

(11) ボーリング孔壁観察による切羽前方地質予知に関するデータベースの構築

京都大学工学部 正会員 谷本 親伯

京都大学工学部 学生員 ○堀田 憲一

京都大学工学部 学生員 安藤 拓

Prediction of Rock Joints behind a Mining Face and Utility of Geo-Data Base

Chikaosa TANIMOTO, Kyoto University

Kenichi HORITA, Kyoto University

Taku ANDO, Kyoto University

Abstract

In applying the observational construction method to a rock tunnel in Japan, it is a great concern how to predict the situation of a next coming face, which may change quickly in a short distance and time. Feed-back of the geological information obtained in the past (especially yesterday) must work in a day (today) at least. The paper describes a data acquisition system which is based on the photo image analysis through a personal computer, a digitizer, an image scanner, a color image printer, and so on. Data obtained from three sources with different scales have been processed. They are stored in the common format. Processed images and a predicted profile of a tunnel are shown in the paper.

1. はじめに

山岳トンネル建設にあたって、ボーリング調査、地質調査、弾性波探査などを利用して地山の地質状況の推定が行われている。しかし、地形状況や経済的な問題から、多くの調査でその精度が不満足であり、また、事前調査による地山評価とトンネル掘削時のそれとの間にも違いが存在することが多い。

本研究では、精度の高い地質予知を目的とし、地質図、写真映像、ビデオ画像などをデジタイザーやパーソナルコンピュータの各種周辺機器を用いて地質データをコンピュータに取り込み、地質平面図、トンネル地質断面図、ボーリング孔の画像といった3つのスケールの異なる地質情報に対して、それぞれデータベースを作成し、これらをもとに総合的地質状況の予測を行うことを目的としている。

2. 地質図のデータベース化

従来、表土をはぎとった場合の岩盤面が標高とは無関係に示されていたものが、地形図を重ね合わせることでより3次元的な地質分布状況として表示することが可能となる。すなわち、本データベースの目的は、地質情報を3次元的な空間で把握し、種々のスケールでこれをデータベース化し、任意の平面あるいは断面に対応して表示することにある。任意の面での表示では、当然、既往の情報量の差異によりデータの空白部が多く認められることになるが、従来、プロジェクトごとに、あるいは工種別に散逸していた情報の統一を計ることにより、ボーリング調査の地点や規模についても具体的な指針を与えることが可能となる。

本報告では、トンネル地点を含む広域を対象とした水理地質図¹⁾と地形図を2通りの方法でデータベース

として構築する。1つは、デジタイザー（GRAPHTEC, KD4300）を使い、もう1つは、イメージスキャナー（PC-In506）を使って、パーソナルコンピュータ（PC-9800RA）に取り込む方法をとった。デジタイザーでは、図の任意の範囲を指定することができるが、座標値を手作業で拾うため詳細な図は作業が困難である。また、イメージスキャナーの場合は、図の大きさに制限があるが、イメージスキャナーの画素でカバーできる範囲の細かな図が取り込み、作業が簡単である。そこで、地形図（図-1（a））をイメージスキャナーで取り込み、比較的簡単な水理地質図（図-1（b））¹⁾をデジタイザーで取り込んで図化している。データファイルとして保存されている2つの図（図-1（a）、（b））を縮尺、方向をコンピュータ上で操作し、重ね合わせたものが図-1（c）である。場所は、奈良県生駒市一分町を中心におよそ 2 km² の範囲の地質状況を示している。



図-1 地質図、地形図のグラフィック

3. トンネル内の地質の評価

トンネル工事では、数メートルごとに切羽のスケッチがとられている。また、トンネル切羽を市販のカメラやビデオカメラで撮影することにより、同様に切羽面の視覚的情報を得ることができる。これらのスケッチや画像をもとに、トンネル掘削部分全体の地質を予測する手法を検討した。

まず第一段階として、トンネルの縦断面図を推定するために、スケッチされた切羽面の図より切羽の中心線上のデータを扱う。中心線上で地質の変化する点を読みとり、切羽の基準線からの変化点までの距離をコンピュータに読みとらせ、この作業を各々のスケッチについて行い、地質の変化点の座標をデータベース化する。

地層が連続していると考え、地質の変化する点は複数の切羽にわたり同一の地層の区分線上に存在しているのであるから、座標化された地質の変化点より地層の区分線を再現して地質の縦断面図をグラフィック化する。

地質の縦断面図を推定するために必要な条件として、各々の切羽面のスケッチ上の地質の変化点のうち、いずれの点が同一の地層の区分線上にあるかという点と、さらに、同地層内に断層面がある場合の区分線の判定方法である。前者については、切羽のスケッチが人為的判断で予測するのに十分な間隔で取られている

ので、スケッチを見比べることにより、同一の区分線上にある点を判定し、手作業でコンピュータに入力する形をとった。後者の場合、1つの断面層によって不連続になっている同一の地層の区分線を2つの異なる区分線として表現し、地質要素を入力する際にこのことを考慮することにした。

このように得られた離散データ点から現実的な滑らかな地層区分線を再現する上で、スプラインの補間法を用いた。ここまでの作業では、スケッチからデータを取得するにはデジタイザーを使用し、2節で述べた水理地質図をコンピュータに取り込むために作成したプログラムと同じ形式のものを作成した。こうして切羽の簡略図を座標化し、座標のデータベース化、地層区分線の映像化をパーソナルコンピュータで行った。

図-2(a),(b),(c)は、すでに建設が完了しているトンネルのトンネル掘削岩質資料²⁾をもとに、地質状況を強調するよう取り込み作業を行い再現した切羽面の映像である。図-3は、図-2(a),(b),(c)を含む切羽面17面のスケッチから、それらの間のトンネル掘削部分の地質縦断面図を推定し画像化したものである。この画像では、上述したように、

トンネル切羽面の中心線を含む平面でのトンネル断面図を示している。この作業を任意の断面について行えば、トンネル内の地質分布を断面図の形で映像化できるわけである。2節で述べた手法と違って、地山内の実際の地質図がより詳細に表現でき、データベースに保存できることになる

図-4(a),(b)は、現在工事中のトンネル切羽面のスケッチをデジタイザーによって複製したものである。この図では、き裂の様子を強調するようデータを取り込んでいたため、次節で述べるボーリング孔からのき裂情報と比較する目的のものである。

次の段階として、トンネル掘削部の地質状況を3次元的に表現ができるように検討を行っている。データベースにおいては、3次元座標として保存できているわけであるが、映像化にあたっては、コンピュータ・グラフィックスの手法を取り入れて視覚的にわかりやすい表現が必要である。

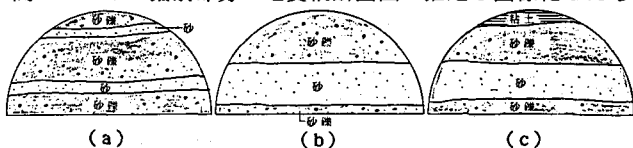


図-2 切羽面のスケッチ

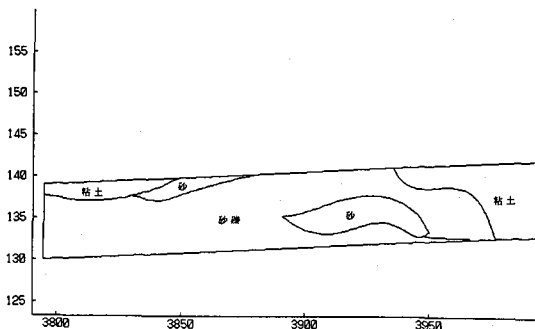


図-3 トンネル掘削部分の縦断面図

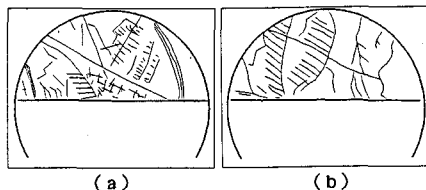


図-4 デジタイザによる切羽面の図

4. ボーリング孔の評価

ボーリング孔から情報を取得する方法として、村井らが開発したボアホールスキャナーシステム(BSS)³⁾を使用する。この装置は、人工衛星によるリモートセンシングと同じ原理で画像を得るもので、スキャナー部(図-5)の中の反射鏡が高速回転しながらボーリング孔内を降下すると同時に、観察窓を通して孔壁からの反射光を360°全周にわたって集め、これらのデータをコントロール部へ送り映像化するものである。この装置を使って、トンネルの切羽面から掘削方向へボーリングを行い、このボーリング孔へBSSを挿入し、孔内のき裂の連続性、走向、傾斜をとらえ、データベース化、映像化、解析を行う。

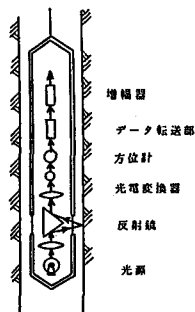


図-5 ボアホールスキャナーシステムのスキャナー部

取得したボーリング孔壁の映像をコンピュータのディスプレイに写し、き裂をマウスによって座標化し、そのデータを解析するという手法をとった。すなわち、

- (1) BSSを使って、ボアホールの側面を展開画像の形でビデオテープに保存する。
- (2) スーパーインポーズ装置を使ってビデオ画像をディスプレイに映し出す。
- (3) 不連続面を完全な平面と仮定すると、ボアホールの側面の展開画像(図-6)には、き裂が正弦関数として示される。これをもとに不連続面を3次元的にとらえ、方向、傾斜、開口幅をデータ化する。不連続面の3次元的配置を視覚的にとらえ易くするために、3次元的映像を再現すると図-7(a),(b),(c)のようである。図-6にある枠内の展開図を投影図へ再現したものが図-7(a),(b),(c)となり、投影図を回転させることにより任意の方向からの不連続面の様子を確認することができる。
- (4) 不連続面の空間分布を表すために、方向・傾斜を極⁴⁾という概念で座標化し、等面積ネット⁴⁾(図-8)と赤道等面積ネット⁴⁾にその座標をプロットする。極密度の表現については、単位面積(ダイアグラム面積の1%)をもつ円内に含まれる極の数をその中心点での密度とし、密度を多様な中間色で表現する。こうして極密度のシュミットコンター図⁴⁾を表現する。(図-9, 10参照)

この手法により、ボーリング孔のき裂状況をかなりビジュアルに表現することができる。このき裂データから、3節で述べた切羽面でのき裂のデータとの比較を行う。BSSによるき裂データは、間隙幅の小さいき裂の位置を高い精度でひろうことができ、これらのき裂すべてが切羽面に表れてくるとは思われない。そこで、頻度という概念で比較することにする。そして、切羽面に表れているき裂とボーリング孔内のき裂頻度の分布から、切羽前面の岩のき裂図-9 図-8のシュミットコンター図 分布の推定が可能となる。

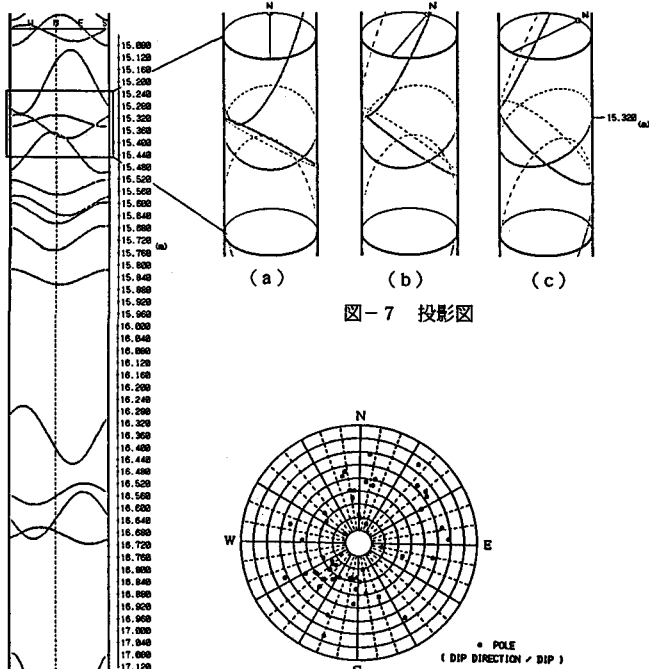


図-7 投影図

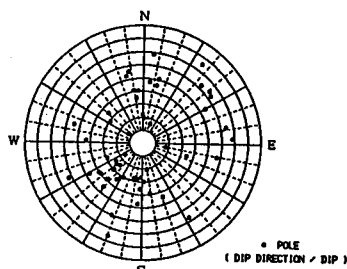


図-8 ダイアグラム

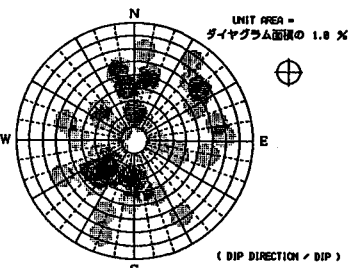


図-9 図-8のシュミットコンター図

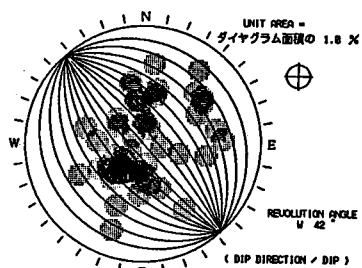


図-10 ステレオネット上でのシュミットコンター図

5. 視点の異なる地質データの関連性とトンネル地質予知への考察

2節から4節で紹介した3つのスケールからなる地質データは、それぞれにおいて選択した地質状況を示すパラメータが統一されておらず、また、その精度も異なる。

水理地質図で示された地質系統の分類をもとに、トンネル掘削部分での地質状況を分類することによって、トンネル付近の地山の地質の推定は可能である。これをもとに、トンネル施工と平行して切羽前方の地質状況の概要を把握し得るであろう。しかし、重要なことは、切羽前方予測により支保工を決定することであるが、まだ十分でない。また、地質系統の分類をより詳細にデータベースに入力する必要がある、切羽面を写真機やビデオカメラで撮影し、ビデオデジタイザーやスーパーインポーズ装置を使ってコンピュータにその映像を取り込むことにより、地層の位置を決定する座標の精度を高めることが望ましい。

切羽面から掘削方向へボーリングを行ってそのボーリング孔にBSSを挿入する場合は、実際に切羽前方の地質を把握することができるのであるから、切羽前方の地質予知に際してかなり有効な地質データを取得する方法である。今の段階では、ボーリング孔内に存在するき裂の評価にとどまっており、これに加えてBSSによるボーリング孔壁の映像からの地質状況の判定を行い、複数のボーリング孔のデータより地質状況を予知する手法を考案している。

3節に加えてビデオ画像を利用する方法であるが、これはデータの精度をビデオ画像の画素のレベルで評価できる点に大きな意義がある。その手法について2通りの方法を示す。

(1) 切羽面をいくつかの方向からビデオカメラで撮影する。



図-1 1 画像処理後の映像

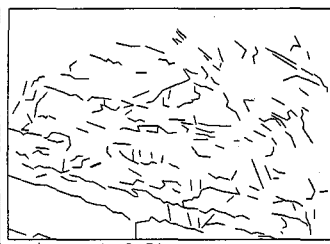


図-1 2 マウスで取り込んだデータ
(斜面での一例)

(2) ビデオ画像をコンピューターのディスプレイに映し出す方法として2通りの方法で行う。1つは、スーパーインポーズ装置を使って、ビデオデッキからの信号をそのままコンピューターに取り込みディスプレイに映す。したがって、画像はビデオデッキで操作できる。もう1つは、ビデオデッキからの信号をビデオデジタイザーでAD変換をかけ、フロッピーディスクに静止画像を保存する。そのデータを再生する装置としては、フレームバッファを使用する。この場合では、データに画像処理を加えることができる。画像処理を加えてできる画像を図-1 1に示す。

(3) き裂を2次元的にとらえ、線分がいくつか連続したものとして近似し、マウスによって座標化する。

(4) マウスで取り入れたデータを映像化する。(図-1 2 参照)

図-1 1, 1 2 は、北陸地方の海岸線での岩盤が著明に露出している露頭をビデオ撮影したものである。

この手法によれば、精度の高い切羽面でのき裂情報が得られるが、画像処理を加えた段階で、ビデオ画像の光源の状態によって、実際にき裂でないものもき裂であるかのように写してしまう場合がある。そのため手作業によるき裂の座標入力が必要となる。

現段階において、現在進行中のトンネル工事と平行して、2節から4節で述べた一連の手法を用い、データベース作成とその解析を行っており、総括された地質情報処理と高い精度をもった地質予知の確立をめざしている。

参考文献

- 1) 生駒市域水理地質図・説明書 生駒市域水理地質図作成委員会
- 2) 京滋バイパス石山トンネル工事「施工時における岩質判定」資料 (1985)
- 3) S.Murai, C.Tanimoto, et al (1988): "Development of Borehole Scanner for Underground Geological Survey", 16th Congress of Int'l Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, B7-VII, pp. 391-395.
- 4) ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests (岩の力学連合会訳) (1985): ISRM指針 Vol. 3 岩盤不連続面の定量的記載法、岩の力学連合会