

11. トータルステーションを用いた 位置検出システムの開発（その1）

谷沢 晋 恩村 定幸
村上 譲二

要 旨

杭工事や掘削工事の施工中に位置が不明となったポイントを、トータルステーションを用いてリアルタイムに再検出できるシステムをこのたび開発した。施工精度の向上と、後戻り作業による経費、時間のロスを削減するために行ったものであり、ここにその開発システムの概要をその1として報告する。

キーワード

トータルステーション／杭の心ずれ／プリズムセット／測量／再検出

目 次

1. はじめに
2. 杭工事の現状分析
3. システムの概要
4. 座標の演算手法
5. システムの施工手順
6. あとがき

11. LOCATION DETERMINATION SYSTEM USING A TOTAL STATION (Part 1)

Susumu Tanizawa Sadayuki Onmura
Joji Murakami

Abstract

A system was developed to re-determine in real time, using an electronic total station, the locations of positions which have become unknown during pile or excavation work. The development was carried out in order to improve work precision, as well as to reduce the expenses and time spent on repetitious work. This paper presents an outline of the developed system.

1. はじめに

一般に、杭工事や掘削工事は、事前に遣方測量を行って求めた基準ポイントから施工位置を出し、標識や石灰ライン等で表示して、それらをもとにして施工が行われる。

しかし、掘削工事や杭工事では大型機械を用いて工事が行われるため、車両や重機の走行、発生土の仮置き等により表示しておいたポイントが移動したり、不明になったりすることがしばしば起きている。そのとき、ポイントを正確に出し直せばよいものを、安易に出し直して施工した結果、施工精度が悪くなり、そのうえ、後戻り作業の発生により多大な費用と時間が浪費されるケースがしばしば見受けられる。

施工精度を向上できればこれらの問題が解決できることから、簡単に、しかも速やかに施工ポイントを再検出できるシステムを開発することとした。本報告は、この開発したシステムについて、その概要を述べるものである。

2. 杭工事の現状分析

本年9月、当社の大阪、東京本店および名古屋支店における現場担当者116名について、杭工事に関するアンケート調査を行った。その調査結果を分析して、図-1および図-2に示す。

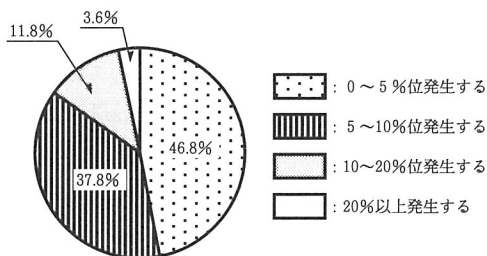


図-1 100mm以上の杭心ずれ発生率

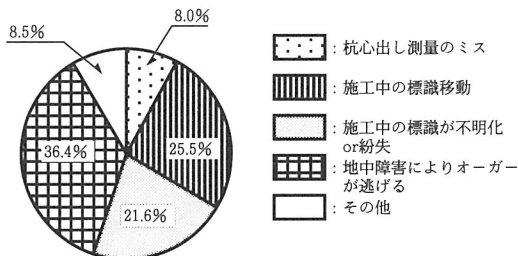


図-2 100mm以上の杭心ずれを起こす原因

図-1 から、許容値である100mm以上の心ずれを起こしている杭は割合に多く、全施工数のうち5%以上起こしている現場が全体の1/2以上あることがわかった。

図-2 から、許容値以上の心ずれを起こす原因として、施工の不正確さもあるが、施工中に標識が移動したり不明となったことをあげている現場が全体の47%を占めていることがわかった。

一般に、施工した杭が100mm以上の心ずれを起こした場合、基礎・地中梁の鉄筋補強やコンクリートの増し打ちなどが必要となるが、ときには修正掘削しなければならないこともあり、杭をいかに所定の位置に正しく打設できるかが施工上の重要なポイントとされている。

3. システムの概要

施工前に出しておいた標識が不明となっても、その位置を正しく再検出できれば杭工事の施工精度を向上できるものと考え、その解決方法として、次のようなシステムを考えた。

本システムは、「三角形において3辺の長さから三角形の形状が決まる」という定理を応用したものである。座標がわかっている2点を基準にして、任意の位置に設置した測量器の位置座標を確認したのち、測量器から不明ポイントまでの距離および方位を求め、不明ポイントの位置を検出しようとするシステムである。測量器を設置した任意点の座標および不明ポイントまでの距離・方位角の演算は、あらかじめ組み込んでおいたプログラムを用いて、ポケットコンピュータで行う。

可能な限り短い測量時間で、しかも簡単に不明ポイントが見つけれよう、市販のトータルステーションを利用して行うシステムを考えた。トータルステーションは、専用の受光器（プリズム）に光波を照射し、その反射時間からプリズムまでの距離を測定し、その値を付属ディスプレイ画面に表示できる測量器である。

しかし、市販のトータルステーションに付属されているプリズムでは、求めようとするポイントの位置にプリズムを設置するのはかなり難しいうえ、数回の据え直しが必要であり、実用面では大変手間がかかる。そこで、本システムでは、このプリズムの代わりに専用のプリズムセットを開発することにより、求める位置を正確に素早く出せるようにした（特許出願中）。

プリズムセットは、図-3に示すような直径が970mm～230mmのドーナツ状の円形内でトータルステーションから照射された光波を受光できるように考案したものであり、プリズムセットを2回程度据え直しするだけで、求める位置にプリズムを設置することができる。

プリズムが正しい位置に設置されたことを確認後、プリズム下部に設けてあるレーザーポインターから地上にレーザーを照射し、不明ポイントの位置を検出する。

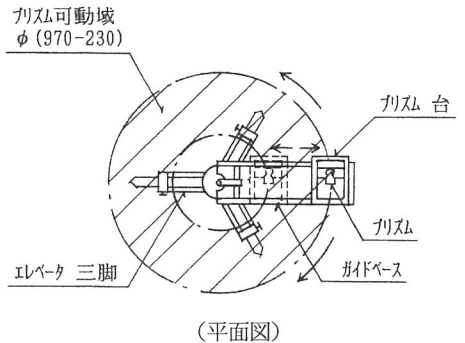


図-3 プリズムセット概要図

4. 座標の演算法

未知点の位置座標は以下の方法で求めることができる(図-4、図-5参照)。

まず、任意の点 (X, Y) から即知点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) までの距離 r_1, r_2 を測定し、任意の点の座標 (X, Y) を求める(図-4参照)。

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$r_1^2 - l^2 = r_2^2 - (l - l_1)^2 = h^2$$

$$l_1 = \frac{l^2 + r_1^2 - r_2^2}{2l} \quad \dots\dots\dots ①$$

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$$

$$\cos \alpha = \frac{l_1}{r_1} = \frac{l^2 + r_1^2 - r_2^2}{2lr_1}$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{r_1} \quad \text{より、}$$

$$\frac{(l^2 + r_1^2 - r_2^2)^2}{4l^2 r_1^2} + \frac{h^2}{r_1^2} = 1 \quad \text{から、}$$

$$h = \sqrt{r_1^2 - \frac{(l^2 + r_1^2 - r_2^2)^2}{4l^2}} \quad \dots\dots\dots ②$$

$$\cos \gamma = \frac{x_2 - x_1}{l}$$

$$\sin \gamma = \frac{y_2 - y_1}{l}$$

また、

$$X = x_1 + l_1 \cos \gamma - h \sin \gamma$$

$$Y = y_1 + l_1 \sin \gamma + h \cos \gamma \quad \text{から}$$

$$X = x_1 + \frac{l_1(x_2 - x_1)}{l} - \frac{h(y_2 - y_1)}{l}$$

$$Y = y_1 + \frac{l_1(y_2 - y_1)}{l} + \frac{h(x_2 - x_1)}{l} \quad \text{となり、}$$

①、②を代入すれば任意の点の座標 (X, Y) が求まる。

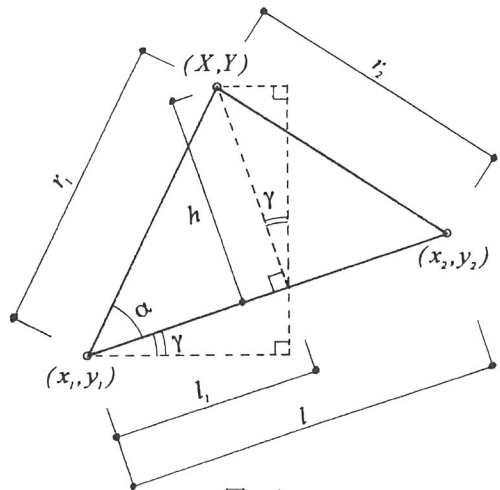


図-4

次に、座標 (X, Y) 、 (x_1, y_1) および検出点 (x_i, y_i) から、 $(X, Y) - (x_i, y_i)$ の距離 L と方位角 α' を求める(図-5参照)。

距離 L は

$$L = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2} \quad \text{から求まる。}$$

また、

$$L_1 = \sqrt{(x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2}$$

$$L_2 = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}$$

$$L^2 - L_0^2 = L_2^2 - (L_1 - L_0)^2 \quad \text{より、}$$

$$L_0 = \frac{L^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1}$$

よって、

$$\cos \alpha' = \frac{L_0}{L} = \frac{L^2 + L_1^2 - L_2^2}{2LL_1} \quad \text{から、方位角 } \alpha' \text{ が求まる。}$$

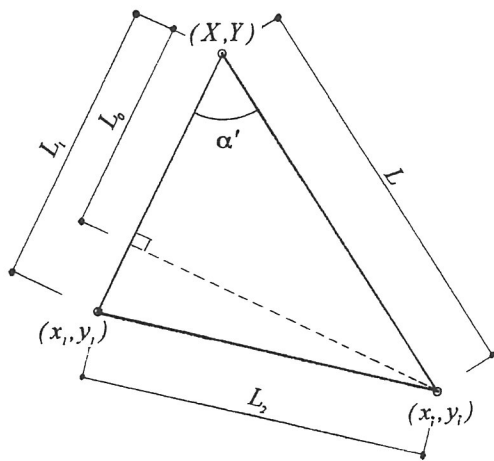


図-5

5. システムの施工手順

図-6～図-8を用いて、本システムの施工手順を説明する。

図-6に示すように、P1からPnまでの施工ポイントのうちPiが不明となった場合、その再検出は次のようにして行う。

- ①基準点K1～Knおよび施工ポイントP1～Pnの位置をすべて座標化し、ポケットコンピュータに入力する。
- ②基準点K1、K2と不明点Piが見通せる任意の位置にトータルステーションを設置する。
- ③トータルステーションからK1、K2までの距離L1、L2をそれぞれ測定し、ポケットコンピュータに入力する。——トータルステーション設置位置の座標が演算される。
- ④ポケットコンピュータに不明点Piの番号iを入力する。——トータルステーションからPiまでの距離Li、およびK1またはK2方向からの水平挟角θiまたはθi'が演算され、画面に表示される。
- ⑤トータルステーションを、K1方向から角度θi（またはK2方向から角度θi'）だけ回転して、固定する。

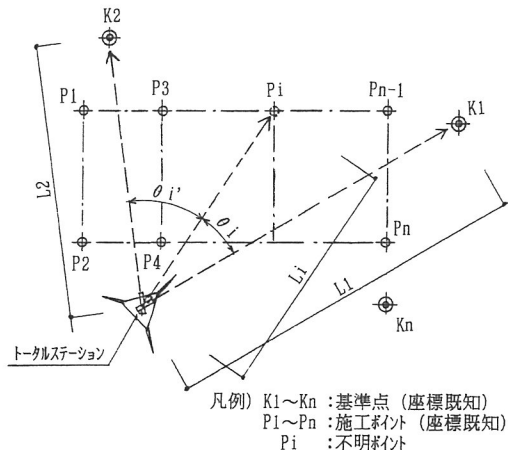


図-6 不明ポイント再検出施工例 (配置図)

⑥図-7に示すように、Piの位置と思われるところにプリズムセットを設置する。その設置位置は、正規の位置から直径900mm以内であればよい。

⑦プリズムセットのガイドベース上で、プリズム台を光波受光位置まで移動させる。トータルステーションの照準をプリズムに合わせ、距離Lp'を測定して修正距離Lx'を算出する。

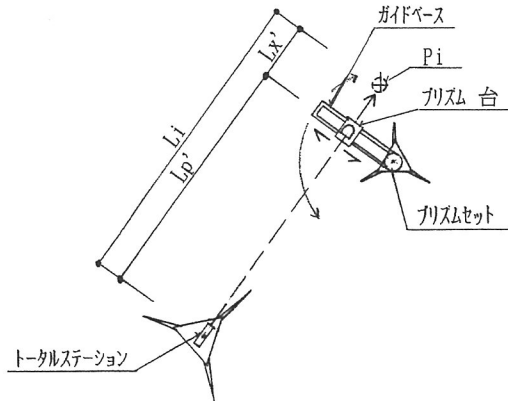


図-7 1回目プリズムセット設置図

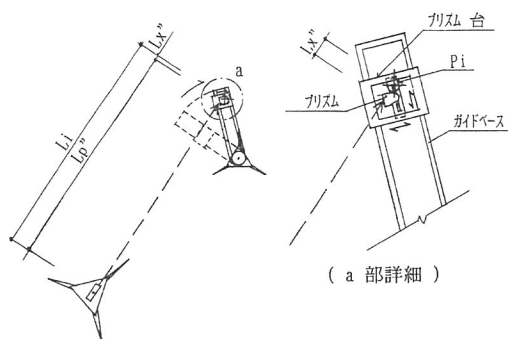
⑧図-8に示すように、ガイドベースを旋回するか、プリズムセットを据え直して、プリズムをおおよそLx'の距離だけ移動させる。

⑨ガイドベース上で、光波受光位置まで再度プリズム台を移動させ、トータルステーションからの距離Lp''を測定し、修正距離Lx''を算出する。

⑩プリズム台の上でプリズムをLx''だけ微少移動させ、Piの位置に設置し、確認する。

⑪レーザーポインターでレーザーを直下に照射し、地

上にマーキングを行って、不明ポイントの検出が完了する。



図－8 2回目プリズムセット設置図

上記②～⑪までの作業に要する時間は、数分程度で
すむと考えている。

6. あとがき

以上、開発途上ではあるが、トータルステーション
を用いた不明ポイントの再検出システムについて述べ
た。

これまで、実験場でトータルステーションを用いて
数回施工実験を行い、その施工性、正確さなどを検証
してきたが、予期以上の成果をあげることができた。
本システムの活用により、土工事や杭工事の施工精度
を向上させ、不必要な補強修正工事や後戻り作業が減
少するものと期待している。さらに、このシステムを
他の工事にも利用できるようにしたいと考えている。

現場での施工実験は、機器の完成を待ち、本年12月
中旬頃に行う予定である。次報では、その実験結果に
ついて報告したい。