

地上レーザ並びにドローンを用いた ケーソン動態観測の改善について

豊田 丈・早川 哲也

関東地方整備局 京浜港湾事務所 設計課 (〒231-0001 神奈川県横浜市中区新港1-6-1)

新本牧地区のコンテナターミナルの整備では、スリットケーソンの遊水室部で沈下の観測を行う必要があり、海面落下等の危険がある。そこで、地上レーザスキャナやドローンを活用した観測を行い、安全性、効率性、観測データの拡張性について報告する。

キーワード 地上レーザスキャナ, UAV , ドローン, 施設点検, 動態観測, 点群データ

1. はじめに

横浜港新本牧地区では、コンテナ船の大型化や貨物量の増加に対応するため、新たな埋立によるコンテナターミナル(新本牧ふ頭)の整備を実施している。(写真-1)

現在、新本牧ふ頭の外周の護岸となるスリットケーソンの築造を行っている。護岸の基礎はSCP工法で地盤改良を行っているが、護岸築造や埋立に伴う沈下発生が想定されたことから、沈下状況等の把握のため、スリットケーソンの動態観測を行っている。

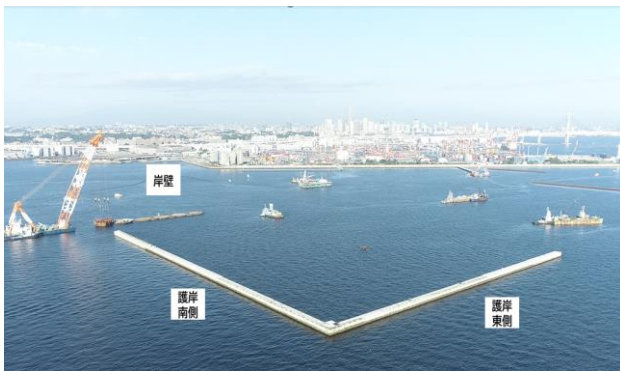


写真-1 横浜港新本牧地区ふ頭整備

従来の海上構造物の位置の把握には、陸上の基準点からレベルやトータルステーションにより位置出しを行っており、狭い足場上で測量を行うことが多い。

今回の報告では、測定省力化や安全性向上を目的とし、遊水室のあるスリットケーソンの動態観測にて地上レーザスキャナとドローンを活用しており、その効果や課題を報告する。

2. 改善前の従来の動態観測方法

ケーソン据付後の沈下等の動態を把握する項目としては、天端高、法線の出入、ケーソン間の開き(目地間隔)の観測があり、その他に、目視による外観の変状等の観察がある。以下に従来方法による実施例を示す。

(1) 天端高測定

ケーソンの4隅に観測点を設置(写真-2の赤点)して水準測量を行い、4点の標高値から、ケーソン天端高の変化を観測する。

(2) 法線出入り測定

遊水室陸側の隅切りの交点箇所に観測点を2点設置(写真-2の青点)し、トータルステーションにより取得した座標から法線出入りの変化を観測する。

(3) 目地間隔測定

ケーソンの4隅(写真-2の赤点)に物差しを当て、隣接するケーソンとの目地間隔の変化を観測する。



写真-2 スリットケーソンの動態観測測定位置

(4) 目視調査(スリットケーソン上)

ケーソン上で目視にて変状等を徒歩で移動しながら観察し、写真撮影及び状況図の記録等を行う。

(5) 目視調査(海上)

船を用いて、海上から目視にてケーソン周囲の変状等を観察し、写真撮影及び状況図の記録等を行う。

3. 従来の動態観測方法の課題と改善策

(1) 課題

a) 天端高、法線出入り、目地間隔測定

観測対象となる護岸は、スリットケーソン構造(図-1)であり、天端高測定や目地間隔の測定にあたっては、遊水室の幅40~60cm程度の狭隘な箇所での測量しなければならない。(写真-3)そのため、移動や観測中に風による煽りなどを受け、海面落下の危険性がある。

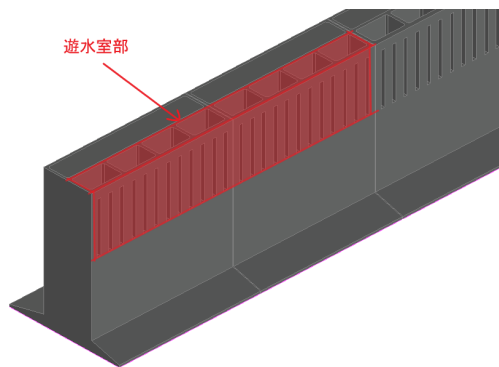


図-1 スリットケーソン3Dイメージ図

b) 目視調査

スリットケーソン上の目視調査では、人の視線の高さでの写真撮影となるため、1函あたりの延長が20m、幅が7mとなるケーソン全体を把握することは困難である。(写真-3)また、遊水室に近づいて写真撮影を行う必要があり、天端高や目地間隔の測定と同様に海面落下の危険性がある。



写真-3 従来方法での全体把握写真



写真-4 船上からの撮影写真

海上からの目視調査では、船が潮や風に流され、絶えず写真撮影の位置が変わり、撮影距離や撮影角度等が一定にならない(写真-4)。また、海象の影響等で撮影ポイントから船が大きくずれてしまった場合は、船の移動のための余計な時間が掛かってしまう。さらに、他の船舶や構造物等との接触の危険性がある場合は作業を中断する必要がある。

(2) 改善策

a) 地上レーザスキャナによる測定

対象施設の安全な場所に地上レーザスキャナを設置し、タブレット端末を用いて計測する。地上レーザスキャナを用いることにより、遊水部へ足を踏み入れる必要がなくなるため、作業の安全性が向上する(写真-5)。

また、ケーソン天端面の形状を三次元点群データで取得することで、平面・断面形状が視覚的に表現でき、今後の維持管理に活用することができる。

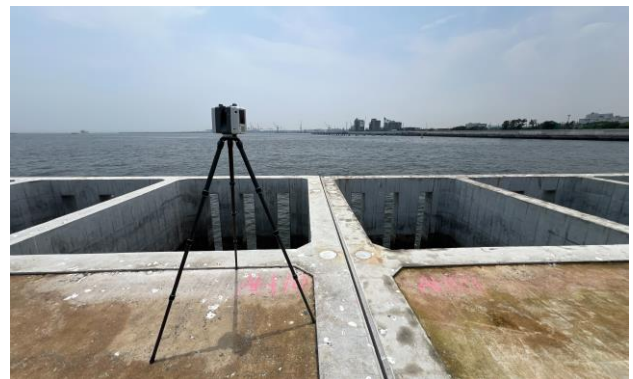


写真-5 地上レーザスキャナの据付

b) ドローンによる目視調査

ドローンの空中写真撮影により、ケーソン全体の把握が可能となるとともに、遊水室への立入が不要となることから安全性が向上する。また、調査船が不要になるため、海象等の影響を受けなく作業時間が短縮する。

4. 観測結果と改善策の効果について

ドローンと地上レーザを使用し観測を実施した結果を以下にまとめた。

(1) 地上レーザスキャナ測量

地上レーザスキャナ測量から得られる多数の三次元点群データの標高について、水準測量の結果と比較し、誤差を確認した。図-2は、横軸に点群データの天端高と水準測量による天端高の差を階級別に示したものである。

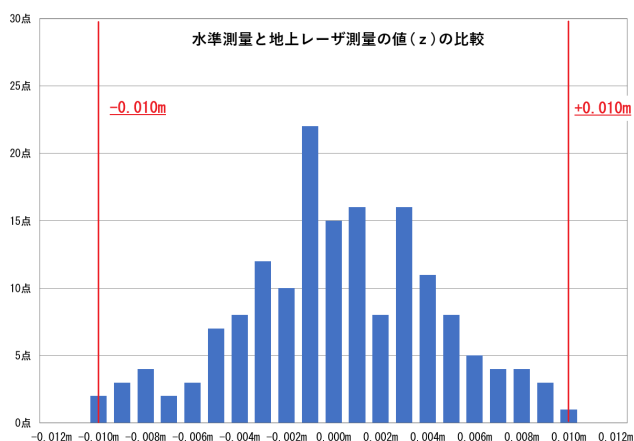


図-2 地上レーザと水準測量の測量差の統計

その結果、点群データの標高と水準測量との差は±0.001mに収まっており、これは今回の天端高の水準測量の許容範囲(±0.010m)と同程度であった。

また、従来方法では、ケーソン1函に対して、4点の天端高さのみであることに比べて、地上レーザスキャナを用いると短期間で21,409,980点の点群データを得られた。(図-3)

この点群データを二次元、三次元の図面に加工できるため、より視覚的にケーソンの沈下の動向を把握するのに優位である。

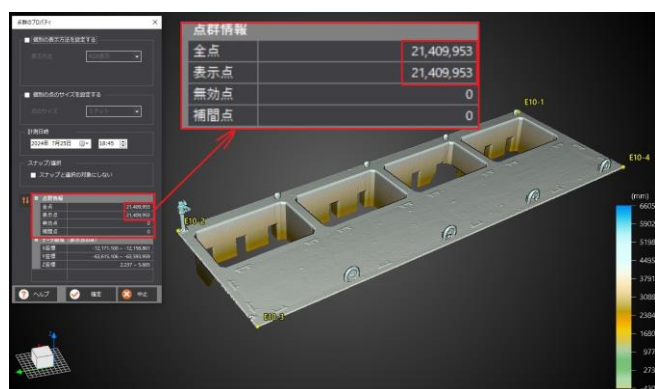


図-3 三次元点群データ

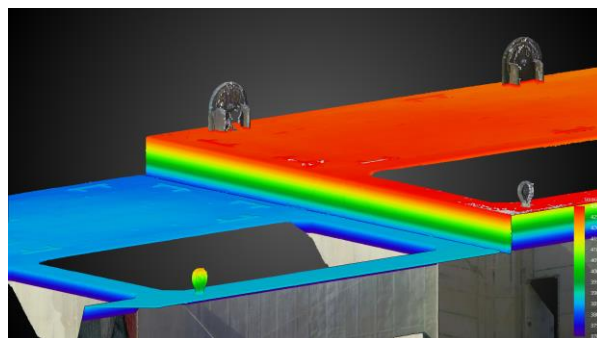


図-4 ケーソンの天端高 (三次元)

図-4は隣接するケーソン2函を三次元で示したものであり、取得した点群データの標高について、赤から青のグラデーション状に着色したものである。右側のケーソンはケーソンは比較的大きな沈下が想定されたことから、基礎マウンドを予め40cm高くする上げ越しを行っており、その天端高の違いが視覚的に良く解る。(図-4)

(2) 目視調査

ドローンによる調査では、調査員による天端上でのドローンの操縦により写真を撮影した。また、クラックの幅などを写真から判読できるよう、1mm～25mmの幅が目盛で示されたキャリブレーションシートを同時に撮影する工夫を行った。なお、遊水室部の写真については、ロッドの先端に取り付けたキャリブレーションシートを遊水室に伸ばし、調査員が遊水室部へ立ち入らないようにしている。(写真-6)



写真-6 キャリブレーションシートを用いたドローン撮影

また、ドローンにより写真を撮影することで、ケーソン天端上の目視点検では撮影できないケーソン全体の把握が可能となり、また、海上から撮影した写真と比較しても画角が固定された均一な写真撮影が可能であった。(写真-7)



写真-7 ドローンを用いた全体把握写真

(3) 改善策の効果と課題

前述も踏まえ、地上レーザスキャナ及びドローンの導入効果や課題を従来手法と比較して整理した。(表-1, 表-2)

表-1 地上レーザスキャナによる効果

評価	地上レーザスキャナ
安全性	・危険箇所に立ち入る必要がない。
効率性	・多数の点群データとして構造物表面の座標を一度に計測できる。 ・天端高測定、法線出切り、目地間隔の測定を約2日で実施(従来方法は延べ約4日)できる。 ・計測面が雨や海水で濡れているとデータ取得できない場合がある。
拡張性	・点群データのため二次元表示や三次元表示が可能であり、視覚的に確認しやすい資料整理や維持管理への活用が可能となる。 ・データの処理に時間を有する。
費用	・通常の天端測量に比べて約4倍となる。

表-2 ドローンによる効果

評価	ドローン
安全性	・危険箇所に立ち入る必要がない。
効率性	・陸上からの操縦のため、海象の影響を受けにくい。 ・撮影範囲(画角)を固定し易い。 ・作業時間を半減できる。 ・風速5m/sで作業を中止する必要がある。
拡張性	・構造物の全景を把握できる写真の取得が可能である。
費用	・通常の写真撮影と比べて約2倍となる。

地上レーザスキャナを使用することで、天端高、法線の出入り、目地感覚の測定の安全性の向上や作業効率の改善が図られた。従来方法では、天端高の測定に約2日、法線の出入りの測定に約1日、目地間隔測定に約1日を要するが、地上レーザスキャナで観測する場合、コストは4倍となるもののすべての測定は2日で終了する。また、ドローンは従来手法と比べコストは2倍程度となるが、作業日は半減(4日程度⇒2日程度)ができた。

地上レーザスキャナとドローンを用いることでコストは増加するが、測量作業の安全性、効率性や拡張性が向上した。

5. おわりに

これまでは調査員が狭隘なスリットケーソンの遊水室に立入り、観測を行う必要があったが、地上レーザスキャナやドローンの活用により、作業の安全性や効率性が向上した。また、地上レーザにて取得した点群データはスリットケーソン1函当たり21,409,980点と従来手法の4点に比べ約53万倍のデータ量となり、観測対象の三次元情報を得られる。さらに、ドローンを用いることで、空中からの全体把握の可能な写真の取得が可能となり、加えて、海象の影響を受けないことから、一定の画角の写真を取得できた。

今後、これらのデータを組み合わせることで、現地状況の再現性の向上を図るとともに、観測の継続により差分解析することで三次元的な変状の経年を確認する予定である。さらに、施工検討や維持管理に有用へのなデータとして活用についても検討する。