

プレストレスト コンクリート発展の現状

— Tendances Actuelles du Développement du Béton Précontraint —

ルイ・ビュルジャ*

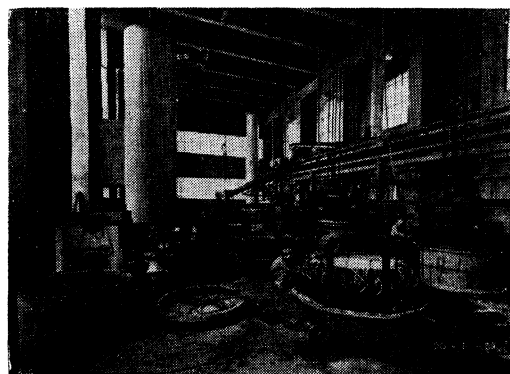
10年前PCがその工業的發展の段階に入った当時、この新しい建設材料の採択はきわめて簡単な理由で納得された。第一に、最も熱心かつ有能な技術者達が、構造物に与えるプレストレスの特殊な性質を認識していたこと、第二に、すべて技術的な選択を終局的に正当化する経済的な理由として簡単に要約すると、何よりもまず、セメント・鋼材のような、次第にその量を減少している材料を最も有効に利用することが可能であつたからである。この見地からPCは戦後の耐乏時代の経済には最適の材料として現われた。PCはその使用材料を節約させることいちじるしく、鉄筋コンクリートにくらべて、コンクリート容積の約10%、鋼材重量の約80%が節約されるのは普通のことである。さらに、最初の構造物への適用によつて紹介されたこの材料の技術的特性が明らかにされた。特殊な被覆をせずに水の漏らない壁を有する構造物を容易に施工することができた。化学作用に対する抵抗についてPCの顕著な耐久性が確認され、また技術者達はPC構造物は設計荷重よりもずっと大きい荷重(それが一時的なものであるかぎり)を少しも永久的欠陥を残すことなくうけうることを示した。この新材料に注目するようになった。新しい構造物に対してなされた試験によつての安全度について有利な諸性質が明らかとなつた。さらに、荷重を受けたときの構造物の状態を正しく予知することができるのは鉄筋コンクリート構造物の場合よりも容易であることがわかつた。要するに、PCは困難な諸問題の解決を容易にしたのである。例えば、鉄筋コンクリートでは実際上不可能であるような桁高の低い構造が可能となつた。コンクリートの適用範囲をこのように拡大することができた結果、従来はどうしても鋼構造物でなければならなかつた領域をも広く奪うことができるようになった。

さてここで、今や20年近くを経過したPC構造物を引用することにする。フレッシュネエ氏がその新しい方法を実際に適用し始めたのは工業試験所における長い研究の結果であつて、PCの第一期は1934～1940年の間である。このような最も古い工事中からは次のものを例として示すことができる。

1. 約3000本の電柱の製造 この電柱の大部分はボルドーアルカション間の鉄道信号柱として用いられた。この地方の気候は比較的暑く、湿気が多くまた大西洋から汚霧をともなつてくるこの地方特有の西風の、コンクリートへの侵食性の大きいことはよく知られている。約20年使用されたが、同時に用いられた鉄筋コンクリート柱が錆びついた針金カゴのようになって、多数のひびの入つたコンクリートの被覆に包まれているのに対して、PC電柱は現在も完全な状態にある。この電柱はプリテンション方式で造られた。この時期以後PC電柱が発展したのは特にアルジェリヤにおいてである。この地方のこの種電柱の数は約50000本近くである。

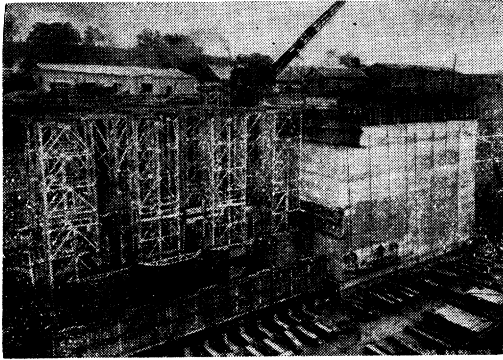
2. 同じ頃アルジェリヤにおいて用水路を設けるため平均直径1.3mの高圧管水路が約30kmにわたつて造られた。長さ6mの管はきわめて漸新な方法によつて造られ(写真-1)、コンクリートのすべての部分は高強度鋼によつて圧縮され、満足の結果を与えている。1954年地震に見舞われたアルジェリヤのオルレアヴィル地方にあるこの水路は、地震中ほとんど害を受けなかつた。同じころ、ドイツでは同じ原理に従つて下水路が実施された。詳細にこれを観察すると、この下水路を流れる特に侵食性のある汚水が、鉄筋コンクリートで施工された部分にくらべると、PC部分でははるかに微弱な作用しかコンクリートの内壁に与えていないことが明かにされた。これらの施工後、PC管製作工業はいちじるしく発展し、大きな径のPC

写真-1 フレッシュネエ工法による高圧管の製作
—Oued-Fodda (アルジェリヤ) の工場—



* パリ、フレッシュネエ STUP 社長
筆者のスペルは Louis BURGEAT

写真一2 プレスト港の PC によるケーソン工事



管の長さは延長 1000 km をこえる状態にある。

3. プレスト港において 1938 年から 1940 年まで埠頭の岸壁が実施された(写真一2)。この岸壁は PC のケーソンで造られている。乾ドックで造られたケーソンは浮かべられ工事現場近くに運ばれ、引揚げられるのであるが、その重量は 3900 t であった。使用された工法はポストテンション方式であり、この埠頭は現在も良好な状態にある。

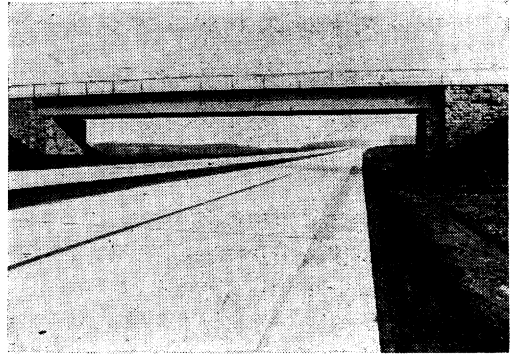
4. いくつかの重要な橋がフレッシュネエ氏によつてプリテンション方式で施工された。特にドイツのエルデ橋(写真一3)とアルジェリヤのダム橋が有名である。これら PC 使用の古い例やこれに続く多くの適用によつて、PC の発明者が考えていたその特性が矛盾していないことが示された。

現在この新工法を利用するのに適切な技術的諸理由は、一層強められるばかりであるが、プレストレンシング工法の発展は、厳密には経済的な理由のためにのみ始まったものであり、また現在もそうであるといえるのである。PC の採用が正当とされるためには、新しいこの技術が経済的であることが必要である。PC の水密性、化学作用に対する抵抗性、コンクリート容積の減少、安全性の増大等はますます当然の性質と考えられ、また技術の進歩がおのづからもたらすものと考えられている。PC の将来性は根本的には構造物の価格に関係するものである。

PC の実際の発展は第一に経済的要因に関係するものであることを知れば、その発展の一般的な傾向を決定することのむづかしさがよくわかる。実際、他の工法との経済的比較という主要な点についても各国によつて非常に異なっている。その原価の比較のための変数の一つは労力費であり、他の変数は鋼材の価格である。

5. 労力費 非常に大きな工事の場合で十全な現場の編成が行われるのでなければ、PC 工事は作業のくりかえしが多くかつほとんどがプレキャストの方式となるので、PC 工事では、鉄筋コンクリート工事が必

写真一3 エルデ橋(ドイツ)1938 年建設



要とするよりは大きな労働時間を要する。ところで労賃は世界中で異なるもので、極端な数字をもつてすればおよそ 50 円から 1250 円くらいの違いがある。

6. 鋼材の価格の比 PC の原価と鉄筋コンクリート、あるいは鋼構造物の原価とを比較するには、つぎのことを比較してみれば特に興味がある。

- a) 降伏点の高い PC 鋼線の 1 kg あたりの価格。
- b) 鉄筋コンクリート用の 12 mm の軟鋼鉄筋の 1 kg あたりの価格。

これら a), b) の比は

$$\frac{\text{降伏点の高い鋼材の価格}}{\text{軟鋼の価格}}$$

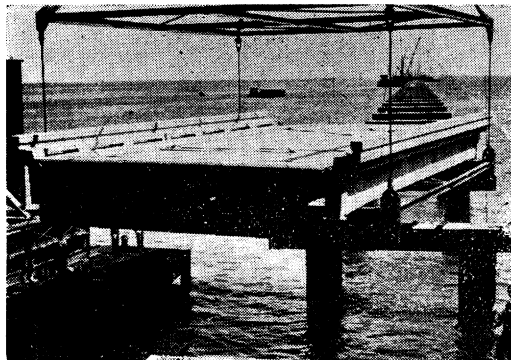
で、これは国によつて 1.4 から 3 までと変化する。さらに PC 設計上の規準とか慣行とかは、鉄筋コンクリートや鋼構造物の規準と同じように、世界的に大体においてでも統一されるにはまだほどとおいことであるから、設計示方法の混乱ということのうちに PC の価格の世界的変動の二次的原因があると考えられる。いくつかの例について上記の問題を分析してみることにしよう。

経済的諸条件はまず工法の選択に影響をおよぼす。プリテンションによる工法は、大量生産の小さな製品については、一般に十分経済的であることが示されている。その条件として、a) ベンチあるいは型ワクがくりかえし使用できることによりその償却が容易に可能となる。b) 運搬、取扱い、架設の設備が適当であること。

アメリカにおいてこの工法を採用するのに適当な条件が満足されることが多いので、プレテンション工法の適用についてはいちじるしい発展をしている。この傾向は工場労働者の労賃が現場労働者の労賃より高くないという事実によつて一層アメリカでは強くなっている。このような例で引用できる最もよいのは、ボンシャルトラン湖上の橋である。この橋は現在アメリカのルイジアナ州で建造中で、コンサルティングエ

写真—4 ボンシャルトラン湖の橋 (U.S.A.)

—プレキャストの橋板—

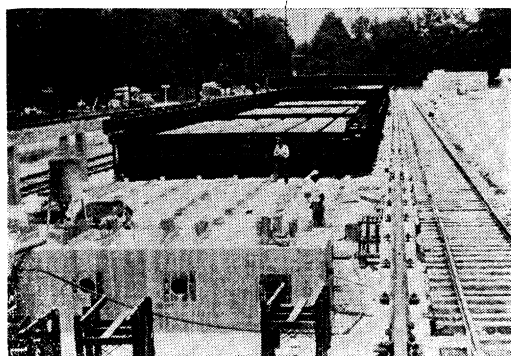


ンジニヤはパアマー・アンド・ベイカー・インコーポレーションとフレッシュネエ・カンパニーとである。この橋はその全長 38.616 km で PC を用いた橋の最長のものである。スパンは 17.10 m にすぎない。このように比較的短いスパンを採用したのは、ピヤーと上部構造の相対的な価格についての経済的な研究の結果であり、また、プレキャスト部材を用いることを希望するところからもきている。プレキャスト部材の長さは本質的には架設・運搬用施工機械の性能とその配置によるものである。ピヤーは PC であつて外径約 1.40 m の中空円筒である。このピヤーの頭部は現場打ちの鉄筋コンクリートの桁で結ばれる。上部構はすべてプリテンション工法による PC のプレキャスト部材である。この上部構は 7 本の主桁から成つている (写真—4)。主桁は横桁によつて結合されている構造である。プレキャスト コンクリートの現場は 1 日に橋を 8 スパンずつ施工しようように設備された。これは 1 日の作業によつて完成する橋の長さが約 137 m であることを現わしている。コンサルティングエンジニアは上記の構造物の設計において、鋼構造物とした場合との比較研究をした。このとき鋼橋としては現場打ちコンクリートの床版を有する約 24.50 m の長さの鉄桁を考えた。PC の経済的なスパンということについて、いささか速断のきらいがあるが決定したのは、工期に対する考慮が経済比較の研究において払われたからである。あとで作られた種々の比較検討の結果によるとポストテンションによる方が一層安価となるスパンは、21 m であることがわかつた。それはともかく PC 橋の最低のオフアは、鉄橋で床版を鉄筋コンクリートとした橋の最低のオフアよりも 27% 安かつたことである。現場には約 150 m の長さのベンチ 43 基をつくり、各ベンチは 17 m、8 スパンの桁を造る能力を有するものである (写真—5)。

ポストテンション工法の利点は上記プレテンションの場合と反対に普通の中程度の工事の場合にあら

写真—5 同 左

—17 m の上部構部材のためのベンチと型ワケ—



われる。中程度の工事ではプレキャストが経済的となるほど多数の部材が造られることはないからである。また長スパン部材の取扱いがとりわけむづかしく、長くて重い部材のプレキャストは少くなる。プレキャストの場所と架設現場とが近接して運搬が容易であるにせよ、また工場で作られた部材が架設現場のすぐ近くにおいてプレストレスングによつて結合されるような方法の建造物部材の場合にせよ、プレキャストの重要性にはある限界のあることを認めなければならない。

以下若干の実施例について一般の傾向を見ることにしよう。

西ヨーロッパ諸国の住宅建築計画は大きなもので、PC の建築部材が広く使用されている。プレテンション方式による PC は特に床と骨組の部材として用いられている。この住宅建築の計画について学校の建築がある。プレテンションとポストテンションとを併用した PC 建築工法は特に英国においてさかんである。なおフランスのような若干の国において PC がその広汎な使用方面の一つを発見したのは橋の再建においてであつた。スパン 77 m というような単純支承の桁の工事がある。ベルギーやオランダでは PC の適用はほとんどあらゆる分野にわたつている。大きい工場建築のほかに橋についても注目しなければならない。そのうちのあるものは非常に興味ある不静定構造物である。イタリアにおいても非常に多方面に PC が用いられている。南部地方のかんがい用パイプに楕円形の断面のプレテンション方式のパイプを用いたことは特筆しなければならない。これと同様なことがスペインにおいても採用されている。PC パイプの延長は約 600 km である。スカンジナビヤ諸国では、水槽、セメント倉庫、砂糖倉庫などの円形断面を有する建造物の施工のためにポストテンション方式が広く使われた。

筆者は PC がその発展の途上において明らかとなつた諸傾向のほかに、これを採用することの重要性に関

して既知のことがらを参考のために述べることにしたい。これについて統計の十分でないこと、および、きわめて大まかな程度のことを示すにすぎないことを断わっておかなければならない。PCの年間建設容積は概略的には求めることができるが、この全体の量を表わすのに一般的な単位を見つけることはなかなか困難である。筆者が作りたいと考えている1955年度の統計では1年間に消費された高強度鋼材の重量をそのパラメーターとすることとする。この重量を求めるとき次のことに注意しなければならない。

a) 鋼材を使わないでコンクリートにプレストレスを与えることができること これはたとえばフラットジャッキを用いる場合である。このようにしてプレストレスを与えたコンクリートの量は勘定に入れない。また種々のPC工法は種々の形や性能をもつた鋼材を用いている。デッカホフとウイドマン、リーマッコオルなどは90~100 kg/mm²の破壊強度の鋼材を使っている。またロブリンクのように小直径の線と200 kg/mm²近くの強度の線とからなるケーブルを用いているが、ケーブル全体の引張強度は175 kg/mm²近くである。しかし、ともかくテンション用鋼材としては降伏点の高い線と高い引張強度とを持つた線を用いている。一般的な単位を見出すために150 kg/mm²近くの破壊強度をもつた降伏点の高い鋼線と、同質のもの換算トン数を求めなければならない。

b) 鉄のカーテンの彼方にある諸国の消費量を見ることはできないこと 幸いにも少くともプレストレッシングに関しては、このカーテンが挙げられるだろうという見込みが私にはついている。筆者は最近モスクワ政府の要人がソ連技術者の代表をともなつての訪問を受けたが、来年早々STUPの技術使節をソ連邦に派遣することになったので情報の交換が始まると考えられる。ソ連の代表によつて述べられた希望、すなわち、フレッシュエコオン製造用の特殊な資材や図面を買いたいという意向は、ソ連で今日まで使われている技術が主としてプレテンションに関するものだとすることを裏書きするようである。1955年9月初旬にアムステルダムで開催された国際プレストレッシング協会の第2回会議中に、ソ連技術者は同国にあるプレテンション方式による家屋の部材のプレキャスト工場について述べている。

さて統計を立てるための条件が不正確なため詳細を述べることはできないので、プレテンションとポスト

テンションという基本的な区分によつて分けられている総計だけを示すことにする。1955年度にプレストレッシングに使用された鋼材の量は、いま定めた単位で表わすと、約70000tである。このうち45000tから50000tがプレテンション用、20000~25000tまでがポストテンション用となつている。大工事や大量生産が統計に対していちじるしい影響を有することを認めなければならない。大工事では先に述べたポンシャルトランは2年で施工を終るのであるがプレテンションによつて用いられる鋼材の総トン数に対してきわめて大きい影響を与える。実際長さ38600m、巾8.5m、その床面積328500m²のこの工事はそれだけで5500tの鋼材を消費する。目下建設中のパキスタンのカラチ港の拡張のための岸壁に関する計画は2300tの鋼材を使い、φ7mm用のフレッシュエコオン約22000個を用いることになる。

7. 日本のPCについての感想 日本で約3週間すごしたので筆者は日本のPCの発展状況について理解することができた。そこで筆者はその印象を要約してみよう。

詳細にわたつて見たPC構造物はみなPC工事実施のための注意がとられていることがわかり、また研究調査もきわめてよくなつている。普通の工事の成績としては多くの国のそれよりすぐれていると躊躇せずに言明できる。プレキャストの方式が日本では進んでいるが、これはPCを成功させるための決定的要素である、コンクリートの品質を確保する点ですぐれている。筆者は原価の引下げの可能性について示唆した。使用材料の正しい選択によつて(骨材の粒度、骨材の品質)、またもつと強力な振動によつて単位セメントの相当量を減少させるため、工場においてよく管理された製作ということに留意しなければならない。筆者はコンクリートの強度を減少させることなしに、現在のセメント使用量を減少することができると信じている。それは強力な振動を用いてコンクリートの締固めをする工場において当然行われるべきことである。

この講演を終えるにあたり聴衆のかたがたに、また、友情と厚遇とをいただいた日本の土木学会に対し、心から感謝する次第である。

(本文は昨年11月29日、国鉄映写室において行われた講演会の講演内容を、極東鋼弦コンクリート振興KKにより摘訳したものである)

プレストレスト コンクリート設計施工指針

吉田委員長はじめ30名の委員により30数回の会合と2年にわたる審議の結果成案を得て、昨年6月末に本指針を刊行することができました。B・6判68ページ、ビニールクロス製で会員にかぎり80円(〒20円)で頒布中です。

土木学会発行