

III-B 177 BSS とマッチング法を組み合わせた計測手法の提案

○東京電力 正 員 本田道紀
 東京大学 正 員 堀井秀之
 東京大学 学生員 林 明華
 東電設計 正 員 宇野晴彦

1. まえがき

岩盤や地盤の内部の変位を計測するにあたっては、音波を利用した手法（アコースティックエミッション）や変位計を実際に埋め込んでの計測する手法が挙げられるが、前者において亀裂の位置のみが、後者においては地中における変位のみが得られる。通常は、この2つのデータを組み合わせて施工管理に使用している。しかし、この方法では実際の岩盤や地盤内部の状況を知ることができない。そこで、本研究ではボアホール孔壁観測により得られた画像を用いて、内部の状況を把握しつつ、その内部の変位の挙動を計測する手法を提案する。

2. 高精度 BSS(ボアホールスキャナースystem)

BSS は岩盤や地盤に掘削されたボアホールの内部を特殊なカメラを内蔵するプローブを用いて、その内部を展開して長方形の画像データとして得るシステムである（図1参照）。プローブはその位置を正確に計測するためのリニアエンコーダーと鋼線で連結されており、画像取得と同時にその位置を計測する。このようにして得られる画像データは、横方向には1000dotに展開され、縦方向には1dotあたり0.1mmの精度を持ち、RGB各256階調のカラーによって表されるものとなる。

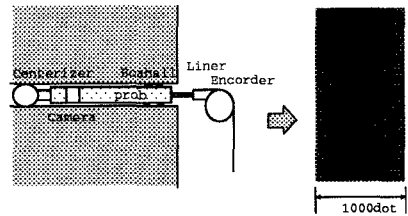


図1 BSSの概要図

3. マッチング法

マッチング法とは画像解析手法の1つであり、パターンマッチングを用いて2次元変位場を計測する手法である。この手法の特徴は、非接触で変位場を計測でき、特殊な計測装置や標点を必要とせず、画像または写真が得られれば解析が可能であるために簡便で適用範囲が広い事にある。

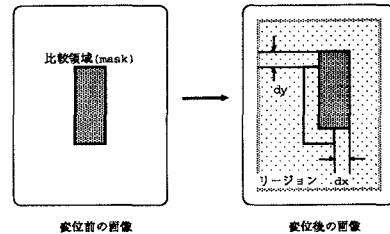


図2 マッチングの概要図

画像の変換 BSSにより得られる画像データは、RGB各色が0(暗)~255(明)でデジタル化されている。本研究で用いるマッチング法を適用させるためにRGB各色256階調を白黒256階調に変換する。ここでは、1ピクセルの変換例をとり、変換の手法を説明する。今、RGB各256階調の画像データとして、[R:127][G:51][B:200]が得られているとする。このRGBの3つの輝度の値の平均値を、

$$(127 + 51 + 200) / 3 = 126 \dots\dots\dots (1)$$

と求めることにより、白黒256階調における輝度126と変換する。

マスク マッチング法は、2枚の画像データにおいてある領域がどれくらい移動したかをみるための手法である。そのため、比較する2枚の画像データを用意する。そのどちらかの画像データにおいてマスク(mask)と呼ばれる比較領域を設定する。本解析では、図2に示すような長方形領域を指定した。

リージョン 一方で、別の画像においては指定したマスクと一致する部分を探す際に走査範囲としてリージョン(region)と呼ばれる領域を指定する。これも、本解析においては長方形領域（図2参照）とした。

アルゴリズム 今、マスクを指定した画像を変位前の画像として、リージョンを指定した画像を変位後の画像とする。ここで、変位前の全体の画像の画素値の平均値を Av_{gre} とする。同様に、変位後の全体の画像

の画素値の平均値を Avg_{aft} とする。今、マスクの大きさを $n(\text{dot}) \times m(\text{dot})$ とすると、

$$error(dx, dy) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((P_{mask}(i, j) - Avg_{pre}) - (P_{region}(i + dx, j + dy) - Avg_{aft}))^2 \dots\dots\dots (2)$$

$error(dx, dy)$: (dx, dy) づれた所での誤差の2乗

$P_{mask}(i, j)$: マスクの座標 (i, j) での画素値

$P_{region}(i + dx, j + dy)$: リージョンの座標 $(i + dx, j + dy)$ での画素値

と誤差を計算する。誤差 ($error$) が最小となる時の (dx, dy) を、そのマスクに関する変位量と決定する (図2)。

4. 計測例

計測データ 本解析では、以下の場所と日時に行われた計測で得られた2つの画像を使用した。

画像所得場所	地下空洞本坑側壁部分	
比較画像所得時	1 枚目	掘削前
	2 枚目	第6ベンチ掘削後

マッチング法で用いたパラメータ

	データ上のドット数	画像上の実寸
マスク	100 × 100	27mm × 10mm
リージョン	150 × 150	40mm × 15mm

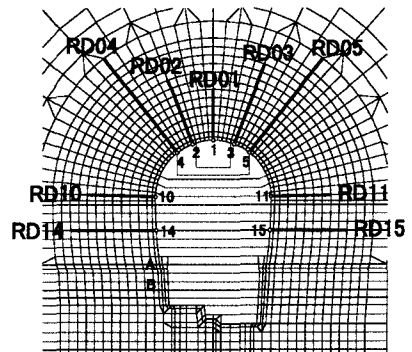


図3 画像取得場所と現場の状況

計測結果 本解析では、図3のRD14とRD15について解析を行った。その結果をRD14における結果を図4に、RD15における結果を図5に示す。ただし、どちらのケースにおいても、グラフ右側が本坑側壁に近い部分となる。

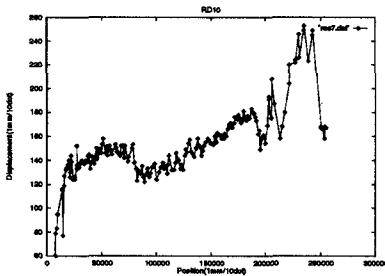


図4 左側側壁

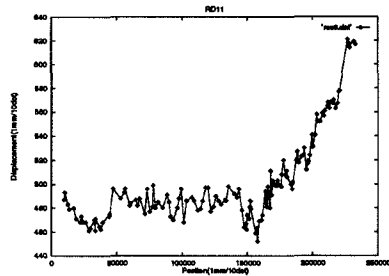


図5 右側側壁

5. まとめ

計測結果からBSS観測による相対変位量は、左側側壁で約12mm、右側側壁で14mmの値が得られた。このうち、右側側壁は、同位値において、岩盤変位計による観測が実施されており、同計測長で12.4mmの相対変位がえられている。これらの結果から、BSS観測に基づくマッチング法による計測結果は岩盤内での変位分布も合わせ、変位計測結果とはほぼ一致することが確認された。しかし、このBSSでの計測結果は、局所的には振動しており、リニアエンコーダーの張力の不均等などによる画像取り込み時の深度のずれおよび画像自体の焦点のずれによるぼやけなどが起因する計測誤差が原因として考えられる。空洞掘削は、現在も継続されており、上記の点に留意して、今後も観測を実施していく予定である。

なお、高精度BSS観測方法は、当観測において、(株)コアが著者らと共同で開発したものである。