

先端技術の公共土木分野への活用と実装

有田幸司

1. はじめに

高い分解能を有するセンサー、高速な演算処理が可能な電子デバイス、機械学習、高い精度で制御が可能な精密機械類、すなわち、IoT (Internet of Things)、ビッグデータ、AI (Artificial Intelligence)、ロボットに関する技術(本稿では以下これらの技術を「先端技術」と称する)が急速に進展しつつあり、多くの分野で生産性を向上させるために活用されることが期待されている。さらに2020年からのサービス開始が見込まれている5G(超高速・大容量通信、超低遅延、同時接続数の増加を可能とする第5世代移動通信システム)の普及がこれを加速するものと考えられている。国土・土木とAI懇談会(土木学会平成29年度会長特別委員会)の提言においても土木分野にICTを活用して省人化や生産性・コスト効率の向上に努めなければならないとされている。

本稿では、先端技術の公共土木分野における技術研究開発での活用と社会実装に向けての期待と課題を論じる。

2. 先端技術の進展の見通しと課題

2.1 第4次産業革命技術としての進展の見通し

2017年5月30日に公表された「新産業構造ビジョン」ではIoT、ビッグデータ、AI、ロボットを第4次産業革命技術として取り上げている。同ビジョンでは、世界のデータ量は2年ごとに倍増し、ハードウェアの処理性能は指数関数的に進化し、ディープラーニング等によりAI技術が非連続的に発展しており、これら技術のブレークスルーによってこれまで実現不可能と思われていた社会の実現が可能になり、産業構造や就業構造が劇的に変わる可能性がある、としている。

政府は「超スマート社会」(Society5.0)として「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズに

きめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会。」(第5期科学技術基本計画)の実現に向けた具体的な施策を推進している。

2.2 先端技術の課題

2.2.1 社会的リスクと規制の必要性の議論

プライバシーの保護、AIやロボットに対する法的責任の問題など先端技術の社会実装における様々なリスクに対して社会的なコンセンサスや規制の有り様に対する議論がなされている。

社会が豊かで利便性が高まっていけばいくほど、社会の脆弱性についてのリスクも高まり、サイバーセキュリティなどのリスクを低減させるための方策の重要性が一層増してきている。

2.2.2 国際競争力と規制の緩和

進展著しい新技術の開発が、我が国の法規制を理由として制約を受けることのないよう、法益とのバランスも考慮して、新技術実証の推進のためサンドボックス制度で挑戦できるよう立法措置も含めた施策が推進されている。

3. 公共土木分野における技術研究開発

先端技術の技術研究開発での活用や社会実装を論じる前に、そもそも、公共土木分野における技術研究開発の成果はどう誕生し、実装がどのように進められているのかを概観する。

3.1 何のために技術研究開発が進められるのか

既存の技術のみでは解決困難な課題に対して、新たな実施手段を見いだすために技術研究開発が進められる。あるいは、より機能に優れ、より高品質で、より安全で、より低費用で、より環境負荷が低いもので、より適切な工期内で実施可能な手段を見いだすために技術研究開発は進められる。

いずれにしても公共土木分野の事物に対する社会要請に応じてVE (Value Engineering) を実践する観点が必要で、最終的な利用者・消費者・負担者である国民から理解と評価を得られることを目指して技術研究開発は進められている。

3.2 技術研究開発はどう進められるのか

研究は未知の新事実を探索し発見することであつたり、仮説と検証の方法により未解明な事象に対し一定の関係を明らかにすることであつたりする。開発は具体的に実施する手法について設定した要求水準に適うまで繰り返し試行錯誤を行うことであつたりする。

探索にしても仮説を立てるにしても勘や経験(知識やノウハウも含む)や観察された事象を帰納法的に考察することが重要な役割を果たす。検証には目的に応じた精度の確保とその再現性が求められる。開発も単に条件を変えて試行錯誤するだけでなく、勘や経験に加えて新たな着想が重要な役割を果たすこともある。

3.3 成果の実装はどう進められるのか

公共土木分野において対象とする土木事業、土木施設に対して事業者が働きかける調査、計画、設計、施工、運営、維持管理・更新の営みの中で駆使される土木技術に技術研究開発の成果が活用されれば、その成果は実装されているといえる。

法令に基づく技術的基準、学会で制定・改訂する標準示方書などの技術基準類への反映や、技術資料として扱われることがその一つである。

現場で作業する調査、試験、測量、施工、点検などの方法は請負者の創意工夫で合理的に行われることが期待されている。事業者が特に指定をしていない限りは、新技術の採用は請負者の主体的な責任を伴う判断で行うこととなっている。しかし、我が国では、公共工事を例にとると、平均的な技術水準を有する請負者が標準的な施工方法で工事を実施するために必要な金額を事業者が算出(積算)し、(上限拘束性のある)予定価格を決定するため、請負者にVEを実践する意識がなければ、在来の施工方法が惰性的に踏襲されることとなる。

新技術の導入には請負者側にVEの動機付けが働く仕組みが必要であり、これまでも多くの施策が導入されてきている。また、事業者側からも政策的に新技術の導入を推進するため、適用する新技術を指定し積算や設計変更もそれに応じたものにしたたりするなど様々な施策が講じられている。

3.4 実装の成否において重要なことは何か

技術研究開発の成果は、内容に応じて請負者や事業者におけるVEの観点から、適用性とその効果、成立性と潜在リスク、調達可能性と経済性に

関する要求事項を満たしている必要がある。

技術研究開発に着手する段階で、その開発しようとしている技術はどこで何の役に立つのか他の手段と比して優位性を有するのかをよくよく考えておくことが重要である。技術研究開発成果の実装の成否は、研究開発期間終了後の普及活動よりも、むしろ、着手前の目標設定とそれがどの程度実現できたかに負うところが大きいと考えられる。

4. 公共土木分野から見た先端技術への期待

痕跡を観察する機器がセンサーで、センサーで観察された痕跡を速やかに伝達するのがIoTである。観察された大量の痕跡を分析し新たな価値を生み出す形で利用可能なのがビッグデータで、記録された痕跡から生成された学習用データセットをプログラムが自ら学習し、諸々の痕跡の特徴を推論するのがAIである。プログラムによりある程度自律的に姿勢や動作を制御し人の代わりに多様かつ複雑な作業を行うのがロボットである。

今、観察しているものは全て過去の痕跡である。過去の痕跡から現在、将来における危険性やリスクを感じ取りどう対処するかが重要である。先端技術の活用や実装に何が期待できるかを考察する。

4.1 技術研究開発を支える手段として

公共土木分野において技術研究開発を進める上で、事象の痕跡を可視化し記録することは、最も重要な手立ての一つである。可視化したい対象は、人や車が移動している痕跡、森羅万象の存在や変化に関する痕跡、地盤、土砂、構造物が崩壊、損傷している痕跡など枚挙に暇がない。

痕跡の観察、探索、発見や繰り返し行う作業を人力で行うとなると人間の能力の限界に制約されるが、先端技術を駆使して機械的に行うことができれば、大量の作業を一定の信頼性を保ちつつ短時間で終わることができるようになり、技術研究開発における作業効率の向上が期待できる。

仮説の立案や開発のための試行錯誤に有用なKKD(職人技として昔から続いている管理手法の勘、経験、度胸の頭文字を取ったもの)が仮に当事者に不足していても、IoT、ビッグデータ、AIの活用で補える場合もでてくる。

また、AIで分析した推論の結果は明示的知識では説明困難な場合もあり得るが、逆に帰納法的な考察により、新たな仮説の契機ともなり得る。

更に土木施設のデータをIoTでオープンデータ化しAPI (Application Programming Interface) も提供することで、外部の研究開発(オープンイノベーション)を呼び込むことが期待されている。

4.2 現場の実務を支える手段として

4.2.1 調査計画段階

土木施設の機能や構造要件を検討するために、人やモノ、交通手段に付着しているセンサーの利用が考えられる。携帯電話、ICタグやETC2.0などから得られる痕跡を分析し調査計画に反映させる。また、移動の痕跡は道路交通管理のオペレーションや災害時の被災状況の推測に役立てられる。

河床や地山表面をレーザー航空測量する技術に加え、水文事象、水理事象においても何が起きているのか、雨雲、降水量、河川の水位、流速など観察機器から得られた痕跡の分析に役立てられる。

4.2.2 設計施工段階

設計情報を基にして測量技術と機械施工技術の繋ぎ目のない一体的な運用による生産性の向上が期待されている。測量機器(特にUAV(Unmanned Aerial Vehicle)の活用)においても建設機械においてもIoTを駆使して高い精度で位置や出来形の確認そして姿勢と動作の制御ができる装置やプログラムの活用実績が増えつつある。

地盤や地山の挙動についてセンサー、AIの活用でKKDの不足を補っての施工が期待される。

省人化や技術の伝承という点からも、現場では総合技術監理の重要な道具として役立てられる。

4.2.3 運用・維持管理・更新段階

事故や異常気象によって生じる機能の制限や施設の操作において、その即時的な制御を円滑にするには監視カメラをはじめとするセンサーの設置などIoTの実装による支援が重要となる。また、地震や風水害等により面的に災害に見舞われた時においては地域全体にわたる機能の停止や著しい機能の低下を抑止できるよう、各土木施設の重要度や代替可能性に応じ各土木施設管理者間での連携による体系的かつ効率的な運用が求められており、IoT、AIの実装による連携の支援が望まれる。

排水機場ポンプのような非常用機械設備等の保全は、事後保全や時間基準保全の方法に替えて、より費用の削減と適正化が期待できる状態基準保全の方法を導入することが期待されている。これには異常検知と診断の信頼性の向上が必要であり、

IoTで即時的に痕跡を感知し正常時の痕跡との違いをAIで検知する技術の実装が期待されている。

土木構造物や自然斜面が崩壊、落下に到らぬよう、また機能の発揮が増進できるように施設管理者は巡視等、点検、診断、措置、記録を体系立てて行い適切な維持管理・更新に努めねばならない。

巡視等は監視機器類の設置により巡回時に視認する対象を減らすことにより効率化が期待できる。

点検業務は人の近接目視を前提とした定期点検において人手と費用の負荷が大きいことが課題となっており、点検業務における精度の確保と効率化を図るために遠望センサーの活用あるいはロボットにセンサーを搭載し機械的に痕跡を観察し記録する技術手法の導入が期待されている。

土木施設の健全性の評価、補修内容、更新すべきかどうかの判断においてもAIを活用することにより信頼性の向上が期待できるものとなる。

運用・維持管理・更新段階では、何らかの危険につながる恐れのある事象の痕跡を見逃さずに管理下において経過観察できることが重要であり、先端技術はそれに役立つことが期待される。

5. 社会実装する際の課題

5.1 使える技術にするための課題

5.1.1 土木側からみた技術研究開発の課題

通行規制や水防体制、ダムや水門の操作においては即時に状況を把握し、即座に将来を予測することが求められる。そのためにどのような痕跡をどのように観察し収集・整理・分析しておくべきかが技術研究開発の課題となる。

また、土木構造物や自然斜面が突如もしくは長期の劣化により崩壊、落下に到らぬよう適切に維持管理・更新するには痕跡と劣化要因の関係を解明していくことが重要であり、どのような痕跡をどのような因子と関連させて観察し収集・整理・分析しておくべきかが技術研究開発の課題となる。

5.1.2 先端技術(ハード)の技術研究開発課題

公共土木分野で先端技術を効果的に活用するには、痕跡の観察精度をどう要求するかが重要である。近くにある2点を違う離れたものとして認識できる最小の距離が分解能である。人の視力でいうと1.0とは1'(分)の視角のものを区分けられる分解能とされていて、距離5mで1.45mm(視力表では1.5mm)、近接目視で手を伸ばした距離を70cm

とすると0.20mmが分けられる精度に相当する。

点検ロボット搭載センサーとSfM (Structure from Motion、画像に映った対象の3次元的形状を画像群から得る方法)の活用が期待されている。観察する対象物と移動するセンサーの状態(時刻、位置、速度、向き)のぶれを勘案した相対位置関係とセンサーの分解能を統合したものが出力ベースでの精度となる。ユーザーが用途毎に要求する精度と作業時間の組み合わせの効率が課題である。臨機にロボットを制御しセンサーの精度と併せて運用する技術の研究開発を技術推進本部先端技術チーム(以下「先端技術チーム」という。)で進めている。



図-1 マーカーによる相対位置情報の補正効果を実験

5.1.3 先端技術(ソフト)の技術研究開発課題

2018年度、スーパー台風が来襲した時の水門操作状況を把握するAI技術の研究開発が戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に、また、排水機場ポンプの異常を推定するAI技術、様々な計測技術によるデータの効率的な収集・解析に必要なAI技術の研究開発が官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)にそれぞれ採択され、先端技術チームで研究開発を始めたところである。

AIは意思決定を支援する観点から二つに分けて考えることが重要である。データを人間が解釈し次の意思決定に活用するもの、言わばホワイトボックス型においては、分析結果の解釈可能性と適切なタイミングでの可視化が重要となる。繰り返し業務の効率化、自動化を目指すもの、言わばブラックボックス型においては、業務への直接的な貢献と必要十分な精度が重要となる。

AIの推論の精度に何を要求すべきなのか確認方法も含めて課題である。学習用データセットの

準備とその性能を評価する方法も課題である。

5.2 公共調達の対象として扱う上での課題

IoT、ロボットはハードとして捉えると要求事項が仕様として明示できることから、公共調達において通常同様に扱うことが可能と考えられる。

一方、一般にAIは事前に開発成果を確約できない性格を有すること、学習用データセットが無体物(情報)であり権利が保護されないことから、契約関係の相場観が確立されていない状況にある。公共調達において、契約内容、参加資格要件、事前評価の審査の対象、契約完了後の検査の対象や方法について、契約しようとする事柄の内容、性質に応じ考える必要がある。これらの事項はAIの試行的導入が進められるに伴い関係者に共通する考え方・基盤が整えられていくべきである。

6. まとめ

先端技術の公共土木分野における技術研究開発での活用と社会実装に向けての期待と課題を論じてきた。ユーザー視点に立った要求事項としてのセンサーの精度をどう設定して合理的な組み合わせを考えるべきか、先端技術に関する公共調達の手続きに議論が必要であることなどを示してきた。

今後とも、民間の技術研究開発と協調領域は連携しつつ、先端技術の効率的な活用に向けた検討、公共調達にかかる試行的な取り組みについて議論を深めていきたい。

参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会：インフラ・国土管理における土木とICTの融合に関する提言、2018.5.24
- 2) 経済産業省：新産業構造ビジョン、2017.5.30
- 3) 内閣府：科学技術基本計画、2016.1.22
- 4) 日本経済再生本部：未来投資戦略2018、2018.6.15
- 5) 国土交通省：公共工事等における新技術活用の促進について、2010.2.5
- 6) 国土交通省：今後の発注者のあり方に関する中間とりまとめ、2018.4.13
- 7) 経済産業省：AI・データの利用に関する契約ガイドライン、2018.6.15

有田幸司



土木研究所技術推進本部長
Koji ARITA

