

インフラを作り、守る技術の開発と普及

並河良治

1. はじめに

寒さや暑さを防ぐさまざまな技術、糧を得るために地を耕し、あるいは獲物を捕獲する技術など命を守り養うことに直結する技術と同様に、安全、迅速に遠方まで人や物資の移動を支えるインフラを建設する技術についても有史以前から開発、改良がなされてきた。その取り組みは、その時どきにおいて自分たちの生き残りを賭けた、文字どおり命がけの挑戦だった。科学技術が進歩し、物が豊かになった現在でも、社会の必要に応えるための技術開発が進められている。しかし、新しい技術の普及は、社会に恩恵をもたらすと同時に環境影響や失業など意図しない影響をもたらすことがある。換言すると新技術の普及には光と影がある。

また、技術開発の原動力である新しい発想やセレンディピティは、ある意味特別な能力であって万人に平等に与えられているものではない。一方、公共調達には、公平性を強く求めている。そのため、インフラに関する新しい技術の普及は、公平性の保持と同時に特許等開発者の権利の保護や開発インセンティブの保持とのバランスが課題となっている。

本稿では、少子高齢化により人口動態が大きく変化し、人工知能 (AI) を始めとする情報技術 (ICT) が急速に発展している今日、土木インフラを作り、守る技術の今後の開発の動向とイノベーションへの期待及びその普及促進への期待について記した。

2. 技術開発への期待

2.1 既存施設の維持管理

人口に膾炙する現在の日本社会の課題は、少子高齢化、人口減少、インフラの老朽化、加えて厳しい財政状況だろう。維持管理を行う技術者の高齢化、後継者不足も加わる中で、施設管理者には経費をできる限り抑えながら健全な状態にインフラを維持し、社会経済の活動レベルを維持することが期待されており、それを実現するための技術開発が焦眉の急で

ある。この厳しい課題への対応策として、センサーやロボットを活用した維持管理技術の研究開発に大きな期待が寄せられている。

現在、技術者が実施している維持管理における PDCA サイクル、すなわち、現状を「点検」し、不具合の有無や程度を「診断」し、適切な「処置」を施し、「記録」に残す、という一連の行為を ICT を活用し、できることからロボットや AI に支援させるといった取り組みがなされている。さて、この一連の工程の中で最も技術力が求められるのは「診断」であり、また、その診断に基づく合理的な「処置」である。したがって、本取り組みの到達点は診断、処置を AI が実施できるようになることである。その第一歩として、的確な診断を下すために必要な情報を提供する点検データの取得に取り組んでいる。ところで、人が実施する点検は、無論、視覚などの人の五感に基づくものである。点検を支援する新たな技術として、ドローンなどの UAV を用いて撮影した写真やレーザーを用いて取得したデータの活用がある。現在、これらの技術は、人の視覚の精度にどれほど近づけるかを目標に開発がなされている。しかし、診断に必要なデータは必ずしも人と同程度の精度が必要というわけでもなく、また、可視光線や可聴音域のデータといった人の知覚の範囲に限定する必要があるわけでもない。なぜなら、人の五感は、人が生物として人生を全うするために最適なものであっても、インフラの維持管理に最適であるとは限らないからである。人の五感を超えるデータ、例えば、ある種の電磁波や振動などさまざまな物理量の活用による、より精度の高い点検技術の開発が期待される。

点検が機械化・ロボット化されると、これまでとは比較にならないほど多量のデータを取得することができるようになる。そのようになれば、診断の方法も変わる可能性がある。AI の活用は、理屈ではなくデータがものをいう、所謂「論より証拠」という状況を生む可能性がある。論理モデルが構築される前に何らかの因果関係が呈示されるという状況が生まれるかもしれない。とはいえ、取得されたデー

タから正確な診断が可能になるためには、広範に取得されたデータが必要であり、また、取得したデータがどのようなものであってもオープンに分析に供されることが前提である。それが可能な社会であることが期待される。加えて、判断に至る理論（過程）が明らかでなくても信頼し得る結果を出すシステムを社会が受け入れる環境も技術開発を進める上で不可欠であろう。

2.2 新規の建設

日本全体で少子高齢化、労働人口の減少が進んでいるが、建設産業に従事する労働者の減少、高齢化は全産業の平均を上回る厳しい状況にある。巷間、建設産業がいわゆる「3K 産業」で若者に魅力がないことが入職希望者が少ない理由と考えられており、状況を改善する様々な取り組みがなされているところである。建設産業の生産性向上は、その取り組みのひとつである。労働生産性を向上させる方策として、インフラ建設の上流部分から維持管理に至るまで、省人化することはその一つである。地形の把握は、地上での測量に代わり上空から UAV ドローンを用いた写真やレーザー測量で行い、ICT を活用して 3 次元 (3D) で図化する。それを元に設計を行い、できあがった 3D 設計図により、施工する。施工の完成図を 3D で作成し、それを元に維持管理を実施する。維持管理の記録は、自動的に保管される。これら一連の工程の情報を一元的に扱う仕組みは CIM として鋭意整備が進められている。情報は、調査から管理まで一方通行で滞りなく流れるように思われるが現実はそのようなので、当該技術の開発において注意すべき点がある。すなわち、得られる情報は工程が進むにつれて現実を反映したものとなり、精度が高まり、あるいは修正が必要となる。これら新たに得られた情報を事前に立てた計画や設計に適切にフィードバックできなければならない。特に、地盤情報は、一般的に事前に取得される情報は質、量ともに十分ではないので、それを踏まえた対応が求められる。

構造物の設計については、ありふれた構造物では、昨今の AI 技術の発達を鑑みるに、自動化はそう遠くない時期に実現できるのではないかと予想する。過去の実績を学習させた後、与えられた条件の下に AI が設計したものを一連の手続きとして有限要素法などを活用した力学的検証を機械学習によって自動的に実施すると、AI によって合理的な

設計が可能になるのではないだろうか。設計にとどまらず、施工計画の立案も同様で、既に開発が進んでいる。

施工段階での無人化は、省人化、即ち労働生産性の向上に特に効果的である。自律的建設機械（建設ロボット）は、365 日 24 時間稼働可能で、しかも労働者が大幅に削減できるため、労働者 1 人当たりの付加価値、つまり、労働生産性は非常に大きくなる。しかし、現時点では広範な工程への建設ロボットの導入までには乗り越えるべき多くの課題があり、比較的容易な作業の試験的な施工にとどまっている。一方、遠隔操作による無人化は、現時点でも災害現場における重機の危険作業の回避を目的に実用化されている。現状十分ではない作業効率の向上に向けた技術開発がなされている。遠隔操作においても、ICT を活用した操作支援 (MC) 技術の進展に期待したい。

社会的な貢献の大きさという観点から今後の技術開発が期待されるのは、技術的難易度は高いが、水中で稼働する建設ロボットの開発ではないかと考える。広い排他的経済水域を有する我が国において、海洋底で作業できるロボットの経済的価値は計り知れない。このような建設ロボットを活用すれば、海底トンネルの掘削が著しく経済的なものになり、現在、橋梁での連絡が条件的に厳しい島嶼の連絡が現実的になり、しかもトンネルであれば天候に左右されずに往来が可能になる。

2.3 材料分野

社会を変える大きな力を持つ分野のひとつは材料に関する技術である。これまでの歴史の中で材料の技術開発は、社会を決定づけてきたともいえる。時代の区分として石器時代、青銅器時代、鉄器時代など活用できた材料で表すことはそのことを裏付けていないだろうか。現代においても炭素繊維や超高強度コンクリートなどさまざまな材料が開発されている。社会の要請としての長寿命化を実現する立役者の一つは新しい材料であろう。とはいえ、新しい材料を用いる際には、我々には慎重さが求められる。未経験の領域に足を踏み入れるからだ。廣井勇が小樽港北防波堤を日本最初のコンクリート製外洋防波堤として建設した際の精神を見做りたい。

ところで、古代ローマ時代の建造物は、一見石造りに見えるが、実はコンクリート造りのものがある。ローマンコンクリートと呼ばれるジオポリマーの一

種である。コンクリート製の構造物が 2 千年近く経った現代まで存在しており、十分な強度を保っている。本材料は国内で入手できる原料から製造できるものであり、長寿命であることが実証されている。また、本材料について世界各地で研究が進められていることから早期の実用化が期待される。さらに、プレキャスト部材を用いた古代建設技術も参考になる。世界各地にメガリスと呼ばれる巨石遺跡があり、精巧に加工された自然石のブロックが散在するポリビアのプマプンク遺跡は特出している。これらの遺構に使われている技術は、構造物の長寿命化という今日の土木構造物に課せられた命題の解決にヒントを与えており、技術的な解明が待たれる。

3. 技術の普及

市場で広く使われる民生品は、マスメディア等を活用した広範な情報伝達に加え、試供品の提供やキャンペーン料金の設定など購買者のアクセス性を高め、市場へ速やかな浸透を図っている。また、継続的な広告やモニター制度の活用により利用者のニーズをより詳しく把握し、製品の改良や新製品開発に必要な情報の収集と消費者の意識への浸透を行っている。そして、その活動の成果として生活必需品ではない製品の市場ができる。つまり、民生品のマーケットには機能自体は不急不要であっても、機能やデザインが優れていれば、たとえ高価であってもその商品を購入する需要家が存在する。そのため、技術開発への投資を回収できる可能性は高くなり、技術開発に対するインセンティブも高くなる。

一方、官公需の場合、民生需要と違い性能が優れていれば価格が高くても売れるというマーケットは存在しない。新しく開発された技術や製品がインフラの建設や維持管理の現場で顕在化しており解決が迫られている技術的な課題に対し、求められる水準で答えているか否かで採否が判断される。求められる水準に達していれば、経済性等評価されるべき主要な項目で合理的な成績を収める必要はあるものの課題の解決という説明可能な理由があるため、技術の存在や性能の情報など簡単な情報伝達だけでも普及が進むと考えられる。一方、新しい技術を導入すると安全性、信頼性、耐久性さらに使い勝手や景観がより向上すると想定されるものの、現時点で社

会的に求められる水準を超えて、より高い水準を実現化する技術については、その分の価格上昇が受け入れられる可能性は低い。たとえば耐久性に優れるものの価格が高い技術の場合、維持管理コストが削減されるなどの証拠を伴う明確な理由がなければその技術の採用は厳しいだろう。

このような技術の現場への採用、そして普及を一層押し進めるためには、不確実性を許容する契約の方式を導入するのも一案である。その技術の採用による損益のリスク、即ち初期投資の増加を維持管理費の削減により取り戻して収益を上げるか、あるいは期待どおり維持管理費が下らず減収減益となるか、そのリスクを技術の採用者が負う契約の方式、たとえば、建設後ある程度長期間の管理まで受注者が責任を負う BOT 方式などの契約形式がある。

4. まとめ

最近の技術開発、特にロボットや ICT 関係の技術開発の速度が速いため、社会がそれらを過不足なく適切に受け入れること、即ち、人々の安全、社会の繁栄と安定および競争力のバランスについて、十分に議論する暇がないようだ。ロボットやコンピューターが人に代わって仕事をするなど、かつては SF の世界の話であり、そこには失業や低賃金に喘ぐ人々の姿は描かれなかったかもしれない。しかし、現実にはロボットや AI が社会に浸透すると、ある種の職業はこれらに取って代わられ、嘗て経験したように失業者が生まれ、社会の仕組みが変わることは明らかである。新しい技術の急速な普及など社会の変革期に付随する混乱が生じないような対策を講ずる必要がある。

光（効果）が強ければ影（副作用）は深くなるということは心に留めておきたい。

並河良治



土木研究所技術推進本部長
Yoshiharu NAMIKAWA