

# 技術開発から見た期待されるPC技術者

竹田 哲夫\*

## 1. はじめに

21世紀にどのようなPC技術者が望まれ、必要となるか、日頃感じていることを、建設業の技術開発に関わる技術者の立場からまとめてほしいとの依頼が本誌編集委員からあった。筆者のように建設会社に所属して、PC構造物関連の技術開発に比較的長期にわたって携わってきた技術者は少ないのではないと思ひ、筆者の技術開発経験から何か参考になるようなことが提言できればと考え引き受けさせていだいた。

筆者の経歴を簡単に紹介させていただくと、1970年に建設会社に入社し、すぐに研究所に配属になった。1983年から1989年までの6年間設計部署に在籍したが、入社以来約32年間のほとんどを研究所で、コンクリート構造物、主にPC斜張橋やPC卵形消化タンクなどPC構造物の構造、耐震などに関わる研究、技術開発に従事してきた。

ここでは、筆者が過去に担当したPC構造物の技術開発のうち、代表的なものを紹介しながら、技術開発から見て技術者には何が必要かということを考えてみるとともに、21世紀のPC構造物とは？ 必要なPC技術とは？ ということ予測しながら、そこに期待されるPC技術者の姿を思い浮かべてみた。

なお、技術開発といっても、立場によっていろいろな捉え方がありと考えられるが、建設業という立場から見た技術開発ということで述べさせていただく。

## 2. 筆者の技術開発経験から見たPC技術者

ここでは筆者が直接経験した代表的なPC構造物の技術開発を振り返りながら、PC技術者として望まれる姿勢のいくつかについて概観してみる。これらは、恐らく21世紀になっても、PC技術者の基本として望まれるものと思われる。

### 2.1 自ら進んで体験する

筆者が、PC構造物の技術開発に最初に関わったのは、入社した1970年で、PCPV（プレストレストコンクリート原子

炉压力容器）の技術開発であった<sup>1)</sup>。PCPVというのは、原子炉の安全性、経済性あるいは建設方法などを考慮して、PCを利用して作製した原子炉压力容器であり、当時、欧米においてはすでにいくつかの原子炉で採用され、実用化されつつあった。

筆者は開発チームの一員として、主にPCPVの設計の妥当性および安全性を確認するための模型実験技術の習得および確立を目指した技術開発を担当した。残念ながら、わが国では、PCPVは実現することはなかったが、写真-1に示すようなコンクリート模型実験の計画・準備・実験・データ処理・評価などを通して、PC構造、計測・試験、コンクリート物性など、PC構造物の技術開発を担当するうえで基本となる多くの事項を学ぶことができたと思っている。

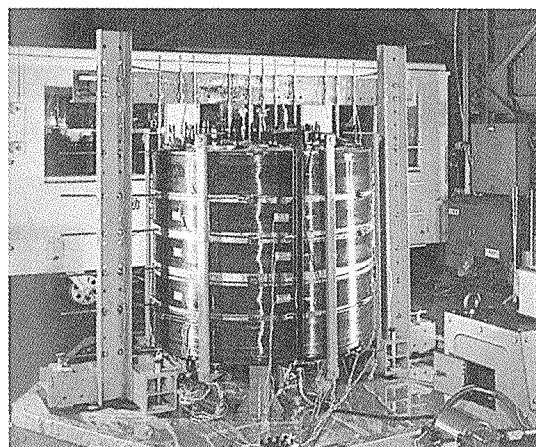
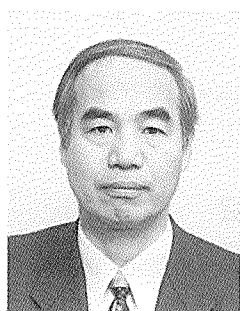


写真-1 PCPVの模型実験

今考えると幸いであったと思うが、その頃は実験などの手助けをしてくれる気の利いた外注先がなく、若手研究員ということで先輩研究員の指導を受けながら、ゲージ貼付け、鉄筋組立て、コンクリート打込み、プレストレス導入、材料試験などの作業を直接自分で実施することがほとんどであった。多くの失敗を重ねたが、このときの体験がその後の業務にも役立っている。とくに、トラブルや納得のいかない結果については、自らの失敗体験を思い出すと、原因や対策を考えやすい場合が多い。時間の経過に伴い改良・進歩していても、技術の本質は変わらないことが多い。本を読み、先輩たちの話を聴くのももちろん重要だが、一度、自ら体験すること、これが最も重要と確信している。

最近、業務の効率化などの理由から、外注化を進めている機関が多いと思うが、少なくとも一度は自らの手で触れ、目で見て確かめることが重要であり、指導者はそのよ



\* Tetsuo TAKEDA

鹿島建設(株)  
技術研究所 土木技術研究部長

うな機会を設けるべきであり、本人も多忙でも機会を見つけて積極的に参加する気持ちが必要であろう。

これは、技術開発だけでなく、ほとんどの業務にも恐らく当てはまると思われる。

## 2.2 基準や示方書の思想を理解する

次に、筆者が本格的にPC構造物の技術開発に関わったのは、1975年頃のPC斜張橋の技術開発であった。当時コンクリート橋として世界一のスパン240mを誇る浜名大橋（写真-2）が建設されていた。しかし、この浜名大橋の橋脚柱頭部での桁高が13.7mにも及ぶということから、筆者の所属会社では、PC桁橋によるこれ以上の支間の長大化は経済的に限界と判断し、次世代のPC長大橋として、西欧で実績が増えつつあったPC斜張橋に注目し、技術開発に取り組むことになった。

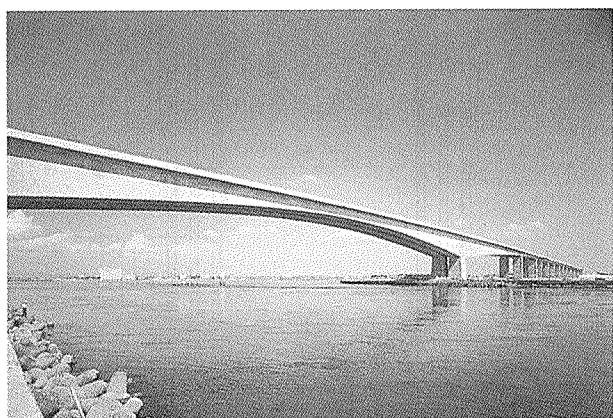


写真-2 浜名大橋

当時、海外の実績を調査するとともに、PC斜張橋の設計に関わる耐震性、耐風安定性、クリープ・乾燥収縮の影響、外気温変化の影響、衝撃係数などについて検討を行った。

とくに、注力したのは、耐震性であった。西欧で実績のあるPC斜張橋と言えども、耐震性についての検討はほとんどなされていなかったわけであり、世界屈指の地震国日本に導入するにあたっては、耐震性は最重要課題と考えた。しかし、現在は、PC斜張橋と言えは動的解析で検討するのは当たり前であるが、当時のPC橋の耐震設計はすべて震度法による静的解析であり、関連の基準や示方書にもPC斜張橋に関する記述はほとんど見られなかった。したがって、PC斜張橋の動的解析プログラムの開発から始め、PC斜張橋の構造・振動特性を調べながら、PC斜張橋の合理的な耐震設計法について研究開発を実施した<sup>2)</sup>。

耐風安定性についても、当時日本では吊橋や鋼斜張橋などでは重視され、風洞実験などによる動的検討がなされていたが、PC橋の分野では、ほとんど問題視されていなかった。しかし、PC斜張橋の構造・振動特性を考慮した場合、十分に検討すべき事項であることは明らかであり、吊橋などの基準を参考に、耐風安定性の評価法、設計法についても研究開発を進めた。

また、高次の不静定構造ということで、クリープ・乾燥収縮や外気温の変化がどのような影響を及ぼすのか、その

評価法、設計法に関する研究開発も行った。さらに、主桁が斜材による多点吊り構造ということで、鋼斜張橋での研究も参考にしながら、車両走行時の動的増幅率や衝撃係数に関する検討も行った。

以上のような項目の技術開発を進めるうえで、やはりポイントになったのは、基準や示方書の理解である。PC斜張橋のように、既往の基準や示方書にない構造物を建設しようとするれば、どう対応するのかということが求められる。具体的には、基準や示方書の思想やバックボーンをくみ取りながら、どの条文は適用できる、できないの判断をし、さらに適用できないならば、どうすれば適用できるのか、また、該当する条文がなければどうカバーするのかということが求められる。そのためには、ただ条文を読んで表面上理解するだけでなく、なぜこのような条文があるのか、その成立などを、学識経験者や関係者に教えていただいたりして、調査・理解するということが必要である。

このように、基準や示方書の思想やバックボーンを理解することが、新しい技術開発には必要であるが、これは、やはり一般のPC構造物の設計・施工を実施する場合も同様であると思われる。表面上だけ理解していて、とんでもない失敗に繋がった事例もいくつか見てきた。

PC技術者としては、表面上の理解だけでなく、基準や示方書の思想やバックボーンを読み取り、理解することが重要と考えられる。

## 2.3 構造物の実挙動を知る

PC斜張橋の技術開発を進める中で、幸いだったことは、技術開発をスタートしてから間もなく、わが国で最初の本格的道路用PC斜張橋である松ヶ山橋（写真-3）と、やはり鉄道用として最初のPC斜張橋である小本川橋梁（写真-4）



写真-3 松ヶ山橋

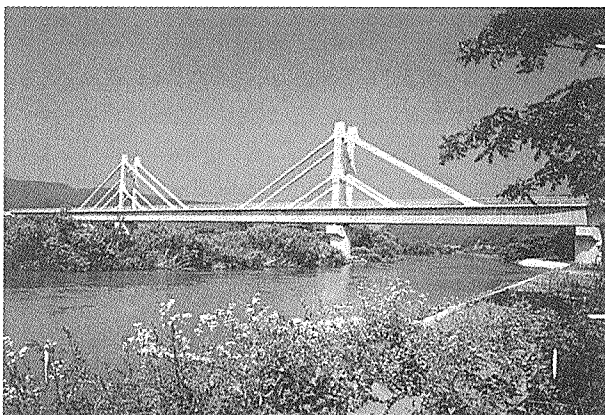


写真-4 小本川橋梁

を筆者の所属会社が施工することになり、筆者らも、設計法・解析法の妥当性を調査するために、実橋で多くの諸試験・諸測定を実施し、貴重なデータを取得することができたことであった<sup>3), 4)</sup>。

これらのデータに基づく構造物の実挙動を見ると、室内実験や理論計算の結果とは違う挙動がたびたび見られた。従来の解析法では評価できない現象の影響や、頭の中だけではなかなか思いつかない自然現象の影響、設計で仮定している値・条件が実際とは異なっていることによる影響など、その原因、理由を突き止めるまではたいへん苦労したが、分かってしまうと納得できる内容が多かったという記憶がある。

いずれにしても、このように構造物の実挙動を調べ、その結果を考察・評価するということは、技術者にとって、最高の勉強（技術力向上）の場になると言える。

なお、当時、コンピュータの発達により、構造解析プログラムなども進歩してきており、さらに、コンクリート応力計などが開発され、計測システムも高度化してきたことが、構造物の実挙動を調査・考察するうえで、大いに役立ったと思っている。

また、このような各橋梁での現地試験・計測による実挙動の把握、それに基づく設計法・解析法の改良の積み重ねが今日のわが国における約150橋というPC斜張橋の建設実績に繋がった一因でもありと考えている。

#### 2.4 考えれば妙案が出る

さらに、もう一つ、筆者が携わった特筆すべきPC構造物の技術開発としては、1983年頃のPC卵形消化タンクがある。PC斜張橋と同様、すでにドイツを中心に西欧では多くの実績があったが、日本に導入するとなるとやはり耐震性の確保が重要であり、耐震的な構造の開発が必要不可欠であった。西欧では、まさに卵形をしたタンクの下部を一部地中に埋めているだけであり、とても地震国日本では、成り立たないわけで、図-1に示すような杭基礎で支持する構造を考えた。ここで困ったのは、水密性・気密性を高めるためにPCタンクにしているのに、杭基礎構造にすると全断面圧縮（フルプレストレス）の状態を保証できない部分が出てくるということであった。わが国の下水処理場は軟弱な地盤上に建設されることが多く、地盤沈下などを考えると、杭構造で宙吊り状態にある地中部分は、全断面圧縮状態に必要な地盤反力を半永久的に期待するのは難しいということであった。したがって、地盤反力を期待せずに、その地中部分にいかにプレストレス、とくに円周方向のプレストレスを導入するかということが大きな課題であった。関係者で数日間アイディアを出し合い、ディスカッションを重ねた結果、図-2に示すように地中部分にはヘリカル状（らせん状）にPC鋼材を配置するという妙案が浮かんだ。この案であれば、地上部から緊張でき、円周、子午線の両方向に所要のプレストレスを導入できるということで、早速、この構造を基本に詳細を詰めることとした。コンピュータが発達していたので、ヘリカル配置されたPC鋼材のプレストレス計算、図面化もとくに大きな問題とならなかった。

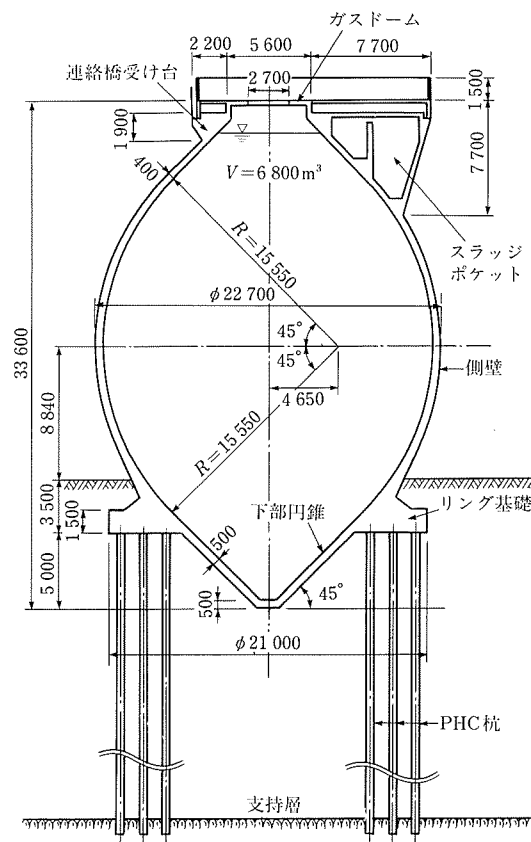


図-1 PC卵形消化タンクの杭基礎

(コンピュータによる自動図化)

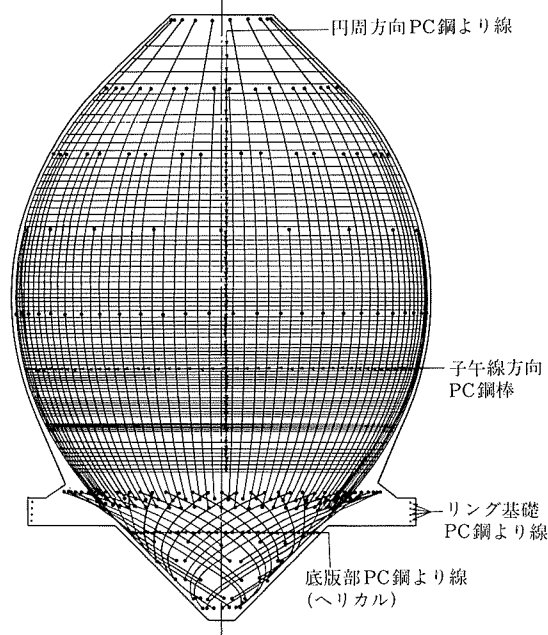


図-2 PC鋼材の配置

横浜市北部第二下水処理場のPC卵形消化タンク（写真-5）で、この新構造は実際に採用された<sup>5)</sup>。現在わが国には、各地に100基余りのPC卵形消化タンクが建設されており、大型タンクではほとんどこの構造が採用されていると聞いている。



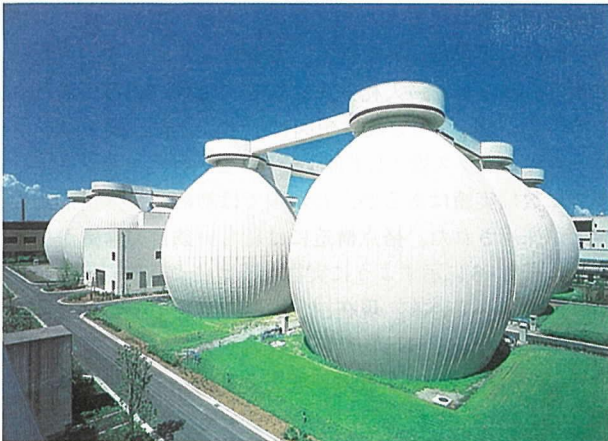


写真-5 横浜市北部第二下水処理場

新しい技術、構造を産み出すには、新しいアイデアが必要な場合が多いが、粘り強く検討していれば、面白い、有効なアイデアが生まれてくる可能性は高いと思われる。

### 3. 21世紀に期待される技術開発とPC技術者

ここでは、現状の土木コンクリート構造物の設計・施工等における先端技術の動向や課題等を踏まえながら、21世紀に期待される技術（開発）<sup>6), 7)</sup>とPC技術者について述べることにする。

#### 3.1 性能照査型への移行

コンクリート関連の設計基準・設計法について展望してみると、土木学会「コンクリート標準示方書」をはじめとして、「道路橋示方書」など、従来の仕様規定型から性能規定・照査型に移行しつつある。性能照査型に移行するねらいは、設計や計画に対する技術者の独創的活動をできるだけ活かしながら構造物の品質を確保することにある。設計の自由度が増え、新しい技術開発成果を取り込みやすくなるなど、技術者の裁量によるところが多くなると考えられるが、反面、技術者の責任が重くなると同時に技術力に対する評価が厳しくなることが予想される。マニュアル技術者でなく、性能照査型に対応できる高度な技術力をもったPC技術者が要求されるようになっていくと思われる。

#### 3.2 新材料・高性能材料の普及

今後、設計基準が仕様規定型から性能照査型に移行するとともに、設計基準による使用材料の限定も緩和されると予想される。その結果、設計技術者の裁量により、新たに開発された高性能材料が採用される機会が増加し、新材料の普及促進が期待される。

すでに多様化されているものもあるが、今後の普及が期待されるコンクリート系新材料・高性能材料としては、

- ① 高流動コンクリート
- ② 軽量コンクリート
- ③ 超高強度コンクリート
- ④ 高じん性コンクリート
- ⑤ 長寿命コンクリート
- ⑥ エココンクリート

などが挙げられる。

PC技術者にはこれらの新材料・高性能材料の特性・適用条件などを知って、適切な材料と構造を組み合わせた合理的なPC構造物を設計・施工する技術が要求されるようになると思われる。

#### 3.3 複合構造の多様化

従来から、PC構造物においては、コスト削減、省力化、工期短縮、品質向上などの観点から多くの新構造、新工法や新形式の構造物が開発されてきた。その中で、最近、とくに関心が高まっているのが複合構造である。複合構造はコンクリート構造と鋼構造の互いに良いところを組み合わせたものであり、PC橋の分野では、後述の鋼・コンクリート複合トラス橋をはじめとして、波形鋼板ウェブ橋（図-3）、コンクリート充填鋼管複合斜張橋（図-4）などが開発・実用化されつつある。とくに、波形鋼板ウェブ橋については、桁橋だけでなく斜張橋やエクストラード橋へと新しい展開を示している。これら複合構造の採用は、今後ますます増加する傾向が見られ、PC技術者には、PC構造だけでなく、座屈や疲労など鋼構造に関する幅広い技術も要求されるようになっていくと思われる。

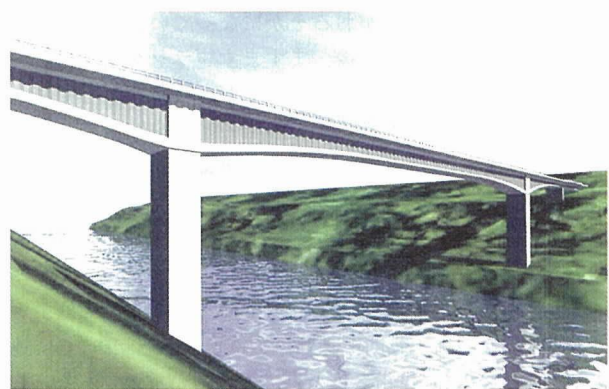


図-3 波形鋼板ウェブ橋

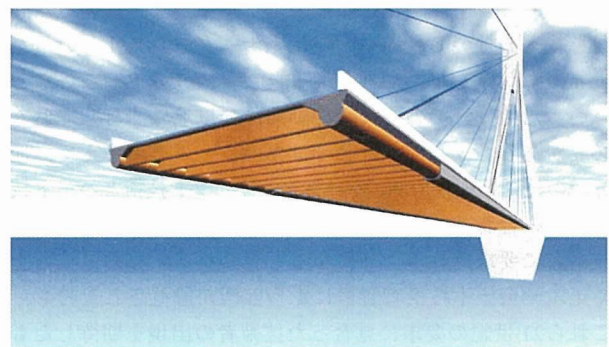


図-4 コンクリート充填鋼管複合斜張橋

#### 3.4 リニューアル工事の増加

1994年4月1日時点で、わが国の道路橋は、全長15m以上の主要なものだけでも12万7176橋あり、そのうちPC橋を含むコンクリート橋は約55%を占めると言われている。これらは、戦後の高度経済成長期に整備されたものが多く、建設後30年～40年を経過しており、近い将来、それらの老朽化に伴う維持・補修費や機能向上のための更新費は急激に増大し、わが国は土建大国から修繕大国になってい



くと予想されている。これを受けて、いつ、どのような補修・補強を行えば、最小限の労力あるいはコストで、橋の寿命を延ばすことができるのかを評価、判定できる技術が重要となってきた。また、できるだけ交通に支障を及ぼさずに、より精度の高い調査・診断ができる技術、より適切な補修・補強ができる技術の開発が期待されている。

これらの技術を組み合わせて、構造安全性、耐久性等を総合的に検討できるエンジニアリング力がPC技術者、とくに設計者には、必要な時代になると言える。

### 3.5 解析プログラムのブラックボックス化

最近、コンピュータの急激な進歩・発展により、構造解析プログラムをはじめ各種プログラムは高度化・迅速化し、瞬時に大量のデータ・情報を処理・提供してくれる。アウトプットもビジュアル化されて、ゲーム感覚で使えるようになっている。非常に便利になっている。このこと自体に異論はないのだが、問題は技術者が出てきた結果を正しく評価できるかどうかということである。極端なケースではあるが、作用荷重と反力が釣り合っていないような結果を提出してきた例もある。プログラムの操作自体はマスターしているが、どんな解析が行われているのか基本的な事項のマスターがおろそかになっていたために生じたものと考えられる。今後、ますますブラックボックス的な使い方が増えていくと予測されるが、技術者としては、結果を正当に評価するうえで、解析の基本を知っておくとともに、類似の事例と比較するなどチェックの方法を身につけておくことが非常に重要であり、この点について心がけておく必要があると考える。

### 3.6 総合化技術

先に述べたように、コンクリート構造物の設計・施工等における先端技術の動向や課題等を踏まえた個々のPC関連技術は、今後のPC技術者にとってももちろん重要である。しかし、21世紀においては、個々のPC関連技術に専念するだけでなく、少子高齢化、環境・エネルギーなどといった問題を抱える社会の動向や国際化・ボーダーレス化といった世界のすう勢、IT、AI（人工知能）、ナノテクノロジーなどといった他分野での新技術の動向に今以上に注目しておく必要がある。そして、社会や世界のニーズを踏まえて、他分野の技術と従来のPC技術あるいはソフト技術とハード技術を組み合わせてまとめていく技術、総合化技術がさらに技術者に要求されるようになっていわれる。なお、技術士や土木学会土木技術者資格に総合部門が設置されたのも、これら21世紀の要求に見合った技術者の出現を期待したものと呼応しているのかもしれない。

## 4. PC技術者を評価・育成する社会環境

PC技術者は当然技術ポテンシャルや技術スキルの向上に常に努めるべきであろう。しかし、技術（力）あるいは技術開発（成果）がもっと高く評価される仕組み、制度がPC技術者の地位を向上させ、PC技術者の育成・レベルアップに繋がるといわれる。21世紀はぜひそういう時代になってほしいと願っているが、そういう意味で、2001年3月に国土交通省近畿地方整備局から出件された那智勝浦道路・木ノ

川高架橋工事は注目される。この工事は、設計・施工一括方式の技術提案型工事であり、高架橋としては全国で初めて試みられた新しい入札方式である。10件の応募があり、その中から図-5の完成予想図に示すように、鋼・コンクリート複合トラス橋（上下部工一体）という、フランスではすでに数橋実績はあるが、わが国では初めての構造形式の橋梁が採用された。格点構造には新しい独自の構造が提案され、写真-6に示すように実物大模型による確認実験が行われ採用されている。現在、学識経験者を中心とした技術検討委員会および第三者機関の技術照査者による技術的な精査が行われ、2002年度末の竣工を目指して工事が進められている。



図-5 木ノ川高架橋（完成予想図）



写真-6 格点構造の実物大模型実験

もちろん課題もあるが、これらの技術提案型の発注体系が進展・定着化すれば、当然技術あるいは技術者の評価が高まり、技術開発の重要性が再認識されるという意味で、この木ノ川高架橋の結果が大いに期待されるものである。

また、先に述べたように、土木学会の「コンクリート標準示方書」や日本道路協会の「道路橋示方書」などが、従来の仕様規定型から性能照査型へ移行しつつあるが、これに伴い性能照査型の発注件数も増加することが予測される。この場合、技術を提案する側、提案された技術进行评估する側においても、高い技術力をもった技術者が必要になり、技術者の責任も重くなるが、技術者の評価向上という面において追い風になることが期待される。

## 5. おわりに

最後に、21世紀にはぜひ、と期待している事項について述べたい。

筆者の経験で述べたように、わが国における技術開発のほとんどが、西欧を中心にした諸外国で開発された技術

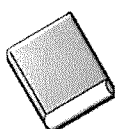
を、わが国に導入し、実用化するためのものであり、模倣から始まったということである。これは、PCだけの話でなく、日本の近代土木技術や他の産業技術のほとんどに当てはまるものであると思われる。しかし、2002年10月に大阪で、fib本大会が「21世紀のコンクリート構造」というテーマで開催されるように、日本のPC技術は世界から評価され、世界をリードするようなレベルに達していると判断される。また、実際に世界に誇れるようなPC構造物も、数多く建設されている。

したがって、21世紀には、日本発の革新的、独創的なPC技術、PC構造物を大いに産出し、世界に貢献していくべきであると思われる。そのためには、前述のPC技術者を評価・育成する社会的な仕組みや制度の改革も必要であるが、まずわれわれPC技術者自身がそのような意識をもち、日頃から技術を磨き、積極的に新技術に挑戦していく姿勢が必要になると考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 野尻 ほか：PCPVに関する研究開発（その1）～（その7）、鹿島技術研究所年報，Vol.20～21，pp.143～188，pp.149～185，1972～1973
- 2) 三村，竹田：PC斜張橋の耐震設計，プレストレストコンクリート，Vol.28，No.4，pp.15～25，1986
- 3) 三村 ほか：PC斜張橋の応力性状・振動特性などの実測と考察－三保ダム・松ヶ山橋の場合－，鹿島技術研究所年報，Vol.27，pp.19～26，1979.6
- 4) 三村 ほか：PC斜張橋の応力性状・振動特性などの実測と考察－久慈線・小本川橋梁の場合－，鹿島技術研究所年報，Vol.28，pp.37～44，1980.7
- 5) 竹田，百合山，吉岡：PCタンクの設計と施工（PC卵形消化タンクの設計と施工（1）～（3）），プレストレストコンクリート，Vol.31，No.4～6，1989.7～11
- 6) 竹田，和田：土木構造物－設計の立場から－～コンクリートの新技術，新構造の展望～，コンクリート工学，Vol.39，No.1，pp.17～21，2001.1
- 7) プレストレストコンクリート技術協会：たとえば「特集：21世紀のPC技術」，プレストレストコンクリート，Vol.43，No.1，2001

【2001年11月26日受付】



## 刊行物案内

- 複合橋設計施工規準(案)
- PC構造耐震設計規準(案)
- PC斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準(案)－抜粋－

(平成11年12月)

頒布価格：3点セット 5 000円 (送料 600円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会