

点群センサーを使用したシールドトンネルの真円度計測装置の開発

(株)大林組 正会員 ○西森昭博 正会員 松原健太 正会員 上田 潤
正会員 林 成卓 正会員 東野弘幸

1. はじめに

シールド工事では、セグメントの品質管理の観点から、目開き、目違いをなくし、真円を確保しながらセグメントの組立て作業を行うことが肝要である。しかしながら、組立位置付近には様々な後方設備が配置されているため、直接内空を計測することが難しい。その対策として、計測リングとレーザー距離計を用いて真円度を間接的に測定する方法(図-1)を用いる場合があるが、内空を測定するポイントが4~8点程度であり、変形モードを正確に把握することが難しかった。また、計測位置が切羽付近に限定されているためテール通過後の真円度の変化を計測することが難しく、セグメント組立時に作業員に接触し故障しやすいことや、計測器が多くメンテナンスに手間が掛かることなどが課題となっていた。

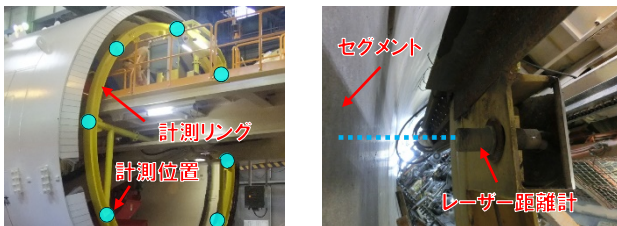


図-1 従来の真円度計測装置の例

そこで、真円度を周方向に連続的に計測することができ、メンテナンスが容易で、テール通過後の計測も可能な計測装置の開発に取り組んでいる。本稿では、2D-RGB 赤外線センサーと 3D-全方位センサーの2種類の点群センサーを使用した真円度計測装置を試作し、施工中のシールドトンネルで計測実験を実施した結果について報告する。

2. 真円度計測装置の概要

(1) 2D-RGB 赤外線センサーの概要

2D-RGB 赤外線センサーは、固定型の点群センサーで、RGB 解像度 1920×1080 、点群解像度 512×424 、深度の取得範囲 $0.5 \sim 8.0\text{m}$ 、水平 70° 、垂直 60° の RGB 画像と点群データを取得可能なタイプを使用している。フレームレートが 30fps、1 秒間に約 650 万

か所の点群データを取得できる。

セグメントの内面を見渡せる任意の位置にセンサーを設置し、専用の計測ケーブルとアダプターを介し USB ケーブルで計測用 PC に接続する(図-2)。取得した RGB 画像から PC 上で計測断面を特定し、そのピクセル座標に対応する点群座標を抽出し内空を計算する方式を採用している。

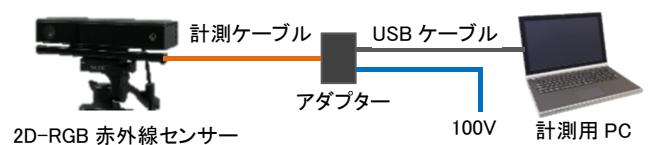


図-2 2D-RGB 赤外線センサーを用いた真円度計測装置

(2) 3D-全方位センサーの概要

3D-全方位センサーは、 360° 方向に回転するレーザー照射機を用いて全方位の物体までの距離を測定し、3次元点群データを取得する点群センサーであり、 360° の水平方向の解像度が約 1800 で点群取得ピッチは約 0.2° 、垂直方向の点群取得角度は約 30° 、レーザーライン 16 カ所、点群取得ピッチは約 2.0° のタイプを使用している。センサーの周波数は $5 \sim 20\text{Hz}$ であり、1 秒間に約 30 万か所の点群データを取得できる。

セグメントの内面を 360° 方向に見渡せる任意の位置において、トンネル軸と 3D-全方位センサーの回転軸を正確に合わせて固定し、専用の計測ケーブルとインターフェース BOX を介しイーサネットケーブルで計測用 PC に接続する(図-3)。取得した全点群データから、セグメント内面の点群データだけを抽出するアルゴリズムを使用し、内空を計算する方式を採用している。

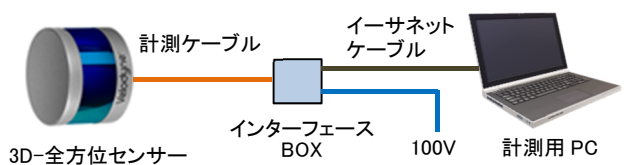


図-3 3D-全方位センサーを用いた真円度計測装置

キーワード シールド、セグメント、真円度、計測、点群センサー、品質向上

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL: 03-5769-1318

3. 真円度計測実験結果

(1) 2D-RGB 赤外線センサーの計測実験結果

2D-RGB 赤外線センサーを使用した真円度計測装置を用いて、テール通過後のセグメントの真円度の計測実験を実施した。セグメントの組立やハンドリング、裏込め注入、枕木設置等、シールドの掘進作業に支障しない位置として運転席前の架台を選定し、テール通過後のセグメントの内面が見渡せる任意の角度にセンサーを設置している（図-4）。

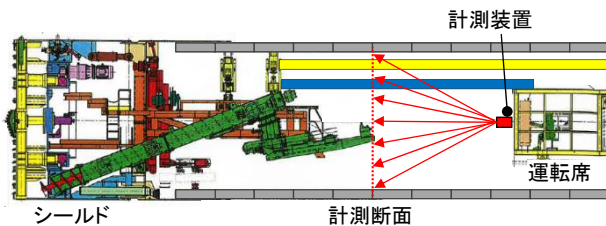


図-4 2D-RGB 赤外線センサーによる計測断面

本計測実験では、RGB 画像上のセグメントの目地を利用して計測断面を設定し、1断面あたり1280か所の測点を設けている。そして、計測断面を全周で16分割し、 22.5° の範囲の内空計測値から真円度を算出する方式を採用している。

一部、後方台車の設備等の影響によりセグメント内面が視準できない位置や、インバート付近で水の影響でデータが取得できない測点もあったが、 22.5° の範囲内に少しでもデータ取得可能な測点があれば計測できるため、1台のセンサーで円周方向に連続的に真円度を計測することが可能となった（図-5）。

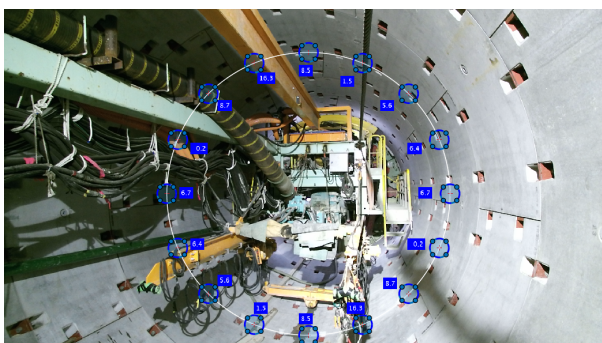


図-5 2D-RGB 赤外線センサーによる真円度計測結果

(2) 3D-全方位センサーの計測実験結果

3D-全方位センサーを利用した真円度計測装置を用いて、シールドテール内におけるセグメントの真円度の計測実験を実施した。切羽側1リング目のエレクターと作業台車の隙間を計測断面として選定したが、この位置ではスクリーコンベヤーとエレクターの一部に支障するため、1台のセンサーで全断面

を計測することができない。そこで、計測器を2か所設置し、計測データを重ね合わせる方式を採用している。（図-6）。

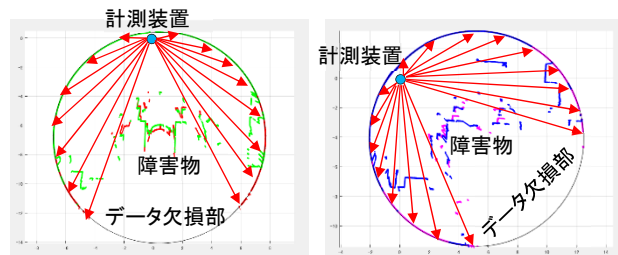


図-6 3D-全方位センサー計測データの重ね合せ

本計測では、3D-全方位センサーの回転軸をトンネル軸に合わせ、計測断面を設定している。1断面あたり約1800か所の測点を設け、最小二乗法でセグメントの中心座標を推定し、全周を16分割し 22.5° の範囲の各測点までの距離を元に真円度を算出する方式を採用している。

3D-全方位センサーは計測面に対し 360° 方向に直角にレーザーを照射することができるため、2D-RGB 赤外線センサーに比べデータの欠損が少なくデータのばらつきも小さい傾向がみられた。また、上記の方法により計測データを重ね合わせることでデータ欠損部を補完するができ、円周方向に連続的に真円度を計測することが可能となった（図-7）。

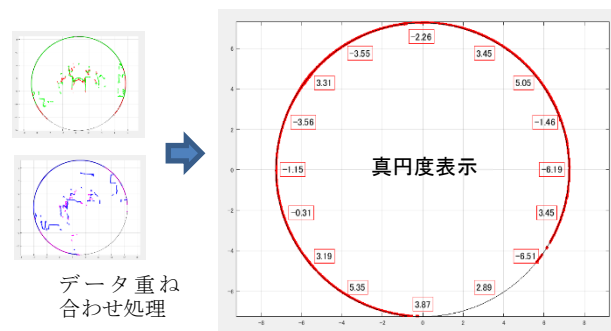


図-7 3D-全方位センサーによる真円度計測結果

4. まとめ

本開発では、2種類の真円度計測装置を試作し、シールドテール内と通過後の真円度の計測実験を実施した。いずれのタイプも円周方向に連続的に真円度を計測することができ、変形モードを正確に把握することができた。センサーの使用台数が少なくメンテナンスが容易であり、組立作業エリアから離れた位置に設置可能なため長期使用時の故障のリスクも低い。今後、シールドトンネルの品質確保のツールとして施工管理に利用したいと考えている。