

水中点検ロボット

想定ニーズ：
I. 現地の状況を把握したい 1. 測量を簡便に行う技術
11) 海中、水中深層部の三次元測量を可能にする技術

※NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの開発」の助成を受けて開発中である

特徴

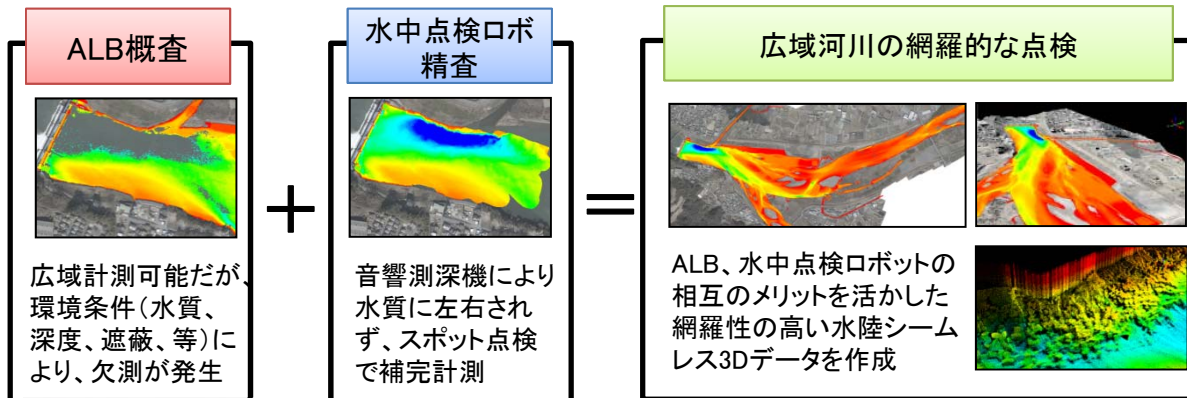
※公共測量[17条]適用可

- (1) ALBと連携して河川の網羅的な三次元データを取得
- (2) 遠隔操作で河川構造物の点検、河床測量が可能
- (3) パッケージ化により現地機装を省力化

従来の課題

- (1) 河川広域を網羅的に把握する手段がない
- (2) 河川護岸などの水中構造物は点検自体が困難で危険を伴う
- (3) 有人船計測は現地での偽装作業に時間を要し、コストが掛かる

技術概要



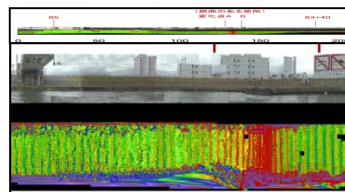
【双胴船形式】【前後2台船外機】により、安定計測航行、多彩な旋回性を実現



【船体視点カメラ】【計測モニタリング】により、陸地からの遠隔操作(実績距離400m)で計測を実現



構造物基礎部の河床変状計測も可能



【オプション】
光学カメラ+音響測深機による護岸変状図

スペック等

機材名	水中点検ロボ ver.2016		
寸法	1695mm × 4550mm × 2000mm		
重量	約315kg ※カメラユニット搭載時350kg		
動力	船外機(2)	電動ウインチ(1)	
	制御装置(1)	ノートPC(1)	
制御	Wi-Fiアンテナ(2)	MU1N: 無線通信モジュール(1)	
	CONNEX: HDMI送受信モジュール(1)	GoPro: 前方監視カメラ(1)	
	HDTVカメラ(最大4)	SONIC: 音響測深器(1) 2024・2022対応	
	GPS(2)	IMU(1)	
主要搭載物(数量)	電源	リチウムイオンバッテリー 12V80Ah(2)	
		リチウムイオンバッテリー 24V80Ah(2)	
		バイク用バッテリー 12V10Ah(2)	
操船	プロポ(1)		
	動作電圧	船外機	24VDC
システム	ウインチ		12VDC
			12VDC、100VAC
連続稼働時間	2時間		

モニタリング技術の試行的導入①

研究開発の目的・内容

- (1) ALBと連携して河道の網羅的な計測・点検を行う。
- (2) 実務規模でロボット計測の効率性を立証する。
- (3) 光学カメラを使い従来にない計測手法を実務現場で立証する。

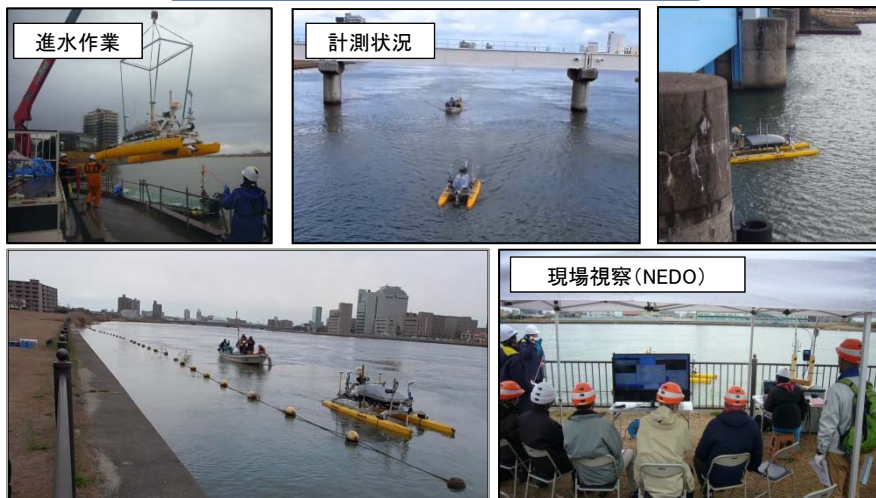
従来の課題

- (1) 河川広域を網羅的に把握する手段がない。
- (2) 有人船による計測はコストがかかる。
- (3) 護岸の効果的な計測手段がない。

検証現場イメージ



検証の様子

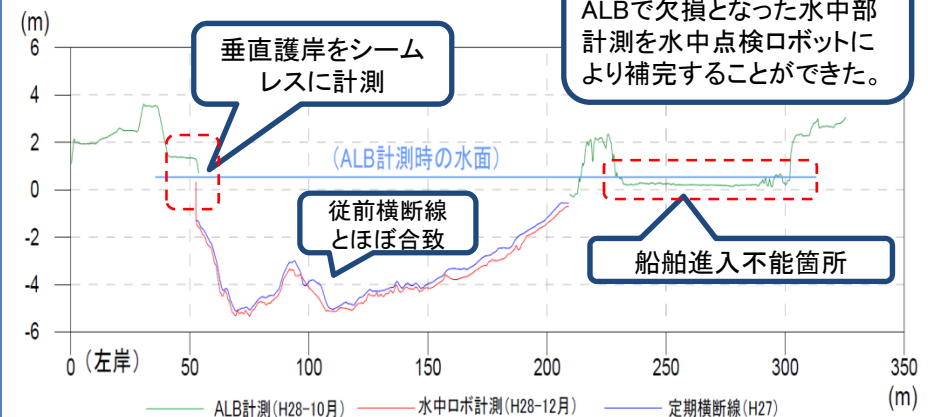
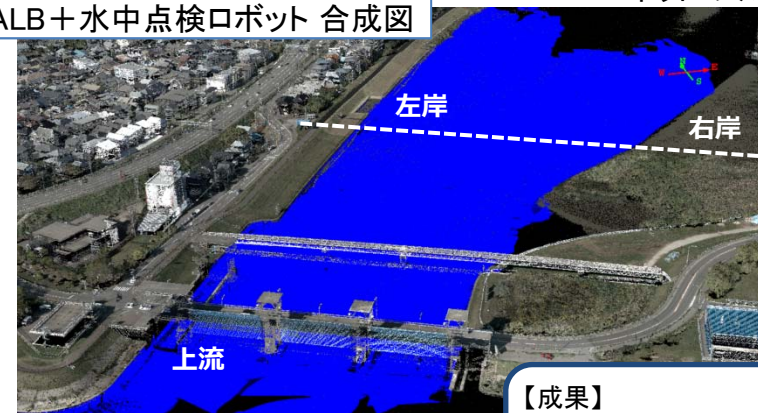


実施成果1

ALB+水中心点検ロボットによる網羅計測

ALB: 色付き点群
ロボット: ブルー

ALB+水中心点検ロボット 合成図



モニタリング技術の試行的導入①

実施成果2

実務条件での計測効率性向上

H27年度



2艘船形式により航行能力に難

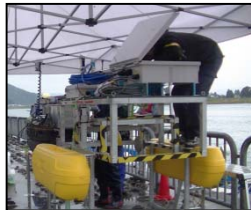
H28年度



双胴船形式で航行安定性強化

ロボット本体

艀装・進水作業



作業員:5名+クレーン1名

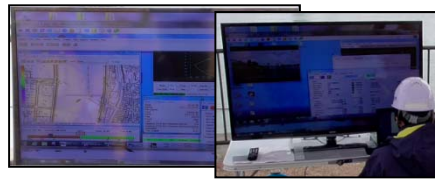


作業員:3名+クレーン1名

操船支援



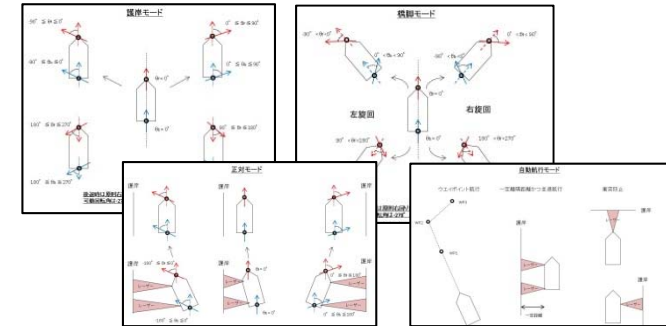
測深結果モニタリング機能



測深モニタリング+航行ビュー

ロボット改良項目

- ・船体再設計
- ・船外機追加(1⇒2機)
- ・操船支援センサー追加
船体視点カメラ
測距センサー
前方測深センサー
- ・駆動制御プログラム開発(2軸駆動で旋回性向上)
航行モード切替え機能



改良による計測効率性向上

対応流速:0.5m/s ⇒ 1.2m/s

艀装時間:2.5h ⇒ 1.5h

計測能力:3,300m²/h ⇒ 30,800m²/h

水中心検ロボット標準歩掛(案)

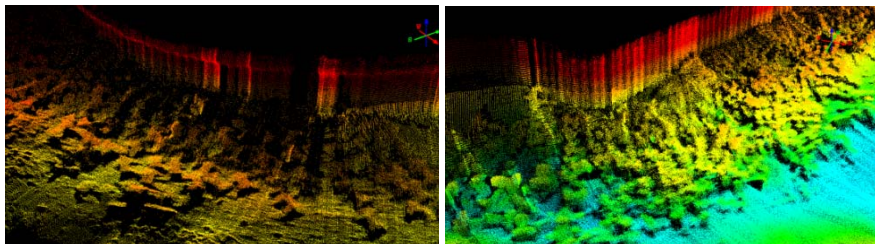
ロボット性能に課題はあるが、有人船による計測の代替手段としての効率性を示すことができ、国交省にて標準歩掛(案)が策定された。

モニタリング技術の試行的導入①

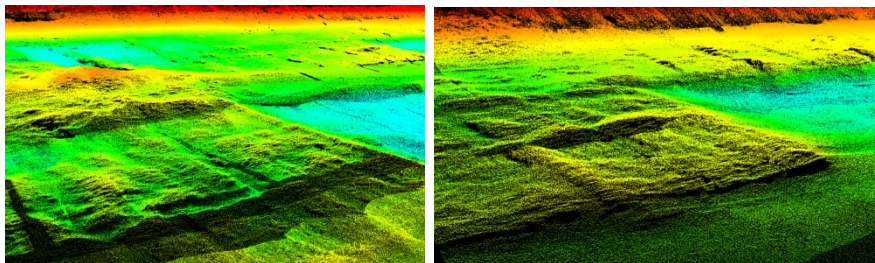
実施成果3

護岸・河床状況把握

矢板護岸と根固ブロックの状況



護床工(伝統工法 粗朶沈床)の状況



【成果】

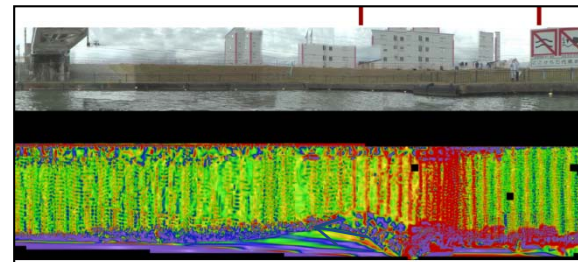
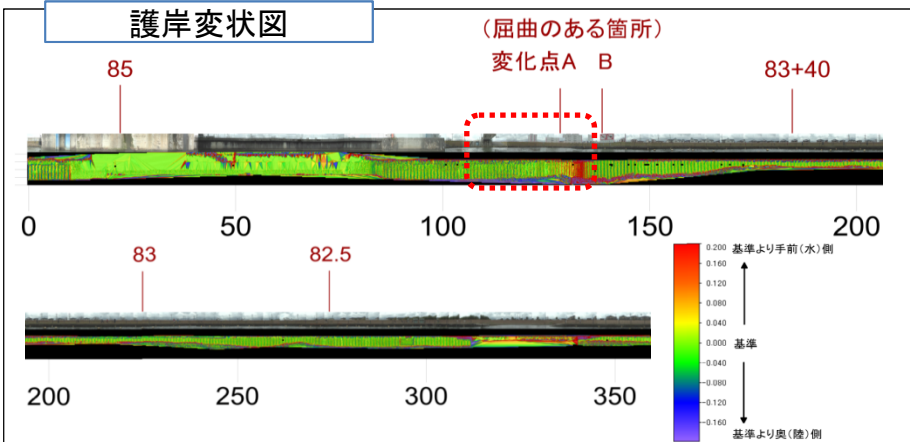
護岸・護床等の状況が把握できた。

- ⇒ データは位置情報を含むため、経年比較が容易
- ⇒ 重点箇所のモニタリングに活用可能

実施成果4

護岸変状の検出

護岸変状図



水中部における護岸基準面
に対する凹凸具合を段彩図
にて表現。(上下方向の色の
変化で判断。)

水上部のオルソ画像と並べる
ことで水中箇所の位置を特定
し易くした。

【成果】

大きな変状は見受けられなかったが、矢板護岸の形
状を認識することができた。

まとめ

- (1) 任意箇所での横断面把握、河川構造物の状況把握など、河川維持管理においてより高度な判断材料を提供できた。
- (2) 有人船による計測の代替手段として一定の効率性を示すことができ、国交省にて標準歩掛(案)が策定された。
- (3) 機体上部に光学カメラ等を設置し水上から計測する、といった新規ニーズへの対応可能性を示せた。

モニタリング技術の試行的導入②

研究開発の目的・内容

- (1) ALB概査計測とロボット精査計測による取得データ網羅性の確認
- (2) 陸上からの遠隔操作によるロボット計測手法の検証
- (3) ALB連携計測による計測作業の効率化

従来の課題

- (1) 広域な河床を網羅的、効率的に把握する手段がない
- (2) 河川護岸などの水中構造物は点検自体が困難で危険を伴う
- (3) 有人船計測は現地での偽装作業に時間を要し、コストが掛かる

検証現場イメージ



検証の様子



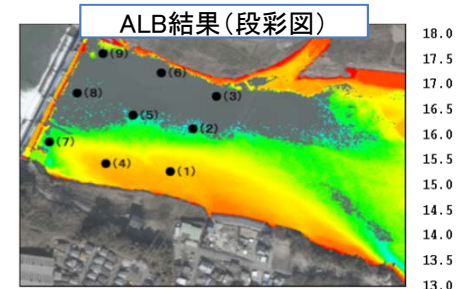
実施成果1

ALB概査計測とロボット精査計測による取得データ網羅性の確認

ALB概査計測による測深性能を確認



ALB計測高度: 400m
オーバーラップ: 50%



測深値

位置	透明度	水深	水中点検ロボット	ALB	透明度 (平均)
(1)	2.1m	2.1m	2.1m	2.1m	2.35m
(2)	2.3m	3.3m	3.3m	3.3m	ALB測深性能値 (透明度×1.5)
(3)	2.5m	5.7m	5.7m	-	
(4)	1.8m	1.8m	1.8m	1.8m	3.5m
(5)	2.4m	3.8m	3.8m	3.8m	
(6)	2.2m	6.6m	6.6m	-	
(7)	2.5m	2.7m	2.7m	2.7m	
(8)	2.4m	4.0m	4.0m	4.0m	
(9)	2.1m	3.1m	3.1m	3.1m	

※測定位置周辺5m内の最長測深値

点密度

	ALB	水中点検ロボット
面積 (㎡)	65,000	61200
点数	397,781	112,049,979
点密度(点/㎡)	6.12	1830.88

【成果】

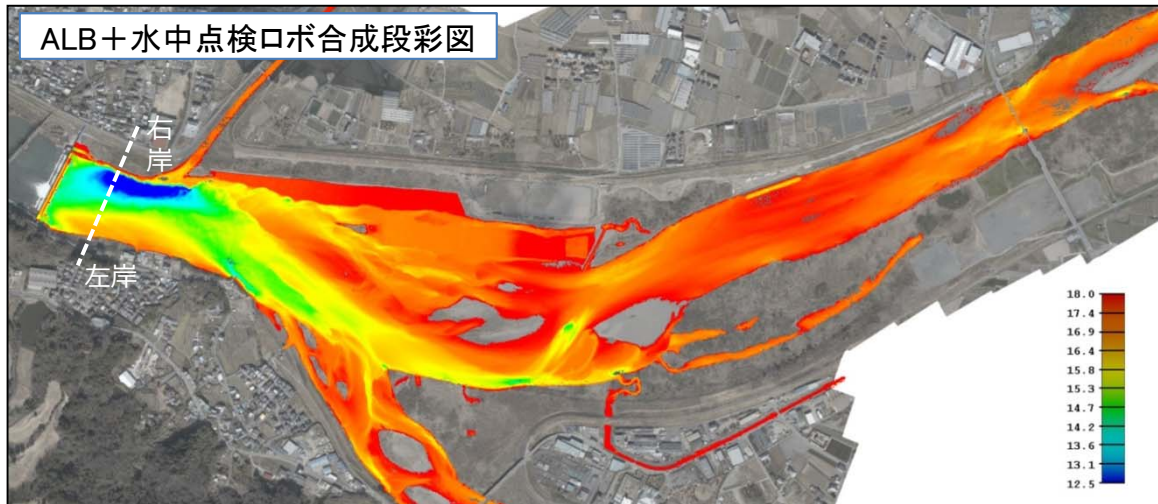
- ・ALB測深の限界値は、理論値である透明度×1.5倍の水深3.5mと同等であった。
- ・ALB取得点密度は、高度400m、オーバーラップ50%計測時の理論値6点/㎡と同等であった。

モニタリング技術の試行的導入②

実施成果2

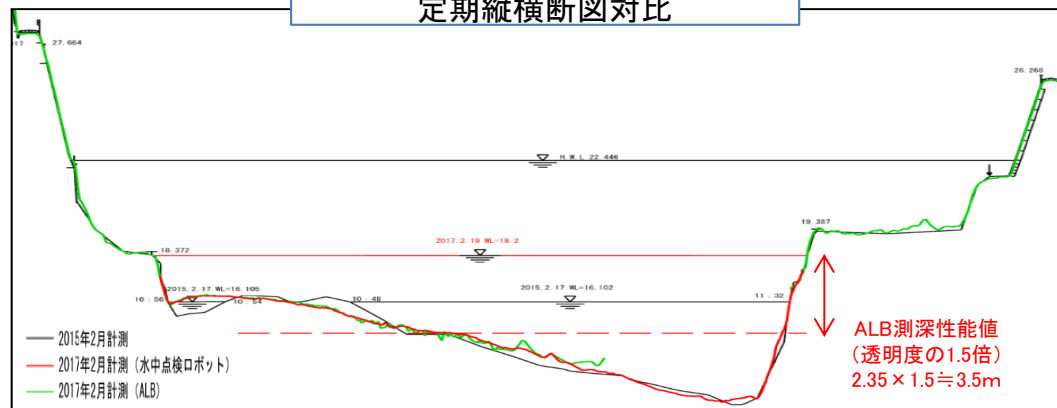
ALB概査計測とロボット精査計測による取得データ網羅性の確認

ALB概査、水中点検ロボット精査連携による成果を確認



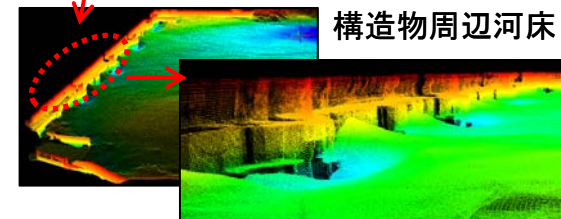
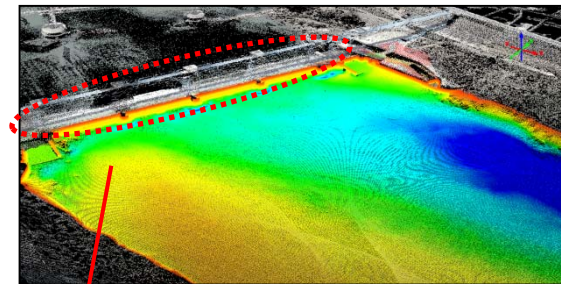
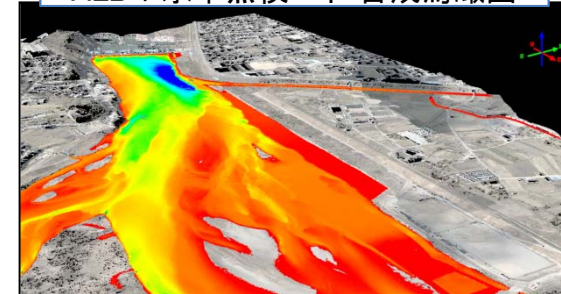
ALB概査データと水中点検ロボット精査データの統合により水部を欠測なく取得することができた。

定期縦横断面図対比



ALB測深範囲、および水中点検ロボットのデータ較差はほぼなく、整合性がとれていることが確認できた。

ALB+水中点検ロボ 合成鳥瞰図



【成果】

ALB、水中点検ロボットの相互のメリット(浅瀬域でのデータ取得、濁度影響による欠測の補完)を活かした網羅性の高い成果を作成できた。

モニタリング技術の試行的導入②

実施成果3

陸上からの遠隔操作によるロボット計測手法の検証

陸上から遠隔操作計測の検証



計測は陸地からの遠隔操作(最長通信距離400m)のみで完結した。
 ※警戒船は安全確保のため別途並走

艀装・進水作業



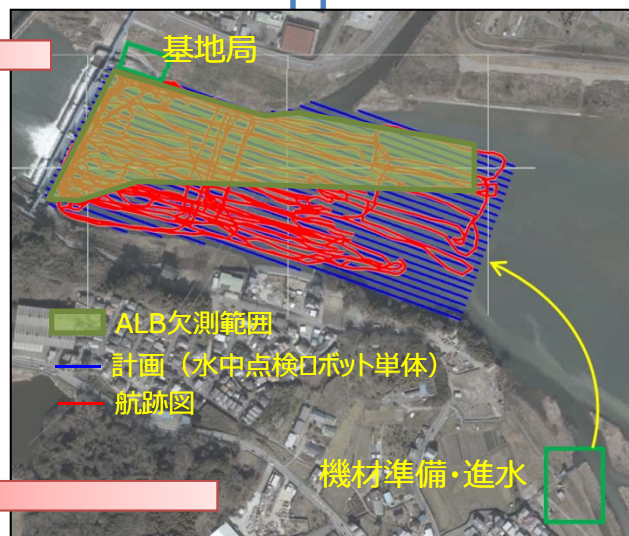
【成果】

有人船では計測困難箇所(浅瀬、かつ、進入困難)において、ロボット計測を陸地から安全に計測を行うことができた。

実施成果4

ALB連携計測による計測作業の効率化

ALB計測結果を利用したロボット計測計画



ALB計測計画



陸部を含む計測面積: 3.6km² (3,600,000m²)
 水域面積: 720,000m² 計測時間: 1h

計測時間

	水中心検口ロボット
水域面積	61,200m ²
計測時間	4.75h

ALB欠測範囲の補完計測として利用すれば、水中心検口ロボット作業時間を2.25h(50%以上)削減できる。(今回計画範囲はALB、水中心検口ロボットの精度検証の為に同一範囲の計測を実施した。)

【成果】

ALB概査計測の速報値から欠損箇所を特定することで、水中心検口ロボット精査計測の効率化の可能性を確認できた。

まとめ

- (1) 任意箇所での縦横断面など、河川維持管理においてより高度な判断材料を提供できた。
- (2) 有人船が侵入困難なエリアにおいて、有人船による計測の代替手段としての適用性を示すことができた。
- (3) 陸地からの遠隔操作による安全性を担保した計測手法の実現性を示すことができた。

国土交通省 委員会での評価(水中点検ロボ)

次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会
水中維持管理部会資料(2016/3/30)

[NO.2]

[NO.2]

次世代社会インフラ用ロボット開発・導入促進事業

現場検証 評価結果	実用検証
-----------	------

次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会 水中維持管理部会

○技術名称	自動航行ロボットを用いた河床の洗掘把握と河川護岸の概査システム																
○応募者	朝日航洋株式会社																
○共同開発者	パナソニック株式会社、国立研究開発法人国立環境研究所																
○技術概要	<p>本システムは、自動航行機能および点検対象物への正対制御機能を有するボートに、音響測深機(マルチビームソナー)およびビデオカメラ(陸上、水中)を搭載し、河床の洗掘把握と河川護岸の概査を効率的に行う技術である。</p> <p>音響測深機で取得した3次元地形モデルとビデオカメラで撮影した画像に鮮明化・モザイク処理を施した画像を組み合わせた「3次元展開図」を作成することにより、面的な性状把握と経年比較を可能にする。</p>	(外観イメージ)															
○対象分野	水中維持管理 河川																
○技術構成	<table border="1"> <tr> <td>移動機構</td> <td>ボート</td> <td>最大速度2.5m/s</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">情報取得機器</td> <td>音響センサー等</td> <td>ワイドバンドマルチビームソナー Sonic2024</td> </tr> <tr> <td>ビデオカメラ</td> <td>HDカメラ 220万画素</td> </tr> <tr> <td>データ処理</td> <td>3Dデータ、画像の加工</td> <td>3D測量図、段彩図、画像鮮明化、モザイク図</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>測位技術</td> <td>D-GNSS</td> </tr> </table>	移動機構	ボート	最大速度2.5m/s	情報取得機器	音響センサー等	ワイドバンドマルチビームソナー Sonic2024	ビデオカメラ	HDカメラ 220万画素	データ処理	3Dデータ、画像の加工	3D測量図、段彩図、画像鮮明化、モザイク図	その他	測位技術	D-GNSS		
移動機構	ボート	最大速度2.5m/s															
情報取得機器	音響センサー等	ワイドバンドマルチビームソナー Sonic2024															
	ビデオカメラ	HDカメラ 220万画素															
データ処理	3Dデータ、画像の加工	3D測量図、段彩図、画像鮮明化、モザイク図															
その他	測位技術	D-GNSS															
○問合せ先	朝日航洋株式会社 東京空情支社 営業一部 公共グループ 杉山 伶 Tel: 03-3988-1013 E-Mail: ryou-sugiyama@aerosahi.co.jp URL: https://www.aerosahi.co.jp																
●検証項目	[3] (詳細内容は、本書p.21に記載)																
●検証場所																	
●検証内容	<p>堰上流側の水域において、①堰柱周辺水面下のコンクリート構造物の調査、②一部に護床ブロックの設置された河床の深浅測量、③河川護岸(コンクリート擁壁および矢板護岸)の変状調査を実施した。取得できた点検情報の精度、記録の妥当性、作業の効率性、汎用性および安全性について検証を実施した。</p> <p>【検証実施日】 平成27年10月22日(点検作業) 10月28日(委員検証)</p>	<p>擁壁調査状況</p>  <p>【取得データ例】矢板護岸の3D鳥瞰図</p>															

○技術名称	自動航行ロボットを用いた河床の洗掘把握と河川護岸の概査システム																																																														
●評価結果(河床)																																																															
検証項目	[3]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が効率的に把握できる技術・システム。																																																														
総合評価	<p>自動航行機能を有する無人ボートに搭載した音響測深機(ワイドバンドマルチビームソナー)により、河床の洗掘状況および護床ブロックの設置状況を3次元地形データから面的に把握できることを確認した。一定の点検支援効果が確認されたため、「試行的導入」を推薦する。</p> <p>【検証結果】 基本要件6項目をすべて満足した。 ○ワイドバンドマルチビームソナーにより、適度に拘わらず、河床の洗掘を正確かつ面的に把握できることが確認された。 ○従来のスワス深浅測量に比べ、費用面で優位となる可能性が確認された。 ○河床における変状の位置把握精度は概ね1m以内であった。0.1mピッチの測深結果では護床ブロックの凹凸についても正確に把握できることが確認され、洗掘範囲の把握に必要な十分な精度を有する。 ○検証時の流速は0.5m/s以下であった。</p>																																																														
「試行的導入」を推薦する。		★★★																																																													
期待される活用場面	<ul style="list-style-type: none"> 河床の洗掘状況(幅、長さ、深さ等)や土砂堆積状況等の面的な把握での活用 橋脚基礎部周辺の局所的な洗掘等、変状の有無や洗掘規模(幅、深さ、奥行等)の把握での活用 流速1m/s以下の条件下で適用可(申告値) 																																																														
留意事項	・バッテリー交換の際は、クレーン(2t吊り)による船体の陸揚げが必要																																																														
期待される改良・開発事項	<p>【自動航行技術の確立】</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動航行技術の確立による河床点検の効率化 【設置・撤去の効率化】 ・運水・陸揚げツールを改良による設置、撤去の省力化と効率化 																																																														
参考: 今回の現場検証における応募要件・項目についての判定結果(今回の検証現場の諸条件下での結果)																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">検証項目</th> <th>判定</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本要件①</td> <td>濁水中でも、画像、照明技術、レーザー、音響等を使用して状態把握が可能。</td> <td>◎</td> <td></td> </tr> <tr> <td>基本要件②</td> <td>従来の方法(潜水士による点検等)に比べ、費用対効果の面で優位となる。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>基本要件③</td> <td>高度、水流、流木の存在等の現場条件は、現場検証場所での検証時期のものを想定。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>基本要件④</td> <td>対象とする技術・システムは、水中の点検対象物に近接する方法だけでなく、水面付近や水際の陸上部等からの計測による方法も含む。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>基本要件⑤</td> <td>技術・システム自体の機能または点検対象物等の目印を用いて対象の位置を把握する精度は、概ね1メートル以内。</td> <td>◎</td> <td></td> </tr> <tr> <td>基本要件⑥</td> <td>風水害等に伴う増水や濁水のない平常時の状態(とくに流速)に対応できる。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>期待項目⑦</td> <td>水深20m以上の点検対象物まで対応可能。</td> <td>◎</td> <td>水平方向に21m計測</td> </tr> <tr> <td>期待項目⑧</td> <td>点検データを継続的に保管し、履歴管理を行い、経年変化が比較できる。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>期待項目⑨</td> <td>点検に際し、自動航行または自律制御が可能。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>期待項目⑩</td> <td>他の多くの現場において効果を発揮できる。(汎用性)</td> <td>○</td> <td>流速0.5m/sまで検証</td> </tr> <tr> <td>期待項目⑪</td> <td>点検の障害物(流木、砂礫、ゴミ等)の回避あるいは除去が可能。</td> <td>○</td> <td>除去は不可</td> </tr> <tr> <td>期待項目⑫</td> <td>洗掘の広さ及び深さが確認でき、その全体状況を分かりやすく表示できる。</td> <td>◎</td> <td>段彩図により確認可能</td> </tr> <tr> <td>期待項目⑬</td> <td>洪水や洪水直後などのより速い流れや濁水環境においても点検できる。</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td>期待項目⑭</td> <td>洗掘の全体状況の把握のため、視覚的に分かりやすく表示できる。</td> <td>◎</td> <td>段彩図により可能</td> </tr> </tbody> </table>				検証項目		判定	備考	基本要件①	濁水中でも、画像、照明技術、レーザー、音響等を使用して状態把握が可能。	◎		基本要件②	従来の方法(潜水士による点検等)に比べ、費用対効果の面で優位となる。	○		基本要件③	高度、水流、流木の存在等の現場条件は、現場検証場所での検証時期のものを想定。	○		基本要件④	対象とする技術・システムは、水中の点検対象物に近接する方法だけでなく、水面付近や水際の陸上部等からの計測による方法も含む。	○		基本要件⑤	技術・システム自体の機能または点検対象物等の目印を用いて対象の位置を把握する精度は、概ね1メートル以内。	◎		基本要件⑥	風水害等に伴う増水や濁水のない平常時の状態(とくに流速)に対応できる。	○		期待項目⑦	水深20m以上の点検対象物まで対応可能。	◎	水平方向に21m計測	期待項目⑧	点検データを継続的に保管し、履歴管理を行い、経年変化が比較できる。	○		期待項目⑨	点検に際し、自動航行または自律制御が可能。	○		期待項目⑩	他の多くの現場において効果を発揮できる。(汎用性)	○	流速0.5m/sまで検証	期待項目⑪	点検の障害物(流木、砂礫、ゴミ等)の回避あるいは除去が可能。	○	除去は不可	期待項目⑫	洗掘の広さ及び深さが確認でき、その全体状況を分かりやすく表示できる。	◎	段彩図により確認可能	期待項目⑬	洪水や洪水直後などのより速い流れや濁水環境においても点検できる。	○		期待項目⑭	洗掘の全体状況の把握のため、視覚的に分かりやすく表示できる。	◎	段彩図により可能
検証項目		判定	備考																																																												
基本要件①	濁水中でも、画像、照明技術、レーザー、音響等を使用して状態把握が可能。	◎																																																													
基本要件②	従来の方法(潜水士による点検等)に比べ、費用対効果の面で優位となる。	○																																																													
基本要件③	高度、水流、流木の存在等の現場条件は、現場検証場所での検証時期のものを想定。	○																																																													
基本要件④	対象とする技術・システムは、水中の点検対象物に近接する方法だけでなく、水面付近や水際の陸上部等からの計測による方法も含む。	○																																																													
基本要件⑤	技術・システム自体の機能または点検対象物等の目印を用いて対象の位置を把握する精度は、概ね1メートル以内。	◎																																																													
基本要件⑥	風水害等に伴う増水や濁水のない平常時の状態(とくに流速)に対応できる。	○																																																													
期待項目⑦	水深20m以上の点検対象物まで対応可能。	◎	水平方向に21m計測																																																												
期待項目⑧	点検データを継続的に保管し、履歴管理を行い、経年変化が比較できる。	○																																																													
期待項目⑨	点検に際し、自動航行または自律制御が可能。	○																																																													
期待項目⑩	他の多くの現場において効果を発揮できる。(汎用性)	○	流速0.5m/sまで検証																																																												
期待項目⑪	点検の障害物(流木、砂礫、ゴミ等)の回避あるいは除去が可能。	○	除去は不可																																																												
期待項目⑫	洗掘の広さ及び深さが確認でき、その全体状況を分かりやすく表示できる。	◎	段彩図により確認可能																																																												
期待項目⑬	洪水や洪水直後などのより速い流れや濁水環境においても点検できる。	○																																																													
期待項目⑭	洗掘の全体状況の把握のため、視覚的に分かりやすく表示できる。	◎	段彩図により可能																																																												