

特集 >>> 防災、安全・安心を確保する社会基盤整備

行政情報

次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入

取り組みの紹介と災害調査・応急復旧ロボット分野の検証概要

大 槻 崇・中 根 亨

トータルステーション (TS)、GNSS 等によるリアルタイムで位置の特定を可能とする技術や、無線 LAN 等の現場内で大容量のデータの高速通信を可能とする情報通信関連技術の発展とともに、以前までは人間自らが計測や記録、機械操作を行っていた施工や維持管理の現場は、大きく様変わりしつつある。

本稿では、維持管理や災害対応に関して、ロボット関連技術の加速を図るため、国土交通省にて平成 25 年度から行っている次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入にかかる取り組みと、これに関連して、平成 27 年に行った現場検証事業から、災害用技術についての検証結果を紹介する。

キーワード：ロボット、災害対応、維持管理

1. はじめに

日本の経済・生活を支えてきた重要な要素の一つである社会資本は、今日その老朽化が大きな課題となってきた。例えば橋梁については、建設後 50 年以上を経るものの割合が、2023 年過ぎには 5 割近くにまで達すると言われ (表-1)、労働人口が減少する中で適切な維持管理を行っていくことが求められている。

こういった状況の中、国土交通省は平成 25 年 (2013

年) を「社会資本メンテナンス元年」と称し、橋梁、トンネル、ダムをはじめとした社会資本の点検を強力に推進する取り組みを始めた。

平成 25 年 11 月には、平成 25 年 6 月に閣議決定した「日本再興戦略」に基づき、老朽化対策に関する政府全体の取組としてインフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議で「インフラ長寿命化基本計画」がとりまとめられ、ロードマップが策定された。この中で、センサーモニタリングやロボット技術については、「新技術の開発・導入」の項目で“劣化・損傷箇所の早期発見等に繋がる点検・診断技術の開発・導入”の取り組みを推進するとして、図-1 の通り計画されている。

この計画と符合するかたちで、2013 年度に、維持管理及び災害対応の場面におけるロボットの活用が期待されるニーズを明確化するなどの実用化に向けた方策を検討するため、国土交通省と経済産業省で連携をして「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を局長級会合として設置・開催した。この検討結果を踏まえ、「次世代社会インフラ用ロボット現場検

表-1 建設後 50 年以上を経過する社会資本の割合

	2013年	2023年	2033年
道路橋 [約40万橋(橋長2m以上の橋約70万のうち建設年度が明らかなもの)]	約18%	約43%	約67%
トンネル [約1万本]	約20%	約34%	約50%
河川管理施設(水門等) [約1万施設]	約25%	約43%	約64%
下水道管きよ [総延長:約45万km]	約2%	約9%	約24%
港湾岸壁 [約5千施設(水深-4.5m以深)]	約8%	約32%	約58%

インフラ長寿命化基本計画(ロードマップ)



図-1 インフラ長寿命化基本計画のロードマップから「新技術の開発・導入」を抜粋

証委員会」を設置し、2014年度から2か年に渡り、民間企業や大学等の有用な技術を公募による現場検証と評価を実施し、活用に向けた検討を進めてきている。この中で有用性が部分的にでも確認できたものについて、2016年度以降に試行的な導入等を進めていくこととしている。

本稿では、これらの取り組みのうち、特に最新の取り組み状況として、平成27年度の「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」での災害応急復旧及び災害調査ロボットの検証結果について紹介する。

2. 次世代社会インフラ用ロボット検証事業の目的と概要

ロボット技術の導入が特に先行した「ものづくり」の分野では、高まる国際競争の中で、日本製品が高い価格競争力を持ちつつ、安定品質で大量に生産していくかという課題への意識やロボット技術へのニーズの高まりとそのニーズ主導によるロボットの活用が、ロボット技術自体を花開かせた経緯があるとされ、ロボット技術の活用促進については、いわば、ユーザー・オリエンテッドな開発の動きが有益であるとされている。

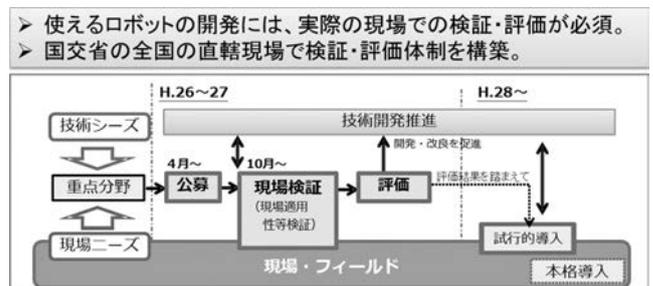
建設工事での施工用機械でも、遠隔操縦による水中施工用ブルドーザなどを契機としつつ、雲仙普賢岳の災害時における砂防堰堤施工における遠隔操縦式のバックホウやダンプなど、それらの機械がなければ施工が安全に行えないという切実なニーズが主導し、ロボット技術の導入が進んだといえる。また、維持管理の分野においても、ダムの放流設備などにおいて、水中構造物を陸上から安全に映像で確認する水中機械が一部で活用されてきたのもその一例と言え、ニーズ主導の開発はインフラ・災害分野においても有用な視点

であるといえる。

一方で、今までの社会資本維持管理分野では、工場などの安定した環境の中で繰り返しの作業の置き換えを行うようなモノづくり分野でのロボット技術の導入スタイルとはかけ離れていて、千差万別の現場状況を背景に多種多様な構造物等の点検等に関しある一定のマーケットサイズを持つ特定のロボット技術ニーズを、具体的な開発目標を伴って提示することは容易ではなかった。

しかし、近年、各種インフラの点検が大規模に行われてきたこと、また、点検要領等の改訂が重ねられ、具体的な解説と適用が整理されてきたこと、災害分野においても多くの施工が行われ、その経験が無人化施工協会などから広く説明をされてきたことから、いくつかのシーンにおいて、インフラ点検・災害対応における更なるロボット活用の可能性が見えてきつつある。

そこで、この見えてきつつある更なるロボット活用シーンのうち、より具体的な活用可能性のあるシーンを選定し、広く技術の募集を行い、実験室でない実現場や現場サイズの模擬施設を用いた現場検証を行い、ニ



- 5つの重点分野毎に産学官の有識者で構成される部会を設置
- | | | | |
|------------|-----------|--------|--------|
| 橋梁維持管理部会 | 部会長：藤野 陽三 | 横浜国立大学 | 上席特別教授 |
| トンネル維持管理部会 | 部会長：西村 和夫 | 首都大学東京 | 教授 |
| 水中維持管理部会 | 部会長：角 哲也 | 京都大学 | 教授 |
| 災害調査部会 | 部会長：高橋 弘 | 東北大学 | 教授 |
| 応急復旧部会 | 部会長：達山 和由 | 立命館大学 | 教授 |

図-2 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会の役割イメージ

I 維持管理

- ① 橋梁
 - ・近接目視を支援
 - ・打音検査を支援
 - ・点検者の移動を支援
- ② トンネル
 - ・近接目視を支援
 - ・打音検査を支援
 - ・点検者の移動を支援
- ③ 水中(ダム、河川)
 - ・近接目視を代替・支援
 - ・堆積物の状況を把握

II 災害対応

- ④ 災害状況調査 (土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)
 - ・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
- ⑤ 災害応急復旧 (土砂崩落、火山災害)
 - ・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

図-3 次世代社会インフラ用ロボットの検討を行っている重点5分野

ズ主導の開発・導入サイクルを回すこととしたのが、「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」という活動である。

この委員会では、インフラ点検等の現場で活用できるかどうかを検証しつつ、経済性も含めた評価を行う一方、すぐには活用に課題がある技術についても、その不足している点を開発者にフィードバックすることとし、ユーザーニーズを起点とした開発と導入の促進を目指している。

また、委員会では、技術個別の検証にとどまらず、その活用シーンをより具体化して、実業務に試行的な導入を行う活動も検証していくこととし、本格導入への筋道をつつなりともつけることを目的としている(図—2)。

なお、検証委員会では、5つの重点分野に分かれて個別に検証を行っており、その分野を示したのが図—3である。

3. 次世代社会インフラ用ロボットの平成27年度検証結果について

ここからは、平成27年度の検証結果全体の概要と、「災害応急復旧・災害調査分野」の検証状況の紹介を通じて、次世代社会インフラ用ロボットの技術動向をつかんでいただきたい。

(1) 結果全体概要 — 5分野の全てにおいて活用が期待される技術があることを確認 —

平成27年度の現場検証は、4月から約1か月間の期間をとって募集を行った。募集区分は、維持管理については3分野(橋梁点検, トンネル点検, 水中点検), 災害対応については2分野(災害調査, 災害応急復旧)について、それぞれ、募集技術内容を明示して公募し、実現場における一定のシナリオに基づいた検証を行った。なお、シナリオについては、全体の業務の流れは事前に提示するが、点検ポイントなどについてはその発見自体も検証項目であるため事前情報を提示せず、厳しい条件の中で検証を行った。

この検証概要を表—2にまとめた。

この表—2で、「I」は、それぞれの募集区分ごとに若干の意味の違いがあるが、いずれも、活用の可能性が十分にあるという評価を得た場合につける評価で、各分野ともに検証数の半分弱が「I」の評価を獲得し、平成26年度の検証に比べ、いずれの分野においても活用可能性の議論ができる技術が一定数存在しつつある状況が確認できた。

これは、平成26年度に行った当該検証事業の中での指摘等を参考に、技術開発者が多くの改良の努力を積み重ねたことによる効果もあったものと推察される。

(2) 「災害調査分野・応急復旧分野」の検証結果概要

ここからは、本号の特集に対応し、災害調査及び災害応急復旧分野について、この検証で「活用を推薦する(I)」となった技術について簡単に紹介する。検証において、それ以外の評価でも、現時点では改良が行われ、実用を推薦されるべき段階に至っているものもあると思われるが、その点についてはまた後日の検証等において紹介することとしたい。また、各5分野の検証シナリオ、評価項目、個別のロボットの評価については、次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進にかかる各分野の報告書(http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000149.html)をご覧ください。

なお、個別技術の概要の詳しい説明は、(<http://www.c-robotech.info/>)をご参照いただきたい。

災害調査・応急復旧分野では、図—4にある技術が募集・検証され、「I」の“活用を推薦する”の評価を得た技術について、それらの技術の提案をされた代表企業名称を記載している。

(a) 飛行系ロボット(災害調査用)

飛行系ロボットについては、多くの応募があり、災害調査分野では約9割の応募が無人飛行機(ドローン)であった。多くのものがカメラを搭載して災害状況を把握するものであったが、中日本航空(株)とルーチェサーチ(株)(※以降ともに敬称略)については、レーザースキャナーを搭載しており、写真での概況把握だけでなく、植生のある場所でも地形形状を3次元で把握することができるシステムを提案いただいた(写真—1)。

図—4中で、会社名の横にある記号は、活用を推薦された使用フェーズを表している。

災害発生直後から1~3日の間に、人が近づけない状況において有人ヘリコプターでは詳細把握が困難な場合に、近景による状況把握を試みるのが「フェーズ2(F2)」であり、1週間経過後程度ののち現場にある程度近づけることができる状況で応急対策や復旧計画を立てるための地形の測量をある程度行うものが「フェーズ3(F3)」, 地上LP測量と同等で行えるものを「フェーズ4(F4)」としている(図—5)。

図—6のようなデータ取得が迅速にできるようになることで、今後の災害対応の迅速性とデータの正確性がより高まっていくことが期待される検証が飛行系

表一 技術募集区分とそれらの応募技術数・検証数と検証評価結果の概要

	募集技術分野・区分	検証数 (応募技術数)	検証評価区分毎 の件数	備考
維持管理	【橋梁】 (検証区分数：3) ・コンクリート橋や鋼橋の「桁、床版、橋脚・橋台、支承部」について、目視や打音の支援や点検者を点検箇所近づけることができる 技術・システム	17 (17) (「移動」は応募なし。)	<u>I : 5</u> II : 5 III : 3 IV : 4 (※ I : 試行的導入に向けた検証を推奨する)	移動以外の区分全てで「I」の評価技術あり
	【トンネル】 (検証区分数：3 (人調査前概査), 3 (スケッチ支援)) ・「覆工、坑門等」に発生した変状について、近接目視や打音検査の支援や、点検者を点検箇所近づけて移動できる技術・システム	20 (10) (「移動」は応募なし。)	<u>I : 8</u> II : 6 III : 4 IV : 2 (※ I : 試行的導入に向けた検証を推奨する)	打音支援以外の区分全てで「I」の評価技術あり
	【水中】 (検証区分数：4) ・「ダムのゲート設備や堤体等」の損傷等及び、洪水吐き水叩き部の「洗掘等」について潜水士による近接目視の代替(精査)または支援(概査) ・「ダムの堆砂」状況について全体像を効率的に把握 ・「河床の洗掘等」について、災害査定等に用いることができる程度の精度で、幅・長さ・奥行等といった洗掘の全体像を効率的に把握 ・「河川護岸」において、コンクリート部の損傷等、豆板やコールドジョイント部のうき等、鋼矢板部の劣化・損傷状況等について、潜水士による近接目視の代替(精査)または支援(概査)	15 (12) (「堆砂」は応募なし。)	<u>I : 7</u> II : 4 III : 4 (※ I : 試行的導入を推薦する)	堆砂以外の区分全てで「I」の評価技術あり
災害対応	【災害調査(土砂崩落、火山、トンネル)】 (検証区分数：3 (土砂崩落), 1 (火山), 2 (トンネル)) ・土砂崩落もしくは火山災害において、災害現場の地形の変化や状況を把握するための高精細な画像・映像や地形データ等の取得(発災直後、対策検討、対策工中) ・土砂崩落もしくは火山災害において、災害現場の土砂等の状況を判断するため、例えば、土砂や火山灰等の含水比や透水性、密度・内部摩擦角・粘着力、貫入抵抗、火山灰については堆積深等の計測 ・トンネル崩落において、災害現場の発火等の危険性を把握するための引火性ガス等に係る情報の取得 ・トンネル崩落において、災害現場の崩落状態及び規模を把握するための高精細な画像・映像等の取得	18 (12)	<u>I : 8</u> II : 7 III : 3 (※ I : 活用を推薦する)	トンネル高精細把握以外の全区分で「I」の評価技術あり
	【災害応急復旧】 (検証区分数：3) ・掘削、押土、盛土、土砂や資機材の運搬等の応急復旧 ・河道閉塞における排水作業の応急対応 ・遠隔または自動による機械等の制御に係る情報の伝達	7 (7)	<u>I : 3</u> II : 3 III : 1 (※ I : 活用を推薦する)	全区分で「I」の評価技術あり

(※表中の件数は、実用検証の対象とした技術の数で、要素検証のみを行った技術は含まない。)

なお、応募技術数というのは、各提案者から提出された技術の数で、検証数とは、各募集技術区分の中にある検証対象区分数ごとに算定したものである。また、各分野における「I」の意味の違いは、各検証分野における具体的な活用シーンの整理熟度によって記述され、橋梁やトンネル分野においては、シナリオの検討を追加して行う必要が強い分野であったため、「試行的導入に向けた検証を推奨」という表現に留まっている。

災害調査・応急復旧分野で「I（活用を推薦する）」の評価を得たもの一覧



【機密性2】

迅速かつ的確な災害対応にあたり、多様なロボット技術の活用が期待される。



図-4 災害調査・応急復旧分野で「I（活用を推薦する）」の評価を得たものの一覧図

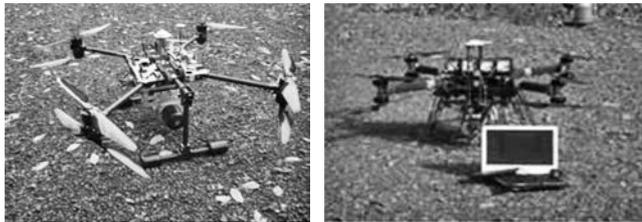
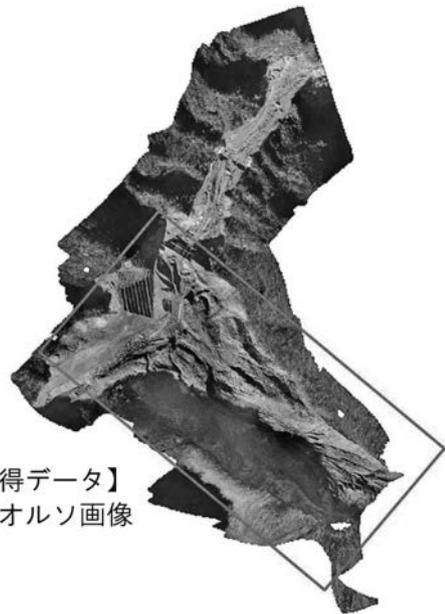
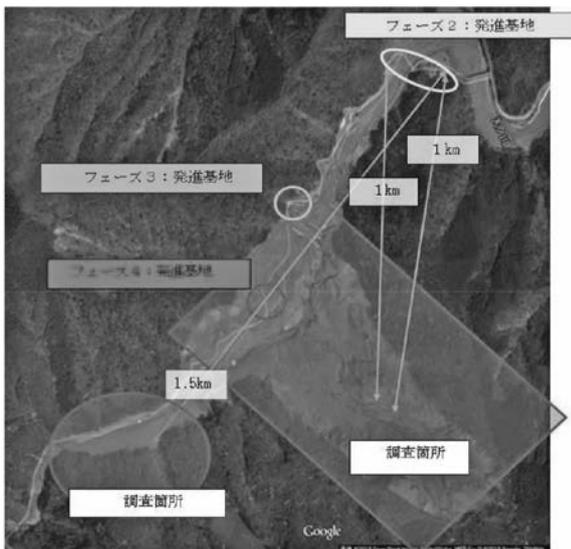


写真-1 レーザスキャナーを搭載したドローンの例 (左が中日本航空(株), 右がルーチェサーチ(株))



【取得データ】
オルソ画像

図-6 取得データの例 (中日本航空(株)によるもの)



画像 2015Cnea/Spot Image, DigitalGlobe, 地図データ2015Google, ZENRIN

図-5 各フェーズの発信基地と調査箇所のイメージ

ロボットにおいては、数多くできたことが今回の検証事業の大きな成果である。

また、火山災害調査用としては、噴火警戒レベル3又は4での活用が期待されるもの (V3,4) があり、火口から半径3～5kmの立入禁止状況の中で、土石流につながる山体への降灰状況やガリの発生状況を安全な場所から確認するためのドローンについてもその有用性が確認できた。

(b) 走行型ロボット (災害調査用)

トンネル災害として、地震発生後、余震が続く状況においてトンネル内部の被災状況 (放置車両の有無と位置、火災発生の有無と位置、損傷の有無と位置等) の概要を迅速に把握する技術 (トンネル1:T1) に関して、2つの無人走行車の有用性が確認された。

両技術とも画像を転送して状況把握を可能にするクローラタイプであり、専用機か半用機械の無人走行車化をするものかの違いがあった。西尾レントオール(株)の提案は、汎用的なクローラショベルに無人走行ユニットを載せて使用するもので、操縦信号や画像転送用の無線の中継器としても活用を考えられている点など無人化施工現場などでの実績に基づいた実用的な提案をいただいた (図-7)。

(株)日立製作所提案の専用機はより小型で走破性に優

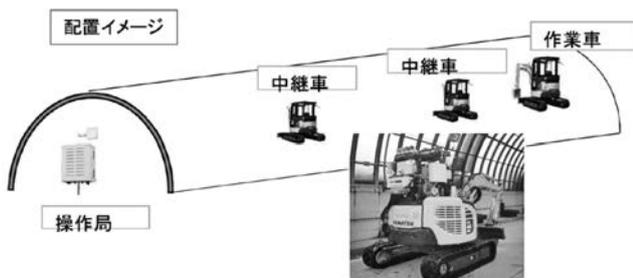


図-7 西尾レントオール(株)のシステムイメージ



写真-2 (株)日立製作所のシステムの検証状況

れており用途に最適化されているだけでなく、部品も汎用的なものを使用するほか国内製のみであるなど、災害時の利用や改良を想定した開発が進められており、こちらも実用性の高さが評価された (写真-2)。

(c) 無人化施工技術関係技術

無人化施工関係としては、自律転圧システムを大成建設(株)より、高精細動画画像低遅延伝送システムを(株)熊谷組ほか4社より提案いただき、有用性が確認された。

自律転圧システムは、施工を行う一定の領域と必要な締固め回数を指示したのち、TSを用いて位置確認をしながらの自動走行にて必要回数の転圧を行う技術で、締固め作業品質 (オペレータが搭乗した操作と同等) と施工能力向上が期待できるとされ、災害対応のみならず平時においても通常工事で活用することにより、オペレータ削減・負担軽減や、夜間作業効率化が期待できるとされた (写真-3)。

高精細動画画像の低遅延伝送システムは、伝送容量と伝送遅延を極力抑えたLAN方式によるフルハイビジョン画像伝送できる技術である。無人化施工では、建機等に搭載したカメラからの近影画像によって建機を無線で操作するが、その画質や即時性の向上が施工の効率化等への課題であったが、従来のアナログ伝送



写真-3 自律転圧システムの検証状況

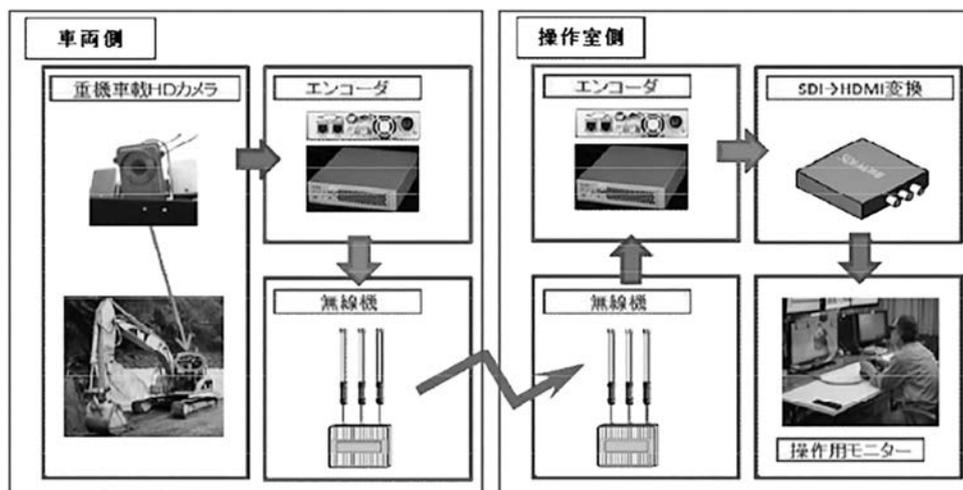
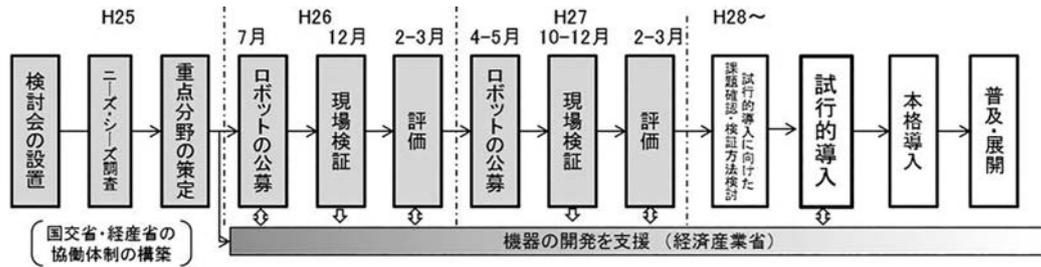


図-8 建機搭載カメラ (左) から遠隔操作室 (右) への画像データの経路と圧縮解凍装置 (エンコーダ) の位置関係



図一9 次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入の流れ

のSD画像動画(720×480)から、高精細動画(30fps1,920×1,080)を3.0Mbpsの低容量かつ70msec以下の低遅延でデジタル伝送可能となり、画質や画角等が向上するため、作業の適用範囲や作業性等が向上、またLAN方式のため光ファイバー等の長距離伝送も可能で、システム構築の作業性や無線装置等の台数削減等による経済性向上も期待されるとされた(図一8)。

(d) 河道閉塞箇所等の排水支援装置

土砂崩落による河道閉塞において、初動対応後に崩落土砂の上流に湛水した河川水を下流に排水するための災害対応を行うものである。悪条件下でも、現地まで運搬・設置し、排水作業を行うことができることが求められており、従来の水中ポンプ排水と比較し、容易に設置が可能で、低い運転コストが求められる技術テーマについて、(株)山辰組よりサイフォン方式の排水装置が提案された。従来からもサイフォン効果による効率的な排水作業が可能な装置は提案されていたが、今回のシステムは、Y字形に合流した装置などを持ち、排水ポンプのスイッチ投入後は、水中ポンプとサイフォン2つ吸い込み系統を自動で切替えて下流へ排水できる点と、その現場での実機試験による再現性が高く評価された(写真一4)。



写真一4 切り替え装置(製品名:ワイガッチャン)

4. おわりに —今後の活動について—

以上、次世代社会インフラ用ロボットの現場検証の取り組みの概要と災害用ロボットにおける状況を見てきたがこれらの災害調査・応急復旧ロボットについては、既に災害協定の締結がなされて現場での活用に向けた取り組みが進んでいるものもあり、またそれ以外についても、今後の展開について順次検討を進めていくことを予定している。

また、維持管理の3分野については、平成28年度以降、「試行的導入」を行い、ロボット技術による各作業の支援等の導入普及の検討を進めていく予定である(図一9)。

当該取り組みにご協力・ご尽力いただいている関係者の皆様に感謝申し上げるとともに、ここで検証された次世代社会インフラ用ロボットだけでなく、これに続く各種ロボットが開発・導入され、社会資本メンテナンスの課題の解決に貢献するべく、さらに活動を進めていきたいと考えているところである。

JICMA

[筆者紹介]
大槻 崇(おおつき たかし)
国土交通省
公共事業企画調整課
課長補佐

中根 亨(なかね とおる)
国土交通省
公共事業企画調整課
施工企画係長