

## 将来のPC構造 —— PC構造のユーザーの立場から ——

田村 幸久\*

### 1. はじめに

いわゆる構造屋ではない私にとって、いさか手におえないこのようなテーマを与えられ、だいふためらったのですが、良い機会ですので私なりに日頃考えていることを述べさせていただきたいと思います。私は、橋梁工学や構造工学、PC構造等の専門家ではありませんので、ここでは、それらの外側に居て、事業を実施していく中でPC構造物を使っていくという立場、すなわち「PC構造のユーザー」としての立場からみた、PC構造の将来像といったものをさぐってみようと思います。

PC構造に関する個々の材料や、技術の展望については、各論で詳しく触れられると思いますので、ここでは、それらを駆使して、構造物という形あるものに仕上げていくうえで重要な役割をもつ設計思想(理念)や、ユーザーとして将来期待したい構造などについて述べることにします。

### 2. PC構造の理想の姿

PC構造の将来を考えるということは、とりも直さずその理想の姿を求めることにつながるのではないかと思います。そして、それは、各人によって、その人の価値観や、技術観などによって必ずしも同じではないと思います。そこでまず、本論に入っているいろいろと意見を述べる前に、はじめに私がイメージしている私にとってのPC構造の理想の姿を示しておこうと思います。

写真-1は、フレシネーの代表作品の一つであるフランス・マルヌ川のアンネ(Annet)橋です。私の考えるPC構造の理想を橋で表すとすればこの橋の美しいシルエットに重なるのではないかと思います。「ともかく美しい橋である。スレンダー、スマート、エレガント……いろいろな表現が浮かぶが適格な一語を決めるのはむずかしい。これらの橋はそれまでのコンクリート橋の重厚なイメージを一新させてしまったことはまちがいない」

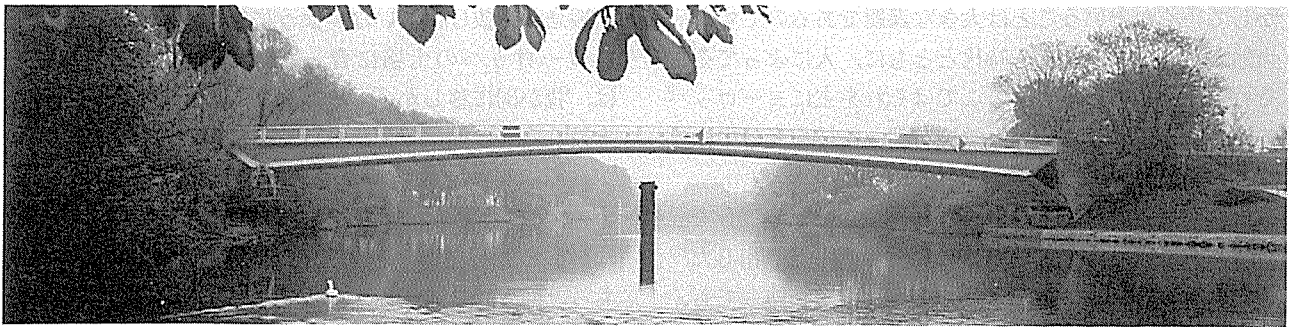


写真-1 フランス、マルヌ河のアンネ(Annet)橋：フレシネー作(写真提供：藤田堯雄)



\* Yukihisa TAMURA  
日本道路公団  
北海道支社  
支社長

(藤田堯雄：プレストレストコンクリート, Vol. 36, No. 3, May 1994, pp. 89~92) という評価を待つまでもなく、美しさにおいて定評のあるこの橋は、同じ河にかかる付近の他の4つの兄弟橋とともにフランスの田園風景の中にある一見何の変てつもない橋ですが、ここにPCという技術のエッセンスがすべて集約されているように思います。これら5橋はすべて同形式のプレキャストユニットを舟で現場に運び架設し一体化したPCブロック工法によるスパン76メートルの縦・横・垂直の

3方向にプレストレスを導入した橋梁で、PCの初期を代表する記念碑的な橋ですが、現在でも十分通用する工法であり、約50年前という古さを少しも感じさせないものをもっています。ゆるやかで美しい弧をえがく桁下のラインをもつ軽快でスレンダーな桁は、RC構造ではとても考えられないものですが、ひるがえって、我が国の現状をみると、いまだに、これに匹敵し、これを超えるような橋が見当たらないように思います。荷重の有無、仕様書など、言い訳はいろいろにできますが、50年前と比べて、材料、施工技術、設計法など、格段に進歩しているはずの現在においてなお、このような橋が生まれないという事実の裏には、PC構造という技術体系に対する認識の本質的な相違が彼我の間にあるようにも思えます。

### 3. 設計思想の変せん

材料とともに、それを活かすような設計思想は構造の形を生み出す両輪であり、将来のPC構造を考えるうえで重要なものです。

世界的に著名なスペインの構造家トロハは「構造材料の中でもプレストレスコンクリートが最も魅力に富み、さらに、今日までにおける最も複雑な発明でもある<sup>1)</sup>」と言っていますが、PC構造には、単に、ひび割れない鉄筋コンクリートという以上の別の材料ともいえる魅力がある一方で、型枠を組んでコンクリートを流し込むことで出来上がるという鉄筋コンクリートと共通する特質も備えています。そのため、設計者にとって、このようなPC構造の特性をどのように認識し、設計に活かしていくかということは大きな課題であるのですが、当然のことに、それは、時代とともに、人によってそれぞれ違ってきています。ここではそれを主にヨーロッパの構造家といわれる建築と橋梁を創った技術者の中に試みたいと思います。

ローマ人はセメント、砂、砂利と水を一定の割合で混ぜてコンクリートと呼ばれる人工的な石を造り出した<sup>2)</sup>といわれています。しかし、同じ石材系統を使っても、ギリシャ人は、柱と梁による構造を残し、ローマ人は、水路橋アーチやパンテオンのドームを残しました。材料の性質を知りつくした人間の設計思想の違いがこの結果を生み出したのです。近代の鉄筋コンクリートの起源は19世紀後半といわれフランス人のモニエが特許を得た「壊れない植木鉢」(1867年)あたりに求めることができますが、彼は後にこのアイデアを建築や橋に応用し始めました。また、ドイツのワイスとフライタークらはこのアイデアに理論的基礎を与え数値計算を可能にしてRC構造を実社会に普及させました。彼らはアーチ版、床版、階段、パイプ、水槽などを造りましたが、

これらはモニエの植木鉢も含めて、面的な構成要素が中心でした。一方ちょうど同じ頃フランス人のアネビクは、鉄の梁をコンクリートで覆うことを思いつき、これをもとに、やがて1900年のパリ万博に、柱と梁と床版とを一体的に鑄造して剛なコンクリート骨組による建物をたてました。さらに、近代建築運動の先駆者であるガルニエとペレーが剛な骨組の美しさと力強さを発揮させた新しい建築を発表したことで、このような骨組構造が主流になるにつれて面による構成としてのRCの特性は忘れられ、RC=剛な骨組という固定観念が建築家の中にも一般の人々の間にも定着しはじめたのです<sup>3)</sup>。このような同じRCという材料を用いた構造でありながら異なる2つの方向性に対して山本学治は次のように言っています。前者のモニエ、ワイス、フライタークらは、RCの独自の特性を平版や曲版を接線で結合したという意味で面と線の構造として理解していたことがうかがえるし、後者のアネビクらは、骨組構造が直線部材を接点で接合したという意味で「線と点の構造であると理解していたといえる<sup>3)</sup>」しかし、当時このような状況の中であってわずかながら、現場打ちのRC構造の独自性は、面の強さを構造要素として発揮させるところにあると考えていた人々もいました<sup>3)</sup>。それはスイスのマイヤールであり、イギリスのアロプでしたが、その流れはさらには、戦後のシェルやスラブ構造の隆盛、そして最近の折板構造へと続くことで面と線の構造が復権し、RCの線と点という固定イメージは、解けはじめたのです。ひるがえって我が国のコンクリート橋梁の設計思想や、構造に対するとらえ方は、まだまだ線と点、骨組的な観念から抜け出ていないように思えます。

ヨーロッパの土壌に育ったRCとPCの技術体系は、我が国に移しかえられ急速に育ちました。材料技術と設計計算技術は、先端を行くまでになったと思いますが、その精神的土壌である設計の思想、構造の哲学といった面ではまだ十分に我がものになっていないのではないかと思います。そのためには示方書などにおいてももっと面と線の構造に対する発想(後述のチューブ構造なども含めて)を発展させる必要性を感じます。

アネビクによるRCの梁は、強固な金属の補強をしてもなお曲げによる引張となる下縁に小さな無害なひび割れが生じるものでしたので、これに対しプレストレス工法を発明しひび割れを解決したのがフレシネーでした。

フレシネーは、アーチでの状態のように、水平圧縮力によりこのひび割れが消去できることを示し、そして一般的に高張力鋼線を用いて人工的に圧縮力を与える工法を開発したのです。しかし、フレシネーは、鉄筋コンクリートとプレストレスコンクリートを厳格に区別して

いました。すなわち、梁にプレストレスを与えるならば、すべての荷重がプレストレスによって抵抗されなければならないと強く主張したのです。しかし、何人かの工学者たちは、多くの構造物は、荷重の、ある部分をプレストレスで負担し、他の部分を鉄筋で負担するように設計した方がよいと認識していました（いわゆる PRC の設計思想）。オーストリア人、ポール・アベルズは、この考え方を早くも 1941 年初めに提案し、フィンスター・ヴァルダーは 1952 年にそれを橋梁に用いています。そして、クリスチャン・メンは、スイスで 20 年以上の間、広範囲にそれを用いました<sup>2)</sup>。レオンハルトも同様に、PRC の設計を提唱しています。我が国においても、近年、PRC の設計法が注目をあび、高速道路の中小高架橋などに盛んに適用されはじめています。しかしその動機は若干歪められて主として経済性にあり、鉄筋の密度を増して高価な PC 鋼線（我が国では鋼線が異常に高い）を減らすことで、トータルコストを引き下げようという価値判断が強く働いているように思えます。前者のフレシネーの考え方は、極端ないかたをすれば荷重は鋼線で受けもち、コンクリートは単に鋼線の空間的位置を固定し部材の形状を形成するスペーサーであり、かつ鋼線を包む腐蝕防護材であるともいえます。後者は、鉄筋コンクリートという一体的な材料を鋼線で補強したものと考え、鋼線は骨格ですがそれを包むコンクリートにも筋肉としてそれなりの補強が施されている複合材料として考えているとみることができます。私の直観ですが、同じ寸法、外形の材料でもその補強材の剛材（鉄筋と鋼線）が、太く少ない本数で一ヶ所に集中しているのと、細く多数が全体に密に分布しているのとでは、荷重強度は同じでも、最終的な壊れ方や、ネバリ強さにおいては後者の方が優れているのではないかと考えています。分野は違いますが、鉄筋補強土、テルアルメ、ジオソイルなどの補強土工法などにも類似点を感じます。

このようなフレシネーの主張は、必然的に彼の物の見方を狭くした<sup>2)</sup>ともいわれますが、最近造られる PC 構造物（橋梁）にみられる傾向にも、意味は少し違いますが、力と材料の役割分離の設計思想が読みとれます。すなわち、エクストラドーズド橋や、外ケーブル方式の桁橋、さらには、ウェブを鋼のトラスに置きかえた外ケーブル併用の PC 複合構造桁などにみられるように、引張材として PC 鋼線を最も効率の良い位置に配置し（場合によっては、材料中においてそれに圧縮力を与えるというより、外に出して引張材として特化させる）、鉄筋コンクリートはより純粋に圧縮材として使い、あるいはそれらをより効率よく配置するために他の材料を複合して用いるという考え方です。これは、その機能的な外観が好

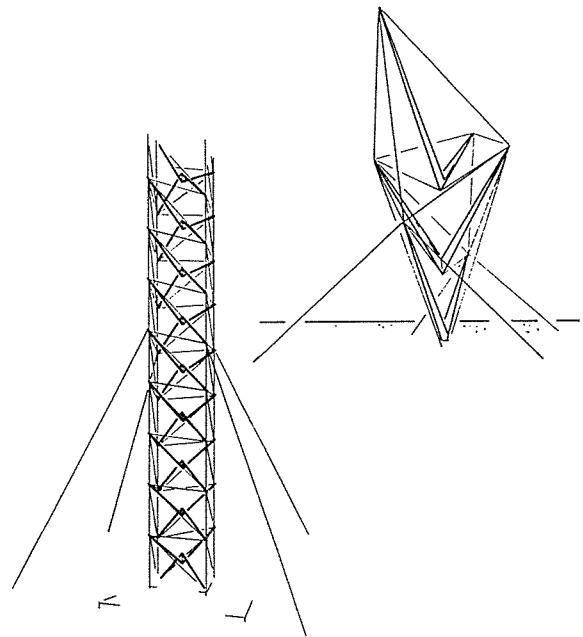


図-1 圧縮材と引張材による複合構造（ブリュッセル万国博（1958 年）出典の複合構造による信号塔（左）、モニュメント（右）；文献 4）より）  
V 形の圧縮材とケーブルの引張材による複合構造によるマスト。V 形材はケーブルの上ののり、さらにケーブルによって立体的に補剛されている。

評な斜張橋や、各種吊り構造の流行と相通じるものがあり、新鮮な形の構造物を生み出す原動力となっていると思います。このように、力の性質（圧縮、引張、曲げ）に応じて、それを最も適した材料に分担させそれを形の上でも明快に示すという傾向が盛んなようにみえます。このような設計思想に通じる極端な形として、PC 構造ではありませんが、図-1 のような圧縮材と引張材による複合構造が、実験的、先駆的に試みられている例がありますが、将来の PC 構造の方向の一つを示唆するものであると思います。しかし、現状は少しこの方向に偏りすぎであり、もう一方のコンクリートと鋼線との一体的材料としての PC の特性を活かした設計思想の発展が弱すぎるようにみえます。「最良の材料を用いて工場で作成したプレストレストコンクリートは、全然違う材料で造ったかと思われるほど非常に撓み易く高い耐力を持った細い構造部材の製作を可能にする」<sup>1)</sup>——この 45 年以上前のトロハの PC に対する認識を再び思い出してみることもまた必要で、現在の我々は、このことにあまりに関心になりすぎているようです。今後、プレキャスト部材の活用も含めて、この方面での設計思想の展開・強化が必要と思われます。

#### 4. 期待される材料と技術

このような設計思想を実際の構造に適用し、形として実現するには、それを可能とする、新材料や新技術が必

要となるのですが、今回のために、関係者にヒアリングしてみたり、雑誌の情報等<sup>5)</sup>を調べたりもしてみました。実に様々な期待と目的(動機)の下に、様々な性能をもつ材料、技術の開発研究がなされていると強く感じました。キーワード的には、超高流動、超高強度、超軽量、超高耐久性、対塩分水分不浸透性、ひび割れ自己修復性、等のコンクリート、超高強度 PC 鋼材および鉄筋、不銹鋼材、アフターボンド、新素材(炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維)、長大化、連続化、省力化をめざす PC・鋼複合構造、PC・RC 結合技術、多径間連続化、ジョイントレス、超長大スパン、耐震、免震、利震、環境、景観等々、挙げきれません。

最近の、材料としてのコンクリートの技術的進歩、研究には、目ざましいものがあります。特に、種々の混和材(剤)によるコンクリートの材料としての性質の改良には、いろいろなものが出はじめています。すでに実用化されている超(高)流動性コンクリート(自己充填性コンクリート)はその一例ですが、私は、これに加えて超高強度コンクリートと、超フレキシブルコンクリートに期待しています。前者は、セメントの粒子形状、粒度分布、鉱物組成、超微粒子・微粉末による最密充填効果など盛んに研究されていますし、後者では、各種のセメント用ポリマー混和剤などによる改良が期待されます。スパン 80 m で圧縮強度 40 N/mm<sup>2</sup> から 120 N/mm<sup>2</sup> に増大すると PC 桁の重量を 45% に低減できるという試算もあります。これらの技術発展に、高強度軽量骨材などが加われば、超ネバリ強いコンクリート部材が出現します。たわみやすく折れにくくうすくて軽くて強いコンクリート材料は、工法や設計の自由度を飛躍的に高め

ます。もっともそのためには、従来の固定観念や仕方書にとらわれない柔軟な発想ができる頭が必要ですが。当面近い将来に、これらの材料を活用して実現したい構造としては、橋梁では耐震性の分野とチューブ構造があります。

現状の耐震設計、あるいは耐震補強の考え方は、あまりに強度に頼りすぎているように思えます。終局耐力など、破壊時のネバリに着目してきたのは良いのですが、このままでは、相当に、鈍重な橋が出現せざるをえないのではないかと心配です。軽くて強い上部工と、フレキシブルでねばり強いコンクリート部材を下部工の任意の部位に任意の強さで造り出し、さらには、超高強度鉄筋や鋼材、あるいは逆に、超低降伏点鉄筋などをうまく組み合わせる必要部位に塑性ヒンジを作り出せば、橋全体が変形することで地震エネルギーを吸収し、ゆれを制御(パッシブ制御)できる可能性があります。このフレキシビリティは、ジョイントレス化にも大いに活用できそうです。

もう一つは、チューブ構造の橋ができないかということです。かつて、道路交通騒音問題が深刻化し、橋梁においても高い遮音壁を設けなければならなくなったとき(この状況は今でも変わっていませんが)、遮音壁を構造物材で兼ね(ドイツには実例がある)られれば合理的であり、さらに思い切って全体をチューブ構造にできれば、遮音も完全であるし、デザイン上もおもしろいものができるのだかと考えたことがあります。写真-2 は、遮音が目的ではありませんがそのような数あるアイデアの一つです。今から 40 年以上も前のアイデアとは思えないほど新鮮です。新材料の出現次第では、このような

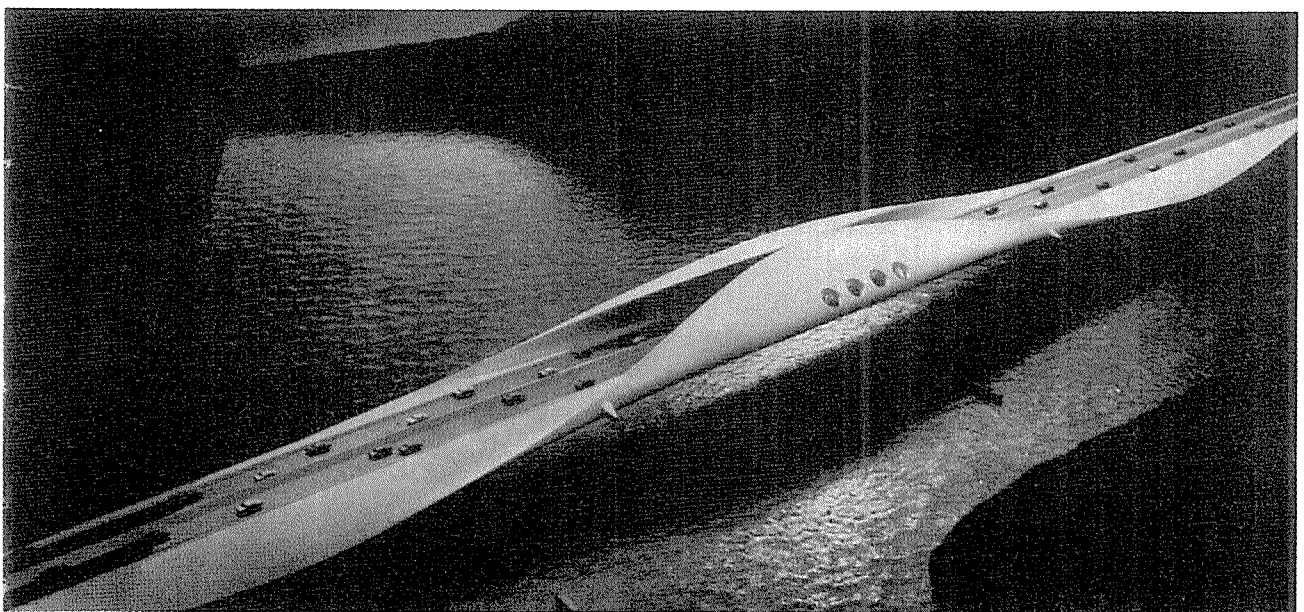


写真-2 チューブ構造の概念を発展させた曲面構造の橋の構造デザイン

(ライト提案のバタフライブリッジ?—筆者の記憶違いかもしれませんが御存知の方は教えてください—)

橋も実現可能な時代が来るものと思われます。

## 5. おわりに

このように、将来のコンクリート材料とPC構造の発達には、大いに期待できる場所があると思うのですが、材料も、工法も、解析、設計法も、あくまで、構造物を造る手段にすぎないのです。大切なことは、これらを駆使して完成される構造物が用強美を備えた真に魅力のある社会を豊かにするものでなければならないことです。したがって、このような将来のPC構造をめざすには、単に、これらの材料・技術の発展だけに期待するだけでは十分ではないと思います。これと並行して、コンクリートの本当の魅力を発見し<sup>6)</sup>、プレストレストコンクリートの材料としての性質を活かし切るような設計思想の幅広い展開が必要なのではないでしょうか。そし

て、まずは、今できることとして冒頭の写真のフレシネーの橋を超える橋を生み出す過程もまた必要なのではないのでしょうか。

## 参 考 文 献

- 1) トロハ (木村俊彦訳) : 現代の構造設計, 彰国社, 1960. 10
- 2) D.P. ビリントン : 塔と橋 (本四公団研究資料 未刊)
- 3) 山本学治 : 造形と構造と (山本学治建築論集 2), 鹿島出版会, 1980. 12
- 4) クルトジーゲル (川口, 花井, 片岡訳) : 現代建築の構造と表現, 彰国社, 1967. 3
- 5) (社) セメント協会, 特集/セメントのいろいろ, セメントコンクリート, No. 594, Aug. 1996
- 6) 田辺忠顕 : コンクリートの本当の魅力の発見, コンクリート工学, Vol. 34, No. 6, 1996. 6

【1996年9月27日受付】