

のり面崩壊要因評価へのファジィ理論の応用

山口大学工学部 正会員 西 邦正 山口大学工学部 正会員 中川浩二
日本道路公団 正会員 古前正徳 山口大学工学部 正会員 古川浩平

1. はじめに

切土のり面の安定性を客観的かつ定量的に評価する手法は確立されておらず、担当技術者が過去の施工実績や既設のり面の実態などを参考に主観的判断を行っているのが実状である。本研究では、建設時に崩壊が生じた切土のり面を対象とし、その際専門技術者が定性的に記述した工事報告などに基づいて「のり面評価表」を作成した。そして、のり面評価過程は専門技術者の経験的主観で構成されるファジィシステムであるとみなし、実際ののり面崩壊事例より外的基準として設定した「崩壊形態」からファジィ回帰モデルによるシステムの同定を行った。これより、のり面崩壊要因の評価および崩壊可能性の評価を行った。

2. のり面評価表について

表-1 のり面評価表

のり面崩壊要因としては、地山およびのり面が本質的に有する崩壊可能性の素因として地質要因、地形要因、土工要因を考え、工事報告書や建設時の資料の中から容易に抽出できる項目として計12要因（A：地山地質、B：土質分類、C：風化の程度、D：節理の状態、E：節理の傾斜、F：被覆層の厚さ、G：地下水・湧水の状況、H：斜面の横断形状、I：降雨水の集中度、J：のり高さ、K：のり勾配、L：のり面保護工）を採用し「のり面評価表」を作成した。そして、各要因は岩盤分類や過去の崩壊発生率などを参考に Very Low から Very High まで5つの評価ランクに分類した。なお、紙面の都合

要 因	地 質	地 形	要 因	評 価 ラ ン ク				
				Very Low	Low	Medium	High	Very High
地 質	A	地山地質		1. 岩質は極めて新鮮であり、構成粒子はまったく風化変質を受けていない。	2. 岩質は概ね新鮮であるが、部分的に多少風化変質している。構成粒子の固結程度は堅固である。	3. 構成粒子はやや風化変質しているものが多い。固結程度はやや軟弱な感じを受ける。	4. 構成粒子は風化変質しており、固結程度は低く軟弱な感じを受ける。	5. 構成粒子は著しく風化変質し、岩組織が失われている。固結程度は極めて低い。
	B	土質分類		1. 大部分が硬岩に分類される。コア形状は棒状である。	2. 概ね硬岩から軟岩に分類される。コア形状は棒状である。	3. 大部分が軟岩に分類される。コア形状は棒状である。	4. 概ね軟岩から土砂に分類される。	5. 大部分が土砂に分類される。
地 形	H	斜面の横断形状		1. 等高線が明瞭な谷部の斜面である。	2. 等高線が明瞭な尾端部の斜面である。	3. 等高線の出入りが少ない尾端部の斜面である。	4. 等高線の出入りが多い谷部の斜面である。	5. 等高線の出入りがない直線型斜面である。
	I	降雨水の集中度		1. 凸型等高線の散水斜面であり、集中度は極めて低い。	2. 凹型等高線の散水斜面であり、集中度は低い。	3. 凸型等高線の集水斜面であり、集中度は中くらいである。	4. 凹型等高線の集水斜面であり、集中度は高い。	5. 直線型斜面であり、集中度は極めて高い。
	J	のり高さ		1. のり高は非常に低い。 (高さ20m未満)	2. のり高は低い。 (高さ20m～30m)	3. のり高は中くらいである。 (高さ30m～40m)	4. のり高は高い。 (高さ40m～50m)	5. のり高は非常に高い。 (高さ50m以上)
	K	のり勾配		1. のり勾配は非常に緩い。 (1.2～1.5以上)	2. のり勾配は緩い。 (1.0～1.2)	3. のり勾配は普通である。 (0.8～1.0)	4. のり勾配は急である。 (0.5～0.8)	5. のり勾配は非常に急である。 (0.5未満)
要 因	L	のり面保護工		1. 土圧や滑動力に抵抗するための抗土圧型保護工である。(擁壁工およびアンカー工など)	2. 乾燥繰り返しによる風化を抑制するための密閉型保護工である。(コンクリート吹き付け工など)	3. 湧水による侵食防止を主目的とした開放型保護工である。(のり棒工など)	4. 表層侵食や凍上剝離の抑制を主目的とした無処理型保護工である。(植生工およびネット工など)	5. 無処理または緑化対策などを主目的とした植生工のみによる保護工である。

上評価表の一部を表-1に示す。ここで、採用していないその他の要因については、12項目の中のいずれかの要因に分散して従属しているものとする。

3. 外的基準について

降雨や地震などの崩壊誘因は、崩壊が発生する可能性を予測するための素因とは本質的に異なるため、のり面崩壊要因や外的基準とは独立して考慮すべきと考える。そこで、本研究ではのり面崩壊事例に基づき「崩壊形態」を外的基準として設定した。そして、崩壊形態（崩壊ランク）を前述ののり面評価表の評価ランクに対応させ、以下に示す5つのランクに分類した。

〈崩壊ランク1〉局所的な崩壊のみであり、全体の安定度は高い。 〈崩壊ランク2〉表層剝離など崩壊規模は小さい。(層厚0.3m未満) 〈崩壊ランク3〉小規模なのり面崩壊である。(層厚0.3～1.0m) 〈崩壊ランク4〉中規模なのり面崩壊である。(層厚1.0m以上) 〈崩壊ランク5〉のり面を含む大規模な崩壊である。

4. ファジィ回帰モデル

入力をはり面評価表の評価ランク、出力を予測崩壊ランクとする可能性線形システムは式(1)で表せる。

$$Y_i = A_0 + A_A X_A + A_B X_B + A_C X_C + A_D X_D + A_E X_E + A_F X_F + A_G X_G + A_H X_H + A_I X_I \\ + A_J X_J + A_K X_K + A_L X_L \quad (1)$$

ここで、 $X_A, \dots, X_L$ ははり面評価要因(A~L)の評価ランク(1~5)であり、 $A_0, \dots, A_L$ は式(2)で定義される対称な三角形ファジィ数を採用した可能性分布関数である。ここに、 β_j は中心、 C_j は可能性の幅を与え、出力ファジィ数 Y_i は式(3)で計算できる。

$$A_j = (\beta_j, C_j) \quad (2) \quad Y_i = \left(\sum_{j=1}^n \beta_j X_{ij}, \sum_{j=1}^n C_j |X_{ij}| \right) \quad (3)$$

ファジィ回帰モデルでは観測値 y_i と予測値 Y_i の差はシステム構造自体のあいまいさであると仮定し、線形システムの係数である可能性分布に依存すると考える。そこで、観測値がシステムの出力ファジィ数に可能性の度合い h 以上で含まれるように A_j を決定すれば、可能性線形システムを同定することができる。ここに、予測ファジィ数のメンバーシップ関数は式(4)で表せる。

$$\mu_{Y_i}(y_i) = 1 - |(y_i - X_i^T \beta) / (C^T |X_i|)| \geq h \quad (4)$$

5. ファジィシステムの同定結果および考察

本研究は、山口県に広く分布する三群変成岩(黒色片岩)での高速道路建設時において、変状が生じたのり面を対象として行った。ファジィシステムの同定結果を式(5)に示す。

$$Y = (0.05, 0.00) X_D + (0.09, 0.01) X_F + (0.13, 0.00) X_G + (0.36, 0.41) X_J \\ + (0.37, 0.00) X_K + (0.10, 0.08) X_L \quad (5)$$

このファジィシステムを構成する要因より、建設時におけるのり面崩壊は、節理の状態(D)、被覆層の厚さ(F)、地下水・湧水の状況(G)、のり高さ(J)、のり勾配(K)、のり面保護工(L)の6項目に代表される要因に支配されており、特にファジィ係数の中心値はのり高さ(A_J)とのり勾配(A_K)が比較的大きいことから、これらの2要因が崩壊規模を決定付けていると評価できる。これは、のり面の幾何学的安定性や掘削時の応力解放に伴う影響を考えれば、工学的にも十分理解できる。そして、節理が発達し被覆層厚が厚いほど、また片理面の滑剤となる地下水・湧水が多いほど崩壊規模は大きくなると評価できる。さらに、のり面保護工については、擁壁工などの抗土圧型保護工であれば崩壊規模は小さくなるが、植生工などの無処理型保護工では大きくなる可能性があることを意味している。

また、図-1は式(5)による予測ファジィ出力を各のり面ごとに図化した結果である。予測出力はファジィ数であるので、上限値、中心値、下限値からなる三角形で与えられている。たとえば、のり面番号1の予測値は上限値=2.91、中心値=2.14、下限値=1.37であり、観測値(実際値)は $y_1 = 2$ であった。これは、「全体の安定度は高いが、洗掘など局所的な崩壊か小規模ののり面崩壊が生じる可能性があるが、どちらかといえば表層剝離など小さい崩壊が生じる可能性が高い($\mu_{y_1} = 0.82$)」ということを表現しており、実際の崩壊形態は表層剝離(図中の丸印)であったことを意味している。

6. おわりに

本研究では、建設時に変状が発生した切土のり面を対象としている。そして、入力をはり面評価表の評価ランク、出力を崩壊形態の崩壊ランクとしてファジィシステムの同定を行った。その結果、得られたファジィ係数よりのり面崩壊要因、ファジィシステムより崩壊可能性の評価を行うことができた。

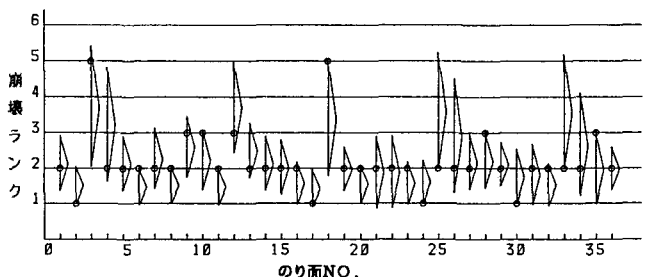


図-1 建設時のシステム同定結果