

土研新技術ショーケース2011in東京

## 港湾構造物水中中部劣化診断装置

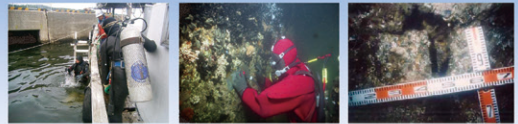
(独) 土木研究所 寒地土木研究所  
技術開発調整監付  
寒地機械技術チーム 五十嵐 匡  
(igarashi-t@ceri.go.jp)

CERI 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

土研新技術ショーケース2011in東京

## 従来の水中構造物点検方法

潜水士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。



潜水士による点検

潜水士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。

CERI 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

土研新技術ショーケース2011in東京

## 港湾構造物水中中部劣化診断装置

音響カメラ撮影画像 (約2.3m x 約4.7m)

画像解析ソフトウェア

全体画像 (モザイク図) (約11m x 約100m)

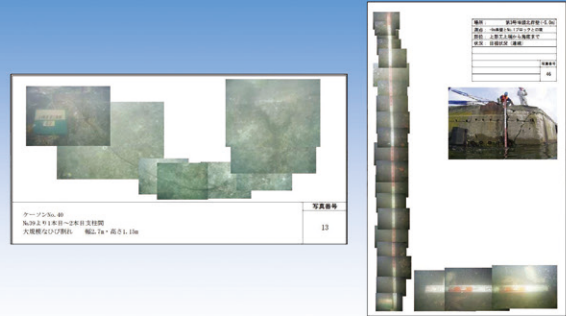
音響カメラ及び計測機器

架装装置及び艦装用架台

CERI 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

土研新技術ショーケース2011in東京

## 従来の点検報告書



従来の点検報告書

CERI 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

土研新技術ショーケース2011in東京

## モザイク図を使用した点検報告書



モザイク図を使用した点検報告書 (案)

PC画面上での計測

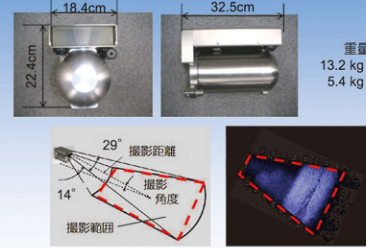
モザイク図 (CAD図面との重ね合わせ)

CERI 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

土研新技術ショーケース2011in東京

## 音響カメラ

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する。



重量 : 13.2 kg (空中) / 5.4 kg (水中)

撮影距離 29° / 撮影角度 14° / 撮影範囲

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。

2009/2/25 CERI 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所

土研新技術ショーケース2011in東京

### モザイク図の作成 (画像解析ソフトウェア)

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。

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。(繋ぎ合わせ①)  
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。(繋ぎ合わせ②)

CERI 独立行政法人 土木研究所 電機土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### モザイク図の作成 (画像解析ソフトウェア)

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

方法① 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 (位置精度が高い)  
→位置情報、姿勢情報等をリアルタイムに計測することが必要  
方法② 得られた画像のみから接合を行う方法 (動揺の影響が小さい)

画像マッチング処理

画像解析ソフトウェアでは両者の利点を組み合わせてモザイク図を作成している。

CERI 独立行政法人 土木研究所 電機土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 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。

船舶 (音響カメラ) を移動させながら、水深に応じて繰り返し撮影した。

CERI 独立行政法人 土木研究所 電機土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 架装装置

撮影条件を満たすことができ、撮影時の水流抵抗に耐え、可搬性にも優れた架装装置を試作した。

CERI 独立行政法人 土木研究所 電機土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 計測機器

音響カメラでの撮影で得られる各画像データが岸壁面でのどの位置の画像であるかを把握するため、音響カメラの位置情報、姿勢情報を計測した。

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

(上部) GPS アンテナ 方位計  
(下部) モーションセンサー 音響測深機 音響カメラ

CERI 独立行政法人 土木研究所 電機土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 撮影試験 (架装装置の評価)

水流抵抗により架装装置に振動が発生し画像解析に影響を及ぼしたため、振動対策を行った。

架装装置、艦装用架台 (平成20年度)

艦装用架台試作

ボール重複部補強

架装装置、艦装用架台 (平成21、22年度)

ボール取付座補強

CERI 独立行政法人 土木研究所 電機土木研究所 2011/9/30



主研新技術ショーケース2011in東京

### 撮影試験（架装装置の評価）

音響カメラ近傍の動揺（ロール値）を計測した。

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2kt、水深-1.0m、-2.5m）

音響カメラ近傍の動揺（船速1kt、水深-8.5m、-10.0m）

音響カメラ近傍の動揺（船速2kt、水深-7.0m）

架装装置（及び艀装用架台）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。

CERI 独立行政法人 土木研究所 海地土木研究所 2011/9/30

主研新技術ショーケース2011in東京

### 撮影試験（分解能及び位置精度の確認）

分解能及び位置精度を確認した。

分解能の確認方法：供試体（コンクリート平板に疑似クラックを施工）とその撮影画像を比較した。

位置精度の確認方法：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）方向にばらつく範囲とした。

30mm  
20mm  
10mm  
5mm

450mm

450mm

位置精度

最も左側

最も右側

位置精度

供試体（コンクリート平板に疑似クラックを施工）とその撮影画像

CERI 独立行政法人 土木研究所 海地土木研究所 2011/9/30

主研新技術ショーケース2011in東京

### 撮影試験結果

- 架装装置の検証  
架装装置（及び艀装用架台）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。
- 分解能  
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。
- 位置精度  
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、各改善により、位置精度は10～20cm程度となった。

CERI 独立行政法人 土木研究所 海地土木研究所 2011/9/30

主研新技術ショーケース2011in東京

### 撮影試験結果

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、港灣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、港灣及び漁港施設における現地調査項目のうち上部工、本体工の目視調査に適用できる。

現地調査項目（例：「港灣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	上部工	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
	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

CERI 独立行政法人 土木研究所 海地土木研究所 2011/9/30

主研新技術ショーケース2011in東京

### 施工方法

これまでの撮影試験で本技術の施工フローを確立した。

機材搬入

架装装置及び艀装用架台設置  
機器取付

撮影・計測（テストラン）

撮影・計測

架装装置及び艀装用架台撤去  
機器取外

報告書作成

CERI 独立行政法人 土木研究所 海地土木研究所 2011/9/30

主研新技術ショーケース2011in東京

### 施工方法

これまでの撮影試験で本技術の施工フローを確立した。

機材搬入

架装装置及び艀装用架台設置  
機器取付

撮影・計測（テストラン）

撮影・計測

架装装置及び艀装用架台撤去  
機器取外

報告書作成

CERI 独立行政法人 土木研究所 海地土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 確認試験

前項の施工方法にて、実運用を見届えた現地試験を実施した。

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

CERI 独立行政法人 土木研究所 港地土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 確認試験（調査結果）

潜水調査による点検結果

モザイク図を使用した点検報告書（案）

CERI 独立行政法人 土木研究所 港地土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 確認試験（調査費の比較）

日当り撮影面積を算出するため、撮影区間、撮影回数を決めた。

作業形態

約180×200m単位

撮影区間

撮影回数

開始時刻	終了時刻	撮影区間 (m)	撮影回数	調査面積 (m <sup>2</sup> )	作業時間 (分)	作業人数	作業内容	
7	9:00:24	9:00:27	270	180	162,000	3	2	① 潜水調査
8	9:00:31	9:00:33	180	180	162,000	2	2	② 撮影調査
9	9:00:33	9:00:35	180	180	162,000	2	2	③ 潜水調査
10	9:00:35	9:00:37	180	180	162,000	2	2	④ 撮影調査
11	9:00:37	9:00:39	270	180	162,000	2	2	⑤ 潜水調査
12	9:00:39	9:00:41	180	180	162,000	2	2	⑥ 撮影調査
13	9:00:41	9:00:43	180	180	162,000	2	2	⑦ 潜水調査
14	9:00:43	9:00:45	180	180	162,000	2	2	⑧ 撮影調査
15	9:00:45	9:00:47	270	180	162,000	2	2	⑨ 潜水調査
16	9:00:47	9:00:49	180	180	162,000	2	2	⑩ 撮影調査
17	9:00:49	9:00:51	180	180	162,000	2	2	⑪ 潜水調査
18	9:00:51	9:00:53	180	180	162,000	2	2	⑫ 撮影調査
19	9:00:53	9:00:55	270	180	162,000	2	2	⑬ 潜水調査
20	9:00:55	9:00:57	180	180	162,000	2	2	⑭ 撮影調査
21	9:00:57	9:00:59	180	180	162,000	2	2	⑮ 潜水調査
22	9:00:59	9:01:01	180	180	162,000	2	2	⑯ 撮影調査
23	9:01:01	9:01:03	270	180	162,000	2	2	⑰ 潜水調査
24	9:01:03	9:01:05	180	180	162,000	2	2	⑱ 撮影調査
25	9:01:05	9:01:07	180	180	162,000	2	2	⑲ 潜水調査
26	9:01:07	9:01:09	180	180	162,000	2	2	⑳ 撮影調査
27	9:01:09	9:01:11	270	180	162,000	2	2	㉑ 潜水調査
28	9:01:11	9:01:13	180	180	162,000	2	2	㉒ 撮影調査
29	9:01:13	9:01:15	180	180	162,000	2	2	㉓ 潜水調査
30	9:01:15	9:01:17	180	180	162,000	2	2	㉔ 撮影調査
31	9:01:17	9:01:19	270	180	162,000	2	2	㉕ 潜水調査
32	9:01:19	9:01:21	180	180	162,000	2	2	㉖ 撮影調査
33	9:01:21	9:01:23	180	180	162,000	2	2	㉗ 潜水調査
34	9:01:23	9:01:25	180	180	162,000	2	2	㉘ 撮影調査
35	9:01:25	9:01:27	270	180	162,000	2	2	㉙ 潜水調査
36	9:01:27	9:01:29	180	180	162,000	2	2	㉚ 撮影調査
37	9:01:29	9:01:31	180	180	162,000	2	2	㉛ 潜水調査
38	9:01:31	9:01:33	180	180	162,000	2	2	㉜ 撮影調査
39	9:01:33	9:01:35	270	180	162,000	2	2	㉝ 潜水調査
40	9:01:35	9:01:37	180	180	162,000	2	2	㉞ 撮影調査
41	9:01:37	9:01:39	180	180	162,000	2	2	㉟ 潜水調査
42	9:01:39	9:01:41	180	180	162,000	2	2	㊱ 撮影調査
43	9:01:41	9:01:43	270	180	162,000	2	2	㊲ 潜水調査
44	9:01:43	9:01:45	180	180	162,000	2	2	㊳ 撮影調査
45	9:01:45	9:01:47	180	180	162,000	2	2	㊴ 潜水調査
46	9:01:47	9:01:49	180	180	162,000	2	2	㊵ 撮影調査
47	9:01:49	9:01:51	270	180	162,000	2	2	㊶ 潜水調査
48	9:01:51	9:01:53	180	180	162,000	2	2	㊷ 撮影調査
49	9:01:53	9:01:55	180	180	162,000	2	2	㊸ 潜水調査
50	9:01:55	9:01:57	180	180	162,000	2	2	㊹ 撮影調査
51	9:01:57	9:01:59	270	180	162,000	2	2	㊺ 潜水調査
52	9:01:59	9:02:01	180	180	162,000	2	2	㊻ 撮影調査
53	9:02:01	9:02:03	180	180	162,000	2	2	㊼ 潜水調査
54	9:02:03	9:02:05	180	180	162,000	2	2	㊽ 撮影調査
55	9:02:05	9:02:07	270	180	162,000	2	2	㊾ 潜水調査
56	9:02:07	9:02:09	180	180	162,000	2	2	㊿ 撮影調査

①(2): 11:24:5000~16:00

CERI 独立行政法人 土木研究所 港地土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 確認試験（調査費の比較）

日当り調査面積を下記のとおりに算出した。

潜水調査（従来の水中構造物点検方法）  
 $1,200 \text{ m}^2 / 2 \text{ 人} \cdot \text{日}$   
 維持管理計画書策定のための現地調査費（暫定案）  
 ：国土交通省による

撮影調査（港湾構造物水中部劣化診断装置）  
 $(\text{撮影幅}) \times (\text{撮影区間}) \times (\text{撮影回数})$   
 $1.5 \text{ m} \times 150 \text{ m} \times 17 \text{ 回} / \text{日}$   
 $\approx 3,800 \text{ m}^2 / \text{日}$

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ソフトウェアでの処理に適さない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可能性がある。

CERI 独立行政法人 土木研究所 港地土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 確認試験（調査費の比較）

潜水調査（従来の水中構造物点検方法）と撮影調査（港湾構造物水中部劣化診断装置）について各調査費（直接業務費）を算出した。

潜水調査	撮影調査
計画準備	計画準備
事前協議	事前協議
機材運搬	機材運搬
潜水調査	撮影調査
報告書作成	報告書作成

架装装置等の運搬を含む。

架装装置・構築用架台設置・撤去、機器取付・取外等、撮影1回当りに必要な費用（固定費）がかかる。

画像解析ソフトウェアを使用

CERI 独立行政法人 土木研究所 港地土木研究所 2011/9/30

土研新技術ショーケース2011in東京

### 確認試験（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、所要日数を比較した。

撮影面積当りの直接業務費

撮影面積当りの所要日数

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った。

CERI 独立行政法人 土木研究所 港地土木研究所 2011/9/30

## まとめ

- 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。
- 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、各改善により、**位置精度は10～20cm程度**となった。
- 港湾構造物水中部の劣化状況（経年変化）が監督員の目で見ることができ、的確な健全度判断が可能となり、ストックマネジメントを進める上で必要な情報を得ることが可能となった。
- 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**となった。