

1. はじめに

2006 年 7 月 15 日から 24 日にかけて九州から東日本にのびた梅雨前線による豪雨により、長野県岡谷市湊地区に位置する小田井沢川では、19 日未明に複数回にわたり土石流が発生し、死者 7 名という被害が生じた。

本研究では 7 月豪雨時の崩壊や土石流の発生原因を明らかにすることを目的として、小田井沢川流域内の表層部を形成するローム質の土壌と、一般的に短時間降雨強度に支配されて崩壊や土石流が発生することが知られている花崗岩地域での土壌を用いた室内鉛直浸透実験を実施するとともに、簡易雨水浸透モデルを用いた数値実験を実施した。

2. 流域概要

本研究において研究対象地とした小田井沢川は、流域面積 0.79km^2 、平均河床勾配 9° の溪流である。地質は、第四紀更新世の火山噴出物である塩嶺累層（凝灰角礫岩など）を基岩とし、その上位に黒ボク土などが存在している。小田井沢川左支川の上流部では、幅 19.2m 、斜長 11.2m 、斜面勾配 32° 、深さ $1.5\sim 1.6\text{m}$ の崩壊地が右岸側に、幅 12m 、斜長 15.6m 、斜面勾配 34° 、深さ $1.5\sim 1.6\text{m}$ の崩壊地が左岸側にそれぞれ確認された。7 月豪雨時の小田井沢川周辺での降雨状況（諏訪レイクヒル CC）を示す図-1 より、累加雨量 410mm 、最大時間雨量 28.5mm/hr （2 年確率規模相当）、最大 24 時間雨量 251mm （ $150\sim 500$ 年確率規模相当）という降雨が観測されたことがわかる。

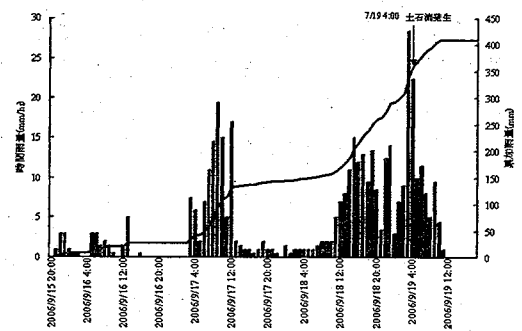


図-1 7/15～7/19 の降雨状況

3. 鉛直浸透実験

土壌内での雨水の浸透過程を把握するため、現地採取土壌を用いた室内鉛直浸透実験を行った。実験装置は、図-2 に示すように、内径 20cm 、高さ 30cm の塩化ビニル製の円筒、散水装置、貯水タンク、貯水タンクから供試体へと給水するための微量定量ポンプ、流出量計測用の電子天秤及びデータロガー（パソコン）から構成される。供試体としては、小田井沢川左支川の上流で発生した崩壊地周辺で採取した現地土壌を現場密度で充填したものを使用し、散水強度 $25\text{mm/hr}\sim 75\text{mm/hr}$ の範囲内で散水実験を実地した。また比較対象として、信州大学附属 AFC 手良沢山演習林の現地土壌（花崗岩）と、豊浦標準砂と 8 号径砂の混合試料（質量比 $3:2$ で配合）に対する実験結果を使用した。

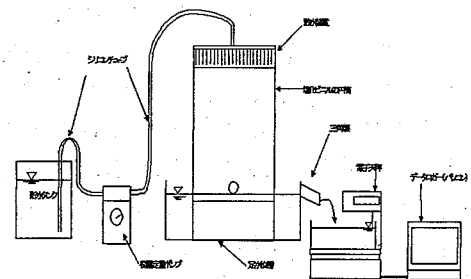


図-2 鉛直浸透実験装置の概要

散水強度 75mm/hr と 60mm/hr を与えた場合を例として、供試体下端部からの地下水流出量の経時変化を図-3 と図-4 に示す。散水強度 75mm/hr の場合、定常状態に達するまでの地下水流出量の増加度合い（増加速度）は、小田井沢の土壌で 2.82mm/hr/min 、手良沢山で 5.23mm/hr/min となり、定常状態に達するまでには小田井沢の土壌の方が 1.22mm 程度地下水流出量が少なくなった。言い換えると、小田井沢の土壌を使用した場合、供試体下端部からの地下流出量が定常状態に達するには、手良沢山の土壌（花崗岩）の場合よりもさらに 8.60mm の降雨量を必要とすることになる。これらの傾向は、散水強度を 25mm/hr とした場合により顕著に認められた。散水強度 60mm/hr の場合、定常状態に達するまでの地下水流出量の増加速度は小田井沢の土壌で 1.51mm/hr/min 、混合試料で 2.89mm/hr/min となり、定常状態に達するまでに小田井沢の土壌で 8.08mm 程度地下水流出量が少なくなり、混合試料に比べ小田井沢の土壌では、定常状態に達するまでにさらに 19.6mm の降雨量を必要とした。以上の結果より、小田井沢の土壌と手良沢山の土壌を比較すると、定常状態へと到達するまでに必要な降雨量は小田井沢の土壌の方が多くなり、逆に地下水流出量は少なくなることが確認された。この傾向は散水強度の減少とともに顕著にみられた。また、地下水流出開始後から定常状態へと到達する

までに要する時間は、小田井沢の土壤の方が2倍程度長くなることが確認され、散水開始から定常状態に達するまでに要する時間は、小田井沢の土壤の方が散水強度75mm/hrで7分程度、散水強度25mm/hrで30分程度遅れることになる。

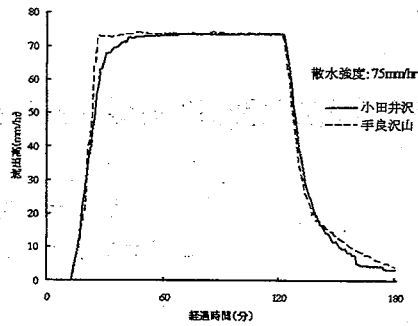


図-3 地下流出量の経時変化(小田井沢と手

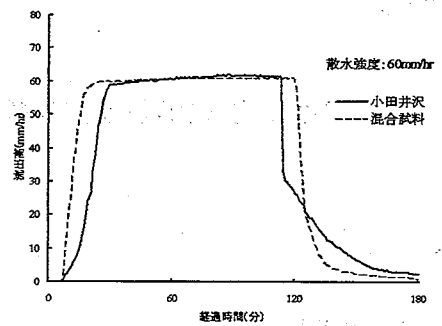


図-4 地下流出量の経時変化(小田井沢と混

4. 崩壊発生時の地下水深と斜面安定性

2006年7月豪雨時の土層内での地下水の挙動を再現し、斜面の安定性を評価するため、図-5に示す簡易雨水浸透モデルを用いて数値実験を行った。簡易雨水浸透モデルでは、降雨:Rは、地表面では全量が土層内へと浸透し、上位層からの供給(浸透)水量が当該土層の飽和透水係数より小さい場合は全供給水量が下位層へ浸透する。逆の場合は飽和透水係数分の水量が下位層へと浸透し、上位層からの供給水量と飽和透水係数との差分が当該土層内に残留するものとして取扱う。同モデルへの入力降雨としては、2006年7月豪雨時の実績降雨波形(図-1)を使用し、小田井沢の土壤(ローム質土壤)と手良沢山の土壤(花崗岩)の2ケースについて数値実験を行った。降雨以外の入力値として用いた土壤物理諸元は表-1に示すとおりである。数値実験時において、土層内に残留水が発生した場合、当該土層内の地下水深を(1)式より求めた。

$$H=(Q-K_s)/(n-\theta_w) \dots \dots (1)$$

ここに、H:地下水深(m), Q:上位層からの供給量(mm/hr), n:間隙率(m³/m³), θ_w :体積含水率(m³/m³)である。さらに、時々刻々と変化する値として簡易雨水浸透モデルより得られる地下水深と表-1中の土壤特性を用いて斜面安定解析を行った。小田井沢と手良沢山の土壤を用いた場合の地下水深と安全率の経時変化を図-6に示す。小田井沢の地下水深は、7月17日の9時に一山目の降雨ピークに反応して上昇した後、地下水深が低下し始める前に二山目の降雨ピークをむかえ、土層全体が飽和する結果となった。一方、安全率は地下水深の増加とともに低下を続け、7月18日の22時に崩壊が発生する結果となった。これに対して、手良沢山の土壤では一山目の降雨ピークで地下水深が発生するものの、二山目の降雨前に地下水深は消滅し、二山目の降雨ピーク時でも地下水深は0.4m程度にすぎず、崩壊の発生にまでは至らなかった。このように、小田井沢では手良沢山に比べて地下水深が大きく、また降雨終了後も地下水深の低減がほとんどみられなかったのは、手良沢山の飽和透水係数が $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/secを示したのに対し、小田井沢では1~2オーダー低い値を示したことによるものである。また、数値実験により得られた小田井沢における崩壊発生時刻は、実際に土石流が発生したとされる7月19日の4時よりも6時間遅れる結果となった。

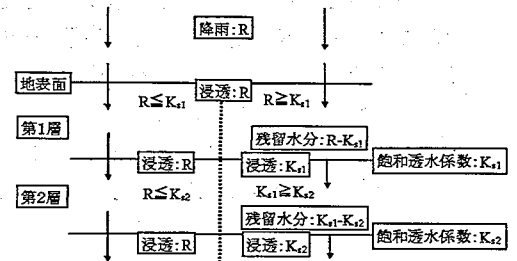


図-5 簡易雨水浸透モデルの概念図

表-1 土壤物理諸

| | 小田井沢 | 手良沢山 |
|-----------------|--|--|
| 透潤単位体積重量(g/cm³) | 0.99~1.49 | 1.18~1.91 |
| 乾燥単位体積重量(g/cm³) | 0.56~1.01 | 0.95~1.77 |
| 間隙率(m³/m³) | 0.63~0.77 | 0.32~0.65 |
| 含水率(m³/m³) | 0.40~0.49 | 0.15~0.20 |
| 飽和透水係数(cm/sec) | $5.64 \times 10^{-3} \sim 8.23 \times 10^{-6}$ | $1.75 \times 10^{-2} \sim 1.45 \times 10^{-4}$ |
| 内部摩擦角 | 5.3° | 18.33° |
| 粘着力(tf/m²) | 0.077 | 0.0049 |

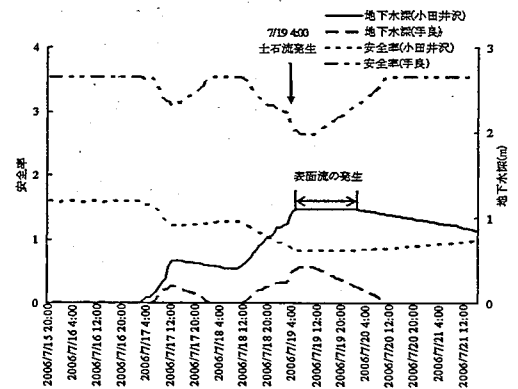


図-6 土壤ごとの安全率と地下水深の経時変化

5. おわりに

現地採取土壤を用いた鉛直浸透実験や簡易雨水浸透モデルを用いた数値実験により、今回岡谷市周辺に災害をもたらした降雨強度が小さく連続雨量が多い二山波形を有する降雨は、透水性の低い岡谷市周辺を構成するローム質土壤に対して土砂災害の危険性の高い降雨パターンであったことが確認された。今後は、土壤サンプルの採取箇所を増やし、数値実験における崩壊発生予測時間の精度の向上を目指したい。