

# 港湾施設調査における水中3Dスキャナの導入について

富田 晋平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>関東地方整備局 千葉港湾事務所 保全課 (〒260-0024 千葉県千葉市中央区中央港1-11-2)

完成から長い年月が経過した岸壁では、老朽化に伴い基礎となる連続鋼管矢板の腐食や背後のエプロン舗装の不等沈下等が発生しており、利用に支障を来している。施設利用時の安全確保と施設延命のためには、水中部を含む詳細な現地調査を実施したうえで、対策工法を検討し工事を実施することになるが、供用中の岸壁では限られた時間内での調査が求められる。本稿では、船上から水中3Dスキャナを導入して水中構造物の三次元計測を行い、連続鋼管矢板及び防食の状況等の確認が可能となったことで、時間的な課題を解決し、対策工法の決定にあたり効果的であった事例を報告する。

キーワード 港湾施設調査、水中3Dスキャナ、効率化、維持管理

## 1. はじめに

千葉港は、全国で18港ある国際拠点港湾のひとつである。特に葛南中央地区の-10m岸壁では鋼材や金属くずを主要品目として取り扱っており、背後工業団地や関東一円を背後圏とする鉄鋼輸出入基地として利用されている(図-1)。葛南中央地区の-10m岸壁は昭和52年に供用を開始し、40年以上の間利用され続けているが、連続鋼管矢板の腐食やエプロン舗装の沈下が生じるなど、完成から長い年月が経過したことによる施設の老朽化が進んでいる。

当該施設の安全確保及び延命化のための対策工法を検討するにあたっては、水中部を含む詳細な現地調査が必要となる。しかし、供用中の岸壁であるため、施設利用者より長期間の調査は避けてほしいとの要望があり、短時間で効率的な調査を行う必要があった。そこで、特に詳細な調査に時間を要する岸壁水中部分の腐食状況や形状変異の有無について、船上から水中3Dスキャナを使用し、調査範囲を面的に計測し特異な箇所を確認する手段を採用した。



図-1 千葉港葛南中央地区-10m岸壁の位置

## 2. 水中3Dスキャナによる三次元計測

### (1) 潜水土による目視調査

従来、水中部の調査は潜水土による目視調査が主である。この手法では水の濁度や気象海象状況により確認作業が非効率となり、異常状況の評価は潜水土個人が判断するため、スキル・経験により判定にばらつきが出る課題がある。さらに、潜水作業を行うにあたり万全な安全対策を講じる必要があるため、難易度が高いという課題もある。上記課題が解消されたとしても、今回調査した岸壁延長315m、深度10mの範囲すべてを1日あたり6時間潜水土2人で調査する場合、約1週間の期間を要する。今回の調査は特に時間の制約を受けているため、潜水土による調査は点または線での結果となり、面的に捉えることが不可能である。

### (2) 水中3Dスキャナによる調査

水中3Dスキャナは、音響ビームを測定範囲に照射し、反射された音響ビームを感知し点群データとして得ることで、点群データを基に測定範囲の詳細形状を投影する仕組みとなっている(図-2、図-3)。そのため、透明度が低く水中から目視で確認が難しい湾奥部でも構造物全体の立体的な計測が可能であり、得られた点群データを3Dモデルとして可視化することで、水中部の状況を多人数で客観的に評価することが可能となる。また、潜水を伴わない船上からの調査であるため、潜水土による

調査方法よりも安全性が確保でき、少数の調査員で行うことが可能である。加えて、作業時間についても、潜水士による目視調査と比較して非常に早く効率的に計測することが可能である。

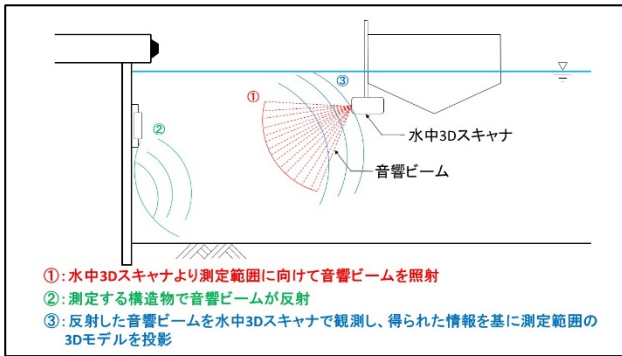


図-2 水中3Dスキャナの仕組み



図-3 水中3Dスキャナによる計測状況

### (3) 水中3Dスキャナによる調査の実施課題

先述のようにメリットの多い水中3Dスキャナによる調査であるが、今回の調査現場における実施にあたっては、解決すべき課題として以下の2点が挙げられた。

1点目として、船上での三次元計測のため、波による動揺についての対策を講じる必要がある。この課題に対し、小型のモーションセンサーを水中3Dスキャナと同期させることにより動揺を補正し計測することを可能とした。さらに、GNSS測位システムも合わせて一元化させることにより、移動しながら効率的に行う工夫を図った。

2点目として、水中3Dスキャナは音響ビームを照射し反射されたものを解析することで構造の形状を把握するという構造上、鋼管矢板の継手部分、岸壁の隅角部、電気防食として設置しているアルミニウム陽極部材等の箇所は音響ビームの反射を観測しにくい特徴があり、如何に計測するか検討する必要があった。そこで、水中3Dスキャナのパン（水平方向の首振り）・チルト（垂直方向の首振り）機能を活用し、様々な角度から音響ビームを照射することで課題の解決を図った。その結果、一方向からの照射では確認が困難な凹凸部や鋼管矢板下端部を鮮明に計測することを可能とし、アルミニウム陽極だけではなく陽極が溶けた後の芯鉄のみが残置されている

状況を確認することができた（図-4）。

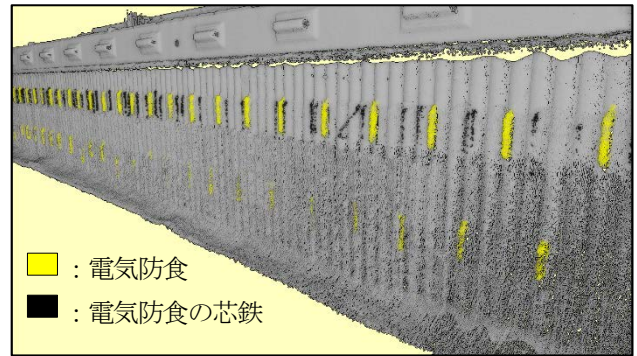


図-4 水中3Dスキャナによる岸壁凹凸部の計測

### (4) 気中部計測

今回の調査では、水中3Dスキャナと併せて、道路路面や道路施設の設置状況及び劣化損傷状況、災害発生後の現地調査等の確認に用いるMMS（モバイルマッピングシステム）（図-5）で使用されている船上搭載が可能なレーザー計測器（気中部測定用）を同期させ、気中部と水中部を同時に三次元計測し、更なる調査の効率化を図った（図-6）。



図-5 MMS（モバイルマッピングシステム）

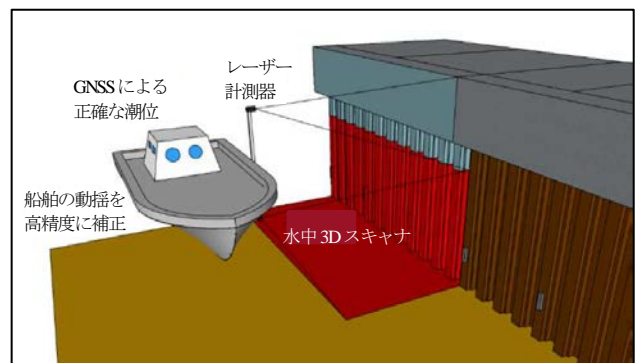


図-6 水中3Dスキャナとレーザー計測器の同期


三次元計測で得られる点群データの密度が高いほど3Dモデルの解像度が高くなるが、水中部で得られる点群データの密度は気中部よりも低く、計測機器の性能、移動計測時の移動速度、計測時の施設からの距離により変動するため、気中部と水中部の三次元計測結果を連続



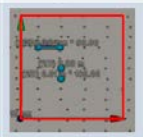
して投影する場合、得られる点群データに密度差が生じないように計画立案を事前に講じる必要がある。本調査では、気中部における10cm四方の点群データ数が約150点であることから、それに近い水中部での点群データ数となるように、移動速度0.5m/sで3往復計測し、測定する岸壁前面より約3m離れた位置から計測することを条件とした計画を立案した（図-7）。

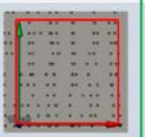
上記計画に基づく計測を行った結果、気中部と水中部の点群データに大きな密度差が生じることなく、図-8のように境界面が鮮明に連続した一元的な計測結果として得ることができた。

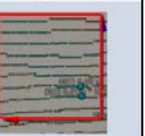
水中3Dスキャナー計測方式	移動計測 0.5m/s (1往復)	移動計測 0.5m/s (3往復)	固定計測 (水平方向回転)
構造物からの距離	3m	3m	3m
点群密度(実測)	約50点 / 10cm × 10cm	約110点 / 10cm × 10cm	約500点 / 10cm × 10cm
点群間隔(鉛直)	約1cm	約1cm	約1cm
点群間隔(水平)	約2cm	約1cm	約0.2cm



10cm  
点群データ







※気中部の10cm四方における点群密度(実測)は約150点である。

図-7 水中部で計測する点群データ密度の条件設定

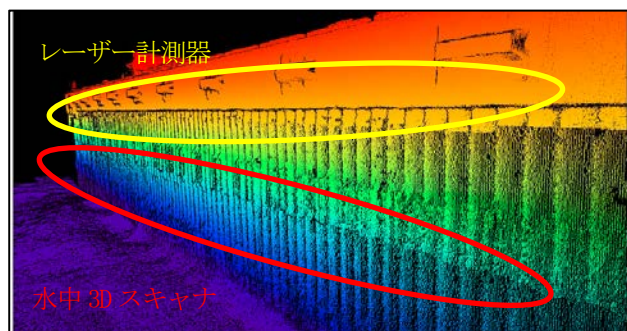


図-8 気中部と水中部の同時計測

### 3. 実施結果及び今後の課題

老朽化した岸壁の対策工法を検討する上で必要となる現況調査を調査時間の制約等の条件がある中、水中3Dスキャナーを使用することで、作業船への艀装、パッチテスト、計測、片付けの一連の作業を含め2日ほど要したが、調査範囲の計測を従来の潜水士によるものよりも格段に早い、約6時間で実施することができた（表-1）。また、万全の安全対策が前提となる潜水士による目視確認と比較して安全に調査することが可能であった。さらに、課題対応を踏まえ、水中3Dスキャナーによる調査の際に小型モーションセンサー及びGNSS測位システムを一元化させることで移動しながら効率的に調査することが可能となり、水中3Dスキャナーのパン・チルト機能を活用し、計測し難い凹凸部も含め調査範囲を面的に測定

することが出来た。その結果、岸壁に船舶の衝突等による鋼管杭の凹み、孔食及び集中腐食の痕跡がないことの確認、アルミニウム陽極及び陽極部材の芯鉄の位置や個数の把握などにより、改良工法を検討する際に効果的に結果を反映することができた。

今回の調査で非常に有意な成果を挙げることができた。一方、今回の調査を踏まえ、以下の3点について今後の課題として取り組む必要があると考える。

1点目は、気中部と水中部の三次元計測を同時に行う際に行った計画立案の省略化である。現在のところ、気中部と水中部を同時に計測する場合は密度差を考慮して調査方法の計画を立案する必要があるが、今後密度差を自動で調整出来る機能が追加されれば更なる調査の効率化を図ることが可能だと考える。

2点目は、水中3Dスキャナーを使用して計測する際の調査方法の標準化である。今後岸壁等の水中構造物の維持管理を目的として、定期的に水中3Dスキャナーを使用し調査を実施することが有用であると考えられるが、日常的に計測を行えるようにするためには、具体的な基準を検討する必要がある。

3点目は、水中3Dスキャナーの更なる高機能化である。今回の調査において、岸壁の傾斜測定は水中3Dスキャナーでは対応できなかったため、潜水調査と連携して行う必要があった。潜水士による調査項目は水中3Dスキャナーによる計測により減っているが、調査の効率性及び安全性に課題が残るため、今後水中3Dスキャナーを更に高機能化させ、傾斜測定も対応できるようになれば、より効率的且つ安全性を確保しながら調査を行うことができ

表-1 水中3Dスキャナーによる計測の工程表

	1日目 (計測延長: 155m)				2日目 (計測延長: 160m)			
	9:00	12:00	15:00	18:00	9:00	12:00	15:00	18:00
艀装	■	■			■			
パッチテスト			■		■			
計測			■	■	■	■		
艀装解除				■			■	

### 4. おわりに

今回は老朽化した岸壁の現況調査を目的として水中3Dスキャナーを使用することで三次元的に可視化し、鋼管杭の腐食及び凹み等の異常の確認や目視不可の水中構造物を捉えることができた。水中3Dスキャナーは水中構造物の日常的な維持管理での使用や災害時での早期状況確認での使用に役立つなど、非常に汎用性が高い。一方で、先述した課題も抱えているが、それらの課題が解決すれば水中3Dスキャナーによる計測が一般的なものになると確信している。