14.7 寒冷海域における沿岸施設の水中調査技術に関する研究

研究予算:運営費交付金(一般勘定) 研究期間:平23~平27 担当チーム:技術開発調整監付(寒地機械技術) 研究担当者:柳沢 雄二、片野 浩司、 山口 和哉、五十嵐 匡、 永長 哲也、田中 隆夫、 平 伴斉

【要旨】

寒冷海域においては、近年の環境変化により海氷の動きが活発化し、港湾・漁港構造物の劣化が加速される懸 念がある。劣化が加速され老朽化した沿岸施設は、中詰め材の吸い出しやこれに起因する陥没事故などが発生す る危険性がある。また、水中構造物に損傷を与える可能性がある海氷の形状調査は行われておらず、十分にその 影響が把握されていない実態がある。

このため、本研究では、水中構造物の内部状況を探査可能な計測技術と沿岸施設に影響を及ぼす海氷形状の調 査技術を確立することを目的とする。

平成23年度は、コンクリートや鋼矢板を透過可能な超音波によるパラメトリック送信技術を使い構造物の内部 状況探査試験を行った。また、港内の海氷の形状・挙動を陸上から効率的に計測する方法を検討した。

キーワード:港湾構造物点検、空洞化、パラメトリックソーナー、海氷下面形状

1. はじめに

寒冷海域においては、近年の環境変化により海氷の動き が活発化し、港湾・漁港構造物の劣化が加速される懸念が ある。

また、港湾施設のストックは、建設後50年を経過する 岸壁が5年後には全体の約14%、更に15年後には約42%と 急速に増大することから、今後一斉に補修や改修を必要と することが予想される。

安全で安心な沿岸域を継続的に利用するためには、港 湾・漁港施設の安全性の向上や効率的な保全対策が必要で あり、従前の事後的維持管理から予防保全的管理へと転換 し、経済的な維持管理による機能の保持が求められている。

一方、現状の港湾・漁港施設の水中構造物の点検調査は、 主に潜水士にて実施されているが、人手不足や低水温時に 効率が悪く、コスト高などの問題がある。特に、効率的に 水中での構造物内部探査を行う技術は現在なく、管理者の 要望は高い。

本研究では、水中構造物の内部状況を探査可能とし、 中詰め砂の吸い出し状況など構造物内部の空洞化や水中 構造物表面の欠損状況を併せて計測し、可視化表現を可 能とする計測技術の開発や構造物に対する影響を把握す るため、寒冷海域の沿岸施設に近づく海氷の下面形状や 挙動を超音波計測機器などの音響特性を利用して効率的 に計測する技術を開発する。



写真-1 左:岸壁内部の空洞化により陥没した路面(補 修時の写真)、右:矢板岸壁の損傷による裏込 土の吸い出し

本研究は、東京大学生産技術研究所との共同研究(研 究期間:平成23~25年度、研究題目:「沿岸施設におけ るコンクリート構造物内部の空洞化診断及び水中計測技 術に関する研究」)、科学研究費補助金研究(研究期間: 平成23~25年度)、研究課題名:「コンクリート構造 物内部の空洞化及びコンクリート打設作業状況の音響映 像診断技術開発」にて行う。

水中構造物内部の劣化・損傷状況探査及び可視化技 術の開発

水中構造物内部の空洞位置を計測するため、超音波に よる音響プローブを使った計測試験を行った。

音響プローブは市販のパラメトリックソーナーを使い、 試験の結果からパラメトリック送信技術の内部空洞探査 への有効性を確認した。

なお、試験にあたっては北海道開発局室蘭開発建設部 室蘭港湾事務所によるフィールド提供等の協力を得た。

2.1 計測方法の検討

港湾構造物の内部空洞探査では、外側のコンクリート や鋼矢板を透過して内部の空洞位置を計測可能な超音波 による音響プローブを使用した。音響プローブは対象物 に対し音波を発信し、媒体が変化する境界面などで反射 した音波(反射波)を計測することで、それらの時間差 から対象物を確認できる。

音響プローブで使用する周波数は、通常、計測精度を 高める場合においては指向性や分解能が良い、高い周波 数の音波を使用するが、コンクリートや鋼矢板の表面で の反射や屈折で散乱減衰することから透過性が悪い(図 -1上)。逆に、透過性の良い、低い周波数では音波の指 向性や分解能が劣るため計測精度が下がる(図-1下)。







図-1 周波数の違いによる計測

このため、高い指向性や分解能を保ちコンクリートや 鋼矢板を透過可能な、パラメトリック送信技術による音 響プローブを使用した(図-2)。

パラメトリック送信技術は、高い周波数の音波(1次) 波)を変調し、発生する低い周波数の音波(2次波)を 指向性の高い状態で送信する技術である。

【パラメトリック送信技術】 指向性を保ったまま透過する



図-2 パラメトリック送信技術による計測

2. 2 現地試験

パラメトリック送信技術を使った音響プローブの探査 能力について確認試験を行った。

試験では、パラメトリックサブボトムプロファイラー (SES2000 Innomar 社製 写真-2)を使い、岸壁エプ ロン部から下面の空洞箇所に向かって計測した。 試験場所、試験方法等を以下に示す。



写真-2 SES2000 (左:本体、右:ソーナー)

・試験場所 追直漁港(北海道室蘭市)



写真-3 追直漁港(全景)



図-3 追直漁港(平面図)





・試験日時

平成23年8月9、10日

・試験方法

試験方法を図-5、及び写真-4に示す。

岸壁エプロン下にある空洞部を計測するため、海水を 満たしたドラム缶上部中央にソーナーを下向きに設置し た。

また、SES2000 が使用する周波数帯の超音波は空気

中では伝搬しにくいため、計測方向に空気層ができない ように湿らせたアスファルト上に布を敷き、その上に散 水した後、海水を満たしたレジャー用のプールを介して ドラム缶を設置した。



図-5 計測方法



写真-4 計測方法

・試験概要・結果

発信した超音波の1次波を100kHzとし2次波10、8、 6、5、4kHzを使って透過試験を行った。

図-6 に試験結果の一例を示す。上段は音波を1波の み発信した場合、下段が2波発信し計測密度を増した場 合である。

周波数毎にある棒状の分布図は上部がソーナー位置で 下部に向かってドラム缶底、アスファルト、地中となる。 各々の分布図は送信を 100 回連続したデータ群であり、 白い部分が音波の反射強度が強い箇所、黒い部分が反射 の無い箇所を示しており、各反射層が確認できる。また、 それぞれの5本の分布図は左から2次波10、8、6、5、 4kHz の順である。縦の緑線は振幅を示し、反射強度の 強さに比例する。

図において、最初に反射強度の強い箇所が各周波数の 同位置に現れたが、これはドラム缶底及びアスファルト 上面での反射である。図中、上の赤線は音の伝搬速度を 1,500m/s(水中)とした場合のドラム缶底位置であり、

14.7 寒冷海域における沿岸施設の水中調査技術に 関する研究

ソーナー位置からの距離は0.77m であり、反射強度の強い箇所とほぼ一致する。それより下方の解析では媒質が 異なるため音の伝搬速度が変化するが、本試験では音波 の反射強度の有無に主眼を置いたため、分布図上の音の 伝搬速度は1,500m/s で換算している。従って、以深の アスファルト、地中での音の伝搬速度は水中の倍程度に なることを考慮する必要がある。ドラム缶底で反射した 音波が再び水面で反射することで現れる2回反射の位置 も分布図上1.5m 付近に確認できる。

これら以外で反射が確認された箇所が①、②付近であり、空洞部の可能性がある。周波数を変化させて計測したところ 10kHz の場合が最も明瞭で(図中赤枠部分)、送信波においては1波送信が有効であった。



上:1波送信の場合、下:2波送信の場合

これらより、パラメトリック送信技術を使った音響プ ローブの内部空洞探査への有意性を確認した。

しかし、市販されている SES2000 ではアスファルト 下部へは音波が届きにくいことが確認された。

2.3 試験機器の試作

上記試験結果より、より指向性の良い音波を送信する 必要があるため、試験用の音響プローブ、信号受信制御 回路、パワーアンプを製作した。

音響プローブは、送信プローブ 60 個、受信プローブ 33 個とそれらを取り付ける保持具とコネクター、配線の 保護を目的とする保護カバーで構成される(写真-5)。

今後、これらを使用し試験を行う。



写真-5 音響プローブ

音響計測技術を利用した沿岸施設に近づく海氷の計 測技術の開発

沿岸施設に対して海氷が及ぼす影響を把握するための 基礎的なデータを得るため、港内の海氷を陸上から効率 的に計測する方法を検討した。

なお、試験にあたっては北海道開発局網走開発建設部 網走港湾事務所によるフィールド提供等の協力を得た。

3.1 計測方法の検討

海氷の形状・挙動を効率的に計測する手段として、2 種類の超音波計測機器(マルチビームソーナー、サイド スキャンソーナー)を使用した。

マルチビームソーナーは指向性の鋭い音響ビームを多 数発信し一度に多数点の水深を測る装置で、計測位置の 3次元データを取得可能である。サイドスキャンソーナ ーは音波を送受信した時間差から距離を計算し同時に音 波の強さを計測し画像をつくり出す装置である。¹⁾

3. 2 現地試験

試験場所・試験方法等を以下に示す。

- 試験場所
 ウトロ漁港(北海道斜里郡斜里町)
- ・試験日時
 平成24年2月7、8、9日



写真-6 ウトロ漁港(全景)



図-7 ウトロ漁港(平面図)



図-8 ウトロ漁港(断面図)

・試験方法

計測は通常深浅測量に使用されるマルチビームソーナ ーを岸壁から海底付近まで垂下し、ソーナーヘッドを海氷 下面へ向けて上向きに設置した(図-9)。

そして、図-10の計測パターンのとおり計測を実施し、 主に回転計測を行った。

計測機器はマルチビームソーナー2機種(Seabat8125、 Seabat7125)、サイドスキャンソーナー(HDS-10)の3 機種とした。

Seabat8125がビーム数240本、計測幅120°であるのに 対し、Seabat7125はビーム数512本、計測幅128°であり、 また、各ビームの範囲を等間隔で計測可能である。

図-11に計測機器の取り付け状況を示す。



図-9 計測方法



静止計測・・・・ -90°、-60°、-30°、0°、
 +30°、+60°、+90°各60秒程度静止
 (図の①~⑦による)
 回転計測・・・・-90°~+90°間を180秒程度で回転
 (図の矢印による)



図-11 各計測機器 (Seabat8125、HDS-10) の取付状況

・試験概要・結果

マルチビームソーナーを使用して海水下面形状(凹凸形状)の3次元データを取得した。Seabat8125で計測した結果を図-12、13に示す

計測点の分布から、計測は100m程度まで可能だがデー タ密度が小さく、有効なデータとしては、陸上からソーナ ーの水深位置の3~4倍の範囲で海水下面形状(凹凸形状) の3次元データを取得できることを確認した。

それより遠方では データが平滑化され、凹凸形状の把 握が困難であった。従って、機器の計測範囲の設定(レン ジ)は15mでの計測が妥当である。

また、Seabat7125を使用して同様に計測を行ったところ、更に広範囲で凹凸形状を把握できることを確認した。

これは、このソーナーの等密度モードを使用すること で、スワス全域で各ビームのフットプリントが等間隔で 計測されたため遠方での測深密度が保たれたためと思わ れる。

更に、港内が結氷し、水平面上での流氷移動が確認でき なかったため、潮位変動による水深方向の流氷移動を3次 元データより確認した(図-14)。当初計測された図と40 分後の図を比較し下面形状に顕著な違いが見られなかっ たことから、これらを同一物として標高のみの変化を確認 したところ、50cm程度の潮位変化による移動を確認でき た。以上より、状況によっては画像の変化から水平面上で の流氷の移動が確認可能と思われる。

次に、汎用的で安価なサイドスキャンソーナーを使用 して流氷下面の画像を取得し(写真-7)、海氷の計測へ の適用を検討した。

また、光学式水中カメラで近距離から撮影した流水下面 形状を**写真-8**に示す。両者を比較すると、サイドスキャ ンソーナーで取得した画像でも流氷の凹凸形状が十分に







図-13 Seabat8125による計測点の分布



確認できる。位置、方位等のデータを同時に取得すること で画像から流氷の移動計測が可能と思われる。



写真-7 海氷下面(HDS-10による画像)



写真-8 海氷下面(計測ポールに固定した水中カメラに て撮影)

4. まとめ

水中構造物内部の劣化・損傷状況探査及び可視化技術 の開発については、パラメトリック送信技術を使った音響 プローブを使い現場にて計測試験を行った。その結果、こ の技術が水中構造物内部空洞探査に有効であることを確 認した。

音響計測技術を利用した沿岸施設に近づく海氷の計測 技術の開発においては、汎用的なマルチビームソーナー

(Seabat8125) で陸上からソーナーの水深位置の3~4 倍の範囲で凹凸形状を3次元データで取得できることを 確認した。また、サイドスキャンソーナーで取得した画 像でも流氷の凹凸形状が確認できることから、画像から 流氷の移動計測の可能性があることを確認した。

今後は、海氷(結氷、流氷等)の音響特性を把握し、 最適な計測方法を検討するとともに、遠方の海氷下面の 計測方法、及び分解能向上について検討する。

また、サイドスキャンソーナーで取得した画像から流 氷移動の計測及び検討も行う。

参考文献

- 1) 大八木敏夫、根本謙次:小型パラメトリック地層探査機に よる高分解能地層探査 pp.2
- 海洋音響学会:海洋音響の基礎と応用 H16/4 pp.153,159

STUDY ON UNDERWATER SURVEY TECHNOLOGY FOR COASTAL FACILITIES IN COLD SEA AREAS

Budged : Grants for operating expenses General account Research Period : FY2011-2015 Research Team : Director for Cold-Region Technology Development Coordination (Machinery Technology) Author : YANAGISAWA Yuji KATANO Koji, YAMAGUCHI Kazuya IGARASHI Tadashi KISHI Norihito EINAGA Tetsuya, TANAKA Takao TAIRA Tomonari

Abstract : In cold sea areas, recent environmental changes have led to greater movement of sea ice, thereby raising the risk of accelerated deterioration in underwater structures. As a result, filling materials in aging coastal facilities may be lost, which can lead to structural collapse. However, as no investigation of sea ice forms that may damage underwater structures has been conducted, the related impacts are not understood.

Accordingly, this study was intended to support the establishment of a measurement technique that can be used to determine the internal state of underwater structures and a technique for surveying sea ice forms that may impact coastal facilities. In 2011, internal state survey tests on structures were conducted using parametric transmission technology based on ultrasonic waves capable of penetrating concrete or steel piles. A method for efficient land-based measurement of sea ice forms and behavior in harbor areas was also examined and verified in measurement tests.

Key words : harbor structural inspection, hollowing, parametric sonar, sea ice bottom form