

地震性崩壊土塊の移動・流下形態 —石川論文データに基づく実態の関係性—

○静岡大防災総合センター(客員) 林 拙郎

1. はじめに

能登半島にて、2007年マグニチュード(以下、M) M6.9の大地震に近い中地震が、また2024年M7.6の大地震が17年後に発生した。この他に2000年以降の目立った地震としては、新潟県中越沖地震(2004年M6.8)から北海道胆振東部地震(2018年M6.7)を含めて25年間で8個を超える大中の地震が発生している。各地震では、精力的に全体的および個別の土砂災害の報告がなされている。大規模な崩壊については地質的・地形的特徴の報告は多くなされているが、崩壊・移動形態などの実態関係についての報告は多くない。特に、崩壊土塊の移動・流下形態などに関する実態報告は少ない。また、中大地震で大規模崩壊となると、多くの古いデータを扱うため崩壊地の劣化があり、調査もままならず、分析意欲を損なっているようである。土砂災害関係でも多くの研究は、因果関係の検討に進む事が多いようであるが、それだけでなく、最初は、崩壊地の形状・形態や土塊の移動・流下形態など素形態の把握が残されたままとなっている。本稿では、因果関係にはふれずに、崩壊・移動・流下に関する形態など実態関係の把握分析に努めることにする。

キーワード: 崩壊直高 H , 崩壊水平長 L , 低下比高 h , 低下距離 l , 崩壊量 V

2. 地震性崩壊のデータ特性

これまで提出されている地震性崩壊を扱った有用な論文に石川(1999)の論文がある。石川は、地震性の大規模崩壊の整理にあたり、1914~1995年までの規模M6.8以上の8個地震に対し、崩壊量 $2.0 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上で崩壊堆積状態が明確なもの24箇所を慎重に選択し取り上げている(図-1, 図-2)。

図-1中の各地震の後のカッコ内の数字は崩壊数を示しており、例えば、関東地震(4+3)は、前の数字4が崩壊したが、土石流化せず移動し停止した例(崩土状態)であり、後の数字3は崩壊後土石流化して流下した場合である。このうち、大規模崩壊の箇所数の多いのは、関東地震である。長野県西部地震では大規模崩壊が発生、土石流化し、これを含め3箇所の崩壊が土石流化した(図-3)。図-2は、崩壊流下特性の分析に用いられる地形因子であり、凡例を次に示す。

V : 崩壊量, H : 崩壊部直高, L : 崩壊部水平長, $H/L (= \tan\theta)$: 崩壊部傾斜, W : 最大崩壊幅, l_s : 崩壊部斜面長, D : 崩壊部断面厚, h : 停止堆積点と崩壊下部との低下比高, l : 流下距離, i_s : 停止堆積点の溪床勾配, θ_c : 下流への合流角, μ_e : 等価摩擦係数 $(= (h+H)/(l+L))$

3. 地震性崩壊土塊の発生・移動・流下の形態

崩壊後、崩土状態で移動する場合(16箇所)と土石流化して移動する場合(8箇所)の分離は、石川(1999)により現場の記述状況から判断決定されており、以下ではこのデータを用いる。

3.1 崩壊土塊の移動流下形態と崩壊部形状 崩壊土塊の移動形態をもとに、 l_s を崩壊部斜面長、 W を最大横幅、 D を崩壊部断面厚とし、崩壊部の長幅比(l_s/W)と長厚比(l_s/D)が及ぼす流下勾配への影響を調べた図が図-4, 5である。寄与率の値は悪いが、横幅 W の場合、 W の値が小のとき同一移動形態、逆に W の値が大のとき両者は分離する傾向があり、断面厚 D は場合、 D の値が大のとき同一の移動形態となり、逆に D の値が小のとき両者は分離する傾向にある。データのバラツキは大きい、各種崩壊形状の地形的

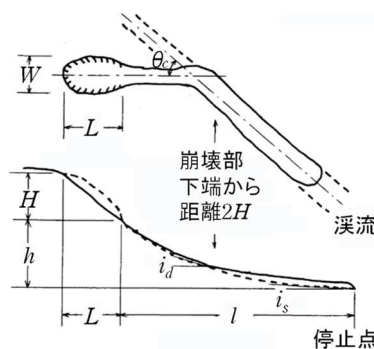


図-2 地震性崩壊の地形因子(石川, 1999より)

[石川資料の各地震]

- ①秋田仙北地震(3+0)
- ②関東地震(4+3)
- ③北丹後地震(1+1)
- ④北伊豆地震(4+1)
- ⑤福井地震(2+0)
- ⑥伊豆大島近海地震(1+0)
- ⑦長野県西部地震(0+3)
- ⑧兵庫県南部地震(1+0)

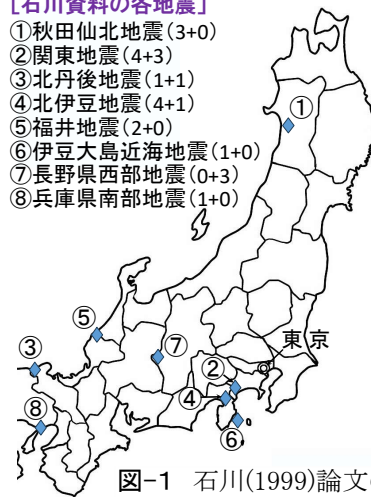


図-1 石川(1999)論文の各地震と崩壊数



御嶽伝上崩れ(H :650, l :12,000m)

図-3 長野県西部地震にて発生した伝上崩れ

特性としては、崩壊形状にて $ls/W \approx 10$, $ls/D \approx 1$ で両移動流下の形態は一致する傾向を示している。

3.2 崩壊部直高と低下比高にみられる移動形態の実態 結果は図-6 にみられるように寄与率は高く、次式が得られる； $h = a_h H^{n_h}$, H : 崩壊直高, a_h , n_h : 係数であり、寄与率の順は $H > V \gg \tan\theta$ である。結果の一例をみると、崩壊部直高 $H=100\text{m}$ の場合、崩壊後、崩土状態で移動する場合、低下比高は $h=50\text{m}$ であり、土石流化して流下する場合、 $h=180\text{m}$ である。この場合、低下比高 h は、崩土状態で移動するとき、崩壊部直高 H の約半分まで低下し、土石流化するとき、直高 H の約 1.8 倍まで流動低下する。図-6 の関係より、崩壊部直高 H が土塊移動の分析に有効であることが分かるが、その理由として次の事項が上げられる。

3.3 崩壊部直高 H の重要性

筆者が崩壊部直高 H (崩壊斜面高) に着目する理由は図-7 にある (林, 2023)。というのは、崩壊頭部におけるクラックの発生から崩壊までの崩壊経過日数 Te と崩壊部直高 H (図中、崩壊斜面高 H) には、高い関係性 ($Te = aH^2$, $a=0.0144$, $R^2=0.98$) があり、崩壊重要因子として H に着目する。

さらに、これまで崩壊重要因子として崩壊量 V が取り上げられてきた。必要性を検討すると、図-8 が得られ、次の式形が求まる。

$$V = a_v H^{n_v}$$

H : 崩壊部直高, a_v , n_v : 係数 寄与率は 0.93 と高く、 V の代わりに H の利用が可能である。

3.4 崩壊量 V と流下距離 l の関係

風間 (2011) は、急斜面での崩壊ほど移動距離は長い、としている。これへの結果が図-9 であり、図より次の式形を得る。

$$l = a_l H^{n_l}, \quad a_l, \quad n_l: \text{係数}$$

a_l は土石流化の場合、崩土状態に対し約 2 倍となる。流下距離 l に関する寄与率の順: $H > V \gg \tan\theta$

4. 結語

石川 (1999) のデータより崩壊後、崩土状態で移動する場合と土石流化する場合の関係に対し次の結果が得られた。崩壊形状比 (ls/D , ls/W) と h/l の関係は両因子で逆に作用する。崩壊部直高 H と低下比高 h に関して、 $h = a_h H^{n_h}$ の関係が高い寄与率で成立する。低下比高 h に関する $h \sim H$ 関係の寄与率の大小順は $H > V \gg \tan\theta$ である。 $n_h > 0$ であり、 H が大のとき現場では急斜面とみられることを (風間, 2011)、関係式は裏付けている。崩壊部直高 H は、崩壊量 V の有力因子であり、崩壊の経過日数 Te との関係性も高く、崩壊関係因子として、 H に着目することは有意義である。崩壊部直高 H と流下距離 l の関係式にも $l = a_l H^{n_l}$ が高い寄与率で得られる。寄与率の順位は、 $h \sim H$ 関係と同様である。

引用・参考文献

石川芳治 (1999): 地震による土石流の発生に係わる地形、地質条件、砂防学会誌, 51(5), 35-42. 林拙郎 (2021): 土砂災害の発生構造, 技報堂出版, 276p. 林拙郎 (2023): 砂防学会誌, 76(4), 25-32. 土木研究所 (1991): 昭和59年(1984年)長野県西部地震災害調査報告, 同報告 (182), 207-222. 信州大学自然災害研究会 (1985): 昭和59年長野県西部地震による災害, 信州大, 148p. 風間基樹 (2011): 日本地震工学会誌, (13), 27-30.

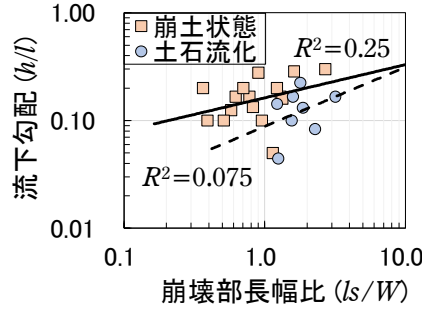


図-4 崩壊長幅比(ls/W)と流下勾配(h/l)の傾向

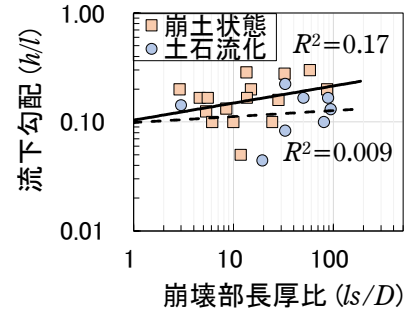


図-5 崩壊長厚比(ls/D)と流下勾配(h/l)の傾向

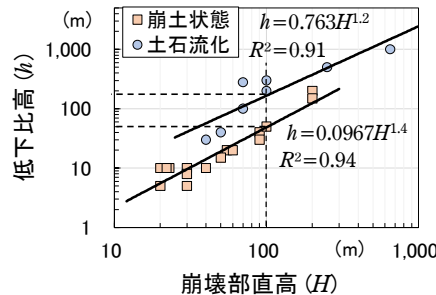


図-6 崩壊部直高 H と低下比高 h の単純な関係

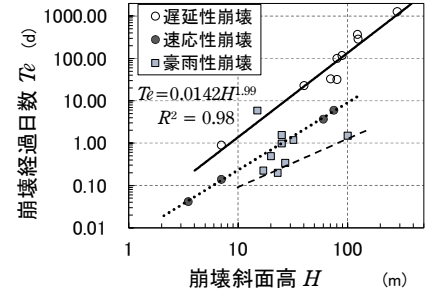


図-7 崩壊斜面高 H と崩壊経過日数 Te の関係 (林, 2023)

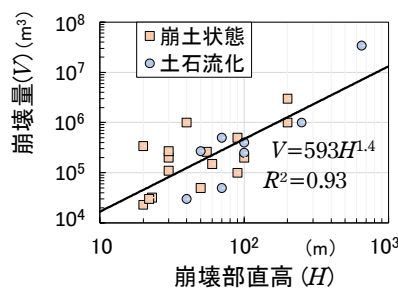


図-8 崩壊部直高 H と崩壊量 V の関係

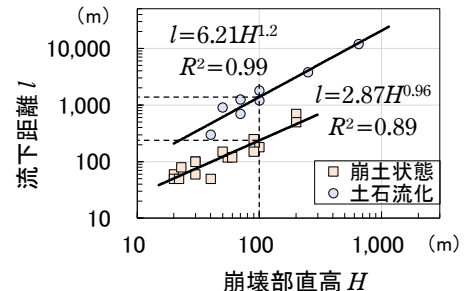


図-9 崩壊部直高 H と流下距離 l の単純な関係