

Techno Scope



社会インフラを守る ロボット技術の開発

ロボット技術による橋梁維持管理のようす
(写真提供:シビル調査設計(株)(左)、(株)帝国設計事務所(右))

いま日本では、高度成長期以降に整備した社会インフラが一齐に老朽化する事態に直面しており、維持管理のため、効果的な技術の開発、導入が求められている。なかでも期待されているのがロボット技術の活用である。今回は、ロボット技術の導入に向けた取り組みの例を紹介する。

深刻化する社会インフラの老朽化

日本では、1964年の東京オリンピック以降に整備された首都高速1号線など、高度成長期以降に整備した社会インフラが今後一齐に老朽化するといわれている。たとえば道路橋の場合、建設後50年以上経過する道路橋の数は2013年には18%だったが、10年後の2023年には43%、20年後の2033年には67%に達すると予想されている(図1)。同様に、トンネルや、河川、下水道、港湾などでも、建設後50年以上経過の施設の割合は、今後急激に増加する。

似たような状況はアメリカでも既に起こっていた。1930年代、ニューディール政策により多くの道路橋が一気に建設され、その後50年を経過した1980年代に老朽化し、崩落や損傷が相次いだ。短期間で大量のインフラ整備を行ったという点では日本も同様であり、老朽化した社会インフラの比率が急激に増加することになる。

道路橋などの鋼製部材では、腐食、き裂、ボルトのゆるみ・脱落、破断などの老朽化が進行すると、崩落などの大事故の原因となるおそれがある。これを防ぐために維持管理対策が講じられてきたが、膨大な数の物件を点検するには多くの予算や手間がかかる。

社会インフラの維持管理体制の整備においては、地方公共団体の果たす役割が大きい。道路橋では94%を都道府県、政令市、市区町村が管理しており、市区町村(政令市含む)に限れば全体の75%に及ぶ(図2)。しかし維持管理を実施する体制や技術者の数には限りがあり、地方公共団体における体制強化や技術者の確保が重要な課題となっている。

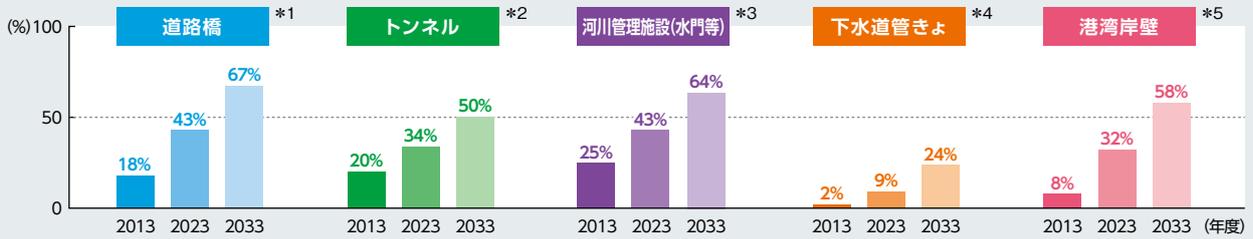
適切な維持管理対策が行われなければ、重大な事故を引き起こしかねない。2012年、中央自動車道笹子トンネルの天井崩落事故は、多数の死傷者を出し、大きな問題となった。2007年木曾川大橋で鋼製部材の腐食が原因となり、トラス部材が破断する事故も起こっている。

老朽化した社会インフラが自然災害の被害を拡大するおそれもある。2011年の東日本大震災の時には、地震の揺れを受け、老朽化したダムや道路橋の崩落などの事故が起こっている。このような被害を防ぐためにも、社会インフラの維持管理対策はますます重要となっている。

期待されるロボット技術の活用

今後、社会インフラの老朽化に対し、効率的な維持管理を

■建設後50年以上経過する社会資本の割合(図1)



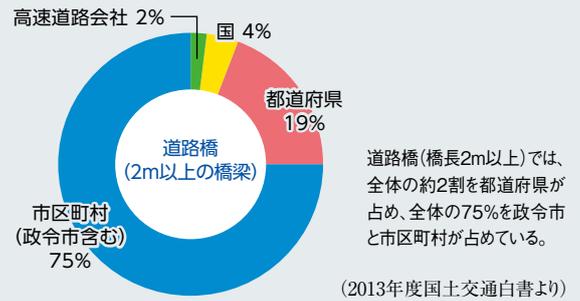
*1: 橋長2m以上の橋約70万のうち約40万橋(建設年度不明の約30万橋については計算から除外)
 *2: 約1万本(建設年度不明の約250本については計算から除外)
 *3: 国管理の約1万施設。(建設年度不明の約1,000施設を含む。50年以内に整備されたものは概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約50年以上経過した施設として整理)
 *4: 総延長約45万km。(建設年度不明の約1万5千kmを含む。30年以内に布設されたものは概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約30年以上経過した施設として整理。記録が確認できる経過年数ごとの整備延長割合により不明な施設の整備延長を按分し計上)
 *5: 約5千施設(水深-4.5以深)。(建設年度不明の約100施設は計算から除外) (国土交通省資料を元に作成)

進めるために、点検・診断技術やモニタリング技術など、新技術の開発への期待が高まっている。ロボット技術もその1つである。

日本では、1980年代から産業用ロボットの利用が本格化し、電子・電機製品や自動車の組立工程でファクトリーオートメーションの導入とともに産業用ロボットの市場が拡大した。1990年代には人間型ロボットの開発が盛んになり、ロボットの活躍する分野は生活分野や医療福祉分野、エンターテインメントなどへと広がりを見せた。また建設工事、極限環境での作業や災害救助など、人では不可能な作業や、安全衛生上問題になる作業を、人に代わって行うロボットへの期待が高まってきた。

一般的にロボットというと、人間のように二足歩行したり人間と会話したりするような、知能ロボットをイメージすることが多い。しかし、最近のロボット開発の考え方は、二足歩行ロボットや産業用ロボットを開発するというよりも、自律的に自動作業を行う機械であるロボットの活用が有効であると考えられる環境にお

■道路橋の管理者別施設割合(図2)



いて、いかにそれを活用するかが問われるようになってきた。言い換えれば、夢のようなことができるロボットというキャラクターを作るのではなく、ロボット技術を人間がどう使うかという、より現実的な開発が行われるようになってきているのである。

このような考え方を反映し、社会インフラの老朽化対策という分野において、ロボットをどのように活用できるかという検討が行われることになった。2013年7月、国土交通省は経済産業省とともに「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を発足した。

この検討会で、国土交通省は「ロボット現場検証委員会」を設置し、社会インフラ整備の現場ニーズに合わせた開発を進め、一方、経済産業省は新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)などを通して、ロボット技術の開発助成を進める、というようにそれぞれの役割が明確にされ、ロボット技術に関する現場ニーズと技術シーズを踏まえて重点目標を設定した。国土交通省はこれに沿って民間企業や大学からロボット技術を公募し、現場での検証・評価を行ってきた。開発・導入を検討する重点分野は、維持管理分野として橋梁、トンネル、河川およびダムの中筒所、災害対応分野として災害状況調査、応急復旧の5分野が設定された(図3)。

■「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」における5つの重点分野(図3)

- | I 維持管理 | II 災害対応 |
|--|--|
| <p>① 橋梁</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 近接目視を支援 ● 打音検査を支援 ● 点検者の移動を支援 <p>② トンネル</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 近接目視を代替・支援 ● 打音検査を代替・支援 ● 点検者の移動を支援 <p>③ 水中(ダム、河川)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 近接目視を代替・支援 ● 堆積物の状況を把握 | <p>④ 災害状況調査(土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現場被害状況を把握 ● 土砂等を計測する技術 ● 引火性ガス等の情報を取得 ● トンネル崩落状態や規模を把握 <p>⑤ 災害応急復旧(土砂崩落、火山災害)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 土砂崩落等の応急復旧 ● 排水作業の応急対応する技術 ● 情報伝達する技術 |

■ 橋梁の定期点検の作業過程におけるロボットによる支援イメージ(図4)



人に代わって近接目視などを行うシステム

重点分野のうち、今回は鉄鋼製品とかかわりの深い分野として、橋梁の維持管理における開発技術の例を紹介する。

橋梁の維持管理では、これまで点検者が行っていた近接目視や打音検査を人に代わって行う技術や、点検者が点検箇所まで移動するための支援機構が、求められる技術・システムとして挙げられている(図4)。

2014年度から2015年度の2箇年にかけて、橋梁点検用ロボット技術の現場検証を行ってきた結果、多種多様な形態のロボット技術の開発・改良が進み、それらのロボット技術が人による点検を様々な形で「支援」の可能性を有することを確認できた。

2015年度は、応募件数21件について、次の段階である「試行的導入」に向けた検証までの位置付けとして、「検証を推奨

する」「課題の解決を前提として検証を推奨する」「課題への対応・結果により検証を推奨する」「十分な検証ができていない」の4クラスに評定された。

次に「検証を推奨する」と評価されたロボット技術の例を紹介する(以下は「橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果」2016年3月30日発表資料より抜粋)。

「橋梁点検カメラシステム見る・診る」による近接目視、打音調査等援助・補完技術(ジビル調査設計(株)、(有)インテス、福井大学の共同開発)(図5)

このカメラシステムは、橋梁点検の際の近接目視の援助・補完技術として開発された。構成装置は、幅1.0m長さ2.7mとコンパクトな自走式クローラー台車を路肩または歩道に設置して、橋の上から点検用のアームを橋の下面に伸ばし、4Kビデオカメラによる高精細なライブ映像より近接目視点検を行う。アーム上を移動す

■ 橋梁点検用ロボット技術の現場検証例

「橋梁点検カメラシステム見る・診る」による近接目視、打音調査等援助・補完技術(図5)



橋梁点検の近接目視の援助・補完技術として開発され、橋面上から4Kビデオカメラを搭載したアームを橋の下面に挿入し高精細なライブ映像より近接目視点検を行う。幅員が狭い橋梁でも通行規制幅が少なく抑えられる。(写真右)アーム先端部。(ジビル調査設計(株)、(有)インテス、福井大学の共同開発)

橋梁点検ロボットシステム「橋竜」による点検(図6)



車載型のロボットシステムであり、操作室内の3DCGとモニターによる遠隔操作で、橋梁上下部などの近接目視点検を行う。画像データや位置情報は電子データ化され自動的にデータベースへ整理される。(写真右)操作室内の状況。((株)帝国設計事務所、(株)カナモトの共同開発)

る専用台車にクラックスケールや打音アタッチメントを装着し、クラック幅測定や打音検査を行うことができる。操作は橋上より遠隔操作で行うため安全性が高い。

実用現場検証では、実際の橋梁を訪れ、各応募技術が実際に橋梁を点検する様子が検証された。

この結果、この橋梁点検カメラシステムでは、付随する自走式クローラ台車、片持ち梁のアーム、カメラシステムなどは順調に作動した。しかし、カメラ画像や打音などの情報をその場で判断して損傷を検出して記録する方法であるため、点検員が操作する必要があり、点検作業全体の費用、手間への影響について、引き続き検証の必要があると、今後の課題も指摘された。

今後は、橋梁下への進入ができず、従来点検で橋梁点検車が必要となる橋梁点検の場合に、点検技術者の工数削減（現地点検、調書作成）や道路規制時間短縮が期待できると評価されている。

橋梁点検ロボットシステム「橋竜」による点検（(株)帝国設計事務所、(株)カナモトの共同開発）(図6)

ロボットアームの先端にカメラを設置し、操作室内において3DCGとモニターによる遠隔操作によって、橋梁の上部、下部の近接目視点検が行えるシステムである。

現場検証では、操作室の中からロボットアームが安定して桁下にアプローチして画像を取得する状況が確認された。また、取得された点検情報としての損傷写真は、可動範囲の広いアームとカメラ架台（雲台）の活用により、点検員による従来手法の場合に比べて安定した撮影が可能で、点検記録として十分な品質を有することが確認された。ただし操作室内での作業はモニターを見ながらジョイスティックで行うため、操作の習熟度を高める必要があると評価された。

ニーズとシーズのマッチングの重要性

橋梁を点検するロボットの基本的な機能は、「行く」、「見る・撮る」、「検出する」、「記録する」に大きく分けられる。このうち「行く」つまり人が近接することが困難な点検箇所に行く方法として、鋼橋では磁石を利用して壁面や橋桁に固着する技術も含まれている。このような磁石の活用は今後も進められることだろう。

社会インフラ用ロボット技術の開発における課題について、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」の橋梁維持管理部会の委員を務め、ロボット工学を研究する油田信一氏（芝浦工業大学SIT総合研究所特任教授）は次のように語る。

災害時に期待されるマルチコプター

地震や火山噴火、台風などの自然災害が起こったとき、その直後には被害の大きさは想像がつかない。2016年4月の熊本・大分地震のときもそうであった。人が立ち入りできない地域で被害状況を把握するのは、これまではもっぱら有人のヘリコプターの役目だったが、最近ではドローンと呼ばれる無人の小型ヘリが注目されるようになった。とくにマルチコプターは、複数のローターを搭載した回転翼機で、ラジコンやジャイロセンサー、GPSによって飛行の制御が行われる。本文で紹介した「次世代社会インフラ用ロボットの現場検証」でも、災害対応ロボットとしてとくに土砂災害や火山災害のときに、被災箇所への接近撮影や計測を行うマルチコプターの有効性の検証が行われた。

災害の場合は、「遠くからでは見えないものが見える」というだけでも意味があるが、調査の対象は現場に行かなければわからないことが多い。また、その都度状況が大きく異なり、調査精度は飛行計画や撮影計画の立案、操作するオペレータの技量などの運用技術に大きく影響されることが予想される。

従来の機器では難しかったことができることから、マルチコプターへの期待は大きい。今後は、マルチコプターにどのような機能や役割を持たせ、人間がどのように使いこなすかが利用拡大の鍵となることだろう。

「社会インフラの保守・点検を行うロボット開発・導入において重要なのは、現場にどのような解決すべき問題があるかを明確にしたうえで開発すべきということだ。さまざまな社会インフラの現場で、ロボットに働いてほしい仕事はいろいろある。今後、各々の仕事に合わせて、さまざまな機能をコツコツと搭載していくことによって、ロボット技術の活用が拡大するだろう。一方、ロボット技術を利用するための社会の仕組みづくりも大切だ。新しいロボット技術を生かした検査手法や規則を整備することにより、全体の効率を上げていくことが重要だと思う」

振り返れば、日本の鋼橋のエポックともいえる本四架橋は、鋼橋の維持管理技術が大きく進歩するきっかけともなった。技術の進歩とともに、新たな維持管理技術が導入され、次第に普及していく。時代のニーズと技術シーズをマッチングさせることにより、いっそう効果的な維持管理が実施されることを期待したい。

- 取材協力 芝浦工業大学 SIT 総合研究所特任教授・油田 信一氏
- 文 杉山 香里