

降雨時の土壌水分量と単一雨量指標 R' の関係

広島工業大学 正会員 ○森脇 武夫
 元広島工業大学 非会員 伊藤 駿
 元広島工業大学 非会員 久保 諒真
 元広島工業大学 非会員 森島 佑介

1. はじめに

降雨状況から土砂災害の危険度を評価し、早期に警戒・避難することは人的被害を少なくすることに効果的であり、様々な雨量指標が提案されている。その中で、単一雨量指標 R' は土砂災害の危険度を一つの数値で表すことができ、過去の土砂災害の発生状況を適切に評価できていることが報告されている¹⁾。しかし、 R' は降雨量のみから算出され、地盤の状態には依存しないため、 R' を適切に運用するためには、地盤中の土壌水分量と R' の関係を調べておく必要がある。そこで本研究では、土槽を用いた室内降雨実験を行い、降雨中の地盤内の土壌水分量の変化を調べ、 R' との関係性を明らかにした。

2. 実験方法

本研究では、内径 260mm、高さ 1,070mm の円筒形土槽を用い、土槽上端より 1,110mm 上方の噴霧器用ノズルから散水する降雨実験を行った。土槽中には土壌水分計 (DIK-321E) を深度方向に 250mm 間隔で 4 台埋設し、10 分間隔で体積含水率 θ を計測した。

実験に用いた試料は市販のまさ土で、物理的性質は $\rho_s=2.644\text{g/cm}^3$ 、 $D_{10}=0.150\text{mm}$ 、 $D_{50}=0.700\text{mm}$ で、礫質砂 (SG) に分類される。このまさ土を初期間隙比が $e=0.8$ となるように土槽内に詰めた。

表-1 に降雨条件と土槽底面の排水条件を示す。本実験では累積雨量が全てのケースで 300mm となるように設定している。なお、排水条件とは土槽底面に設けた直径 11mm の排水孔 9 個のうち 5 個を開放したもので、底面積に占める開口率は 0.89% である。

表-1 実験条件

ケース名	降雨条件	排水条件
Case-1	20mm/hr × 15hr	非排水
Case-2	20mm/hr × 15hr	排水
Case-3	20mm/hr × 5hr + 50mm/hr × 4hr	非排水
Case-4	20mm/hr × 5hr + 50mm/hr × 4hr	排水

3. 単一雨量指標 R' の経時変化

単一雨量指標 R' は、半減期を 72 時間とする長期実効雨量 R_w (mm) と半減期を 1.5 時間とする短期実効雨量 r_w (mm) を用いて次式によって算出する雨量指標で、土砂災害の危険度を一つの数値で総合的に評価できる²⁾。

$$R' = R_{fw0} - R_{fw} \quad (1), \quad R_{fw} = \sqrt{(R_l - R_w)^2 + a^2(r_l - r_w)^2} \quad (2)$$

ここに、 R_l : 基準となる長期実効雨量、 r_l : 基準となる短期実効雨量、 a : 重み係数、 R_{fw0} : $R_w=0$ 、 $r_w=0$ のときの R_{fw} 値である。また、過去の事例分析から $R_l=600\text{mm}$ 、 $r_l=200\text{mm}$ 、 $a=3$ とすると、 $R'=125\text{mm}$ 程度から住宅地などでののがけ崩れが起こり、 $R'=250\text{mm}$ 以上になると山地で土石流が発生することが分かっている²⁾。

図-1 に本実験における時間雨量 r の推移と R' の経時変化を示す。Case-1 と 2 で、 $R'=125\text{mm}$ となるのは降雨開始から 2.9 時間後、 $R'=250\text{mm}$ となるのは 10.1 時間後で、降雨を停止する 15 時間後には $R'=307\text{mm}$ まで増加している。Case-3 と 4 で、 $R'=125\text{mm}$ となるのは Case-1 と 2 と同様に降雨開始から 2.9 時間後になるが、 $R'=250\text{mm}$ となるのは 5.8 時間後と Case-1 と 2 より早くなり、降雨を停止する 9 時間後には $R'=461\text{mm}$ まで増加している。

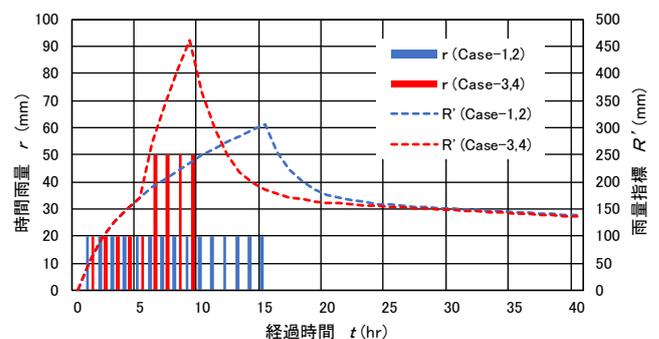


図-1 時間雨量 r と雨量指標 R' の経時変化

キーワード 土砂災害、危険度評価、雨量指標、室内降雨実験、土壌水分量

連絡先 〒731-5193 広島市佐伯区三宅二丁目 1-1 広島工業大学 工学部 環境土木工学科 TEL 082-921-9173

4. 実験結果

図-2 は、Case-1 の飽和度 S_r の経時変化を示したもので、降雨開始時には 20%前後であった S_r が降雨開始後に土槽上部から上昇し、46~53%程度で数時間停留し、今度は土槽下部から上昇し、90%前後に達し、その後一定値を保っていることがわかる。 $R'=125\text{mm}$ となった 2.9 時間後には深度 250mm と 500mm では S_r が 50%程度まで上昇しているが、深度 750mm と 1000mm では未だ上昇していない。また、 $R'=250\text{mm}$ となった 10.1 時間後には全ての深度で S_r が 90%前後まで上昇している。図-3 は、Case-2 の結果を示したもので、Case-1 と同様に S_r は増加するが、底面が排水条件であるため深度 1000mm でも S_r は約 50%までしか上昇しない。降雨停止後は土槽上部から S_r が急激に低下しているが、深度 1000mm での S_r の低下は非常に緩やかである。図-4 と図-5 は、Case-3 と 4 の結果を示したもので、降雨開始から 5 時間後から降雨強度が強くなっているため S_r は急増しているが、全体的にはそれぞれ Case-1 と 2 と同様な傾向となっている。

図-6 は、雨量指標が $R'=125\text{mm}$ と $R'=250\text{mm}$ になるときの S_r の深度分布を示したものである。 $R'=125\text{mm}$ となる時は、前述したように全てのケースで 2.9 時間後であり、図-6 には降雨開始から 3 時間後の深度分布が示してある。この図で、深度 500mm 以浅ではすべてのケースで、また Case-4 では深度 750mm 以浅で S_r が初期状態から 35~53%程度まで上昇しており、 $R'=125\text{mm}$ となる時は浸潤線が 500~750mm まで降下した状態であることがわかる。 $R'=250\text{mm}$ となる時は、Case-1 と 2 では 10.1 時間後、Case-3 と 4 では 5.8 時間後であるため、Case-1 と 2 では 10 時間後、Case-3 と 4 では 6 時間後の深度分布が示してある。この図から、経過時間の違いに係らず非排水条件である Case-1 と 3 では層全体の S_r が 90%程度まで上昇し、排水条件である Case-2 と 4 では深度 1000mm での S_r が 37~48%まで上昇しており、 $R'=250\text{mm}$ となる時は浸潤線が底面まで達し、非排水条件では層全体が飽和状態、排水条件では層全体で飽和度の高い一様な定常状態になっていることがわかる。

5. まとめ

限られた実験条件のもとではあるが、雨量指標 R' の値が同じ時の土壌水分量は、雨の降り方にはあまり影響を受けずほぼ同じ深度分布となるが、分布形は底面の排水条件に影響を受けることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 森脇武夫・土田孝・橋本涼太・中井真司・加納誠二・海堀正博：2018年7月豪雨による広島県の土砂災害の特徴(1999年6.29災害と2014年8.20災害との比較)，土木学会論文集 B1，75巻，4号，pp.244-259，2019。
- 2) 中井真司・佐々木康・海堀正博・森脇武夫：警戒・避難のための雨量指標の改良(危険雨量指標 R'_c の再吟味と R' の提案)，広島大学大学院工学研究科研究報告，Vol.53，No.1，pp.53-62，2004。

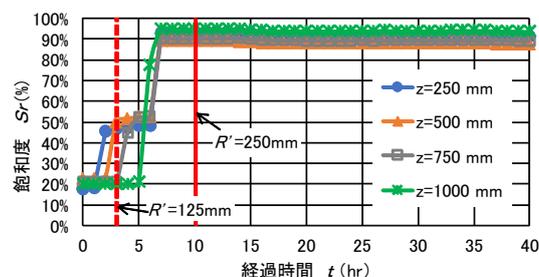


図-2 飽和度の経時変化 (Case-1)

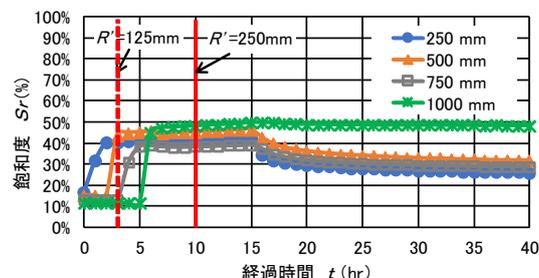


図-3 飽和度と経時変化 (Case-2)

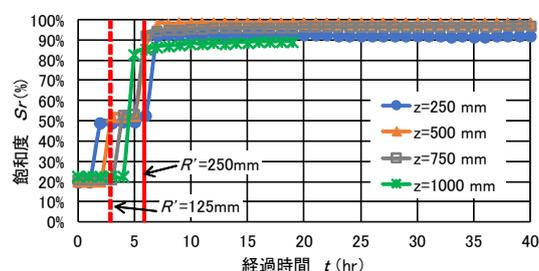


図-4 飽和度の経時変化 (Case-3)

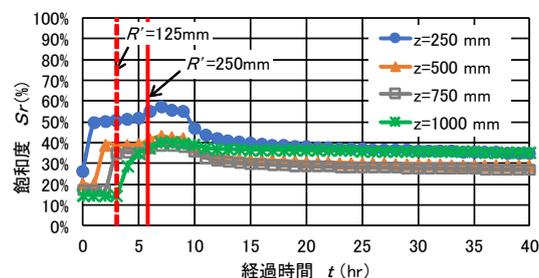


図-5 飽和度の経時変化 (Case-4)

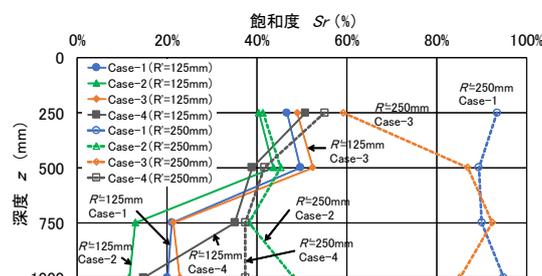


図-6 $R'=125\text{mm}$ と 250mm になるときの飽和度の深度分布