

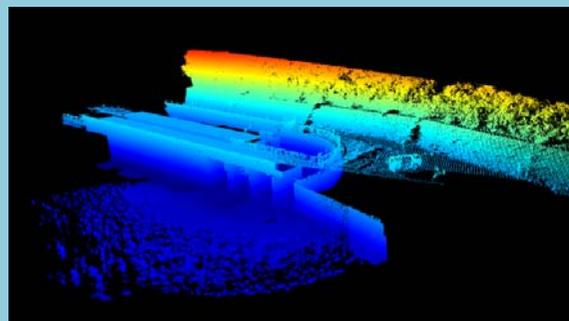
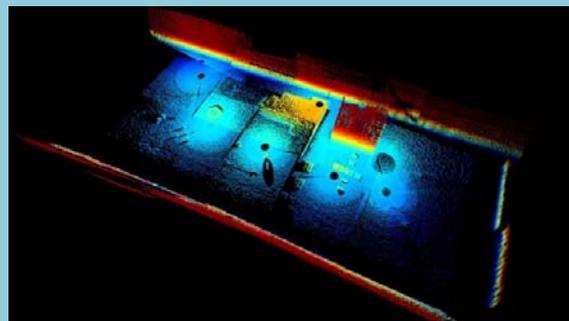
水中3Dスキャナーによる 水中可視化システム



第20回
民間技術交流会
(於：中部地方整備局
2019.7.1)

国土環境研究所
環境調査部
技術開発室 室長

古殿 太郎
ftarou@ideacon.co.jp
Tel：022-263-5826



■ 本資料の一部は、関東地方整備局が推進するi-Constructionに寄与する案件として、海洋調査協会と関東地方整備局間で平成28年度共同研究協定を締結の上、実施した実証試験成果をとりまとめたものです。

本日の御紹介内容

- 水中可視化技術開発の背景

- いであ水中可視化技術の御紹介
 - 水中可視化機器
(マルチビームソナー、水中3Dスキャナー、サブボトムプロファイラー)
 - 水中3Dスキャナーの活用法 (単独、自走式ロボ、船舶艀装、ROV)
 - 国土交通省の実証試験・共同研究成果
 - 港湾施設、護岸、ダム等の点検事例
 - 水中可視化技術のアウトプットイメージ (陸上・水中のデータ統合)
 - サブボトムプロファイラーによる地質構造の計測と3Dモデル統合
 - 船舶版MMS等による臨海施設の計測・点検

水中可視化技術開発の背景

潜水士による目視観察（従来手法）から音響（水中可視化）によるインフラ維持管理・点検へ

潜水士による水中インフラ目視観察の課題

- 濁水中、高流速水域、水深40m以上では**非効率・困難**
- 点、または線での観察結果から**構造物全体を推定**して評価
- 水中インフラの評価は潜水士個人が判断。**スキル・経験によりばらつき**。
- 成果は2Dの図面と写真集 → **IOT、ICTに対応できない**。

音響機器による3D計測の特徴

- 濁水中でも**構造物全体の立体的な計測**が可能。
- 移動体を選択することにより、**高流速、大水深でも計測可能**。
- 常に電力が供給できるため、**長時間の連続作業**が可能
- 成果はXYZ座標を持つ点群（3Dモデル）となるため、3Dモデルから水中インフラの状況を**多人数で判断可能**（客観的な評価）
- 3DモデルはGIS、3DCADソフトでの解析が可能
 - ➡ **IOT、ICTに対応。CIM、i-Construction等への活用**

いであの（水中）可視化技術とは？

- 目的やフィールドに応じて機器や移動体を使い分け、最も効率的な方法で計測
- 陸上の構造物・地形や地質データと統合（空間情報の可視化）
- 国土交通省の実証試験や共同研究を通して、水中3Dスキャナーの精度・効率性等を評価
- NETIS登録 KT-180031-A
水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム
「i-UVS(Intelligent-Underwater Visualization System)」

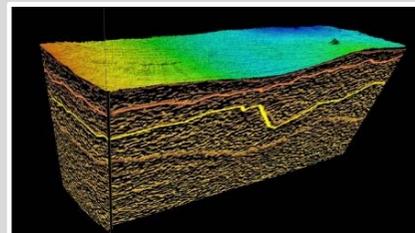
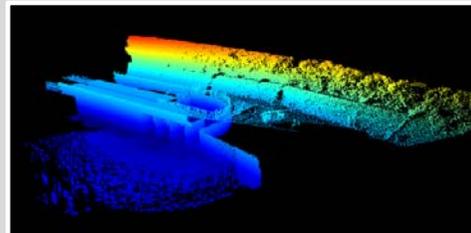
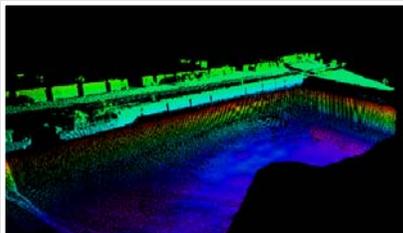
マルチビームソナー



水中3Dスキャナー (+ ROV)

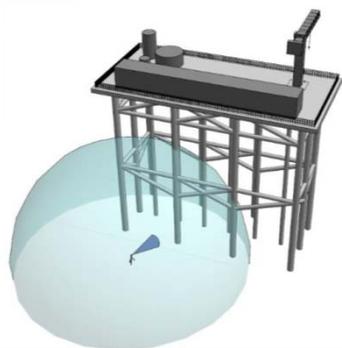


サブボトムプロファイラー



水中3Dスキャナーの仕様

米TeledyneBlueView社製 BV5000



- マルチビームソナーと比較し、周波数が高い
＝ 形状を正確に測定できるが計測レンジが短い
- パン（左右首振り）・チルト（上下首振り）機能を持つ
（ソナーを中心とする球体内の構造物形状を測定）

- 小型軽量のため、様々な移動体に搭載可能
- モーションセンサーによる動揺補正
（本来は海底面に三脚等で固定して使用）

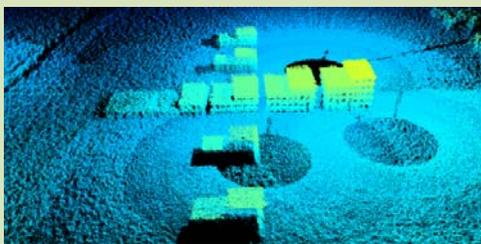
 いであ
独自技術
『i-UVS』

外形寸法	267(mm)×234(mm)×391(mm)
使用周波数帯	1350kHz
最大測定距離	30m（最適距離1～10m）
測定時間 （1回あたり）	一般的に5分～20分、 最長48分（360°全周測定、解像度最大時）

水中3Dスキャナーによる水中可視化技術

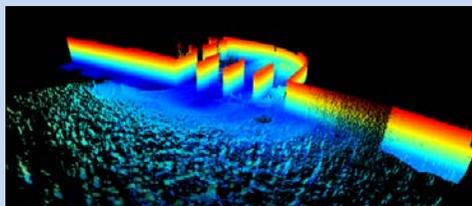
フィールド、目的に応じた**移動体・計測方法の使い分けが重要**

水中3Dスキャナー-単独測定



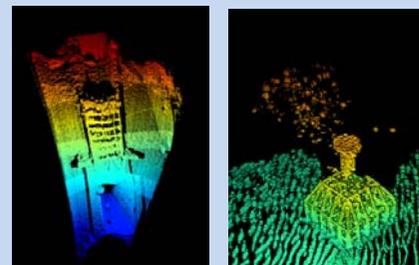
- ❑ 作業船の航行が困難な場所
- ❑ シンプルな構成で取り扱いが容易
- ❑ 業務実績多数

水中3Dスキャナー + 自走式運搬機



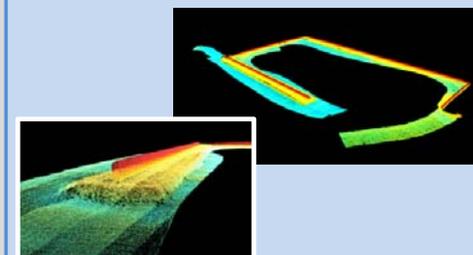
- ❑ 作業船の航行が困難な場所
- ❑ 次世代ロボ導入委員会水中維持管理部会より最高評価
- ❑ H28に水中ロボ試行的導入

水中3Dスキャナー + ROV



- ❑ 潜水作業が困難な水深 (~300m)
- ❑ HVカメラによる画像撮影

水中3Dスキャナー + 船舶



- ❑ 移動しながら3D計測
- ❑ 業務実績多数
- ❑ H28試行的導入に採用

水中3Dスキャナーの精度検証と活用方法

国土交通省 京浜港ドックでの共同研究（H28）

- 水中3Dスキャナーを単独で使用（**三脚海底設置**）

国土交通省 次世代社会インフラロボット開発・導入の促進 水中維持管理技術の実証試験⇒試行的導入（H27～H28）

- **自走式運搬機**に搭載しての陸上からの計測
- **作業船に艀装**しての水面からの計測（**モーションスキャン**）
- **ROVに搭載**しての水中からの計測とダム計測事例の御紹介
- 従来技術（**潜水士による目視点検**）との比較による
水中3Dスキャナーの評価

水中3Dスキャナー単独での計測事例（京浜港ドック）

国土交通省関東地方整備局-海洋調査協会 共同研究

R1.7 民間技術交流会

目的

水中3Dスキャナーの精度検証

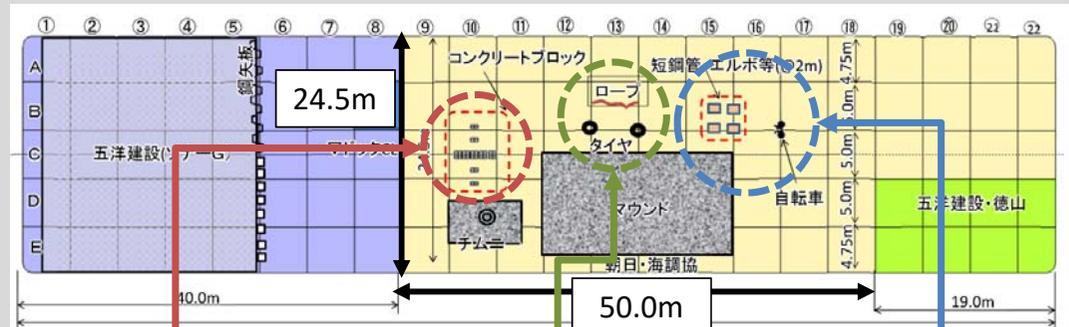
港湾ICT技術に向けた有効性の検討

京浜港ドック内に意図的に評価物を配置

京浜港ドック施設諸元

長さ(m)	幅(m)	深さ(m)
109.0	24.5	8.5

試験時の水位は6.2m



模擬チムニー

マウンド



コンクリートブロック



タイヤ、ロープ



単管・エルボ、自転車

湛水前にレーザーで3D計測を実施

水中3Dスキャナー単独での使用方法（京浜港ドック）

最も基本的な使用方法。海底に固定されるため精度・点群密度が高い

RTK-GPSを用いて
標定物まで作業船を誘導



固縛ロープを用いて
作業船の固定



水中3Dスキャナーに
よる水中3次元計測

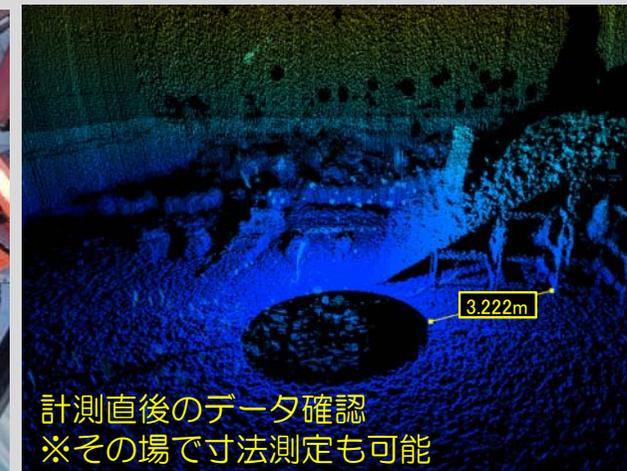
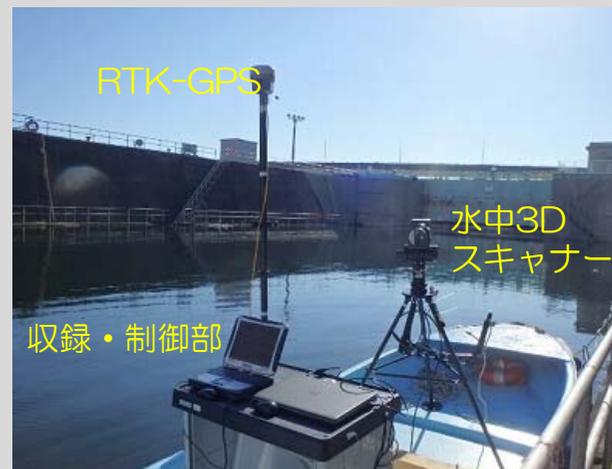
RTK-GPSによる
測位



点群データの取得状況確認

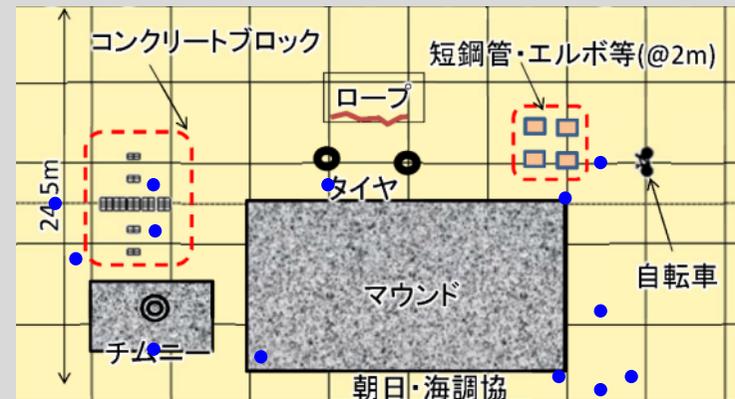


回収・移動



京浜港ドック共同研究の最終成果

1日ですべての計測が終了。水中部と陸上部を統合。



●：計測ポイント（13カ所）

計測ポイント

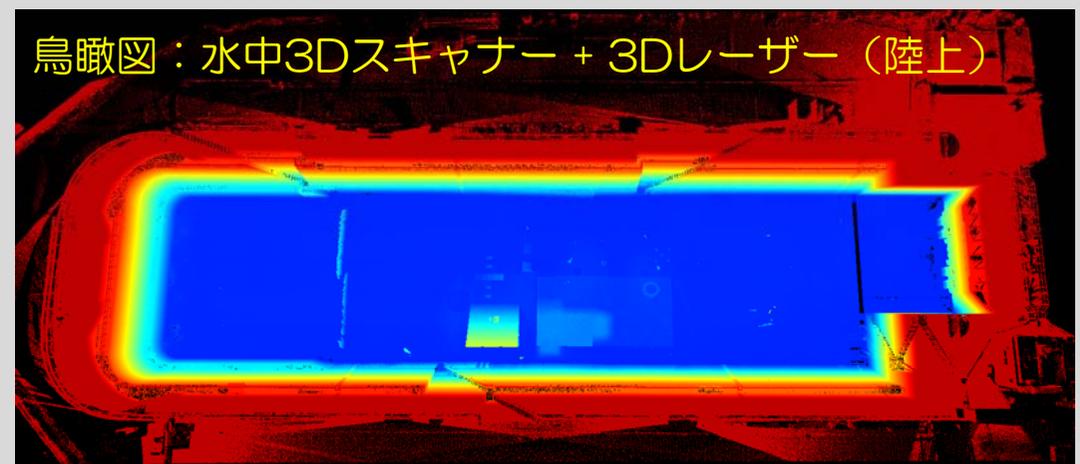
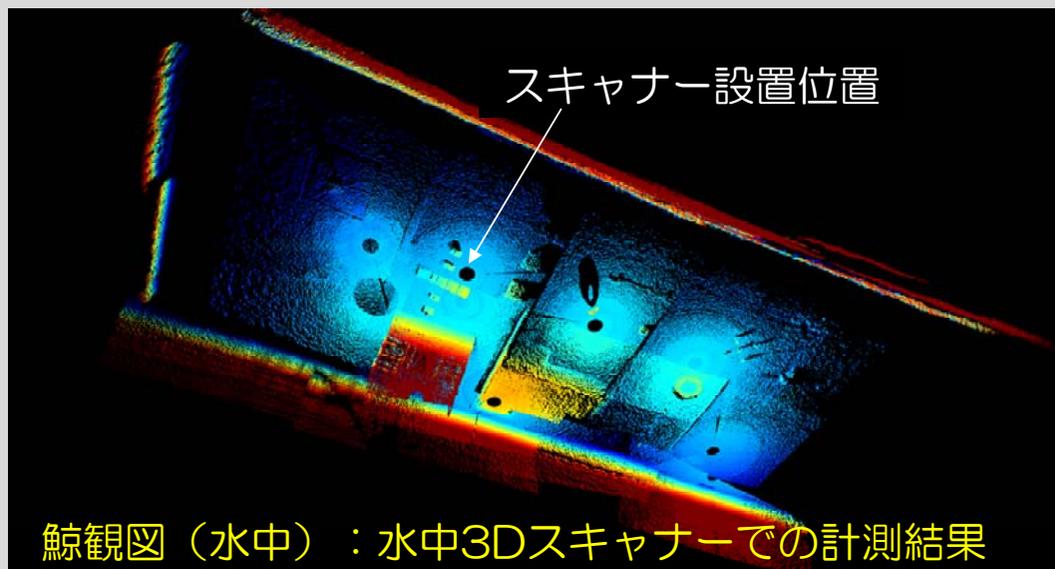
13カ所回（1カ所複数回計測も有）

所要時間

6.5時間（約10～20分/地点）

作業人員

3名



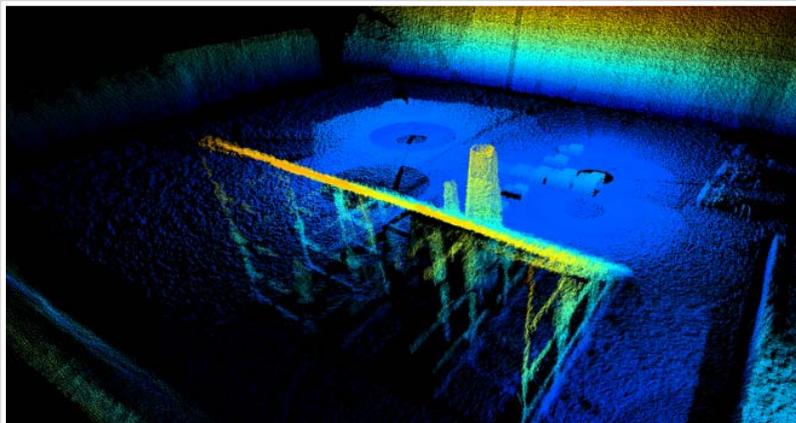
3D点群モデル平面図
（水中部 + 陸上部のシームレスな3次元データ）

評定物の計測結果（チムニー、タイヤ、ロープ）

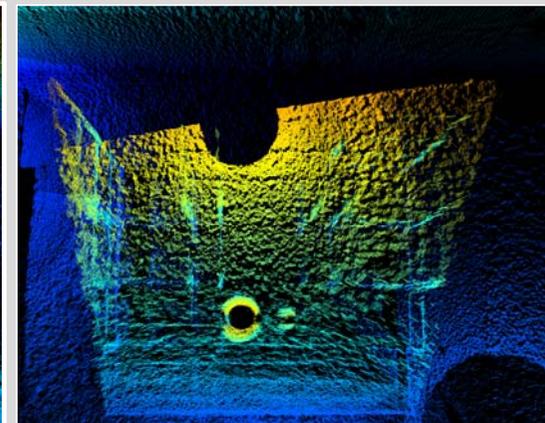
複雑な形状も3Dモデルで再現（物体の識別）



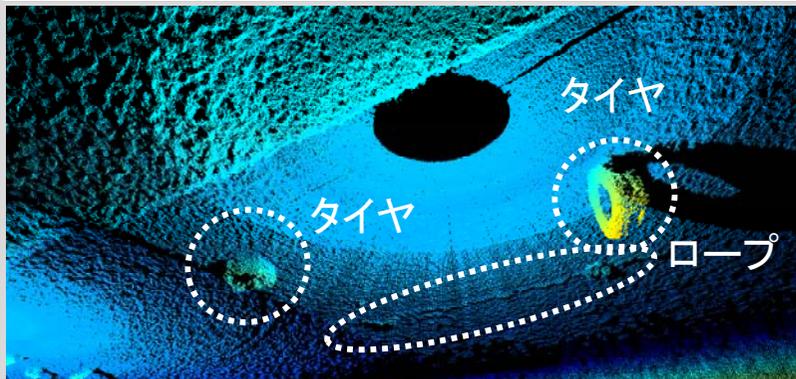
正面



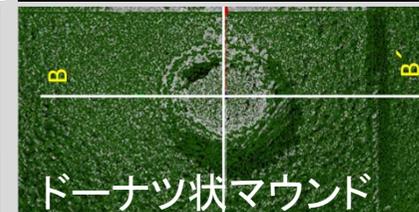
背面の複雑な構造も計測



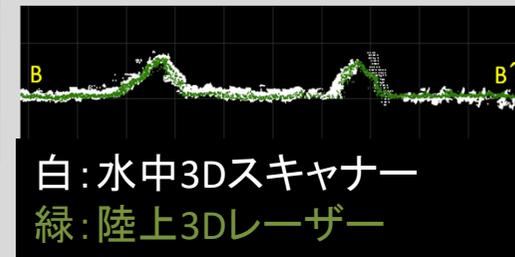
直径も計測可能



ロープ：形状や長さが確認できた
タイヤ：空気により一方が起ち上がっていた



ドーナツ状マウンド



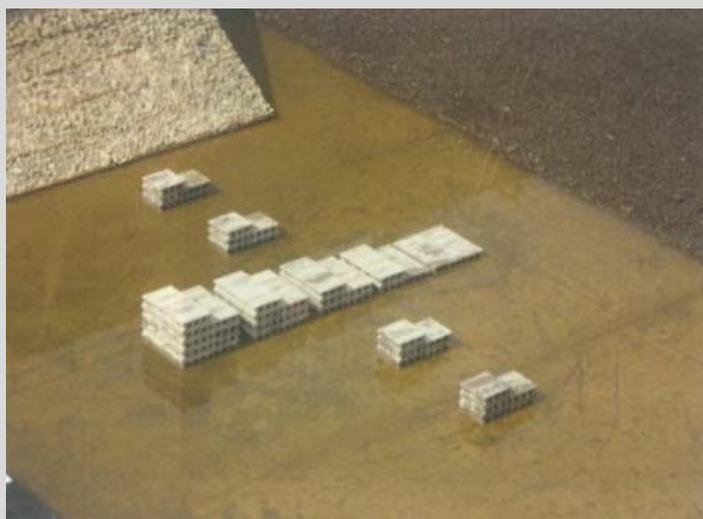
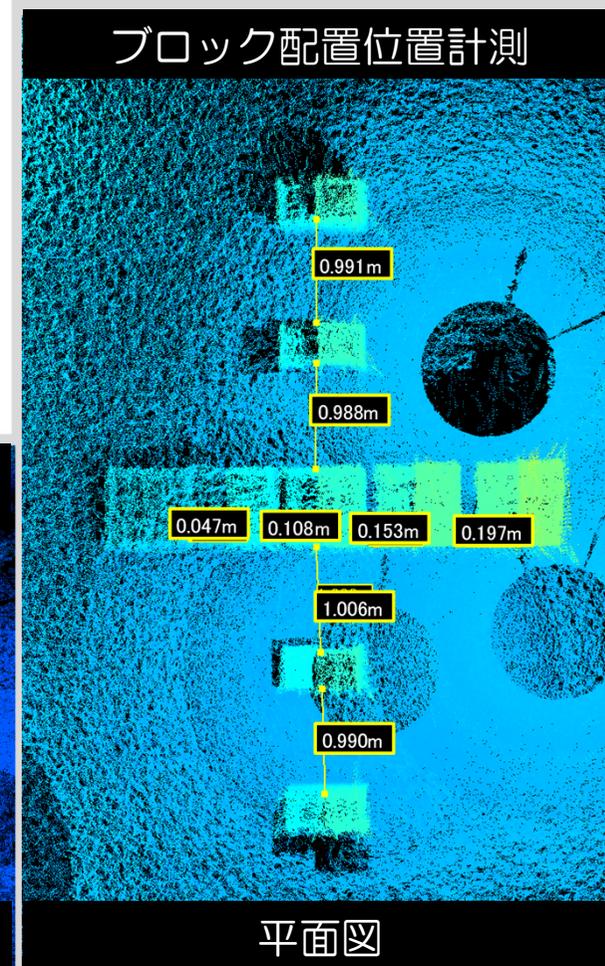
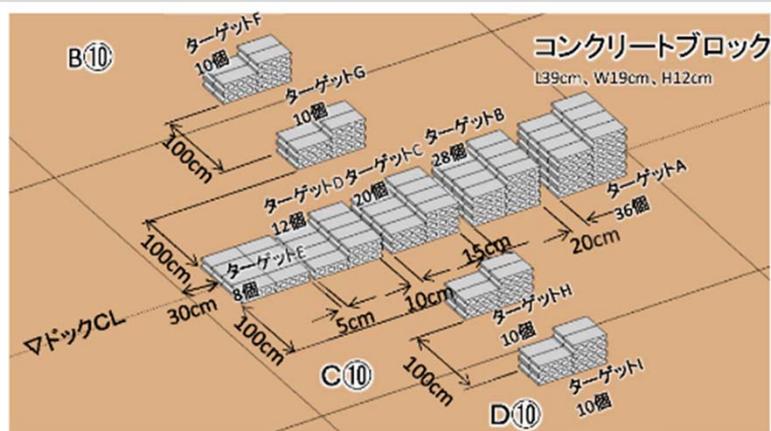
白：水中3Dスキャナー
緑：陸上3Dレーザー

水中3Dスキャナーの精度検証

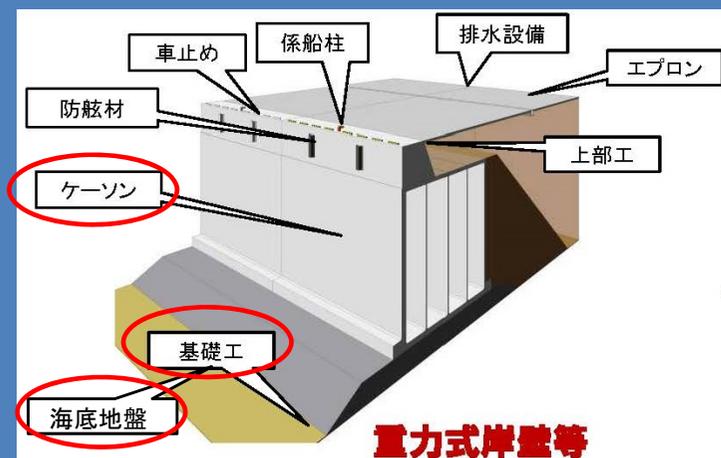
ブロックの形状、サイズ、配置を高い精度で再現（誤差2cm以下）

コンクリートブロックの測定精度
 検証方法：設計図面との比較
 （測定後、即座にサイズ計測可能）
 （直近で長時間（高密度）計測）

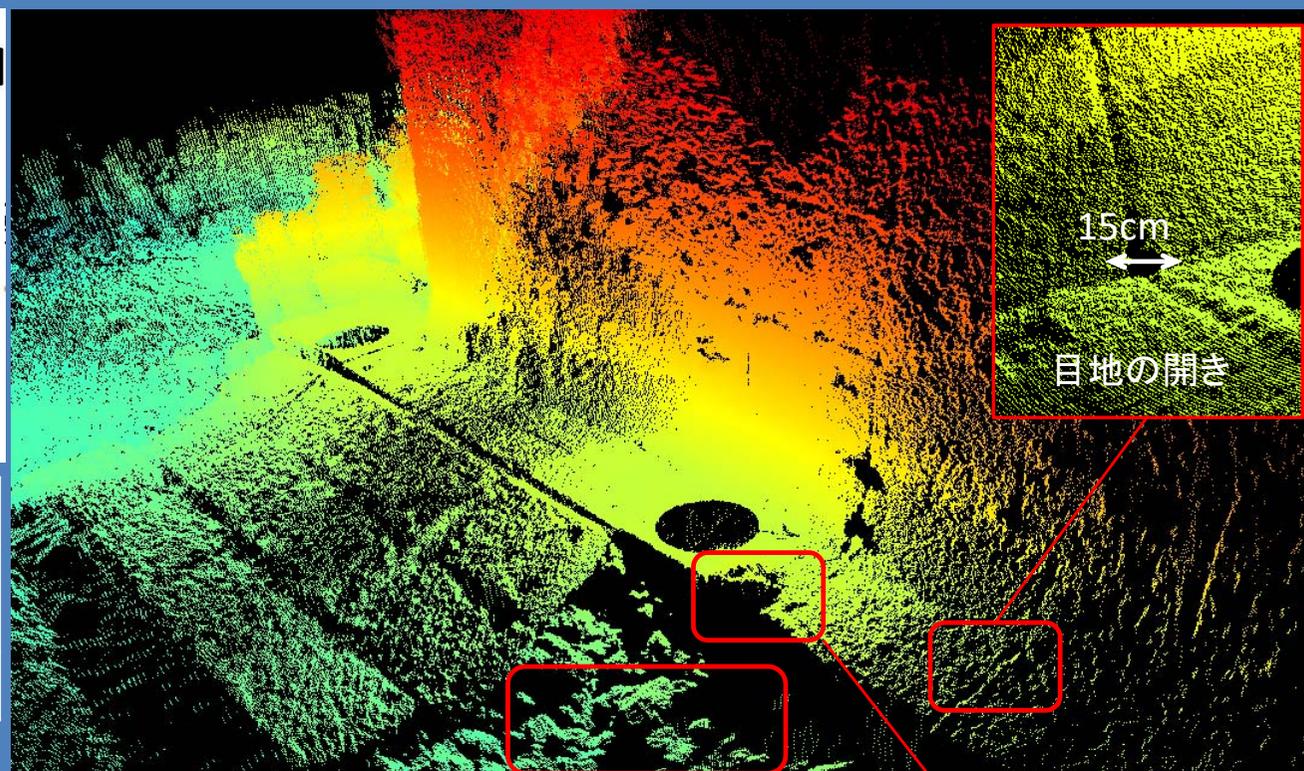
ブロック形状	2cm以下
ブロック配置位置	2cm以下



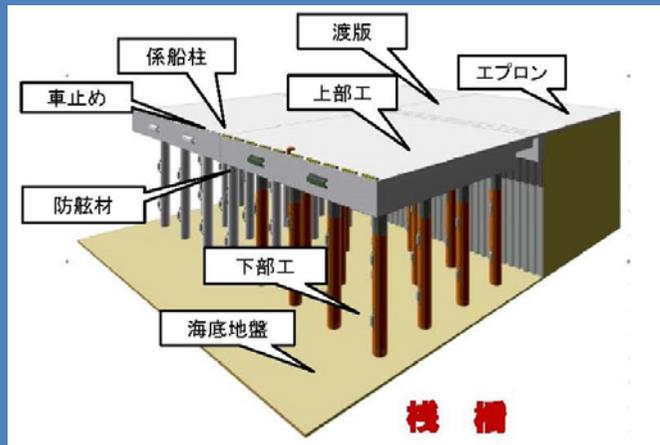
重力式護岸の点検事例（三脚垂下）



ケーソン	目地開き、吸出し
基礎工	根固工・ブロックのずれ、損傷 捨石の洗掘・埋没
海底地盤	洗掘、堆積



杭式栈橋の点検事例（三脚垂下）



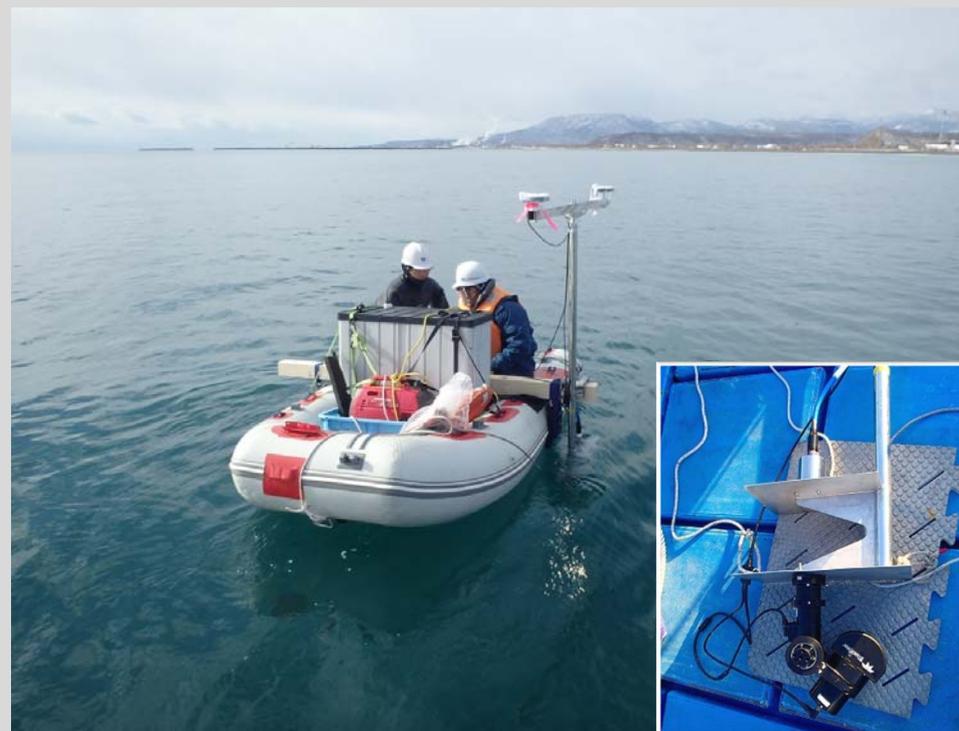
下部工	鋼管杭の孔食・損傷・ 生物の付着 電気防食工の着脱、損耗
海底地盤	洗掘、堆積

- ・防食亜鉛の著しい減耗・脱落はみられない
- ・鋼管杭上部に生物が付着
- ・栈橋奥に土砂堆積（接岸船による底質巻き上げ？）

作業船艀装による計測（モーションスキャン）

機材が小型のため、ゴムボートにも艀装可能。浅水域・高流速域にも対応。

モーションセンサーにより動揺を補正し、
移動（5~7km/h）しながらの計測が可能



広範囲を最も効率よく計測。点群密度は三脚設置より低い。

マルチビームソナーと水中3Dスキャナー

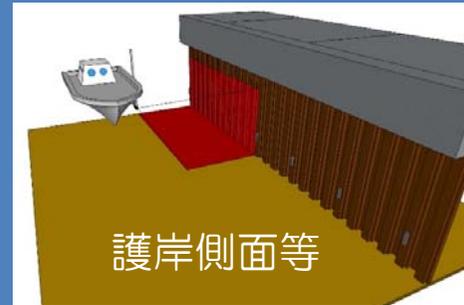
移動計測、静止+スキャナー回転等、状況に合わせて選択

R1.7 民間技術交流会

“水中3Dスキャナー（周波数高い）”

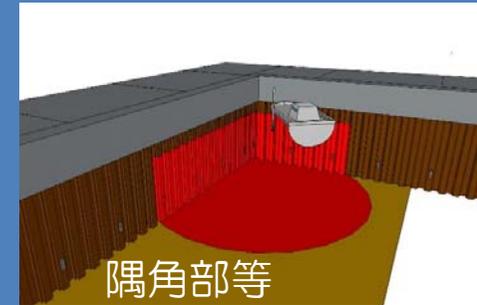
- マルチビームに比べ点群密度が高い
- 上下、左右に向けて360°音波発信が可能
- 隅角部や立体構造も高い精度で計測可能
- 5cm以下のクラックや変状は把握困難
- 距離15mまで計測可能（1000m耐圧）

Motion Scanシステム（水中3Dスキャナー）

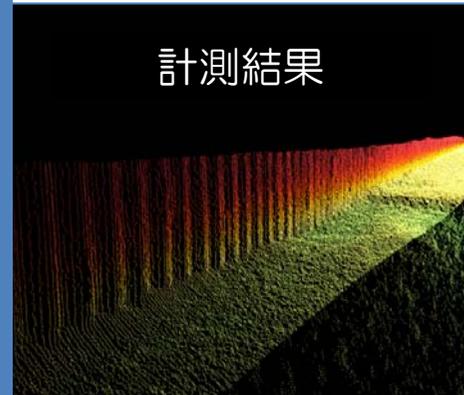


移動計測

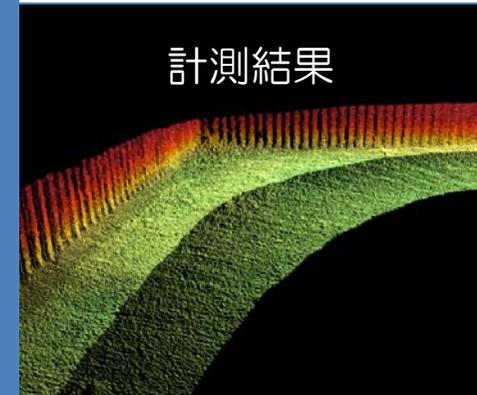
移動計測



静止+スキャナー回転



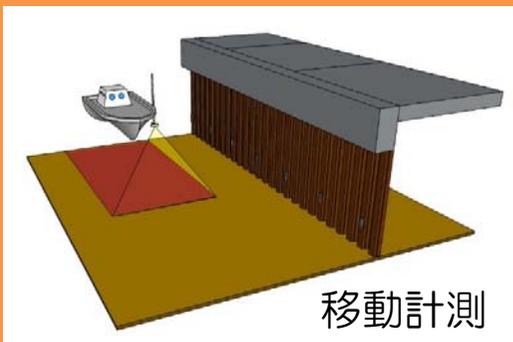
計測結果



計測結果

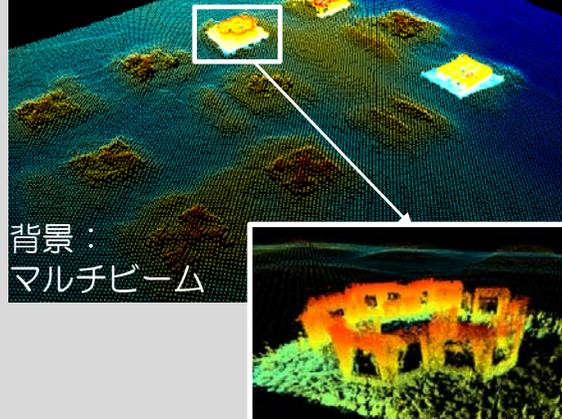
浅海域の海底や構造物の詳細形状を計測

マルチビームソナー

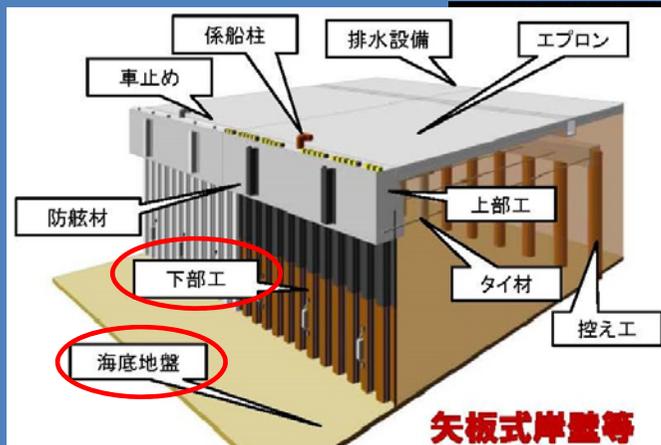


海底形状を広範囲に計測

3Dスキャナー

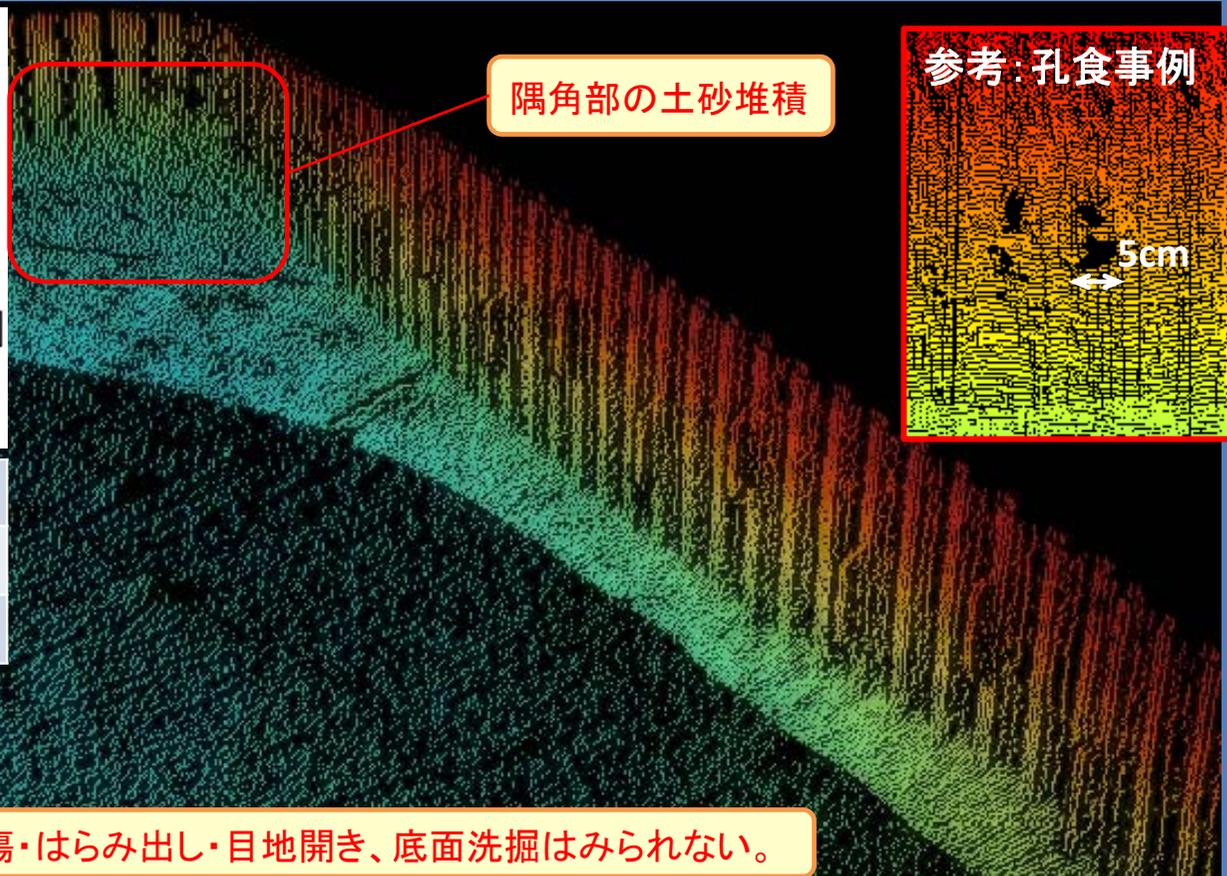


矢板式護岸の点検事例（モーションスキャン）



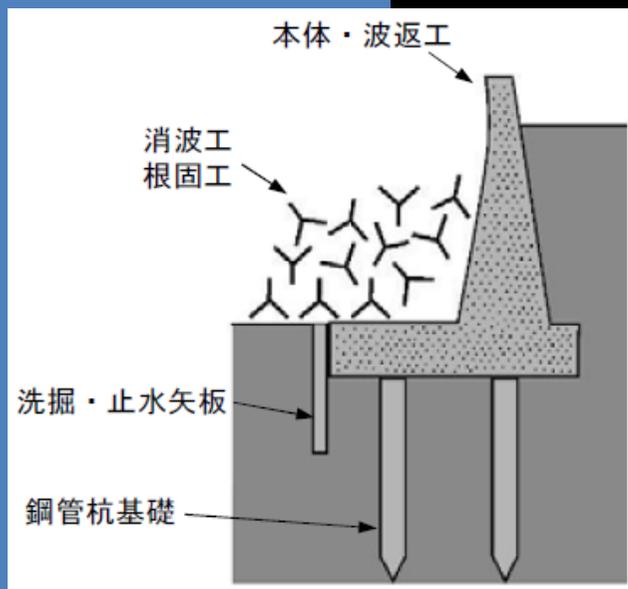
矢板式岸壁等

下部工	矢板の劣化・損傷 電気防食工の配置
海底地盤	洗掘、堆積

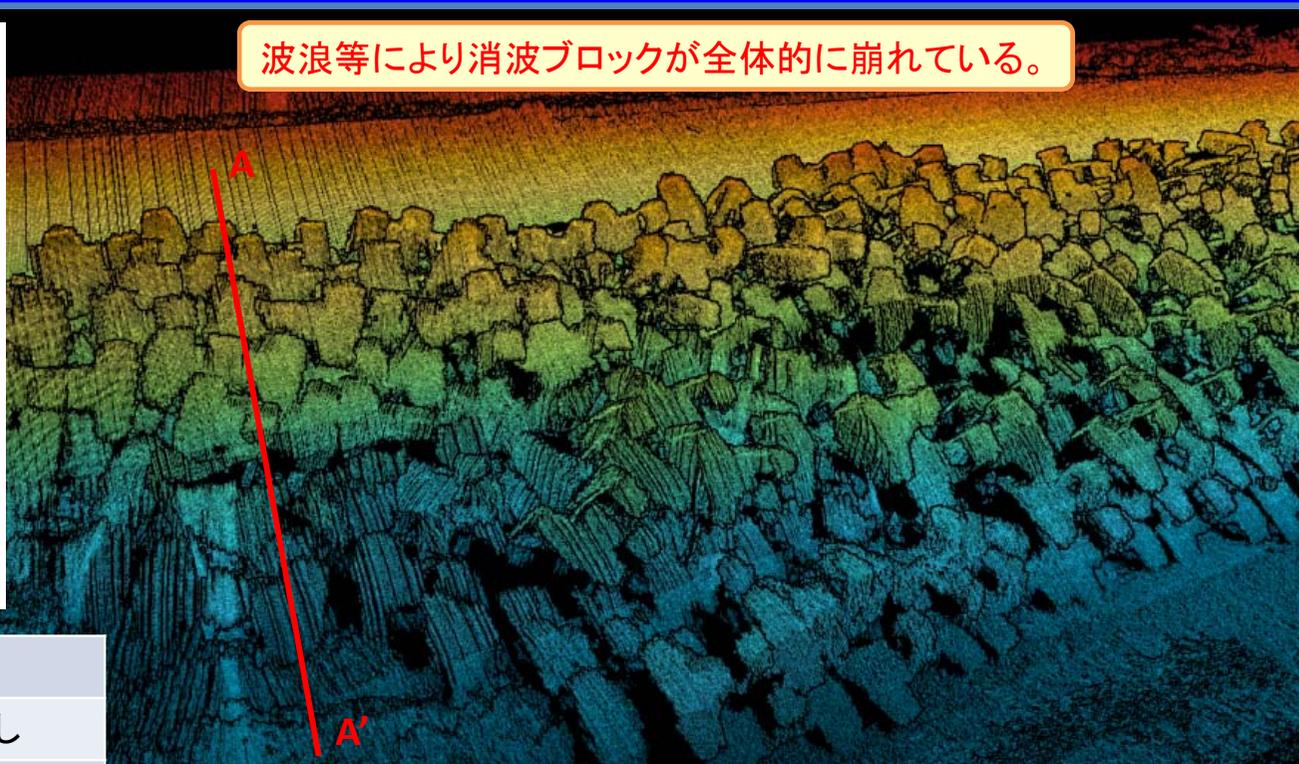


矢板の損傷・はらみ出し・目地開き、底面洗掘はみられない。

特殊堤防・護岸の点検事例（モーションスキャン）



波浪等により消波ブロックが全体的に崩れている。



護岸・被覆工	損傷、ずれ、目開き等 水中部傾斜・はらみ出し
消波・根固工	ブロックのずれ、損傷
河床	洗掘、吸出し土砂の堆積

A-A' 断面形状を設計図面と比較 ➡ 復旧工の必要性検討
➡ 維持管理計画(長寿命化等)の策定

自走式ロボットによる河川護岸での現場検証

自走式運搬機に搭載した水中3Dスキャナーと3Dレーザーによる維持管理点検技術

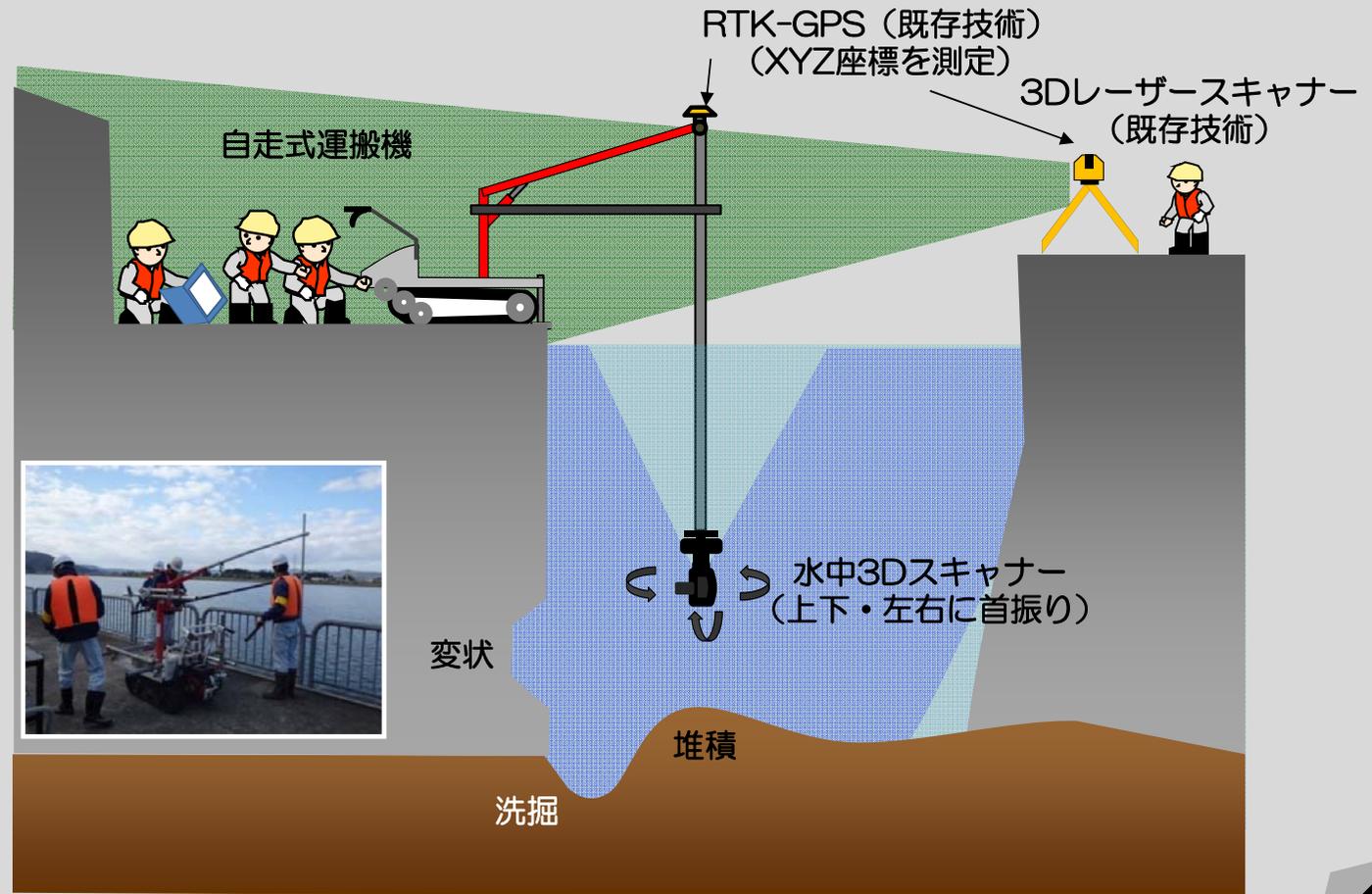
R1.7 民間技術交流会

平成27年度 国土交通省総合政策局
次世代社会インフラ用ロボット
開発・導入の推進

水中維持管理技術の現場検証・評価



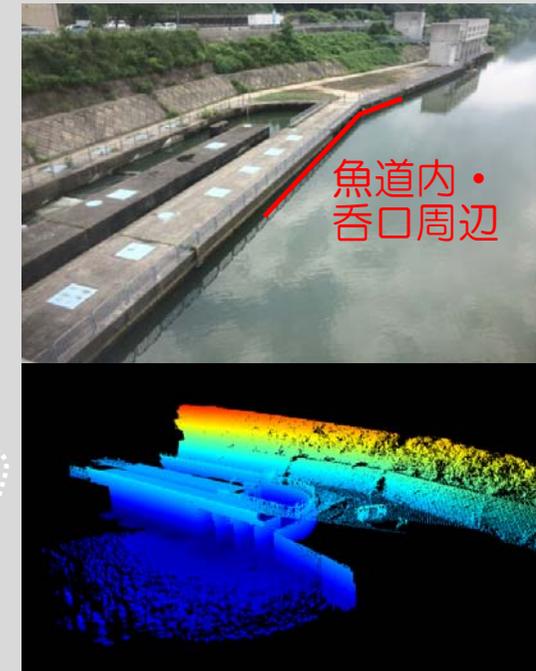
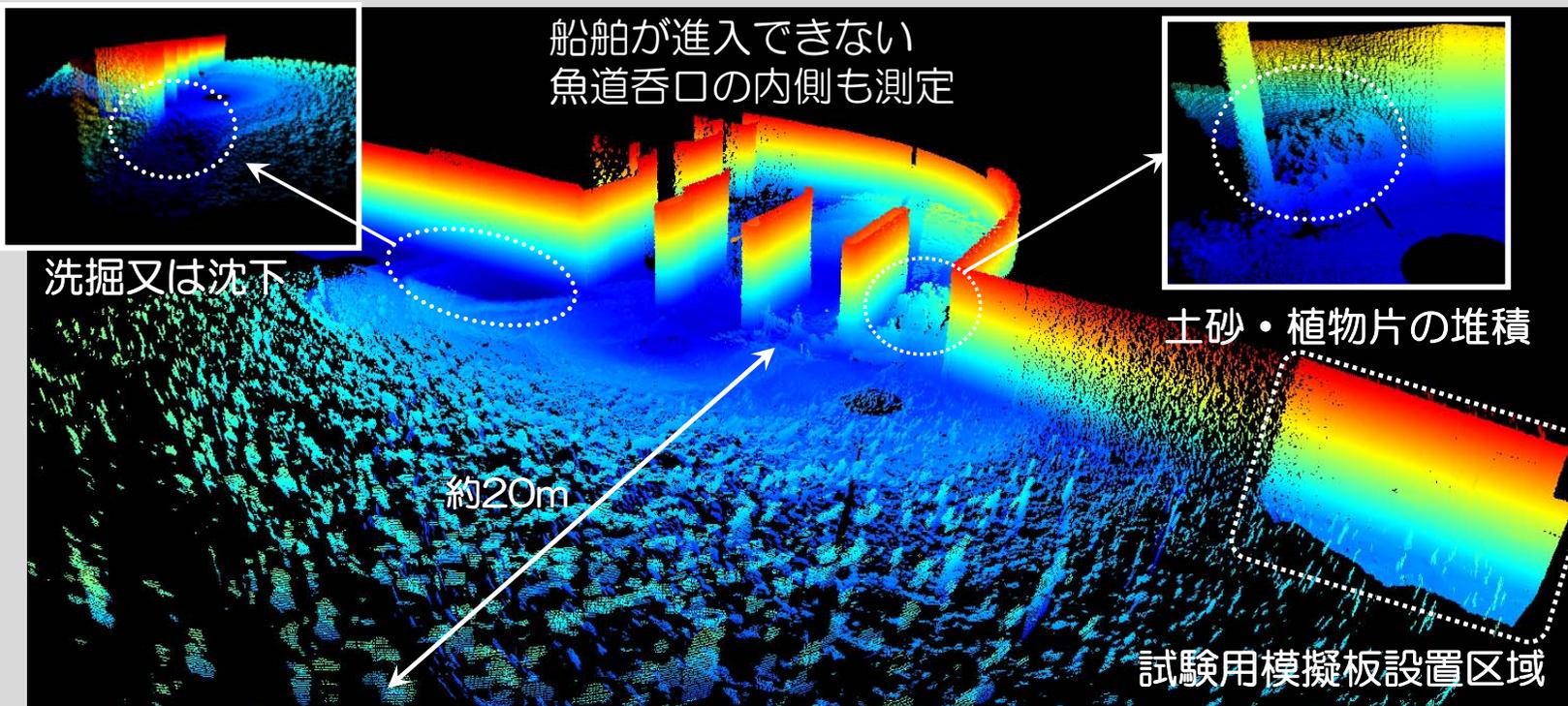
実証試験フィールド（1級河川の堰上）



自走式ロボットでの計測結果

船舶が進入できない水域では、陸上からの計測も可能

R1.7 民間技術交流会



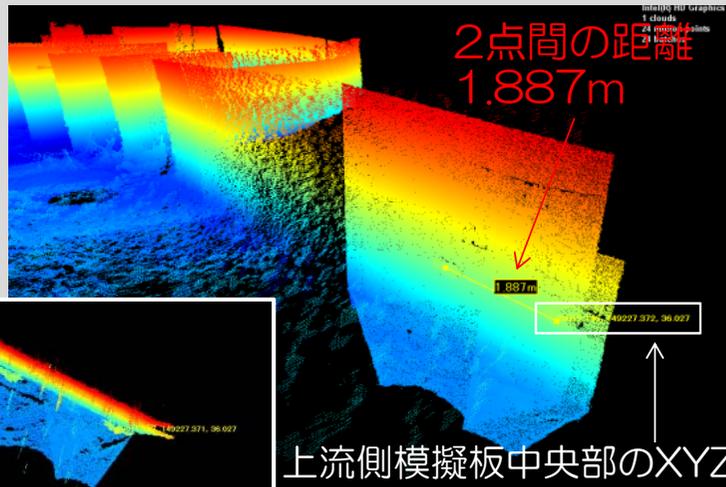
水中部と陸上部を統合
(陸上はレーザー計測)

- ❑ 魚道呑口の下流側擁壁前面は、洗掘又は沈下により窪みができていた
- ❑ 魚道呑口上流部には土砂・植物片・枝と思われる堆積物が確認された
- ❑ 魚道呑口周辺の擁壁や橋脚には、10cmを越えるような大きな変状はみられなかった

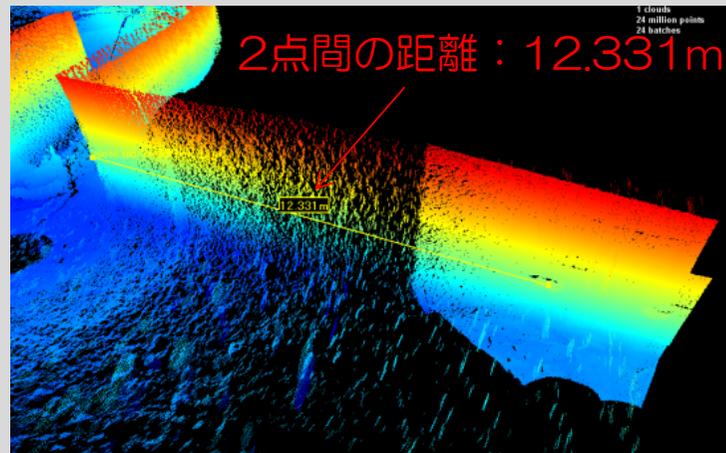
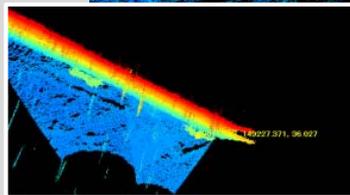
自走式ロボットによるデータの精度確認

変状に見立てた模擬板の発見、位置把握、サイズ・形状測定

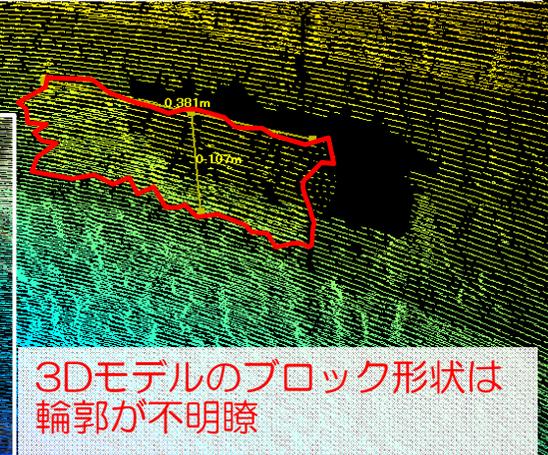
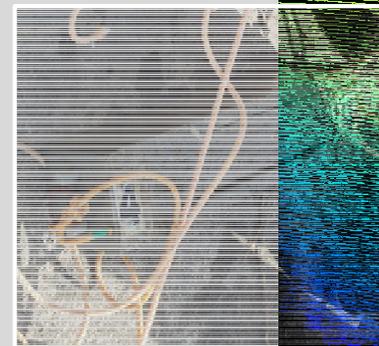
R1.7 民間技術交流会



- 測定結果は点群モデルで表示、データ上の2点をポイントすることで点間の距離を表示
- 測定精度は概査の10cm以内をクリア
- カタログスペックの分解能は15mm
試験用模擬板3種類の読み取り-実寸差は最大40mm



読み取り寸法：38.1cm×10.7cm
実寸法：38cm ×10cm



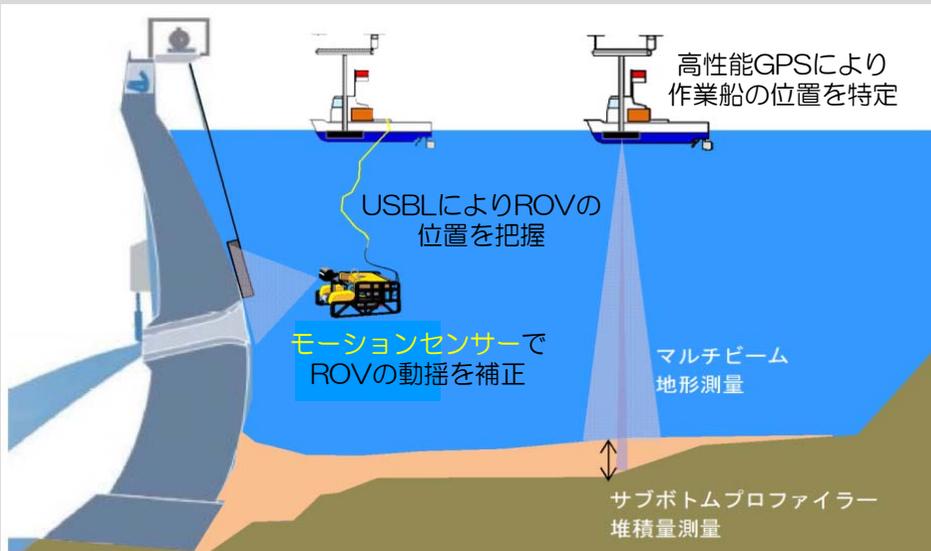
水中3Dスキャナ-搭載ROVによる維持管理点検

ダムや水深40m以深の水中インフラ等での活用

R1.7 民間技術交流会



ダム計測イメージ



技術的特徴：高い汎用性（ダム調査に特化していない）

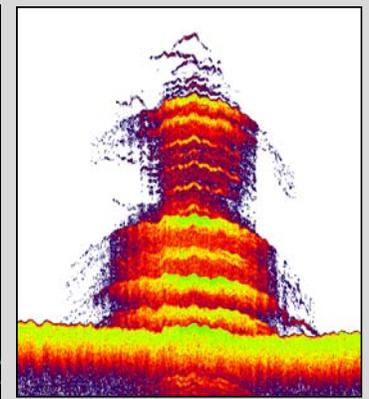
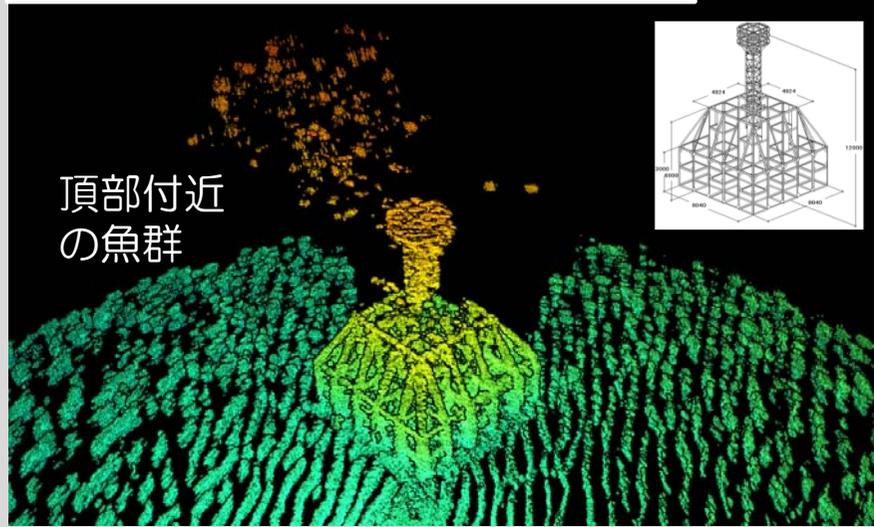
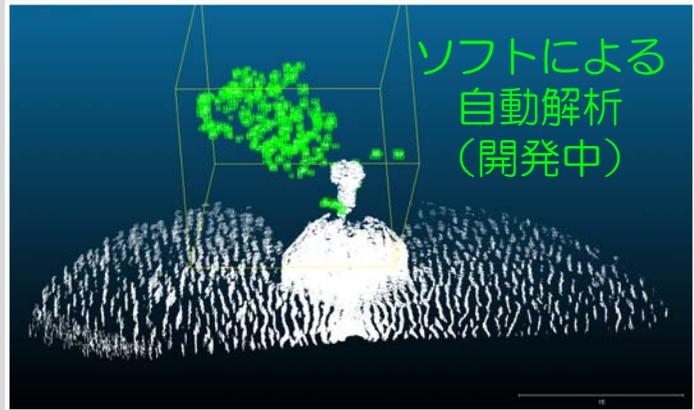
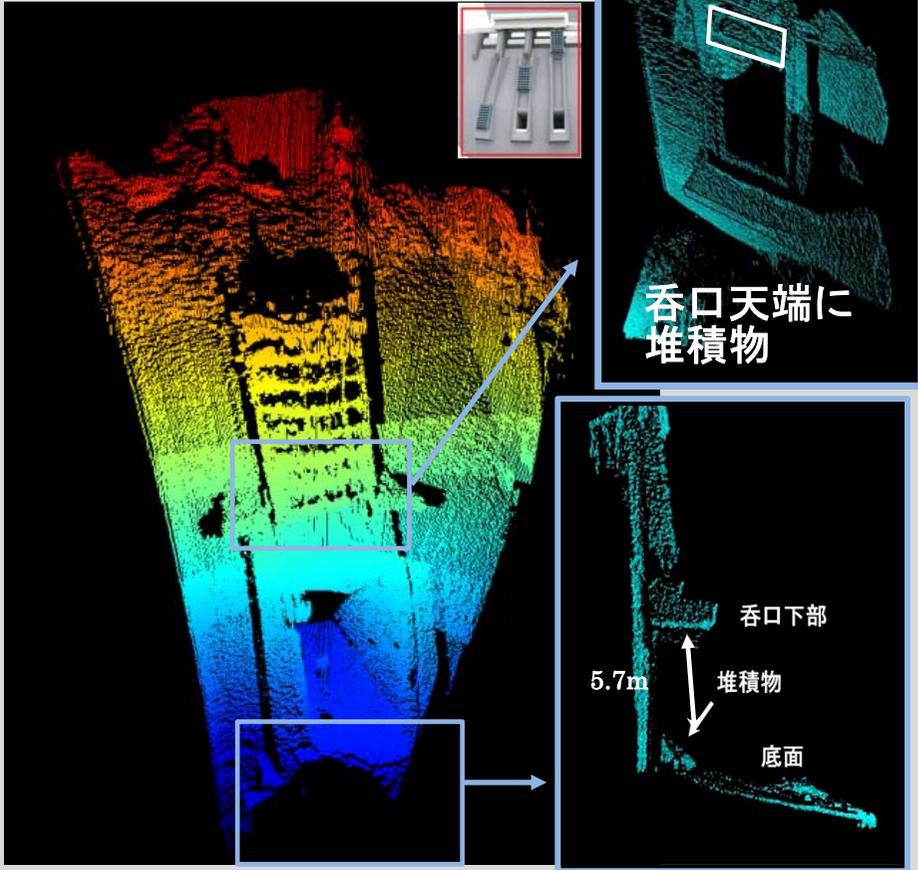
小型・省力	調査員3名+ROV+小型発電機+作業船 （重量約80kg、人力で揚収）
広範囲 長時間	潜水士では対応できない水深で 長時間の作業が可能
最大潜水水深 /最高速度	300m / 3ノット（約5km/h）
画像撮影	ハイビジョンビデオカメラ 操作用ビデオカメラ （外付：一眼レフカメラ、4Kビデオカメラ）
3D測量	水中3Dスキャナ+モーションセンサー （浮遊状態での測定）
その他	全周囲ソナーによる監視、 音響機器（USBL）によるROV位置把握、 マニピュレーター、

ダム取水口、魚礁の計測結果

モーションセンサー搭載により、浮遊状態でも精度の高い点群データを取得

R1.7 民間技術交流会

取水口ゲート



水中3Dスキャナーの評価（一部抜粋）

出展：次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進 水中維持管理技術の評価結果

国交省 次世代インフラロボ実証試験で**最高評価を取得し、試行的に導入された。**

<http://www.mlit.go.jp/common/001125345.pdf>

評価項目	国交省 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会	評価
濁水対応	濁度に拘わらず面的な状態把握が可能。	◎
コスト比較 (比 潜水目視)	潜水目視と比較した場合、約6割に低減(河川 自走式ロボ)。 水深40m(潜水限界)以深で費用対効果の面で有利(ダム ROV)	◎
位置把握精度	位置特定誤差は概ね10cm程度、矢板部の寸法誤差率3% (極めて高精度)	◎
対応流速	自走式ロボでは0.7m/sec、モーションスキャンでは約2m/secで測定	○
最大水深	水深200mでの使用実績有(鹿児島県錦江湾 ROV)	○
機器の搬入・撤去	機材がコンパクトで、荷下ろしは人力だけで可	◎
汎用性	他の多くの現場において効果を発揮できる。	◎
確認項目	国交省 京浜港ドックで確認された事項(上記以外)	
安全性	万全の安全対策が前提となる潜水作業を必要としない	—
再現性	様々な3次元データと統合可能。継続モニタリングデータとして活用可	—

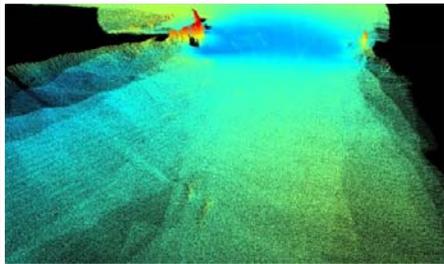
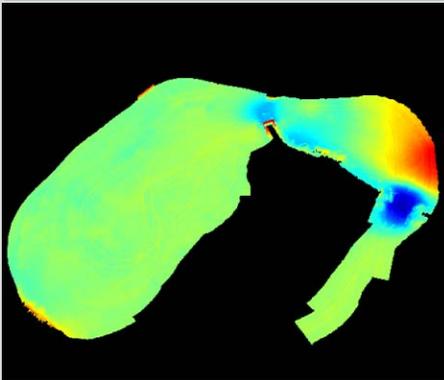
◎：優
○：良
△：普
×：不

京浜港ドックでは
評価は実施されて
いない

マルチビーム + 水中3Dスキャナー + 陸上3Dレーザー

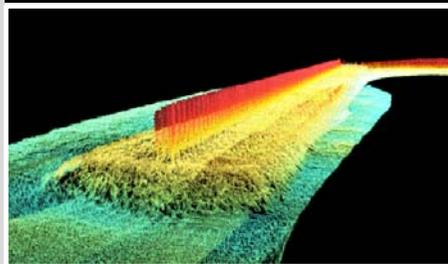
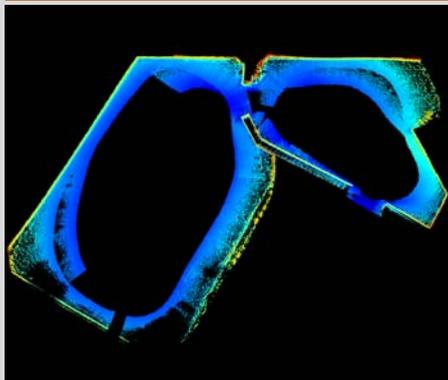
港湾のシームレスな3Dモデルイメージ

マルチビーム



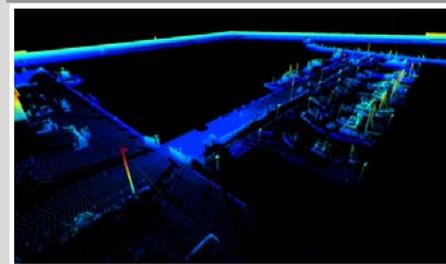
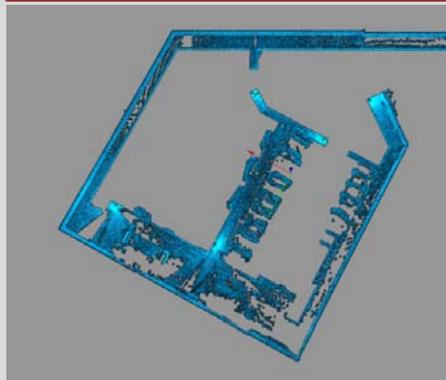
- 海底地形を概査

水中3Dスキャナー



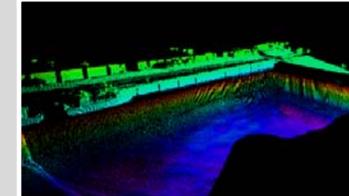
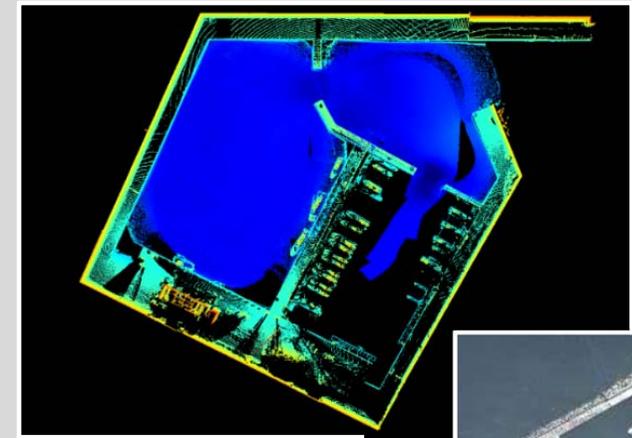
- 港湾構造物の形状、状況把握（水中部）

陸上3Dレーザー



- 港湾構造物の形状、状況把握（陸上部）

シームレスな3Dモデル



- 港湾全体を1つの3Dモデルで把握
- i-Constructionで広く活用可能

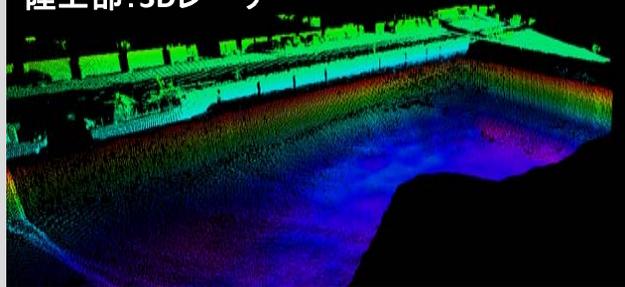
水中 + 陸上 + 地質構造 の統合イメージ

サブボトムプロファイラーによる地質構造と3Dモデルの統合（空間情報の可視化）

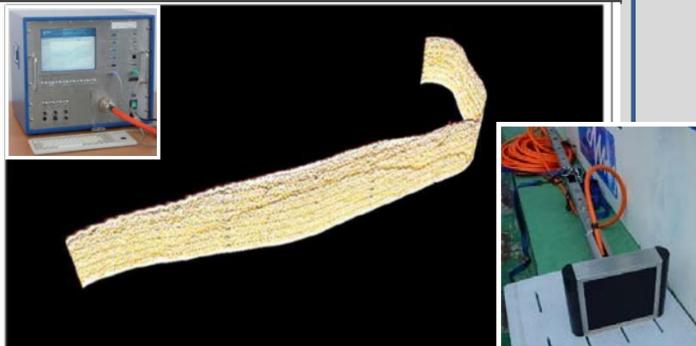
R1.7 民間技術交流会

シームレスな3Dモデル

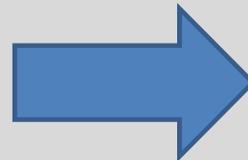
水中部: マルチビーム+水中3Dスキャナー
陸上部: 3Dレーザー



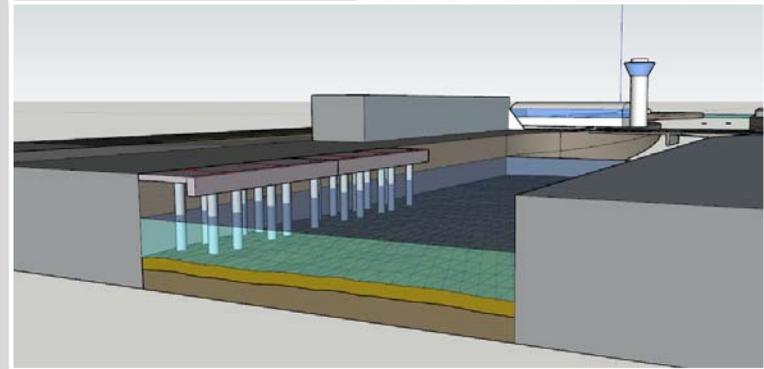
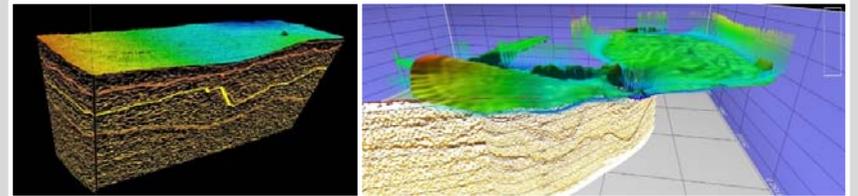
地質構造 (サブボトムプロファイラー)



統合



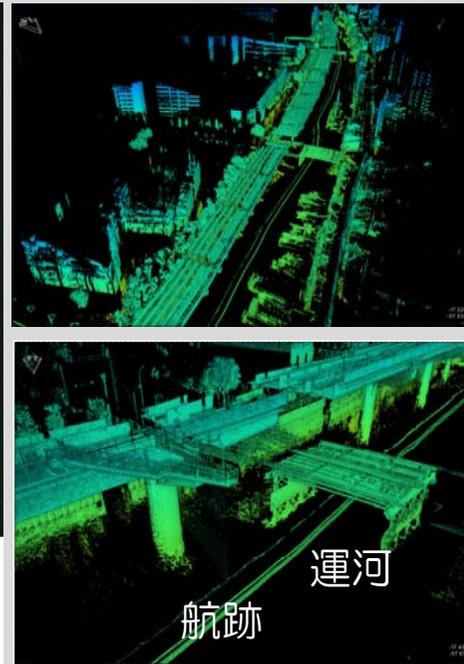
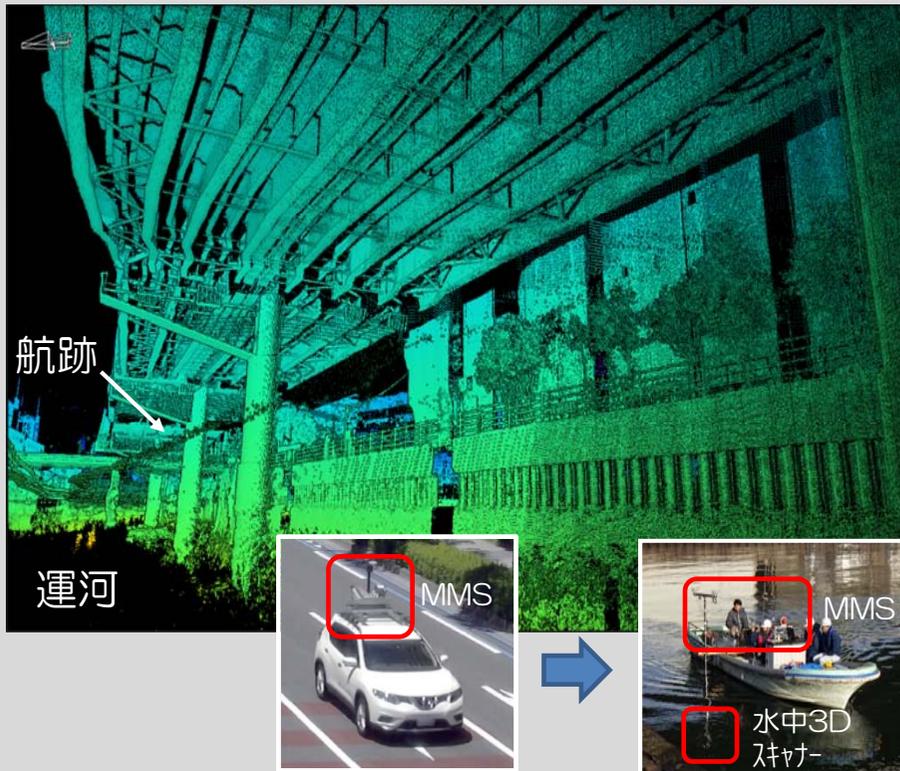
底面下の地質構造と水中・陸上を 統合した3Dモデル



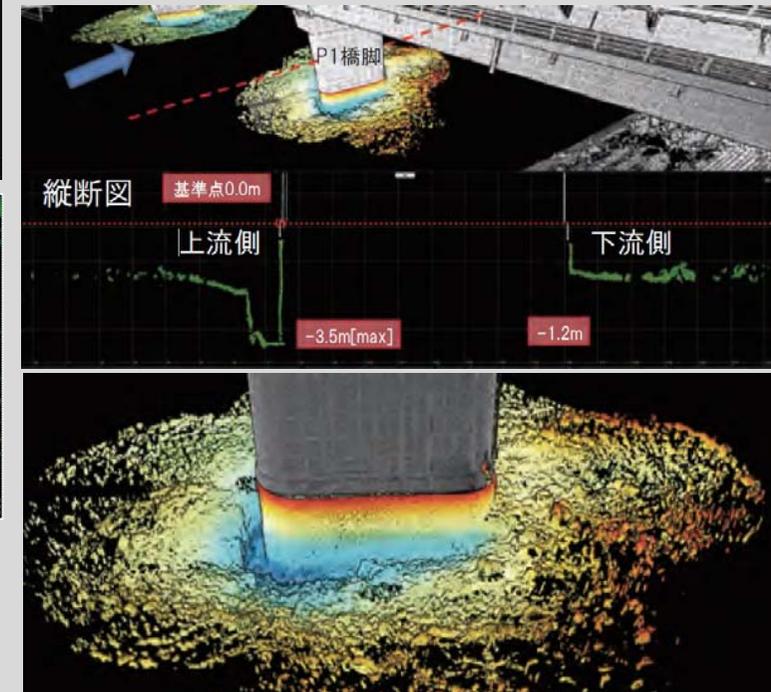
- インフラ、海底地形と地質構造の関係性を把握
- 港湾施設等の陸上・水中・地質の一元管理
⇒ダム堆砂や港湾浚渫・維持管理への活用

臨海施設の計測・点検事例

陸上からは計測できない港湾・海岸直近の道路・橋脚の計測・点検



橋脚の点検事例



MMS (Mobile Mapping System) 船舶機装による
首都高下部 (運河直上) 計測事例

ご清聴ありがとうございました。

