

複合物理探査による切土斜面の工学的評価法に関する研究

株式会社ニュージェック ○ 増 満 岳 也
関 西 大 学 楠 見 晴 重

1. はじめに

我が国の道路は、高度経済成長期から急ピッチで建設され、それに伴い、切土や盛土の斜面も数多く整備された。現在、それらの斜面の老朽化が進んでおり、斜面地盤の安定性、耐久性を把握、評価することが急務となっている。

近年の維持管理コスト縮減への対応策の一つとして、老朽化斜面の健全度調査において、容易に地盤内の2次元情報を得ることができる物理探査法が利用されはじめています。しかし、個々の物理探査には適用範囲や得られる探査精度の限界があり、単独の成果だけでは多様で複雑な地盤に対して正確に工学的評価を行うことは困難である¹⁾。

本研究では3種類の物理探査(弾性波探査、表面波探査、電気探査)を実際の道路斜面にて実施し、複数の物理探査による斜面地盤評価の有用性や信頼性を確認する。ただし、複数の物理探査結果の総合的な評価手法は確立されていないため、通常は定性的な地盤評価となっている。そこで本研究では、主に情報処理の分野で利用される自己組織化マップ(SOM)^{2) 3)}およびk-means法⁴⁾を用いて、複数の物理探査結果の複合的な評価を試み、研究対象斜面で得られたボーリングデータと比較することで、本手法の有用性や精度の検証を行った。

2. 研究対象地点

本研究対象地点は、斜面長約56mの北向き切土斜面である。地質は二畳紀前期～中期の加斗層⁵⁾で、斜面表層は名田庄コンプレックス由来の緑色岩系の凝灰質千枚岩により全体的に褐色であるが、部分的な貫入・変質等により、超丹波帯由来の千枚岩質頁岩とみられる青色系の地質も混在する。図-1に地質断面図および対象地点にて実施されたボーリング調査(2箇所)の結果を示す。

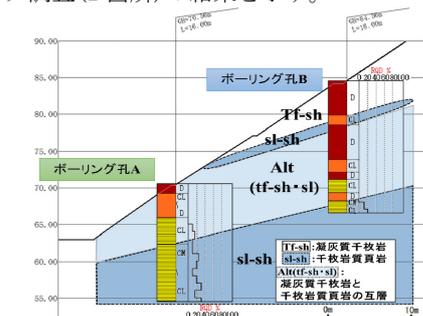


図-1 地質断面図・ボーリング調査結果

3. 3種類の物理探査

本研究にて用いた物理探査手法は、高密度弾性波探査(屈折法⁶⁾)、高密度表面波探査⁷⁾、電気探査(比抵抗二次元探査⁸⁾)の3種類である。高密度弾性波探査からはP波速度、高密度表面波探査からはS波速度、電気探査からは比抵抗値の地盤中の分布状況(斜面の断面図)を得ることができる。P波速度からは岩盤の硬軟、S波速度からは水の影響を除外した岩盤の硬軟、比抵抗値からは間隙の有無や含水状態を推定できる。図-2に原位置にて実施した各物理探査の結果を示す。各図の縦軸が標高(Elevation)、横軸が水平距離(Distance)を表している。図上の色が赤いほど、劣化進行の可能性が高いことを示している。

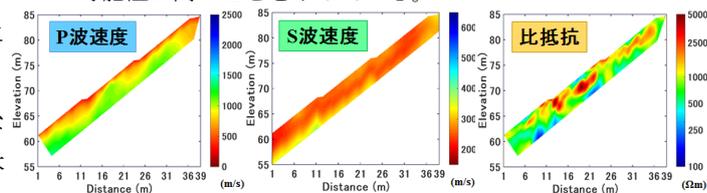


図-2 3種類の物理探査結果

4. 解析手法

・自己組織化マップ

自己組織化マップ(SOM)は、ヘルシンキ工科大学のコホネン教授によって1979年に発表された教師なしニューラルネットワークの一種である。SOMの特徴は、類似した特徴を持つデータは近くに、異なった特徴を持つデータは離れた位置に配置し、類似度を距離で示したマップを作成することである。これにより、物理量の異なる高次元データ間の非線形な統計学的関係を簡単な幾何学的関係に変換することができ、データ間の関係性を視覚的に認識することができる。

・k-means法

複数の物理探査結果に対しSOMを適用し、総合的な評価を行うことができるが、SOMにより作成したマップが複雑なために、地盤の解釈に差が生じてしまう可能性がある。そこで、SOMを各物理探査結果の特徴によって明確なクラスターに分類するために、k-means法と呼ばれるクラスタリング手法を用いた。k-means法は、マップ上に形成された各クラスター候補群の重心が最適値になるように、データを分類することができる。k-means法は非階層型クラス

タリング手法であるため、SOM から得られるマップを客観的にクラスタリングすることができる。

5. 解析結果

まず、弾性波探査、表面波探査、電気探査の結果を SOM によって1枚の画像として表したものを、および k-means 法によりクラスタリングされた SOM を図-3に示す。また、SOM を3種の物理探査結果ごとに分解した「構成要素マップ」を図-4に示す。図-3に示す SOM には、3種類の物理探査の特徴が1枚の画像として表されているものの、どの部分が劣化しているか、どの部分に注目すべきか等の線引きが不明瞭である。そのため、k-means 法を用い、SOM に対して、特徴ごとにクラスタリングしたラインを明確に示した。

図-4のクラスタリングされた SOM の中に含まれる位置データを参照し、斜面地盤を複数の物理探査結果により分類した結果を図-5に示す。図-5と各クラスターの平均物性値を参照することにより、斜面上における地盤の特徴とその分布を見ることができる。クラス1はP波速度・S波速度ともに速く、比抵抗値が低いことから、比較的硬質で高含水率な岩盤であると思われる。クラス2はクラス1には劣るもののP波速度・S波速度が速く、比抵抗値が低いことから、やや硬質で高含水率な地質であると推定される。クラス3は比抵抗値が非常に高く、P波速度・S波速度が低いことから、地盤内に空隙が多く、風化の影響により劣化しているものと思われる。表層部に分布するクラス4は、P波速度・S波速度ともに低く、地盤が軟弱であることを示しており、クラス3と同様に劣化しているものと考えられる。

図-5には、ボーリング調査の結果(岩種区分)も示している。これを参考として解析結果とボーリング調査結果を比較すると、岩種区分における強風化粘板岩部や風化粘板岩部が、図-5にて劣化と推定されたクラス3・4部分とよく一致している。したがって、複数の物理探査結果と SOM・k-means 法によって表された斜面分類図が斜面の安全性・耐久性を評価できる可能性が示されたとともに断面的にも評価できる可能性が明らかとなった。

6. 結論

本研究では、複数の物理探査の結果を総合的に解釈するため、情報処理工学の分野で幅広く使われている自己組織化マップに着目し、物理探査で得られた物理量のデータを4つのクラスターに特徴付けて分類を行った。

その結果、ボーリング調査で得られた岩種区分、推定さ

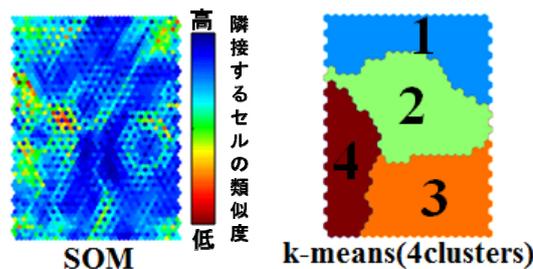


図-3 SOM および k-means 法によってクラスタリングされた SOM

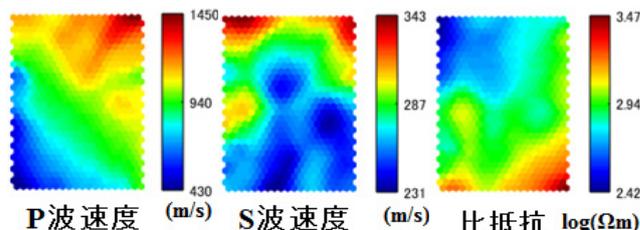


図-4 物理探査ごとの構成要素マップ

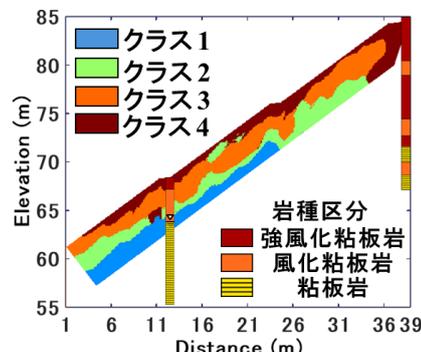


図-5 複数の物理探査結果による斜面分類図

れる地層構造とも概ね整合的な結果が得られた。

今後は、各物理探査の精度向上、および複数の物理探査を用いた継続的な測定において、当解析手法を用いた経時的変化把握の可能性を確かめる必要がある。

参考文献

- 1) 災害科学研究所トンネル調査研究会編：地盤の可視化技術と評価法，鹿島出版会，H.21. 22p-32p.
- 2) Kohonen, T. : Simultaneous order in nervous nets from a functional standpoint, Biological Cybernetics, Vol. 50, S.57. 35p-41p.
- 3) Kohonen, T. : Self-Organization and Associative Memory, Springer-Verlag, S.59.
- 4) 宮本定明：クラスター分析入門 ファジィクラスタリングの理論と応用，森北出版株式会社，H.11.
- 5) 通商産業省工業技術院地質調査所：日本地質図大系 近畿地方，朝倉書店，H.8. 36p-37p.
- 6) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編 第2章屈折法地震探査，H.10. 115p-151p.
- 7) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編 第4章微動・振動，H.10. 203p-211p.
- 8) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編 第5章電気探査，H.10. 239p-295p.