

CMI 報告

第2部 パネルディスカッション〔抄録〕

施工技術のこれから 一次の50年への提言—

パネリスト（敬称略，順不同）



今田 徹（こんだ とおる）
施工技術総合研究所顧問
東京都立大学名誉教授



魚本 健人（うおもと たけと）
（独）土木研究所理事長
東京大学名誉教授



三木 千壽（みき ちとし）
東京都市大学副学長（現学長）
東京都市大学総合研究所教授



建山 和由（たてやま かずよし）
立命館大学理工学部
環境システム工学科教授

司会



見波 潔（みなみ きよし）
施工技術総合研究所長

■ 先生方と施工総研とのかかわり ■

今田 私は1960年に建設省に入り，土木研究所に配属になったときに与えられたテーマは「トンネルの換気」という問題です。ちょうど名神のトンネルの建設が始まったところで，1958年に関門トンネルが開通しました。関門トンネルの換気はアメリカの手法によって設計しましたが，それが使えないことが分かって，



我が国独自の換気の設計法を作らなければならないという差し迫った時期でした。この研究はどのくらい自動車の排出ガスが出るのか，トンネルの中を自動車を通るとどんな影響が出るのかをゼロから調べ上げなければいけないというものでしたが，トンネルの換気は自動車のことを考えなければいけませんから機械と密接な関係があります。当時の建設機械化研究所にはエンジンの性能試験をする施設が作られましたので，その施設を使って何か一緒にやらないかといろいろコンタクトを取った記憶があります。

その後は，土木研究所の立場であるいは大学の立場で，また今は顧問という立場でトンネルに関わる様々なテーマについて，施工総研が歩まれたことと非常に深く密接に関わってきたというのが実感です。

魚本 私は1971年の卒業ですが，私はもともと四国の愛媛の出身ですから本州四国連絡橋をやりたいという思いでゼネコンに行きました。大学に戻ってからずっとコンクリートばかりやっていますが，一番印象に残っているのはプレパックドコンクリートに関する



件です。卒論をやっているときにプレパックドコンクリートの実験を見て、こんなやり方でコンクリートが打てるんだということを初めて知りました。その後、施工総研を見せてもらったら、実物大に近いものでやられているので、もっとすごいことがよく分かりました。

本州四国連絡橋のような工事では、掘削をするにしても何をするにしても、とてつもなく大きな機械を使うものですから、それは非常に面白い。実物大規模に近いもので勉強をさせてもらうという意味で施工総研とはこの頃からお付き合いをさせてもらっています。以来、私は施工総研とは委員会等でいろいろお手伝いをさせていただいている次第です。

三木 施工総研とのかかわりは、【元所長の】三谷先生を除いては語れません。昭和43年だと思いますが、三谷先生が東工大に非常勤講師で来られていました。講義名は「機械化施工」ですが、機械化施工の話はほとんどされません。ほとんどが土木技術者はどうあるべきかをずっとしゃべられました。毎回そのことをしゃべって帰っていかれますが、大変勉強になる授業でした。結局、三谷先生は20年を超えて東工大の非常勤講師をされました。最後のころは講義のタイトルは「土木技術者の倫理」にしました。東工大の土木の卒業生にとってみれば本当の意味のおやじです。

私は大学に残って鋼構造物の疲労を研究していました。そのころに本四架橋の疲労耐久性の研究が始まり、400トンの大型疲労試験機が導入されました。ここにも三谷先生が関わっています。本四の研究は明石大橋が終わるころまで20年間続きました。これは世界最大の疲労試験です。その後、私もいろいろな国際的な仕事をやってきましたが、どこから見てもトップです。これはある意味では世界の溶接構造の疲労を引っ張ったと言えます。大変ラッキーな仕事を一緒にさせていただきました。

それから1980年代半ばだったと思いますが、突如、

三谷先生が僕のところにみえて、「東名高速におかしなことが起きているから付き合え」と言われました。今でも覚えています。現場に行くと、確かに疲労き裂が出ているのです。その後10年以上、東京第一管理局の中の疲労き裂、疲労対策をずっとやりました。三谷先生のつながりで本四の疲労をやり、道路公団の疲労をやってきました。東名は道路橋の疲労の原点のような経験でした。その後、首都高速の鋼製橋脚の問題や鋼床版の問題につながってきています。

たまたま三谷先生にお目に掛かり、たまたま疲労の研究を始めたことから私自身の研究の場の多くの部分は機械化研究所の中でやってきたという関わりです。というわけで、私は施工総研とはなかなか呼びにくいですね。

建山 ちょうど30年前だと思います。私は大学院の博士課程に在籍していて博士論文を書くということで、恩師の畠先生から「締固め」というテーマを与えていただきました。畠先生は建設機械の先生でしたから「建設機械がらみの締固め」をテーマにしようということになったのですが、当時は締固め機械のバリエーションが増え出した頃であったこともあり、室内のプロクター試験と現場で機械を使って行う締固めとの関係を調べようということになりました。そこで、あちこちの現場にお願いしてデータ採りをさせていただいたのですが、なかなかデータの数が稼げなくて困っていたときに、ある人に「建設機械化研究所に行けばデータがいっぱいあるぞ」と言われました。そこで問い合わせしてみると、メーカーが新しい締固めの機械を出すと研究所に持ち込んで性能試験を行い、同じ土を使って同じ方法で締固め試験を行い、機械ごとの締固め能力を評価しているということでした。当時、研究所には根本さんといわれる研究員の方がおられ、その方が担当をされて100種以上の締固め機械の性能試験結果が報告書として整理されていました。根本さんは、「プロフェッショナル」という言葉がこれほど似合う人はいないというぐらい職人肌の方で、機械の締固め性能試験を徹底的に精緻に行っておられました。このため、データの信頼性という点では、完璧な報告書で、私にとってはそれらが宝の山のように思えました。そのデータのおかげで博士論文を書くことができ、また、その後もこのデータをいろいろな締固めの研究に活用させていただいてきました。施工総研では50年にわたって、ここでしか採れないデータを多数採っておられると思います。是非そういったデータも活用していただけるとありがたいと思っています。

以来、私は施工総研とお付き合いをさせていただき、



最近では情報化施工等のテーマで一緒させていただいています。

■ 施工技術のこれから ■

見波 施工技術総合研究所が創立された昭和 39 年頃の我が国は、高度成長期の真っ只中にあり、その後現在に至る 50 年の間に社会環境も大きく変化しました。今後、施工技術の分野がどのような方向を向いているのか、各先生の御専門分野についてお考えをお伺いします。

機械・技術の進歩で山岳トンネル・シールドトンネルの融合化、全地質対応型の掘削技術へ

今田 トンネル技術は、軟弱な地盤に対する技術と山岳、固い地盤に対する技術の二つに分けられて発展してきた流れがあります。

まず山岳トンネルの技術については、大空間をつくる、できるだけ大きな断面にして施工するという流れで発展してきました。かつては、地質が悪い場合、断面を小さくして掘り、それをつなぎ合わせて大きな断面にするというやり方だったわけですが、今は地山を補強して大きな断面にしてやるという技術に変わってきています。この 20 年ぐらいそういう方向は非常に顕著になってきており、昔は日本のような変化の大きい地質では、全断面工法は道路トンネル規模には無理だろう、そんなことを考えるのは非常識だといわれてきたわけですが、現在では地質が悪くなればなるほど大きな断面にする、地山のほうを補強して大きな断面にして、断面をできるだけ早くクローズさせてしまう、巻いてしまう、安定させてしまうという方法で進めます。昔の常識が今は非常識になっているのだらうと思います。

シールドトンネル工法については、日本で密閉型シールドが開発されました。ヨーロッパでもそういう研究をやっていましたが、ヨーロッパでは早い時期にちょっとやって諦めてしまい、なかなか長続きしなかったのですが、日本は何しろ地質が悪く、しかも都市部のトンネルがあることから、どうしても安定な掘削をしなければいけないということで密閉型シールドを開発しました。密閉型シールドは泥水式と土圧式がありますが、土圧シールドは掘削した土砂で切羽の安定を保つという技術で、これは世界で非常に多く使われており、日本の技術が世界の都市トンネルの技術をリードしている状況になっています。最近では、山岳トンネルでは TBM (トンネル・ボーリング・マシン) で掘ることも多いわけですが、TBM の分野にも土圧式の考え方が持ち込まれている時代になってきています。

今後 50 年のトンネルを考えてみるとどうなのか。これはまるっきり当てずっぽうの話ですが、恐らく山岳トンネル工法とかシールドトンネル工法の区分はなくなるのではないかと、思います。山岳トンネル工法では、NATM と TBM に大別されますが、土圧シールドなどの機械がさらに進歩したり、切羽の安定化技術が進歩すると、それらが融合して一つの全地質対応型の技術に向かっていくのだらうと思います。

シールドトンネルの分野では、自動掘進をやらうと思えばすぐやれるような技術にはなっています。ただ、やらないのはなぜかというとお金が掛かるということだと思います。これから人が少なくなっていく、建設のきつい仕事をやる人が少なくなってくると自動化はますます進むのではないかと考えます。そうすると TBM 化、全自動化の方向で技術がどんどん発達していくのではないかと期待しています。

トンネルは非常に学際的な分野です。地質工学、土木工学、機械工学、それぞれの分野で少しずつ進歩していった最終的な形として全地質対応型の掘削技術が確立されていくのではないかと大風呂敷を広げてみたいと思います。

橋梁は世界に向けて展開できる技術開発を

メンテナンスは冷静な目で何が正しい技術かを見ることが大切

三木 私が大学を出た 1970 年、材料開発から製作から施工から全てが本四架橋を向いていました。その結果何が起きたかを少し考えた方がいいだろうと思っています。長大橋の建設については、世界的なレベルまで追い付いたのが瀬戸大橋で、明石海峡大橋で世界一



になった。ただ世界一になって何年経つのかということもあるし、このあたりはよく考えた方がいい。

明石海峡大橋が開通する直前に『ENR（エンジニアリング・ニュース・レコード）』に明石海峡大橋特集がありました。是非これをご覧になるといいと思います。タイトルが「ジュエル・ブリッジ」で「宝石橋」です。そこで何を言っているかということ、当時開通したグレートベルトと工期・工費の面、設計体制、全てについて比較していますが、結論は、日本はジュエル（宝石）のような橋をつくったのではないか、名前も「パールブリッジ」と言うらしいということで終わっていますが、このあたりは大変印象に残った記事です。いい橋をつくる、そこにいったことは確かですが、高コスト体質になっています。そのころから私はいろいろなところに、例えば m^2 当たりの橋梁単価は幾らかという記事を書き始めましたが、はっきり言ってアメリカの2倍、3倍のコストで橋をつくっていることは間違いないです。

その結果として海外展開ができていません。国内でどれくらいの工事があるか、橋梁プロジェクトが出るのかとの議論もありますが、一歩外に出ればものすごくあるわけです。ついこの間までバンコクに毎月1週間ほどいましたが、いろいろなニュースが入ってきます。驚くほどたくさんのプロジェクトが動こうとしているわけですが、残念ながらこういうところで日本がODAを外して取れたプロジェクトはほとんどないのではないかという気がします。高コスト体質であり、現地に合わせてやっていくことができなかったのではないかと思います。橋梁に限らず、世界に展開できる、海外展開できる、アジアに展開できる、これからの重点箇所はアフリカだそうですが、アフリカあたりでも展開できるような技術を持っていないとうまいかない。例えば、JICA 専門家として海外に出ていますが、日本の高コスト体質のエンジニアリングを持ち込んでいってもなかなかうまくいかないという気がします。

計画・設計に絡む今後の課題として、私としてはもっと中小橋梁に目を向け、世界に向けて展開できる技術開発が一つのテーマかという気がします。

メンテナンスについてですが、アメリカは1920年代のニューディール政策のときにいっぱい作ったものが50年ぐらい経つところでいろいろ問題が起きてきた。日本でもちょうど同じような格好で1960年代、1970年代に作った橋に問題が起きてきて、私自身は「人間と同じで成人病が出始めた」という言い方をしています。決して「老朽化」という言葉を私の周りでは使わず、「経年劣化が出始めました」と言っています。

実は道路橋示方書には設計供用期間が書いていません。老朽化といってもどの程度が標準かわからないのです。2002年の道路橋示方書の改訂のときに供用期間を目標として100年にしましょうと提案しましたが、外されました。もう一つは、疲労設計も早過ぎると却下されました。

メンテナンスについていろいろな技術開発があるわけですが、一番大切なのは実態を把握することだと思います。点検をし、診断をすることです。「次世代インフラ点検システムの研究開発」がSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）として取り上げられたことは大変いいことで、いろいろな提案が出てきています。私は今回ははっきり示されたように、近接目視を5年に1回、技術のある人間が行うことが全てだろうと思っています。この間もSIPの委員会で、「ロボットが見たからといって事故を起こしても誰も許しません。ベースは技術のある人間の近接目視だ」と申し上げました。いい提案がいっぱい出てきていますが、冷静に物を見るべきだと、その上で一体我々はどこに突っ込んでいくのか。こういう意味では社会の関心が高まっているわけですから、このチャンス逃すことはありません。土木技術者は新しい技術に対して熱心ではないと言われるのも困るわけで、是非取り入れていきたいと思いますが、我々がやらなければいけないのは冷静な目で何が正しい技術かを見ていくことだろうと思います。

コンクリートは検査以上に対処方法が大事

構造物が駄目になったときの対応策の研究が必要

魚本 私が学生時代に恩師からコンクリートを教わったとき、「鋼構造は腐食との戦いで大変だ。構造の問題はあるが、それ以上に化学とか電気化学を勉強しないと対応できない。それに比べるとコンクリートには大きな問題はない」という話から始まりました。当時の示方書で耐久性という問題に言及しているのは、今

問題になっているような内部の鉄筋の腐食やアルカリ骨材反応等々はほとんどなくて、あったのは疲労問題と凍結融解が多く、あとは温泉地帯等々で発生するような化学的な問題が一番大事だ、という話でした。ところが研究者として大学に戻ってくると、その後いろいろなことが起こって、こんなはずではなかったというぐらいにいろいろな問題が起こりました。コンクリートは疲労限界と凍結融解の問題に対応すれば良いと思っていたのが、実はそうではなく、材料や施工がいろいろ変わってきたので、それに対してどう対応するかということが重要な問題でした。最初のうちはどうしてもコンクリートは劣化しないという気持ちが先にあるので、対応できると思っていてもそうではないことが出てきた。これらの問題にどのように対処するかを明らかにするために、研究なり対策なりがいろいろ進んできたというのが現状だろうと思います。今後のことを考えると、これからも種々の劣化問題等が出てくるでしょうが、大事なのはそういうものに対してどう対処するかということです。

研究機関の人と話をすると、維持管理の問題の中で研究者は検査、特に非破壊検査がすごく好きです。それはいいのですが、私から見ると、それ以上に大事なのは直し方です。人間ドックに行くとCT スキャンなどの装置で詳細に検査します。その後どうするかというと、危険な部位は切除しましょうという話になり、例えば鼻から機器を入れるだけで対応できるというような技術がどんどんできています。ところが、コンクリートの場合は内部に空洞があるとか、鋼材が腐食していることが分かっていても、それをどうするかという技術がないのです。これをやっていかないと、早いうちから腐食を止めるというのができない。どう直すのかという研究をやらないと、腐食箇所の判定の意味がなくなってしまうのではないかという気がします。これからやらなければならないのは、恐らくどこかが駄目になっていったときにどう対応するかということ踏まえた上での検査をし、対処方法を開発することだと思います。

建物を壊したりする映像をよく見かけますが、壊し方もちゃんと研究したらいいと思っています。日本の土木構造物は、先ほど三木先生が言われたように寿命という概念がなく、半永久的に大丈夫だということが前提になっているので、駄目になったときの対応策について技術的には非常にレベルが低いと思っています。このような技術開発を積極的に推進して、できれば後世の人たちにこうやれば良いとちゃんと伝えておくことがこれから一番大事なことになるのではないかと

と思っています。そのためのいい機械を作ればもっと良いと思っている次第です。

建設ロボット、情報化施工による省力化・効率化

新技術の導入を前提とした基準、設計、施工が必要
建山 建設分野における課題の一つに「労働力不足」があります。最近、東北の復興や、オリンピックを控えて関東の再整備等々で工事が増えているため人手不足が顕著になっていますが、この状況は一時的なもので、2020年のオリンピックが終わると元に戻るという見方もされています。しかしながら、人口統計学者の藻谷さんの話によると、「マクロ的に見ると間違いなく日本の中で労働を支える人口はこれから減っていく。特に建設分野は年齢層の高い熟練技術者が多い構造になっているので、その人たちがリタイアしていくことを考えると、2020年以降になれば改善される」という話ではなくて、これからさらに深刻な事態になる」ということでした。

一方、インフラはどうかというと、公共投資がこれからどうなるか分かりませんが、少なくとも、今日お話が出ていた維持管理をはじめ、一定のインフラ整備が必要です。人も予算も限られていく中で安定的に社会にインフラを提供していくためには、今後、省力化や効率化は絶対になくしてはならない技術だろうと思っています。そういう意味で建設ロボットや情報化施工を推進していくべきだと思っています。

50年前の日本は高度成長期で、どんどんインフラを作っていく時代だったと思います。そういう時代に日本は、設計を体系化して、施工をマニュアル化して、効率的に一定品質のインフラを作ることのできる体制を築いてきたのだと思います。極めて短期間に質の揃ったインフラ整備ができてきたのは間違いなくその成果と言えます。ところが、それをあまりにきっちり作り過ぎたことによる弊害も出てきていると感じています。すなわち、基準やマニュアルを重視するがあまり、そこから抜け出せなくなってしまっ、建設ロボッ



トや情報化施工を導入しようとしても今までの基準やマニュアルの中でこれまで人や建設機械で行ってきたことを代替的に ICT やロボットにやらせるという使い方になってしまう訳です。そうすると、建設ロボットや情報化施工は本来持っている能力を十分に発揮することができないことになります。今後、省力化・効率化を進めるためには、新しい技術の導入を前提とした基準や検査、施工法のあり方、構造物の設計が必要だと感じています。

■ 施工総研への期待 ■

見波 施工総研は大学や国や民間企業の研究所とは異なり、社団法人という立場で様々な機関からの依頼を受けてそれぞれの試験研究のお手伝いをさせていただいています。そういった意味で特殊な研究所であり、その一方で、高い専門性と研究施設を有している研究所という自負もあります。このような施工総研への今後の期待や叱咤激励などいただきたいと思います。

研究所同士の連携、機械と土木の支え合い

魚本 私から見ると施工総研は仲間でもありますしライバルでもあります。手と手を携えてうまくこの先の新しい展開を作れば良いと思っています。

土木研究所の場合は経費の大半が税金で、施工総研とはかなり事情が違ってきます。土木研究所でやろうと思っても人員の問題がいろいろあって、機械を専門とする研究者がどんどん減ってきていて非常に困っています。そのために、今まで複眼的にいろいろな物を見られていたものが見られなくなってきたところがあります。そこで、施工総研とうまくやらせてもらうことで、別な見方をわれわれ土木研究所としては学びたいし、そのためにはいろいろなことを一緒にやらせてもらえたら良いだろうと思います。我々は費用を国からいただいていますので、ある程度きちんとした

プロジェクトに立ち上げれば結構なお金を使うことも可能になります。そういうときにうまく施工総研と連携を組めると良いのではないかと思います。

機械と土木は両方で支え合わないとうまくいかない。実際に物だけあってもできないし、作り方、壊し方ができないと駄目ですから、施工総研にはわれわれが不得手となりつつある研究をさらに進めていただくことを期待しています。例えば、無人化施工のような問題は、火山ではどうするかとか水中ではどうするかとか、いろいろな問題を一緒になってうまくやっていると良いのではないかと思います。

第三者機関としての役割を期待

三木 メンテナンスの話の続きになりますが、平成26年4月に出された社会資本整備審議会道路分科会建議「最後の警告」の中にこだわって入れてもらった項目があります。それは技術開発なくしてうまくいかないということです。技術開発はどこがやるかということにこだわりました。民間がそれに向けて技術開発をするような環境整備に入っています。私は点検・診断にこだわっていますが、個別要素も含めてメンテナンスを大きく捉えるような仕組みをどこかでつくらなければいけないという気がしています。それはひょっとしたら施工総研かもしれません。

(元所長の) 三谷先生は第三者機関としての研究所にかなりこだわっておられました。ヨーロッパにはイギリスの溶接研究所など同種のものがかなりあり、そういうものが非常にいい役割をしています。これは国研でもない、民間でもない、大学でもない。それぞれ研究なり技術開発の時間のスケールが違います。大学はかなり長いことやっている。国研は大学よりはもう少し短い。大学みたいになったら多分まずい。民間は利益がなければ、あるいは見えてこなければやらない。そういう中でどこかがきちっとアレンジやコーディネートしていかないといけない。三谷先生はそういうことをおっしゃった。私も本当に同感です。施工総研は大きな施設を持っていることをアドバンテージにして、第三極、要するに国研、大学、民間とは全く違ったスタイルの技術開発や全体をアレンジするような機関として期待しています。

情報化施工、ロボット、CIMの一体化に向かってのリード役

建山 情報化施工は特にここ数年は広がりを見せていますが、それと同時に、最近では CIM (コンストラクション・インフォメーション・モデリング)、すなわち、



調査、設計、施工、維持管理という一連の過程で情報やデータを共有しながら、より精緻にインフラ整備を進めていこうという考え方が広がっています。また、建設ロボットの導入に関しても関心が高まっています。これらは建設の分野ではいずれも先端的な技術と言えます。最近、それらの関係はどう考えたらいいかという質問をよく受けますが、今から20年後ぐらい先の建設技術を考えて、多分そういった技術の区別はなく、一つのまとまった先進的な建設技術があるだけで、その中に情報化施工もロボットもCIMも全部溶け込んで一体としているのではないかと思います。先ほど、情報化施工、CIM、建設ロボットが広がりつつあると申し上げましたが、今は、われわれは一体化した将来の建設技術のある側面だけを取り出して情報化施工とかCIMとか建設ロボットという議論をしているのではないかと思います。しかしながら、建設ロボットとか情報化施工はお互いに技術の連携なども出てきていますし、CIMと情報化施工も共有する部分が出てきていますので、そろそろ20年後には一体化しているであろう建設技術をイメージして、そこから情報化施工、CIM、建設ロボットはどうあるべきかを考えていってもいいのかと思っています。

この分野では建設機械が密接不可分です。施工総研は建設機械に関する試験研究には長年の歴史と蓄積があるわけですから、そういったところはぜひ先頭を切ってリードしていただけるとありがたいと思っています。

泥臭い精神と高い技術力をアピールしてさらなる発展を

今田 私は施工総研の顧問を長年務めさせていただいて内部のことを知る立場にあります。こういうことを



言うと大変申し訳ないですが、少し泥臭いです。自分の頭で考え、自分の足で調べて、自分の手で実験するというこの精神は泥臭いが、一番大切な精神ではないかと思います。そのことが世間にまだ知られていない。宣伝が十分されていないのではないのでしょうか。世間に知ってもらっていないところがあるのではないかと思います。例えば今日も多くの時間を割いたメンテナンス、維持管理、点検という問題についてトンネルでも同様の問題があるわけですが、恐らく施工総研はそういうものに今すぐにでも対応できる技術を持っています。泥臭さの中にそういうことをPRして、いい組織を作っていって欲しいと思っています。

また、先ほど第三極というお話がありましたが、第三極として運営していくにしても金がないとどうしようもないわけです。収入を得る必要があるわけですから、少しもうかる商売、もうけることも考えながら進んでいく必要があるのではないかと思います。

施工総研は機械と土木が融合した極めて高いポテンシャルを持った組織ですから、このことを世間に理解していただき、外からの支援も得ながら発展してもらいたいと思っています。

■ おわりに ■

見波 先生方には示唆に富んだお話をいただき、ありがとうございました。先生方の言葉の中に、「融合」「連携」「一体化」といったようなキーワードが出て参りました。私どもの研究所には「総合」という名前が付いており、目指す方向に関連するのかなとの思いで聞かせていただきました。

当研究所には大型疲労試験機や多種多様な材料試験機、試験装置・設備があります。また、建設機械の試験研究に取り組んできた経験があり、さらには、本四架橋に代表される大型プロジェクトの施工法などを検討してきた実績もあります。小さな組織ではありますが、土木・機械・地質・資源・電気などを専門とするスタッフが育って参りました。これらの研究施設や人材は他の組織にはない独自性があると自負しております。

今田先生から泥臭いと言われた精神を大切にして、将来の施工技術を見据え、皆さんからのニーズに応えられる研究所を目指して参ります。

本日はありがとうございました。