

57 兵庫県南部地震による六甲山地の斜面崩壊に関する研究

京都府立大学農学部 水原邦夫・三好岩生・大手桂二
京都府立大学大学院 ○諸戸順子
京都府農林部 有川典宏

1. はじめに

平成7年1月17日の兵庫県南部地震の地震動により、六甲山系の山腹に表層崩壊が多く発生した。本研究ではこれらの崩壊を、六甲山系のほぼ全域にわたって流域界ごとに、崩壊に関わる因子（崩壊面積・崩壊密度・崩壊形状等）を取り上げ、特に崩壊形状について詳細な解析を加えた。また、現地では簡易貫入試験を行うことにより、地震前後の表層土層深の変化を比較検討するとともに、鉛直振動型加震装置によって崩壊実験を行い、鉛直振動による斜面の安定解析などを試みた。

2. 地形図による崩壊特性解析及び現地簡易貫入試験

本研究では、縮尺1/10,000の崩壊地分布図より、各河川流域ごとに地震による崩壊地の面積・元勾配を測定し、崩壊密度と崩壊面積比を求めた。崩壊サンプル数は691個で、データソースが数量的に多く、また六甲山系のほぼ全域をカバーしていることが特徴である。

崩壊面積は100~300㎡にその過半数が含まれている。また勾配については30~45°に集中している。これらの値は、昭和42年7月の梅雨前線豪雨災に比べ小さい値へとシフトしており、今回の地震動による崩壊の特徴の一つであると考えられる。その他の特徴として、崩壊が特定の流域に集中していることがあげられ、その中でも、芦屋川・住吉川が崩壊数・崩壊密度ともに大きい。

地震動による崩壊特性の一つとして、さらに地形要因を考慮した崩壊形態について検討を行う必要がある。一般に地震動による崩壊は地形的には凸斜面に多く発生し、崩壊深が比較的浅く、花崗岩地帯における地震動による崩壊ではその傾向が一層顕著であるとされている。尾根部分からかぎづめ状の崩壊が多く発生している。図-3は崩壊地を微地形ごとに5種類に分類したものである。芦屋川・住吉川とも鉛直方向の凸地形であるタイプA・タイプBが多数を占め、いわゆる遷急点を呈する部分において崩落していることが分かる（図-4）。両川の地質的・地形的な特徴は、住吉川流域は大月断層・五助橋断層が横切っているため、それに付随したリニアメントの存在が土質に影響を与えていること・土層深が大きい・谷密度が小さい等が挙げられ、これらが両川の崩壊特性の違いに結びつくものと考えられる。

さらに、上で述べた結果を検証するものの1つとして、地震前後の土質状況の変化を把握するために、住吉川流域において現地での土層深調査を行った（表-1）。5測線についての地震前後の比較を行った。全体として地震後は土層深が大きくなっている可能性を示している。

3. 鉛直振動による崩壊実験

従来の地震加速度による斜面崩壊に関する知見は、水平方向の加速度に基づくものが主であった。今回の地震動の特徴として、ある一定の区域では鉛直方向の加速度が卓越していたことが挙げられる。そこで、前述の地震動による崩壊（特にタイプA）を特徴づけるもう一つの要因として、鉛直方向の加速度を加味する必要がある。その情報を室内実験により得ることとした。

図-5に実験装置の略図を示す。実験に用いた土は花崗岩質の山砂で、その土質特性は含水率18.17%、間隙比63.8%である。厚さ20cmの斜土層に与える鉛直振動は、鉛直動変位がsinカーブ、振動周期（0~2.75Hz）・勾配が任意に与えられる。斜面勾配・振動周期・上下動振幅をパラメータとした崩壊実験の結果を図-6に示す。注目すべきは、勾配40°における崩壊発生条件が加速度にして700gal近辺であり、勾配が同じでも振幅の違いが発生・非発生境界線を引く場合があることである。前者については今回の地震で観測された加速度の値から大きく外れない値であり、斜面の設定勾配が実際の現地の崩壊地とも対応している。後者については、勾配が55°の場合は結果が逆転している部分があるものの、崩壊には振幅が非常に大きな影響を及ぼすということがわかる。

次に、無限延長斜面に鉛直振動を加味した安定解析式を、実験結果の比較検討の一つとして以下に示す。下向きの加速度が加わる割合を係数をkとすると、単位長当たりの斜面の安全率Fは次式で表せる。

$$(k+1)W\sin\theta = W(k+1)\cos\theta\tan\phi + c \quad \text{と お いて}$$
$$F = c/W / (k+1) \cdot (\sin\theta - \cos\theta\tan\phi)$$

ここに、W：土塊重量、 θ ：斜面勾配、 ϕ ：内部摩擦角、c：粘着力。この式に、実験土の $\tan\phi \cdot c \cdot \theta$ の値を代入した結果を $F < 1$ となる場合をcの値に変化を持たせ、図-7に重ねた。

この図から、解析条件設定に議論の余地はあるものの、小さい粘着力で支えられていた斜面が地震動による加速度の付加によって崩落した可能性が示される。また、勾配によって対応する土質定数に違いがみられるが、これは崩落するまでの継続時間による影響と考えられる。

これら実験の結果や計算の結果等をふまえ、地形解析では砂防計画上のキーとなる潜在不安定土砂量を軸に現地の崩壊形態と発生素因の関係を定量的に表す予定である。また実験では引き続き、土質定数の変化に考慮しつつ、土砂材料や斜面形状に変化を持たせ、加震後の降雨による崩壊の難易度に関する実験などを行う予定である。

5. おわりに

本研究の一部は(財)砂防地すべり技術センターの後援による。ここに記して感謝の意を表す。

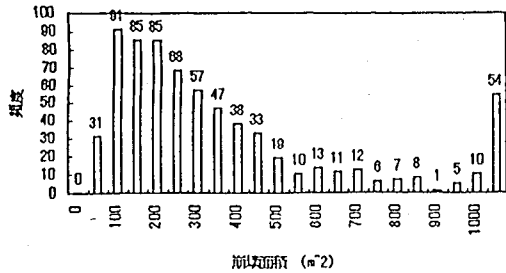


図-1 崩壊面積の頻度分布

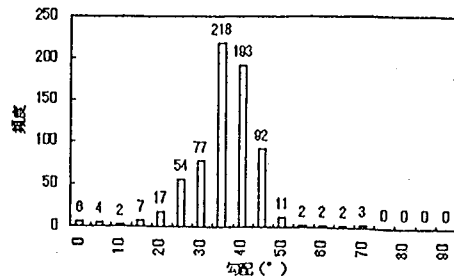


図-2 崩壊地の斜面勾配の分布

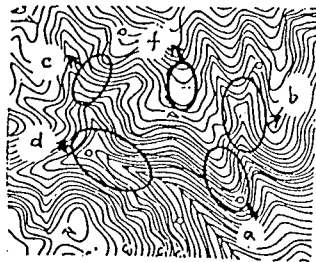


図-3 凸凹分布

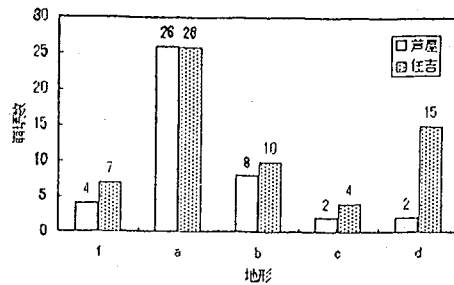


図-4 芦屋・住吉川における凸凹地形の分類とその崩壊数

表-1 表層平均土層深

測線 no.	平均 (cm)	
	地震前	地震後
1	56	68.9
2	16	15.4
3	38	49
4	30.5	37
5	56	55.2

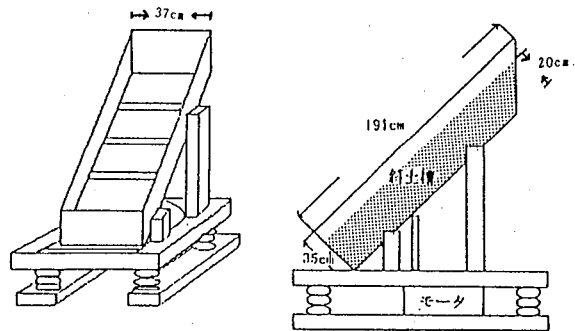


図-5 実験装置の略図

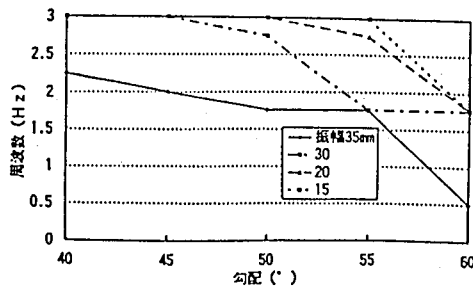


図-6 崩壊発生率の検討図

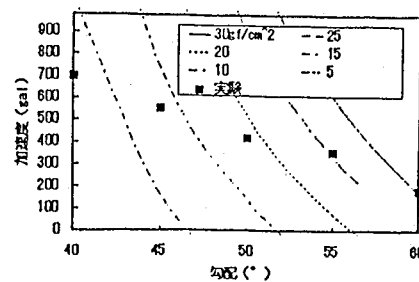


図-7 鉛直振動 安定解析