

地震動のエネルギーと大規模崩壊

川邊 洋

1. 近年のいくつかの大地震とそれによる大規模崩壊の事例

近年の国内外の大地震とそれにより発生した大規模崩壊の関係について考察する。近年発生した国内外の5つの大地震（1999台湾・集集地震，2004新潟県中越地震，2008中国・四川地震，2008岩手・宮城内陸地震，2011東北地方太平洋沖地震）とそれにより発生した代表的な大規模崩壊，およびその崩壊地の最寄りの地震観測点における地震動の諸元を整理すると，次のような共通した傾向が読み取れる。

- 崩壊面傾斜が 20° 以下の緩傾斜地で発生する事例が多い。
- 元の斜面が流れ盤構造か，地すべり地形で多く発生する。
- 地表のUD成分が極めて大きい（表層での増幅が大きい）斜面で発生する事例が多い。
- 堆積岩地帯では $<3\text{Hz}$ ，火山噴出物地帯では $>3\text{Hz}$ の卓越周波数の地震動が効いているように見える。あるいは，崩壊規模の方が効いているのかもしれない。概して規模の大きい崩壊には低周波数（長周期）の地震動が対応しており，とくに， 10^8 m^3 を超えるような大規模崩壊には， 1Hz を少し超える程度の比較的長周期の地震動が対応している。

2. 地震エネルギーと崩壊規模

小規模な崩壊はS波の一撃で一気に崩れることも有り得るが（地震力すなわち地震加速度が関係），大規模な崩壊の場合，崩壊発生の原因は地震動の一撃よりも振動の繰り返しとその継続時間が影響すると考えられる（地震エネルギーすなわち地震速度が関係）。今までの経験では， 10^8 m^3 を超えるような大規模崩壊には， 100kine を超える地震速度が必要である。前節で取り上げた地震動の諸元を元に，以下で説明する計算を行った。

単位体積当たりの歪エネルギーを W ，単位体積当たりの運動エネルギーを K とすると，一波長についての平均エネルギー $\text{Ave}(K+W)$ は，次のように表せる（宇津，1977）。

$$\text{Ave}(K+W) = (1/2)\rho(\omega A)^2 = (1/2)\rho(\text{PGV})^2$$

ここで， ρ ：密度， ω ：角周波数， A ：変位振幅， PGV ：地表でのピーク速度振幅である。

一波長の積算エネルギーは，上式に卓越周期 T_p をかけることにより得られる。 $(\text{PGV})^2 \times T_p$ に，さらに同程度の振幅の波の数をかけることにより，継続時間も考慮することができる。すなわち， $T_p \times$ （主要動の波の数） \doteq （主要動継続時間 T_d ）と見なせるので， $(\text{PGV})^2 \times T_d$ を求め，それに対する崩壊規模の分布を図1に示した。

東竹沢を除く5か所の崩壊は，一本の曲線に載っているように見える。この5か所の崩壊を滑らかに結んだ曲線を，地震エネルギーに対する崩壊規模の上限を示す包絡線と考えることができる。地震エネルギーがどんなに大きくなっても（地震の規模自体に上限があるが），崩壊規模は頭打ちになり， 10^9 m^3 を超える崩壊は起こらないことを示している。崩壊を起こす斜面の広がりには地形的な制約があること

も原因であろう。新潟県中越地震時の東竹沢では、地質・地形的条件が許せば、実際の100倍を超える土量の地すべりが発生する可能性があったことが、図1から読み取れる。

$(1/2)\rho(PGV)^2 \times Td$ は、単位体積の斜面の土が、地震の主要動を受けている間に得る弾性エネルギーである。このエネルギーにより斜面の土が移動するかどうかは力学上の問題であるが、受けるエネルギーが大きいほど、単位体積の土の移動する確率が高いと考ええると、それだけ大きな体積の土がまとまって移動する確率が高くなる。したがって、 $(PGV)^2 \times Td$ と崩壊規模（土砂量）の間には密接な関係が存在する。

参考までに、ピーク加速度PGAと崩壊規模の関係を調べたところ、一定の傾向は全く示さず、少なくともピーク加速度と大規模崩壊の規模とは対応しないようである。

3. 崩壊規模の分布

どの程度の崩壊がどの程度の割合で発生しているのかが問題となる時、飛び抜けて大きな特殊な崩壊だけに注目することはできない。Gutenberg-Richter式と同様の関係が、崩壊の規模と頻度の関係にも成り立つことを仮定すると（この関係を表す曲線はリカレンス・カーブと呼ばれる）、図1で最も大きな崩壊（大光包, $7.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）を発生させた四川地震のリカレンス・カーブは $\log N(I_s) = 11.5 - 1.97 I_s$ である。 $I_s^* = 5.8$ となり、最大規模の崩壊は $S = 10^{5.8} = 6.3 \times 10^5 \text{ m}^3$ である。また、 $a = 12.2$, $b = 1.97$ であり、 $b > 1$ なので、四川地震では小規模崩壊の数が崩壊総面積に深く関係していることが分かる。 a が極めて大きいことは、誘因（四川地震）の強さと対象地域の広さを表している。

参考文献

宇津徳治（1977）地震学，共立全書216，共立出版，pp.286

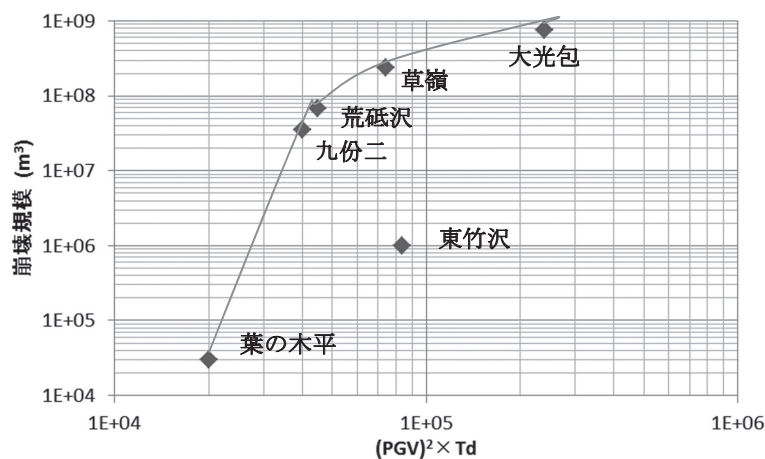


図1 主要動の継続中に受ける地震エネルギーと崩壊規模の関係