

第 II 章. 構築した斜面崩壊危険度評価手法の概要

本章では、本研究において構築した斜面崩壊危険度評価手法の概要について述べる。

1. 評価対象として想定する現象，規模，被害について

まず，評価のための諸条件（評価対象とする現象の種類および規模，評価単位，利用データ）について検討を行った結果を述べる。

1-1. 評価対象として想定する現象について

斜面地が崩壊する現象については，いくつかの名称があり，大きくは「地すべり (landslide)」と「斜面崩壊 (slope failure)」に分類できる。土質工学用語辞典によると，地すべりとは，主として地質構造的要因によって広い範囲にわたって，自然斜面が滑動する現象である。その運動の速度は緩慢なものが多く，断続的な活動が数十年に続く場合がある。斜面崩壊は，地すべりに比較して小規模であり，急傾斜部分に急速なすべりとして発生する。自然斜面にも生ずるが，道路，鉄道などの盛土，切土，の人工斜面の破壊もこのタイプに含まれる。斜面崩壊のうち規模の大きいものは特に大規模崩壊，山崩れ，深層崩壊等と呼ばれており，一方，規模が小さいものは，がけ崩れ（崖崩れ），表層崩壊等と呼ばれることが多い。がけ崩れは法律（急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律）上は急傾斜地の崩壊と呼ばれている。

また，土砂災害という面から分類すれば，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第2条より「土砂災害」は「急傾斜地の崩壊（傾斜度が三十度以上である土地が崩壊する自然現象をいう。），土石流（山腹が崩壊して生じた土石等又は溪流の土石等が水と一体となって流下する自然現象をいう。）又は地滑り（土地の一部が地下水等に起因して滑る自然現象又はこれに伴って移動する自然現象をいう。）を発生原因として国民の生命又は身体に生ずる被害」と定義されている（図 II-1 参照）。都道府県別土砂災害警戒区域等指定箇所数を表 I-1 に示す。

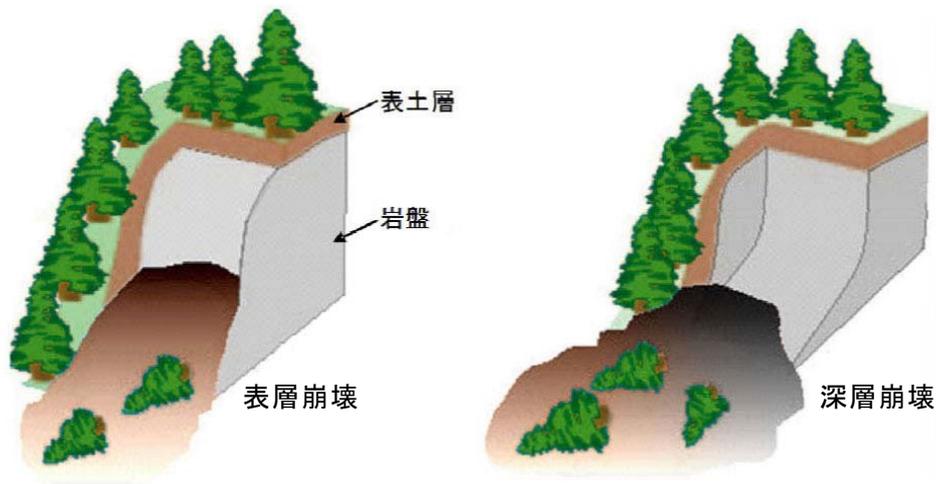
さらに，崩壊の発生メカニズムから「表層崩壊」と「深層崩壊」の2つに大きく分けられる（図 II-2 参照）。「表層崩壊」とは”山崩れ・がけ崩れなどの斜面崩壊のうち，厚さ 0.5～2.0m 程度の表層土が表層土と基盤層の境界に沿って滑落する比較的規模の小さな崩壊のこと“，“「深層崩壊」とは”山崩れ・崖崩れなどの斜面崩壊のうち，すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し，表土層だけでなく深層の地盤までもが崩壊土塊となる比較的規模の大きな崩壊現象。“（改訂砂防用語集より）である。地すべりなどの深層崩壊は，概して表層崩壊よりも規模が大きく，ひとたび発生すると住宅に与える影響は大きい。しかしながら，局所的な地質特性に規制されるなど個々の崩壊により要因の差異が大きく，メカニズムが十分に解明されていない。

本研究で評価対象として想定する斜面崩壊現象は、主に「がけ崩れ」、「急傾斜地の崩壊」、「表層崩壊」などと呼ばれる現象とする。

土砂災害の分類における評価対象範囲を図Ⅱ-3に示す。



図Ⅱ-1 評価対象とする現象(国土交通省HPより)



図Ⅱ-2 表層崩壊と深層崩壊のイメージ図
(国土交通省HPより引用・一部追記)

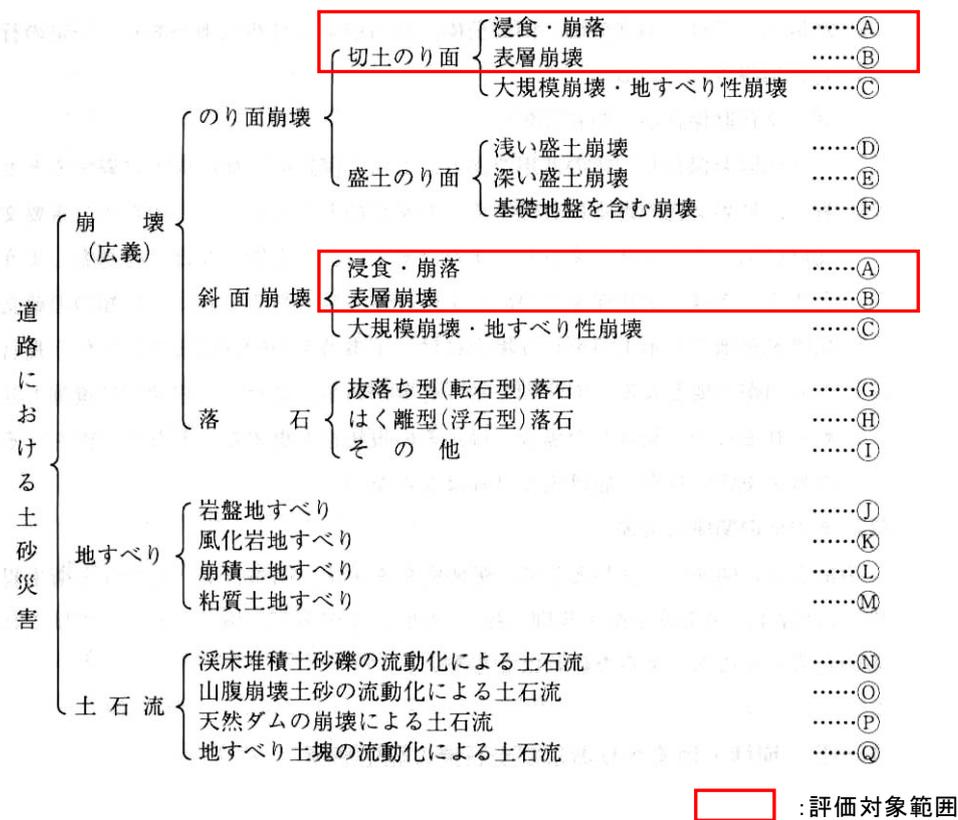


図 II-3 土砂災害の分類

(日本道路協会 (2002) より引用)

表Ⅱ-1 都道府県別土砂災害警戒区域等指定箇所数（平成19年3月31日現在）

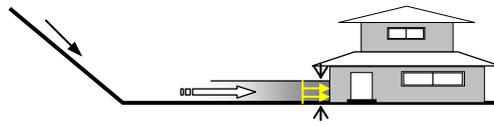
都道府県名	土石流		急傾斜		地すべり		計		市町村数
	土砂災害警戒区域		土砂災害警戒区域		土砂災害警戒区域		土砂災害警戒区域		
		うち土砂災害特別警戒区域		うち土砂災害特別警戒区域		うち土砂災害特別警戒区域		うち土砂災害特別警戒区域	
北海道	2	2	48	46	0	0	50	48	13
青森	237	146	748	682	0	0	985	828	8
岩手	273	201	307	298	0	0	580	499	9
宮城	112	80	74	73	0	0	186	153	12
秋田	236	0	273	0	0	0	509	0	8
山形	211	149	90	89	0	0	301	238	8
福島	161	101	175	170	0	0	336	271	16
茨城	69	62	164	153	0	0	233	215	7
栃木	545	393	721	701	12	0	1,278	1,094	20
群馬	65	62	101	97	0	0	166	159	6
埼玉	96	75	249	155	0	0	345	230	8
千葉	0	0	24	24	0	0	24	24	2
東京	106	0	248	0	1	0	355	0	2
神奈川	37	29	24	0	0	0	61	29	3
新潟	224	47	198	33	43	0	465	80	12
富山	132	79	321	304	45	0	498	383	7
石川	127	113	13	13	1	0	141	126	12
福井	1,759	1,324	1,507	1,442	0	0	3,266	2,766	17
山梨	360	285	529	522	59	0	948	807	11
長野	1,314	1,118	2,860	2,518	0	0	4,174	3,636	29
岐阜	401	332	0	0	0	0	401	332	3
静岡	193	99	489	266	0	0	682	365	21
愛知	52	43	139	132	0	0	191	175	27
三重	12	0	5	0	0	0	17	0	1
滋賀	531	189	655	514	0	0	1,186	703	23
京都	84	59	171	162	19	0	274	221	4
大阪	0	0	332	332	0	0	332	332	27
兵庫	419	0	646	0	0	0	1,065	0	7
奈良	33	0	130	0	0	0	163	0	3
和歌山	8	8	7	0	0	0	15	8	1
鳥取	998	0	1,272	2	0	0	2,270	2	12
島根	4,129	0	6,618	0	0	0	10,747	0	6
岡山	429	34	543	40	0	0	972	74	21
広島	1,164	961	1,699	1,654	0	0	2,863	2,615	13
山口	20	0	15	0	0	0	35	0	1
徳島	38	0	19	0	0	0	57	0	11
香川	97	0	15	0	0	0	112	0	3
愛媛	258	222	84	84	0	0	342	306	6
高知	315	0	624	0	0	0	939	0	2
福岡	5	5	6	0	0	0	11	5	1
佐賀	1	0	2	0	0	0	3	0	1
長崎	101	80	313	300	0	0	414	380	1
熊本	368	280	106	104	0	0	474	384	13
大分	97	81	166	165	0	0	263	246	12
宮崎	31	0	160	0	0	0	191	0	21
鹿児島	1,610	70	3,190	122	0	0	4,800	192	17
沖縄	0	0	2	0	0	0	2	0	1
合計	17,460	6,729	26,082	11,197	180	0	43,722	17,926	469

(砂防便覧平成20年版CD-ROMより引用)

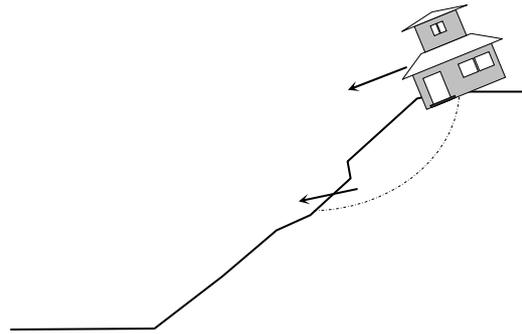
1-2. 想定する斜面崩壊による建物被害について

本研究において想定する地震時の斜面崩壊による建物被害について以下に述べる。

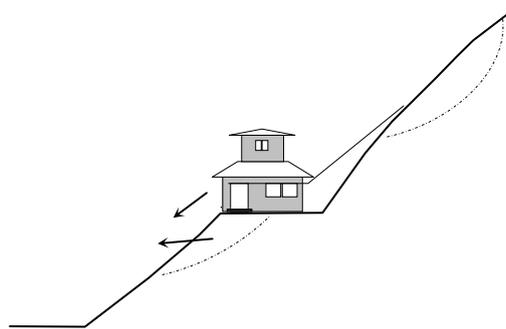
斜面が崩壊した場合に、その土砂による衝撃で斜面下方に隣接する土地に立地する建物に対して被害が及ぶ場合を主に想定するが、土地利用の進んだ地域においては斜面地を造成して建物が立地している場合も多いため、斜面上方や斜面内に立地する建物も評価対象とする（図Ⅱ-4）。なお、全国的に整備されている地形・地質等の自然条件に関する数値情報に基づき斜面地を区別するため、自然斜面と人工斜面との区別は設けないこととした。



図Ⅱ-4(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



図Ⅱ-4(2) 斜面上方に隣接する土地の建物に想定される被害



図Ⅱ-4(3) 斜面内の建物に想定される被害

1-3. 想定する崩壊規模

本研究では、前述のように、地震に伴い発生する斜面崩壊を対象とする。その規模は発生件数の多さに鑑み、幅数十m程度までの崩壊とする。

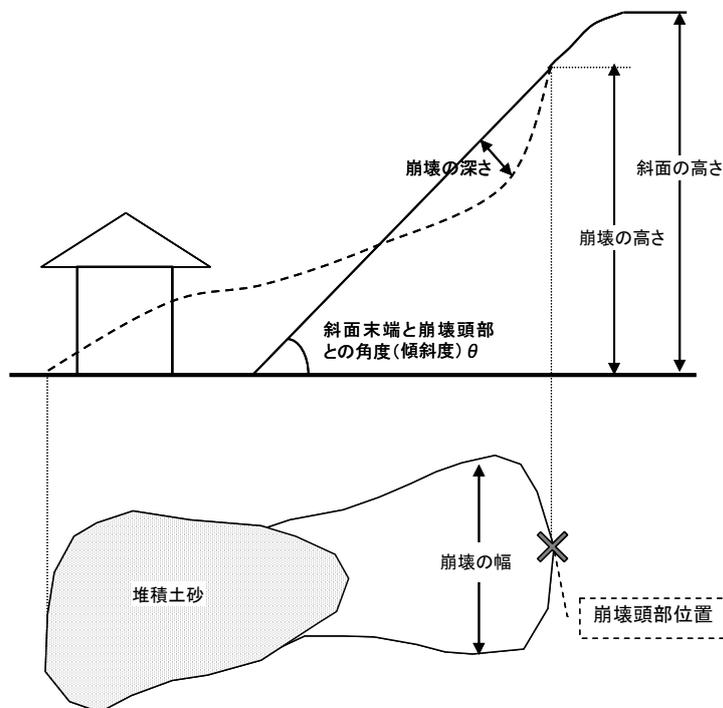
崩壊の規模を表す指標には、崩壊の高さ、崩壊の幅、崩壊の深さや、これらから求められる面積および体積などがあり、昭和47年以降の地震による斜面崩壊の発生規模は、国土技術政策総合研究所資料「がけ崩れ災害の実態」（小山内ほか、2009）の中でまとめられている（表Ⅱ-2参照）。ここでは、昭和47年から平成19年までの19,035件のがけ崩れ災害データが誘因別（降雨、地震、融雪）に整理されている。

表Ⅱ-2の平均値に基づき、崩壊の深さ1.2m、崩壊の高さ15mを斜面崩壊規模とすることとした。ただし、表の統計は深層崩壊と考えられる大規模な崩壊も含めた全ての崩壊事例による統計値であるため、最大値を別途検討することとした。

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）

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 ³)	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

（「がけ崩れ災害の実態」（小山内ほか、2009）より引用）



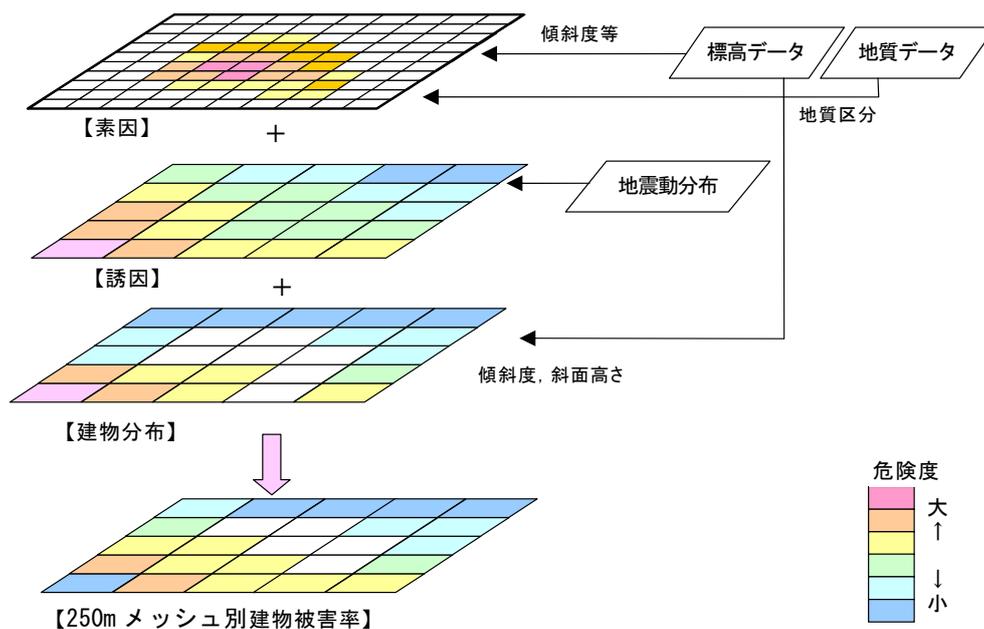
図Ⅱ-5 崩壊状況の模式図

2. 評価単位

本研究は、日本全国、一律の基準で被害率を評価することを目的としている。そのためには、事前に現地調査等が行われている急傾斜地崩壊危険箇所などの特定斜面についての情報を全国で一律に入手することは困難である。そのため、個別に評価するのではなく、日本全国をメッシュ単位で面的に評価する必要がある。そこで、日本全国で整備されている地理空間情報データを用いて、評価対象とする斜面を模擬的に生成し、それを母数とした斜面崩壊危険度評価を行う。

建物被害率の評価を行う際には、崩壊率が同じであっても、住宅数の分布状況により被害率は異なるため、一般的に活用可能な日本全国の住宅数等の分布データとして、国勢調査地域メッシュ統計や住宅・土地統計調査などがあり、これらの最小の単位は、約250m格子間隔の「4分の1地域メッシュ」（以下、250mメッシュ）である。そこで、最終的な建物被害率の評価は、この250mメッシュを単位として行うこととした。

評価イメージを示す。（図Ⅱ-6）



図Ⅱ-6 評価イメージ

3. 構築した斜面崩壊危険度評価手法の概要

本研究で構築した斜面崩壊危険度評価手法の概要について述べる。本評価手法は、斜面崩壊率評価モデルと斜面崩壊による建物被害率評価モデルの二つのモデルから成る。まず、手法構築の全体の流れ、次に各モデルの概要について示す。

3-1. 手法構築の全体の流れ

斜面崩壊危険度評価手法構築の流れを以下に示す。

- ① 数値標高データ（10mDEM）と表層地質データから求める地形量に基づき急傾斜面（斜面クラスターと呼ぶ）を設定。
- ② 地震動分布（地表最大加速度）と①で作成した斜面クラスターおよび過去4地震の崩壊履歴より素因と誘因によるマトリックス（崩壊面積率テーブル）を作成し、これにより斜面崩壊率を予測。
- ③ 設定した斜面クラスターにおいて崩壊が発生した場合の影響面積から、損害程度・建物構造別の崩壊影響面積率を予測。
- ④ ②と③より250mメッシュ別被害率として斜面崩壊危険度を評価。

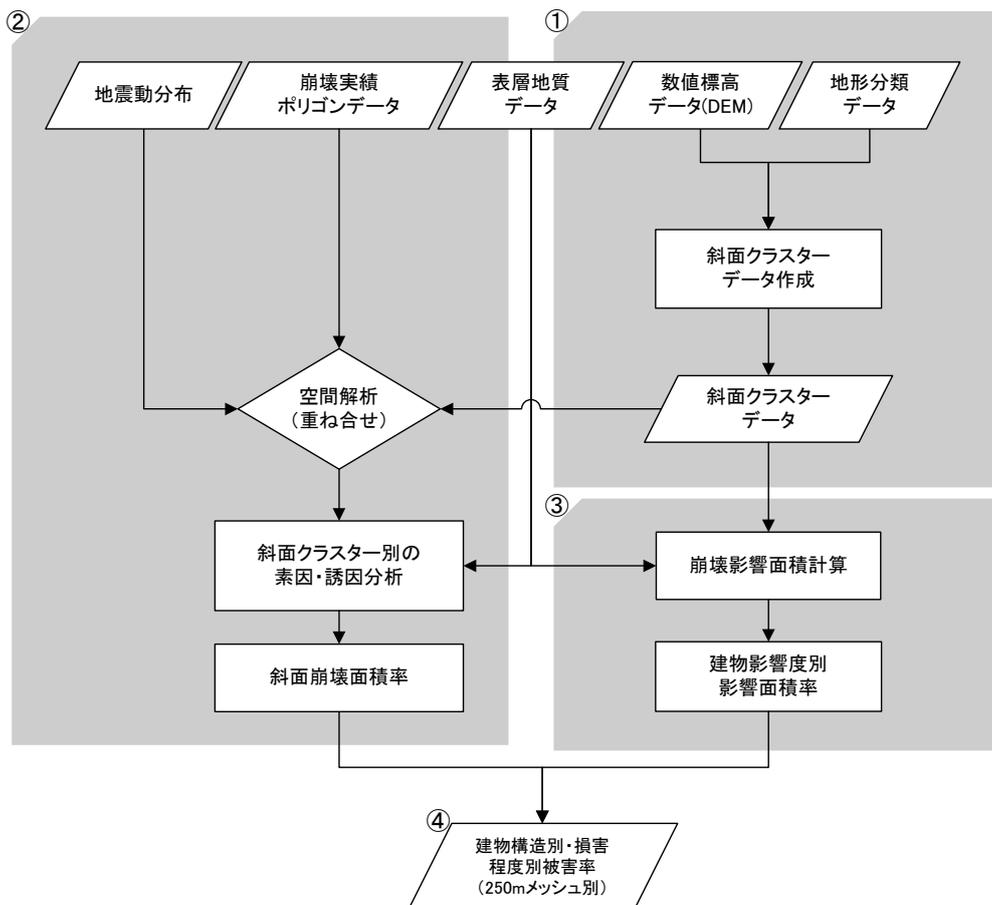


図 II-7 斜面崩壊危険度評価手法構築の流れ

3-2. 斜面クラスターデータの作成

日本全国で整備されている国土地理院の数値標高モデル（10mDEM）を用いて、地形解析から求まる地形量（勾配（傾斜度），斜面高さ（比高），斜面方位）と表層地質データから，急傾斜地崩壊率の評価単位となる斜面クラスターデータを作成する．斜面クラスターデータの作成における各地形量の設定条件は下記の通りとした．

➤ 斜面勾配（傾斜度）

山地・火山では傾斜度 20° 以上，その他は傾斜度 10° 以上を閾値として設定する．10m メッシュ DEM から算出される傾斜度は，実際の斜面よりも均されるため，緩勾配に表現される．そこで，傾斜度による抽出条件を上記の通りとした．

➤ 斜面方位

小さな凸凹に左右されずに斜面全体の方位によるまとまりを生成するため，斜面の平滑化処理（10 メッシュ近傍）を行った後に斜面方位を算出する．方位は，8方位（北・北東・東・南東・南・南西・西・北西）で区分する．

➤ 斜面高さ（比高）が 5m 以上．

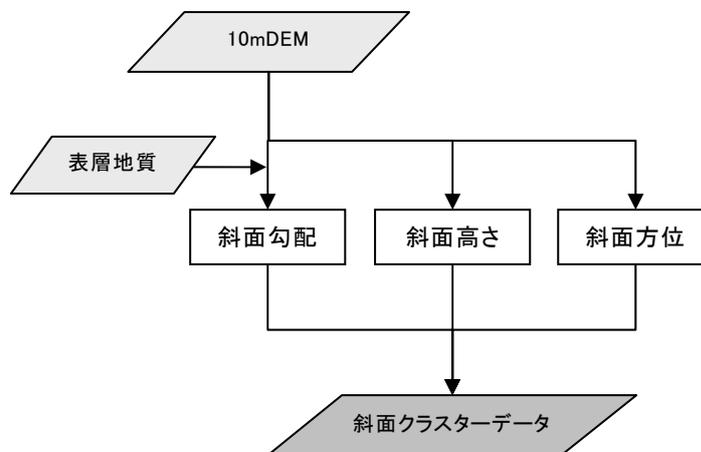
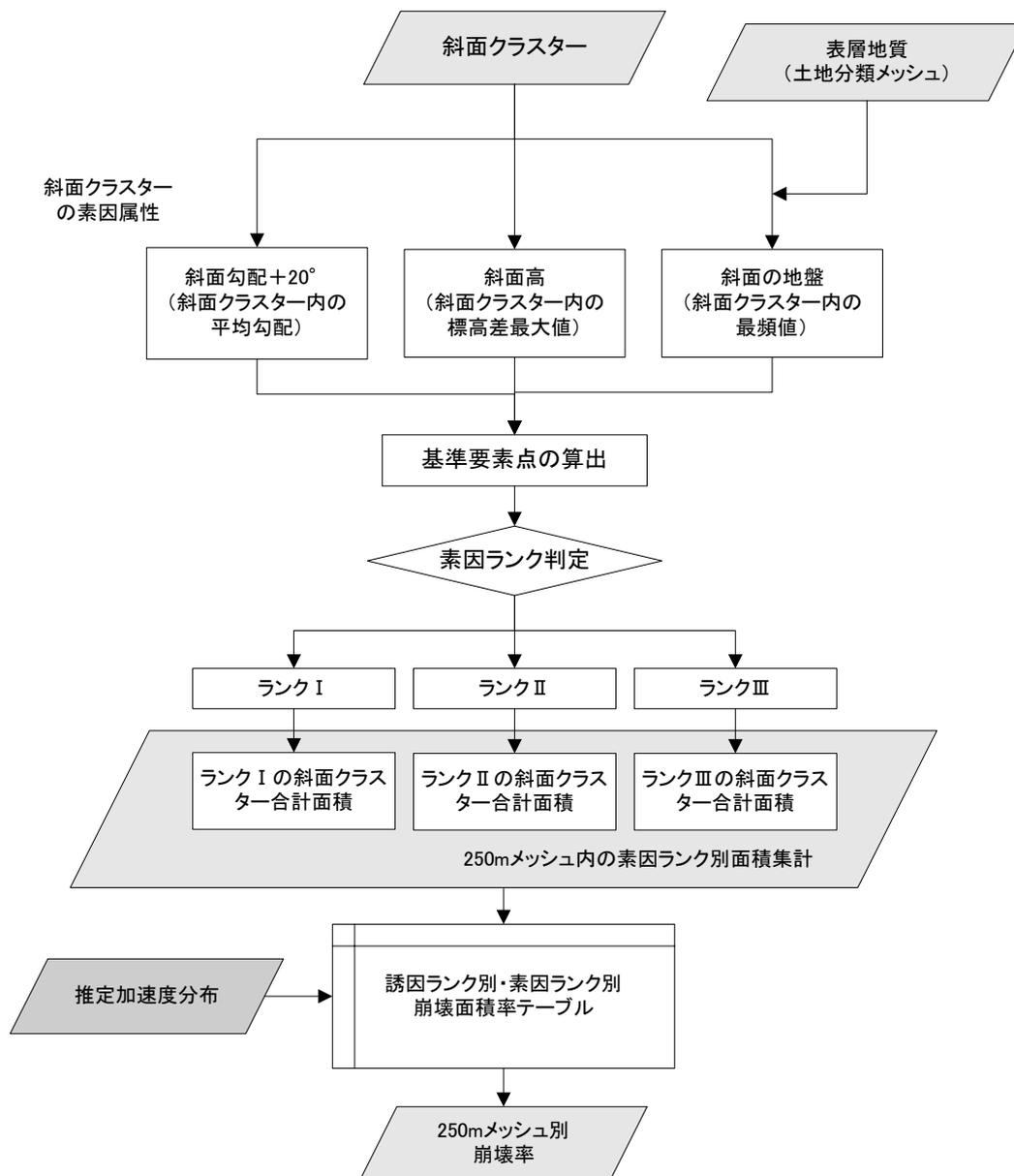


図 II-8 斜面クラスターデータの作成フロー

3-3. 地震動による斜面崩壊率評価モデルの構築

地震動による斜面崩壊率評価モデルの構築の流れについて以下に示す．

地震動による斜面崩壊率評価では，10mDEM および表層地質データから作成した斜面クラスター毎の素因と既存の崩壊実績データから得られた誘因区分別のマトリックスを基に，250m メッシュ別の斜面崩壊面積率を求める．（図 II-9）



図Ⅱ-9 地震動による斜面崩壊率評価モデル構築の流れ

① 斜面の素因ランク判定

斜面クラスターデータに付与した属性情報（表層地質情報・斜面勾配・斜面高等）を基に、日本全国の斜面クラスターすべてについて以下の条件に従い、素因ランクを判定する。

- 中央防災会議の急傾斜地地震災対策危険度判定基準を元に地形データのみで評価できるように評価項目および素因ランクの判定基準となる基準要素点を設定する。
- 斜面クラスターすべてを判定。

② 誘因ランク別・素因ランク別崩壊面積率の算出

地震による斜面崩壊が多った4地震をモデル地震として、その崩壊実績データから地表最大加速度別の崩壊面積の実績値を把握するとともに、先に評価した斜面クラスター別の素因ランクを合わせて解析し、誘因ランク別・素因ランク別の崩壊面積率テーブルを作成する。崩壊率の算出条件は以下のとおり。

- ▶ モデル地震の崩壊実績と斜面クラスターの素因ランクの判定結果から崩壊面積率を算出。
- ▶ 中央防災会議の評価方法を準用。ただし、誘因については地表最大加速度を採用。

モデル地震は、空中写真判読により崩壊地分布が面的に把握されている4地震とした。（表Ⅱ-3）

表Ⅱ-3 対象としたモデル地震

地震名	発生年/月/日	主な被災都道府県	主な地質<確認>
2008年岩手・宮城内陸地震 (以下、岩手・宮城内陸地震)	2008/06/14	岩手県, 宮城県	第三～四紀火山岩, 溶結凝灰岩
2004年新潟県中越地震 (以下、新潟県中越地震)	2004/10/23	新潟県	新第三紀堆積岩
2000年鳥取県西部地震 (以下、鳥取県西部地震)	2000/10/06	鳥取県	中生代堆積岩, 火山岩, 深成岩, 変成岩
1995年兵庫県南部地震 (以下、兵庫県南部地震)	1995/01/17	兵庫県	深成岩

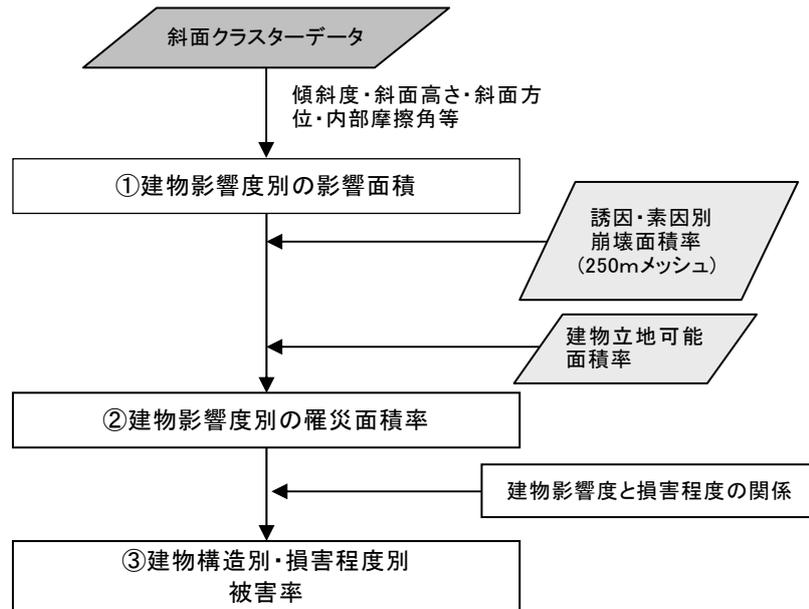
③ 250mメッシュ別崩壊率の算出

250mメッシュ内の素因ランク別の急傾斜地の分布割合（面積率）の集計結果と災害実績から設定した誘因ランク別・素因ランク別の崩壊面積率から、250mメッシュ別の崩壊率を算出する。

3-3. 斜面崩壊による建物被害率評価モデルの構築

斜面崩壊による建物被害率評価では、斜面クラスターが崩壊した際の影響範囲を計算し、建物影響度^{※1}別に影響面積^{※2}を求め、影響面積率から被害率を求める。

当該モデルは、斜面毎に算出された影響面積を建物影響度別に算出し、それに地震動（地表最大加速度）による斜面崩壊面積率（250mメッシュ別）を加味し、建物構造別・損害程度別の被害率を求める。



図Ⅱ-10 斜面崩壊による建物被害率評価フロー

① 建物影響度別の影響面積の算出

10mDEM および地形・地質情報から、斜面崩壊の影響範囲を設定するにあたり、影響範囲の設定方法として、「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等を定める告示」（国土交通省告示第332号）で示されている建築物又はその地上部分に作用すると想定される力の大きさを算出する式（以下、告示式）を斜面の崩壊で用いられている影響範囲の想定に準用し、モデル化を行うこととした。土砂の移動の力および堆積高さから区分した建物影響度毎に影響面積を算出する。

算出条件は以下のとおり。

- 土砂の移動の力および堆積高さから建物影響度を9区分。
- 土砂災害防止法の告示式を準用し影響範囲を想定。
- 斜面上の崩壊位置（上部・中部・下部）を考慮。
- 全ての斜面クラスターについて崩壊した場合の影響面積を建物影響度別に算出。

② 建物影響度別の罹災面積率の算出

斜面クラスター全体が崩壊した場合の建物影響度別の影響面積について、地震による崩壊率から得られた崩壊斜面延長より、想定される地震による崩壊の影響面積を算出(崩壊率により補正された影響面積を罹災面積^{※3}と呼ぶこととする。)する。算出した罹災面積のうち、建物立地可能範囲にあたる罹災面積を250mメッシュ単位に集計し、建物立地可能面積に対する罹災面積率を算出する。算出条件は以下のとおり。

- ▶ 250mメッシュ別の地震動による崩壊率から、崩壊斜面延長を算出。
- ▶ 建物影響度別の影響面積のうち、崩壊斜面延長に応じた面積を罹災面積とする。
- ▶ 建物立地可能範囲における罹災面積率を算出。

建物立地可能範囲 = 水部面積 + 斜面勾配 15° 以上の斜面面積を除く範囲

- ▶ 罹災面積率は罹災面積/建物立地可能面積で求め、250mメッシュ別に集計。

③ 建物構造別・損害程度別の被害率の算出

別途検討した建物影響度と罹災程度^{※4}との関係から、250mメッシュ毎に集計した建物影響度別の罹災面積率の組み合わせより建築構造別・罹災程度別の被害率を算出する。算出条件は以下のとおり。

- ▶ 同一の損害程度に含まれる建物影響度の罹災面積率を合算して被害率とする。
- ▶ 建築構造により、建物影響度と損害程度の関係が異なるため、建築構造別に被害率を算出。
- ▶ 被害率は250mメッシュ単位に評価。

④ 建物構造別被害率の算出

建物影響度別の罹災面積の算出から建物構造別・損害程度別の被害率の算出までを加速度区分毎に行い、加速度別・建築構造別の被害率を算出する。算出条件は以下のとおり。

- ▶ 崩壊率に応じた影響面積率からそれぞれ算出。
- ▶ 建物構造(3区分)・損害程度別(3区分)・誘因ランク別(4区分)の組み合わせでメッシュ別に算出(RC/SRC造では一部損のみ想定)。

※1～※4の本研究で用いる用語の定義については、次節に示す。

3-4. 本研究で用いる用語の定義

※¹ 建物影響度 崩壊土砂が到達した場合に建物に与える影響程度の区分. 崩壊土砂の移動の力を指標として区分.

急傾斜地からの崩壊土砂は斜面からの距離に応じて, 建物に与える影響は小さくなることから, 崩壊土砂の移動の力を指標として, 斜面下方を8区分, 斜面内を1区分の合計9区分に分けた建物影響度を設定した. (詳細についてはIV章を参照)

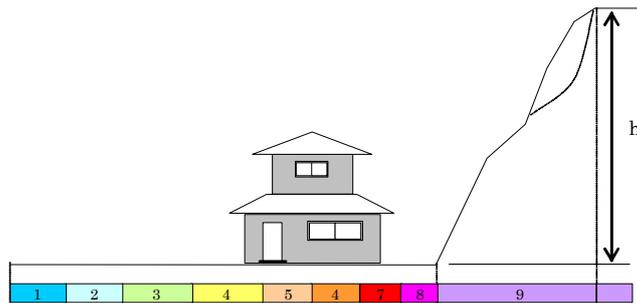


図 II-11 建物影響度のイメージ

※² 影響面積 斜面すべてが崩壊した場合 (崩壊率は考慮していない) の影響面積を斜面クラスター別に算出し, 250m メッシュ別・建物影響度別に集計.

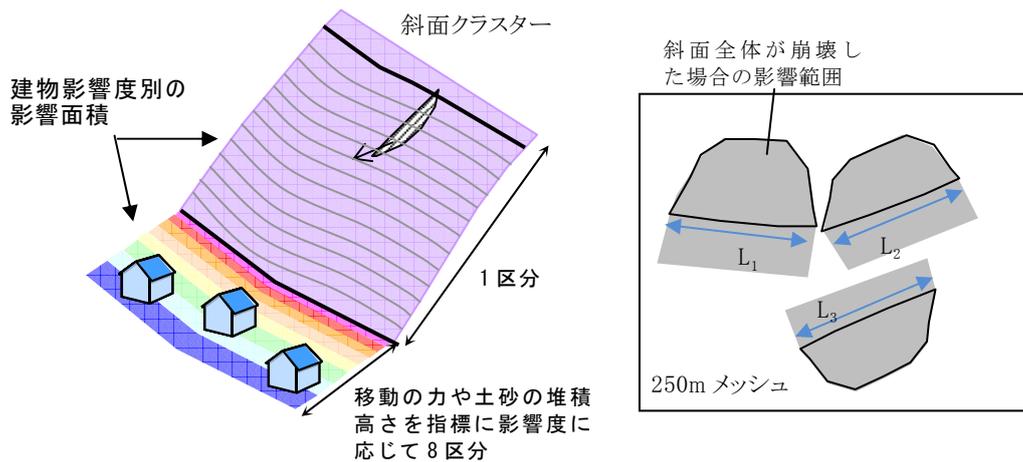


図 II-12 影響面積のイメージ

※3 罹災面積 地震動により生じる崩壊で想定される影響面積（地震による崩壊率を考慮した影響面積）

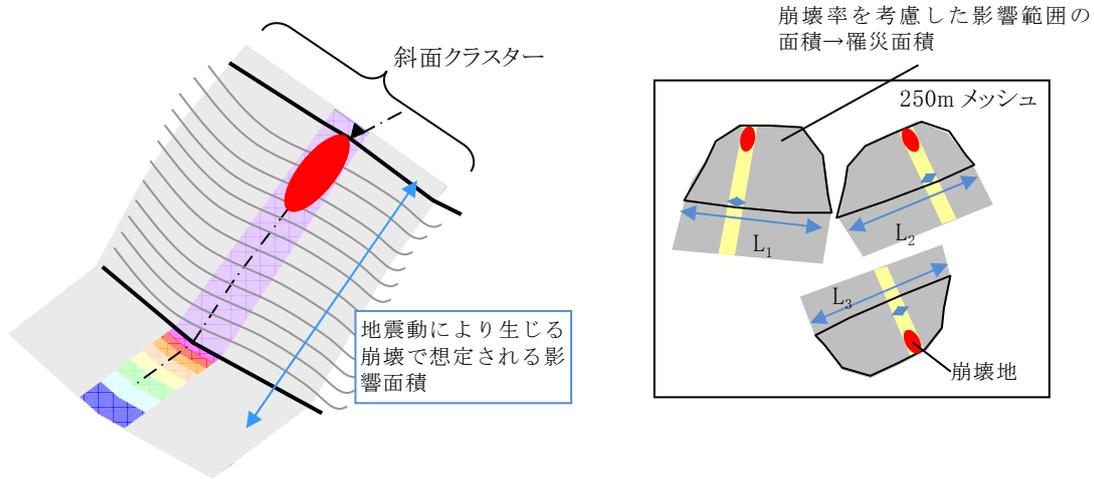


図 II-13 罹災面積のイメージ

※4 損害程度 建物の損害程度の区分（全損相当・半損相当・一部損相当の3区分）。建物構造により，建物影響度と損害程度の対応が異なる。

損害程度は，全損相当・半損相当・一部損相当に分けられ，建物構造別の建物影響度と損害程度の関係性から被害率を算出する。（詳細はIV章を参照）

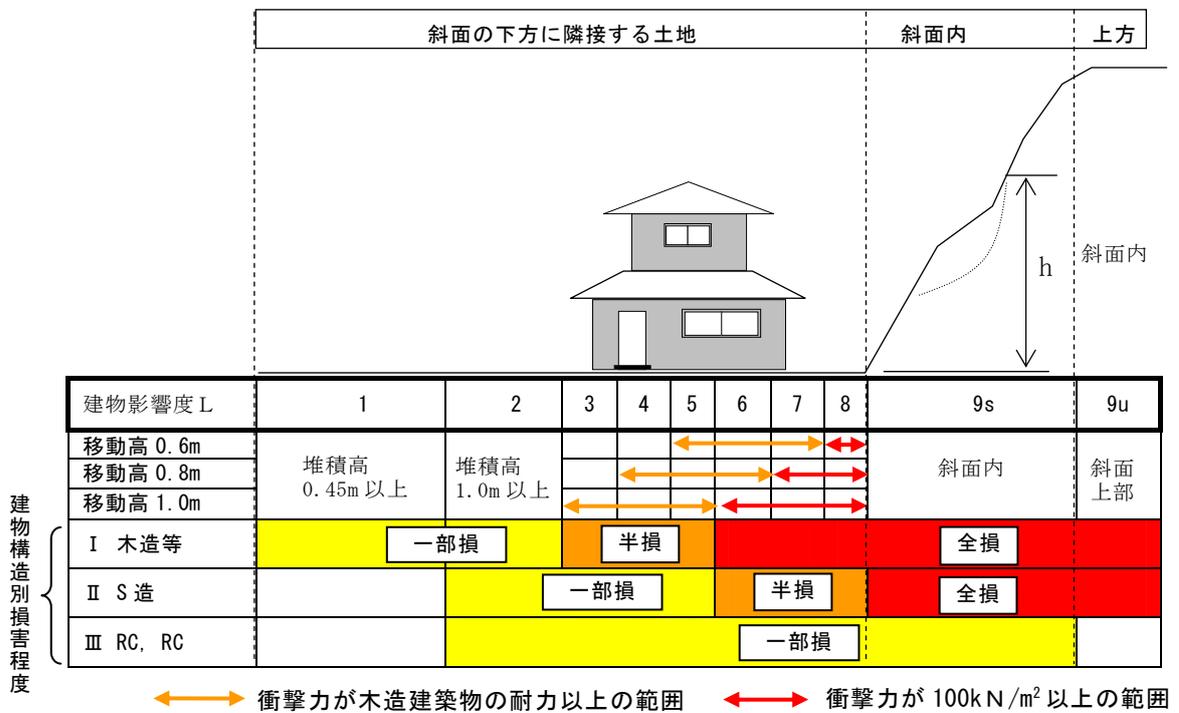


図 II-14 建物影響度と損害程度の関係

