

# 水中施工無人化へ 絶対位置を高精度取得

古川 敦・北原 成郎・久保田 恭行

水中での無人化施工は、視認性が確保できない水中において、施工機械の絶対位置・姿勢の計測が不可欠である。常時動揺している水上浮体から水中の移動体の絶対座標・姿勢をリアルタイムに計測・解析するシステムを開発し、屋外水槽を用いた基礎試験により5 cm以内の精度を実証し、水中無人化施工への適用が可能であることを確認した。

今後は、小型水中バックホウの遠隔操作に関するハードウェア・ソフトウェアを充実させ、高精度水中測位システムを連動させる事により、目視が困難な水中での建設機械の操作が潜水士無しで施工できる、水中バックホウの無人化施工を目指して開発を進める。

キーワード：水中，無人化，測位，SONAR，GNSS

## 1. はじめに

河川・海洋・港湾・ダムでの施工は、安全性確保・効率化のため、高水圧・視界不良の水中作業を避けた施工を実施するのが一般的である。しかしながら近年では老朽化インフラの更新や災害による被災施設の復旧など、水中での精密な施工が必要なケースが増加している。

これらの精密水中施工を実現するためには、小型水中バックホウでの施工が不可欠となっている。現在的小型水中バックホウは、潜水士の搭乗操作が必要となっているが<sup>1)</sup>、高水圧下での潜水士作業は肉体的負担と安全性に問題がある。また、水中バックホウの絶対位置を高精度に取得できるシステムがないため、陸上でのマシンガイダンスのように重機の姿勢および周辺地形を把握することが困難となっている。

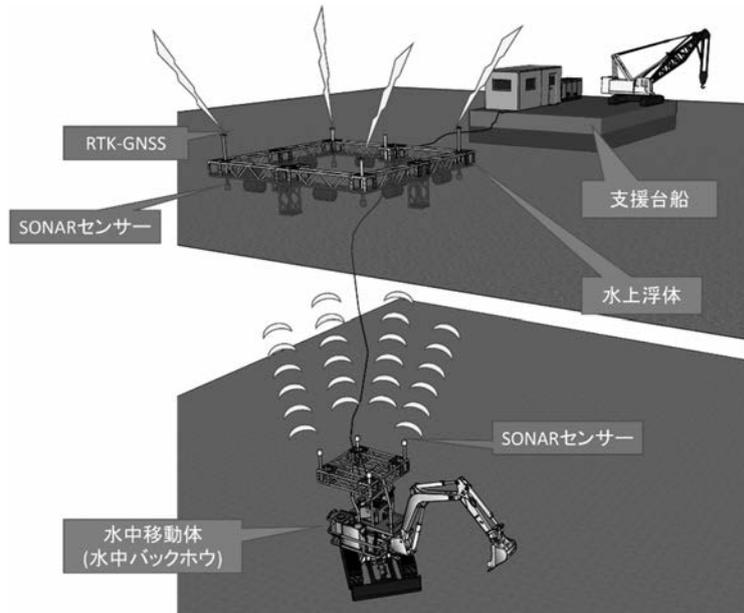
高水圧・視界不良の水中での施工を潜水士無しで実施する事を目的として、水中遠隔操作のための高精度水中測位システムを開発したので報告する。

## 2. システム構成

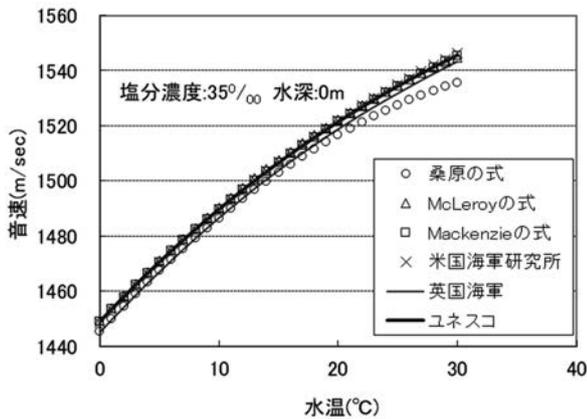
高精度水中測位システム「アクアマリオネット」は、(株)熊谷組で保有している大水深沈埋函の沈設誘導システム<sup>2)</sup>の原理を応用し、図1に示すとおり水上浮体の気中4隅にGNSSアンテナおよび水中4隅にSONAR

センサーを配置し、水中移動体（バックホウ等）の上部4隅にSONARセンサーを配置する。水上浮体の絶対位置と姿勢をGNSSにより計測し、同時に水上浮体と水中移動体に有線接続したSONARセンサー間の距離を計測する事により、水中移動体の絶対位置と姿勢を高精度かつリアルタイムに計測する事が可能となっている。

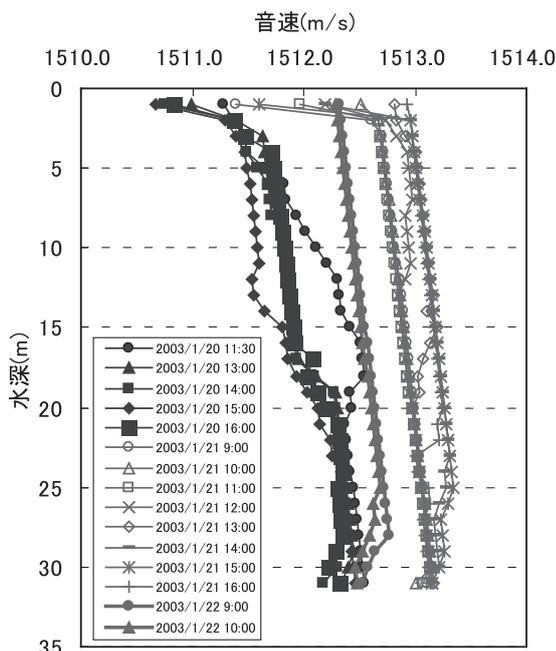
水中において電磁波は減衰が大きいため、水中での通信には音波を利用する事が一般的である。高精度水中測位システムも音波を使用し、音波の到達時間に音速を乗じて距離を算出しているが、水中の音速は水温・塩分濃度・水深により変化する。図2に示すとおり、特に水温による影響が大きく、距離10 mの測距では水温1℃の差で1.8 cmの差異が生じるため、精密な測位を行うためには音速の補正が必要となる。また図3には水温・塩分濃度・水深の実海域での計測値から算出した音速値の鉛直分布および時間変化の測定値を示すが、水中の音速は鉛直分布や時間変化が大きい事が判る。音速の鉛直分布や時間変化を考慮した測距のための音速計測は非常に困難であるが、高精度水中測位システムでは、GNSSおよびSONARの観測値より条件付観測方程式により水中移動体の絶対位置・姿勢と、音速の最確値を算出する。このため音速の計測も不要で、高精度の水中測位が可能となっている。



図一 水中バックホウ遠隔操作



図二 水中音速と水温



図三 音速値の鉛直分布および時間変化

### 3. 実証試験

システムの検証は屋外実験水槽で実施した。図一4に実証試験の配置図を示す。水深 4.5 m (広さ 5 m × 8 m) の屋外水槽に水上浮体を模擬したフレームを浮かべ (写真一1), 水中移動体を模擬したフレームを水槽内に沈め (写真一2), 動揺する水上浮体に取り付けた GNSS および SONAR センサーを用い, 水中移動体の SONAR センサー位置を高精度水中測位システムにより計測した (図一5)。システムにより位置計測を行った水中移動体の模擬フレームを残置し, 写真一3に示すとおり実験水槽内を排水したのちに TS (トータルステーション) により絶対座標を計測した結果, TS との計測較差 3 cm 以下を確認した。

水中移動体の絶対座標および姿勢をリアルタイムに計測でき, 前述のとおり絶対座標の精度も良好であることが確認された。

### 4. 今後の展開

今後は, 小型水中バックホウの遠隔操作に関するハードウェア・ソフトウェアを充実させ, 水中マシンガイダンスシステム<sup>1)</sup> (図一6) に水中測位システムによる絶対位置および姿勢の計測値をリアルタイムに連動させる事により, 水中バックホウの無人化施工の実用化を進める。

高水圧・視界不良の水中での施工を潜水士無しで実

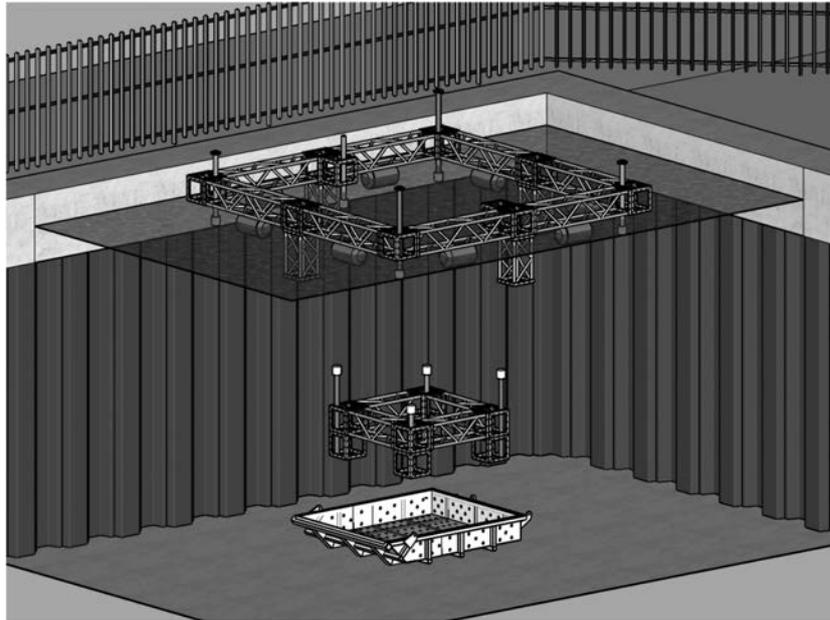


図-4 実証試験

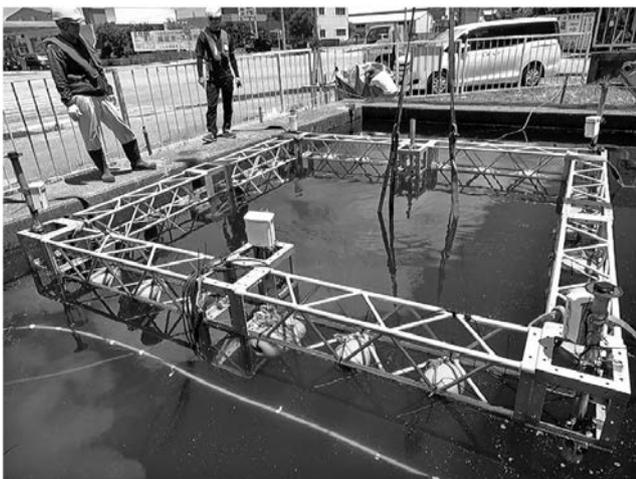


写真-1 水上浮体（試験時事例）

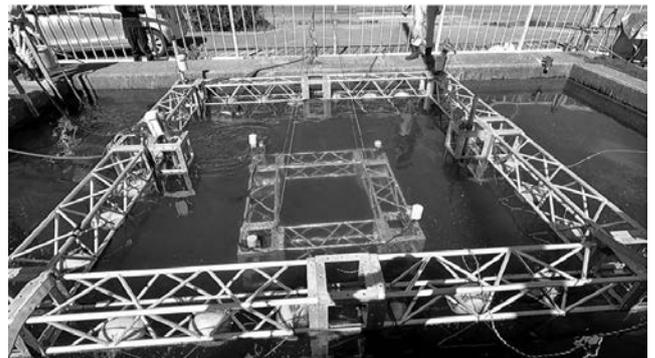


写真-2 水中移動体（試験時事例）

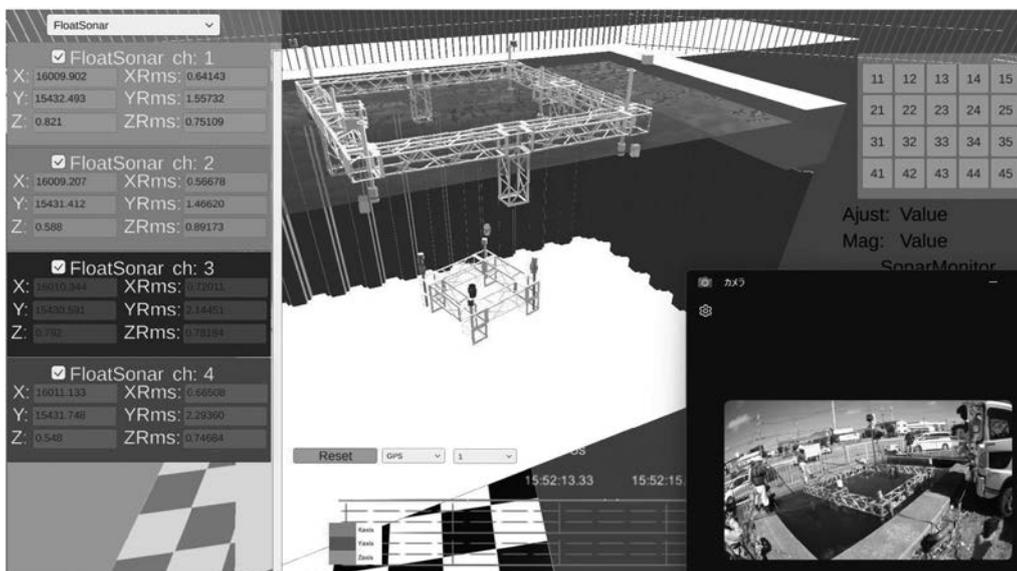
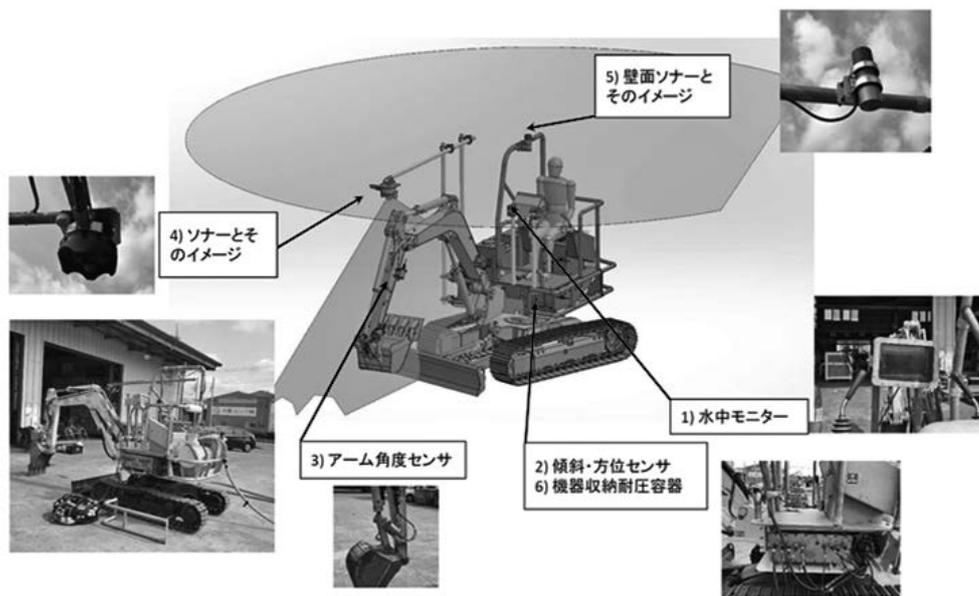


図-5 高精度水中測位システム



写真一 3 精度検証



図一 6 水中マシンガイダンスシステム

施する事が可能となるため、河川・海洋・港湾・ダムでの水象条件によらずに利用可能な高精度の遠隔操作・自動化水中施工システムの実現が可能となる。



《参考文献》

- 1) 古川 敦, 平林丈嗣, 杉本幸司, 北原成郎: 小型水中バックホウガイダンスシステムによる水中掘削, 第 20 回建設ロボットシンポジウム, 2022.9
- 2) 山口高弘, 古川 敦, 森田知志: 大水深構造物沈設位置計測システムの開発, 熊谷組技術研究報告 第 62 号, 2003.12

【筆者紹介】



古川 敦 (ふるかわ あつし)  
 (株)熊谷組  
 土木事業本部 土木技術統括部  
 土木 DX 推進部 企画推進グループ  
 グループ部長



北原 成郎 (きたはら しげお)  
 (株)熊谷組  
 土木事業本部 土木技術統括部  
 土木 DX 推進部  
 部長



久保田 恭行 (くぼた やすゆき)  
 (株)熊谷組  
 土木事業本部 土木技術統括部  
 土木 DX 推進部 企画推進グループ