

5.4 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

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：寒地機械技術チーム、道央支所

研究担当者：国島 英樹、五十嵐 匡、

高松 茂、堀田 歩、

長瀬 禎、平 伴斉

【要旨】

港湾及び漁港施設の水中部における健全度診断は有効な手法が確立されておらず、潜水士による目視観察に頼っているのが現状である。一方、港内における堆砂の計測は測量船による深浅測量が主体である。このことから、点検・計測作業の効率化を図るため、港湾構造物水中部劣化診断装置、鋼矢板式岸壁点検装置、簡易堆砂計測装置を開発し、港湾及び漁港施設の機能保全に寄与する点検計測システムの検討を行うものである。

キーワード：港湾構造物点検、水中地形計測、音響カメラ、非破壊検査、マルチビームソナー

1. はじめに

港湾及び漁港施設の水中部における健全度診断は有効な手法が確立されておらず、潜水士による目視観察に頼っており、点検時期が船舶の出入りが少ない冬期にまたがって実施されている。冬期間の港湾施設は結氷や流水等により損傷を受ける事があり、また、これらの影響で点検できる期間が短いことから、短期間で効率的な点検手法の開発が求められている。一方、港内における堆砂の計測は、測量船による深浅測量が主体であるが、上記と同様、海象条件が厳しく、冬期間は計測期間が制限されることから、短時間で簡易に計測可能な手法の開発が求められている。

以上のことから、港湾構造物水中部劣化診断装置、鋼矢板式岸壁点検装置、簡易堆砂計測装置を開発し、現状作業の効率化を図ることで、港湾及び漁港施設の機能保全に寄与する点検計測システムの検討を行うものである。

2. 港湾構造物水中部劣化診断装置の開発

2.1 過年度経過

平成19年度は、現状の点検調査方法の実態調査、点検技術の動向調査を実施した。その結果、主要部分となる撮影装置は、可視画像法と音響画像法の得失についての比較検討より、音響レンズを使用した「音響カメラ」の採用が有利と判断した。

調査試験では、水槽及び実海域で音響カメラを使用し、基本性能の確認、岸壁面全体の撮影方法の検

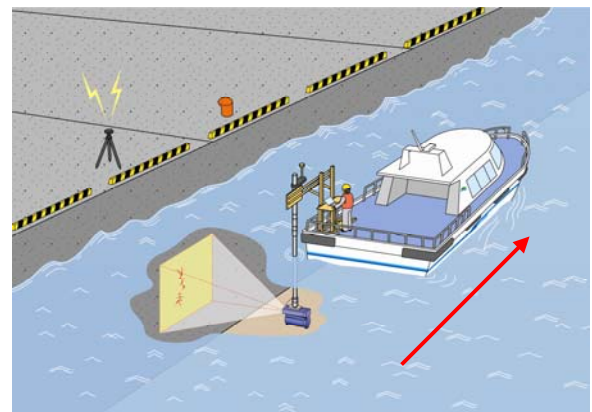
討を行った。その結果、実海域で撮影した画像の分解能は、潜水士の目視によるそれと比較すると、同程度（透明度が悪い状況ではそれ以上）を得られることを確認した。

2.2 平成20年度撮影試験

本年度は、本開発の最終目標である点検計測システムにおいて必要となる構造物水中部全体のモザイク図の作成を行っている。

モザイク図は音響カメラによる画像をつなぎ合わせたもので、以下のようにして得られる。

船舶に艀装されたポール状の架装装置先端に撮影装置（音響カメラ）を固定し、構造物水中部を撮影する。船舶は岸壁面と一定距離を保ちながらゆっくりと航行し、1測線上に撮影する。（図－1）



図－1 撮影イメージ図

この作業を水深に応じて繰り返し、画像解析ソフ

トウェアで岸壁面水中部分全体のモザイク図を作成する。

2.3 撮影試験

平成20年度は、2回の撮影試験を行っており、試験項目・内容は以下のとおりである。

2.3.1 機器類の構成とデータ取得方法の確認

モザイク図を作成するには、音響カメラと岸壁間の距離をリアルタイムに計測し、同時に音響カメラの傾斜による距離補正を行う必要がある。そのため、撮影では音響カメラのほか、音響カメラの位置情報（または岸壁間の実測距離）、姿勢情報を把握するため、RTK-GPS装置、モーションセンサーのほか、音響測深機、傾斜計等の機器類を使用しデータを取得した。（図-2）

機器類の設置は、架装装置（ポール）直付、船体直付の2系統とし、得られたデータから、画像解析ソフトウェアに対し最適なデータを提供する機器類の構成を検討する。

データ取得は、系統別に2台、画像取得用に1台の計3台のPCで行い、データ取得時刻はGPS時刻データにより同期している。

なお、撮影前には音速度を撮影水深にて測定したほか、撮影箇所となる岸壁では、RTK-GPS装置による測量を実施し、処理画像の基準位置となる標定物（供試体、スタッフ等）を設置した。

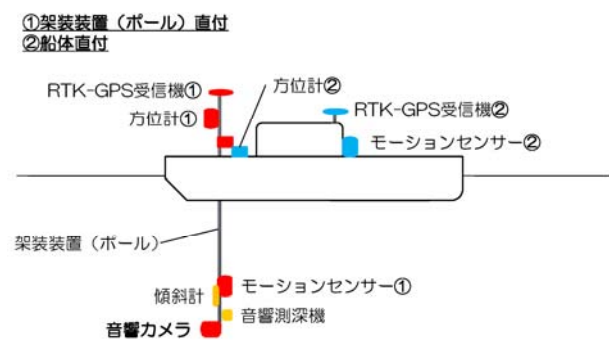


図-2 機器構成図

2.3.2 架装装置性能の検証

音響カメラを水中で固定するための架装装置（試作機）の全景を写真-1 に示す。

主要部材であるポールは伸縮可能で、-14m岸壁点検を想定しポール最伸長を13m、また、可搬性を考慮し最縮長を2.7mとした。撮影位置は1～13mの範囲で固定可能で、手動のワイヤーロープ巻き上げ機で位置調整し、エアの加圧により撮影位置でポ

ールを固定する仕組みとなっている。

架装装置の性能については、ポールの伸縮動作、航行時の耐久性等の確認と、最深部（-14m）撮影時の画像の有効性を確認する。また、現場適合性については、可搬性、艀装方法、サイクルタイムについて確認した。



写真-1 架装装置

2.3.3 画像解析ソフトウェアによるモザイク図作成

モザイク図は、2つの手法（系統的幾何補正、非系統的幾何補正（マッチング処理））により画像解析ソフトウェアにて作成する。前者は音響カメラの位置情報・姿勢情報により作成する手法であり変状位置が正確に示され、後者はマッチング手法による滑らかな画像が特徴である。

撮影試験で得られた画像から、画像解析ソフトウェアで作成したモザイク図を写真-2に示す。上は全体写真（約9×150m）で下は供試体（45×45cm）設置部分の拡大図である。供試体位置が各測線（横方向）にずれ、位置精度に課題が残った。

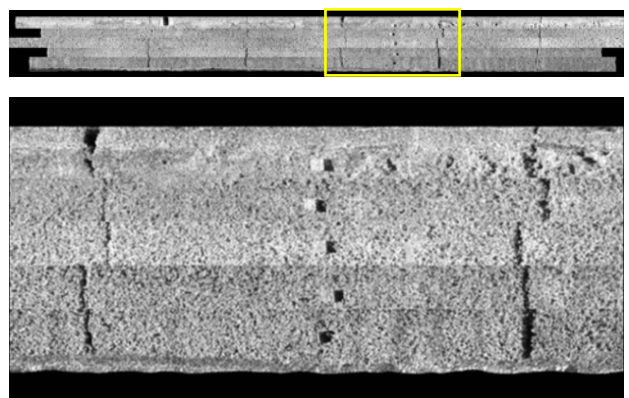


写真-2 モザイク図

今後は、架装装置を含めた計測方法を改善し位置精度を高め、実運用面を考慮してモザイク図作成方法を決定する必要がある。

3. 鋼矢板式岸壁点検装置の開発

3.1 過年度経過

平成 19 年度は、現状の非破壊検査技術の動向調査により抽出した超音波法、弾性波法、電磁誘導法による、鋼矢板式岸壁の縮小モデルを水槽内に製作して予備試験を行い、超音波(SH 波)法の有効性が最も高いと判断した。

機能確認試験では超音波(SH 波)法による点検性能向上を目的に、探触子の大型化や複数化による効果、探傷器機種による性能比較、非水溶性の接触媒質の性能確認、探触子圧着力の把握等を腐食の無い健全矢板や実際の現場で使用されていた鋼矢板を用いて行った。その結果、探触子の大型化や複数化による検知性能向上よりも鋼矢板表面への密着性が重要であったため、小型かつ単体探触子の方が現場適合性が高いことがわかった。

また、非水溶性の接触媒質の性能については、音響シートを用いてエコー感度による性能比較を行った。シート厚 0.5mm と 1.0mm では、エコー感度に大きな差異は見受けられず、従来通常使用されている接触媒質との性能差は、3dB 程度のエコー感度の低下はあるものの、ほぼ同等の性能を有していることがわかった。このことから、接触時の耐久性を考慮するとシート厚 1.0mm の音響シートの方が優位であると判断し、探触子圧着力については 31N/cm² 以上必要であることがわかった。(写真－3)



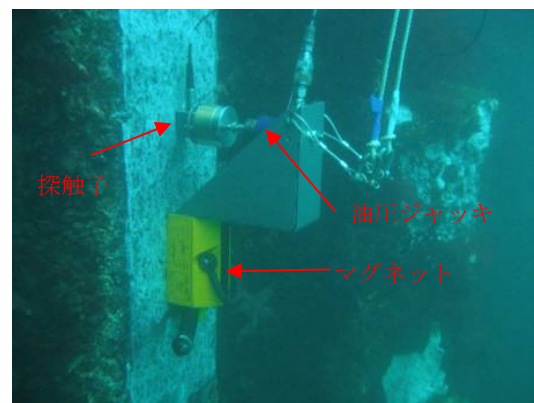
写真－3 接触媒質機能確認試験

3.2 平成 20 年度データサンプリング試験

本年度は、過年度の検討での課題となった、探触子の接触性に対する課題、様々な規格の鋼矢板や様々な腐食劣化状態でのデータを取得し、腐食の無い健全矢板を基準としたエコー波形との比較による腐食劣化判定手法について検討を行うこととした。

3.2.1 探触子の接触性について

超音波(SH 波)法による鋼矢板の点検手法は、探触子から発射した超音波を鋼矢板へ入力し、矢板表面付近を伝搬した超音波の反射状態を探傷器により波形として取得する事で、波形の形状によって場所や劣化程度を把握するものである。そこで、水中で直立した状態で 31N/cm² 以上の圧着力を確保することから、マグネットと油圧ジャッキによって水中の鋼矢板へ固定が可能な治具を製作した。(写真－4)



写真－4 探触子圧着治具

また、鋼矢板への超音波入射の確認や室内にて設定したエコー感度との補正について検証するため、透過法(二探触子法)による計測を実施した。

結果として、製作した治具は所定の圧着力を確保できたが、設置磁石の影響と想定される定位置エコーが確認された。このため、治具の配置の工夫や小型化が必要であると判断される。

透過法による超音波入射の確認については、確実にエコーの入射が確認出来たが、探触子を上下方向に 2 個設置する必要があり作業性が悪いといった欠点があった。これにより、1 個の探触子にカップリング(SH 波+入射確認のための垂直探傷)機能を組み込んだ探触子の試作を行い、有効性の確認が必要であると判断された。

3.2.2 基準波形による腐食の検知について

室内試験において透過法でのエコー波形の立ち上がり率が 80%となる感度を室内基準とし、Ⅱ型～Ⅳ型までの鋼矢板で計測を行った感度条件に基づいて計測できなかったⅤ型及びⅥ型の感度条件を想定して室内基準エコー感度の設定を行った。一方、現場で計測を行った結果、室内基準感度に対し現場感度の

補正は、6dB 未満とわずかであることが確認された。
また、腐食の影響が少ない健全な矢板で取得された波形を基準波形とし、腐食していると想定される矢板での波形を重ね合わせる事により腐食の判定を行う事が可能と判断された。(図-3)

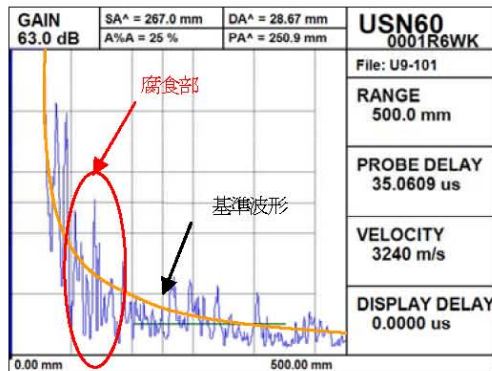


図-3 腐食判定波形の一例

4. 簡易堆砂計測装置の開発

4.1 過年度経過

平成 19 年度は、北海道内の港内堆砂状況調査の現状に関する調査、水中地形計測技術の動向調査等を実施した。その結果主要部分となる計測装置は、船舶を用いず陸上からの計測の効率性や分解能等の比較検討により「マルチビームソナー (SEABAT8125 型)」の採用が妥当であると判断した。

計測試験では、岸壁上から港内海域に向けソナーヘッドを 0 度～30 度傾け 180 度程度回転させて計測し、通常の深浅測量での方法により計測した基準データとの比較検討を行った。

4.2 平成 20 年度計測試験

本年度は、マルチビームソナーを岸壁等の陸上から安全に垂下させ、ソナーヘッドを回転して計測が可能な架台の試作を行い岸壁上からの計測を行った。(図-4)

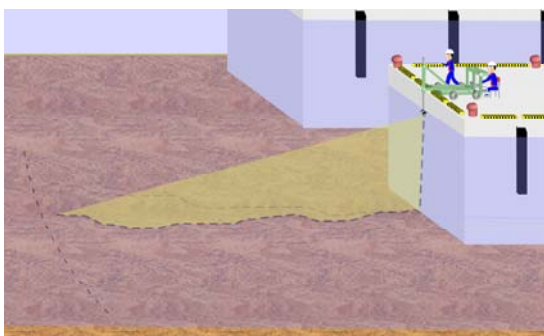


図-4 計測イメージ図

4.2.1 計測架台の機能検証

岸壁上等からマルチビームソナーヘッドを海面下 1m 程度まで安全に垂下させる計測架台(試作機)の全景を写真-5 に示す。



写真-5 計測架台(試作機)

装置の機能として、防波堤上等から水面下 1m 程度ソナーヘッドを垂下させて計測する事を想定していることから、過年度の調査結果より伸縮ポールの最伸張を 6m、また、可搬性を考慮して架台全高は 1.8m とした。ポールの伸縮はワイヤーロープによる巻き上げ式で、ポール本体に取り付けたハンドルを回転させることによりソナーヘッドも追従して回転する仕組みとなっている。

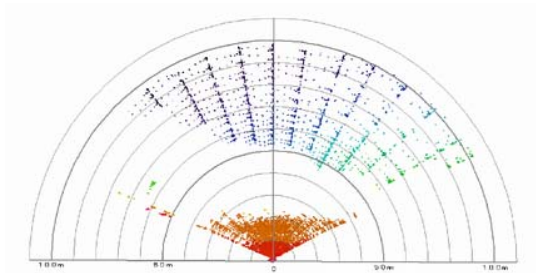
計測架台の構造は大きく 2 つに分かれており、伸縮機構を備えたセンサー類を取り付ける計測装置部と前者を載せて岸壁前面まで張り出す架台部となっている。計測装置部と架台部は現地にて分解・組立を行う事によりワゴン車両に搭載して運搬することが可能で、センサー類を含めて組立に約 1 時間、分解に 30 分程度かかった。

また、作業人員は、計測装置部の重量が約 180 kg あることから 4 人程度必要であった。

4.2.2 計測データの評価

計測架台(試作機)での計測は、ソナーヘッドを 20 度及び 30 度傾斜させ、それぞれ回転に要する時間を変化させ、水平方向に回転しデータを取得した。また、同じ海域をマルチビームによる通常の深浅測量を実施し、基準とする水深データの取得を行った。

試験を行った海域の海底地形が、岸壁前面沖合方向 17m 付近から 50m 付近まで勾配がやや急になっているため、方角によってはデータが取得できない状態であったが、音波の到達範囲は概ね 100m 程度あり機器の性能値を満足する事が出来た。(図-5)



図ー5 音波到達範囲図

4.2.3 正用センサーの評価

モーションセンサーの特性として、傾斜した状態での出力特性に不安があることから伸縮ポールに垂直に取り付けた結果、動揺に対するデータの補正は有効であったが、ソナーヘッド傾斜角度と伸縮ポールの動揺とのズレが生じた可能性があった。これにより、モーションセンサーの設置位置について今後検討が必要である。

5. まとめ

今後は、各点検・計測技術の開発を更に進めるとともに、取得データの管理、解析手法を含めた点検計測システム全体の検討を行い、港湾及び漁港管理者による施設の機能保全に貢献していきたい。

Technical Development of Inspection Technology for Underwater Structures in Ports Subject to Freezing

Abstract : Soundness diagnosis for submerged parts in harbors and fishing ports is currently dependent on visual observation by divers, since no effective methods for such diagnosis have been established. Meanwhile, sedimentation measurements in ports are mainly conducted by sounding. To improve the efficiency of inspection and measurement operations, devices for diagnosing deterioration in submerged parts of port structures, inspection of steel sheet pile quay walls and simple sedimentation measurement will be developed to consider inspection and measurement systems that can contribute to the maintenance of harbor and fishing port facility functions.

Key words : Inspection of port structures, underwater terrain measurement, acoustic camera, nondestructive testing, multibeam sonar