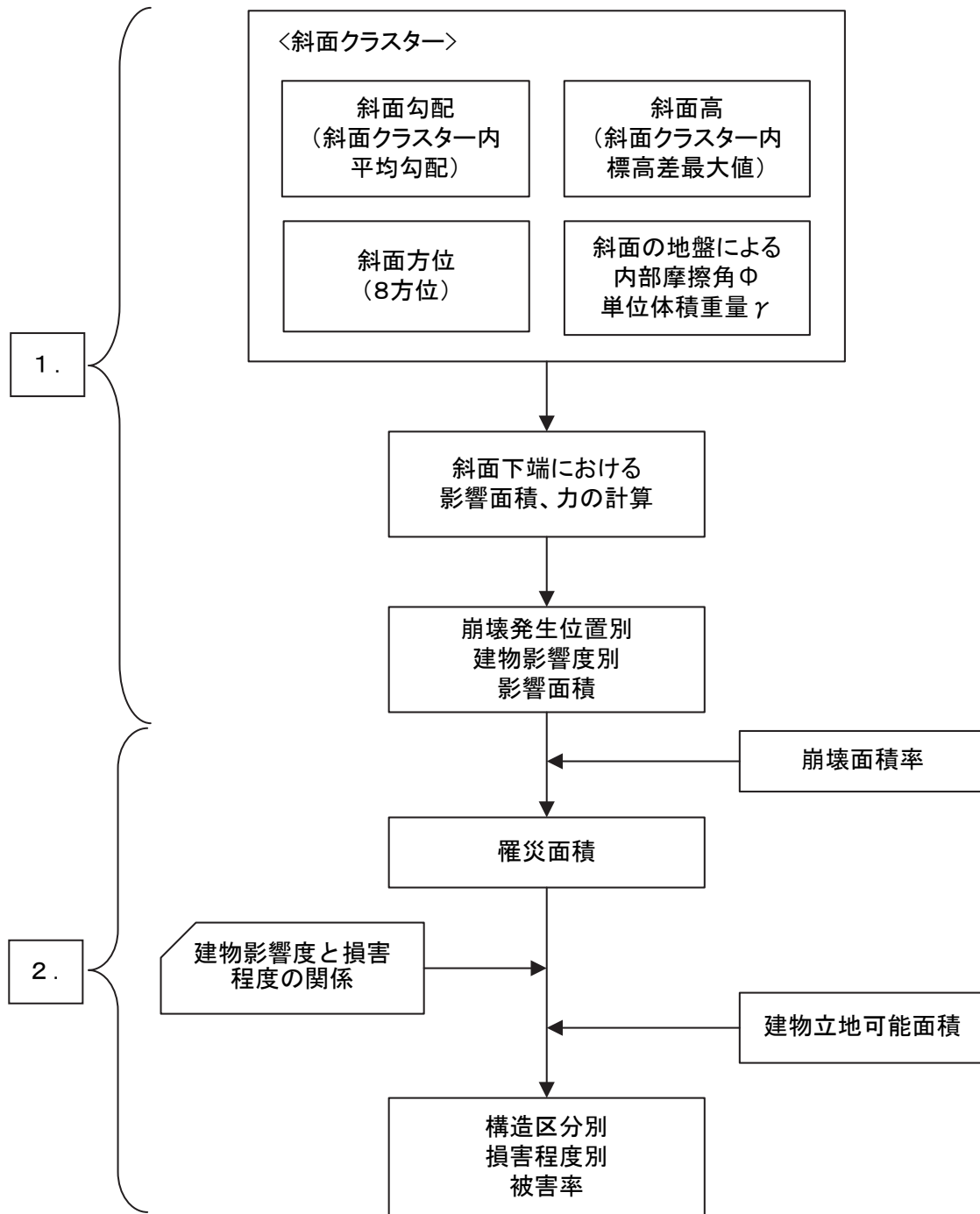


## 第 IV 章. 斜面崩壊による建物被害率評価の検討

本章では、III章で作成した斜面クラスターデータを用いて、斜面が崩壊した際の建物への影響度と影響面積（影響範囲）を評価する手法について検討を行い、構造区分別損害程度別の建物被害率を求める手法の構築を行った。建物被害率評価の流れを図IV-1に示す。



図IV-1 斜面崩壊による建物被害率評価の流れ

## 1. 地震時の斜面崩壊による影響面積の評価方法の検討

本節では、地震時の表層崩壊に相当する崩壊モデルを設定し、その崩壊により土砂が流下する影響範囲を計算により求め、その影響面積を評価する手法を検討する。

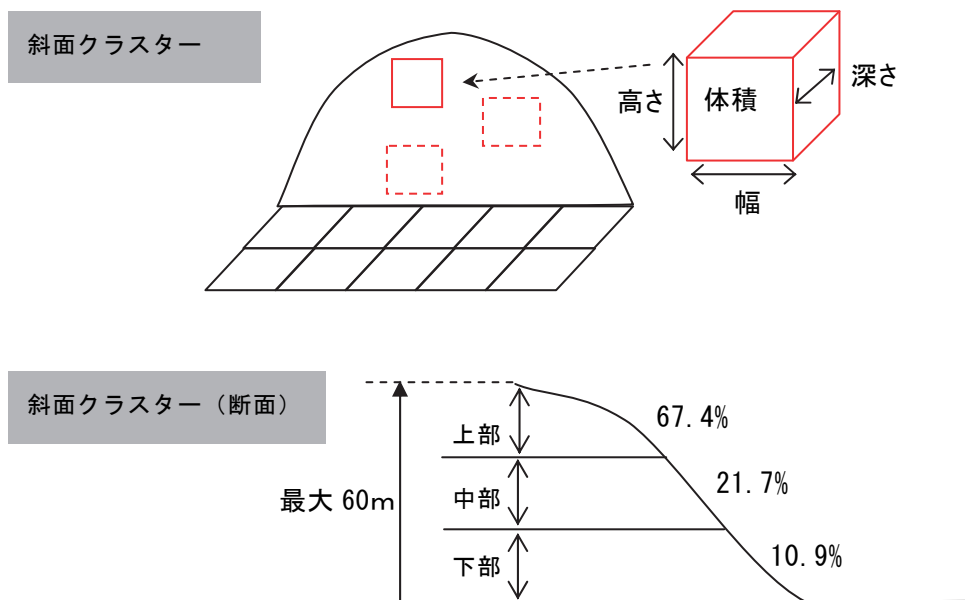
### 1-1. 崩壊モデルの設定

想定する崩壊は、斜面全体が崩壊するような大規模なものではなく、斜面の一部が崩壊するものを想定する。

地震時の斜面崩壊で建物に被害を与える要因は、主に土砂の移動による力（衝撃力）であり、その衝撃力は斜面の高さに依存するため、被害の影響範囲は斜面の高さに応じたものとする必要がある。

一方、斜面の崩壊規模（崩壊範囲）については、斜面の大きさにはある程度依存するものの、斜面の状況などで様々に変化することから、これを精度よく予測することは困難である。

最終的に 250mメッシュ単位で評価することを考慮し、崩壊規模は崩壊発生位置に関わらず一定とするモデルとした。さらに、斜面の高さ方向における崩壊発生位置は斜面上部・斜面中部・斜面下部の3つに分類して評価するモデルとし、斜面影響範囲が下端に至らない場合も考慮する。（図IV-2）



図IV-2 想定する崩壊モデル

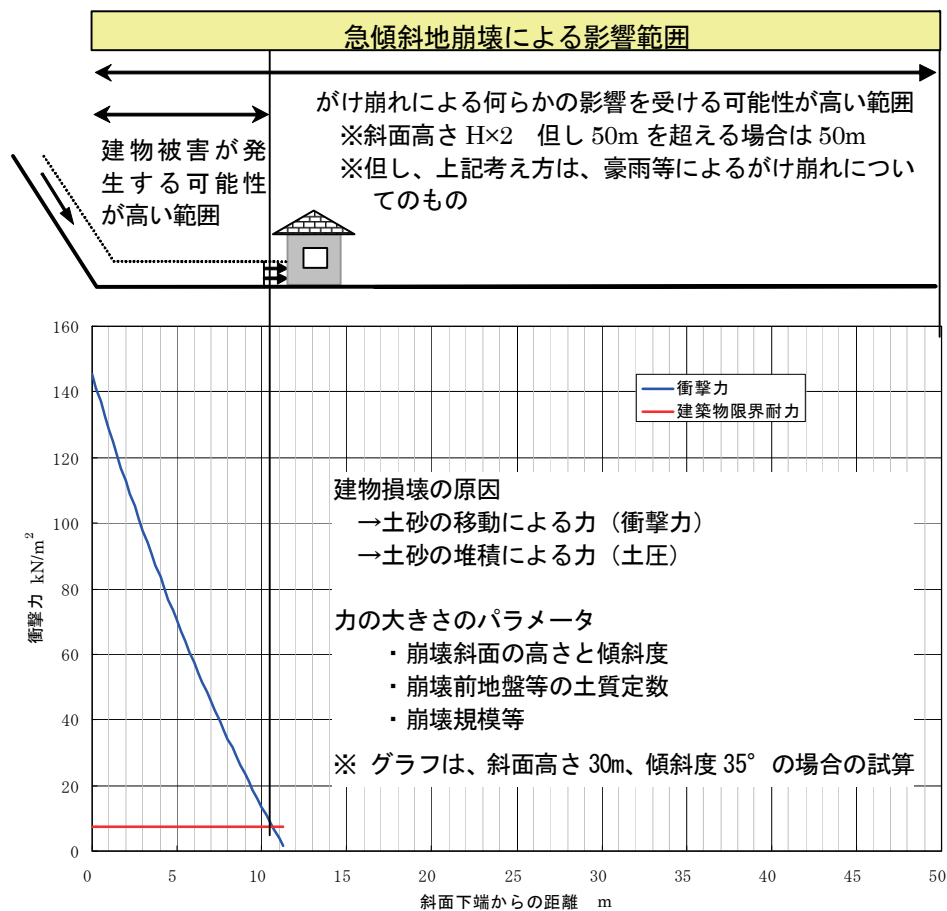
## 1-2. 崩壊影響面積の評価方法

全国に存在する斜面を対象に、斜面崩壊の影響範囲を設定する。本研究では、シミュレーション等によらない簡易な手法で、かつ斜面の地形条件なども考慮した計算モデルとするため、建築物に作用する力の大きさを定めた方法に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令第2条第2号の規定に基づき国土交通省大臣が定める方法等を定める告示」（国土交通省告示第332号）（以下、告示という）に定める手法を準用してモデル化を行うこととした。

土砂災害防止法では、崩壊に伴う土砂の移動により建築物に作用する力（衝撃力）及び堆積による力が通常の建築物の耐力を上回る範囲を求め、「著しい危害のおそれのある土地の区域」としている。イメージ図を図IV-3に示す。

本研究では、地震時の崩壊によるものに限るため、崩壊土砂による衝撃力が支配的であると考え、土砂の移動による力（衝撃力）のみにより崩壊影響面積を評価することとした。算出のフローを図IV-4に示す。

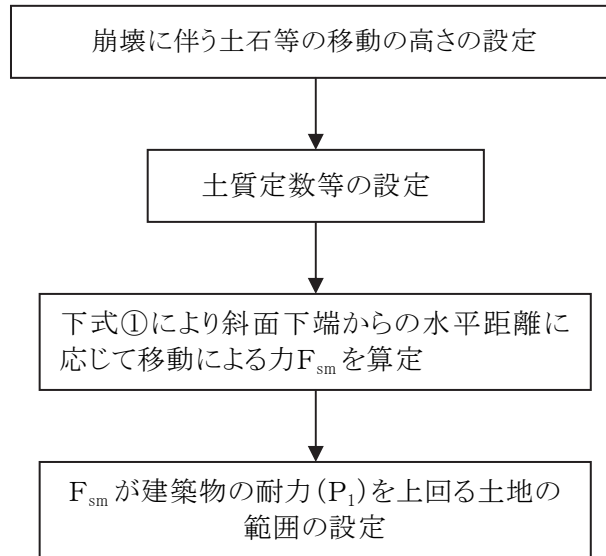
なお、用いるパラメータは、崩壊土量、崩壊幅、崩壊深、崩壊位置、斜面高さ（限界）、到達距離（限界）である。



図IV-3 斜面崩壊が建築物に及ぼす力と影響範囲（斜面下端側）のイメージ

(1) 崩壊土砂の移動による力の算出式

急傾斜地の崩壊土砂の移動による力 ( $F_{sm}$ ) から影響範囲を求める。



図IV-4 土砂の移動による力（衝撃力）の算出フロー

(国土交通省告示第 332 号)

告示に基づき急傾斜地の高さ及び傾斜度，急傾斜地の下端から建築物までの水平距離等に応じて国土交通大臣が定める方法は，次の式により算出する。

$$F_{sm} = \rho_m g h_{sm} \left[ \left\{ b_u / a (1 - \exp(-2aH / h_{sm} \sin \theta_u)) \cos 2(\theta_u - \theta_d) \right\} \exp(-2aX / h_{sm}) + b_d / a (1 - \exp(-2aX / h_{sm})) \right] \cdots \text{式①}$$

この式において， $F_{sm}$ ， $\rho_m$ ， $g$ ， $h_{sm}$ ， $b_u$ ， $a$ ， $H$ ， $\theta_u$ ， $\theta_d$ ， $X$ 及び $b_d$ は，それぞれ次の数値を表す。

$F_{sm}$ :急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動により建築物の地上部分に作用すると想定される力の大きさ(単位  $\text{kN/m}^2$ )

$\rho_m$ :急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の密度(単位  $\text{t/m}^3$ )

$g$  : 重力加速度(単位  $\text{m/s}^2$ )

$h_{sm}$ :急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の移動の高さ(単位  $\text{m}$ )

$b_u$ :次の式によって計算した係数

$$b_u = \cos \theta_u \{ \tan \theta_u - (((\sigma - 1)c) / ((\sigma - 1)c + 1)) \tan \phi \}$$

この式において， $\theta_u$ ， $\sigma$ ， $c$ 及び $\phi$ は，それぞれ次の数値を表すものとする。

$\theta_u$ :急傾斜地の傾斜度(単位 度)

$\sigma$  :急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の比重

- c : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の容積濃度  
 φ : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の内部摩擦角(単位 度)  
 a : 次の式によって計算した係数

$$a = 2 / ((\sigma - 1)c + 1)f_b$$

この式において  $\sigma$ , c 及び  $f_b$  は、それぞれ次の数値を表すものとする。

- $\sigma$  : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の比重  
 c : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の容積濃度  
 $f_b$  : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の流体抵抗係数  
 H : 急傾斜地の高さ(単位 m)  
 $\theta_u$  : 急傾斜地の傾斜度(単位 度)  
 $\theta_d$  : 急傾斜地の下端に隣接する急傾斜地以外の土地の傾斜度(単位 度)  
 X : 急傾斜地の下端から当該建築物までの水平距離(単位 m)  
 $b_d$  : 次の式によって計算した係数

$$b_d = \cos \theta_d \{ \tan \theta_d - (((\sigma - 1)c) / ((\sigma - 1)c + 1)) \tan \phi \}$$

この式において、 $\theta_d$ ,  $\sigma$ , c 及び  $\phi$  は、それぞれ次の数値を表すものとする。

- $\theta_d$  : 急傾斜地の下端に隣接する急傾斜地以外の土地の傾斜度(単位 度)  
 $\sigma$  : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の比重  
 c : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の容積濃度  
 φ : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動時の当該土石等の内部摩擦角(単位 度)

## (2) 建築物の耐力の設定

土砂の移動による力(衝撃力)に対する通常の建築物の耐力  $P_1$  は、下式により求める。

$$P_1 = 35.3 / H_1 (5.6 - H_1) \quad \dots \text{式②}$$

$P_1$ : 土砂の移動による力に対する通常の建築物の耐力 [kN/m<sup>2</sup>]

$H_1$ : 急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動により力が通常の建築物に作用する場合の土石等の高さ [m]

小山内ら (2005a) の研究によると、平成 15 年に発生したがけ崩れ災害発生箇所(誘因は降雨)のうち 15 箇所の事例を用いて被災した家屋の 93%が、告示に基づいて設定したがけ崩れによる「家屋被災範囲」に含まれることが明らかになっている。

### 1-3. 崩壊影響面積計算モデルに用いるパラメータの設定

#### (1) 斜面下方における建物影響度の評価指標

斜面内および斜面上部における建物被害の影響は、一律に評価することが可能であるが、斜面下方については、斜面からの距離などによりその影響度は様々である。斜面下方の建物に対する影響度や被害率は、過去の地震被害から統計的に求める方法が考えられるが、斜面崩壊による建物被害に関する情報は極めて少なく、必要な項目<sup>\*</sup>かつ精度を満たしていないのが現状である。そのため、斜面下方における建物影響度の評価指標をIV-1のように考えることとした。

※必要とする被害情報：がけ崩れが発生した斜面の高さ、勾配、発生土砂量と建物被害の状況（全壊、半壊、一部損壊の別、被災建物の位置）等

表IV-1 評価項目と指標

評価項目	評価内容	指標、評価の考え方
①衝撃力	斜面を高速度で流下してきた土砂先端部が建物に衝突し、その衝撃(衝撃力)により損壊する。	土砂の衝撃力と木造建築物の構造耐力の比較から設定。斜面の高さ・勾配・土質条件等から計算で求める。
②土砂流入	損壊箇所より建物内に崩壊土砂が流入する。	土砂の堆積高さを計算より設定。崩壊土量・勾配・土質条件等から計算で求める。

#### ① 崩壊土砂の衝撃力による被害

斜面下方の建物に対する影響度を土砂の衝撃力により評価する。衝撃力の閾値は、木造建築物の外壁の耐力やコンクリート壁の構造変化点を参考に区分することとした（表IV-2）。衝撃力は下端からの距離および土砂の移動の高さにより変化することから、同一の衝撃力であっても、移動の高さが大きいほど、下端からの距離は遠くなる。

土砂の移動の高さを変化させ、閾値の衝撃力となる下端からの距離をそれぞれ計算し、影響範囲を評価することとした。そのため、土砂の移動の高さを0.6m, 0.8m, 1.0mとした場合の衝撃力の閾値の組み合わせにより建物影響度として区分した。衝撃力による建物影響度区分を表IV-3に示す。

表IV-2 斜面下方の影響範囲評価のための衝撃力の閾値

閾 値	説 明	想定被害
木造建物の耐力	木造建築物の外壁の耐力	この値を越えると木造建物の軸組みが破壊され全壊に至る。
コンクリート壁の構造変化点	100kN/m <sup>3</sup> （コンクリート壁鉄筋配筋量が大幅に増大する変化点）	外壁の耐力の小さいS造建物の外壁が損壊する（半壊程度）。

② 崩壊土砂の建物内への土砂流入による被害

衝撃力による影響は、建物の軸組みや外壁の破損といった建物の「損壊」の被害に対する評価であるが、実際の被害については、建物内部に土砂が進入する場合があります。その場合には、「埋没」の被害となる。

そこで、「埋没」の被害を考慮するために、崩壊土砂が水平堆積することを想定し、土砂の堆積高さ 0.45m および 1.0m の場合における斜面下端からの距離を斜面毎に算出し、それを閾値として建物影響度（1～2）を設定することとした。なお、建物に影響を与える範囲の上限は、斜面高さの 1.8 倍（最大 35m）とした。

表IV-3 建物内に進入する土砂の影響範囲の閾値

閾 値	説 明	被害想定
土砂の堆積高さ 0.45m の範囲	斜面毎に崩壊土量と崩壊幅から算定	密閉性の低い木造建築物について土砂が流入する可能性があり、土砂堆積高さが 0.45m 以上と想定される。
堆積高さが 1.0m 以上となる範囲	斜面毎に崩壊土量、崩壊幅から算定	堆積高さが 1m を超える場合、密閉性の高い、S 造(重量鉄骨)、RC、SRC について斜面に面した窓等から土砂が流入する可能性がある。

土砂の移動の高さ：0.6～1.0（崩壊深 1.2m～2.0m）

なお、計算方法は、土砂災害防止法の土砂の堆積高さの計算モデルを準用して行った。

(2) 崩壊規模の設定

本研究で対象とする斜面の崩壊規模等の条件（崩壊土量・崩壊幅・崩壊深）から設定するパラメータは、以下のとおりである。

① 崩壊土量・崩壊幅

国総研資料第 261 号（小山内ほか，2005）によると、「崩壊土砂による衝撃力と崩壊土砂量を考慮した待受け擁壁の設計計算事例」（全国地すべりがけ崩れ対策協議会，2004）において、「崩壊土砂量は、現地の地質調査等による推定が困難な場合は、全国の斜面災害データ（4,671 件）での斜面高さ毎に区分した崩壊土量（累積度数 90%となる値）を参考とすることができる。」とされている（表IV-4）。また同表では、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崩壊幅が示されている。本研究では、この表を参考に、崩壊高さに基づき、崩壊土量と崩壊幅を設定することとした。

表IV-4 斜面高さ別の崩壊土量（90%値）

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

(小山内ほか, 2005a より引用)

② 崩壊深の推定

「がけ崩れ災害の実態」(小山内ほか, 2009)より, 昭和47年~平成19年に地震により発生した崩壊深の平均値は1.2mであった。また, 累積頻度でみると80%以上の崩壊が深さ2m以内であった(表II-2再掲)。

そのため, 崩壊深2mおよび1.2mの2パターンにより評価することとした。

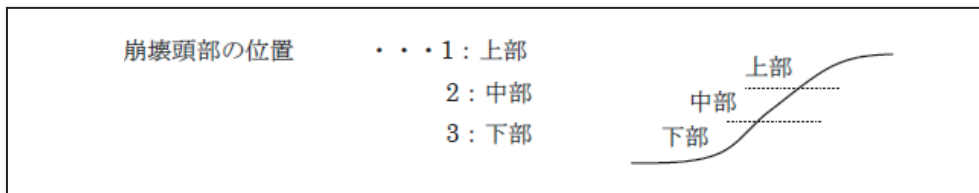
表II-2 既往の地震による斜面崩壊の統計(昭和47年~平成19年)[再掲]

統計値	崩壊の高さ H (m)	崩壊の幅 W (m)	崩壊の深さ D (m)	崩壊の斜面長 L2 (m)	崩壊土量 V (m <sup>3</sup> )	崩土の到達距離 L (m)	崩壊の位置 H/h	崩壊の範囲 L/H	崩壊の形状 W/H
平均値	14.6	37.9	1.2	13.2	713.4	7.1	0.848	0.421	3.113
個数	504	512	295	510	329	202	396	133	484
分散	258.775	3688.146	2.890	206.650	33027074	359.6	0.79	0.28	21.50
標準偏差	16.1	60.7	1.70	14.4	5747	19.0	0.890	0.525	4.64
変動係数	3.1918	11.861	0.57632	2.819	1746.8	9.388	0.22470	0.39466	0.9579
最小値~ 最大値	0.5 220	1 550	0 17	0 150	0 100000	0 220	0.04 15.0	0 3.6	0.022727 42

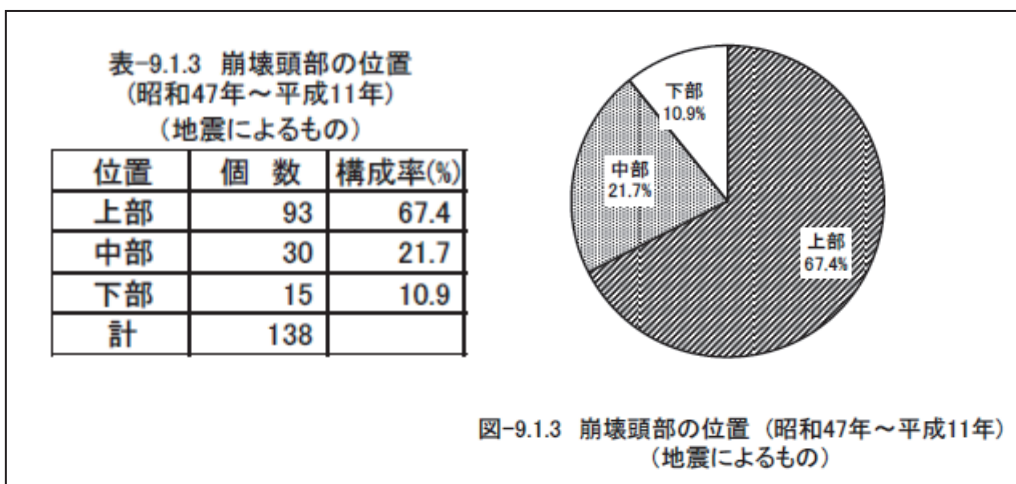


(3) 崩壊位置の設定

「がけ崩れ災害の実態」(小山内ほか, 2009)によると, 昭和47年~平成11年  
の間に地震により発生した斜面崩壊のうち, 崩壊頭部の位置が記載された138件中,  
崩壊位置が斜面上部のものが67.4%, 斜面中部のものが21.7%, 斜面下部のものが  
10.9%であった(図IV-5)。



図IV-5(1) 崩壊頭部の位置



図IV-5(2) 地震による崩壊頭部の位置 (昭和47年~平成11年)

(がけ崩れ災害の実態 (小山内ほか, 2009) より引用)

このように, 地震による崩壊頭部の位置は上部からの崩壊が67.4%と最も高い。  
崩壊による土砂の影響範囲は斜面高さに依存することから, 崩壊位置により影響範囲  
が異なる。そこで, 上部・中部・下部のそれぞれの崩壊位置からの崩壊による影  
響面積を求め, 図IV-5(2)に示す崩壊頭部位置の構成率を崩壊位置別の発生割合とし  
て加味することとした。

(4) 影響面積計算モデル適用対象とする斜面高さの上限値の設定

先に示した影響範囲の算定手法において指標としている“土砂の移動による力”は、崩壊土砂が斜面下端まで到達することを前提としているため、斜面が大きい場合など斜面内で土砂が停止する可能性を表現できない。そこで、既存の災害実績データにもとづき、評価対象とする斜面高さの上限値を設定することを検討した。

表IV-5 地震による崩壊の高さの分布

表-12.2.3 崩壊の高さ（昭和47年～平成19年）  
（地震によるもの）

崩壊の高さ (m)	個数	頻度 (%)	相対累積 頻度(%)
0～9	216	42.9	42.9
10～19	171	33.9	76.8
20～29	54	10.7	87.5
30～39	29	5.8	93.3
40～49	19	3.8	97.0
50～59	7	1.4	98.4
60～69	2	0.4	98.8
70～79	2	0.4	99.2
80～89	1	0.2	99.4
90～99	0	0.0	99.4
100～	3	0.6	100.0
計	504		

(がけ崩れ災害の実態（小山内ほか，2009）より引用)

上記の資料には、深層崩壊等の大規模崩壊が含まれている可能性があるが、深層崩壊は、崩壊全数からみて非常にまれな崩壊であり、数%程度と推測される。

そこで、本研究の対象外としている大規模な崩壊を除外するために頻度が1%未満の崩壊の高さの区分を除き、その中で最大となる崩壊の高さ60mまでを斜面下方まで土砂の影響があると想定されると仮定として影響範囲の計算モデルの対象とした。なお、主に日本海中部地震等の地震により発生した崩壊事例である23件（国総研資料第530号より）においても崩壊の高さ60mが最大となっている。

影響範囲の計算モデル対象斜面  
斜面高さ 60m以下

(5) 斜面下方への崩壊土砂の到達限界の設定

崩壊土砂が到達する距離については、斜面高さの2倍、最大で50mとする考え方もある。これらは、斜面防災の観点から活用されている事例であり、安全側に評価した場合の結果であることから、家屋等に影響を与えないであろう土砂の高さ数cm程度の範囲も含めた結果であると推測される。そのため、家屋の被災という観点からみると、被災範囲としては過大評価となっている可能性がある。そこで、崩壊土砂の到達限界についての検討を行った。

昭和47年から平成19年の地震による崩壊事例（全189事例）の集計結果から、崩土の到達距離と崩壊高さの比率（到達距離/崩壊高さ）が大きくなるにつれて、発生頻度の減少傾向がみられる（表IV-6）。特に、各階級の頻度が1%未満となる階級を除いた場合、崩土の最大到達距離は斜面高さの1.79倍（≒1.8）程度である。

また、崩土の到達距離についての集計をみると、到達距離が大きくなるにつれて、その頻度が小さくなる傾向がみられる（表IV-7）。特に、崩土の到達距離が35m以上の各階級の頻度は概ね1%未満となり、発生確率は低いと推測できる。

これらの整理から、崩壊事例で把握された崩土の到達距離は、ほぼ斜面高さの1.8倍以内であり、崩土の到達距離も35m以上の発生確率は非常に小さい。これらから、土砂の影響範囲は斜面高さの1.8倍、崩土の到達距離の最大は35mとする。

**最大の土砂の影響範囲（下端からの距離）**  
**斜面高さの1.8倍（最大で35m）**

表IV-6（崩土の到達距離／崩壊高さ）の統計

表IV-7 崩土到達距離の統計

表-12.8.3 崩土の到達距離/崩壊の高さ  
 (昭和47年～平成19年) (地震によるもの)

崩土の到達距離 ／崩壊の高さ	個数	頻度 (%)	相対累積 頻度(%)
0.00～0.19	78	41.3	41.3
0.20～0.39	48	25.4	66.7
0.40～0.59	21	11.1	77.8
0.60～0.79	14	7.4	85.2
0.80～0.99	6	3.2	88.4
1.00～1.19	7	3.7	92.1
1.20～1.39	2	1.1	93.1
1.40～1.59	5	2.6	95.8
1.60～1.79	3	1.6	97.4
1.80～1.99	1	0.5	97.9
2.00～	4	2.1	100.0
計	189		

表-12.7.3 崩土の到達距離 (昭和47年～平成19年)  
 (地震によるもの)

崩土の到達距離 (m)	個数	頻度 (%)	相対累積 頻度(%)
0～4	139	68.8	68.8
5～9	24	11.9	80.7
10～14	18	8.9	89.6
15～19	6	3.0	92.6
20～24	2	1.0	93.6
25～29	2	1.0	94.6
30～34	3	1.5	96.0
35～39	1	0.5	96.5
40～44	2	1.0	97.5
45～49	0	0.0	97.5
50～	5	2.5	100.0
計	202		

(がけ崩れ災害の実態 (小山内ほか, 2009) より引用)

## (6) その他パラメータの設定

### ① 傾斜度の設定

斜面クラスターにおける傾斜度については、区分された斜面クラスターに含まれる10mDEMの傾斜度の平均値を求め、10mDEMでは一般に傾斜度が実際の斜面よりされ緩くなることを考慮するために、斜面クラスターの傾斜度平均値に一律20度を加算して当該斜面クラスターの傾斜度として設定することとした。

### ② 斜面高さの設定

斜面高さについては、区分された斜面クラスターのポリゴンに含まれる10mDEMの標高値の最低標高と最大標高の値の差を当該斜面クラスターの斜面高さとして設定した。

### ③ 土砂の移動の高さの設定

斜面の崩壊に伴う土石等の移動の高さは、国総研資料第261号(小山内ほか, 2005b)によると「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)において、崩壊深の1/2とされている。そのため、(1)②において想定した崩壊深(1.2m~2.0m)より、土砂の移動の高さは0.6~1.0mと設定した。

### ④ 土質定数の設定

斜面における土質定数には表IV-8のものがある。参考値が与えられているため、これらの数値を使用するが、単位堆積重量 $\gamma$ と内部摩擦角 $\phi$ については、土質により変化するため、ここでは、国土数値情報「土地分類メッシュ」の表層地質を元に分類した「礫質土」「砂質土」「粘性土」の土質区分を利用して、表IV-9、表IV-10に基づき設定することとした。

表IV-8 土質定数等の一覧

項 目	記 号	単 位	参考値
土石等の比重	$\sigma$	—	2.6
土石等の容積濃度	c	—	0.5
土石等の密度	$\rho_m$	t/m <sup>3</sup>	1.8
土石等の単位体積重量	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	14~20 <sup>1)</sup>
土石等の内部摩擦角	$\phi$	°	15~40 <sup>2)</sup>
土石等の流体抵抗係数	$f_b$	—	0.025
建築物の壁面摩擦角	$\delta$	°	$\phi \times 2/3$

(小山内ほか(2005a)より引用)

表IV-9 土石等の単位体積重量設定例

土質	土の単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> (tf/m <sup>3</sup> ))	
	緩いもの	密なもの
砂および砂礫	18 (1.8)	20 (2.0)
砂質土	17 (1.7)	19 (1.9)
粘性土	14 (1.4)	18 (1.8)

(日本道路協会, 1999 より)

ここでは崩壊により生じた土石等が建築物に作用する場合の力の大きさを算定するものであることから、上表の「緩いもの」の欄の数値を用いることとした。

表IV-10 土石等の内部摩擦角

裏込め土の種類	せん断抵抗角 ( $\phi$ ) (内部摩擦角)
礫質土 <sup>注1</sup>	35°
砂質土	30°
粘性土	25°

注1) 粒径の揃った砂は礫質土の値を用いても良い

(日本道路協会, 1999 より)

### 1-3. 影響距離および影響度の設定

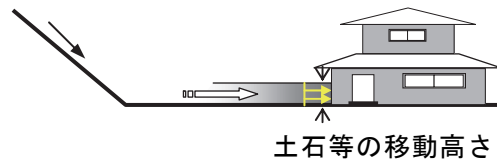
#### (1) 想定する被害様相

斜面崩壊による建物の被害様相として、斜面上方・斜面内・斜面下方の3つの領域において想定される建物の被害様相について整理し、本手法で評価対象とする被害様相を定義する。

#### ① 斜面下方に隣接する土地に立地する建物に想定される被害様相

- イ) 斜面を高速度で流下してきた土砂先端部が建物に衝突し、その衝撃(衝撃力)により損壊
- ロ) イ)に続き、斜面と建築物の間に土砂が堆積し、堆積の力(土圧)が作用し損壊
- ハ) イ)またはロ)に続き、破損箇所より建物内に崩壊土砂が進入する
- ニ) 被害を受けた建物を介して、間接的に被害を受ける

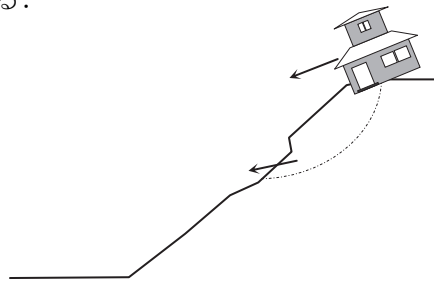
上記のケースのうち、ロ)はイ)に比べて損壊への影響は小さく、イ)の衝撃力による損壊パターンが支配的であるため、イ)についてのみ評価する。ニ)については希少なケースであり、斜面・土砂を直接受ける建物・隣接する建物の位置関係に左右されることから評価が困難であるため考慮しないこととする。イ)またはハ)による被害について、崩壊の規模と崩壊との位置関係(斜面下端からの距離)により、建物影響度を評価する。



図IV-6(1) 斜面下方に隣接する土地の建物被害イメージ

② 斜面上方に隣接する土地の建物に想定される被害様相

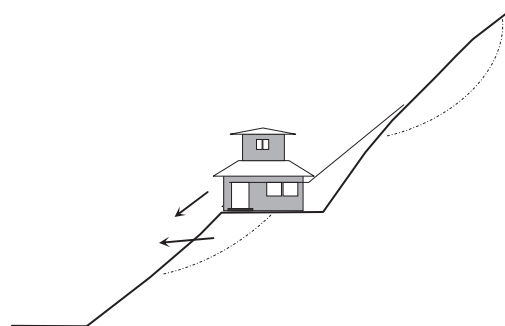
斜面上方に隣接する建物は、足元または近接地での崩壊により、住宅脚部が崩壊に巻き込まれる可能性が高い。地震保険損害認定基準より、木造建物では傾斜が  $1^\circ$  を超える場合または沈下が 30cm を超える場合に全損となることから、最も高い建物影響度に分類する。



図IV-6(2) 斜面上方に隣接する土地の建物被害イメージ

③ 斜面内の建物に想定される被害様相

建物が斜面内に立地する場合、脚部の崩壊に巻き込まれる可能性と、上方からの土砂により被災する可能性の両方が考えられるが、脚部が巻き込まれた場合には斜面上方の場合と同様に木造建物では傾斜が  $1^\circ$  を超える場合または沈下が 30cm を超える場合に全損となる。そのため、影響度が高い脚部の崩壊に巻き込まれる可能性を評価することとし、斜面内は一律、最も高い建物影響度に分類する。



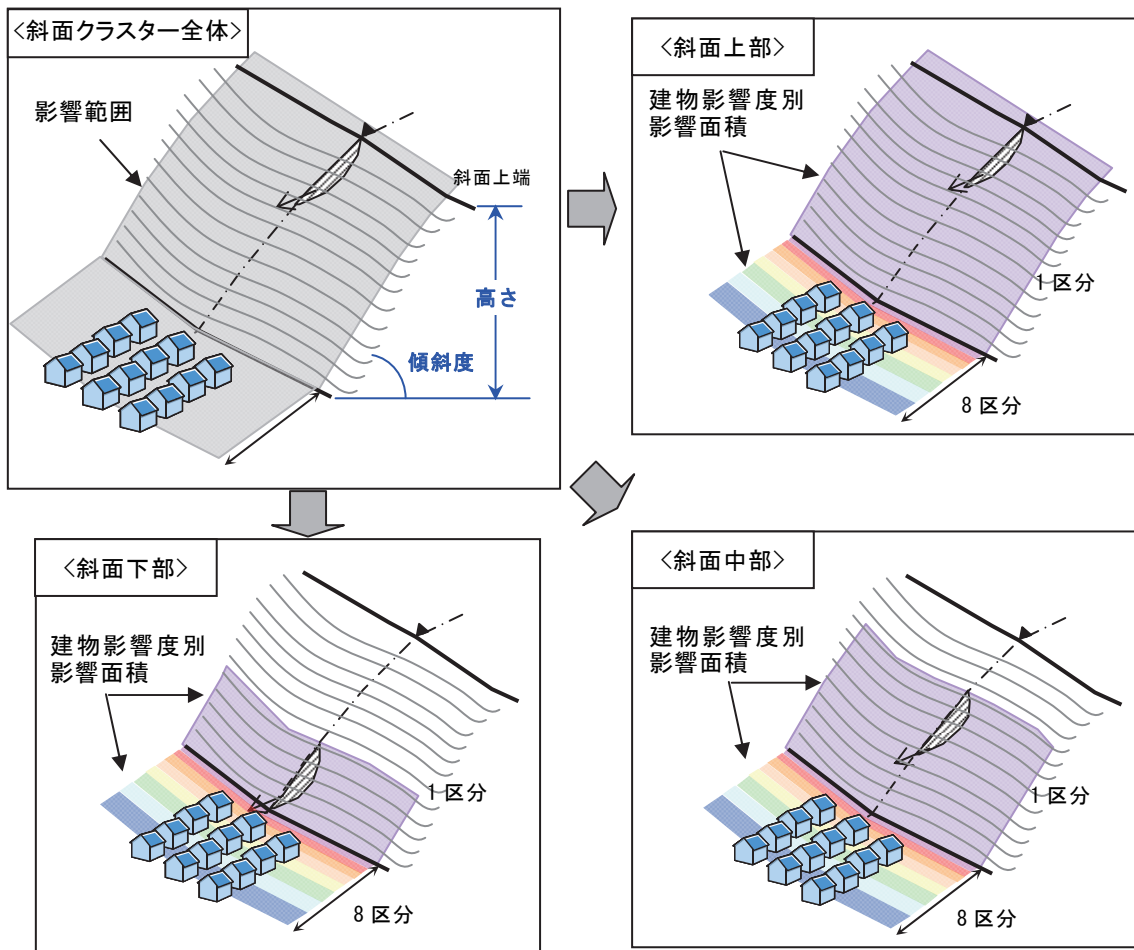
図IV-6(3) 斜面内の建物の被害イメージ

#### 1-4. 建物影響度別影響面積の算出

本研究では、地震による斜面崩壊の建物に対する影響度評価として、崩壊した場合の影響面積により評価する手法を検討した。影響面積の算出には衝撃力の算定式（国土交通省告示第332号）を準用し、想定される影響範囲から10mメッシュにおける影響面積を評価する方法を検討した。

斜面の崩壊が建物への影響を考える場合には、土砂の衝撃力および堆積の高さが指標として妥当であると考えられ、建物の被害様相から建物影響度を9つに区分した。

これら衝撃力等による影響度合いは、崩壊斜面の高さによって異なることから、斜面の崩壊発生位置を上部、中部、下部の3パターンに分け、それぞれで建物影響度別の影響面積を算出することとした。（図IV-7）なお、この影響面積は、斜面全体が崩壊した場合の影響面積であり、後に地震による崩壊面積率のデータを乗じ建物の罹災面積を算出する。

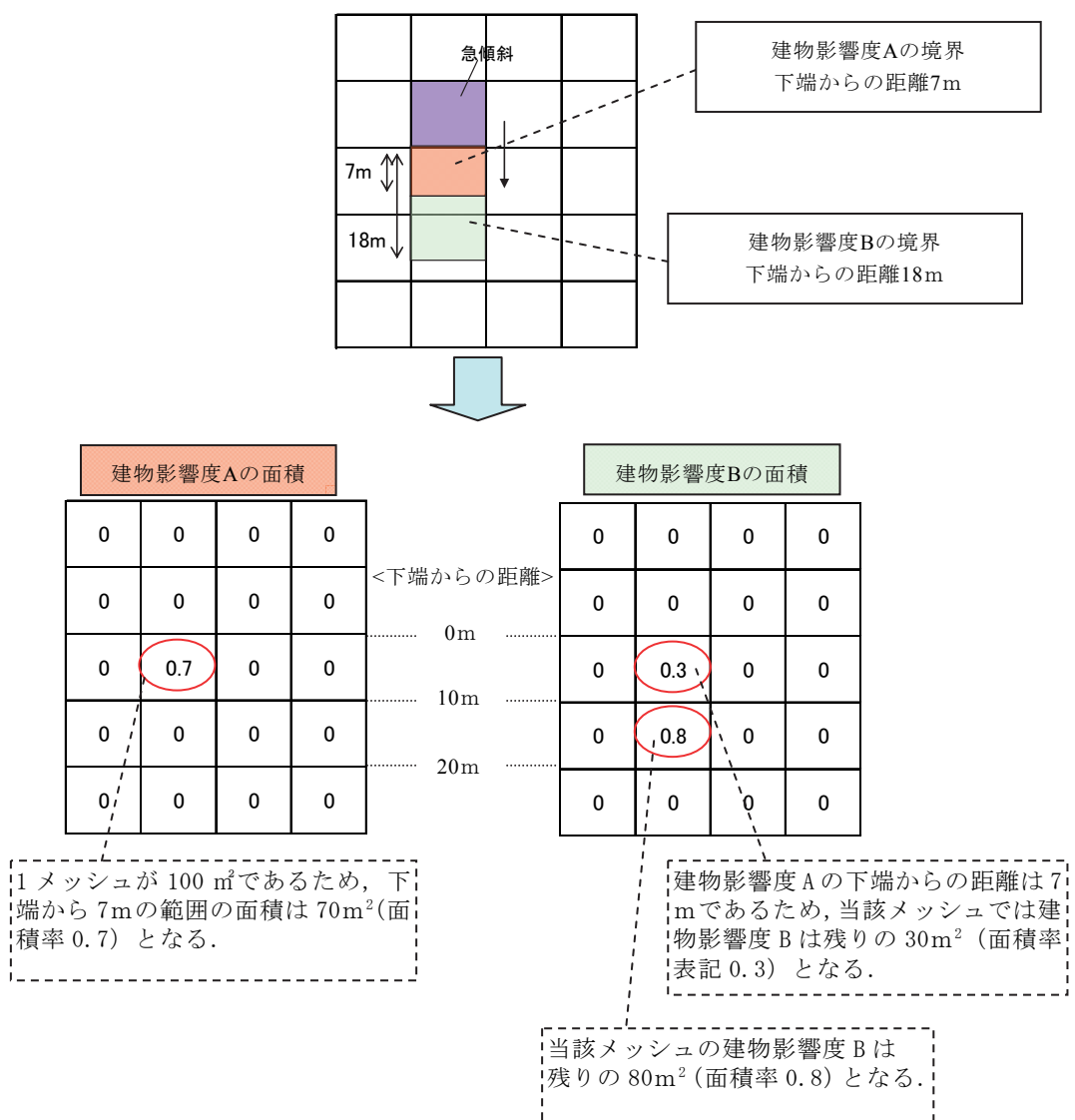


図IV-7 崩壊発生位置による建物影響度別影響面積の算出イメージ

### 1-5. 建物影響度別影響面積の算出アルゴリズム

各建物影響度における面積は、斜面クラスターごとの素因条件より計算された建物影響度毎の境界位置から、10mメッシュ単位で影響範囲に該当する面積を計算する。これらの計算は建物影響度毎に行う。なお、データ容量の問題から、評価にあたっては10mメッシュ単位の面積率として計算を行い、集計するにあたっては、建物影響面積を面積率に1メッシュあたりの面積（ $100\text{m}^2 = 10\text{m} \times 10\text{m}$ ）を掛け合わせて面積として扱っている。

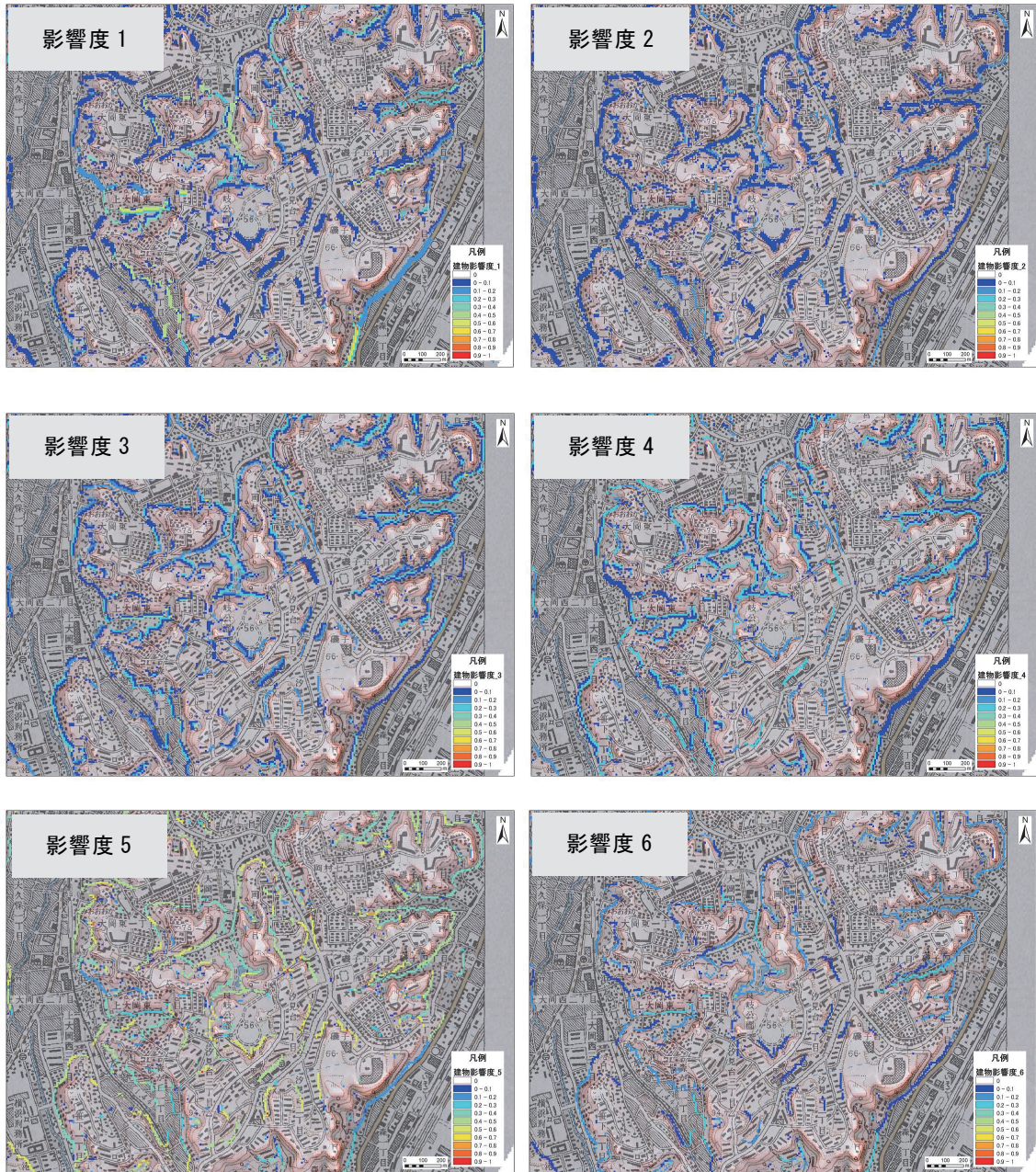
なお、1つのメッシュに複数の斜面からの影響が想定される場合、建物影響度が最も高い値を当該メッシュの影響面積とすることとした。



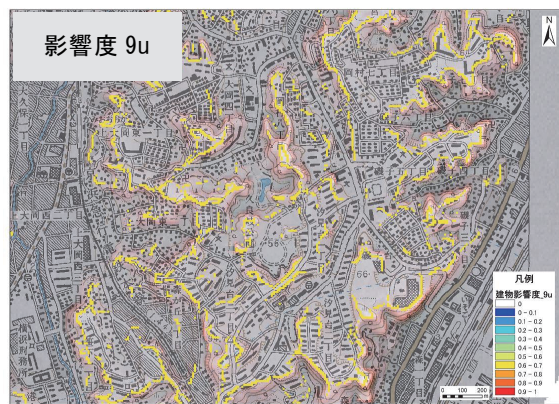
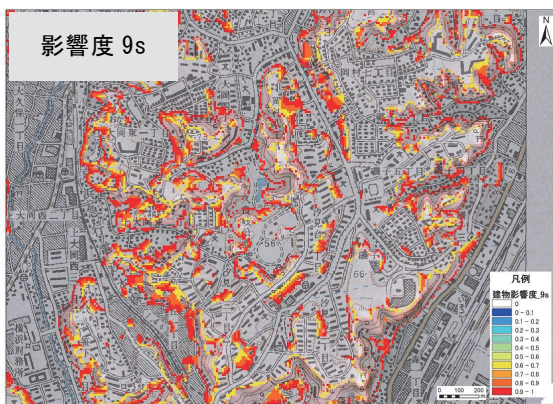
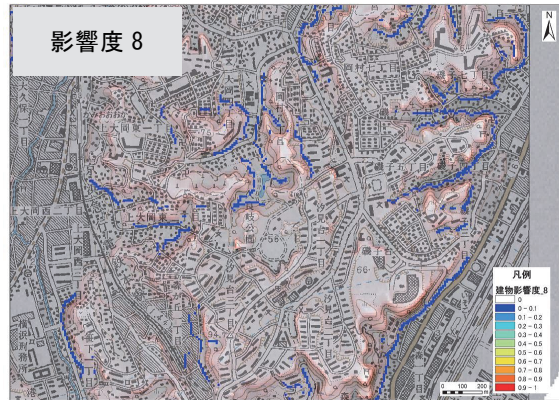
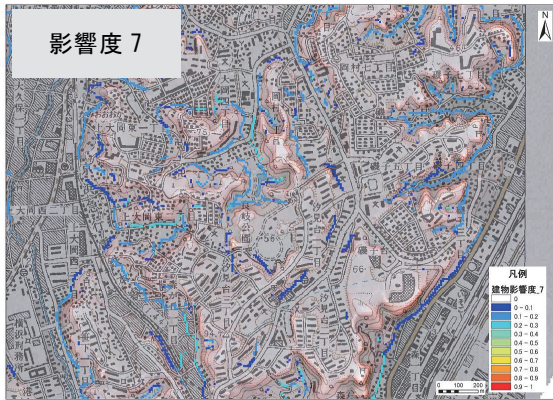
図IV-8 建物影響度における影響面積の算出



建物影響度別の影響面積の算出例を図IV-9に示す。



図IV-9(1) 建物影響度別影響面積の算出例(影響度 1~6)



図IV-9(2) 建物影響度別影響面積の算出例(影響度 7~9u)

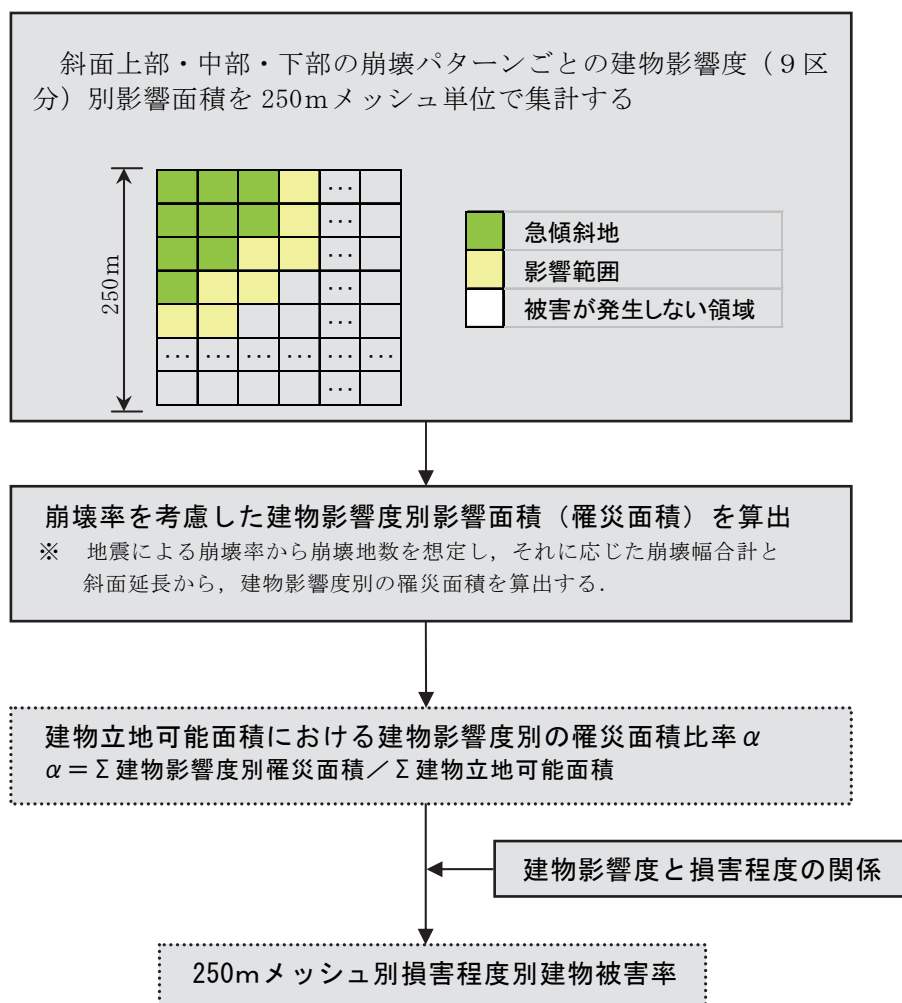
## 2. 250mメッシュ別建物被害率の算出

### 2-1. 250mメッシュ別建物被害率の算出方法の概要

ここでは、斜面クラスター別（10mメッシュで構成）に評価した建物影響度別影響面積から250mメッシュ別損害程度別被害率への集計方法について述べる。

まず、建物影響度別影響面積は斜面クラスター全体（斜面横方向すべて）が崩壊した場合の影響面積であるため、これに地震による崩壊面積率を考慮して罹災面積とする。ここで、建物影響度別の影響面積は、斜面横方向の長さに依存することから、全体斜面に対する崩壊斜面横方向の延長比で地震による崩壊面積率を考慮することとした。地震による崩壊率から崩壊地数を想定し、それに応じた崩壊幅合計と斜面総延長比を建物影響度別の影響面積に乗じて求める。

次に、建物構造（1～9）と損害程度（全損・半損・一部損）の対応関係を建物構造別に設定し、建物影響度から損害程度別の罹災面積に集計し、これを建物立地可能面積で除して、250mメッシュ別損害程度別被害率とする。



図IV-10 250mメッシュ別の建物被害率算出の考え方

## 2-2. 建物構造区分に応じた建物影響度と損害程度の設定

### (1) 建物構造と想定される被害の状況の整理

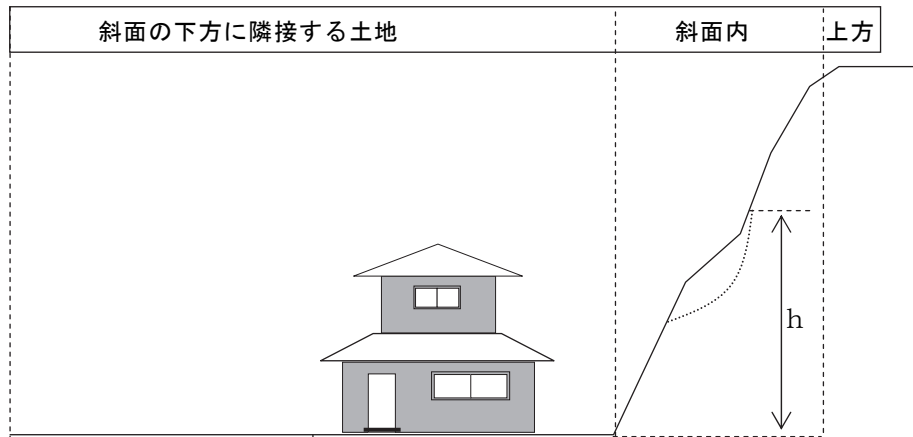
土砂が到達した時の損害の程度は建物の耐力によって異なる。そこで、構造によって建物の耐力に違いがあることを考慮するために、住宅建物の構造を木造（軽量鉄骨を含む）、S造（重量鉄骨）、RC造・SRC造の3区分に分類し、それぞれについて想定される被害の状況を地震保険における全損・半損・一部損の支払区分を参考に表IV-11のとおり整理し、設定した建物影響度とそれらの閾値条件について表IV-12に示す。また、建物影響度と被害の対応イメージを図IV-11に示す。

表IV-11 建物構造と想定される被害の状況の関係

構造区分	評価項目	被害の有無と想定される被害の状況		
		斜面の下方に隣接	斜面内	斜面の上方
木造, 軽量鉄骨造	土砂衝撃による損壊	一部損～全損 土砂の衝撃力が大きい場合、主要構造部である軸組、外壁が損壊し全損にいたる。軽量鉄骨造は、柱、はり部が鉄骨の複合構造であり、外壁の構造・素材によっては全損にいたる可能性がある。		—
	崩壊土砂の建物内浸入	一部損 開口部等の損壊箇所から土砂が進入し、斜面との距離により45cm以上堆積する。		—
	建物の傾倒	—	全損 木造は直接基礎のため、足元または、近傍で崩壊した場合、傾倒する。軽量鉄骨造も直接基礎の場合がほとんどであり、足元または、近傍で崩壊した場合傾倒する。	
S造 (重量鉄骨)	土砂衝撃による損壊	一部損～半損 鋼材の厚みが6ミリ以上のもので「重量鉄骨造」ともいう。主に中層の集合住宅や店舗併用住宅等に用いられるもので、軽量鉄骨と比較して外壁材料の強度も強いものが使われる場合が多いと推定される。斜面に近接し、土砂の衝撃力が大きい場合は、半壊程度にいたる。		—
	崩壊土砂の建物内浸入	一部損 開口部等の損壊箇所から土砂が流入し、斜面との距離により45cm以上堆積する。		—
	建物の傾倒	—	全損 直接基礎の場合があり、足元または、近傍で崩壊した場合傾倒する。	
RC造, SRC造	土砂衝撃による損壊	無 斜面側に面したガラス窓が割れる、割れた窓からの土砂流入等が想定されるが、主要構造部に被害は及ばない。		—
	崩壊土砂の建物内浸入	一部損 斜面側に面したガラス等が割れた場合、土砂が流入し、斜面との距離により45cm以上堆積する可能性がある。		—
	建物の傾倒	—	無 表層崩壊が想定される場所には建築される可能性は極めて稀なため無被害とする。	

表IV-12 建物影響度の閾値条件

建物影響度	建物影響度の閾値			説明
	土砂の移動の高さ	衝撃力	土砂の堆積高さ	
9upper	—	—	—	斜面上部に該当する範囲で、脚部の崩壊に巻き込まれ、建物の傾動が想定される範囲
9slope	—	—	—	斜面内に該当する範囲で、脚部の崩壊に巻き込まれ、建物の傾動が想定される範囲
8	0.6m	100kN/m <sup>3</sup> を超える	—	土砂の移動の高さ0.6mの時に外壁耐力の小さいS造建造物の外壁が損壊する範囲
7	0.8m	100kN/m <sup>3</sup> を超える	—	土砂の移動の高さ0.8mの時に外壁耐力の小さいS造建造物の外壁が損壊する範囲
6	1.0m	100kN/m <sup>3</sup> を超える	—	土砂の移動の高さ1.0mの時に外壁耐力の小さいS造建造物の外壁が損壊する範囲
5	0.6m	11.77kN/m <sup>3</sup> を超える	—	土砂の移動の高さ0.6mの時に木造建物の軸組みが破壊され全壊に至る場合のある範囲
4	0.8m	9.19kN/m <sup>3</sup> を超える	—	土砂の移動の高さ0.8mの時に木造建物の軸組みが破壊され全壊に至る場合のある範囲
3	1.0m	7.68kN/m <sup>3</sup> を超える	—	土砂の移動の高さ1.0mの時に木造建物の軸組みが破壊され全壊に至る場合のある範囲
2	—	—	1.0m	斜面側に面したガラス窓等が割れた場合に、土砂が流入し、家財に被害をあたえる範囲
1	—	—	0.45m	損壊箇所から土砂が流入し、土砂が45cm以上堆積し、家財に被害を与える範囲



① 衝撃力と木造建築物耐力との比較

崩壊深 1.2m	移動の高さ 0.6m	3	4	5	6	7	8	9s	9u
崩壊深 1.6m	移動の高さ 0.8m	3	4	5	6	7	8	9s	9u
崩壊深 2.0m	移動の高さ 1.0m	3	4	5	6	7	8	9s	9u

衝撃力が  $100\text{kN/m}^2$  を上回る範囲

衝撃力が木造建築物の耐力を上回る範囲

② 崩壊土砂が到達する可能性がある範囲

最大 $H \times 1.8$ (Max35m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9s	9u
-------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

堆積高さが 1.0m を上回る範囲

堆積高さが 0.45m を上回る範囲

③ 建物影響度と損害程度の関係

	1	2	3	4	5	6	7	8	9s	9u
木造等：	一部損		半損			全損				
鉄骨造：		一部損			半損		全損			
RC・SRC造：	一部損壊									

※ RC造およびSRC造の建物は、硬い地盤（N値50以上）に建てられるため、本研究で対象としている表層崩壊などが発生する地盤とは考えにくく、基礎に影響を受けるような崩壊が発生することはきわめて稀なケースであると考えられるため、斜面内および斜面上部であっても影響は無いものとした。

※ 建物影響度9は、斜面内（9slope）と斜面上部（9upper）に区分。

図IV-11 建物影響度と罹災程度に対応イメージ

(2) 建物影響度と損害程度の関係

建物影響度と罹災程度の関係を表IV-13に示す。

RC造およびSRC造の建物は、硬い地盤(N値50以上)に建てられる、または対策工が施されている場合が多く、本研究で対象としている表層崩壊により、基礎に影響を受けるような崩壊が発生することはきわめて稀なケースであると考えられる。そのため、斜面内および斜面上部であっても影響は無いもの(無被害)とした。なお、建物影響度9は、斜面内(9s)と斜面上部(9u)に区分する。

表IV-13 建物影響度と損害程度の関係

建物影響度L	木造	鉄骨造	RC・SRC造
L1	↑ 一部損相当	無被害	無被害
L2	↓	↑	↑
L3	↑	一部損相当	
L4	↓ 半損相当	↓	
L5	↓	↓	↑
L6	↑	↑	一部損相当
L7	↑	半損相当	
L8	↓ 全損相当	↓	
L9s	↓	↑	
L9u	↓	↓ 全損相当	↓

(3) 建物影響度と損害程度の被害事例との比較

構築した建物被害率評価モデルにおける建物影響度と損害程度の関係は、移動土砂の衝撃力と土砂の堆積の高さ(国土交通省告示第332号による)から評価を行ったものである。

モデルの検証として過去の地震時の被害事例との比較を行うことを考えたが、斜面崩壊により被災した建物の詳細な被災状況および位置、崩壊斜面の詳細情報が記載されている資料の入手は困難であった。そこで、「がけ崩れによる家屋被災範囲の設定手法に関する研究」(小山内ほか, 2005a)において、同手法による評価結果と実際の災害事例との検証が行われているため、この事例を参考にモデルの検証を行った。ただし、いずれの崩壊事例も降雨を誘因としたものである。

この検証事例では、表IV-14に示す15箇所の斜面における災害履歴として、実際の斜面状況と法尻からの家屋までの距離、被害状況が詳細に整理されたものである。

表IV-14(1) 斜面崩壊による家屋被害の検討事例一覧

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	美祿市	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	鰻取	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IV-14(2) 斜面崩壊による家屋被害の検討斜面緒元一覧

表 3.2 検討に用いた崩壊の諸元

箇所番号	箇所名	がけ崩れ発生月日	誘因	最大崩壊幅 (m)	斜長 (m)	崩壊土量 (m <sup>3</sup> )	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	鰻取	2003.7.26	降雨	10	7	40	0.8
15	梅垣	2003.11.28	降雨	8.5	30	130	1.7

(小山内ほか, 2005a)

上記の資料より、斜面高さ・斜面勾配・斜面下端からの距離・土質定数等などの情報を整理し、被災家屋に作用すると想定される衝撃力を計算するとともに、本研究で設定した建物影響度の設定方法に従い、該当する建物影響度と木造建築物における損害程度の区分を実施し、実際の被害との比較を行った。これらの整理結果を表IV-15に示す。

整理結果のうち、注意すべき点を以下に示す。

- ・ 災害事例の被災状況は壁破損などと表記されているだけであり、損害の程度（一部損か半損か）は不明である。
- ・ 家屋下端からの距離については、断面図等には示されていない場合には、平面図より崩壊地下端からの距離を紙面上で測定した。
- ・ 被害事例の建物構造は不明なため、全て木造建物と仮定した。



表IV-15 想定される建物影響度および罹災程度と被災事例との比較

箇所名	被害実績	本研究の評価結果	
	被災状況	罹災程度 (木造建物の場合)	建物 影響度
麦川上	全壊	全損	8
安垣 1	全壊	半損	5
下隈谷	全壊	半損	5
大谷 2 丁目	半壊	半損	5
津原 2	半壊	一部損	1
鯨取	壁破損	全損	6
梅垣	壁破損	半損	5
高尾	壁破損	半損	5
旭が丘	壁破損	半損	5
長良	壁一部被災	半損	5
小泊	壁破損	半損	5
安垣 2	壁破損	半損	5
西丸山	壁破損	半損	5
下隈谷	壁・柱が破損	半損	3
立岩	被害無し	半損	5
津原 1	被害無し	無被害	-

本研究で設定した損害程度と実際の被災状況とを比較すると、損害程度としては半損と評価される 12 事例のほとんどが実際の被災事例では一部損壊または半壊程度の被害を受けていることがわかる。また、損害程度として全損と評価される 2 事例のうち、1 件は全壊被害を受けており一致するが、もう 1 件では一部損または半損程度の被害となっていた。

これらの被災事例としては数が少なく、ある程度大きな被害が生じているものを優先的に整理されたデータである可能性が高いため、罹災程度が一部損に該当する範囲での検証事例が少ないという課題もある。

現状では、地震時の被害事例の詳細な情報が極めて少ないため、これ以上の検証は困難であるが、本研究で想定した建物影響度と損害程度の関係は、実際の被害状況と比較的調和的であると考えられる。

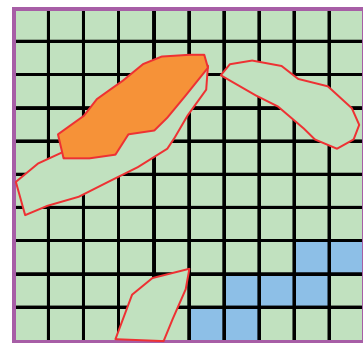
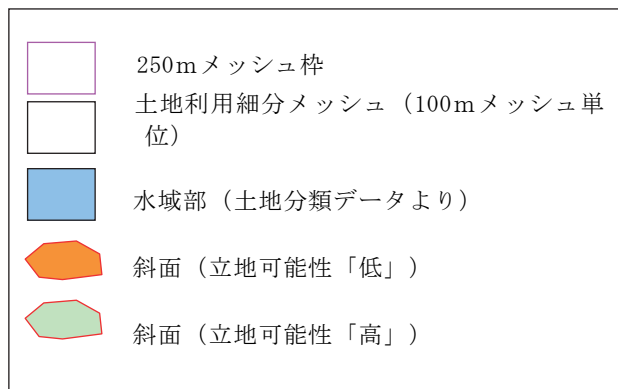
今後はさらなる被害実績のデータとの比較・分析を進め、検証することが望まれる。

### 2-3. 住宅建物立地可能面積の算出

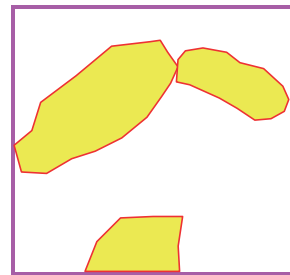
住宅建物の立地可能性が低い領域を評価対象外とし、住宅建物の立地の可能性のある領域のみで評価を行う。住宅建物立地可能性が低い範囲については以下のように設定した。

- ・土地利用細分メッシュデータ(国土数値情報)で水域部として評価されている領域
- ・10mDEMの斜面勾配を指標として、詳細土地分類データの宅地部との関係から住宅建物の立地の可能性が低いと想定される領域

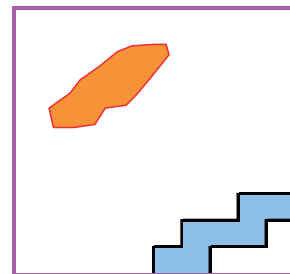
$$250\text{mメッシュの住宅建物立地可能面積} = 250\text{mメッシュ面積} - \text{水域部面積} - \text{立地可能性の低い土地面積}$$



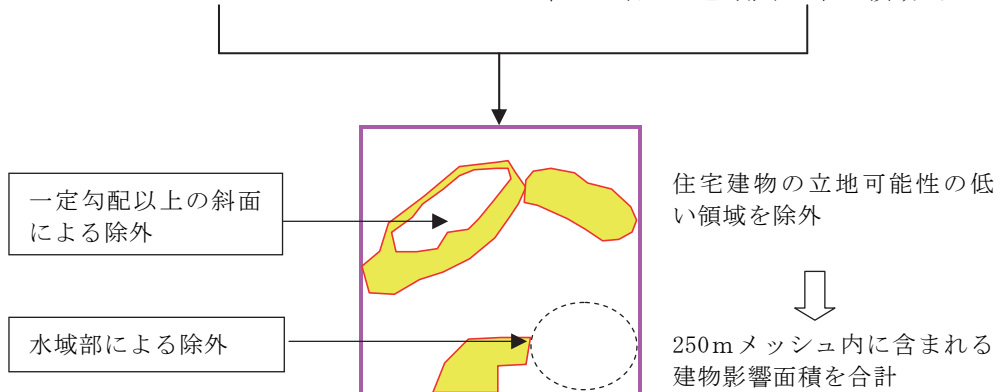
※緑色部分が住宅建物の立地可能な土地



建物影響度別の罹災面積



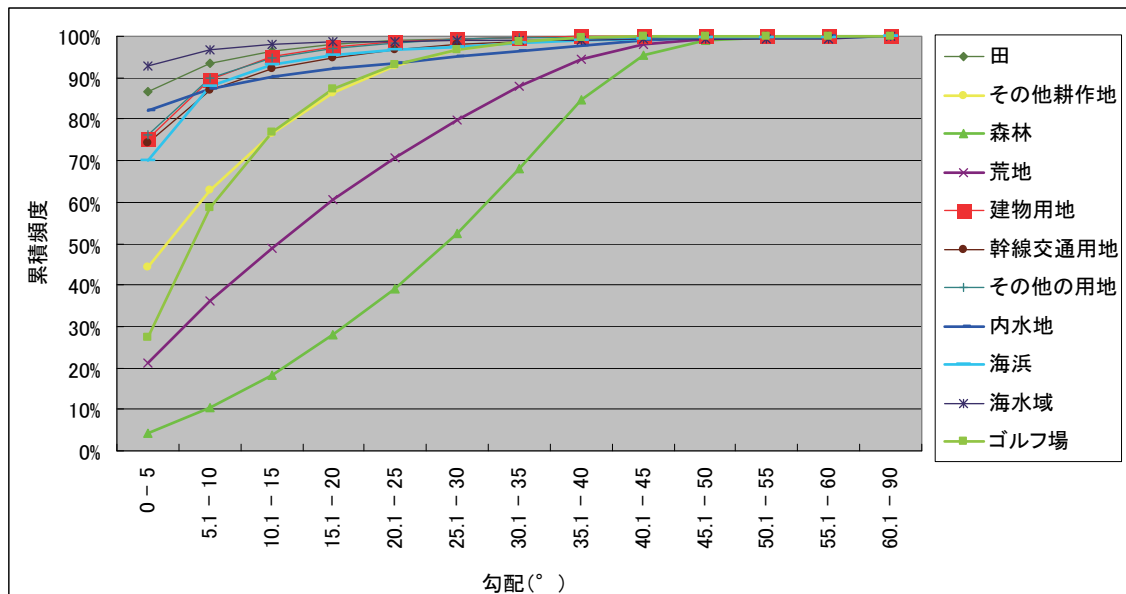
住宅建物の立地可能性が低い領域ポリゴン



図IV-12 住宅建物の立地可能性の低い領域を除いた250mメッシュによる建物影響面積の集計イメージ

斜面勾配による家屋等の立地可能領域については、神奈川県における土地分類データで建物用地とされている領域において、10mメッシュで傾斜度を集計し、その累積頻度より建物用地として利用されていない傾斜度を設定した。

建物用地として利用されている範囲の95%は傾斜度15度未満の範囲に立地していることが分かる。そこで、斜面勾配15°以上の土地は建物用地として利用される可能性は非常に少ないものとして扱った。

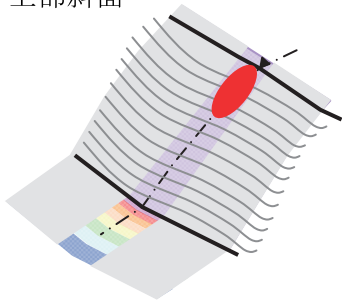


図IV-13 各土地利用における斜面勾配の累積頻度集計結果

## 2-4. 建物被害率の算出

損害程度に応じた建物影響度の組み合わせについての関係一覧表を基に、それぞれの損害程度に該当する建物影響度の罹災面積比率を合算し、被害率として算出した。

上部斜面



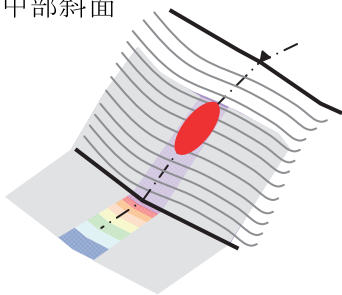
罹災面積および面積比率は建物影響度別斜面位置別に算出される。

地震による崩壊全数における

建物影響度別罹災面積比率

$$= \frac{1}{S_{sya}} \times (S_U \times R_U + S_M \times R_M + S_L \times R_L)$$

中部斜面



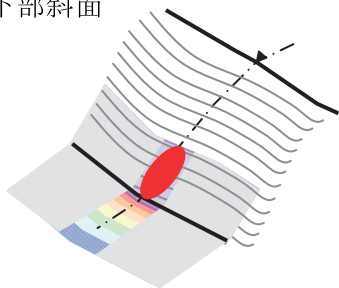
損害程度に対応した建物影響度の組合せに応じた罹災面積比率の合計を算出

例) 全損相当に該当する建物影響度の罹災面積率を集計

被害率 = 損害程度に応じた罹災面積比率の合算

$$= \frac{1}{S_{sya}} \times (\sum S_U \times \sum R_U + \sum S_M \times \sum R_M + \sum S_L \times \sum R_L)$$

下部斜面



- $S_U$ : 250mメッシュ内の斜面上部で発生した場合の影響面積
- $S_M$ : 250mメッシュ内の斜面中部で発生した場合の影響面積
- $S_L$ : 250mメッシュ内の斜面下部で発生した場合の影響面積
- $R_U$ : 斜面上部で発生する崩壊についての崩壊地延長比
- $R_M$ : 斜面中部で発生する崩壊についての崩壊地延長比
- $R_L$ : 斜面下部で発生する崩壊についての崩壊地延長比
- $S_{sya}$ : 250mメッシュ内の斜面の合計面積

図IV-14 建物被害率の算出イメージ