

光学式孔径計測技術の傾斜孔への適用

株式会社レアックス ○三代 雅崇, 白 祥志
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 木村 駿

1. はじめに

光学式孔径計測技術はボアホールカメラで撮影した画像をもとに、ボーリング孔の360度全周の距離データを得る技術¹⁾である。本技術はリアルタイムで視覚的に断面形状を把握できる特長がある。さらに、機械式アームを用いた従来のキャリパー検層とは異なり、原理的に孔壁に非接触で測定するため、鉛直孔だけでなく傾斜孔にも適用できる可能性がある。本稿では、この技術（以下「光学式キャリパー」と称す）を傾斜孔に適用した事例について紹介する。

2. 測定方法と結果

(1) 測定原理と特徴

光学式キャリパーは、壁面に垂直に照射したレーザ光の反射を方位センサ内蔵の魚眼型ボアホールカメラで撮影し、方位情報とレーザ光の出現位置をもとに、定方位の距離データに変換するものである（図-1）。従って、孔内水の有無に関わらず、レーザ反射を視認できる孔内環境であれば、孔壁に非接触で孔径や孔形状を視覚的に把握できる。

主要スペックを表-1に示す。

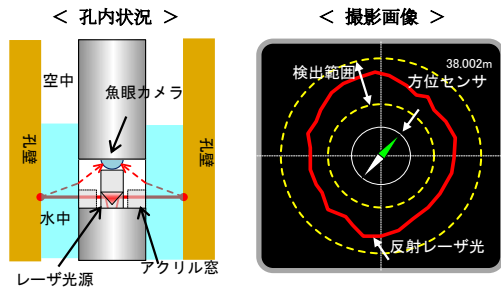


図-1 光学式キャリパーの解析概念図

表-1 主要スペック

項目	仕様	
共通	動作環境	0° ~ 40°C
	観察条件	空中または清水（耐水圧600m）
	カメラ	超広角小型カメラ（魚眼レンズ、視野角180°）
	センサー	方位センサー/重力センサー
	プローブ外形/重量	φ60mm, L=1080mm, 4.7kg（孔径計測時）
孔内観察モード	適用孔径	φ65 ~ φ250mm
	側方照明 展開画像 動画機能	白色LED（調光機能付き）、※孔径計測時は消灯 作成可。円周方向解像度 360/720pixel デジタルズーム・パン・チルト機能
孔径計測モード	適用孔径	φ65 ~ φ400mm
	レーザ光源	赤色レーザ（波長655nm）、リチウムイオン電池（連続稼働2時間）
	取得データ	周方向:1度ごと（360データ）、深度方向スパン:1.5,10mm
	距離解像度/精度	0.5~2mm（孔径によって漸増）/平均孔径誤差2%以下（試験値）

(2) 測定対象孔の概要と測定方法

北海道天塩郡幌延町にある幌延深地層研究センターの350m 試験坑道6で掘削したボーリング孔において、透水試験で用いるパッカー位置の選定にあたって概略孔径の変化を把握するため、光学式キャリパー測定を実施した。

ボーリング孔の傾斜角は-15度、孔径86mm、掘削長は約13mである。

測定はプローブにロッドをつなぎ、水平押し込み機により孔底から測定した（図-2）。

なお、同一孔にてボアホールカメラ（BTV）観察と孔曲がり計測も実施した。



写真-1 測定状況写真

(3) 測定結果

図-3に測定結果を示す。ここで示した平均径は、360度の不等距離データの二乗平均平方根である。

測定の結果、裸孔区間は計画孔径86mmに対し平均径は90mm程度であったが、ケーシング直下の深度1.6~1.8m区間及び、孔底付近において平均径が100mm以上に広がっていた。また、深度5.4~5.8m区間では平均径の微増、深度8.7~12.3m区間において平均径の不規則な変動が確認された。孔口付近のケーシング区間においては、ケーシングの内径102mmに対し、平均径が119mmと広がりが確認された。

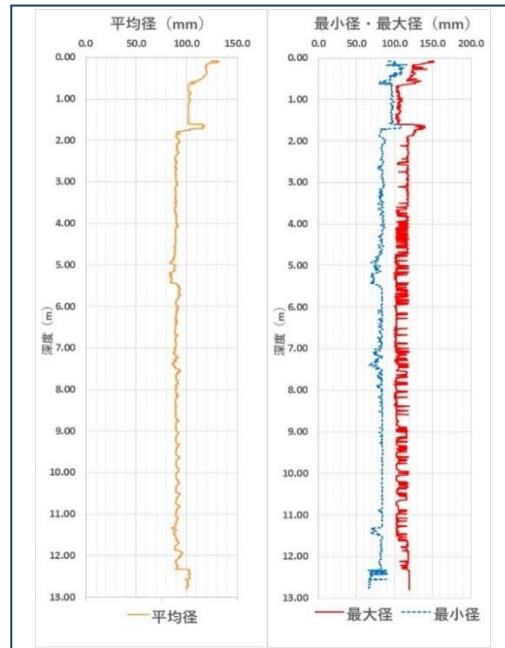


図-2 測定結果

3. 結果の解釈

(1) 深度 0.0~0.6m 区間(孔口)

深度 0.0~1.6m 区間は内径 102mm のケーシングが挿入されているが、深度 0.0~0.6m 付近において、平均径 119mm の広がり が確認された (図-3)。要因としては、孔口ではロッドのたわみが原因でプローブが傾斜したと考えられる。プローブの姿勢がボーリング孔に対し斜めになることで、孔壁面にレーザー光は垂直に照射されず、実際の距離よりも離れることで、数値が大きき算出される (図-4)。

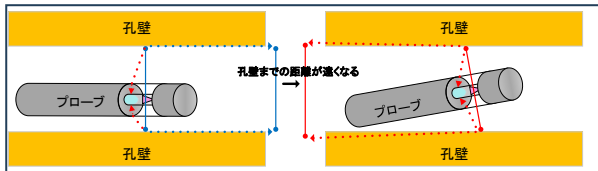


図-3 プローブの傾斜とレーザー照射角度の関係

(2) 深度 1.6~1.8m 区間

図-5①より深度 1.6~1.7m の裸孔区間は平均径 116mm、最大径は平均 134mm と広がっている。BTV 画像を見ると、深度 1.6~1.7m 区間は一度ケーシングを挿入した跡が見られる。

また、図-5②より深度 1.7~1.8m 区間は、平均径が 101mm、最大径は平均 129mm と広がっている。測定結果より作成した断面スライス図から深度 1.6~1.8m 区間において孔の上側が拡大していることが分かる。BTV 画像でも、深度 1.6~1.8m 付近にかけて孔壁の上側が拡大している様子が確認された。

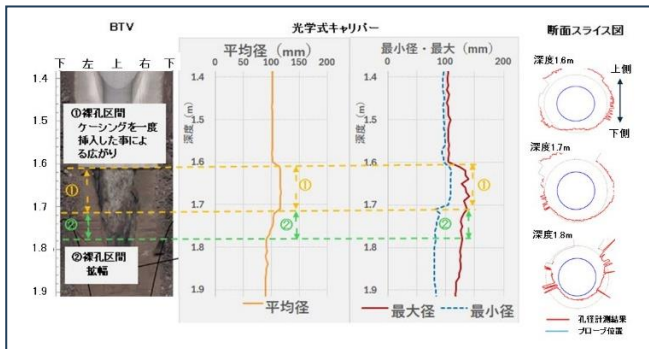


図-4 深度 1.6~1.8m BTV 画像との比較

(3) 深度 5.4~5.8m 区間

図-6①より深度 5.4~5.8m にかけて平均径が 92mm と微増している。この時、孔曲がりデータを確認すると深度 5~7m 区間で方位角、傾斜角共に数値の変動が大きくなっている (図-6②)。このことから、孔曲がりの影響により、プローブが孔内で姿勢を崩し、平均径が微増した可能性がある。

(4) 深度 8.7~12.3m 区間

図-6③より深度 8.7~12.3m において平均径が 85mm~93mm の範囲で不規則に変動している。BTV 画像を確認すると、深度 8.7m 以深は孔の下側にスライムが堆積し (図-7)、スライムが抵抗となりプローブの姿勢が傾くことで不規則に平均径が変動すると考えられる。

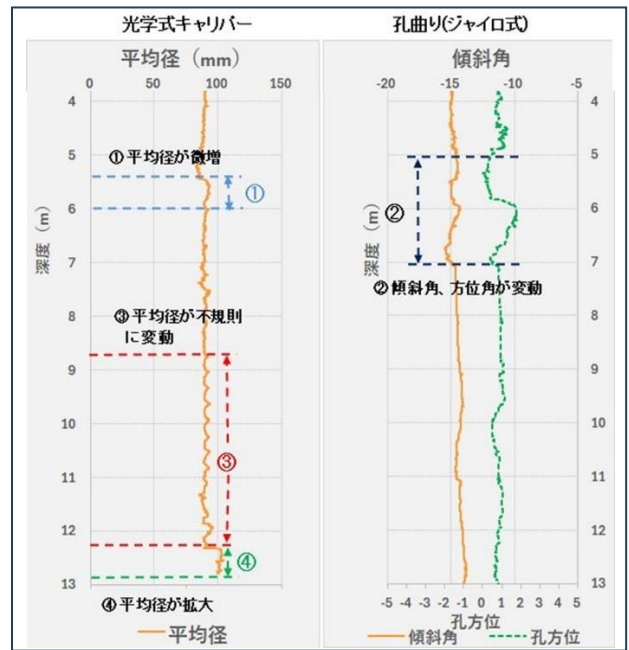


図-5 深度 4~13m 測定結果と孔曲がりの比較

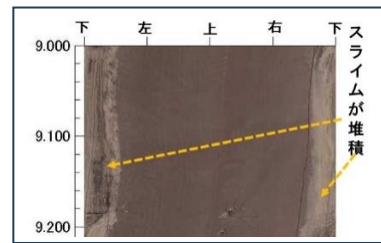


図-6 BTV 画像 スライム堆積状況

(5) 深度 12.3~12.8m 区間(孔底)

図-6④より深度 12.3~12.8m 孔底付近において平均径が 102mm と拡大している。取得した孔壁までの距離データを解析すると、解析可能なデータが少ないことから、孔底に堆積したスライム等が原因でレーザー光が正常に照射されていないと考えられる。

4. まとめ

(1) 光学式キャリパー測定により、孔径の変化や広がり の方向性を把握することができた。この結果の妥当性は、同時に観察した BTV 画像により評価できる。したがって、光学式キャリパー測定は、鉛直孔はもとより傾斜孔においても孔径の概略評価に有効といえる。

(2) 傾斜孔への適用にあたり、プローブの姿勢が測定結果に影響を及ぼすことが示唆された。今後、測定精度を上げるため、BTV と同様にセントラライザーのような治具が有効であると考えられる。

なお、本報告には、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「令和5年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (JPJ007597) (地層処分施設施工・操業技術確証試験)」の成果の一部を使用している。
《引用・参考文献》

1) 石井啓滋・白祥志・立野直樹 (2021) : ボアホールカメラを用いた孔径計測技術の検証と活用事例, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 2021, pp. 157-158