

不飽和浸透流の陽解法に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科 ○上野祐生、赤澤史顕
立命館大学 里深好文

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる激しい降雨の発生頻度が増加傾向にあり、土砂災害の発生頻度や被害の規模も大きくなってきている。このため、降雨と土砂移動の関係や降雨による浸透流の影響を知る必要がある。

本研究は、天然ダムの発生から決壊までの過程、決壊後の被害状況を検証するものである。特に天然ダム内部の浸透流に着目し、不飽和浸透流を三次元でかつ陽解法で解析することを目的としている。

2. 実験方法

三次元解析による結果の整合性を確認するために、水路に土砂を配置し実験を行った。水路幅は 18 cm あり、そこに以下の表(1)のような側面形状が三角形の天然ダムを設けて、水を流し浸透流と決壊までの過程を観察した。流量は平均 50ml/s を与えている。土砂は珪砂 5 号を使用しており、密度は 1.57g/cm³、透水係数は 0.23cm/s としている。越流決壊させるにあたり、浸食部を限定するために幅 2.5 cm、深さ 1 cm の切り掛けを設けている。

高さ	7.5 cm	上流勾配	30°
水路勾配	5°	下流勾配	20°
上流法面勾配(測定)	25°	中心からの距離(上流)	13 cm
下流法面勾配(測定)	25°	中心からの距離(下流)	22 cm

表(1 天然ダムの条件

カメラは合計 4 台設置しており、天然ダムの俯瞰、側面、正面、水路出口を撮影している。詳しいカメラの設置位置については図(1、図(2)を参照されたい。また、越流している最中に浸食されている部分を詳しく知るために、切り掛け部の直下深さ 1 cm 毎に色違いの釣り用の浮きを配置している。



図(1 実験装置全景 1



図(2 実験装置全景 2

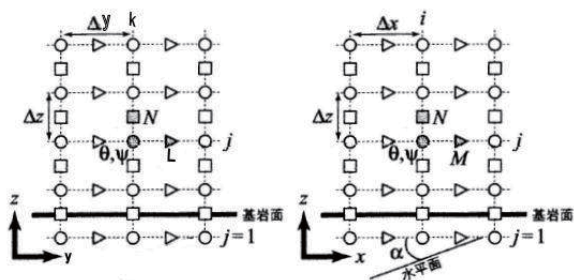
3. 解析方法

スタッガードスキームに基づいてプログラムを作成しており、隣り合う計算点との状態の差を用いて浸透流を表現する。それぞれの方向に流れる水をフラックスで表現しており、浸透流を構成するためにリチャーズ式を用いている。ここに、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は残留体積含水率、 ψ_o は水分特性曲線の変曲点における圧力水頭、 K_s は飽和透水係数、 m は係数である。式(1、式(2

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{\psi}{\psi_0} + 1 \right) \exp \left(- \frac{\psi}{\psi_0} \right) + \theta_r \quad (1)$$

$$K = K_s \left\{ \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right\}^m \quad (2)$$

計算点の配置は、以下の図(3)を参照されたい。



図(3) 計算点の配置略図

4. 結果と考察

実験に関しては、まだ試験的に行っている側面が強く、切り掛けもアクリルの面に添うように配置している。これは、越流から浸食までの過程でどのような浸透流が発生するのかを横から観察するためである。試料の詰め方に関しても熟考する必要があり、現状では浸透流の卓越する層とそうでない層が交互に積み重なっており、流れの異方性が強く表れている。

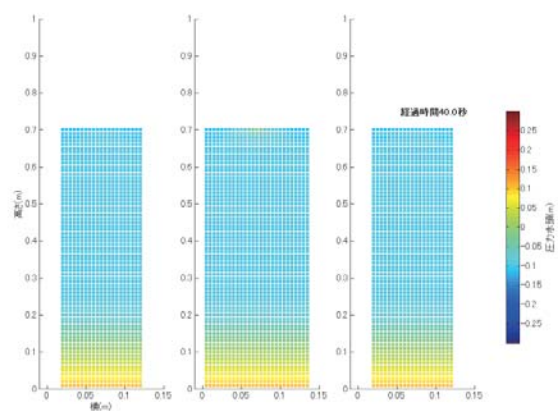


図(4) 実験中側面

珪砂 5 号の粒径の細かい成分、粒径 200 μm 以下を除去することで異方性を抑えられることは円筒カラムを用いた実験で検証済みである。浮きによる浸食位置の判定は概ね良好な結果を得られており、切り掛けの位置を変化させることで結果を蓄積し、解析の整合性を高めるためのデータとしていく必要がある。

解析に関しては、天然ダムの形状を作って実験の条件を反映させた計算するところまで進めることができ

なかった。しかし、浸透流の特徴を見るために行った、円筒カラムによる不飽和浸透流の実験に関しては、解析を行った結果があるので掲載する。



図(5) 解析結果

円筒カラムによる浸透流の実験においては気体の影響が非常に大きく、実験で得た結果と解析で得た結果にかなり大きな差が生まれてしまった。

天然ダムの実験においては解放されている境界面が多く存在するため、気体の影響は小さいものと考えられる。このため、このモデルを使用して天然ダムに関する浸透流の解析を行うことは可能であり、実験値と解析値に大きな差は生まれないものと考えられる。

5. 結論

天然ダムに流水が入り、湛水して越流、決壊までのプロセスはよく再現されている。また、側面からの浸透過程の観測もきちんとできており、今後実験を進めていく上での注意点、指針を示すことができた。

本研究は、まだ発展の余地が多く残されており、実験、解析ともに研究を続けていく必要がある。また、冒頭でも述べたように本研究は、土砂の移動と浸透流を同時に解析することを目的としている。実験の精度も高めていく必要があるが、三次元で解析することを念頭に置いて、三次元解析の結果を判定するのに有効になるような情報を収集していかなければならない。

6. 参考文献

- 1) 里深好文・水山高久：溪床堆積物の不飽和浸透過程を考慮した席歴型土石流の発生・発達に関する数値計算，水工学論文集，第 53 巻，pp.697-702，2009.