

泥土圧シールド掘削土砂量計測システムの開発

戸田建設株式会社 正会員 ○小林 修
 戸田建設株式会社 非会員 山崎 友誉
 戸田建設株式会社 正会員 本合 弘樹
 株式会社きんそく 非会員 土本 裕之

1. はじめに

シールド工事においては、周辺地盤への影響を極力抑えて施工することが重要であり、泥土圧シールドにおいて掘削土砂量の正確な計測は必須条件となる。今回、掘削土砂量を高精度に計測できるシステムの設計および開発を行った。リアルタイムで掘削土砂量を把握するために、ベルトコンベア上に LiDAR をセットして土砂量を換算する方式とした。本稿では、計測システムの概要と室内で行った実験結果について報告する。

2. 計測システム概要

図-1 に計測システム概要を示す。計測機器には LiDAR を使用した。計測機器から放射状に投射される複数のセンサー（計 16 本）から中心部の 5 本（ -2° 、 -1° 、 0° 、 1° 、 1.7° ）を利用し、搬出土の断面形状を計測、点群データをポリゴン化して算出した断面積とベルトコンベアの速度から搬出土砂量を演算する。計測イメージを図-2 に示す。この方法では、10~20mm の間隔で断面計測を実行、精度の高い搬出土量の計測が可能となる。

この計測機器を選んだ理由としては以下の点がある。

- ・機器のサイズがコンパクトである
- ・水平状態に保たなくても計測が可能である
- ・システム組込時の自由度が高い
- ・機器が比較的安価である
- ・新規性が高い

3. 測精度検証実験

1) 検証実験①

LiDAR をベルトコンベア上に設置し、ベルトコンベアにて搬送される土砂の形状から体積を算出し、その精度の検証を行った（写真-1）。計測された点群データを図-3、計測結果を表-1 に示す。10 回の計測で、計測値の平均値が設計値の 75%、最小値が 60.2%、最大値が 87.7% という結果であった。

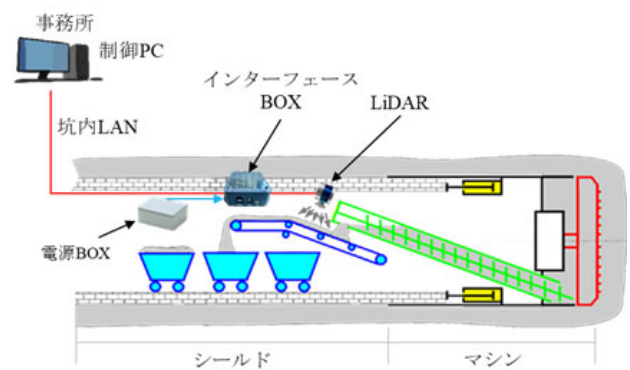


図-1 計測システム概要図

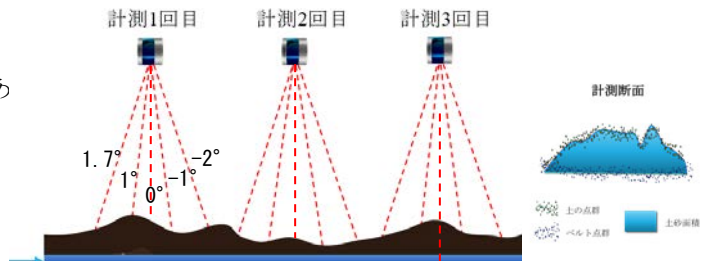


図-2 計測イメージ図



写真-1 検証実験状況

表-1 計測結果

	体積 (ℓ)	計測値/			体積 (ℓ)	計測値/	
		実測値	実測値			実測値	実測値
実測値	1.000	-		6回目	0.823	82.3%	
計測値	1回目	0.663	66.3%	7回目	0.602	60.2%	
	2回目	0.755	75.5%	8回目	0.771	77.1%	
	3回目	0.701	70.1%	9回目	0.810	81.0%	
	4回目	0.736	73.6%	10回目	0.759	75.9%	
	5回目	0.877	87.7%	平均	0.746	74.6%	

キーワード：シールド、泥土圧、土砂量計測、LiDAR

連絡先 戸田建設株式会社 東京都中央区八丁堀 2-8-5 TEL:0120-805-106 FAX:03-3551-8912

①計測上の誤差の改善

誤差の原因について調べたところ、今回の計測データにはベルトコンベアのガイド部のデータまで含まれていて、それが誤差の一因となっていることがわかった(図-4)。そのため、データ抽出範囲をガイド部以内に絞り込み、不要なデータをカットできるようプログラムの修正を行った。また、計測機器が1回転で計測する幅とベルトコンベアが進む距離のズレが発生して、体積に計上できていない部分があることも誤差の要因であることがわかった。対策として、計測機器が1回転で計測する幅と、ベルトコンベア上で土砂が進む距離が合致するように、計測機器の設置距離、計測回転数の調整を行った。

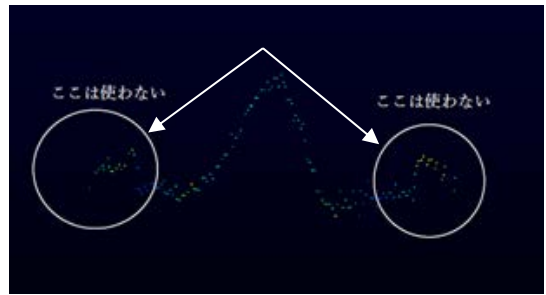


図-4 誤差状況

表-2 センサーごとの計測精度検証結果

実測値	計測値				
	-2°	-1°	0°	1°	1.7°
	(m ²)				
0.0081	0.0084	0.0077	0.0081	0.0074	0.0076
計測値/ 実測値	103.4%	94.8%	100.3%	91.5%	94.0%

②計測機器の誤差の改善

今回の計測機器の仕様では、断面の計測ピッチを細かく設定するために、5本のレーザーセンサーを用いて計測を行ったが、センサーごとに計測データを検証した結果、センサーごとに固有の計測誤差の偏りがあることが判明した(表-2)。

対策として、計測機器のキャリブレーションを行い、センサーごとに補正のパラメータを設定できるようにプログラム変更することで、計測機器の持つセンサーごとの機器の誤差を軽減した。

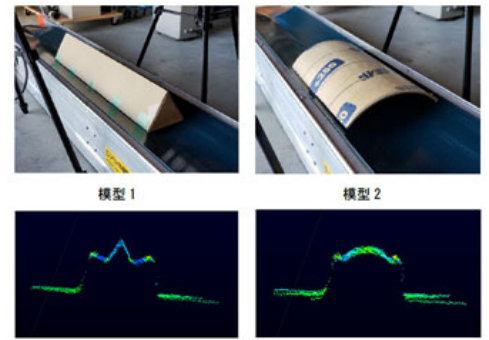


写真-2 検証実験状況

2) 検証実験②

センサーごとの補正值を求めるために、形状の異なる2種の模型を用いて、計測テストを行った(写真-2)。計測データ結果を表-3に示す。データ検証の過程で計測機器の回転数による誤差も回転数固有の偏りがあることが判明したため、回転数による補正パラメータも設定できるプログラム変更を行った。

表-3 計測データ

ケース	実測値 (m ²)	回転数 (rpm)	計測値 (m ²)				
			-2°	-1°	0°	1°	1.7°
模型1	0.0081	420	0.0089	0.0082	0.0083	0.0083	0.0092
		840	0.0092	0.0082	0.0080	0.0081	0.0089
		1,200	0.0089	0.0081	0.0079	0.0081	0.0089
模型2	0.0135	420	0.0152	0.0136	0.0139	0.0138	0.0151
		840	0.0158	0.0137	0.0139	0.0137	0.0152
		1,200	0.1530	0.0137	0.0141	0.0138	0.1501

3) 検証実験③

検証実験①, ②から、計測精度向上のための補正を加えたプログラムで再度、検証実験を行った。補正前、補正後の計測結果を表-4, 5に示す。補正前は計測誤差が10%を超えるケースが見受けられたが、補正後は、計測誤差を5%以内にする事ができた。

表-4 計測結果(補正前)

	体積			体積		
	(ℓ)	計測値/ 実測値		(ℓ)	計測値/ 実測値	
実測値	6.685	-	11回目	6.109	91.4%	
計測値	1回目	6.208	92.9%	12回目	5.999	89.7%
	2回目	5.973	89.4%	13回目	5.819	87.0%
	3回目	5.811	86.9%	14回目	5.927	88.7%
	4回目	6.336	94.8%	15回目	6.295	94.2%
	5回目	6.221	93.1%	16回目	6.289	94.1%
	6回目	6.030	90.2%	17回目	6.041	90.4%
	7回目	6.081	91.0%	18回目	6.090	91.1%
	8回目	5.860	87.7%	19回目	6.015	90.0%
	9回目	6.286	94.0%	20回目	6.031	90.2%
		5.823	87.1%	平均	6.341	94.5%

表-5 計測結果(補正後)

	体積			体積		
	(ℓ)	計測値/ 実測値		(ℓ)	計測値/ 実測値	
実測値	6.685	-	11回目	6.765	101.2%	
計測値	1回目	6.874	102.8%	12回目	6.637	99.3%
	2回目	6.613	98.9%	13回目	6.447	96.4%
	3回目	6.435	96.3%	14回目	6.565	98.2%
	4回目	7.006	104.8%	15回目	6.971	104.3%
	5回目	6.883	103.0%	16回目	6.969	104.2%
	6回目	6.670	99.8%	17回目	6.691	100.1%
	7回目	6.731	100.7%	18回目	6.748	100.9%
	8回目	6.494	97.1%	19回目	6.663	99.7%
	9回目	6.961	104.1%	20回目	6.681	99.9%
		6.442	96.4%	平均	6.711	100.4%

4. おわりに

計測機器の特性を十分に理解し、特性に合わせた土砂計算プログラムの開発により、計測精度を向上させることができた。今後、さらに多くのデータを集積し分析することで更なる精度向上を目指し実工事に適用する予定である。