

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○新村 知也  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたインフラ構造物は、長期の供用により劣化が確認され、予算制約の下で効率的な維持補修を行うことが求められており、アセットマネジメントの概念からの検討が注目されている<sup>1)</sup>。本研究では、インフラ構造物のうち道路斜面、特に斜面对策工である吹付けコンクリート工、およびグラウンドアンカー工の性能低下に注目する。両対策工の性能低下過程は以下のように要約される。

吹付けコンクリート工は、劣化により表面に生じた亀裂から雨水などが浸透し、背面地山が風化することで吹付けと背面地山が一体となって滑落する(スライド現象)。本研究では、この原因を風化による粘着力の低下と仮定し、モデル化を行う。

グラウンドアンカー工は、PCケーブルの腐食に伴う断面減少により導入力が低下することで崩壊が生じる。そこで導入力の低下を原因とし、モデル化を行う。

モデル化により、斜面の破壊確率が算定されライフサイクルコスト(LCC)の概念を用いることで、安定性のみでなく社会経済的効率性を考慮した維持補修計画の立案を試みる。

2. 性能低下過程のモデル化およびLCC算定手法

(1) 崩壊のモデル化

吹付けコンクリート工では、スライド現象との類似性から表層崩壊モデル(図1)を適用する。グラウンドアンカー工では、より一般的な崩壊形態である円弧すべり(図2)を適用する。

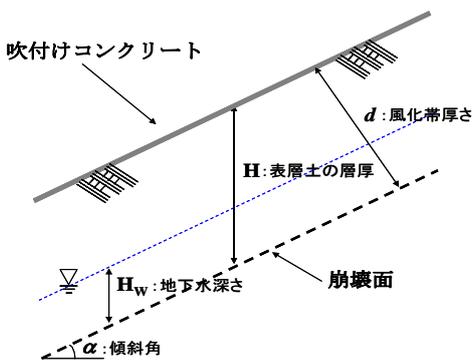


図1 表層崩壊モデル

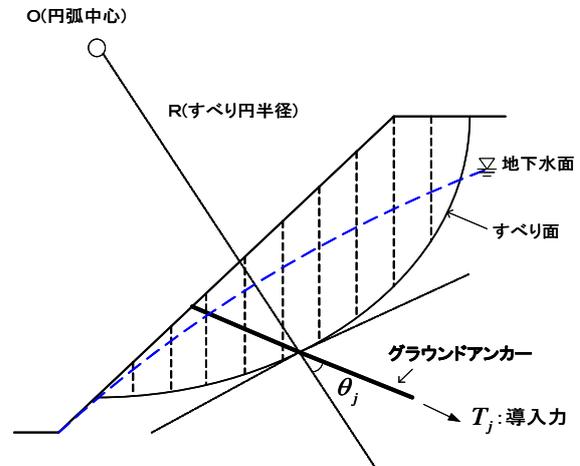


図2 円弧すべりモデル

安定性評価においては、性能関数  $Q$  を用いる。例として、吹付けコンクリート工の性能関数を式(1)に示す。

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

ここに、 $\gamma_w$ は水の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)、 $\gamma$ は土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)、 $c$ は地山の粘着力(kN/m<sup>2</sup>)、 $\phi$ は内部摩擦角(rad)、 $\alpha$ は斜面の傾斜角(rad)、 $H$ は表層土の層厚(m)、 $H_w$ は表層土中の地下水深さ(m)、図中  $d$ は風化帯厚さ(m)である。 $Q \geq 0$ の場合が安定である。本モデルでは次項で示すように性能低下過程の不確実性を考慮して、吹付けでは粘着力を、グラウンドアンカーでは導入力を確率変数として扱うため、性能関数も確率変数となる。これより、年破壊確率を算定する。

(2) 粘着力と導入力のモデル化

粘着力、および導入力の性能低下過程は、実測値に対して指数近似を行うことにより求める。数少ないデータから回帰曲線を求めるため、不確実性を含んでおり、回帰曲線(平均値 $\mu$ )周りに変動係数によりばらつき(標準偏差 $\sigma$ )を持たせることで性能低下過程を確率的に扱う。確率変数の分布型としては、正規分布、および対数正規分布を仮定する。

(3) LCC算定方法

求められた年破壊確率、実際の補修費、および損失額を考慮して、維持補修費用、およびリスクコストの

和で、LCC を算定する。

この LCC を、補修年次をパラメータとして算定し、LCC 算定値が最小となる年次を最適補修年次とする。

### 3. 実地盤への適用

#### (1) 吹付けコンクリート工

本モデル化を 9 地点に対して適用した。例として、A, B 地点(既崩壊)および C, D 地点(未崩壊)を示す。

図 3 は A 地点の粘着力低下の設定結果である。

表 1 に、A, B 地点のスライド発生年、その年の安全率、最適補修年次、および LCC 算定値を示す。理想的には安全率 1.0 で崩壊するため、この結果から安全率のみで補修の議論を行うことが必ずしも正しくないといえる。最適補修年次の比較では、A 地点の方が早く、LCC の算定金額も大きい。3 年次における安全率は A 地点が 5.51, B 地点が 1.86 であり LCC の結果と逆転が起こっている。本例のように安全率、および LCC の結果が逆転することもあり、このことから安全率のみで補修の是非を決めるのではなく、LCC 評価により社会経済への影響も含めた議論を行うことが肝要であるといえる。

次に表 2 に、C, D 地点の予測スライド発生年(安全率が 0 となる年次)、最適補修年次、および LCC 算定値を示す。安全率の観点からは補修時期はほぼ同時期であり、最適補修年次も大きな差異はない。しかし、LCC 算定値より、C 地点の LCC 算定値が D 地点の 1.7 倍程度となっており、C 地点の重要度の高さがわかる。このように、最適補修年次に大きな差異が見られない場合でも、LCC 算定値により斜面の重要度の順位付けが可能となる。

#### (2) グラウンドアンカー工

本モデルを 2 ケースの性能低下過程に対して、適用した。図 4 に導入力の性能低下率の設定結果を示す。

表 3 に、ケース 1(図 4 の赤線)、およびケース 2(図 4 の青線)ごとの、予測崩壊年、最適補修年次、および LCC 算定値を示す。どちらの地点も予測崩壊年より前に最適補修年次となっており、年破壊確率が急激に増加し始める直前が最適補修年次となる。このように、グラウンドアンカー工に対して実測値が限られている場合であっても、性能低下曲線を得ることができるのであれば、最適補修年次を算定することが可能であるといえる。

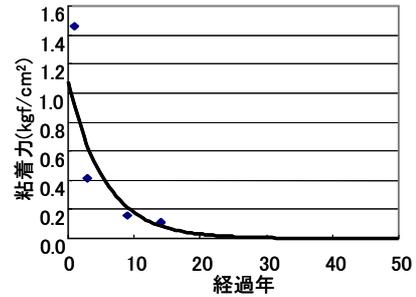


図 3 粘着力の低下概念図(A 地点)

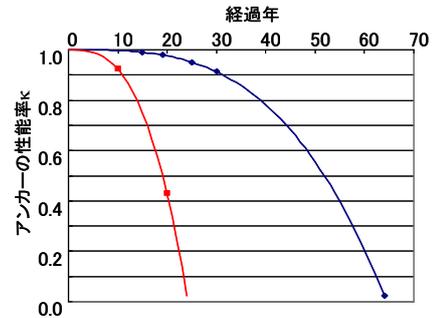


図 4 導入力の低下概念図

表 1 A, B 地点の算定結果

地点名	スライド発生年	崩壊時安全率	最適補修年次	LCC 算定値
A	14 年次	0.68	3 年次	3.77 億円
B	18 年次	0.89	13 年次	1.64 億円

表 2 C, D 地点の算定結果

地点名	予測スライド発生年	最適補修年次	LCC 算定値
C	46 年次	43 年次	4.17 億円
D	45 年次	39 年次	2.48 億円

表 3 グラウンドアンカー工の算定結果

	予測崩壊年	最適補修年次	LCC 算定値
ケース 1	22 年次	20 年次	0.84 億円
ケース 2	58 年次	55 年次	0.2 億円

### 4. まとめ

本研究により、吹付けコンクリート工、およびグラウンドアンカー工の維持補修計画の立案に対して LCC を指標とすることにより、安定性の観点だけでなく、社会経済的な重要度を加味した判断が可能となった。今後適用事例を増やすことにより、さらなる精度の向上が期待でき、本研究が体系的な維持補修計画立案の一助となると推察される。

### 参考文献

- 1) 大津宏康：吹付けコンクリート斜面の維持補修費評価に関する研究，2006。