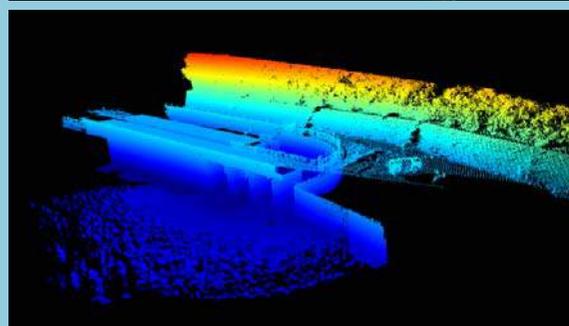
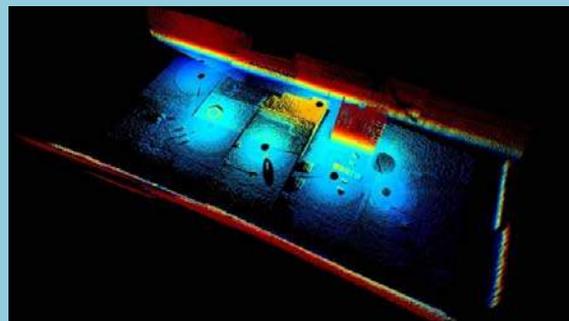


# 音響・レーザー・ロボットを活用した 3D可視化技術



海域港湾空港技術報告会  
in 福岡

九州地方整備局

(2021年2月26日)

九州支店  
環境調査化学部  
チームリーダー

西 翔太郎  
nis21652@ideacon.co.jp  
Tel: 092-641-7894

■ 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。

# いであの（水中）可視化技術とは？

- 水中3Dスキャナーをはじめとする音響機器を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
- 国土交通省や水産庁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)」
- 第3回「インフラメンテナンス大賞」  
国土交通省 優秀賞 受賞（2019年9月）  
「水中3Dスキャナーを活用した水中可視化技術」
- 日本水環境学会 2019年度 技術奨励賞 受賞
- 橋梁定期点検 橋脚基礎の洗堀確認の点検支援技術に登録  
計測・モニタリング技術（橋梁）BR030024-V0020  
➡ 本年度は**港湾の定期点検支援技術**に応募中

マルチビームソナー



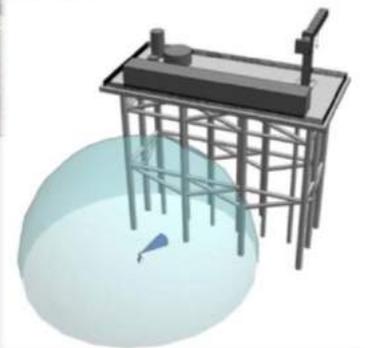
水中3Dスキャナー  
(+ ROV)



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』

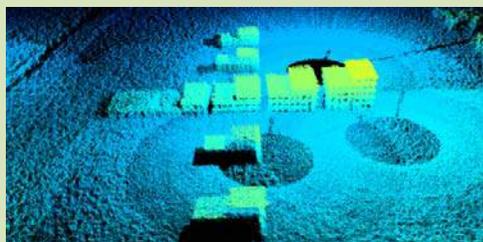
外形寸法	267(mm)×234(mm)×391(mm)
使用周波数帯	1350kHz
最大測定距離	30m（最適距離1～10m）
測定時間 （1回あたり）	一般的に5分～20分、 最長48分（360°全周測定、解像度最大時）

# 水中3Dスキャナーによる水中可視化技術

(フィールド、目的に応じた計測方法の使い分けが重要)

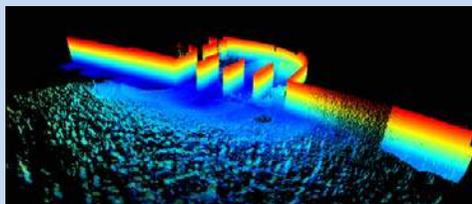
3DSCを様々な移動体に搭載 ⇒ 広域・大水深計測可能に！

## 水中3Dスキャナー-単独測定 (従来法)



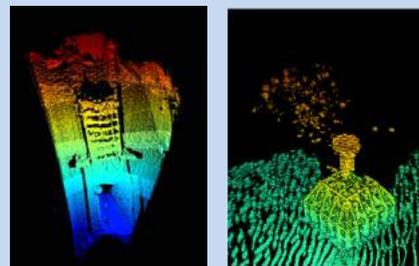
- ❑ 作業船の航行が困難な場所
- ❑ シンプルな構成で取り扱いが容易
- ❑ 業務実績多数

## 水中3Dスキャナー + 自走式運搬機



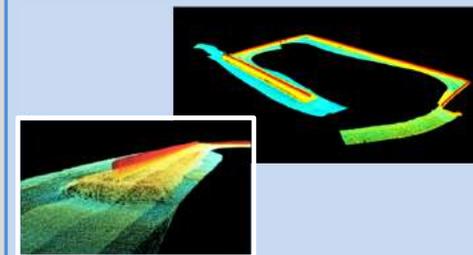
- ❑ 作業船の航行が困難な場所
- ❑ 次世代ロボ導入委員会水中維持管理部会より最高評価
- ❑ H28に水中ロボ試行的導入

## 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

## 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定物を配置

## 京浜港ドック施設諸元

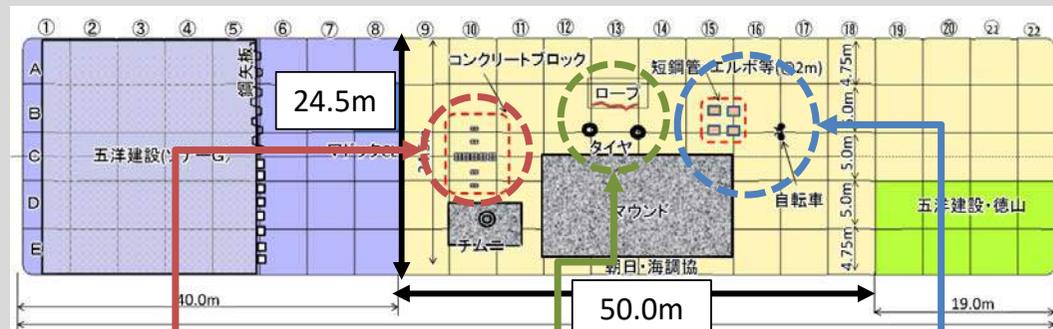
長さ(m)	幅(m)	深さ(m)
109.0	24.5	8.5

試験時の水位は6.2m



模擬チムニー

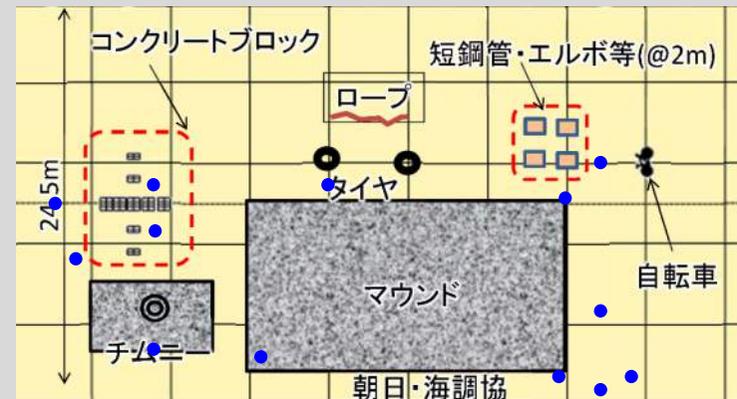
マウンド



湛水前にレーザーで3D計測を実施

# 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

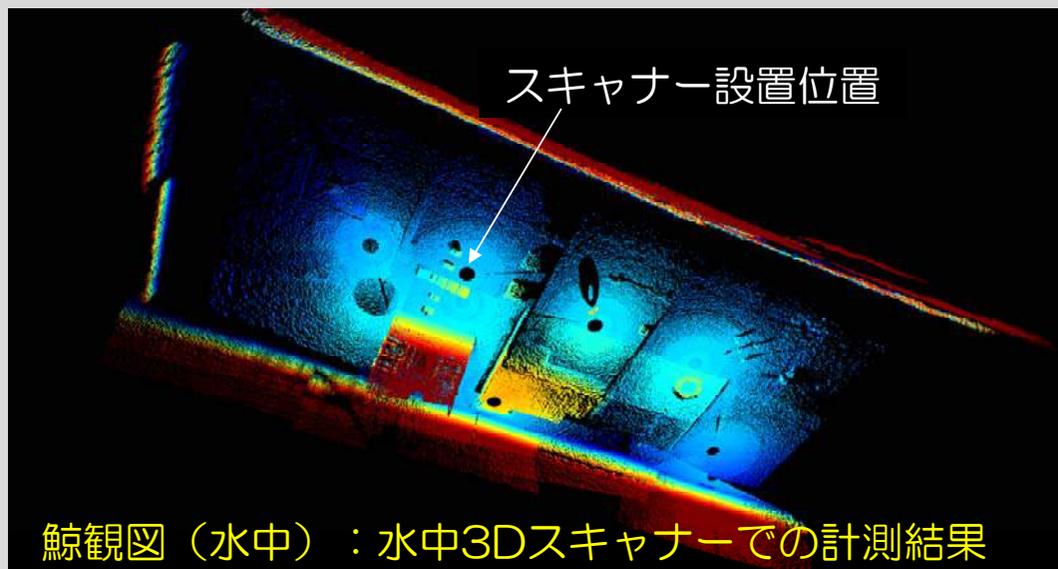
13カ所回  
(1カ所複数回計測も有)

所要時間

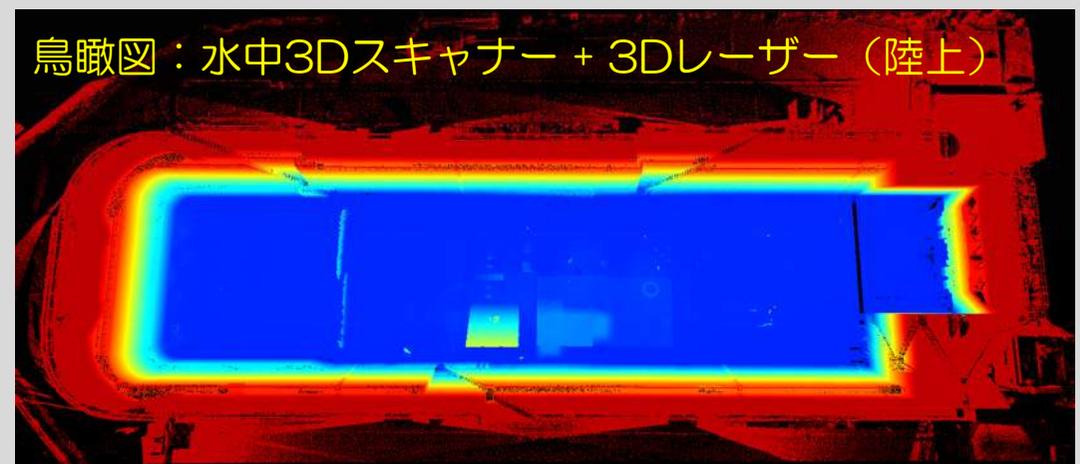
6.5時間(約10~20分/地点)

作業人員

3名



鯨観図（水中）：水中3Dスキャナーでの計測結果



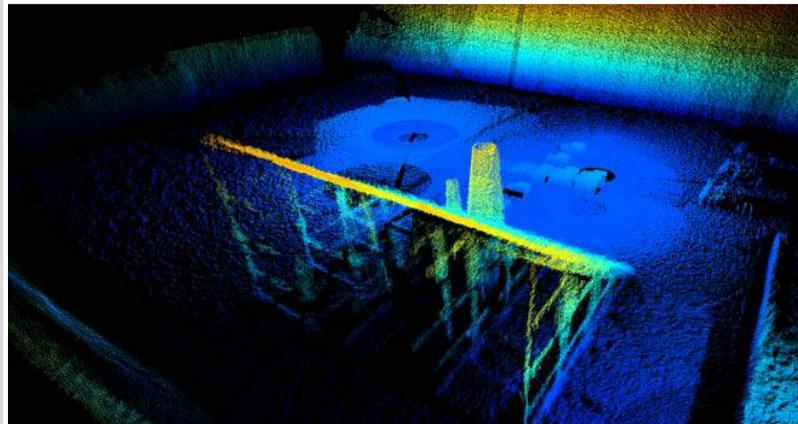
3D点群モデル平面図  
(水中部 + 陸上部のシームレスな3次元データ)

# 評定物の計測結果（チムニー、タイヤ、ロープ）

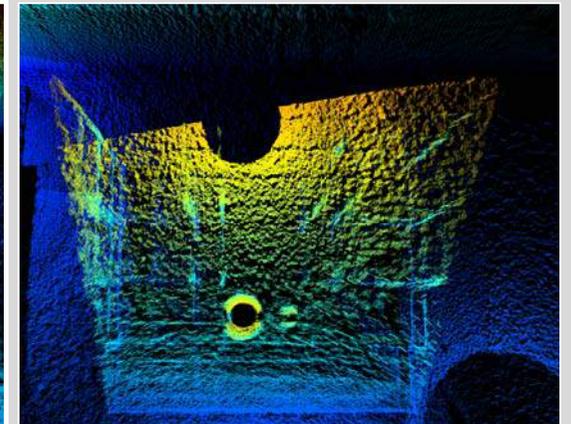
複雑な形状も3Dモデルで再現（物体の識別）



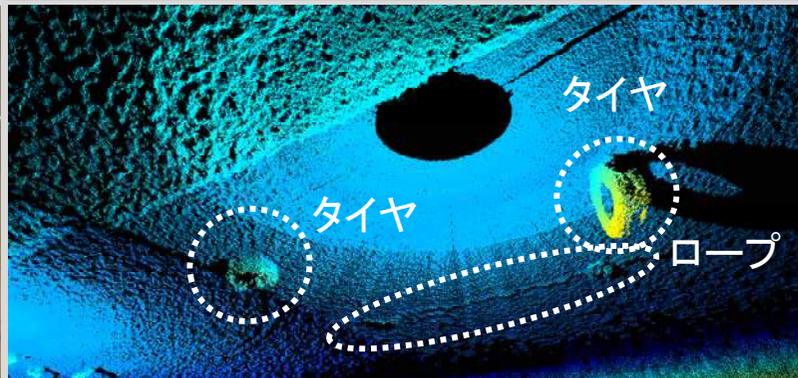
正面



背面の複雑な構造も計測



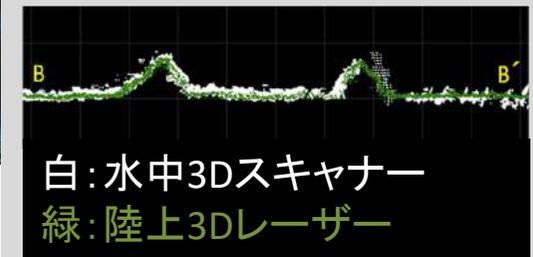
直径も計測可能



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

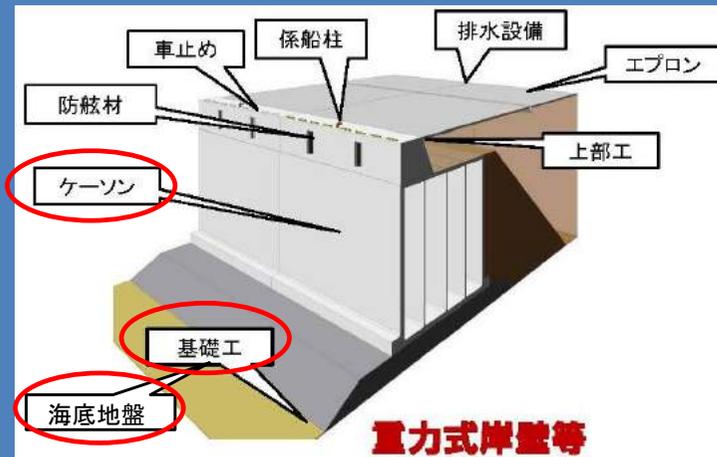


ドーナツ状マウンド

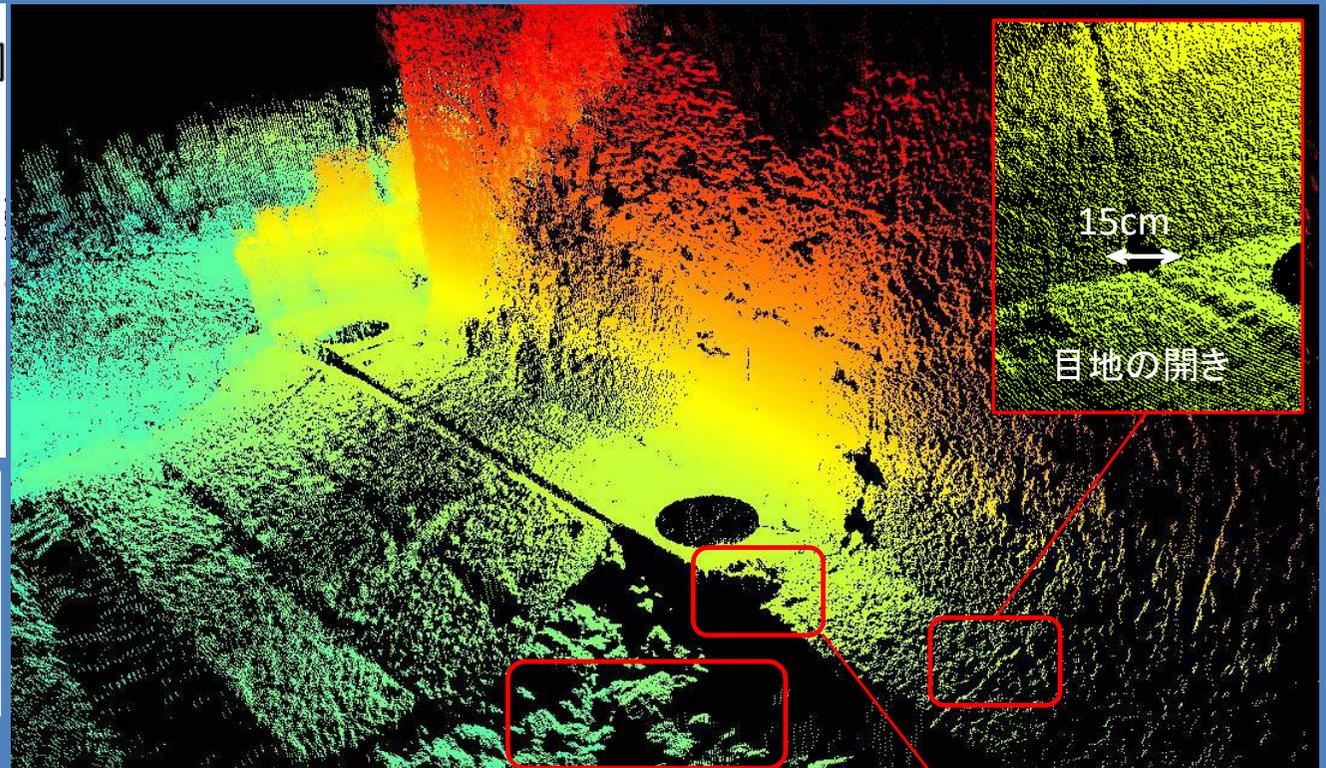


白：水中3Dスキャナー  
緑：陸上3Dレーザー

# 重力式護岸の点検事例（三脚垂下）



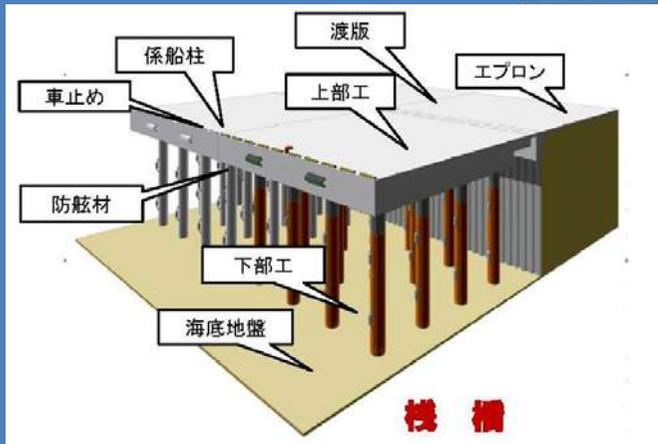
ケーソン	目地開き、吸出し
基礎工	根固工・ブロックのずれ、損傷 捨石の洗掘・埋没
海底地盤	洗掘、堆積



捨石の洗掘

ブロックの損傷

# 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

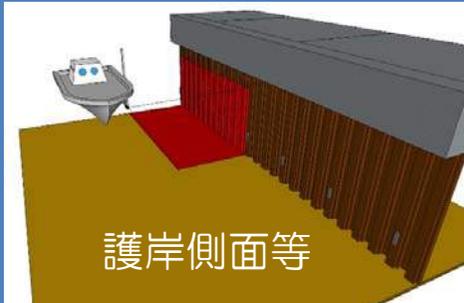


- 広範囲を最も効率よく計測 → 港湾での計測に最も適している
- 点群密度・精度は三脚設置より低い

# 水中3Dスキャナーとマルチビームソナーの比較

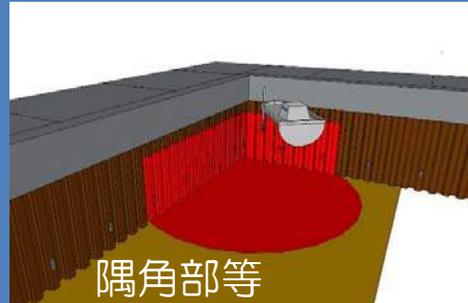
水中3Dスキャナーとマルチビームソナーは補完関係。使い分けが重要

## Motion Scanシステム（水中3Dスキャナー）



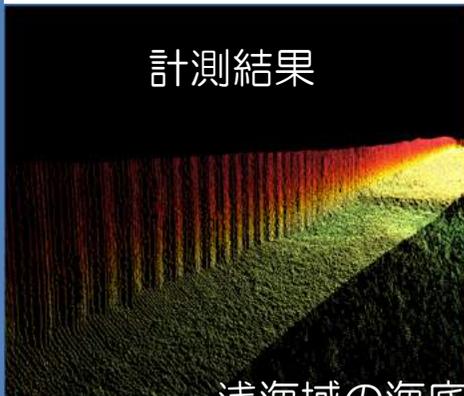
護岸側面等

移動計測

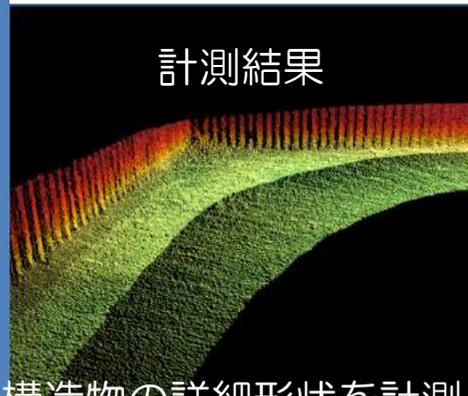


隅角部等

静止+スキャナー回転



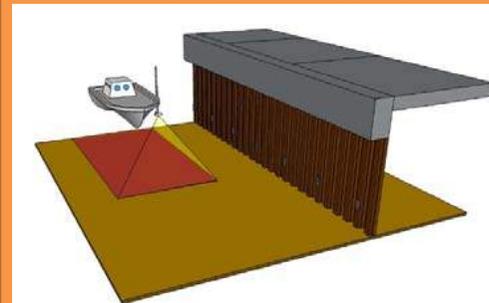
計測結果



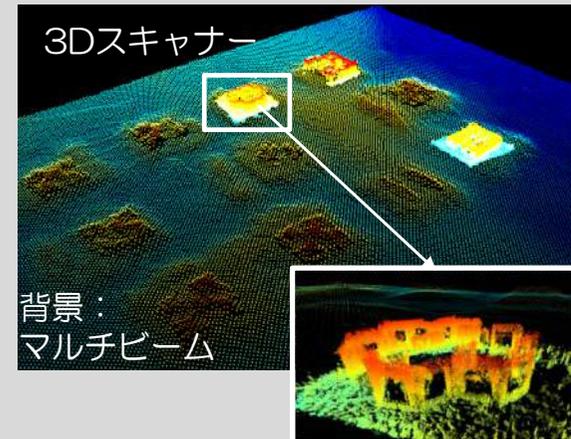
計測結果

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

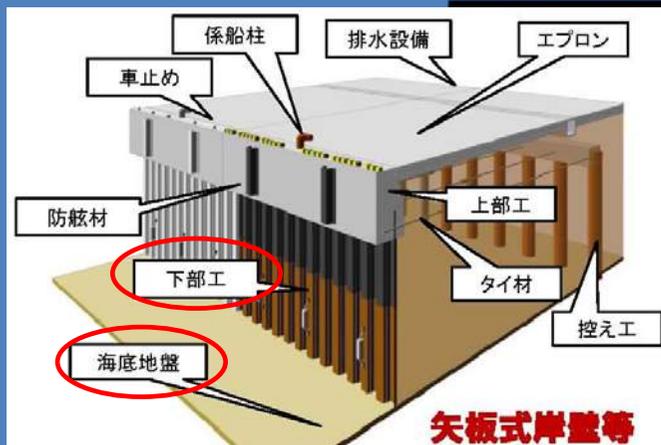


3Dスキャナー

背景：  
マルチビーム

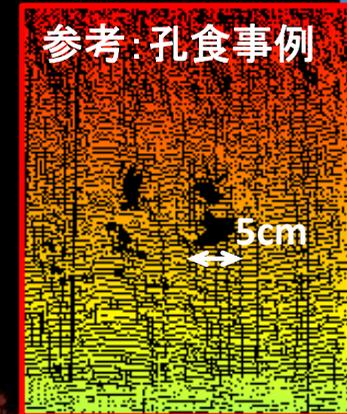
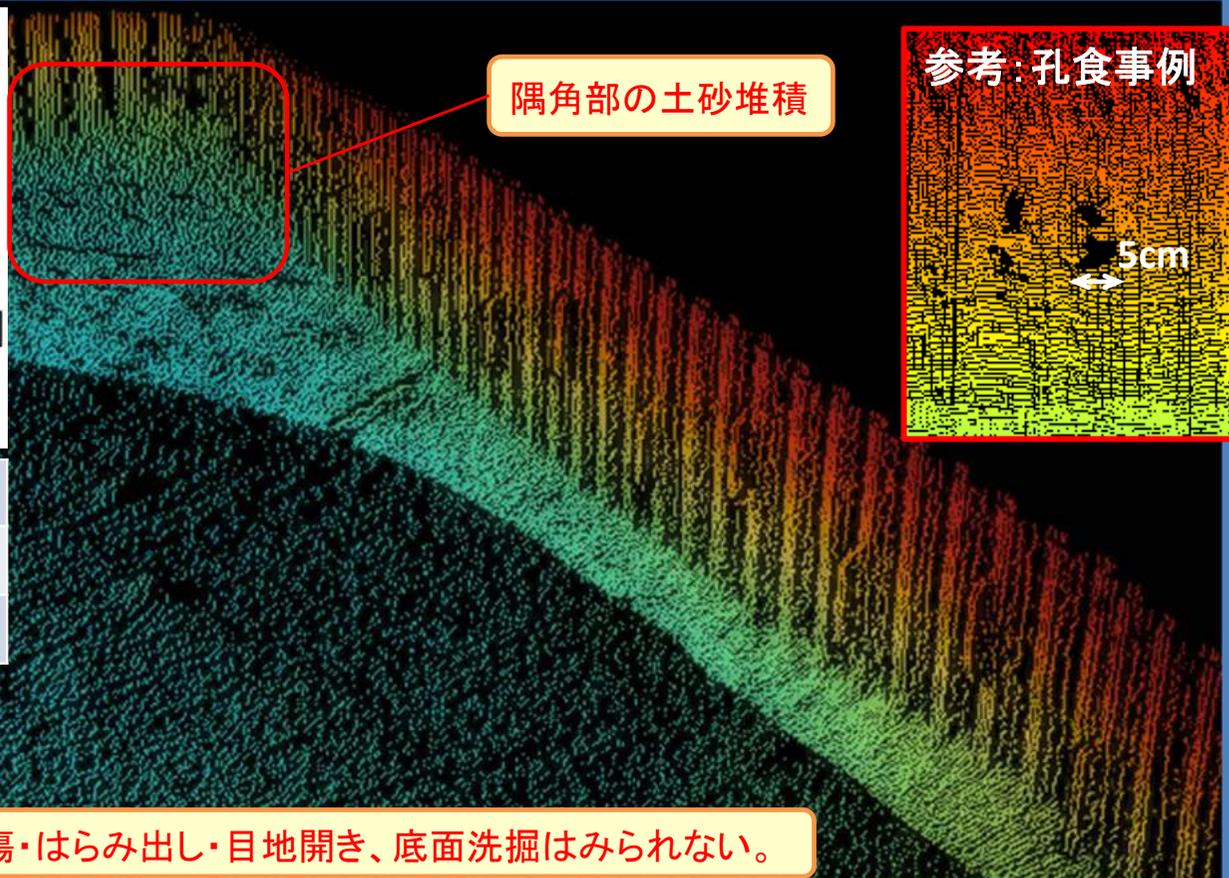
項目	3SCD	MB
周波数	高 (1350kHz)	低 (200~700kHz)
計測距離	15m以下	400m以下
点群密度	高	低
複雑な構造物	可	不可
水面付近の計測	可	不可
計測可能なサイズ	約10cm	20~50cm

# 矢板式護岸の点検事例（モーションスキャン）

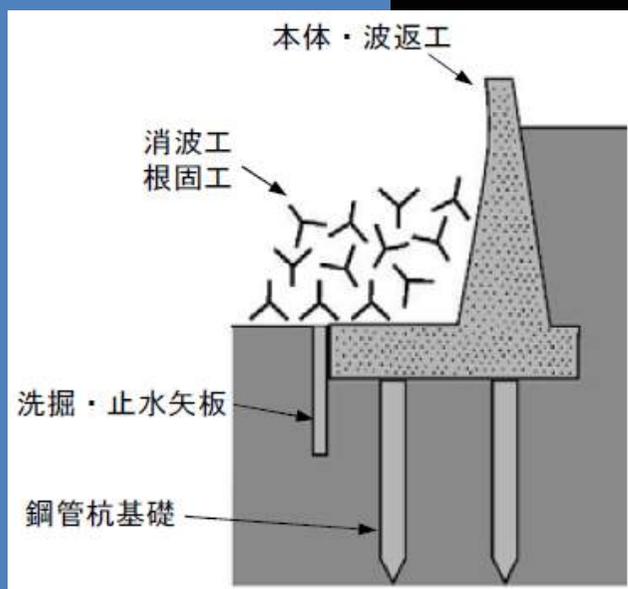


下部工	矢板の劣化・損傷 電気防食工の配置
海底地盤	洗掘、堆積

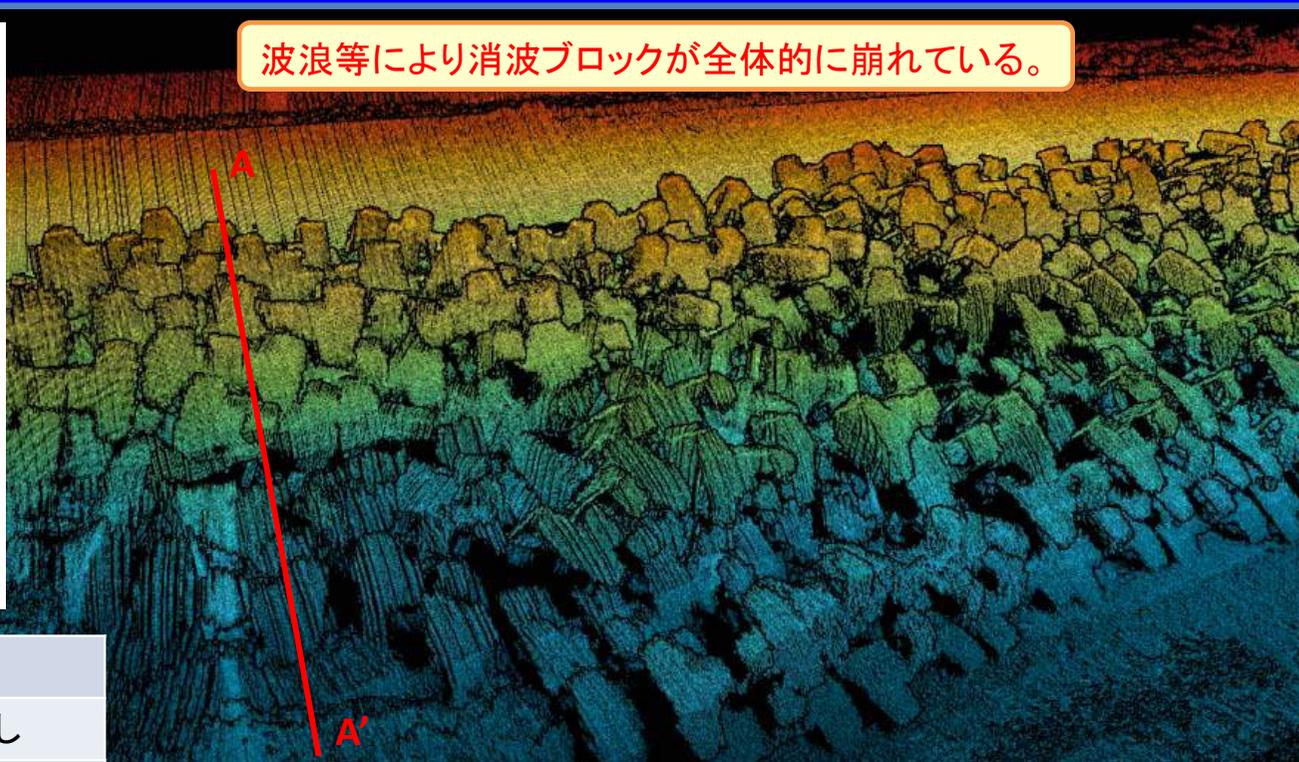
矢板の損傷・はらみ出し・目地開き、底面洗掘はみられない。



# 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。

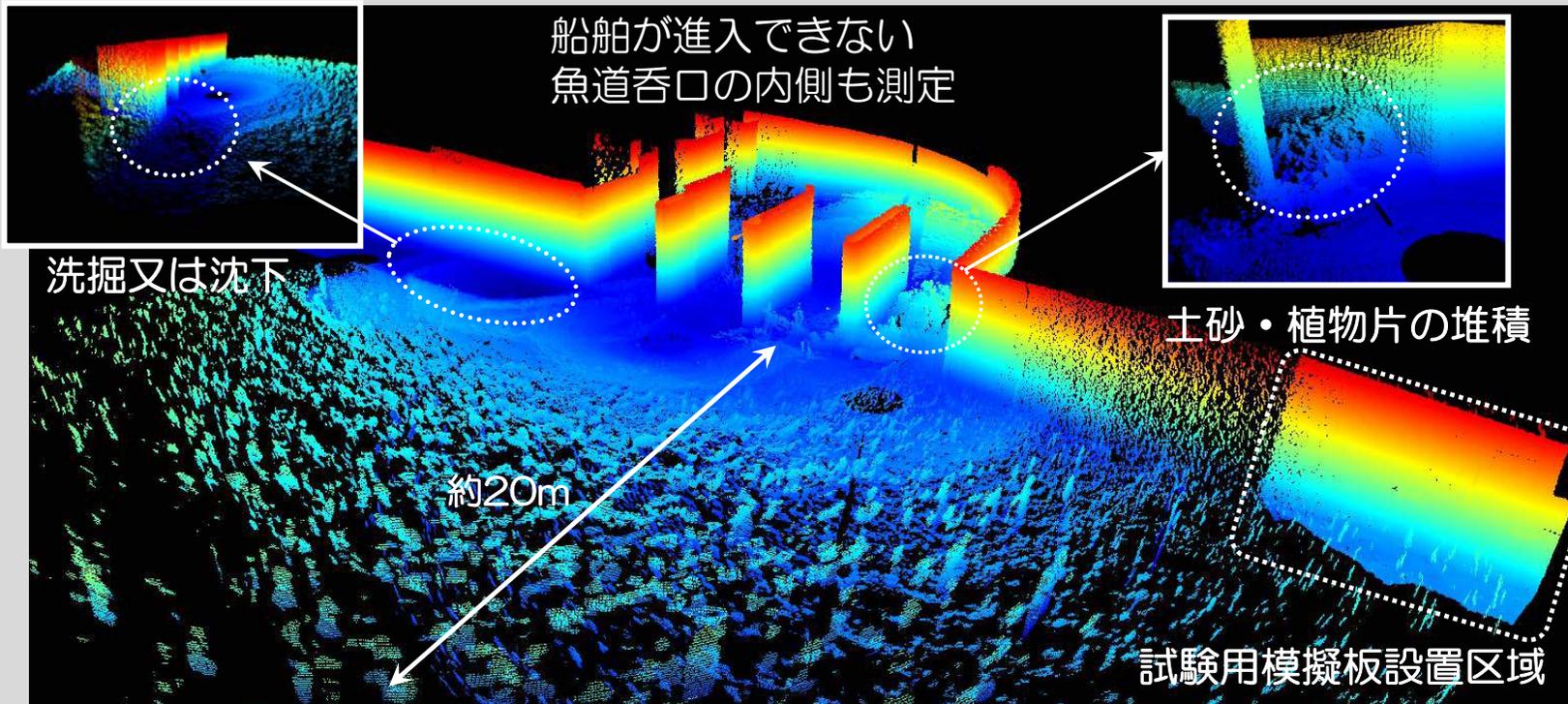


護岸・被覆工	損傷、ずれ、目開き等 水中部傾斜・はらみ出し
消波・根固工	ブロックのずれ、損傷
河床	洗掘、吸出し土砂の堆積

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

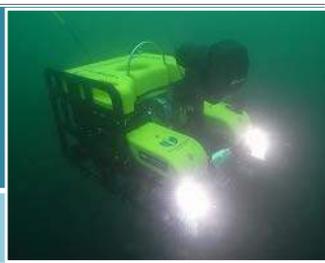
# 自走式ロボットでの計測事例

陸上からの計測（作業船不要・安全性の向上）



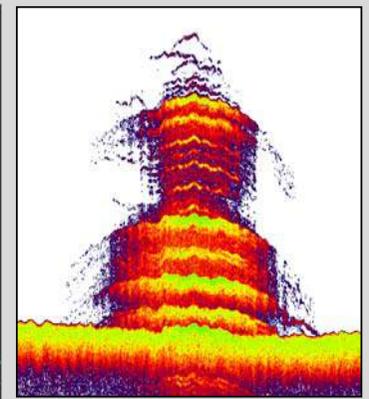
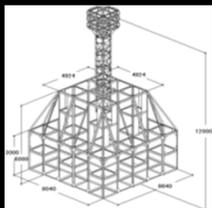
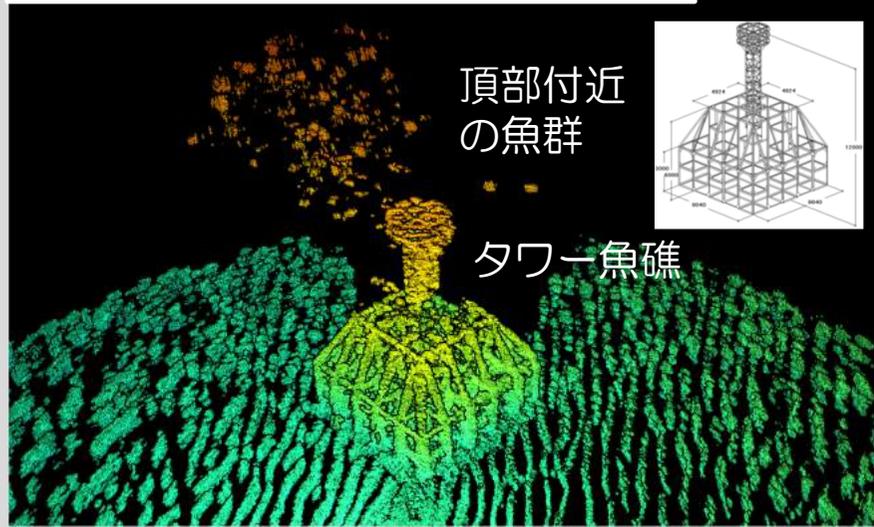
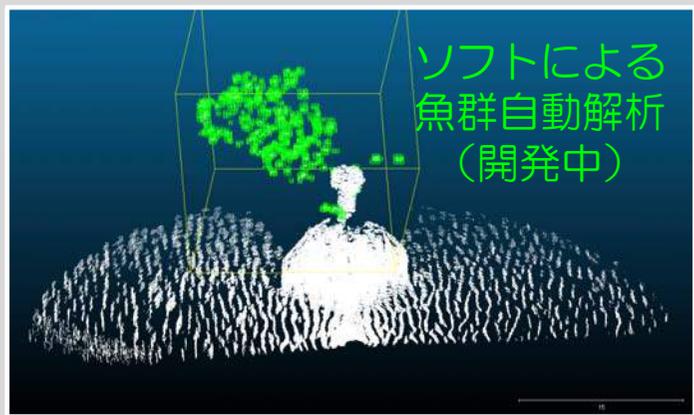
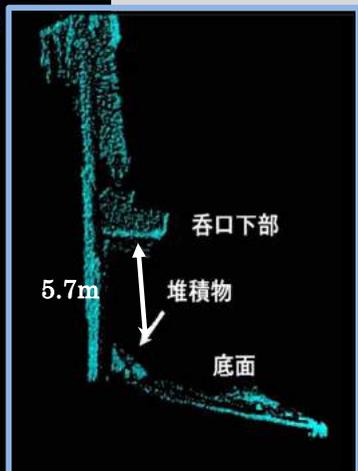
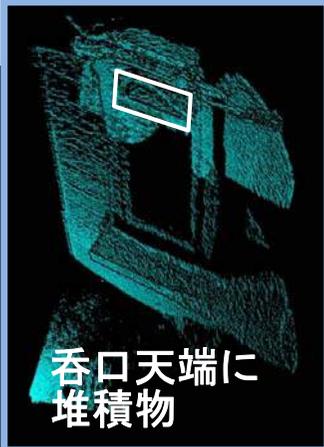
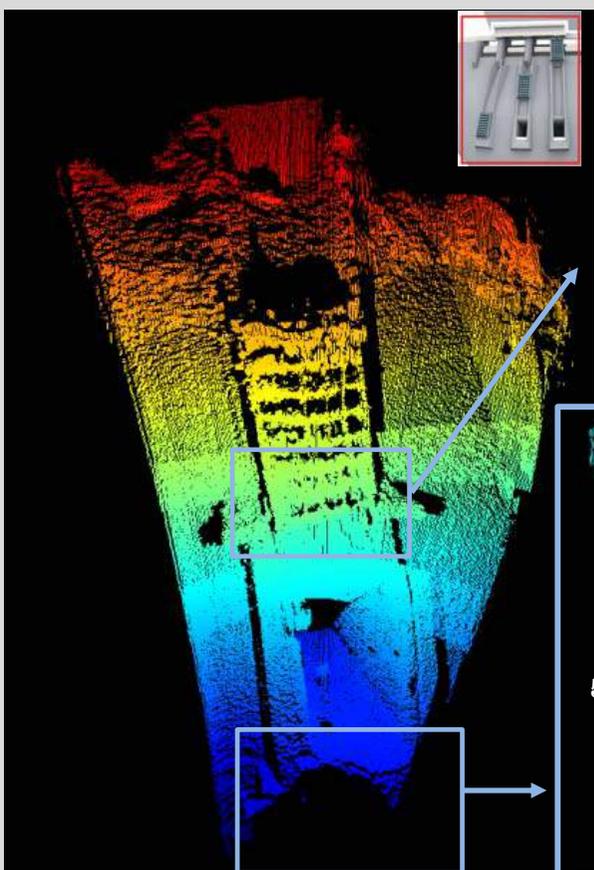
- ❑ 魚道呑口の下流側擁壁前面は、洗掘又は沈下により窪みが出ていた
- ❑ 魚道呑口上流部には土砂・植物片・枝と思われる堆積物が確認された
- ❑ 魚道呑口周辺の擁壁や橋脚には、10cmを越えるような大きな変状はみられなかった

# 3DSC搭載ROVによる計測事例



水深300mまで対応、浮遊状態でも計測可能

## ダム取水ロゲート



従来法：魚探結果

# 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

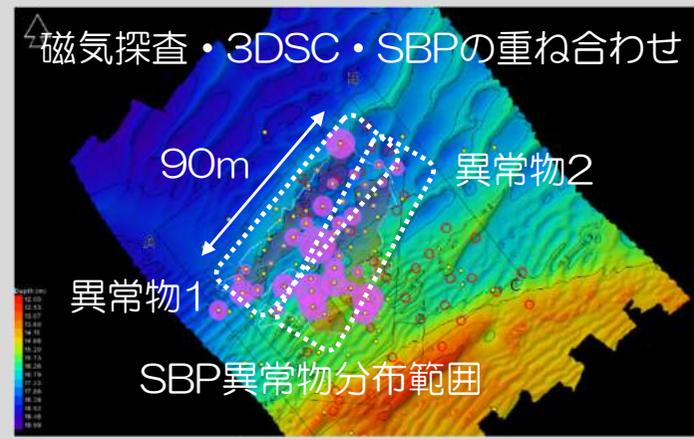
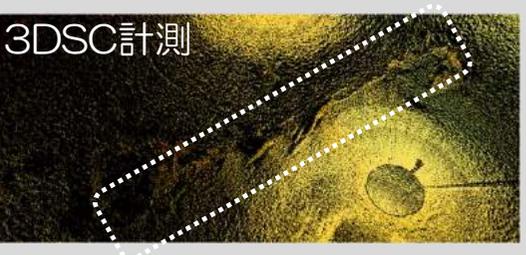
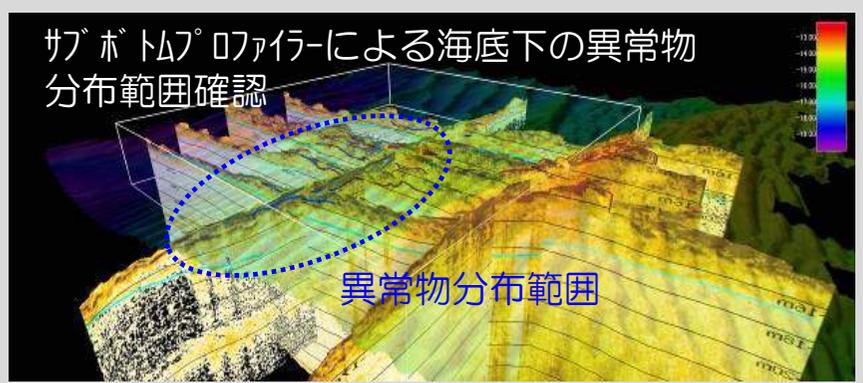
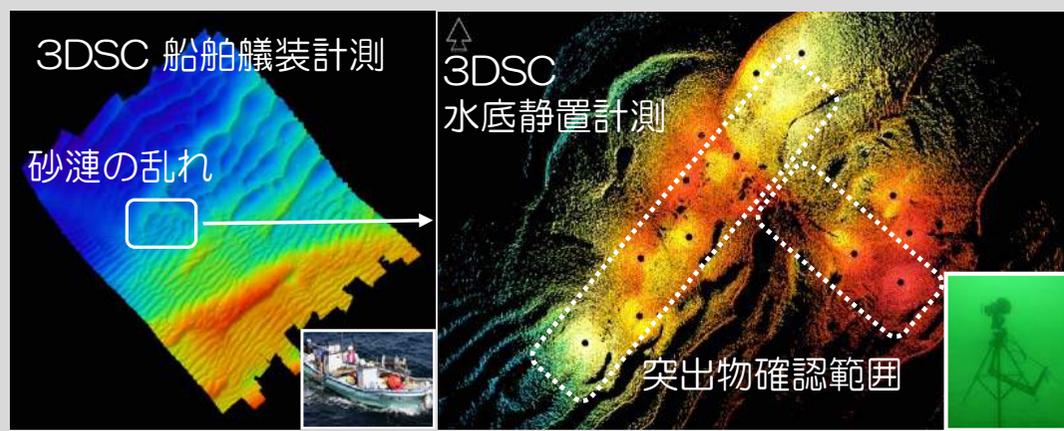
京浜港ドックでは  
評価は実施されて  
いない

# 音響機器活用事例：関門航路での異常物調査



関門航路で海底異常物発見。太平洋戦争時の危険物の可能性あり！

維持浚渫前の磁気探査で異常物を検知。マルチビームでは確認不可。 ➡ 水中3Dスキャナーで計測

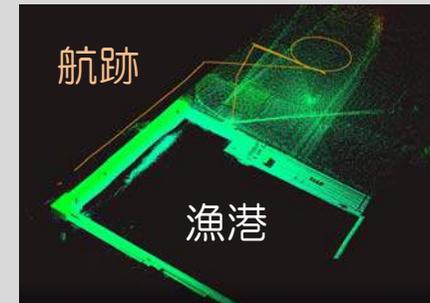
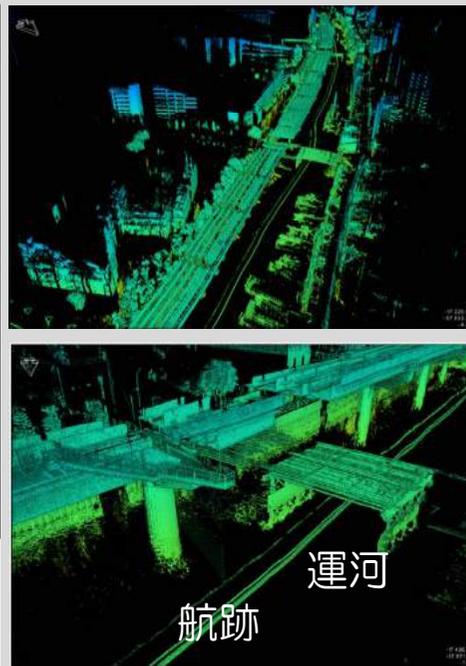
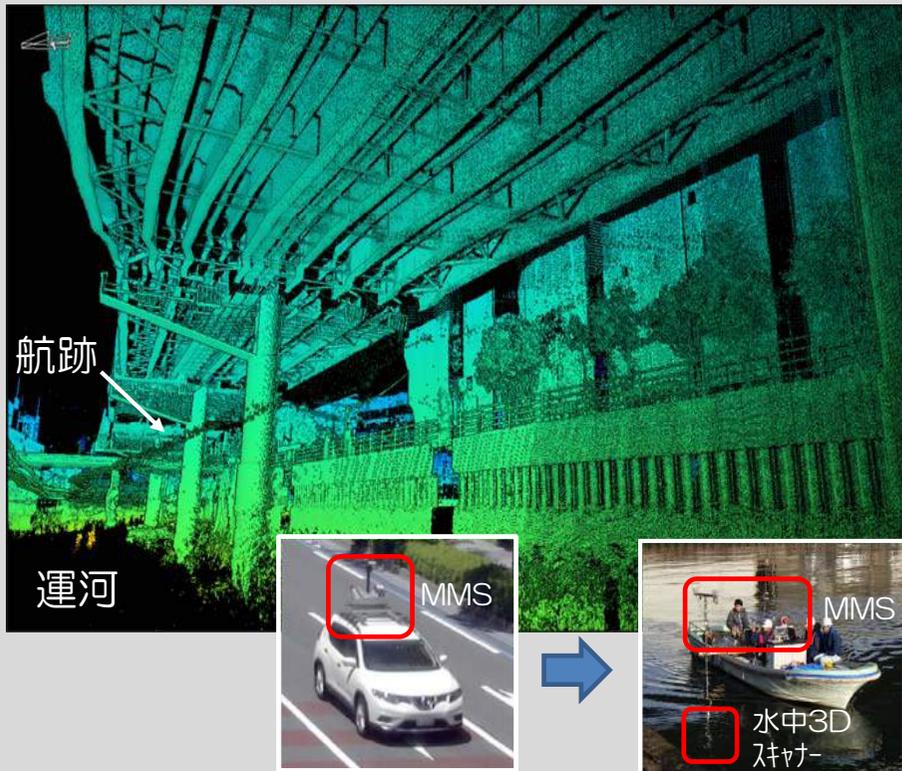


- : 異常反応(音波不透過)
- : 異常反応(音波透過)
- : 単点反応集中箇所
- : 磁気異常箇所
- (pink) : 磁気量(100,000 $\mu$ Wb)
- (purple) : 磁気量(50,000 $\mu$ Wb)
- (red) : 磁気量(25,000 $\mu$ Wb)

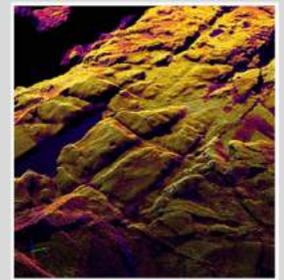
大きさ・形状から異常物は沈船と推定

# レーザーによる陸上3D計測技術の改良

海岸直近の道路・橋脚の計測、ロボット（UAV）活用による効率化・災害対応



3D点群化



- 長距離自律飛行可能（法律の壁有・・・）
- レーザー搭載で30分の計測が可能（一般的なレーザーUAVは5分）

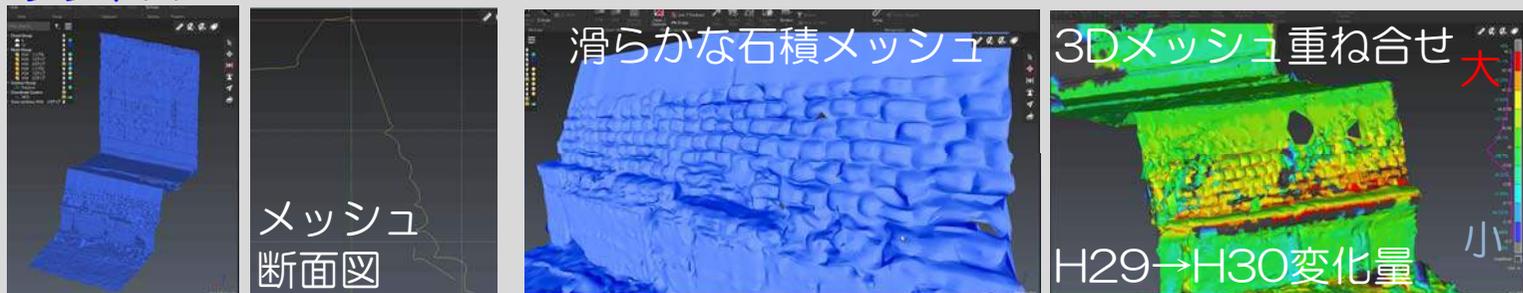
ヘリ型UAVの活用

道路の維持管理では一般的に使用されている  
MMS（Mobile Mapping System）を船舶に艦装

# 水中・陸上計測事例：石積護岸維持管理マニュアル作成

設計・数量解析には3D点群データ ➡ メッシュデータへの変換が必須。

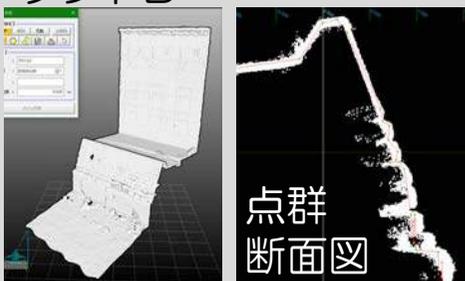
## ソフトA



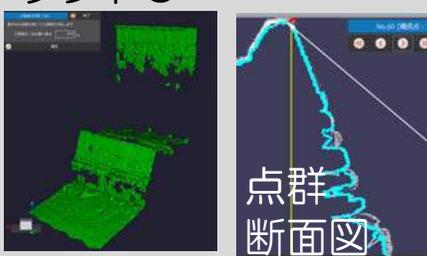
複雑な形状をメッシュ化できるソフトは少ない



## ソフトB



## ソフトC



## データ処理ソフトの機能比較

データ処理ソフト		A	B	C	
メッシュ化	メッシュ作成機能	○	○	○	
	石積護岸メッシュ作成	◎	○	×	
	処理時間	普通	普通	遅い	
断面作成	点群からの作成	○	○	○	
	メッシュからの作成	○	—	—	
H29→H30 変化量解析	2D 比較	点群 vs 点群	○	○	○
		メッシュ vs 点群	○	—	○
		メッシュ vs メッシュ	○	—	○
	3D比較	○	—	—	

ソフトの進化に期待

石積護岸の維持管理  
マニュアル(案)に  
3DSCが記載

# レーザー・音響・ロボットの活用法（案）

単一の調査手法では港湾点検の全てをカバーできない

計測条件 作業環境	広域の全体形状把握				クラック、 変色、発錆等 の微細な変状
	陸上部	水深0m ~2m	水深2m ~15m	水深15m 以深	
UAV、 レーザー	○	×	×	×	○
水中3D スキャナー	×	○	○	×	×
マルチビーム	×	×	○	○	×
調査員、 潜水目視	-	-	-	-	○ (水深20m)

- 微細クラックやサビ、変色等は、音響レーザー機器では計測不可。潜水やROV等による目視・画像確認は必要
- 点検対象・条件に合わせて各手法の長所を組み合わせることが必要  
(AIによる変状抽出・計測等も含む)
- 現時点の3D計測ニーズはフロントローディングを前提としたCIMとコストを抑えた潜水目視代替技術（定期点検支援技術）に分かれる。



“目的・要望に合った可視化技術の活用”が重要

