

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、

堀田 歩、長瀬 禎、平 伴齊

【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淺測量が主体である。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、及び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。また、冬期間の港湾施設は、結氷や流水等により損傷を受けることがあり、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、測量船による深淺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、及び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 20 年度撮影試験では、音響カメラの撮影画像から岸壁面水中部全体写真（以下、モザイク図）を作成するため、使用する補助機器類の構成とデータ取得方法の確認及び音響カメラを水中で固定する架装装置の検証を実施した。

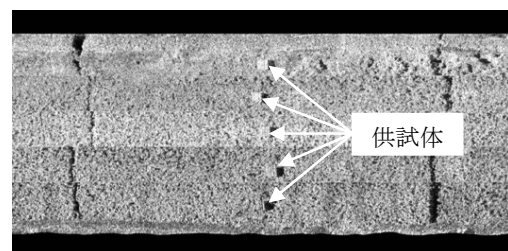
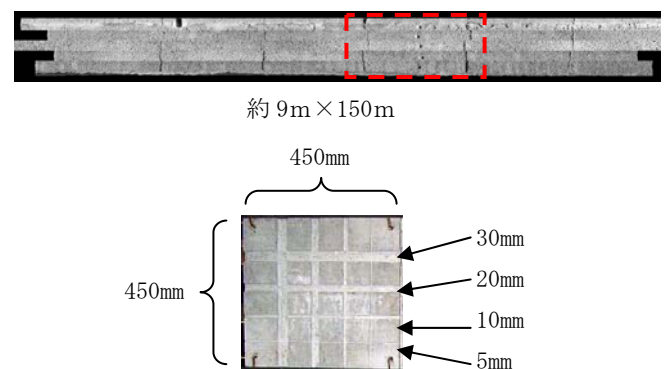
また、画像解析ソフトウェアで作成したモザイク図から、分解性能及び位置精度を確認した。

写真－1（上）に作成したモザイク図を示す。分解

性能及び位置精度を確認するため、予めコンクリート平板表面にクラックを疑似再現した供試体（写真－1（中））を製作し、撮影する測線（水深 1.0、2.5、4.0、5.5、7.0m）において岸壁面水平方向同位置に設置した。

写真－1（下）は供試体付近部分を拡大したものである。設置した供試体位置を比較した結果、最大 2m 程度のばらつきが見られ、位置精度に課題が残った。

また、供試体の撮影画像と疑似クラックの比較から、約 3 cm の分解性能を確認した。



写真－1 モザイク図

2.2 平成 21 年度撮影試験

モザイク図の位置精度を向上させるため、平成21年度撮影試験を以下の項目・内容で実施した。

2.2.1 補助機器類の変更

平成 20 年度撮影試験では、音響カメラと岸壁面との離岸距離の計測誤差が岸壁面水平方向の位置精度に大きく影響していることがわかった。このため、音響カメラと岸壁面との離岸距離を高精度で計測する方法を検討した。

平成 21 年度撮影試験では、高い周波数（500kHz）を用いた音響測深機を使用し、前方または後方への撮影時に対応するため 2 台の音響測深機を取り付けた（写真－2）。

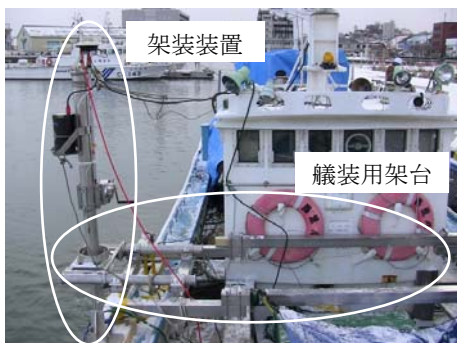


写真－2 音響測深機

2.2.2 架装装置改造

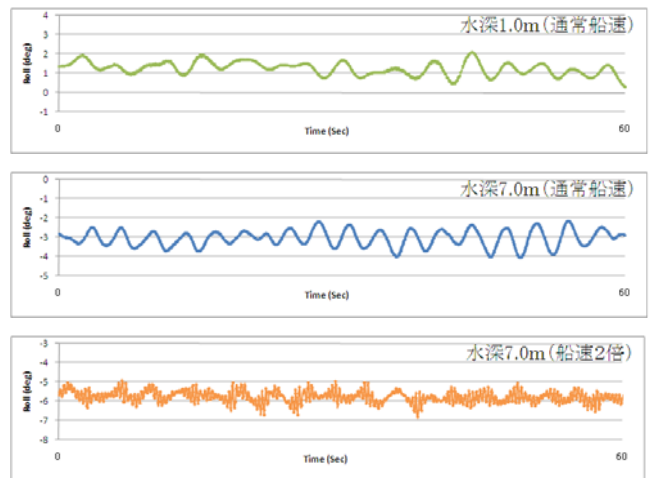
平成 20 年度撮影試験では、ポール及びポール下部先端に取り付けた音響カメラ等は、航行時に水流抵抗を受けてポール自体に撓みが生じ、ポール上部先端部に取り付けた RTK-GPS アンテナとの間に位置誤差が生じた。このため、多段式ポール継ぎ目の重複部分を改良し、撓みの少ない構造に改造した。

また、架装装置を艀装するため単管パイプにより架台を組んだが、必要な強度が得られず振動の原因になったほか、設置に多くの時間を要し運用面で問題が明らかになった。このため、架装装置を船舷に短時間で確実に艀装する方法を検討し、艀装用架台を製作した（写真－3）。



写真－3 架装装置艀装用架台

次に、架装装置の振動を把握するため、音響カメラ近傍に取り付けたモーションセンサから取得したロールデータを条件別に比較した。図－1 は上から水深 1.0、7.0m(通常船速 1kt 程度)、7.0m(船速 2 倍)撮影時で、縦軸をロール(deg)、横軸を時間(s)とし、時間は計測データより任意の 60 秒間で抽出した。撮影時間の短縮を目的に船速を 2 倍にしたところ、ポールの振動と思われる細かな揺れを確認した(下)。その他(通常船速(上)(中))では、船舶自体の動揺と思われる周期の長い揺れのみで、架装装置自体の振動はほとんど無かった。



図－1 各水深・速度におけるロール値

2.2.3 画像解析ソフトウェア改良

平成 20 年度撮影試験において、画像解析ソフトウェアは、撮影条件や計測状況によってはモザイク処理が困難になることがわかった。このため、ソフトウェアの改良を行いモザイク図の作成を実施した。

また、岸壁面水中部の画像に、光学式カメラで撮影した陸上部の画像を加え、水陸一体化したモザイク図を作成し検討を行った（写真－4）。



写真－4 モザイク図（陸上部+水中部）

以上より、計測機器等の変更で位置精度は向上し、精度の高いモザイク図を得ることができた。

3. 鋼矢板式岸壁点検装置の開発

3.1 過年度経過

平成 20 年度は、過年度の検討で課題となった、超音波入射の確認と、様々な規格の鋼矢板や腐食劣化状態でのデータを取得し、腐食劣化判定手法について検討を行った。

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して、場所や劣化程度を把握する。鋼矢板への超音波入射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。

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確認ができ、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。しかし、31N/cm² 以上の探触子圧着が必要ことからマグネットと油圧ジャッキによる固定治具を有する探触子を上下に 2 組設置する必要があったため作業性が悪いといった課題があった。

また、腐食劣化判定手法については、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ことで腐食の判定が可能と判断した。

3.2 平成 21 年度実施概要

本年度は、鋼矢板への超音波入射の確認が 1 個の探触子にて可能なカップリング機能を組み込んだ探触子の製作を行い、腐食が想定される岸壁での機能確認を行った。

また、本研究目的である潜水士作業に頼らずに鋼矢板の点検を行うため、探触子設置やケレン装置を一体化する架装置を試作し、遠隔から鋼矢板へ探触子を設置して計測可能かの作業性について把握するため、陸上にてバックホーを用いた動作確認試験を行った。

3.2.1 探触子に関する検討

過年度からの超音波(SH 波)法によるデータ取得状況から鋼矢板の板厚による超音波波形の違いの傾向が判断しにくいことから、板厚計測の取得も必要であると判断し、カップリングチェックに用いる受信側振動子を、垂直縦波用振動子(SV 波)を用いて板厚計測と兼用する事が可能か室内試験を行った。

その結果、カップリングチェックで SH 波を送信し、垂直縦波振動子(SV 波)にて受信を行うと探触子圧着力に関係無く受信波形が確認され、カップリン

グチェック機能としては有効では無いことが判明した。このことから、SH 波用振動子同士(送信・受信)を組み込み、更に板厚計測用垂直縦波(SV 波)用振動子を組み込んだ探触子の製作を行った(図-2)。

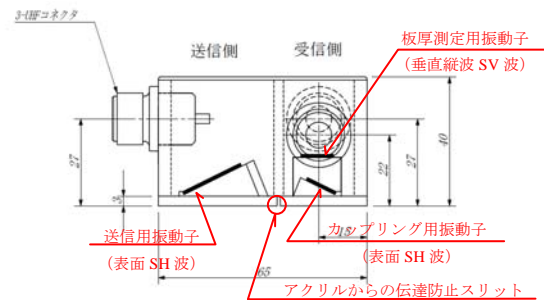


図-2 探触子姿図

3.2.2 現場試験による検証

探触子を新たに製作したことから室内試験において基準感度を再度設定し、現場において計測試験を行った。カップリングチェックによる感度設定については、透過法(SH 波)による 80%波形立ち上がりを目安に設定を行い、室内試験において設定した値に対し、-4dB から+6dB であり、昨年と同様の結果を得た。

超音波(SH 波)法による腐食劣化判定については、室内試験にて得られた基準波形を重ね合わせて腐食状況の確認を行った。この結果、腐食と判定されたケースが 43%確認でき、条件が合えば腐食判定がかのうであることが確認された。しかし、同一箇所でも上下方向を計測した場合、腐食が確認されない場合があることから、探触子と鋼矢板表面の接触状況の良否により取得波形に影響することが想定された(図-3)。

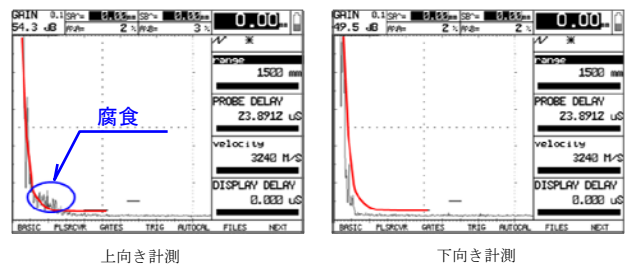


図-3 同一箇所での腐食判定の一例

新たに探触子に内蔵した垂直縦波振動子(SV 波)により板厚計測を行った結果、汎用超音波厚み計との計測値の比較では最大 2mm 程度の測定誤差が確認されたが、概ね両者は近い値を示し有効性が確認された。

3.3.1 架装装置

試作する架装装置について、必要となる機能及び構成機器を整理した。

(1) 位置決め機能

車輛の前後進、アーム動作により計測箇所への位置決めを行う。このため、油圧ショベル・アーム先端アタッチメントに取付可能な構造とした。

(2) 探触子圧着機能

鋼矢板に対し均等に押付可能な追従性と、探触子が計測時に鋼矢板を垂直に押し当てる力（ $31\text{kN}/\text{cm}^2$ 以上）の反力確保が必要となる。このため、伸縮バネ、ボールジョイントの使用や過負荷を防止する機能を備えることとした。

(3) ケレン機能

矢板表面へ超音波を確実に入射させるため、表面の腐食及び付着物を除去する必要がある。このため、サンダー、ブラシによるケレン装置と、ダストを除去するスクリューを備えることとした。

また、(2)、(3)各機能の動力は圧縮空気とし、油漏れ等の懸念に配慮した。

(4) 監視機能

位置決め、作業状況確認のため、地上のモニターで遠隔操作（パン、チルト、ズーム等）が可能な水中カメラを取り付けた。

図-4に架装装置の外観を示す。

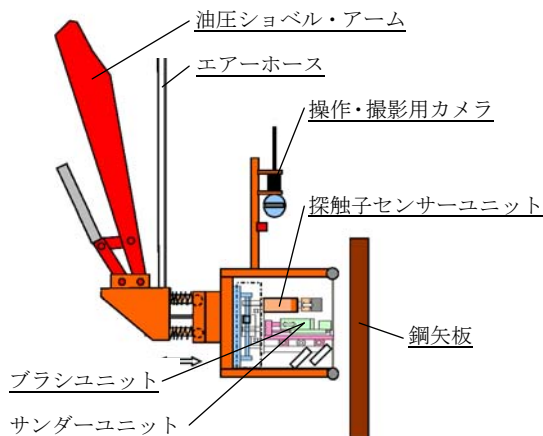


図-4 架装装置

3.3.2 動作確認試験、超音波探傷確認試験

試験は、コンクリートベースに仮設した鋼矢板を現場矢板に見立て、陸上フィールドにて実施した。なお、本年度はケレン機能を除いた機器構成で実施した。



写真-5 動作確認試験、超音波探傷確認試験

動作確認試験では、架装装置の位置決めを補助員による誘導で行った場合と補助員に頼らず監視カメラのモニター映像で行った場合で動作確認を行った。

補助員による誘導がある場合には、精度の高い位置決めが可能であった。しかしながら、監視カメラモニターによる操作では、矢板と架台との距離及び傾斜（水平、鉛直方向）の把握が困難であり、距離計や傾斜計などの補助装置が必要であることがわかった。



写真-6 監視カメラのモニター映像

超音波探傷確認試験では、探触子のカップリングチェック機能、SH波計測において、測定感度が室内試験にて計測した基準感度より低い感度で鋼矢板への超音波入射を確認した。板厚計測においては、鋼矢板II型で誤差はほとんど無く、鋼矢板IV型でも0.2mmであり、架装装置による計測においても板厚計測の有効性を確認した。

このほか、H21年度は、鋼矢板護岸腐食点検システム（仮称）の機能要件を検討した。

4. 簡易堆砂計測装置の開発

4.1 過年度経過

船舶を用いず、陸上からの計測を行うため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。

岸壁上から水面下へソナーヘッドを垂下可能な架台を試作して、港内海域に向けソナーヘッドを水平方向に回転計測したデータと、通常行う船舶を用いた深浅測量により計測した基準データとの比較検討を行った。

採用したソナーは120度の扇状にスワ幅を有していることから、ソナーヘッドを20度及び30度ロール方向に傾斜させ、水平方向に5度から10度刻みに回転し、10秒間静止する方法で、機器の性能値である半径100m程度の範囲を計測した結果、ソナーを垂下させる架台の機構や方位・動揺等を補正するセンサーの設置方法に課題が生じた。

4.2 平成21年度の概要

本年度は、昨年度の課題を基に、試作した架台の改造を施した後、計測試験を行った。

改造点としては、磁気方位センサーによる方位取得が困難な事からGPSによる方位取得を行うものとし、180度以上のソナー水平回転角度を確保できる構造とした。また、ソナーを垂下させる伸縮ポールが波浪の影響が少なくなる様に固定方法の見直し、動揺計の設置場所の変更を行った。

また、海氷が海域へ及ぼす影響を把握するためマルチビームソナーを使用して実際に海水下面を計測し、データ取得に関する技術的課題の抽出及び、サロマ湖湖口に冬期間設置される防氷堤(以下、アイスブーム)点検作業の効率化等を目的とした、水中カメラによる撮影試験を行った。

4.3 計測試験結果

4.3.1 陸上計測架台の検証

ソナーヘッドを垂下させる多段伸縮ポールの先端の第1段ポールにウインチワイヤーを連結させ、自重により順次繰り出す方式に変更した事により伸縮動作が簡便となった。また、伸縮ポール上部でのGPS方位取得を行い、且つポールの回転をウインチワイヤーが妨げない様に、ワイヤー取り回しのための梁を架台上部に新たに設けた事により、180度以上の回転計測範囲を確保できた。さらに、ソナーヘッドの上面へ動揺計を設置することにより、動揺及びソナーヘッド傾斜角度がダイレクトに計測できる事から、ビーム計測座標の精度が向上された。しかし、改造による重量の増加や架台の付加等によって可搬性は劣るものとなった(写真-7)。



写真-7 陸上計測架台組立状況

4.3.2 陸上計測結果

通常の船舶による深浅測量値を基準値とし、陸上計測架台を用いて水平方向に回転させた計測値を比較した結果、半径20m程度までの距離迄は基準値と同様な計測値であったが、それよりも遠方なほど大きな誤差が生じる結果となった(図-5)。

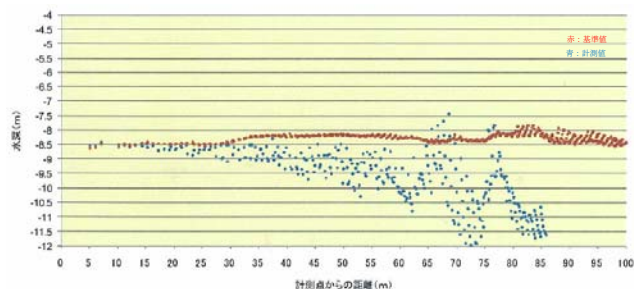


図-5 陸上計測データの一例

今回の誤差要因として想定されたのは、試験計測海域は、河川からの流入がある港内であることと、港口に近く河川の河口にあたる様な位置関係であったことから、淡水と塩水の間で音速のバラツキがあったと考えられた。また、陸上から遠方の海底面へビームを発射して計測する本方式では、船舶等による計測に比べビームの入射角が傾斜する事から、ビームの屈折や湾曲に対する影響が大きかったと想定された。今後は、遠方計測値のスクリーニングの検討や、海域条件による問題点の整理等を行う予定である。

4.3.3 海水下面計測

通常の深浅計測では、ソナーヘッドを海底側に向け計測を行うが、浮遊する海水下面形状を計測するためにはソナーヘッドを上方へ向けて計測することから、計測時の機器設定や取得したデータに関して知見を得る目的により計測を行った。

当初、サロマ湖湖口に設置されたアイスブームに

捕捉された流氷を対象に計測する予定であったが、流氷が接岸しなかった事から、近隣漁港内の結氷下面を対象に計測を行った(写真-8)。



写真-8 海氷下計測状況

計測結果から、水面付近に平面状に広がる結氷下面を十分に捉える事が可能であったが、20m程度以降はビームの反射角が鋭角となることから、計測されなかった(図-6)。今後は、立体的な海氷を計測し、海氷計測の更なる知見を得る予定である。

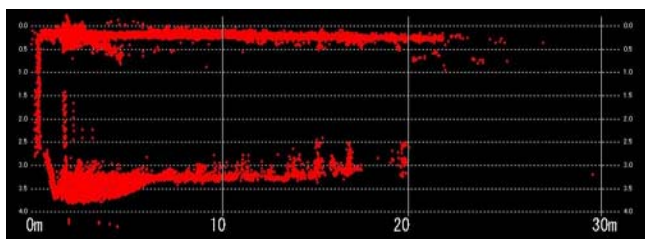


図-6 海氷下計測データ(水深 2.5m より計測)

4.3.4 水中撮影試験

アイスブーム設置期間中における潜水点検の効率化や安全性向上を目的として水中カメラによる撮影試験を行った。アイスブームは1スパン 110m程度あり全 13 スパン設置され、更に湖口正面に位置するスパンは、下部にチェーン等によるネットが設けられ、流氷を捕捉する様になっている。

水中カメラを取り付けたポールを舷側に取り付け、低速(1kt から 2kt 程度)で 2m から 3m の間隔を置いてアイスブームに沿って撮影を行った結果、ロープやチェーンを確認することが可能であった(写真-9)

今後は、カメラ設置位置や撮影範囲からカメラ台数の検討を行い、最適な撮影手法の検討を行う予定である。



写真-9 アイスブーム水中画像

5. まとめ

今年度は、過年度に行った検討や試験結果からの課題を検証するため、装置の改良、試作等を行い現場試験によりデータの収集・解析、現場作業性等の把握を行った。

港湾構造物劣化診断装置では、架装装置及び画像解析ソフトウェアの改良により、取得する音響カメラ画像の安定性が向上し、画像解析により作成されたモザイク図についても精度の向上が図られた。

鋼矢板式岸壁点検装置は、1 個の探触子で超音波入射確認・劣化診断・板厚計測が可能となった。また、架装装置の試作により現場設置に関する課題の把握等を行い、点検システムの機能要件を整理した。

簡易堆砂計測装置は、更なる遠方計測値のスクリーニングの検討や、海域条件による問題点の整理が必要である結果であった。また、海氷下面計測は、港内結氷下面の計測を行い、海氷計測の知見を得ることができた。

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