ケーソン作業室内残土量可視化に向けたレーザーセンサ性能実験

大成建設㈱　技術センター　正会員　○木下　勇人
フェロー会員　　森田　泰司
シーアイテック㈱　　綿村　忍　・　濱田　晋吉

１．背景

ニューマチックケーソン工法は，地上に設置された遠隔操作室から，ケーソン底部作業室内の掘削機を遠隔操作することで，人力による高気圧環境下での作業を極力減らして掘削を進めることができる工法である．

ニューマチックケーソン工法においては，ケーソンの過沈下や傾きを防止するために，刃口部近辺の地山（地盤）を残置させる量の管理が行われる．この刃口部近辺の残置地山を「土砂サンドル」と呼ぶ．土砂サンドルの管理には，土砂サンドル内空側の開口断面積と刃口部先端の全周形状から算定されるケーソン断面積との比である開口率を使用する．開口率の算出には，監視カメラ撮像から作業室内の掘削状況をスケッチしたり，作業室に測定員が入って計測することで開口断面積を求めるという方法が一般的であるが，掘削と同期したリアルタイムな管理は困難となっている．本研究は，開口率を定量的かつ簡単に算出可能な掘削状況管理を提供することを目的とし，開口率可視化に向けたレーザーセンサの性能実験を行った結果を報告する．

２．実験概要

２－１．　実験目的

① 対象物測定可否の確認 ： ケーソン掘削時には砂質土，粘性土，土丹など様々な土層を掘削するほか，刃口がむき出しになる部分や，地下水が滞留する部分が生じ，ケーソン作業室内には多種の物質が存在することになる．それら作業室内で計測対象となる物質についてレーザー測定が可能かを検証する．

② レーザー透過素材の比較 ： 掘削時の作業室内は高気圧状態であるが，レーザーセンサは耐圧性能を有していないため使用時は保護容器が必要となる．保護容器のレーザー透過用窓として最適な素材を検証する．

③ レーザー光軸と保護容器窓の角度の確認 ： 保護容器窓にレーザーセンサを正対させて透過すると乱反射により一部の値が返却されず，レーザー光軸と保護容器窓との間に角度を持たせる必要がある．レーザー光軸と保護容器窓との必要な角度を検証する．

④ 反射低減液効果の確認 ： 保護容器窓表面に表面反射を低減する効果のある薬剤を塗布することで，レーザー光軸と保護容器窓の必要角度を小さくすることが可能であるか検証する．

図-1 実験状況

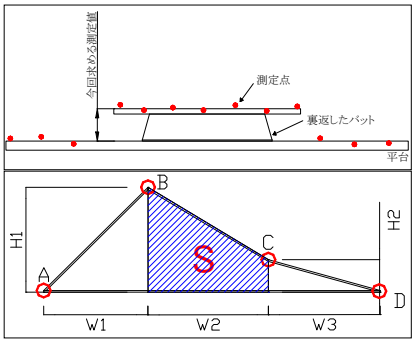

図-2 平型台・凸型台計測

２－２．　実験方法

レーザーセンサから任意の位置に平型・凸型の 2 種の測定台を設置して計測を行う（図-1）．平型台では，裏返したバットの上に対象物を設置し，各種計測対象物からのレーザー反射光を計測することでレーザーセンサと測定台の距離の測定する．凸型台では，平型台同様に距離の測定を行った後，実際の掘削状況管理を想定し，距離測定値から凸部の面積 S を算出し実測値と比較する（図-2）．精度・コストの異なるレーザーセンサ 2 種を使用した．

キーワード　ニューマチックケーソン，開口率，土砂サンドル，レーザー測定
連絡先　〒245-0051　横浜市戸塚区名瀬町 344-1　大成建設株式会社　技術センター生産技術開発部　TEL 045-814-7229

2－3． 測定機器及び計測対象物

計測対象物，レーザー透過素材，使用するレーザーセンサを表-1, 2, 3 に示す．

3． 各実験結果及び考察

3－1． 対象物測定可否の確認

真水は測定値が水面はおろか容器の底よりも深くなる結果となりレーザー測定は不可であった．泥水であれば水面の揺らぎがあってもカタログの精度範囲内で測定可能であった（表-4）．鉄板は平台では稀にデータの取得は出来たが，凸型台ではデータの取得は不可であった．これは表面の光沢による自然光反射が要因と考えられる．錆鉄板は平台・凸型台ともデータの取得が可能であった．その他対象物（黒土・赤土・川砂利・砕石・湿潤川砂利・湿潤砕石）は精度範囲内で測定可能であり，レーザーセンサの分解能の差による測定精度に差はない結果であった（図-3）．

3－2． レーザー透過素材の比較

保護容器のレーザー透過用窓の素材として，アクリル・石英ガラス・一般（フロート）ガラスの 3 種にそれぞれレーザーを透過させ計測を行った．一般ガラスはデータハネ・欠測点が多くレーザー透過素材としては不適．アクリル・石英ガラスは共に適用可能であり，測点の安定性や精度に差はなかった（図-4）．保護容器窓としてはコスト・加工性の面でアクリルが最適と判断される．

3－3． レーザー光軸と保護容器窓の角度の確認

レーザーセンサ TiM551 はレーザー光軸と保護容器窓の角度 θ は最低で 15 度必要であり，計測距離が大きくなるにつれて角度を大きくする必要があると判明した（図-5）．LMS111 は距離と角度に相関はなく，θ =15 度とすることで計測可能となった．

3－4． 反射低減液効果の確認

透過材としてアクリルを選定して実験を行った．アクリル単体ではレーザー光軸と保護容器窓の成す角 θ は 15 度が限界であったが，反射低減液を塗布することで θ =10 度まで使用可能となった．アクリルに低反射性を持たせることで，レーザーセンサとアクリルの成す角を小さくすることが可能であるといえる．

4． まとめ

真水・光沢鉄板はレーザー測定には不適であったが，性質把握のために実験を行ったものである．作業室内のおおよその物質についてレーザー測定可能であると考えられる．今回の実験により，ニューマチックケーソンの作業室内における開口率の測定にレーザーセンサは使用可能と判明した。今後は取付方法や測定方法についての研究開発を実施し，現場への適用を検討していく所存である．

表-1 計測対象物質

対象物質	備考
台単体	-
鉄板	-
錆鉄板	-
黒土	-
赤土	-
川砂利	乾/湿
砕石	乾/湿
コンクリート	-
泥水	凸型台は未実施
真水	凸型台は未実施

表-2 レーザー透過素材

レーザー透過素材	仕様
一般ガラス	一般の平坦なガラス（フロートガラス）
石英研磨ガラス	Nグレード品（3級相当）
アクリル	三菱レイヨン株式会社　アクリライトEX001
反射低減液	株式会社フロロテクノロジー　フロロサーフ FG-5030H-0.5

表-3 レーザーセンサ仕様

機種名	TiM551	LMS111
形状		
測定可能距離	0.05～10m	0～20m
角度分解能	1°	0.5° /0.25°
測定角度	270°	270°
システム誤差 + 統計誤差	40mm+30mm =70mm	30mm+12mm =42mm
サイズ	60×60×86mm	102×162×105mm
重さ	250g	1100g

表-4 真水・泥水平均高

	実測値	測定値	誤差
真水	40	-11	-51
泥水		24	-16

(mm)

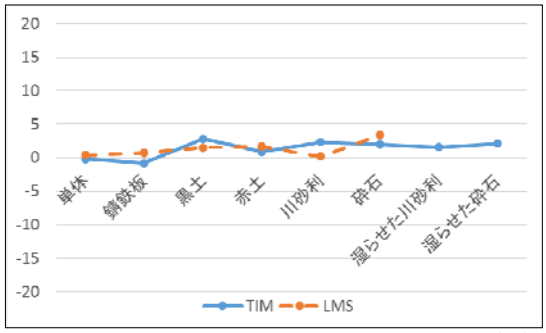

図-3 各種対象物別の凸部面積誤差 (%)

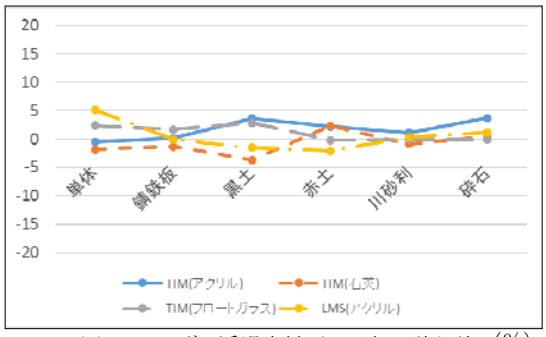

図-4 レーザー透過素材別の凸部面積誤差 (%)

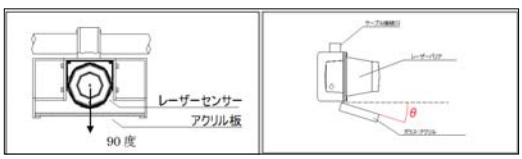

図-5 レーザー光軸と保護容器窓の角度