

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：82627

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06909

研究課題名(和文)音響及び光学画像を用いた港湾係留施設の劣化診断検査システムの開発

研究課題名(英文)A part of developing the new inspection method of port facility that combines shape measurement by ultrasonic and optical images

研究代表者

虻川 和紀 (ABUKAWA, Kazuki)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・研究官

研究者番号：50756731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水中超音波による形状計測と光学画像を融合した新たな港湾係留施設の点検手法開発の一部を実施した。水槽にて超音波計測機器で測定した3次元の形状情報と光学カメラで取得した画像を合成し、色彩を保有した水中三次元像の構築を行なった。また、岸壁エプロン部に関して、画像モザイク図の作成し、変状検出手法の検討を行なった。
本研究の成果は、現存の施設状況を正確に把握する検査手法開発の一助となるとともに港湾水中施工技術開発の補助としても期待できる。

研究成果の概要(英文)：We conducted a part of developing the new inspection method of port facility that combines shape measurement by ultrasonic and optical images. This research reconstructed a 3D underwater image with color by combining three dimensional shape information by ultrasonic and optical images. In addition, made an image mosaic for the quay apron section and examined the deformation detection method.
The results of this research can be expected to help develop the inspection method to accurately grasp the existing facility situation and also as an aid to the development of the underwater construction technology.

研究分野：水中音響、計測工学

キーワード：安全システム 港湾維持管理 3次元計測

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、港湾岸壁の急速な老朽化が問題視されている。急速な老朽化の進行による課題として、維持管理費や更新費の急増、重大な事故や致命的な損傷等が発生するリスクが飛躍的に高まることがあげられる。実際に、老朽化した港湾岸壁で図1のような内部空洞が発生し上面陥没が発生した被害や図2のような耐久力低下により崩壊した被害が数多く報告されている。このような被害を未然に防ぐためには、アセットマネジメントが必要不可欠で、現存の施設状況を正確に把握する検査手法が求められている。特に、港湾施設の診断手段は、主に目視による診断に頼らざるを得ない部分が多く、港湾利用の制約を伴う機器を使用した点検調査はあまり行われて来なかった。



図1
鹿島港湾岸壁陥没
(出展：鹿島港湾・航空整備局)



図2 相馬港岸壁倒壊

(出展：国土交通省東北地方整備局)

(2) これまでに、音響計測機器を用いた港湾岸壁水中部詳細外部形状計測手法の開発を目的に、マルチビーム測深器および音響ビデオカメラを用いて効率的な係留施設水中部の計測技術の開発を進めてきた。しかし、以下の問題点が浮上した。

- ・ 音響を使用した計測では形状や歪みなどの情報を取得できるが、ひび割れ等の微細な変状の調査が難しい
- ・ 音響データのみでは見方が分からない場合が多く、報告書等で検査結果として活用しにくい。
- ・ 被覆防食工や鋼材の腐食など目視により変状を把握することを標準とする項目に活用できない。

2. 研究の目的

上記の(1)と(2)の問題を解決するため、音響による計測と目視と同様な検査が可能な光学画像による計測の融合という着想に至り、簡易な計測専用車両にGPS・加速度計等の位置や移動量の計測機器を積み込み、光学カメラにより係留施設の陸上部海側及び水中部の映像撮影を行い、同時に音響機器を用い係留施設水中部の形状計測を行うことで半リ

アルタイムに係留施設検査を実行するシステムを考えている。

ここでは、音響計測と光学画像の融合システムと変状検出検査プログラムの開発を目指す。

3. 研究の方法

1) 計測に必要な項目と分解能検討

外部形状を把握することは、岸壁の状態を把握することの基本となるものである。外部形状を把握することにより、岸壁の損傷状況や表面に発生した変状、岸壁全体の傾斜などの変位や変形状況などが明らかになり、定期的に計測することにより、進行状況を把握することが可能になる。また、外部形状点検からは直接計測することは出来ないが、ケーソン目地のずれ・鋼矢板の腐食孔の有無や岸壁直下の状況から岸壁内部に出来た空洞を発見出来る情報を得ることが出来る。以上のこと及び『港湾の施設の維持管理技術マニュアル』を踏まえ、岸壁外部形状点検に必要な項目や計測分解能を検討した、

2) 画像モザイクおよび変状検出

ここでは、位置及び加速度計・姿勢センサー情報を用いて、取得した光学画像のモザイク処理を行うプログラムを検討する。また、作成した係留施設の陸上部海側及び水中部のモザイク画像及び3次元データから画像処理・スペクトル検出などを行い、検査係留施設の変状検出の検討を行う。

3) 画像融合の検討

係留施設の陸上部海側及び水中部の光学画像を取得するため、安価なシステム構成にするためウェアラブルカメラを使用した構成を検討する。撮影システム・画像の位置情報及び姿勢情報の取得機能を検討する。

位置情報を基に、構築したシステムで撮影した画像と音響計測で得た形状情報を合成し、水中3次元データ構築を検討する。また、ウェアラブルカメラを用いた単眼での水中3次元画像構築を検討する。

本試験には、当研究所が保有する水槽を用いた。音響計測には、周囲監視用のソナーを使用した。これは、深度方向は数cmの誤差を保有している。ウェアラブルカメラには、GoPro-HER04を使用し、2K撮像を行なった。図3に実験時の様子を示す。



図3 水槽試験の様子

4. 研究成果

1) 計測に必要な項目と分解能検討

表-1 に検討結果を示す。岸壁の構造系式別にケーソン式と矢板式の2種類を選定した。点検項目は、マニュアルに倣い、歪み、移動、傾斜、表面のひび割れや腐食、剥離や腐食孔、海底地形、その他の7項目として検討を行なった。マニュアルに記載されている項目の中では、音響機器で実現が難しい数値が記載されているものもある。そのような数値は、目標数値を定め、まずはその数値に近づけるかを検討する。

ケーソン式では、コンクリートで構成されるため、ひび割れや目地の確認が重要であり、3mmのひび割れが確認できる様な性能が必要とされる。

矢板式では、鋼材であるため腐食の有無が重要となる。腐食自体は、開孔や損傷・変形等は音響機器でも発見が可能だが、発錆は音響機器では難しいため、本システムの画像合成が役立つと考えられる。また、犠牲陽極の有無は、鋼材岸壁維持管理の中で重要な項目である。

しかしながら、水中構造物は、基本的に付着物（フジツボやカキ、藻類）に覆われているため、はぎ取りなしに細かい調査が出来ない。これらの音響機器を使用した調査方法は機器性能では基準をクリアしていても、付着物が構造物表面の調査を阻害する。これらの点が調査方法を考案するに当たり、あらたな問題として浮かび上がってきた。

また、図-1にあるような、岸壁背面からの吸出しは、岸壁直下の海底地形に影響を与えることが多いため、合わせて海底地形計測を行なう必要がある。特に、静的な海域環境では、局所的な堆積部の上方に吸出孔がある可能性が考えられる。

2) 画像モザイクおよび変状検出

作成した岸壁エプロン部分の画像モザイクと基にした画像を図-4に示す。岸壁エプロン部の画像は、岸壁法線方向に対して、連続撮影を行なったものを船速にあわせ、間引いたものである。画像の他に、カメラ近傍で同様や位置を記録した。画像モザイクは、位置情報を元に画像を配置し、同様情報によって補正した。また、隣り合う画像毎に特徴点を検出しマッチングさせ、画像モザイクの修正を行なった。

変状検出は、2値化後にラベリングを実施したが、ひび割れ等はある程度分類出来るが、汚れや付着物等も分類されてしまい自動判別は難しいことが判明した。今後は、ひび割れ等の損傷の判別と汚れ等の分類手法の検討が必要である。



図-4 モザイク画像(一部)

表 1 必要項目と分解能検討結果

点検項目	ケーソン式	矢板式
歪み	cm 分解能 目地の開き具合が確認できること	cm 分解能 法線のはらみだしが確認できること
移動	水平方向移動量 cm 分解能	
傾斜	1° 分解能 (マニュアル規定無し)	1° 分解能 (マニュアル規定無し)
表面のひび割れ・腐食	3mm 程度のひび割れが判別可能なこと	腐食(発錆)の有無が確認できること
剥離・腐食孔	cm 程度の穴あきやひび割れ、欠損が確認できること	cm 程度の開孔や変形、損傷が確認できること
岸壁直下海底地形	規定の水深が確保できているか (cm 分解能) 吸出し傾向が見られるか (目地ずれと比較しながら直下に局所的な盛り上がりがあるか) 剥離物や落下物が確認できること	規定の水深が確保できているか (cm 分解能) 吸出し傾向が見られるか (開孔の有無と比較しながら直下に局所的な盛り上がりがあるか) 落下物が確認できること
その他		犠牲陽極の有無、減少量が把握できる cm 分解能

3) 画像合成の検討

研究方法3)で述べた音響機器と光学画像の合成結果を図-5に示す。音響機器で計測した3次元点に、使用したカメラの画角から計算した位置情報を合わせて、RGB情報をマッチングさせた。そのままでは、細かな3次元点情報のままでしかないため、メッシュデータを作成した。また、メッシュデータ作製時のデータ欠損部分は、周囲データの線形補間とした。その後、一枚の平面画像の上に配置した。結果、音響機器のみで構成された3次元図よりも、色彩情報を付加することにより、解釈しにくい音響画像が解釈しやすくなった。また、撮影対象の割栗石の色の違いが見て取れるようになり、写りさえすれば発錆の状況などを形状情報とともに合わせて判別することが可能となった。

また、図-6にウェアラブルカメラ単眼で取得した画像から写真測量の要領で、3次元図を作成した。こちらは、画像のみを使用しており、位置及びカメラの姿勢情報を補正情報としている。今回作成した画像3次元図は、音響機器と画像を合わせた3次元図より細かく再現できている。また、今回使用したウェアラブルカメラでは、水中用の変換等を行わなかったが、大きな歪み無く3次元画像を作成出来た。こちらは、今回使用したカメラの影響であると考えられる。

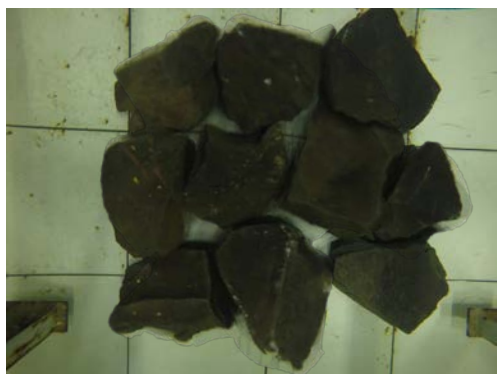


図-5 音響機器と光学画像を合成した撮影対象画像



図-6 水中画像から作成した3次元図

4) まとめ

本研究では、音響計測機器と光学カメラを使用した半リアルタイム係留施設検査システムの一部となる音響計測と光学画像の融合システムと変状検出検査の検討を行った。

光学画像取得システムと音響計測データを合成することにより、解釈しにくい音響画像が解釈しやすくなるとともに音響画像では判別しにくい情報が判別しやすくなった。また、音響画像だけでは判定できなかった変状が色彩情報を加味することにより判定できる可能性を見出した。しかし、画像のみの計測からも歪みのない3次元図を作成出来た。透明度の高い水中部では音響機器なしに光学画像のみで形状を計測出来る可能性が示唆された。今後は、これらの手法の計測限界を検討するとともに、精度(分解能)を示す必要がある。

これらの成果は、現存の施設状況を正確に把握する検査手法開発の一助となるとともに港湾水中施工の補助として期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計1件)

虻川和紀、松本さゆり、音響と光学イメージング技術を用いた港湾係留施設点検手法の検討、海洋音響学会 2016 年度研究発表会、2016 年 5 月、東京

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

○取得状況(計 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

虻川 和紀 (ABUKAWA, Kazuki)

港湾空港技術研究所・新技術研究開発領域・計測システム研究グループ 研究官

研究者番号：50756731