

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

古殿 太郎・西林 健一郎・大野 敦生

河川・港湾でのインフラ維持管理は、護岸・栈橋の変状や水底の洗掘・土砂堆積、さらには大規模出水や災害時の破損等が対象となるが、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。従来の潜水士による目視点検では対応できない高流速水域や大水深、濁水中でも水中 3D スキャナーにより効率よく破損・変状の位置・形状・サイズを概査できる技術を開発した。

キーワード：水中 3D スキャナー、クローラー型運搬機、モーションスキャン、ROV

1. はじめに

河川護岸や港湾施設などの水中インフラは、その多くが 1960 年代以降の高度経済成長期に建設されたため老朽化が進み、速やかな点検・維持管理が必要とされる施設は膨大な数になっている。さらに地球温暖化に伴う大規模災害により水中インフラが破損するケースも増加しており、過酷な状況下での点検・復旧が求められている。その一方で水中インフラの点検は、主に潜水士による目視観察を代表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、大水深では調査できないなど課題も多い。

このような課題に対しては、適切な機器の組み合わせと改良、効率的な現地計測方法の検討により、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。本稿では主に水中 3D スキャナーによる水中可視化技術をご紹介します。

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重要である。そこでマルチビームソナーに比べて周波数が高く、小型・軽量である水中 3D スキャナー (図-1) を導入した。

通常、水中 3D スキャナーは三脚に据え付けて垂下し、着底状態で計測する。当社は水中 3D スキャナーを各種プラットフォームに搭載し、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。機材は、重機が不要で普通車サイズのバン 1 台に積載可能であるた



| 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

め汎用性が高い。

3. 水中 3D スキャナー計測事例のご紹介

(1) 水中 3D スキャナーの単独計測

(a) 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 スキャナーを三脚に据え付けて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。



図-2 京浜港ドック (湛水前) と計測状況

(b) 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。実証試験では対象区域全体(約50m×25m)の3Dモデルを取得し、各構造物の立体形状を計測した(図-3)。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事により、高密度・高精度の3Dモデルを取得することができた。

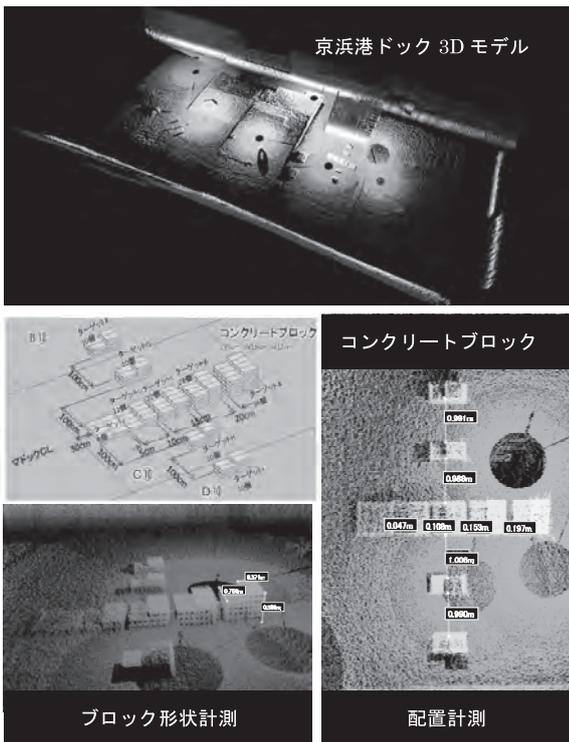


図-3 京浜港ドックとブロックの3Dモデル

(2) クローラー型運搬機 + 水中3Dスキャナー

(a) 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-4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、クローラー型運搬機に搭載して陸上から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。

(b) 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

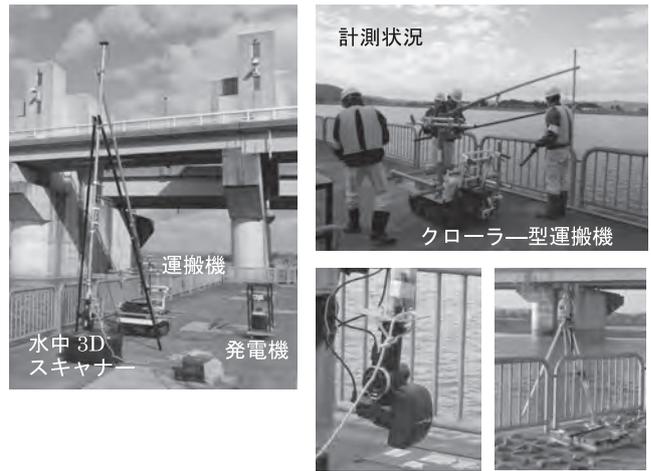


図-4 開発したロボット(左)と水中3Dスキャナー(中), 3Dレーザー
スキャナー(右)

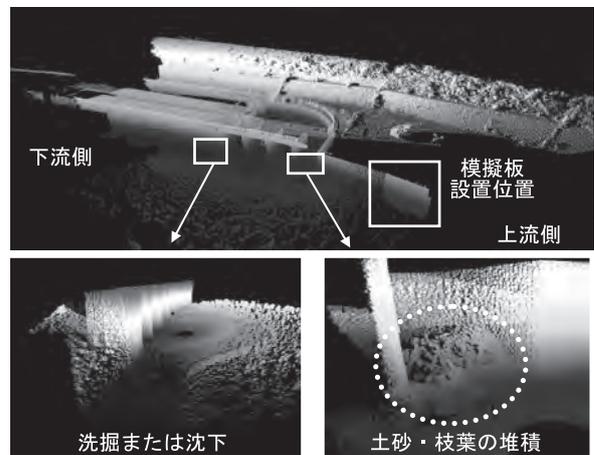


図-5 右岸魚道呑口周辺の3Dモデル

果は、速やかにPC画面上に図示される。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も計測した(図-5)。

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レーザースキャナ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事により、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、魚道呑口の約12m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(図-6)。

クローラー型運搬機に搭載した水中3Dスキャナー

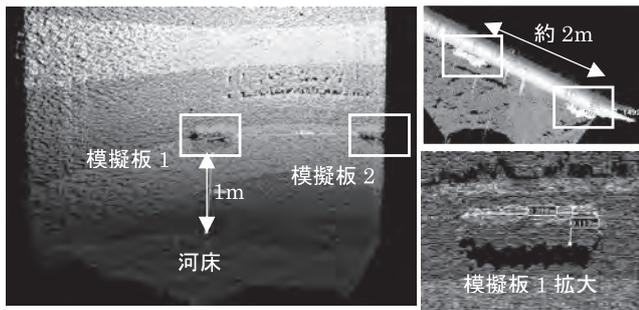


図-6 模擬板の計測状況

による計測は、

- ・濁水中でも面的に形状を把握できる
- ・潜水土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) モーションセンサー + 水中 3D スキャナー (モーションスキャン)

(a) 計測方法

水中 3D スキャナーと動揺を補正するモーションセンサー、GNSS を調査船に搭載し、船速約 4 ノットで港内の岸壁・棧橋を計測（以下、モーションスキャン）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-7 に示す。

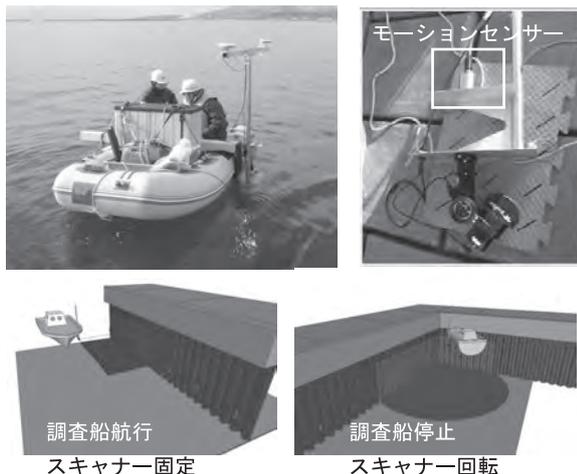


図-7 モーションスキャンによる計測状況

同様の方法で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、上下左右の広い方向に向けて音波を発信することができる。さらに周波数がナローマルチビームソナーに比べて高いため、隅角部や消波ブロック、棧橋など複雑で立体的な構造物の形状を計測することが可能となった。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。一方で、水中 3D スキャナーは距離が 15 m を超えると誤差が大きく解像度も低下するため、水深の深い水域では使用することができない。

(b) 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棧橋の計測結果を図-8 に示す。計測距離は約 1 km、計測時間は約 1 時間であった。矢板護岸や棧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。

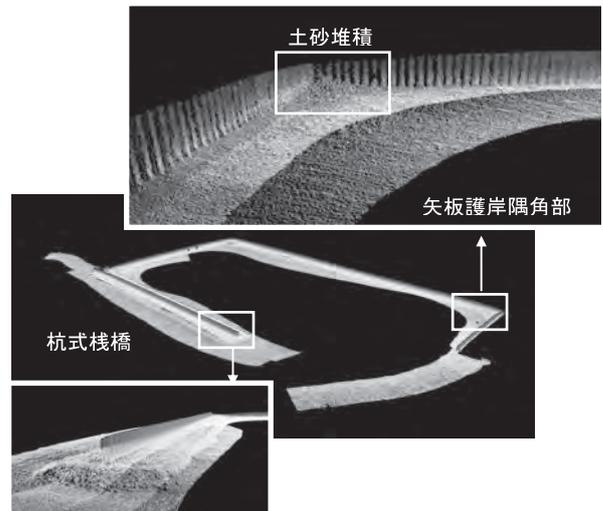


図-8 モーションスキャンによる計測結果

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

(a) 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-9 に示す。

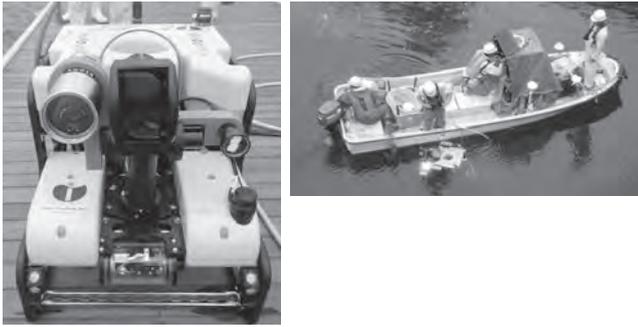


図-9 使用したROVと計測状況

水中3Dスキャナーは最大計測範囲が30mであるが、ROVに搭載することにより水深300mでの使用が可能となった。先述の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。

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3D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。

(b) 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、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-10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



図-10 ROVによるダム取水口計測結果

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-11に示す。従来の魚探による計測はノイズが多く、魚群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。

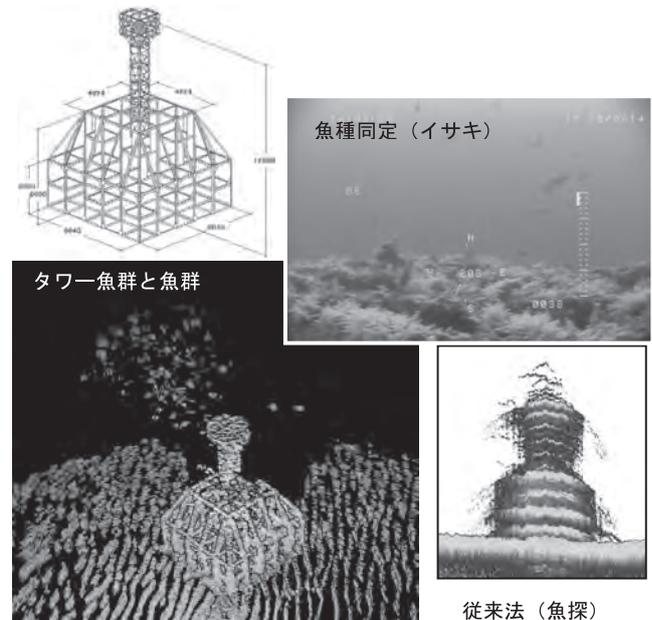


図-11 ROVによる魚礁・魚群計測結果

(5) 3Dモデルの統合

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、位置情報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

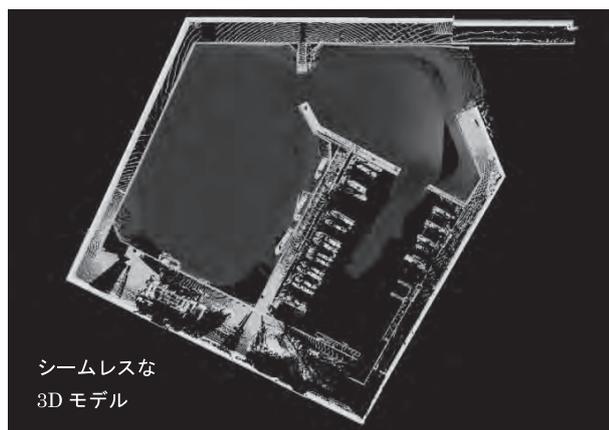
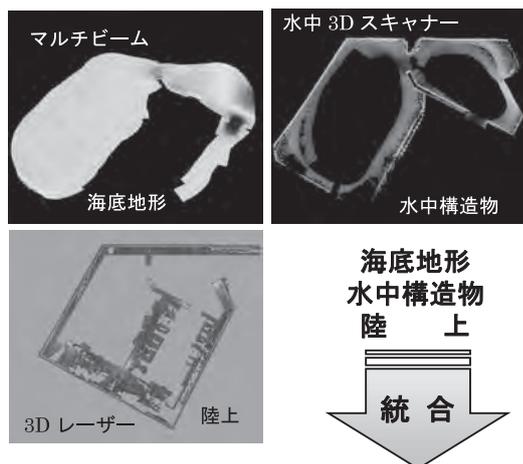


図-12 3Dモデルの統合

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可能である(図-12)。

4. おわりに

水中3Dスキャナーをはじめとする音響機器で取得した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。今後は水中可視化技の更なる高精度化・効率化を進めるとともに、その場所の“空間情報”を可視化する技術の開発を進め、水中インフラの維持管理を含む様々な分野で貢献したい。

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。

JCMA

《参考文献》

- 1) 日本ロボット学会誌 Vol.34 No.8, pp.509～510, 2016
- 2) 海洋調査協会報/No.131 平成30年1月, pp.29～32

【筆者紹介】



古殿 太郎 (ふるとの たろう)
 いであ(株)
 国土環境研究所環境調査部
 グループ長
 技術開発室 室長



西林 健一郎 (にしばやし けんいちろう)
 いであ(株)
 大阪支社環境調査部 主査研究員



大野 敦生 (おおの あつお)
 いであ(株)
 国土環境研究所環境調査部
 主査研究員