

# 非開削工法用高精度掘削システムの開発

－掘削位置の 3 次元表示と CAD 図面からの情報獲得等に関する基礎的検討－

生産技術部

白仁田和彦 大坪昭文

中野太郎 福島章吾

株式会社ワイシステムサポート

坂本光弘

非開削工法用掘削システムの開発に産学官の体制で取り組んでいる。本報告では、掘削位置情報をディスプレイに 3 次元表示する方法や、掘削場所に係る CAD 図面からの情報獲得の方法などについて基礎的検討を行った。その結果、3 次元情報の表示の方法や、CAD 情報の保存形式の一つである DXF 形式を対象にした図形情報の獲得や管理の方法について、有効な方法を提案した。

## 1. はじめに

土木工事用水平ドリルを用いた非開削工法は、道路などを大々的に開削することなく、水道管やガス管、電源ケーブルなどを地中に埋設することができる有効な工法として期待が大きい。

平成 22 年度と 23 年度には、戦略的基盤技術高度化支援事業の支援を受け、(株)ワイビーエム、(株)ワイシステムサポート、九州大学及び工業技術センターによる産学官の体制で非開削工法用高精度掘削システムの開発に取り組んだ。

本報告では、掘削位置の 3 次元情報をコンピュータディスプレイに表示する方法や、掘削場所について CAD で記述された情報から障害物等の情報を獲得する方法などについて調査研究した結果について述べる。

## 2. 3 次元座標値のディスプレイ表示

ここでは、掘削位置の 3 次元情報をコンピュータディスプレイに表示する方法について述べる。

### 2.1 3 次元座標系

3 次元座標系を図 1 のように定義する<sup>1)</sup>。このとき、手前の方向が + となるような座標系で、回転の

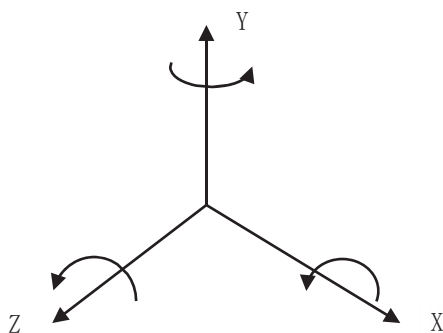


図 1 3 次元座標系

＋の向きを座標軸の＋方向に右ネジを進めた場合の回転向きと定める。つまり、+X, +Y, +Z の各軸から原点を見て反時計方向を＋とする。3 次元モデルでは、 $(x,y,z)$  という 3 次元の座標値データを持っているが、それを表示するディスプレイ自体は 2 次元平面  $(x',y')$  であるために、そのままのデータではディスプレイ上に表示することができない。そこで、3 次元データを 2 次元平面に投影する処理が必要となる。

今、図 2 に示すように視点を  $V_p$ 、3 次元座標値  $P(x,y,z)$  を 2 次元平面上に投影された座標値を  $P'(x',y')$ 、視点  $V_p$  と投影点  $P'$  までの距離を  $h$  とおくと、2 次元平面上の投影点  $P'(x',y')$  は式 (1) 及び式 (2) となる。

$$x' = \frac{hx}{h-z} \quad (1)$$

$$y' = \frac{hy}{h-z} \quad (2)$$

ここで、 $h$  の値が十分に大きければ、視点  $V_p$  は、はるか遠くにあるので、図形の前後差が小さくなりほぼ平行に見え、図形を忠実に描くことができる。

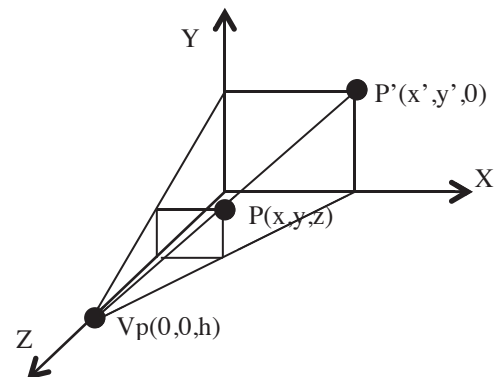


図 2 透視投影

このように、式 (1) 及び式 (2) を用いることで、3次元座標値を2次元ディスプレイに表示できる。

## 2.2 3次元アフィン変換

XYZ の座標軸が回転しても、3次元座標値を正しく表示する方法について述べる。3次元空間における座標を点 P (x,y,z) として、3次元アフィン変換<sup>2)</sup>を施した座標を点 P' (x',y',z') とすると、その変換は、同次座標を導入した4次元ベクトル[x y z 1] 及び4×4変換マトリクスを用いて、式 (3) のようなマトリクスで表現できる。

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} a & b & c & 0 \\ d & e & f & 0 \\ g & h & i & 0 \\ j & k & l & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

ただし、

$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} \neq 0 \quad (4)$$

3次元空間の任意の点 P (x,y,z) を X, Y, Z 軸周りに角度  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$  だけ回転を行った場合の新しい座標を点 P' (x',y',z') とするとき、回転の幾何学的な変換は以下の式 (5), (6), (7) のようになる。

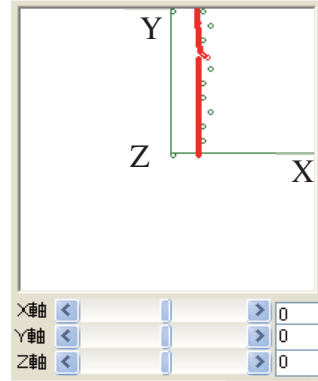
$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_x & \sin\theta_x & 0 \\ 0 & -\sin\theta_x & \cos\theta_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} \cos\theta_y & 0 & -\sin\theta_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

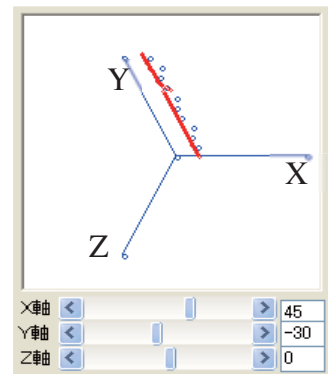
$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} \cos\theta_z & \sin\theta_z & 0 & 0 \\ -\sin\theta_z & \cos\theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式 (5), (6), (7) に基づき、Windows 上の Visual Basic 言語を用いて、掘削の計画と結果を3次元表示するモデルを作成した例を図3に示す。図3では、計画を○印で、結果を赤点で表示している。

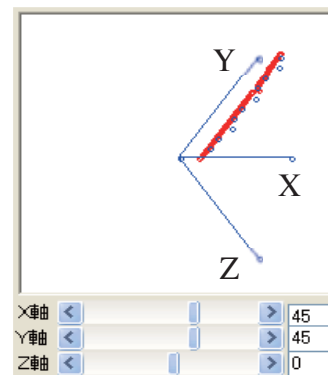
図3 (a) は、X軸、Y軸、Z軸の回転角が0度の場合であり、図3 (b) (c) は、それを図中に示す角度で回転させたものである。図中に示す各軸のスクロールバーを動かすことで、各軸を自由に回転させることができる。スクロールバーの動作速度と



(a)回転角 (X軸0度, Y軸0度, Z軸0度)



(b)回転角 (X軸45度, Y軸-30度, Z軸0度)



(c)回転角 (X軸45度, Y軸45度, Z軸0度)

図3 回転の表示例

3次元表示速度との関係を調べたが、座標軸の回転に伴い、リアルタイムに計画と結果が表示されることを確認した。上述の方法はリアルタイムで3次元表示する方法として有効であった。

## 3. CAD 図面からの情報獲得

ここでは、CAD で記載された掘削場所の情報から障害物などの図形情報を獲得する方法や管理の仕方について述べる。

### 3.1 CAD 図面の保存形式

AutoCAD などの CAD ソフトで作成した図面のファイ

ル形式の一つに DXF (Drawing Exchange Format) 形式がある。図 4 に DXF 形式のファイル構造を示す。DXF 形式は、テキストファイルとして保存され、HEADER Section, TABLES Section, BLOCKS Section, ENTITIES Section の 4 つのセクションからなり、ファイルの終端に EOF (End Of File) がある。HEADER Section は、図面の一般的な情報 (データベースバージョンナンバーなどのシステム変数) が記述されている。TABLES Section は、各種シンボルテーブルが記述されている。BLOCKS Section は、図面で参照する BLOCK (複合図形) の描画要素の定義が記述されている。ENTITIES Section は、図面のグラフィカルオブジェクト (Entity) と複合図形の参照 (insert エンティティ) の定義が記述されている。

それぞれの Section では、図面情報を形式的に記述するためのグループコードが用意されている。

表 1 に、ENTITIES Section の主なグループコードの例を示す。このコードを見るとわかるように、例えば、コード番号 6 には線種名の情報があり、コード番号 10, 20, 30, 11, 21, 31 にはその始点、終点の XYZ 座標値が記述されている。

従って、何らかの方法で決められたコードごとに情報を取り出していけば、図面を構成する線や点などの情報を獲得することができる。

HEADER Section
TABLES Section
BLOCKS Section
ENTITIES Section
EOF

図 4 DXF 形式のファイル構造

表 1 ENTITIES Section におけるグループコードの種類

グループコード	内容
0	Entity の開始
1	Entity のテキスト値
5	Entity ハンドル
6	線種名
8	レイヤー名
10	始点の X 座標値
20	始点の Y 座標値
30	始点の Z 座標値
11	終点の X 座標値
21	終点の Y 座標値
31	終点の Z 座標値

### 3.2 DXF 形式ファイルからの情報獲得方法

DXF ファイルから情報を獲得する方法として、AcadRemocon (フリーソフト)<sup>3)</sup> というソフトを利用する方法がある。このソフトは、AutoCAD の設計作業支援のために開発されたツールであり、AutoCAD での作図効率を向上させるための多くのコマンドを有している。コマンドの中に DXF 操作機能のコマンドがあり、その一つに DxfExtract コマンドがある。これは、DXF ファイルから指定の図形要素情報を抽出し、抽出情報を 2 次元配列に保存するものである。式 (8) にコマンドの書式を示す。また、表 2 にコマンドの引数の説明を示す。

```
Object.DxfExtract (retCount,
                   ExtractArray,
                   SectionName,
                   TableName,
                   ObjectName,
                   GroupList,
                   [DxfFullPath]) As Boolean (8)
```

例えば、式 (8) を用いて DXF ファイル (Test.def) の ENTITIES Section に記述の LINE を探し、その始点、終点の 3 次元座標値を求める場合には、式 (9) 式のように記述する。

```
DxfExtract (retCount,
            ExtractArray,
            "ENTITIES",
            "",
            "LINE",
            "10|20|30|11|21|31",
            "Test.def") (9)
```

表 2 DxfExtract コマンドの引数の説明

引数	説明
retCount	抽出されたオブジェクトの個数
ExtractArray	抽出結果を入れる 2 次元配列
SectionName	セクション名 (HEADER, TABLES, BLOCKS, ENTITIES) の指定
TableName	テーブル名 (LAYER, LTYPE 等) の指定
ObjectName	抽出したいオブジェクト名 (LINE, TEXT 等) の指定
GroupList	抽出したい複数のグループコードをパイプ文字で区切って指定
DxfFullPath	省略可能。省略の場合、Windows テンプレートフォルダの AcadRemocon.dxf になる



図 5 CAD 図面の例

LINE	(0,0,0) — (74.02,67.22,0)
LINE	(74.02,67.22,0) — (186.65, -84.95,0)
LINE	(186.65,-84.95,0) — (186.65,273.38,0)

図 6 図 5 から LINE を抽出した結果

式 (8) と式 (9) を比較してわかるように, SectionName の部分には, “ENTITIES” と記述し, ObjectName の部分には, ” LINE” と記述し, GroupList の部分には, 前述の表 1 に示したグループコードが記述されている。

図 5 に CAD 図面の例を示す。図 5 に対し, LINE を抽出した結果を図 6 に示す。図 6 の結果から, 正しく LINE を抽出していることがわかる。直線の他に, 円, 円弧などの図形要素を引数とする場合には, 表 3 のように記述すればよい。

従って, このように式 (8) を用いることによって, CAD 図面を構成している図形要素を, DXF 形式フ

表 3 引数 ObjectName と GroupList の書式

要素	ObjectName	GroupList
直線	LINE	10 20 30 11 21 31
円	CIRCLE	10 20 30 40
円弧	ARC	10 20 30 40 50 51
点	POINT	10 20 30
楕円	ELLIPSE	10 20 30 11 21 31 40 41 42
折線	POLYLINE	10 20 30
頂点	VERTEX	10 20 30

ァイルから抽出できることがわかる。

#### 4. おわりに

掘削位置の 3 次元座標値をコンピュータディスプレイに表示する方法や CAD 図面からの情報の獲得方法について調査した。その結果, 2 次元のコンピュータディスプレイ上での 3 次元座標表示の方法や 3 次元座標軸が回転しても正しく掘削計画や結果をリアルタイムで表示できる方法を提案することができた。また, CAD 図面情報から目的の図形情報を獲得する方法について AcadRemocon というフリーソフトと ExcelVBA を組み合わせて用いることで可能となることを提案した。

最後に, 本研究の推進にあたり貴重なご助言を賜りました九州大学大学院工学研究院水永秀樹准教授, 田中俊昭助教並びに株式会社ワイビーエム増本輝男技術本部長に対し深謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 酒井幸市: VB で学ぶコンピュータ応用, pp. 107-114, コロナ社 (1999)
- 2) 光成豊明: Visual Basic による CG, pp. 169-178, 産業図書 (2001)
- 3) <http://hp.vector.co.jp/authors/VA26873/>