

## 1. はじめに

本報告では、多数の崩壊を発生させた5つの地震（関東・今市・新潟・伊豆大島近海・長野県西部）を例にとり、震央距離・地質・地形などの諸因子と崩壊との関係を調べ、その共通した特徴を抽出して若干の考察を行った。さらに、諸因子の崩壊への係わり具合を分散分析あるいは数量化理論によって明かにしようとした。

## 2. 崩壊に影響を及ぼす諸因子

地震動に起因する崩壊の特性、例えば分布、大きさ、深さなどの決定要因には、種々の因子が絡んできて複雑である。それは、地震そのものの特性——震源における地震の性質——や、崩壊地近辺まで伝播してきた地震動の特性——震源と崩壊地の間の伝播経路の性質——ばかりではなく、崩壊地周辺の地質、地形、土質的な特性との相乗作用の結果だからである。

これらの特性を、崩壊に及ぼす影響という観点から、更に細かい因子に分けると次のようになる。

## ①地震そのものの特性

- ・ 震源（央）の位置
- ・ マグニチュード
- ・ 地震断層の位置
- ・ 初動分布
- ・ 余震活動
- ・ 地殻変動

## ②崩壊地近辺での地震動の特性

- ・ 最大加速度（速度、変位）
- ・ 周期特性（卓越周期、最大振幅の周期）
- ・ 主要動の継続時間
- ・ 上下動の程度

## ③崩壊地近辺の地盤の特性

- ・ 地質（地質断層の有無）
- ・ 地形（傾斜、標高、方位、凹凸、斜面形）
- ・ 土質工学的性質
- ・ 固有周期
- ・ 地震前後の降雨状況

## 3. 地震による崩壊地分布の特徴

## 3-1. 断層の影響

本報告の例では、今市地震は震源域に、伊豆大島近海地震と長野県西部地震は震源断層に大きく影響され、関東地震も推定断層が正しいとすればその影響下にある。伊豆大島近海地震および長野県西部地震による崩壊密度が、断層からの距離によって変化していく様子を図-1に示す。

断層破壊に伴う地震の最大加速度  $A_{max}$  は、破壊進行方向と観測点のなす角度を  $\theta$  とすると、近似的に次式で表わせる<sup>1)</sup>。

$$A_{max} \approx a / \sqrt{b - \cos \theta} \quad \dots (1)$$

$a$  は断層の長さ（地震の大きさ）に比例する定数、 $b$  はS波速度と破壊伝播速度との比である。

ここで仮に、崩壊密度は最大加速度に比例するものとして、図-1に(1)式を適用すると図中の曲線のようになる。ただし、 $a = 0.14$  ((1)式の  $A_{max}$  を崩壊密度として)、 $b = 1.0$  としてある。次に述べるように、崩壊密度と最大加速度が比例関係にあるとするには多少無理があるが、断層からの距離と崩壊密度の関係は、(1)式で近似されるとしてよいであろう。

### 3-2. 最大加速度の影響

次に、崩壊密度と基盤加速度の関係を検討する。図-2は長野県西部地震を除く4つの地震について、すべてプロットしたものである。この関係を

$$D = a + b \cdot \ln K \quad \dots (2)$$

で表わすと、各地震については次のようになる。ここで、 $D$  は崩壊密度 (個/km<sup>2</sup>)、 $K$  は基盤震度である。

$$\begin{aligned} \text{今市} : D &= 7.33 + 5.27 \ln K, & \text{新潟} : D &= 22.9 + 11.5 \ln K \\ \text{伊豆} : D &= 18.3 + 10.3 \ln K \end{aligned}$$

(2)式の  $a$  は、 $K = 1$  のときの  $D$  の値に等しく、大きいほどその地域が崩壊しやすいことを表わし、図-2でグラフは左の方へ寄ってくる。関東地震はプロットが1つしかないが、 $K = 0.1 \sim 0.2$  の間のデータがあれば、新潟地震より左側にグラフが引かれたであろう。したがって、この4地域の崩壊のしやすさは、丹沢、新潟、伊豆、そして少し離れて今市という順になっている。

### 3-3. 地質の影響

それぞれの地域の地質を、崩壊密度の大きさの順に並べると、次のようになる。

関東地震 : 洪積層 < 第三紀層 < 花こう岩質岩  
 今市地震 : 古生層 < 花こう岩質岩 < 洪積層  
 新潟地震 : 安山岩 < 第三紀層 < 花こう岩質岩  
 伊豆大島近海地震 : 洪積層 < 安山岩 < 第三紀層  
 長野県西部地震 : 中生層 < 流紋岩類 < 洪積層

同一の名称の地質であっても、成分の違いや断層による破砕のされ方の違いなどによって、少しずつ性質を異にしているが、それらを無視して上記の順位をみると、次のようなことがわかる。

洪積層を除くと、最も崩壊密度の大きい地質は花こう岩質岩である。深層風化によるマサ化が大きく影響している。次いで、固結度が弱く、ある程度の傾斜地を形成している第三紀層、さらに中生層、古生層あるいは安山岩と続く。

洪積層は場所によって非常に異なった様相を呈する。関東地震では極端に低い崩壊面積率あるいは崩壊密度であるが、今市地震と長野県西部地震では最も大きい値を採る。伊豆大島近海地震では崩壊密度は最も低いが、個々の崩壊は大きく、人身災害を引き起こしている。

このような違いは、洪積層の地形と地質に起因している。今市地震で崩壊面積率が大きかった原因は、洪積層が河食崖を形成していたからであり、長野県西部地震では火山体そのものが被災地域となっていたためである。また、今市地震、長野県西部地震および伊豆大島近海地震では、洪積層が軽石やスコリアなどの火山噴出物で構成されていたため、たとえ伊豆のように緩傾斜であっても、大規模な地すべり性崩壊を生じやすい条件を持っていたのである。

### 3-4. 斜面傾斜の影響

対象地全域の傾斜分布を考慮した崩壊面積率あるいは崩壊密度が求められているのは、関東地震と伊豆大島近海地震であるが、図-3のように、いずれも $30\sim 35^\circ$ に屈曲点を持つ単調増加曲線となっており、最大 $40\sim 45^\circ$ まで計測されている。

斜面の傾斜を $\theta$ 、摩擦係数を $f$ とすると、 $\tan\theta / f = 1$ で釣り合いの状態、 $\tan\theta / f > 1$ で物体は斜面上を滑動する。ここでは確率的に考えて、 $\tan\theta / f$ の値が小さいほど滑りにくく、大きいほど滑りやすいとする。その滑りやすさは崩壊密度に反映される。そこで、崩壊密度 $D$ と $\tan\theta / f$ は比例関係にあると仮定して、(3)式のように置く。

$$D = a + b \cdot \tan\theta \quad \dots\dots (3)$$

ただし、 $f$ は同一の地盤条件のところを考えると定数としてよいので、係数 $b$ に含めた。係数 $a$ 、 $b$ は地質・地盤条件によって異なる。 $a$ は崩壊が発生し始める傾斜に関係し、この値が大きいほど緩傾斜でも崩壊が発生する。また、 $b$ は曲線の傾きに関係し、この値が大きいほど崩壊密度は急激に増加する(つまり、摩擦係数が小さい)。

そこで、(3)式を関東地震と伊豆大島近海地震の場合に適用すると、図-3の曲線のようになる。それぞれ次式で表わされる。

$$\text{関東} : D = -2.94 + 40.6 \tan\theta \quad (r = 0.968)$$

$$\text{伊豆} : D = -0.13 + 2.2 \tan\theta \quad (r = 0.983)$$

この二式は、地震の条件も地盤の条件も異なっているので、係数の単純な比較はできないが、関東地震の方が伊豆大島近海地震より、すべての条件ではるかに不利であった様子が伺える。

### 4. 崩壊地分布に係わる諸因子の要因分析

地震に起因する崩壊地の分布には、多数の因子が同時に絡んで影響を及ぼしている。この多数の因子を同時に考慮する統計的手段として、分散分析と数量化理論を採り上げ、どの因子が崩壊分布や崩壊面積に有意に働いているかを検定することにした。

#### 4-1. 分散分析による要因分析

多数の因子を同時に対象とするためには、本来、多元配置の分散分析によるのが妥当であるが、計算の繁雑さやデータの揃い具合を考えると、ここでは種々の因子を入れ替えて、2元配置法による検定を試みた。その結果、危険率の一応の目安を10%とすれば、崩壊に係わる重要な因子として、最大加速度(震央距離)、地盤強度(地質)斜面傾斜の3因子が選定される。とくに傾斜は、最も低い危険率で有意差がある。

最大加速度による区域分けは、新潟のように震央を点とみなせるだけ震央距離が大きいか、あるいは伊豆のように現地調査によって加速度分布が得られている場合には、低い危険率で有意差がある状態にすることができる。地質については、バラツキが大きいのが、これは崩壊しやすさあるいはしにくさを地質名という漠然とした基準で判断しようとしているからである。実際に関係してくるのは、震動に対する地盤の物理的抵抗力であるが、対象地全域にわたるこのような調査が不可能なので、地質で代表させているのである。

#### 4-2. 数量化理論による要因分析

外的基準を個々の崩壊面積とし、地質や傾斜などの種々の要因と、そのような要因を持つ地点で発生した崩壊の1個当たりの面積との関係を扱う。用いたデータは、長野県西部地震における崩壊で、これに数量化理論第I類を適用した。面積が5万㎡を超える大崩壊(3個有り、他はすべて2万㎡以下)は除外した。最終的に解析に用いられた崩壊数は183個である。

その結果、傾斜、横断形状および縦断形状の偏相関係数が高く、崩壊面積に最も寄与している。一方、偏相関係数が最も小さい、つまり崩壊面積の大小にほとんど寄与しない要因は、標高、断層からの距離、地質であった。

最も偏相関係数が高い傾斜では、緩傾斜地ほど崩壊面積の大きい傾向にある。2番目に高い要因である横断形状は、凸斜面の方が崩壊面積が大きい、これも地震による崩壊の性質と調和的である。さらに3番目の縦断形状では、複合斜面で崩壊面積が最も大きく、下降斜面がそれに次いでいる。

なお、ここで用いた外的基準の採り方では、ある地点での崩壊の危険度や面積率を知ることはできないが、もし発生した場合の1個当たりの崩壊の面積は推定できる。それに関する実測値と予測値の重相関係数は0.71である。

引用文献： 1) 小山順二・泉谷恭男：最大加速度の方位依存性．地震学会講演予稿集、No.2、1985

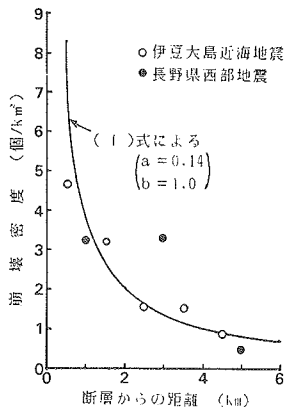


図-1 断層からの距離と崩壊密度の関係

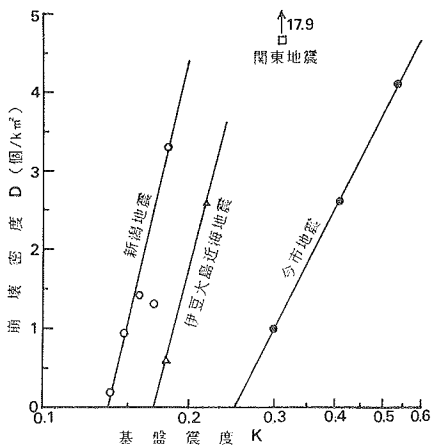


図-2 崩壊密度と基盤加速度の関係

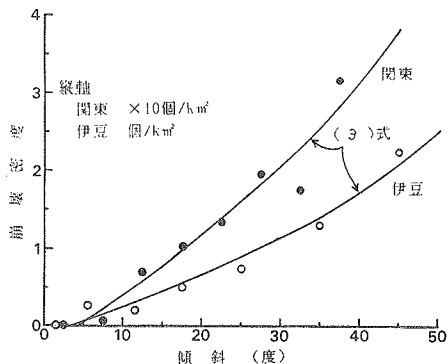


図-3 崩壊密度と傾斜の関係