同心円状レチクル内蔵トータルステーションの 開発と杭打設システムへの応用

中庭 和秀¹・矢吹 信喜²・阿部 幸夫³・西 乃輔⁴

¹正会員 関西工事測量株式会社 代表取締役 (〒562-0035 大阪府箕面市船場東 2-1-15)

E-mail: info@kankou.co.jp

²正会員 大阪大学教授大学院工学研究科 環境・エネルギー専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 新日鐵住金株式会社 技術開発本部鉄鋼研究所鋼構造研究部

(〒314-0255 茨城県神栖市砂山 16-1)

E-mail: abe.2mt.yukio@jp.nssmc.com

⁴正会員 関西工事測量株式会社 空間情報事業部 3D 課 (〒562-0035 大阪府箕面市船場東 2-1-15)

ノンプリズム方式のトータルステーション (TS) は照準用の線 (レチクル) が十字線であるため, 計測対象位置に目印がないと正確な計測ができない. とくに, 円柱構造物の中心線を求めることは難しい. 本研究では, 従来のレチクルに代わり同心円状レチクル「Baum」を用いることを考案し, 誤差評価のための計測実験を行った. その結果, Baum 内蔵 TS は円柱構造物の中心線上を計測することができ, 2 点を計測することで中心軸の傾きと位置が算出できることを明らかにした. この方法を回転杭施工など, 基礎杭施工に応用することで, 施工管理が難しいとされている斜杭の杭打設に適用できる. また, このシステムは基礎杭施工時に施工位置のずれ・補正量・補正方向を杭打ち機のオペレータ視点でナビゲーションすると同時に, 施工履歴も管理できる特長を有している.

Key Words: total station, reticle, piling work

1. はじめに

トータルステーション (TS) は, 現在構造物の計測において一般的に多く用いられている計測器である. TS の接眼レンズの焦点鏡には照準用の線 (レチクル) が描かれている. 従来の TS に用いられるレチクルは十字線であり, 計測したい箇所に立てたプリズムの中心に十字線の交点を合わせて計測を行う. また, ノンプリズム方式の TS ではプリズムを必要としないため効率的に作業を行うことができる. しかし実際には, ノンプリズムの機能はプリズム方式の補助的手段として使われることが多い. これは, 計測したい点に目印がなければレチクルの十字線の交点を合わせることが非常に困難であるためである. 例えば写真-1 に示すように円柱構造物の中心を十字線で正確に合わせることはできない. また, 構造物の先端部や角部を計測する場合, レーザー光が通過してしまいその位置での距離の計測ができないという問題もあり, TS のノンプリズム機能の利

点を最大限に活用できていないのが現状である.

一方, 構造物の基礎工事において支持層が深い場合には杭基礎が広く採用される¹⁾. 杭基礎にはその打設方向として, 杭を地盤に対して鉛直に打設する直杭基礎と, 地盤に対して傾斜を持たせて打設する斜杭基礎があり, 杭体の形状は円柱が主体である. 直杭基礎は施工性が高いことから多くの構造物の基礎形式として採用されている. しかし, 施工精度の計測は目視により行う場合が多く, 計測データが残らないという問題がある. また, 斜杭基礎を採用すると構造物の地震時水平変位が抑えられるため, 耐震性を確保しながら杭径を小さくできるというメリットがある一方で, 施工精度を確保することが難しいことや打撃工法が多く騒音・振動問題を伴うことなどのデメリットからほとんど採用されなかった²⁾. しかし近年, 建設業界においてコスト縮減が強く求められる中で合理的・経済的な基礎形式として斜杭基礎に注目が集まってきており, その性能に関する研究も行われてきている^{3), 4), 5), 6)}. また, 低

写真-1 十字線を用いた円柱構造物の中心計測

写真-2 直杭施工状況

写真-3 斜杭施工状況

騒音・低振動であり斜杭基礎の施工も可能である回転貫入工法が開発され^{7), 8)}, その実績も増えてきており, 施工性と環境負荷の課題も解消されてい

図-1 従来の基礎杭の計測

る^{9), 10)}。回転貫入工法による直杭基礎の施工状況を写真-2に, 斜杭基礎の施工状況を写真-3に示す。これらの写真に示すように, 基礎杭を所定の角度で地盤に貫入するための施工管理を行うことが求められるが, 杭軸角度を精度よく計測できる方法がないのが現状である。また実施工においては補正量や施工の履歴といった施工情報の管理を行う方法の開発が望まれている。

本研究では, 同心円状レチクル“Baum”を内蔵したTSの開発を行った。Baumの目盛により計測したい位置や目印からずらした点を計測した場合にそのずれ量を同心円の目盛りによって計測することができるので, これまで計測が困難であった種々の計測が可能になる。さらに円柱構造物の中心軸計測に高い適用性があることから, 基礎杭施工において計測により得られた角度情報を杭打ち機のオペレータにリアルタイムで伝えるとともに, そのずれ量の履歴を蓄積しながら施工を進めることができるシステムを開発した。杭基礎の施工を精度良く行う管理方法の確立を目指し, 計測実験を行ったので報告する。

2. 従来の基礎杭施工の精度管理の問題点

直杭基礎の打込み精度を管理する一般的な方法は, 建込みにあたり杭先端を所定の位置に設置した後, 図-1のように2方向に2台のトランシットを設置し, 十字線の縦のラインと杭を視準することで杭の鉛直性の計測を行なっている¹¹⁾。2台のトランシットそれぞれに計測員を配置する必要があり工数がかかるほか, 打設する杭の本数に応じてトランシットの移動回数が多くなり手間が掛かる。また, 計測員の目視で鉛直度を判断するため計測データが残らないという問題もある。

斜杭基礎の場合は, 傾斜計により杭の傾きを計測する方法がある。写真-4のように, 一定打設量毎に作業員が杭に傾斜計を直接当てて計測する。計測時には杭の施工を止める必要があるため施工性に劣る。作業員が直接杭に近づかなければならないため安全上の問題もある。また, 傾斜計を当てる位置や

当て方によって計測結果に大きなばらつきが生じるなど、施工精度の面でも問題がある。

3. Baum 内蔵 TS の開発

(1) Baum 内蔵 TS の概要

Baum 内蔵 TS は、TS のレチクルの十字線に同心円状の目盛を加えた Baum をレチクルとしている(写真-5)。幅対距離の比が 1:1000 になるような間隔で同心円を配置しているため、Baum を覗いて 1m 先のものを見た場合、同心円の 1 目盛の幅が 1mm (0.001m) として計測される。

Baum の目盛幅と距離に 1:1000 という関係があるため、実測位置までの長さを求めることができる。これにより、写真-6 に示すように構造物の先端部の計測も可能となる。写真-6 では TS からの実測距離は 40m で計測されたことから計測したい建物の先端部は $4 \times 40 / 1000 = 0.16$ (m) だけずれていることがわかる。そのためレーザー光が通過しない位置の計測を行いそのずれ量をオフセットすることで計測したい点の位置が求められる。

(2) Baum のゲージ幅の算出と精度

ゲージの幅と対象物までの距離 L と実際の幅 D の関係を図-2 に示す。ゲージの幅は、焦点距離と対物距離の D と L の関係が 1:1000 となるように 0.226mm と定めた。なお、この値はライカ製 TS に用いられるレンズの横倍率(物体及び像の大きさとして光軸に垂直な直線状の長さの比)をもとに算出している。ただし、横倍率は距離に比例した値にレンズのひずみの影響を考慮した補正を行うため、 D と L は正確には比例していない。例えば L が 10m の場合に、 D は 10.03mm であり、 L が 100m のとき D は 99.60mm である。すなわち、10m 離れた位置では 0.03mm の誤差があり、100m 離れた位置では 0.4mm の誤差ということになる。一般的な TS における測距精度は $2\text{mm} + 2\text{ppm}$ 、測角精度は 5 秒である¹²⁾。100m 先における 5 秒の誤差を距離に換算すると 2.4mm であることから Baum のゲージの精度は測量における精度を十分に満たしているといえる。

写真-4 傾斜計による計測状況

写真-5 Baum 内蔵 TS

写真-6 Baum 内蔵 TS による先端部の計測

図-2 Baum ゲージ幅と実際の長さの関係

写真-7 Baumによる円柱構造物の視準

図-3 円柱構造物の半径計測

表-1 距離に伴う $r=0.1$ (m) の円柱の半径計測の誤差

L(m)	r(m)	a(m)	r-a(m)
5	0.1	0.0981	1.94
10	0.1	0.0990	0.99
50	0.1	0.0998	0.20
100	0.1	0.0999	0.10

4. Baum 内蔵 TS による円柱構造物の計測手法

(1) 計測手法概要

Baum 内蔵 TS を用いることで円柱構造物の中心軸計測が可能となる。写真-7 のように Baum 内蔵 TS から視準した円柱構造物の両端に Baum の同心円の一つを合わせることで円柱構造物の中心線上の点を計測することができる。ただし、TS で計測できるのは円柱構造物の表面上の点であるため TS で計測した距離に円柱の半径の距離を加える必要がある。例えば、写真-7 において円柱構造物が鉛直で Baum 内

蔵 TS との距離が 10m であった場合 Baum のゲージは 10 であるため円柱構造物の半径は $10 \text{ (m)} \times 10 \div 1000=0.1 \text{ (m)}$ が円柱構造物の半径となる。そのため円柱中心軸までの距離は 10.1 (m) となる。また、円柱構造物の半径が既知である場合にはその距離を加えることで中心軸までの距離が求められる。

(2) Baum による半径計測時の誤差

Baum 内蔵 TS を用いて円柱構造物の半径を求めるとき、Baum 内蔵 TS により求めた半径 a は実際の半径 r より小さくなる。これは図-3 に示すように円柱の表面までの距離 L を基に半径を算出するためである。 L と r 、 a の関係は (1) 式のようになる。

$$a = \sqrt{\frac{r^2 L}{L + 2r}} \quad (1)$$

(1) 式より r と a の誤差は (2) 式で表される。

$$r - a = r - \sqrt{\frac{r^2 L}{L + 2r}} \quad (2)$$

表-1 に $r=0.1$ (m) の円柱を視準した時の誤差 $r-a$ (mm) を L の距離ごとに例示する。

(3) Baum 内蔵 TS による中心軸座標計測

TS が計測できる距離は計測対象物の表面である。そのため円柱構造物の中心軸を直接計測することはできない。そこで円柱構造物表面の座標から中心軸座標を計算により算出しなければならない。図-4 に示すように Baum 内蔵 TS から見える円柱構造物表面の中心線上の異なる 2 点までの距離と角度を計測した値をもとに円柱構造物の中心軸の傾きを算出し、円柱の半径の長さだけ円柱の中心方向へと平行移動するという計算を行うことにより円柱の中心軸を求める。計算の手順を以下に示す。

- ① Baum 内蔵 TS から見える円柱構造物の両端が Baum のゲージの同心円の中の一つの円の接線となるように Baum 内蔵 TS の角度を合わせ、その位置の角度と距離を計測する。計測した点を点 A とする (図-4 ①)。
- ② 同じ円柱構造物において点 A とは異なる点を①と同様にして角度と距離を計測し、これを点 B とする (図-4 ②)。このとき、ベクトル $\overrightarrow{AB}$ が円柱構造物の傾きを表す。
- ③ Baum 内蔵 TS の器械位置を点 O とし、 $\overrightarrow{AB}$ とベクトル $\overrightarrow{AO}$ に垂直な方向ベクトル $\vec{c}$ を求める (図-4 ③)。
- ④ $\overrightarrow{AB}$ と $\vec{c}$ に垂直な方向ベクトル $\vec{d}$ を求め、 $\overrightarrow{AB}$ を $\vec{d}$ の方向に平行移動する (図-4 ④)。移動距離は

5. 基礎杭打設システムへの応用

(1) 基礎杭施工の精度計測への適用

構造物の基礎杭は円柱構造であるため図-5のように Baum 内蔵 TS を用いて基礎杭施工時の中心軸計測を行うことができる。直杭基礎の場合は、従来方法では2方向から2台のトランシットによる計測が必要であった。Baum 内蔵 TS では1台でどの方向からでも基礎杭の中心軸を計測することができる。そのため施工する杭が変わるごとに2台のトランシットを移動するという手間がかからない。さらに計測結果が数値として記録されるため施工状況の履歴が残る。斜杭基礎では杭に一定打設量毎に直接傾斜計を当てて杭の傾斜角度を計測していたが、Baum 内蔵 TS では離れた位置から中心軸の計測を行うことができるため施工性が向上し、高い施工精度による施工が行える。また、作業員の安全も確保される。

(2) 杭打設ナビゲーションの開発

4章で述べた Baum 内蔵 TS を用いて杭の中心軸を計測する方法では、測量座標系に基づいた座標値が得られる。しかし、この座標表示では杭打ち機の向きを考慮していないため、施工時に杭のずれを修正する方向の判断が難しい。このため、杭打ち機のオペレータが打設のずれを修正する際、迅速に操作することができず、操作ミスが起こる原因にもなる。

そこで斜杭基礎工事に適用するために中心軸を計測することにより求められる杭の傾きや位置と計画値とのずれを求め、このずれが無くなるようにオペレータにナビゲーションするシステムを開発した。このシステムでは情報端末に TS と杭と杭打ち機の位置関係を登録することで、オペレータが操作しやすい座標系で杭を傾ける方向を表示することができる。これにより、オペレータの視点で杭の打設状況が把握できるため正確な施工を行うことができる。

(3) 杭打設ナビゲーションの概要

図-6に杭打設ナビゲーションのシステム概略図を示す。図-6のように Baum 内蔵 TS で計測した杭の情報（杭表面の座標値）が Baum 内蔵 TS に取り付けられた送信機から無線を通じて杭打ち機のオペレータ室にある中継機に送信され、近距離無線である Bluetooth に変換されて情報端末に送られる。情報端末に内蔵されたプログラムで杭の位置を瞬時に計算し、杭頭の打設完了時の計画高さにおける杭のずれと傾斜と正規の位置までの補正量、杭頭の打設完了時の計画高さを基準とした現在の杭先端深度、現在の杭頭高さと計画の杭頭高さの差がオペレータの操

図-4 Baum 内蔵 TS による中心軸座標計測手順

円柱構造物の半径の長さとする。これによって求められるベクトル $\overrightarrow{AB}$ が杭の中心軸を表す。

図-5 Baum 内蔵 TS による基礎杭の計測

図-6 杭打設ナビゲーションシステム概要図

写真-8 Baum による杭の視準

図-7 操作フロー

図-8 重機位置計測位置の例

図-9 杭観測位置の例

作しやすい杭打ち機の方で情報端末の画面上に表示される。

写真-8 は Baum 内蔵 TS のレチクルを斜杭の中心線上に合わせたものである。写真-8 の鋼管杭に書いてある 22 という数字は杭先端から 22m の長さであるということを表し、全周マーキングがされている。2 点を視準して傾斜がわかることから打設後の杭頭高さの計画値と現在のマーキング位置の高さ、マーキング数値から現在の杭先端深度を計算することができる。

(4) ナビゲーションの流れ

本システムの操作フローを図-7 に示す。まず、Baum 内蔵 TS に送信機の取り付けを行い、杭打ち機のオペレータ室に無線の受信機と Bluetooth への変換機、専用アプリケーションがインストールされている情報端末を設置する。また、杭先端からの長さが既知である位置に全周マーキングをしておく。次に打設する杭の計画座標値と杭の半径を入力する。重機位置の測定では杭打ち機の周囲 4 面のうち 1 面を 2 点計測する。このとき、計測した面がナビゲーション画面の基準の面となるため杭打ち機のオペレータが操作しやすい面を選択する。重機位置の設

表-2 杭打設ナビゲーション計測履歴出力例

観測日時	杭先端 深度 (m)	1点目の杭芯 実測位置座標(m)			2点目の杭芯 実測位置座標(m)			計画高における杭芯位置 計画座標(m)			計画高における杭芯 位置座標(m)			XY偏心量(m)		実測 角度 (°)
		(X)	(Y)	(Z)	(X)	(Y)	(Z)	(X)	(Y)	(Z)	(X)	(Y)	(Z)	(X)	(Y)	
201208010827	1.056	1039.989	999.985	9.944	1039.995	999.992	2.969	1040.406	1000	0	1040.398	999.995	0	0.008	0.005	0.005
201208010833	1.562	1040.011	999.981	9.439	1040.001	1000.001	3.703	1040.406	1000	0	1040.394	1000.014	0	0.012	-0.014	-0.014
201208010838	2.407	1039.958	999.995	8.59	1039.999	999.991	3.038	1040.406	1000	0	1040.422	999.989	0	-0.016	0.011	0.011
201208010840	2.551	1040.001	1000.024	8.448	1040.005	1000.004	3.223	1040.406	1000	0	1040.408	999.992	0	-0.002	0.008	0.008
201208010844	3.415	1040.019	999.998	7.585	1040.015	999.997	3.817	1040.406	1000	0	1040.411	999.996	0	-0.005	0.004	0.004
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
201208031256	21.549	1039.994	1000.019	12.451	1040.006	1000.003	4.317	1040.406	1000	0	1040.413	999.995	0	-0.007	0.005	0.14
201208031306	21.942	1040.029	999.984	12.058	1040.015	999.997	4.723	1040.406	1000	0	1040.406	1000.006	0	0	-0.006	0.15

図-10 杭打設ナビゲーション結果画面例

定で計測する2点を図-8に例示する。杭の計測時は写真-8のように全周マーキングと十字線の交点が重なり、Baumを用いて求められる杭の中心線上の点を1点目として計測し、杭の中心線上で1点目と異なる任意の点を2点目として計測する。図-9に杭の計測位置を例示する。これらの測定データは送信機を通して自動的に杭打ちのオペレータが持つ情報端末に送られ、計算された結果が情報端末に表示される。

表-2は直杭基礎の計測履歴を出力したものである。この表に示すように観測日時、杭深度、1点目と2点目の実測座標、計画高における中心座標の計画位置と実測位置、x方向及びy方向の杭のずれと傾斜が自動的に記録されるため、時系列ごとの施工の履歴を残すことができる。なお、計測例における杭頭の打設完了時の計画高さはZ=0である。図-10に杭打設ナビゲーションの情報端末に表示される計測結果画面の一例と画面の説明を示す。補正量が数値化されて表示されるためオペレータは正確にずれの修正を行うことができる。

6. 直杭基礎施工における計測実験

(1) 実験概要

Baum内蔵TSを用いて基礎杭の計測を行った場合の実際の施工における有効性を明らかにするために計測実験を行った。実験に使用した杭は回転貫入工法による直杭基礎で、長さ11.5m、直径800mmの鋼管杭3本を溶接により1本としたものである。溶接は現場で行い、最初に1本目の杭を貫入させ地盤から杭頭までの距離が3.74mの時に2本目の接合を行い、更に貫入させて地盤と杭頭までの距離が4.14mのときに3本目の接合を行い、杭先端の深度約26mのところで打ち止めとした。鉛直性の計測と補正は従来方法により行い、Baum内蔵TSによる計測結果と比較した。Baum内蔵TSによる計測結果を元にした杭の補正は行っていない。

従来の直杭の建ち計測として2台のトランシットにより2方向から鉛直性の計測を行った。1本目貫入前、2本目、3本目の接合時、杭の打ち止め時に鉛直性の計測を行い、1本目貫入前、2本目、3本目の接合時には鉛直性の補正も行った。

Baum内蔵TSを用いる方法ではTSとしてライカ製TS11にBaumを内蔵したものをを用いた。Baum内蔵TSによる杭の計測状況を写真-9に示す。Baum内蔵TSから杭までの距離は約40mである。任意座標系による計測を行い、TSから見て杭の前後方向の誤差がx軸、左右方向がy軸として表される座標系で計測を行った。杭深度約1mで計測を開始し、深度が約1m進むごとに計測を行い、打設時(回転中)の杭の計測データを27回取得し、杭が静止した状態での計測データを4回取得した。

(2) 実験結果

Baum内蔵TSによる手法の計画位置との杭のずれと計画角度と杭の傾斜の平均二乗誤差をまとめたものを表-3に、全31回の各試行の杭のずれをプロットしたものを図-11に示す。図-11は横軸がx軸方向の杭のずれ、縦軸がy軸方向の杭のずれを表して

写真-9 Baum 内蔵 TS による計測状況

表-3 基礎杭観測時の誤差

	試行 回数 (回)	偏芯量(mm)				角度(°)	
		x		y		平均	
		平均	平均二乗 誤差	平均	平均二乗 誤差		
全体	31	3.4	8.7	2.4	9.5	0.19	0.22
回転時	27	4.3	9.0	3.0	10.1	0.21	0.23
静止時	4	-2.5	6.6	-1.5	2.2	0.10	0.10

図-11 平面位置誤差のプロット図

いる。杭頭の計画高さ $z=0$ における結果である。 $(0,0)$ を原点とした半径が 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm の円を偏芯量の目安のラインとしてプロットした。

表-3, 図-11 が示すように計測の杭のずれの誤差は最大で 30mm 程度, 平均二乗誤差で x, y とともに 10mm の精度で計測できることがわかった。次に, 傾斜の平均二乗誤差は静止時に 0.1° , 回転時に 0.2° であることがわかった。また, 杭のずれ, 傾斜とも回転時と比較して静止時の誤差が小さい値になった。これは回転中の杭の杭頭付近を視準した場合 Baum の目盛りで 2 目盛り程度, すなわち $2 \times 40 \text{ (m)} \times 1/1000 = 0.008 \text{ (m)}$ 程度左右にぶれたことか

ら打設の回転による杭のぶれがあったため杭のずれと傾斜がばらついたと思われる。杭頭付近と比較して杭根元付近では打設中の杭のぶれは少なかった。また, 回転時と比較して静止時の杭のずれは y 軸方向, すなわち TS から見て杭の左右方向の誤差が x 軸方向に比べて小さくなっている。これは Baum で杭を視準する際の杭のぶれの影響が取り除かれた結果と思われる。

7. まとめ

本研究では, 従来の十字線に代わり同心円状のサークルが描かれたレチクルである Baum を内蔵した TS の開発を行った。この Baum 内蔵 TS を用いて円柱構造物の表面の 2 点の座標値を計測し, 計算によって円柱構造物の中心軸を計測できることを示した。

この方法を応用して, 基礎杭打設時にオペレータが操作しやすい視点で杭の平面位置と傾きの補正量のナビゲーションを行うシステムの開発を行い, 直杭基礎施工における計測実験を行った。その結果, 杭の回転時の施工では施工中の杭のぶれにより杭が静止しているときに比べ平面位置の誤差が前後方向で 2mm, 左右方向で 8mm 程度, 杭の傾きの誤差が 0.1° 程度誤差が大きくなることがわかった。また, このシステムでは直杭と斜杭を同様の方法で計測することができることから今まで困難とされていた斜杭基礎の施工管理にも適用可能である。そのため, 今後の斜杭基礎の普及に貢献することが期待できる。

さらにこのシステムは, 計測員 1 名で, 杭の鉛直角度, 杭芯ずれ, 杭の深度を計測でき, その結果をリアルタイムで判りやすくオペレータに伝えることが可能であり, これらの計測データを時系列に記録できるため杭基礎の施工管理システムとしてもメリットがある。

今後は, 計測データを蓄積し分析することで, より簡単に精度の高い計測ができるシステムを目指す。特に, 斜杭基礎における誤差を明らかにし, 斜杭基礎への適用性を向上させる。さらに, 実施工で作業するオペレータの意見をもとに, より使いやすいシステムとなるように改良を進める。

参考文献

- 1) 一般財団法人建設物価調査会：基礎杭の概要, <http://www.kensetu-navi.com/kuisin/outline.pdf>, (2012. 10. 18 入手)。

- 2) 山下久男, 平田尚, 木下雅敬: わが国における鋼管杭設計・施工技術の発展と今後の課題, 土木学会論文集 F, Vol. 66, pp.319-336, 2010.
- 3) 清田三四郎, 米澤豊司, 青木一二三, 神田政幸, 西岡英俊, 出羽利行: 斜杭基礎の水平抵抗特性と鉄道構造物への適用, 第 54 回地盤工学シンポジウム (平成 21 年度論文集), pp. 299-306, 2009.
- 4) 佐藤正義, 田地陽一, 張至鎬, 田蔵隆: 直杭基礎との比較による斜杭基礎の耐震性能に関する遠心振動実験, 防災科学技術研究所研究報告, 第 79 号, pp. 1-8, 2011.
- 5) 木村亮, 牧野洋志, 大川賢紀, 亀井宏之, 張鋒: 斜杭を有する群杭基礎の静的水平支持力特性, 土木学会論文集 No. 722/III-61, pp. 97-107, 2002.
- 6) 大川賢紀, 亀井宏之, 木村亮, 張鋒: 斜杭を有する群杭基礎の動的挙動に関する実験的検討, 土木学会論文集 No. 729/III-62, pp. 31-41, 2003.
- 7) 阿部幸夫: ジオウイング・パイルⅡ, 基礎工, Vol. 36 No. 12, pp. 90-92, 2008.
- 8) (財) 国土開発技術センター: 一般土木工法・技術審査証明概要書, NS エコパイル工法 (回転圧入鋼管杭工法), 2004.
- 9) 小椋仁志: 杭基礎工法の最近 10 年の動向, 地盤工学会誌, 58(1), pp.28-29, 2010.
- 10) 渡辺米利, 横幕清, 米澤幸仁, 杉原宏英: 環境へ配慮した鋼管杭の適用法について, http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/22_tottori/22_tottori_5-5.pdf, (2012. 10. 18 入手).
- 11) 日本道路協会: 杭基礎施工便覧, pp. 65-66, p80, pp. 117-118, 2007.
- 12) 国土交通省: 作業規程の準則, <http://psgsv.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/beppyou-1.pdf>, (2012. 10. 18 入手).

(2012. 10. 19 受付)

DEVELOPMENT OF TOTAL STATIONS WHICH HAVE A RETICLE WITH CONCENTRIC CIRCLES AND THEIR APPLICATION TO NAVIGATION SYSTEM FOR PILE DRIVING

Kazuhide NAKANIWA, Nobuyoshi YABUKI, Yukio ABE and Daisuke NISHII

The cross-hairs reticles of non-prism total stations cannot accurately measure the target on the objects which don't have a mark to put the cross-hairs on. Especially, it is too difficult to measure the centers of cylindrical structures. In this research, we propose to use a concentric reticle, the Baum, instead of the conventional cross-hairs reticles, and estimated the error from experiments. Total stations equipped with the Baum can measure the cylindrical structures. By measuring two points on the center, the tilt and the position of the axis can be measured. Applying this technology to driving pile, we have developed a navigation system for driving tilted piles which had been difficult to control their operation. The numerical value of to what degree the angle and distance should be adjusted is displayed from the operator's view. Also, the operation history can be recorded.