

21世紀のPC技術について

本誌では、来る21世紀を前に、「21世紀のPC技術について」と題して、これからのPC技術を担う若手技術者の方々に集まっていただき、座談会を企画し開催しました。座談会のメンバーは下記のように、第一線で活躍されている方々です。誌面の都合上、掲載は座談会の要約となっていますが、熱のこもった議論が交わされました。どうぞお楽しみください。

●座談会メンバー（敬称略）

司会：出雲 淳一（関東学院大学 工学部 土木工学科 教授）
 出席者：西山 峰広（京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻建築構造学講座 構法学分野 助教授）
 廣松 新（建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室）
 津吉 毅（東日本旅客鉄道(株) 建設工事部構造技術センター 副課長 コンクリート構造グループリーダー）
 青木 圭一（日本道路公団 技術部構造技術課）
 清水 隆史（(株)建設技術研究所 東京支社 道路本部技術第4部 課長）
 渡辺 浩良（(株)ピー・エス 土木技術部 主任研究員）

自己紹介 —現在までのPCの印象—

出雲 「21世紀のPC技術について」ということで、将来のPC技術を担う若手技術者に集まっていただきました。これからを担う若手技術者の皆さま方に、今後PCがどうあるべきか意見を自由に述べていただきたいと思います。



司会：出雲 淳一氏

最初に、未来のことを語る前に、皆さまの自己紹介を兼ねて、これまで携わってきたこと、あるいはこれまでのPCについて印象に残っている良い点、悪い点などについてお話をいただけたらと思います。

西山 最初、学生のときに、どこの研究室を選ぶか、研究対象は何にするかということで、六車先生の研究室で、PCを選んだことが良かった点。もしかすると、それは悪かった点かもしれない。なぜかという、PCというのは、RCと比べて、すごく新しい技術。今まで鉄筋とコンクリートの中だけでゴチャゴチャやっていたRCの中に、別の新しい方法をもってきて、こんなこともできます、あんなこともできます、性能を改善することができますということが出てきた。そうすると、RCはすごく保守的で、後ろ向きの技術であるように思えて、PCというのは挑戦的な、斬新な技術であると思えてきた。そういう点でPCにはすごく良いイメージがあるわけです。

ところが、とくに建築の世界だけかもしれませんが、PC

というのはRCから分離した存在であって、RCの研究者集団と、PCのものすごく小さな研究者集団、こういう構図ができてしまっていて、その間の交流があまりとれない。そうすると、RC側はRC側で自分なりに研究される。PC側は、研究的に少しひとりよがりになって、RCなんか知らぬということになりやすい。そういう点は、PCの研究者として少し反省すべきだと思っています。



西山 峰広氏

出雲 私も同じ大学にいる者として、RCとPCのコンクリートを教えていても、割合的にPCが非常に低くならざるを得ないのです。そういうことはいかがですか。

西山 うちの大学は一応PCを看板にしていますので、ほぼ1対1の比率で教えています。そういう大学は割と珍しいのではないかと思います。

廣松 私は、学生の頃は計画系の研究室にいまして、建設省に入るときに、構造橋梁部の橋梁研究室に配属されました。今は4年目ということで、いろいろ勉強させていただいています。

若手集団といっても、私はとりわけ経験がなくて、PCに関して語るべきところはあまりないのですが、道路橋に関連して、少し資料をもってきたので、簡単に紹介します。図-1は、建設省が出している「道路統計年報」からもってきたものです。横軸が架設年次、縦軸が橋数です。折れ線は何キロメートル建設したかを表しています。縦線が鋼

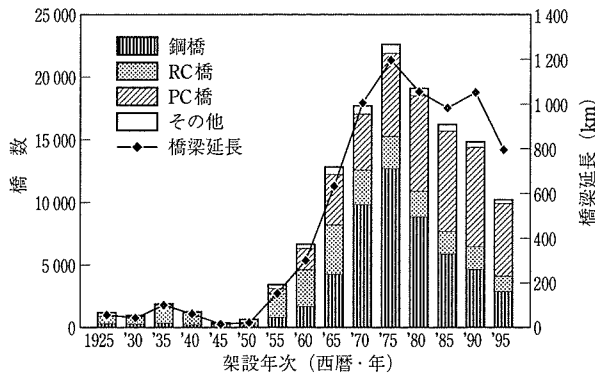


図-1 橋数と橋梁延長



座談会風景①

橋、アミカケがRC橋、斜線がPC橋です。PC橋は、1955年、1960年あたりから非常に増えています。1980年代以降は、道路橋全体としては建設数は落ちているのですが、PC橋は、それほど落ちていません。シェアとしては非常に上がっているということで、PCは、技術としては比較的に新しいのですが、道路橋の世界では順調に普及してきたというのが良かった点だと思います。

悪かった点は、後で話題に出るかと思いますが、グラウトの話とか、それを含めて耐久性、メンテナンスの面で課題を残しているところがあると思います。

青木 私が初めてPCと出会ったのは大学的时候。本四の生口橋の接合部をPCで締めるという実験をやっていました。あとはJHの東北横断自動車道の阿古耶橋では、上部構造の鋼桁と下部構造のRC橋脚を剛結構造としています。剛結の方法は、PC鋼棒を使用しており、この実験を担当したのがPCとの出会いです。

私、個人的には本当は長大橋をやりたいだったので、メタル業界に進みたかったのですが、なぜかコンクリート橋の割合が多い日本道路公団に入社しました。最初に、名神の改築の現場で、コンクリート橋の現場監督をやりました。

そのときに思ったのは、PCというのはまさしく専門分野である。緊張装置にしても、各メーカーでいろいろ違う。メタルは工場で作って運んでくるだけなのですが、PCの場合はどういう材料を使おうとか、いろいろなものがあって、そのいろいろなものに対して、それぞれの施工基準がある。非常に複雑だなと思いました。

今、本社の構造技術課におりまして、コンクリート橋の規準の作成や整備を行っているのですが、そこでもいろいろなメーカーをすべて包含するような基準を作らないといけない。PCは細部にわたって細かな注意を払わないと、設計にしても施工にしても難しいというのが、長年思っていることです。



青木 圭一氏

反省点としては、現場に

いたときは、コンクリートは締めてしまえば大丈夫だというのが正直な感想として持っており、今の立場になってみると、耐久性という点に関しては、現場のときはちょっとおざりにしてしまっていたという反省があります。今はPC鋼材の防食に関する研究が非常に進み、耐久性に関しては大分良くなってきていると思いますが、メタルに負けないような耐久性を得るために、もっと勉強していかなければいけないのではないかと考えています。

津吉 私、会社に入りましたのが平成元年で、JRになってからです。皆さんご存じのように、JRになってからはそれほど新線建設等はありませんので、土木分野全体のPC工事量に占める鉄道の割合はものすごく少ないですから、私はJRの人間としてはPCにかなり携わっている方だと思うのですが、道路の方に比べると、最近とはくに量的に少ないものですから、多くを語るには資格的にどうかという面があります。

過去の話をすると、若干役不足のところがあるのですが、国鉄時代には、昭和30年代からPC桁をかなり大量に採用してきたと聞いています。東海道新幹線では、スパン30mぐらいまでの橋梁にはかなり使ったそうです。ただ、それ以上のスパンの橋梁については、鋼橋が主流でした。当時は、鋼橋の騒音が非常に問題になったようです。昭和40年代になり、ダンパーストッパーが開発されて、PC橋を連続桁にしても、各橋脚に水平力を割り振れるような構造ができた。長大化が進んできたので、PC橋は鉄道騒音をクリアする意味で非常に役に立ったと聞いています。

私が個人的に実際に立ち会って経験した範囲で言いますと、会社に入って最初に現場に携わったのが、青森ベイブリッジの道路橋です。青森県から当社が受託した港湾道路の橋梁なのですが、青森駅の上を越えるということで、当時のPC橋としてはかなりの大現場で、各橋梁建設会社さんも、その道の優秀な方が現場にいられていて、個人的に非常にいろいろなことを教えていただいて、勉強になったという思い出があります。

その後は、PCの鉄道橋ですと、主に河川改修と連続立体交差絡みの架道橋以外にはあまりPC橋梁はないのですが、河川改修等で100mを若干切の中規模程度のスパンのものについては、名取川とか第一玉川とか、斜材をPC部材とした斜張橋を多く造っています。良かったとか悪かったという

意味ではなくて、鉄道には道路とはちょっと違う形式があるのかなという感じがしています。

過去の反省点という意味では、個人の経験から出るものではないのかもしれないのですが、私の構造技術センターという部署は、JR東日本の会社の中で、新設だけでなく、構造物のメンテナンス等も担当しています。先ほどから話が出ていますように、もう劣化しているものも結構ある。そういった意味で、長大化とか騒音対策という点では、社会にかなり貢献した技術ではあるけれども、一方、予想に反して耐久性が早く損なわれたものがあるのも事実です。そういった面に関わる技術者として反省して、次からはそのような構造物は造らないように方策を立てていくべきであるという思いをもっています。

出雲 今の耐久性についてのお話で、どういう原因が耐久性に一番影響を及ぼしていますか。

津吉 いろいろあるのだと思うのですが、一つは環境ですね。道路構造物もそうだと思うのですが、日本海側の構造物は塩害を受けている。あれを造ったときは多分そこまでなるとは予想できなかったと思うのです。当時は予想できなかった変状とか施工不良ですね。

過去にはグラウト不良に対しても、国鉄時代の最後の方に全部点検して補修したという話も聞きますし、最近造っている橋梁でも、かぶり不足が見受けられます。最近、とくにコンクリートの剥落がクローズアップされていますが、かぶり不足で鉄筋が錆びて、表面がちょっと浮いているというのが多々見受けられます。



津吉 毅氏

もう一つは、これも当時は分からなかったのですが、アル骨を受けた橋梁があるということです。PCの場合、セメント量も多いので、アル骨の被害をどちらかという受けやすい宿命をもっているかと思うのですが、そういう認識がなくて物を造ったということもありますし、未来に向けては、骨材として良いものがなくなっているという問題が、地域的にはあるみたいです。そういうものも何らかの別の方法を考えてクリアしていかないといけないのかなと思います。

清水 若手技術者ということでお呼びいただいたのですが、私はもう40歳になります。どちらかという中堅技術者の座談会なのかなということで来た次第です。

現場でPCを初めて緊張したとき、作業員が「緊張するときは緊張する」とよく言うように、ジャッキがぶっ飛ぶのではないかという恐怖感がありました。しかし、PCの緊張作業に慣れてきますと、青木さんがおっしゃったように、かなり安心できる構造物であるというメリットが見えてきました。そのほかに、PCはRCに比べて断面を自由に設計できます。たとえば、東名の新鍛冶屋敷橋や、大阪市の菅原城

北大橋アプローチ部は、PC箱桁橋なのですが、広幅員でウェブの本数を減らして、上床版に横リブをつけて横方向プレストレスを与えてやる。通常ですと、箱桁橋で3室～5室になるところを2室箱桁にし、かつ扁平断面にするなどの工夫ができます。私自身、設計と施工の両方を経験し個人的にはいろいろな先輩にも巡り会えたこともあって、プレストレスコンクリートはだんだん職業病みたいな感じで、個人的にも好きな構造です。

ただ、反省点としては、メンテナンス業務であちこち見させていただいている経験からすると、高度経済成長期、万博の頃の構造物、関西地区の材料の問題などが出てくる。21世紀に向けては、そういったものを架け替えていくのか、補修・補強を行って長持ちさせるのかという判断が求められます。

また、設計図面を描くときに、鉄筋を描く人とPC鋼材を描く人と、支承を描く人と伸縮装置を描く人、みんな別々の人がやっています。それを実際の現場にもってきたときに、混乱する場合があります。いろいろな所で錯綜してしまっ、どの鋼材を優先するのかなどの問題が起こり得ます。そういう失敗例はもっと表に出せばいい。同じ過ちを踏んでしまう可能性があるわけですから、失敗例を表に出して、若手に技術を継承していかなければ、プレストレスコンクリートの耐久性という問題は解決できないと思っています。

渡辺 私がPCに関わった経緯は、ピー・エスというPC技術を生業とする専門業社に15年前に入社したのがきっかけになります。

社内ではPC橋の設計、施工に携わってきました。社外では廣松さんがいらっしゃる建設省土木研究所橋梁研究室に1年間、受入れ研究員ということで、プレキャストセグメント橋の継目部の研究をさせていただきました。また、ドイツのディビダーク社に1年間研修に行ってきました。

現在では、通常業務のほかに、PC建協の技術部会に所属していて、建設省土木研究所との共同研究ですとか、新しい標準設計の提案などに取り組んでいます。

これまでのPCの良かった点としては、1952年に日本で初めてのPC橋である長生橋ができて以来、約50年経ちますが、道路橋や鉄道橋など、とくに橋梁分野のインフラ整備のお役に立てたのではないかと思います。プレテンション方式のJIS桁ですとか、ポストテンション方式のT桁の標準設計が整備されたおかげで、標準以上の品質の橋梁が全国に次々と建設されて、戦後の経済成長の基盤を支えてきたと考えています。

また、1950年代の片持ち張出し工法、1960年代から70年代にかけて押出し工法や移動支保工工法などが次々と海外から導入され、省力化や長大化に貢献してきました。また、その技術を単にまねるだけでなく、われわれも研究開発を続けて、われわれの技術として確立したという点があった点ではないかと考えています。

悪かった点としましては、皆さんもおっしゃっているのですが、高度成長期あたりから建設量が増えてきて、当初の精神、哲学を受け継がないままに、大量生産時代に突入

してしまったということがあると思います。今でこそPC構造物はメンテナンスフリー構造ではなくて、メンテナンスを続けながら永く使用していくものだという考え方だとか、きちんと造らなかったものが10年後とか20年後に何らかの不具合が発生する可能性が高くなるものだという考え方が一般的になりましたが、当時は、とにかく造れ、造れで、50年先、100年先にこの構造物はどうなっているという観点に立って構造物を建設するということが少し忘れられていたのではないかと考えています。グラウトの問題もその一つで、PC業界は21世紀に向けて、負の遺産を持ち越さなければならなくなったと考えています。

最近の動向

出雲 最近気になっている動向などはございますか。

津吉 昔は景観に対しそれなりに配慮されていたと思うのですが、鉄道の場合、あまり配慮しない時期があった。よく都市内の高架橋とかで、架道橋部に突然、桁高が4m～5mもある下路桁がガーンとかかかっていたりすることが多く見受けられる。そういうのが都市景観を乱しているということで、ここ10年ぐらい、いろいろなところで非難を浴びているものもある。

最近では、高架橋の連続性、たとえば鉄道ですと防音壁が付きまますので、下路桁にするときも、防音壁の高さに桁高を合わせて、ランガータイプにするという配慮をしています。

それ以外では、単純桁にすると、支承がメンテナンス上の検査項目になり、何年間に1回はきちんと、目視で検査しないといけなくなる。そういう面も省力化していこうと、40m～50mぐらいの架道橋ですと、たとえば3径間の

ラーメン構造にするという取り組みを現在行っています。

清水 ちょっと地味な例ですが、図-2に示すJH東北支社の西宮野目橋を紹介します。これは、7径間ほどのPRC橋と鋼桁の複合橋です。跨線橋で、鋼部材でP1～P2径間を飛ばし、いわゆる混合構造にして、ノージョイントとしています。さらに側径間をアーチ形状にして、軽量盛土(FCB)を行って、伸縮装置をなくしている。今後、伸縮装置の取替えがメンテナンスの費用を圧迫していきます。PRC、鋼部材とコンクリートの複合構造等を、こういうところで地味ながらも、採用させていただいている。

長大橋みたいな華々しさはないのですが、従来、保全にお金がかかっていたところを、いわゆるミニマム・メンテナンスを目指して一つ一つ考えていくと、こういうことも可能になる。設計基準も性能照査型に変わっていくという動きがありますが、地道なところから実行していくことが必要だという例です。

派手な例としては、PCという考え方を超えたかなり大胆な発想が必要です。地道なところと、派手なところという両方の面があるかなと感じています。

出雲 施工の面ではいかがですか。

津吉 先ほどあったように、図面上の話ですね。鉄筋と鋼材とストッパーがバラバラになっている。現状ではまったくそのとおりだと思います。われわれも設計する立場として、できるだけ現実的に組める配筋図をとということで、気をつけて見ようとしているのですが、量的にかなり入ってくる。それはPCだけではなくてRCも、ラーメン高架橋の梁と柱の接合部も同じ問題なのですが、ずっと前から問題だ、問題だと言っているけどあまり改善されていない。やは

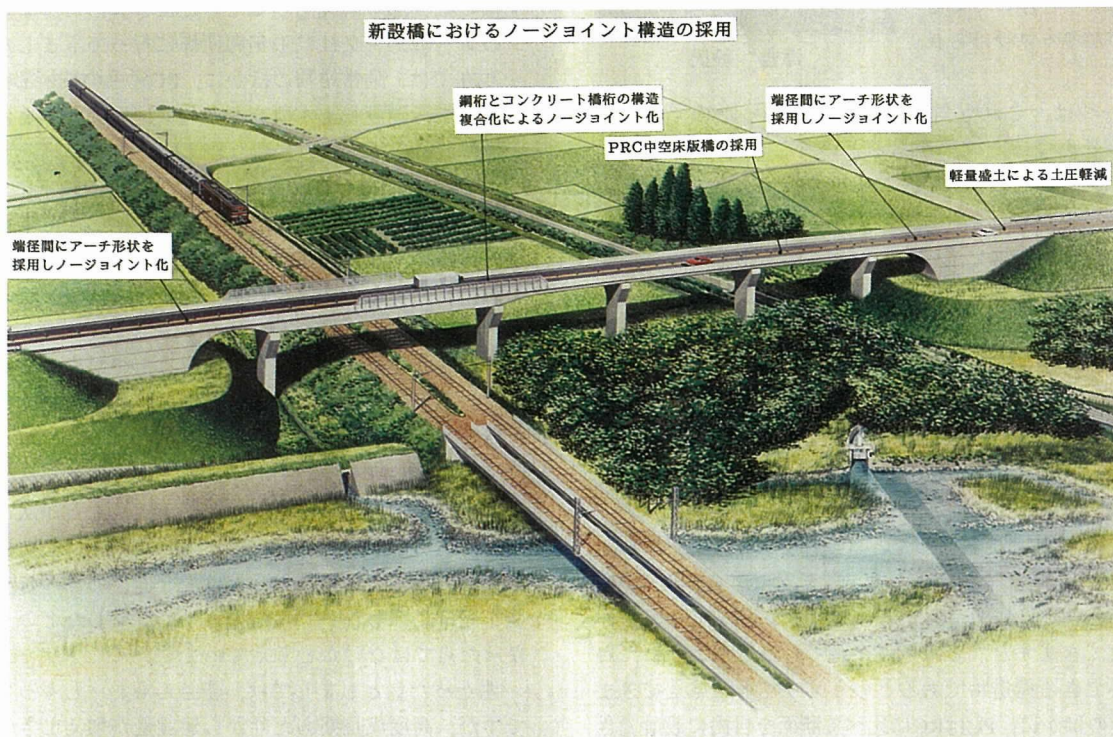


図-2 東北横断自動車道西宮野目橋

りそれでは良くない。施工性を上げていくためには、現実的にきちんと組める配筋図を作って、施工性も考えたものを設計していくということが本当に必要だと思っています。言うだけではなくて、実行していかなければならないという気持ちはもっています。

出雲 造る側として、図面を見たとき、どうですか。

渡辺 私は設計も施工も両方知っているので、非常に複雑です。

施工は、設計で平面的に書かれたものを組むのですが、当然組めないものが多少出てきます。これまでは、現場の裁量で対処してきました。今までは標準設計ですとかPCの箱桁橋ですと、あるパターンが決まっていたので、それで何とかなっていたのですが、最近新しい技術がどんどん出てきて、現場の方が追いついていないような気がします。

また、これだけ技術が進んできましたので、3次元CADを駆使して、3次元的に物をきちんと表現できる技術がこれからは当たり前になってくるのではないかと思います。



渡辺 浩良氏

清水 とくにPCは、施工の現場にも設計の現場にも、職人肌の方が1人か2人いると、頭の中に図面みたいな3次元の絵が浮かんで、これは施工できそうもないから、原寸でチェックしてみると言われて、確かにそうですねということで勉強してきた経緯があるので、今おっしゃったように3次元CADで実証してみることも大事だと思います。

また、ポンプ打設をうまくできるかが現場施工の勝負というところがあります。それは現場を管理する人の腕の見せどころで、夏場に温度が上がってきて、ポンプが詰まってしまうという問題に対して、今までどのような対処してきたのか、あるいは今後していくのが重要だと思います。流動化剤とか高流度コンクリートといった話もありますね。

津吉 確かにコンクリートの材料の話もありますね。高流動とか自己充填みたいなものを使うところもありますが、鋼材関係が図面どおりに組めないということ自体は、コンクリートを良くしたところで解決できない問題なので、それは発注側というか、設計者側できちんと対応すべき大きな課題だと思います。

出雲 耐震設計では、保有耐力で部材断面が決まる場合には、鉄筋量が多くなりがちで、PCになるとさらに複雑になると考えられます。施工性を考えて設計を行うというところまではあまり浸透していないように思われますが。

津吉 柱部材は、帯鉄筋が従来よりも倍近く入るために、高流動コンクリートを示方しているのですが、本当に鉄筋どうしがきちんと組めるのかという問題に関しては、まだ実際には改善されていないところがあるので、反省点

として改善していかなければいけないと思っています。

西山 土木でもそんなことだったら、建築なんかコンクリートは打てないですよ。(笑)ほとんど隙間がないのですもの。

僕は土木の構造物を見ていて、割と隙間があって、これだったらコンクリートは打ちやすいだろうなと思って見るのですが、そうではないのですね。それでもそういう問題がある。

青木 JHで全外ケーブルを実施しているのですが、箱桁の中を太いケーブルが3次元的に配置されるわけです。図面を描いてみて、後で照査してみると、ぶつかるといことがよくあるんです。

鋼橋では、工場での仮組み検査で実際に組んでいたのですが、今はそれを測量して、コンピュータの中で3次元に仮組みさせて、合うか合わないかというチェックをしています。そうすると、ケーブルのチェックぐらいは、コンピュータを使って、3次元的に、簡単にできる時代にそろそろなっているのではないかと考えているので、そういうものもどんどん開発していただきたいという期待はあります。

将来の課題

出雲 本題の将来のことにお話を進めたいと思うのですが、キーワードとしては景観とかメンテナンス、耐久性ということがPCの課題のような気がします。

これからのPCについて、皆さん方が現在考えていらっしゃる事があれば、お聞きしたいと思います。

清水 21世紀の近い将来の話ですけれども、ライフサイクルコストとか費用便益分析をわれわれコンサルタントとして一生懸命勉強しております。まじめに直接費用だけで計算すると、橋なんか造らない方がいいという結論が出る懸念もあります。

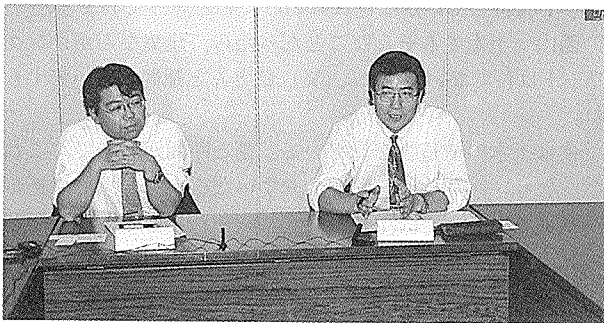
一方で、地域の住民に親しまれる橋を造るために、これからの公共事業ではPI (public involvement=住民との対話)が必要になる。地元の方々に親しまれるということはどういう便益で計算するかは、非常に難しい問題である。お金の計算だけでは説明できない。たとえば子供のときに育つ



清水 隆史氏

た風景というのは大人になっても心に残ります。ちょっと極論ですが、ある橋に行って自殺しようと思ったが、橋がとてもきれいだから、こんな美しいものがある世の中を、もうちょっと生きてみようかなと思わせる。要するに、今まで20世紀、効率的に生きてきたけれども、心の豊かさを求める21世紀では、精神的な付加価値も、われわれ

技術者として社会にアピールしていくことが大事だと思います。ライフサイクルコストの概念も、物質的なものと



座談会風景②

精神的なものの評価の仕方が非常に難しい。21世紀に向けて、本当に価値のある新しい構造物を造るということと、既設構造物を造り直すときの住民の方々との対話を念頭に入れていきたいです。

西山 土木でコストが厳しいと言われると、建築の方は民間のものばかりですから、もっと厳しい。

性能に対するコストがどう釣り合うかというところで、性能が良ければお金がたくさんかかるし、お金をあまり出さなければ性能が悪くなりますよという説明を建築側の方が施主に言うと、そんなことを言わずに、安い金でいいものを造れという話になる。

たとえば、RCでこういう建物ができますが、PCでやると、もっと性能が良くなるし、いいですよと言っても、それならいくらかかるのだという話になる。20%増し、10%増しですと言うと、それならやめておこうということになる。この辺が、民間を相手にしている建築の難しいところじゃないかなと思っているのですが、土木でも同じだと知り、驚きました。

廣松 やはり土木でも会計検査というものがありますのでね。(笑) 設計させている方も、いいものを造りたいという意識はあるのですが、コストアップになることはやりづらい環境にありますのでそれが課題かと思います。

青木 今の議論ではとくに景観が一番難しい話。最低の性能というのは、国の方から通達ないしは省令があるのですが、景観に対しては一切なくて、どの程度お金をかけていいものかというのは常に悩むところです。

たとえば不細工な格好でも、安くできればそれでいいのですが、周りの人たちにとってはどうだろうか。また50年、100年残る構造物として本当にそのままでもいいのか。多少は高くても景観を考慮した方が社会的にはいいんじゃないかという議論も最近は出ています。

JHでは、第二名神の栗東橋をアメリカのアーキテチャーに頼みまして意匠デザインをやってもらって、それに合わせるように、今度はシビル・エンジニアがデザインしていくということをチャレンジしている最中です。

西山 そうすると何割ぐらい高くなるのですか。(笑)

青木 色をつけたいとか、今までなかったデザインで、今までよりは高くなるのは確かですね。

出雲 マキシマムはないのですか。たとえばこの建設費に対して3%ぐらいのお金をかけるとか、5%とかいう考え

方はないのでしょうか。

青木 どうも今までの公共事業に対してはないみたいですね。

ただ、アメリカでは最低限1%程度はかけた方がいいという話もよく耳にします。ドイツのアウトバーンを設計した当初は、土木だけではなくて、アーキテチャーも事務所と一緒に配属されて造ったと聞いています。そういうデザインも、多少お金をかけてもいいだろうと思っています。

津吉 景観というのは客観的な判断がなかなか難しいですね。人によっては、Aさんは3%アップでいいものができたと思うけれども、Bさんは3%もかけてこの程度かと思う。その辺はとくに公共事業の場合は、コンセンサスを得られるのが難しいでしょうね。どうしていったらいいのかという具体的な解はイメージとしてわかりません。

出雲 先ほどお話があった青森のベイブリッジは、景観をかなり考えられたんじゃないですか。

津吉 青森で考えた範囲は、1つは構造形式としての景観です。後は橋梁を塗装したりしていますが、塗装は景観プラス耐久性。海のすぐそばですから、そういう両方がある。塗装は耐久性の面もありますので。

当社でも、東京駅の中央線重層化、北陸新幹線が入る関係で中央線が高いところに上がりましたけれども、部内で篠原先生に委員長になっていただいて、景観設計を真剣に行いました。若干お金がかかったのではないかという意見もありますが、個人的には、普通のラーメン高架橋を造るよりは良かったと思います。景観設計については、客観的に評価できるような仕組みを土木屋から世間に訴えていかないといけないと思います。

出雲 われわれ土木技術屋というのは内に固まりがちで、外に対してのアピールが下手だとよく言われるのですが、これから造っていくものに対しては、一般市民にも分かるようなもの、分かりやすいものを造っていかないと、私個人は個人的に考えています。

景観も、構造的な景観と形状といろいろあると思いますが、たとえばカラトラバの橋梁は構造的な景観を考えています。彼の設計する橋は一般よりかなり高いらしいのですが、(笑) 今それなりに皆さんに受け入れられれば、ある程度高くてもできる、コンセンサスは得られると思います。

先ほど景観の話が出ましたが、そのほかにも一番興味が

ある耐久性に関しましても、高耐久性、超耐久性とか、メンテナンスフリーとか、いろいろなアイデアが出されています。土木の分野からいうと、PC構造物の耐久性は21世紀でも関心事であると思われます。現在の橋梁をどうメンテナンスしていくかということも重要な課題ではないかと思うのですが、そういう観点から皆さんのご意見はございますか。

渡辺 私は、橋梁の床版を屋根の代わりにできないかと考えています。ヨーロッパでは屋根付きの木橋をよく見かけますが、あれは雨の日に濡れなくてすむから、という理由で屋根を付けているのではなく、石橋に対して、腐りやすい木橋の耐久性を上げるために付いているのではないかと考えています。屋根のない木造構造が数十年程度しかもたないのに対して、奈良とか京都のお寺などは何百年も建っています。これは、これらの建物には屋根があって、構造物を水が介在するすべての腐食現象から守っているからだとは思っています。

PC構造物の耐久性に関しても、水は非常に重要な要素で、鋼材を錆びさせたり、コンクリートの疲労強度を低下させたりします。したがって、PC橋にも屋根を付けて、水が橋体にかからないようにすれば耐久性が上がるのではないのでしょうか。ただ、実際に屋根を付けるというのは現実的ではないので、橋梁の床版を屋根代わりにすることを考えたのです。つまり、密実なコンクリートを打設し、適切な防水層を施し、万一水が浸入しても、中の鋼材が錆びないようにポリエチレンシースに保護されたプレグラウト鋼材や新素材を補強材として使用することによって、PC床版の耐久性を向上させ、それを屋根代わりにして水から橋体を保護することができれば、PC橋の耐久性はもっと上がるのではないかと考えています。

廣松 ここにいる皆さんは耐久性には割と興味があるというお話ですが、前に青木さんからPCは何年ぐらいつかというアンケートをとったという話を伺ったのです。

青木 道路協会の方で、技術者に耐久年数は何年がいいですかというアンケートをとったら、一番多かったのは50年。次に多かったのが30年。あとは100年とか20年とばらついていたというのが、そのときの結果です。

廣松 何年もつかという思想でいったら、そんなものかなと思いますけれども、今は橋の総数も増えていますから、何年もたせなければいけないかという観点で考えれば、少なくとも100年という数字になるかと思いますが、逆にそういう数字になるように旗振りしていかなければいけないかなと考えています。

出雲 今年デンマークスウェーデン間に開通したオレスンド・ブリッジも100年のスパンで設計を考えています。土木構造物に関しては100年が一つの目安ではないかと考えられます。

さらに「超高性能コンクリート構造物設計施工指針(案)」では、特別な補修・補強を必要としない状態で100年程度以上期待でき、適切な維持管理を前提とすれば500年程度の耐用期間を考えています。



座談会風景③

また、日本学術振興会では、ミレニアムコンクリート、1000年もつコンクリートについても検討がされています。耐久性をどのくらいもたせるかは非常に難しい問題もありますし、その頃は本当にコンクリート構造物が要るのかという議論もあるかと思いますが、われわれとしてはどちらかということも長くもつものを造りたいと思います。

西山 建築では、建物がどういう理由で取り壊されたかという調査があった。そのときに一番多かったのは設備関係がだめになって、建物として機能しなくなる。構造物自体はまったく何ともないのですが、パイプやら水回りがだめになって取り壊すということが多いようです。ですから、構造設計者が100年もつ建物を造りましたと言っても、結局は中の設備関係でもたないということになるのです。

出雲 とくにヨーロッパでは、外壁を残して中だけ変えていくというのがよくあるのですが、日本の場合は取り壊すわけですね。

西山 そういう考え方でできた建物というのは今から30年ぐらい前はなかった。ただ、今の建物は割とそういうことを考えていると思います。

青木 高性能のコンクリートということに関して、ノルマンディー橋が80 N/mm²のコンクリート。ユーロトンネルも強度の高いコンクリートを使っていて、透水係数を落としている。フランスのSETRAでダクトルという圧縮強度が200 N/mm²のコンクリートについて、その設計基準を今作っている。それに関しては、透水係数が今の試験法だとほとんどゼロ、耐久性がものすごくいい。耐久性の観点からコンクリートがどんどん高強度化していくのだろうなど、これからは思いますね。

西山 この高性能コンクリート(ダクトル)ですけれども、高引張強度コンクリートとなっていますが、もしもこういうものができたら、プレストレスの否定になってしまうのではないかと。プレストレスは要らないんじゃないか。(笑) そうすると、PC技術協会とかはどうするのか。名前を変えないといけない。

渡辺 私は、これを見たときに、やっぱりこういうものが出てきたなと思いました。将来的にプレストレスとコンクリート構造物をもっと長支間化して、最終的には鉄筋が要らなくなって、断面的には鉄と同じぐらいの大きさでできるんじゃないかと思いました。

出雲 もともとフレッシュがプレストレスコンクリートを使ったのは、コンクリートにひび割れが入るからそれを解消して完全なコンクリートを使いたいという発想だっ

たと思います。高強度、高引張りのコンクリートが出て、プレストレスが要らなくなっても、それを否定的に捉えるのではなくコンクリートの理想に達したと考えた方がよいように思います。

西山 そのとおりです。ただ、今建築の方では、プレストレスを常時荷重、長期荷重の性能改善のみではなくて、耐震的にも使う。プレストレスを入れると、どうしても非線形弾性の形になって、エネルギー吸収が少ないからというので、地震時の応答が大きくなるという不利な点があったのですけれども、逆にそれを残留変形という点で見ると、残留変形が小さくなる。これはいいことじゃないか、それをうまく使った設計ができないかということで、プレストレスを入れることによって、残留変形を抑える。地震が終わった後でもちゃんと真っ直ぐ建って、また使えるようにしようということも今、考えています。

出雲 土木でも、橋脚にプレストレスを入れて変形性能を向上させることに利用していますね。

西山 あれと同じですね。

清水 たとえば、軽量コンクリートにスチールファイバー(SFLC)などのいろいろな技術を組み合わせて軽量化すると、長スパン化が可能。スチールファイバーを入れると引張りに強くなる。なおかつPCも適用するということも考えられると思います。

津吉 いずれにしても、高品質の材料を使うと、材料自体が高くなるわけですから、それを評価する仕組みができないことには、なかなか使われていかないし、今の技術も変わっていけないと思います。ちょっといい材料を使ってお金をかけると、たとえば耐久性に対する信頼性がこれぐらい上がりますとか、こういう仕組みをまず早く作ることが、材料の開発とともに大切なのではないか。新しいものがたくさん出てきても、やっぱり高いですから、コストだけでなく、トータルの性能の評価手法を確立することが大切だと思います。

出雲 開発当初の材料費は高い傾向にあります。それが普及していくシステムが出てきて、だんだん安くなっていくと思います。

青木 ドイツでは、役所の方と大学の先生と業者とコンサル担当の方と、皆さん入って、たとえば外ケーブルを検討する。外ケーブル構造というのは、当初ドイツで使用したときは多少高かった。コスト比較をすると、内ケーブル構造に比べると高くなるのですが、外ケーブル構造は耐久性にとっていいものだというコンセプトがあるので、外ケーブルを使って内ケーブル構造より5%高くなっても、それは外ケーブル構造の方を採用すべきだという風潮がある。10%、20%高くなれば別ですけども、ドイツの中でそういう委員会、一つの決まりみたいなものを作って、多少高くても、会計検査を恐れずに使えるという仕組みを皆さんで作っているようです。日本でもそういう取組みは行われていると思いますが、なかなか全体に広がらないというのが問題じゃないかと思えます。

津吉 個別に委員会等を作って、純粋にいいものを造ろうという議論のほかに、権威づけをしないと、新しい試み

がなかなか認められないというのがまだある。世の中の流れ自体は性能照査型の設計に移行しているけれども、性能を客観的に評価できて、コスト等も含めて全体をきちんと評価できる体系を作り上げることが一番大切ではないかと思えます。

今、新しい材料で、新しいものを造ろうとした場合、現在の枠組みでは、部内外の委員会を作って、純粋な議論のほかに、権威づけをしないといけない。(笑) 一つ一つそういうことをやっていたら、物が変わっていくスピードが遅いという気がします。土木の業界では分かるけれども、一般の人には分かりづらいかもかもしれません。

清水 ブリッジマネジメントシステム(BMS)が各方面で研究されています。さらに、橋梁だけではなくて、対象を構造物、公共施設全般に広げたアセット・マネジメントということも言われている。これは、まず最初に点検してデータをどんどん収集する。目視だけでなく、非破壊検査も含まれます。非破壊検査というのは、機械屋さん、たとえばX線に強い人の話になりまして、それを今度評価するときは、設計屋さん、計算する人の世界。それを補修・補強するとなると、新材料が出てきて、材料屋さんとか繊維関係の人。そういう幅広い人が関係してくる。われわれコンサルタントが全部を完全に理解するのは困難ですが、これらのマネジメントが必要となります。ゆっくりやっていたら5年10年かかってしまうが、補修技術の方もどんどん進んでしまう。建設技術だけではなくて、かなり幅広い知識が要る。コストの話になると、経済学に強い人もいなくてはいけません。

青木 プレグラウトPC鋼材のエポキシ樹脂の話になると、化学屋さんの話で、土木ではよく分からない。(笑) うちとしてはこういうものが欲しい、後は化学屋さんで何とかしてほしいということになる。今後は、鉄ではない繊維のPC鋼材が出てきた場合に、土木屋さん以外の力もどんどん借りてやっていかないと、対処できない時代が来る。

清水 耐震補強では炭素繊維シートが幅広く採用されてきた。これも化学屋さんとの出会いですね。

津吉 維持管理、補修の面は、化学屋さんの知識、力がないと、なかなかやっていけないところはありますね。

出雲 維持管理というのは、総合工学みたいなところにいますからね。

教育について

出雲 教育の話がほとんど出ていないのですけれども、大学、とくに土木に関しては、土木工学科という名前がだんだん見当たらないほど改組が行われて、私の大学でも、建築系、建設系で一つになろうという動きもあります。現在8000人ほどの卒業生を出しているのですが、土木技術者の数は公共事業の建設量に比例しているのですが、将来的に、公共事業の建設量が減っていくと、25年後には土木技術者の数が6割ぐらいで足りるだろうという試算も出ています。そうすると、余剰の技術者をどう教育していくとか、もちろん大学も縮小せざるを得ないという問題もあ

るかもしれません。その中で、どういう教育をしていくか。先ほど話があったように化学のことも教えなければならぬとか、要求条件はいろいろ広がっています。将来は領域・分野などの垣根を越えた学科とか学部が出てくるのかなという気もします。

青木 教育の話は非常に難しいのですけれども、最近、とくに波形鋼板ウェブ橋といったPCの複合橋がかなり出てきました。しかしながら、PC業界、メタル業界は真っ二つに割れているのが実情です。今後そういった複合橋がどんどん出てくると、今でもそうなのですから、PC技士試験をメタル業界の方が大分受けておられるという現状に見られるように、まず業界の垣根が取れて、どんどんメタル、PCのいいところ取りをした、いいものが出来上がっていくのではないかと思います。

清水 波形鋼板など、JHは積極的に新しい技術を取り入れられているのですけれども、多くは海外の技術を導入している。日本人として、日本のオリジナル技術をどうやって開発していったらいいのかということを考えています。日本の特性として、都市部の密集した場所での架替え技術とか、そういった分野で日本のオリジナルな技術を何とか開発できないかというのを、夢としてもっています。

後は、個人の力。この前も『PC構造の原点フレッシュ』という本が出ました。今までの技術の進歩の中で、一人の傑出した人物が世の中を変えていくということがあったと思います。

通産省は、今まで企業に研究費をつけてきたのですが、企業に研究予算をつけても結局平凡な検討で終わっている場合もあった。それに加え、IT分野では個人の力によるところが大きいということもあり、今後は個人に予算をつけるということを考えているそうです。建設業界は今まで協会をつくることによって、仲間をつくってきましたが、出る杭を打つのではなくて、歓迎するムードが21世紀は必要だと思っています。

出雲 将来土木技術者は、海外、とくにアジアに出ていく可能性が高いと思います。アジアの主要都市部によく見られる、構造物の密集した地域に物を造っていくということは、今後の日本にとっても非常に有益な技術になるのではないかと個人的に思います。

廣松 西山先生から冒頭に、PCとRCは設計が違うというお話がありましたが、橋の基準もメタルとPCで違う、複合橋はどうするのだという話があります。次の「道路橋示方書」の改訂では、現状の編構成を変更する予定はないのですが、その次の示方書では変えなければいけないと研究室では考えております。橋としての要求性能を規定する編と部材設計に関する編に再編して、それから、要求性能



廣松 新氏



座談会風景④

を満足するためにPCを使うのか、メタルを使うのかという議論になって、初めて本当の競争ができるのかなと思っています。

渡辺 今までの教育というのは、大量生産体制に対応した人間を教育していくというイメージがありますが、これからは清水さんがおっしゃったみたいに、日本のオリジナリティを出すためにはどうしなければいけないかという教育ですとか、グローバルスタンダードを技術的に表現するにはどうすべきかみたいなことを教えていただきたいと思っています。

そのためには当然、大学の先生方もオリジナリティを要求されますし、スイス連邦工科大学のクリスチャン・メン氏ですとか、シュツットガルト工科大学のレオンハルト氏およびシュライヒ氏、ブルノ大学のストラスキー氏のように、先生方がオリジナリティをもってどんどん世界に情報を発信していただければ、その学生はおのずとそういう考え方をもって、世界に飛び出していくのではないかと考えます。

出雲 私は私立大学にいますけれども、画一的な学生を大量に送り出すというニーズに応える役割は、右肩上がりの時代はそれで良かったかもしれませんが、これからはそうではなくて、いろいろ対応できる、それも少数精鋭の技術者を育てなければいけないのではないかと思います。キーワードとしてはグローバル化、国際化、オリジナリティということが望まれるのではないかなと思います。

西山 建築では、アーキテクチャーがいてエンジニアもいる。エンジニアでも、構造系のエンジニアと、機械系、設備系のエンジニアもいる。大学に入ったときには大体アーキテクチャーになりたくて建築に入ってくるわけですが、図面を描いているうちに、おまえ才能がないよと言われて、エンジニアになろうかなと思う。(笑) 僕もその一人ですけれども、そっちに進んでいってやっていく。

日本はとくにアーキテクチャーになる人間も、エンジニアになる人間もみんな、構造も学んで、図面も描いて、デザイン、哲学まで教えられていますが、それは良い面でもあるし、悪い面でもあるわけです。というのは、4年間という時間でそれだけのことを教えるのは難しくなってきた、どうしても中途半端な教育のまま社会に送り出してしまふ。この辺が今、いろいろ悩んでいるところではあるのです。

清水 私は土木学会の大学教育小委員会に委員として参加していますが、今言われたような話に関連して、イン

ターン制度を積極的に導入しようという議論がある。企業もボランティア的に学生を育てれば長期的にプラスになるという考え方です。

西山 それに大学の先生も、コンサルに入って、実際に自分で設計するということになる、いい面もあります。現場がよく分かる。その話を聞いて学生が育っていくと、おもしろい話が聞けて、私もこんなエンジニアになりたいというのが出てくると思います。

出雲 国立大学も独立行政法人になったら、プロフェッサーも設計事務所をもつことが可能になるかもしれませんね。

西山 可能になると思います。大学の給料を減らされて、後はそっちで稼げということになると思いますね。(笑)

座談会のおわりに

出雲 最後に、これだけは言っておきたいということはありませんか。

青木 今うちで考えているのは、名港東、西大橋みたいな橋梁をぜひコンクリート橋でやりたいということです。まだ技術的には難しいでしょうけど、やってできないことはない。そういう夢がもてるようなプロジェクトを常につくり出して行って、技術屋がどんどん活躍できる場をつくって、夢をなくさないようにしていくことが、PCの研究においても、PC業界でもそうでしょうが、大事ではないかと考えています。

渡辺 われわれPC業界も、今の変化をチャンスと捉えて前向きに取り組んでいきたいと考えています。青木さんがおっしゃるような、夢がもてるようなプロジェクトには積極的に参加して、その中で生じる課題に対して一つ一つ解決していく。若手技術者の中には、意欲に燃えた方もいるので、そういう方と一緒にしながら、日本のPC技術を発

展させていきたいと考えています。

清水 今、東大の魚本先生と共同で維持管理にITを活用する研究を行っています。建設、運輸、農水三省の報告によると、全コンクリート構造物で不良と診断されるのは5%程度ですから、その部分を早くキャッチして、それに対して何をしたらいいかという研究をやっていききたい。明るく、才能のある若者とやりたいと思っている。そのキーワードがITだろうと思っています。

出雲 夢をもつということは非常に大切。最初はできないと思われたことができてくる。テレビで「プロジェクトX」などを見ている、まず夢をもたないとできないんじゃないかと思う感じがします。こんなのは無理だと諦めた時点でもう何も達成できない。個人的にはまずイメージをつくり上げる。それに向かってやっていけば、PC業界はそんなに悲観すべきところではないと思いますし、きっといいことがあるんじゃないかと思っています。(笑) 後、私個人としては、プレストレストコンクリートの理想的な形としてひび割れの出ないコンクリートをぜひ造ってみたいと思っています。

西山 無重力状態でコンクリートを練ったらどうなるのかということの前からちょっと考えています。PC技術協会がスペースシャトルのスペースを1つ借り切って、コンクリートを練ったらどのくらいの強度が出るのか、どのくらいのヤング係数になるのだろうかというのを当てるコンテストをやったらおもしろいんじゃないかと思っています。

出雲 無重力で物が造れる時代が来ると、また違った発想が出てくるのではないかと思います。社会基盤もまた別のものを造らなければいけなくなる可能性も出てくると思います。

今日はお忙しいところ、どうもありがとうございました。

【2000年11月10日(金) 於本協会会議室】