

三次元形状計測装置による建設構造物の出来形計測 施工中の計測データと設計データのリアルタイム照合

Measuring of structure's shape by 3D Measurement Mobile

-Real-time checking the measured data with the design data-

遠藤 健 (東急建設)
 学 古賀 祐一郎 (九大)

正 倉爪 亮 (九大)

Ken ENDOU, Tokyu Construction, endou.ken@tokyu-cnst.co.jp
 Ryo KURAZUME, Kyushu University
 Yuichiro KOGA, Kyushu University

We have developed the technology to get structure's 3D shape quickly by 3-Dimensional Measurement Mobile, using a gyroscopic 2D scanner. 2D scanner can change the attitude flexible and is loaded on a cart followed by Total Station. The coordinate of measured data by 2D scanner is changed for the structure's coordinate with the position and attitude information of 2D scanner. The design data is prepared as Landxml format made by 3D CAD system, and taken in a system. 3-Dimensional Measurement Mobile can check the measured shape with the design shape at real-time.

Key Words: 2D scanner, 3D shape, structure, gyroscope, 3D CAD, real-time

1. はじめに

一般に多くの建設工事の施工・施工管理の現場では、出来形などの品質管理には平面図・縦断図といった二次元データを用いることが多い。しかし成果物が三次元的な建造物である以上、三次元情報による設計やその設計データを利用した施工管理や品費管理がなされるのが合理的である。

近年、国策による情報化施工技術の推進や、品確法の策定[1]などにより、公共工事における三次元形状データの施工や施工管理への利用事例の報告が増してきている[2]。また、PCの処理能力の飛躍的な向上により、大規模構造物の形状を計測した膨大な三次元点群データを実時間で表示処理するなどの事例も盛んに報告されている[3]。

本研究は、構造物の三次元形状データを自在に取得する手段の開発と、取得データによる施工・施工管理への応用を可能とするソフトウェアの開発を目指すものである。

2. 建設構造物の出来形管理

トンネル、鉄道、道路等の建設構造物の形状の品質管理を出来形管理と呼ぶ。出来形とは構造物表面の三次元位置データに他ならず、前述の構造物はいずれも中心線の距離とこれに直交する断面形状を評価して出来形を管理する。またこれらは、計測範囲が断面的な方向にはある程度限定的である一方、延長方向は長距離に及ぶという特長がある。さらに概して計測対象のスケールが大きい。このため計測の手法ではもっぱらレーザを用いた光波測距儀が用いられる。

今回、大規模構造物の出来形計測を対象に、手早く効率的に形状を取得する手段として、2Dレーザスキャナ(LMS-151、SICK)の計測姿勢を自在に変位させる機構を台車に実装した三次元形状計測装置(以下3DMM: 3-Dimensional Measurement Mobile)を提案した。

3. 三次元形状計測台車

図1は試作した3DMMの外観である。計測部の姿勢変更機能は、台車に対して任意の向きにレーザスキャナの姿勢を固

定し、台車の移動方向と計測対象の位置を最適な状態に置き効果的な計測を可能としている。

図2はトンネル工事の出来形計測に本計測装置を応用した例を示している。掘削終了直後の切羽面においてはスキャナ角度のみを変更して危険の少ない遠方から計測し、一次覆工後の内空面においてはスキャナを内空面に正対させて台車を延長方向に移動して計測する。

4. 台車初期位置・姿勢の計算方法

図3は構造物の座標系と計測中心との関係を図示したものである。台車の位置は、台車に取り付けた計測用ターゲット(360°全周プリズム A7P型、TOPCON)を台車基準点とし、トータルステーション(GPT-9000A、TOPCON: 以下TS)で計測することで得られる。またFOG(JCS7402-A、日本航空



Fig.1 3-Dimensional Measurement Mobile

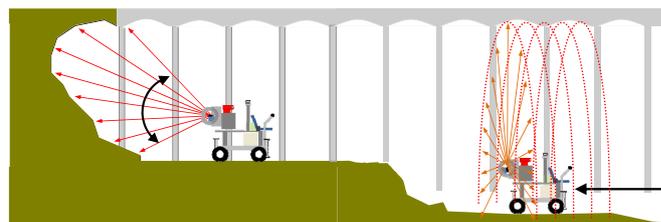


Fig.2 Measuring image in tunnel

電子工業)により、移動中の台車姿勢を逐次検出する。

台車の初期位置・姿勢は構造物の座標系においたTSを用いて以下の手順で求める。台車座標系で記述された計測中心から台車上の基準点、および参照点の位置を、 ${}^0p_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 ${}^0p_2(x_2, y_2, z_2)$ とし、一方TSにより計測した基準点、および参照点の位置を ${}^1p_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 ${}^1p_2(x_2, y_2, z_2)$ とする。

また計測中心の位置を ${}^1p_0(x_0, y_0, z_0)$ 、台車のロール角、ピッチ角、ヨー角をそれぞれ r, p, y とし、構造物座標系から台車座標系までの座標変換行列を

$${}^1A_0 = R^{k\phi_y} R^{i\phi_p} R^{i\phi_r} \quad (1)$$

とすると、

$${}^1p_1 = {}^1A_0 {}^0p_1 + {}^1p_0 \quad (2)$$

$${}^1p_2 = {}^1A_0 {}^0p_2 + {}^1p_0 \quad (3)$$

が成り立つ(ただし、 $R^{k\phi_y} R^{i\phi_p} R^{i\phi_r}$ はそれぞれ、z, y, x 軸周りの回転行列) これより(2)と(3)式の差を求めると、

$$({}^1p_2 - {}^1p_1) = {}^1A_0 ({}^0p_2 - {}^0p_1) \quad (4)$$

となる。ここで

$${}^1\Delta p = {}^1p_2 - {}^1p_1 = ({}^1\Delta x, {}^1\Delta y, {}^1\Delta z)^T \quad (5)$$

$${}^0\Delta p = {}^0p_2 - {}^0p_1 = ({}^0\Delta x, {}^0\Delta y, {}^0\Delta z)^T \quad (6)$$

とし、ロール角、ピッチ角は FOG で計測され既知であることから、

$$\begin{pmatrix} {}^1\Delta x \\ {}^1\Delta y \\ {}^1\Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_y & -\sin \phi_y & 0 \\ \sin \phi_y & \cos \phi_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} {}^0\Delta x' \\ {}^0\Delta y' \\ {}^0\Delta z' \end{pmatrix} \quad (7)$$

となる。ただし、

$$\begin{pmatrix} {}^0\Delta x' \\ {}^0\Delta y' \\ {}^0\Delta z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_p {}^0\Delta x + \sin \phi_p \sin \phi_y {}^0\Delta y + \cos \phi_p \sin \phi_y {}^0\Delta z \\ \cos \phi_p {}^0\Delta y - \sin \phi_p {}^0\Delta z \\ -\sin \phi_p {}^0\Delta x + \sin \phi_p \cos \phi_y {}^0\Delta y + \cos \phi_p \cos \phi_y {}^0\Delta z \end{pmatrix} \quad (8)$$

よって

$${}^1\Delta x (\sin \phi_y {}^0\Delta x' + \cos \phi_y {}^0\Delta y') = {}^1\Delta y (\cos \phi_y {}^0\Delta x' - \sin \phi_y {}^0\Delta y') \quad (9)$$

より、ヨー角は

$$\phi_y = \tan^{-1} \left(\frac{{}^1\Delta y {}^0\Delta x' - {}^1\Delta x {}^0\Delta y'}{{}^1\Delta x {}^0\Delta x' + {}^1\Delta y {}^0\Delta y'} \right) \quad (10)$$

と求まる。なお計測中心位置は

$${}^1p_0 = {}^1p_1 - {}^1A_0 {}^0p_1 \quad (11)$$

から求められる。また台車が移動し計測を行っている時の計測中心の位置、姿勢も、TS で計測した基準点の位置 1p_1 と台車上の基準点の位置 0p_1 、FOG が計測したロール角、ピッチ角、ヨー角から式(11)で求められる。ただしヨー角は上記で決定した初期方位角に、FOG の出力(初期方位角からの変位)を加算したものである。

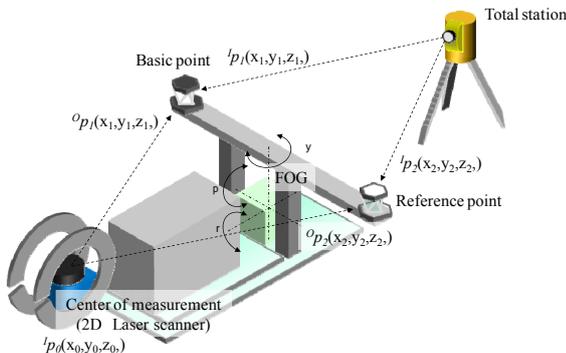


Fig.3 The relation between measurement coordinate and structure's coordinate

5. Landxml による設計データの読み込み

図4は3DMMの計測ソフトウェアのインターフェースに、計測データと比較参照するための参照データを表示したものである。参照データとなる3D設計図は土木系CADソフトウェア(CIVIL 3D, Autodesk)で作図したのちLandxml形式で出力し計測用ソフトウェアに読み込まれる。参照データには、トンネルの線形データ(中心線、断面等)およびTINで表現されたトンネルの3D形状データが含まれ、計測用ソフトウェアではこれらの表示や計測データとの差分計算と表示が可能である。なお計測データ自信を参照データとするような場合は、計測値の点群からTINを構成し、同様にLandxml形式で出力し計測ソフト上に構成することが可能である。

なお、図5は試作した3DMMによる屋内での計測テスト結果の表示である。

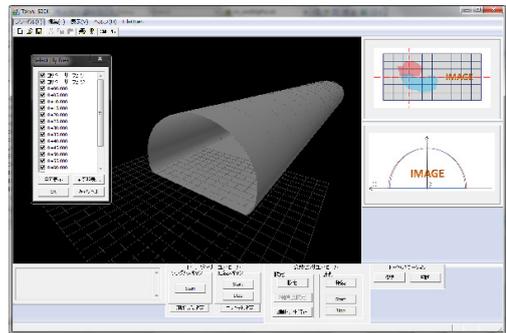


Fig.4 Interface of measurement system

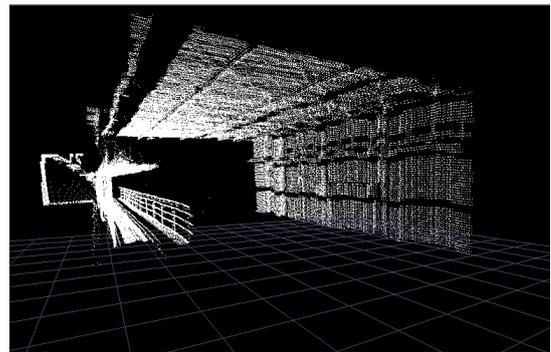


Fig.5 Measuring result in an indoor test

6. まとめ

建設構造物など大規模構造物を対象とした2Dレーザスキャナを用いた三次元形状計測装置を設計・試作した。本装置は最適な姿勢で計測が可能ないようにスキャナの姿勢を変更できる機構を有する。またLandxml形式でCADデータを利用可能なリアルタイム照合ソフトウェアを開発した。

なお、本研究は平成21年度国土交通省建設技術研究開発助成制度より補助金の交付を受け進めているものである。

文献

- [1] 国土交通省 HP, 公共工事における品質確保の促進に関する法律, <http://www.mlit.go.jp/common/000004840.pdf>, 2005年3月
- [2] 国土交通省 HP, 報道発表資料: 「情報化施工推進戦略」について, <http://www.mlit.go.jp/common/000020669.pdf>, 2008年7月
- [3] 倉爪 亮, 戸畑 享大, 村上 剛司, 長谷川 勉, CPS-SLAMの研究-大規模建造物の高精度3次元幾何形状レーザ計測システム-, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.8, pp.1234-1242, 2007