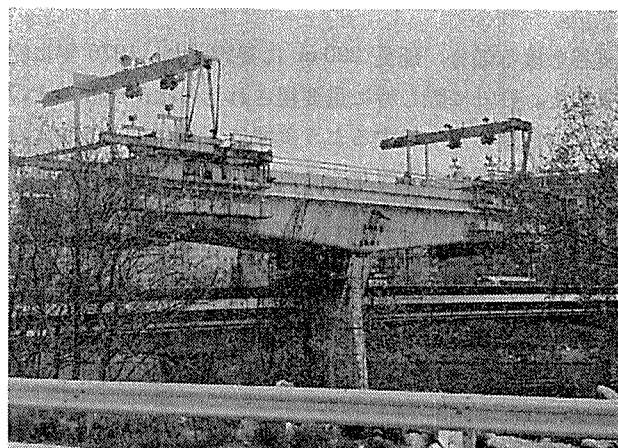


写真-10 CHLICY 橋 (Seine 川)

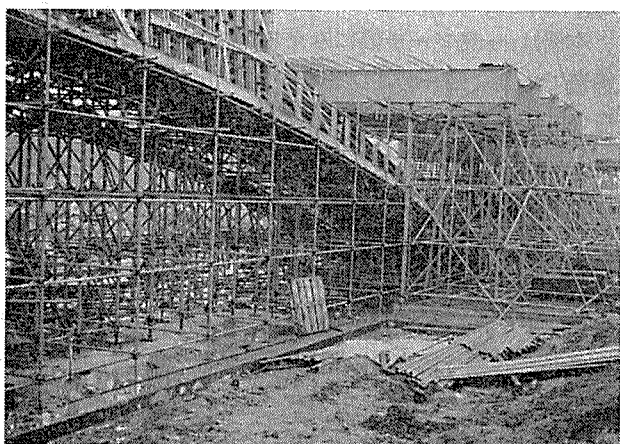


写真-9 RUNNYMEDE 橋 施工中 (佐藤浩一氏提供)

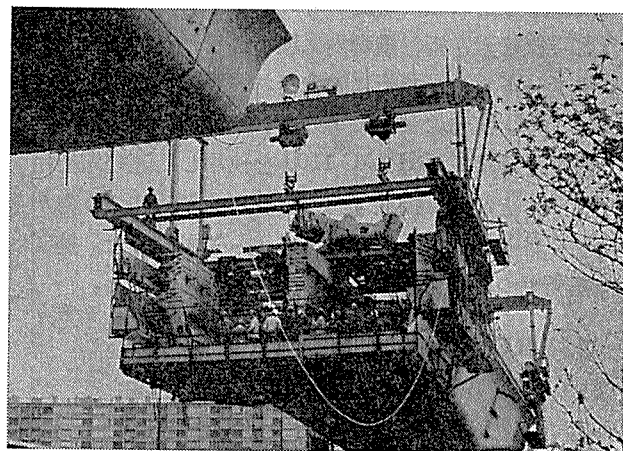


写真-11 CHLICY 橋 (ブロック架設見学中)

的な2橋について簡単に記す。

CHLICY 橋 (写真-10, 11) は、パリ近郊の地下鉄 (RATP METORO URBIN) 延伸のため Seine 川を渡る橋梁である。完成後の形式は中路2室箱桁連続橋で、桁外形および橋脚は曲線、斜線、スリットを用いてよくデザインされている。しかし、設計施工ともに非常に複雑であると思われる。桁は3本の複雑な形をしたウェブを近くのヤードでプレキャストブロック化し、これを張出し架設した後、床版4個所を現場打ちして合成している。フランスでは、これに類するような設計施工上複雑と思われる橋梁がかなり架設されている。プレストレス力は、フレッシュネーVシステム、12T 13 (12.7 mm PC 鋼より線) ケーブルによっている。

RÜSSELSHEIM 橋は、フランクフルト近く、WIESBADEN の Main 川を渡る道路橋で、最大支間 142 m の PC 連続箱桁橋 (写真-12, 13) である。施工は架設作業車 (写真-13) による場所打ち張出架設を行っている。CHLICY 橋と比較するとデザインはがらりと変わり、コストの点から支間 142 m 間の桁高変化を直線にしている珍しい外観となっている。全幅 18.65 m に対して、幅 8.6 m の1室箱桁で、PC 床版厚は 22 cm で、ちなみに我が国の道路橋示方書の規定に準じて計算すると 30 cm となる。プレストレス力は、12- $\phi$  12.2 (12.2 mm の PC 鋼線 140/160 kg/mm<sup>2</sup>) ケーブルによっている。支承は (支持力 3000 t)、テフロンを使った鋼支承板支承を用いている。我々はここで、ドイツ、オーストリア等で使用されてきた太径のワイヤーの PC 鋼材をみる事ができたが、最近のヨーロッパでは、ディビダーク工法以外の PC 鋼材は、一般に 1/2 インチ (12.7 mm) のストランドが使われる傾向にあるようである。

## 10. CEB-FIP MODEL CODE と橋梁設計

コンクリート構造物の設計という点からみれば、今回の FIP 大会でのハイライトは、国際指針 (モデルコード) が発表されたことである。これに関するセミナーが開かれ、隣の室の間仕切りをとって使用するほど盛況であった。前々回のプラハでの大会で発表された指針 (1970 年) は、国内でも翻訳されているが、一般にはかなり難解でかつ前衛的とも思われた。今回の指針は、構造物全般について国際指針として体系づけ、第1編 COMMON UNIFIED RULES (Joint Committee on Structural Safety) につづく第2編 CEB-FIP MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES として出版 (フランス語、英語版) された (資料 31) 参照。各種の試算等がなされており、旧指針に比して実用的な内容になっている。この指針は各国の示方書、規準類を作るうえで役立つ

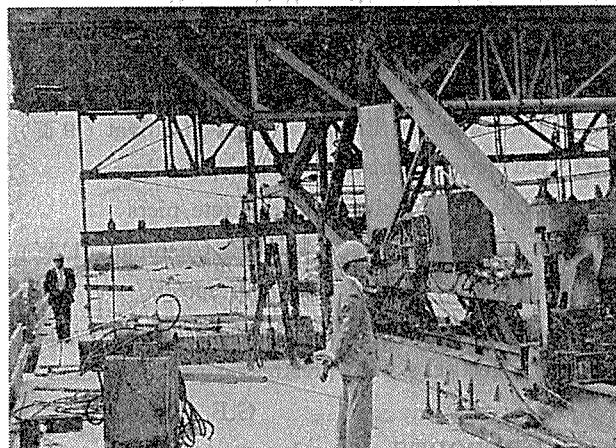


写真-12 RÜSSELSHEIM 橋 (Main 川)

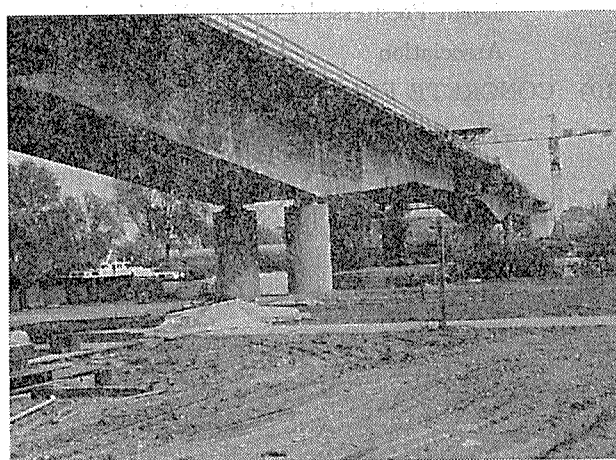


写真-13 RÜSSELSHEIM 橋 (中央閉合部架設作業車)

つ貴重な基本事項を示している。たとえば、橋梁設計にそのままあてはめることは適切ではなく、使用材料、作用荷重、品質管理、重要度などについて別に考慮すれば、大いに参考にすることができるものである。当指針は限界状態設計法に基づいているが、我が国の道路橋示方書コンクリート橋編 (昭和 53 年) には、RC および PC について、終局荷重作用時の検討、コンクリートのクリープ、乾燥収縮、せん断耐力の計算、構造細目等がこの指針の内容の一部がとり入れられている。なお、この MODEL CODE については、国内で各種の報告 (たとえば、コンクリート工学 54 年 2 月号、岡村甫) がされると推定されるので参考にするとよいと思われる。

## 11. 橋梁関係入手資料

### Eighth Congress PROCEEDINGS PART 1~4

(全 740 頁)

- 1) Design of Ruck-A-Chucky Bridge  
T.Y. Lin ほか (13頁)
- 2) Hamana Bridge construction plan  
K. Imamura ほか (8頁)

報 告

- 3) The Colombia River Bridge at Pasco-Kennewick, USA F. Leonhardt ほか (10頁)
  - 4) The Rip Bridge A. Fried (10頁)
  - 5) The Brotonne Bridge J. Mathivat (9頁)
  - 6) Earthquake resistant design of bridges with ductile reinforced concrete piers H.E. Chapman (11頁)
  - 7) Segmental construction with epoxy bonded joints J.J. Bouvy (7頁)
  - 8) Bridge decks with prestressed precast beams G.F. Huyghe (13頁)
- Special REPORTS of each country**
- 9) SPECIAL ISSUE FOR 8TH FIP CONGRESS Japan Prestressed Concrete Engineering Association (全123頁, 2橋)
  - 10) CONCRETE FIP '78 The Concrete Society (London) (109頁, 10橋)
  - 11) LA TECHNIQUE FRANCAISE DU BETON PRECONTRAI NT Association Francaise du Beton (416頁, 33橋)
  - 12) BETON UND STAHLBETONBAU FIP (Berlin) (108頁)
  - 13) HOLLAND 74/78 Recent Prestressed Concrete Structures in the Netherlands STUVO Committee (20頁, 7橋)
  - 14) OUTSTANDING PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES YUGOSLAVIJA '74~78 Yugoslav Society for Prestressing (71頁, 7橋)
  - 15) SOUTH AFRICAN STRUCTURES IN PRESTRESSED CONCRETE Concrete Society of Southern Africa (27頁, 4橋)
  - 16) PRESTRESSED CONCRETE IN FINLAND 1974~1978 Concrete Association of Finland (30頁, 7橋)
  - 17) HELLENIC PRESTRESSED CONCRETE 1974~1977 Technical Chamber of Greece (36頁, 3橋)
  - 18) ZEMENT UND BETON FIP KONGRESS 1978 Österreichischen Betonvereins (54頁, 7橋)
  - 19) PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES IN ITALY 1974/1978 L'Industria Italiana del Cemento (AITEC) (372頁, 14橋)
  - 20) SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG (Prestressed Concrete in Switzerland 1978) Wochenzeitschrift für Architekten und Ingenieure (30頁, 7橋)
  - 21) AUSTRALIAN PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES 1974~1978 Concrete Institute of Australia (7頁, 5橋)
  - 22) ANNALES DES TRAVAUX PUBLICS DE BELGIQUE 1978 Ministere des Travaux Publics (200頁, 45橋)
  - 23) RECENT PRESTRESSED CONCRETE IN TAIWAN China Engineering Consultants, Inc. (16頁, 15橋)
  - 24) REPORT ON PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES IN INDIA 1974~1978 Indian Concrete Journal (32頁, 14橋)
- Technical CONTRIBUTION (English)**
- 25) Standardised bridges of prestressed prefabricated elements K. Linna, FINLAND
  - 26) Time-dependent stresses and deformations of segmental structures A. Chali, M.K. Tadros, W.H. Dilger, CANADA
  - 27) Greta Bridge : Keswick northern bypass T.G. Hancock and T.N. Pemba, UK
  - 28) Runnymede Bridge R. Benaim and W. Smyth, UK
  - 29) The design and analysis of the new highway bridge over the Gouritz river gorge in South Africa A.G. Liebenberg, SOUTH AFRICA
  - 30) Geotechnical movements associated with Scamonden Bridge C.J.F.P. Jones, UK
- CEB-FIP BULLETIN**
- 31) International System of Unified Standard Codes of Practice for Structures Volume I COMMON UNIFIED RULES FOR DIFFERENT TYPES OF CONSTRUCTION AND MATERIAL Volume II CEB-FIP MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES