

# 港湾構造物水中部劣化診断装置の開発(その2)

(独) 土木研究所寒地土木研究所寒地機械技術チーム ○五十嵐 匡  
(独) 土木研究所寒地土木研究所道央支所 長瀬 禎  
国際航業(株) 社会基盤事業部河川・環境部水域基盤グループ 松田 健也

港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断は潜水士による目視観察に頼っているのが現状である。しかしながら、透明度による影響も大きく非効率で困難な作業となっている。そこで、潜水士を必要としないで水中構造物の状況を計測する技術と効率的に健全度診断を行えるシステムの開発を行っている。これまでに現地試験において、使用する機器類の構成とデータ取得方法を確認し、音響カメラを水中で固定する架装装置性能を検証した。また、撮影した画像から岸壁面水中部全体の写真を作成し、約3cmの分解性能を確認した。本報告では、これまでの試験結果と、今年度実施する現場試験の概要を報告するものである。

キーワード：港湾構造物、点検、劣化、音響カメラ

## 1. はじめに

港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断は、有効な点検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。水中部の点検は、陸上で点検指示を行う技師と水中で実際に目視観察する潜水士の連携が重要である。また、海水の透明度による影響も大きく、視界の悪い箇所では潜水士が手探り状態で異常箇所を確認するなど、非効率で困難な作業となっている(写真-1)。

このため、潜水士を必要としないで水中構造物の状況を撮影する技術及び撮影データを蓄積して効率的に健全度診断を行うシステムで構成する「港湾構造物水中部劣化診断装置」を開発している。



写真-1 潜水士による点検

具体的には、構造物水中部の状況を撮影する装置(音響カメラ)と、それを撮影位置に固定する架装装置、取得した画像から全体画像(以下、モザイク図)を作成するソフトウェア及び得られた画像と過去の点検履歴との比較等によって変状箇所を抽出し詳細な点検の必要性を判断するなど、点検作業を効率化するシステムで構成する。

## 2. 開発計画

開発の年次計画を表-1に示す。本開発は平成20年度からの3カ年計画である。

なお、開発は国際航業(株)との共同研究において実施している。

表-1 年次計画

項目	H20	H21	H22
水中部非破壊点検・計測手法の検討	○		
音響カメラの現場適合性試験	○		
各点検・計測センサー取得データの解析手法の開発	○	○	
各点検・計測センサー、データ解析手法の全体システム化	○	○	○
水中部点検・計測システムの性能要件作成			○

## 3. 音響カメラ

音響カメラは、超音波を使用しており、被写体に照射した音波の反射強度により画像化し、反射波が強ければ明るい光、弱ければ薄暗い光にかえて白黒の映像を作り出す。<sup>1)</sup>従って、海水の濁度や周囲の明暗に影響なく撮影することができる。

本体を写真-2に示す。外寸、重量は以下のとおりである。



写真-2 音響カメラ本体

外寸 : 32.5 cm×18.36 cm×22.4cm  
 重量 : 13.2 kg (空中) 、5.4 kg (水中)

#### 4. 撮影方法、架装装置

音響カメラにより、高い分解性能で岸壁面水中部全体を効率よく撮影する方法を検討した。

##### (1) 撮影方法

音響カメラは指向性の高い超音波を使用している。また、分解性能を高めるために至近距離での撮影が必要となるため、撮影範囲（フットプリント）が狭くなるが、岸壁面水中部全体の撮影は短時間で連続的な撮影が必要となる。

そこで、水平方向に音響カメラを移動させながら、水深部を数回に分けて撮影する方法を検討した。

具体的な方法を図-1に示す。船舶に艀装したポール状の架装装置先端に音響カメラを取り付け、船舶を岸壁と一定距離に保ちながらゆっくりと航行させ撮影を行う。この作業を水深に応じて繰り返し、岸壁面水中部全体を撮影する。

このとき、航行の安全性を考慮して、船舶・岸壁間の距離を 3.5m とした。また、過去の試験結果<sup>2)</sup>より撮影角度は 10~45 度が良好であるが、撮影距離は近距離ほど分解性能が高くなることから、撮影角度は撮影距離が最短となる 45 度とし、撮影距離を 5m とした (図-1 上)。

なお、以上の条件の場合、水深方向に撮影幅 1.9m を確保でき、重複部を考慮しても 1.5m 間隔で各水深部を撮影することができる (図-1 下)。

また、船速は可能な限り遅いほうが好ましいため、1 ノット程度で撮影試験を行った。

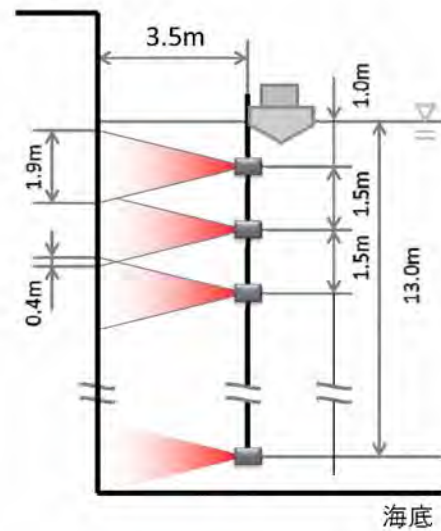
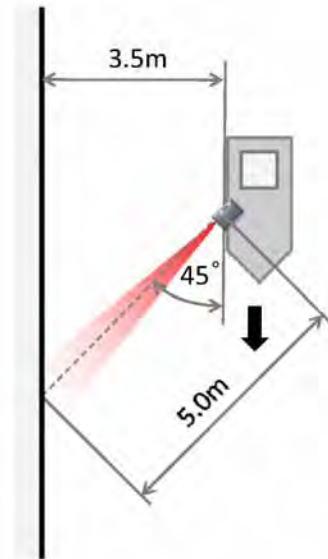


図-1 撮影方法

##### (2) 架装装置

前項の撮影条件を満たし、撮影時の水流抵抗に耐え、可搬性を考慮した装置装置 (図-2) を試作した。

主要部材であるポールは、-14m 岸壁撮影を想定し、撮影時には水深 13m まで伸ばすことが可能であり、また、可搬時には 2.7m まで縮めることが可能な伸縮構造としている。

また、ポールは長さ 1~13m の範囲で手動のワイヤーロープ巻上機により調整可能であり、撮影位置にて音響カメラを固定する仕組みである。材質はアルミ合金及びステンレス製で、重量は 150kg 程度であり、小型船舶にも搭載可能である。

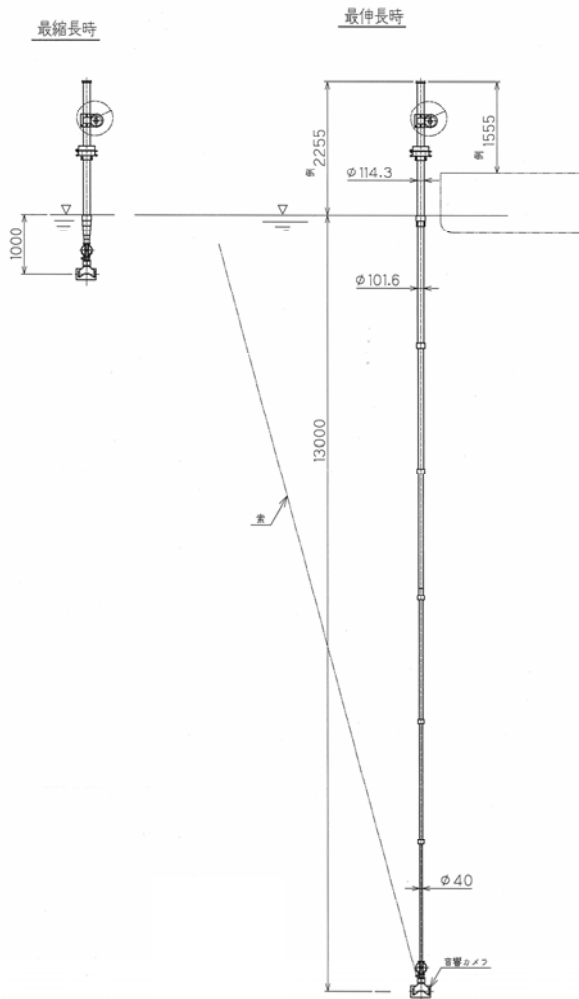


図-2 架装装置

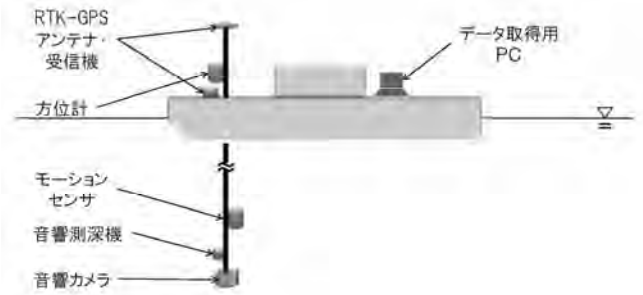


図-3 各計測機器類



写真-3 各計測機器類の取付状態

## 5. 計測機器、撮影試験

### (1) 計測機器

モザイク図の作成においては、音響カメラでの撮影で得られる各画像データ（数フレーム/秒）に対し、それらが岸壁面でのどの位置の画像であるかを把握する必要がある。

このため、撮影においては、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動揺による補正を行う。

なお、撮影では音響カメラのほか、音響カメラの位置情報や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、音響カメラと岸壁との距離を計測する音響測深機等の機器類を使用してデータを取得した。

架装装置の艀装状態と各計測機器類の取付状態を図-3、写真-3に示す。

また、計測した各データは、画像取得用に1台、各データ取得用に1台の計2台の PC で取得し、取得時刻は GPS 時刻データにより同期した。

### (2) 撮影試験

#### a) 試験内容

平成 20 年度は、以下の点に留意して撮影試験を行った。

- ・機器類の構成とデータ取得方法の確認  
画像解析ソフトウェアに対し最適なデータを提供するため、機器類の構成とデータ取得方法の確認を検討した。
- ・架装装置性能の検証

水中部でのポールの伸縮動作状況や、撮影航行時の水圧に対する架装装置の強度等に加えて、最深部撮影時の画像データの精度について検証した。

#### b) 試験場所

撮影試験は、北海道小樽市の小樽港・港町ふ頭（-14 m）、第2ふ頭（-9 m）、第3ふ頭（-9 m）の岸壁前面で実施した。

## 6. モザイク図の作成

次に、画像解析ソフトウェアによりモザイク図を作成した（写真－4上）。

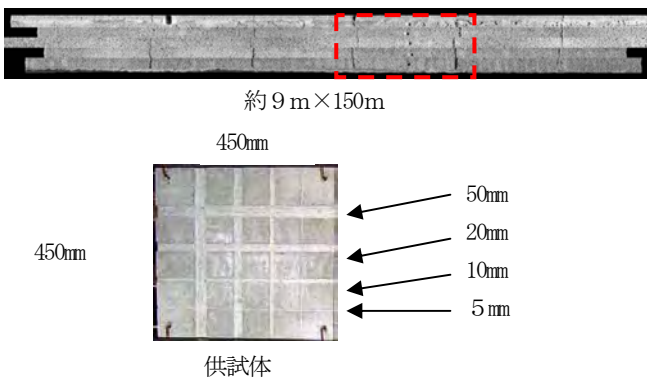
なお、本ソフトウェアの開発は、東京大学生産技術研究所 海中工学国際研究センター 浅田研究室への委託研究にて実施している。

モザイク図の分解性能、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－4中）を製作し、各水深で岸壁面水平方向同位置に設置した。

写真－4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たことから、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3cmの分解性能を確認した。



写真－4 モザイク図

## 7. 撮影試験結果、課題

平成 20 年度の試験結果から問題点を抽出し検討事項を整理した。

### (1) 機器類の構成とデータ取得方法

モザイク図を構成する個々の画像フレームの位置精度は、音響カメラと岸壁面との垂直距離の計測誤差に影響することが判明した。このため、垂直距離を高精度で計測する方法を検討する。

### (2) 架装装置改造

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、ポール自体に撓みが生じ、ポール最上部に取り付けた RTK-GPS アンテナと水中部最下部の音響カメラとの間に位置誤差が生じることがわかった。このため、ポールを撓みの少ない構造に改造することを検討する。

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。そのため、架装装置を船舷に固定する艀装用架台を製作し、短時間で確実に艀装する方法を検討する。

### (3) 画像解析ソフトウェア改良

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、それらに応じた対応など、プログラムの修正を検討する。

## 8. 平成 21 年度撮影試験

上記の課題について、以下の検証試験を行う。

### (1) 機器類の構成とデータ取得方法

垂直距離を高精度で計測するため、高い周波数（500kHz）を用いた音響測深機にて計測する。

また、前方・後方撮影時には、それぞれ2方向の計測が必要となるが、2台の音響測深機を設置することで、撮影方向を容易に変更できるようにする（写真－5）。



写真－5 音響測深機

なお、前方・後方撮影は、被写体の同一箇所を違った角度から撮影することで、変状の発見を容易にするものである（図－4）。

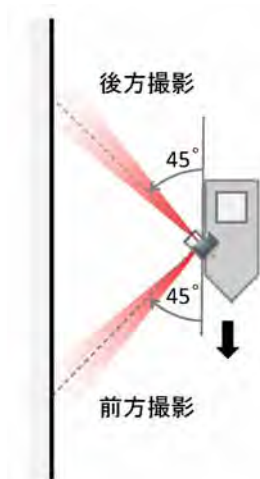


図-4 前方撮影と後方撮影

このほか、実運用時の方位計として安価な GPS 方位計の使用可能性を検討する(写真-6)。GPS 方位計は、GPS 受信機と2つの外部 GPS アンテナから成る高精度な方位計である。



写真-6 GPS 方位計

## (2) 架装装置改造

架装装置を船舷に固定するため、艀装用架台を製作した(写真-7)。

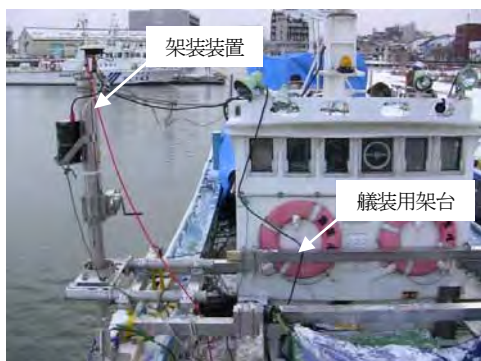


写真-7 架装装置艀装用架台

艀装用架台は、左右船舷間に設置し船舶の幅に応じて架台の幅を変更することが可能である。

## (3) 画像解析ソフトウェア改良

画像解析ソフトウェアは、撮影条件や計測状況に応じた対応など、プログラムの修正を行うほか、岸壁面水中部の画像に加え、陸上部の画像を光学式カメラで撮影し、水陸一体化したモザイク図の作成を検討する。

## 9. まとめ

平成 20 年度に実施した「音響カメラの現場適合性試験」については以下のとおり整理した。

- ・港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断において、音響カメラを使用した点検手法は有効である。
- ・撮影画像の分解性能は、潜水士の目視による判断程度を確保している。
- ・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。
- ・モザイク図作成における個々の撮影画像の位置関係について、約 2 m のばらつきがあるため、位置精度向上が必要である。

平成 21 年度は、これらの課題の解決方法について検証試験を実施する。

また、今後更に港湾及び漁港施設の機能保全の効率化を図っていくため、以下の検討を行う。

- ・実運用試験を行い、サイクルタイムの計測・コスト比較を行う。
- ・モザイク図を、変状図、劣化診断システムへ適用する際、幾何学的接合方法と画像マッチング処理方法の2つの作成方法をどう適用するのか、それぞれの優位性(位置精度、動揺の影響など)から検討する。
- ・各点検・計測技術の開発を進め、取得データの管理、解析手法を含めたシステム全体の検討を行う。

## 参考文献

- 1) 浅田 昭：音響ビデオカメラと海中作業，作業船，第 265 号，p.14～19，2003.1
- 2) 北海道開発局：平成 19 年度港湾構造物水中部劣化診断業務報告書
- 3) 北海道開発局：平成 18 年度港湾構造物水中部劣化診断業務報告書
- 4) 五十嵐匡、長瀬禎、大西明夫：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について、北海道開発局技術研究発表会論文集、第 52 回(平成 20 年度)
- 5) サウンドメトリックス社 HP  
(<http://www.soundmetrics.com/>)