

トンネル坑内における連続的な位置情報取得の試み

佐藤工業(株) 技術部

正 ○瀬谷正巳

1. はじめに

現在, GNSS/GPS 技術の発達により地球上の任意の地点で, その現在位置を高い精度で容易に知ることが可能となり, 様々な分野で利用されている. 土木の分野でも測量や ICT ブルドーザーの制御などに活用されており, 今後, CIM の導入が進むと共にさらに利用範囲が広がると思われる. しかし, GNSS 技術は人工衛星からの電波を受信することから, 人工衛星の電波を受信できない屋内などでは GNSS 技術を利用することができない.

そのため, 屋内で位置情報を測定するために, Wi-Fi を利用する方法, ビーコンを使う方法, 移動に伴う加速度変化から求める方法, 地磁気を用いる方法, 画像認識と距離計測を組み合わせる方法などが提案されているが, 精度, コスト, 使用環境などの点でどの技術も標準化されたとはまでは言えない. 土木の分野では自動追尾式トータルステーションを用いることが多いが, 測定に多少時間がかかるため, 測定の対象によっては移動する物体の座標をリアルタイムで連続的に求めることができない場合もある.

今回, トンネル坑内において重機的位置を連続的に求めることを目的とした計測器具を作成し, その精度を検証したので, 結果を報告する.

2. システムの概要

トンネル坑内での重機位置を測定するためのシステムの概要を図-1 に示す. このシステムは, 位置を測定したい重機に取り付けたワイヤ式変位計のワイヤ先端を, 支保工表面などに設けた座標が既知の点に固定し, ワイヤの引き出し長さ a とワイヤの方向角 α から重機の位置座標を計算するものである¹⁾.

通常, 移動する物体の位置を求める場合, 移動範囲を限定してしまうワイヤ変位計などを用いることはないが, トンネル施工においては切羽近傍の限られた範囲内での移動で済むような作業も少なくない. そのため, そのような作業においてはワイヤ変位計を用いて位置を測定するようなシステムも実用可能と言える.

この場合, 位置を求めるためには, 最低 2 台の計測器具が必要となる. 2 台の計測器具を取り付けることによって, 計測器具同士を結んだ線分の位置を求めることが出来, さらに計測器具をもう 1 台追加するか, 傾斜角センサを併用することによって, 重機の位置と姿勢を把握することが出来る.

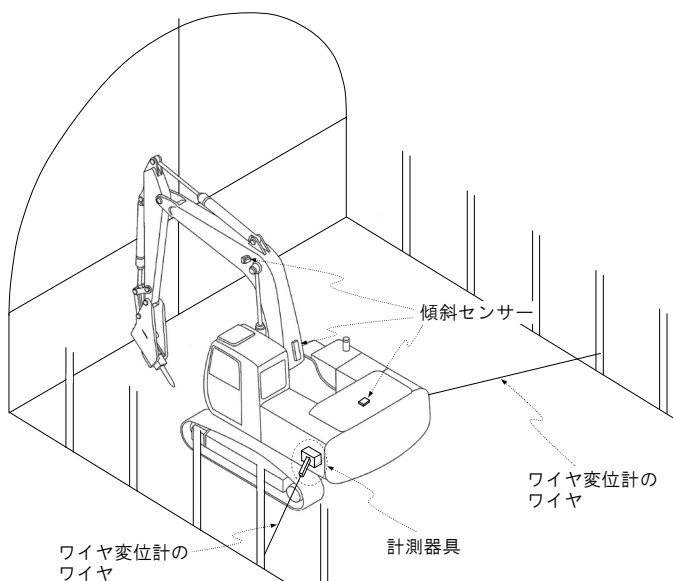


図-1 システム概要図

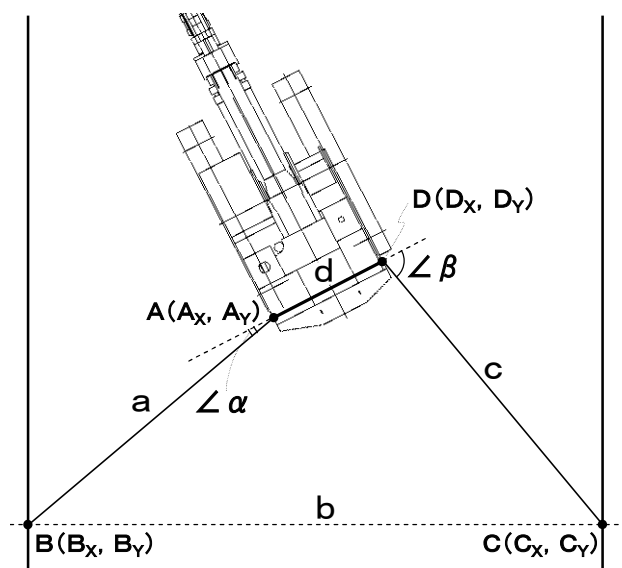


図-2 座標点位置図

キーワード 山岳トンネル, 位置情報, 位置計測, ワイヤ式変位計

連絡先 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19 佐藤工業(株) 土木事業本部 技術部 TEL : 03-3661-4794

3. 座標の計算

図-2において、点A、Dの座標を求める方法を以下に示す。

ここで、点B、Cの座標は既知である。線分ABの長さa、線分CDの長さcは計測器具で測定したワイヤ変位計の伸びの長さで、 $\angle \alpha$ 、 β は計測器具で測定したワイヤの伸びの方向となる。線分DAの長さdについては計測器具の設置位置から求めることができる。

$$BD = \sqrt{(a \sin \alpha)^2 + (d + a \cos \alpha)^2}, \quad AC = \sqrt{(d + c \cos \beta)^2 + (c \sin \beta)^2}$$

$$\angle ABD = \cos^{-1}((a^2 + BD^2 - d^2)/(2a \times BD)) + \cos^{-1}((b^2 + BD^2 - c^2)/(2b \times BD))$$

$$\angle BCD = \cos^{-1}((c^2 + AC^2 - d^2)/(2c \times AC)) + \cos^{-1}((b^2 + AC^2 - a^2)/(2b \times AC))$$

$$\left. \begin{aligned} A_x &= a \times \cos(\angle ABC - \sin^{-1}((B_y - C_y)/(\sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2}))) + B_x \\ A_y &= a \times \sin(\angle ABC - \sin^{-1}((B_y - C_y)/(\sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2}))) + B_y \end{aligned} \right\} \text{点Aの座標}$$

$$\left. \begin{aligned} D_x &= C_x - c \times \cos(\angle BCD + \sin^{-1}((B_y - C_y)/(\sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2}))) \\ D_y &= c \times \sin(\angle BCD + \sin^{-1}((B_y - C_y)/(\sqrt{(B_x - C_x)^2 + (B_y - C_y)^2}))) + C_y \end{aligned} \right\} \text{点Dの座標}$$

なお、鉛直方向についても同様な方法で計算できる。

4. 計測器具の作成

作成した計測器具を図-3に示す。計測器具は架台、ワイヤ式変位計、回転角度計などで構成されている。

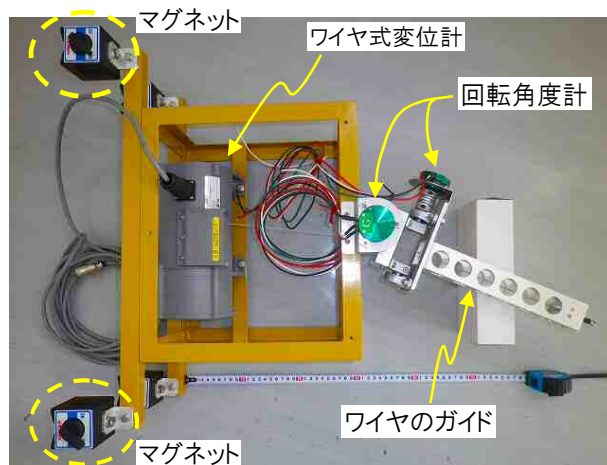


図-3 計測器具

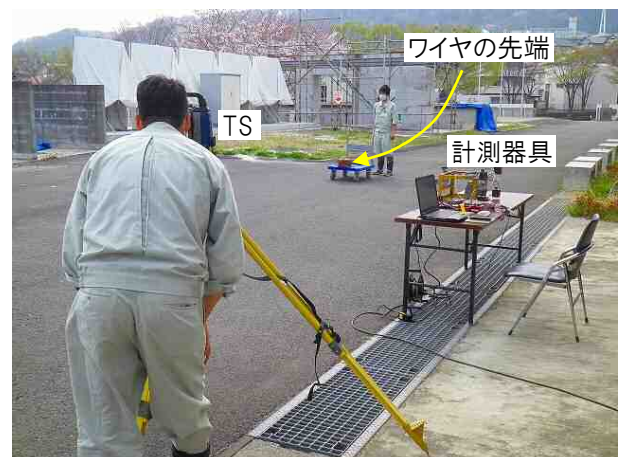


図-4 精度検証の状況

5. 精度の検証

作成した計測器具の精度を検証するために、計測器具を固定した状態でワイヤの先端を移動させ、その際の先端の位置を異なる15地点についてトータルステーション(TS)と計測器具とで計測した(図-4)。計測結果を表-1に示す。その結果、最大誤差は約123mm、平均誤差約44mmで計測することができた。

6. まとめ

今回、最大123mm、平均44mm程度の誤差で位置を計測できることが分かったので、今後は計測器具のコンパクト化、精度の向上に努め、実用化を目指したい。

参考文献：

1) トンネル切羽の整形方法および整形システム(特許第5823841号)

表-1 精度の検証結果

計測 No.	TSによる測量		計測器具による計測		誤差 (mm)	ワイヤの伸び (mm)
	X座標 (mm)	Y座標 (mm)	X座標 (mm)	Y座標 (mm)		
1	-2584	-847	-2625	-819	49.0	4959
2	-3216	1228	-3139	1133	122.5	3864
3	-3793	2917	-3771	2872	50.1	3805
4	-2626	4321	-2613	4314	14.5	2767
5	-1114	4793	-1100	4757	37.9	1776
6	-2893	5327	-2877	5333	16.6	3463
7	-3760	3875	-3752	3885	12.9	3772
8	-4191	1781	-4235	1895	122.9	4475
9	-5209	4658	-5212	4653	6.1	5343
10	-6459	6843	-6449	6892	49.6	7306
11	-7409	8927	-7385	8984	61.5	9231
12	-3426	8756	-3407	8776	27.4	6352
13	-3544	10857	-3575	10849	31.9	8253
14	-3729	12905	-3745	12908	16.0	10208
15	-3909	14912	-3955	14916	46.0	12156
平均					44.3	