

流体力学的解析手法による大規模土砂流動の解析

岐阜大学工学部土木工学科

○伊藤 正俊

岐阜大学大学院工学研究科

学生会員

森口 周二

東北大学大学院工学研究科

正会員

渦岡 良介

岐阜大学工学部

正会員

八嶋 厚

岐阜大学工学部

正会員

沢田 和秀

1. はじめに

我が国は、気候的・地形的に見て土砂災害が発生しやすい地域である。また、近年連続して発生している異常気象、地震の影響もあり、毎年のように各地で土砂災害が発生している。このような背景を基に、平成 13 年 4 月に土砂災害防止法が施行された。この法律には、現在までの対策工事を中心としたハード対策に加えて、住民への土砂災害に対する情報の提供や、危険区域の指定等のソフト対策の推進が明記されている。ソフト対策を推進するためには、土砂災害の規模および災害レベルの予測が不可欠である。このため、土砂災害を精度の良く再現することができる解析手法の確立が必要不可欠である。しかしながら、土砂災害のような地盤の大変形問題を、精度良く再現するのは困難な現状にある。

渦岡ら¹⁾(1998)は、地盤材料を特殊な流体として仮定することにより、流体力学に基づいた解析手法を用いて液状化後の地盤の側方流動を再現し、その有効性を示している。また、Hadush ら²⁾(2001)は、混層流体に対して有効な解析手法である CIP (Constrained Interpolation Profile)³⁾法を用いて振動台実験における液状化地盤の側方流動を精度よく再現している。本研究では、これまでに高度化された流体力学的な解析手法を用いて、実際に発生した土砂災害の事例を再現する。

2. 本研究の特徴

本研究の特徴は、以下に示すものである。

- 1) 地盤材料をせん断抵抗を有する流体 (Bingham 流体) で表現している。
- 2) 地盤材料の内部摩擦角および粘着力を構成則 (Bingham モデル) のパラメーターに用いている。
- 3) 数値解析手法に CIP 法を用いている。

2 - 1. 構成則 (Binghamモデル)

先に述べたように、本研究では、大変形時の地盤材料を Bingham 流体と仮定して解析を行う。Bingham 流体とは、せん断抵抗を有する流体であり、その変形特性は式 (1) 式及び図-1 のように表現される。

$$\tau = \eta \dot{\gamma} + \tau_{\min} \quad (1)$$

ここで、 τ はせん断応力、 η は最小の粘性係数、 $\dot{\gamma}$ はせん断ひずみ速度、 $\tau_{\min}$ は最小せん断強度を表わす。流体の支配方程式である Navier-Stokes 方程式は、Newton 流体を対象としており、粘性が時間的に変化しない。そのため、等価粘性係数 η' (渦岡ら) を導入し、Bingham 流体の粘性を擬似的に Newton 流体の粘性として表現する。等価粘性係数とは、Bingham モデルの割線粘性係数であり、図-1 中の点線の傾きで表現される。解析の中では、等価粘性係数は毎時間ステップごとに更新され、粘性が時間的に変化する。さらに、本研究では、Bingham モデルの最小せん断強度 $\tau_{\min}$ を、地盤材料のせん断強さ s で表現する。地盤材料のせん断強さは、モール・クーロンの破壊規準を用いて式(2)で表現される。

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (2)$$

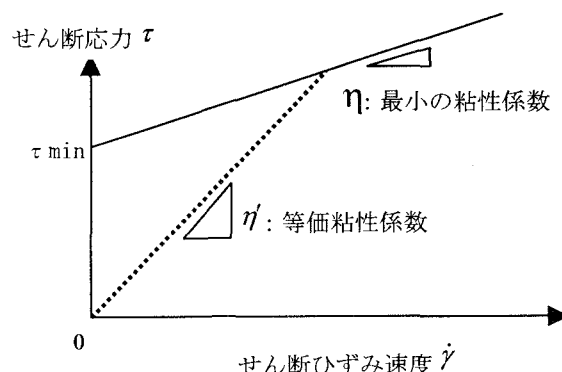


図1 Bingham 流体の変形挙動

ここで、 c は粘着力、 σ は垂直応力、 ϕ は内部摩擦角である。上式のせん断強さ s を式(1)の最小せん断強度 τ_{min} に代入して、以下の地盤材料のせん断強さを考慮した Bingham モデル (式(3)) となる。また、この場合、等価粘性係数は式(4)で表現される。

$$\tau = \eta \dot{\gamma} + c + p \tan \phi \quad (3)$$

$$\eta' = \eta + \frac{c + p \tan \phi}{\dot{\gamma}} \quad (4)$$

ここで、 p は圧力を表す。上式では、式(3)の垂直応力 σ を圧力 p で代用している。また、最小の粘性係数 η は、せん断抵抗がない場合の粘性係数である。式(4)で求めた等価粘性係数 η' を毎計算ステップごとに更新し、計算を行う。1回の計算ステップ内では、粘性は一定値としている。

2 - 2. CIP 法

CIP 法では、支配方程式を非移流項と移流項の2つの項に分離して、段階的に計算を行う。特に、移流項の取り扱いに特徴を持つ。CIP 法では、物理量の移流方程式を解くと同時に、その物理量の空間一階微分値に関する移流方程式を解く。そのため、1つの計算点に対して、物理量とその微分値という2つの情報が得られ、わずか2点の情報のみで3次元多項式の補間が可能となる。これにより、物理量の精密な空間プロファイルの構築が可能であり、特に自由境界面の捕獲に効果がある。

3. 実際に発生した地すべりの解析

2003年5月26日の三陸南地震を誘因として発生した宮城県築館町館下地区の地すべりを、これまでに示した解析手法を用いて再現した。図-2は地すべり現場の空撮写真である。また、図-3は地すべり現場の縦断測量結果である。黒色で示されている部分が、地すべりにより流動した部分である。図-3を用いて、解析モデルを作成した。図-4に解析の初期状態を示す。数値解析で用いたメッシュ数は、 80×35 であり、さらに、解析対象縦断領域は、 $266.6\text{m} \times 11.6\text{m}$ である。解析での土砂の流動範囲を実現象と比較し、その精度を検証した。



図-2 地すべり現場空撮写真⁴⁾

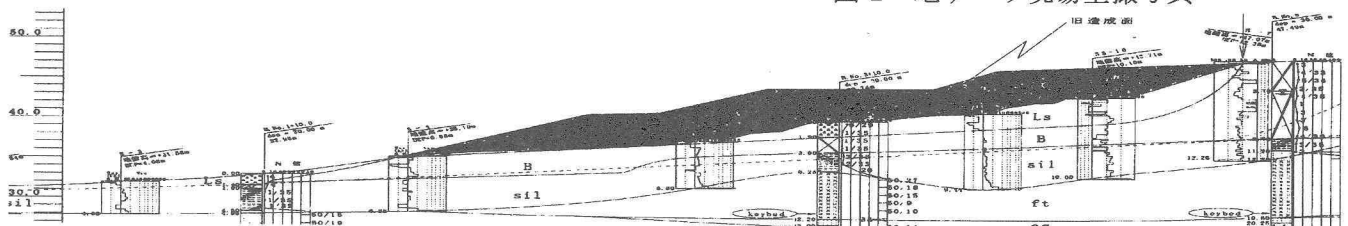


図-3 地すべり現場縦断測量結果 (地滑り前の地形情報を含む)⁴⁾

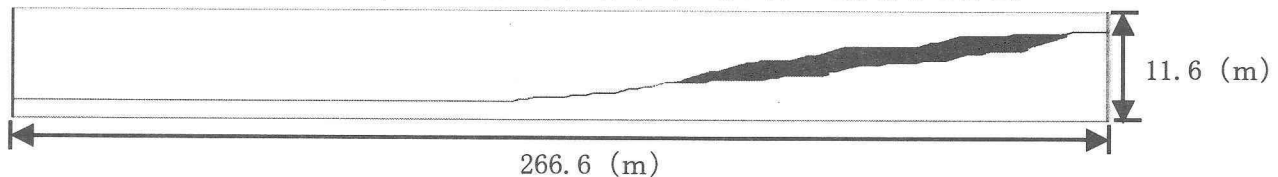


図-4 解析初期状態

5. 参考文献

- 1) 渦岡良介, 八嶋厚, 川上哲太郎: 液状化地盤の流体的挙動に関する解析的考察, 地震時の地盤・土構造物の流動特性と永久変形に関するシンポジウム, 地盤工学会, 1998, pp417-420
- 2) Hadush, S., Yashima, A. Uzuoka, R., Moriguchi, S. and Sawada, K., 2001: Liquefaction Induced Lateral Spread analysis Using the CIP Method. Computers and Geotechnics, no. 8, Vol. 28, pp. 549-574
- 3) 矢部孝, 観山正見, 桃島成治: パソコンによるシュミレーション物理, 朝倉書店, 1992
- 4) 社団法人 地盤工学会 2003年三陸南地震および宮城県北部地震災害調査委員会: 2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害調査報告書, 2003, pp. 19-39