

比抵抗・弾性波併用探査による 老朽化法面の工学的評価法

楠見 晴重¹・山本 剛²・中村 真^{3*}

¹関西大学 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

²近畿地方整備局 近畿技術事務所 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

³株式会社ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

*E-mail: nakamuramk@newjec.co.jp

高度経済成長期に急傾斜道路法面对策として数多く施工された吹付けコンクリート工は、施工後30年以上経過していることにより現在劣化が進んでおり、これらの法面の安定性・耐久性を、効率良く把握・評価する必要に迫られている。吹付けコンクリートをはじめとする法面保護工の安定性に関わる問題は、背面地山の風化や地下水変動が大きく影響するため、物理探査を用いる方法が有効である。しかしながら、物理探査により得られた物理量と背面地盤の性状の定量的な関係は十分解明されているとはいえない。

本研究は、弾性波探査と電気探査に着目し、原位置で得られた弾性波速度分布・比抵抗分布を間隙率分布・飽和度分布に変換するシステムを用い、より正確に地盤評価を行なうことを試みたものである。

Key Words : geophysical prospecting, shotcrete, decrepit slope, conversion analysis, soundness evaluation

1. はじめに

1970年代まで、我が国で多く施工された吹付けコンクリートによる法面保護工は、施工後30年以上経過し、吹付けコンクリートの老朽化やコンクリート背面の空洞、あるいは地山の風化による法面の崩壊などの問題が顕在化している。現状では、老朽化した法面に対しては、道路巡回または道路防災点検で防災カルテなどを作成し、詳細調査の必要性があると判断された場合には、適宜物理探査などを実施して対策工の検討を実施するという流れで法面の管理を行っている¹⁾。

しかしながら、物理探査で得られる物理量と対策工の設計に必要な背面地盤の性状の定量的な関係は十分解明されているとはいえない。

そこで本研究では、背面地山の風化や地下水変動の評価に有効であると考えられる弾性波探査と電気探査に着目し、原位置で得られた弾性波速度分布・比抵抗分布を間隙率分布・飽和度分布に変換するシステム（以下、変換解析と称する）²⁾を用い、より正確に風化層厚さや含水状態の評価を行なうことを試みたものである。

なお、本研究で用いた物理探査結果は、近畿地方整備局が主催する「道路法面健全性評価検討委員会（委員長：大西有三京都大学教授）」における「調査手法検討部会（部会長：楠見晴重関西大学教授）」が平成18年度

に実施した現地実証試験の成果である。

2. 調査地点の地質概要

本研究の解析対象は、図-1に示すような和歌山県の国道42号線の吹付け斜面である。当地点の地質は、四万十帯の田辺層群に属している。田辺層群は、田辺湾を取り巻くように広く分布するもので、音無川層群や牟婁層群を不整合に覆う地層群である。これらの地層群は層厚1000mを超える泥岩・砂岩泥岩の互層・砂岩・礫岩からなり、当該地点の地質は泥岩である。

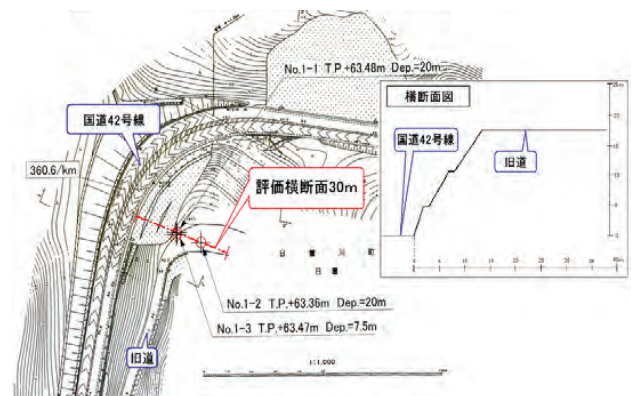


図-1 調査地点の地形

3. 調査地点の既往物理探査結果

(1) 弾性波探査結果

図-2に、高精度屈折法地震探査により得られた弾性波速度分布を示す。同図より、吹付け法面では深さ数m程度の弾性波速度1km/sec以下の領域が、天端では少し深く分布し、最深部の弾性波速度は3km/sec程度であることが確認できる。

(2) 電気探査結果

図-3には、高密度電気探査による比抵抗分布を示す。同図からは、法面近傍は岩盤表層の風化や含水率が少ないことが原因と考えられる高比抵抗の領域が広がっているが、岩盤内部ほど含水比が高く低比抵抗を呈しているのがわかる。なお、法面脚部の高比抵抗帯は吹付け背後に金属体が入っている影響と解釈されている。

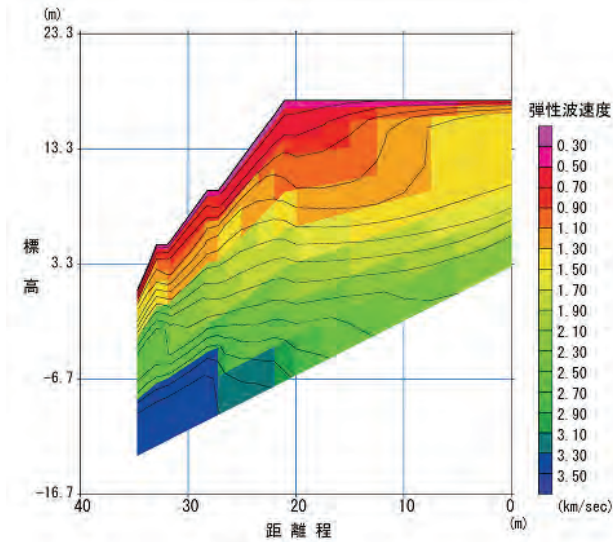


図-2 弾性波探査結果

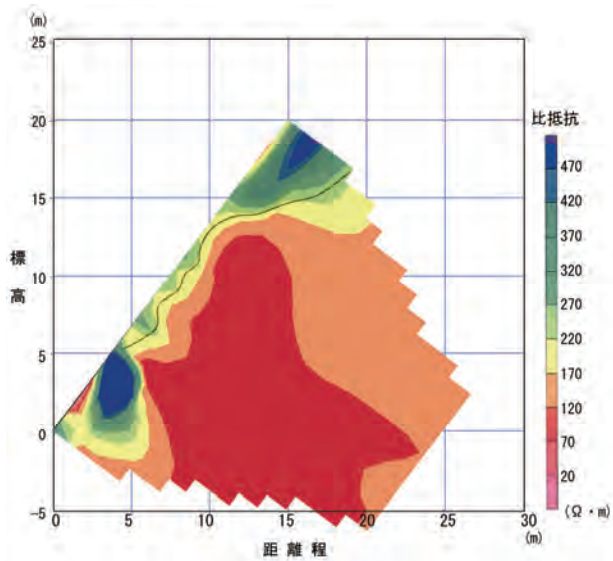


図-3 電気探査結果

4. 変換解析の概要

原位置岩盤における弾性波速度と比抵抗は異なる物理量ではあるが、岩盤の間隙率や水の飽和度を未知数として関係付けることができる。弾性波速度については式(1)に示すWyllieの式³⁾が、比抵抗については式(2)に示すArchieらの式⁴⁾が一般に知られている。

$$\frac{1}{V_p} = \frac{(1-\phi)}{V_m} + \frac{\phi \cdot Sr}{V_f} + \frac{\phi \cdot (1-Sr)}{V_a} \quad (1)$$

$$\rho = a \cdot \rho_w \cdot \phi^{-m} \cdot Sr^{-n} \quad (2)$$

ただし、

V_p : 岩盤の弾性波速度 (km/sec)

V_m : 岩石実質部の弾性波速度 (km/sec)

V_f : 間隙水の弾性波速度 (km/sec)

V_a : 空気間隙の弾性波速度 (km/sec)

ρ : 岩盤の比抵抗 ($\Omega \cdot m$) で比抵抗探査で求めたもの

ρ_w : 間隙水の比抵抗 ($\Omega \cdot m$)

a, m, n : 地質の違いによる係数 (変換パラメータ)

ϕ : 間隙率, Sr : 飽和度

Archieらの式については、最近の研究によれば、この式は砂層ではよく適合するが、岩盤ではあまりよく適合しないとされているので、本システムでは式(3)の並列回路モデルを採用するものとした。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{F \cdot \rho_w} + \frac{1}{\rho_c} + \frac{1}{\rho_0} \quad (3)$$

ただし、

F : 地層比抵抗係数 ($a \cdot \phi^{-m} \cdot Sr^n$)

ρ_c : 粘土等による間隙中の導電性粒子の比抵抗 ($\Omega \cdot m$)

ρ_0 : 岩石実質部の比抵抗 ($\Omega \cdot m$)

式(1)および式(3)は、間隙率 ϕ と飽和度 Sr を変換して、図-4に示すような、ひとつの岩盤要素(小要素に分割したセル)について、それぞれ次の連立した方程式として表される。

$$V_p = f(\phi, Sr) \quad (4)$$

$$\rho = g(\phi, Sr) \quad (5)$$

したがって、地山の弾性波速度と比抵抗とが既知であれば、式(4)と式(5)から逆解析(最適化手法)により、未知の間隙率と飽和度を求めることができる。

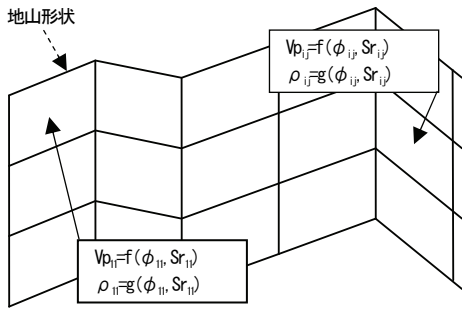


図-4 変換解析における岩盤要素のイメージ

5. 変換解析による評価結果

(1) 変換パラメータ

パラメータの決定においては、検討地点におけるボーリングコアまたは同地点から採取された岩塊を用い室内実験を行ない、変換パラメータを決定することが望ましい。しかしながら本研究では、図-5に示すボーリングを実施する前に解析を行ったため、従来の研究で構築されたデータベースを用い、パラメータを決定している。本研究においては、解析対象の地質が泥岩であるため、変換解析には表-1に示すパラメータを用いた。

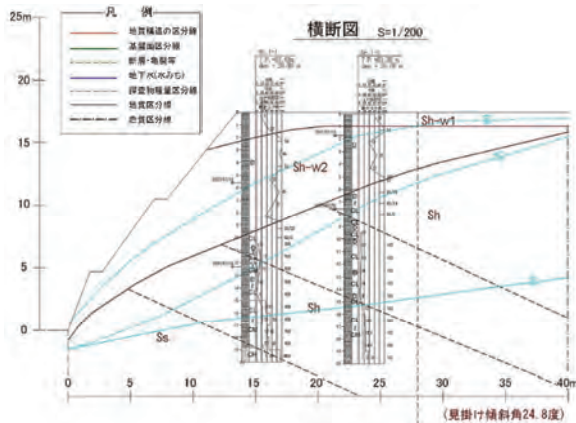


図-5 ボーリングによる地質構造評価結果

表-1 解析に用いた変換パラメータ

岩種	泥岩
地層係数 F の係数 a	0.1
間隙率 ϕ の指数 m	1.2
飽和度 Sr の指数 n	0.8
岩石実質部の弾性波速度 V_m (m/sec)	6,000
間隙水の弾性波速度 V_f (m/sec)	1,500
空気間隙の弾性波速度 V_a (m/sec)	330
岩石実質部の比抵抗 ρ_0 ($\Omega \cdot m$)	10,000
間隙水の比抵抗 ρ_w ($\Omega \cdot m$)	50
伝導性粒子の比抵抗 ρ_c ($\Omega \cdot m$)	3,000

(2) 間隙率分布

図-6に変換解析により得られた間隙率分布と、解析後に実施されたボーリング結果の比較を示す。同地点のボーリングより深度10m程度まではD級岩盤が続き、以深は徐々に硬質になっていくのがわかる。間隙率分布では間隙率0.2のコンタが概ねD級の境界と一致しているのがわかる。また、間隙率0.4以上の領域が法面脚部にはほとんどないが、上部になるにつれ広くなり、天端部分にも広く分布していることが認められる。

(3) 飽和度分布

図-7に変換解析により得られた飽和度分布と、解析後に実施されたボーリングによる地下水位の比較を示す。法面近傍では0.2以下の飽和度が、深部になるにつれ増加するのがわかる。また、今回の解析結果では飽和度0.4以上の領域がボーリングによる地下水位とおおむね一致するのが認められる。解析結果では、飽和度が全体的に低めとなったが、データベースから用いた変換パラメータが最適ではなかったことが原因と考えられる。

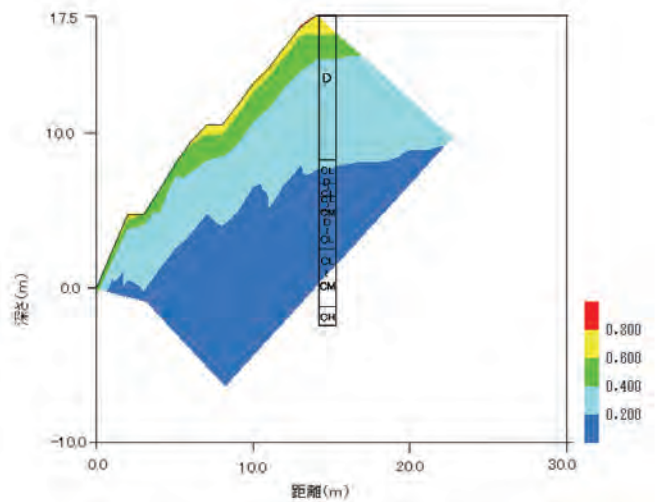


図-6 間隙率分布とボーリング結果の比較

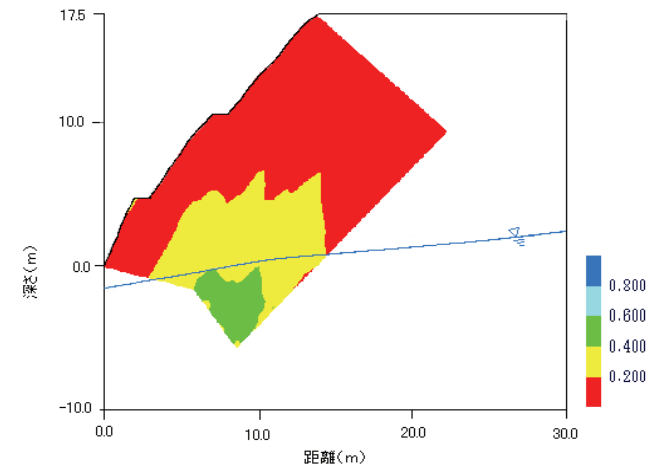


図-7 飽和度分布と地下水位の比較

6. おわりに

本研究では、地下構造物を計画・設計するにあたって事前調査としてよく利用される弾性波探査と電気探査に着目し、これらを老朽化した吹付け法面を対象に実施された調査結果を用いて、変換解析による評価を試みた。

変換結果が得られた間隙率分布より、表層の緩みが認められた。このことより、間隙率分布による評価が法面の風化の推定に有効である可能性を示した。

一方、変換解析より得られた飽和度分布では、絶対値についてはさらに検討を必要とするが、地下水の存在を予見できた。このことは、飽和度分布が湧水箇所の推定に有効である可能性を示したといえる。

今後の課題としては、まず当地点でボーリングが実施されているため、当該のボーリングコアを用いてパラメータの検討を行ない解析結果の精度を上げることである。このことにより、より正確な間隙率分布・飽和度分布を

得ることが可能となろう。さらに、崩落や湧水などの地山不良部がより多く見られる原位置において変換解析を適用することで、崩落や湧水・亀裂といったものの影響の定量的な評価を試みたい。

参考文献

- 1) 物理探査学会・斜面等健全性検討研究委員会編：老朽化吹付け法面の調査・対策の手引き，鹿島出版会，pp.25-29，2006.
- 2) 中村真，近藤悦吉，楠見晴重：併用探査によるトンネル施工ルート上の岩盤および湧水予測評価法，土木学会論文集，No.735/VI-59，pp.209-214，2003.
- 3) Wyllie, M. R., Gregoty, A. R. and Gardner, L. W. :Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, *Geophysics*, 21(1), pp.41-70, 1956.
- 4) Archie, G. E. :The Electrical Resistive Log as Aid in Determining Some Reservoir Characteristics, *Trans. A. I. M. E.*, Vol.146, pp.54-62. 1941.

THE ENGINEERING EVALUATION METHOD OF DECREPIT SLOPE BY COMBINATION OF SEISMIC VELOCITY AND ELACTLIC RESISTIVITY

Harushige KUSUMI, Tsuyoshi YAMAMOTO and Makoto NAKAMURA

A lot of shotcrete slopes mainly constructed in Japan by 1970's pass through over 30 years, and their deterioration processes continued. So, it is required to grasp efficiently the stability and the durability of these slopes.

In this paper, using our proposed technique that converted from seismic velocity and electric resistivity to porosity and saturation, we tried to evaluate weathering and groundwater fluctuation behind the slope. As the result, it is recognized that the distribution of porosity and saturation of rock mass around slope evaluated by this conversion system agree with those of the real rock mass conditions by boring results.