

## II-3-1 岩盤斜面の調査・計測・ハザード評価技術の調査①

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 14～平 17

担当チーム：地質チーム

研究担当者：佐々木靖人、倉橋稔幸、矢島良紀

### 【要旨】

本研究では、個別斜面の危険度マップの作成や要対策箇所の抽出を目的として、エアートレーサー試験や、物理検層を利用した岩盤斜面内部の劣化部検出方法を開発し、一部を調査マニュアルとしてとりまとめた。また、レーザーを用いた斜面の三次元測量や三次元弾性波トモグラフィーを実施することにより、岩盤斜面の詳細な記載と、弾性波速度の変化から岩盤斜面の劣化部を定量的かつ面的にマッピングできるようになり、危険な劣化部を抽出できるようになった。

キーワード：岩盤斜面、劣化部、エアートレーサー試験、物理検層、三次元弾性波トモグラフィー

### 1. はじめに

道路斜面のリスクマネジメントでは、大規模な災害に結びつきやすい岩盤斜面の的確な安定性評価が重要であるが、現在の既存の調査技術では、岩盤斜面内部の亀裂分布を調査する際に誤差や限界があり、斜面の安定度を評価する際に必ず不確実性を伴う。このため、弱層や亀裂などの劣化分布をより精度高く調査する方法や、調査・計測の不確実性を考慮した合理的な安定性評価手法の開発が求められている。

本研究では、個別斜面の危険度マップの作成や要対策箇所の抽出を目的として、エアートレーサー試験や、物理検層を利用した岩盤斜面内部の劣化部検出方法を開発し、一部を調査マニュアルとしてとりまとめてきた。さらにレーザーを用いた斜面形状の詳細な記載と三次元弾性波トモグラフィーによる斜面劣化部の抽出をおこなった。

### 2. 研究方法

#### 2.1 エアートレーサー試験による岩盤斜面の亀裂調査精度向上策の検討

エアートレーサー試験は空気の拡散性を利用した岩盤内部の亀裂の調査方法で、送風機でトレーサーを混ぜた空気を亀裂に挿入し、トレーサーの流出地点と移動速度から亀裂の分布と連続性を

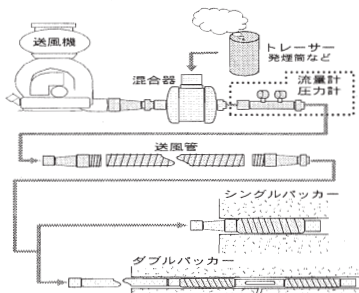


図-1 機器の構成

推定するものである。トレーサーとして煙を使うことにより、開口亀裂の連続性を地表で視認することができる。機器の開発をおこない、試験方法を調査マニュアルとしてまとめたほか、特許を取得した。

#### 2.2 物理探査を利用した岩盤斜面内の劣化部検出実験

岩盤斜面内の劣化部の分布を調査する物理検層手法を開発した。本手法は、ボーリング孔へ挿入したラバーチューブに水を強制注入させ、その内部で音波検層(FWS)を実施するものである(図-2)。従来までは、岩盤斜面の地下水位が通常では低いことから、音波検層の適用は不可能であった。そこで水を満たしたラバーチューブを用いることにより短時間に大量の岩盤内部の弾性波波形を取得し、その伝播時間から岩盤中のP波速度を連続的に取得できるようになった。速度低下を読み取ることで、岩盤内部の劣化部分を抽出することができる。

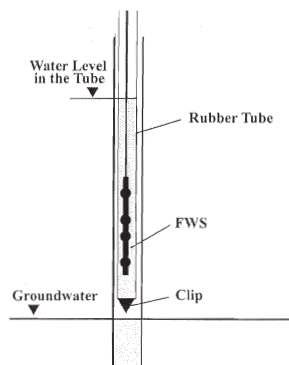


図-2 岩盤斜面における物理検層模式図

### 2. 3 三次元弾性波トモグラフィー

まずレーザーを連続的に岩盤斜面へ照射し、岩盤斜面の形状を詳細に記録した。次にこの測量データから斜面の形状をモデル化し、岩盤斜面に設置した43個の地震計(写真-2)の弾性波探査記録について三次元弾性波トモグラフィー解析を実施した。

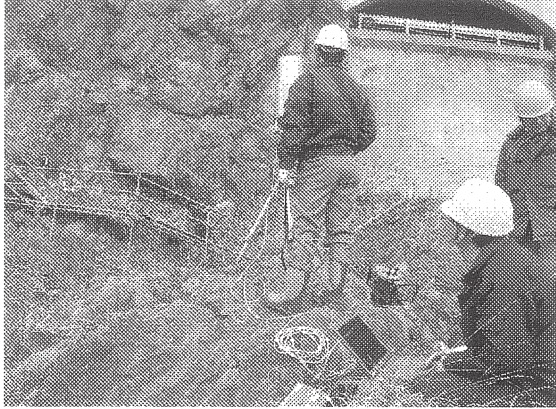


写真-1 レーザーによる三次元地形計測の状況

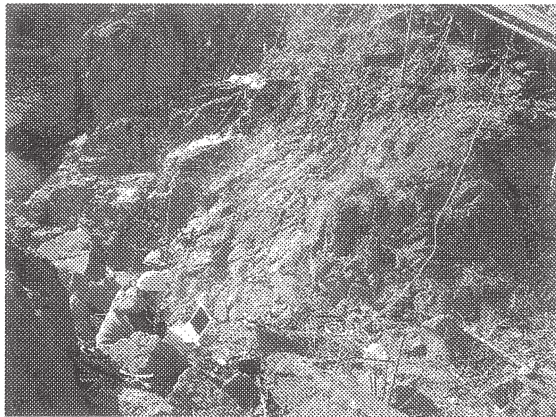


写真-2 岩盤斜面への地震計の設置状況

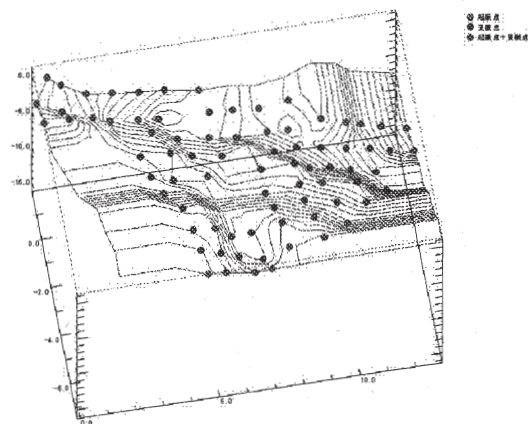


図-3 岩盤斜面の三次元地形と地震計の配置

弾性波波形記録の初動を読み取り、走時曲線(観

測走時)を作成した。三次元トモグラフィー解析の初期速度構造モデルを作成した。初期速度構造モデル作成に際しては、測量データ、既往岩石試験結果(超音波伝播速度試験)および走時曲線を参考に、速度構造区分を立体メッシュとしてモデル化した。

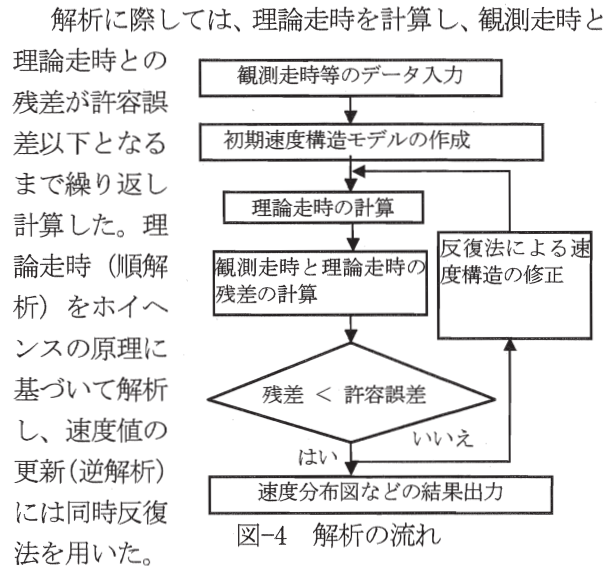


図-4 解析の流れ

### 3. 研究結果

#### 3. 1 エアートレーサー試験手法のマニュアル化

これまでの成果から、「エアートレーサー試験の調査手法をマニュアル」をまとめたほか<sup>1)</sup>、「岩盤中の亀裂探査方法」の特許第3433225号を取得した。表-1 「エアートレーサー試験による岩盤斜面の亀裂調査マニュアル(案)」の目次構成<sup>1)</sup>

はじめに
マニュアル編
1. エアートレーサー試験の定義
2. エアートレーサー試験の目的
3. 試験法の細分類
4. 対象岩盤
5. 試験装置の構成
6. 試験手順
6.1 事前の留意事項
6.2 試験前の調査
6.3 試験方法の選定と試験機器・観測機器等の配置方法
6.4 試験手順
6.5 試験中の調査
6.6 試験後の調査
7. 試験結果の整理
8. 解析・評価
8.1 解析・評価の目的と方法
8.2 地質図学的な評価法の手順
8.3 流速・流量等の解析による評価法の手順
8.4 地質総合解析的な評価法の手順
9. とりまとめ
9.1 とりまとめの項目
9.2 調査概要
9.3 試験対象岩盤の性状
9.4 試験位置および試験方法
9.5 試験結果
9.6 その他の調査結果
9.7 解析方法および解析結果
9.8 評価およびとりまとめ
参考文献
関連用語一覧
参考資料編
ケーススタディ
おわりに



### 3. 2 物理検層を利用した斜面劣化部の抽出

P波速度は1.5~2.6km/secまで変化し、深部ほど増加する傾向にある。5~10m区間では、速度が1.5~1.8km/secに低下する。この部分は、亀裂が発達し風化した劣化部(図-5のボアホールカメラ画像でも灰白色部分)に相当する。実験結果からP波速度等により岩盤斜面における劣化部を5cmの単位精度で抽出することができ、従来の手法に比べて約10倍の密度で連続的にデータを取得することができるようになった。さらにボアホールカメラやその他の物理検層手法と組み合わせることで、詳細に岩盤斜面内部の亀裂や風化による劣化部を検出できるようになった。

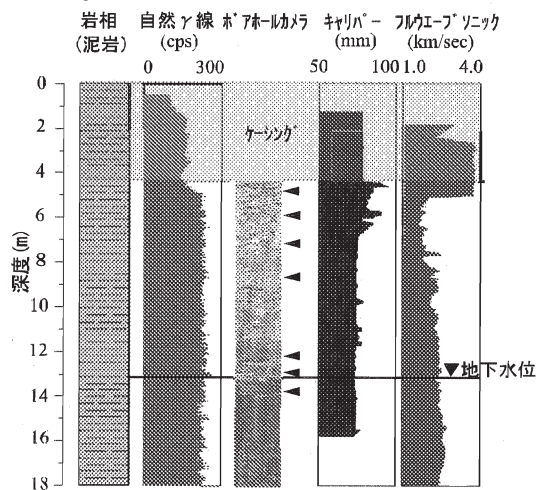


図-5 物理検層解析結果  
(矢印は、主な亀裂分布位置)

### 3. 3 三次元トモグラフィ解析結果

三次元トモグラフィ解析を表-2のパラメータにより解析をおこなった。その際に測定走時と解析走時の差が小さくなるように繰り返し計算を10回行い、RMS残差は18.27%となった。解析した見掛けの速度分布を図-6に示す。斜面の中央部で1.0km/s以下の低速度となり、周辺部ほど高くなった。図-3に示す斜面の凹凸形状や、地表観察結果、ボーリングデータとの対比から、表層から1m内部に解析面と平行な節理面が、この低速度帯と一致することが分かった。

表-2 解析モデルパラメータ

解析に用いた走時データ数	3014
初期モデル速度値	1.4km/s
解析深度	10m
解析メッシュサイズ	1m

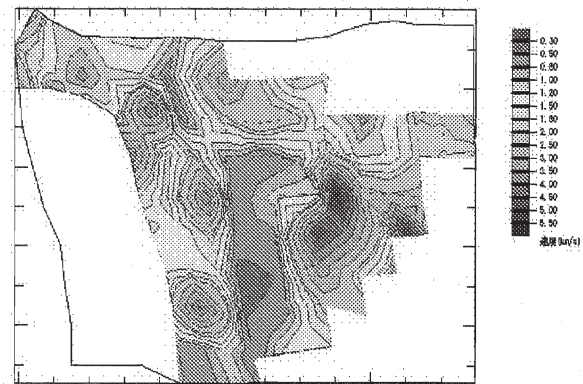


図-6 速度分布図

### 4. まとめ

本研究の成果は、以下にまとめられる。

- 1) エアートレーサー試験の調査手法を、「エアートレーサー試験による岩盤斜面の亀裂調査マニュアル(案)」(表-1)としてとりまとめた。また、「岩盤中の亀裂探査方法」として特許第3433225号を取得した。
- 2) ボーリング孔内の水位を強制的に上昇させた物理検層では、岩盤斜面内の劣化部を従来の約10倍の密度で5cm間隔で連続的に計測できるようになった。
- 3) 三次元地形測量と三次元弾性波トモグラフィ解析により、弾性波速度の変化から岩盤斜面の劣化部を定量的かつ面的にマッピングすることができ、危険な劣化部分を抽出することが可能となった。
- 4) 今後、これらの成果を、現在改訂中の「道路土工のり面工・斜面工安定指針」や「落石対策便覧」等に反映させる予定である。

### 参考文献

- 1) 脇坂安彦, 佐々木靖人, 阿南修司, 大谷知生, 高橋伸尚: 「エアートレーサー試験による岩盤斜面の亀裂調査マニュアル(案)」, 土木研究所資料, 第3878号, 56p., 2003.
- 2) Kurahashi, T. and Inazaki, T.: "Continuous Full-wave sonic Logging in a dry hole, Proceeding of the 16<sup>th</sup> annual symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems", EEGS, CD-ROM, 2003.
- 3) 倉橋稔幸, 福田徹也, 桑野 健, 稲崎富士: 「道路斜面におけるフルウェーブソニックの利用」, 第109回学術講演論文集, 物理探査学会, pp.136-137, 2003.
- 4) 倉橋稔幸: 「岩盤斜面内部の亀裂調査技術」, 土木技術資料, 第46巻, 第3号, p.3, 2004.

