

風化帯走時の変化と層理特性を反映した切土のり面の実用的な健全度評価モデルの提案

九州大学大学院 学〇 荘 恵民

九州大学大学院 F 安福 規之 正 笠間 清伸

九州大学大学院 正 石藏 良平 正 アデル アロウェイシー

1. はじめに

切土のり面の多くには表層の侵食や風化防止を目的として表層保護された切土のり面工が施工されている。しかし、施工後数十年が経過したのり面工を調べると、風化によって背面の地山が脆弱化し、変状や崩壊をきたす場合が観測されている。このため、経年変化の特性をのり面の安定度に導入し、風化程度に応じた実務に展開可能なのり面の健全度評価法の必要性が指摘されている。

本研究では経年変化と構造的な要素を切土のり面の安定度指標に導入し、切土のり面の将来の風化帯走時 t を予測したのち、のり面安定度 F の算定式に基づいて健全性が損なわれる時期を確率分布として推定する予測モデルを提案し、その有用性について考察する。

2. 切土のり面の健全度評価法の考え方とその特色

切土のり面の表層から弾性波探査・速度検層を行うことで、図1のように表層から数十 cm から数 m のオーダーで弾性波速度 (P 波) が低速度となる層が現れる。本研究では、これを風化帯と定義し、参考文献1) では、切土のり面の風化帯の厚さ d (m) と P 波伝播速度 v (m/s) から式1より風化帯走時 t を求め、風化の程度を表す指標とした。

$$t = \frac{d}{v} \tag{1}$$

すなわち、 t が大きいほど風化の程度が相対的に進行していることを表現するものである。次に、切土のり面の傾斜角を θ 、層理面の傾斜角 (図2) を γ とし、参考文献2) では、層理と風化特性を反映した切土のり面の安定度 F を式2で表し、これをのり面の安定度を表す指標として定義した。

$$F = \frac{1}{\text{tsin}\theta(1+\text{sin}\gamma)} \tag{2}$$

本研究では式2に基づき、経年変化による切土のり面の健全性を評価する。式2に θ と γ は定数であり、風化帯走時 t だけ時間の変化と共に変化する。風化帯走時 t の経時的変化を予測することにより、切土のり面の安定度が評価でき、健全性が損なわれる時期を予測することが期待されている。

旧日本道路公団では、東名高速道路の松田 IC~多治見 IC 間の切土のり面を対象として、各のり面で弾性波探査を約 20 年間で 4 回測定した。一部の測定結果は図3に示す。そして、報告書で切土のり面が不安定になる誘因を調べると、豪雨による突然の崩壊が発生した切土のり面も複数あるが確認できた。特に、地球温暖化の原因で、豪雨等の年間発生回数は増加している傾向があることから、豪雨等の経年増加も切土のり面の経年劣化の誘因と見なし、風化帯走時の経年劣化を表現する算定式として、次式を導入し、その有用性を分析する。

$$t' = t_0 + aT^b \tag{3}$$

ここで、 t_0 : 初期風化帯走時、 T : 経過年数、 (a, b) : 経年劣化予測曲線の形を決めるパラメータ

t' で従来の安定度式の風化帯走時 t を置き換えると、予測安定度式は式4であたえられる。

$$F' = \frac{1}{(t_0+aT^b)\text{sin}\theta(1+\text{sin}\gamma)} \tag{4}$$

本研究では、ロジスティック回帰の考え方で健全度評価式を提案した。従来の判別分析と比べ、ロジスティック

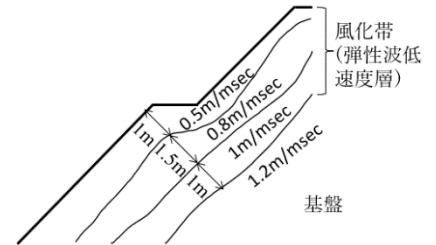


図1 風化帯の査定方法

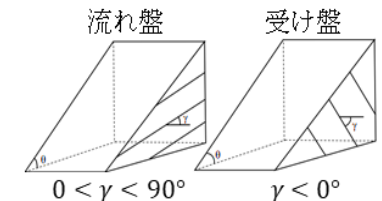


図2 傾斜角の定義

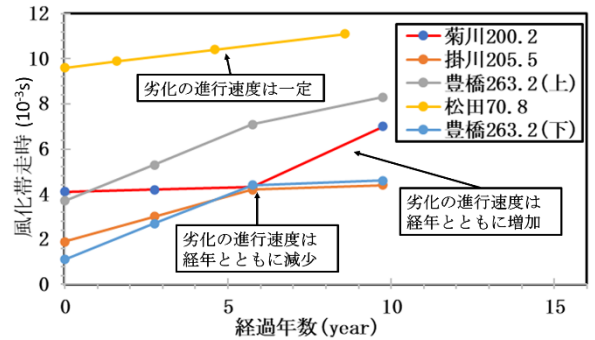


図3 風化帯走時と経過年数の関係

表-1 切土のり面の分類

分類	地質年代, 岩種
1	新第三紀, 泥岩砂岩互層 (泥岩優勢)
2	新第三紀, 泥岩砂岩互層 (砂岩優勢)
3	新第四紀, 崩積土
4	中生代, 変輝緑岩・緑色片岩混在
5	新第三紀, 礫岩
6	新第三紀, 砂岩・泥岩・礫岩混在
7	新第三紀, 安山岩

表-2 健全度評価モデルの正答率

アプローチ	正答率 (%)
1	58.6
2	89.5
3	93.4

回帰の利点は説明変数の目的変数に対する貢献度を明らかにできることである。安定度と保護工種類を説明変数にし、安定状況を目的変数にして作成した健全度評価式は、次式となる。

$$y = \frac{1}{1 + \exp\{-(\alpha + \beta_1 F + \beta_2 x_2)\}} \quad (5)$$

ここで、 y : 安定状況の判別得点、 β_1 、 β_2 : 回帰係数、 x_2 : 観測された切土のり面の保護工種類のデータ。

本研究では、切土のり面の不安定状況データを 0 にし、安定状況データを 1 にすると、ロジスティック回帰の考え方による判別得点 y は 0.5 より小さければ、不安定と判定し、大きければ、安定と判定できる。

3. 健全度評価モデルの提案

健全度評価モデルを作成するために、未知パラメータを推定する必要がある。本研究では、ベイズ推定³⁾に基づく三つのアプローチでパラメータをそれぞれ推定し、健全度評価モデルを作成した。モデルの正答率を比較することで一番良いアプローチを選ぶことにした。三つのアプローチの概要は下に示す。

アプローチ 1: ベイズ推定法で全法面データを分析し、パラメータを推定する。

アプローチ 2: 全法面データを岩種と地質年代によっていくつかグループに分けて、グループごとにベイズ推定法でデータを分析し、パラメータを推定する。

アプローチ 3: 全法面データを岩種と地質年代によっていくつかグループに分けて、階層ベイズモデル⁴⁾⁵⁾⁶⁾でデータを分析し、グループごとにパラメータを推定する。

地質年代と岩種による切土のり面を表 1 に示すような 7 グループに分けた。推定された式 5 中のパラメータの分布の例と各アプローチで推定された健全度評価モデルの正答率は、それぞれ図 4 と表 2 に示している。推定精度から見ると、アプローチ 3 で作った健全度評価モデルの正答率が、93.4% と最も高いことがわかる。

ベイズ推定により推定されたパラメータは図 4 に示すような分布を持つ確率変数である。従って、パラメータの分布を式 5 に代入すると、切土のり面が経過年数 T の時、健全度確率は式 6 で予測できる。

$$p\left(\frac{1}{1 + \exp\{-(\alpha + \beta_1 F + \beta_2 x_2)\}} > 0.5\right) \quad (6)$$

式 6 を用いれば、算出された健全度確率と経過年数から、健全度確率の予測曲線を描くことが可能となる。安定度評価モデルを検証した結果は図 5 に示す。結果から見ると、提案したモデルにより予測した切土のり面の中で、低健全度確率を示した多くののり面が、実際に不安定化したのり面と整合しており、提案モデルの有用性を示していると考えられる。特に、切土のり面の健全度確率が 40% の以下に落ちる時、不安定になる切土のり面の数が多くなることから、対策を取る一つの目安と読み取れる。

4. まとめ

本研究では、層理と経年劣化の特性を切土のり面の健全度評価の考え方に導入し、経年的に変化する切土のり面の健全度を式 6 示すように確率分布の変化として表現することを提案した。この考え方に基づいて、のり面の健全性を分析した結果、岩種と地質年代によってのり面をグループ化し、階層ベイズモデルでデータ分析する方法がもっとも正答率が高く、実際に良く表現することが明らかになった。加えて、切土のり面の健全度確率が 40% を下回ると不安定化するのり面が顕在化することも結果として示した。

5. 謝辞

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(A), 課題番号: 20H00266)の支援を受けて実施されたものである。最後に宇多涼太郎氏(現広島市役所)はじめ NEXCO グループの関係者の皆さまには、本研究を進めるうえで多大な情報提供をいただいた。ここに心より感謝を申し上げる。

参考文献:

- 1) 多賀直大, 田山聡, 奥園誠志, 八木沢隆哉: 長期追跡調査による切土のり面の風化の進行と安定性, 土と基礎 39-6(401), pp.41-47, 1991.3
- 2) 宇多涼太郎, 安福規之, 石蔵良平: 地層構造と風化特性を反映させた切土のり面の安定度評価について, 令和 2 年度土木学会西部支部研究発表会, 2021.03
- 3) 小森 政嗣: これからベイズ統計を使ってみたい人に, 日本音響学会誌, 2019 年 75 巻 6 号 p.351-357
- 4) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡 弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 2012 年 68 巻 4 号 p. 255-271
- 5) 深澤圭太, 角谷拓, 始めよう! ベイズ推定によるデータ解析, 日本生態学会誌, 2009 年 59 巻 2 号 p.167-170
- 6) 小川福嗣, 近田康夫, 橋梁点検データによる劣化予測に関する一考察, 構造工学論文集 A, 2018 年 64A 巻 p.120-128

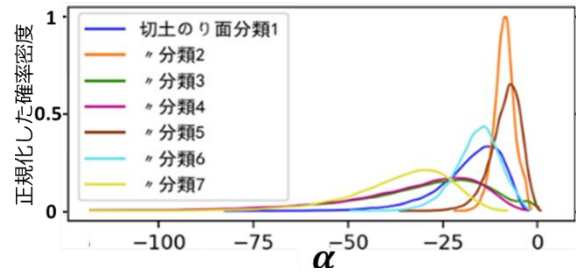


図 4 推定された分布の例

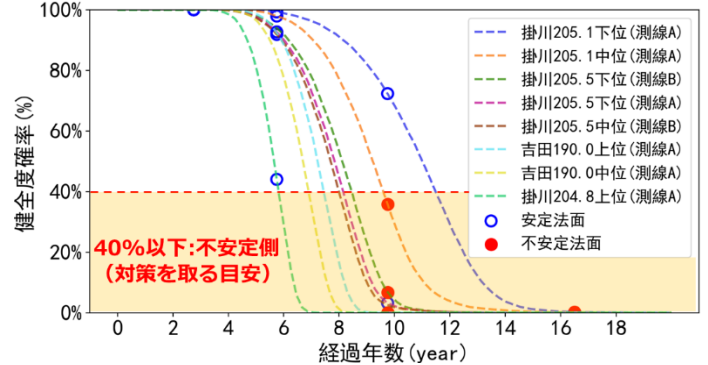


図 5 安定度評価モデルの検証