

粒子法による崩土の到達距離予測に関する研究

三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社

正会員 ○小村 尚史

広島大学大学院

正会員 加納 誠二

広島大学大学院

学生会員 川口 将季

広島大学大学院

正会員 陸田 秀実

1. はじめに

道路のリスクマネジメントにおいては、災害の発生確率に加えて、災害発生時の通行止め期間（復旧に要する日数）や、通行止め範囲の予測が重要となる。この通行止め期間や区間の予測には、崩壊土砂到達距離の推定が必要であるが、現行では過去の災害履歴などを参考にしており、斜面の地盤特性などを反映しているものではない。そこで本研究は崩壊土砂到達距離予測の基礎的研究として、粒子法を用いた非圧縮性粘性流体により斜面崩壊を表現することを試みた。

2 粒子法（SPH 法）の理論と Bingham モデル

粒子法は、連続体を有限個の粒子によって表現し、各粒子は速度・圧力といった物理量を保持しながら移動するため、連続体の挙動を粒子の運動によって計算でき、かつ、差分法や有限要素法で用いられる格子が不要である。本研究では粒子法の1つであるSPH法を用いている。SPH法は、粒子の位置にKernel関数を導入し、その重ね合わせとして物理量の空間分布を表わし、その分布を微分することで微分方程式を離散化する方法である。

また、本研究では、土砂をBingham流体と仮定して解析を行う。Bingham流体の力学特性を表わす式は、式(1)のように表現される。

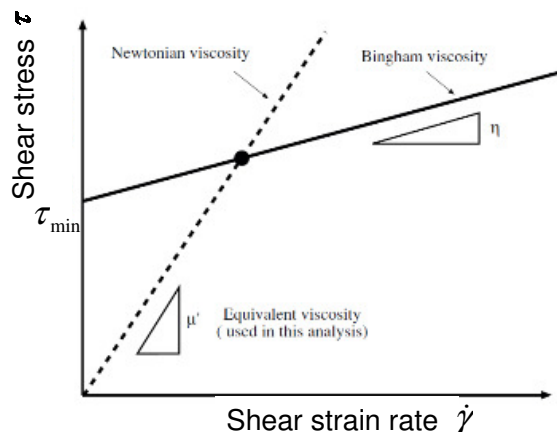
$$\tau = \eta \dot{\gamma} + \tau_{\min} \quad (1)$$

ここで、 τ はせん断応力、 η は粘性係数、 $\dot{\gamma}$ はせん断ひずみ速度、 $\tau_{\min}$ は最小非排水強度を表わす。本研究で支配方程式として用いているNavier-Stokes方程式は、Newton流体を対象としており、粘性は変化しない。そこで、BinghamモデルをNewton流体として扱うために、渦岡ら¹⁾が提案した等価粘性係数の考え方を導入した(図1)。この等価粘性係数はBinghamモデルの割線粘性係数に相当するものである。等価粘性係数は次式のように表現される。

$$\begin{cases} \mu' = \eta + \frac{\tau_{\min}}{\dot{\gamma}} & \text{if } \dot{\gamma} \neq 0 \\ \mu' = \infty & \text{if } \dot{\gamma} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\tau_{\min} = R_{\min} \cdot p \quad (3)$$

ここで、 η' は等価粘性係数、 p は圧力、 $R_{\min}$ は最小非排水強度比である。等価粘性係数は各計算ステップ内の収束計算では一定値として扱い、計算ステップ毎に逐次更新する。式(3)において、最小非排水強度そのものではなく、最小非排水強度比を用いている理由は、最小非排水強度の拘束圧依存性を考慮するためである¹⁾。最小非排水強度は初期有効拘束圧に依存するので、ここでは最小非排水強度比を用いることとした。また、流体解析において流体化した土は土と水の二相系ではなく、流体としての一相系材料と仮定するため、有効応力の概念はなく、水圧が液状化した土の全拘束圧に対応することになる。

図1 せん断応力とせん断ひずみ速度の関係¹⁾

キーワード 崩壊土砂到達距離, 粒子法, Bingham 流体

連絡先 〒739-0035 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科地盤工学研究室

3 解析結果

図2に計算結果の一例を示す．本研究は非圧縮粘性流体を用いているため，粒子の速度はゼロにならない．しかし，表層崩壊において流動化した土砂は剛性が回復すると速度が低下する．そのため，本解析では以下の条件となった場合に表層崩壊が終了すると仮定した．

①速度が低下し，横ばいとなった時点，②速度が減少傾向から上昇した場合は上昇する前の時点，③一旦速度がピークとなり，その後，減少傾向となる場合は速度のピーク時点．

図3，図4に層厚と到達土砂距離，流速との関係の一例を示す．これらの図から，到達土砂距離は層厚には依存しないことがわかる．停止したと見なした時のx方向流速を見ると，30°，35°のケースはほぼ同じであったが，40°のケースは，それらに比べ大きな値となっており，傾斜角が大きいほど到達土砂距離は長く，流速は大きくなっている．このことから，傾斜角が大きいほど粒子に勢いがついて遠くまで流れるという結果になっていることがわかる．本解析は，傾斜角，層厚以外は各 Case 同じ条件（同じ強度）で行っているため傾斜角に依存する結果になったと考えられる．

また，最小非排水強度比 R_{min} の影響を検討するために最小非排水強度比の値を 1.5, 0.15, 0.015, 0.0015 の 4 ケースに設定して解析を行った．図5に示すように R_{min} の値が大きいほど粘性係数も大きくなるため，到達土砂距離は短くなる．このため，到達距離は R_{min} に依存しており，解析にあたっては適切に設定することが重要である．最小非排水強度比 R_{min} を係数とする最小非排水強度 τ_{min} は流動化した土砂が有している降伏強度であり，Bingham 流体による斜面崩壊シミュレーションを行うためには R_{min} の設定方法について今後検討が必要である．

4 結論

土砂を非圧縮粘性流体に見なし，粒子法による表層崩壊シミュレーションを行った結果，傾斜角が大きいほど粒子に勢いがついて遠くまで流れたため，到達土砂距離は傾斜角に依存することが確認できた．また，解析結果は最小非排水強度比に影響を受けるため，シミュレーションの精度を上げるために，対象斜面毎に最小非排水強度の値を正確に設定することが必要となると考えられる．

参考文献

- 1) 渦岡良介：地盤の液状化発生から流動までを予測対象とする解析手法に関する研究，岐阜大学院博士論文，2000.

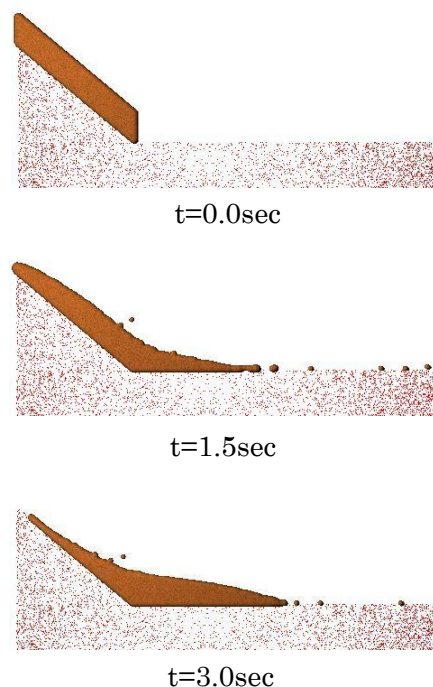


図2 計算結果

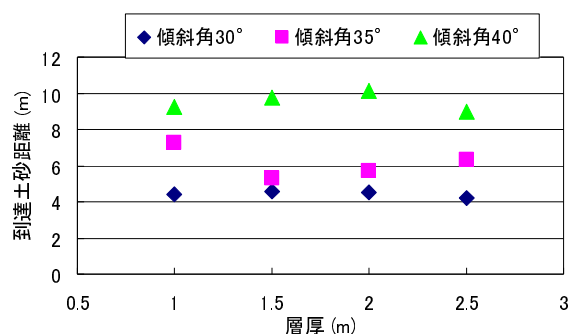


図3 層厚と到達土砂距離の関係

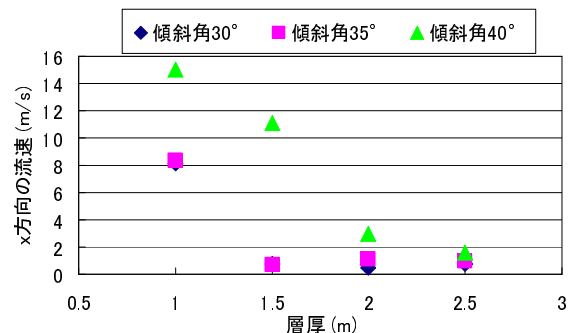


図4 層厚とx方向の流速の関係

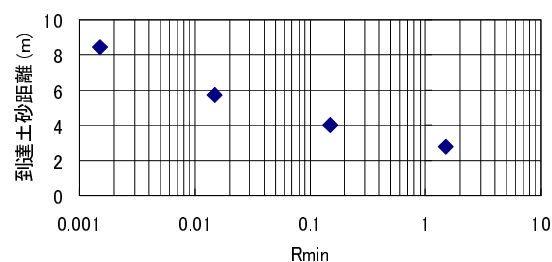


図5 R_{min} と到達土砂距離の関係