

自律航行型 (ASV) 地形計測システムによる 河川点検・維持・管理

大 竹 剛

社会インフラを巡っては施設の老朽化が進む一方、点検作業に従事する労働人口の減少により、適正な維持管理を行う上で深刻な事態をきたしている。

そこで国の施策である社会インフラ用ロボットの開発・導入に係わる試行的導入支援業務に参画、河床地形（洗掘、堆砂等）と護岸（水面上部、水中部）の劣化損耗等を点検、把握するためラジコン操作や自律航行が可能なロボット船をプラットフォームに、スワス音響測深機、水中音響カメラ、写真測量機器を搭載し、探査を行うロボットを開発した。

キーワード：河川点検, 維持・管理, 極浅水域, 小型・軽量, 社会インフラ用ロボット

1. はじめに

わが国の社会インフラの現状は、多くの施設の老朽化が進む一方、社会情勢として人口減少や少子高齢化が進み、建設業における労働者の高齢化、離職等により労働人口が大幅に減少し、施設の維持・管理に深刻な状況をもたらしている。このような重要な課題に対し、効率的かつ効果的な対応を行う技術を開発することが求められている。

一方、国土交通省及び経済産業省は共同で平成25年度に「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置し、現場の実情と技術の現状を摺り合わせて検討を行い、開発・導入に向けた重点分野を策定した。

そこで、その一環である「水中」分野での施設（水底部、護岸部等）の適正な維持・管理を行うためのロボットを開発した。

また、ロボットの開発、導入に力を入れている茨城県で、ロボットの改良、実証試験の実施にあたり支援を行う「いばらきロボット実証試験・実用化支援事業」で採択を受け、ロボットの改良や実証試験を行った。

2. 開発の背景

従来、河床の状況を把握するには河川の横断方向に測量船を航行させ、シングルビーム音響測深機による測線直下の水深を計測する手法が一般的である。しかしその手法では面的な河床情報を取得できないことか

ら、河床の正確な地形状況を把握するには支障をきたしている。

そこで河床状況を面的に探査するため、スワス音響測深機の導入を検討する事とした。スワス音響測深機は音波を水底に向けて120°～160°の角度で扇状に発射することから広範囲の地形状況を把握することができる（図-1）。ただし、一般的に使用されているスワス音響測深機（マルチビーム）はある程度の水深が必要であり、河川上流域や浅瀬での計測には不向きである。その課題を解決するため、浅水域向けの測深に適した音響測深機（C3D）を採用する事とした。

また、計測に要する時間短縮（高速化）、測量船が進入不可能な狭隘水域での計測やロボット本体の運搬、河川への投入・回収が容易に行えるよう小型で軽量の船をプラットフォームとした。

試作した河床点検ロボットを国土交通省及び経済産

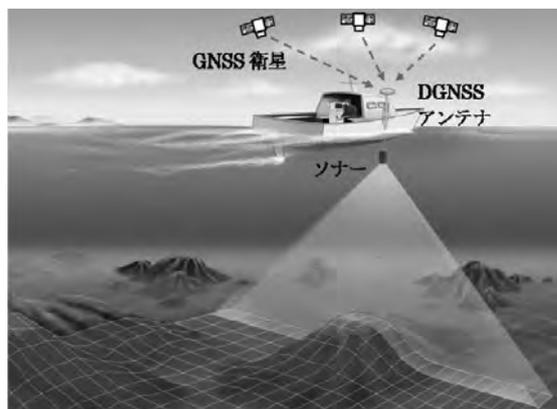


図-1 スワス音響測深機計測イメージ

業省の「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入に係る試行的導入事業」に応募した結果、「試行的導入を推薦する」との評価を受け、併せて茨城県がロボットの開発、導入に向けて支援を行う「いばらきロボット実証試験・実用化支援事業」で本ロボットが採択され、それぞれに実証試験を行った。

3. ロボットの概要

(1) ロボットの特徴

本ロボットの寸法、重量及び推進能力を表一に示す。

表一 ロボット寸法・推進能力

寸法・推進能力
全長:約3m
全幅:約0.8m
重量:約60kg
最高速度:約3ノット

次にロボットに搭載する測量機器であるが、まず河川の点検は以下の項目とした。

- ①河床の洗掘・深掘れ・堆砂堆積の状況を把握する「河床の点検」。
- ②水中部における護岸の破損状況や消波ブロック等の設置状況確認する「施設（水中部）の点検」。
- ③水上部における護岸や諸施設の状況確認する「施設（水上部）の点検」。

そこで、船底中央部にスワス音響測深機、船底後尾に水中音響カメラ、プラットフォーム上部に写真測量用カメラを装備した。

その他、関連する搭載機器を図一2、表一2に示す。

ロボット本体の運搬・移動についてはロングバン型の車両に積載し、急傾斜地等の地形を除いて、台車に乗せたまま河川へ投入・回収する事ができる。



図一2 ロボット全容

表一2 その他搭載機器等

機器名
動揺センサー
GNSS測位機・受信機
方位センサー
データ収録用PC
遠隔操作用Wi-Fi送受信機
リチウムイオンバッテリー

(2) 河床の点検

河床の点検としては、定期的に行われている横断測量の成果により近年の河道変化の状況を踏まえ、定点観測や平水位における固定点からの河床状況写真撮影が行われている。しかし、点あるいは線の情報だけでは適正な管理計画立案や危険箇所を把握するのに膨大な時間と経費が掛かり、支障をきたしている。

そこで、短時間で面的に広範囲の河床地形を計測できるスワス音響測深機を用いる事とした。本ロボットに搭載するスワス音響測深機は、従来のものよりも観測幅が広いこと測線間隔を広く設定することができ、効率良く、かつ効果的に計測が可能であることから現場作業の負担が軽減される。

計測可能な水深は、測深機の性能自体は50cmくらいまでの浅瀬から水深200mまで可能であるが、実際はロボットが進入できる70cmくらいまでが限界である。

計測の幅はセンサーから扇状に音波を発射するため、水深に左右される。水深が深くなるほど計測幅が広がり、水深の5～8倍の幅で計測が可能である(図一3、表一3)。



図一3 C3D 音響測深機

表一3 C3D 音響測深機仕様

規格・形式	性能
C3D-LPM	周波数: 200kHz
	レンジ: 25~300m (片側)
	測深分解能: 5.0cm
	測深点数: 最大2000点
	測深ビーム幅: 1° (前後方向)
	パルス長: 25usec~1msec

(3) 施設（水中部）の点検

護岸や堤防の水中部の点検，あるいは水中の消波ブロック等施設の設置状況を把握するには，潜水士による触手，目視により変状箇所を探索，必要に応じて写真や動画撮影を実施するのが一般的である。しかしながら，潜水士の護岸点検における熟練度や主観等の個人差，水中の透明度の度合いといった環境面等により正確な現状を把握するには限界があるとともに，河床点検と同様に膨大な時間と経費が掛かるとなる。

そこでロボットに，濁水中でも明瞭な画像を得られる水中音響カメラを搭載する事とした。この音響カメラは，MHz 領域の 2 種類の超音波を使用し，前方の水中状況を高分解能で映像化できる水中可視化装置である。

音響カメラは，物体からの反射音波を映像化するため，従来の光学式カメラでは明瞭な画像を撮影できない濁水中や暗闇の映像も実時間の能動表示映像として取得することができる。よって，立ち入りできない水域の探索，目標物の定点監視，視界の悪い都市港湾域や岸壁周辺等で，潜水作業に代わる最終確認手段として有用である。

撮影している対象物の状況は，ケーブルにより PC に接続してリアルタイムに状況を確認することができる（図-4，表-4）。



図-4 水中音響カメラ

表-4 水中音響カメラ仕様

規格・形式	性能
ARIS	最大有効レンジ：35m（探知モード） 15m（識別モード）
	最小レンジ：0.7m
	レンジ分解能：3mm
	周波数：1.1MHz（探知モード） 1.8MHz（識別モード）
	ビーム幅：水平0.5°（探知モード） 0.3°（識別モード） 垂直14°

(4) 施設（水上部）の点検

護岸や堤防の水上部の点検については，従来は徒歩あるいは自転車等を利用して目視で実施することを基本としており，必要に応じて変状の規模（長さ，幅，深さ）をスケール等による計測を行っている。この点検も人力で行うため，点検者に負担が掛かってしまう。

そこでデジタルカメラにより写真測量の原理を応用して，ロボットを航行させながら対象物の連続した写真を撮影する事とした。ロボットにより，人が立ち入りできない場所や危険な箇所も水上からの視点で点検を行う事ができる（図-5，表-5）。



図-5 写真測量用カメラ

表-5 写真測量用カメラ仕様

規格・形式	性能
Nikon1 V3	画素数：1839万
	焦点距離：10mm
	撮像素子：13.2×8.8mm
	インターバル撮影：1s間隔

(5) ロボットの操縦（船体のコントロール，データの収録・送信）

ロボット本体の推進，旋回等の操作は，デジタル・プロポによるマニュアル方式と，最大 100 点を順番に通過させる自律航行方式とした。二つの操作方式の切替えは，手元のコントローラーで容易に行う事ができる。

取得したデータは，ロボットに搭載しているデータ保存用 PC に格納する。また，地上基地局の PC では音響測深機による河床の計測範囲と音響カメラの映像がモニタ上にリアルタイムに表示され，計測漏れ等を防ぐことができる。

ロボットの計測イメージを図-6 に，成果イメージを図-7 に示す。

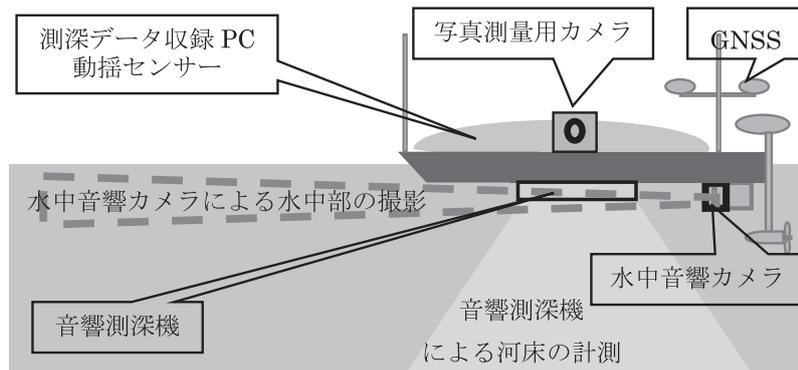


図-6 計測イメージ

◆得られる成果イメージ

◆ステレオ写真測量

- ・護岸点検図(水上部)
- 水上護岸の点検
- ・護岸点群データ
- クラック等の大きさ(約10cm以内)がわかる

ステレオカメラによる画像イメージ

◆水中音響画像 (ARIS画像)

- ・護岸点検図(水中部)
- 濁水中でも鉄筋の露出を確認することができる
- コンクリートの剥離を確認することができる
- 10cm程度の鉄筋や剥離の大きさを測ることができる(1cmオーダー)

ARISによる画像

◆スワス測深

- ・河川地形図(深掘・洗掘・河床地形形状・深淺等の鳥瞰図・等深線図)
- ・河床の標高を把握(1cmオーダー)
- ・底質区分(河床材料)

鳥瞰図

図-7 成果イメージ

4. 試行的導入・実証試験

(1) 試行的導入 (国土交通省, 経済産業省)

国土交通省と経済産業省は平成 25 年度に共同で「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置し、社会インフラの老朽化の実情、点検手法の実現場での状況、新技術の開発・導入の現状等を考慮して、五つの重点分野で社会インフラの点検を支援するロボットの開発・導入を策定した。その中で、河川の維持管理を適正に行うための「水中(ダム・河川)」分野で「近接目視の代替」、「堆積物の状況把握」に対応できるロボットを民間企業や大学等から募集した。直轄の実現場で検証・評価を行って開発・導入を促進する事業であり、当時開発中であった本ロボットを応募し実現場で検証した結果、「試行的導入を推薦する」と評価された。その後、ロボットの導入に向けての各種マニュアル作りのための基礎資料となる実証試験を行った。

探査の成果図(一例)を図-8に示す。

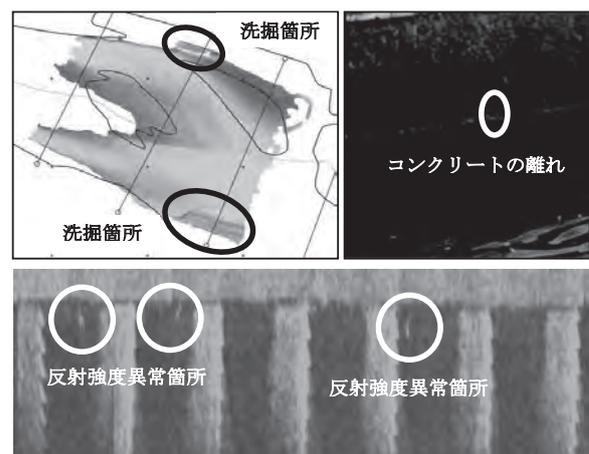


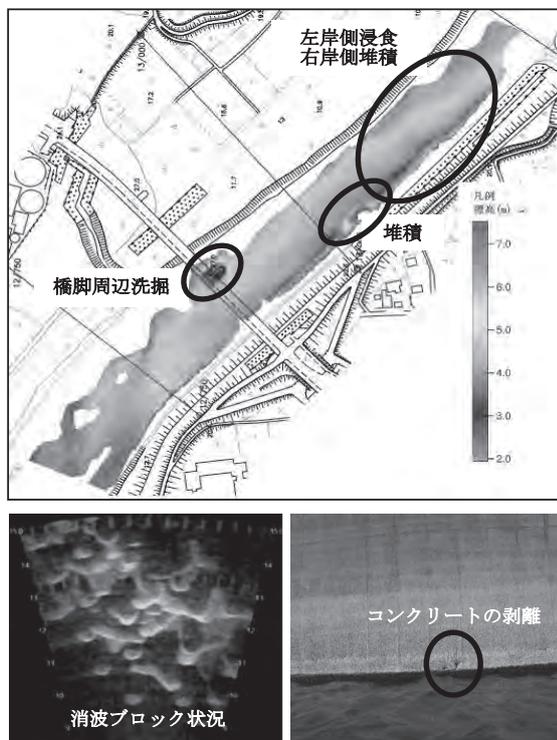
図-8 試行的導入成果図(一例)

(2) 実証試験 (茨城県)

茨城県では平成 27 年度より県の補助事業で、研究・開発中あるいは機能拡充中のロボットに対し、改良・実証試験に係る経費の補助(上限あり)、改良・実証試験の助言、報道機関への情報提供(PR活動)といった実用化に向けての支援を行う「いばらきロボット実

証試験・実用化支援事業」が導入されている。本事業には平成 28 年度から参加（採択され）しており，茨城県内の直轄河川と県営漁港で実証試験を行った。

探査の成果図（一例）を図一 9 に示す。



図一 9 実証試験成果図（一例）

5. おわりに

本ロボットは，すでに直轄の事務所で実績を作りつつあり，河川事業に限らず，港湾，海岸，ダム事業への導入に向けて技術紹介を実施している。搭載するセンサー類も今回紹介した機器以外に，あらゆる場面で必要な機器を選択できるロボットである。

また，近年は水中を透過するレーザー機器を航空機に搭載（ALB）し，空から広範囲に水中浅部の河床地形を計測する技術が導入されている。この技術との連携により，航空機で広範囲を概査的に探査し，その結果により変状箇所やデータの欠測箇所を本ロボットで局部的に探査することでより効率の良い河川点検が実施できる。

今後はこのような新技術を付加・連携させることにより常にユーザーニーズに貢献できるよう会社を挙げて取り組んでいく所存である。

JCMA

【筆者紹介】

大竹 剛（おおたけ つよし）
 (株)アーク・ジオ・サポート（AGS）
 営業部
 担当課長

