音響・レーザー機器と可視化

― 水中 3D スキャナーや船舶 MMS による点検技術 ―

いであ㈱国土環境研究所環境調査部技術開発室長　古　殿　太　郎

1. はじめに

河川護岸や港湾施設などのインフラは、多くが高度経済成長期に建設されたため老朽化が進み、維持管理・点検が必要とされる施設は膨大な数にのぼる。さらに地震や地球温暖化に伴う大規模災害によるインフラの破損も増加しており、過酷な状況下での点検・復旧が求められている。

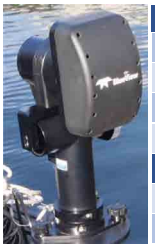
一方でインフラの水中部点検は、主に潜水士による目視観察を複数測線で実施して全体の状況を推定しており、濁水中や高流速、大水深では対応できないなど課題も多い。さらに人口減少・少子高齢化による熟練潜水士の不足も深刻な問題である。このような課題に対しては、音響機器により水底やインフラの水中形状を簡易的に“可視化”する技術が有効である。

道路や橋梁、トンネルといった陸上部のインフラでは、カメラとレーザーにより画像と３次元データを取得して点検・維持管理がなされており、UAV（Unmanned aerial vehicle）や MMS（Mobile mapping system）等の技術開発により著しい効率化・省力化が進んでいる。一方、河川・港湾インフラの陸上部は水際に位置するため陸上からは計測できない場所も多く、このような場所は水上からの計測が有効となる。

本稿では、水中 3D スキャナーによる効率的な水中可視化手法と船舶搭載 MMS による水上からのインフラ計測事例、さらに地質構造を含めた空間情報全体を可視化する技術をご紹介する。

2. 水中3Dスキャナーの概要

効率的な水中インフラの維持管理・点検には、構造物や水底の形状を 3D モデル（XYZ 座標を持つ点群）として可視化することが有効である。そこで小型・軽量な音響機器である水中 3D スキャナーを導入した(図－１)。水中 3D スキャナーはナローマルチビームソナーに比べて周波数が高く、水中構造物の形状をより詳細に再現できる。耐圧は 1,000 m で、ダム、港湾などの潜水が困難な水深帯でも使用可能である。通常は三脚に据え付けて垂下し着底状態で計測するが、当社は水中 3D スキャナーを各種プラットホームに搭載し、様々なフィールドで効率よく計測するシステムを開発した(NETIS KT180031-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)。機材は、重機不要で普通車サイズのバン１台に積載可能であるため汎用性が高い。



センサー部	
周波数	1.35MHz
ビーム幅	1°×1°
ビーム数	256
測定範囲	30m
パン・チルト機能	
水平方向（パン機能）	360°
垂直方向（チルト機能）	45°（15°×3回）

図－１　水中3Dスキャナー

一方、計測可能距離は最大で約 30 m、最適距離は 15 m 以内とナローマルチビームソナーと比較して短く、深い水深帯での広範囲の水底概査には適さない。

3. 水中 3D スキャナー計測事例の紹介

（1）水中3Dスキャナーの単独計測

①計測方法

2016 年 10 月に、神奈川県横浜市京浜港ドックで国土交通省と㈱海洋調査協会の共同研究実証試験が実施された。実証試験ではドック内に様々な構造物を設置したのち海水を満たし、水中 3D スキャナーを船上から水底に垂下して計測した。湛水前の京浜港ドックの状況と計測状況を図－２に示す。

②計測結果

実証試験は、調査員３名で搬入・組立・計測・撤収を１日で行い、対象区域全体（約 50 m × 25 m）の 3D モデルを取得して各構造物の立体形状を計測した。コンクリートブロックの計測結果を実際のサイズ・配置と比較したところ、ブロック形状・配置とも誤差は２cm以下であった。水中 3D スキャナーを水底や水面に固定して計測することにより、高密度・高精度の 3D モデルを取得することができた。

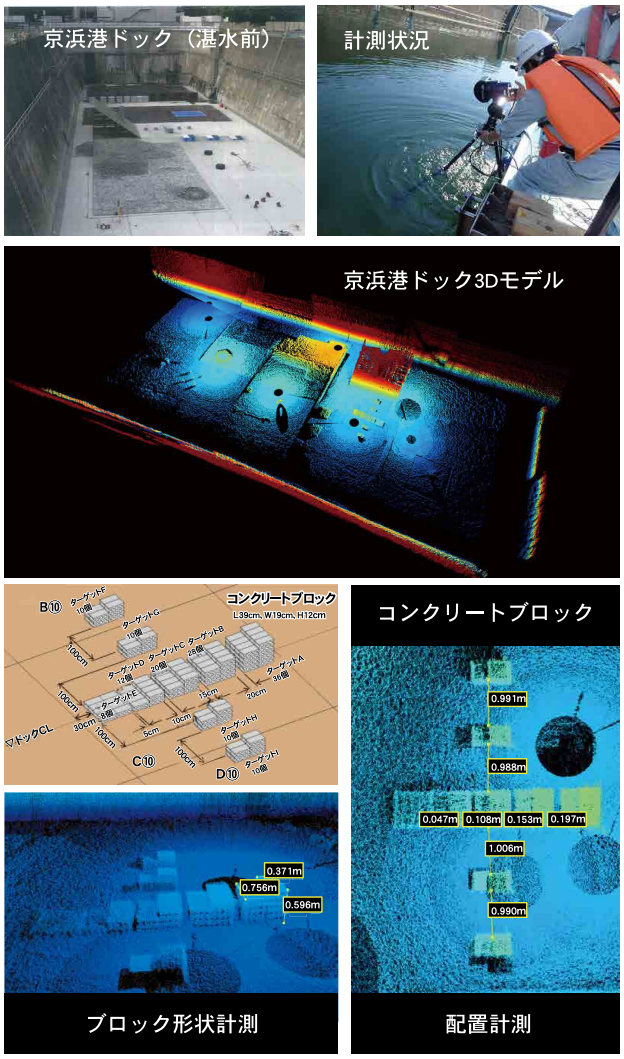
（2）クローラー型運搬機＋水中3Dスキャナー

①計測方法

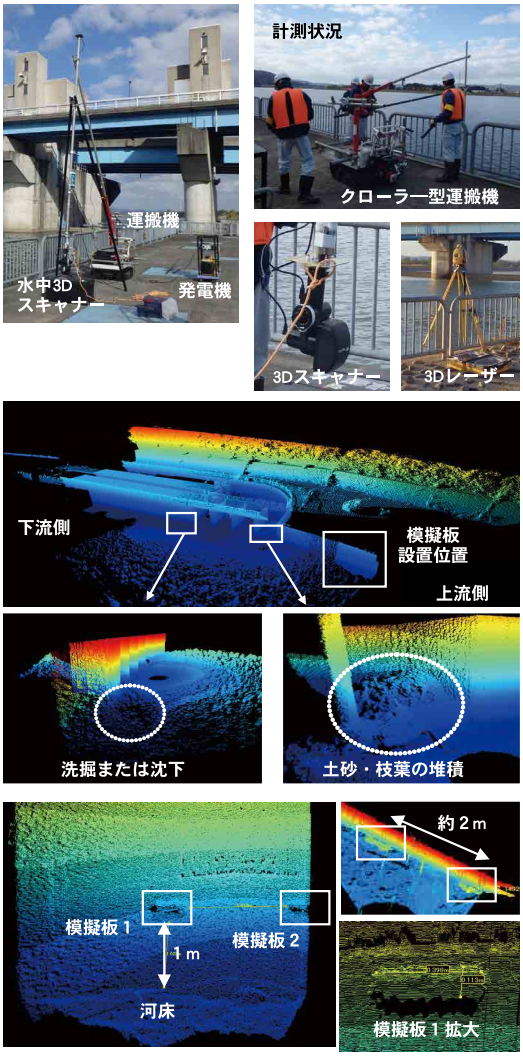
2015 年 10 月に国土交通省次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進水中維持管理技術の河川現場検証が実施され、水中 3D スキャナーをクローラー型運搬機に搭載して陸上から護岸等を計測した。使用した機材と計測状況を図－３に示す。構造物の変状や地形変化は、流速の速い水衝部や災害後の濁水中で発生することが多いが、水中 3D スキャナーを陸上から水面に垂下して計測することにより、流速の早い濁水中でも効率よく破損・変状の位置・形状・サイズを計測することが可能となった。

②計測結果

実証試験は、調査員３名で搬入・組立・計測・撤収を１日で実施した。水中 3D スキャナーによる計測結果は速やかに PC 画面に図示され、魚道呑口前面では上流側で土砂・枝葉の堆積、下流側では洗掘または沈下と思われる窪みを確認した。また作業船の進入が困難な魚道内の形状



図－２　京浜港ドックでの計測事例



図－３　河川護岸計測事例

も計測した。

複数回の計測結果をデータ処理ソフトで統合し、さらに3Dレーザーによる陸上部の計測結果も統合して、シームレスな3Dモデルを作成した。水中インフラを定期的に計測することにより、経時変化を把握することが可能となる。

実証試験では、変状箇所の探索と計測精度確認のために変状に見立てた模擬板が設置された。

水中3Dスキャナーの計測により、魚道呑口の上流で模擬板を発見した。形状の異なる２個の模擬板が河床から１m上方に設置され、模擬板間の距離は約２mであった。複数の模擬板(長さ36～45cm、幅10～15cm）を計測した際の最大誤差は４cmとなり、概査に要求される誤差10cm未満を下回った。

クローラー型運搬機に搭載した水中3Dスキャナーによる計測は、

・濁水中でも面的に形状を把握できる
・潜水士点検に比べて費用対効果の面で優位
・位置特定精度が高い
・現場への搬入・設置・撤去が容易

であることから、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で最高評価を獲得し、2016年に試行的に導入された。

（３）モーションスキャン

①計測方法

通常は位置を固定して使用する水中3Dスキャナーに動揺を補正するモーションセンサーとGNSSを組み合わせて、調査船で移動しながら計測する手法（以下、モーションスキャン）を開発した。モーションスキャンによる計測状況と使用機器を図－４に示す。

海底地形を計測する音響機器としてナローマルチビームソナーがあるが、ビームが下向きのため水底付近の構造物しか計測することができず、隅角部や複雑な形状は計測できないという課題があった。

水中3Dスキャナーは、ソナーヘッドのパン（左右）・チルト（上下）回転が可能であるため、任意の方向に音波を発信して水面付近や隅角部、消波ブロック、桟橋など複雑で立体的な構造物の形状を正確に計測することができる。船を静止し水中3Dスキャナーを360°回転させての計測も可能である。

②計測結果

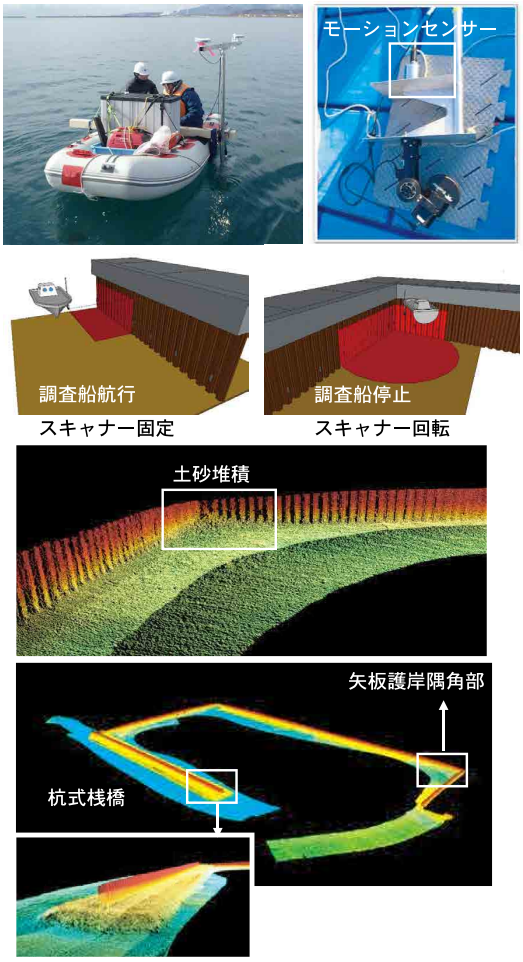
モーションスキャンによる矢板護岸隅角部と杭式桟橋の計測結果を図－４に示す。計測距離は約１km、計測時間は約１時間であった。矢板護岸や桟橋杭に大きな変状はみられなかったが、護岸隅角部に土砂が堆積していた。

モーションスキャンは、水中3Dスキャナーを水底や水面に固定する計測方法に比べて点群密度は低いが、短時間で最も広範囲を計測できる。モーションスキャンは、2016年度国土交通省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で試行的に導入された。

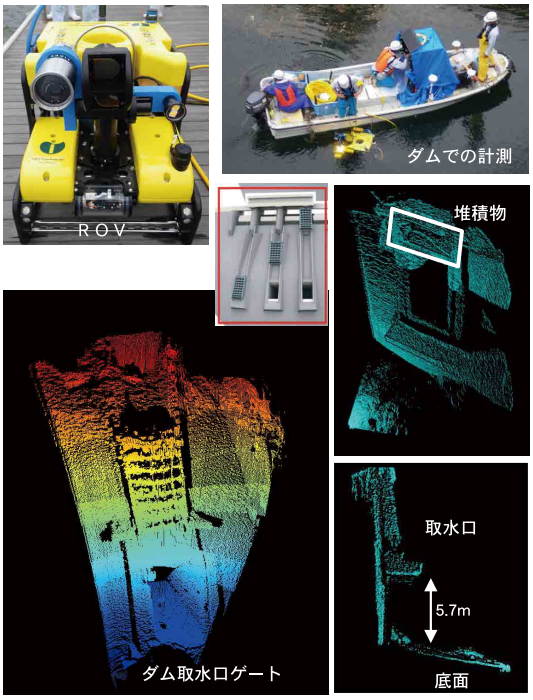
（４）ROV＋水中3Dスキャナー

①計測方法

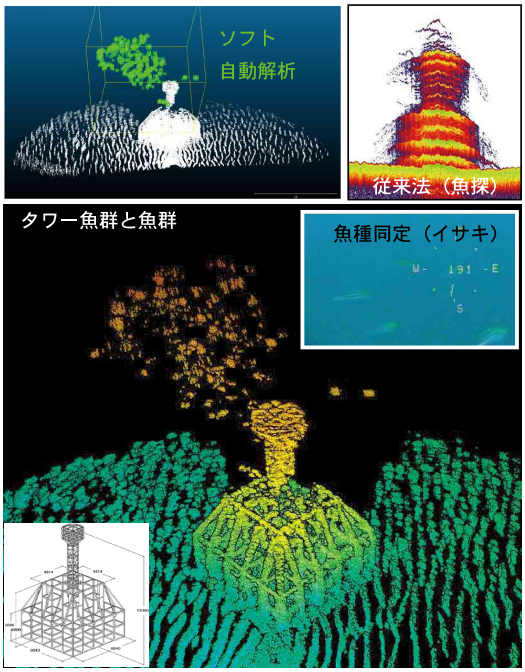
2015年11月に国土交通省次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進水中維持管理技術のダム現場検証が実施さ



図－４　モーションスキャンによる計測事例



図－５　ROVによるダム取水口計測結果



図－６　ROVによる魚礁・魚群計測結果

れ、水中3Dスキャナーを遠隔無人探査機（Remotely Operated Vehicle：以下ROV）に搭載して水中から取水口を計測した。使用したROVと計測状況を図－５に示す。

水中3Dスキャナーは、ROVに搭載することにより水深300ｍまでの使用が可能となった。モーションスキャンと同様に、ROVにもモーションセンサーが搭載されており、浮遊状態での計測が可能である。インフラロボ実証試験や別途実施した海域での魚礁調査では、ROV浮遊・着底状態で計測した。クローラー型運搬機やモーションスキャンも含めて、調査の目的やフィールドに合わせて適切な計測方法を選択することが重要となる。

②計測結果

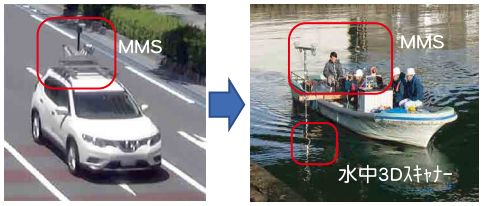
ダムでの実証試験は、調査員３名で搬入・組立・計測・撤収を１日で実施し、船からのROV着水・揚収も人力で実施した。ダム取水口前面での計測結果を図－５に示す。堆積物がゲートの上端で確認されたが大きな変状はみられず、取水口の下約5.7ｍのところに底面を確認した。

水中3Dスキャナーはクラックや５cm以下の小さな変状は計測できないため、目地の状況などはカメラ撮影による画像で確認する必要がある。

魚礁計測結果を図－６に示す。設置された魚礁は埋没や破損などはみられず、魚群の蝟集も確認された。従来の魚探による魚群計測はノイズが多く、形状も平面となるため生物量を正確に推定することが困難であった。水中3Dスキャナーは魚群を個体の集まりとして立体的に計測するため、魚群の体積、密度、構成個体数を計測・推定することができる。さらにROVのカメラにより魚種をイサキと特定した。

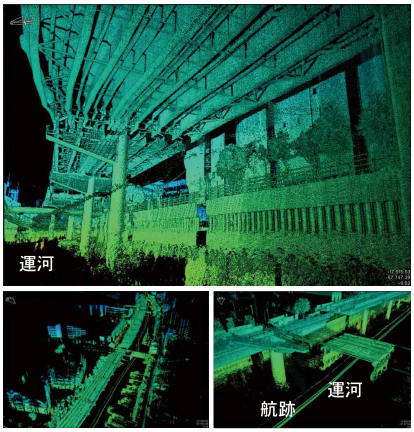
４．船舶MMS計測事例の紹介

MMS（Mobile mapping system）は、レーザースキャナーと全周囲カメラ、動揺補正装置を車両に搭載し、走行しながら周辺インフラ等の３次元点群データと画像を取得するシステムである。一般的には道路上を移動しながら計測するため、橋梁下部や橋脚、臨海部や河川の護岸は計測が困難であることが多い。そこでマルチビームソナーの動揺補正装置とGNSS、MMSのレーザーを船舶に艤装し、水上からの計測が可能な船舶MMSを開発した。船舶MMSは水中3Dスキャナーも同期さ

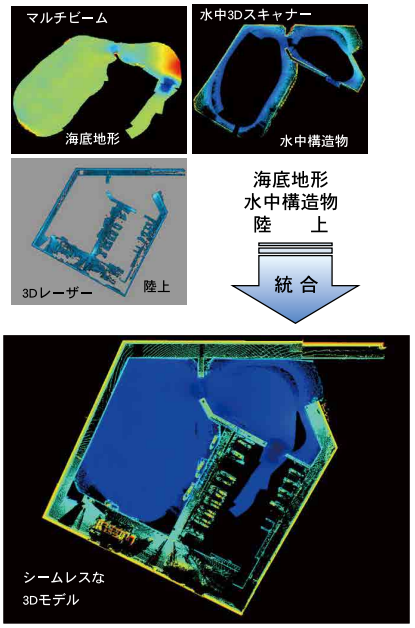


レーザースキャナー（米RIEGL社製VQ-250）	
測定範囲	360°（全周）
ｽｷｬﾝ速度	100Sc/秒
最大計測ﾚｰﾄ	30万回/秒
最大計測距離	500m
計測精度	10mm

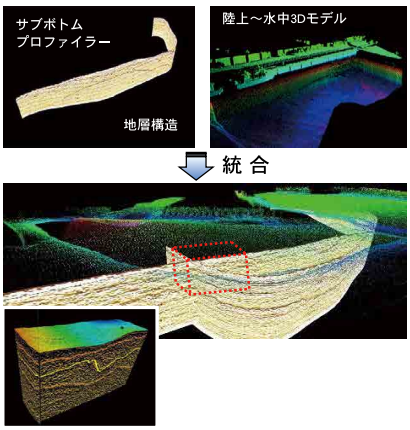
図－７　船舶MMS概要



図－８　船舶MMS計測事例（首都高横羽線生麦付近）



図－９　3Dモデルの統合



図－10　地層構造と3Dモデルの統合

せることが出来るため、水中と陸上の同時計測も可能である（図－７）。

船舶 MMS による計測事例を図－８に示す。首都高横羽線は、横浜市神奈川区生麦付近は運河の上に位置し、下部工や橋脚は陸上からは計測ができない。そこで、船舶 MMS により運河を約 10km /h で航行しながら計測することにより、高精度・高密度の３次元点群データを取得した。

５. 3Dモデルの統合

（１）水中部と陸上部の3Dモデル統合

水中 3D スキャナーやマルチビームソナー、陸上の 3D レーザーで取得される 3D モデルは、XYZ 座標を持つ点群で構成されるため、統合してシームレスな 3D モデルを作成することができる。

水中 3D スキャナーを三脚や自走式クローラー、ROV に搭載して計測する場合、得られた 3D モデルの位置情報はソナーヘッドを原点とする極座標となる。このような極座標を持つ 3D モデルは、陸上 3D レーザーやマルチビームソナーで得られた公共座標系の位置情報を持つ 3D モデルと統合することにより、極座標を公共座標系に変換することができる。水中と陸上の 3D モデルを正確に統合するためには、陸上部を干潮時、水中部を満潮時に計測して潮間帯のデータを重ね合せたり、あらかじめ構造物を水中に設置して直接測量で位置情報を取得し基準点とするなど､現地計測時の工夫が重要となる。

マルチビームソナーやモーションスキャン、陸上 3D レーザーのように、計測時に GNSS による位置情報を取得できる場合は、得られる 3D モデルは公共座標系の位置情報を持つ。そのため、これら機器の 3D モデルはデータ処理ソフトでレイヤー表示することにより、容易に統合することができる（図－９）。

（２）3Dモデルと地質構造の統合

ダムや港湾では、土砂の堆積による貯水容量の減少や取水障害、航路埋没などが維持管理上の課題となっており、当社では地層探査装置であるサブボトムプロファイラーを導入し水底の地層構造を計測している。3D モデルと地質構造を統合して陸上、水中、地層構造を一元化することにより空間情報を可視化し、地形と堆積履歴・堆積状況との関係を把握できるようになる（図－ 10）。

６. おわりに

音響やレーザーで取得した 3D モデルは、GIS を活用して水中の流向流速や海底地質構造、交通量や騒音・振動など、あらゆる環境情報と統合することが可能である。今後は、このような空間情報可視化技術の高精度化・効率化を進めるとともに、i-Construction への活用により、ダム、港湾の効率的な浚渫計画や河道管理計画の策定、水中構造物の点検・維持管理･適地選定･設計･長寿命化など、様々な分野で貢献していきたい。

謝辞：水中ロボ現場検証や共同研究の機会を御提供下さった国土交通省と当社技術を御審議・評価いただいた次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会の皆様に、この場をお借りして感謝の意を表す。

【参考文献】

1）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：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・評価の結果. 平成28年3月30日
http://www.mlit.go.jp/common/001125345.pdf
2）古殿太郎・西林健一郎・大野敦生：水中3Dスキャナーを活用した水中可視化技術によるインフラの維持管理・点検技術. 建設機械施工Vol.70 No.5 May 2018 p63-67
3）国土交通省　新技術情報提供システム
NETIS番号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
http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp
4）古殿太郎・高島創太郎・西林健一郎・大野敦生・峯岸宣遠：音響機器を用いた水中可視化技術の水産分野への応用. 水産工学Vol.55 No.3 pp.223～229. 2019