

3. 災害実態を用いた家屋被災範囲の妥当性の検討

3.1 検討に用いる災害事例

ここでは、平成15年5月から11月に、大分県、宮崎県、福岡県、山口県、宮城県で発生したがけ崩れ災害のうち、表3.1に示した15事例について検討する。検討箇所の斜面高、斜面勾配、土壌のタイプについて表3.1にまとめた。表に示したとおり、今回検討した15ケースは斜面高7~90m、斜面勾配33~55°の間に分布している。また、土壌も粘性土から砂質礫まで様々である。なお、今回検討した箇所はいずれも待受け擁壁など、崩壊土砂を流下過程に影響を及ぼす施設がない箇所である。

また、検討に用いた崩壊の諸元を表3.2に示す。今回検討した崩壊はいずれも降雨により生じたものである。崩壊土量は25~500m³である。ここで、昭和57年1月から平成6年12月までに全国で発生したがけ崩れ災害データ(4671件)に基づき、斜面高ごとに崩壊土量を整理し累積度数90%となる崩壊土量を導出した結果を、「土砂災害防止に関する基礎調査の手引き」から引用し、表3.3に示す。表3.1、3.2と表3.3の比較から分かるように、今回検討した崩壊のうち小泊、鯉取、梅垣の3例を除く12箇所の崩壊は90%値より大きく、大規模な崩壊といえる。

また、最大の崩壊深は0.8~4.3mであった。一方、先の4671件がけ崩れのうち、91%の崩壊地で崩壊深は2m以下であった(「土砂災害防止に関する基礎調査の手引き」)。表3.2に示したように、今回検討した崩壊のうち7箇所で、2mより大きく、最大崩壊深の観点からも今回検討した崩壊は規模の大きいものが多いといえる。

表3.1 検討箇所一覧

箇所番号	箇所名	都道府県	市町村	斜面高(m)	斜面勾配(°)	土壌のタイプ
1	長良	大分県	佐伯市	22	50	砂質粗粒砂
2	下隈谷	宮崎県	日南市	15	55	細粒分質砂
3	麦川上	山口県	美祢市	31	30	粘性土質砂質礫
4	旭が丘	福岡県	赤池町	9	33	砂質粘性土
5	安垣1	福岡県	穂波町	13	42	粘性土まじり礫質砂
6	安垣2	福岡県	穂波町	22	50	粘性土まじり礫質砂
7	高尾	福岡県	赤池町	22	41	砂質粘性土
8	大谷2丁目	福岡県	北九州市	7	35	砂質細粒土
9	立岩	福岡県	飯塚市	19	38	粘性土質砂
10	西丸山	福岡県	穂波町	14	33	砂質土
11	津原1	福岡県	飯塚市	10	41	粘性土質礫質砂
12	津原2	福岡県	飯塚市	13.5	37	粘性土質礫質砂
13	小泊	宮城県	雄勝町	17	51	砂まじり細粒分質礫
14	鯉取	宮城県	北上町	90	45	----- (注1)
15	梅垣	大分県	鶴見町	28	36	細粒分質礫質砂

(注1) 土壌調査は実施していない

表 3.2 検討に用いた崩壊の諸元

箇所 番号	箇所名	がけ崩れ 発生日	誘因	最大崩壊幅 (m)	斜長 (m)	崩壊土量 (m ³)	最大崩壊深 (m)
1	長良	2003.5.23	降雨	17	28	230	2.5
2	下隈谷	2003.6.18	降雨	25	14	100	3.5
3	麦川上	2003.7.14	降雨	14	44	410	4.3
4	旭が丘	2003.7.19	降雨	36	9.5	130	1.5
5	安垣1	2003.7.19	降雨	10.5	17	160	4.0
6	安垣2	2003.7.19	降雨	32	22.5	400	4.0
7	高尾	2003.7.19	降雨	19.5	15	330	2.7
8	大谷2丁目	2003.7.19	降雨	10	10	166	1.4
9	立岩	2003.7.19	降雨	62	22	450	1.1
10	西丸山	2003.7.19	降雨	39	14	500	2.9
11	津原1	2003.7.19	降雨	10	23	190	1.5
12	津原2	2003.7.19	降雨	20	17	280	1.8
13	小泊	2003.7.26	降雨	5.5	6	25	1.1
14	鯨取	2003.7.26	降雨	10	7	40	0.8
15	梅垣	2003.11.28	降雨	8.5	30	130	1.7

表 3.3 斜面高さごとの累積度数 90%となる崩壊土量と崩壊幅

斜面高 (m)	崩壊土量V (m ³)	崩壊幅W (m)
5 ≤ H < 10	40	14
10 ≤ H < 15	80	17
15 ≤ H < 20	100	19
20 ≤ H < 25	150	21
25 ≤ H < 30	210	24
30 ≤ H < 40	240	25
40 ≤ H < 50	370	29
50 ≤ H	500	32

崩壊幅は、全国のがけ崩れ災害データ（4671件）から崩壊土砂量と崩壊幅の関係について求めた近似式（ $W=3.94V^{0.336}$ ）に崩壊土砂量を代入することにより算出した値である。

3.2 検討方法

3.2.1 入力変数の設定方法

本資料では、土質定数、崩壊地形状、崩壊発生位置に関する入力変数の設定手法の異なる3ケースについて、2章で述べた手法に基づき、家屋被災範囲の設定を実施した。はじめに、ケース1では、地形に関する調査結果のみを用いて家屋被災範囲を設定する場合を想定した。次に、ケース2において、地形調査および土層構造、崩壊深、土質に関する調査結果に基づき設定するケースを想定した。最後に、現時点ではあらかじめ崩壊地形状、崩壊の高さを精度良く予測することは困難ではあるが、崩壊地形状、崩壊発生位置が予測できると仮定し、土質定数、崩壊地形状、崩壊発生位置に関する調査結果に基づき設定する場合をケース3で検討した。すなわち、ケース3の設定を崩壊発生前にあらかじめ実施するのは現時点では不可能であると思われるが、家屋被災範囲の設定に関する調査方法の課題を検討する目的で実施した。各ケースの変数の設定手法および値を表3.4にまとめた。表3.4に示したように、いずれのケースにおいても斜面勾配は実測値を用いた。

表 3.4 各検討ケースの係数の決定手法

項目	記号	単位	ケース1	ケース2	ケース3
計算高さ	H	m	斜面高	斜面高	崩壊高
斜面勾配	θ_u	°	実測値	実測値	実測値
土石等の密度	ρ_m	t/m ³	1.80	実測値	実測値
重力加速度	g	m/s ²	9.80	9.80	9.80
土石等の比重	σ	t/m ³	2.60	実測値	実測値
土石等の容積濃度	c	—	0.50	0.50	0.50
土石等の流体抵抗係数	fb	—	0.025	0.025	0.025
土石等の内部摩擦角	ϕ	°	30	実測値	実測値
移動の高さ	h _{sm}	m	1.00	実測値	実測値

移動の高さにおける実測値とは、「実測した」最大崩壊深を用いて算出したことを意味する

・ケース 1(地形に関する調査のみを実施し設定するケース)

本ケースでは、土質に関する変数(土石等の密度、容積密度、比重、内部摩擦角、流体抵抗係数)は「道路土工指針(平成12年3月)」および「新・斜面崩壊防止対策工事の設計と実例(平成8年4月)」を基にまとめられた参考値(表3.5;「土砂災害防止に関する基礎調査の手引き」)の中間値を用いた。

また、本ケースでは、崩壊高は斜面高とし、移動の高さ(h_{sm})は崩壊深の1/2とした(表3.4)。なお、本ケースでは、「崩壊深=2.0m」とした。「崩壊深=2.0m」は、昭和57年1月から平成6年12月までに全国で発生したがけ崩れ災害データ(4671件)のうち、91%の崩壊地で崩壊深は2m以下であったことから決定した(土砂災害防止に関する基礎調査の手引き)。

・ケース 2(地形調査および土層構造、崩壊深、土質に関する調査を実施し設定するケース)

本ケースでは、土質に関する変数(土石等の密度、容積密度、比重、内部摩擦角)に関し、可能な限り実測値を用いた。ただし、土石等の流体抵抗係数に関しては、実測値がいずれの箇所に関しても得られていないため、ケース 1 同様、0.025 を用いた。なお、土石の内部摩擦角は、長良、下隈谷、安垣1、安垣2、高尾、立岩、津原1、津原2、梅垣の各箇所は CD 試験により、旭が丘、大谷 2 丁目、西丸山は UU 試験により求めた値である。なお、UU 試験を用いた各箇所は砂質土、粘性土など比較的細かい材料を主とする土壤に覆われた斜面である。

移動の高さはケース1同様、最大崩壊深の1/2とした。また、土層構造の調査(簡易貫入試験等)や過去の崩壊実績から崩壊深はある程度推定できると考え、ここでは最大崩壊深は実際に発生した崩壊地の最大崩壊深を用いた。

・ケース 3(地形調査および土層構造、土質に関する調査を実施し、崩壊高さ、規模を予測し設定するケース)

崩壊発生位置をあらかじめ予測できる手法が確立されたと仮定し、式1中の H を最大崩壊深の高さ(実測値)を用いて算出した。その他のパラメータはケース 2 と同じとした。

なお、ケース 2、3 において、実測値が得られなかった場合、ケース1の値を用いた。各箇所の計算に用いた値は巻末資料にそれぞれ示した。

表 3.5 土質定数の参考値(『土砂災害防止に関する基礎調査の手引き』(砂防フロンティア整備推進機構 2001 年)より)

項目	記号	単位	参考値
土石等の比重	σ	t/m ³	2.6
土石等の容積濃度	c	—	0.5
土石等の密度	ρ_m	—	1.8
土石等の単位体積重量	γ	kN/m ³	14~20
土石等の内部摩擦角	ϕ	°	15~40
土石等の流体抵抗係数	f_b	—	0.025
建築物の壁面摩擦角	δ	°	$\phi \times 2/3$

また、堆積による力によって決まる家屋被災範囲設定に用いる崩壊土量は表 3.3 に示した値を用いた。このとき、本研究で用いたいずれの箇所においてもケース 1~3 の全てのケースにおいて堆積による力により求まる家屋被災範囲(図 2.2 の(6))より、移動の力による家屋被災範囲(図 2.2 の(5))の方が広がった(堆積による力により求まる家屋被災範囲のがけ下端から距離が、移動の力による家屋被災範囲のがけ下端からの距離に比べて、短かった)。言い換えれば、本研究で検討したいずれの箇所においても、家屋の被災範囲は、崩壊土砂の移動による力(F_{sm})とそれに対する建築物の耐力(P_1)で決まった。

3.2.2 家屋被災範囲の算出結果と被災実態の比較手法

本資料では、ケースごとに設定した「家屋被災範囲」と実際に被災した家屋の関係を検討する目的で、

- ① 「家屋被災範囲」の中で被災した家屋
- ② 「家屋被災範囲」の外で被災した家屋
- ③ 「家屋被災範囲」の中で被災しなかった家屋

の数を整理した。また、家屋の被災の有無は家屋の構造等にも依存するため、ここでは崩壊土砂の到達の有無も「家屋被災範囲」の設定手法の精度を検討する指標として用いることとし、以下の3指標についても検討を行った。

- ④ 「家屋被災範囲」の中で土砂が到達した家屋
- ⑤ 「家屋被災範囲」の外で土砂が到達した家屋
- ⑥ 「家屋被災範囲」の中で土砂が到達しなかった家屋

さらに、「家屋被災範囲」の設定手法の精度を検討するために、寺田・水野(2003)に従い、以下の項目について算出した。

- ⑦ 被災家屋包含率 = {家屋被災範囲内にある被災した家屋の戸数 ①} / {被災した家屋の総数 ①+②}
- ⑧ 無被災家屋率 = {家屋被災範囲内にある被災しなかった家屋の戸数 ③} / {家屋被災範囲内の家屋の総数 ①+③}
- ⑨ 土砂到達家屋包含率 = {家屋被災範囲内にある土砂が到達した家屋の戸数 ④} / {土砂が到達した家屋の総数 ④+⑤}
- ⑩ 非土砂到達家屋率 = {家屋被災範囲の中で土砂が到達しなかった家屋の戸数 ⑥} / {家屋被災範囲内の家屋の総数 ④+⑥}

なお、本資料において、家屋の「被災」とは、土砂により全壊、半壊、一部損壊のいずれかの被害が生じることとし、「土砂が到達した家屋」とは、「被災家屋」に家屋壁面に土砂は作用したが、全壊、半壊、一部損壊に相当するような被害が生じなかった家屋を加えた家屋と定義する。

3.2.3 斜面の高さ、勾配の空間分布の取り扱い

本資料では、等高線に沿った方向の家屋被災範囲の広がりには崩壊幅と等しいとした(図 3.1)。また、下限谷において生じたがけ崩れ以外は、斜面の高さ、勾配は最大崩壊深を通る1断面のみを用いて検討した。

また、麦川上、大谷2丁目地区の2地区では、斜面内に急傾斜地ではない部分が見られたが 2.2 で示した定義に従い、一連斜面とした。

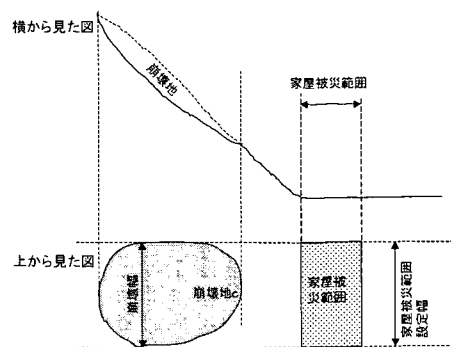


図 3.1 家屋被災範囲の設定幅

3.3 検討結果

3.3.1 家屋被災範囲の算出結果

各箇所の家屋被災範囲の設定結果の詳細は巻末資料に示した。なお、前述のとおり(P.10)、ここで検討したすべての箇所、ケースにおいて移動による力により決まる家屋被災範囲の方が、堆積による力により決まる家屋被災範囲に比べて広がった。

図 3.2 には、家屋被災範囲の算出結果について、がけ下端から家屋被災範囲末端までの距離を示した。図に示したように、UU試験により内部摩擦角を求めた旭が丘、大谷 2 丁目、西丸山を除くと、がけ下端から家屋被災範囲末端までの距離はケースによらず 20 m 以下で、2.1~17.8 m であった。一方、UU試験により内部摩擦角を求めた旭が丘、大谷 2 丁目、西丸山におけるケース 2、3 では、15 m 以上となり、最大で 43 m となった。

次に、ケース 1 とケース 2 の比較を行う。UU試験により内部摩擦角を求めた 3 箇所において、ケース 1 に比べてケース 2 の家屋被災範囲の算出結果は 7~35m 大きくなった。それに対して、CD試験により求めた内部摩擦角を用いた 9 箇所(長良、下隈谷、安垣 1、安垣 2、高尾、立岩、津原 1、津原 2、梅垣)はケース 1 に比べて-2.5~+7.0m の範囲であった。

さらに、ケース 2、3 の比較では、UU試験により求めた内部摩擦角を用いた旭が丘、大谷 2 丁目ではケース 2 の方がケース 3 に比べてそれぞれ 5.1、8.9 m 大きくなったが、それ以外の箇所では、ケース 2 とケース 3 の差は最大でも 1.8m であった。

また、ケース 1 とケース 3 を比べると、UU試験により求めた内部摩擦角を使用した 3 箇所では、ケース 3 の方がケース 1 に比べて 7m 以上大きくなった。一方、CD試験により求めた内部摩擦角を使用した 9 箇所では、ケース 3 の方がケース 1 の差は 6m 以内であった。

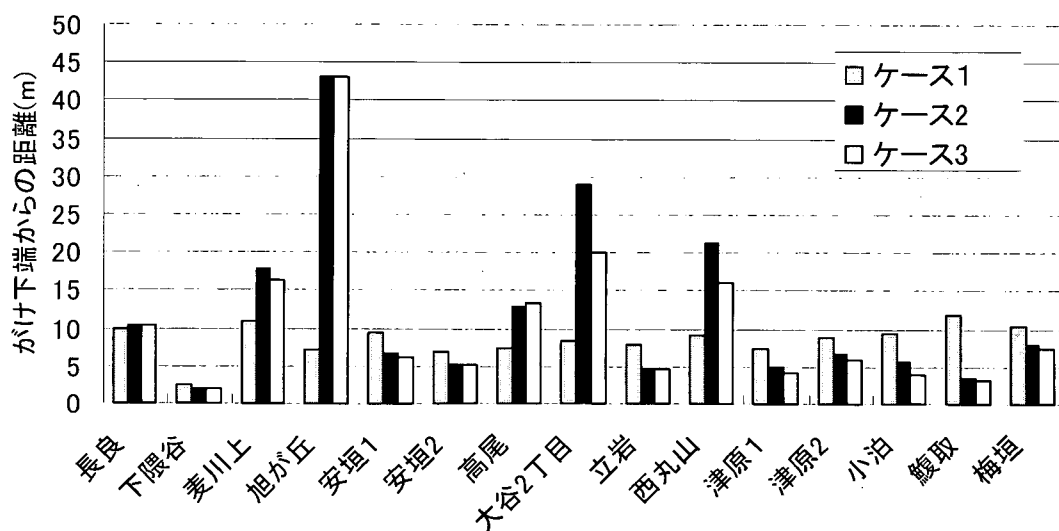


図 3.2 がけ下端から家屋被災範囲末端までの距離

3.3.2 家屋被災範囲の算出結果と被災実態の比較

表 3.6 に箇所ごとに、①家屋被災範囲の中で被災した家屋、②家屋被災範囲の外で被災した家屋、③家屋被災範囲の中で被災しなかった家屋、④家屋被災範囲の中で土砂が到達した家屋、⑤家屋被災範囲の外で土砂が到達した家屋、⑥家屋被災範囲の中で土砂が到達しなかった家屋の数を示した。表 3.6 に示したように、家屋被災範囲内の家屋数(①+③)は、UU 試験により求めた土石の内部摩擦角を用いたケースを除くといずれも 1 または 2 戸であった。一方、UU 試験により求めた土石の内部摩擦角を用いたケース(表 3.6 に太字で示した)では、家屋被災範囲内の家屋数は 2 から 5 戸であった。

家屋被災範囲の外で被災した家屋は、ケースによらず津原 2 の 1 戸だけであり、津原 2 の 1 戸はいずれのケースにおいても家屋被災範囲内に入らなかった。また、家屋被災範囲内で被災しなかった家屋は、UU 試験により求めた土石の内部摩擦角を用いていないケース(ケース 1 及び旭が丘、大谷 2 丁目、西丸山を除くケース 2 及び 3)では、立岩における 1 戸だけであった。一方、UU 試験により求めた土石の内部摩擦角を用いたケースでは、家屋被災範囲内で被災しなかった家屋が 1~4 戸存在した。

次に土砂到達の有無と家屋被災範囲の関係を検討する。表 3.6 に示したとおり、土砂が到達して、被災がなかった家屋は長良の 1 戸だけであり、④、⑤、⑥の戸数は①、②、③の戸数とそれぞれ長良を除いて同じであった。

さらに、表 3.6 からは、UU 試験により求めた土石の内部摩擦角を用いたケースを除くとケース 1、2、3 で①~⑥の家屋の戸数はいずれの箇所も同じであることがわかる。

表 3.6 ①家屋被災範囲の中で被災した家屋、②家屋被災範囲の外で被災した家屋、③家屋被災範囲の中で被災しなかった家屋、④家屋被災範囲の中で土砂が到達した家屋、⑤家屋被災範囲の外で土砂が到達した家屋、⑥家屋被災範囲の中で土砂が到達しなかった家屋の数

箇所 番号	箇所名	ケース1						ケース2						ケース3					
		①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
1	長良	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
2	下隈谷	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
3	麦川上	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4	旭が丘	1	0	0	1	0	0	1	0	4	1	0	4	1	0	4	1	0	4
5	安垣1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
6	安垣2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
7	高尾	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
8	大谷2丁目	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
9	立岩	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
10	西丸山	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
11	津原1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	津原2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
13	小泊	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
14	鯨取	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
15	梅垣	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	CD試験							7	1	1	7	2	1	7	1	1	7	2	1
	UU試験							3	0	6	3	0	6	3	0	6	3	0	6
	土質試験なし							3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0
	合計	13	1	1	13	2	1	13	1	7	13	2	7	13	1	7	13	2	7

ケース2、3において、斜字は土石の内部摩擦角の測定結果がないもの、網掛けの太字はUU試験により求めた内部摩擦角を用いた結果である。それ以外は、CD試験により求めた結果である。

次に表 3.7 に各ケースの被災家屋包含率、無被災家屋率、土砂到達家屋包含率、非土砂到達家屋率を示した。さらに、図 3.2 および表 3.6 に示したように、土石の内部摩擦角の測定方法によって、家屋被災範囲が大きく異なることが示されたことから、表 3.7においても、土石の内部摩擦角の測定方法により区分した結果を併記した。

ケース1では、被災家屋包含率は93%、無被災家屋率7%で極めて良好な結果が得られた。また、被災家屋包含率はケース2、3のいずれにおいても、ケース1と変わらず被災家屋包含率は93%と高かった。一方、無被災家屋率はケース2、3で35%とケース1に比べて大きく、ケース1のほうが優れているという結果が得られた。この結果は、UU試験を用いて土石の内部摩擦角を用いた場合において、無被災家屋率が75%と高くなったことに起因している。

表 3.7 各ケースの被災家屋包含率、無被災家屋率、土砂到達家屋包含率、非土砂到達家屋率

ケース	箇所数	被災家屋 包含率	無被災 家屋率	土砂到達家 屋包含率	非土砂到 達家屋率
ケース1	15	0.93	0.07	0.87	0.07
ケース2	15	0.93	0.35	0.87	0.35
CD試験	10	0.88	0.13	0.78	0.13
UU試験	3	1.00	0.75	1.00	0.75
ケース3	15	0.93	0.35	0.87	0.35
CD試験	10	0.88	0.13	0.78	0.13
UU試験	3	1.00	0.75	1.00	0.75

3.4 検討結果のまとめ

ケース1の家屋被災範囲の設定結果と実際の家屋の被災範囲(被災家屋包含率93%、無被災家屋率7%)から、地形調査結果と告示に示されている手法を用いることによって、がけ崩れにより家屋が被災するか否かを概ね表現できることが分かった。

ケース1とケース2の比較から、被災家屋包含率は両ケースで差は見られないことが示された。このことは、崩壊深及び土質に関する入力変数の設定手法の違いが被災家屋包含率に影響を及ぼさないこと示している。

また、ケース1とケース2の家屋被災範囲の設定結果の比較から、土石の内部摩擦角の測定方法が家屋被災範囲の大きさに大きな影響を及ぼすことが分かる。CD試験により求めた土石の内部摩擦角を用いた場合、実際に家屋が被災した範囲とほぼ等しく家屋被災範囲は設定されたが、UU試験による土石の内部摩擦角の測定結果を用いると家屋被災範囲は実際の家屋の被災範囲と比べて広く設定された。すなわち、粘土、シルト分を多く含む崩壊土砂においては、非排水条件に近い状態で土砂が流下することも考えられようが、今回検討した範囲では、UU試験による土石の内部摩擦角の測定結果を用いると被災範囲が過大となり無被災家屋率が高くなることが分かった。

さらに、ケース2とケース3の比較からは、両ケースで被災家屋包含率、無被災家屋率のいずれにも差が見られないことが分かる。これは、今回検討した範囲では、(式1)中の H の違いが移動による力の算出結果に及ぼす影響が小さく、 H の違いが家屋被災範囲のがけ下端からの距離に及ぼす影響幅が家屋1戸分の幅より小さかったことを意味している。このことから、崩壊発生位置、高さの予測は、被災家屋包含率を大きくすること、無被災家屋率を小さくすることに繋がらないといえる。