

21. 不連続性岩盤斜面における亀裂調査事例

A Case Study of Fracture Investigation in a Discontinuous Rock Slope.

サンコーコンサルタント株式会社 ○萩原 育夫
佐々木 勝司
横山 久平

1. はじめに

岩盤斜面における亀裂分布や性状等を捉え、これらをもとに岩盤の緩みや岩盤ブロック等の斜面状況を把握することは、岩盤斜面の安定性評価、対策工の検討及び計測計画の立案等において非常に重要である。最近では、個別要素法などの解析手法の進展に伴い、解析手法の高度化に対応した亀裂データ等を、迅速かつ効率的に入手できる地質調査手法の開発と導入が求められている。

岩盤斜面の亀裂調査手法としては、地表踏査、ボーリングや孔壁観察等が一般的に用いられているが、急崖等では物理的または安全上の点から適用範囲が制限されるケースが多い。これに対し写真測量を応用した亀裂調査手法は、比較的軽微な現場作業で広範囲の亀裂情報を得ることができ、岩盤斜面における亀裂調査への導入が進められている手法である¹⁾。

また、岩盤の緩み領域の評価手法として、亀裂の透気特性に着目した手法（真空透気試験）の研究事例が近年報告されている²⁾。この手法は、これまで主にトンネル等の緩み領域調査に適用されているが、岩盤斜面調査に対する有用性が期待されている手法である。

本報告では、岩盤斜面の安定性評価及び対策工検討のための基礎資料を得ることを目的として実施した岩盤斜面調査において、ボーリング調査等とともに写真測量による亀裂調査と真空透気試験を導入し、亀裂及び岩盤状況等について検討した事例について報告する。図-1に今回の調査の概略フローを示す。

2. 調査地の地形地質

調査対象は、比高差が約60m、幅約100mの海岸に沿った岩盤斜面で、遷急線と遷緩線の間傾斜が60~70度程度の急斜面が形成されている。急斜面下方には2車線道路が斜面に平行し、斜面末端に水路トンネルの坑口が計画されている（図-2参照、調査時、坑口手前100m付近まで水路トンネルは掘削済み）。

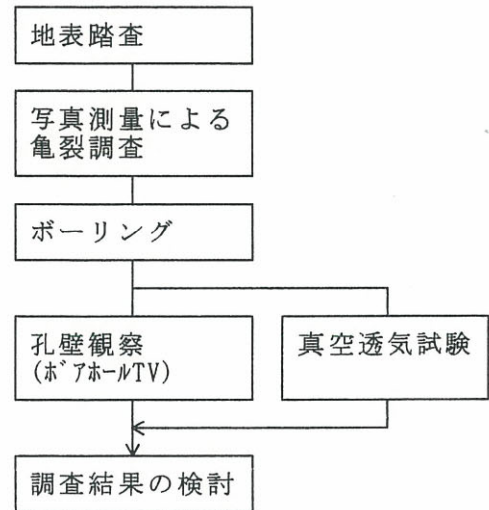


図-1 概略調査フロー

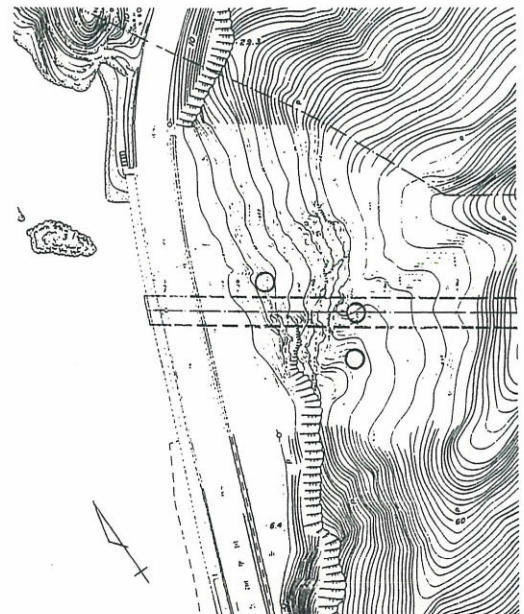


図-2 調査位置平面図

(S=1:2,000 ○:ボーリング位置)

調査地の岩盤は、新第三紀中新世の玄武岩質の火砕岩（一部自破砕性溶岩）からなる。走向傾斜は $N40^{\circ}W 35^{\circ}SW$ 程度を示し、斜面に対して 10° 程度の流れ盤をなす。全体的に凝灰角礫岩状の岩相を呈し、礫が大径のものと小径のものが $5\sim 20m$ 間隔で互層する。水路トンネル設計時に概略地質調査が実施されており、地山弾性波速度（P波）は新鮮部で $2.0\sim 2.7km/s$ を、コア試料の P 波速度は $3.5\sim 4.0km/s$ 程度を示す。一軸圧縮強度は $30\sim 50MPa$ 程度、密度は $2.2g/cm^3$ 程度である。

3. 調査内容

写真測量による亀裂調査は、急斜面周辺の露岩部を対象に実施した。図-3に概略作業フローを示す。座標変換には斜め写真による方式⁹⁾を採用した。この方式は、写真撮影位置・方向に関する自由度が高く、亀裂の発達方向に応じて撮影位置を選択することが可能である。亀裂の方位解析は、亀裂座標をもとに3次元平面を近似することによって行った。なお、主要亀裂については露頭観察によって性状を確認した。

ボーリングは急斜面上方の緩傾斜部において実施し、ボーリング孔を利用してボアホールTVによる孔壁観察及び真空透気試験を行った。

真空透気試験の概念図を図-4に示す。この試験は、ボーリング孔内にダブルパッカーを挿入して測定区間（閉塞区間、今回の区間長は $50cm$ ）を設け、測定区間から真空ポンプで空気を吸引して、吸引時の圧力と流量から岩盤の透気特性を求める手法である。空気を利用して透過特性を捉える点や、吸引形式のため試験区間で生ずる差圧が1気圧以下である点等が本手法の特徴であり、加圧型の透水試験等に比べて岩盤に与える影響が小さい。

4. 調査結果

(1) 写真測量による亀裂調査

写真測量による亀裂の方位解析結果を図-5のコンターダイアグラム（シュミットネット下半球／極投影、以下同様）に示す。亀裂は、表-1に示す区分表に従って3ランクに区分して集計した。なお、追跡長が $1m$ 程度以下の小規模な亀裂は、面方向の解析誤差が比較的大きいため集計から除いた。

亀裂面の方向性には、亀裂の連続性によって若干の差異が認められる。最も連続性の良いAランクの亀裂は急傾斜のものを主体とし、亀裂面の法線は面 = $[N35^{\circ}W 20^{\circ}NE]$ 上に分布する傾向が認められる。法線が分布する面の走向 ($N35^{\circ}W$) は地層の走向とほぼ同様である。一方、連続性の乏しいCランクの亀裂では低角度と高角度の亀裂が混在しており、亀裂面の法線は層理面上または面 = $[N50^{\circ}W 90^{\circ}]$ 上に分布する傾向が認められる。後者の走向 ($N50^{\circ}W$) は斜面の最大傾斜方向と同様である。Bランクの亀裂には、A・Cランク双方の特徴が認められる。

亀裂沿いの風化変色は、Aランクの亀裂で著しく、幅 $10\sim 20cm$ 程度軟質化する場合が多いが、Cランクの亀裂では不明瞭である。地表踏査及び写真測量において、部分的な開口が各ランクの

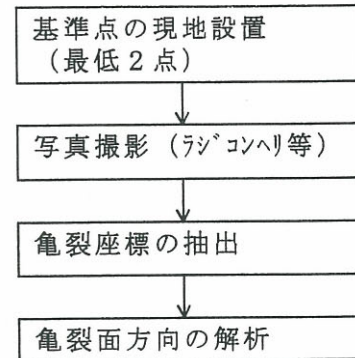


図-3 写真測量概略フロー

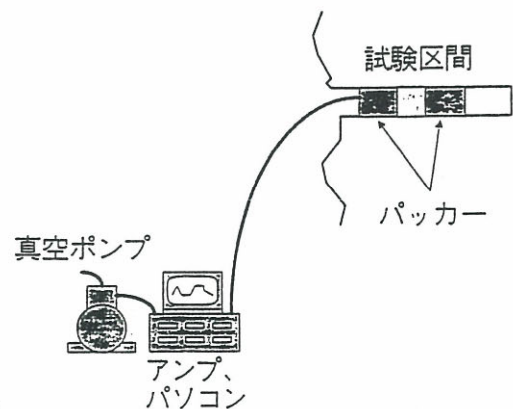


図-4 真空透気試験の概要

表-1 亀裂ランク

ランク	追跡長
A	10m以上
B	5~10m
C	5m未満

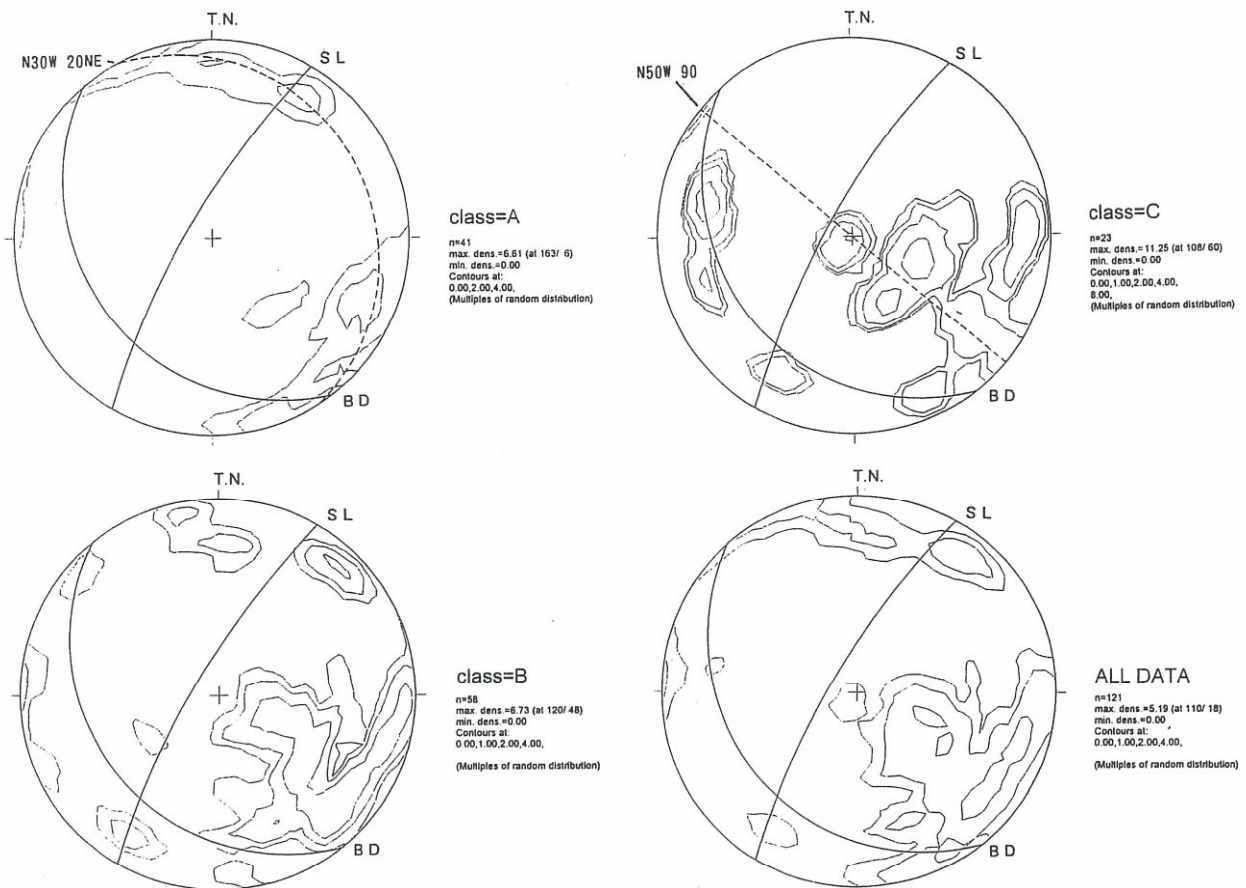


図-5 写真測量による亀裂調査結果 (SL:岩盤斜面方向、BD:層理面)

亀裂に共通して観察される一方、断層を示唆するような亀裂沿いの変位は認められない。亀裂間隔はCランクのもので1~5m程度、その他のものでは1~10m程度で変化する。

B・Cランクの低角度亀裂の近傍には、テラス状の微地形が所々認められる。また、露頭上で植生が連続する、層理に平行な弱面が所々認められる。

(2) ボーリング・孔壁観察・真空透気試験結果

水路トンネル縦断面上の、ボーリング、孔壁観察及び真空透気試験の結果を図-6に示す。コア観察結果から、深度1m(着岩)~3m付近までが風化部と判定され、岩級区分はCL~CHと深部に向かって変化する。深度3m以深は新鮮部でCH級岩盤を主体とするが、深度6m付近は亀裂沿いに風化し、岩級区分が低下する。孔壁観察における開口亀裂は、深度6mの亀裂付近までは1本/m程度、6m以深では1~2本/5m程度の割合で確認される。これらの方位解析結果は、写真測量による結果と調和的であるが、孔壁観察では写真測量で確認した全ての卓越方向を捉えきれていない。

真空透気試験では、全体的には地表部の風化部付近では高い透気特性を、深部の新鮮部では低い透気特性を示す。新鮮部中には局部的に高い透気特性を示す箇所が認められるが、これらの箇所では、孔壁観察によって開口性亀裂が確認されている。なお、掘進時の孔内水位は掘進とともに低下した。

5. 調査結果の検討

亀裂の方位解析では、連続性の良い高角亀裂群については堆積構造との関連性が、また比較的連続性に乏しい亀裂群については地形との関連性が認められ、後者の方が相対的に新期に形成された可能性が高い。前者の亀裂群の形成過程の詳細は不明であるが、後者の亀裂群では、亀裂面の法線が斜面の最大傾斜方向に分布すること等から、浸食や斜面の形成に伴って、除荷等による

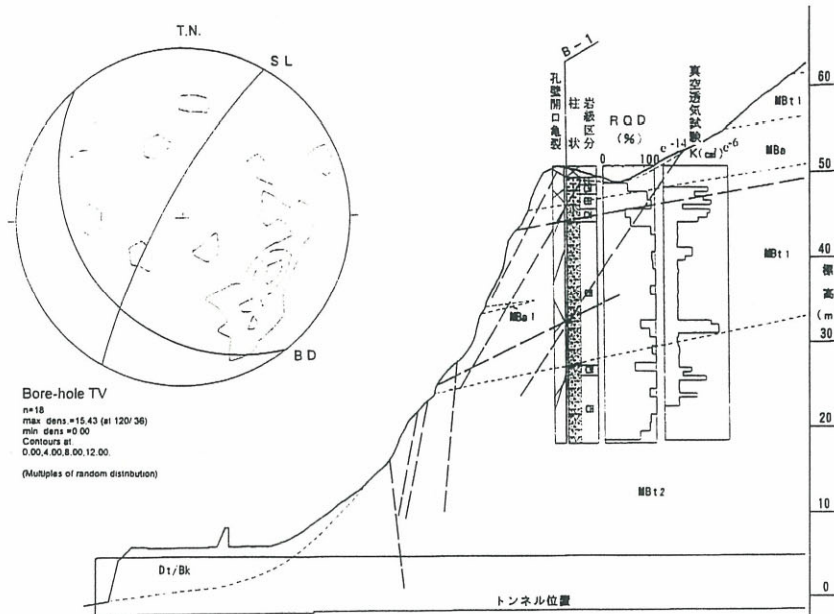


図-6 水路トンネル縦断面図及び亀裂方位解析結果
(- - - - : 層理 ——— : 写真測量による主要亀裂)

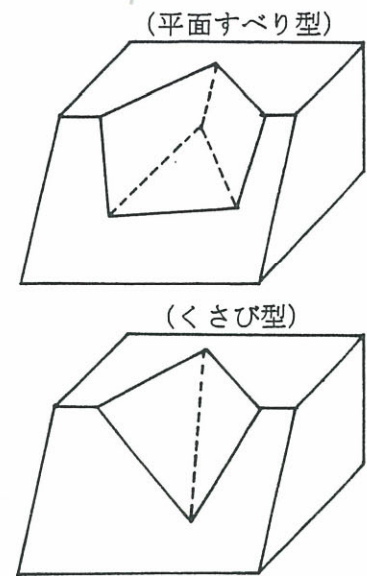


図-7 岩盤ブロック例

応力状態の変化に関連して形成されたものと推定される。

岩盤斜面では、浸食や風化に伴う亀裂の生成及び開口によって、表面付近に緩み領域が形成されているものと一般に想定される。今回のコア観察結果から、地表付近には厚さ2m程度の風化部が認められる。風化部-新鮮部境界付近の連続性割れ目の存在によって、風化部と透気特性との対応関係がやや不鮮明となっているものの、風化部-新鮮部境界から1m程度深部までの岩盤は、連続して高透気特性を示している。透気特性によって推定される亀裂性状を考慮すれば、風化部-新鮮部境界から1m程度深部までの厚さ3m程度の範囲が緩み領域と推定される。

また、孔壁観察で新鮮部に認められた開口性亀裂は、深部においても高い透気特性を有することが真空透気試験によって確認されている。亀裂面の凹凸等の影響によって、孔内の亀裂と斜面上の亀裂を1対1に対応付けることは困難であるが、連続性の良い亀裂等は岩盤深部まで及んで、比較的規模の大きな岩盤ブロックが形成されている可能性が考えられる。このような岩盤ブロックの形成には、初生的な高角亀裂や層理沿いの弱面等とともに、浸食等に伴って形成された亀裂群が関与しているものと推定される。代表的な岩盤ブロックの形態を図-7に模式的に示す。

6. まとめ

今回の岩盤斜面の亀裂調査により、安定性評価にとって重要と考えられる表層部の緩み領域範囲及び斜面中の岩盤ブロックに関する知見を得ることができた。また、空中写真測量による亀裂調査は広い範囲の亀裂情報を得る点で、真空透気試験は緩み領域や亀裂性状を評価する点でそれぞれ有効であり、岩盤斜面亀裂調査への各手法の適用性が確認された。今後は、亀裂データや計測データ等の蓄積を行うことによって、調査手法の精度の向上等に努めたいと考える。

(参考文献)

- 1) 佐々木 他：トンネル坑口付近の岩盤斜面調査適用例, 全地連「技術フォーラム'97」講演集, pp. 189-192, 1997
- 2) 中山 他：岩盤ゆるみ領域評価のための真空透気試験, 土木学会論文集, No. 575/III-40, pp. 9-24, 1997.9
- 3) カール クラウス (大嶋・堀江訳)：写真測量, pp. 301, 1993