

研究ノート

がけ崩れ災害における崩壊土砂の運動の実態

Investigation on collapsed soil movement in disastrous slope failures

武 藏 由 育^{*1}

Yoshiiku MUSASHI

水 山 高 久^{*2}

Takahisa MIZUYAMA

がけ崩れ災害における崩壊土砂の運動の実態

Investigation on collapsed soil movement in disastrous slope failures

武 藏 由 育^{*1}水 山 高 久^{*2}

Yoshiiku MUSASHI

Takahisa MIZUYAMA

Abstract

Slope failures which caused disasters in 2004 and 2005 are investigated taking note of the travel distance, fluidized condition, influence of structures. In the investigated cases, most of failed soil was traveled under 5 m (81.6%), deposited near the end of slope (85.5%). In the cases without structure, 41% of the failed soil mass was keeping the shape. Therefore, most of the failed soil mass should be not fluidized. In the cases with receiving type wall structures, receiving effect was recognizable for slope failure traveling under 10 m, but not for over 10 m. Therefore receiving type wall structure should have limit of receiving large or fluidized failed soil. In most of the studies on the movement of failed soil mass, condition of fluidization and the movement of fluidized soil were subjected. The movement mechanism of not fluidized soil mass caused by slope failure should be studied hereafter.

Key words : slope failure, collapsed soil movement, fluidization, structure

1. はじめに

がけ崩れによる被害範囲の予測, 対策施設の設計にあたっては, 崩壊土砂の移動速度, 到達距離など, その運動メカニズムを明らかにする必要がある。

芦田・江頭ら (1983~1987) は, 崩壊土砂の流動化機構に着目し, 土塊の滑動・停止条件および流動化条件について示し, 流動化した崩壊土砂の流動・堆積機構を明らかにした。

また, 崩壊土砂の移動に関する数値解析モデルとしては, ①崩土を質点として扱う方法 (呉ら, 2004), ②崩土を流体として扱う方法 (道上ら, 1998; 宮本, 2002; 吉松ら, 2004), ③個別要素法による方法 (大倉ら, 1994) がある。さらに, 実験的な研究としては乾燥砂の流下実験が多く行われている (Iverson ら, 2004, ; 大倉, 2004 など)。

一方, 実際のがけ崩れ災害については, 反町 (1977) が昭和 47~49 年, 門間ら (1999) が昭和 47 年~平成 9 年に発生したがけ崩れ災害について斜面の地形・植生・方位・地質, 崩壊高さ, 崩壊の規模, 到達距離などの分布を網羅的に整理しているものの, 運動を意識したものではなく, 既往の崩壊土砂の運動メカニズムに関する研究成果が, 実際の崩壊土砂の運動に適用できる条件にあるか十分に明らかにされていない。

ここでは我が国におけるがけ崩れ災害事例について, 崩土の移動距離および土砂の攪乱状況, 擁壁等の施設による影響などに着目して, 崩壊土砂の移動実態を整理する。

2. がけ崩れ災害における崩壊土砂の到達距離

調査対象とするデータは, 平成 16~17 年に国土交通省へ提出された「土砂災害報告」におけるがけ崩れ災害 1,861 件のうち, 掘削などの人為的誘因により発生したものを除き, 崩壊斜面および堆積土砂の位置と状況が判別できる写真, 縦断図, 平面図が添付されている 152 事例である。図-1 に対象とした崩壊の位置を示す。各崩壊の地質に関する情報は使用したデータに示されていないため, 火成岩のうち風化して崩壊を発生させやすい花崗岩類および流紋岩類, 変成岩のうち薄片状に剥離しやすい結晶片岩類, 堆積岩のうち比較的崩壊を発生させやすい第三紀堆積岩類の分布を合わせて図-1 に示した。今回対象とした崩壊の分布はこれらの地質の分布とほぼ一致している。

対象 152 事例について図-2 に示す諸元を計測し, 崩壊高さ (H) および崩土の到達距離 (L_d) について, 門間ら (1999) による整理結果と併せて図-3~図-5 に示す。

門間ら (1999) が整理した結果では, 崩壊高さは 10 m 未満が 44.8%, 20 m 未満が 78.9% であり, 到達距離 (L_d) は 4 m 未満で 53.8%, 10 m 未満が 76.9% を占めている。崩壊高さに対する崩土の到達距離の比 (L_d/H) は 0.2 以上 0.4 未満が最も多くなっており, 1.0 未満が 83.8% を占めている。

平成 16~17 年の調査対象データでは, 崩壊高さは 10 m 未満が 59.9%, 20 m 未満が 86.2% であり, 到達距離 (L_d) は 5 m 未満で 80.3%, 10 m 未満で 87.5% を占めている。崩壊高さに対する崩土の到達距離の比 (L_d/H)

*1 正会員 八千代エンジニアリング株式会社 Member, Yachiyo Engineering Co., Ltd (musashi@yachiyo-eng.co.jp)

*2 正会員 京都大学農学研究科 Member, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

H) は0.5未満で81.6%, 1.0未満で93.4%となっており, 門間ら(1999)による整理結果と比較して規模の小さい事例の割合が多くなっている。

崩土の到達距離 (L_d) は, 5 m 未満の場合が今回対象とした事例では8割, 門間らの事例では5割を占めており, 従来の崩土の流下実験や崩壊土砂の移動メカニズムに関する研究のように十分に流動化する前に停止しているものと考えられる。

3. 崩壊土砂の移動形態

3.1 崩壊発生位置と崩土の堆積位置

ここでは, 崩壊土砂の移動形態を崩壊位置, 堆積位置の観点から図-6に示す5通りに分類して, 各分類につ

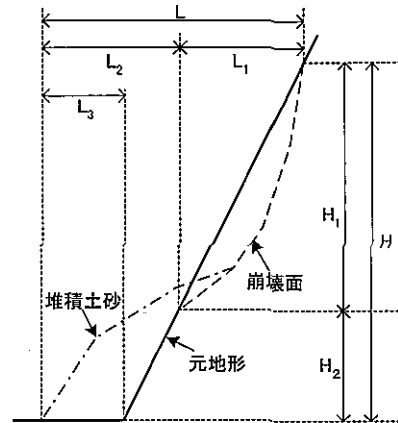


図-2 崩壊土砂に関する諸元の計測方法

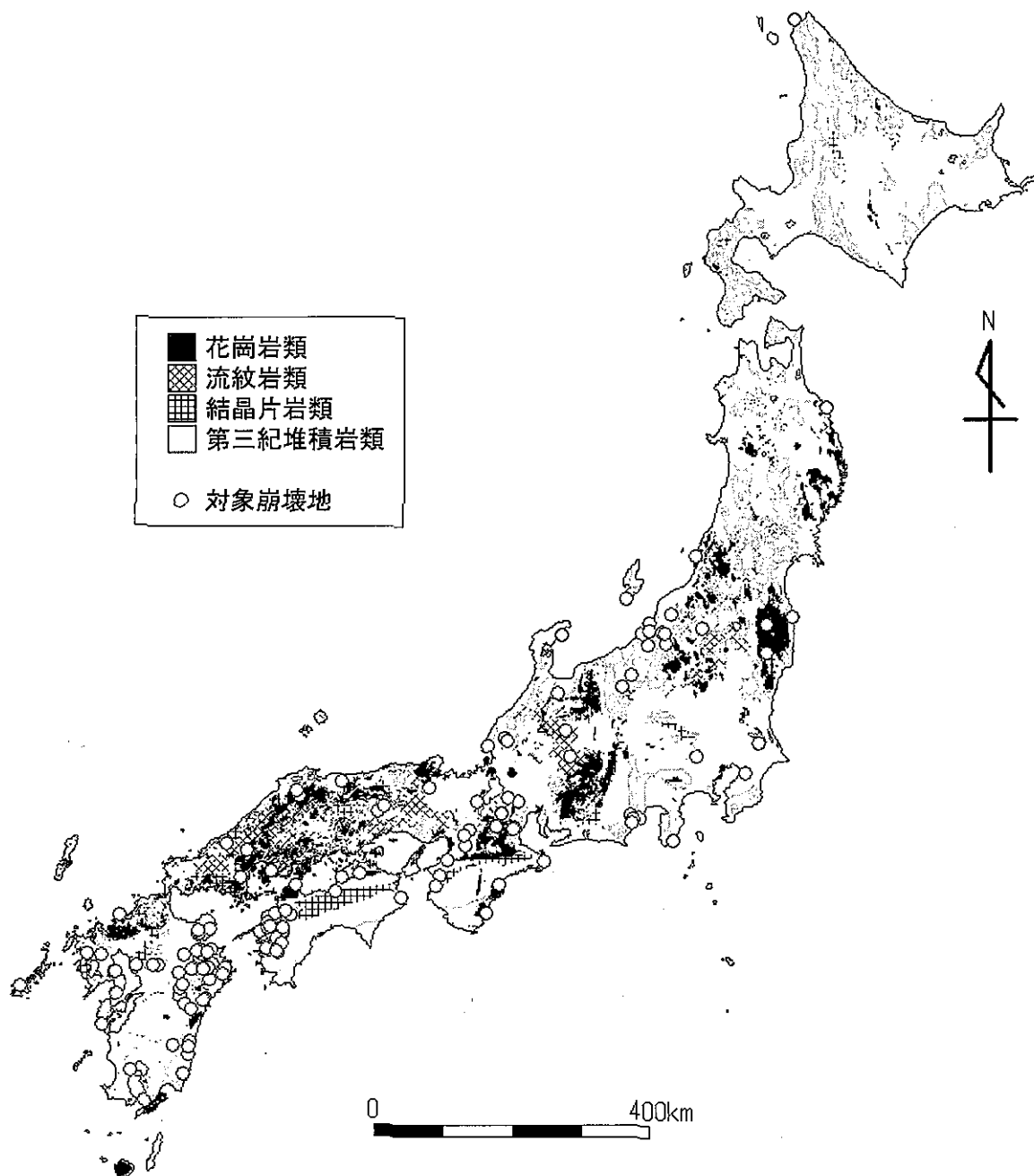


図-1 対象とした崩壊地の位置図

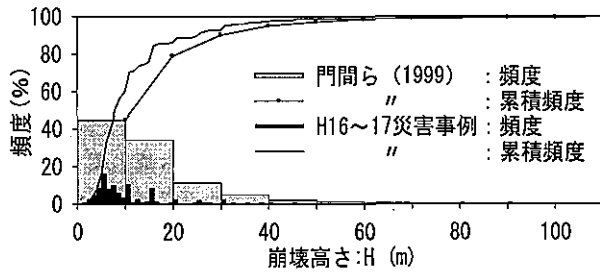


図-3 崩壊高さ (H)

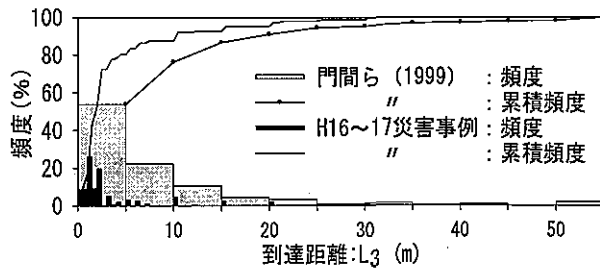


図-4 崩土の到達距離 (L₃)

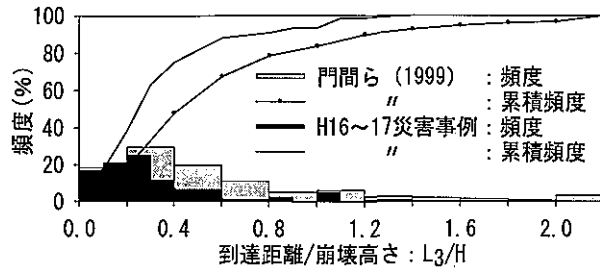


図-5 崩土の到達距離/崩壊高さ (L₃/H)

表-1 分類ごとの事例数

	構造物無		構造物有		合計
	土塊形状を維持	土砂が攪乱	土塊形状を維持	土砂が攪乱	
①斜面上部が崩壊 斜面下端に堆積	4	23	7	35	69
②斜面底部が崩壊 斜面下端に堆積	27	20	3	11	61
③斜面上部が崩壊 斜面から離れて流下	0	3	0	5	8
④斜面底部が崩壊 斜面から離れて流下	0	0	0	1	1
⑤斜面上部が崩壊 斜面上で停止	1	0	6	6	13
合 計	32	46	16	58	152

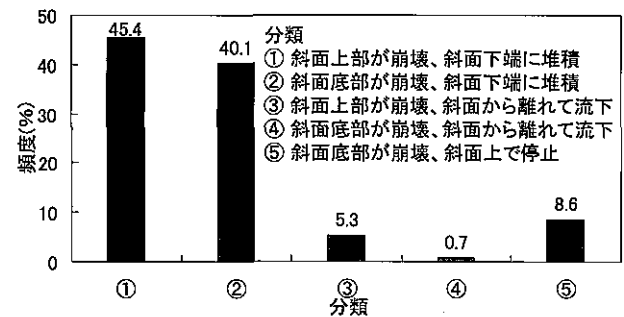


図-7 分類ごとの頻度

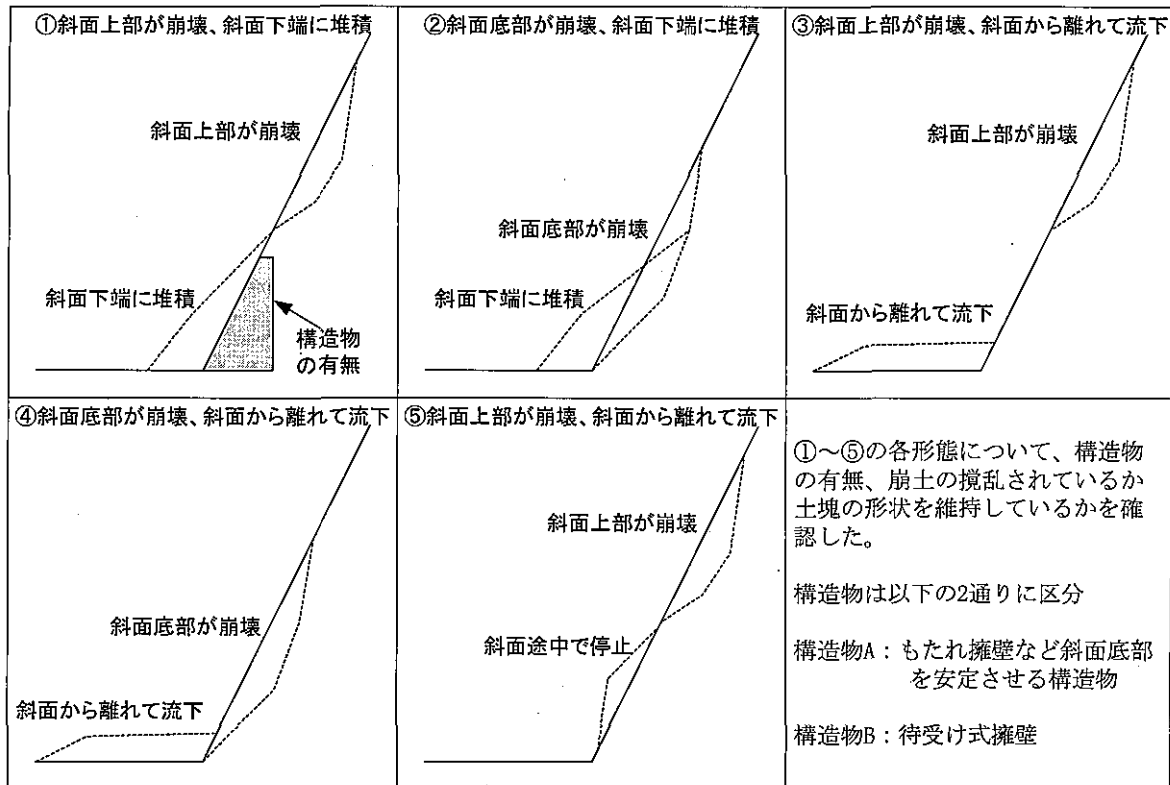


図-6 崩壊、堆積状況の分類

いて施設の有無、崩土の攪乱状況を確認し、崩壊土砂の移動形態とその要因について考察する。

各分類の事例を整理すると表-1 のようになり、その頻度分布を図-7 に示す。崩壊土砂の堆積位置についてみると85.5%が斜面下端付近に堆積し、8.6%が斜面上で停止、5.9%が斜面下端から離れて流下しており、実際のがけ崩れ災害においては、ほとんどの場合、崩土が斜面下端付近に堆積している。

3.2 崩土の攪乱状況

崩土の攪乱状況については、「土砂災害報告」に添付されている写真をもとに、図-8 に示すように、土砂の形状および表面植生の状況から崩壊土砂の全体あるいは一部が土塊の元の形状を維持していることが確認できるもの（以下「土塊形状を維持」）と、崩壊土砂が攪乱されて土塊の元の形状が確認出来ないもの（以下「土砂が攪乱」）に分類した。

図-6 の分類別の頻度を崩土の攪乱状況別に示すと図-9 のようになる。崩土が土塊の形状を維持したまま停止している事例は31.6%で、19.7%が斜面底部が崩壊し斜面下端に堆積するケースである。斜面から離れて流下する事例では、全て土砂が攪乱されている。

また、崩土の攪乱状況別に崩土の到達距離 (L_3) の頻度を図-10 に、崩土の到達距離/崩壊高さ (L_3/H) の頻度を図-11 に示す。土塊の形状が維持されている場合と比較して、土砂が攪乱されている場合は到達距離が長い傾向となっている。到達距離/崩壊高さ (L_3/H) は明瞭に分かれてはいないが、土塊の形状が維持されている場合には0.5未満が約90%を占めているのに対して、土砂が攪乱されている場合には0.8~1.0未満が約90%となっている。

対象とした事例では、土砂の含水率や土質強度など土砂の性状に関する記録が無く、崩土が攪乱されている場合の流動化の状況について十分な区別が出来ないが、崩土が流動化されているほど崩土の到達距離が長くなる傾向があるとともに、崩壊土砂の多くは斜面から離れて流下しておらず、十分には流動化されていないものと考えられる。

3.3 構造物の影響

構造物が無い場合の78事例について崩壊土砂の移動形態ごとの頻度分布を整理して図-12 に示す。構造物が無い場合には1.3%が斜面途中で停止し、94.9%が斜面下端付近に堆積しており、斜面から離れて流下する事例は3.8%と少ない。また、崩土の土塊の形状を維持したまま停止している事例が41.0%となっている。

構造物が有る場合の74事例について分類ごとの頻度を図-13 に示す。ここでは構造物について、もたれ擁壁など斜面底部を安定させる構造物（構造物A）と待受け式擁壁（構造物B）に分類している。

崩壊位置は構造物が無い場合（以下「構造物無」）、斜面上部が39.7%、斜面底部が60.3%であったのに対し、

構造物が有る場合（以下「構造物有」）はそれぞれ79.7%、20.3%であり構造物により上部からの崩壊の割合が増加している。

停止位置は、斜面上で停止する事例が16.2%、斜面下端に堆積するものが75.7%、斜面から離れて流下するものが8.1%となる。斜面上で停止する事例の割合が増加するのは、構造物により斜面上で捕捉される効果が表れているためであり、その内7割近くが待受け式擁壁（構造物B）によるものである。「構造物有」の場合に斜面から離れて流下する事例が若干増加しているが、事例数でみると「構造物無」の場合3例に対し「構造物有」の場合5例であり、現時点では構造物の影響とは言い難い。

堆積土砂の状況については、土塊の形状が維持されている割合は、「構造物無」の41.0%に対し、「構造物有」の場合が21.6%となっており、構造物により斜面上部から崩壊することで土砂が攪乱されているものと考えられる。

構造物の有無に分けて崩土の到達距離 (L_3) について図-14 に示す。対象とした事例には家屋により停止した47事例が含まれており、到達距離への影響が考えられるため、図-14 では家屋により停止した事例を区別して示す。家屋により停止した場合は、到達距離5m未満が90%以上となっており到達距離が短くなっている。

構造物Aでは、構造物が無い場合と比較して明瞭な差は無いが、構造物Bの場合は待受け式擁壁で崩土を捕捉する効果により到達距離1m未満の割合が大きくなるとともに、到達距離10m以上の割合が大きくなっており、規模が大きい崩壊、あるいは流動化した崩壊土砂が待ち受け式擁壁を越流した場合は、到達距離を縮める効果も確認できないため、待ち受け式擁壁による対策に限界があるものと考えられる。

4. 今後の課題

本検討では、がけ崩れ災害事例を対象として、崩壊土砂の移動実態について考察した。

崩壊土砂の到達距離は5m未満のものが81.6%と多く、崩壊土砂が斜面下端に堆積しているものが85.5%であり、施設が無い場合には土塊の形状が維持されているものが41%であった。

また、土塊の形状が維持されているものと比較して、崩土が攪乱されている場合は到達距離が長くなる傾向があることから、流動化した崩壊ほど到達距離が長くなる傾向があるものと考えられる。今回対象とした事例では、崩土が攪乱されている場合の流動化の状況は十分に区別できなかったが、到達距離が短いものについては十分に流動化していない可能性があり、がけ崩れ災害の多くは、崩壊土砂が十分に流動化する前に停止しているものと考えられる。

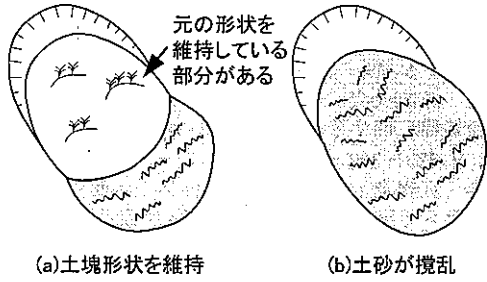


図-8 崩土の攪乱状況の概念図

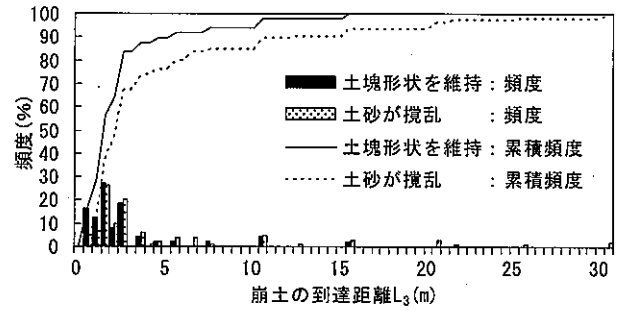


図-10 土砂の攪乱状況と崩土の到達距離

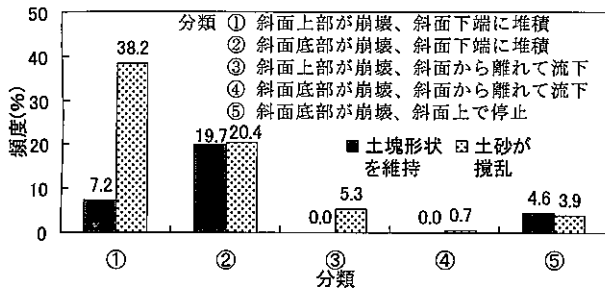


図-9 土砂の攪乱状況別の分類

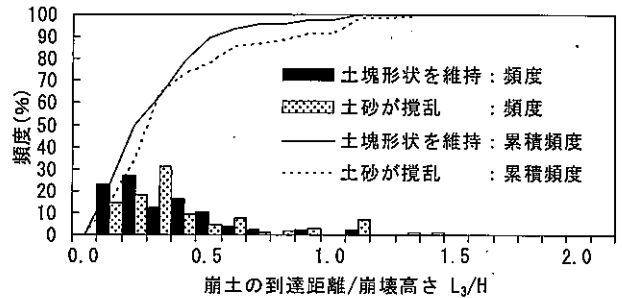


図-11 土砂の攪乱状況と崩土の到達距離/崩壊高さ

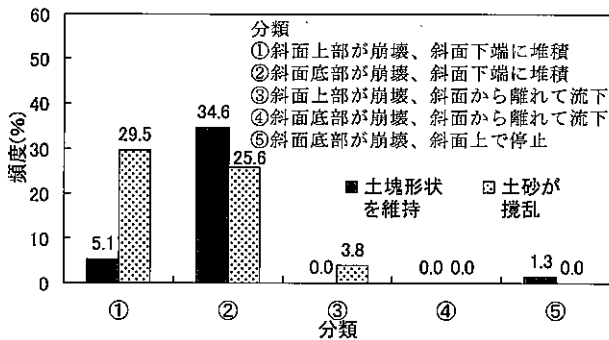


図-12 構造物が無い場合の分類ごとの頻度

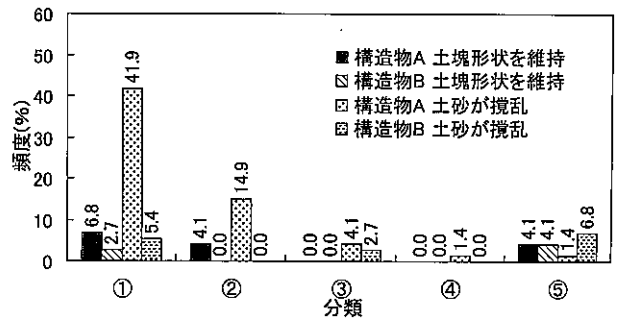


図-13 構造物が有る場合の分類ごとの頻度

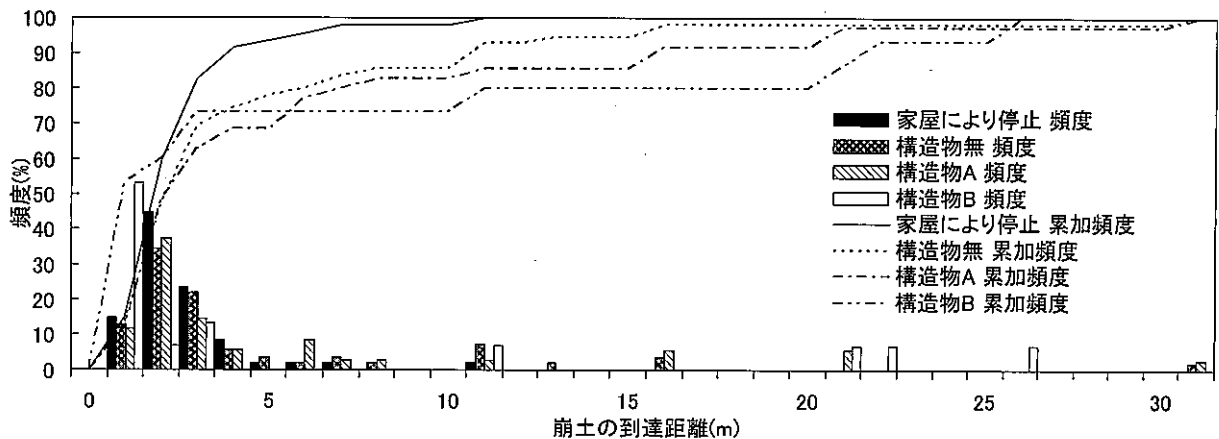


図-14 構造物の有無と崩土の到達距離

また、規模が大きい崩壊あるいは崩壊土砂が流動化した場合には待ち受け式擁壁による対策に限界があるものと考えられ、待ち受け式擁壁の限界および崩壊土砂の流動化状況についてより詳細な検討が必要であると考えられる。

本検討で対象とした事例では、崩壊土砂の性状についての記録が無く、今後実際の崩壊土砂の流動化状況について明らかにするためには、崩壊直後の調査において含水比、粒度分布、液性限界・塑性限界などの液化化条件、土質強度などについて情報を収集する必要があると考えられる。

さらに、降雨、融雪、地震などのがけ崩れ災害の発生要因と、崩壊土砂の流動化状況との関係についても明らかにしていく必要があり、本検討で行った分析を崩壊発生要因ごとに分類して行うことも今後の課題と考えられる。

また、既往の崩壊メカニズムに関する研究は、崩壊土砂を質点として扱うもの（呉ら、2004）の他は、崩壊土砂が流動化する条件および流動化した崩壊土砂の移動に関するもの（芦田・江頭ら、1983～1987；大倉ら、2004など）である。これは、被害が大きくなるものを対象としていと考えられ危険区域を議論する場合は良いが、待ち受け式擁壁などの構造物を検討する場合は、各々の斜面で発生するであろう崩壊を具体的に検討して対象にしなければ、設計が過大になったり設計が成り立たなくなることが考えられる。従って、崩壊の多くを占めていると考えられる、十分に流動化する前に停止する崩壊の運動についても、今後明らかにする必要がある。

引用文献

- 芦田和男・江頭進治・神矢弘（1984）：斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究，京大防災研究所年報，第 27 号，B-2，p. 331 - 340
- 芦田和男・江頭進治・神矢弘・佐々木浩（1985）：斜面における土塊の抵抗則と移動速度，京大防災研究所年報，第 28 号，B-2，p. 297 - 307
- 芦田和男・江頭進治・神矢弘・佐々木浩（1986）：流動土塊の堆積機構に関する研究，京大防災研究所年報，第 29 号，B-2，p. 329 - 342
- 芦田和男・江頭進治・大槻英樹（1983）：山腹崩壊土の流動機構に関する研究，京大防災研究所年報，第 26 号，B-2，p. 315 - 327
- 芦田和男・江頭進治・佐々木浩（1987）：斜面崩壊の発生と土石流の流動機構，京大防災研究所年報，第 30 号，B-2，p. 507 - 526
- 張馳・吉松弘行・岩堀康希・阿部真郎（2004）：数値解析による崩壊土塊の到達範囲予測，地すべり学会誌 Vol. 41，No. 1，p. 9 - 17
- 呉耀華・古賀康之（2004）：たわみ性防護柵に対する崩土による衝撃力に関する考察，第 7 回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，p. 199 - 204
- Iverson, RM., Logan, M.; Denlinger, RP. (2004): Granular avalanches across irregular three-dimensional terrain: 2. Experimental tests, J. Geophys. Res., Vol. 109, No. F1, 10.1029/2003 JF 000084
- 道上正規・宮本邦明・片島啓介・植村植（1998）：土塊の運動機構と 1 次元数値計算法，水工学論文集，第 42 巻，p. 925 - 930
- 宮本邦明（2002）：土塊の運動の 2 次元数値シミュレーション，砂防学会誌，Vol. 55，No. 2，p. 5 - 13
- 門間敬一・千田容嗣・海老原和重（1999）：がけ崩れ災害の実態，土木研究所資料，第 3651 号
- 大倉陽一（2004）：崩壊の流動化機構ならびに到達距離予測に関する研究，森林総合研究所研究報告，Vol. 3，No. 2，p. 109 - 164
- 大倉陽一・三森利昭・落合博貴（1994）：個別要素法による崩壊土砂動態解析，砂防学会誌，Vol. 47，No. 3，p. 3 - 10
- 反町雄二（1977）：崩壊土砂の流下距離，土木技術資料，19 - 10，p. 37 - 42

(Received 22 April 2008 ; Accepted 28 November 2008)

芦田和男・江頭進治・神矢弘（1984）：斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究，京大防災研究所年報，第 27