

測域センサーを用いたシールド掘削土量管理システムの開発

佐藤工業 正会員 ○前田 幸男
佐藤工業 的場 亨
佐藤工業 早川 峻奎

1. はじめに

近年のシールドトンネルは、泥土圧方式が主流であり、加泥材等と混合された掘削土は管内圧送され排泥土槽に排出される。排泥土量は流量計による測定が困難であるため、レシーバータンクの重量測定、排泥土槽の水位測定などが行われている。今回、コンクリートの打込み管理用に開発したシステム^{1),2),3)}を応用し、測域センサー（2D 回転スキャンレーザー）で測定した排泥土槽内の泥土面高さ変化およびレシーバータンク重量の変化より、排泥土量管理を行うシステムを開発した。現場運用時の作業状況・環境に起因する不具合の抽出とその対策および改良経過について報告する。

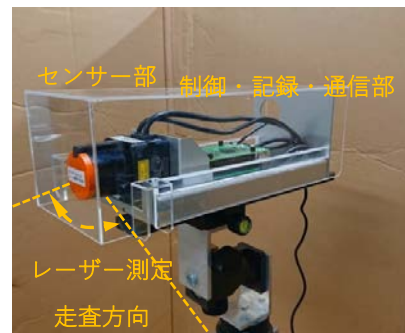


図1 測域センサー

2. システムの概要

使用した測域センサーを図1に、設備・計器配置、システム概要を図2に示す。掘削排泥土は、吸引移送されレシーバータンクに集積後、下部の大・小泥土水槽に切替え排出される。この槽内の泥土面高さの変化を測域センサーで測定し、土量を算出する。測定される泥土面高さ・荷重は、時刻歴記録としてモニター・記録され、時刻毎あるいはリング毎に集計された記録簿を作成し、リモート機能により事務所等で確認できる仕様とした。

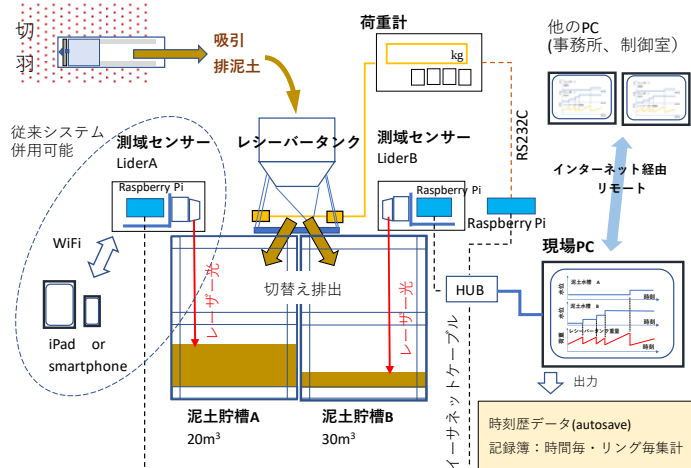


図2 システム概要

3. 現場運用状況

3.1 測域センサーの精度および誤差要因

レーザー光は、点ではなく光芒（光の筋）範囲（離隔 20m で 250×40mm）があるため、光芒の一部に支障物があると、エッジ部は異常値となり、支障物の陰となる範囲はデータ欠損部となる。また、レーザー光の反射強度が小さくなると異常値となる場合もある。

図3に静止泥土面に対して、レーザー直下 11 点（走査角 2.5°相当）を測定した場合の平均値の変動の分布（ $n=181=1$ 回/10sec×30min）を示す。変動幅 6σ は 13 mm 程度となることが確認された。なお、レーザー直下 1 点の場合（ $n=181=1$ 回/60sec×3hr）の変動幅 6σ は 29mm 程度であった。

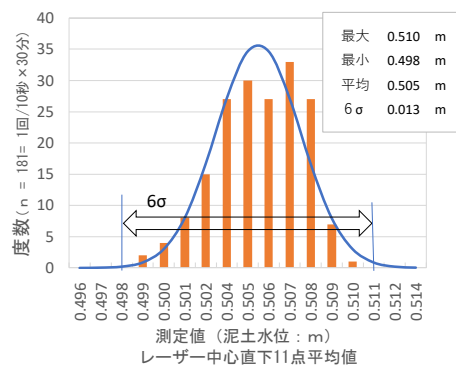


図3 静止面測定時の変動状況

3.2 作業状況に起因する測定値の異常・変動

図4に運用初期時のデータ変動・異常の事例を示す。同図泥土槽大：Lider5 は、泥の付着による異常値（センサー設置高さが約 2m）を示した後、センサーを拭き取ったが、一部汚れが残っていたためによるデータ変動を示している。これは、設定した走査角範囲に対応するレーザー直下の複数点の平均値を採用したため、レーザーのわずかな泥の付着を検出することにより測定値が変動したと考えられた。

キーワード シールド、排泥土量管理、測域センサー、四分位

連絡先 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL 046-270-3091

センサー筐体はレーザー照射部のみ、わずかに開放した構造としたが、設備配置の制約から泥土面とセンサー間の隔離を確保できず、泥はね付着の影響は大きかった。また、泥土槽小:Lider4を見ると、9:00 前のバキューム車での場外搬出以後、レーサータンクからの排出に伴い段階的に水位が上昇しているが、測定値の変動が認められた。この変動については、水面の波うちによる水位の変動、波打ちによる反射強度の変動、センサー自体のバラツキ、清掃時ハイウォッシャー飛沫、作業時のレーザー光遮断や振動など様々な原因が考えられた。

4. 測定値の異常・変動対策（フィルター処理の検討）

泥土量の増減を適切に評価するため、測定値の異常・変動対策として、以下のフィルター処理を行った。

① センサーへの泥の付着対策

泥はね対策として、まず、測定範囲は縮小されるが、防護仕切りを設置し、さらに、四分位法による外れ値検出および閾値設定による処理を行った。泥土面高さは、1 スキャンの走査範囲内の複数点の平均値としていたため、微小な付着を検知すると平均値が変動することとなる。一部の付着に対しては、第一四分位数を用いて外れ値を除去し、さらに、四分位法で外れ値とならない広範囲の付着に対しては、（土槽天端より泥土面は高くないので）閾値を設定し、測定不能とし警報を発することとした。

② 水面変動、清掃作業時の一時的なレーザー光支障による変動対策

一時的な異常値に対しては、時系列測定データの外れ値を判定するフィルター処理として所定時間範囲（過去数分間）の第1四分位数を用いた。しかし、一部分・一時的ではないレーザー光支障による変動は処理できず、また、四分位処理後のデータの微小変動も認められたので、次項③の処理を行った。

③ レーサータンク荷重変化による泥土面高さ増加タイミングの設定

レーサータンクの排出時以外は、高さ増加はないものとし、②の対策の一時的ではない外れ値を除去した。レーサータンクの荷重出力を高さデータと同期させ、高さ増加タイミングを規定し、荷重減少時(=高さ増加時)以外の高さ変動はノイズとして処理した。また、場外搬出時の高さ減少の判定については、時系列データの変化速度の閾値を設定し、減少開始～終了時を判定した。なお、時系列測定データの四分位判定の時間遅れについては、四分位判定範囲の時間を補正した。

5. まとめ

以上のフィルター処理事例を図5に示す。同測定より、リング毎の集計記録簿および昼・夜12時間毎の自動記録機能を付加したシステムとした。本報告は、既存設備に後付けした事例であり、設備配置の制約から泥はねに対する必要な隔離が確保できなかったが、光芒を支障しないわずかな空間が確保できれば、操作範囲が広がり、また、一時的なレーザー光の支障はノイズとして処理できるので、泥土面形状の測定が可能となり、より高い精度の土量測定が可能となる。

参考文献

- 1) 的場栄次, 前田幸男, 鹿ノ内溪介: 2D 回転スキャンレーザーによるコンクリート打込み面測定, 土木学会第73 回年次学術講演会講演概要集, VI-353, pp.705-706, 2018.8
- 2) 的場 栄次, 前田 幸男, 森 賢宇: 2D 回転スキャンレーザーによるコンクリート打設面測定, 佐藤工業技術研究所報, No. 43 pp24-27 2018
- 3) 前田幸男, 弘光太郎, 森賢宇: 2D 回転スキャンレーザーによるコンクリート打込み面測定, 第73 回年次学術講演会講演概要集, VI-1101, 2019.9

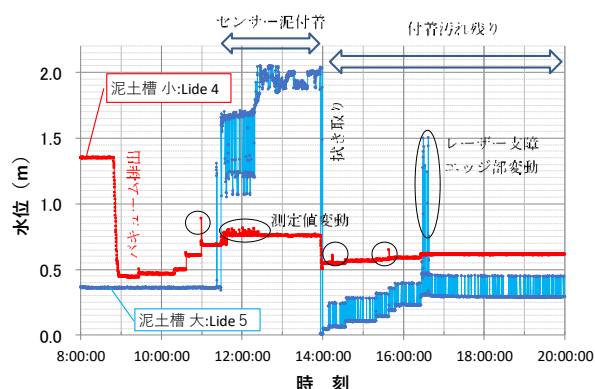


図4 測定値変動・異常が生じた測定事例

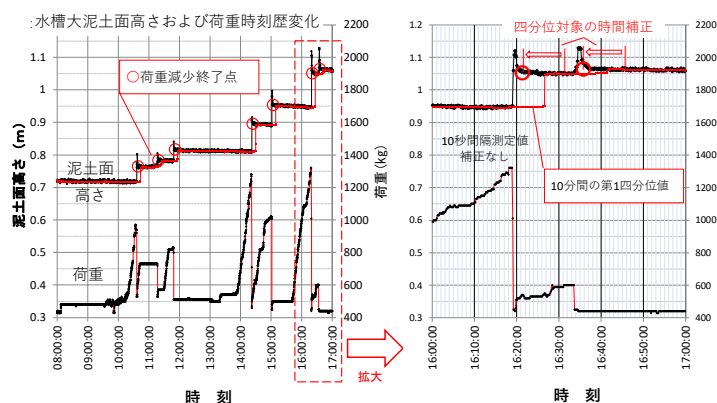


図5 異常値・変動処理を実施した測定事例