

57. 全周撮影型ボアホールテレビと 画像解析による地盤情報抽出

日本大学：石井 弘充
電源開発(株)：杉山 了一
坂田電機(株)：*坂田 文男

1. はじめに

近年、ダムを始めとする土木構造物を安全に設計・施工するためには、これまで以上に詳細な地盤調査を実施することにより、地盤処理方法やその効果を的確に把握することが要求されている。各種の地盤調査方法のうちボーリング調査は、コアの採取により多くの地質情報が得られるため広く用いられている。しかしながら、ボーリングコアのみによる調査では、ボーリング掘削技術の差による副次的な要素までボーリングコアの評価に取り込まれてしまう可能性があることと、岩盤中の不連続面や層理面などの走向・傾斜といった三次元的情報が得られないこと、また地盤条件の悪い地点でのボーリング調査では、コアの採取そのものが困難なケースが多いことなど、最も必要とされる地盤の正確な評価が困難な場合が多い。こうした問題を解決する方法の一つとして、ボアホールテレビカメラシステムを用いることにより、ボーリングコアからでは分からない孔壁の状況、層理面や不連続面の走向・傾斜、地下空洞掘削等に伴う地山の緩みないし開口亀裂の有無、ボーリング孔内での地下水挙動などが確認でき、調査孔に匹敵する情報を安価に得ることが可能となる。

これらのシステムには、孔壁の一部分を拡大して撮影する「部分詳細観測型」と、孔壁全周の映像が一挙に得られる「全周撮影型」があるが、前者は孔壁全体の状況が把握しにくい問題があるため、全周撮影型が開発されている。筆者らが開発したシステムは、円錐鏡とテレビカメラを組み合わせ、鏡に映るドーナツ状の孔壁全周像をテレビカメラで撮影し、それを実時間内に画像変換し展開画像とする全周撮影方式を採用している。

地盤中の亀裂や不連続面の走向・傾斜などの地中情報を映像より抽出する方法は、映像から技術者が不連続面を判読し情報として抽出を行っていたが、これには多大の労力と時間を必要としていた。この問題を解決するため、カラー映像の色情報を利用した色知覚の3属性である色相、明度、彩度を用いた画像処理により、地質境界を自動的に抽出する方法について研究した結果に付いて報告する。

2. ボアホールテレビカメラシステムの概要

試作した全周撮影型ボアホールテレビカメラシステムは、地中部のカメラカプセルと地上部の制御装置、画像処理装置、表示装置とカメラカプセル部の昇降装置とから構成されている。システムの構成を図1に示す。図1に示されたシステム構成図の各構成の機能は次の通りである。

- カメラカプセル : ボーリング孔内へ挿入し円錐鏡に映る孔壁を撮影する
- 制御装置 : 地上に設置しシステム全体を制御する
- 画像処理装置 : 円錐鏡に映る変形した孔壁映像を展開映像に変換する
- コンピュータ : 画像処理装置の制御と光磁気ディスクへの記録制御を行う
- 光磁気ディスク : 処理された映像をデジタル信号で集録する

昇降器 : カメラカプセルの昇降とカプセル深度の計測を行い、接続するシステムケーブルの巻取り機能とを持つ

TVモニター : 撮影された映像の表示を行う

本システムの特徴は次の通りである。

- ①外径60mm、長さ1035mmの円筒状カメラカプセルは、内部に配置した円錐鏡とCCDテレビカメラにより、孔壁全周の同時撮影が可能である。
- ②適用できるボーリング孔は直径66~134mmで、深度は250mまでの孔壁観測が可能である。
- ③画像処理装置により、円錐鏡に映る孔壁の全周映像を円周方向展開修正した映像展開は実時間で行われ、深度方向に連続した連続展開映像はカプセルの沈降速度と同じ速度で更新された映像が得られる。
- ④画面の切り換えにより、「部分詳細観測型」と同様の機能で、孔壁全周を拡大表示する展開映像により孔壁の詳細観測が可能である。
- ⑤連続展開映像の観測・記録速度は約54m/hであり、光磁気ディスクに記録される。

3. 画像処理

本システムの撮像光学系の構成を図2に示す。撮像光学系は照明用ランプ、円錐鏡、レンズ系とCCDカメラで構成されており、カメラカプセル先端側に配置されており、撮影部分は円柱の強化硝子が使用されている。円錐鏡は高さ2cm、外形5cm、斜面角度45度の円錐台形をしていることから孔壁はドーナツ状の全周孔壁像となって撮影される。したがって、円錐映像を展開映像に変換する画像変換が必要となる。本システムで使用した画像変換装置の構成を図3に示す。

円錐画像を記憶させる第一のフレームメモリ、連続展開映像を記憶させる第二のフレームメモリとメモリ内の情報を所定の順序で読み出す回路とで構成されている。フレームメモリのアドレスと画像変換の方式を図4、変換のフローチャートを図5に示す。図4に示される第一のフレームメモリには円周画像が記録されその配列は四角いメモリ範囲に丸い形で示される領域に格納される。この領域から平面画像への展開に必要な座標のデータを次式で示される計算結果に従って読みだし、平面画像に変換する。システム構成に於いては、 $\sin \theta$ と $\cos \theta$ の計算結果はメモリ内の計算テーブルを参

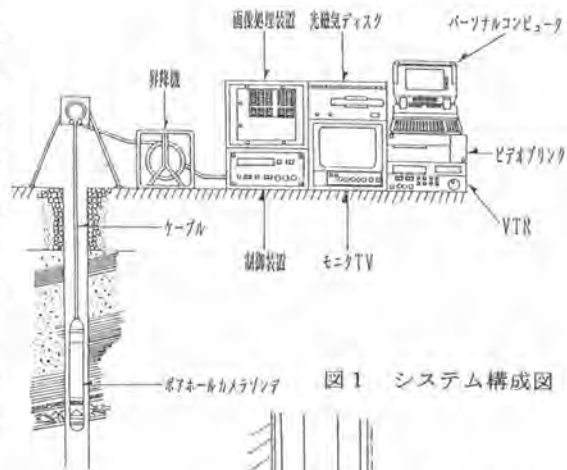


図1 システム構成図

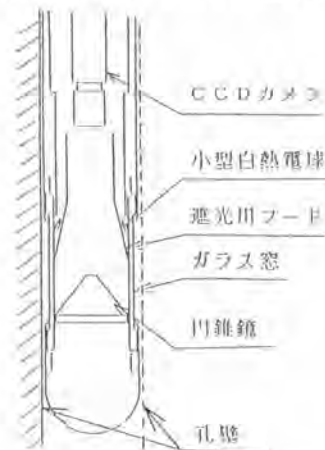


図2 撮像光学系の構成図

照することで動作速度を向上させ、リアルタイム処理を可能にしている。カラー表示であることから、これらの処理はRGBの三原色信号に対して同時に行っている。画像処理により得られた連続展開映像の一例を写真1に示す。

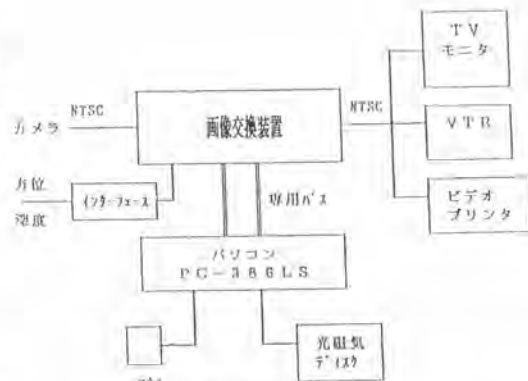
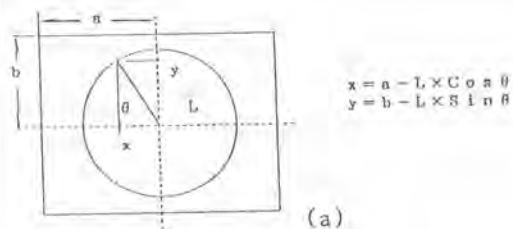


図3 画像交換装置の構成図

4. 画像解析

4.1 照明むらの補正

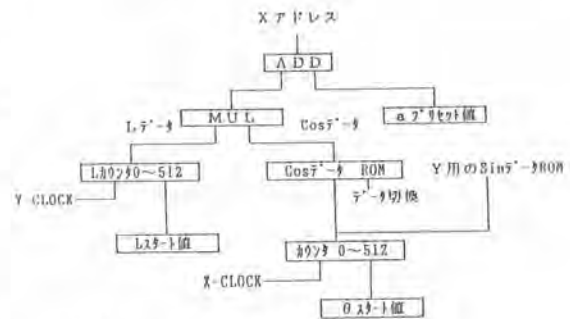
写真1は、孔壁の照明むらにより上部は明るく下部は暗い展開映像を深度1cm毎に切り出し深度方向に並べた映像である。明るさ(明度)が1cmの周期で繰り返す映像に対し明度補正を行い、照明むらの影響を取り除いた結果を写真2に示す。



4.2 不連続面の自動抽出

撮影画面に現れる不連続面は地層の亀裂および地層境界を示す。不連続面の抽出処理は次に示す手順に従って行われている。

- ①不連続面で分割される二つの領域を判別分離して二値画像を得るための処理
- ②二値化した映像の平滑化処理
- ③境界を連続した不連続面として判定する処理



(b) (Yアドレス発生も同様に行なう)

図5 変換フローチャート

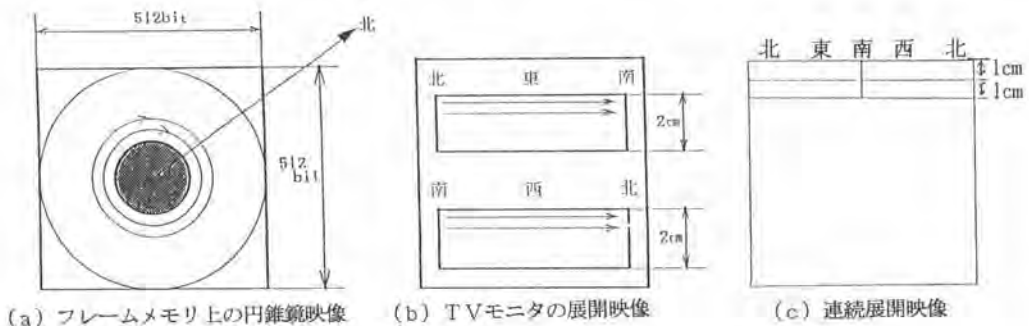


図4 画像変換方式の説明図

連続展開映像を二値化映像へ変換する分離処理は画像を二つの領域の値"0"又は"1"で示すことであり、その境界を示す値はしきい値と呼ばれている。このしきい値を求める方法は、カラー映像の持つ情報を色視覚の3属性である明度、色相、採度に分離し、ある映像が持つ特徴を抽出するために適した属性を抽出することで行われている。ここで明度とは白から黒までの明るさの程度を0~1の値で示され、色相値は赤や緑などの色あいを0~360度で表す値で、採度は各色相ごとの色の鮮やかさを0~1の値で示すものである。

映像信号より各画素の属性について数値を求めて頻度分布を調べると、頻度分布曲線には異なる領域により二つの山(双峰性)を持つ曲線が得られる。属性の計算は次式により行っている。

$$Y = 0.2988R + 0.5868G + 0.1144B \quad (3)$$

$$H = \tan^{-1} \{ (R - Y) / (B - Y) \} \quad (4)$$

$$C = \{ (R - Y)^2 + (B - Y)^2 \}^{1/2} \quad (5)$$

ここで、Yは明度、Hは色相、Cは採度を示し、R、G、Bは三原色の赤緑青を示す。各属性の分布の一例を図6に示す。境界面を抽出するために二値化した映像の平滑化処理を行い、画像中に存在する小成分や境界の細かい凹凸の除去を行う。画像の平滑化処理は、二値画像の図形変換処理に使用される膨張・収縮処理が用いられている。膨張・収縮処理は、一つの画素を中心に隣接する8つの画素の内一つでも"1"があれば、中心画素を"1"とする膨張と、同じく8つの画素のうち一つでも"0"があれば中心画素を"0"とする収縮の組み合わせであり、画面中の図形を太く又は細くする効果を持つ。

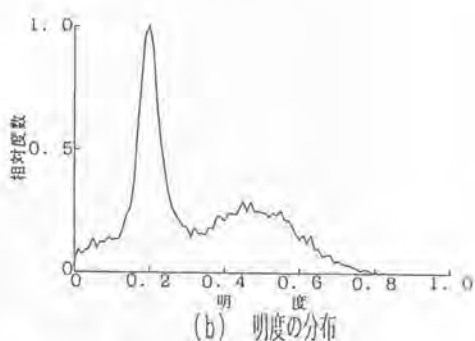
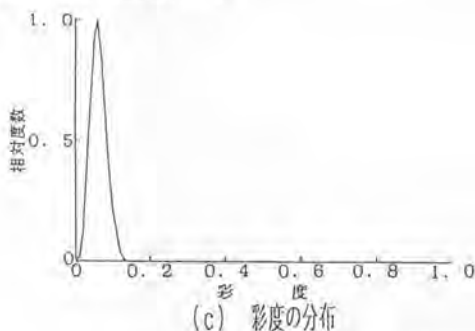
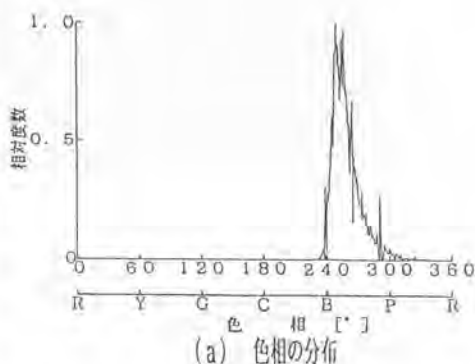


図6 色知覚の3属性の分布

北 東 南 西 北

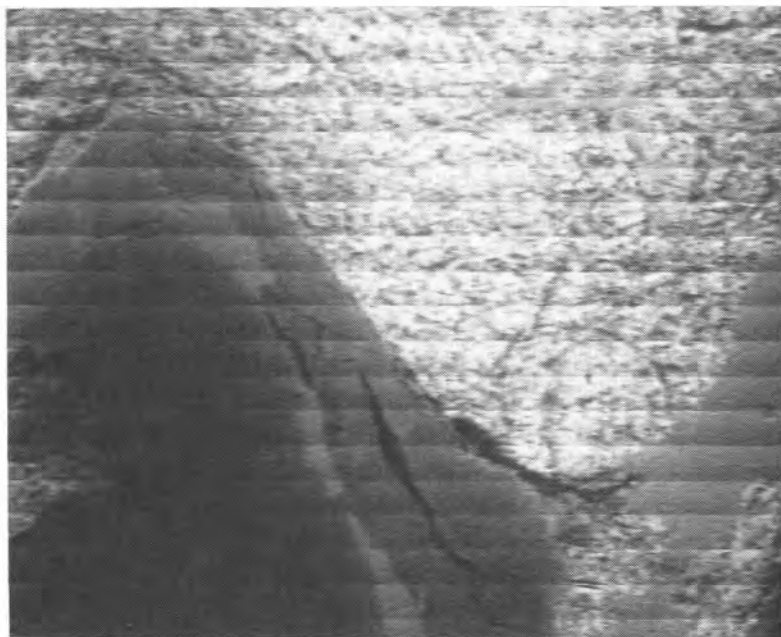


写真 1

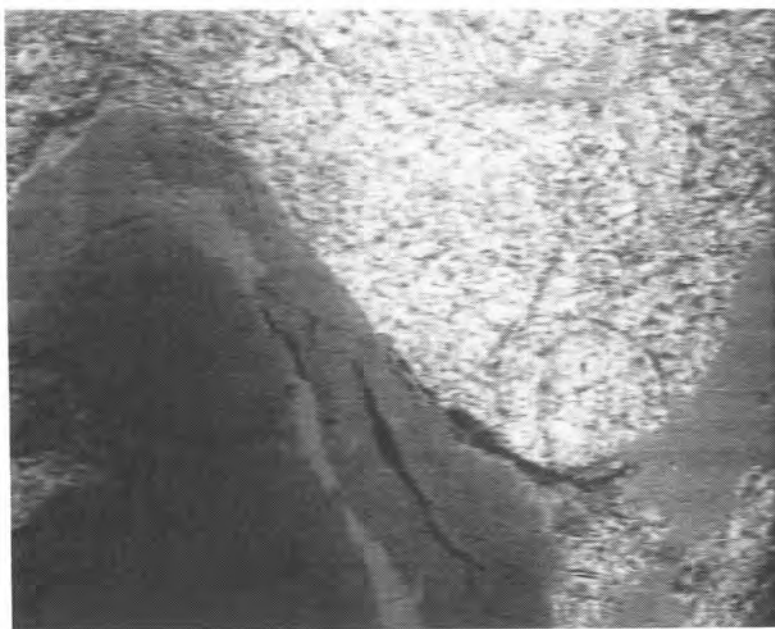


写真 2



写真3 半二値化画像

不連続面の抽出処理は、画面内に小さな処理範囲を設置し、その範囲内だけ処理を行っている。これにより映像の局部的特徴を抽出する効果と、処理時間を短縮する効果がある。平滑化処理後の半二値化画像を写真3に示す。半二値化画像は、二値化画像の“0”、“1”の一方を黒とし、他方を原画像のままとした画像である。

不連続面の判定は、画像処理でエッジ検出として用いられる1次の偏微分値が最大となる方向とその勾配を求める方法を用いている。二値化された映像の各画素を中心に上下、左右の画素の差分を取り縦方向の1次微分を求め、その係数が変化する所を境界と判定している。

4. まとめ

本研究の結果次の事が判った。

- ① 直径66mm、深度250mのボーリング孔に適用した結果、孔壁映像は鮮明であり、孔壁全体の状況が判る連続展開映像と詳細観測を行う展開映像は、随時切り換えて使用可能なため、本装置は二つの観測が持つ特徴を合わせ持つ。
- ② 孔壁全体を拡大表示する展開映像は動画で得られるため、孔内水の挙動観測を含め、詳細観測に有効であることが判った。
- ③ 光磁気ディスクに記録された連続展開映像は、不連続面の自動抽出等、画像解析を行うのに必要な解像度を持つ。
- ④ 境界面の自動抽出には、色知覚の三属性である明度、色相、彩度を使用した領域分割が有効である。