

# バックホウによる水中構造物の超音波計測精度向上について

(独)土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○岸 寛人  
(独)土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 山口 和哉  
(独)土木研究所寒地土木研究所 道北支所 平 伴斉

岸壁水中部の表面劣化損傷状況および内部空洞を超音波計測機器を用いて把握する技術について研究を行ってきた。これまで岸壁の調査は、船舶に各種計測機器を艀装して計測していたが、船舶の確保や海象条件等の制約があり、計測が困難となるなど課題があった。そこで船舶を用いず汎用機械であるバックホウに計測機器を取り付け、陸上から岸壁水中部を安定的に計測する手法を考案し、計測精度の向上を確認したので報告する。

キーワード：岸壁水中部、バックホウ、超音波計測

## 1. はじめに

岸壁水中部の表面劣化状況および内部空洞を超音波計測機器を用いて把握する技術について研究を行ってきた。これらの調査で使用する主な計測機器の構成は、ソナー（音響測深）、GPSシステム（位置・方位計測）、モーションセンサ（動揺計測）、データ収録用PC、統合型水路測量計測ソフトウェアなどで、通常の深淺測量で使われるものと同じであり、計測方法も深淺測量と同様に、これらの計測機器を船舶に艀装して計測していた。しかし船舶を用いる計測には表-1に示すような制約や課題があった。

表-1 船舶を用いる計測に関する制約、課題

作業内容	制約、課題
船舶の使用	計測条件に合う船舶の確保（船舶の有無、大きさ、安定性、艀装の可否）、船員の確保
艀装撤去	時間がかかる、危険（海上での機器取付、取外）
操船	岸壁との衝突を避けるため、岸壁との距離を3.5m程度離す必要がある 速度、進行方向を一定に保つのが難しい
計測	風や波の影響により解析に使用できないデータとなることがある

そこで本稿では岩内港にて、平成24年度は船舶を用いて、平成25年度はバックホウを用いて岸壁の計測を行った結果を比較したので報告する。

## 2. 計測対象

本稿で紹介する手法は、以下に示す計測に使用することを想定している。

### (1) 表面劣化損傷状況調査

岸壁水中部の表面劣化損傷状況の調査を行う装置は、平成22年度までに研究開発を行った港湾構造物水中部劣化診断装置（図-1）である。超音波により濁った水中でも岸壁の表面形状を調査可能な音響カメラを用いて撮影を行い、撮影した映像の各フレームを画像処理によりつなぎ合わせることで岸壁全体のモザイク図を作成する。これにより岸壁の表面劣化損傷状況を調査する装置である。撮影は図-2のように音響カメラを水中で固定し、撮影対象物へ斜めに超音波を照射し、音波の反射強度を明暗の画像として記録する<sup>1)</sup>。

### (2) 内部空洞状況調査

岸壁水中部の内部空洞を探查する技術として、超音波のパラメトリック送信技術を用いる手法を研究している<sup>2)</sup>。パラメトリック送信技術とは異なる2つの周波数の1次波（例：105kHzと95kHz）を同時に送信することで、差音（この例では10kHz）を生成するもので、周波数の低い差音は透過性が高い上、高い周波数である1次波の強い指向性も合わせもつ<sup>3)</sup>。

内部空洞探查装置については、室内実験段階であるため、後述する現地計測での分解能検証には音響カメラを使用した。

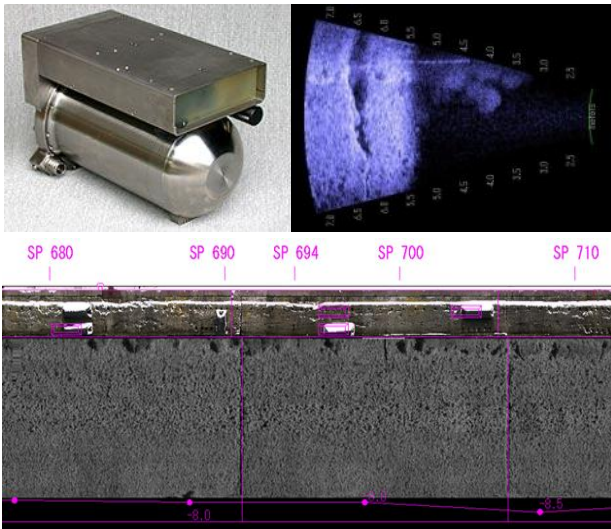


図-1 港湾構造物水中部劣化診断装置（左上：音響カメラ、右上：音響カメラ計測画面、下：モザイク図）

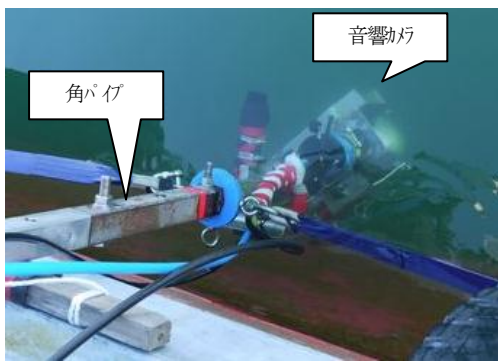


図-2 船舷から水中に固定した音響カメラ（進行方向から岸壁側へ45度傾け音波を照射する）

### 3. 計測機器と計測方法

岸壁水中部調査に使用する主な計測機器およびそれらを用いた計測方法について述べる。

#### (1) 主な計測機器

- a) 音響カメラ（DIDSON：Sound Metrics社）  
超音波を用いたビデオカメラであり、ソーナーヘッド、電源ボックスおよび電源・制御ケーブルで構成される。音の反射強度を明暗で表現することにより、水中の物体の表面状態を可視化する。
- b) モーションセンサ（DMS-05：Teledyne TSS社）  
動揺計測装置であり、センサ部と電源・通信ケーブルで構成される。
- c) RTK-GPS基地局、移動局（SPS851：Trimble社）  
位置計測装置であり、アンテナ、電源・通信ケーブル、受信機本体で構成される。
- d) RTK-GPS方位計（SPS552H：Trimble社）  
方位計測装置であり、アンテナ、電源・通信ケーブル、受信機本体で構成される。

#### e) 水中高度計（PSA-916D：Teledyne Benthos社）

音響カメラから岸壁までの垂直距離を計測、確認するため機器であり、センサ部、電源・通信ケーブルで構成される。

これらを以下の方法で取り付け、計測を行った。

#### (2) 船舶による計測方法

平成24年度の計測では船舶に上述の計測機器を取り付け実施した。図-3のように角パイプ下端に音響カメラ、その直上にモーションセンサ、水中高度計を取り付け、これを図-4の金具で船舷に固定した。

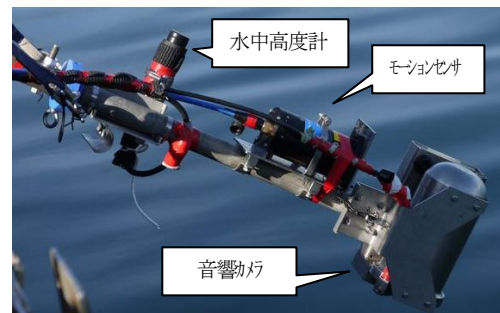


図-3 角パイプ先端へ取り付けした計測機器

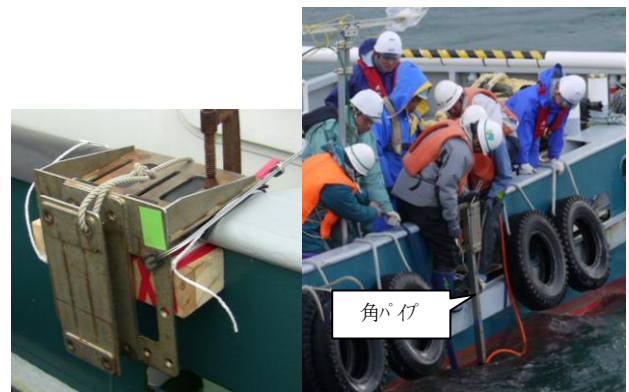


図-4 角パイプを船舷へ取り付けるための金具（左）と計測機器固定水深変更作業（右）

音響カメラなどの水中音響機器による岸壁調査では一度に調査できる深さが限られるため、水深を変更し、数回に分けて調査する必要がある。平成24年度の計測では0.6m、0.9m、1.2m、1.5mに深さを変更し計測を行った。

#### (3) バックホウによる計測方法

平成25年度は陸上から計測できる方法を検討し、汎用機械として広く使用されているバックホウを船に換わる移動体として選定した。

計測方法はバックホウバケットにソーナー昇降装置を取り付け、その下端に音響カメラ等を取り付け、バックホウを岸壁に平行に走行させることで連続的に計測を行った（図-5、6）。

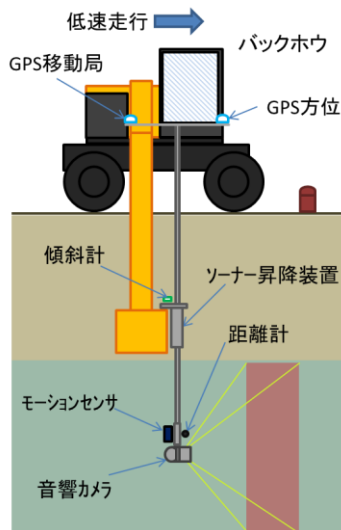


図-5 バックホウを使用した計測方法



図-6 計測状況

#### (4) ソナー昇降装置

平成24年度の計測では、計測機器の水深を変更する作業が数回あったが、海上での作業であり、1回の深さ変更には20分程度を要した。そこで図-7に示すソナー昇降装置を作成した。本装置はラックピニオン方式であり、ラック付き角パイプ（50mm角）、ブレーキモータ、操作ボックスからなる。昇降スイッチでブレーキモータを作動させ毎秒5cmで昇降を行い、昇降スイッチを操作しないときはブレーキがかかる。可動域は3m、ラック付き角パイプを含め180kg程度まで昇降させることができる。

図-8は本装置をバックホウへ取り付けするための金具である。バックホウバケット側面が歪んでいたため木板を挟んで金具を取り付けた。この金具を船舶の船舷に対応できるものに換えることで、本昇降装置を船舶で使用することも可能である。

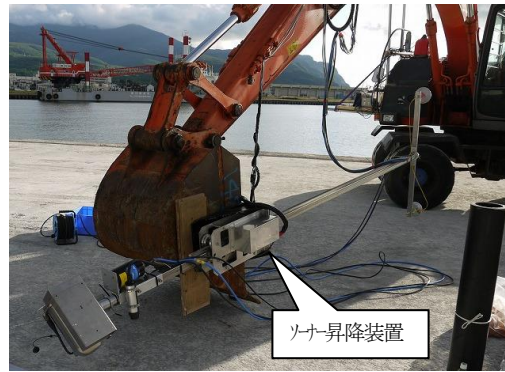


図-7 ソナー昇降装置取付状況



図-8 ソナー昇降装置取付金具のバックホウバケットへの取付状況

### 3. 試験場所および条件

平成24年10月22～27日と平成25年8月26～28日の期間で、岩内港の岸壁計測を実施した（図-9）。両計測期間において、風向や波の状態が近かった平成24年10月24日と平成25年8月28日にモーションセンサにより計測したロール（進行方向に対して左右方向の揺れ）とピッチ（進行方向に対して前後方向の揺れ）の値について比較した。



図-9 試験場所（岩内港）

### 4. 実験結果

モーションセンサによるロールおよびピッチの計測値を図-10、11にそれぞれ示す。横軸は時間、縦軸は角度を表している。バックホウによる計測では計測範囲を20m程度としていたため、70秒以降データがないが、船

船による計測との比較のため横軸を合わせて表示した。

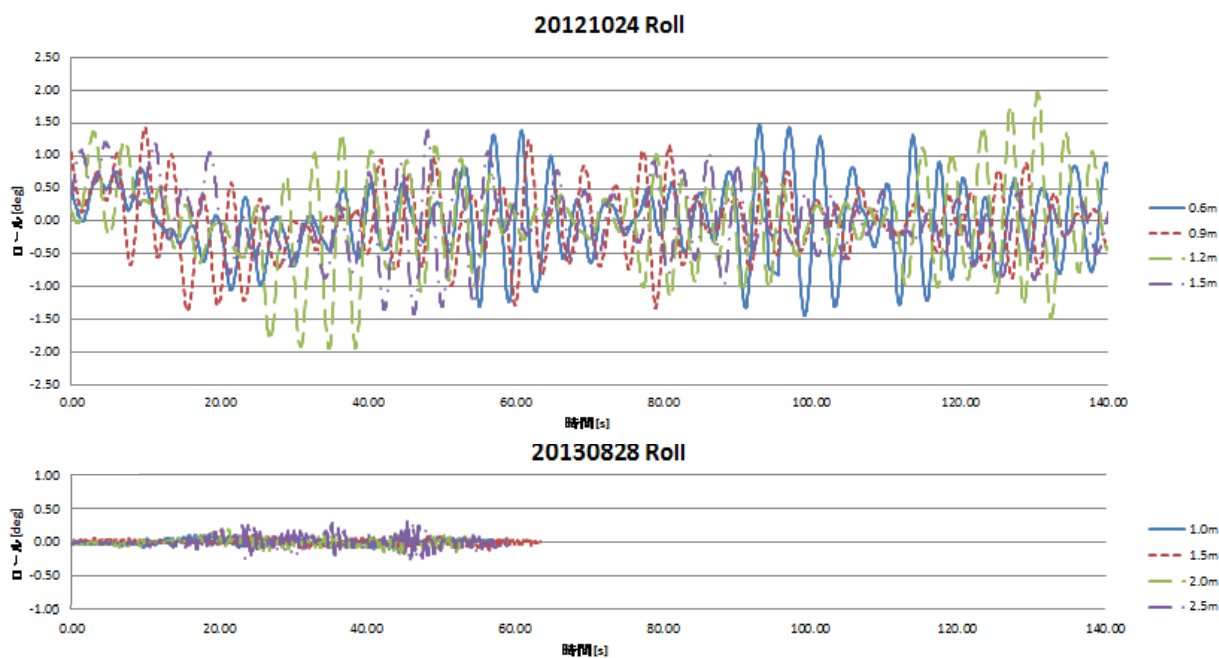


図-10 ロール計測値（上：船舶による計測、下：バックホウによる計測）

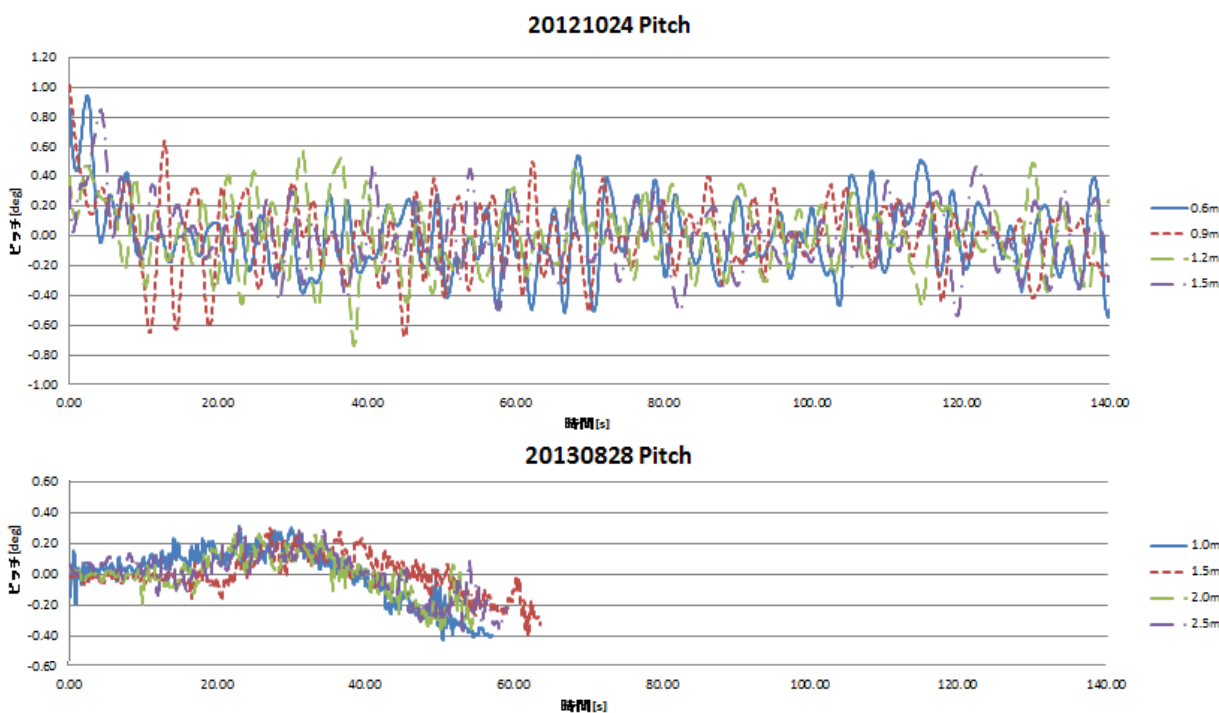


図-11 ピッチ計測値（上：船舶による計測、下：バックホウによる計測）

### (1) ロールの比較

船舶による計測について見ると、水深によらず周期が約4秒、-2度～+2度の範囲で振動していることがわかる。岸壁からの計測機器までの距離が3.5mであるとすると岸壁上の音波の照射位置は±0.1m程度の範囲で上下動する。

バックホウによる計測では振動の周期が短く、揺れは最大で-0.3度～+0.3度程度であり、水深が深い方が揺れが大きくなっている。これは現地計測中に目視で観察し

ていても見られた傾向である。バックホウバケットの先端と岸壁の距離は約1mまで近づけることが可能であり、岸壁から計測機器までの距離を1.5mとするとロールの値による岸壁上の音波の照射位置は最大でも±7mm程度となる。

### (2) ピッチの比較

船舶による計測について見ると、ロールと同様に約4

秒、-0.7度～+1.0度の範囲で振動している。

バックホウによる計測では-0.4度～+0.3度の範囲で振動している。特に船舶による計測との違いは、船舶が周期的な揺れであるのに対し、バックホウによる計測は30秒付近まで上昇していた値が、それ以降下降していく点である。これは計測箇所の地面のわずかな起伏をバックホウが上り下りしたことを表していると考えられるが、ロールの場合と同様に、岸壁と計測機器の距離が近いため、計測に与える影響は小さい。

### (3) 分解能

船舶による計測方法では、岸壁と船舶の接触を避けるため、両者の距離を3.5m程度離すことにしているが、音響カメラの計測では、進行方向から岸壁へ45度傾けた方向へ音波を照射するため、音響カメラと撮影対象の距離は約5mとなる。これにより得られる画像の分解能は3～5cm程度となっていた<sup>1)</sup>。

今回のバックホウを使用した計測手法により、岸壁から垂下したコンクリート板の供試体を撮影した画像を図-12に示す。左が音響カメラによるリアルタイム撮影画像で、右が陸上で光学カメラにより撮影した画像である。緑色の矢印で示す部分は太さ1cmの溝であり、音響カメラによる画像でも確認できる。このことからバックホウにより計測を行うことで分解能を1cmまで確保することがわかった。これはバックホウが1km/h以下という低速、かつ一定速度で走行することによる効果であり、船舶では得難い結果である。

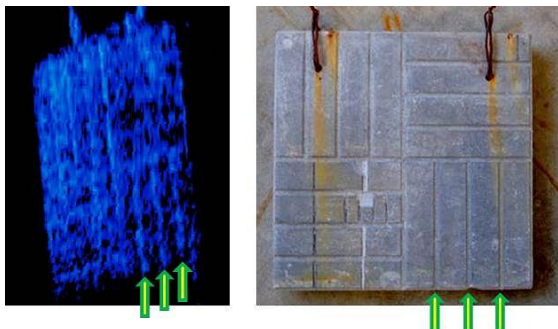


図-12 供試体画像（左：音響カメラ画像、右：光学カメラ画像）

## 5. まとめ

船舶を使用せず、汎用機械であるバックホウに計測機器を取り付け、陸上から岸壁水中部を安定的に計測する手法を検討した。試験から得られた知見を以下にまとめる。

・バックホウによる計測については、船舶のような揺れは抑えられても走行による振動が問題になる、路面の起伏の影響が大きいのではないか、などの懸念があった。しかし、計測の結果、走行による振動はロール、ピッチとも船舶による計測の振動より小さかった。路面の起伏によると見られる揺れも現れるものの、エプロンの陥没が進行していない段階で調査を実施することを考えると、この影響は今回と同程度になると考えられる。

さらに作業性等について感じられた点は以下のとおりである。

・陸上で機器取付などの作業が全て行えるため、船舶を使用する計測よりも簡単かつ安全に実施できた。

・バックホウバケットへの金具の固定は、バックホウバケットの側面が歪んでいたため、木板を挟んで取り付けたが、計測時の走行や波によるずれなどは発生せず、安定して計測を行うことができた。

今後の課題としては、ソーナー昇降装置の対応可能水深が現在の状態では3m程度であり、さらに深い岸壁に対応できる昇降装置に改良するか、深い部分については過年度までのように船舶から計測するか、など運用方法・適用条件を検討する必要がある。

また、複数の計測機器を使用するため配線が非常に煩雑である。そこで平成25年度の試験では事前GPS移動局本体、GPS方位計本体、その他各種配線類をまとめ、ジャンクションボックス化することで現地作業時間の短縮を図ったが、統合型水路測量用ソフトウェアによる機器の設定、計測も慣れていないと難しく、実際にいくつかのデータが欠測したことから、今後は簡易な設定・計測方法について検討し、使いやすい装置とし維持管理に寄与できるものとしていきたい。

謝辞：本試験の実施にあたり、ご協力をいただいた北海道開発局小樽開発建設部小樽港湾事務所の関係各位には、ここに記して感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 土木研究所資料台 4249 号：結氷する港湾に対応する水中構造物点検技術に関する技術開発。
- 2) 第56回（平成24年度）北海道開発技術研究発表会：港湾構造物内部探査技術の開発について。
- 3) 海洋音響学会編：海洋音響の基礎と応用。