

フランスにおける最近のプレストレストコンクリートの動向

飯 野 忠 雄*
長 友 秀 実*

まえがき

1972年1月より11月まで、フランス共和国へ道路建設技術の研修のために留学する機会を得たので、最近のフランスの高速道路橋（主としてPC橋）の設計部門と研究部門の現状、およびイタリア国境付近と南フランスの高速道路の工事概要等について報告したい。

1. 道路橋の設計組織

フランスでは、一般国道および高速道路の設計は主としてSETRA(Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes; 国道および高速道路設計部)が行なっている。これを助けるコンサルタントのおもなものは、STUP, SEEE 等である。また基礎的な研究部門としてLCPC(Laboratoire Central des Ponts et Chaussées; 公共事業省中央土木研究所)と民間資金によるCEBTP(Centre Experimental de Recherches et d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics; 土木建築関係総合研究所)などがある。

(1) SETRA における構造物の設計

SETRA はパリ近郊のBAGNEUX にあって、その現在の所長はM. Huet 技官である。SETRA における構造物の設計の特長は次のようである。

1) 電子計算機を使用した構造物の設計方法が完備している。使用されている計算機はIBM 1130, 7094, 360で、構造物設計プログラムの一部使用およびそのためのサブルーチンの使用協定がSETRA とIBM の間で成立している。

2) 配筋図、ケーブル配置図等を含んだ自動製図の作図法が採用され、設計から製図までを高度に省力化しているため、設計の変更なども容易である。

3) 構造物の審美的検討(ESTHÉTIQUE)の案内書が作成され、道路構造物の機能美に努力している(GUEST 69)。また伸縮継手、高欄、シュー等の構造物の基準化も進んでいる。

* 首都高速道路公団

4) フランスの地方の建設局が自由にSETRA にある構造物の設計プログラムを使用することができて、全国的な規模でSETRA が、土木構造物設計の中心となり道路建設速度を急速に高めている。

5) 新しい設計方法および基礎的理論の研究と応用、施工法の研究のためにLCPC がSETRA に密接な関係をもち、SETRA の設計技術を押し進める組織になっている。

以上のほかにSETRA は、その長年の成果を広く海外に技術協力する目的で、BCEOM(Bureau Central d'Etudes Pour les Equipement d'Outre-Mer; 海外への技術協力事業センター)を通じて売り出している。前述のごとく、SETRA で開発された構造物の設計プログラムは、IBM システムであり、IBM との間にサブルーチン等の使用協定がなされているので、日本においても使用可能と思われる。その設計プログラムのカタログ(1972年版)に価格が公開されているもの110種のうちPC橋に関するものを表-1に示す。SETRA でそれらの一部を研修する機会を得たので、その概要を述べると

a) VIPP 67 (単純PC橋) この構造の設計方法は、1967年にJ.C. Albouy 技師とA. Bonnet 技師によって設計プログラムが開発された。桁は荷重分配桁を有する格子構造で、その理論は荷重分配桁の位置、本表-1 SETRA の設計資料案内、1972年の一部

GUEST 69—Guide d'esthétique pour ouvrages d'Art courants (土木構造物の審美的ための案内).....	100 フラン
MCP 70—Calcul des tabliers en dalle continue élégie précontrainte d'épaisseur constante ou variable, par la méthode du cable concordant (コンコールドケーブル使用の連続床版橋の計算)	100 フラン
VIPP 67—Viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes de hauteur constante (単純桁構造の高架橋).....	300 フラン
CCC 69—Caissons courbes continus (連続曲線箱桁構造).....	200 フラン

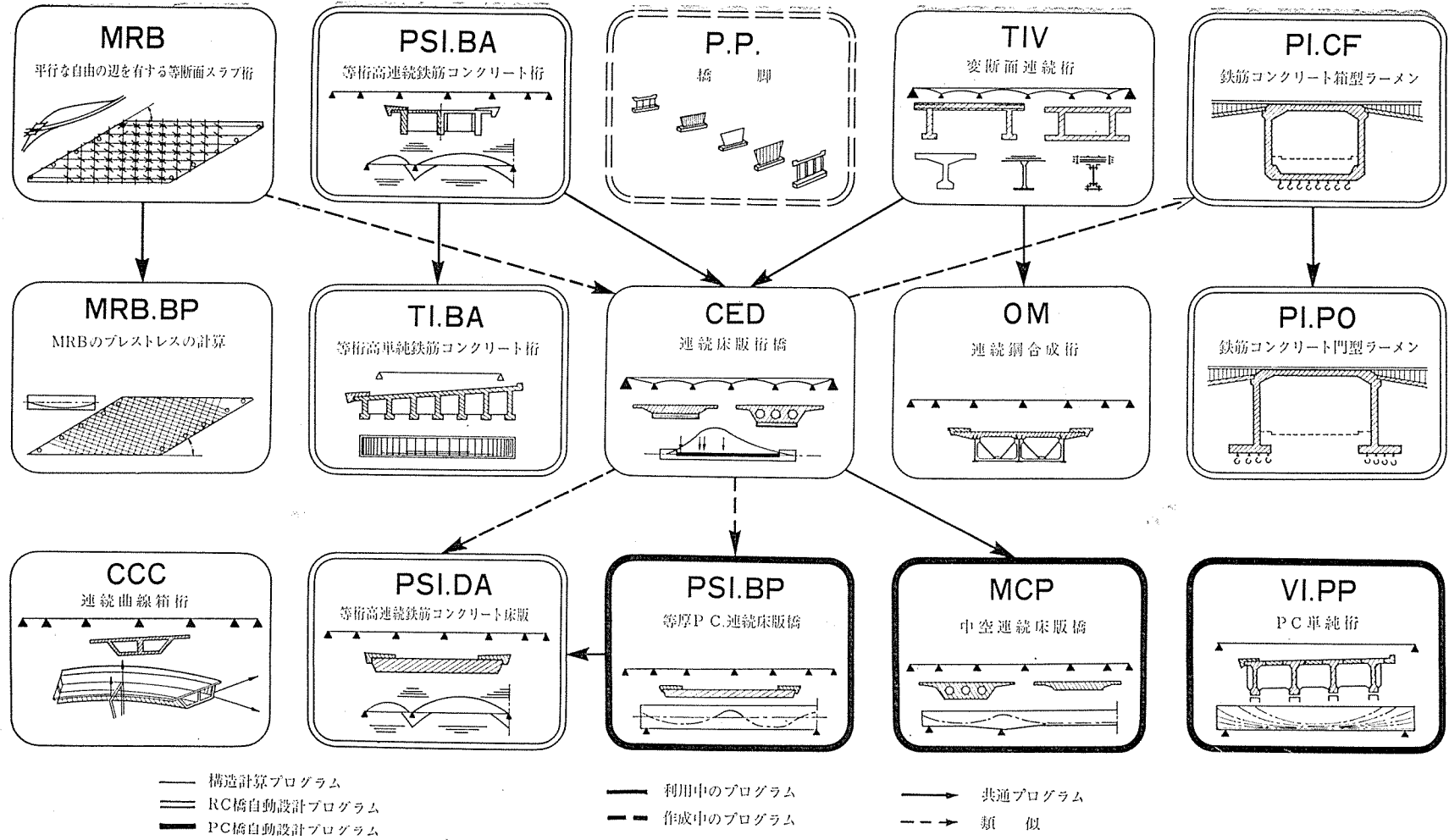


図-1 構造物設計用電算プログラムの関連 (1971年1月現在)

報 告

数等により Courbon の理論, Guyon-Massonnet の理論を適用している。P C ケーブルは BBR-B, KA, SEEE, FREYSSINET, PCB の各ケーブルが使用できる設計になっている。

b) CCC 69 (連続P C曲線箱桁橋) この構造の設計プログラムは, G. Tournerie 技師によって, 1969年に開発された。構造基本形を次のタイプにとって最大6径間連続桁橋まで設計している。

① 一端固定で他端可動の単純径間構造

② 両端および中間橋脚が可動の2径間構造

③ 両端および中間1橋脚が可動で, 他の1橋脚が固定の3径間構造。

不静定力の計算は, Maxwell の定理を使っている

c) MCP 70 (P C連続床版橋) この設計プログラムも G. Tournerie 技師によって1970年に開発された。桁の断面構造は張出し床版部と主断面部にわかれ, 張出し床版部がない場合とある場合の両方の設計ができる。また変断面, 等断面も自由に選択できる。設計理論

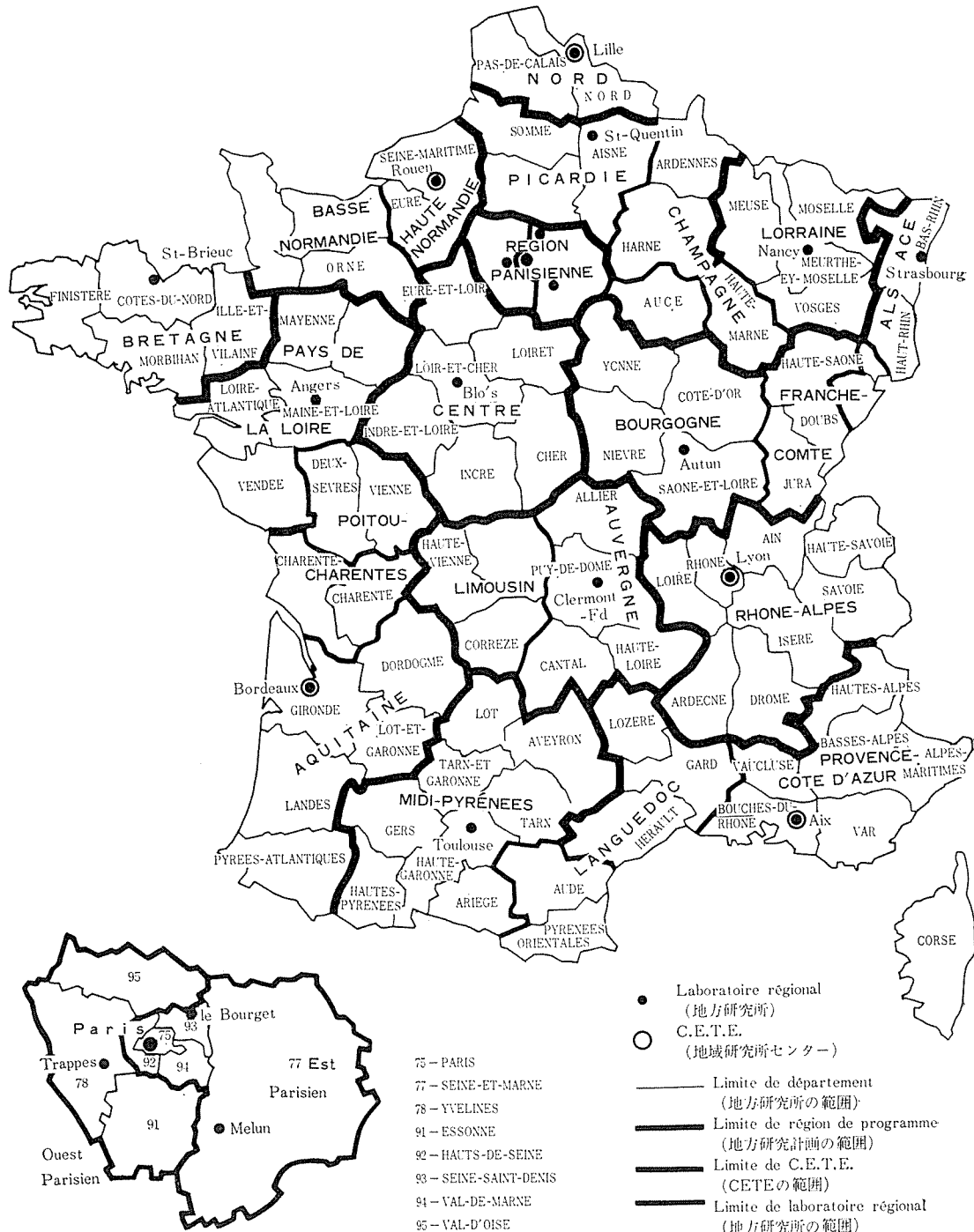


図-2 研究所の全国組織

は Guyon Massonet の理論を使用している。

以上の各設計プログラムは、外国においても使用できるように、活荷重を自由に載荷できるように工夫されている。また各設計プログラムは相互に関連づけて使用できるように配慮されている。その図表を 図-1 に示す。

(2) LCPC の研究組織

LCPC はパリの 15 区にあり、現在の所長は A. Pasquet 技官である。9つの部と3つの室からなり、土木関係は道路、土質と基礎、土質力学、コンクリートとメタル、構造研究部の5部門である。構造研究部長は PH. Léger 技官であり、PC課長は J.P. La-lande 技官である。PC研究室では、分配横桁、端横桁なしの2主桁橋の床版による荷重分配作用と、支点反力の移動の研究が盛んに行なわれている。この構造形式は、施工の省力化にも適した構造とされている。LCPCの翼下に17の地方研究所と、5つの地域研究センターがあり、総合的な研究組織がフランス全土に広がっている。全国図を 図-2 に示す。その地方研究所のひとつである BLOIS の研究所では、各種の研究にまじって、PC桁橋をガンマ線を用いて検査する方法の研究を行なっており、実用化も行なわれていた。これはガンマ線によって、PC桁、RC桁のコンクリートの内部を詳細に撮影して、グラウトの良否、PCケーブルの切断の有無、コンクリートの締め固めの良否、などを研究している。これらの結果によると、既供用のPC橋で、外観にかなりひびわれ等が生じている高架橋においては、グラウトの不良、PCケーブルの切断、コンクリートの締固め不良があることがわかっている。これら撮影の例を 写真-1,2 に示す。また施工管理としては、ロックブリュヌ・マントン (Roquebrune-Menton) 高速道路のPC橋、ジュラ地方のピル (Pyle) のPC橋などに用いられた。

2. イタリア国境付近の山岳部高速道路

ヨーロッパアルプスの西端が地中海につきだしているニース、モナコ、マントン付近の山岳地帯を縫って、高速道路 A53 が、イタリア国境まで 1970 年に建設され (ロックブリュヌ・マントン高速道路)、イタリアの花の道路 (Autoroute des Fleurs) とつながっている。この道路はフランスにおける最初の山岳高速道路で、総幅員 21 m、片側車道 7 m (2車線)、路肩 2.5 m、中央分離帯部 2 m の2つの道路からなっている。



写真-1 ケーブル中で PC 鋼線の破断



写真-2 センタースパイラルのないケーブルで、グラウト不良 (左端部) の場合

る。最小曲線半径は 400 m、最大縦断勾配は 4% である。

また 写真-3 に示すように、多くの高架橋とトンネルが使用されている。高架橋はすべて PC 橋で、おもな橋梁を表-2 に示す。これらの橋梁は、フランス最初の自走式吊支保工方式 (Cintre Auto-Lanceur) によって建設されたが、この自走式吊支保工の発明者である GTM 社 (La Société des Grands Travaux de Marseille) の技術部長 J. Dhau 氏をマルセイユに訪ね、彼の設計施工に対する考え方を、わずかながら聞く機会があったので、それによって説明したい。橋梁はすべて連続桁構造が採用され、橋脚と主桁断面は 図-3、写真-4 に示す構造が選ばれたが、このことに対して彼は「この地中海

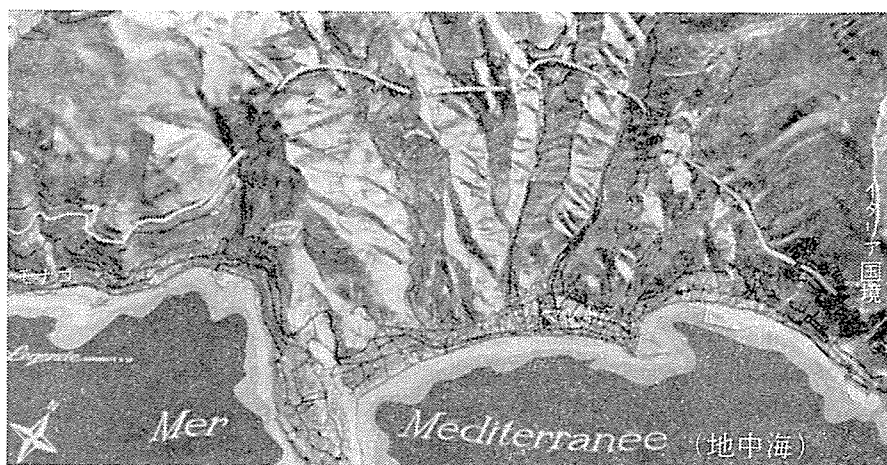


写真-3 ロックブリュヌ・マントン高速道路計画図

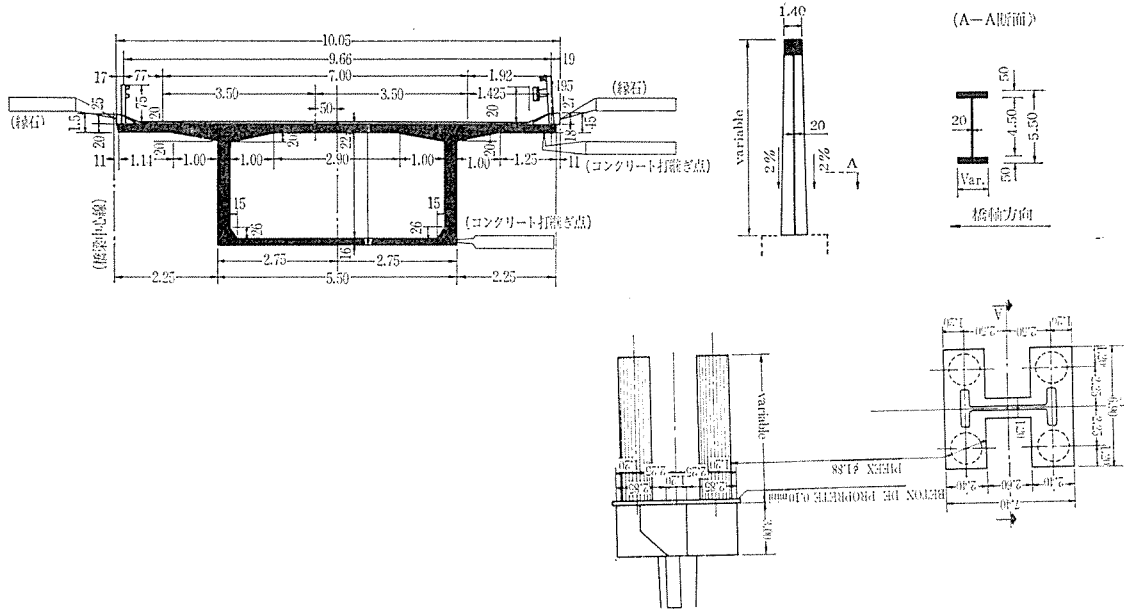


図-3 主桁および橋脚断面図

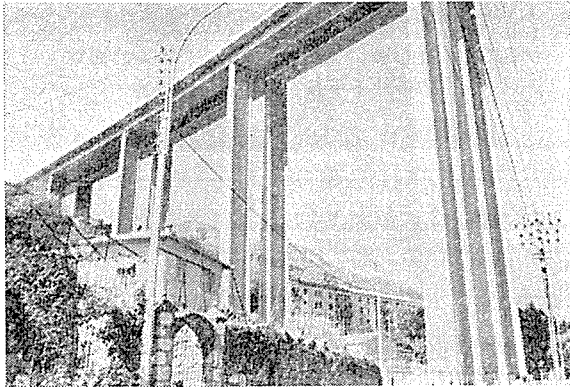


写真-4

表-2 ロックブリュヌ・マントン間の主な高架橋

橋 梁 名	延 長 (m)	径間数	スパン長 (m)	橋脚の高さ (m)
Gorbio	152	2×4	32 et 40	25.5 à 52.5
Rank	360	2×9	40	13.7 à 68.7
Pescaire	474	11+10	32, 40 et 50	12.2 à 77.9
Pala	190	2×4	40 et 50	25.6 à 52.3
Borrigo	264	2×6	40 et 46	18.6 à 48.3
Carei	520	11+10	40 et 50	19.5 à 69.6
Fossan	130	2×3	40 et 50	13.7 à 23.6
Baousset	104	2×3	32 et 40	20.6 à 23.8
Garavan	184	2×5	32 et 40	19.6 à 50.0

地方は地震加速度 $0.1g$ を考慮しなければならない。地震による橋桁の落下、自動車の走行性、自走式吊支保工の使用を考慮した場合連続桁構造が最適である。また桁の伸縮に対しては、たわみやすく、横断方向の地震力に対してはたわみにくい構造としてI形の橋脚断面を選んだ。橋脚の施工には、せり上り型わくを使用して工期を短縮することに成功した。主桁が箱断面になっていることが、自走式吊支保工による施工の場合に不利になるこ

とはなく、むしろ、ねじれ抵抗が大きく、径間を連続させてゆく場合の安定性がよい」と説明した。

自走式吊支保工は、図-4 に示すように鋼箱桁構造のガーダ（全長 108 m で 6 m のブロック 18 個からなり、各ブロックは高張力ボルトで組立てられている。手延べ

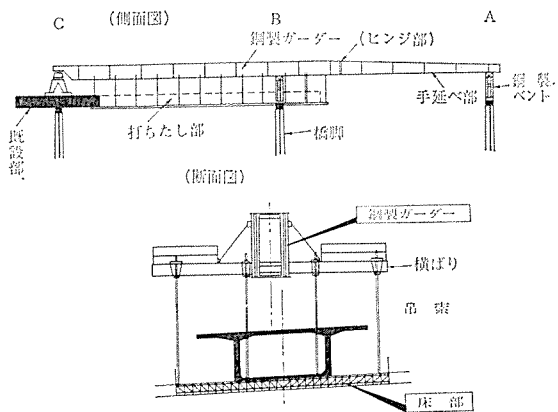


図-4 自走式吊支保工概要図

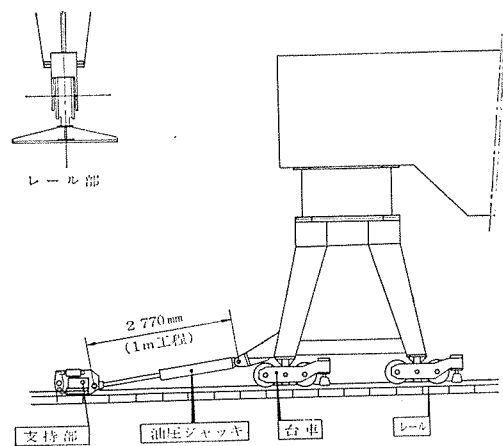


図-5 自走式吊支保工のポータル

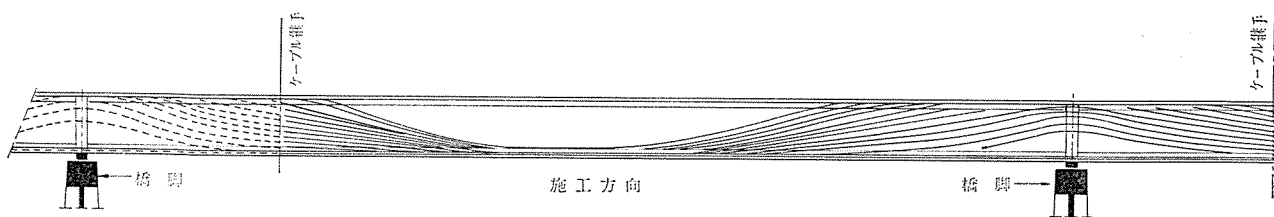


図-6 PCケーブルの配置図

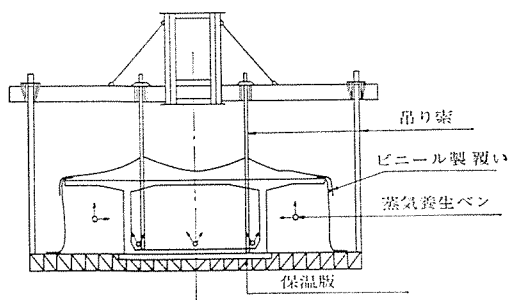


図-7 コンクリートの蒸気養生図



写真-5 自走式吊支保工の内部

部分はメインガーダとヒンジ構造で接続され、水平に最大 $8^{\circ}30'$ 回転できるようになっている)と作業場、底型わく、資材運搬用のモノレール等を吊り下げた横ばりからなり、A、B 橋脚上には容易に分解できる鋼製ベン트가手延べ部分を使って設置されている。この鋼製ベントにはガーダを前進させるための 100 t ローラ 2 組があり、上下移動調節のために、250 t の油圧ジャッキ 2 組がある。ガーダの最後部には、すでに施工ずみの桁の上に、レール上を進むポータルが図-5 のように取り付けられている。前進用のジャッキの推力は 60 t で、1 日に 30~50 m 前進できる。この自走式吊支保工の総重量は 300 t で、手延べ部分は 80 t である。

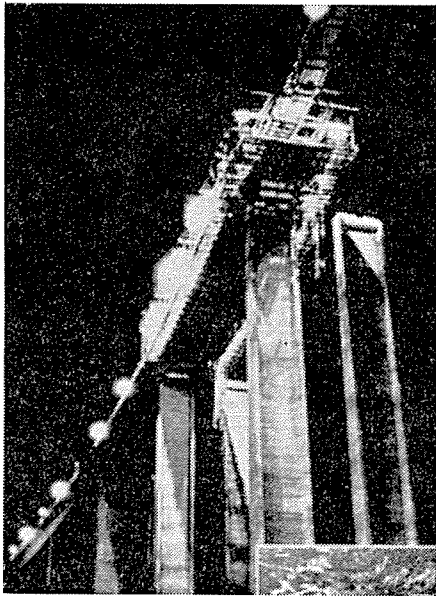
自走式吊支保工を用いる場合の PC ケーブルの継手の配置と、コンクリートの蒸気養生図を図-6、7 に示す。

自走式吊支保工が所定の位置に固定されたあとの作業順序は、1) 下床版の鉄筋組立てと下床版のコンクリート打設、2) 外型わくの建込み、3) 腹部外側鉄筋の組立て、4) PC ケーブルの配置、5) 内側鉄筋の組立て、

6) 型わくの建込み、7) コンクリート打設、8) 蒸気養生、9) 脱型と外面の手直し、10) プレストレスの導入、11) 底型わくの下げと、自走式吊支保工の移動据付けである。なお、蒸気養生の過程は、普通ポルトランドセメントを使用した場合で、 20°C で 2 時間、 $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 54^{\circ}\text{C}$ 4 時間、 $54^{\circ}\text{C} \rightarrow 72^{\circ}\text{C}$ 4 時間、 $72^{\circ}\text{C} \rightarrow 80^{\circ}\text{C}$ 20 時間、 $80^{\circ}\text{C} \rightarrow 40^{\circ}\text{C}$ 6 時間、そして脱型の順序になっている。

この山岳道路の高架橋の建設に自走式吊支保工が使われた理由について、J. Duhau 氏は「山の陵線に直角に高速道路が走っているため橋脚が高い。オールステージング工法も可能であるが、自走式吊支保工方式よりも安くないうえに、この山岳は少しの雨でも表層部の土砂がくずれるから、オールステージングは施工中に危険がある(事実、盛土部の路床の移動や橋台部分の水平方向の移動が起こり、観測や補修・補強工事を行なっているところのみられた)。プレファブブロック工法も考えられるが、トンネル部分と同時施工も考えて、ブロック製作、ストックヤードがない。それに重いブロックを運搬する仮設道路の建設には、自走式吊支保工の各ブロック(重量平均 12 t)の運搬道路を建設するよりも、もっと多くの費用がかかる。風速 10 m/sec 以下の天候であれば、普通に作業が進められる。雨の日も充分作業することができる。建設の初期にストライキで 45 日間作業が中止されたため、予定の工程にむかって夜間作業を行なったが、充分作業が行なわれた(写真-6 参照)。全工程が終わったとき、予定工程をまだ 3 か月残していた。高架橋の径間が 30~50 m の場合は、プレファブブロック工法よりも経済的であると思う」と説明した。

また図-6 のように PC ケーブルが同一断面で集中して継ぎたされていることに対して、この工法は SEEEF 7500 タイプを使用しており、継手は充分安全であり、また継手位置を曲げモーメントの変曲点付近に設け、桁全高にわたって PC ケーブルを配置するのが望ましいとも述べていた。このことについては設計上十分に考慮しなければならないことであって、わが国の初期の PC 連続桁橋では、変曲点付近でケーブルを定着したために、この部分にひびわれの生じている例がかなりある。また変曲点付近の桁全高にわたって PC ケーブルを配置しておけば、外的条件によってひびわれが生じなかったと思わ



写真—6 自走式吊支保工による夜間作業

れるPC橋も見受けられる。

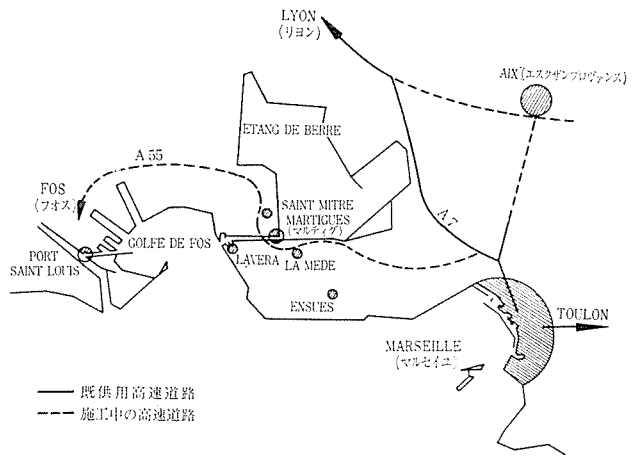
最近のフランスのコンクリート橋のシェーは、ほとんどテフロン加工のフレシパットであるが、この山岳高架橋のシェーも、すべてフレシパットが使用されていた。

3. マルセイユ近くのマルティグ高架橋

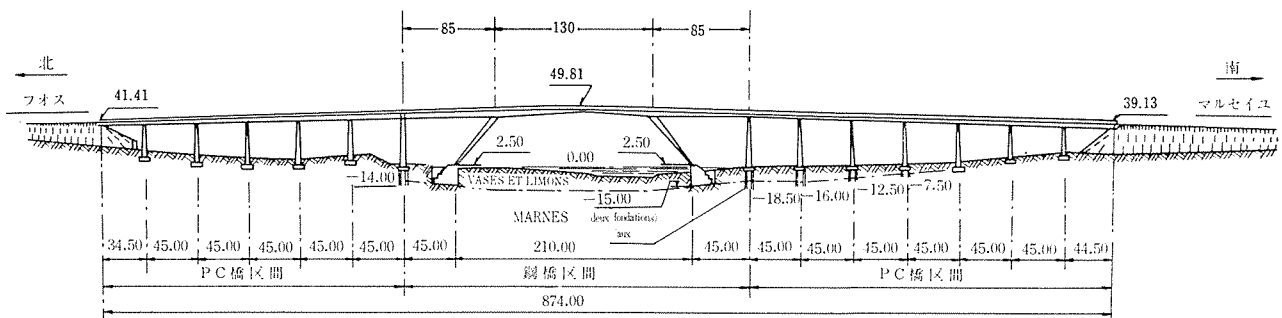
マルティグ高架橋は、マルセイユと新工業都市フォスを結ぶ高速道路 A55 の内海から地中海への水道をわたる高架橋である (図—8)。この高架橋は 1969 年から施

工にかかり、1972 年 4 月には桁架設が終了したところであった。図—8 に示すような側面をもつ非常に美しい橋である (写真—7)。中央径間 130 m の 3 径間ラーメン橋は、フランス自慢の全溶接鋼床版箱桁 (箱断面 1 主桁、幅員 28 m、使用鋼材 2 900 t) である。計画段階で PC 構造と比較され、基礎地盤がよくないため、下部の工費比較により鋼構造に決定されたものである。

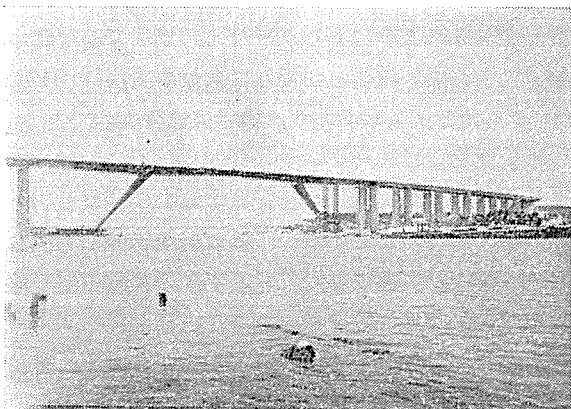
この橋の取付部分の高架橋は PC 連続桁橋で、前述のロックブリュヌ・マントン高速道路とほぼ同じ設計、施工によっている。直線区間で箱桁でないこと、PC ケループには B.B.R.B を用いていることなどで、地震水平加速度 0.1 g を考慮していること、自走式吊支保工に



図—8 マルセイユ付近の高速道路計画図



図—9 マルティグ高架橋一般図



写真—7 マルティグ高架橋

よっていること、また橋脚断面およびこれの型わくはせり上り型わくを用いていることなどは、まったく同じである。

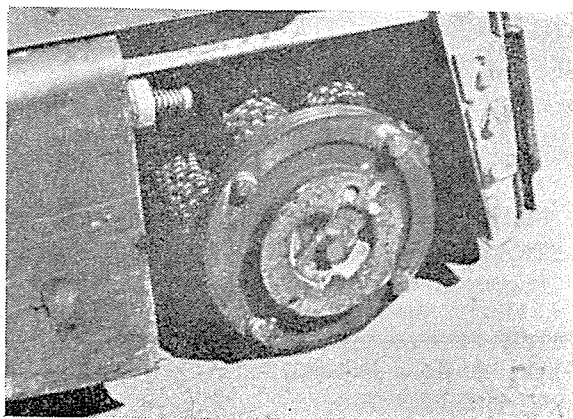
4. 床版防水、移動式補修用足場

(1) 床版防水

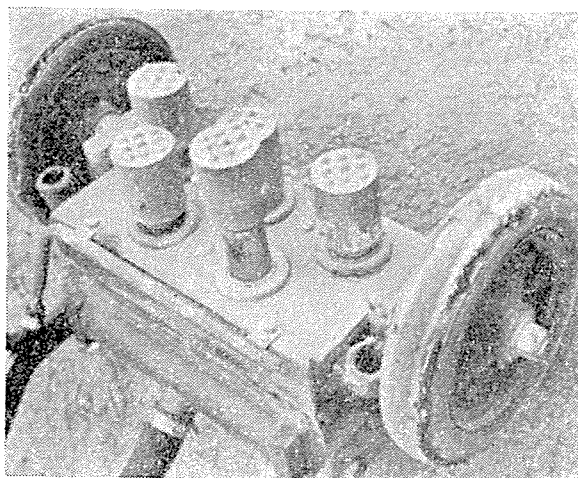
前述のロックブリュヌ・マントン高速道路の PC 橋には、すべてエポキシ系の床版防水が施工されている。PC ケーブルの保護のため、万一ひびわれが生じた場合の補修費や安全性を考えると、当初から防水層を施工しておくのがよいということで決定された。床版防水は

材料の選択、施工が非常にむずかしいということで、これらについては相当きびしい基準がきめられている。そして材料試験、施工試験、現場管理試験などがエクザンプロブランス (Aix-en-Provence) の地域研究センターで行なわれていた。

防水層接着にもっとも重要なコンクリート面の前処理には、サンドブラストあるいは写真—8, 9 のような機械を用い、最後にエア—による細粒分の清掃を行なう。



写真—8 床版防水のコンクリート面前処理用機械



写真—9 床版防水のコンクリート面前処理用機械

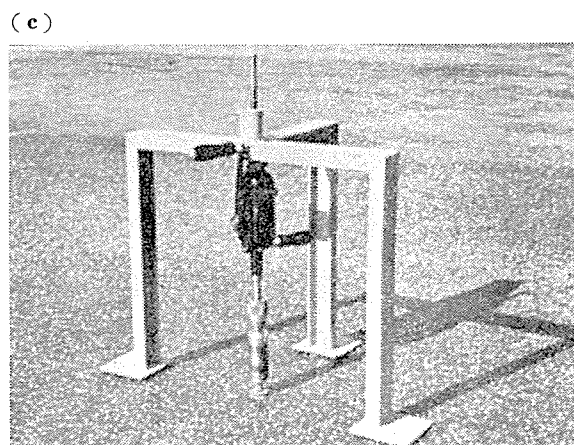
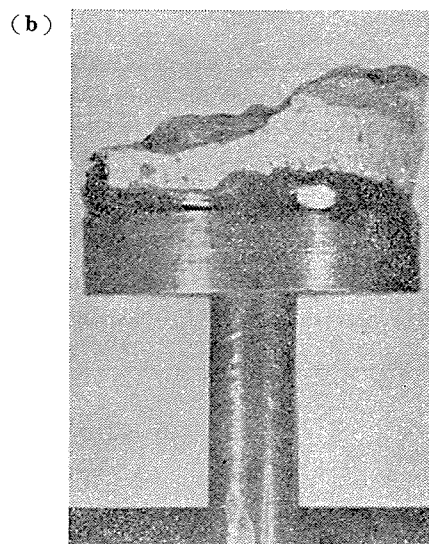
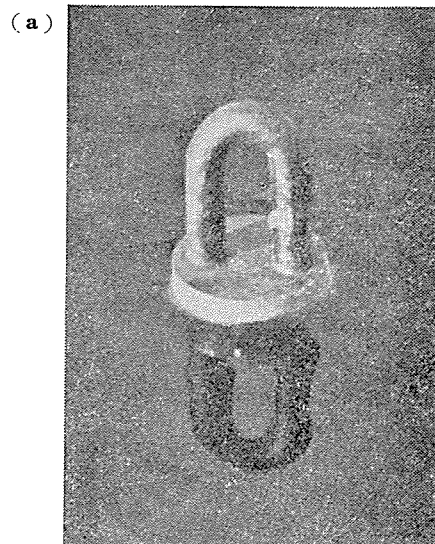
エポキシ系防水材の施工は吹付工法で、1~1.5 mm の厚さに仕上げられる。そのあとシリカサンドを散布する。

現場での管理試験としては、普通の力学的試験や膜厚試験のほかに、ひびわれ安定性試験や写真—10 に示すような抜取り接着強度試験などが行なわれている。

担当技師の説明によれば、防水層による舗装への影響はないということであった。

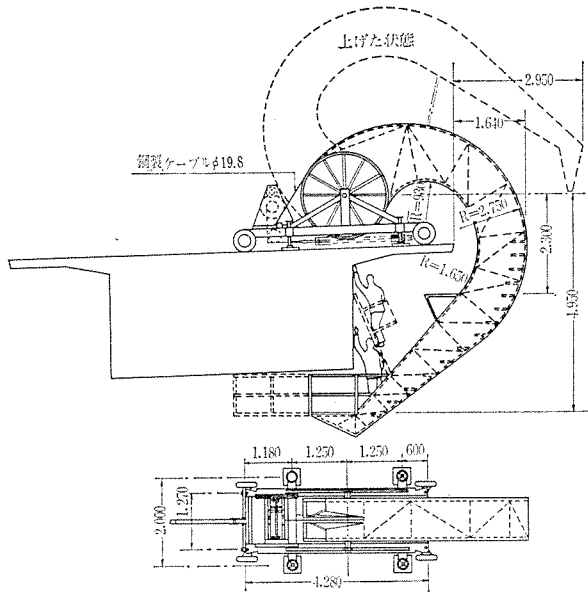
(2) 移動式補修用足場

図—10 に示すような移動可能な点検あるいは補修用



写真—10 床版防水層の接着強度検査

の足場で、分解することなく運搬および使用することができるものである。箱桁下面での安全な利用が可能である。



図一〇 移動足場<<エスカルゴ>>

む す び

わずか 10 か月たらずの留学と充分でない語学力のために、フランスの PC 部門の研究、設計、施工の表面だけをながめてきた感は否定できないが、日本とかなり違った面もみられた。

研究部門では、公共事業省の中央土木研究所(LCPC)が中心になって研究の管理を行なっているが、地方研究

所、地域研究センターの研究組織が充実していて、現場の管理試験をも高度の技術水準で行なえる人的余裕もっている。そして、全国的に重複した研究が行なわれないようになっており、長期的研究体制がしかれている。

PC 橋の省力化施工のために、自走式吊支保工による施工が進められているが、この施工の経済性を検討する場合に、1 社だけ、1 工区だけで検討することは極力さけている。例えば、ロックブリュヌ・マントン高架橋で 1970 年に G.T.M. 社が製作し、使用した自走式吊支保工は、1972 年春には CITRA 社が借り受けてマルティグ高架橋の施工に使用している。このような場合、フランスは発注者側と受注者側の技術的な協力が行ないやすい国情にあるように思われる。

文中記載機関の住所

- SETRA : 46, Avenue Aristide BRIAND, 92 BAGNEUX
- LCPC : 58, Bd Lefebvre, Paris 15 e
- CEBTP : 12, Rue Brancion, Paris 15 e
- BCEOM : 15, Square Max-Hymans, Paris 15 e
- STUP : 66, Route de la REINE, 92-BOULOGNE-BILLAN COURT
- SEEE : Tour Europe CEDEX 7, 92 Paris LA DÉFENSE
- CAMPENON BERNARD : 42, Avenue de FRIEDLAND, Paris 8 e
- GTM : 61, Avenue Jules-Quentin, 92 NANTERRE

1973.4.26・受付

PC 構造物設計図集発売について

当協会では、先に「PC 構造物設計図集」の出版を企画し、本会編集、(株)技報堂発行所の形で出版しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致しております折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PC の設計・施工にたずさわる方々のご使用に便利なように、土木編 (32 編)・建築編 (28 編)・その他 (4 編) の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいますよう、おすすめ申し上げます。

体 裁 : B 4 判 133 ページ 活版印刷

定 価 : 1 500 円 会員特価 : 1 200 円

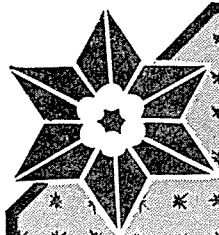
送 料 : 200 円

申 込 先 : 〒 104 東京都中央区銀座 2 の 12 の 4 銀鹿ビル 3 階

社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会

TEL (541) 3595 振替 東京 62774 番

東京製網製品



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
BBR工法鋼線
多層鋼より線 (19~127本より)

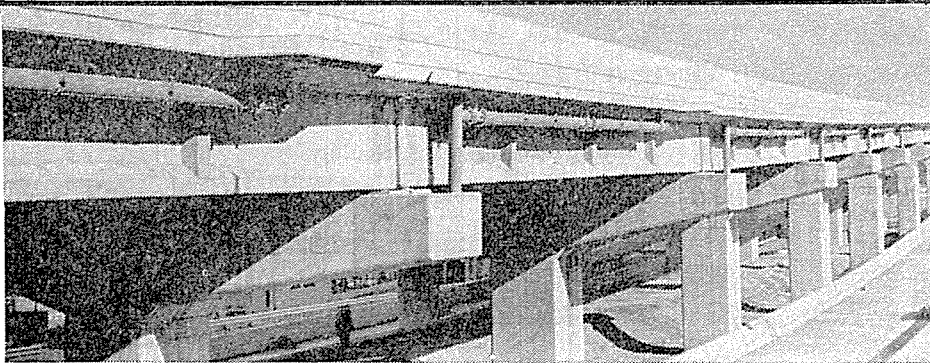
製造元 東京製網
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電話 (211) 2851 (大代表)



鋼弦コンクリート

設計
施工
製造



首都高速道路4号線

富士ピー・エス・コンクリート株式会社

(旧社名 九州鋼弦コンクリート株式会社)

取締役社長 山崎 劔 秋

本社	福岡市中央区天神二丁目12番1号	天神ビル (〒810)
	電話 福岡(092)72-3471~3・72-3468~9	
福岡支店	福岡市中央区天神二丁目14番2号	福岡証券ビル (〒810)
	電話 福岡(092)72-3475~6・72-3481~3	
建築事業部	福岡市中央区天神二丁目14番2号	福岡証券ビル (〒810)
	電話 福岡(092)72-3485~7	
大阪支店	大阪市北区芝田町97	新梅田ビル (〒530)
	電話 大阪(06)372-0382~0384	
東京支店	東京都港区新橋四丁目24番8号	第二東洋海事ビル (〒105)
	電話 東京(03)432-6877~6878	
営業所	大分営業所・宮崎営業所・広島営業所	
工場	山家工場・大東工場・関東工場・下淵作業所・筑豊工場・甘木工場・夜須分工場・大村分工場	