

(1) 研究第一部の活動紹介 トンネル・地盤等

安井 成豊

1. はじめに

施工技術総合研究所（旧名称：建設機械化研究所）が平成26年10月8日を以て無事に創立50周年を迎えることができた。これも、ひとえに多くの方々のご支援の賜であり、その感謝の意を込めて、同年11月25日に当研究所の母体である一般社団法人日本建設機械施工協会が開催する「平成26年度 建設施工と建設機械シンポジウム」の中で「施工技術総合研究所創立50周年記念セッション」を開催させていただいた。本稿では、当時参加していただくことができなかった多くの方々に対して、改めて感謝の意を示すとともに、セミナーの中では時間的な制約などから説明不足となった点などについて補足する目的で本稿で記述した次第である。

記念セッションの第1部では「施工技術総合研究所の歩み」と題して、各部の活動（これまで、これから）について紹介するという課題が与えられ、制限時間15分にて発表を行った。ただし、発表の順番から研究第一部が最初になること、「研究第一部＝トンネル」というイメージだけではないこと、そもそも研究第一部から研究第四部までの4つに分かれたのは28年前からであり、自分が研究第一部の業務を中心に活動し始めたのも約20年前からである。そのため、前半では自分が入所してから担当した業務経歴を紹介することで、入所時に求められた土木技術者像や研究所の業務方針等を説明するという異質な発表とし、後半では研究第一部の活動について紹介した。本稿でも、セミナーにて使用した図等を適宜使い、同様の流れにて研究所および研究第一部の活動について紹介する。

2. 研究所入所時からの10年

(1) 入所当時（1985年頃）

自分が研究所に入所したのは、昭和60年4月であり、当時名古屋大学に在籍されていた土木力学の山口伯樹先生に紹介されて就職に至った。入所当時の研究所は、研究部と試験部の2部制であり、その中に4名の部長が存在して、それぞれ担当する業務毎に必要なメンバーを集めて業務を進めるプロジェクト制のような形

を採用していた。そのため、自分も同時に複数の部長の下で複数の業務に携わり、図-1に示すように、各種ローラの締固め性能試験、現在のNEXCO（当時、日本道路公団）がRIを用いた締固め管理手法の本格運用のための比較検証実験、土木研究所の総合技術開発プロジェクトにおいて研究所も加わって開発した深層混合処理工法「DJM工法」に関する各種技術委員会などを担当した。

- ・振動ローラの締固め試験、JH盛土密度管理に導入するRIに関する実験検討
- ・沖縄特殊土(泥岩,琉球石灰岩等)に関する施工指針検討
- ・総プロにて開発された深層混合処理工法(DJM)の技術委員会への参画



DJM工法:2軸式施工機械

図-1 入所当時（1985年頃）の担当業務

(2) 水中不分離性コンクリート施工実験（1986～1988年）

入所翌年から、本州四国連絡橋および関西国際空港第I期工事といった大型プロジェクトにおいて、現在、水中不分離性コンクリート（当時、特殊水中コンクリート）と呼ぶ特殊なコンクリートが本格的に採用されるに至り、その施工性について検証するための実大規模の施工実験を実施することになった。自分も、担当する部長から、硬化前のコンクリート性状に関する実験であり、土質と類似した点があるとの一言で担当メンバーとなり、図-2に示すような長距離流動性実験、打継ぎ性能実験、充填性実験、側圧実験などの各種施工実験を数年間に渡って実施した。その中で、スランプフロー保持時間という概念を導入して、本施工における打設計画の検討やケーソン型枠の設計などに寄与する実験データのとりまとめに従事した。各種実験においては、ゼネコン6社およびメーカー1社の研究所および技術部等の方々の協力を得ながら大規模実験を実施した次第である。研究所が中心となって大規模施工実験を計画実施し、その実験に各社が参加協力して

いただくことで、実験にて確認したさまざまな情報共有と各社が抱える技術課題等の情報交換といった有意義な場を提供できたと記憶している。

・関西国際空港、明石海峡大橋プロジェクト

水中不分離性コンクリート(特殊水中コンクリート)の大規模施工実験



流動性実験、打継ぎ実験、充填性実験、側圧実験

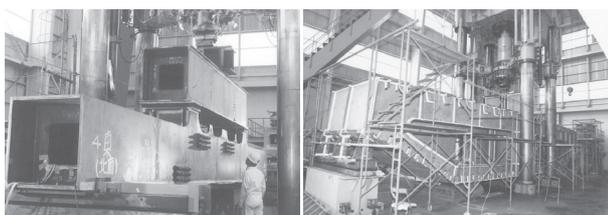
図一 2 「水中不分離性コンクリート」関連の業務

(3) 大型疲労試験および構造物耐荷力実験 (1989～1992年)

水中不分離性コンクリートの大規模施工実験業務が一段落した後、単なる本四公団つながりと思われるが、研究所敷地内に設置・管理されている本州四国連絡橋公団大型疲労試験棟において、大型疲労試験機を用いた各種疲労試験を担当することとなった。担当した主な試験は、図一 3 に示す明石海峡大橋の高張力鋼を用いた補剛トラス部材の疲労試験、多々羅大橋および来島大橋の鋼床版桁筋の疲労試験などである。業務では、鋼構造物に関する知識を大学の教科書を引っ張り出して再確認しつつ、疲労という当時の教科書には扱われていなかった内容を各種論文を通して勉強しながらの仕事となった。また、疲労試験では、疲労き裂の調査(カラーチェック、磁粉探傷、蛍光探傷、超音波探傷)、局部応力の計測(ひずみゲージ貼り、計測プログラムの作成)など実働中心の日々を送ってきた次第であり、このような実験に対する研究所職員の取り組み方は現在も変わらない姿である。

また、並行して、鋼およびコンクリート構造物の各

・明石海峡大橋、来島海峡大橋、多々羅大橋の大型疲労試験



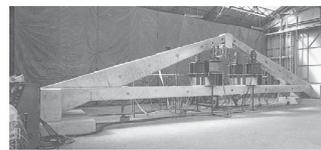
明石海峡大橋 補剛トラス部材 (HT780)

多々羅・来島海峡大橋 鋼床版桁筋

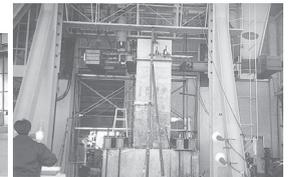
図一 3 「大型疲労試験」関連の業務

種耐荷力実験として、図一 4 に示す RC 構造物の各種破壊実験や多々羅大橋の 50 分の 1 サイズの全体系モデルを用いた主桁座屈試験など多くの実験にも従事した。その中では、試験体および試験方法そのものの基本検討から計測計画の検討、そして、計測準備(ひずみゲージ貼り、計測器のセット、計測プログラムの作成等)から計測の実施・整理・報告書作成の全てを研究所担当メンバーとして実施してきた。そのため、大学で使用した構造力学やコンクリート工学、計画学などの教科書をあらためて読み直しながら業務を進めた次第である。

・RC構造物の各種破壊実験



特殊形状Con橋破壊試験



Pca型枠仕様交番載荷試験

・多々羅大橋 全体耐荷力実験

多々羅大橋(1/50モデル) 主桁座屈試験



図一 4 「各種構造物の耐荷力試験」関連の業務

(4) 維持管理用機械の開発 (1993～1994年)

平成 5 年頃になると本州四国連絡橋の建設工事も主塔が完成し、メインロープを含む上部工架設が本格実施され始める時期であった。その頃から、明石海峡大橋を含む長大橋梁の維持管理に関する検討が具体的に進められ、その中の点検システムの研究として、図一 5 に示す吊橋メインケーブル補修作業車や主塔点検補修を目的とした磁石吸着車輪ゴンドラの開発に従事した。

・本州四国連絡橋の維持管理機械の開発



吊橋メインケーブル補修作業車

磁石吸着車輪ゴンドラ

図一 5 「維持管理用の機械開発」関連の業務

研究開発においては、機械の仕様検討とともにプロトタイプの製作と構内等における動作試験を行うとともに本四架橋の実橋を利用した実証実験等を機械系の技術者の方々と取り組んだ次第である。なお、磁石吸着車輪ゴンドラについては平成8年度の土木学会技術開発賞を授与させていただくものとなり、現在、実際の橋梁点検等に活用されていると聞いている。

3. 施工総研の技術者像

前掲2.にて紹介した通り、研究所入所後は様々な分野の業務に従事することとなり、一度は自分は何が専門であると言えるのか心配になった時期もあった。その頃、研究所創設者の三谷健副会長と話をする中で、「土木は総合工学だ。土木技術者は様々な分野について理解できないとダメだ。」とよく言われた。また、当時、本州四国連絡橋公団の技術幹部であり、一時、研究所の技術参事でもあった方と専門について話をさせていただいた際にも「自分は橋の技術者ではない。橋の上部工も理解し、それを支える主塔、そして、それら全てを支えるケーソンおよび基礎地盤についても理解できる土木技術者だ。」とお酒を飲みながらお聞きしたことも三谷副会長の言葉とともに強く印象に残っている。

また、平成26年は、ちょうど土木学会が100周年を迎えた年でもある。学会HPにて、初代会長の古市公威の就任演説が掲載されており、その中で『土木は概して他の学科を利用する。故に土木の技師は他の専門の技師を使用する能力を有しなければならない。且つ又、土木は機械、電気、建築と密接な関係あるのみならず、その他の学科についても、例えば特種船舶のような用具において、あるいはセメント・鋼鉄のような用材において、絶えず相互に交渉することが必要である。ここにおいて「工学は一なり。工業家たる者はその全般について知識を有していなければならない」の宣言も全く無意味ではないと言うことが出来よう。』との言葉があり、三谷副会長もその技術者像を目指していたのではないかと考えた次第である。そのため、自分も入所当時から様々な分野の業務に携わってきたことは無駄ではなく、施工技術総合研究所というユニークな研究所が当時求めていたであろう技術者像に近づくための歩みと解釈している。

また、いずれの業務においても、自らコンクリートを練ったり、ひずみゲージを貼ることをはじめとして、業務計画立案にはじまり調査や計測のあらゆる作業を自ら行い、その分析およびとりまとめも当然のことな

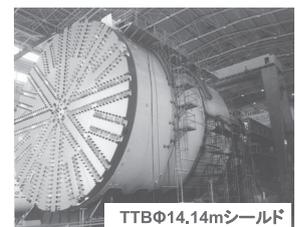
がら自分達で実施してきた。それは、研究所の発足当初から実践してきた「自らの頭で考え、自らの足で調査し、自らの手で試験」するという伝統を、現場主義、実証主義、直営主義として堅持してきた結果である。その伝統は、非効率という言葉で時代に合わない伝統と言われる場合もあるが、現在もかわらずに自然と実施してきている点であり、施工総研が施工総研らしさを維持してきているコアであると考えている。

4. 研究第一部のこれまでの活動

自分が研究第一部としてトンネルおよび地盤等に関する業務に本格的に従事し始めたのが30代前半であり、以降は研究第一部の活動について紹介する。1994年頃からの活動におけるキーワードの一つとして「シールド」が挙げられ、図-6に示す東京湾アクアラインのシールドトンネル工事が本格的に実施し始めた頃であった。そのため、その施工実態をとりまとめる調査検討業務を行うとともに、大阪など大都市を中心に共同溝や地下鉄建設のために密閉式シールドが多数稼働され、それらの技術情報をとりまとめる業務なども実施してきた。その後、首都高速道路においてシールドを用いた道路トンネルの建設が始まり、川崎縦貫線にて採用されたMMST工法に関する試験工場の調査および本線シールドの仕様検討、大断面シールドの仕様検討などを実施し、現在に至っている。

「シールド工法」

東京湾アクアライン
シールド工場の調査
大阪地区内シールド
工場の調査検討
首都高シールドの
調査検討



MMST工法試験工場



図-6 「シールド」関連の業務

また、別のキーワードとして「都市部 NATM トンネル」が挙げられ、本四公団の舞子トンネルや長崎県のオランダ坂トンネルに続き、愛知県の名古屋高速道路に建設された未固結土砂地山の東山トンネルに関する施工技術支援業務を実施してきた。そのため、シールドと NATM という異なる施工法を同時に担当することで、その境界領域に対しても異なる両方の視点で

「都市部未固結地山のNATM」

トンネル施工に関する
調査検討(技術支援)

- ・現地実態調査
- ・施工技術検討
- ・歩掛,機械損料検討
- ・委員会運営 etc

名古屋高速
東山トンネル

沖縄那覇市内
豊見城トンネル
識名トンネル



図一七 「都市部未固結地山の NATM」 関連の業務

技術的な判断が可能となる組織を目指した次第である。また、都市部 NATM トンネルの中でも、以前はめがねトンネルとして三線導坑あるいは中央導坑を用いた施工法から図一七に示すような無導坑方式のトンネル施工（豊見城トンネル、北山トンネル、識名トンネルなど）に取り組む機会に恵まれ、早期断面閉合を用いた超近接トンネルの施工法へと発展させていった次第である。

NATMトンネルに対しては、施工総研として以前から、設計段階・発注段階・施工段階のそれぞれにおける技術支援を行っている。そして、本四公団の舞子トンネルや名古屋高速の東山トンネルなど複数の工区に渡って施工が長期間に渡って実施される中で、発注者をフォローし、各工区の施工業者を交えた3者にて技術的な議論を行いつつ、最適な施工方法等を決定するための支援を行う技術アドバイザーのような立場として工事に関わってきた。そのため、業務の特徴として図一八に示すように長期間に渡って業務に従事している点にあり、長崎県のオランダ坂トンネルなどでは、設計段階からトンネル施工および換気設備の計画・設計・施工までの計13年間に渡って関わってきた。

これらの経緯などから、多くの方々から「研究第一

研究第一部が実施してきたトンネル技術支援

トンネル設計時・発注時・施工時技術支援

トンネル	地域	期間	S60	H1	H5	H10	H15	H20	H25
舞子トンネル	本四	11年	[Bar]						
オランダ坂トンネル	長崎	13年		[Bar]					
圏央道・トンネル	関東	17年		[Bar]					
豊見城トンネル他	沖縄	8年 (17年)		[Bar]			[Bar]		
東山トンネル	名古屋	8年		[Bar]					
安永川トンネル	豊田	10年						[Bar]	

図一八 トンネル技術支援の主な業務実績例

トンネルに関連する
各種実験・研究・開発



地下河川シールド点検システム

飛行船利用
自律飛行

燃料電池車
ガソリン車
LPG車



トンネル火災実験(実物大模擬トンネル)

仕切り壁
(独立分離)



道路トンネル内
自歩道環境対策

図一九 「トンネル」に関する特殊な業務

部=トンネル」というイメージをもっていただいたように思う。確かに担当する業務件数からみた場合には、トンネルが多くを占めるのは事実であるが、実際には「地盤」および「施工」というキーワードにて各種業務を実施してきている。また、同じトンネルでも図一九に示すようにトンネル点検システムの開発検討や模擬トンネルを用いたトンネル火災実験、トンネル内に新たに仕切り壁を設けて自歩道環境改善を行う検討などトンネル施工とは異なる検討も実施してきた。

「地盤」については、前掲図一で紹介した深層混合処理工法に関する技術支援を現在も継続して実施していることや、図一十に示すように腐植土地盤における道路施工検討のための実物大盛土施工試験や供用後に発生した地盤沈下や変形などの原因究明および対策検討など地盤に関する特殊な相談についても対応してきている。

さらに、「施工」を考える上で重要な要素となる「積算」に関する業務についても、古くはトンネル施工の歩掛調査を多く手がけてきており、近年では協会本部とともに施工合理化調査検討や機械設備の損料検討などを担当してきている。

過去10年以内の業務受注件数割合を整理すると、

「地盤」

・地盤に関する各種実験



腐植土地盤の圧密沈下対策の試験盛土(h=6)



多数アンカー工法実物大破壊試験

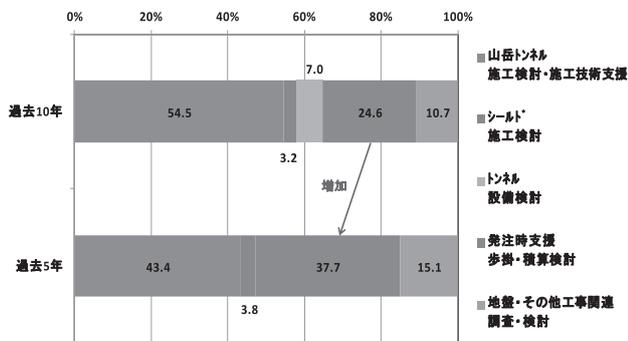
・地盤変状発生に対する
検討(原因、対策)
泥岩盛土の沈下変状



図一十 「地盤」関連の業務例

図—11に示すものとなり、山岳トンネル関係がやはり中心にはなっている。しかし、過去5年間のみに着目すると、トンネルといった工事そのものに関連するもの以外に「積算」といったより上流側の検討が増えている傾向にある。

近年における研究第一部の主な業務推移



図—11 近年における研究第一部の主な業務推移

5. 今後研究第一部に期待されるもの

近年において従事している特徴的な業務として以下のものが挙げられる。

- ・次世代インフラ用ロボット開発・導入に係る現場検証支援
- ・トンネル点検データベース作成検討
- ・SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）社会インフラの点検高度化に向けたインフラ構造及び点検装置についての研究開発

いずれも今後の社会的な問題としてクローズアップされている「維持管理」に関連する業務であり、トンネルに関する中立的な立場のエキスパート集団として多くの方々から活躍を期待されているものと真摯に受け止めている。

これまで紹介した業務である「トンネル技術支援（設計・発注・施工時）」や今後期待されている「トンネル維持管理」、そして工事の基礎資料となる「歩掛検討」や「機械損料検討」のいずれにおいても、中立的な立場にて土木に関する施工および施工機械が理解できるエキスパートとして先達が積み上げてきた「信頼」の

下に業務を受託させていただいているものと考えている。そして、各種業務の成果を通じて「信頼・安心」を今後も社会に提供し続けることが施工総研の使命であると考えている。

施工総研の大きな特徴としては、富士の麓に約15万m²の敷地を有し、前掲2.で紹介したような各種施工実験を実施可能な場所を有することと、それらを活用できる技術者が存在することと考えている。そのため、実大規模の模擬トンネルやテストフィールドなどの施設を活用し、大学や発注機関および民間各社（ゼネコン、メーカーなど）などとの技術開発・共同研究・共同試験等の実施にも取り組み、多様な方々が集まって議論できる場としても今後貢献できないかと考えている次第である。

6. おわりに

研究第一部の担当メンバーも、自分が入所した頃に比べて「トンネル・地盤」の特定分野に専門分化し始めており、担当部長として施工総研らしい土木技術者を育てるためにどうすべきかを模索している次第である。また、「トンネル施工技術支援」や「地盤に関する各種検討」などこれまで施工中心であった業務から「積算関連」の業務や「維持管理」に関する業務など時代の要請にともなって業務内容も変化が求められているものと感じている。研究第一部としてコアとすべき点を再認識しつつ、「自らの頭で考え、自らの足で調査し、自らの手で試験」という伝統を堅持することで、施工総研らしい技術者集団として今後の時代が求める「変化」にも対応していき、広く社会に貢献していく所存である。

JICMA

【筆者紹介】

安井 成豊（やすい しげとよ）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第一部 部長

