

P-54 兵庫県南部地震後の降雨により発生した山腹斜面崩壊について（その2）

○神戸大学都市安全研究センター 正会員 鳥居宣之
正会員 沖村 孝
(株)鴻池組 (元神戸大学大学院生) 永井久徳

1はじめに

兵庫県南部地震により六甲山系の山麓部および淡路島において、多くの山腹崩壊や地すべり性崩壊が発生し、さらに地震後の降雨に伴って崩壊の拡大や新規崩壊が発生している。昨年度の研究発表会において、筆者ら¹⁾は兵庫県南部地震後の降雨により発生した斜面崩壊の事例解析として、神戸市灘区の鶴甲地区および觀音寺川地区の崩壊地を対象として崩壊メカニズムの推定を行った。その結果、鶴甲地区の崩壊地では地震により基岩が破壊されることによる潜在崩土層厚の増大が地震後の降雨による崩壊に影響を及ぼしたと考えられ、觀音寺川地区の崩壊地では地震により発生したクラックがその後の降雨による崩壊を引き起こしたと考えられた。

このように、地震後の降雨により発生した崩壊地では、崩壊に到らないまでも地震動により表土層厚に何らかの影響を受けた斜面が、その後の降雨により崩壊が発生したと考えられる。そこで、本報では神戸市東灘区の五助橋地区において地震時ならびに地震後の降雨により発生した崩壊地とそれらに隣接する非崩壊地を対象として、地震応答解析を行うことにより地震動が表土層に与えた影響についての考察を行った。

2 対象地の概要

対象地として神戸市東灘区の五助橋地区を選んだ。この地区は住吉川上流に位置し、中央には五助橋断層が存在しており、地震および地震後の降雨により崩壊が多発した地域である。この地域の地質は六甲花崗岩が分布している。

解析の手順は、図-1に示したフローチャートに従って以下のように行った。

1) 解析対象地の選定

図-2に示した地震によって発生したNo. 1, 2の崩壊地、地震後の降雨によって発生したNo. 3~7の崩壊地、ならびにNo. 8, 9の非崩壊地を対象として解析を行った。

2) 測量および斜面状況の調査

解析対象地において崩壊が発生した斜面、非崩壊斜面について測量、および斜面状況調査を行った。

3) 各解析対象斜面の入力物性値の設定

地震応答解析に必要な物性値の設定は簡易貫入試験から得られたN₁₀値から求めたせん断波速度、および既存の文献をもとに決定した。

4) 各解析対象斜面の入力地震動の設定

国土地理院発行の50mメッシュデータ²⁾を用いて、解析対象斜面を含み断層に直交方向の縦断面図を作成し、各解析対象斜面ごとの加速度波形を地震応答解析(2次元有限要素解析コード「Super FLUSH」)により求めた。なお、入力波として神戸大学で観測された波形を用いた。表-1に解析に用いた物性値を示す。

5) 地震応答解析

3), 4)で得られた結果(表-2, 3参照)をもとに地震応答解析により、No.1~9の斜面の最大応答加速度分布と最大せん断ひずみ分布を求めた。

3 斜面状況調査結果

表-4に図-2の地震ならびに地震後の降雨により発生し

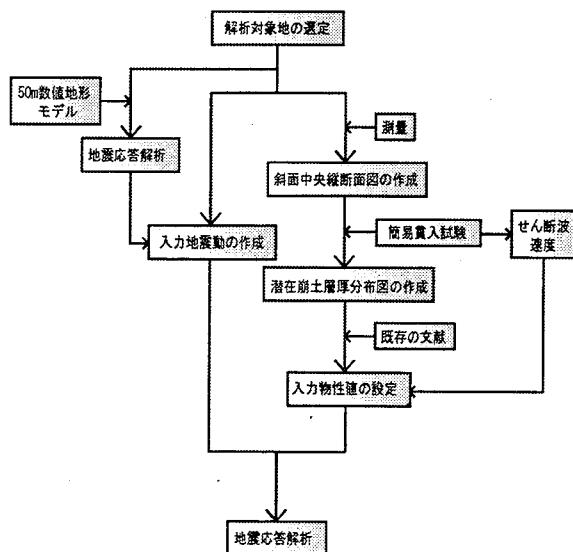


図-1 本研究のフローチャート

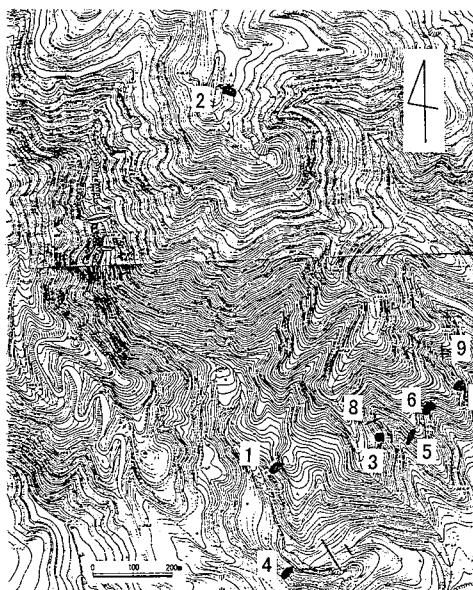


図-2 解析対象斜面

た崩壊地および非崩壊斜面で行った斜面状況調査結果を示す。

これより、地震により崩壊した斜面は、縦断形状が凸型で、地表面の遷急点で表土層厚が極端に厚いといった土層構造を示していた。また、地震後の降雨により崩壊した斜面では地震により崩壊した斜面と同様に、縦断形状が凸型で、地表面の遷急点で表土層厚が極端に厚い斜面と、表土層厚が崩壊発生地の上部で厚く、下部で浅いといった土層構造を示した斜面があった。

4. 地震応答解析結果

表-5に地震応答解析結果を示す。これによると、最大加速度の値は、地震崩壊>地震後崩壊>非崩壊の順であった。最大加速度の発生位置は地震により崩壊した斜面では、崩壊発生場所の遷急点で最大加速度が生じ、これは地形立地解析の結果¹⁾と一致している。それに対し、地震後の降雨による崩壊斜面、非崩壊斜面では、地表面の遷急点では最大加速度が生じなかつた。

最大せん断ひずみの値は地震により崩壊した斜面では 10^{-3} 以上の最大せん断ひずみを示し、地震後の降雨による崩壊、および非崩壊の斜面で得られた値より1オーダー高い結果が得られた。

地震後の降雨によって崩壊した斜面では、最大せん断ひずみの発生位置では、No.3, 4の斜面ではすべり面の基盤と表層の境界付近に分布していた。このことから、No.3, No.4の斜面のように斜面の中腹に位置し、縦断形状が凸型の斜面では地震によって崩壊までには至らないもののすべり面に生じたせん断ひずみによりせん断強度が低下し、その後の降雨によって崩壊したと考えられる。それに対してNo.5, 6, 7の斜面では崩壊発生位置に最大せん断ひずみが生じるのではなく、崩壊発生位置の上方、斜面肩に最大せん断ひずみが生じるという結果が得られた。地震後の現地踏査より、尾根部では地震により発生したと考えられるクラックが多数確認されており、No.5, 6, 7の斜面のように斜面の上方に位置し、上部で厚く、下部で薄いといった土層構造を持つ斜面では、地震によって斜面肩に生じたせん断ひずみによりクラックが生じ、その後の降雨による崩壊を引き起こしたと考えられる。

参考文献：1) 沖村 孝、鳥居宣之、永井久徳：兵庫県南部地震後の降雨により発生した山腹斜面崩壊について、平成11年度砂防学会研究発表会概要集、pp.126-127、1999.、2) 国土地理院：数値地図50mメッシュ(標高)日本-III、CD-ROM、1997.

表-1 入力地震動を求めるのに用いた物性値

せん断波速度 (m/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 (kPa)	初期減衰定数	ひずみ依存性
1500	25.48	0.19	5880000	0.01	無し

表-2 各対象斜面ごとの入力物性値(1)

	せん断波速度 (m/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 (kPa)	初期減衰定数
表層	表-3参照	15.68	0.39	表-3参照	0.03
基盤	500	22.54	0.19	575260	0.03

表-3 各対象斜面ごとの入力物性値(2)

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
せん断波速度 (m/s)	114	113	108	112	116	122	118	116	117
初期せん断弾性係数 (kPa)	20580	20580	18620	19600	21560	24500	22540	21560	22540

表-4 斜面状況調査結果

崩壊時期	No.	すべり面の状況	地形		基岩傾斜	表層の厚さ分布	土壤、風化度	転石	植生
			縦断	横断					
地震崩壊	1	凹凸	凸	尾根	45~55°	遷急点で厚い	軟弱	無	無
	2	凹凸	凸	直線	45°	遷急点で厚い	軟弱	有	無
地震後崩壊	3	硬い基盤	凸	尾根	45~55°	遷急点で厚い	軟弱	無	有
	4	凹凸	凸	尾根	60°	遷急点で厚い	礫混じり	有	無
非崩壊	5	硬い基盤	直線	直線	45°	一様	上部で礫混じり	無	無
	6	平滑	凸	谷	70°	遷急点で厚い	風化層が発達	無	無
非崩壊	7	硬い基盤	直線	直線	40°	一様	軟弱	無	無
	8	-	直線	直線	30°	一様	風化層が発達	無	無
非崩壊	9	-	直線	直線	30°	上部で厚い	風化層が発達	無	無

表-5 地震応答解析結果

		最大加速度(値)	最大加速度(発生位置)	最大せん断ひずみ(値)	最大せん断ひずみ(発生位置)
地震崩壊	No.1	585gal	崩壊発生場所の遷急点	2×10^{-3} $\sim 2.5 \times 10^{-3}$	崩壊発生場所
	No.2	572gal	崩壊発生場所の遷急点	1×10^{-3} $\sim 1.5 \times 10^{-3}$	崩壊発生場所
地震後崩壊	No.3	486gal	斜面上方	4.5×10^{-4} $\sim 6 \times 10^{-4}$	崩壊発生場所
	No.4	484gal	斜面上方	3×10^{-4} $\sim 4.5 \times 10^{-4}$	崩壊発生場所
非崩壊	No.5	476gal	斜面上方	6×10^{-4} $\sim 7.5 \times 10^{-4}$	斜面上方
	No.6	514gal	斜面上方	7.5×10^{-4} $\sim 9 \times 10^{-4}$	斜面上方
非崩壊	No.7	490gal	斜面上方	4.5×10^{-4} $\sim 6 \times 10^{-4}$	斜面上方
	No.8	457gal	斜面上方	1.5×10^{-4} $\sim 3 \times 10^{-4}$	斜面全体
非崩壊	No.9	467gal	斜面上方	3×10^{-4} $\sim 4.5 \times 10^{-4}$	斜面上方