

平成22年度

# 港湾構造物水中部劣化診断装置の開発（その3）

## —現地での適用性確認試験—

(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  
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、潜水土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、潜水土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と、今年度実施した現地での適用性確認試験結果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

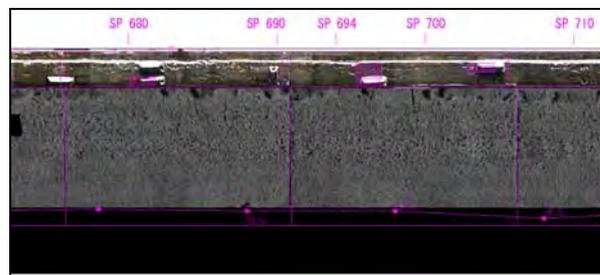
### 1. 背景

従来水中構造物点検は、潜水土の目視で変状を確認しているが、水中の濁度などが作業効率に大きく影響している。そこで、潜水土に頼らない効率的な水中構造物点検技術が求められていた。<sup>1)</sup>



写真-1 潜水土による点検

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。<sup>2)</sup>



### 2. 港湾構造物水中部劣化診断装置

本技術の特徴は超音波式カメラ（以下、音響カメラ）を使用している点で、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。

音響カメラ自体は市販品で撮影した画像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艀装用架台を試作し、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処理装置で岸壁面全体の写真を作成した。画像処理装置は位置情報

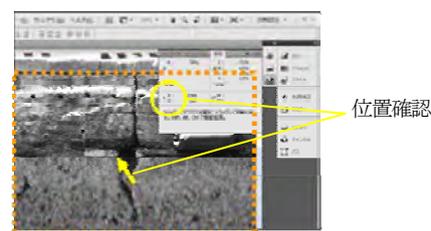


図-1 モザイク図（CAD図面との重ね合わせ）（上）  
汎用ソフトウェアによる劣化診断（下）

本研究は平成20年度より3か年で実施しており、これまでに以下の点を確認している。

- ・撮影画像の分解能は、コンクリート平板に施した

疑似クラックとその撮影画像との比較から約3 cmとなり、潜水士の目視による判断程度以上である。<sup>3)</sup>

・モザイク図における個々の画像フレームの位置精度は10~20cm程度である。<sup>4)</sup>

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。

また、これまでの撮影試験で本技術による施工フローを確立している(図-2)。

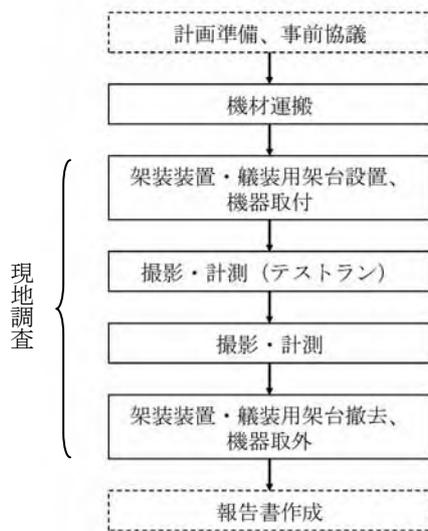


図-2 施工フロー

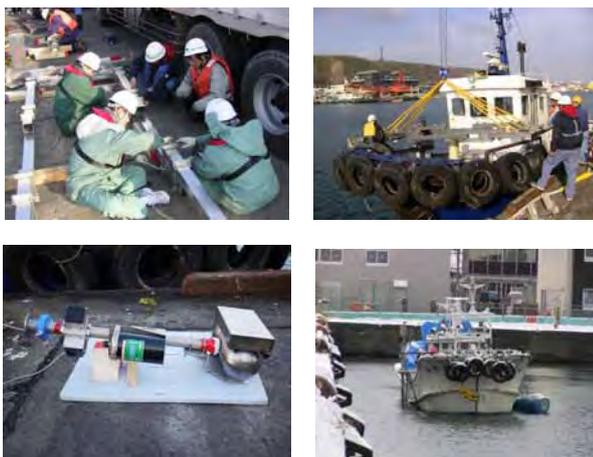


写真-2 艀装用架台組立(左上)・架台設置(右上)  
機器取付(左下)、テストラン(右下)

### 3. 平成22年度現地試験

以上の施工フローに基づき、実運用を見据えた現地試験を北海道開発局稚内港湾事務所の協力を得て実施した。現地試験では撮影及び架装装置の評価を実施し、その結果から本技術と従来の点検方法との施工費の比較やと運用後の成果品管理について検討した。

確認・検討事項は以下のとおりである。

- ・日当り撮影面積
- ・施工費の比較
- ・架装装置の評価
- ・前方・後方撮影の有効性
- ・潜水調査と撮影調査の比較(変状確認)
- ・運用後の成果品管理(データ管理システム)

#### (1) 日当り撮影面積

国土交通省の積算基準(暫定案)<sup>\*</sup>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<sup>2</sup>/日の調査面積となっている。

本技術で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-3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、前方・後方撮影などのため撮影方向(音響カメラの向き)の切り替えを行っている。

<sup>\*</sup>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

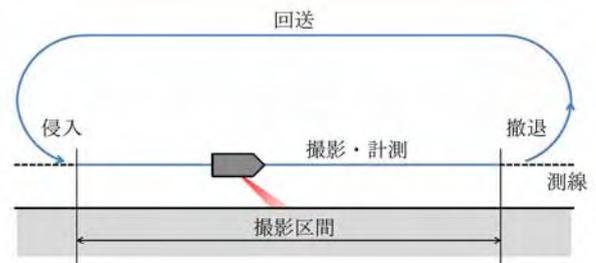


図-3 撮影パターン

なお、撮影速度は1kt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ている。

当日は図-3の測線に沿った撮影を17回行い、カメラの撮影方向を4回変更している(但し、集積レンズを使用した計測も行っており、この航行回数は撮影回数に含めた)。撮影形態を表-1に示す。

これらより撮影面積を試算すると、1回の撮影で225m<sup>2</sup>(H1.5m×W150m)となり、17回の撮影で約

3,800m<sup>2</sup>となった。

表-1 作業形態

	開始時刻	終了時刻	撮影時間 (s)	距離 (m)	速度 (m/s)	速度 (kt)	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				◎	再測
2	9:09:33	9:13:11	218	180				◎	再測
3	9:18:25	9:20:05	100	180				◎	再測
4	9:24:20	9:27:20	180	180				◎	再測
							17:52		
5	9:45:12	9:49:10	238	180	0.76	1.47		◎	
6	9:52:08	9:53:21	73	180					対岸 (参考)
7	9:53:22	9:55:35	133	180					対岸 (参考)
8	10:01:52	10:06:29	277	180	0.65	1.26		◎	
9	10:14:16	10:18:54	278	180	0.65	1.26		◎	
							71:59		
10	11:30:53	11:35:03	250	180				◎	集積レンズ取付
11	11:40:00	11:44:10	250	180				◎	集積レンズ取付
12	11:49:33	11:54:13	280	180				◎	集積レンズ取付
13	12:03:00	12:07:02	242	180				◎	集積レンズ取付
							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	0.57	1.11		◎	
17	14:43:01	14:49:09	368	200	0.54	1.06		◎	
							13:11		
18	15:02:20	15:08:08	348	200	0.57	1.12		◎	
19	15:15:41	15:21:36	355	200	0.56	1.10		◎	
20	15:29:52	15:35:24	332	200	0.60	1.17		◎	

但し、海象条件や航行状況、架装装置の振動などの影響で再測となる場合があり、これらの時間的損失で撮影面積は減少する。

## (2) 調査費比較

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。

### a) 潜水調査

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

### b) 撮影調査

図-2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見積工数とした。

機材運搬は、比較のため、調査業者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。

### c) 調査費比較

撮影面積当りの直接業務費を比較した結果を図-4に示した。

撮影調査においては、架装装置・艀装用架台設置（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<sup>2</sup>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-5に示した。調査面積が小さい場合（約 5,000m<sup>2</sup>以下）は潜水調査の所要日数は少なく済み、日当りの撮影面積が大きいほど（約 5,000m<sup>2</sup>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、潜水土、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。

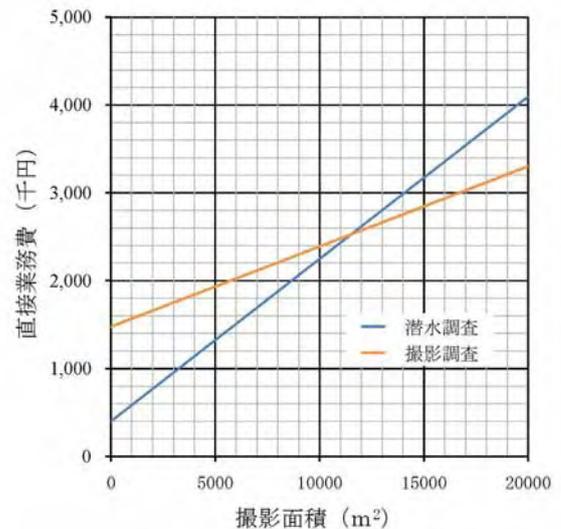


図-4 撮影面積当りの直接業務費

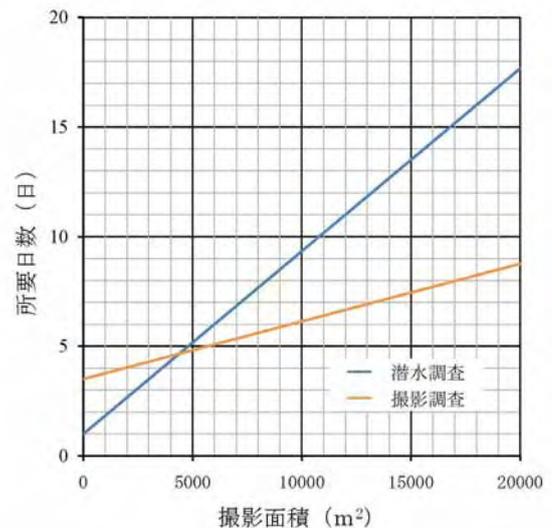


図-5 撮影面積当りの所要日数

その他の作業として、陸上では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となるよ

う、先端に錘を取り付けたロープ（φ30mm）を係船柱（約15m間隔）に固定した。

また、陸上部の目視点検も船上から可能であり、この場合、陸上部撮影の補助としてセーフティコーンを設置した。

### (3) 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、H20 に試作した伸縮式のポールである。H21 現地試験では深水区撮影時にポールに振動が発生したためポール取付座の補強を行っている。

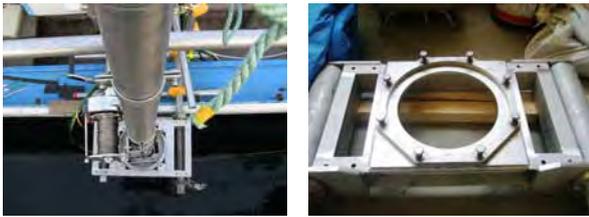


写真3 架装装置の改造

過年度からの検証試験より、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。
- ・ポールの艀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、艀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、ポールの喫水部と取付座との距離は短い方が望ましい。

また、艀装用架台は小型船に対応するよう設計しており船幅が3~6m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、上記のように艀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。

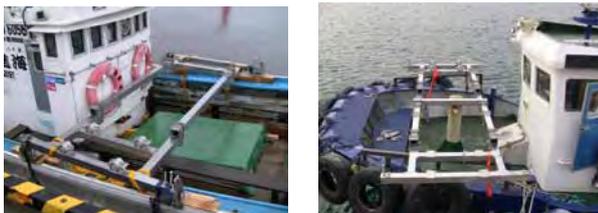


写真4 艀装用架台設置 H21 (左)、H22 (右)

### (4) 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。「(5) 潜水調査及び撮影調査結果の比較」において前方・後方撮影と潜水士による点検結果を比較する予定である。

### (5) 潜水調査及び撮影調査結果の比較（変状確認）

本年度の現地試験は、稚内港湾事務所が発注した潜水調査業務における調査区間の一部にて実施し、得られたモザイク図と潜水士による点検結果との比較を行う予定である。

### (6) データ管理システムについて

港湾構造物の水中部劣化診断において、音響カメラ等から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中である。

これは、各種調査報告書（帳票）作成の支援や、経年変化の把握を可能とし継続的な施設維持管理を実現することを目的としている。

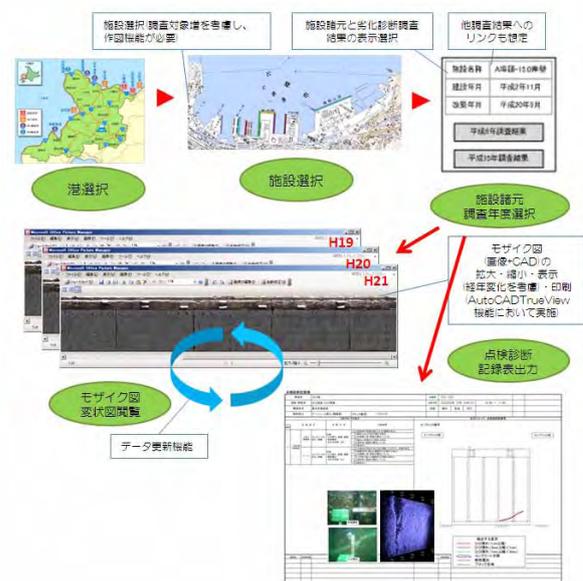


図6 データ管理システム（利用画面）

このシステムの運用範囲は港湾の事務所単位とし、事務所内で同時に各個人用端末で閲覧可能である。管理用端末は、事務所内の既存 PC を利用し DB ソフトウェア、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でも容易に適用可能なシステムとした。

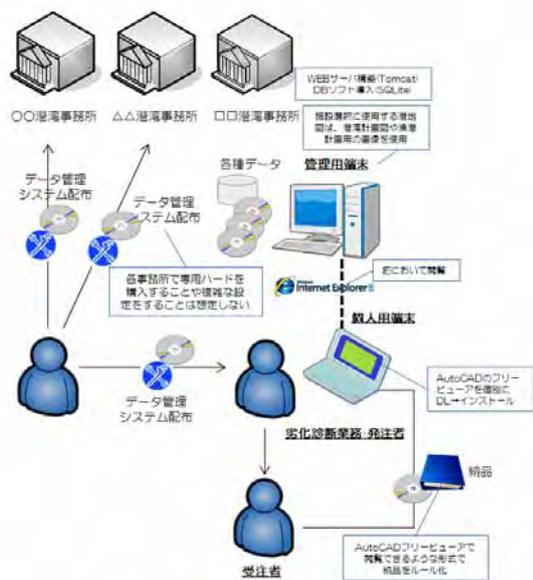


図-7 データ管理システム (システム概要)

#### (7) 集積レンズによる計測について

モザイク図作成を実施した同箇所、音響カメラのレンズケース前部に集積レンズを取り付け、ビーム幅を 1°とし撮影方向を岸壁面に対し垂直とした計測試験を実施した。これは立体的に表現する可能性を試行したものであり、今後の新たな研究テーマとして検討する予定である。



写真-5 音響カメラ取付レンズ

## 4. 結論

本年度は研究の最終年度であり、港湾構造物水中部劣化診断装置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。

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安価となる試算となった。

本研究は当所の重点研究プロジェクト「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」において実施してきた。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・ダム分野などの他分野での展開も望まれる。

謝辞：現地試験にあたり、稚内港湾事務所をはじめとする関係者の皆様に多大なる御協力とご支援をいただきました。改めて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 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
- 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) 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)
- 4) 五十嵐匡、長瀬禎、松田健也：港湾構造物水中部劣化診断装置の開発(その 2)、北海道開発局技術研究発表会論文集、第 53 回 (平成 21 年度)