

BROTONNE 橋について

須 藤 誠*

1. ま え が き

現在フランスにおける代表的な鋼斜張橋としては、1975年10月に Loire 河の河口に架けられ、世界最長のメインスパン 404 m を有する Le Pont de Saint-Nazaire (サン・ナゼール橋) がある。PC斜張橋としては、1977年6月に Seine 河下流の工業都市 Rouen 市近郊に完成し、世界最長のメインスパン 320 m を有する Le Pont de Brotonne (ブロンヌ橋) があり、金色に施された斜材の姿も瀟洒にその美しく雄大な影を河中に投げ掛けている (写真-1)。

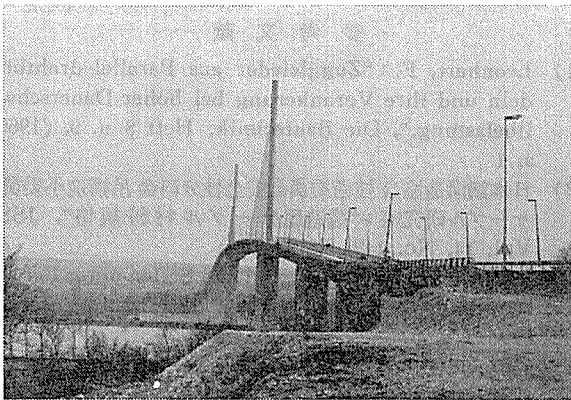


写真-1 Brotonne 橋

本報文は、先進技術国間でPC斜張橋指向の潮流の中にあるにも拘らず、我が国にとって全く歴史が浅いPC斜張橋の内、最も代表的な Brotonne 橋についての概要を纏めたものである。

2. 構造概要

斜張橋部の構造諸元は次のとおりである (図-1 参

照)。

- 橋 長：607.0 m (全橋梁区間長 $L=1\,278.4$ m)
- 支 間：143.5 m + 320.0 m + 143.5 m
- 幅 員：19.2 m
- 桁 高：3.97 m
- 支 承：ゴム支承
- 上部構造：PC 3 径間連続斜張橋 (道路橋)
- 下部構造：杭基礎RC橋脚、井筒基礎RC橋脚
- 主塔構造：RC単柱形式 ($h=70$ m)
- 斜材構造：1 面吊り準ハープ形式 (21本)
- 縦断勾配： $R=5000$ m
- アプローチ：PC連続桁 (9 径間, 3 径間)

3. 基礎構造

アプローチ部の基礎には小判形の場所打ち杭が用いられたが (図-2 参照), 主塔の基礎は、オープン工法により、連続地中壁内に本体としてのウェルが施工された。この工法の採用に当っては、経済性もさることながら、基礎がマッシュな物となるので漂流物や船舶の衝突に耐えられる強度を持つことと、基礎地盤の地質を直視しながら根入長を調節できることなどが考慮された。このウェルは、深さ 35 m の石灰岩に支持された外径 12.46 m の円形状である (図-3 参照)。

ウェルの底部は、高さ 7 m のベレー帽状の基礎であり、その中心には湧水による支持層の崩壊を防ぐため、 $\phi 80$ cm の孔部を有する。

4. 主 桁

本橋の主桁構造は、Maracaibo 橋や Polcevera 橋に代

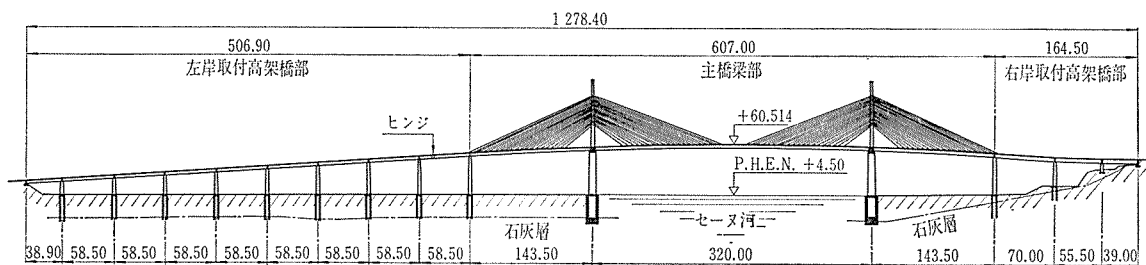


図-1 全体一般図

* 新構造技術 (株) 管理部

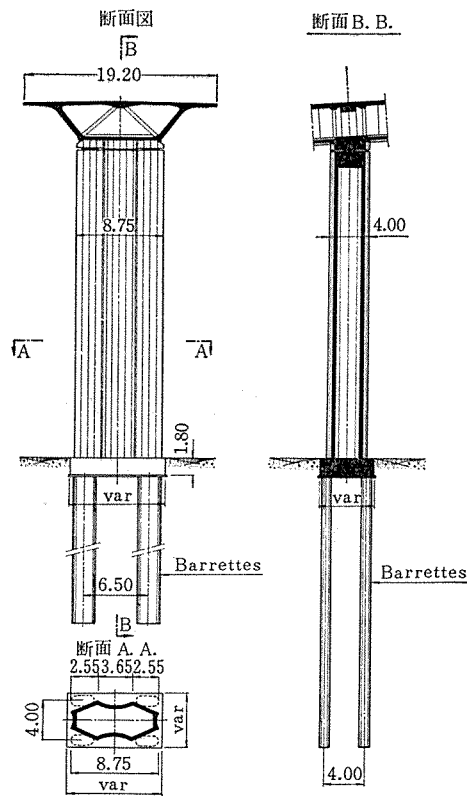


図-2 ピアー構造図

表される Morandi タイプの PC 斜張橋とは異なり、径間中に吊桁のない連続桁方式であるため、ネバリ抵抗のある高次不静定構造物である。本橋の場合、主桁を鋼桁とすれば、20% も建設費が高くなることから PC 桁が採用され、死荷重の軽減化と同時に空気力学的安定性を有する断面形状が検討された。その結果桁高 3.97 m、スパン桁高比 1/81 で、左右に 2.9 m の張出床版を有する薄肉の逆台形箱桁形式とされた (図-4 参照)。

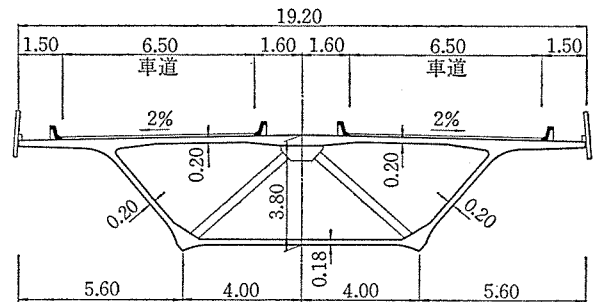


図-4 主桁構造図

この主桁の上床版は、6 m 毎に斜材によって弾性支承される。したがって、上床版の斜材定着部には、きわめて大きな応力集中が発生するが、これを防ぐため図に見られるような、30 cm × 40 cm の角柱からなる PC プレーシングを引張部材として用い、下床版およびウェブに

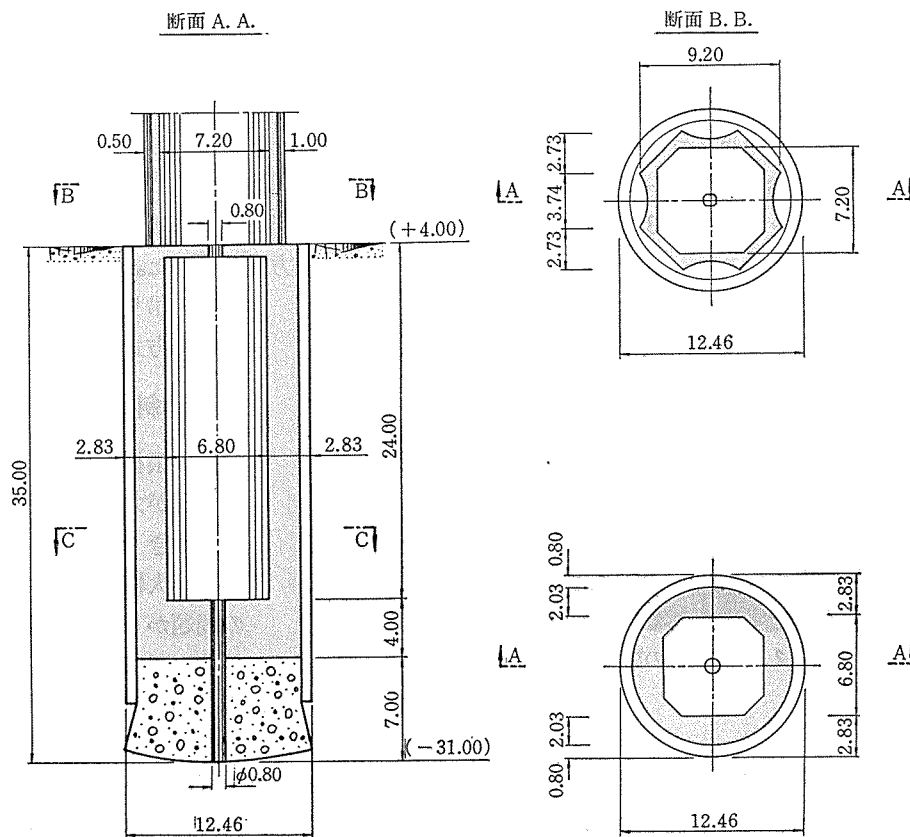


図-3 主塔基礎の構造図

も、直接斜材の引張力が分散されるようにしている。また左右のウェブは、長さ 3m のプレテンションのプレキャスト部材であるが、これは河川上の架設条件から要求される施工の省力化と、また風圧による振りセン断応力が大きくなることなどによって、プレキャスト部材とされ品質管理が図られた。

プレストレス用鋼材としては、Freyssinet ケーブルが用いられ、橋軸方向のプレストレスは 12 T 15 および 12φ8 のストランドにより、大よそ 70~110 kg/cm² が導入され、上床版の横方向プレストレスには、12φ8 のストランドにより、単位幅当り 70.6t が導入されている。また下床版の横方向プレストレスには、T 15 のモノストランドが、ウェブの鉛直方向プレストレスには 4φ8 ストランドが、そしてブレースングには 12 T 15 が用いられた (図-5 参照)。

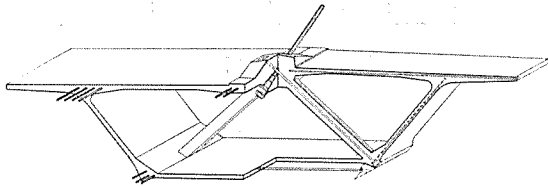


図-5 ケーブル配置図

主桁の施工は、一般的なキャンティレバー工法であり、主塔を中心に 3m ずつ左右に張出し、スパンセンターで併合する方法であるが、プレキャストブロック工法と、現場打ち工法が合わせて用いられた。すなわち、左右一組のプレキャストウェブを、主桁としての所定の位置に設置し、隣接している既設のウェブに取付けた長さ 3m の架設車内で、上下床版およびブレースングが現場打ちされた。施工当時の写真を写真-2, 3 に示す (1976 年 6 月)。

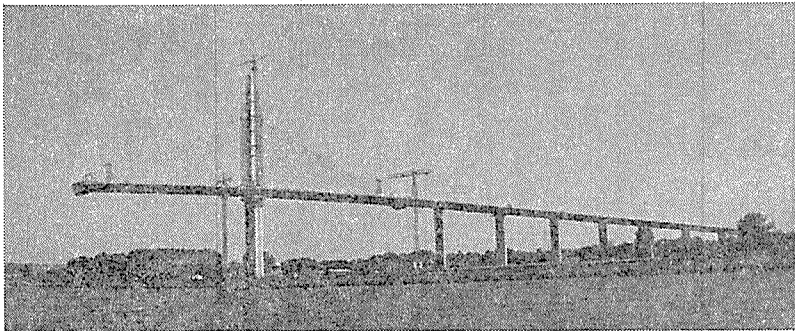


写真-2 斜張橋部の施工当時

5. 主 塔

主塔構造は、単柱形式の一面吊り方式で、主桁に剛結された高さ 70m の鉄筋コンクリート柱であり、地表面上 100m 以上 (全高 124m) の高さで風圧を受けるが、

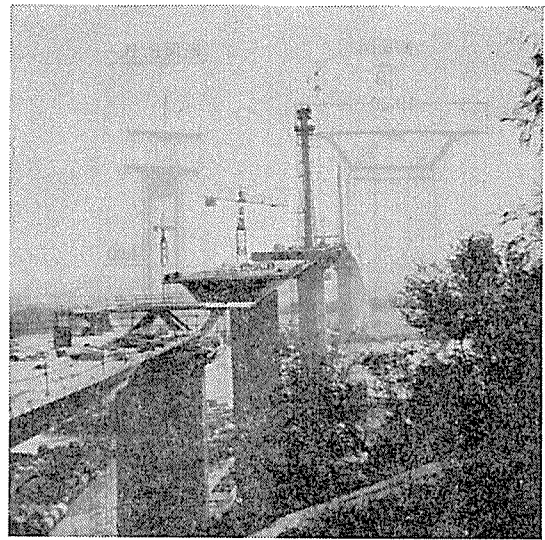


写真-3 アプローチ部の施工当時

脚柱部とはゴム支承を介して弾性固定されている。この柱形状は、横断面幅が $b=2.60\text{m}$ の一定幅であり、橋軸方向には $b=4.80\text{m}$ から $b=2.84\text{m}$ の変断面となっている (図-6 参照)。

この主塔の高さ方向には、径が $\phi 25\sim\phi 56$ 迄の異形鋼棒 (Tor 鋼) が用いられた。特にこの鋼棒の継手には、ガス圧接や重ね継手を用いず、改良型のスリーブ機構による定着ジョイント法が用いられた。この継手方法は、配筋前に鋼棒の片方へスリーブを冷間圧着し、配筋後このスリーブ内にエポキシ樹脂を充填してから、上方より別の鋼棒を挿入し組立てて行く方法である。図-7 に主塔のマスト付根部の配筋状態を示すが、鉄筋比は 3% となっている。

この主塔の脚柱部は、アプローチ部の脚柱と同様美観的配慮から異形八面体形状とされ、施工は完全なスライディングホーム方式とされた。しかし主塔のマスト部の施工は、吊り型枠方式ではあるが、打って替え方式が用いられた。

6. 斜 材

鋼斜張橋に比較して P C 斜張橋は、桁自重が大きくなることから斜材断面積が大きくなるが、活荷重による影響度合が大幅に少ない。したがって疲労の問題から、使用状態における斜材の平均引張応力度は、桁自重によるものが支配的なため、引張応力度の変動が小さく、斜材の高强度が有効に活用できる。本橋は片側の主塔当り、21組の斜材が準ハープ (約 $21^\circ\sim 37^\circ$) に一面配置されており、その長さは 84m~340m である。これらの斜材は、主桁アンカー部から主塔内の半径 3m のサドル上を通

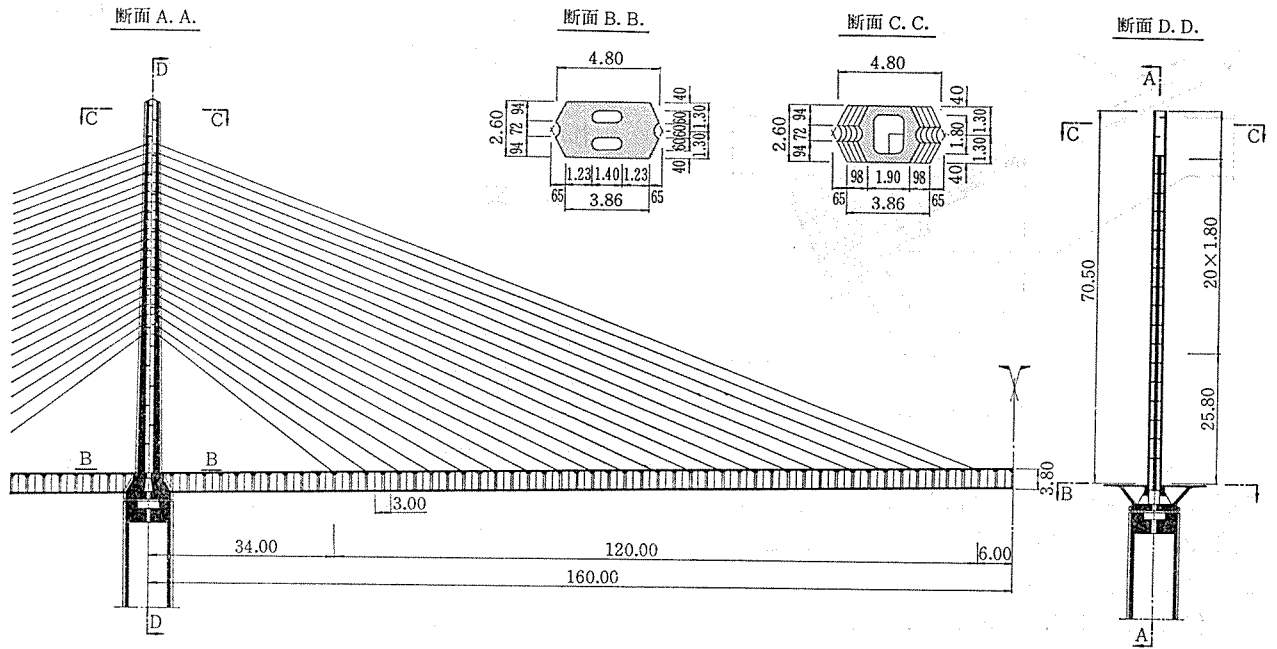


図-6 主塔の構造図

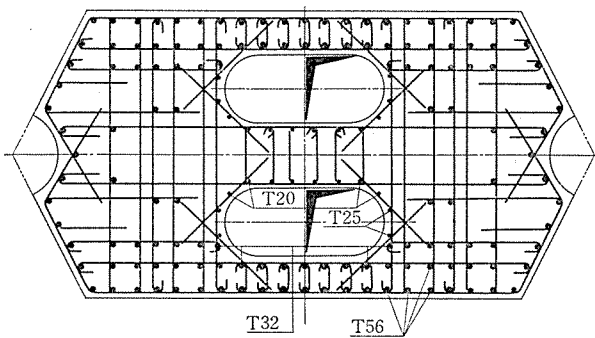


図-7 主塔のマスト固定部の配筋図

て、対称に他方の主桁にアンカーされており、鋼材としては、Freyssinet ケーブル T15.7 が、39 本から 60 本の構成で用いられている。応力的には破断強度の約 42 %、安全率 2.4 の範囲内でケーブルを使用している。

斜材の張り渡しは、足場を設けずに、すでに張り渡した直下のケーブルのケーシングを利用してガイドとし、所定位置に新たなケーシングを順次溶接しながら引き上げていく方法が用いられた。この中へ挿入されるケーブルは、リール巻で運搬され主桁内で曲げ矯正を施し、端部を集めたヘッドにパイロットケーブルを取付け、引き込み装置に

よって挿入された。この斜材は、3 m 毎の主桁ブロック 1 個置きにブレーシング位置で、540 ton 用大型ジャッキによって同時緊張された（図-8 および 図-9 参照）。斜材の構成ケーブルは、緊張後チャックで定着されるが、アンカープレートから 4 cm 残して切断され、その後グラウト漏れ防止用のキャッピングが施され、再緊張

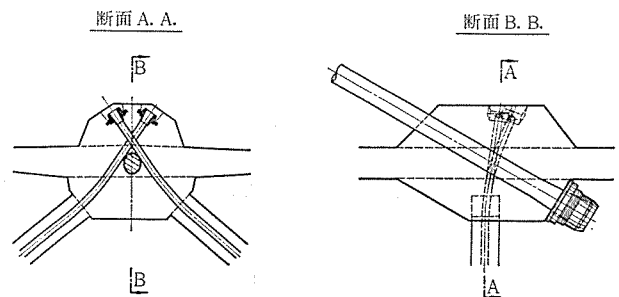


図-8 斜材アンカー部とブレーシング内ケーブルアンカーとの関係図

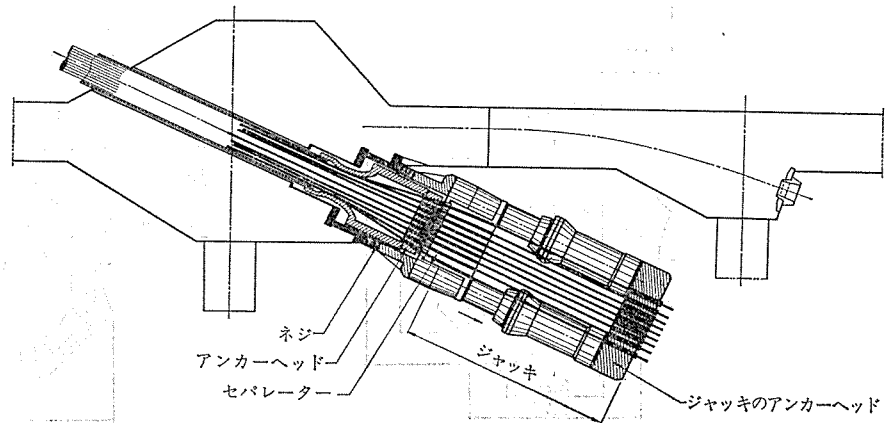


図-9 斜材の緊張状況

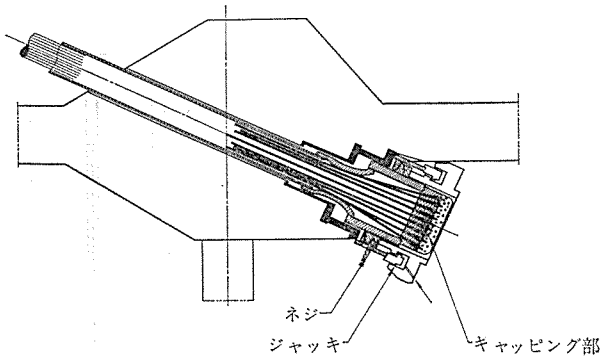


図-10 再緊張用ジャッキ

用の特殊ジャッキがスリーブにネジ定着された（図-10参照）。この特殊ジャッキにより、施工中の応力状態の変化や、クリープ進行に伴う応力変動に対処して、再緊張による調整がなされた。

各斜材は、 $\phi 165.1 \text{ mm}$ 、 $t=4.5 \text{ mm}$ を標準とするメタルケーシングの中に納められ、モルタルでグラウトすることによって、防錆効果と剛性の増加を計っている。このモルタルグラウトは、中空部が生じないようにケーシング下方から上方に向け行われた。グラウト長が一部に300m以上あることと、高低差が60m以上のものがあることなどから、グラウトとしては前例のない高圧と流量が必要になり、X線を用いての検査も行われた。

なお、左右の桁の閉合完了の前後から、顕著な現象として、風による斜材の振動が認められたため、全斜材下端約3mの位置にショック・アブソーバーが取付けられた。

7. 支 承

主桁と主塔の主な結合形式としては、構造系分類上、主桁と主塔のマストが剛結された形式、主桁と主塔が独立しておりマストと脚柱部が剛結された形式、主桁と主塔が独立しておりマストと脚柱部がヒンジ結合された形式などがあるが、本橋の場合、主桁と主塔のマストは剛結され、脚柱部とは10個のゴム支承を介して弾性固定されている（図-11参照）。この図に見られるように、主桁には支承部で1.30mの突起が設けられているが、これによって、横桁の一部として作用させるとともに、支承からの高い支圧応力を主桁に有効に伝達させている。

8. あとがき

筆者がフランス政府給費技術留学生として在仏中に、この橋梁の施主であった Direction Départementale de l' Equipement de la Seine-Maritim（セーヌ・マリタイム地方建設局）で研修を行い、短期間ではあるが本橋

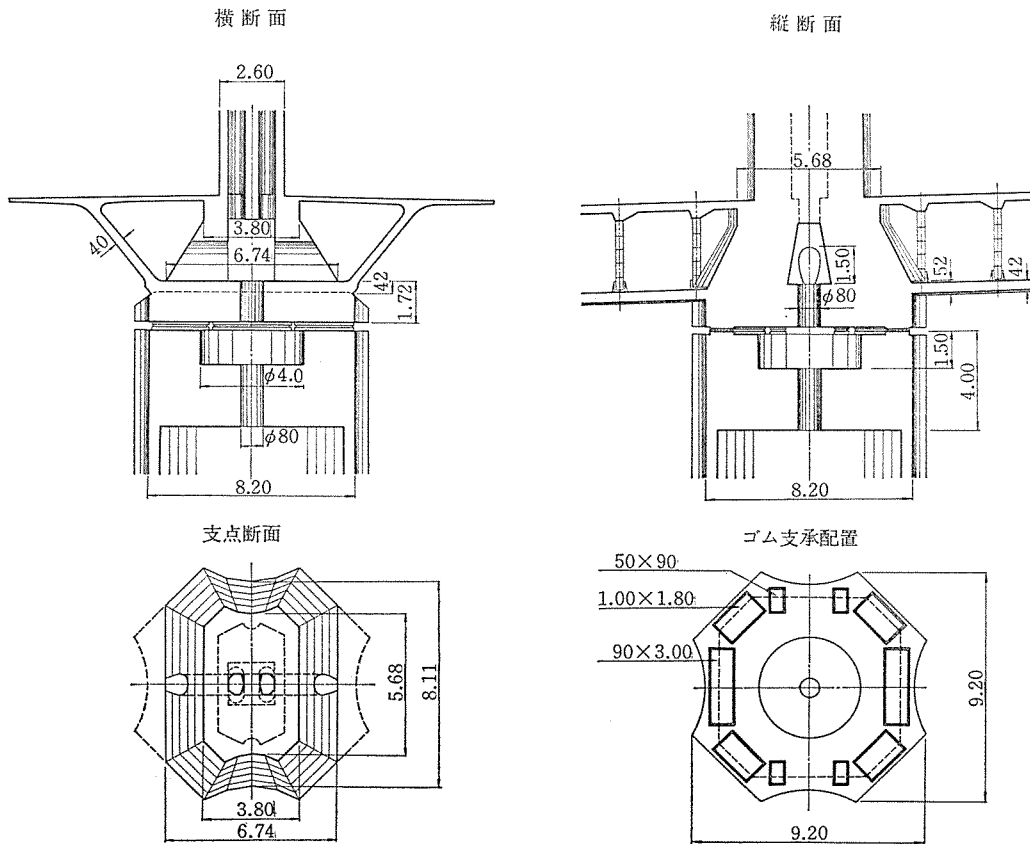


図-11 ゴム支承と支点構造図

の施工現場で研修する機会に恵まれた。当時、フランスにおける最初の PC 斜張橋の施工であったためか、箱桁内の多数のブレースに、プレストレス導入後クラックが発生したり、主塔頭部が下流側に僅か傾いてしまったり、架設時の主桁上面に約 10 cm 低い所ができた。いくつかの問題点を抱えていたが、歴史が培った高度の PC 技術力によって、無事完成し、今日 Caudebec-en-Caux (コードバックアンカー) 地方の産業振興に寄与するとともに、その地のランドマークとして、雄々しき構造美を Seine 河に映し出している。

Brotonne 橋に代表される PC 斜張橋は、近年の PC 技術の粋であるが、未だ多くの高度の問題点が輻輳して

いる。例えば、斜材とそのアンカーの疲労、全体構造系の耐震および耐風安定性、主塔などの RC 長柱のクリープ座屈、クリープの進行に伴う不静定力の移行、経済的な高強度材料の開発などが、現在研究段階にある。より長大で経済性に富み、また、より安定しねばりのある構造系を思う時、これ等の研究課題の早期実用化を痛感するものである。

参 考 文 献

- 1) J.L. Brault, J. Mathivat : Le Pont de Brotonne, Travaux, Février 1976.
- 2) 須藤 誠 : Brotonne 橋 (PC 斜張橋) の設計と施工, プレストレストコンクリート, Vol. 19, No. 2, Apr. 1977.

◀刊行物案内▶

PC 構造物設計図集発売について

当協会では、「PC 構造物設計図集」を本会編集、(株)技報堂発行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した折込付図を、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せよう、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 : 1500 円 会員特価 : 1200 円 (〒 200 円)
 申 込 先 : 社団法人 プレストレストコンクリート技術協会

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート構造の高層建築設計例

本書は、プレストレストコンクリート構造の普及発展のため、1977 年 10 月より 11 月に至り、日本建築学会関東支部と当協会が共催して行った建築の PC 技術講習会に使用されたテキストであります。

内容は 15 階建のオフィスビルを想定し、構造体の設計に当ってはできるだけ実際に建てる場合に無理のない、経済的で、かつ工法的にも特に難しい点のないようなものを選んであります。

若干余分があります。ご希望者は料金を添え、下記へお申し込み下さい。

体 裁 : B 5 判 63 頁
 頒布価格 : 1,000 円 送料 : 200 円
 申 込 先 : 社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会