R3-13

地震による深層崩壊の前兆を示す微地形要素の抽出—岩手・宮城内陸地震の事例—

国土交通省　国土技術政策総合研究所　長井　義樹，蒲原　潤一*1，内田　太郎，田中　健貴
砂防エンジニアリング株式会社　○渡部　真，尾崎　順一，工藤　司
（*1：現　長野県建設部砂防課）

1　はじめに

降雨による深層崩壊の前兆地形については、横山ほか(2011)などの研究事例がある。一方、地震による深層崩壊については同様の研究事例は少ない。そこで、岩手・宮城内陸地震で深層崩壊が多発した、一迫川，二迫川，三迫川の各上流域 112km^2 を対象として、地震前の空中写真を判読して微地形を抽出し、地震時の深層崩壊実績との適合性を検討した。

2　地震前の空中写真による微地形要素の判読

判読要素は表-1 のとおりである。基本要素は地震時の深層崩壊実績と比較する要素であり、対象地域で判読できるものすべてを抽出した。その上で、表に示す付随要素を用いて、基本要素のうち面的要素を細分した。判読には、国土地理院 HP の「地図・空中写真閲覧サービス」からダウンロードした空中写真（整理番号 TO-92-3X；撮影年月日 1992 年 5 月 12 日，10 月 29 日；撮影縮尺 1:25,000）を用いた。地すべり地形と深層崩壊地形は原型を保持した地すべりブロックの有無により、地すべり地形と岩盤クリープ斜面は滑落崖の有無により区別した。

表-1　判読要素

基本要素	地すべり地形	滑落崖	付随要素	崩壊地
		地すべりブロック		崩壊跡地
	岩盤クリープ斜面			閉塞堆積地
	深層崩壊地形	深層崩壊跡地		遷急線
		深層崩壊堆積地		ガリー
	円弧状クラック			人工改変地
	小崖地形			

3　地震前の微地形要素と地震時深層崩壊実績の適合性検討

3.1　適合性の検討手法

メッシュ単位の微地形要素の有無および地震時深層崩壊実績の有無に基づき、微地形要素と地震時深層崩壊実績の適合性を検討した。使用したメッシュサイズは、50m，200m，1000m，2500m の４通りである。

(1)　カバー率・的中率・的中率比（表-2）

適合性は、カバー率，的中率，的中率比により評価した。的中率比が 1 の場合、的中率は全メッシュを選択した場合の的中率と同じであり、深層崩壊実績との適合性がないといえる。したがって的中率比は 1 を上回ることが最低条件であり、的中率比が高いほど深層崩壊実績との適合性が高い。ただし、的中率が高くてもカバー率が低い要素は、危険箇所を予測する指標としては見逃しが多くなり過ぎ不適切である。したがって、的中率比だけでなくカバー率も考慮する必要がある。

表-2　適合性の指標

	深層崩壊発生	深層崩壊非発生
微地形要素有	a(的中)	c(空振り)
微地形要素無	b(見逃し)	d
的中率：$r_h = a/(a+c)$　　カバー率：$r_c = a/(a+b)$		
平均深層崩壊発生率：$p_h = (a+b)/(a+b+c+d)$		
平均要素分布率：$p_c = (a+c)/(a+b+c+d)$		
的中率比：$p = r_h/p_h = r_c/p_c = a(a+b+c+d)/(a+b)(a+c)$		
深層崩壊発生メッシュがランダムに分布すると仮定して的中メッシュ数がaとなる確率：$P_a = ({}_{a+b}C_a)({}_{c+d}C_c)/({}_{a+b+c+d}C_{a+c})$		
ランダム分布確率：P（的中メッシュ数がa以上となる確率）　$P = 1 - \sum_{i=0}^{a-1} P_i$		

(2)　ランダム分布確率（表-2）

また、サンプル数が少ない場合偶然に高い適合性が生じる可能性があるため、ランダム分布確率を算出し、適合の必然性を検証した。ランダム分布確率は、地震時深層崩壊発生メッシュがランダムに分布すると仮定した場合、当該的中率以上の的中率が偶然発生する確率である。したがってこの値が小さいほど適合性が高い。小規模メッシュでは地震時深層崩壊が複数メッシュに跨って分布するため、ランダム分布の仮定自体に無理がある。したがって、ランダム分布確率は、1000m メッシュを用い、複数メッシュに跨る地震時深層崩壊を面積最大メッシュに割り振った上で算出した。

(3)　適合性評価の考え方

大規模メッシュにおいて、同一メッシュ内に微地形要素と地震時深層崩壊実績が共存していても、両者の位置が離れていて無関係な場合がある。小規模メッシュにおいてはこの問題は生じにくいが、面積が広い的中箇所（深層崩壊実績と微地形要素の重なり箇所）が 1 箇所あると、多数の的中メッシュが出現して的中率比が高くなり、適合性が過大評価される問題がある。そこで、以下の考え方で適合性を評価した。

50m メッシュで的中率比により適合性を評価→1000m メッシュでランダム分布確率により適合の必然性を検証

3.2　基本微地形要素の適合性

基本微地形要素の適合性検討結果を表-3 に示す。地震時深層崩壊のほか地震時地すべりとの適合性も検討した。

50m メッシュにおける的中率比および 1000m メッシュにおけるカバー率，的中率比，ランダム分布確率に着目すると、以下の微地形要素と地震時実績の組合せは適合性が高く、指標として有効である。

岩盤クリープ斜面→地震時深層崩壊，深層崩壊跡地→地震時深層崩壊，地すべり地形→地震時地すべり

表-3　基本微地形要素の適合性

	微地形要素	メッシュサイズ(m)	総数 A	実績有 B	微地形要素有 C	的中数 D	基準的中率 E=B/A	的中率 F=D/C	カバー率 G=D/B	的中率比 H=F/E	ランダム分布確率
地震時深層崩壊に対する適合性	地すべりブロック	50	44841	610	9349	120	0.014	0.013	0.197	0.944	-
		200	2918	107	935	40	0.037	0.043	0.374	1.167	-
		1,000	140	17	99	15	0.121	0.152	0.882	1.248	0.073
		2,500	30	10	25	10	0.333	0.400	1.000	1.200	-
	岩盤クリープ斜面	50	44841	610	4732	92	0.014	0.019	0.151	1.429	-
		200	2918	107	675	41	0.037	0.061	0.383	1.656	-
		1,000	140	17	101	16	0.121	0.158	0.941	1.305	0.023
		2,500	30	10	24	10	0.333	0.417	1.000	1.250	-
	深層崩壊跡地	50	44841	610	2941	223	0.014	0.076	0.366	5.574	-
		200	2918	107	416	51	0.037	0.123	0.477	3.343	-
		1,000	140	17	69	12	0.121	0.174	0.706	1.432	0.052
		2,500	30	10	20	9	0.333	0.450	0.900	1.350	-
	円弧状クラック	50	44841	610	2743	31	0.014	0.011	0.051	0.831	-
		200	2918	107	722	39	0.037	0.054	0.364	1.473	-
		1,000	140	17	107	17	0.121	0.159	1.000	1.308	0.007
		2,500	30	10	25	10	0.333	0.400	1.000	1.200	-
	小崖地形	50	44841	610	193	0	0.014	0.000	0.000	0.000	-
		200	2918	107	49	0	0.037	0.000	0.000	0.000	-
		1,000	140	17	15	1	0.121	0.067	0.059	0.549	0.872
		2,500	30	10	7	4	0.333	0.571	0.400	1.714	-
地震時地すべりに対する適合性	地すべりブロック	50	44841	624	9349	443	0.014	0.047	0.710	3.405	-
		200	2918	71	935	54	0.024	0.058	0.761	2.374	-
		1,000	140	13	99	13	0.093	0.131	1.000	1.414	0.040
		2,500	30	9	25	9	0.300	0.360	1.000	1.200	-
	岩盤クリープ斜面	50	44841	624	4732	54	0.014	0.011	0.087	0.820	-
		200	2918	71	675	18	0.024	0.027	0.254	1.096	-
		1,000	140	13	101	12	0.093	0.119	0.923	1.280	0.228
		2,500	30	9	24	9	0.300	0.375	1.000	1.250	-
	深層崩壊跡地	50	44841	624	2941	24	0.014	0.008	0.038	0.586	-
		200	2918	71	416	13	0.024	0.031	0.183	1.284	-
		1,000	140	13	69	7	0.093	0.101	0.538	1.093	0.482
		2,500	30	9	20	8	0.300	0.400	0.889	1.333	-
	円弧状クラック	50	44841	624	2743	43	0.014	0.016	0.069	1.127	-
		200	2918	71	722	26	0.024	0.036	0.366	1.480	-
		1,000	140	13	107	13	0.093	0.121	1.000	1.308	0.082
		2,500	30	9	25	9	0.300	0.360	1.000	1.200	-
	小崖地形	50	44841	624	193	1	0.014	0.005	0.002	0.372	-
		200	2918	71	49	1	0.024	0.020	0.014	0.839	-
		1,000	140	13	15	2	0.093	0.133	0.154	1.436	0.248
		2,500	30	9	7	3	0.300	0.429	0.333	1.429	-

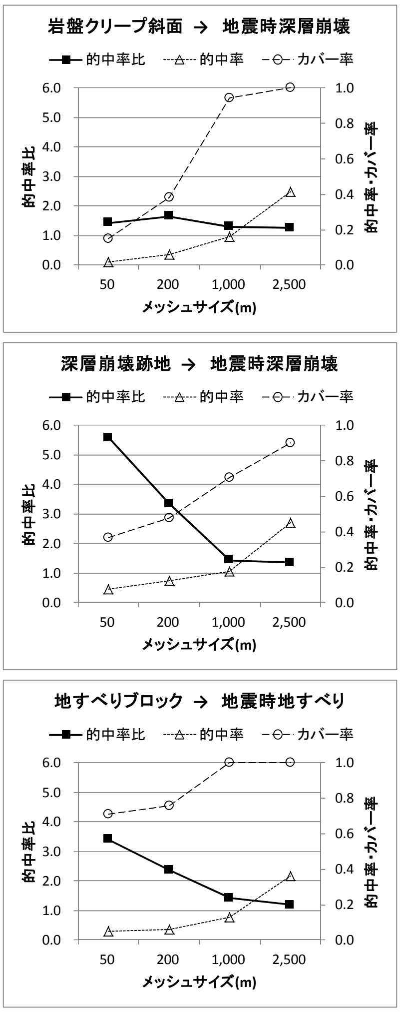

図-1　メッシュサイズの影響（基本微地形要素）

3.3　細分微地形要素の適合性

岩盤クリープ斜面，深層崩壊跡地および地すべり地形について、基本微地形要素相互間や付随微地形要素との位置関係等に着目して細分した。種々の細分パターンについて地震時深層崩壊・地すべり実績との適合性を検討したところ、下記の条件を満たす適合性が高い細分パターンとして、表-4 に示すものが抽出された。

50m メッシュにおいて、的中率比≧2, 的中率比上昇率(細分前の要素と比較)＞0

1km メッシュにおいて、カバー率≧0.4, ランダム分布確率≦0.05

深層崩壊跡地と岩盤クリープ斜面の隣接（表-4 太字）が深層崩壊の指標として有効である。また、細分微地形要素として遷急線の有効性が示唆される。

表-4　細分微地形要素の適合性

		特徴	50mメッシュ 的中率比	50mメッシュ 的中率比上昇率*	1000mメッシュ カバー率	1000mメッシュ ランダム分布確率
地震時深層崩壊との適合	岩盤クリープ斜面	末端部に接する河道が対岸へ屈曲し対岸に遷急線がある	2.675	0.872	0.765	0.000
		ブロックに崩壊地がある	2.531	0.771	0.471	0.025
		深層崩壊跡地に隣接している	3.329	1.329	0.471	0.001
	深層崩壊跡地	**岩盤クリープ斜面と隣接している**	7.691	0.380	1.000	0.002
地震時地すべりとの適合	地すべり地形	滑落崖が明瞭である	4.709	0.383	0.846	0.004
		ブロック内にクラックまたは二重山稜がある	7.130	1.094	0.692	0.011
		遷急線がなく直接河道に押し出している	3.944	0.158	0.923	0.028
		遷急線を切って小ブロックが河道に押し出している	8.882	1.608	0.692	0.000
		末端部の少なくとも一部が直接河道に押し出している	5.457	0.603	1.000	0.005
		上方斜面に複数のクラックが連なる	5.953	0.748	0.692	0.008
		上方斜面に単数のクラックがある	5.156	0.514	0.846	0.000
		上方斜面にクラックがある	5.430	0.595	1.000	0.001

*細分前の基本微地形要素の的中率と比較

引用文献：横山修ほか(2011)：宮崎県鰐塚山地における深層崩壊と微地形･地質的特徴の関係．砂防学会誌，vol.63, no.5，p.3-13