

雲仙水無川下流河道における土砂堆積の数値計算

九州大学大学院 ○学生員 多川博章

九州大学工学部 正 員 平野宗夫

九州大学工学部 正 員 橋本晴行

1. はじめに

水無川下流河道の貯砂能力は現在格段に上昇しているが、現河道での土石流の実測は十分でなく、詳細な実測データは平野・橋本ら¹⁾による旧河道上のものだけである。著者らは、これまで旧水無川下流河道において上流端流入流量に平均値を与えて河床変動計算を行ってきたが²⁾、土石流のような急激な流量の増減のある場合には、実測された流量ハイドログラフを与えた方が望ましい。そこで、本研究は、堆積土砂の粒度分布が比較的均一に近く、取り扱いが容易な1992年6月7日発生の小規模土石流について、上流端境界条件として、実測流量のハイドログラフを与えて河床変動の計算を行ったものである。

2. 基礎式

計算対象区間は国道57号線が横切る水無川橋から河口までの長さ2,100mの区間である。河道は、勾配が2°前後の急勾配河道であり、横流入もなく、また、著しい湾曲もないので線形も直線に近い。また断面形は厳密には台形であるが、水深に対して幅が広いので矩形で近似できる。したがって流れは1次元漸変流として取り扱われ、その結果、基礎式は以下になる。

$$\text{運動方程式: } B \frac{\partial Q_t}{\partial t} + \frac{\partial V Q_t}{\partial x} = g B h \left[- \frac{\partial(h+Z)}{\partial x} \right] - (B+2h) \frac{V^2}{\phi^2} \quad (1)$$

$$\text{全相連続式: } B \frac{\partial(h+Z)}{\partial t} + \frac{\partial Q_t}{\partial x} = 0 \quad (2) \quad \text{固相連続式: } B \frac{\partial(C \cdot Z)}{\partial t} + \frac{\partial(B q_s)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

ここに t ; 時間, x ; 河床方向に沿う流れ方向の座標, Q_t ; 全流量, h ; 水深, z ; 河口を基準とした河床の高さ, B ; 川幅, V ; 断面平均流速, ϕ ; 流速係数, g ; 重力加速度, C ; 最密充填濃度, q_s ; 単位幅流砂量である。

3. 基礎式の差分化と初期・境界条件

基礎式の差分化にはMacCormack法を採用した。MacCormack法は予測子段階と修正子段階とからなり、ここでは前者の段階で前進差分を、後者の段階では後退差分をそれぞれ用いた。計算格子間隔については、計算区間上の全縦断面にわたってC.F.L条件を満たすように決定した。初期条件は $Q_t=0$, $h=0$ とし、河床高 Z については、堆積土砂除去後の河床高を初期河床とした。表-1に計算条件を示す。

表-1 計算条件

時間格子間隔	$\Delta t=1.0(\text{s})$
空間格子間隔	$\Delta x=10(\text{m})$
流速係数	$\phi=10$
閾値	$\epsilon=0.02(\text{m})$
平均粒径(掃流砂)	$d=0.01(\text{m})$
平均粒径(浮流砂)	$d=0.004(\text{m})$
粒子比重	$\sigma=2.65$
最密充填濃度	$C_s=0.75$
限界掃流力	$\tau_{qs}=0.05$
繰り返し計算回数	$J=8680$

境界条件は、上流端では流入流量 Q_t として1992年6月7日発生の土石流の実測流量¹⁾を1分間移動平均したものを与え(図-1)、水深 h は上流端の2点の河床勾配から等流水深を計算し、河床高 Z は初期値を一定値として与える。すなわち

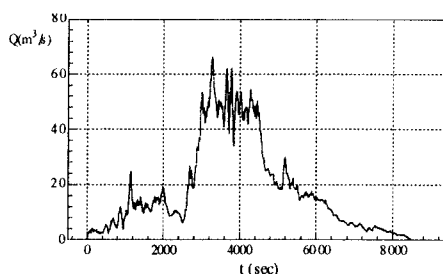


図-1 流入流量ハイドログラフ

$$h_1^n = \left(\frac{Q_{t1}^n}{\phi B_1 \sqrt{g(Z_1^n - Z_2^n)} / \Delta x} \right)^{2/3}, \quad Q_{t1}^n = \text{hydrograph}, \quad Z_1^n = 76.7\text{m} \quad (4)$$

ここに、記号の右上添字は時間を、右下添字は空間座標を表す。一方下流端は、運動方程式および全相、固相連続式をボックス型差分により計算する。ちなみに、連続式(2)、(3)の差分化は以下になる。

$$a_1 \frac{B_{211}(h_{211}^{n+1} + Z_{211}^{n+1} - h_{211}^n - Z_{211}^n)}{\Delta t} + a_2 \frac{B_{210}(h_{210}^{n+1} + Z_{210}^{n+1} - h_{210}^n - Z_{210}^n)}{\Delta t} + b_1 \frac{Q_{211}^{n+1} - Q_{210}^{n+1}}{\Delta x} + b_2 \frac{Q_{211}^n - Q_{210}^n}{\Delta x} = 0 \quad (5)$$

$$a_1 \frac{B_{211}C \cdot (Z_{211}^{n+1} - Z_{211}^n)}{\Delta t} + a_2 \frac{B_{210}C \cdot (Z_{210}^{n+1} - Z_{210}^n)}{\Delta t} + b_1 \frac{B_{211}q_{s211}^{n+1} - B_{210}q_{s210}^{n+1}}{\Delta x} + b_2 \frac{B_{211}q_{s211}^n - B_{210}q_{s210}^n}{\Delta x} = 0 \quad (6)$$

ここに a_1 , a_2 , b_1 , b_2 は重み係数で, $a_1 + a_2 = 1$, $b_1 + b_2 = 1$ である. $a_1 = a_2 = 0.5$, $b_1 = b_2 = 0.5$ の場合通常のBox型スキームとなる. 陽解法として計算するために, 重み係数を $a_1 = a_2 = 0.5$, $b_1 = 0$, $b_2 = 1$ として計算すると, 浮流砂の場合に下流端の計算値に不安定が生じる. そこで掃流砂, 浮流砂ともに $a_1 = 0.6$, $a_2 = 0.4$, $b_1 = 0$, $b_2 = 1$ として計算した.

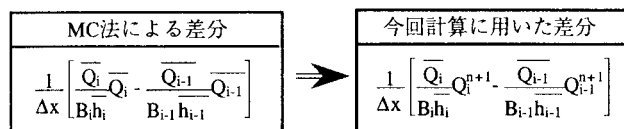
4. 計算結果および考察

4. 1 掃流砂の場合

掃流砂による河床変動計算の結果が図-3~5の実線であり, $x = 1,000\text{m}$ 地点での流量, 水位および河床高の時間変化を表している. 堆砂量は少なく, 水位の増加も小さいことが分かる.

4. 2 浮流砂の場合

浮流砂の場合, 計算を行うと3,030秒すぎで, $x = 100\text{m} \sim 300\text{m}$ 付近の流量 Q に振動が発生し, 計算がオーバーフローする. これは, 浮流砂のように流砂が活発な場合に, 特に流量 Q と川幅 B が急変するような所で河床高 Z が急変することが原因であると思われる. そのため, 試行錯誤した結果, 運動方程式の移流項の修正子段階における差分方法を半陰解の形に変更することにより, 計算を最終計算時間までオーバーフローすることなく行うことができた.



なお, 記号の $\bar{}$ は予測子段階で計算された結果を表す. 図-2は, 流量が最も激しく振動した地点 $x = 290\text{m}$ での流量の時間変化であるが, 修正子段階の差分方法を変更したことにより, 数値振動が押さえられている. また, 図-3~5の破線は, 上述の差分方法を用いて計算された結果で, $x = 1,000\text{m}$ 地点での流量, 水位および河床高の時間変化を表しており, 掃流砂の場合と比較すると, 著しい堆砂がみられる. また実測値によると, $x = 1,000\text{m}$ (現場では大南橋付近) での水位の上昇量は1m近くであり, 浮流砂の場合に近い結果がでている.

5. おわりに

以上, MacCormack法を用いて, 1次元漸変流の運動方程式, 連続式, 固相連続式を差分化し, 1992年6月7日水無川で発生した小規模土石流の再現計算を行った. 上流端流入流量として, 実測流量のハイドログラフを与えて計算を行うと, 掃流砂の場合は問題なく計算出来たが, 浮流砂の場合に流量および川幅急変の場所でオーバーフローした. そのため, 運動方程式の移流項の修正子段階における差分方法を若干変更することにより, 計算を行うことが出来た. 計算結果は, 浮流砂の場合が実際の現象に近いようであった.

参考文献

- 1) 平野宗夫・橋本晴行, 文部省科学研究費総合研究(A)研究成果報告書, 雲仙における土石流・火砕流の調査研究, 1994.
- 2) 恩田邦彦・橋本晴行・寺中孝司・平野宗夫, 自然災害科学研究西部地区部会報, 第20号, 1996.
- 3) 橋本晴行・平野宗夫, 土木学会論文集, No.545, 1996.

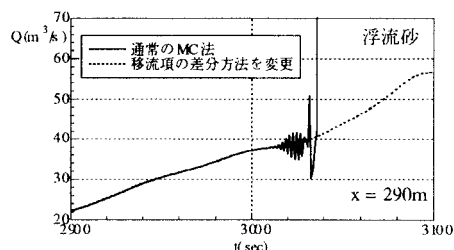


図-2 $x = 290\text{m}$ 地点における流量の時間変化

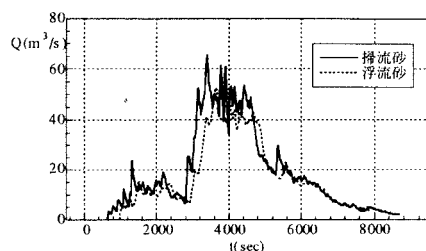


図-3 $x = 1000\text{m}$ における流量の計算値

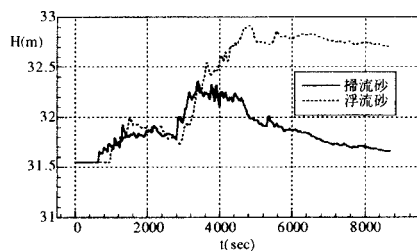


図-4 $x = 1000\text{m}$ における水位の計算値

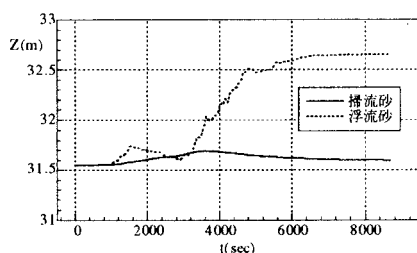


図-5 $x = 1000\text{m}$ における河床高の計算値