

戦略的維持管理手法の開発

Development of Strategic Methodology for Slope Maintenance

大 津 宏 康 (おおつ ひろやす)

京都大学教授 経営管理研究部

1. はじめに

斜面の維持管理については、従来より原位置で点検を実施すると共に、その点検結果に基づき補修という観点からの検討がなされてきた。しかし、道路斜面に代表されるように、社会基盤整備の一環として構築されてきた斜面の数は膨大であるため、ともすれば事後補修としての対応にならざるを得なかった側面を有する。もとより、斜面の維持管理では防災の観点から、従来からの点検による不安定斜面の抽出に関連するモニタリング技術の高度化が必要であることは言うまでもない。その一方で、これまでに蓄積された膨大な数となっている社会ストックである斜面を、予算制約の中でどのような優先順位をつけて、またそれぞれどのようなタイミングで補修・更新するかを戦略的に意思決定するための方法論の構築が必要となる。

このような状況の下で、昨今では道路構造物に代表される社会基盤構造物の維持・補修・更新については、その費用・便益を総合的に評価する方法論として、アセットマネジメントという概念が注目されるようになってきた。なお、道路構造物を対象とした場合には、アセットマネジメントの概念の適用は、舗装・橋梁が先行しているが、昨今斜面についてもアセットマネジメントの概念の重要性が認識されつつある。ただし、これに伴い斜面の維持管理における意思決定の判断指標について混乱が生じつつあるように推察される。このために、本研究においては、以下のような整理を試みる。

まず、斜面の維持補修問題について、点検結果に基づき検討対象とする不安定斜面を、図一1に示すように、以下の2種類に区分する。

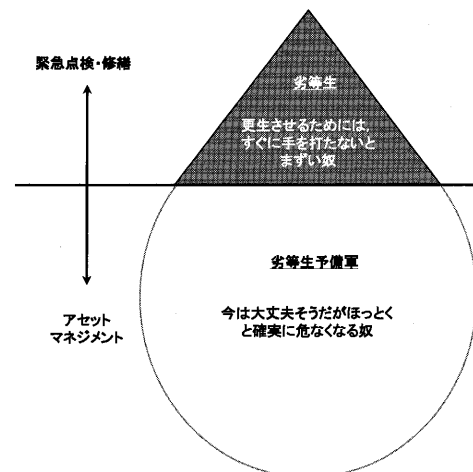
1) 劣等生

更生させるにはすぐに対策が必要である。つまり、不安定斜面の内、緊急に対策を必要とするものが相当する。

2) 劣等生予備軍

現状では大丈夫そうだが、将来確実に対策が必要である。すなわち、不安定斜面の内、将来的に対策を行う必要があると判断されるものが相当する。

このような分類の下で、劣等生と劣等生予備軍に対する予算的な措置は、以下のように区別されるであろう。すなわち、劣等生に対しては早急な対応が求められるために、突発的な出費が生じることになる。これに対して、劣等生予備軍については、緊急には対応する必要がない



図一1 劣等生と劣等生予備軍

表一1 不安定性斜面の取り扱い

分 類	内 容	判断指標
劣等生	更生させるためには、すぐに対策が必要	年間損失期待値(年間リスク) R_a
劣等生予備軍	現状では大丈夫そうだが、将来確実に対策が必要	期待ライフサイクルコスト LCC

ため、維持補修予算の平滑化が可能となることになる。これらの例を用いて説明を試みたことは、道路斜面におけるアセットマネジメントとは、緊急の対策を必要とする斜面をすべて補修した後に、適用されるものであることを示すためである。したがって、これらの事項を踏まえて、斜面の維持補修における不安定斜面の取扱いは、表一1に示すように要約されるであろう。

同表に示すように、例示的に不安定性斜面を分類できれば、対策の優勢順位付けの指標としては、劣等生および劣等生予備軍に対して、それぞれ年間損失期待値(以下年間リスクと称す) R_a および期待ライフサイクルコスト LCC を適用することが必要となる。なお、劣等生予備軍を対象とする場合には、将来的な安定性を評価するため、期待ライフサイクルコスト LCC の算定モデルにおいて、何らかの要因による斜面の性能低下を考慮することが必要となる。

このような観点から、本研究では、上記の対策の優勢順位付けに適用する2種類の指標の算定方法について概説すると共に、その適用事例について示す。

2. 斜面リスク評価モデル

リスク R を計量化する方法として、工学分野では、発生確率 p と損失 C の積として定義されることが一般的である¹⁾。この定義に基づき、表—1に示す年間リスク R_a は、降雨強度と条件付破壊確率を関係付けるフラジリティ曲線と、降雨強度の年超過確率を表す降雨ハザード曲線を、次式に示すように合積することにより算定される²⁾。

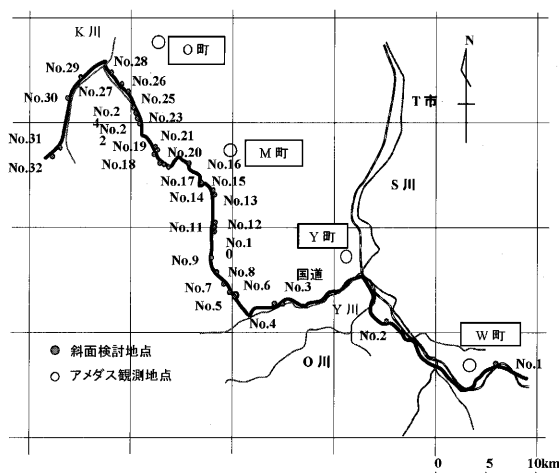
$$R_a = \int_0^{\infty} Cp(\alpha)\varphi(\alpha)d\alpha = - \int_0^{\infty} Cp(\alpha) \frac{\partial \Psi(\alpha)}{\partial \alpha} d\alpha \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 $p(\alpha)$ は降雨強度レベル α に対する条件付破壊確率、 $\varphi(\alpha)$ は降雨強度レベル α の発生確率密度、 $\Psi(\alpha)$ は降雨強度レベル α の年超過確率を表す。

式(1)に基づく斜面リスクの算定事例は、図—2(1)に示す国道に隣接する32箇所の斜面を対象とし、アメダス観測箇所毎に観測した降雨を自然ハザードを用いて、斜面リスクを評価したものである²⁾。なお、破壊確率の算定において、降雨に伴う表層崩壊を想定し、次式に示す性能関数 Q を用いている。

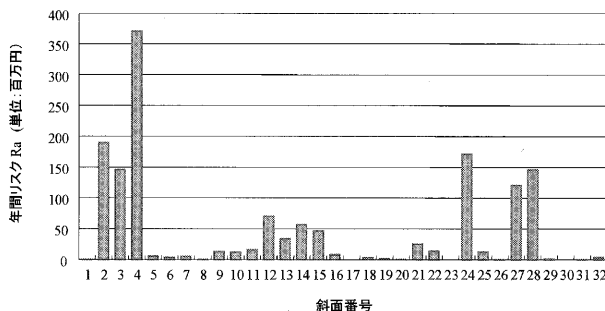
$$Q = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H} \right) \frac{\tan \phi + c}{\tan \theta + \frac{c}{\gamma H \sin \theta \cos \theta}} - 1 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで γ_w は水の単位体積重量、 γ は土の単位体積重量、 c は粘着力、 ϕ は内部摩擦角、 θ は無限斜面の傾斜角、 H は表層土の層厚、 H_w は表層土中の水深を表す。式



注) 図中の No.○内の数字は斜面番号を示す。

(1) 降雨観測地点と評価対象斜面



(2) 年間リスクの評価結果

図—2 斜面リスク評価事例

(2)に対して、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ を確率変数とし、一次近似二次モーメント法 FOSM により破壊確率を算定する。

なお、この解析条件については文献2)を参照されたいが、結果として得られた32箇所の斜面毎の年間リスクを図—2(2)に示す。同図に示すように、斜面 No. 4 の年間リスクが約370百万円で最大であり、斜面補強する優先順位が1位と判定される。この事例に示すように、表—1に示した劣等生に分類される斜面については、予算制約の下で、道路管理者に補修すべき斜面の優先順位付に関する情報を提供することが可能となる。

3. 期待ライフサイクルコスト評価

1.に述べたように、期待ライフサイクルコスト LCC の算定モデルにおいて、何らかの要因による斜面の性能低下を考慮することが必要となる。ここで、斜面の性能低下を引き起こす要因としては、風化等による地盤強度の低下、あるいは地下水排除工・グラウンドアンカー・吹付けコンクリート等の性能劣化等が想定される。

この斜面の性能低下を考慮する手法としては、次式に示すように、性能関数に含まれる確率変数の経時変化を考慮して、斜面の供用後の年間破壊確率を算定する方法が挙げられる。

$$p_{ai} = \int_0^{\infty} p_i(\alpha)\varphi(\alpha)d\alpha = - \int_0^{\infty} p_i(\alpha) \frac{\partial \Psi(\alpha)}{\partial \alpha} d\alpha \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、 $p_i(\alpha)$ は供用 i 年後の降雨強度レベル α に対する条件付破壊確率、 p_{ai} は供用 i 年後の年間破壊確率を表す。ここで、性能低下に対する対策工を想定し、対策工を m 年毎に更新し斜面を無限に供用するものとするれば、その斜面の年間破壊確率の推移は、式(3)に準じて以下の数列として表される。

$$p_{a1}, p_{a2}, \dots, p_{am}, p_{a1}^{(1)}, p_{a2}^{(1)}, \dots, p_{am}^{(1)}, \\ p_{a1}^{(2)}, p_{a2}^{(2)}, \dots, p_{am}^{(2)}, \dots \quad \cdots \cdots (4)$$

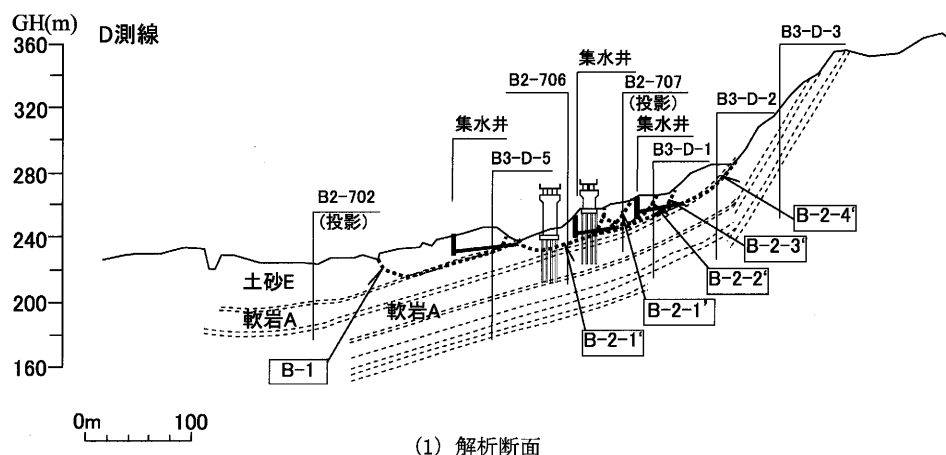
ここに、 $p_{ai}^{(j)}$ は、 J 回目の更新後の i 年目の状態での斜面の年間破壊確率を表す。

式(4)に示す年間破壊確率を総称して p_{ai}^* と表記すると、対策工を m 年毎に更新し斜面を N 年間供用する場合のライフサイクルコスト LCC_N は、以下のように算定される。

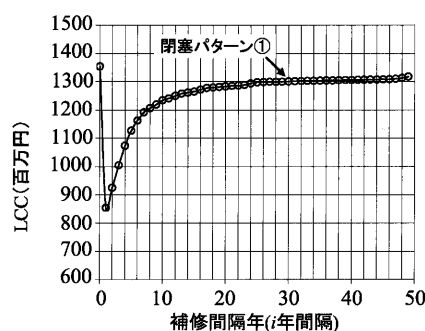
$$LCC_N = \sum_{i=1}^N p_{ai}^* C \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^{i-1} + \sum_{i=1}^N I(i+1) \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^i \quad \cdots \cdots (5)$$

ここに、 $I(i)$ は m 年毎に対策工を更新するのに要する費用を表す。具体的には、添字 i が m の倍数であるときのみ補修費を表し、その他の場合には0である。なお、この解析手法の詳細については、文献3)を参照されたい。

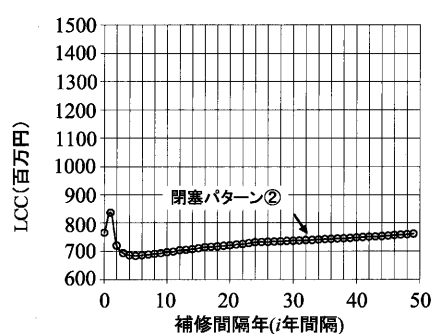
式(5)に基づく斜面の期待ライフサイクルコストの算定事例は、図—3(1)に示す高速道路に隣接する斜面を対象し、対策工である地下水排除工の性能低下過程を考慮したものである³⁾。この検討事例に関する解析条件については、文献3)を参照されたい。



(1) 解析断面



(a) 閉塞パターン①



(b) 閉塞パターン②

(2) 期待ライフサイクルコスト LCC (B-2-4'断面)

図—3 経過年数50年での期待ライフサイクルコスト LCC と補修間隔との関係

この算定結果として、図—3 (2)に50年後の期待 LCC の算定結果を示す。同図に示すように、B-2-4'断面の閉塞パターン①（地下水排除工の性能低下速度大）では、最適洗浄間隔が1～2年となっている。これは洗浄費用が損失期待値に比較して小さいため、ほとんど地下水排除工の機能低下をさせないほうが最適という結果を与えることになるものである。一方、B-2-4'断面の閉塞パターン②（地下水排除工の性能低下速度小）では、最適洗浄間隔が5年程度となっている。これは、地下水排除工の閉塞速度が遅い場合には洗浄間隔を長くすることが可能となる傾向を示すものである。なお、B-2-4'断面の閉塞パターン②の結果において、閉塞間隔1年の場合に洗浄を実施しない場合（図では補修間隔0年に相当）に比べて期待 LCC が増加する傾向を示す。このように、本検討で提案する期待 LCC 算定モデルは、地下水排除工の閉塞速度をパラメータとした期待 LCC の変動を明示的に表現することが可能となる。

4. ま と め

本研究では、斜面の維持補修の高度化の方法論として、

予算制約の中で、斜面にどのような優先順位をつけて、またどのようなタイミングで補修・更新するかに関する意思決定を行うための判断指標の基本概念、およびその適用事例について示した。本研究で示した手法は、多くの仮定および簡素化に基づくものであるため、今後は計測結果に基づきその安定性評価手法に関する高度化を進める所存である。

参 考 文 献

- 1) Benjamin, J. R. and Cornell, A. A.: Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, pp. 578 ~580, 1970.
- 2) 高橋健二・大津宏康・大西有三: タンクモデルを用いた地下水位変動挙動を考慮した斜面リスク評価に関する研究, 土と基礎, Vol. 51, No. 10, pp. 15~17, 2003.
- 3) 大津宏康・Nutthapon Supawiwat・松山裕幸・高橋健二: 地下水排除工の性能低下を考慮した斜面アセットマネジメントに関する研究, 土木学会論文集, No. 784/VI-66, pp. 155~169, 2005.

(原稿受理 2005.12.5)