

2016年熊本地震における斜面崩壊形状の調査

浜田 友康¹・宇津野 衛¹・松下 智昭²

¹正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂六丁目 5-30)
E-mail: hamadtom@kajima.com, utsuno@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)
E-mail: mattomoa@kajima.com

地震時に崩壊のおそれのある斜面に近接して施設構造物を設置する際には、斜面の崩壊状況を想定し、適切な離間距離を確保しておく必要がある。斜面崩壊により流出する土砂の到達距離の推定には、簡易的には各種指針類が参照されるが、各推定法には差があり、適切な離間距離の設定方法が課題となる。

平成 28 年熊本地震においては、多くの斜面が崩壊した。そこで、上記の観点から代表的な崩壊斜面を選定して調査を行い、崩壊土砂の流出到達距離を分析して、各種指針類の斜面高さに基づく評価法との比較を行う共に、流出到達距離に及ぼす斜面高さ以外の影響因子についても検討を行う。

Key Words: slope failure, sediment flowing, evaluation method, outflow reaching distance

1. はじめに

地震時に崩壊のおそれがある斜面に近接して重要施設構造物を設置する際には、斜面の崩壊状況を想定し、適切な離間距離を確保して施設構造物を設置するか、あるいは、斜面崩壊を防ぐ適切な補強対策を施すことが必要となる。崩壊斜面から流出する土砂の到達距離の推定には、簡易的には各種指針類が参照されるが、その距離推定法は指針類により差があり、適切な離間距離の設定方法が課題となる。原子力発電所の重要施設構造物においても、斜面崩壊の影響への対処の基本的な考え方は同様と考えられる。ただし、極めて大きい設計地震力への対応が必要となる他に、設計想定を上回る事象へのさらなる対処も必要となるため、近接する多くの施設構造物の安全性をバランス良く向上させるためには、斜面との離間距離の確保や斜面对策などに関する推定精度の向上が重要になると考えられる。

平成28年熊本地震においては、多くの斜面が崩壊した。そこで、上記の観点から代表的な崩壊斜面を選定して調査を行い、各種指針類における崩壊土砂の到達距離の簡易推定法と比較検討を行い、それを踏まえ今回の熊本地震における斜面崩壊の性状について分析を行う。

2. 各種基準類における斜面崩壊土砂の到達距離の推定法

崩壊斜面から流出した土砂の到達距離について、各種指針類には以下のように示されている。

(1) 原子力関連の指針類

a) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987¹⁾

地震等による斜面崩壊の最大堆積長(到達距離に相当する)について、以下のように示されている。

- ・斜面高さの約 1.4 倍以内、あるいは、約 50m 以内

斜面高さおよび堆積長は図-1 のように示されている。

b) 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>²⁾

2004 年中越沖地震における崩壊事例 135 件の分析の結果、最大堆積長は原子力発電所耐震設計技術指針の内容でほぼ包絡できるとされている。なお、包絡されない 3 件については谷筋に沿う流下であることから、水の影響を受けて移動距離が長くなったと想定されている。

(2) 宅地等の防災関連の指針類

a) 土砂災害防止法令の解説³⁾

地震を含む自然災害を対象に、急傾斜地の崩壊に係る宅地等の警戒区域指定の基準として、以下の範囲が示されている。

- ・傾斜度 $\geq 30^\circ$ かつ斜面高さ $\geq 5m$ の急傾斜地について

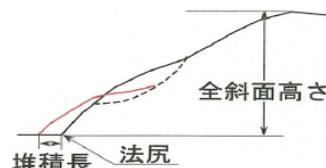


図-1 JEAG4601-1987に対応した斜面の諸量の定義²⁾

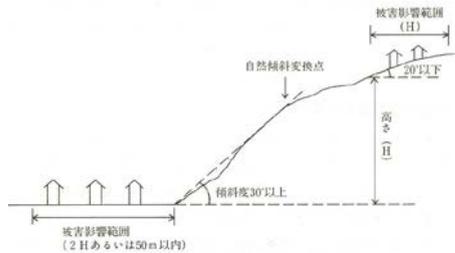


図-2 急傾斜地崩壊危険箇所の要件⁴

・斜面下端からの水平距離 \leq 斜面高さ $\times 2$ かつ $\leq 50m$
 ここで、斜面高さは「急傾斜地の下端～上端までの高さ」とされている。

b) 宅地防災マニュアルの解説⁴⁾

地震を含む自然災害を対象に、開発事業区域周辺の土砂災害危険箇所のうち、宅地造成に伴う災害に最も関連の深い急傾斜地危険箇所として、土砂災害防止法令の解説と同様の範囲が示されている(図-2)。

3. 平成28年熊本地震における崩壊斜面の調査

(1) 崩壊斜面の抽出

斜面前面に施設構造物が設置された整地地盤における崩壊土砂の到達距離の調査を目的とするため、熊本地震における斜面崩壊の中から、前面地盤が平たんであり、土砂流出に繋がる河川等のない地形の事例を抽出する。また、阿蘇山周辺であり、火山灰層の堆積状況、岩盤深度、および、斜面の起伏に、地域による偏りがあると考えられるため、分散した位置から事例を抽出し、崩壊した土質についても現地調査や写真等により判別できる範囲で、火山灰層の斜面崩壊、岩盤崩壊、ごく表層の崩壊など類型を分散させて斜面選定を行う。

(2) 計測方法と計測項目

斜面の崩壊形状は、地形図および航空測量結果を基に、斜面の崩壊前後の比較から整理する。

崩壊後の形状は4月19～23日に調査された航空レーザ測量1mDEMにより計測する。また、崩壊前については地理院による1/25000地形図を使用すると共に、地理院による5mDEMも併用して計測する。これらの崩壊前後の比較から求まる斜面崩壊形状の計測精度は、崩壊前

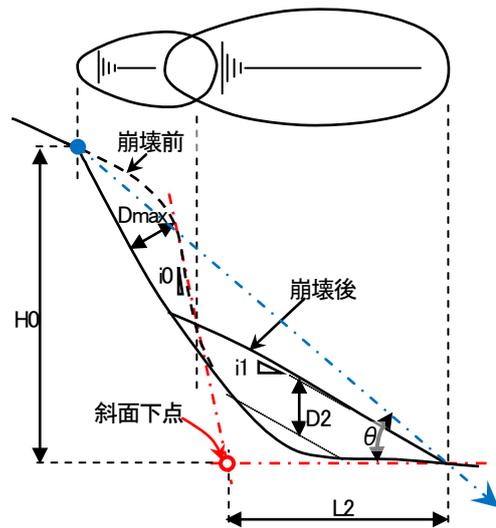


図-3 斜面崩壊形状の調査項目

についても5mDEMによる確認を行うことから、高さ方向で0.5m程度、水平方向で1m程度の誤差と推定される。

以上の調査結果から整理する斜面縦断方向の崩壊形状の主な項目を図-3に示す。崩壊前の斜面最急勾配線と崩壊底面の水平線との交点を「斜面下点」と定義し、それぞれ同位置からの最大崩壊高さおよび崩壊土の最大到達距離をH0およびL2とする。なお、これらは、2の指針類において参照される全斜面高さおよび法尻からの堆積長とは異なっている。その他、崩壊前後の斜面の最大崩壊深さ(Dmax)と崩壊土の平均堆積深さ(D2)、および、最大斜面角度($\tan^{-1}i_0$)と崩壊土の平均堆積角度($\tan^{-1}i_1$)を整理する。また、見通し仰角(θ)についても整理する。

(3) 計測結果

表-1に計測結果を示す。また、火山灰層の崩壊斜面および岩盤崩壊斜面の例を図-4に示す。

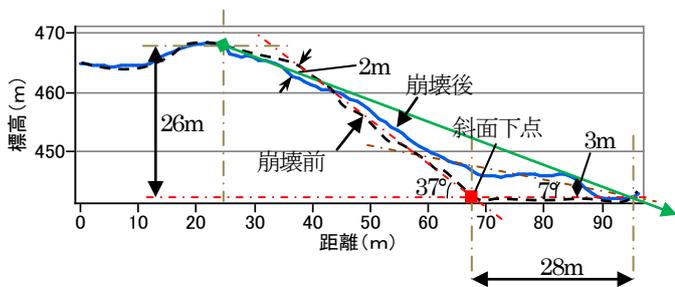
4. 斜面崩壊形状の分析

(1) 崩壊高さにと到達距離の関係

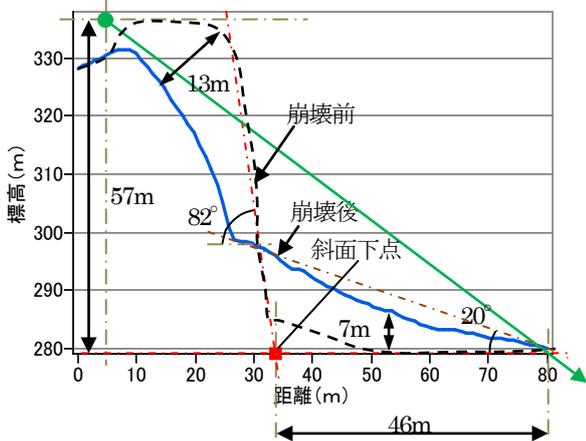
図-5に斜面の最大崩壊高さ(H0)と崩壊土の最大到達距離(L2)の関係を示す。各斜面のL2/H0は0.1～2程度の大きな差があり、火山灰層の崩壊では大きく、岩盤崩壊で

表-1 計測結果

番号	土質	距離高さ比	崩壊高さ	到達距離	崩壊深さ	堆積深さ	斜面角度	堆積角度	見通し仰角
		H0/L2	H0 (m)	L2 (m)	Dmax (m)	D2 (m)	$\tan^{-1}i_0$ (°)	$\tan^{-1}i_1$ (°)	$\tan \theta$ (-)
1	火山灰層	1.36	47	64	7	5	20	6	0.73
2	火山灰層	2.14	22	47	7	5	31	6	0.47
3	火山灰層	1.98	20	39.5	6	3	40	7	0.51
4	火山灰層	1.08	26	28	2	3	37	7	0.93
5	火山灰層	0.13	26	3.5	2	2	44	37	7.43
6	火山灰層	0.83	36	30	5	4	47	8	1.20
7	岩盤	0.35	89	31	6	3	35	8	2.87
8	岩盤	0.81	57	46	13	7	82	20	1.24
9	岩盤(落石)	(0.60)	(20)	(12)	(-)	(-)	(-)	(-)	(1.67)
10	表層火山灰	0.03	66	2	4	1.5	26	26	33.00
11	表層火山灰	0.11	74	8	5	1	34	19	9.25



(1) 火山灰層の崩壊 (NO.4)



(2) 岩盤の崩壊 (NO.8)

図-4 崩壊斜面の例

は小さい。火山灰層における斜面崩壊は、 H_0 は 20～50m 程度の範囲に対し、 L_2 は 3～64m の大きな差がある。 L_2/H_0 では 0.1～2.1 程度の差となり、到達距離に影響する因子は、崩壊高さ以外にもあるものと推測される。一方、岩盤崩壊については、今回のデータ範囲では L_2/H_0 の差は比較的小さく、0.8 以下となっている。

2で示したように、到達距離は原子力関連の指針類では $1.4H$ もしくは 50m 以下、宅地等の防災関連の指針類では $2.0H$ かつ 50m 以下とされている。これに対し、本評価では、斜面高さや到達距離の定義が指針類と異なるため大きめの評価となる点に注意が必要であるが、岩盤

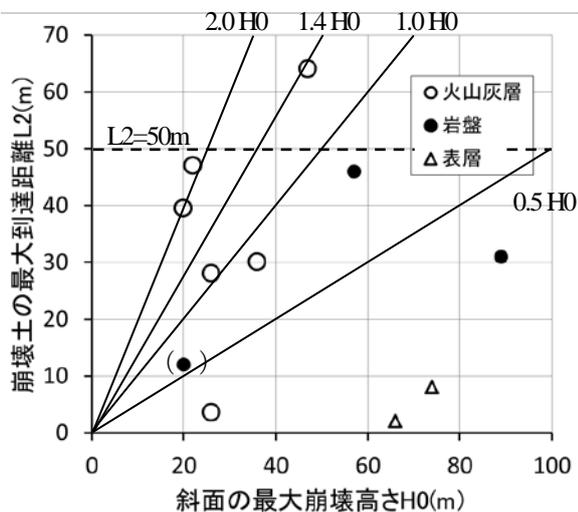


図-5 崩壊高さ (H_0) ～到達距離 (L_0)

崩壊についてはこれらをかなり下回る到達距離となっている。一方、火山灰層の崩壊については、一部は $1.4H$ を上回るものもある。

(2) 到達距離へのその他の影響因子

到達距離 L_2 への影響因子として、崩壊高さ H_0 以外も調べるため、 L_2/H_0 と斜面の最大崩壊深さ(D_{max}) / 崩壊高さ(H_0)、崩壊土の平均堆積深さ(D_2) / 崩壊高さ(H_0)、崩壊土の平均堆積角度($\tan^{-1}i_1$)、および、崩壊斜面の見通し仰角の勾配($\tan \theta$)の関係を整理して図-6に示す。

堆積深さ(D_2) / 崩壊高さ(H_0)は L_2/H_0 と良い相関があり、 D_2/H_0 が大きいほど L_2/H_0 は大きい。すなわち、崩壊して流出する土量が多い程、より遠くまで到達する状況が表れていると考えられる。同様に崩壊深さ(D_{max}) / 崩壊高さ(H_0)についても L_2/H_0 と良い相関があり、 D_{max}/H_0 が大きい程 L_2/H_0 が大きくなる傾向がある。これらから、崩壊高さに比較した崩壊土量の違いが到達距離に影響していると考えられる。

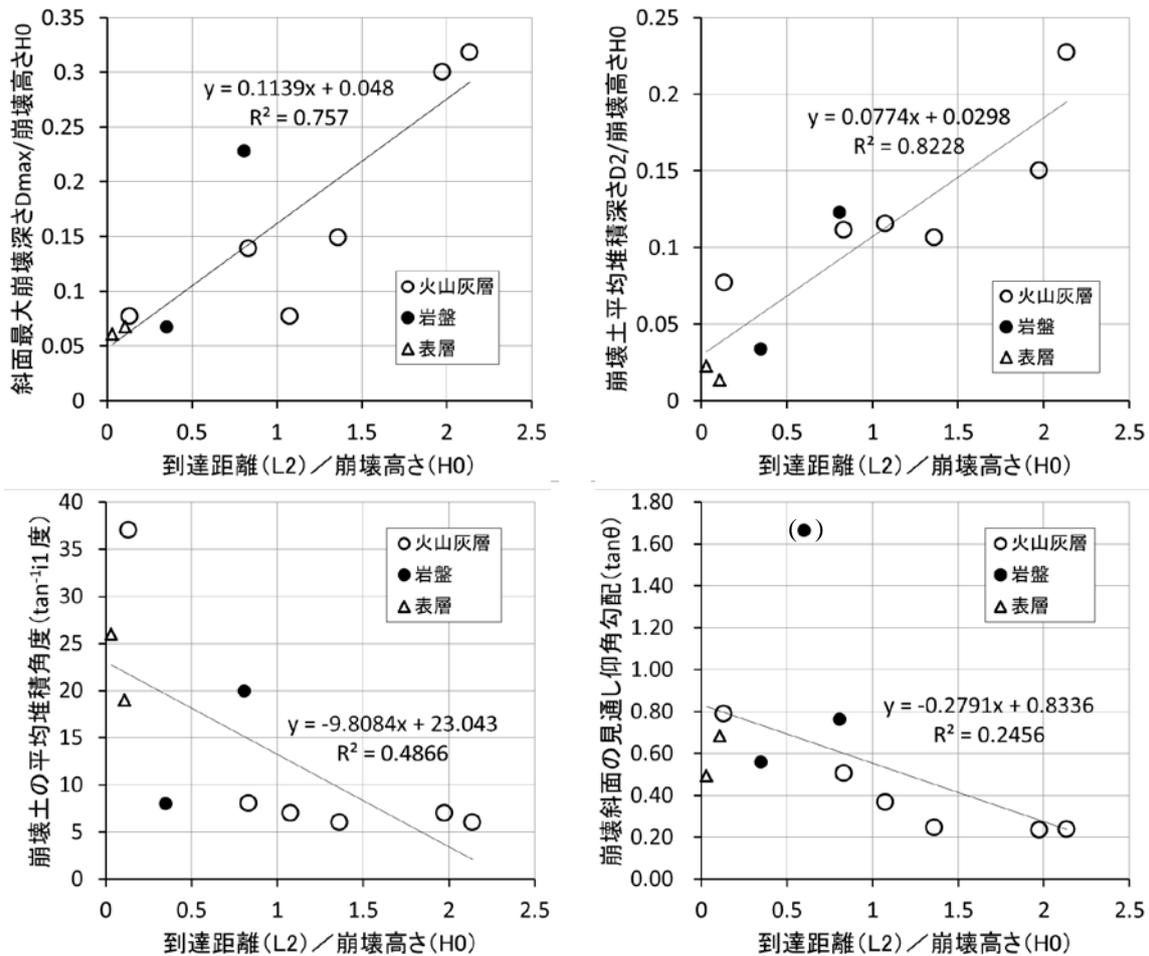
つぎに、崩壊土の平均堆積角度($\tan^{-1}i_1$)にも、 L_2/H_0 と良い相関があり、 i_1 が大きい程 L_2/H_0 は小さい。崩壊して堆積した土砂の堆積勾配には強度との相関があると推測され、強度の小さい火山灰層は遠くまで到達し、一方、強度の大きい岩ずりについては到達距離は大きくならない状況が表れていると考えられる。なお、表層の崩壊については、崩壊土砂の多くが斜面上に滞留しており、斜面下点より前面に流出する土砂の堆積勾配の評価にはそぐわないことから、 i_1 が大きい値として示されている。崩壊斜面の見通し仰角勾配 ($\tan \theta$) についても i_1 と同様の相関があり、 $\tan \theta$ が大きい程 L_2/H_0 は小さくなる。これも D_2 と同様に、土質による強度の違いによって生ずる到達距離の差が表われていると考えられる。

既往の研究⁵⁾によれば、火山灰層の強度は、表面崩壊箇所強度定数 c 、 ϕ についてはそれぞれ 2kPa と 18.4°、比較的深い崩壊箇所の強度定数 c 、 ϕ についてはそれぞれ 14kPa と 23.4°として取得されている。火山灰層については表層の強度が非常に小さいことから、到達距離が特に長くなる要因になっていると考えられる。また、相対的に強度の大きい深部の上に非常に軟弱な表土が形成され、表土だけが崩壊している可能性があると思われる。

5. まとめ

本報告では、平成 28 年熊本地震における斜面崩壊を調査し、崩壊土砂の流出到達距離を指針類の崩壊高さによる簡易評価法と比較すると共に、その他の影響因子について検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 最大到達距離 / 最大崩壊高さ (L_2/H_0) は、火山灰層の崩壊では 0.1～2.1 程度、岩盤崩壊では 0.8 以下である。指針類と距離および高さの定義が異なり、本検討の方が大きい評価となる点に注意を要すが、火山灰層の崩壊の到達距離は、一部については指針類を上回るものがある一方、岩盤崩壊の到達距離については、指針類に比較して小さい。
- (2) 到達距離 (L_2) に及ぼす崩壊高さ (H_0) 以外の影響因子に



注 直線は全土質の崩壊データに対する回帰線であり、Rは相関係数を示す。

図-6 L2/H0とDmax/H0, D2/H0, $\tan^{-1}i_1$, および, $\tan\theta$ の関係

ついて検討した結果、崩壊高さに比較して崩壊土量が多い程、また、崩壊土の堆積勾配すなわち強度特性が小さい程、到達距離は大きくなると考えられる。

- (3) 今回の斜面崩壊に多い火山灰層について、既往の研究によれば、特に表面崩壊箇所における強度特性は非常に小さく、このことが、到達距離の長くなる要因になっていると考えられる。

参考文献

1) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987, p.89, 1987.

2) 土木学会 原子力土木委員会：原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>, pp.143-149, 2009.
 3) 全国治水砂防協会：改訂版 土砂災害防止法令の解説, pp.73-78, 2016.
 4) 宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説 [第二次改訂版]II, pp.231-232, 2007.
 5) 松四雄騎, 齋藤仁, 福岡浩, 古谷元：平成 24 年度 7 月九州北部豪雨による阿蘇山カルデラ壁および中央火口丘での斜面崩壊, 京都大学防災研究所報, 第 56 号 B, 2013.

(2016.?? 受付)

INVESTIGATION OF SLOPE COLLAPSE SHAPE IN 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Tomoyasu HAMADA, Mori UTSUNO and Tomoaki MATSUSHITA

In order to install the facility close to the slope that could collapse during an earthquake, it is necessary to predict the slope failure shape and ensure a proper separation distance. There is a difference in the methods of guidelines applied to the estimation of the reach of sediment flowing out by the slope failure. The issue is how to set the appropriate separation distance.

In 2016 Kumamoto earthquake, a lot of slopes collapsed. Therefore, a survey was conducted into selected typical slope failure. The outflow reaching distance of collapse sediment was analyzed, and the evaluation methods based on slope height of guidelines were compared. Also we investigated the influence factors on the outflow reaching distance other than the slope height.