

## 第6章 浸透流解析による崩落地への水の流動解析

### 6.1 解析方法

#### 6.1.1 目的

盛り土の崩落原因を解明するためには、数値解析モデルによりその現象を再現することが有効である。よって、第6章、第7章で数値解析モデルを用いた現象の再現を試みる。

数値解析は、盛り土内の水の流入量の推定のための「水の流動解析」と、その結果等を用いた「盛り土が崩壊に至る挙動の再現解析」により行う。

本章においては、まず、降雨による逢初川源頭部への地下水及び表流水の流入状況を把握するための水の流動解析方法について示す。

ただし、表流水については、第5章で示された中野氏の解析結果を参考にするとし、本章では地下水の流動解析について述べる。

#### 6.1.1 解析方法

地下水流動状況の検討のためには、適切な地下水流動解析手法を選択する必要がある。

表6-1に、日本国内において使用されている主な浸透流解析プログラムの概要を示す。

本解析においては、オープンソースプログラム<sup>1</sup>として公開されているものの中から、三次元飽和・不飽和地下水浸透流解析プログラムである「ACUNSAF-3D」を用いて解析を行う。

ACUNSAF-3Dでは、(1)式を基礎方程式として、地下水の解析を行う。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - q = \left( \beta S_s + \frac{d\theta}{dh} \right) \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 $\beta=0$ ：不飽和領域

$\beta=1$ ：飽和領域

$\theta$ ：体積含水率

$h$ ：全水頭

$K$ ：透水係数

$q$ ：流出入流量

$S_s$ ：比貯留係数（飽和状態にある単位体積の多孔質媒体内で単位水頭（この場合、圧力水頭）変化が与えられた時の流入出流量）

$t$ ：時間

$x_i \cdot x_j$ ： $i$ 方向・ $j$ 方向の距離

$\frac{\partial h}{\partial t}$ ： $h$ に対する $t$ の偏微分を $\frac{\partial h}{\partial t}$ と記載する。

<sup>1</sup> ソースコードが公開されているプログラム。誰もが入手・使用することができる。

## 6.2 解析条件

### 6.2.1 解析の流れ

図 6-1 に解析の流れと各フローの内容を示す。

①②で初期モデルを作成する。

③で崩落後の逢初川源頭部の流量の観測結果を再現できるように、初期モデルに与えたパラメータを修正する。

④③で設定したモデルにより、崩落直前（6月28日～7月3日）の解析を行う。

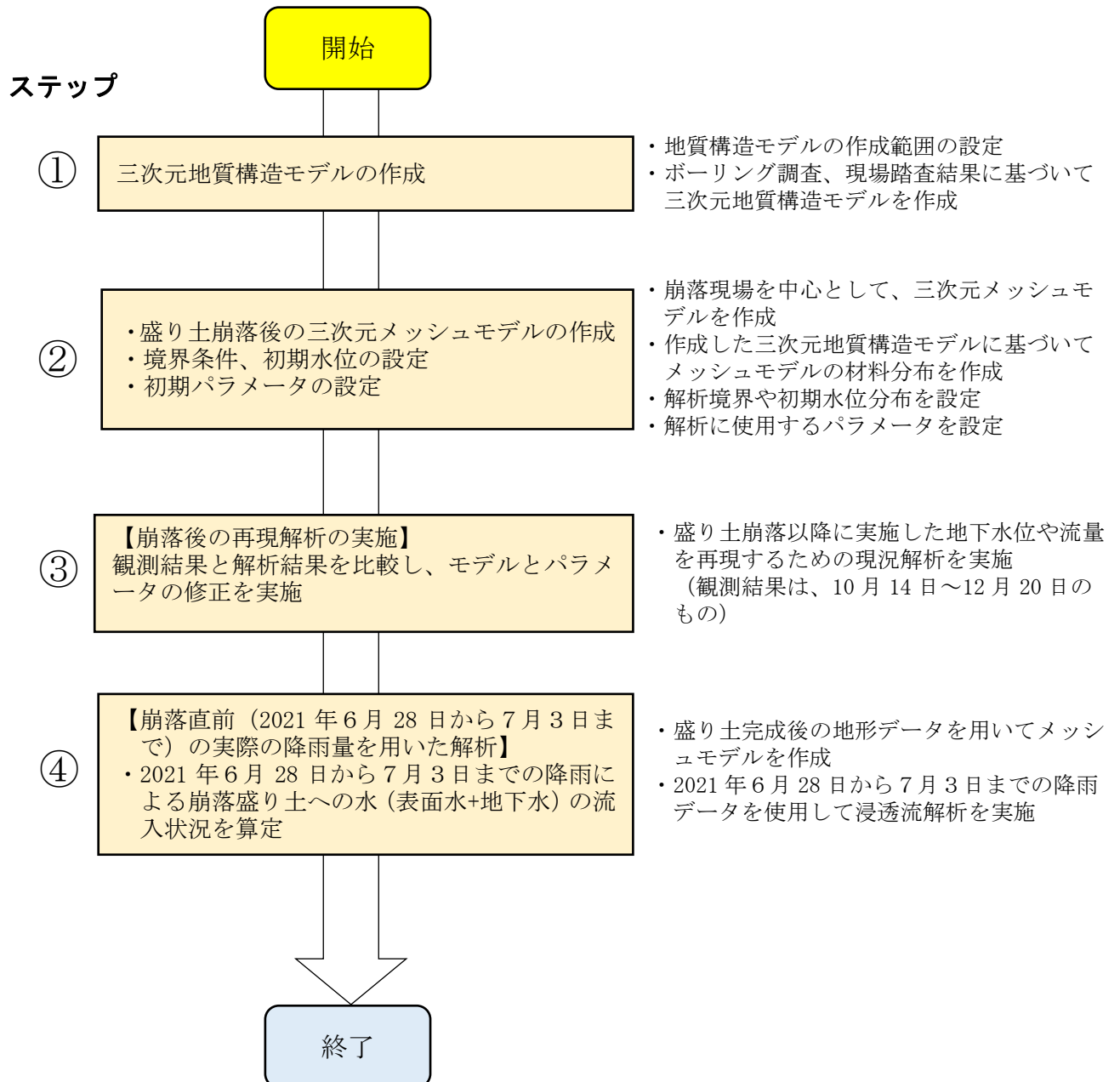


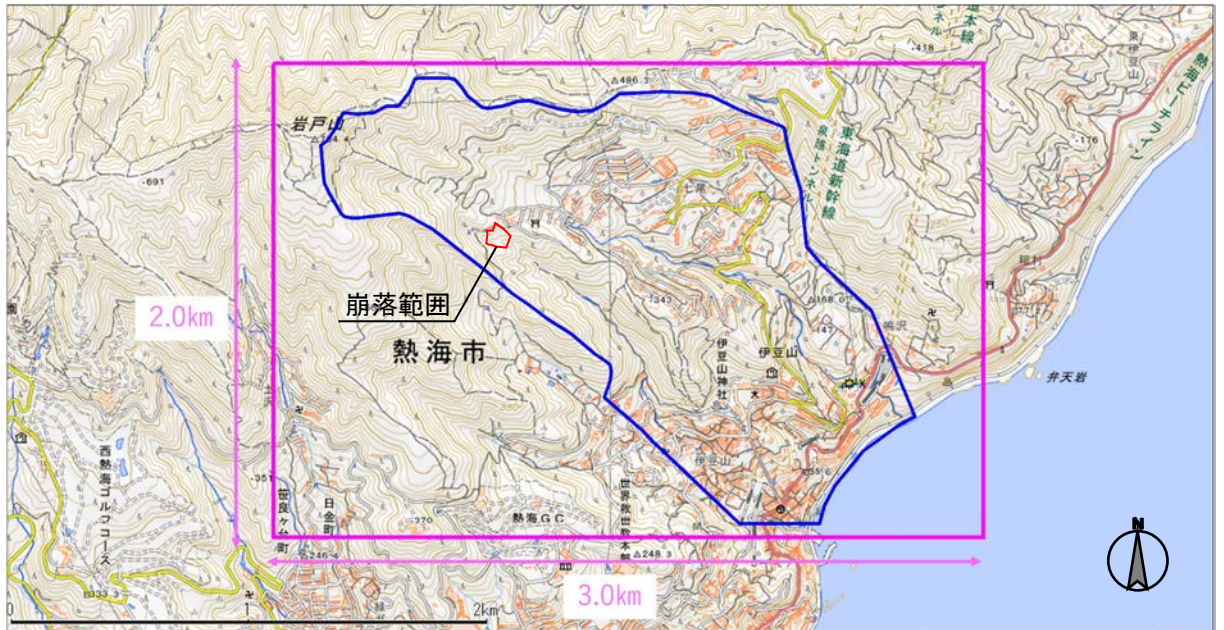
図 6-1 解析の流れ

## 6.2.2 解析条件の設定

解析を実施するために設定した解析範囲、境界条件等を以下に示す。

### (1) 解析範囲

解析境界は、陸域においては分水嶺とし、定流量境界（境界からの水の流入量を定量とする）を設定するのが一般的である。このため、解析範囲は、崩落現場を囲む周辺の領域で分水嶺となる山・尾根、及び、海を境界として設定し、図 6-2 の青線で囲む範囲とする。



出典：地理院タイルに三次元解析範囲を追記

図6-2 浸透流解析範囲

## (2) 境界条件

浸透流解析に必要な境界条件の概念を図 6-3 に示す。

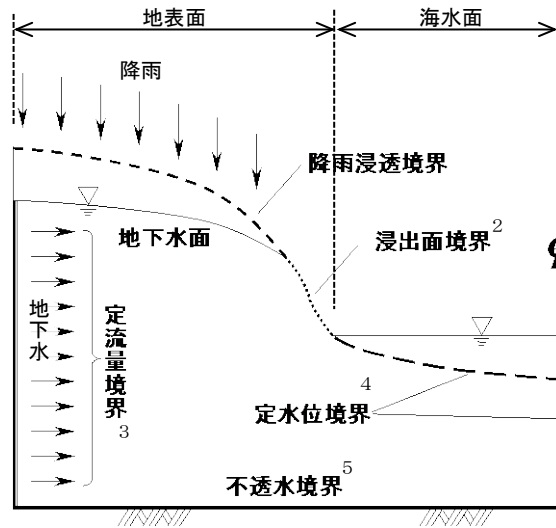


図 6-3 浸透流解析境界条件の概念図

本解析での条件設定は以下のとおりとする。

- ① 山地の分水嶺（尾根部分）は、定流量境界（地下水の流入量はゼロ）とする。
- ② 海領域は、定水位境界とする。
- ③ 底面は、不透水境界とする。
- ④ 地表面は、降雨浸透面として、浸透率を用いて降雨の浸透量を考慮する。

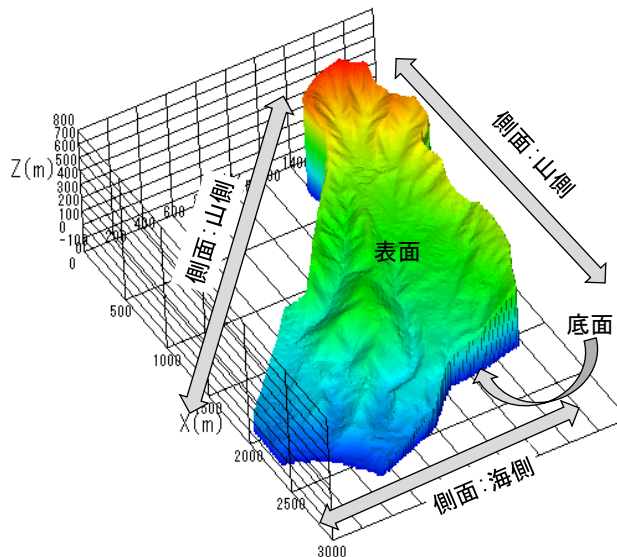


図 6-4 浸透流解析モデルの境界条件の設定

- 2 地盤内の湿潤状態の変化により、不透水境界と既知水頭境界を自動で切り替える境界条件
- 3 境界面を通過する流量値を一定値として規定する境界条件
- 4 河川、湖沼、海岸などの表面水が帯水層と自由に接触する境界で、水頭値を一定値として規定する条件
- 5 水の出入りがないものとして規定する境界条件

## 6.3 解析結果

### (1) 崩落後の水の流動の再現解析の実施（図 6-1 のステップ③）

2021 年 10 月～12 月の観測データと解析値を比較し、再現精度を検討した。

その結果、降雨に対し、応答の早い流量については、ある程度再現性はあるものの、盛り土の崩壊解析において重要となる流速、流量、流向、地下水位の再現については、十分な精度が得られなかった。

## 6.4 考察

- ① 今回の三次元浸透流解析では、周辺の分水嶺を解析範囲の境界とした解析を行った。しかし、この方法では、逢初川源頭部という狭い範囲に比べて広い範囲を解析範囲として計算することから、逢初川流域、鳴沢川流域全体の概略の水の流れの推定はある程度可能であるが、源頭部という限られた狭い範囲への地下水の流入に関して十分な精度が得られない懸念があり、結果として、そのような解析結果となった。
- ② この理由としては、この解析方法は、同じ地質区分の所は同質であるとして、一つの透水係数で計算する。即ち、平均化した水の流れを推定する解析となる。この地域においては、岩質が多く、ボーリング結果から得られた透水係数は小さい値となる。よって、解析では小さい値の透水係数を用いて行う傾向となる。しかし、第 2 章の現地調査結果から分かるように、逢初川源頭部付近にはパイピングホールのような流出孔がある。このため、逢初川源頭部への地下水の流れは、この水みちのような局所的に透水係数が大きいところを流れる水の影響を大きく受ける。加えて、盛り土と地山境界部にも透水性の高い層（溪流堆積層）が局所的に存在することがわかっている。

しかし、解析モデルでは、透水係数を同じ地質区分のところでは一つの値で与えるため、そのような水みちの流れや境界層の流れを再現し難い。

また、ボーリング調査結果から得られた透水係数は  $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-9} (\text{m/s})$  とバラつきが大きい。透水係数が  $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$  オーダー異なると、流量は 1/10 倍、1/100 倍となる。よって、解析にどのような透水係数を用いるかで、解析結果が大きく異なることになる。

その他にもいくつかの理由が考えられるが、いずれにしても用いた解析モデルでは、逢初川源頭部という狭い領域での盛り土内への水の流入量を推定するという点において、十分な解析精度を得ることはできなかった。
- ③ 水みちのような局所的な高透水部を考慮した上で逢初川源頭部という狭い範囲の地下水の流れを再現するには、多数の現地試験データを必要とするが、現実性は無い。
- ④ このような理由により既存の解析モデルには、実現象をモデル化する際の困難性により解析精度に限界がある（写真①）。



写真① パイピングホール

- ⑤ よって、本報告においては、第5章の水文調査に示したように逢初川源頭部への流向について定性的に確認できたので、このことをもって成果とし、これ以上の解析は行わないこととする。