



機械施工技術分野の取り組み

佐野 昌 伴

1. はじめに

施工技術総合研究所は、建設機械の性能試験を行うことを目的に創設されて約55年が経過する中で、その時々のテーマや課題を解決するために、アプローチを変えながら取り組みを続けている。

機械施工技術分野において施工総研が現在実施している業務は、以下の3つに大別される。

- ①情報化施工・ICT 施工に関する調査研究
- ②建設機械に関する調査・研究・開発
- ③建設機械の性能試験および認定等

このうち、①と②は主に国土交通省の技術事務所等から委託を受けて実施している検討業務で、③は民間から委託を受けて施工総研が中立的な第三者機関として実施している業務である。性能試験は、除雪機械とROPS等の運転員保護構造物の試験が中心であり、認定等は、主に法律または国で定めた制度等に基づいて実施している業務である。

本稿では、上記した①～③の業務の近年の取り組みなどを紹介する。

2. 情報化施工・ICT 施工に関する調査研究

(1) 情報化施工・ICT 施工に関する検討のあゆみ

情報化施工・ICT 施工に関する業務は、国土交通分野における異業種交流に端を発し、平成9年から取り組みを始めて平成13年に発表された情報化施工のビジョン策定に関わる業務、平成20年に発表された情報化施工推進戦略の策定と現場普及のための支援業務、そしてi-Constructionの策定および現場普及のための支援業務の大きく3つの段階を経てきた。

施工総研が担当する業務分野は、①日々進歩する先端技術の現場適用性の検証と評価、②先端技術を現場運用するための手順やルールの検討、③現場普及のための技術支援、④現場ニーズの解決に向けた新技術の調査・研究であり、現場業務の課題解決をキーワード

にさまざまなテーマに取り組んできた。

(a) 情報化施工ビジョン策定(2000年頃～2007年頃)

情報化施工のビジョン策定段階においては、急速に発展するセンサー技術、ロボット技術の建設分野への適用性が数多く試行された時期である。施工総研においても、トンネルの打音点検システムの開発、埋設物探査システムの開発検討、吹付け無人ロボットの開発等の個別案件の研究開発に多く取り組んでいる。情報化施工のビジョンでは、土工・舗装工等の主要な6工種をとりあげ、これらの新たなセンサー技術やロボット技術の開発事例と、将来の建設分野におけるICT活用のビジョンのとりまとめを実施した。

(b) 情報化施工推進戦略策定(2007年頃～2015年頃)

情報化施工のビジョンの策定以降、自己位置の特定が容易な衛星測位技術や光波測距技術、高速無線通信技術、3次元データの取り扱いに関する技術はさらに急速な普及と発展を遂げてきたことから、建設機械のマシンコントロール/マシンガイダンス技術、3次元設計データを用いた出来形管理技術が汎用技術として現場に適用されるようになった。そこで、これらの技術を本格的に建設施工現場に展開する施策として情報化施工推進戦略が打ち出された。

施工総研では、これらの技術の現場適用時の効果検証を行うとともに、新たな技術を用いた施工や施工管理の手順として、下記に示す情報化施工のメリットを活かす環境整備に関する検討業務を主に実施してきた。

- ① TS・GNSS 締固め回数管理技術 (監督・検査要領, 施工管理要領)
- ② (土工, 舗装工) TS 出来形管理技術 (監督・検査要領, 施工管理要領)
- ③ 施工情報の標準化・利活用に関する検討 (TS 出来形管理用の機能要求仕様書, データ交換標準案)
- (c) i-Construction ～建設現場の生産性革命～策定後 (2015年頃～現在)

この期間においては、国土交通省が進めている

i-Construction の3つの取り組み（「ICT技術の全面的な活用（ICT活用工事）」、「全体最適の導入（規格の標準化等）」、「施工時期の平準化」）のうち、主に「ICT技術の全面的な活用（ICT活用工事）」に関する検討業務に携わっている。これらの検討業務では、これまで情報化施工の検討で培われたICT建設機械（マシンコントロール／マシンガイダンス）や3次元計測技術等の要素技術に関するノウハウや3次元設計データや施工で取得されるデータなどの活用方法などの知見を活かして、業務に取り組んでいる。

（2）情報化施工・ICT施工に関する業務の近年の取り組み

i-Constructionの取り組みに関する施工総研の役割・成果として、①i-Construction技術の導入に関する検討や②i-Constructionの普及支援がある。

①では、現場実態調査等を踏まえた課題分析やICTの特徴を生かした課題解決策の検討を行い、現場の生産性向上に関わるICTの全面的活用に向けた施工・施工管理方法の提案を行っている。

また②では、工事現場における情報化施工・ICT施工技術の効果検証結果を反映した、ICT活用工事に関わる監督・検査要領、施工管理要領等の作成支援や運用後のフォローアップ調査を実施している。

なお、上記に関する成果については、無人航空機による写真測量技術やレーザースキャナーなど新たな計測技術を用いた起工計測や出来形計測などの施工管理方法の提案を行うとともに、平成28年3月に策定されたICT活用工事に関わる土工編の施工管理要領をはじめに、舗装工事編、河川浚渫編など、40を超える技術基準類の作成に携わっている。さらに、今後も、適用工種や適用技術の新たな拡大を図るため、舗装修繕工や法枠工などへの適用効果を実証中である。

（3）情報化施工・ICT施工の今後の展望

国土交通省の積極的な取り組みの背景もあり、i-Constructionというキーワードやマシンコントロール／マシンガイダンス、ドローン・レーザースキャナー等の多くの情報化施工・ICT施工技術の普及と認知度が向上してきた。しかし、これらの取り組みの導入目的は単なる技術の普及や導入ではなく、生産性を向上することであり、今後は、現場の正確な情報を技術者に提供することで、現場のさらなる生産性向上やリスクの低減のマネジメントを実現させることが重要と考えている。

これらの現状を踏まえつつ、情報化施工やICT施

工の目指す姿として、施工総研が取り組みを進める新たな4つの視点を示す。

（a）現場マネジメントの支援技術としての定着
現場での確かなマネジメントを行うためには、多くの情報を必要とするが、現場のデータを安く効率的に取得し技術者判断が可能な情報へと変換する技術が必要となる（図-1）。



図-1 情報化施工の目指す姿の実現に向けて

例えば、現場の映像データやICT建機の施工履歴データ、3次元計測機器データより、工事現場の地形・地質の状態や建設機械の状態を収集・分析することにより、工事進捗のリアルタイム管理や、工程計画や改善策のシミュレーションなどが可能となり、技術者の判断に資する情報を提供することができる。これらの実現に向けた研究・開発と現場での適用性検証を行っていききたい。

（b）新規技術の発掘と活用方法の検証

i-Constructionでは、新技術に対応した技術基準類がスピード感を持って整備されていることから、今後も、建設施工の合理化や技術者判断を支援する情報化施工技術、ICT施工技術が持続的に研究・開発されることが理想である（図-1）。

この実現のためには、生産性向上に寄与するためのニーズ（技術と情報）を常に発信して技術開発を促すことと、第三者の視点での効果検証・情報公開を継続的に実施することが重要となる。

さらに、新規技術を公共事業で効果的に活用できる環境の整備が必要となる。施工総研には、新規技術の開発支援、評価、生産性向上を実現するための環境整備（要領や基準類）といった役割が求められていると認識している。

（c）防災・減災としての活用

例えば現状の遠隔操作では、映像という限られた情



図-2 防災・減災としての活用手法検討

報をもとに作業を行う必要があるため、MC/MGといった操作支援は有効となる。しかし、MC/MGを有効に利用するためには、作業指示となる設計データを如何に迅速に簡易に準備できるかが重要となる。このためには、現場の状況をセンシングする技術も欠かせない(図-2)。

MC/MGではその位置情報を有していることから、レーザースキャナーや写真測量、無人ヘリコプターといった技術との併用や、MC/MGのアタッチメントとして組合せることでより確実に簡易に情報を取得する方法の実現も検討していきたい。

(d) CIMとの連携

近い将来には、既存インフラの老朽化と施工者のみならず発注者の人材不足となることが多くの資料で取り挙げられている。このような状況から管理や点検の見落としリスクの回避や問題の早期発見と省人化は必要不可欠となるが、このために施工段階の情報を戦略的に蓄積していくことが必要となる。

施工段階の情報を蓄積・解析することで新たな発見や知見への反映が期待できる。これらのプロジェクトは一朝一夕には実現しないが長期的な視点での戦略を持って実行していく必要がある(図-3)。

3. 建設機械に関する調査・研究・開発

受託業務を分野別にみると、新機種の開発が最も多く、防災・復旧対策、環境対策、安全対策に対する業



図-3 長期的視点でのCIMとの連携検討

務が続いている。以下に建設機械に関する調査・研究・開発の主な事例を紹介する。

(1) 新機種の開発

(a) 降灰対策型歩道(小型)清掃車の改良

本検討は、火山灰の堆積に対する交通安全の確保や生活環境の保全を目的に、歩道清掃車の作業時における粉塵抑制について、改良した防塵カバーおよび散水装置等を対象として要素実験および現場実証実験を行い、その効果の評価を行ったものである(写真-1)。



写真-1 歩道(小型)清掃車の公開実験の状況

要素実験では、①散水装置の装着(側ブラシへの直接散水)、②車体下部への防塵カバーの装着、③コンベアの改良(ホッパへの灰の回収の改善)等の効果を確認した。また、現場実証実験では、要素実験で効果が高いと判断された技術について、実現場における有効性を確認した。

(b) 安全対策に関する調査研究

本検討は、油圧ショベルメーカー5社の委託を受けて実施した研究業務である。

建設機械のROPS(転倒時保護構造)の規格が初めて策定されたときには、油圧ショベルは対象外であった。しかし、その後小型の油圧ショベルは、横転しやすいことからTOPS(横転時保護構造)の規格が定められ、また大型の油圧ショベルもTOPSの規格が必要との機運が高まり、ISO規格を策定することになった。このため、施工総研で油圧ショベルの実機を用いた転倒実験を行い、TOPSの性能基準を提案することになった。

転倒試験では、運転質量12, 20, 45tのバックホウを対象として、キャブが下側になる姿勢で30°の斜面を転落・横転させ、変形量を測定した(写真-2)。その後、室内載荷試験でキャブの変形状況を再現し、キャブに作用する力と吸収エネルギーを推定した。こ



写真一 2 油圧ショベル転倒時保護構造の性能基準策定

の成果をもとに、最終的に「6tを超える油圧ショベルのROPS」の規格が制定されている。

(2) 環境対策に関する調査研究

本検討は、建設機械における各種の省エネ対策の効果を確認するため、油圧ショベルのエネルギー消費量（燃料消費量または電力消費量）に関する以下の確認試験を行ったものである（写真一3）。



写真一 3 建設機械施工における排出ガスおよび燃料消費に関する調査検討

- ①現場における燃料消費データの確認試験結果の検証
- ②CO₂排出量に基づく電動油圧ショベルと油圧ショベルのエネルギー消費量の比較検証
- ③各排出ガス基準でのエネルギー消費量の検討と試算

(3) 防災・復旧対策に関する調査研究

本検討は、二次災害が危惧される災害現場や照明車の搬入できない災害現場等において、夜間での監視および復旧作業を迅速に行うことを目的として開発した

災害対策用照明装置の試作機について、改良を行うとともに機能検証のための実証実験を行ったものである。

改良は、傾斜地対応、2.5t積みクローラキャリアへの搭載対応、照明運転時間計設置等について行い、実験において操作性、搭載性、安定性等に関する改良部分の評価を行った。また、実用機図面および使用マニュアルを作成した。

この照明装置は、電力消費の少ないLEDランプと遠距離照射が可能なキセノンサーチライトを装備し、輸送方法は、現場近くまではトラックで運び、そこで不整地踏破性の高いクローラキャリアに載せ換える方式を採用している。また、傾斜地でもスクリージャッキによって傾きを修正できる等の特長を持っている（写真一4）。



写真一 4 不整地運搬車に搭載した災害対策用照明装置

(4) 建設機械に関する研究開発の今後の展望

(a) 自然災害対策

我が国では、台風やゲリラ豪雨、豪雪、噴火などによって、毎年のように自然災害が発生し、従来よりもその頻度や強度が増している。台風は、大雨、洪水、暴風、高波、高潮などを起こし、噴火は、広範囲に火山灰を降らせ、土砂崩れや土石流、地すべりなどを引き起こす。巨大地震や突発的な大雪は、大規模な立ち往生や長時間の通行止めを発生させて社会生活や地域経済に大きなダメージを与える。

このような自然災害時の早期復旧や社会影響をできるだけ低減させるために必要となる建設機械には、遠隔地から操作できるバックホウや不整地運搬車などの「遠隔操縦式建設機械」、排水ポンプ車や照明車などの「災害対策用機械」、除雪トラック、除雪グレーダ、ロータリ除雪車、除雪ドーザなどの「除雪機械」などがあり、放置車両の移動機器なども含めて、今後もそのニー

ズは継続する。ただし、限られた予算の中で、これらの建設機械の台数増加は難しく、今後も機能向上や付加価値の増加が求められる。

(b) 除雪作業の自動制御化

除雪現場は、高齢化かつオペレータ不足により、除雪作業の維持に困窮する状況が続いており、熟練オペレータの運転技術の継承にも苦慮している。

これらの課題を解決するためには、プラウ、ブレード、サイドシャッタなどの作業装置のマシンコントロール (MC) 化や、準天頂衛星システム (みちびき) やセンシング技術を組み合わせた高精度な位置情報の取得、画像認識技術や AI (人工知能)・IOT の導入、ビッグデータやクラウドの活用などを進めていく必要がある。自動車の自動走行レベルの定義 (レベル 1 から 5) に相当する除雪機械の自動作業レベルのイメージは以下のように考えられ、今後はステップバイステップで研究開発が進められる。

- ①作業支援 (ガイダンスシステム)
- ②部分作業自動化 (作業装置の一部自動化)
- ③条件付作業自動化 (作業装置の条件付完全自動化)
- ④高度作業自動化 (限定地域での運転・作業の自動化)
- ⑤完全作業自動化 (自律型による作業完全自動化)

(c) 新技術の適正な評価

施工総研は、国土交通省の新技術情報提供システム「NETIS」に関わる「テーマ設定型実証」を実施する第三者機関に選定されている。テーマ毎に新技術を適正に比較評価して公表することは、新技術を現場に早期投入させるなど普及促進効果がある。

適正に評価するためには、要求仕様の検討から、試験や評価方法の検討、テストフィールドの設置、計測システムの構築、試験の実施・評価までの一連を行う必要がある。この業務は、第三者機関である施工総研が得意とする分野であり、今後はテーマ数が拡大し、他機関での要望も増えると考えられる。

4. 建設機械の性能試験および評定等

建設機械の性能試験は、施工総研が創設されてから十数年ほどは土工機械を中心として建設機械全般にわたって実施していたが、現在では除雪機械と運転員保護構造の性能試験が主たるものとなっている。

建設機械の認定等は、主として法律あるいは国で定めた制度等に基づいて実施しているもので、メーカーまたはディーラーからの依頼により検査・評定・認定を実施している。以下にこれらの業務について紹介する。

(1) 除雪機械の性能試験

この試験は、除雪機械の最大除雪能力等の仕様値の確認を目的とし、1972 年からメーカーの依頼を受けて、北海道や新潟の冬季閉鎖道路を借りて実施している。準拠する試験方法としてロータリ除雪車は JIS、それ以外は JCMAS が制定されている。

この除雪機械の性能試験の件数は、年によって大きく変動するが、これはモデルチェンジのタイミングや排ガス規制の開始時期、また、メーカーの吸収合併による型式数の減少等、様々な要因がある。

機種では、ロータリ除雪車がほぼ毎年試験を行っており、次いでドーザが多く、それ以外のグレーダやトラックは数年に一度の頻度となっている (写真—5)。



写真—5 ロータリ除雪車試験状況

(2) 運転員保護構造の性能試験

運転員保護構造には、転倒時の保護を目的とした ROPS (Roll-over protective structures) や TOPS (Tip-over protection structure)、飛来落下物に対する保護を目的とした FOPS (Falling-object protective structures) 等がある。これらの試験方法や性能基準は ISO や JIS に規定されており、施工総研ではこれらに準拠した試験を行っている (写真—6)。

運転員保護構造の性能試験は、これまで輸出向けの機械に装備する製品が多かったが、近年では 2014 年に労働安全衛生規則の 157 条が改正され、転倒時保護構造の装備が努力義務となり、法制度の面から装着を促進する動きが出てきている。

(3) 低騒音型・低振動型建設機械の計量証明

1983 年に始まった低騒音型建設機械の指定制度は、1997 年に「低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程」および「建設機械の騒音および振動の測定値の測定方法」が告示され、大幅に改定された。騒音



写真一六 ROPS 側方載荷試験状況



写真一七 音響パワーレベル測定状況

の評価値はそれまでの機側 7m の平均騒音レベルから音響パワーレベルに変わり、また、ブルドーザ、バックホウ、トラクタショベルは、定置運転状態から動的運転状態での測定に変更された（写真一七）。

低振動型建設機械は 1996 年に指定が開始されたが、対象機種はパイプロハンマと標準バケット山積容量 0.5 m^3 以上のバックホウの 2 機種にとどまっている。測定場所は土木研究所の建設機械屋外実験場を借りて実施している。

指定制度改定前は施工総研が唯一の評定機関となっていたが、改定後は計量法による計量証明事業所として証明を行っている。また、EU 騒音指令に基づく計量証明や低騒音型の対象外の機械の騒音測定も実施している。計量証明数は、低騒音型建設機械が毎年 90 ～ 120 台程度、低振動型建設機械が毎年 1 台程度で推移している。

(4) 排出ガス対策型原動機等の評定およびオフロード法関係の検査

(a) 排出ガス対策型原動機の評定

排出ガス対策型建設機械指定制度はオフロード法が制定されるまで建設機械の排ガス対策の中心となっていた。この制度の現在の指定対象はオフロード法の規制対象外の 8kW 以上 19kW 未満の車両系建設機械と可搬式機械のみである。施工総研は評定機関としてエンジンメーカーに出向いて立会を行い、エンジンの評定を行う。これを国交省が認定し、それを搭載した機械を排出ガス対策型建設機械として指定する。

(b) オフロード法関係の検査（特定特殊自動車の使用確認の検査）

車両系の建設機械や産業機械等からの排出ガスの抑制を目的とした「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（平成 17 年法律第 51 号）」（オフロード法）による使用規制が 2006 年から開始された。規制対象となる特定特殊自動車は製作者等による国への届出等が必要であるが、使用者が製作した車両や使用者が輸入した車両など届出を行っていない車両は使用前に排出ガス性能が基準値に適合していることを国に申請して確認を受けなければならない。特定特殊自動車の使用確認の検査はこれらの車両について排出ガス性能が基準値に適合することを個別に検査するものである。オフロード法関係の検査にはこの他に特定原動機の検査もあり、施工総研は両方の登録検査機関となっているが、現在、施工総研が実施している検査はすべて特定特殊自動車の使用確認の検査である。

排出ガス対策型原動機等の評定およびオフロード法関係の検査は、2006 年にオフロード法が施行されてからは、排出ガス対策型原動機の評定は激減し、代わりにオフロード法の使用確認検査が急増している。

(5) 標準操作方式建設機械の認定

標準操作方式建設機械は機械の運転操作方式を統一することによって建設機械施工の安全を図ろうとするもので、1991 年に旧建設省の指定制度として始まった。その後、普及が進んだとして 1998 年にこの指定制度は廃止され、新たに JCMA の認定制度として発足した。施工総研では、申請者より提出された操作方式に関する書類を審査し、認定を行っている。件数は、年間 80 ～ 120 件程度で推移している。

(6) 建設機械燃料消費量の評定

国土交通省では地球温暖化対策の一環として建設施工現場における省エネルギー化の推進や低炭素型社会

の構築に取り組んでいる。2010年からはハイブリッド機構や電動機構等を搭載して省エネ化を達成した建設機械を「低炭素型建設機械」として認定し、その普及を図っている。また、2014年には、搭載する省エネ技術には関係なく統一的な測定法による燃費基準値を達成し、かつ、排出ガス2014年基準に適合した機械を「燃費基準達成建設機械」として認定する制度を創設した。この認定制度は、油圧ショベル、ブルドーザ、ホイールローダを対象とするもので、メーカー自身による燃費測定が認められている。

5. おわりに

施工総研の使命は、建設事業の生産性を向上させるために、現場の現状やニーズを知るとともに、施工や社会インフラの維持管理に関わる多くの関係者と連携し、新機種の研究、開発およびそれらの実証支援、さ

らには、新工法が活躍できる環境を整備することと認識している。

これらの実現に向けて、施工総研が有するフィールドを生かした効果検証や現場ニーズと新規技術のマッチングを行う意見交換などの場を有効に活用して、先を見据えた有効な技術の実現を目指して一層の努力をする所存である。

《参考文献》

- 1) 「施工技術総合研究所 創立50周年記念報告」, 建設機械施工 2015.3

【筆者紹介】

佐野 昌伴 (さの まさとも)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部 部長

