共 同 研 究 報 告 書
整理番号第439号

水中構造物点検技術に関する研究

共同研究報告書

平成24年5月

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
国際航業株式会社

Copyright © (2012) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共 同 研 究 報 告 書
第 439 号平成 24 年 5 月

水中構造物点検技術に関する研究
共同研究報告書

独立行政法人土木研究所　寒地土木研究所
技術開発調整監付寒地機械技術チーム

上席研究員　柳沢　雄二
元主任研究員　国島　英樹※1
研究員　五十嵐　匡
元研究員　長瀬　禎※2

国際航業㈱

松田　健也
大西　明夫
三宅　宏
虫明　成生

※１：現　国土交通省北海道開発局留萌開発建設部施設整備課
※２：現　国土交通省北海道開発局帯広開発建設部施設整備課

要旨

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、海水の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。このため、潜水士に頼らないで構造物水中部を点検するための撮影技術の開発を行っている。これまでの現地試験で、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 の分解能と画像の位置精度が 10～20cm 程度であることを確認した。本報告では、これまでの試験結果を報告するものである。

キーワード：港湾構造物；劣化診断；音響カメラ

水中構造物点検技術に関する研究

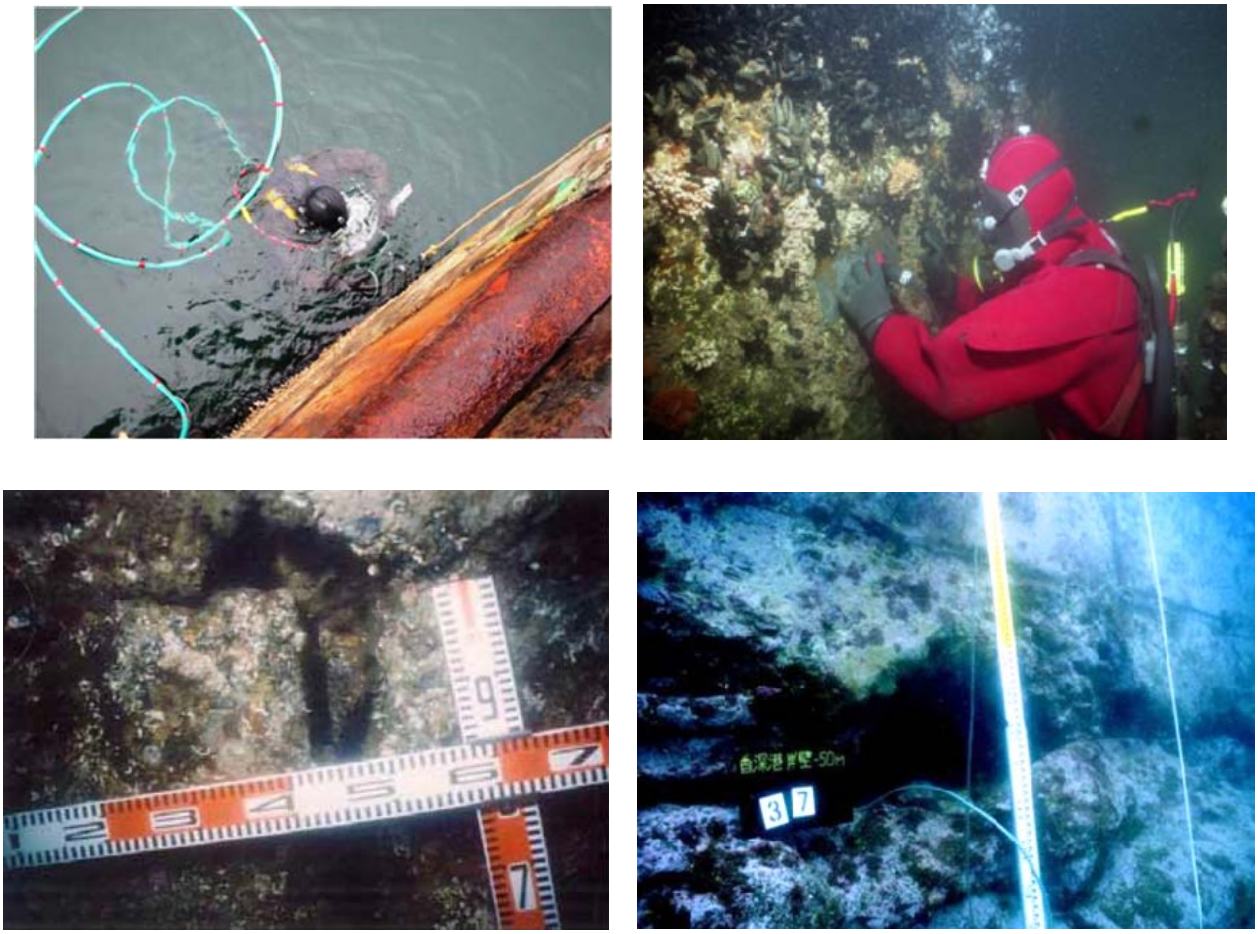
目　　次

1. 背景・・1
2. 港湾構造物水中部劣化診断装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
3. 音響カメラ・・・4
4. モザイク図の作成・・・5
5. 撮影方法・・7
6. 撮影試験（平成 20、21 年度）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
7. 施工フロー・・17
8. 現地での適用性確認試験（平成 22 年度）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
9. 調査費の比較・・・21
10. その他検討事項・・25
11. データ管理システムの作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
12. まとめ・・28
13. 参考資料・・・30

1. 背景

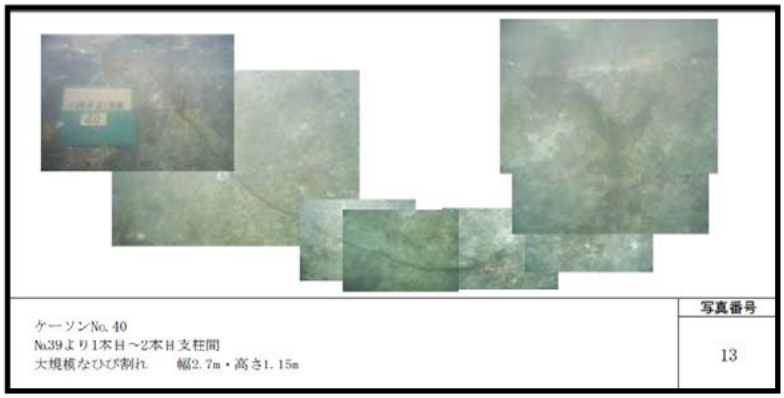
港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断は、有効な点検手法が確立されておらず、潜水士による目視観察に頼っているのが現状である。水中部の点検は、陸上で点検指示を行う技師と水中で実際に目視観察する潜水士の連携が重要である。また、海水の透明度による影響も大きく、視界の悪い箇所では潜水士が手探り状態で異常箇所を確認するなど、非効率で困難な作業となっている（写真－1）。

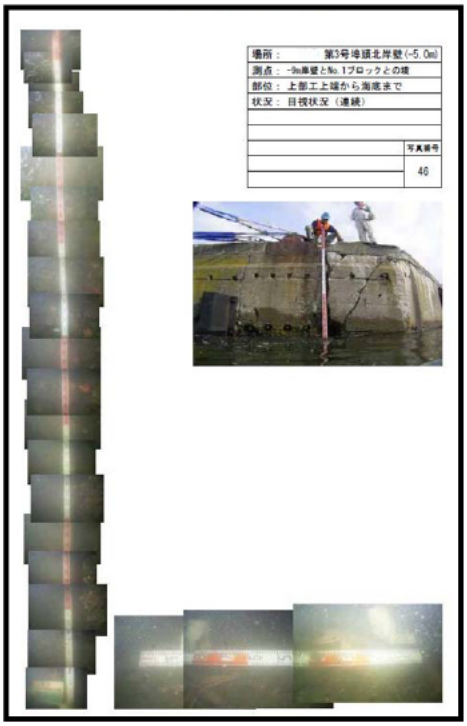
このため、潜水士を必要としない水中構造物の状況を撮影する技術、及び撮影データを蓄積して効率的に健全度診断を行うシステムで構成する「港湾構造物水中部劣化診断装置」の開発が求められていた。



写真－1　潜水士の点検状況（上）、劣化状況の記録写真（下）

また、従来の点検業務に伴い作成される報告書を図－1 に示す。濁度の変化により、明るさが異なった写真の繋ぎ合わせで変状を把握しにくいものとなっている。





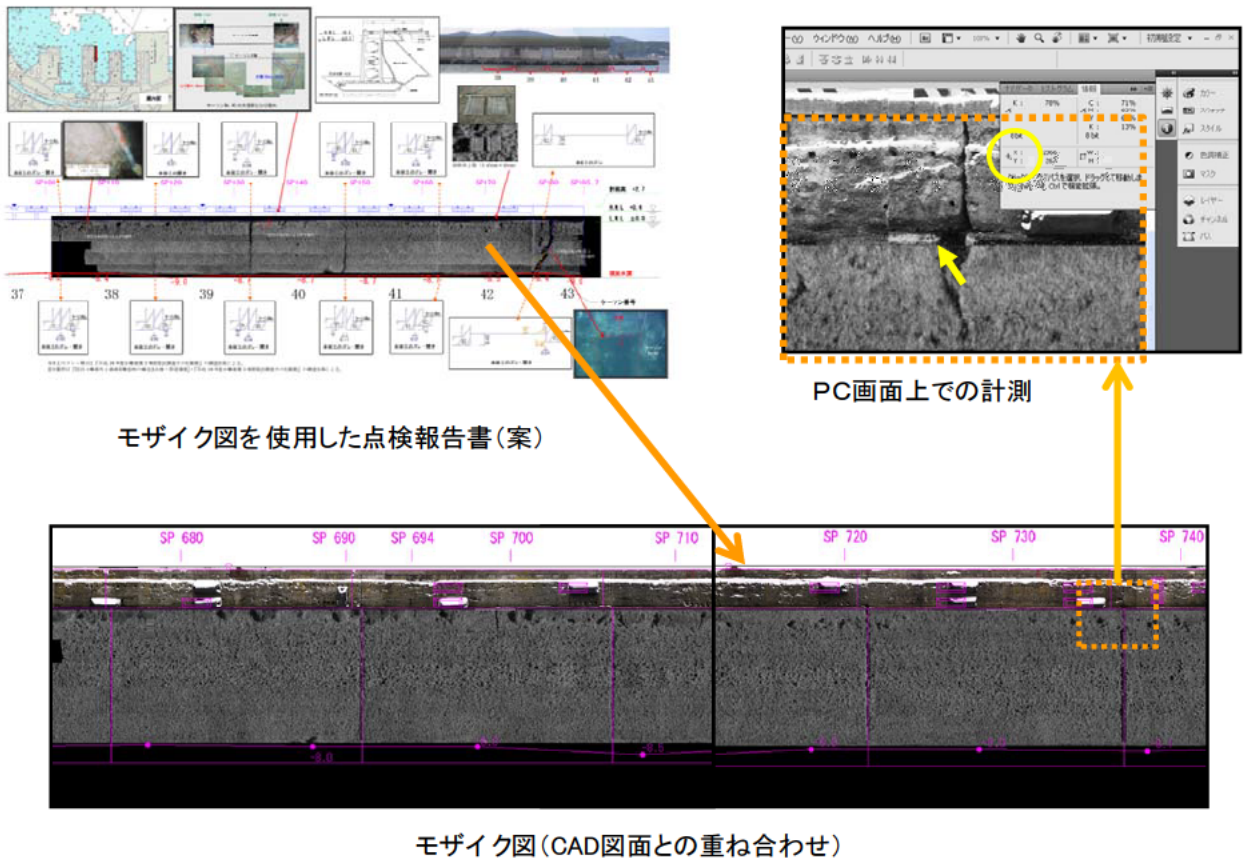
図－1　従来の点検報告書

2. 港湾構造物水中部劣化診断装置

「港湾構造物水中部劣化診断装置」の構成を図－2 に示す。また、本装置を用いた点検業務に伴い作成される報告書（案）を図－3 に示す。

本技術の特徴は超音波式カメラ（以下、音響カメラという）を使用し、光学式水中カメラでは撮影不可能な濁水中での撮影を可能としている点である。

図－2　港湾構造物水中部劣化診断装置（概要）



図－3　モザイク図を使用した点検報告書（案）

音響カメラは米国サウンドメトリックス社製 DIDSON を使用し、撮影した画像 1 フレームの大きさは約 H 2.3 m×W1.7 m 程度（撮影距離 5 m、撮影角度 45°）であるが、本技術では、音響カメラを水深 10 m の位置まで固定可能な架装装置とそれに生じる水流抵抗に耐えうる艤装用架台を試作し、船舶を移動させながら水中構造物を連続撮影した。そして、得られた画像及び諸データから画像解析ソフトウェアで岸壁面全体の画像を作成した。画像解析ソフトウェアは位置情報やマッチング技術を使って、例えば H 11 m×W 100 m の岸壁面を約 6,000 枚程度の画像フレームを使い、シームレスで高い分解能、位置精度の全体画像を作成することができる。作成した画像をモザイク図と呼び、この画像からひび割れ、損傷などの変状箇所の位置、大きさを読み取ることができる。

3. 音響カメラ

3.1 特徴

音響カメラは、超音波を使用しており、被写体に発射した音波の反射強度により画像化し、反射波が大きければ明るい光、小さければ薄暗い光にかえて白黒の映像を作り出す。従って、海水の濁度や周囲の明暗に関係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。

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

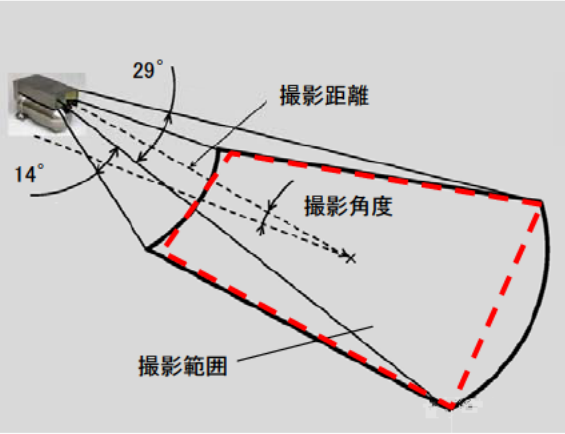
写真－2　音響カメラ本体

3.2 ビームパターン、撮影画像

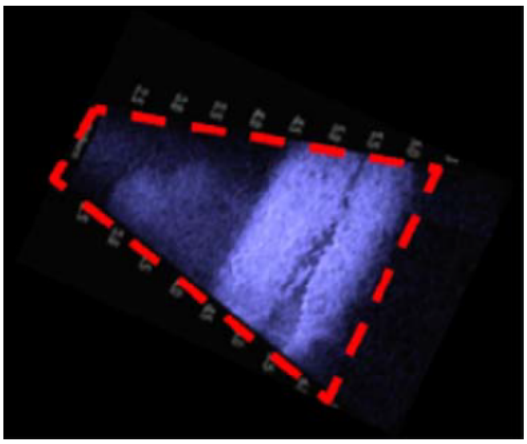
音響カメラは、周波数 1.8 MHz（または、1.1 MHz）の音波を使用し、水平方向 29°（＝幅 0.3°×96 ビーム）、垂直方向 14°幅のビームパターンを形成する（図－4）。なお、周波数は、最大レンジ 15m を境に、識別モー

ド 1.8 MHz（15m 以下）、探知モード 1.1MHz（15m 以上）に自動的に切り替わる。

そして、8 回の送受信サイクルに分割したビーム画像ラインを張り合わせて 1 画像を形成し、毎秒 4～21 フレームの画像を提供する（写真－3）。



図－4　ビームパターン



写真－3　音響カメラによる画像

3.3　分解能

音響カメラによる撮影試験を実海域において行い、以下について確認している。

実海域での岸壁面の撮影において、既存調査で報告されている変状箇所やケーソン目地を音響カメラで撮影した画像でも認識することができた。また、音響カメラでの撮影で見逃した欠損箇所がないか潜水目視観察を実施したが、新たな欠損箇所は見つからなかった。

これらから、実海域において音響カメラを用いて撮影した画像の分解能分解能は、潜水士の目視による判断程度を確保していることを確認した。

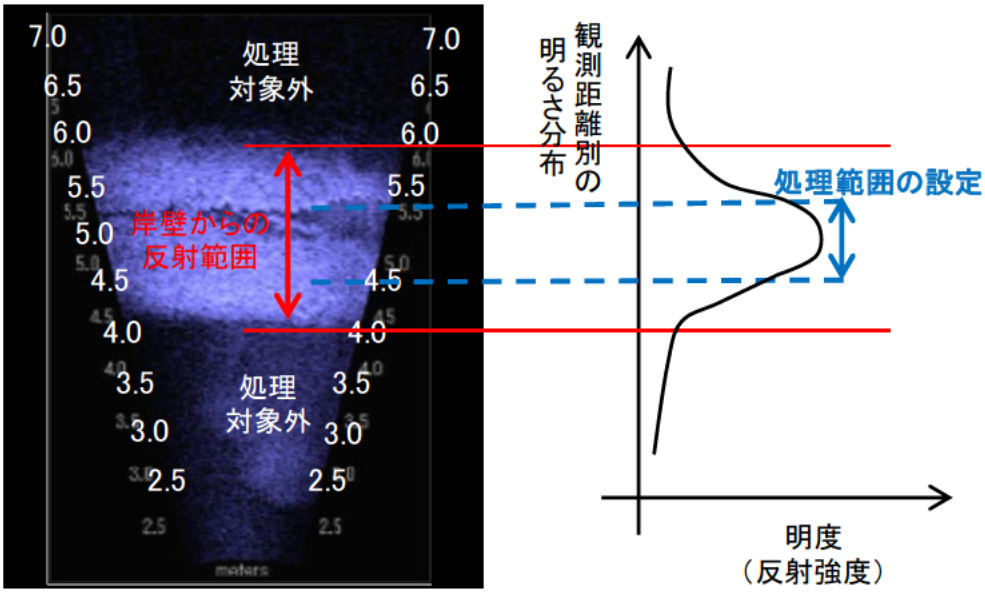
4.　モザイク図の作成 [1)]

撮影画像の各フレームを重ね合わせて、モザイク図を作成する方法を検討した。

4.1　撮影画像の処理範囲

図－5 は撮影距離に対する反射強度の分布を表したものである。

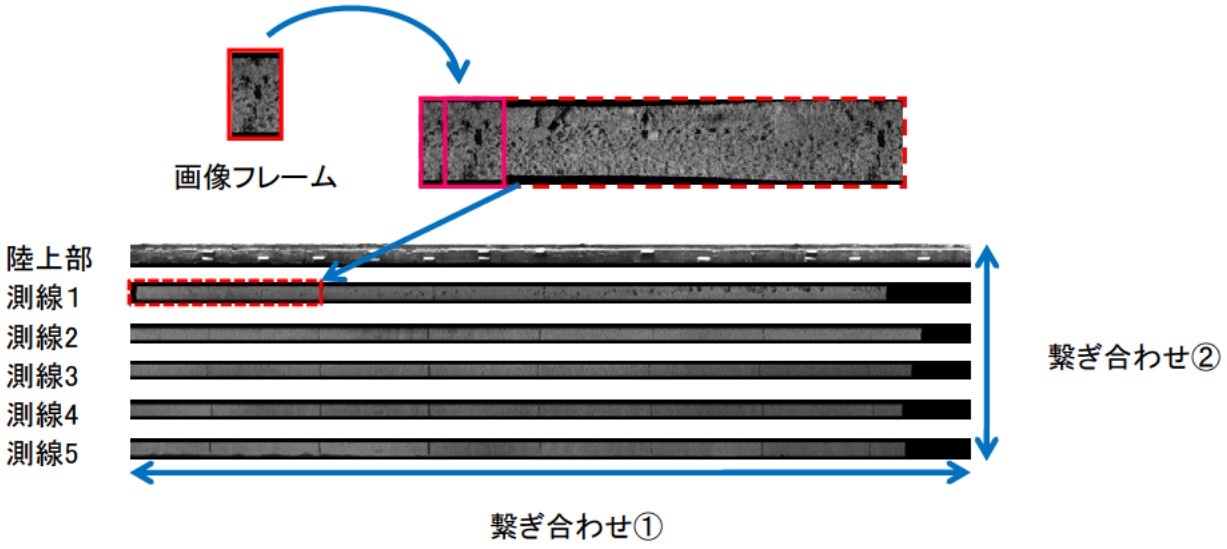
フレーム（図－5 左）中の数値は音響カメラからの距離（撮影距離）を表す。設定した撮影範囲（2.5～7.0m）内で音波の反射強度が大きい部分が明るく写っている。これに対応して、撮影距離に対する反射強度の分布（図－5 右）では、画像が鮮明となる反射強度のピーク付近が存在することがわかる。このピーク付近の部分を処理範囲とし、各フレームで同様の処理を行い繋ぎ合わせを行う。



図－5　反射強度の分布と処理範囲

4.2　モザイク図の作成イメージ

1 測線分の画像は、撮影画像の各フレームを水平方向に繋ぎ合わせて作成する。次に、繋ぎ合わせた 1 測線分の画像を垂直方向に繋ぎ合わせ、モザイク図を作成する（図－6）。なお、この作業は開発した「画像解析ソフトウェア」にて行う。



図－6　モザイク図の作成イメージ

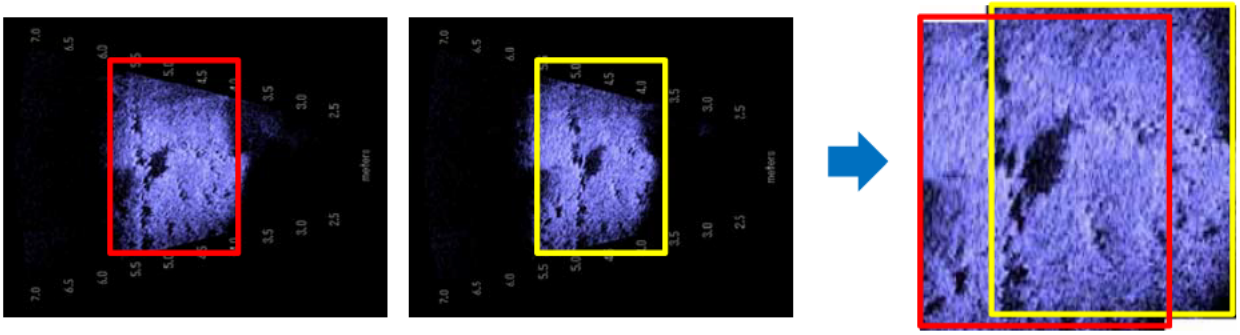
本ソフトウェアの開発は、東京大学生産技術研究所 海中工学国際研究センター 浅田昭教授への委託研究にて実施している。

4.3　作成方法

モザイク図の作成方法は、①「幾何学的接合」と②「画像マッチング処理」の 2 つの方法がある。

①は、音響カメラの位置情報、姿勢情報等より、対象構造物との相対的な位置関係を用いて幾何学的に接合を行う方法であり、各フレームでの音響カメラ位置情報、姿勢情報（ロール、ピッチ、撮影方位）、音響カメラと対象構造物までの距離と、構造物の 3 次元情報が必要となる。

②は、得られた画像のみから接合を行う方法であり、1 測線上に隣り合う 2 フレームにおいて、画像中の特徴的な濃淡を示す領域が次フレームのどこにあるかを探して前後の画像を繋ぎ合わせる（図－7）。



図－7　画像マッチング処理方法

4.4　特徴

①、②それぞれの作成方法の特徴として、以下の点があげられる。

①では、音響カメラの位置情報、姿勢情報等によるため、当然ながら位置精度は高いものとなる。

②では、位置精度は低いが、得られた画像のみで接合を行うため、音響カメラの動揺による影響が小さいという利点があり、形状把握には有利といえる。

モザイク図の作成は①、②の両方を使用するが、以降においては、①の作成方法で必要となる、音響カメラの位置情報、姿勢情報等をリアルタイムに計測する方法について実海域試験を通じて検討した。

5.　撮影方法

平成 20 年度に実海域で実施した撮影試験及びモザイク図作成について報告する。

5.1　撮影方法

高い分解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。

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

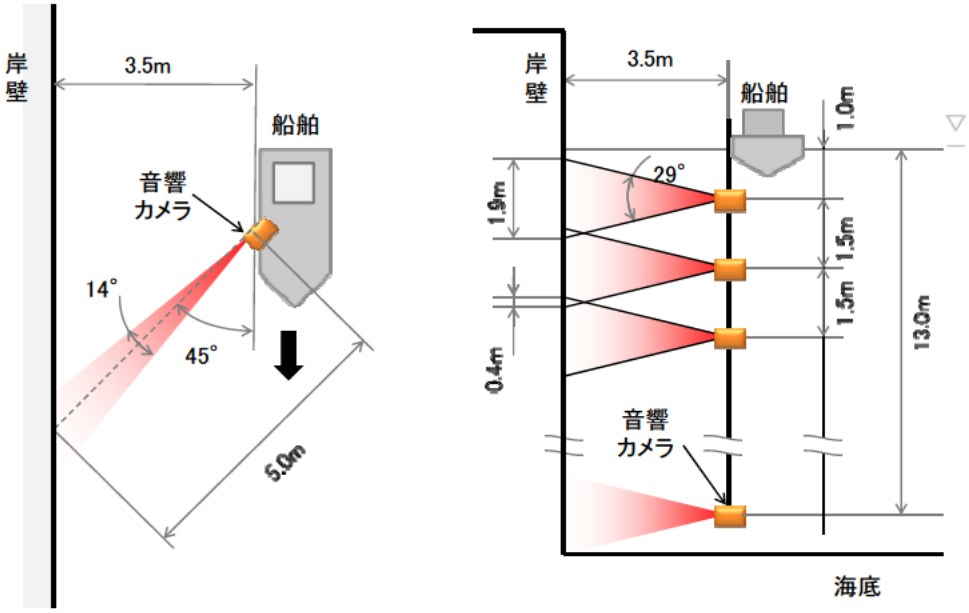
そこで、水平方向に音響カメラを移動させながら、水深部を数回に分けて撮影する方法を検討した。

具体的な撮影方法を図－8 に示す。船舶に艤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、岸壁と一定距離に保ちながら船舶を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 に、また、過去の試験結果より撮影角度は 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－8 左）。

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－8 右）。

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。



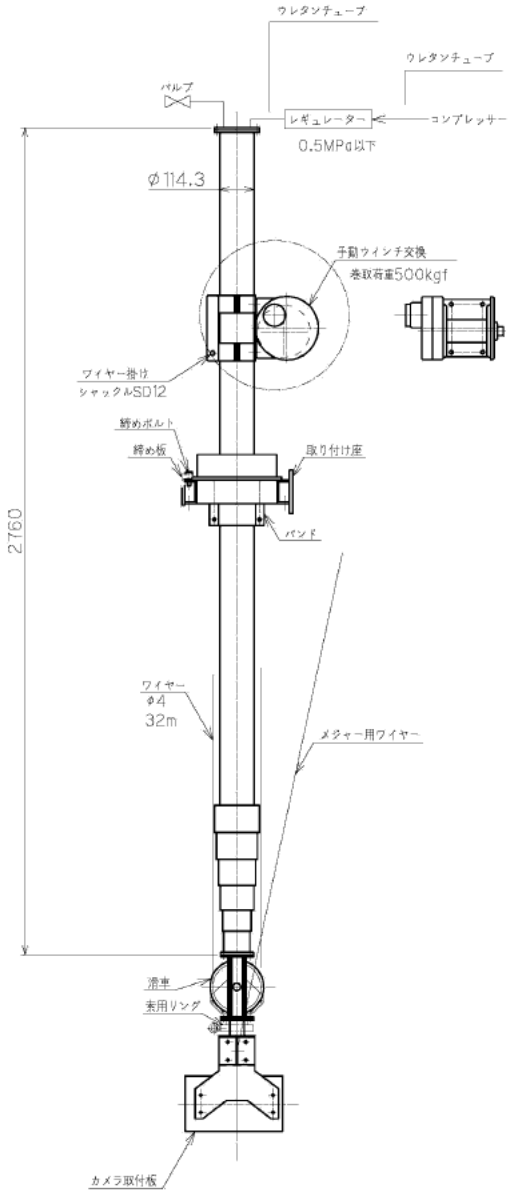
図－8　撮影方法

5.2　架装装置

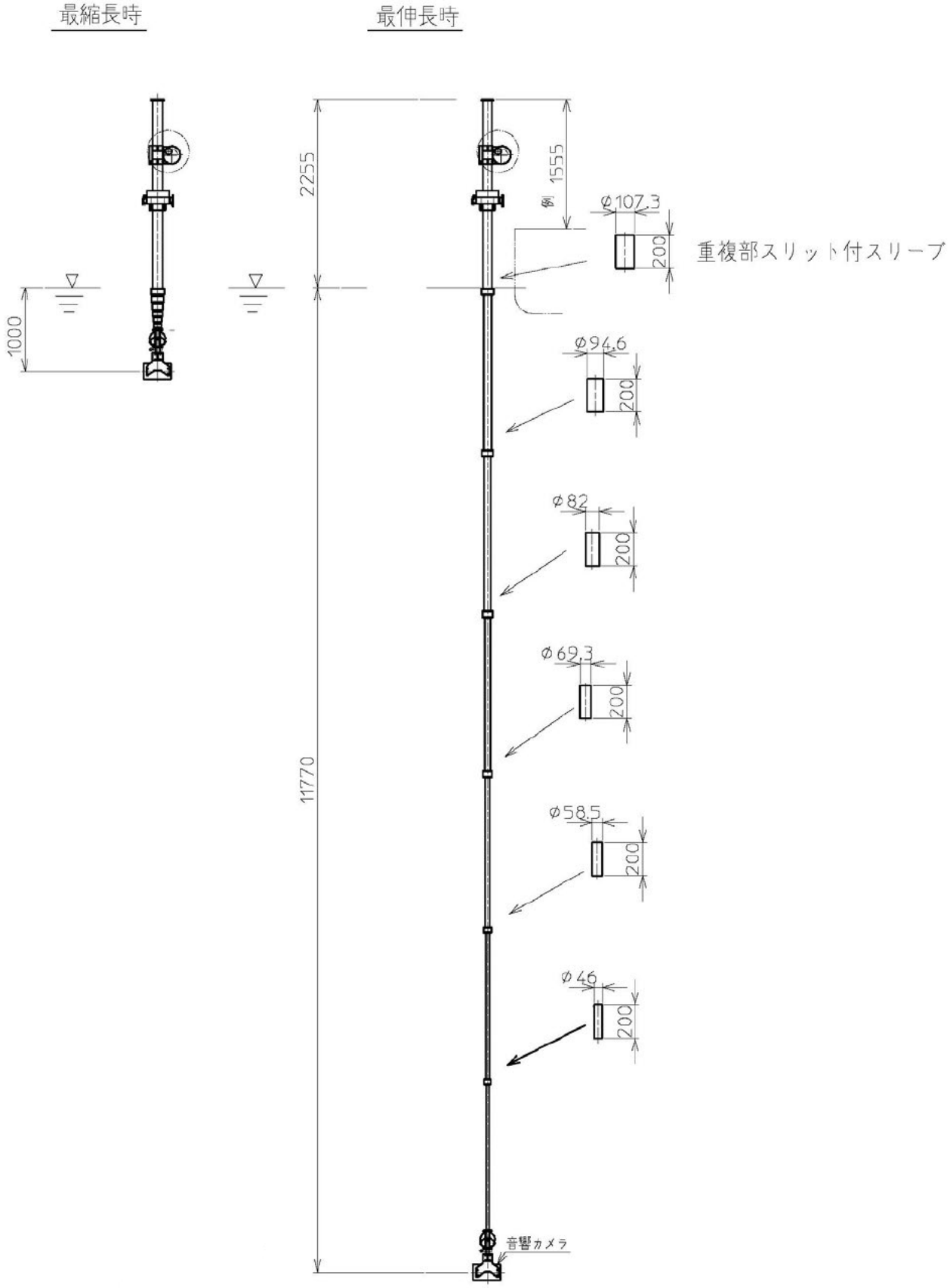
架装装置は、前項の撮影条件を満たし、撮影時の水流抵抗に耐え、可搬性にも優れた図－9、10 に示す装置を試作した。

主要部材であるポールは、撮影時には水面から 10m 程度伸ばすことが可能であり、また、可搬時には音響カメラを取り外して全長約 2.76m まで縮めることが可能な伸縮構造としている。

また、ポールは水面下の長さ 1～10m 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。



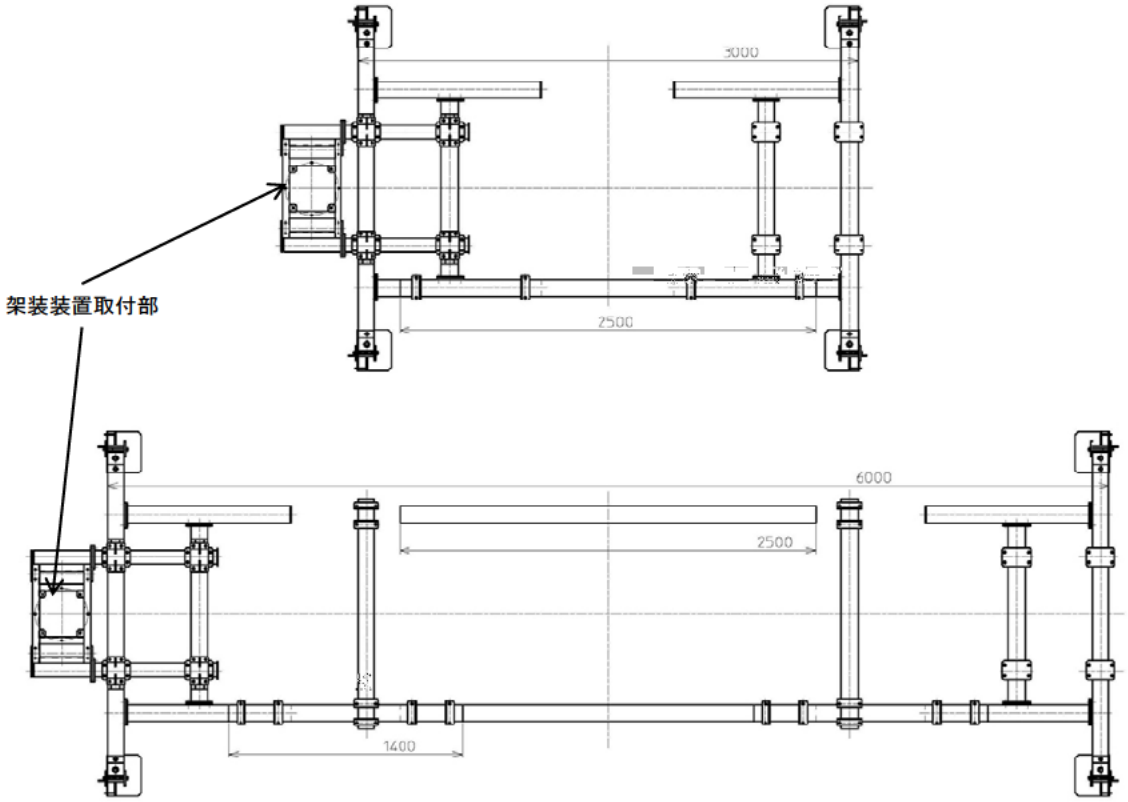
図－9　架装装置（1）


最縮長時
最伸長時
1000
2255
11770
例 1555
φ107.3
200
重複部スリット付スリーブ
φ94.6
200
φ82
200
φ69.3
200
φ58.5
200
φ46
200
音響カメラ

図－10　架装装置（2）

また、架装装置を船舷に固定するため、艤装用架台を製作した（図－11）。

艤装用架台は、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。



図－11　艤装用架台

5.3　計測機器

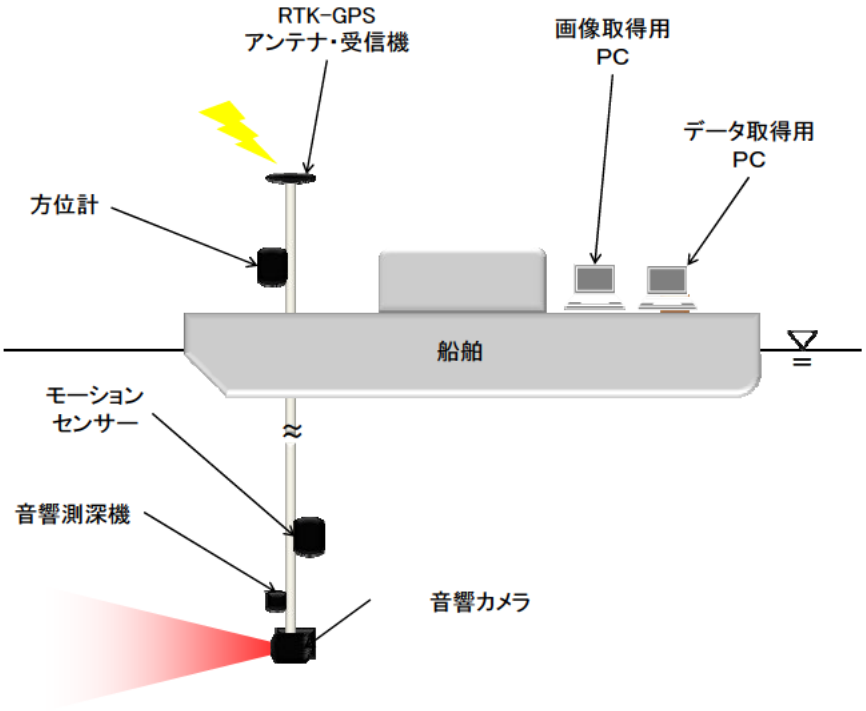
前述の①「幾何学的接合」によるモザイク図の作成においては、音響カメラでの撮影で得られる各画像データ（数フレーム/秒）に対し、それらが岸壁面でのどの位置の画像であるかを把握する必要がある。

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。

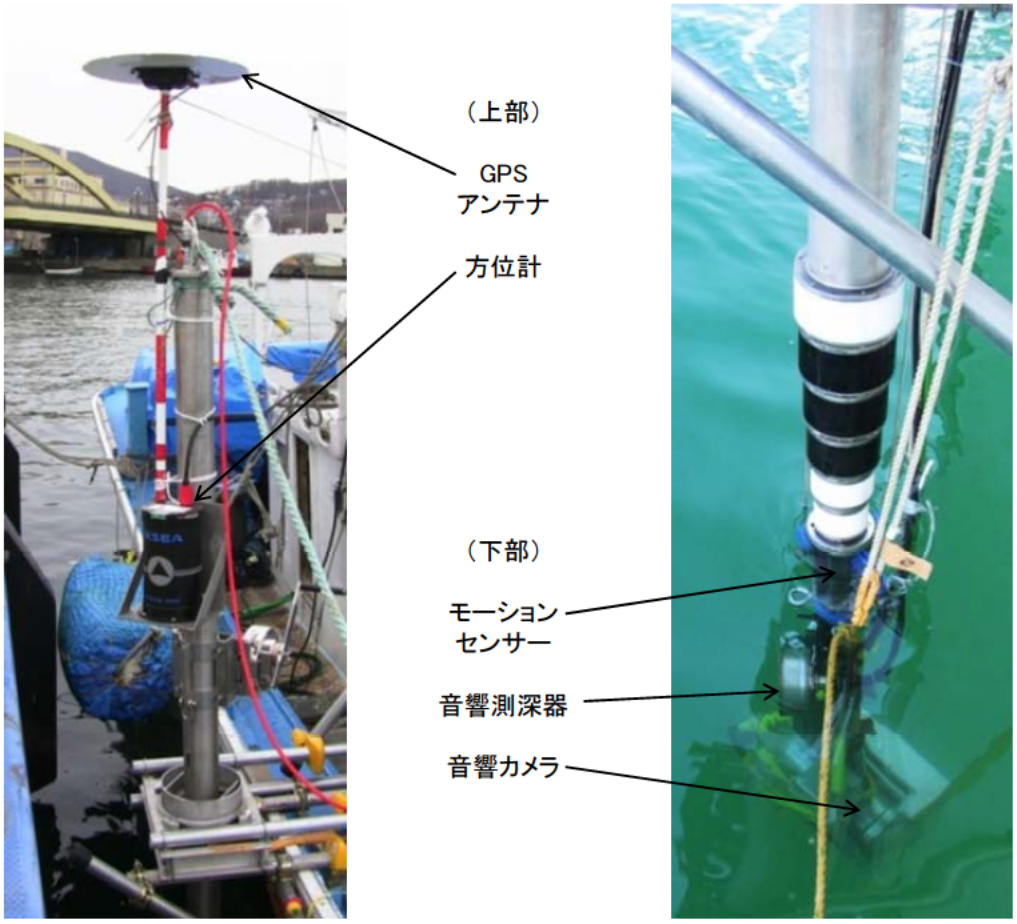
なお、撮影では音響カメラのほか、音響カメラの位置情報、姿勢情報を把握するため、RTK-GPS 装置、モーションセンサーのほか、音響カメラと岸壁との距離を計測する音響測深機等の機器類を使用してデータを取得した。

架装装置の艤装状態と各計測機器類の取付状態を図－12、写真－4 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。


RTK-GPS
アンテナ・受信機
画像取得用
PC
データ取得用
PC
方位計
船舶
モーション
センサー
音響測深機
音響カメラ

図－12　各計測機器類



写真－4　各計測機器類の取付状態

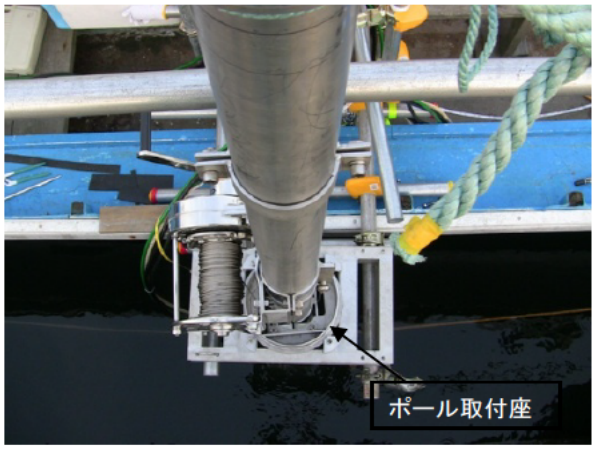
6. 撮影試験（平成 20、21 年度）

平成 20、21 年度に撮影試験を実施し、架装装置の振動、モザイク図の分解能及び位置精度について確認した。

6.1　架装装置の評価

架装装置は、岸壁面水中部全体を効率よく撮影するために試作した伸縮式のポールである。過年度の現地試験では-8.5m 以深の深水部を撮影した際ポールに振動が発生したため、艤装用架台を試作し、ポール取付座の補強を行っている（写真－5）。

現地試験では、振動対策の効果を検証し、実運用時の注意事項を取りまとめた。



写真－5　架装装置の改造

艤装用架台の試作（左）、ポール取付座の補強（右）

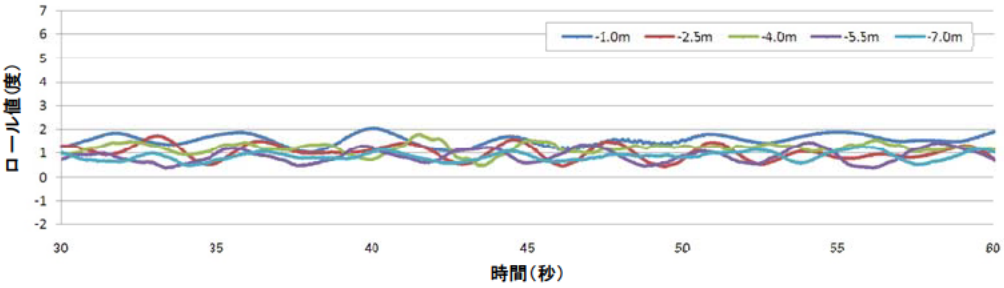
これまでの現地試験において、各水深で音響カメラ近傍の振動の計測、及び画像解析ソフトウェアによるモザイク図の作成を行った。

図－13、14 は音響カメラ近傍の振動を計測した結果である。

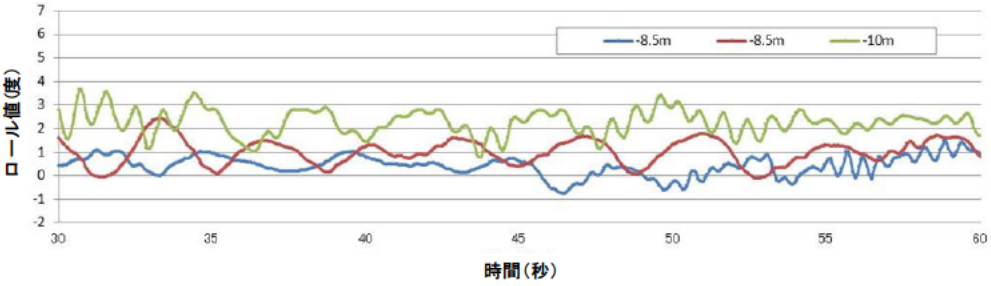
音響カメラ位置の水深が-1.0m、-2.5m、-4.0m、-5.5m、-7.0m では振幅の小さい振動が僅かに計測されただけで画像解析ソフトウェアによるモザイク図作成には支障はなく、-8.5m、-10.0m でも振幅のやや大きな振動が計測されたがモザイク図作成に問題はなかった。以上より、通常船速（1kt）では-10.0m 迄の水深でモザイク図の作成が可能である。

次に、撮影調査の効率化を目的として船速を 2 倍（2kt）とした試験を実施した。音響カメラ位置の水深が-1.0m、-2.5m では、通常船速（1kt）の場合と状況は変わらなかったが、-7.0m では、周期が短い振動が連続的に計測され、画像解析ソフトウェアでの処理作業に影響があった。

また、音響カメラは時間差のある多数のビームを使って画像を作成しており、移動しながらの撮影を行うことで画像に歪みを生じ、船速を 2 倍とした場合に特に分解能が低下した。以上より、1kt を通常速度として運用することが望ましく、撮影結果も概ね良好であった。

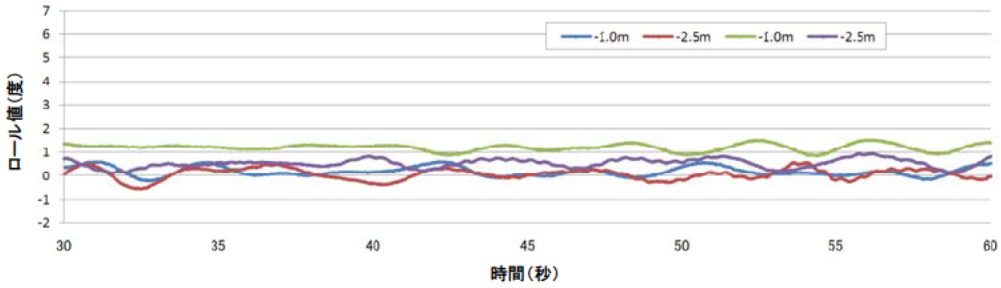


音響カメラ近傍の動揺(船速1kt、水深-1.0m、-2.5m、-4.0m、-5.5m、-7.0m)

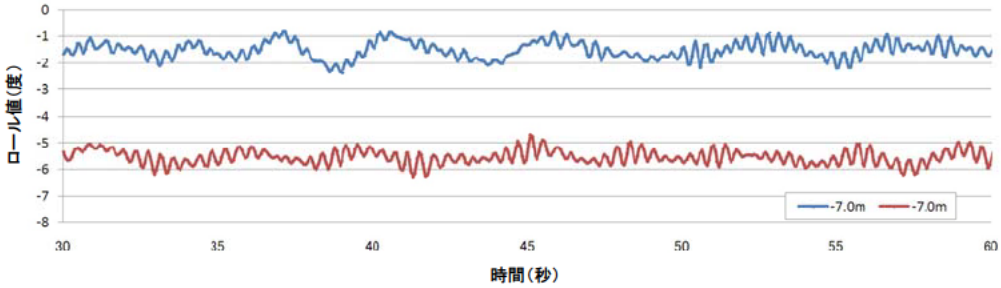


音響カメラ近傍の動揺(船速1kt、水深-8.5m、-10.0m)

図－13　音響カメラ近傍の振動



音響カメラ近傍の動揺(船速2kt、水深-1.0m、-2.5m)



音響カメラ近傍の動揺(船速2kt、水深-7.0m)

図－14　音響カメラ近傍の振動

架装装置（及び艤装用架台）の試作、改造、検証を実施し、船速 1kt でカメラ位置水深-10.0m 迄の撮影が可能となった。

次に、これまでの現地試験により、ポールの振動の要因として以下が考えられるため、実運用時の船舶の選定時には注意が必要である。

・ポールへの機器類の取付状況は航行方向に対し左右対称ではないため、水流抵抗を大きく受ける。

・ポールの艤装位置が船体前部に限定されることが多く、船首からの水流を直接受ける。また、船体後部ではスクリューによる気泡が撮影に影響する。

・船舷の形状によっては、艤装用架台の取付が不安定となり、船体側に加工が必要な場合もある。

・波面から加わる力を考慮すると、取付座とポールの喫水部との距離は短い方が望ましい。

また、艤装用架台は小型船に対応するよう設計しており船幅が 3～6 m の範囲で対応可能である。しかしながら、時期や場所によっては使用可能な船舶が限られるため、上記のように艤装しづらい船舶の場合、船体側に加工が必要な場合も考えられる（写真－6）。

写真－6　艤装用架台設置　平成 21 年度（左）、平成 22 年度（右）

6.2　分解能、位置精度の確認

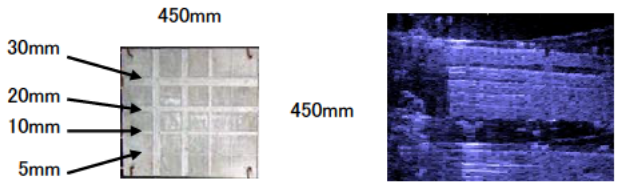
撮影試験により取得したデータより、モザイク図を作成するにあたり、分解能、位置精度を確認するため、予めコンクリート平板表面にクラックを疑似再現した供試体を製作し、各水深で岸壁面水平方向同位置に設置した（図－15）。

分解能の確認方法は、供試体とその撮影画像を比較した。また、位置精度の確認方法は、撮影試験時に各撮影水深で同位置に設置した供試体が、作成したモザイク図において、左右（水平）方向に撮影された範囲とした。

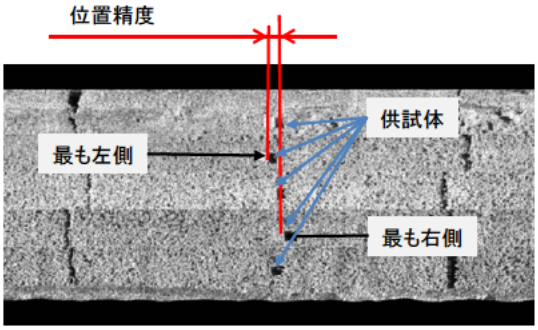
撮影画像の分解能は、供試体の撮影画像と疑似クラックの比較から、約 3cm の分解能を確認しており、潜

水士の目視による判断程度を確保している。

また、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、位置精度は 10～20cm 程度となった。



供試体とその撮影画像



位置精度

図－15　分解能、位置精度の確認

以上より、音響カメラを用いて撮影した画像の分解能は、潜水士の目視による判断程度を確保しており、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。

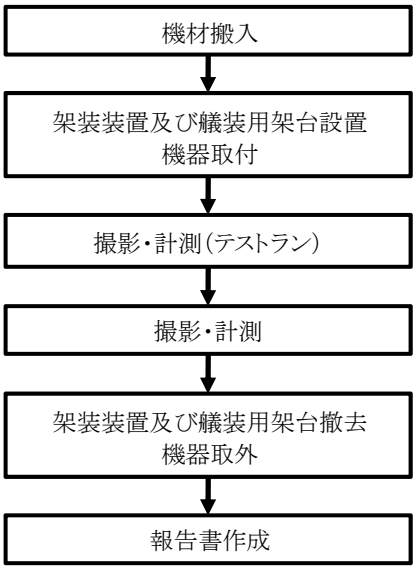
この点検手法は、港湾及び漁港施設における現地調査項目のうち本体工水中部の目視調査に適用できる（表－1）。

表－1　現地調査項目（例：「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」による）

施設種別	点検項目／点検施設		点検方法
重力式係船岸	本体工	コンクリートの劣化、損傷	目視調査 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋露出　・劣化の兆候

7. 施工フロー

これまでの撮影試験で本技術を用いた水中構造物点検の施工フローを確立した（図－16）。また、作業状況を写真－7 に示す。



図－16　本技術を用いた水中構造物点検の施工フロー

写真－7　艤装用架台組立（左上）、架台設置（右上）、機器取付（左下）、撮影計測（右下）

8. 現地での適用性確認試験（平成 22 年度）

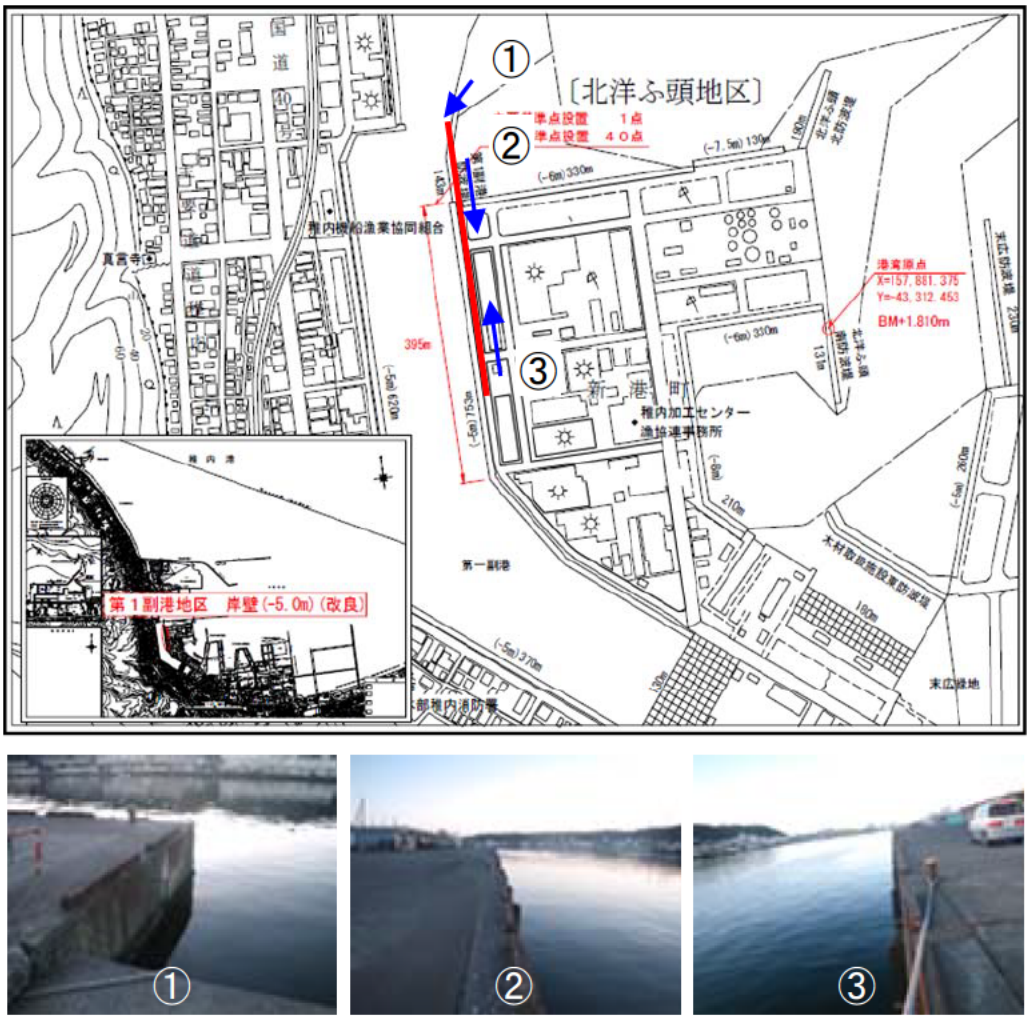
前項の調査方法にて、実運用を見据えた現地試験を国土交通省北海道開発局稚内港湾事務所の協力を得て実施した（図－17、18）。現地試験では撮影方法及び架装装置の評価を行い、また、本技術と従来の点検方法との調査費の比較やデータ管理システムを作成した。

過年度からの現地試験も含め、確認・検討事項は以下のとおりである。

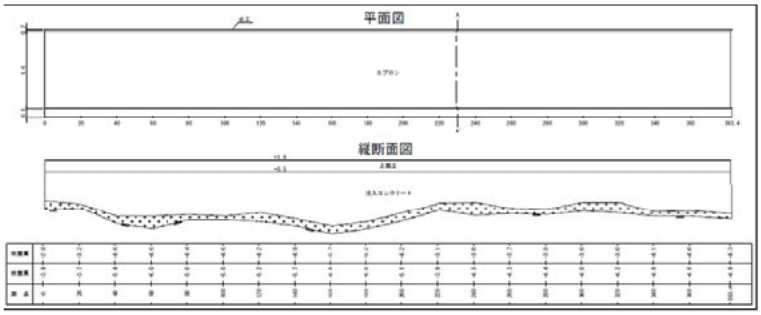
・潜水調査と撮影調査の結果

・調査費の比較

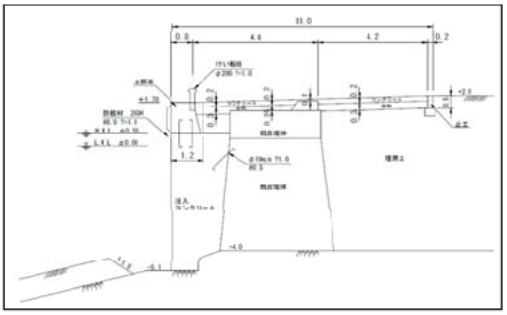
・運用後の成果品管理（データ管理システムの作成）



図－17　実施箇所（稚内港第 1 埠頭地区岸壁（-5.0m））



平面図（上）、縦断面図（下）

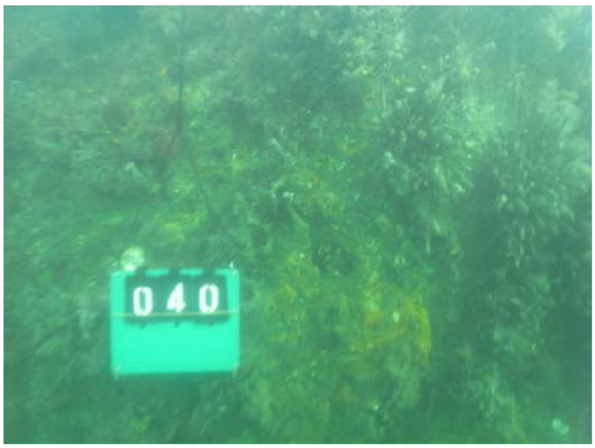


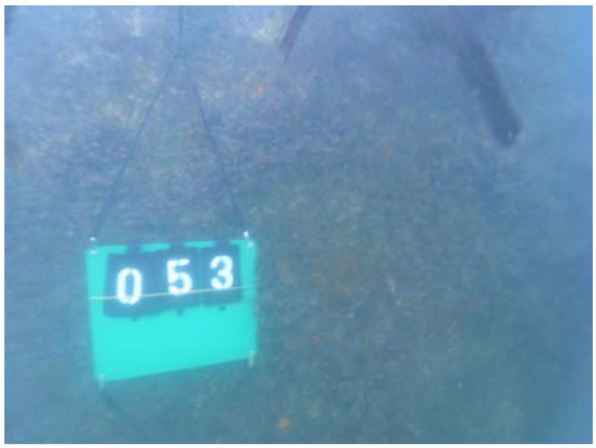
横断面図

図－18　平面図、縦断面図、横断面図

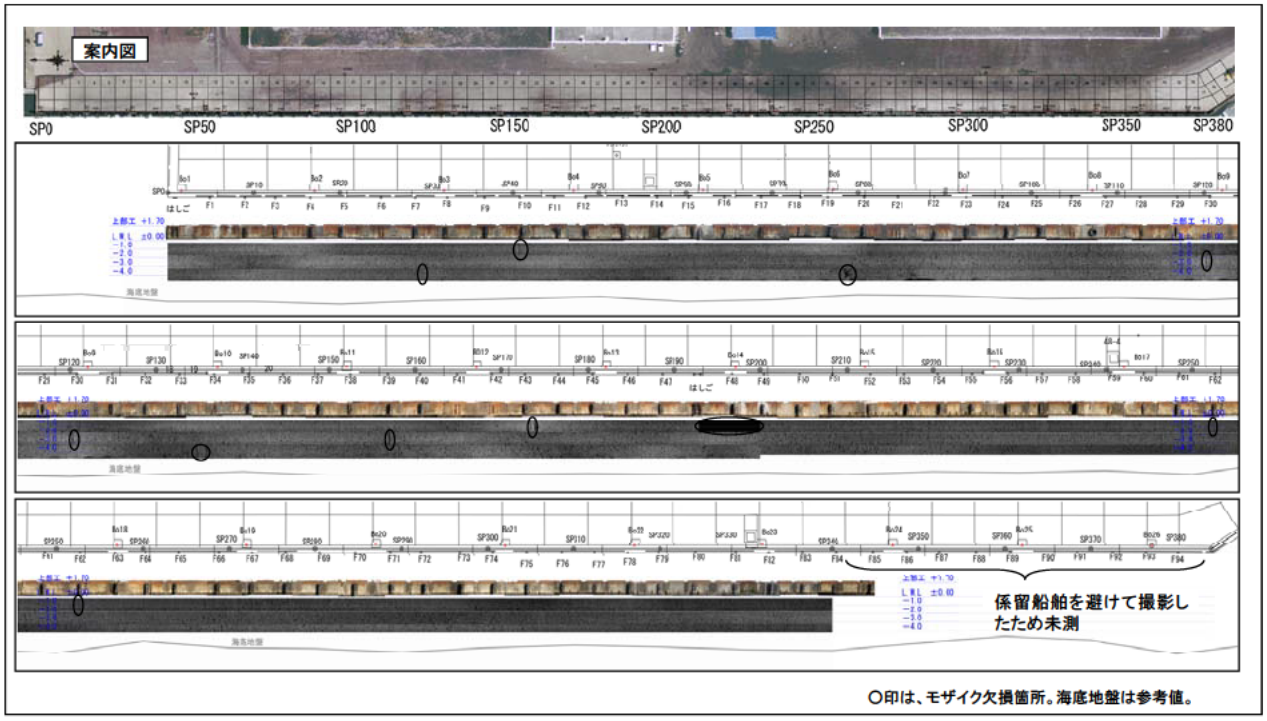
8.1　潜水調査と撮影調査の結果

潜水調査による点検結果を写真－8 に、モザイク図を使用した点検報告書（案）を図－19 に示す。





写真－8　潜水調査による点検結果



図－19　モザイク図を使用した点検報告書（案）

9. 調査費の比較[2)]

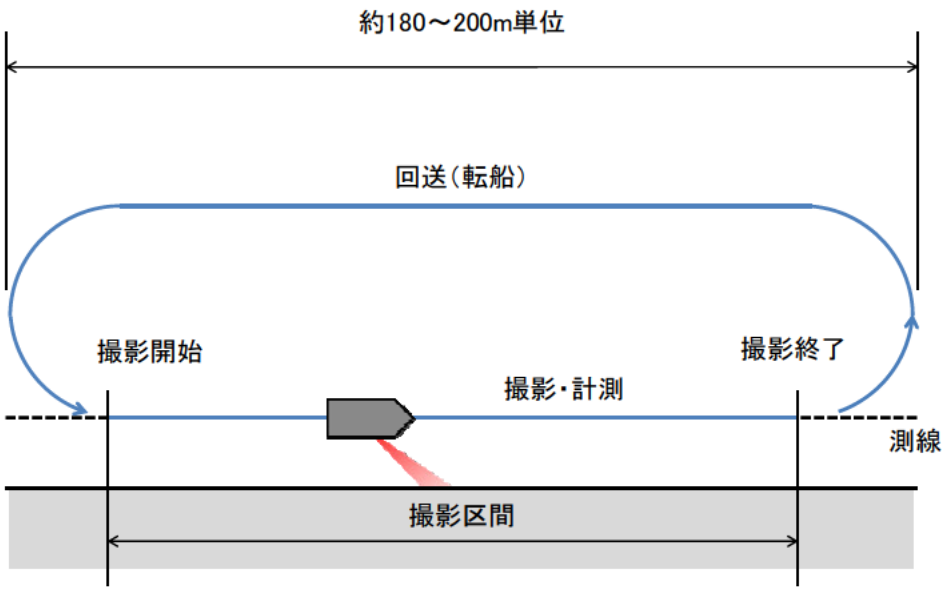
9.1　日当り撮影面積

国土交通省の積算基準（暫定案）※によると、従来の標準的な点検作業では、潜水士 2 人で約 1,200m^2／日の調査面積となっている。

本技術を用いた場合の日当り撮影面積の算出については、終日撮影を実施した平成 22 年度現地試験（11 月 24 日　作業時間：8:00～16:00）のデータを参考とした。

当日の撮影パターンを図－20 に示す。撮影・計測は約 180～200m 単位で行い、撮影・計測と回送を繰り返し、途中で、前方・後方撮影などのため撮影方向（音響カメラの向き）の切り替えを行った。

※維持管理計画書策定のための現地調査費（暫定案）：国土交通省



図－20　撮影パターン

なお、撮影速度は 1 kt を目標とし、回送時も架装装置への負荷を考慮し同程度の速度で航行した。また、撮影カメラ位置の変更は回送時に行った。

現地試験では図－19 の測線に沿った撮影を 17 回（有効回数）行い、カメラの撮影方向を 4 回変更した。撮影形態を表－2 に示す。

これらより撮影面積を試算すると、1 回の撮影で 225 m^2（H 1.5 m×W 150 m）となり、17 回の撮影で約 3,800 m^2 となった。

表－2　作業形態

	開始時刻	終了時刻	撮影時間（s）	距離（m）	カメラ方向切換え時間（s）	有効回数	備考
1	9:00:24	9:04:25	241	180		◎	
2	9:09:33	9:13:11	218	180		◎	
3	9:18:25	9:20:05	100	180		◎	
4	9:24:20	9:27:20	180	180		◎	
					17:52		
5	9:45:12	9:49:10	238	180		◎	
6	9:52:08	9:53:21	73	180			
7	9:53:22	9:55:35	133	180			
8	10:01:52	10:06:29	277	180		◎	
9	10:14:16	10:18:54	278	180		◎	
					71:59		
10	11:30:53	11:35:03	250	180		◎	
11	11:40:00	11:44:10	250	180		◎	
12	11:49:33	11:54:13	280	180		◎	
13	12:03:00	12:07:02	242	180		◎	
					123:56		
14	14:10:58	14:16:25	327	200		◎	
15	14:19:17	14:21:33	136	200			
16	14:28:44	14:34:35	351	200		◎	
17	14:43:01	14:49:09	368	200		◎	
					13:11		
18	15:02:20	15:08:08	348	200		◎	
19	15:15:41	15:21:36	355	200		◎	
20	15:29:52	15:35:24	332	200		◎	

但し、海象条件や航行状況、架装装置の振動などの影響で撮影画像や計測データが後の画像解析装置での処理に適さないと判断される場合は再測を行い、これらの時間的損失で撮影面積は減少する。

9.2　調査費の比較

従来の点検方法（潜水調査）と本技術（撮影調査）の調査費を比較した。

・潜水調査

潜水調査は国土交通省の積算基準（暫定案）より「付着物除去を伴わない潜水調査」から施工費を算出した。

・撮影調査

図－16 の施工フローに従い調査費を算出した。

計画準備、事前協議については従来の点検方法に準ずるが、報告書作成においては、画像解析装置を使用するため、データ解析・整理等の労務費を加えた工数とした。

機材運搬は、比較のため、調査会社が所在する最寄りの都市から調査現場までの運搬距離を最短に設定した。

現地調査では、労務工数は現地試験での実績値を採用し、機械経費は損料計上とした。

・比較結果

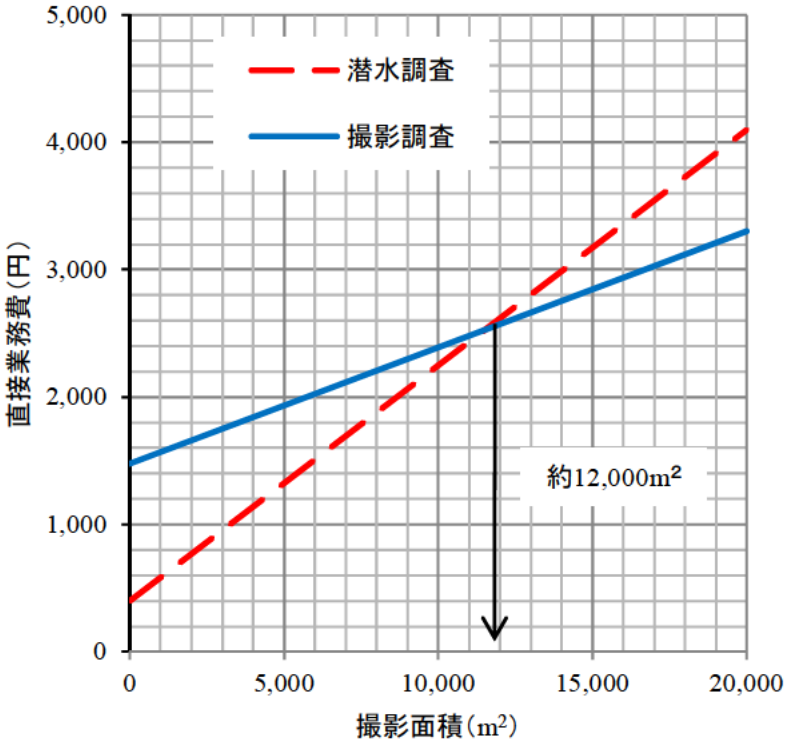
撮影面積当りの直接業務費を比較した結果を図－21 に示した。

撮影調査においては、架装装置・艤装用架台設置（撤去）、機器取付（取外）、撮影・計測（テストラン含む）といった撮影 1 回当りに必要な費用（固定費）は割高だが、撮影 1 日当りの調査面積が大きいため、調査面積が約 12,000m^2 以上であれば全体的な施工費は安価となる試算となった。

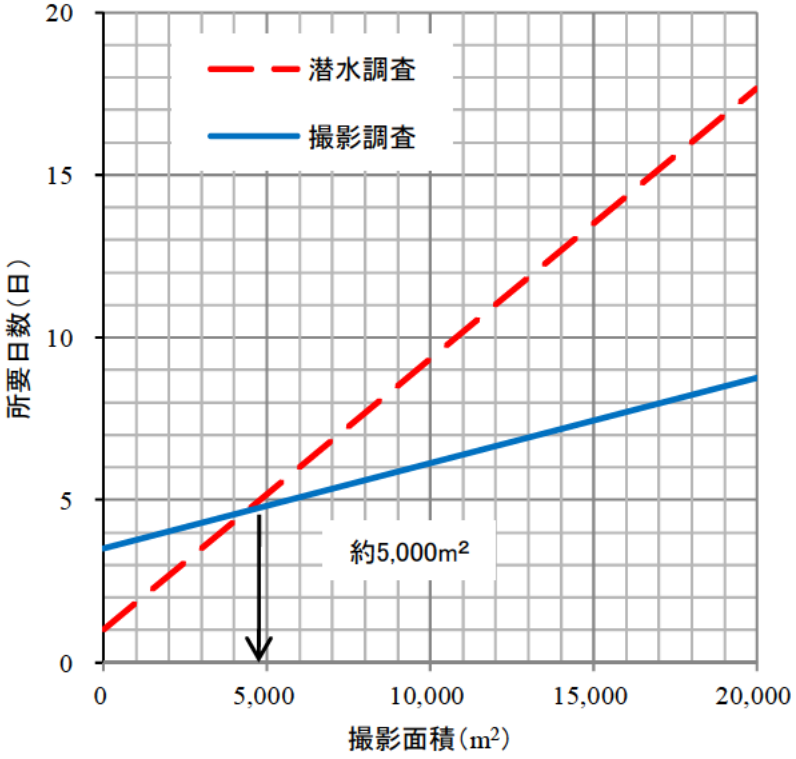
また、撮影面積当りの所要日数を比較した結果を図－22 に示した。調査面積が小さい場合(約 5,000m^2 以下)は潜水調査の所要日数は少なくて済み、調査面積が大きいほど（約 5,000m^2 以上）撮影調査の方が短期間で済むことになる。

潜水調査の場合は、潜水士、機械共に現地での雇用・調達が可能なため、小規模な調査に適しているといえる。

調査現場が遠方の場合、架装装置や機器が現地調達できないため、事前に運搬費等と撮影面積を考慮した上で調査方法を選択する必要がある。



図－21　撮影面積当りの直接業務費



図－22　撮影面積当りの所要日数

10. その他検討事項

10.1　撮影補助

各撮影水深部を水深（鉛直）方向に位置合わせする際の目印が必要となるため、撮影調査の補助作業として、陸上から先端に錘を取り付けたロープ（φ30mm）を係船柱（約 15 m 間隔）に固定し海中に投入した。

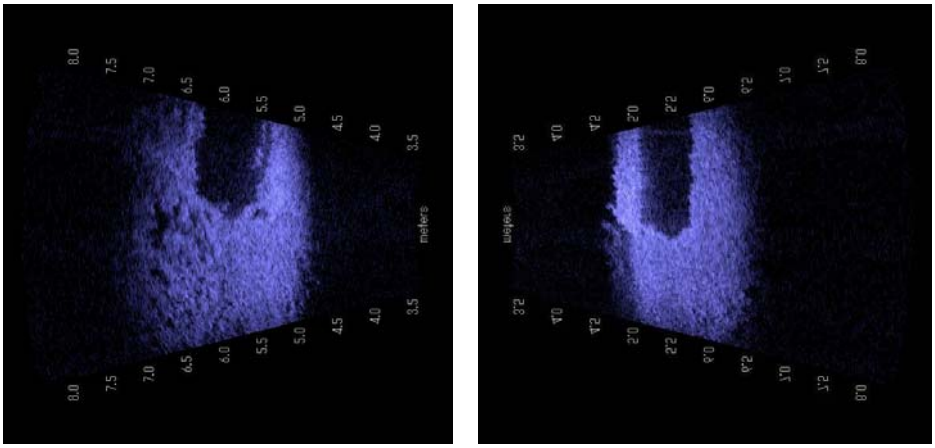
また、陸上部の目視点検も船上から可能であり、この場合、陸上部撮影（光学式カメラ）を補助するため、セーフティーコーンを一定間隔で設置した（写真－9）。

写真－9　ロープ投入、セーフティーコーン設置

10.2　前方・後方撮影の有効性について

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。また、岸壁隅角部への撮影にも有効である。

今回の撮影試験では前・後両方向からの撮影結果に差異は無かった。通常時の変状箇所抽出においては撮影時間の短縮のため、一方向（前方または後方）からの撮影のみ行う。（写真－10）。



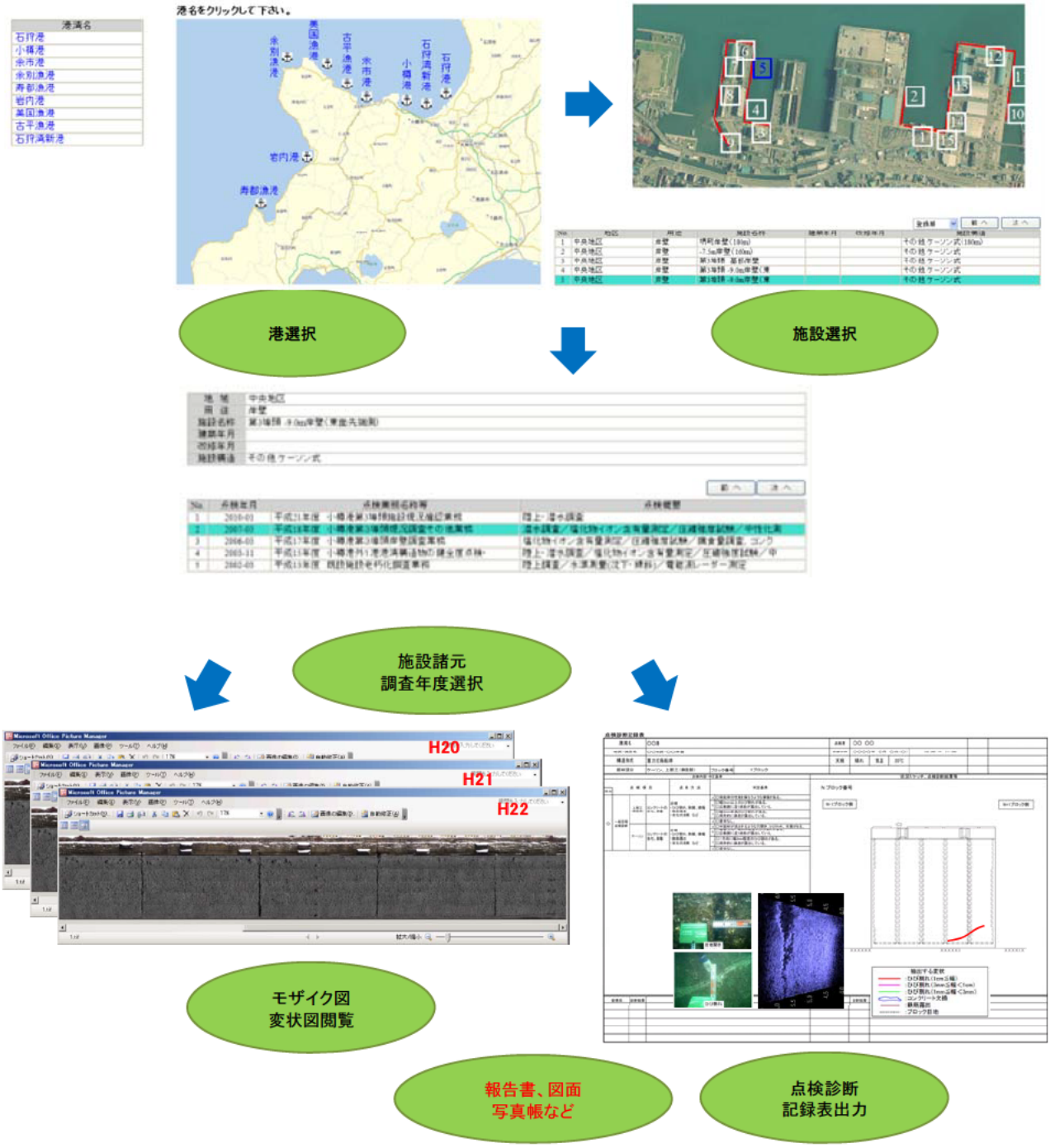
写真－10　供試体の撮影（前方撮影（左）、後方撮影（右））

11.　データ管理システムの作成

港湾構造物の水中部劣化診断において、音響カメラ等が取得したデータから作成したモザイク図、およびCAD データとして作成された変状図の管理・閲覧を行うソフトウェアを作成した。

これは、各種調査報告書（帳票）作成の支援や、水中構造物の経年変化の把握を可能とし継続的な施設の維

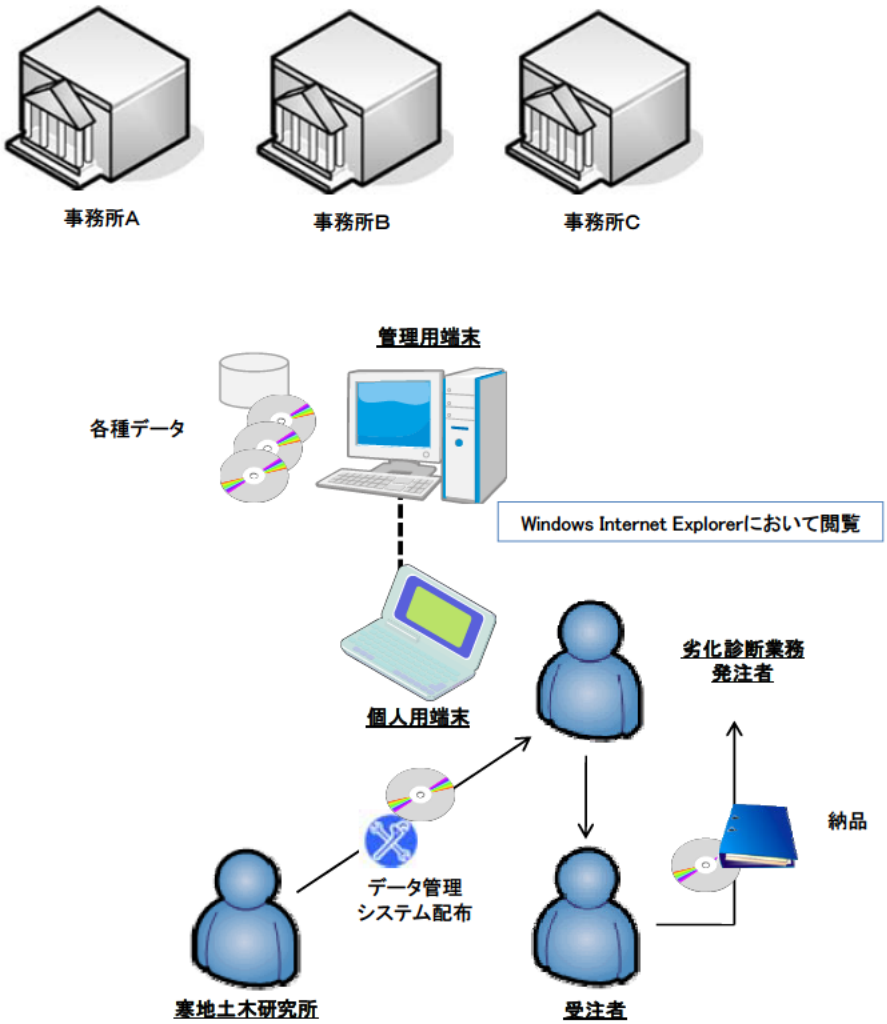
持管理を実現することを目的としている（図－23）。



図－23　データ管理システム（利用画面）

本システムの運用範囲は港湾を管理する事務所等を単位とし、事務所等で同時に各個人用端末で閲覧可能である。管理用端末は、事務所等の既存 PC を利用し DB ソフトアウェア、WEB サーバソフトウェアを構築し、その他ソフトウェアも含め、いずれもフリーウェアで配布可能なもので構成した。また、これらは他の事務

所等でも容易に適用可能なシステムとした（図－24）。



図－24　データ管理システム（システム概要）

12. まとめ

本研究において、水中部劣化診断システムの現場適合性を確認した。

潜水士の目視観察に替わる撮影画像の分解能は約 3 cm となり、潜水士の目視程度以上であると判断した。また、モザイク図の位置精度は 10～20 cm 程度であり、変状箇所の位置確認に支障はないと思われる。

この他、潜水調査では陸上部、水中部を含めた施設全体の画像化は困難であるが、本システムを用いることにより画像化が容易となった。

以上より、本技術は港湾及び漁港施設における水中構造物の目視一次点検手段として有効であり、これにより異常箇所の抽出が可能となる。

施工費を試算した結果、本技術は撮影 1 回当りに必要な費用（固定費）が割高であるが、撮影 1 日当りの調査面積が大きく、業務当りの調査面積が大きければ全体的な施工費は潜水調査に比べ安価となる試算となった。

今後の検討課題として、調査費の低コスト化が必要である。例えば、調査全体に対して撮影・計測においては機器類の損料が占める割合が大きく、機械損料を低減する方策として方位計を GPS 装置のオプション機能で代用するなどの低コスト化が考えられる。

固定費については、艤装用架台は種々の船舶への対応が困難なことから、組立・設置に労務を要しており、組立方法の簡素化や艤装方法を事前に検討をするなどして設置時間の短縮は可能と考える。

3 カ年の現地試験を通して、各計測センサーを使用した取得データの解析手法を確立し、全体システムの性能要件を作成した。また、港湾施設における本技術の現場適合性を確認している。今後は、河川・ダム分野など、他分野での展開も望まれる。

参考資料

・現地試験（平成 20～22 年度）

・港湾構造物水中部点検データ管理システム

・画像解析ソフトウェア（委託研究）

・写真帳

1. 現地試験

現地試験は、表－1 のとおり実施した。1.1 以降に、本文の現地試験内容を補足する。

表－1　現地試験概要

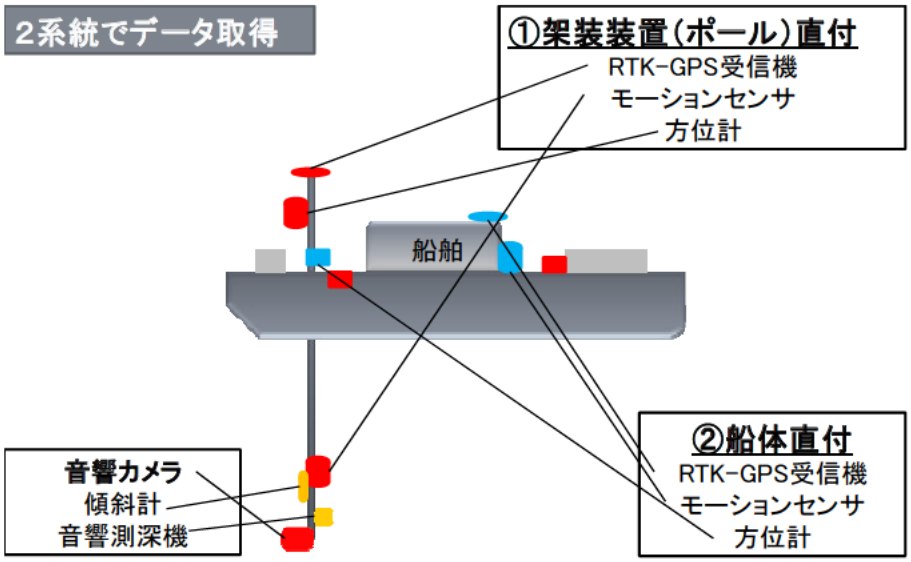
年度	期間	場所
平成 20 年度	10 月 12～13 日	神奈川県川崎市千鳥町
	12 月 10～13 日	北海道小樽市色内　小樽港港町埠頭、第 2 埠頭、第 3 埠頭
平成 21 年度	12 月 12～18 日	北海道小樽市色内　小樽港港町埠頭、第 2 埠頭
平成 22 年度	11 月 19～25 日	北海道稚内市　稚内港第 1 副港地区

1.1　撮影試験（平成 20 年度）

1.1.1　予備試験（第 1 回）

・機器類の構成とデータ取得方法の確認

機器類の構成とデータ取得方法の確認のため、機器類の設置は、ポール直付、船体直付の 2 系統とし撮影を行った（図－1）。



図－1　機器取付図

試験で使用した機器類は表－2 のとおりである。

表-2　主な使用機器類

名称	製造元	規格・性能
音響カメラ	DIDSON （Sound Metrics.社製）	最大レンジ　1.1MHz 使用時 40m、1.8MHz 使用時 12m 線密度　1.1MHz：0.6°間隔48 本のビーム、1.8MHz：0.3°間隔96 本のビーム 視野角　29° フレームレート　5～27f/s 焦点距離　1～40m
モーションセンサー	DMS2-05 型 （TSS 社製）	波の周期 1～20 秒、波高 1m を 95%（5cm）まで補正
ジャイロコンパス	OCTANS （IXSEA OCEANO 社製）	方位　±0.1°Secant Latitude ロール・ピッチ　±0.01° ヒーブ・サージ・スウェイ　5cm or 5%
音響測深機	PS20R （カイジョー社製）	±3 ㎝×水深／1000、200kHz →H21 より 500kHz（本多電子社製）に変更
RTK-GPS	MS750 （Trimble 社製）	測位精度　水平位置1cm±1ppm×測定距離 無線機内蔵型
音速度センサー	SVPS 型 （AML 社製）	測定精度　1m//秒 最大測定深度　100m 応答時間　約 2.0 秒

検証試験（第 2 回）では、機器類の設置、試験方法は予備試験（第 1 回）と同様であるが、ポール（単管）の替わりに試作した架装装置を使用し、データ取得は架装装置直付の 1 系統のみとしている。

1.1.2　検証試験（第 2 回）

・架装装置性能の検証

架装装置を試作し、単管で組んだ架台に取り付け、艤装した（写真－1）。

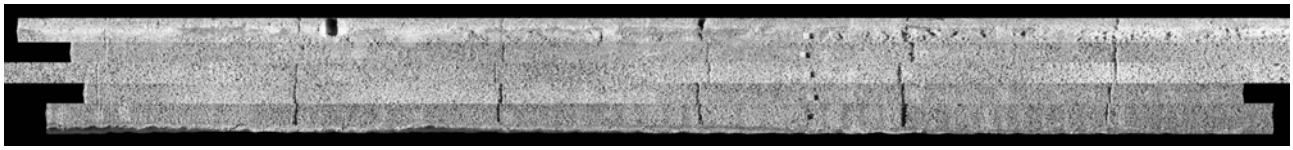
架装装置の性能については、ポールの伸縮動作、航行時の耐久性等を確認した。

また、-14m 岸壁点検を想定し、ポールを最伸長（13m）、船速度を 2 ノット（通常の 2 倍速）で航行した場合の取得した画像の有効性を検証した。

写真－1　単管架台による架装装置の艤装

・画像解析ソフトウェアによるモザイク図作成

平成 20 年度試験では、位置精度は約 2m であった（図－2）。



図－2　平成 20 年度作成モザイク図

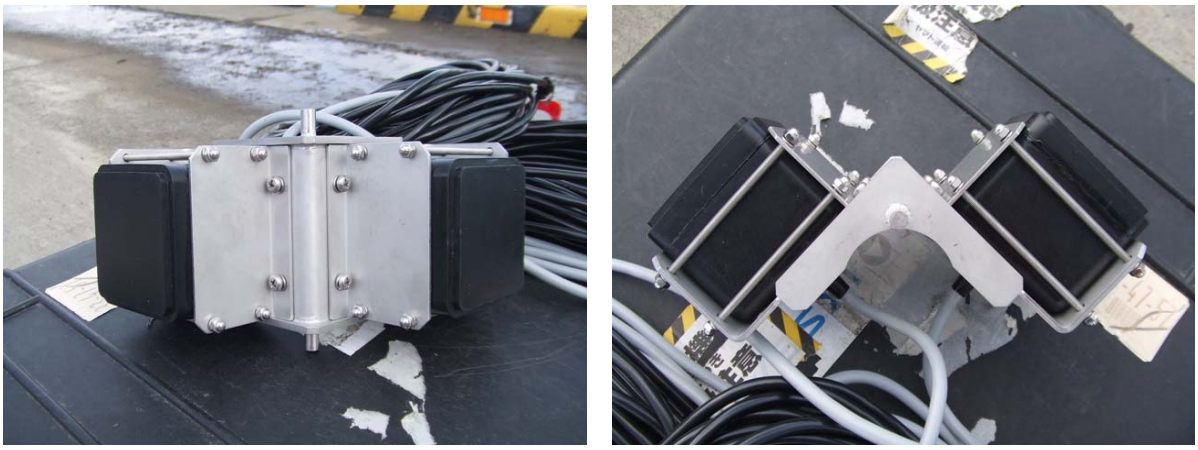
1.2　撮影試験（平成 21 年度）

・機器類の構成とデータ取得方法の確認

（1）音響測深機の変更

音響測深機を変更し、周波数を 500kHz とした（写真－2）。

また、音響カメラによる前方・後方撮影の変更時には、カメラ方向を手動で切り換える（ポールを 90 度回転させる）が、それぞれのカメラ位置の時、音響測深機の方向が正確な向きとなるよう、音響測深機を 2 台取り付けた。



写真－2　音響測深機の変更（周波数：500kHz）

（2）GPS 方位計の使用検討

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した（写真－3）。GPS 方位計は、GPS 受信機と 2 つの GPS アンテナから成る。また、測位用 GPS アンテナを兼用し、1 つの GPS アンテナを追加することで、方位を得る方法もある。

写真－3　GPS 方位計

・架装装置の改造

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した（ポール重複部にスリット付スリーブを増強した。）。

また、平成 20 年度は、架装装置を艤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の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艤装用架台を製作し、短時間で確実に艤装する方法を検討した（写真－4）。

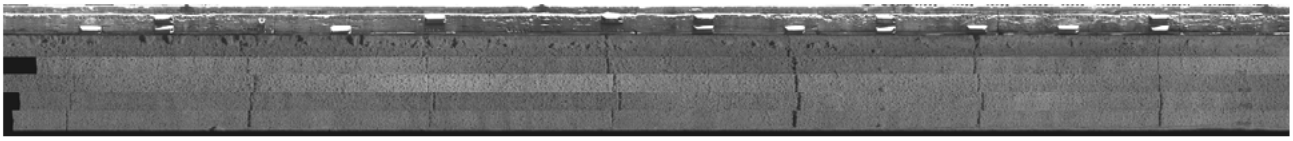
写真－4　架装装置及び艤装用架台

・画像解析ソフトウェア改良

音響カメラで撮影した岸壁面水中部の画像と光学式カメラで撮影した陸上部の画像とで、水陸一体化したモザイク図の作成を行った。

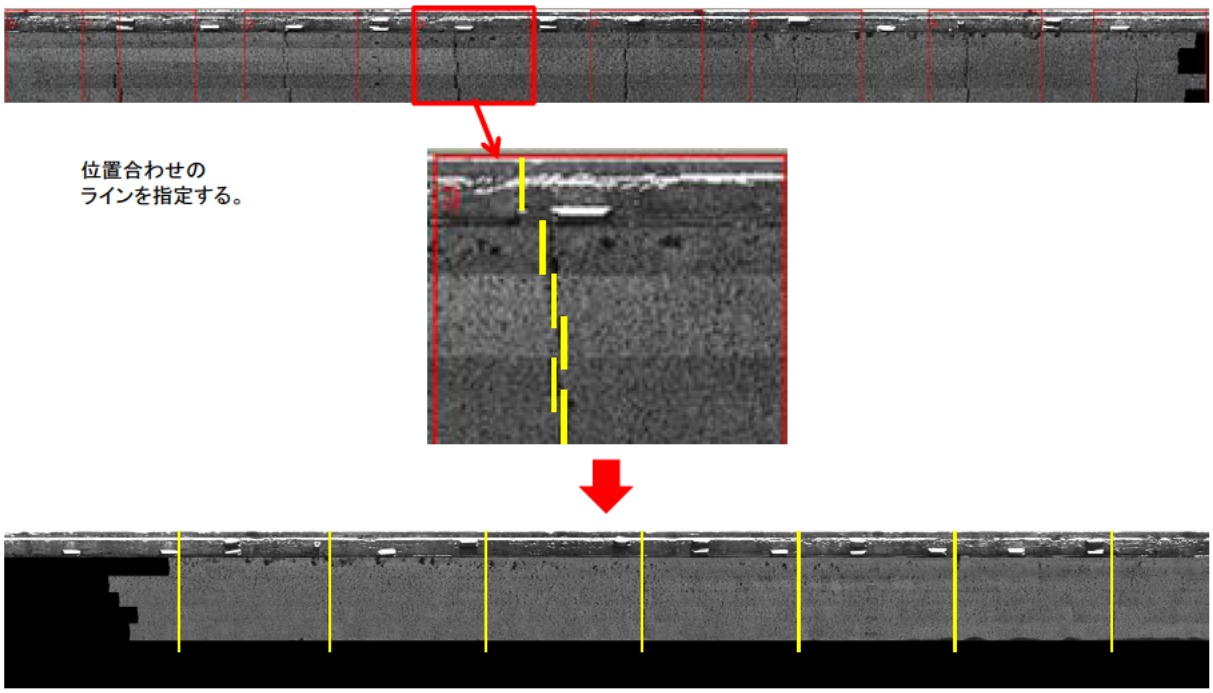
平成 20 年度試験では、位置精度は約 2m であったが（写真－5）、音響測深機の変更、架装装置の改良、艤装用架台の使用で、平成 21 年度に作成したモザイク図では位置精度は約 30cm 程度に向上した（写真－6）。

写真－5　全体モザイク図（平成 20 年度）



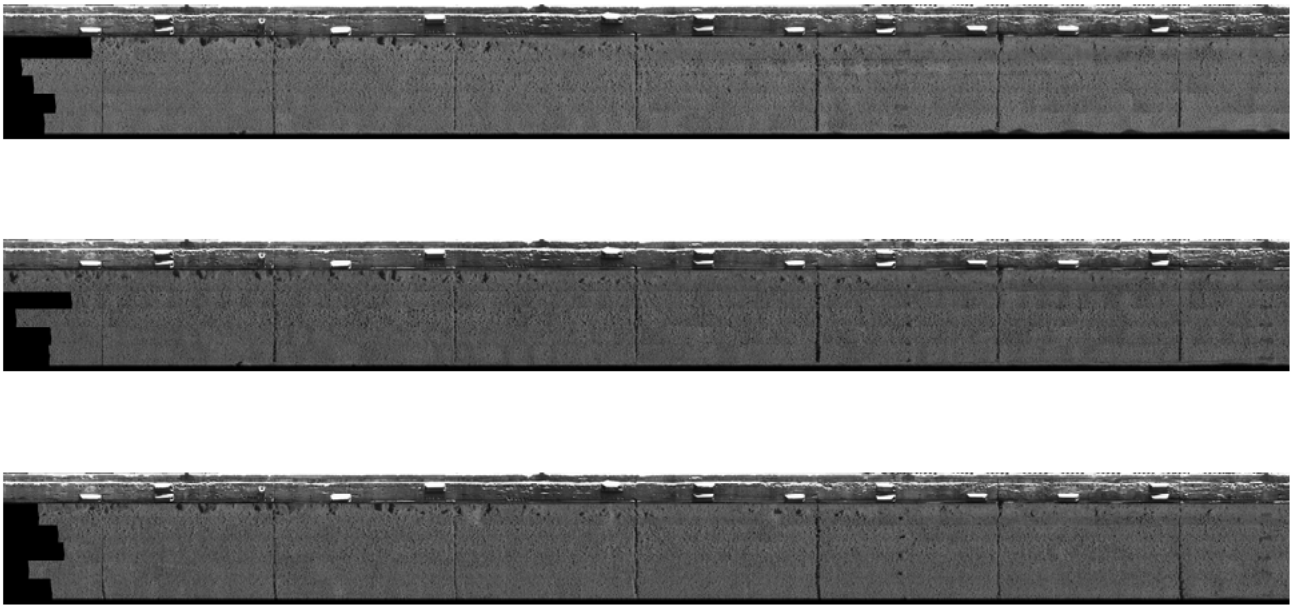
写真－6　全体モザイク図（平成 21 年度）

更に、画像解析ソフトウェアの改良により、陸上部から水深部への垂直方向で共通した特徴（例：岸壁面の目地など）を位置合わせの目印とし、ソフトウェア上で作為的にキャリブレーションした（図－3）。

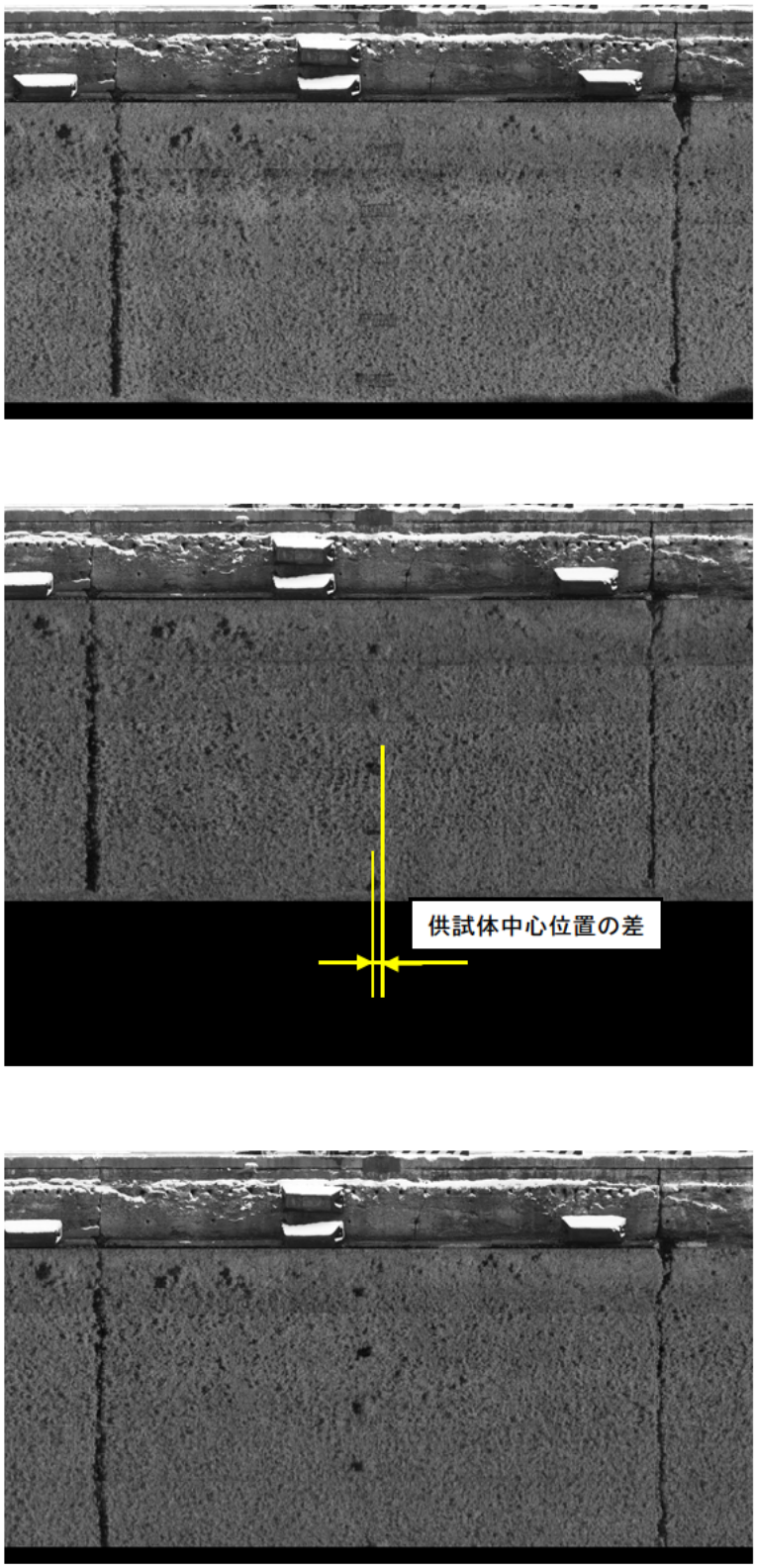


図－3　キャリブレーション

撮影及びキャリブレーション結果を、写真－7、8 に示す。



写真－7　作成したモザイク図（上から、撮影日：平成 21 年①12/15、②12/17、③12/18）



写真－8　作成したモザイク図（供試体部分拡大）（上から、撮影日：平成 21 年①12/15、②12/17、③12/18）

以上より、計 3 回分（①12/15、②12/17、③12/18）のモザイク図から位置精度を確認した。

位置精度は、①12/15→11.9cm、②12/17→9.9cm、③12/18→20.1cm となった。

今回のキャリブレーション方法では、位置合わせした目地間（15m）の中央で誤差が最大となる。位置精度の確認のために設置した供試体は、目地間の中央にあり、この位置で誤差が最大となることを考慮しても今回の位置精度は 10～20cm 程度（最大誤差）といえる。

1.3　撮影試験（平成 22 年度）

※詳細は本文参照（補足なし）　港湾構造物水中部点検データ管理システムについては次節参照

2. 港湾構造物水中部点検データ管理システム

国土交通省北海道開発局での使用を想定して作成した本システムの使用方法の概略を以下に示す。

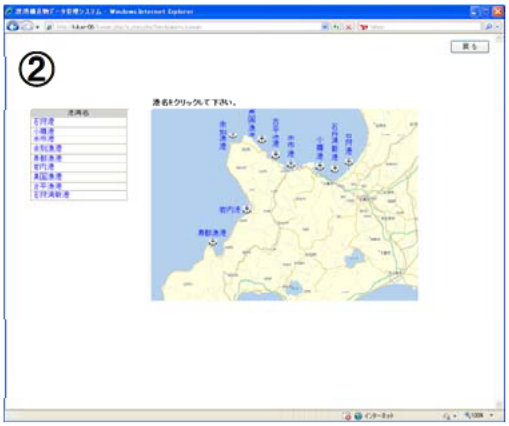
画面構成

・トップページで地方（開発建設部）を選択し、地方図から港湾を選択する。

各港湾において地区を選択する。

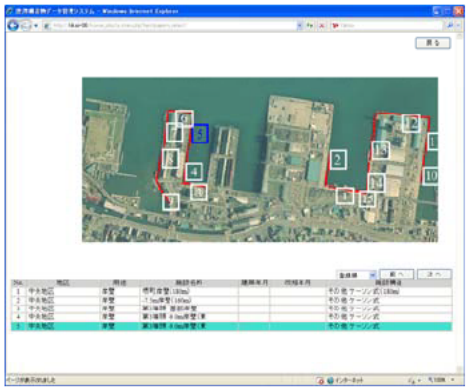
※①～③は固定画面で、プログラムにより設定する。

トップページ

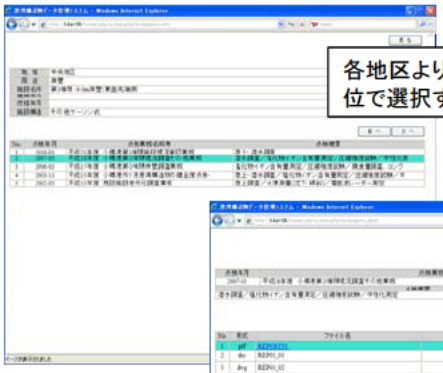


港湾選択画面

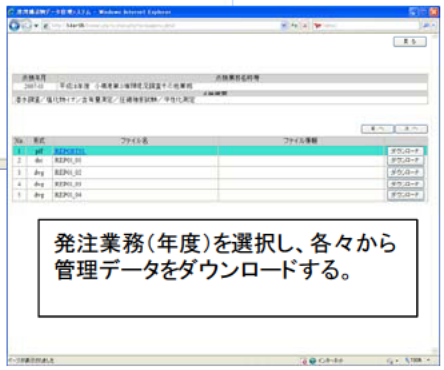
地区選択画面



施設選択画面



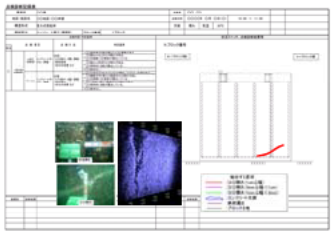
各地区より施設単位で選択する。



発注業務（年度）を選択し、各々から管理データをダウンロードする。

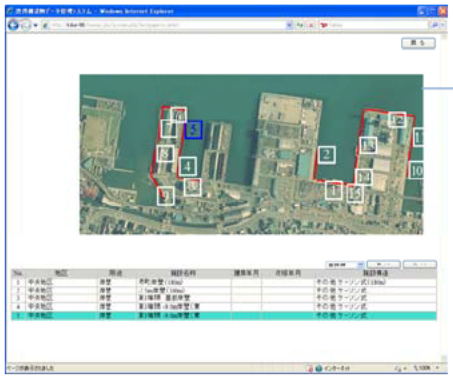
ファイルダウンロード画面

点検診断
記録表出力

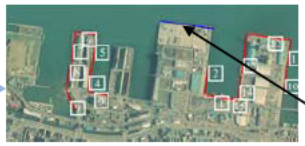


報告書、図面
写真帳など

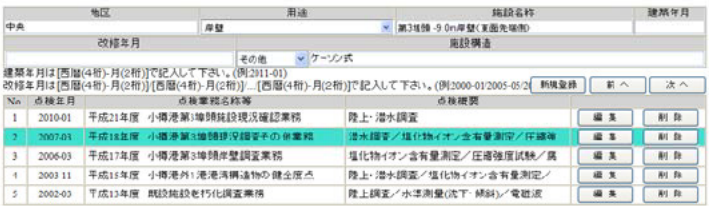
モザイク図
変状図閲覧



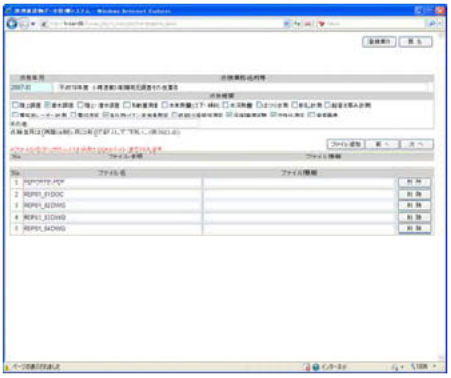
施設選択画面



施設位置を
任意に設定
可能



データ入力画面



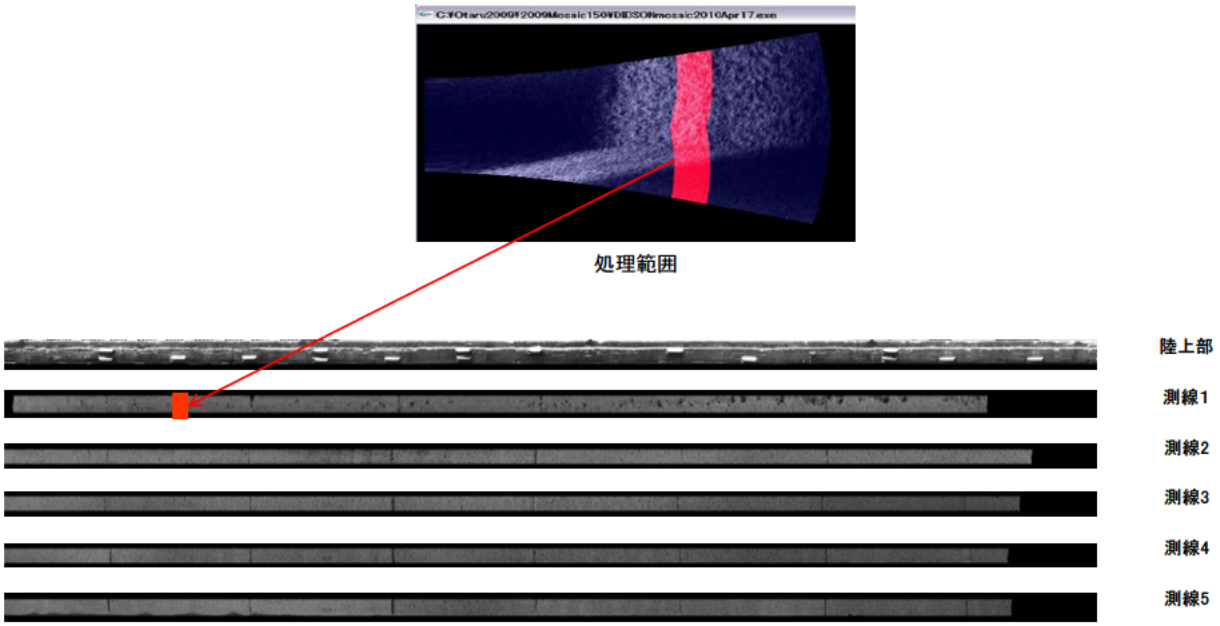
ファイル一覧

3. 画像解析ソフトウェア（委託研究）

以下に、構成する各ソフトウェアの概略を示す。

3.1　モザイク図作成（水平方向）ソフトウェア（DIDSONmosaic.exe）

本ソフトウェアは、音響カメラ及び各機器類で取得した画像及びデータから、画像を水平方向に繋ぎ合わせるもので、各測線のモザイク画像を作成する（図－4）。

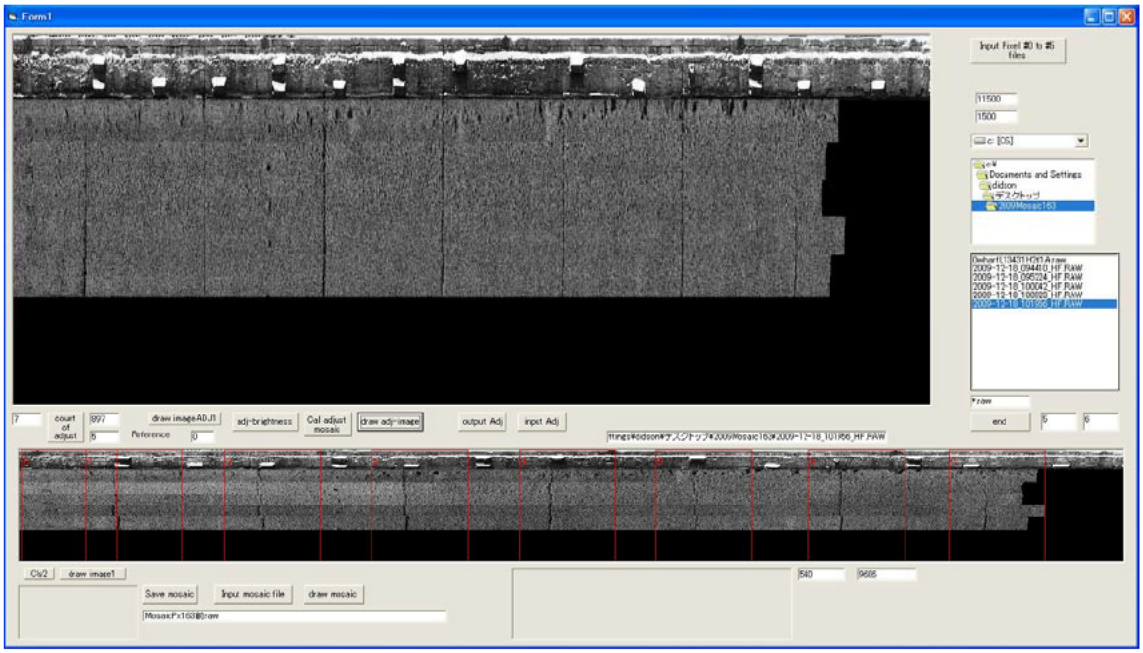


図－4　モザイク図作成（水平方向）ソフトウェア（DIDSONmosaic.exe）

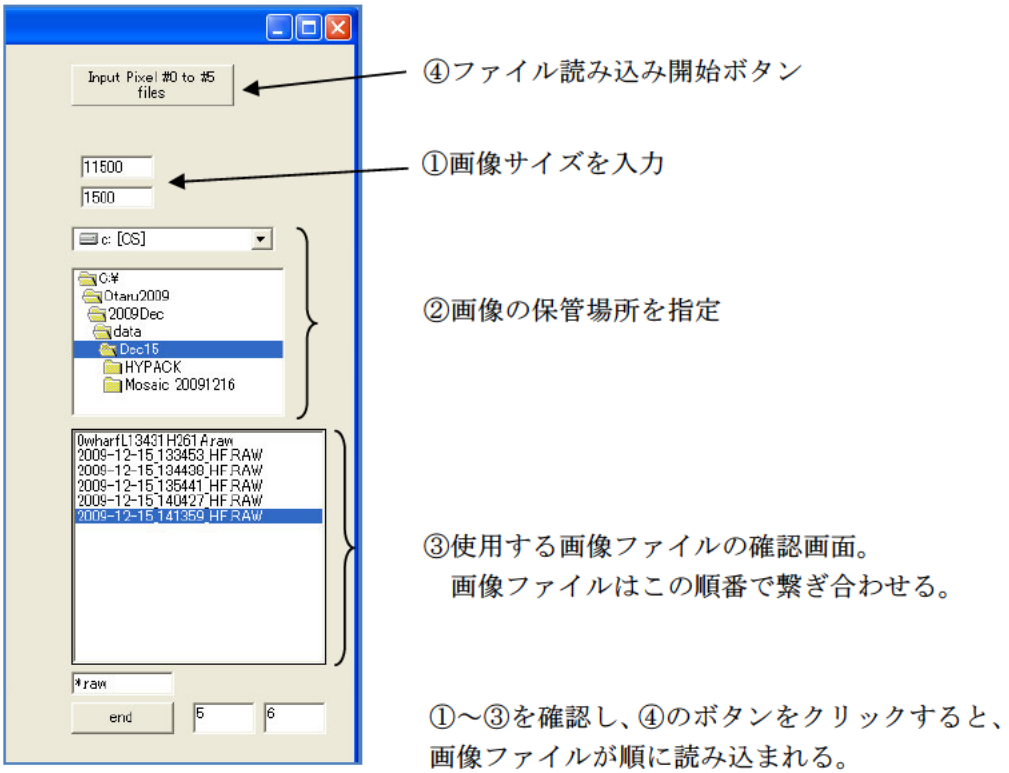
3.2　モザイク図作成（水深方向）ソフトウェア（AdjustMosaic.exe）

本ソフトウェアは、3.1 で作成した測線分のモザイク図を水深方向に繋ぎ合わせるプログラムである（図－5～9）。

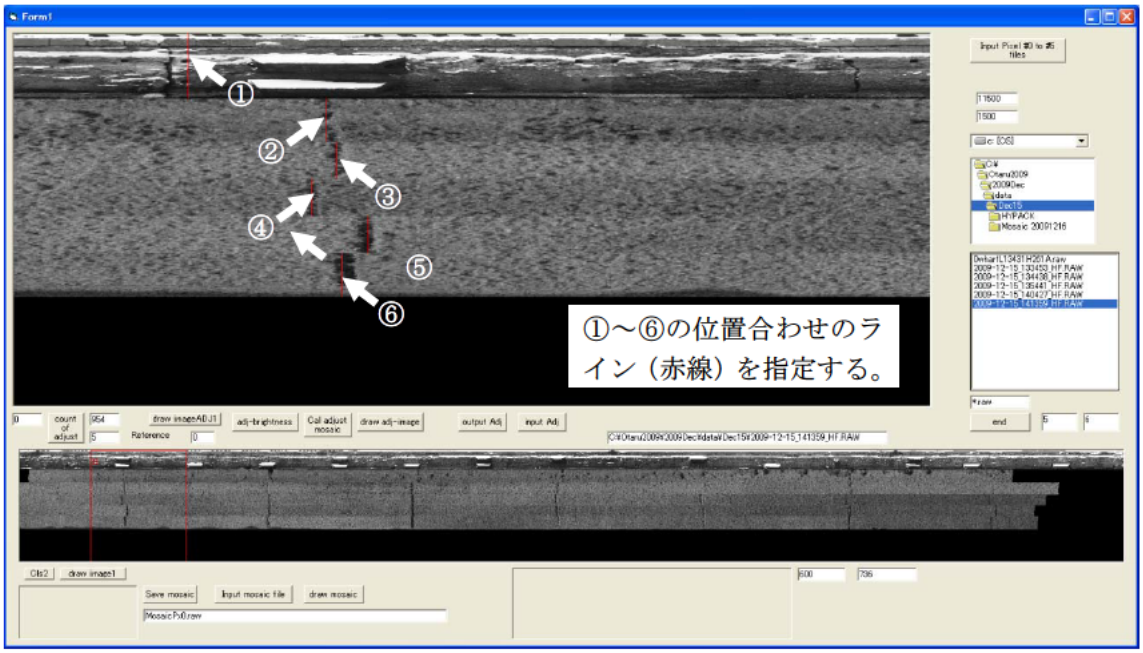
3.1 で作成した水深部の画像ファイル、陸上部の写真（3.3 参照）を使用して作成した陸上部の画像を読み込んで処理する。



図－5　モザイク図作成（水深方向）ソフトウェア（AdjustMosaic.exe）



図－6　モザイク図作成（水深方向）ソフトウェア（AdjustMosaic.exe）の設定画面



図－7　モザイク図作成（水深方向）ソフトウェア（AdjustMosaic.exe）のキャリブレーション画面

3.3　歪補正ソフトウェア（Project3.exe）

光学式カメラで撮影した陸上写真の歪みを補正するソフトウェアである（図－108、119）。

図－8　歪補正ソフトウェア（Project3.exe）の設定画面（歪補正前）

図－9　歪補正ソフトウェア（Project3.exe）の設定画面（歪補正後）

写真帳（平成 20 年度）

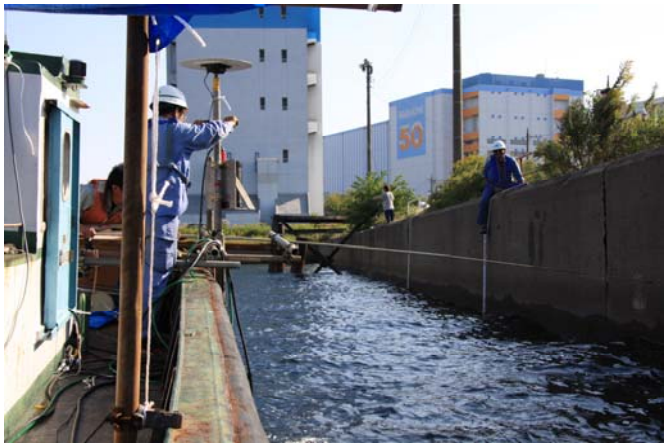
陸上作業（GPS 基地局設置）

計測機器類（水上部）

計測機器類（水中部）

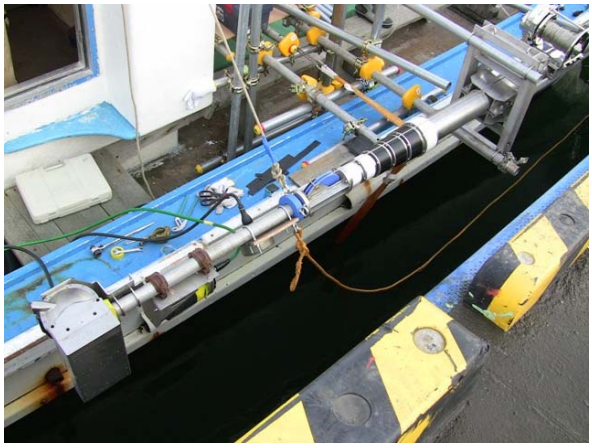
計測状況

計測状況



計測状況

計測状況



計測状況

計測状況

計測状況

写真帳（平成 21 年度）

擬装用架台設置

擬装用架台設置

擬装用架台設置（ウエイト設置）

計測機器類取付

計測機器類（水上部）

計測機器類（水中部）

計測状況

計測状況

計測状況

手動巻上機によるカメラ位置変更

写真帳（平成 22 年度）

機材搬入

艤装用架台組立

艤装用架台組立

擬装用架台設置

擬装用架台設置

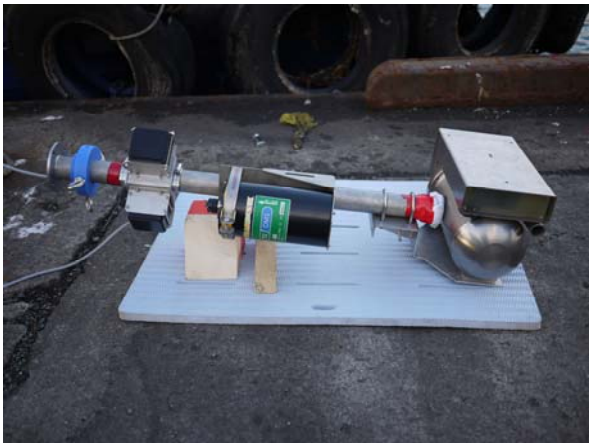
擬装用架台設置

擬装用架台設置

架装装置組立

架装装置組立

架装装置設置



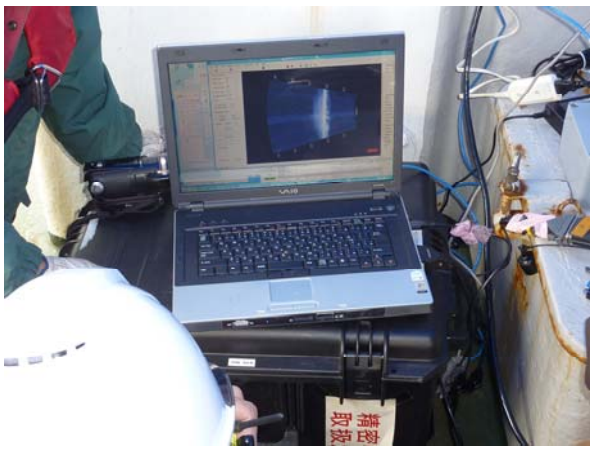
機器類取付

機器類取付

陸上作業（GPS 基地局設置）

陸上作業（ロープ投入、セーフティーコーン設置）

陸上作業（ロープ投入、セーフティーコーン設置）



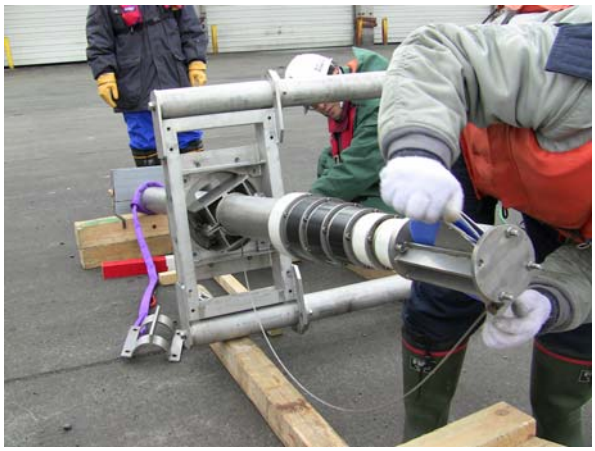
データ取得

データ取得

計測状況

計測状況

擬装用架台撤去



架装装置撤去

機器類取外

参考文献

1) 五十嵐匡、国島英樹、柳沢雄二、長瀬禎、大西明夫：コンクリート構造物水中部劣化診断システムの開発、寒地土木研究所月報、No.687、2010.8

2) 五十嵐匡、長瀬禎、国島英樹、浅田昭、松田健也、大西明夫：コンクリート構造物水中部劣化診断システムの開発、第 22 回海洋工学シンポジウム、2011.8

共同研究報告書
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.
No.439 May 2012

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所　寒地技術推進室
〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046