

光切断法を用いた連続ベルトコン計測システムの開発

大成建設(株) ○正会員 石井 稔之, 正会員 片山 三郎
(株)演算工房 白坂 紀彦

1. はじめに

近年、シールド・トンネル工事は、長距離施工の案件が多くみられる。長距離掘削工事における重要設備の一つには、掘削土を切羽から坑口へ連続的に搬送するベルトコンベア（以下、連続ベルトコンとする）がある。連続ベルトコンは、搬送ベルトを回転させることにより掘削土を搬送し、掘進延長に応じてベルトを継ぎ足して使用される。連続ベルトコンを用いた施工管理では、①ベルト劣化時の適切な処置と②精度の良い土量管理が重要である。搬送ベルトは使用頻度に応じて、積載物との摩擦や接触により劣化し、部分的に傷ついたり、耳が裂けたりする。この傷を放置し続けると傷が大きくなり、最終的に破断に至る。破断すると取換に時間を要するため、工程・コスト共に大きな被害を与える。従来のベルト点検は、目視による点検が主流であるが、数 km もあるベルトをすべて点検するには相当の時間と手間がかかるうえ、傷を見落す可能性もある。一方、土量管理を適切に行っていない場合、掘削土量の取込み過ぎによる地盤沈下やチャンバー閉塞等のトラブルが生じる場合がある。掘削土量が設計量に対して過不足無いかを適切に把握しながら施工を進めることが重要である。筆者は、上記 2 つの問題点を解決するために、光切断を用いた連続ベルトコンのベルトを常時監視できるベルト傷検知システムと搬送土量を精度よく計測できる土量計測システムの 2 つを開発した（図-1）。本研究では、光切断法の土木工事における適用性を評価するため、連続ベルトコンに関する傷・土量の計測をターゲットとし、まずはポータブルベルトコンを用いた実験を行った。

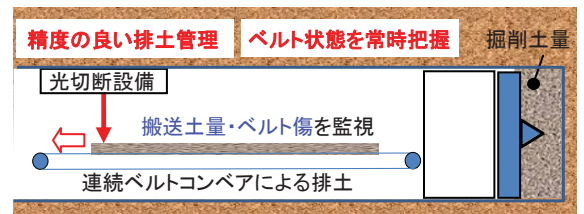


図-1 シールド掘進中のベルトコン監視イメージ

2. 光切断法とは

光切断法とはラインレーザーとデジタルカメラを使った断面形状測定技術である（図-2）。ラインレーザーは、レンズによってレーザー光を扇形に広げて直線状に照射でき、このラインレーザーを対象物に照射すると、物体の形状に沿った輪郭線が作られる。この輪郭線をデジタルカメラで斜め方向から撮影して画像解析すると、輪郭線のみを座標データとして抽出できるため、対象物の形状や断面積を導出できる。光切断法は、高精度・高速スキャン・非接触計測の特徴を有する。

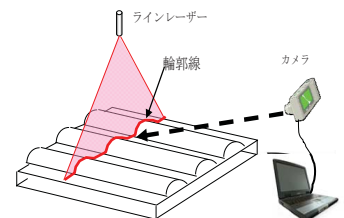


図-2 光切断法設備配置

3. 光切断法を用いた傷検知システムの開発

本実証では、ポータブルベルトコンベア（幅 350 mm、長さ 5.0m、速度 40m/min）のベルトに深さ・形・大きさの異なる 8 種類の傷をベルト全般と耳に区別して設け、光切断法による計測にてそれぞれの傷が検知されるかを検証した。図-3 は計測設備を示し、主な設備は、ラインレーザーとカメラの他に傷位置を判定するための磁気センサとベルトスピードを検出するためのエンコーダーを設けている。図-4 は傷の代表例を示し、図 5 は計測結果を映し出したモニタ画面を示す。図-4 にて作成したベルト傷は、光切断計測により輪郭線が座標データとして抽出され図-5 に示すように画像解析される。モニタには、傷の位置、大きさ、深さが表示される。傷位置は、ベルトに取り付けた磁石が磁気センサを通過した位置をゼロとし、磁石から傷までの距離が表示される。現在、シールド・トンネル工事に導入されている連続ベルトコンのうち速度の速いものは、ポータブルベルトコンの 5 倍の 200m/min である。



図-3 計測設備

図-4 は傷の代表例を示し、図 5 は計測結果を映し出したモニタ画面を示す。図-4 にて作成したベルト傷は、光切断計測により輪郭線が座標データとして抽出され図-5 に示すように画像解析される。モニタには、傷の位置、大きさ、深さが表示される。傷位置は、ベルトに取り付けた磁石が磁気センサを通過した位置をゼロとし、磁石から傷までの距離が表示される。現在、シールド・トンネル工事に導入されている連続ベルトコンのうち速度の速いものは、ポータブルベルトコンの 5 倍の 200m/min である。

キーワード 光切断法, 連続ベルトコンベア, 搬送土量計測, ベルト損傷監視

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター土木技術開発部 TEL045-814-7219

実験では、実用レベルで計測精度を確認するために、スキャンライン数を5分の1とし、200m/minの速度を模擬した。連続計測を行った結果、傷検知率が100%であることを確認した。

4. 光切断法を用いた土量計測システムの開発

本実証では、前述の光切断法を用いた傷検知システムと同様の機材を用いて、仮想土（形状と体積が判っているアルミアングル）と実土（砂・黒土）を対象とした従来計測技術（2D スキャナを用いた土量計測システム）との計測精度（測定誤差）の比較を行った。図-6 は、計測設備配置を示す。図-7 は、実土の計測状況を示し、粒度や色によらず計測が可能であるか合わせて確認した。図-8 は、仮想土の計測結果を示し、設計値に対する計測誤差を評価した。また、図-9 では、黒土と山砂の計測結果を従来計測技術とのばらつきで評価した。仮想土計測の計測誤差は、光切断法で1.4%、従来計測技術で14.4%であり、光切断法を用いた計測が従来計測よりも精度よく計測できていることがわかる。また、実土計測では、対象物の粒度や色

に関係なく計測毎に対象物の形状が違う条件下においても、光切断法によるばらつきは1.0%以内の精度で計測可能であることを確認した。計測精度の差は、レーザークラスや統計的誤差とスキャンング回数の違いによるものとする。図-10 は、シールド工事における土量計測システム運用時のモニタイメージを示す。上段は、掘進距離に対する土量推移をトレンドグラフで表し、下段には、過去9リング分の掘削土情報を表示する。施工管理者は、理論土量と計測土量をリアルタイムに比較することで、適切に排土されているかを監視する。

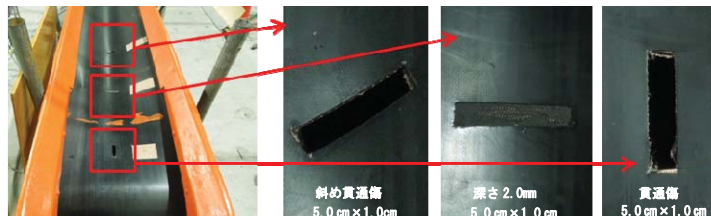


図-4 ベルト傷の種類

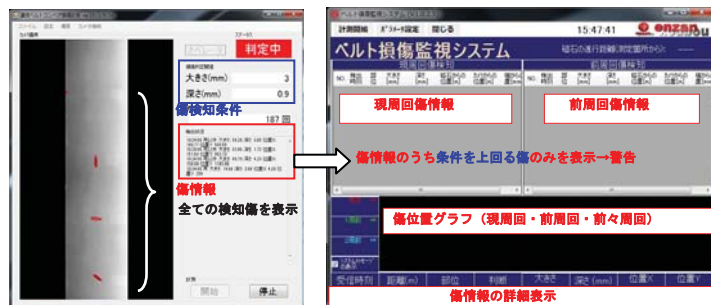


図-5 傷検知計測モニタ



図-6 計測設備配置

図-7 計測状況

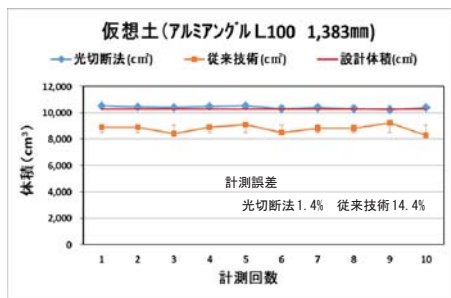


図-8 仮想土計測結果

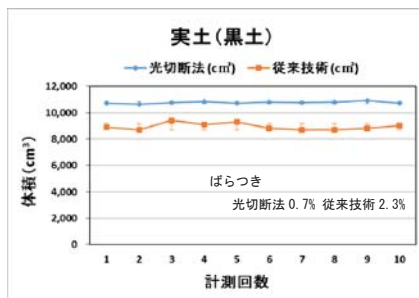
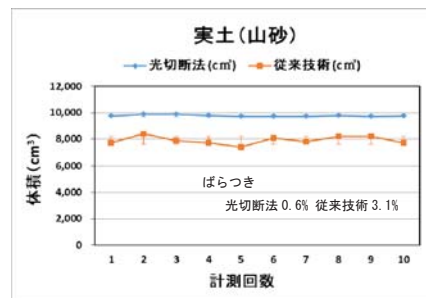


図-9 実土（黒土・山砂）計測結果



5. 考察

光切断法を用いた傷検知実証では、仮想ベルト速度 200m/min としても、繰り返し計測での検知率は常に100%であった。また、土量計測では、従来技術と比較して高い精度で計測できた。2016年度は、実物大の連続ベルトコン（幅1,200mm, 200m/minクラス）を用いて確認を行い、シールド・トンネル現場へ導入する。筆者は、当研究に対して、施工管理を効率化し、さらには保守点検作業を省力化できる有益な技術であると考え、積極的に提案していく所存である。

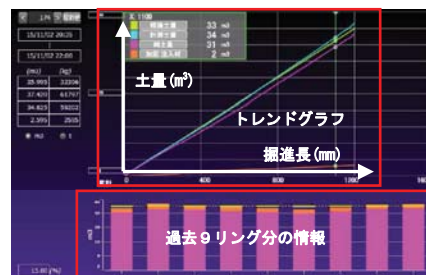


図-10 土量計測モニタイメージ