

第VI部門 吹付けのり面の性能低下のモデル化に関する研究

京都大学大学院工学研究科	学生員	赤木 舞
京都大学大学院工学研究科	正会員	大津 宏康
西日本高速道路株式会社	正会員	松山 裕幸

1. はじめに

高速道路における吹付けのり面は建設後 30 年以上を経て老朽化が進み現在その修繕が必要とされており、最適な維持補修計画の立案に際しては、アセットマネジメントの観点からの検討が注目を集めている。本研究では、吹付けのり面の性能低下の定量的な評価と判断指標のひとつとして各のり面に対するライフサイクルコスト(以下これを LCC と称す)の算定を目的とする。

吹付けのり面の老朽化による性能低下は、表面を覆っている吹付けコンクリートの劣化により生じた亀裂からの雨水の侵入などによって背面地山が風化されることで引き起こされる。背面地山の風化により地盤の粘着力が低下し、吹付けコンクリートと背面地山間の付着性が低下した結果、コンクリートと地盤が一体となって滑り落ちる現象(以下これをスライド現象と称す)が引き起こされる。

本研究ではこのスライド現象に着目し吹付けのり面の安定性評価手法を構築することにより、スライド発生時期の将来予測のモデル化を行う。将来予測においては、風化の原因となる自然ハザードなどの不確実性を考慮する必要性が生じる。そのため、金融工学分野で用いられる幾何ブラウン運動過程を導入し、不確実性を考慮した安定性評価手法を構築する。

2. 性能低下のモデル化における基本方針

(1) スライド現象のモデル化

実際のスライド現象の崩壊形態との類似性から、吹付けのり面の安定性評価には図-1 に示す斜面の表層崩壊モデルを適用する。

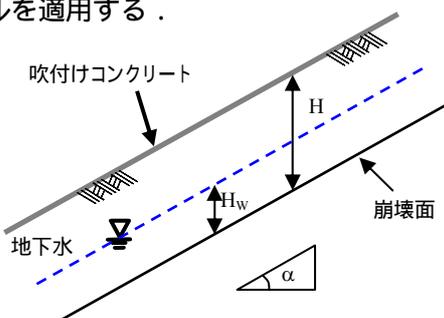


図-1 表層崩壊モデル

表層崩壊モデルにおいては、安全性は地山のせん断抵抗に対する上載加重の比で表され、その安全率は以下のように表される。

$$F_S = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H}\right) \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} + \frac{c}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha} \quad (1)$$

ここに、 γ_w は水の単位体積重量(kN/m³)、 γ は土の単位体積重量(kN/m³)、 c は地山の粘着力(kN/m²)、 ϕ は地山の内部摩擦力、 α はのり面の傾斜角、 H は風化された地山の層厚(以下これを風化帯厚さと称す)、 H_w は風化帯中の地下水位の深さを表す。

さらに吹付けのり面の健全性を評価する指標として、以下に示す性能関数 Q を定義する。

$$Q = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H}\right) \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} + \frac{c}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha} - 1 \quad (2)$$

本モデル化では、性能関数 Q において確率変数としてモデル化する物理量は粘着力 c と風化帯厚さ H とする。

1) 粘着力 c の低下

高速道路における吹付けのり面の追跡調査のデータを用いて粘着力の低下曲線を設定する。本研究では粘着力の低下は幾何ブラウン運動過程に従うと仮定する。幾何ブラウン運動過程とは、継続的な不確実性の影響を受ける長期的な変動を表す確率過程モデルで、株価などの経済、金融に関する値をモデル化する際に用いられ、以下のように定義される。

$$dX = \mu X dt + \sigma X \varepsilon \sqrt{dt} \quad (3)$$

ここに、 X は幾何ブラウン運動過程に従う時系列、 t は時間、 μ は平均的変動率、 σ は平均的変動率周りの変動特性を表す指標、 ε は標準正規乱数である。

本研究では、 μ を追跡調査のデータに対する回帰曲線の指数部分に予測年間をかけたものとし、 σ を追跡調査のデータの線形補完により求められる各年の粘着力の値の自然対数の差分行列の標準偏差とする。

2) 風化帯厚さ H の増加

風化帯厚さ H は、図-1 に示すようにのり面表面から

キーワード スライド現象 ライフサイクルコスト 幾何ブラウン運動過程

〒606-8510 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5104

崩壊面までの距離とする．崩壊面とは，追跡調査結果の弾性波速度が 1km/s 程度以下である低速度帯範囲の境界面と仮定する．

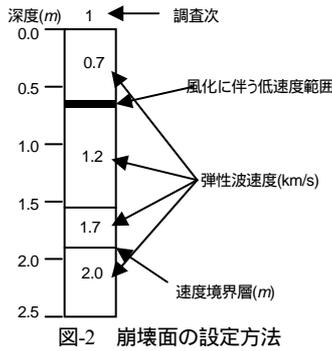


図-2 崩壊面の設定方法

多くの地山風化進行は約 100～200 ヶ月経過後に収束傾向が認められており¹⁾，また吹付けのり面は施工後 30 年以上経過していることから，風化帯厚さの将来予測は最新点検時のデータを確定値として用いる．

(2) スライドの発生時期

式(2)に示した性能関数が 0 以下となる時間を予測スライド発生時間とする．

3. LCC の算定式

構造物の建設，操業，維持のコストの総計を考慮することによって構造物供用年数の全体にわたり経済性を検討する方法で，式(4)で表される．²⁾

$$LCC = \sum_{i=0}^N p_{ai} C_h \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^i + \sum_{i=1}^N I \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^i \quad (4)$$

ここに， i は供用後経過年数， N は LCC 算定期間， p_{ai} は年スライド発生確率， C_h は崩壊時の損失額， I はある補修年毎の補修費用， ρ は社会的割引率(4%)とする．

(1) 年スライド発生確率の算定

幾何ブラウン運動過程に従うモデル化によるシミュレーションを N 通り行うとすれば 1 パスあたりの生起確率は $1/N$ であるため，ある期間 Δt にスライドが発生すると算定された総パス数に $1/N$ をかけたものをスライド生起確率とする．また， $\Delta t=1$ 年としたものが年スライド発生確率となる．

4. 実地盤への適用

本モデル化を実地盤の 5 地点に対して，各地点の最新点検時以降について本モデル化を適用した．一例として，A 地点の適用結果を示す．まず粘着力の追跡調査の測定結果は表-1 であり，それに対して回帰曲線を引くと図-3 となる．それを元に μ は -5.86， σ は 0.54 と算定される．なお，この変数の精度は計測頻度に依存

するため，計測データの蓄積が今後の課題である．

前記の数値を用いて，29 年次以降に対して粘着力の低下について将来予測を行った結果が図-4 となる．次に，風化帯厚さは本モデル化では一定値と仮定するため 29 年次の値である 1.7m とする．これらにより算定される性能関数の変化の様子が図-5 である．スライドが発生する年次の分布を表したものが，図-6 に示すヒストグラムで，これにより求められる年スライド発生確率を用いて LCC を算定した結果が図-7 であり，ここから LCC 最小補修年数が 18 年次であることが分かる．

表-1 粘着力の測定結果

調査年次(年)	粘着力(kN/m ²)
3	484.91
5	1860.20
11	33.93
16	33.93
29	243.39

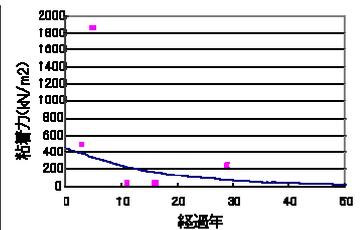


図-3 粘着力の測定結果と回帰曲線

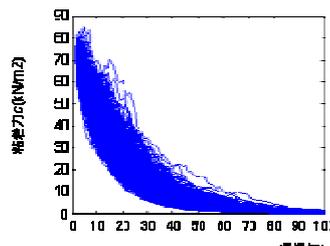


図-4 粘着力の低下の将来予測算定結果

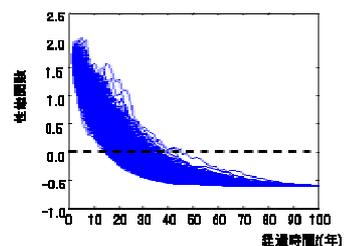


図-5 性能関数算定結果

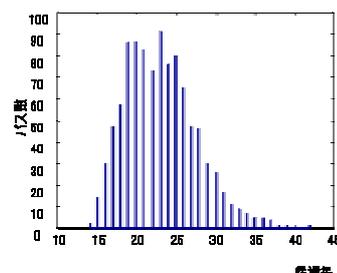


図-6 スライド生起確率関数の分布

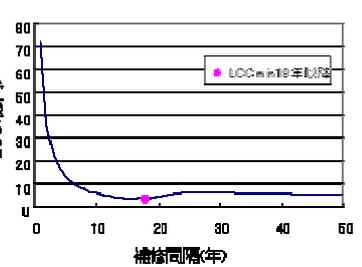


図-7 LCC 算定結果

5. まとめ

本研究では吹付け斜面を対象とした LCC 評価手法を提案したが，実務に適用するためには，今後原位置での調査データを蓄積することで，入力値の精度向上及びその適用性について検討を加える所存である．

参考文献

- 1) 日本道路公団試験研究所：切土のり面構造物の維持補修計画の精度向上に関する検討，2005．
- 2) 大津ら：斜面对策工の性能低下過程の不確実性考慮した LCC 評価，土木学会論文集，No.784/VI-66，pp.155-169，2005．