

# 光学式孔曲り測定器の適用精度について

石川 貴規・山内 政也

## The application accuracy of the optical drill hole dip and direction measurement tools

Takanori Ishikawa and Masaya Yamauchi

### Abstract

Maxibor can measure the bending of holes such as horizontal holes and inclination holes with sufficient accuracy by taking two rings with a ccd camera builed in Maxibor. According to a manufacturer's specification, the accuracy is proven to 1/1000. However, this is the case of ideal conditions and it is in a difficult situation to satisfy the requirements for this.

Measurement results showed that not only the size of the bending but also a direction becomes various and mixed results in one job site. Then, the investigation was made into the factor which brings an error to a measurement. Although various factors contributed to this, it turned out that the big form and size of CENTRALISER influenced on this results for the most part. Improvements and experiments were examined how accurate it becomes on actual on-site conditions.

Consequently, when a suitable measurement is performed, the accuracy is proven about 2/1000 to 3/1000. This report also introduces measuring data and clarifies the notes on use of this equipment etc.

キーワード：孔曲り測定，測定精度

### 1 はじめに

近年、都市部に於いては、既往の構造物に近接して、新たな土木構造物を施工するケースが増えてきている。中でも、シールドトンネルやアースアンカーなどの地中構造物を施工する場合、近接する既往構造物の正確な竣工図がない場合も多く、施工に先立って構造物の位置や形状を、正確に把握する必要がある。このような調査では、ボーリング孔を用いて、直接的もしくは間接的に地中構造物の位置を調査することが多い。また、アースアンカー孔などが、設計どおり、すなわち、既往構造物に影響を及ぼさないように施工されているかどうかを、確認することが求められる場合もある。

これらのケースでは、調査ボーリング孔やアースアンカー孔などの位置、すなわち、孔曲りを、正確に把握することが求められる。しかし、従来から用いられてきた、磁気センサを用いたタイプでは、地磁気の乱れた環境下では正確なデータが得ることができない。また、施工上、ボーリング孔に鋼管を設置していることも多く、磁気センサによる計測は不可能なケースも多い。そのほか、ジャイロを用いた測定装置も実用化されているが、振動等の影響を受けやすく、安定した測定ができないと

いった欠点がある。

ここに紹介する孔曲り測定器マキシボー（REFLEX社製）は、プローブ内の2箇所内に蔵された反射リングの位置を、光学的に測定し、プローブ自体のたわみを計測することで、プローブが挿入されているボーリング孔の孔曲りを計測する装置である。方位磁石や振動ジャイロを用いないため、鋼管や地磁気、振動などの影響を受けない。

本報告では、この孔曲り測定器の概要を説明した上で、測定上生じる誤差とその低減方法について、実測データおよび確認実験の結果をもとに考察する。

### 2. 装置の概要

#### 2.1 原理

プローブを孔に挿入すると、孔内のプローブは孔の曲り形状に応じて変形する。このプローブの変形を計測することによって孔曲りを測定する。プローブ内には、環状水準器と2つの反射リング及びこれを撮像するCCDカメラが内蔵されている。プローブが変形すると一定の間隔に配置されたリングは、プローブの曲りでその中心位置が中心軸からずれる。また環状水準器の気泡が常に

鉛直上向きを指示するので、これを基準としてリングのオフセット方向が定まる。これら気泡と2つのリングをCCDで撮像し、その画像から気泡の位置（角度）とリングのオフセット量（垂直方向，水平方向）を測定する（図-1）。なお，2つのリングの間隔（計測ピッチ）は測定する管の曲率に応じて1.5mまたは3.0mの2通りに設定できるようになっている。

プローブを深度方向に区間長と同じピッチ（距離）で移動し，次の区間での測定を行う。これを繰り返して一連の測定が終了する。このデータを線状に（line-wise）つなぐ（線状結合測定法と呼ぶ）と，孔曲り形状が求められる。

従来の計測器では，一区間の計測ごとにデータ回収のためにプローブを孔内から回収するか，測定値を電気的に変換しケーブルで地上に伝送する必要があるものが多い。ケーブルで伝送する方式では，一区間ごとにプローブを回収する必要は無いが，ケーブルの存在は水平孔に

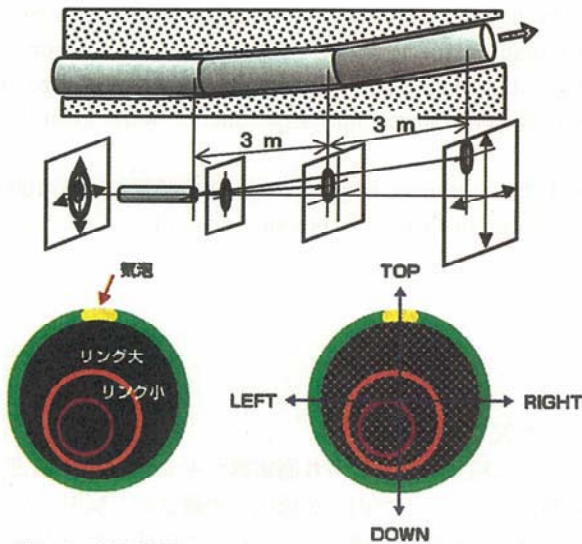
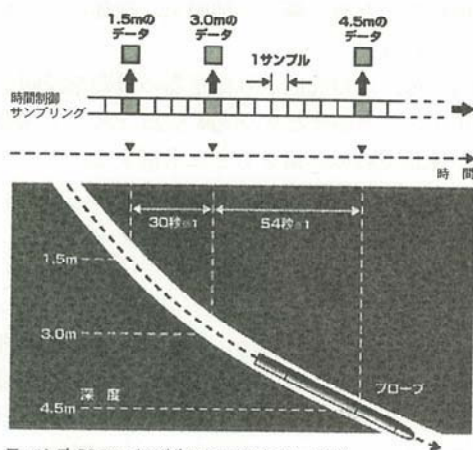


図-1 測定原理  
Fig. 1 Principle of measurement.



▼：ハンディPCのマーキングポイント（一定深度でマーキング）  
※1：1サンプルを6秒（間隔）とした場合の例です。

図-2 測定イメージ  
Fig. 2 Data sampling.

プローブを挿入する作業をしにくくする。本装置では，一定時間間隔で画像をサンプリングし，測定値をプローブ内メモリに保存する方式をとることで，上述のような煩雑な作業を軽減させている。時間制御でサンプリングするため，孔内へプローブを挿入する前にハンディPCと（時間的）同期をとり，一定深度ごとに測定時間をサンプルしてすり合わせを行っている（図-2）。

2.2 システム構成

基本的なシステムは，測定器本体であるプローブ，測定時のプローブの設定と測定完了時のデータ回収を行なうハンディPC，そしてこの二つを接続するコミュニケーションケーブルで構成される（図-3，4）。

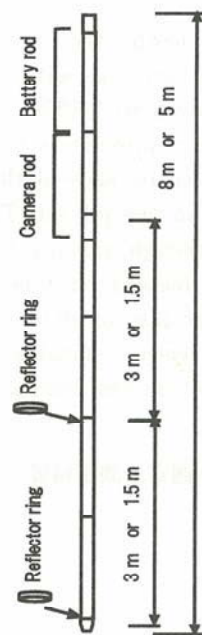


図-3 プローブ外観  
Fig. 3 MAXIBOR probe.

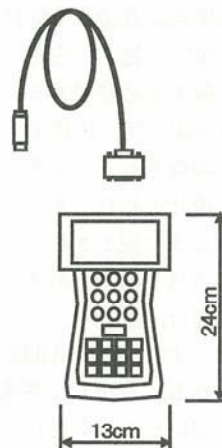


図-4 コミュニケーションケーブル，ハンディPC  
Fig. 4 Communication cable and hand-held P.C.

3 現場適用例

本計測器を実際に使用した事例を以下に紹介する。

3.1 橋台基礎杭探查への適用

河川を横切るパイプラインの推進ルートとして、河川の兩岸に位置する橋台直下を通す計画が検討された。その検討に際しては、基礎杭の位置（配置と間隔）が問題とされた。この鋼管杭の位置は各種の検層結果から提案されたが、正確に位置を求めるために、本計測器を用いて斜めボーリング中で実施した。また計画ルート上の障害物を確認するために削孔した斜めボーリング全孔について孔曲り測定を実施し、調査精度の向上に役立てた。磁性を持つ鋼管杭近傍で掘削したボーリング孔の正確な位置測定が可能な本器の特徴が生かされた事例である（図-5、表-1）。

3.2 制御ボーリングの経路確認への適用

水平の制御ボーリングを行った際の掘進経路確認のための孔曲り測定を行った（図-6、表-2）。水平孔曲り測定で高い精度が求められた現場だった。しかし、計6回の測定を行なったが、実際の測量結果と大きく異なっており、また再現性も悪い測定結果となった。適切な測定方法をとらないと精度の良い測定が出来ない事例である（図-7）。

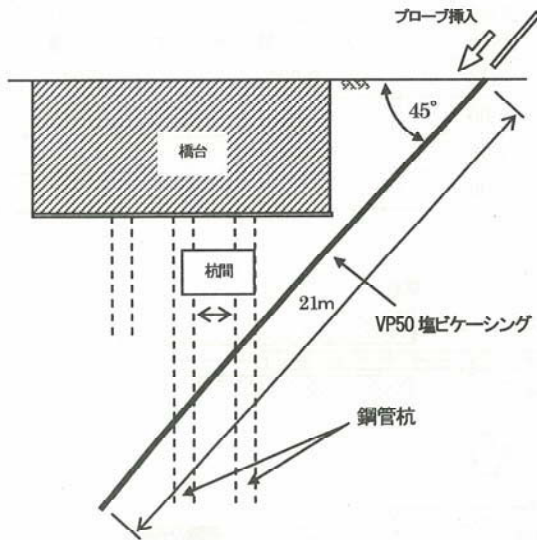


図-5 基礎杭調査略図  
Fig. 5 Investigation of pile foundation.

表-1 測定条件  
Table 1 Measurement conditions.

孔径 (mm)	近似内径φ48 (塩ビVP50)
セントラライザー	無し (プローブ外径φ45)

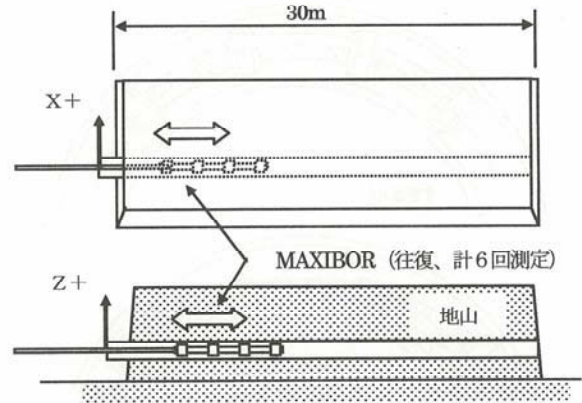


図-6 ケーシング保護されたボーリング孔の測定概略図  
(上：平面図，下：断面図)  
Fig. 6 Borehole survey protected by casing.

表-2 ボーリング孔の測定条件  
Table 2 Measurement conditions of the borehole.

孔径 (mm)	内径φ79 (鉄ケーシング)
セントラライザー	外径約φ76 (3枚羽根タイプ)

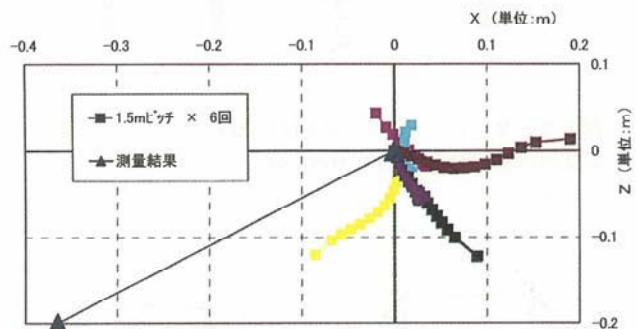


図-7 制御ボーリング孔  
Fig. 7 Measurement result of borehole positioning.

4 測定誤差をもたらす要因

前項3.2で紹介した事例のような測定結果に誤差をもたらす要因としては以下のようなものが考えられる。

① セントラライゼーション不良

本計測器は孔形状に応じて変形したプローブの曲がり測定するので孔と測定器との密着度が重要である（図-8、9、10）。そのため、セントラライザーが必要になるが、その外径は、限りなく孔径に近いものが好ましい。この場合、プローブがどの向きに回転しても孔への密着度が確保されるので、孔形状に忠実なプローブの変形が実現できる。

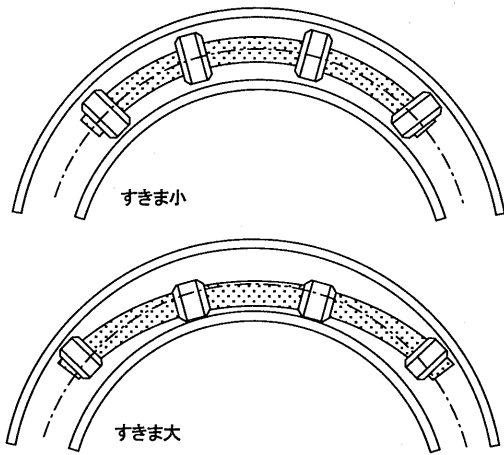


図-8 セントライザーの違いによるプローブの挙動  
Fig. 8 Positioning of features different from diameter of centraliser.

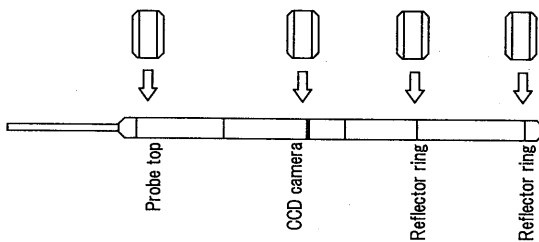


図-9 セントライザー取り付け位置  
Fig. 9 Attachment location of centralisers.

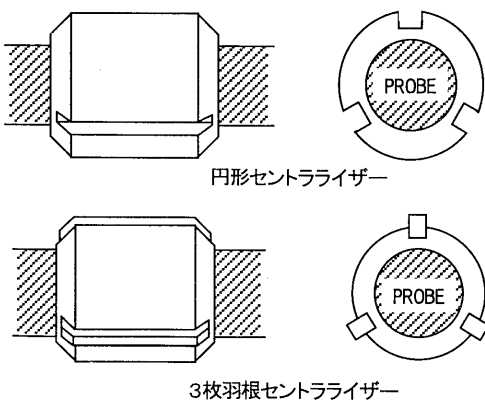


図-10 セントライザー形状  
Fig. 10 Form of centralisers.

② 測定器の固有誤差

リング正面をのぞくCCDカメラの光軸のずれに基づく誤差も生じる。しかし、この誤差は、出荷時に  
 角度測定誤差  $4.5 \times 10^{-3}$  degree  
 距離に換算すると 0.12mm (1.5mピッチ)  
 0.24mm (3.0mピッチ)

以下に調整されている。

以上の①, ②については、区間ごとに累積していく誤差要因であり、これらの誤差要因が最大に累積された場合の影響を表-3に示す。

③ 正確な原点測定

マキシボーは相対的な位置変化を測る計測器なので、測定原点(通常は孔口)の位置と方位及び傾斜などの初期値測定は重要である。絶対測定が可能な別の測定器(トランシットやセオドライト等)を用いて高い精度で測定することが必要である。

また、孔口を原点とした場合、プローブの上部は、地盤に拘束されたケーシングから出てしまうことが多く、自重でプローブが曲ってしまうことがあるので注意を要する。初期値の誤差は、そのまま最後まで残るので孔曲り測定結果に大きな影響を与える(図-11)。

このような原点での角度測定誤差が与える影響を表-4に示す。

表-3 測定ごとの誤差による影響

Table 3 Influence of offset distance on errors.

誤差量 (mm)	30mでのオフセット量 (m)	100mでのオフセット量 (m)
0.12	0.025	0.27
1.00	0.210	2.28
2.00	0.420	4.55
3.00	0.630	6.82

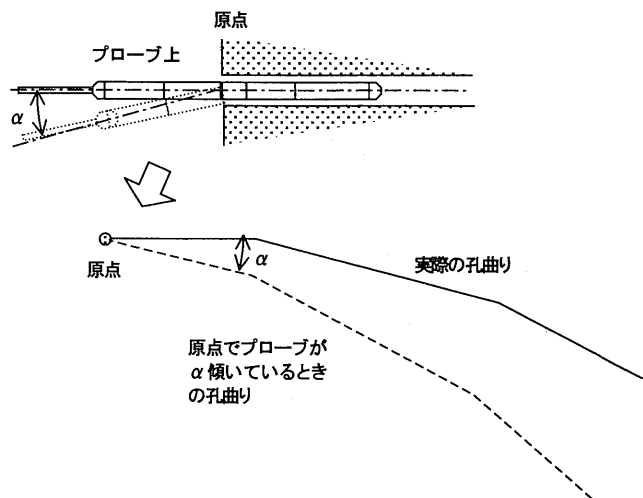


図-11 原点測定誤差による影響

Fig. 11 Influence of the starting point measurement on error.



表-4 原点角度測定誤差の影響

Table 4 Influence of starting point measurement on error.

角度測定誤差 $\alpha$ (degree)	30mでの オフセット量 (m)	100mでの オフセット量 (m)
0.1	0.05	0.17
0.2	0.10	0.35
0.5	0.26	0.87
1.0	0.52	1.75

5. 精度確認実験

上記のような誤差要因の検討を踏まえ、現実的な範囲で可能な限り良い条件を描えたときに、どの程度の測定精度が得られるのか実験した。

5.1 実験内容

地表面上にケーシングを二通りの形状（パターンA、B）に設置し（図-12）、トータルステーションで測定した形状と本測定器で測定したケーシング形状を比較する実験を行った。トータルステーション測定値を真値として、本測定器による孔曲がり測定精度について検討した。また、測定条件が悪くなると予想されるセントラライザー（3枚羽根）を使用して測定し比較対象とした。測定条件を表-5に示す。

5.2 実験結果

計測の結果を図-14, 15, 16に示す。この結果を基に、トータルステーションでの計測値を真値として、誤差を求めたものを表-6に示す。また座標系は図-13のように設定して計測の結果を整理した。

5.3 試験結果の考察

① セントラライザーについて

実験の結果から明らかに当初使用した3枚羽根タイ

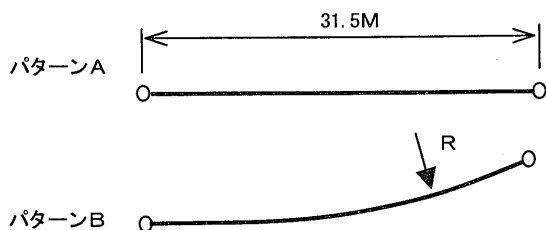


図-12 管路設置パターン  
Fig.12 Casing installation pattern.

表-5 試験孔測定条件

Table 5 Measurement conditions of test hole.

孔径 (mm)	内径 $\phi$ 79 (鉄ケーシング)
セントラライザー	外径約 $\phi$ 77.5 (円形タイプ)
	外径約 $\phi$ 76 (3枚羽根タイプ)



写真-1 管路設置状況 (パターンB)  
Photo.1 Casing installation (pattern B).

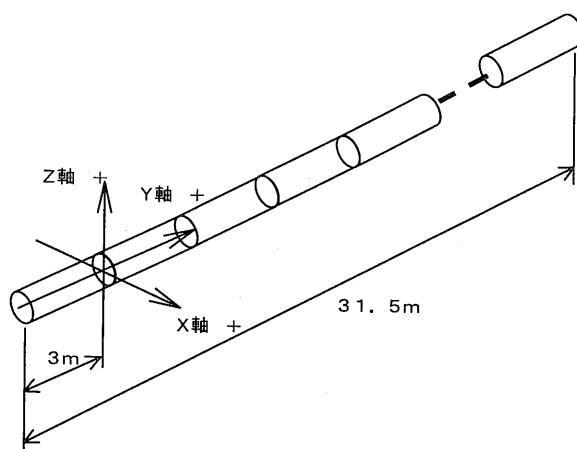


図-13 計測座標系  
Fig.13 Measurement coordinates.

プのセントラライザーは再現性の悪い結果となっている。形状に起因するところが大きく、ガタツキが大きく、内面との接点が少ないとセントラライゼーションが十分に機能しないことがわかる。

② 管路形状と計測ピッチについて

1.5mと3mのどちらの計測ピッチが適切であるか管路形状をかえて照査したが明確な違いはなかった。それぞれの計測ピッチに対する仕様上の管路の適用曲率半径は表-7に示す通りである。今回の実験ではデータ数が少ないため、これを裏付ける明確な結果は得られなかった。今後の課題としたい。

③ 実用上の測定精度について

実験結果（表-6）から照査すると、現実的な測定精度としては「2/1000~3/1000」程度が得られることが判った。メーカーが提示する仕様の「1/1000」の精度は、理想的な条件でなければ達成することが難しいようである。しかし、現実的な条件下で他の手法に比べるとかなり高い精度が得られているといえよう。

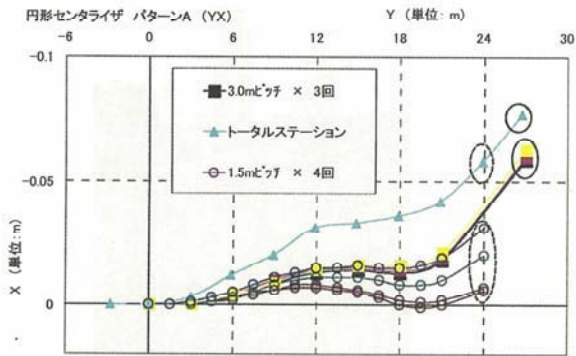


図-14 測定結果パターンA  
Fig.14 Measurement result of pattern A.  
(using circular centraliser)

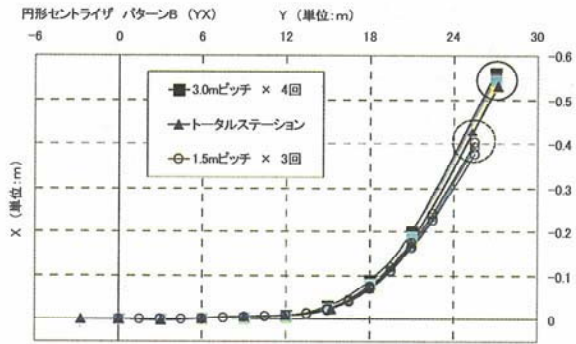


図-15 測定結果パターンB  
Fig.15 Measurement result of pattern B.  
(using circular centraliser)

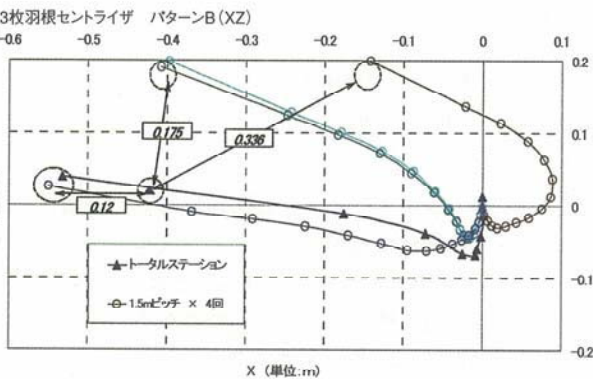
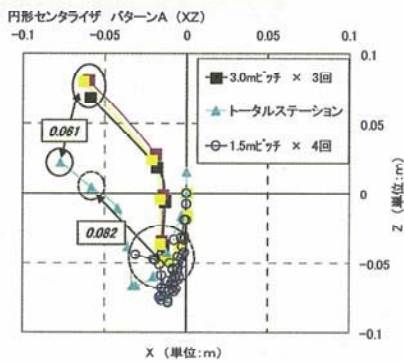


図-16 測定結果パターンB (3枚羽根)  
Fig.16 Measurement result of pattern B.  
(using 3 blade centraliser)

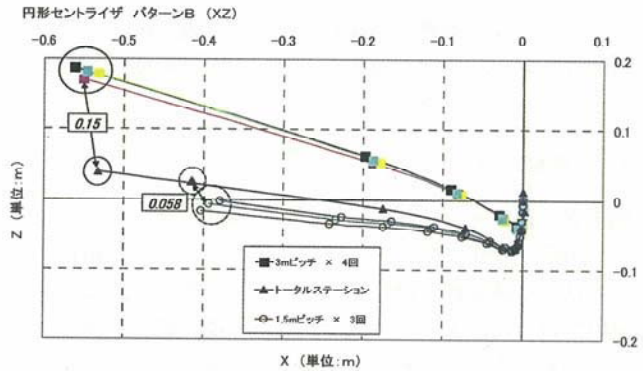


表-7 測定範囲 (曲率半径)

Table 7 Measurement range.

計測ピッチ (m)	最高精度 (m)	最低精度 (m)
3.0	R 270 以上	R 100 以上
1.5	R 100 以上	R 40 以上

6. まとめ

今回の実験及び検討を基に測定誤差を低減させるポイントを以下にまとめた。また、実験結果を踏まえて装置の仕様についても見直したので、これを表-8に示す。

① 適切なセントライザーの使用

孔にあわせたセントライザーを使用する。その外径の目安として、以下のように考えることが出来る。

表-6 各種計測ごとの測定誤差

Table 6 Varieties measurement error in various measuring condition.

セントライザー	管路形状	計測ピッチ (m)	測定深度 D (m)	最大誤差 E (m)	ばらつきの範囲 C (m)	測定精度 (誤差 E / 深度 D)
円形	A	3.0	27.0	0.061	0.013	2.26 / 1000
		1.5	24.0	0.082	0.029	2.34 / 1000
	B	3.0	27.0	0.150	0.031	5.56 / 1000
		1.5	25.5	0.058	0.028	2.27 / 1000
3枚羽根	B	1.5	25.5	0.336	0.443	13.2 / 1000

表-8 装置仕様

Table 8 Specification of MAXIBOR.

適用孔径	46mm以上
プローブ長	8 m又は5 m
測定範囲	鉛値から2度以上
測定精度 (実用)	1 : 300
測定精度 (理想状態)	1 : 1000
測定深度間隔	3 m又は1.5m
メモリー容量	256 KB
使用温度範囲	-45°C～+65°C
連続稼働時間	12時間以上

## 参 考 文 献

- 利岡徹馬, 他 (2001): ボアホールレーダによる橋台基礎杭の探査例, 物理探査学会第104回学術講演発表会論文集, pp. 229～233.
- 山内政也, 利岡徹馬 (2002): ボアホールレーダを用いた既存鋼管杭の位置確認調査事例, (社)東京都地質調査業協会2003技術フォーラム
- 石川貴規 (2001): 光学式孔曲り測定器の概要とその適用例, 全地連「技術フォーラム2001」, pp. 229～233.

セントライザー外径 (mm) = ケーシング内径 (mm) - 1.5 (mm)

例)  $77.5 \text{ (mm)} = 79 \text{ (mm)} - 1.5 \text{ (mm)}$

また, 形状は, 円筒形が望ましく, 回転することによって, 中心位置が変わるような形状は好ましくない。裸孔では孔径が一樣ではないため, プローブのセントライゼーションがより難しい。孔壁との密着性を高めるためにセントライザーを大きくすると, ジャミングの危険性も高くなるので裸孔での測定は基本的に難しく危険と考える。ガイドとなるケーシングを挿入しこの内部を計測する方法を推奨する。

## ② 正確な原点測定

原点では, プローブが孔軸に沿うように全体をケーシングに入れて測定を開始することが望ましい。このときのケーシングの初期角度 (方位及び傾斜) をトランシット等によって高精度に計測する。

## ③ 使用前点検の徹底

使用前の点検を必ず行なう。特にプローブ内の反射リングに異常の無いことを確認する。反射リング表面にゴミや油が付着していると, 撮像状態が変わってくる。測定前に, 撮像されたリングが欠けていないことやリングの厚みが一樣であることを確認する必要がある。

## 7. あとがき

本測定器で孔曲り計測を行なう際に発生する誤差の要因とそれを軽減する方法について述べた。今後, 事例で取り上げたような, 都市部での近接施工のための調査も増えることが予想される。その中で, 今回のような検討が, 調査の信頼性向上に少しでも貢献できれば幸いである。今後は, 調査適用例をまとめ, 本計測器の使用方法を標準化するなど, より高い適用性が得られるようにしていきたい。

