

不飽和浸透流解析を用いた加振の有無が降雨浸透過程に及ぼす影響に関する検討

神戸大学大学院自然科学研究科
神戸大学都市安全研究センター
神戸大学都市安全研究センター
兵庫県農林水産部農林水産局治山課

学生会員 ○谷本 育水
正会員 沖村 孝
正会員 鳥居 宣之
村上 晴茂

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震により六甲山系で747箇所の斜面崩壊が発生し¹⁾、地震後は例年よりも少ない降雨量²⁾で地震による崩壊数を上回る938箇所(地震直後～1995年10月末)で崩壊が発生した³⁾。このことは地震後の降雨による斜面崩壊の発生に地震動が影響を与えていたことが考えられる。2005年に兵庫県が「森林土木効率化等技術開発モデル事業」の一環で行った模型斜面振動台実験の結果から、加振後には斜面内の浸透性が増加する傾向が確認された。本報では不飽和浸透流解析を用いて実験結果を再現することにより、加振が斜面内の降雨浸透過程に与えた影響を検討していく。

2. 実験結果

実験では写真-1のように、振動台の上に土槽を設置し、図-1のような密度になるように締めを行い、斜面側面と斜面表面に取り付けられたマーカーによって土槽内の土の動きを写真測量によって計測している。模型斜面には、対策工斜面（ロープネットとロックボルトの併用）と無対策工斜面の2種類があり、斜面内に設置されている（図-2参照）テンシオメータの計測結果を元に加振前後の浸透性の比較を行う。取り扱う実験は、case1, case2, case3の3種類であり（表-1参照）、本報では対策工の有無によって降雨浸透過程への大差は生じないものとして扱っている。図-3に3ケースのテンシオメータによって計測された結果を飽和到達時間としてまとめたものを示す。ここで用いている飽和到達時間とは、計測値である圧力水頭値が0mH₂O付近で一定値を計測し始める降雨開始からの経過時間のことである。この計測結果から、加振後には降雨強度が100mm/hから75mm/hに小さくなっているにもかかわらず、斜面上部において飽和到達時間が短くなる傾向が認められる。このことは加振によって斜面上部に生じた亀裂（図-2(b)参照）により、降雨浸透が促

進されたのではないかと考えられる。

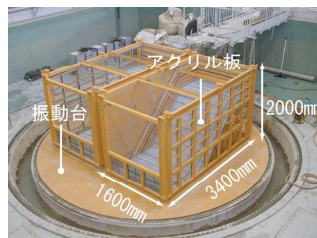


写真-1 土層設置状況

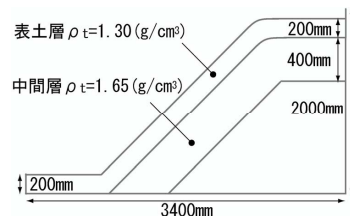


図-1 表土層と中間層

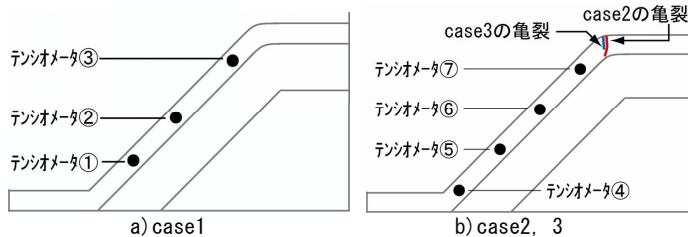


図-2 テンシオメータ配置図

表-1 実験ケース

ケース名	模型斜面	加振	降雨強度[mm/h]
case1	対策斜面	なし	100
case2	対策斜面	あり(750Galまで加振)	75
case3	無対策斜面	あり(350Galまで加振)	75

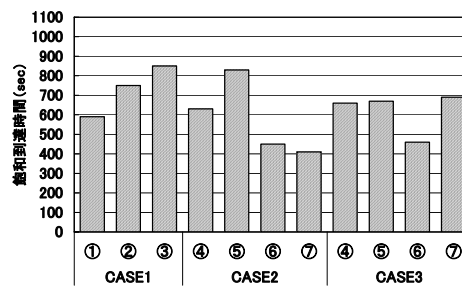


図-3 飽和到達時間

3. 飽和不飽和浸透流解析

3.1 解析の目的

実験より、加振後に他の箇所よりも大きく変動した斜面上部において飽和到達時間が加振前に比べて短くなる傾向が認められた。本報では飽和不飽和浸透流解析（AC-UNSAF2D⁴⁾）を用いて、この浸透過程を再現することを試みる。

3.2 解析条件

水分特性曲線は、不飽和透水試験の結果をロジステ

振動台実験、地震後の降雨、降雨浸透、不飽和浸透流解析

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1 神戸大学都市安全研究センター, TEL.078-803-6431, FAX.078-803-6394

ック曲線式⁵⁾により近似したものを採用(図-4 参照)、比透水係数と水分量の関係は Brutsaert の式⁶⁾により導いたもの(図-5 参照)を使用する。他の入力物性値は試験結果、実験結果を参考に設定した。入力物性値をまとめたものを表-2 に示す。本解析では、case1 と同じく降雨強度 100mm/h に設定したもの(type-a)、降雨強度 75mm/h に設定し、亀裂からの雨水供給を考慮したもの(type-b)、case3 においてパイピングのような現象が確認できたので、降雨強度 75mm/h に設定して亀裂からの雨水供給とすべり面境界に透水性の良い領域を与えたもの(type-c)の3種類(図-6 参照)、解析を行った。圧力水頭値の変化は、それぞれの POINT で算出したものである。また、type-b では亀裂の一部分の初期圧力水頭値を 0mmH₂O に固定、type-c ではそれに加えてすべり面が現れたと思われる箇所の初期圧力水頭を-0.3mmH₂O に固定している。

3.3 解析結果

それぞれの POINT で算出した圧力水頭値が、0mmH₂O 付近で一定値を記録する時間を飽和到達時間としてまとめたものを図-7 に示す。type-a は、実験 case1 の結果の平均値となり、再現性は十分あることがわかった。また、解析が均質な条件で行っているためにバラツキが生じなかった。type-b において亀裂を考慮したものでは、斜面最上部の POINT7 の飽和到達時間のみ短くなる結果となり、亀裂だけでは実験 case2, 3 のようにテンシオメータ⑥と同じ位置に設定している POINT6 の飽和到達時間の短縮は再現できなかった。しかし、type-c では、実験 case2, 3 のように斜面上部の POINT6, POINT7 とともに反応時間が短くなる結果となり、このことより、加振で亀裂や損傷が生じた斜面では、亀裂からの雨水供給とすべり面境界付近に透水性の良い領域(水が集まりやすい領域)の存在が影響し、斜面上部の飽和までの時間が短縮されるのではないかと考えられる。

4. まとめ

地震後には斜面内の降雨による飽和到達時間が短くなり、斜面崩壊が少ない降雨量でも地震後には発生しやすくなる原因の一つだと考えられる。

5. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力いただきました兵庫県龍野農林振興事務局治山課の谷本実氏、株式会社ダイヤコンサルタントの山浦昌之氏には、この場をお

借りしてお礼を申し上げます。

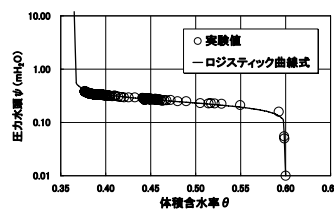


図-4 水分特性曲線

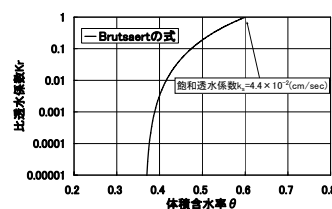


図-5 比透水係数

表-2 入力物性値

	飽和透水係数 (cm/sec)	有効間隙率	残留体積含水率	比貯留係数 (1/m)
表土層	4.4×10^{-2}	0.600	0.365	0.001
中間層	4.4×10^{-7}			

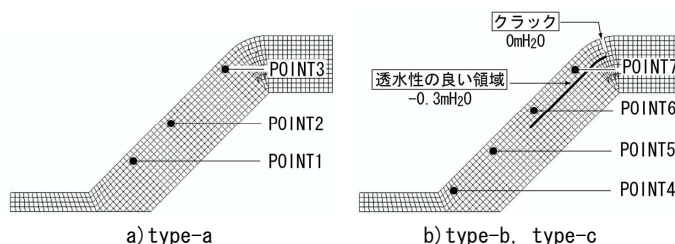


図-6 解析タイプ

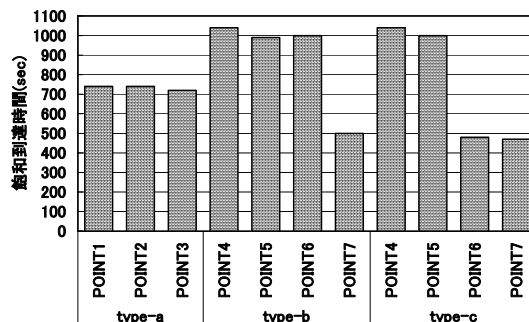


図-7 解析結果

参考文献

- 1) 沖村孝, 鳥居宣之, 伊井政司: 兵庫県南部地震による山腹斜面崩壊の実態, 土地造成工学研究施設報告, 13, pp. 147-167, 1995.
- 2) 富田陽子, 桜井 亘, 中 庸 充: 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 新砂防, 48-6, pp. 15-21, 1996.
- 3) 沖村孝, 鳥居宣之, 永井久徳: 地震後の降雨により発生した斜面崩壊メカニズムの一考察, 建設工学研究論文報告集, 40-B, pp. 115-134, 1998.
- 4) 西垣誠, 進士喜英: 有限要素法による飽和不飽和浸透流解析-AC-UNSAF2D-プログラム解説およびユーザーマニュアル, 102p., 2005.
- 5) 杉井俊夫, 宇野尚雄: 新しい水分特性曲線のモデル化について, 土木学会第 50 回年次学術講演会概要集, pp. 130-131, 1995.
- 6) Brutsaert, W.: The permeability of a porous medium determined from certain probability laws for pore size distribution, *Water Resources Research*, 4-2, pp. 425-434, 1968.