

平面2次元モデルを用いた有明海における土石流土砂拡散シミュレーション

九州大学大学院 学生員○山崎智弘 九州大学 正 員 小松利光 矢野真一郎

1. 目的 1990年11月17日に雲仙普賢岳が噴火して以後、数多く発生した土石流や火砕流の一部は水無川や中尾川の河道及びその周辺の地域に止まり、残りは有明海へと流出した。有明海は古くから漁業の盛んな地域であるが、土石流土砂の堆積により沿岸漁業は大きな被害を被ったと報告されている¹⁾。水無川より有明海に流出した土砂の内、比較的粒径の大きいものは河口付近に堆積し、粒径の小さいものでも河口より数km以内の範囲に堆積していると報告されている²⁾。また、堆積厚に逆比例して底生動物の数が減少しているとの報告もされている³⁾。底生動物の減少はそれを捕食する魚類やエビ・カニ・タコなどの重要な漁業資源の減少にもつながり、生態系や水産業に対する悪影響が懸念されている。本研究では、土石流により流出した土砂の堆積が有明海の生態系に与えるインパクトを明らかにするために、平面2次元モデルを用いた潮流・土砂堆積シミュレーションにより有明海における土石流土砂の拡散堆積状況の再現とその影響範囲の予測を試みた。

2. 計算方法及び結果の考察

(1) 計算手順 土石流の拡散堆積状況を予測するためには、水無川河口周辺数キロの海域(図-1参照)のみを計算対象として考えれば十分である。しかし、この海域での潮流計算を行う際に北・南・東側の3方向の開境界条件が不明であるため、まず、早崎瀬戸を開境界とする有明海全域における潮流計算(計算A)を行い、この結果を境界条件として用いて水無川河口周辺海域のより詳細な潮流計算(計算B)を行うことにした。そして、この結果を用いて土砂の拡散堆積計算(計算C)を行った。

(2) 潮流計算の計算条件と計算結果 潮流計算は小松ら²⁾と同様の手法により行った。表-1に計算条件を示す。また、計算Bにおいては土石流の流れ場に反映させるために、運動量をもたせた土石流を水無川河口より入れた計算を行った。土石流の発生している時間は平均的に1時間前後から数時間以内である^{3),4)}ことより、潮汐の1周期を12等分した約1時間の各時間帯に土石流が流入する場合の流れ場について(計12通り)計算した。計算Aの計算結果については、三角や三池などにおける最大流速および位相差の実測値とほぼ等しいことや、水無川河口周辺海域で反時計まわりの潮流残差流が発生するという報告⁵⁾にも一致していることから、実際の潮流をほぼ再現できたものと考えられる。ただし、今回の計算では考慮していない有明海奥部の干潟の影響については検討の余地が残っている。計算Bにより得られた、最大下げ潮時を含む期間に土石流が流入している場合の計算結果である図-2を見ると、土石流が流入している様子が分かる。これらより本手法の計算の実際の土石流への適用が十分可能であると判断した。

(3) 拡散堆積計算の計算条件と計算結果 基礎式は以下に示す平面2次元拡散方程式を用いた。

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ (\zeta + h) p \} + \frac{\partial}{\partial x} \{ p M \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ p N \} = \frac{\partial}{\partial x} \{ (\zeta + h) D_x \frac{\partial p}{\partial x} \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (\zeta + h) D_y \frac{\partial p}{\partial y} \} + \Delta D$$

ここに、 p は土砂濃度、 D_x, D_y は分散係数、 $\Delta D = q' - D$ (q' :土砂供給量、 D :沈降量)、 h は平均水深、 ζ は潮位 である。

拡散堆積計算の計算条件および分散係数と沈降量の評価式を表-2に示す。また、堆積している土砂の巻き上げ、浮遊している土砂の吸着脱着は今回の計算では考慮していない。土石流の土砂は粒径が主に0.0001~0.1(mm)であることが知られている⁶⁾。そこで、土砂を粒径別にA~Cの3グループに分割し、相乗平均法によってそれぞれの平均粒径を求め、Rubeyの式により各グループの

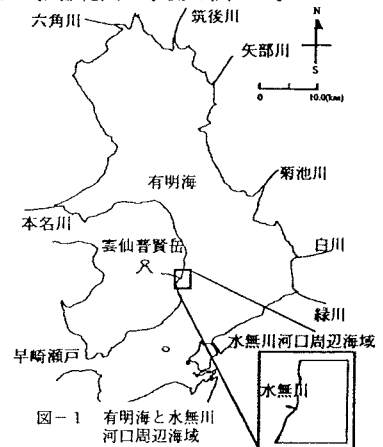


表-1 潮流計算の計算条件

計算A	$\Delta X = \Delta Y = 1000(m)$
計算格子間隔	$\Delta t = 20(sec.)$
時間格子間隔	$V_L = 300.0(m^2/sec.)$
流動粘性係数	
湾11部での境界条件	$\zeta = a \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right)$
潮汐の振幅	$a = 1.104(m)$
潮汐の周期	$T = 12hour 25min.$
計算B	$\Delta X = \Delta Y = 50(m)$
計算格子間隔	$\Delta t = 1(sec.)$
時間格子間隔	
土石流の流量	$30.0(m^3/sec.)$

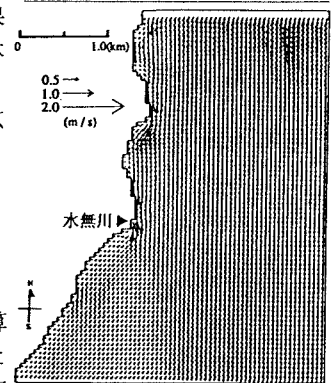


図-2 最大下げ潮時に土石流が発生している時の計算結果 (計算B)

沈降速度Wを算出した。各土砂粒子グループの性質を表-3に示す。

次に沈降土砂の海底への堆積量の評価法について説明する。図-3に示すように、各ステップでの全水深 $h+\zeta$ 中で海底面から $W\Delta t$ の範囲にある粒子は全て沈降するものとし、この沈降量をその地点の浮遊土砂量から差し引き、残りの浮遊量が再び水深方向に一様化するものとした。各場所の最終的な総堆積量は、各計算ステップごとに沈降した粒子の総和で表すこととした。各粒子グループについて、1潮汐周期を12等分した各時間帯に単位体積 $1.0\text{m}^3/\text{sec}$ の土砂量をもつ土石流が流入した場合(36通り)の計算を行った。また、沈降速度と対象海域内の平均的な水深から換算して流入後約1~2周期程度でAとBの粒子は沈降してしまうので、土石流が流入する周期の後、1周期が経過した時点での堆積状況を計算結果とした。グループBの最大下げ潮時・上げ潮時を含む時間帯に土砂が流入した場合の計算結果を図-4 a),b)に示す。今回は、1993年8月末までに発生した17回の土石流を対象として計算を行った。資料⁹⁾より土石流中の土砂の内37.5%が海域へ流出するものと仮定した。各土石流の流出量や発生時刻は文献^{7),8)}を参照し、各土砂グループの含有率については水無川河口付近で測定された⁸⁾堆積土砂の土粒子分布より決定した(表-3参照)。これらのデータをもとにして各土石流における発生時間帯と各グループの流入土砂量を求め、計算Cにより求めた各グループの各時間帯における単位流入に対する計算結果を線形的に重ね合わせ、含水比⁶⁾を考慮することにより各土石流による土砂堆積分布が得られた。また総堆積厚分布は各土石流に対する堆積分布を全て重ね合わせて求めた。図-5に総堆積厚分布の計算結果と1993年8月に長崎大学が行ったLoss on Ignition法による現地観測結果¹⁾との比較図を示すが両者がほぼ一致しているのが分かる。

今回の計算において土石流流入直後に沈降堆積する際には、水無川河口から同心円状に堆積し、離れるにしたがって堆積厚が減少して様子が再現された。また、土砂の拡がり方は土石流流入時の潮流に依存し、特に湾奥部への侵入に対して大きな影響を受けることが明らかとなった。

3. 結論 今回の計算結果は簡単なモデルを用いたにも関わらず、ほぼ妥当な計算結果を得ることができた。今後は、より精度の高いモデルを構築することを試み実験等も行つて計算結果との比較を行う予定である。

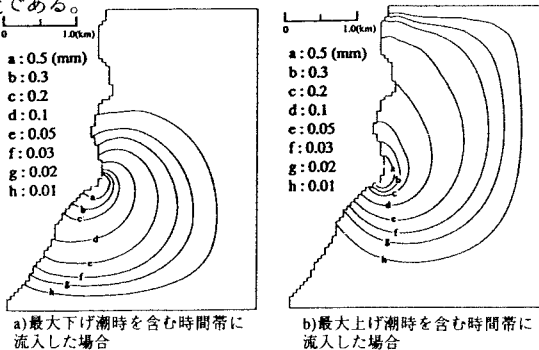


図-4 単位体積量を投入した土砂堆積計算結果

表-2 拡散堆積計算の計算条件および評価式

計算格子間隔	$\Delta X = \Delta Y \approx 50(\text{m})$
時間格子間隔	$\Delta t = 1(\text{sec.})$
移流分散係数 ²⁾	$Dx, Dy = \alpha V \max h$
ここで、 α	有明海に最適な比例係数
α	15を採用
場所毎の最大流速	$V \max(\text{m/sec.})$
場所毎の平均水深	$h(\text{m})$
沈降量	$D = W p$ (Shengの実験式 ⁴⁾)
ここで、沈降速度	$W(\text{m/sec.})$
場所毎の土砂濃度	$p(\text{m}^3/\text{m}^3)$

表-3 各土砂粒子グループの性質

粒径 $ds(\text{mm})$	A 0.1-0.01
	B 0.01-0.001
	C 0.001-0.0001
沈降速度 $W(\text{cm/s})$	A 3.8582
(Rubeyの式より)	B 0.078146
算出 ³⁾	C 0.00078312
全体の土砂に対する割合(%)	A 6
	B 44
	C 50
海水の比重 $\gamma(\text{g/cm}^3)$	1.0325
粒子の比重 $\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	2.57
海水の動粘性係数	$\nu(\text{cm}^2/\text{s})$
	1.01×10^{-2}
重力加速度 $g(\text{m/s}^2)$	9.8
含水比 $w(\%)$ ⁶⁾	150

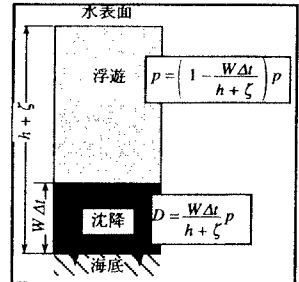


図-3 堆積モデルの概念図

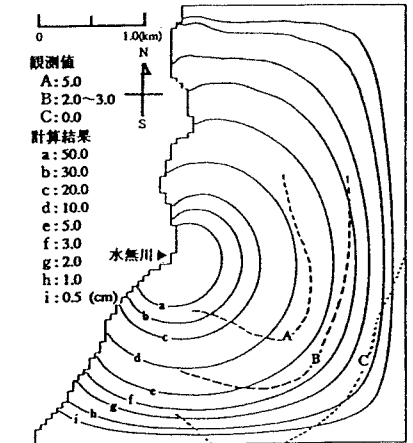


図-5 土砂の総堆積厚の計算結果と観測結果の比較

参考文献

- 1) 長崎大学生涯学習教育研究センター運営委員会(1994): "雲仙普賢岳火山災害にいたる-長崎大学からの提言-" 長崎大学公開講座書6
- 2) 小松利光・矢野真一郎・朝佐孝二・松永康司(1993): "内湾における二次元粘性・分散係数の推定に関する研究" 水工学論文第37巻pp.391~396
- 3) 平野宗夫(1993): "雲仙岳の土石流・火砕流災害に関する調査研究" 文部省科学研究費(No.05302071)総合研究(A)研究成果
- 4) Y.P.Sheng and W.Lick(1979): "The Transport and Resuspension of Sediments in a Shallow Lake" J.Geophys. Res.Vol.84 No.C4 pp1809~1826
- 5) "SEDIMENTATION ENGINEERING" ASCE M&R No.54 pp.168~176
- 6) 村上彰男(1967): "有明海ノリ漁場における栄養塩・主として窒素化合物について-" 水産土木Vol.4 No.2 pp3~6
- 7) , 8) 島原復興研究会資料