

VI-349

孔曲がり計測システムの開発

清水建設（株） 正会員 新宅 正道
 清水建設（株） 正会員 楠本 太
 鉾研工業（株） 青山 昌市
 関東航空計器（株） 中家 和洋

1. はじめに

世界最大クラスのレイズボーラー「ビッグマンBM-500」は、直径6mの場合は深度300mまで、直径3.5mの場合は500mまで掘削可能である。この機械を有効に利用していくためにはパイロット孔の掘削精度が非常に重要となる。ここでは、掘削精度向上を目的としたパイロット孔の孔曲がり計測システムを開発し、その基本性能を確認したので報告する。

2. システムの特徴

従来の孔曲がり計測技術で一般に用いられているものに磁石を用いた村田式傾斜儀があるが、以下のような技術課題があり大深度への適用は困難と考える。

- ・ 磁気方式では、ロッドを一旦引き上げて裸孔の状態にする必要があり作業効率が低下する。
- ・ 地球磁場と重力場を利用して方位角と傾斜角を計測するが、目視による読み取り目盛が1度（傾斜角が20度を超えると5度）であり測角精度の向上は望めない。
- ・ 定めた深度毎に1点ずつ計測しなければならず、多数のデータを収集するには手間と時間が掛かり、また、リアルタイムに評価できない。

そこで、立坑から傾斜角45度程度までの斜坑を対象として、チューンドドライジャイロと傾斜計2つを備えたプローブとパソコンを直結した孔曲がり計測システムを開発し、ロッド内での計測と計測データのリアルタイムの評価および計測回数を増やすことによる計測誤差の最小化を可能にした。

3. システムの概要

図-1に概念図を示すように、センサーを収めた耐圧容器であるプローブ、通信用ケーブルと測距用のロータリーエンコーダを備えたケーブル巻き取り装置、インターフェイスユニット、データ処理や図化を行うパソコンシステム、および、坑口部における基準方位設定装置からなる。プローブ内にはセンサーとしてチューンドドライジャイロと直交する2つの傾斜計、また、信号処理回路、バッテリー等が内蔵されている。パソコンシステムは、初期値設定、計測、データ解析の機能を持つ。初期値設定では地球自転補正のための緯度、真北から基準座標軸までの角度等を入力し、また、ドリフト補正のための計測、基準方位セット、距離ゼロセットを行う。図-2に計測画面を示すが、初期値設定後プローブを基準設定装置から取り外しロッド内に挿入・下降させながら所定深度で一旦停止し、計器の安定を待ってデータを取得する。インターフェイスユニットで補正・一纏めにされた傾斜角、方

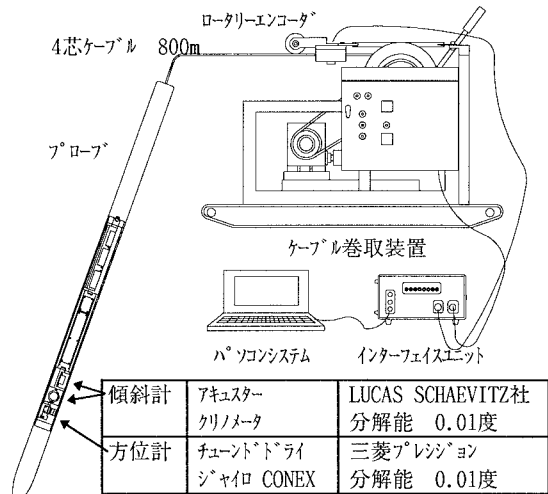


図-1 孔曲がり計測システム概念図

キーワード：孔曲がり計測、レイズボーラー、大深度

連絡先：〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3シーバンスS館 TEL：03-5441-0593 FAX：03-5441-0515

位角、距離データを取り込み座標の計算を行い、計画線とのずれ量やそのベクトルを画面表示するとともにデータベースに保存する。データ解析では保存したデータを読み込み、複数回計測データの平均値の計算・図化出力を行い精度の高いデータを得る。

4. 処理法式

オイラー角として3-2-3 body-Fixed Rotationを使用する。図-3に示すように基準方位を X_L 軸、鉛直下方を Z_L 軸とする局所水平面座標系 Φ_L から出発して① Z_L 軸周りに ψ ② Y_H 軸周りに δ ③ Z_B 軸周りに λ だけこの順序で回転して最終的にプローブ座標系 Φ_B に到達する。 δ, ψ が求める傾斜角、方位角であり、プローブの状態が直感的に把握しやすい。

$$\delta = \tan^{-1} \cdot \sqrt{\tan^2 \gamma_x + \tan^2 \gamma_y}$$

$$\varphi = \frac{1}{\cos \delta} \left\{ \Sigma r \cdot \Delta t + \tan^{-1} \left(\frac{\tan \gamma_y}{\tan \gamma_x} \right) \right\}$$

γ_x, γ_y が傾斜計から、 $\Sigma r \cdot \Delta t$ がチューンドドライジャイロから得られるデータである。座標計算には“Radius of Curvature” Method¹⁾を採用している。

5. 室内試験

3軸テーブルを利用してプローブの基本性能を確認した。表-2に示す試験ケースについて傾斜角、方位角の再現性を確認した。図-4にCASE-1-40の結果を示し、また、その他のケースを含めた各角度の誤差および孔底における変位（計画点からのずれ量）の精度を示す。鉛直からの傾斜角が大きくなるにつれて方位角の誤差は小さくなるが、傾斜角、変位誤差は大きくなる傾向にある。

6. まとめ

大深度の立坑から傾斜角45度程度までの斜坑を対象として、パイロット孔の孔曲がり計測システムを開発した。主な特徴は、ロッド内でのリアルタイムな計測・評価、計測回数を増やすことによる計測誤差の最小化が可能、かつ耐久性に優れたシステムが比較的簡便な点である。室内試験の結果、鉛直からの傾斜角が大きくなると変位の誤差は大きくなる傾向を示すが、実際の孔曲がり計測では数回の測定値の平均を取ることにより誤差は小さくなると考えられる。また、測点数が増えればすべての測点において誤差の最大値ができることは考えにくく、誤差は打ち消し合うことも想定できる。今後は、フィールド試験により誤差等の検証を行う予定である。

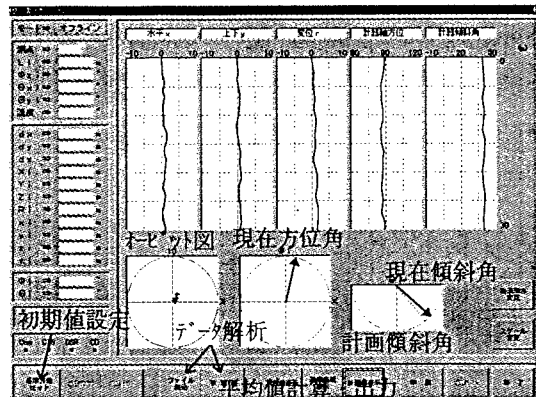


図-2 計測画面

$\Phi_L = \{O-X_L, Y_L, Z_L\}$
;局所水平面座標系
 $\Phi_H = \{O-X_H, Y_H, Z_H\}$
;プローブ方位基準
水平面座標系
 $\Phi_B = \{O-X_B, Y_B, Z_B\}$
;プローブ座標系

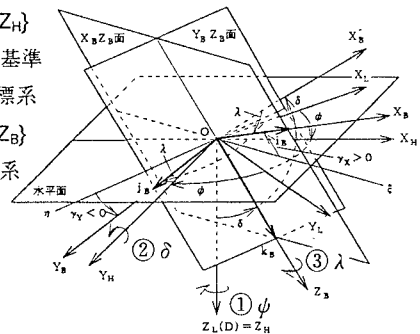
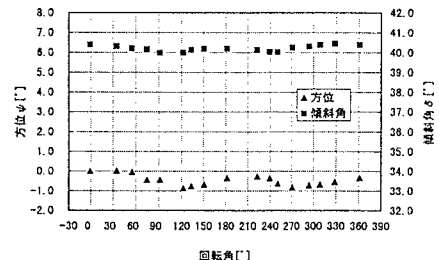


図-3 オイラー角と座標系

表-1 試験ケース

	傾斜角(°)		
	40	20	5
プローブ軸周り	CASE-1-40	CASE-1-20	CASE-1-5
方位	CASE-2-40	-	-
傾斜角	-	-	CASE-3-5



傾斜角	δ °	40	20	5
傾斜角誤差	$\Delta \delta$ °	0.5	0.2	0.1
方位角誤差	$\Delta \psi$ °	1.0	1.0	2.0
孔底変位誤差	r/L %	1.4	0.6	0.3

図-4 試験結果

1) 中村昭一;傾斜掘の実務,地熱井掘削保安・技術研修会テキスト, (財) 新エネルギー財団,1991.3,pp.28～31