

63 細粒土砂を考慮した土石流氾濫シミュレーション計算

八千代エンジニアリング株式会社 ○井戸清雄
 建設省 土木研究所 砂防研究室 水山高久
 同上 石川芳治
 同上 福沢 誠

1. まえがき

土石流災害により毎年多くの人命、財産が失われており、土石流対策は極めて重要である。ソフトな対策として土石流危険区域を設定して警戒、避難システムを整備する等が考えられるがその実施に際しては、説得力のある資料を提供する必要がある、精度の高い土石流氾濫シミュレーション手法の開発を行う必要がある。

しかしながら、従来のシミュレーション手法では計算結果の土砂氾濫の範囲が実際のものとは異なっていたり、実際には高濃度の土砂が緩勾配の流路を流下しているのに、計算ではその説明ができない場合がある。

この原因として、土石流の粒度分布、とくに細粒土砂が土石流の流動に対して与える影響がモデル化されていないことが考えられ、本研究では、細粒土砂を考慮した計算モデルを考案し、別に行われた土石流氾濫の水理実験結果¹⁾を対象として再現計算を実施し、計算モデルの妥当性、問題点について検討した。

2. 計算手法

計算は、次の4式を連立し、陽形式の差分法²⁾により図-1のフローチャートの流れにしたがって計算を実行した。

2.1 土石流、洪水流の平面流れを表現する運動方程式

計算域の平面座標をX-Y座標として示し、X方向の運動方程式を整理すると以下のとおりである。ただし、Y方向については同型であるので省略する。

$$\frac{\delta M}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} (\beta \cdot u \cdot M) + \frac{\delta}{\delta y} (\beta \cdot v \cdot M) = -g \cdot h \cdot \frac{\delta H}{\delta x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、M、N：X、Y方向の流量フラックス、β：運動量補正係数、u、v：X、Y方向の流速、H、h：各々土石流等流体の水位、水深、g：重力加速度、τ_{bx}、τ_{by}：各々X、Y方向の底面せん断応力、ρ₀：流体の密度。また、H = z + h、z：地盤高である。

τ_{bx}、τ_{by}項は、流体としての抵抗力であり、マニング型の抵抗則を用いると、以下のように表される。

$$\tau_{bx} = \rho_0 \cdot g \cdot n^2 \cdot u \cdot \sqrt{(u^2 + v^2)} / h^{1/3} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、ρ₀：土石流の密度、σ：砂礫の密度、ρ：水の密度、n：マニングの粗度係数である。一

般に、土石流をダイラタント流体と仮定して、抵抗項としてクーロンの砂礫の衝突による抵抗が考慮されるが計算の簡略化を図るため省略した。

2.2 土石流、洪水流全体の連続式

土石流、洪水流の連続式は下記の通りである。

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta z}{\delta t} + \frac{\delta M}{\delta x} + \frac{\delta N}{\delta y} = 0 \dots\dots(3)$$

2.3 流砂量の連続式

流砂量の連続式は、流動深中の土砂濃度を考慮し、粗粒、細粒の土砂各々について連続式をたてると次のようになる。

$$\frac{\delta (h \cdot C_l)}{\delta t} + \frac{\delta z^l}{\delta t} + \frac{1}{1-\lambda} \cdot \left\{ \frac{\delta q_{Bx}^l}{\delta x} + \frac{\delta q_{By}^l}{\delta y} \right\} = 0 \dots\dots(4)$$

$$\frac{\delta (h \cdot C_f')}{\delta t} + \frac{\delta z^f}{\delta t} + \frac{1}{1-\lambda} \cdot \left\{ \frac{\delta q_{Bx}^f}{\delta x} + \frac{\delta q_{By}^f}{\delta y} \right\} = 0 \dots\dots(5)$$

ここに、 C_l : 流動深中の粗粒土砂の濃度、 C_f' : 流動深中の細粒土砂の濃度、 C_f : 流動深中の粗粒土砂分を除いた細粒土砂の濃度であり、下記の関係で土砂濃度で定義する。

$$C_f' = (1 - C_l) \cdot C_f \dots\dots(6)$$

2.4 流砂量式

流砂量式は、粗粒土砂分については次の高橋の土石流濃度式を、細粒分については便宜的に浮遊砂量式の芦田・道上式を用いて計算した。

$$C_d = \frac{q_B}{q_t} = \frac{\rho_n \cdot s}{(\sigma - \rho_n) \cdot (\tan \phi - s)} \dots\dots(7)$$

ここに、 ρ_n : 細粒土砂によって増加した土石流中の泥水の密度 ($\sigma \cdot C_f + (1.0 - C_f) \cdot \rho$)、 ϕ : 内部摩擦角、 σ : 礫の密度、 q_B : 土石流中の粗粒分の流砂量、 q_t : 土石流全体の流量 ($= q_w + q_B + q_s$) すなわち流量フラックス M 、 N 、 q_w : 土石流中の水の流量、 q_f : 土石流中の細粒分の流砂量である。 s は地盤勾配、エネルギー勾配の大きい方で代表させた。

3. 計算条件と計算結果

3.1 給砂条件 (扇状地模型への土砂流入条件)

計算では次の2種類の給砂条件を設定した。(1) 氾濫域上流の水路下流端の勾配から式(7)によって流砂量を計算し144秒間(土砂濃度31%)土砂を給砂し、その後96秒間無給砂で水流を流下させたものである。[計算による推定] (2) 水路末端での土砂濃度測定結果で流出の最初10秒間は約60%の高濃度であるが60秒後では約40%、90秒後では約20%、120秒後では0%と濃度が減少する結果となっている。[測定結果] 土石流合計流量は堆積土砂中の飽和水が流量を増加させるものとして計算されている。

なお、氾濫土砂量の総量は240ℓであり、細粒土砂を含む場合は、全土砂量の15%(重量比)を細粒

* 通水時間は240秒であり、通水した清水流量は1.5ℓ/s一定である。

土砂とした。

3.2 地形条件及び水理条件

氾濫域の地形条件は勾配10度から0.5度に漸減する12mの扇状地模型において(1)流路無し、(2)直線流路有り、(3)曲線流路有りの3種類である。計算メッシュ: 10cm・10cmの正方形メッシュ、粗粒分、細粒分の代表粒径は各々3mm、0.5mm、運動量補正係数 $\beta = 1.1$ 、粗度係数 $n=0.06$ とした。計算時間刻みは0.05秒である。

3.3 計算結果と考察

計算結果及び実験結果の対比は、図-2、3、4、5に示した。

図-2(1)、(2)では、流路のない氾濫域に細粒土砂が15%(重量比)含有した土砂が流下したものであるが、図-2(1)によると実験値では水路出口から約1m下流から土砂堆積が生じているのに対し、計算では水路出口から土砂が堆積している。この原因を流れの抵抗が実験値より大きく慣性力が小さいためと考え粗度係数、運動量補正係数を変更して計算した結果が図-2(2)であり、かなり計算結果が実験結果に近づいている。しかし、氾濫堆積形状は実験値の方が下流に堆積しており、土砂濃度の設定、細粒土砂による内部摩擦角の低減効果等をモデル化の際、再考したい。

図-3以下では、計算による推定給砂条件に対する計算値と実験値を対比したもので、実験と計算とでは土砂の供給過程は異なるが最終的給砂された土砂量は同一であるので最終結果について図示している。

図-3の扇状地に流路がない場合、氾濫範囲、到達距離及び2次侵食の流路の位置等一致するところもあるが、計算のような側壁部に土砂堆積が片寄る傾向は実験値にはなく、図-2で検討したように流れの状況が一致していないこと、土砂の流入条件が実験と計算でことなるためと考えられる。図-4、5によると粗粒土砂のみを給砂した場合は水路出口で実験、計算とも氾濫しており、一致しているようである。直線水路で細粒土砂が含有された場合の氾濫開始点は、非常によく一致しているが、曲線水路の場合、計算のほうが下流で氾濫している。

4. 今後の課題

土砂流現象の複雑さを考慮すると総じて計算結果による実験結果の再現度は良好であると考え、さらに精度を高めるため、扇状地における氾濫水のみの実験、シミュレーションおよび一次元水路における実験及びその再現計算を行い計算モデルの改良、定数の設定法の確立を図りたい。

* 参考文献: 1)石川、水山、福沢: 扇状地における土砂流の氾濫・堆積に関する実験的研究(平成2年度砂防学会概要集)、2)高橋、中川、西崎: 堤防決壊による洪水危険度(京大防研年報第29号)

B-2, 1986, pp421-450.

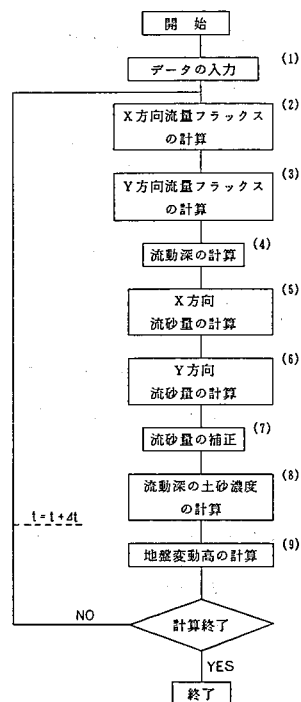


図-1 計算フロー

