

盛土斜面における地震後の降雨時斜面安定性に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科 ○野中 慎介  
 独立行政法人労働安全衛生総合研究所 平岡 伸隆  
 立命館大学大学院理工学研究科 角 宏一

立命館大学理工学部 藤本 将光  
 立命館大学理工学部 深川 良一

1. はじめに

1995年1月17日に起こった兵庫県南部地震においては、地震発生時に兵庫県の六甲山系で747箇所の斜面崩壊が起こり、その後、地震発生から約9か月間で地震後の降雨により、同じ六甲山系で935箇所の斜面崩壊が起きたことが確認されている。しかし、1995年の年間降水量は平年並みであった。このことから、地震後の降雨による斜面崩壊を増大させる要因として、地震動による斜面の強度低下や土層内での亀裂（以下クラックと呼ぶ）の発生が考えられる。クラックが発生した場合には、降雨が選択的に浸透することによって、地盤の安定性が低下し、斜面崩壊に至る可能性があると考えられる。しかし現在、そのメカニズムは必ずしも明らかでない。そこで本研究においては、室内土槽実験を用いて最大加振履歴と降雨時の斜面安定性の関係を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

室内土槽実験では、図-1に示すように、高さ5cmの層の上に高さ45cm、横幅65.6cm、奥行き60cmのモデル斜面を作製し、振動試験装置（振研製、G-9210）を用いて表-1のように4パターンの加振履歴を与えた後に、人工降雨装置（大起理化学工業製、DIK-6000S）を用いて初期降雨強度60mm/hrで降雨を与えた。なお降雨強度は3時間ごとに30mm/hrずつ上げ、150mm/hrまで上昇させた。モデル斜面の土層には、滋賀県信楽産真砂土を用いた。実験の初期条件は相対密度  $D_r = 78.0\%$ 、初期含水比  $w = 10\%$ 、設定乾燥密度  $\rho_d = 1.60 \text{ g/cm}^3$ 、設定湿潤密度  $\rho_r = 1.76 \text{ g/cm}^3$ 、間隙比  $e = 0.631$ 、間隙率  $n = 38.7\%$  である。実験で入力する加速度の周波数は、日本でこれまでに発生した地震のデータを参考に5Hzに設定した。モデル斜面の背面、側面および底面は非排水条件である。モデル斜面内には斜面での土の振動を計測するために、小型低容量加速度計（東京測器研究所製、ARF-A）を6つ設置し、またモデル斜面に与えられた加速度を計測するために、振動試験装置に加速度計2つを直接設置した。斜面部および天端部

の変位を計測するために、アンブー一体型・超小型 CCD レーザー変位センサ（マイクロエプシロン社製、ILD1300-200）を計6個設置した。なお、降雨時にはレーザー変位センサは使用できないため、加振時のみ変位を計測した。降雨時におけるモデル斜面内の体積含水率を計測するため、土壤水分センサー（Onset社製、S-SMC-M005）を計10個設置した。側面からみたモデル斜面の寸法と3つの計測機器の設置位置を図-1に示す。

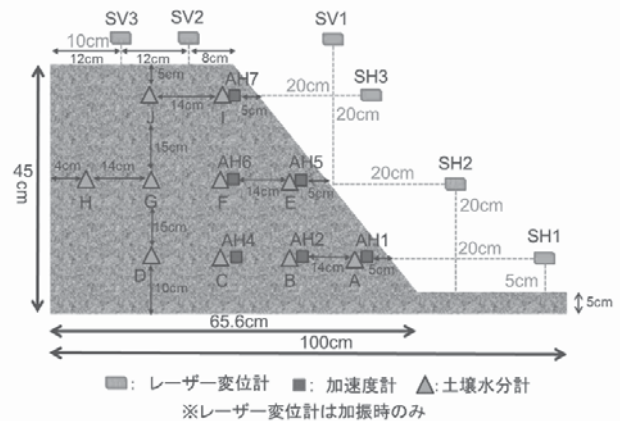


図-1 モデル斜面の寸法と計測機器の設置位置（側面図）

表-1 実験①～④の加振履歴

	加振時間(sec)			モデル斜面の 分類
	250gal	500gal	計	
実験①	0	0	0	加振なし
実験②	60	30	90	クラック小
実験③	30	40	70	クラック大
実験④	70	0	70	クラックなし

3. 実験結果および考察

加振後、実験②においては25cm以下のクラックが8本入り、実験③においては、45cm、30cmの大きなものを含むクラック5本が入った。4パターンに加振条件のもとで降雨を与えたが、実験①～④のすべてのパターンにおいて、150mm/hrまで降雨強度を上昇させても崩壊が確認できなかった。そこで実験時に得られた土壤水分計のデータより、体積含水率が最も上昇し

た降雨開始1時間後における降雨の浸透状況に着目した。実験①～④における降雨開始から1時間後までの下層（土壌水分センサーA～D）の体積含水率の変化を図-2に示す。グラフを比較すると、初期の体積含水率上昇の変動が緩やかになるまでのタイミングに差があり、実験②、実験③のクラック有のパターンは30分、実験①、実験④のクラックなしのパターンでは35分と、クラック有のパターンの方が5分早いことが確認できた。

降雨開始35分後における実験①～④の体積含水率分布図を図-3に示す。分布図を比較すると、実験①では他の実験に比べて下層部の体積含水率の上昇が最も大きい結果を示した。実験②では天端部と法尻において体積含水率の局所的な上昇が認められた。実験③では他のパターンと違い、体積含水率の全体的な上昇が確認できた。実験④においては、下層部の体積含水率が上昇しているが、これは実験①と比べて上昇が少なくなっていた。

実験結果から、降雨開始1時間後のモデル斜面下層部において、初期の体積含水率上昇の変動が緩やかになるまでの時間は、クラック有のパターン（実験②、実験③）に比べて、クラックなしのパターン（実験①、実験④）が約5分早かった。またクラックがない場合には体積含水率上昇までの時間が遅くなり、クラックが入った場合には大きいクラックが入っている程、体積含水率の上昇が大きかった。以上の結果から、クラックの有無、大小の差異によって土層内の体積含水率の変動傾向が異なることが示された。

#### 4. おわりに

地震後におけるクラックの発生は、降雨によって体積含水率が最大となるまでの時間、体積含水率の応答および上昇幅に影響を与えることがわかった。今後は、クラックの定量化および降雨時の斜面表面の変位の計測を行い、クラックが斜面崩壊へ及ぼす影響について、検証する予定である。

#### <参考文献>

1)鳥居 宣之：地震を起因とする盛土ならびに自然斜面の崩壊発生機構とその危険度評価に関する研究，神戸大学大学院博士論文，平成20年1月。

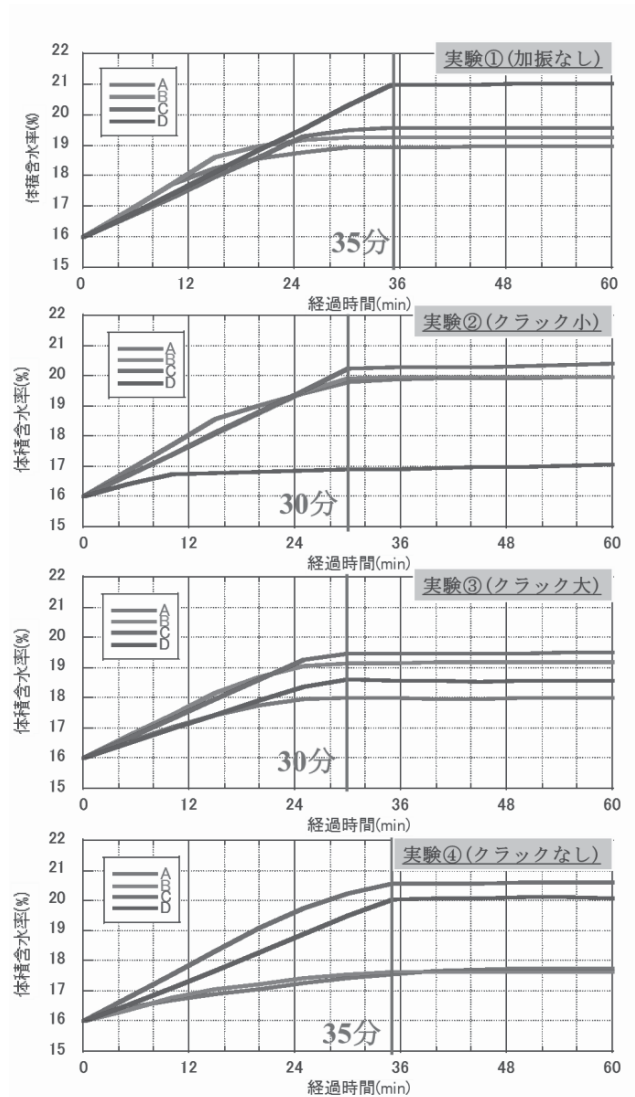


図-2 降雨開始後の体積含水率の変化（下層）

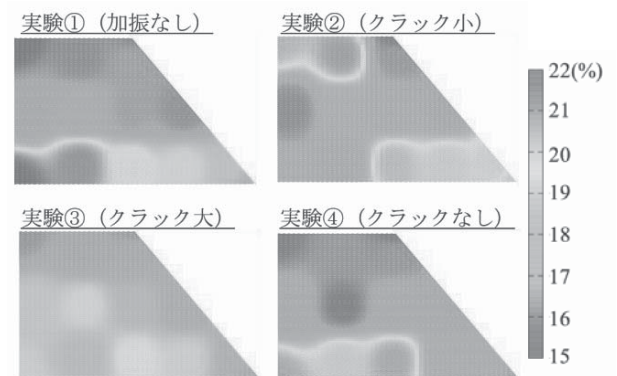


図-3 降雨開始35分後における体積含水率分布図