

40 地震時斜面崩壊予測におけるファジィ構造化作成手法について

建設省 土木研究所

吉松 弘行

○青木 隆典

大浦 二郎

1. はじめに

地震のように突発的な原因によって発生する斜面崩壊は、崩壊直前に予知を行なうことが困難であるため、地震によって崩壊する危険性の高い斜面を前もって抽出できることが望ましい。

危険な斜面を選別する手法として、斜面崩壊に精通した経験者による現地踏査によって情報を得、その判別を得ることは広く行なわれている手法であるが、しかしながら数多い斜面に対してその全てを経験者に踏査させることは困難であるため、この経験者にかわるエキスパートシステム開発の試みが本報文のねらいである。

昨年度の当学会において、既応の文献から得られた斜面崩壊の要因情報より、斜面崩壊の構造化を構築し、現地調査によって得られた情報をファジィ理論を用いて定量化し、崩壊発生、非発生の検証を行なうことの可能性について報告したところであるが、今年度は構造化を構築するにあたり、実際に経験者4名によるブレINSTOーミングを通して行なった。

2. 斜面崩壊の構造化とは

斜面崩壊のように種々の要因が相互に関与し合って発生する現象に対して、経験者がその危険度を判断する場合、斜面高さ、遷急線の有無、横断形状等といった諸要因を個々に組合せながら過去の経験と照合させて判断している。その場合「斜面高さは非常に高いが、遷急線は無い、横断形状は平坦な斜面であり、勾配は緩いから崩壊の危険性は少ない。」というような思考を重ねて結論を出している。このように経験者が頭の中で判断してゆくその過程を具体的に表わしているものが構造化である。

図-1中における $v \vee t$, $v t$, t は各要因の関連度の強さを表わしており

$$v \vee t \text{ (Very, Very, True)} > v t \text{ (Very, True)} > t \text{ (True)}$$

となっている。また“ $\cup$ ”あるいは“ $\cap$ ”はそれぞれ集合論上の和集合、共通集合を表わしている。このような崩壊要因の抽出、組み合わせ、関連度の強さ等はいづれも経験者どおしの対論、いわゆるブレINSTOーミングにより決定された。

3. 現地踏査の情報を定量化するためのファジィ理論の応用

斜面崩壊の要因としての情報は、「斜面高さが非常に高い」とか「遷急線が非常に明瞭である」とか、「斜面上部に凸凹がある」といった人間の主観的判断にもとづくあいまいな情報（いいかげんな情報とは違う）にもとづいており、その境界をはっきりと区分することは困難な場合が多い。ファジィ理論とはこのような境界のぼんやりとした情報をコンピュータ処理することにより定量的に表現する手法である。ある要因について、その程度を表わす表現をファジィ理論ではメンバーシップ関数と称している。（図-2）

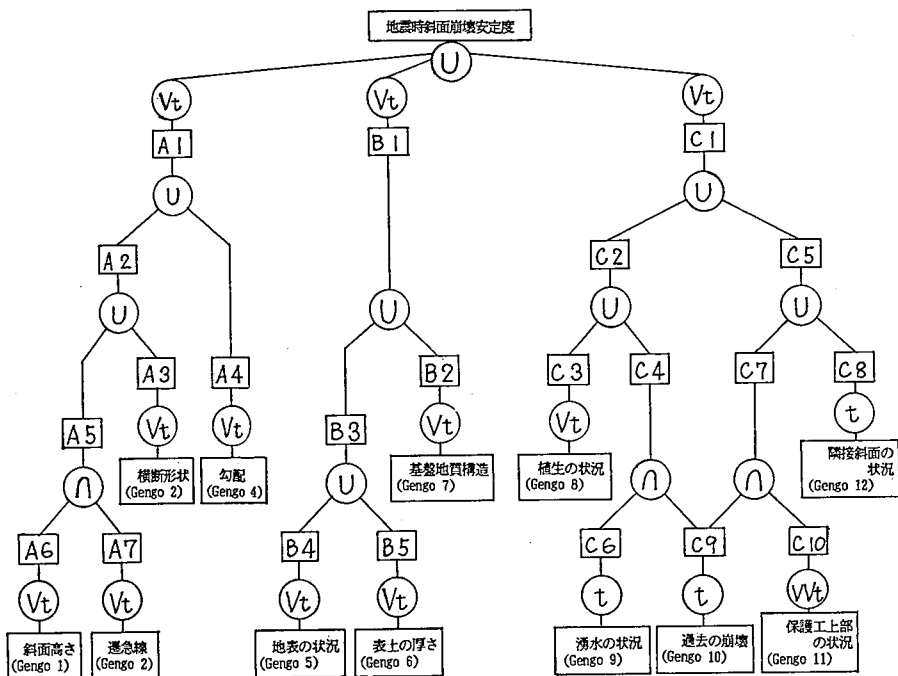


図-1 地震時斜面崩壊の構造化

表-1 地震時の斜面崩壊に関するファジィ言語関数表

斜面崩壊要因	メンバー関数	設 定	斜面崩壊要因	メンバー関数	設 定
1. 斜面高さ (Gengo 1)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	非常に高い 高い 普通 低い 非常に低い	7. 基盤地質構造 (Gengo 7)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	顕著な流れ盤である 流れ盤である 受け盤である 顕著な受け盤である 水平である、地質構造なし
2. 遷急線 (Gengo 2)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	—— 遷急線が非常に明瞭である 遷急線が明瞭である 遷急線がない	8. 植生の状況 (Gengo 8)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	—— 草地 針葉樹 雑木林
3. 横断形状 (Gengo 3)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	オーバーハングがある 斜面上部に凹凸がある 斜面全体に凹凸がある 斜面下部に凹凸がある 平坦な斜面である	9. 湧水の状況 (Gengo 9)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	—— 常に湧水がある 豪雨時には湧水がある 湧水の現象は見られない
4. 勾配 (Gengo 4)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	非常に急である 急である 普通 緩い 非常に緩い	10. 過去の崩壊 (Gengo 10)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	古い崩壊地がある 新しい崩壊地がある 崩壊地は認められない ——
5. 地表の状況 (Gengo 5)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	亀裂が発達、開口しており 転石、浮石が点在する 風化亀裂が発達した岩である れき混り土、砂質土 粘質土 風化亀裂が発達していない岩である	11. 保護工上部 の状況 (Gengo 11)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	10m以上掘削したままの斜面あり 5m以上掘削したままの斜面あり 5m未満掘削したままの斜面あり 掘削したままの斜面なし
6. 表土の厚さ (Gengo 6)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	非常に厚い 厚い 普通 薄い 非常に薄い	12. 隣接斜面の 状況 (Gengo 12)	1. Very High 2. High 3. Medium 4. Low 5. Very Low	古い崩壊跡地がある 新しい崩壊跡地がある 崩壊跡地は認められない ——

遷急線を例にとるならば「遷急線が非常に明瞭である」、「遷急線が明瞭である」、「遷急線が無い」という区分となる。現地を調査する人は相当すると思われるメンバーシップ関数を選定するわけであるが、図-2からみうけられるように各々の関数はそれぞれ重なり合った領域を有している。これは自然斜面の情報を調査する場合、明らかにAであるとかBであると判別される場合は希であり、ほとんどの場合は、この事象はAだと思われるが、ややBのところもあるといった状態がほとんどであり、その度合は調査する人によっても多少づつ差違が生じるものである。このようなあいまいさを無理なくとり入れるため、このような重なり合った領域を設定している。この範囲についてもブレンストーミングにより決定している。

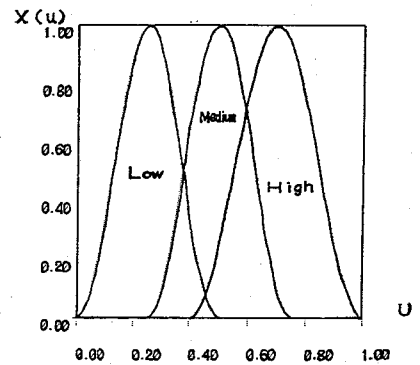


図-2 遷急線に関するメンバーシップ関数

4. ファジィ演算による斜面崩壊危険度の評価について

ファジィ演算は要因として表-1に示される各要因のメンバーシップ関数を図-1における構造化のGengo1～Gengo12までに入力し、各々の関数度にあわせて合成してゆくことにより最上段に地震時の斜面安定性として1つに合成されたメンバーシップ関数を得る。図-3に最上段に出力されたメンバーシップ関数の例を示す。なおこの例は入力するメンバーシップ関数をすべて(3)mediumとした場合に相当している。

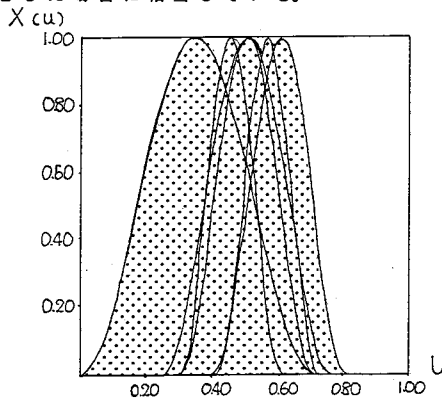


図-3 地震時斜面崩壊安定度として
最上段に出力されたメンバーシップ関数

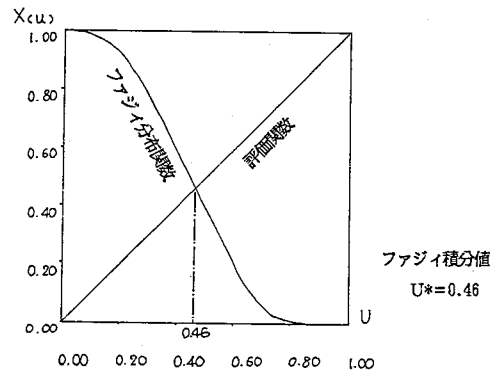


図-4 ファジィ積分結果

図-3に示されるメンバーシップ関数が、斜面における最終的な危険度を表しているが、このままでは形が複雑であり評価が困難である。そこで危険度を具体的な数値として表現するため、ファジィ積分を用い出力されたメンバーシップ関数を定量的に評価する。ファジィ積分は図-3で出力されたメンバーシップ関数を離散化し、最大値が1になるように正規化しファジィ分布関数を求め、評価関数との交点の値(ファジィ積分値)により、危険度を評価する。(図-4)

5. 実例による検証

前述されたように各々の斜面についてファジィ積分値が求められ斜面の危険度が数値として表されているが、これが想定される震度に対して崩壊するか否かの判断を行なうには、その境界値となる積

分値を定める必要がある。今回は昭和62年12月17日に千葉県東方沖地震により発生した斜面崩壊を例としてとりあげた。今回検証に使用したデータは崩壊斜面13ヶ所、非崩壊斜面19ヶ所の計32ヶ所である。まず崩壊斜面のみを用いてファジィ積分値を求めると表-3のごとくなり平均値は0.50標準偏差0.012となった。従って境界ファジィ積分値として標準偏差の下限値として0.448とした。この値を用いて崩壊、非崩壊斜面について検証したところ正解判別数は29となり

$$\text{判定率}(\text{正解判別数} \div \text{検証総数}) = 29 \div 32 = 90.6 \quad (90.6\%)$$

となった。

表-2 千葉県東方沖地震による検証結果一覧表

斜面番号	分類	崩壊要因入力メンバーシップ関数	ファジィ積分値	正誤判定	適用
		(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)(12)			
1	崩壊斜面	2 4 5 3 3 1 5 4 4 3 4 1	0.501	正	平均値 0.503
2		2 3 3 2 3 1 5 4 2 1 4 1	0.510	正	
3		3 3 3 3 3 1 5 4 4 1 4 3	0.500	正	
4		3 4 2 3 3 3 5 2 4 1 1 1	0.520	正	
5		3 4 2 2 3 1 5 2 4 2 4 1	0.520	正	
6		3 3 2 1 3 3 5 4 4 1 4 2	0.511	正	
7		2 3 3 3 3 2 5 3 2 2 4 2	0.500	正	
8		3 3 2 2 3 2 5 3 4 1 4 1	0.510	正	
9		2 2 5 3 3 5 5 3 4 3 4 1	0.500	正	
10		3 3 5 3 3 5 5 4 4 3 4 3	0.437	誤	
11		3 2 1 2 3 2 5 4 4 1 4 1	0.520	正	
12		2 3 2 2 3 2 5 4 4 1 4 1	0.517	正	
13		3 3 5 1 2 4 5 2 4 3 4 3	0.490	正	
14	非崩壊斜面	2 4 3 2 2 3 3 5 3 4 1 2	0.458	正	平均値 0.451
15		2 3 3 4 3 4 5 2 4 1 4 1	0.510	誤	
16		3 4 5 3 3 4 5 3 4 3 4 3	0.440	正	
17		3 4 5 3 3 3 5 4 4 3 4 3	0.440	正	
18		3 2 3 3 3 3 5 4 3 3 4 3	0.444	正	
19		3 4 5 3 3 2 5 3 4 1 4 1	0.500	誤	
20		3 3 3 3 3 3 5 3 4 2 4 2	0.468	正	
21		3 3 5 3 3 5 5 4 4 3 4 3	0.437	正	
22		2 2 3 3 3 3 5 4 2 1 4 2	0.460	正	
23		2 2 3 3 4 3 5 4 2 1 4 2	0.450	正	
24		4 4 3 3 3 4 5 4 2 3 4 3	0.442	正	
25		3 4 5 3 3 4 5 4 2 3 4 3	0.440	正	
26		3 4 5 4 4 5 5 4 4 3 4 3	0.400	正	
27		3 4 5 3 3 3 5 3 4 1 4 3	0.440	正	
28		3 4 5 3 3 2 5 4 4 3 4 3	0.437	正	
29		3 4 4 3 3 3 5 3 4 3 4 3	0.445	正	
30		3 4 2 3 3 3 5 4 4 2 4 2	0.470	正	
31		2 3 5 3 3 4 5 3 4 3 4 3	0.440	正	
32		3 3 5 3 3 4 5 4 4 3 4 3	0.440	正	

6. 評価と問題点

今回の検証の評価としては、調査する現地斜面を崩壊の発生、非発生が明瞭な箇所のみを抽出して調査を行なったこと、同一人による終始一貫した調査が行えたことなどの好条件により高い判定率が得られたものと思われる。しかしながら現手法においては、斜面の危険度をファジィ積分値により表しているものの、崩壊発生、非発生を分離する境界値の設定においては、過去の地震斜面崩壊事例から行なっている。従って過去に災害事例の存在する地域にしかその境界値を設定することが出来ない問題点がある。今後は工学的な安定解析を構造化の中にとりくむことにより、ファジィ積分値に斜面の安定率としての意味をもたせ、地震災害を経験していない地域への予測手法として適用できるよう検討して行きたい。