

12 ファジィ理論による地震時斜面崩壊の予測法

建設省 土木研究所

吉松 弘行

長野県土木部 上田建設事務所

三井 宏人

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○千葉 淳

1. はじめに

地震時の斜面崩壊に対する数多くの研究は、地震が発生した場合に該当斜面の安定性を解析的に検討するとを主体に行なわれてきており、過去の被災事例に基づいて崩壊予測を行なった研究事例が少ない。しかし、過去の被災事例の中には、地震時の斜面崩壊現象に関する数多くの情報が含まれており、これらの情報を活用できれば地震時の斜面崩壊現象の予測に大きく役立つと考えられる。

本解析では、人間の有する総合判断力を解析の中に導入できるファジィ理論を用い、過去の被災事例より、地震時の斜面安定度を事前に評価できるシステムを構築することを目的としている。

本解析で用いたデータは、昭和53年1月に発生した伊豆大島近海地震において、伊豆半島南部河津町を中心とした100 kmの範囲の833件の斜面（崩壊(437件)、非崩壊(396件)）である。

2. ファジィ理論の概要

ファジィ理論は、人間の主観性、つまり、人間のあいまいな情報を数値的に取扱う理論で1965年にアメリカのL. Aサディー教授により提案された理論である。ファジィ理論の中には、ファジィ推論、ファジィ積分、ファジィ制御などの解析手法がある。ここでは、ファジィ理論の基礎となるファジィ集合論について説明する。今まで

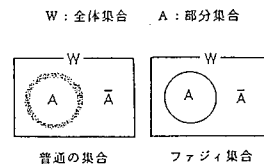


図-1 ファジィ集合の概念図

の一般的集合理論では、2種類の集合を分類する場合に境界値を用いて分類していた。ファジィ集合論では、図-1に示すようにその境界をあいまいなものとしてとらえることが可能となる。その“あいまいさ”を示す指標とし、メンバーシップ関数を用いる。例えば、全体集合(W)を身長140 cm～200 cmとし、“身長が高い”を表わす集合は、身長が高い = $\{1.0/200, 0.8/190, 0.5/180\}$ と表わす。ここで、/はセパレーターであり、セパレーターの前の数字が、“身長が高い”に対する帰属度で、後の数字が要素を示す。ファジィ理論では、このメンバーシップ関数を用い、人間の“あいまいさ”を定量的に表現し合成演算を行うことにより評価を行うものである。

3. 地震時の斜面崩壊機構の構造化

ファジィ推論、ファジィ積分を用い地震時の斜面崩壊を予測しようとする場合には、地震時の斜面崩壊機構を構築する必要がある。

本解析における地震時の斜面崩壊機構の構造化については以下の手順により行った。まず、既往文献より地震時の斜面崩壊に関与すると思われる項目を列挙し、KJ法を用いて要因を抽出する。次に求めた要因に対し要因間の結びつきの強さをブレンストーミング法により決定し、地震時の斜面崩壊機構の構造化を構築した。図-2に、本解析で構築した地震時の斜面崩壊機構に関する構造化を示した。図-2の構造化では、地震時の斜面崩壊が、「表土の厚さが薄く、表土が良いことは、Very

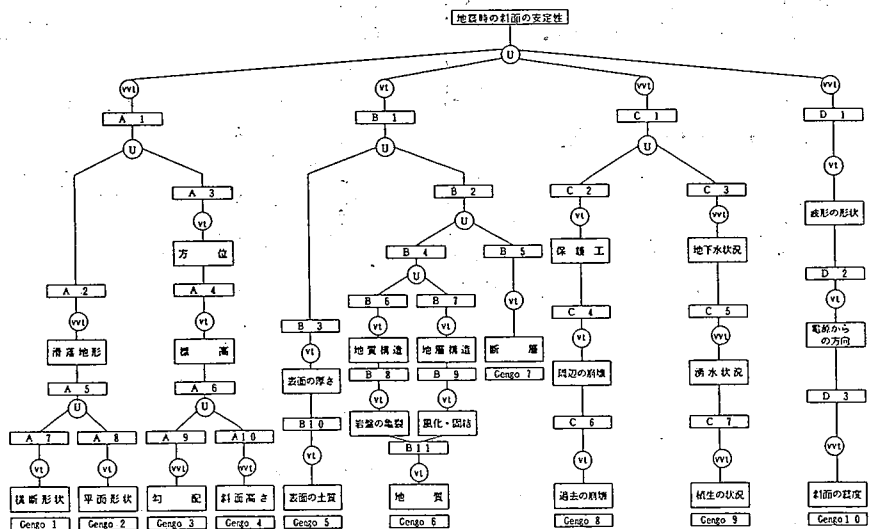


図-2 地震時の斜面崩壊機構に関する構造化

ture」、「滑動地形がなければ、横断形状が良いことは、Very Very ture」といった推論が多数組合さって地震時の斜面崩壊を規定していることを意味している。本解析では、図-2の構造化を基本にし地震時の斜面崩壊予測について評価を行うものである。

4. 地震時の斜面崩壊に関するファジィ推論

ファジィ推論では、図-2に示される地震時の斜面崩壊機構の構造化において、重要度の高い最下層に選定された要因について、地震時の斜面崩壊に及ぼす影響度を検討する。

ファジィ推論の検討手順は、選定された各要因についてファジィ集合を求め、伊豆大島近海地震における斜面崩壊率との関係をメンバーシップ関数により定義しファジィ関係を求める。次に、「地震時に斜面崩壊が発生しない」という命題を与え、ファジィ演算を行い出力されたメンバーシップ関数を図-3に示すファジィ真理値と比較することにより命題の評価を行う。

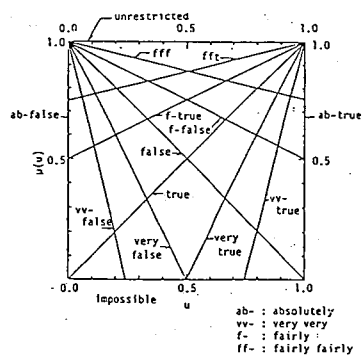


図-2 ファジィ真理値図

図-4に、伊豆大島近海地震のデータを用いファジィ推論を行った結果を示す。図-4において、(a)は地形要因（横断形状、平面形状、勾配、斜面の高さ）、(b)は地質要因（表面の土質、地質、断層）、(c)は環境要因（植生の状況）、(d)は地震要因（斜面の震度）の検討結果を示した。

図-4の(a)～(d)において、地質要因の断層、表面の土質以外、地震時の斜面崩壊に対し出力されたメンバーシップ関数は、図-3に示すファジィ真理値図の“false”の傾きに似ている。このこ

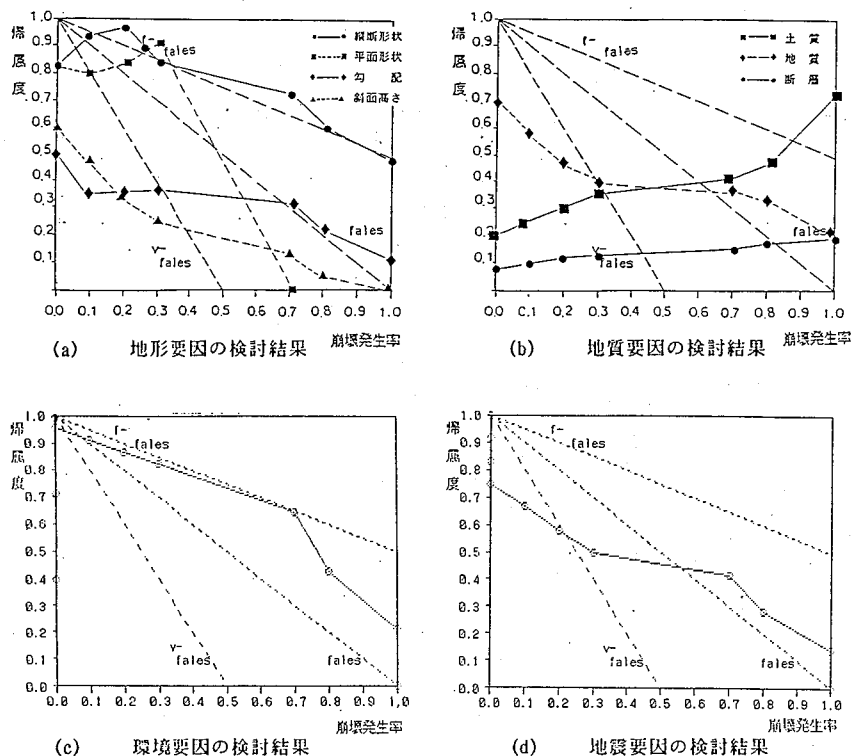


図-4 地震時の斜面崩壊に対するファジィ推論結果

とは地質要因の断層、表面の土質を除いた、地形要因、環境要因、地震要因の影響により、“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が、“偽”となり、地震時の斜面崩壊に対し影響要因となる。また、今回の解析データでは、地質要因の断層、表面の土質について出力されたメンバーシップ関数が、図-3に示すファジィ真理値図の“ture”の傾きに似ている。このことは、地質要因の断層、表面の土質の影響により、“地震時に斜面が崩壊しない”という命題が“真”となり、地震時の斜面崩壊に対しあまり影響しない要因であることを示している。

以上のファジィ推論による検討では、地震時に斜面が崩壊する場合、地形要因、環境要因、地震要因の影響が大きく、地質要因の影響が小さい結果となった。この結果を基礎に、図-2に示される地震時の斜面崩壊に関する構造化における各要因グループの重みを設定した。

5. 地震時の斜面崩壊に関するファジィ積分による評価

ファジィ積分では、地震時の斜面崩壊の可能性の大小を、High, Medium, Lowといった図-5に示すファジィ言語関数を用いて、ファジィ演算を行い地震時の斜面崩壊について定量的に評価する。

ファジィ積分の計算方法は、図-2に示す地震時の斜面崩壊に関する構造化の最下層（Gengo(1)～Gengo(10)）に、図-5に示すファジィ言語関数を評価しようとする斜面の状況に応じて入力する。入力されたファジィ言語関数を図-2に示す構造化の下層レベルから上層

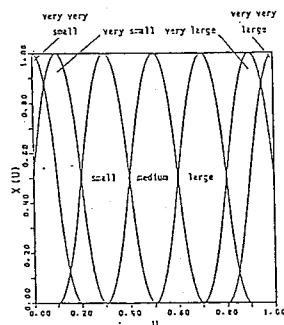


図-5 ファジィ言語関数

レベルに向かってファジィ演算を進め最

終的に出力されたメンバーシップ関数

により評価する。ここで、図-5に示

すファジィ言語関数における横軸(u)

は、 $u = 1$ で地震時に崩壊が発生し、

$u = 0$ で崩壊が発生しないことを表わ

しており、縦軸の帰属度 $\mu(u)$ は、

横軸(u)の値の確からしさを示してい

る。

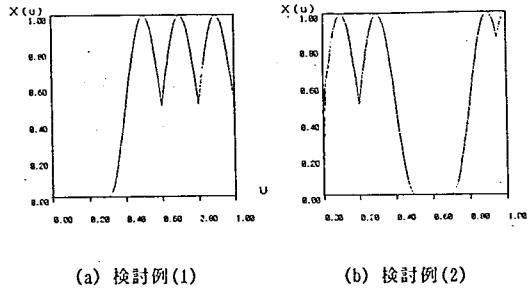


図-6 伊豆大島近海地震に対する検討結果

図-6に、伊豆大島近海地震のデータを用いて検討した結果を

示した。また、図-6の横軸、縦軸は、図-5のファジィ言語関数

と同様に $u = 1$ に近づく程地震時に斜面崩壊が起きやすいことを示

している。しかし、図-6の出力されたメンバーシップ関数は非常

に複雑な形をしている為に崩壊に対する危険度の評価が難しい。そ

こで、ファジィ積分を用い出力された言語関数を定量的に評価する。

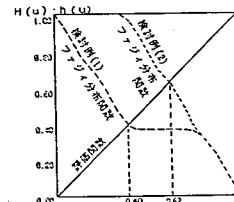


図-7 ファジィ積分結果

ファジィ積分は、図-6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

関数を求める。次に、評価関数を設定し

ファジィ分布関数との交点の値(ファジィ

積分値)により、地震時の斜面崩壊に

対する危険度を定量的に評価する。

図-7に、図-6に出力されたメンバ

ーシップ関数のファジィ積分値を示した

検討例(1)のファジィ積分値は、0.40、

検討例(2)のファジィ積分値は、0.62で

検討例(2)の方が危険側にあることが定量的に評価することが出来る。図-8に、伊豆大島近海地震

時のデータ833件の検討結果を示した、崩壊・非崩壊の境界を設定する境界ファジィ積分値につ

いては、崩壊したデータ437件を用いて求めた。本解析では、境界ファジィ値を崩壊したデータ

のファジィ積分値の平均値0.50に設定した。最終的に、崩壊・非崩壊に対する正解は、833件の

データ内521件であり、正解率63%であった。

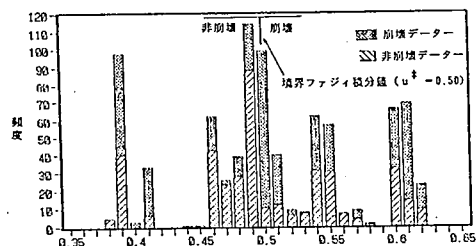


図-8 ファジィ積分による地震時の斜面崩壊の評価

6. おわりに

本解析では、ファジィ理論を用い地震時の斜面崩壊に関する構造モデルを作成し、ファジィ積分に

より、人間の主観性、あいまい情報から地震時の斜面危険度評価を行った。今後、ファジィ理論を用

いた解析をより具体化する為には、地震時の斜面崩壊に関するデータの蓄積、構造モデル、及び、

ファジィ言語関数表を現実的なものに改善していく必要があると考えられる。

<参考文献>佐藤・寺田：ファジィ理論に基づく斜面崩壊資料の推理と崩壊予測法、京都大学防災研

究所年報第28号、2.寺野他：ファジィシステム入門、オーム社