

Ⅱ-236 雲仙水無川における実測ハイドログラフを用いた河床変動計算

清水建設（株） ○正 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。

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

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

ここに t ; 時間, x ; 河床方向に沿う流れ方向の座標, Q ; 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 $Q=0$, $h=0$ 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	$\Delta t=1.0(s)$
空間格子間隔	$\Delta x=10(m)$
流速係数	$\varphi=10$
閾値	$\varepsilon=0.002(m)$
平均粒径(掃流砂)	$d=0.01(m)$
平均粒径(浮流砂)	$d=0.0015(m)$
粒子比重	$\sigma/\rho=2.65$
最密充填濃度	$C_s=0.75$
限界掃流力	$\tau_{*c}=0.05$
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 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。流砂量も上流端の2点の河床勾配から等流として平衡流砂量を与える。すなわち

$$h_1^a = \left(\frac{Q_1^a}{\varphi B_1 \sqrt{g(Z_1^a - Z_2^a)/\Delta x}} \right)^{2/3}, \quad Q_1^a = \text{Hydrograph}, \quad Z_1^a = 76.7 \text{ m} \quad (4)$$

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。例えば、連続式(2)、(3)の差分化は以下になる。

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

雲仙水無川 河床変動 土石流 浮流砂 掃流砂

〒270 千葉県松戸市常磐平3-28-1 TEL 0473-88-0894

〒812-81 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL 092-642-3288 Fax 092-642-3322

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

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 掃流砂のみの場合

掃流砂量式として橋本・平野の式³⁾を用いて行った河床変動計算の結果を図-2に示す. $x = 990\text{m}$ 地点での流量, 水位および河床高の変化を表しているが, 堆砂量は少なく, 水位の増加も小さいことが分かる.

4. 2 浮流砂を伴う場合

浮流砂を伴う場合の流砂量式として橋本・平野・多川らの式⁴⁾を用いて計算を行うと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, 流砂が活発な場合に, 流量 Q と川幅 B が急変するような所で河床高 Z の急変が発生することが原因であると思われる. そのため, 試行錯誤の結果, 修正段階において運動方程式の移流項を式(7)のように半陰解の形に修正することにより, オーバーフローすることなく計算することができた. ここに, 記号の $\bar{}$ は予測段階で計算された結果を表す. 流量が最も激しく振動した地点 $x = 290\text{m}$ での流量の変動は, 修正段階の差分法を変更したことにより, 数値振動が押さえられた.

図-3は, 式(7)の差分法を用いて計算した結果で, $x = 990\text{m}$ 地点での流量, 水位および河床高の変化を表している. 掃流砂の場合と比較すると, 著しい堆砂がみられる. 実測によると, $x = 990\text{m}$ (大南橋付近)では約80cmの河床上昇があり, 浮流砂を考慮した計算結果は現地の状況をうまく説明することができる.

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n + \bar{Q}_i}{\Delta t/2} + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{\bar{Q}_i}{B_i h_i} Q_i^{n+1} - \frac{\bar{Q}_{i-1}}{B_{i-1} h_{i-1}} Q_i^{n+1} \right] = -g B_i \bar{h}_i \left[\frac{\bar{h}_i + \bar{Z}_i - h_{i-1} - Z_{i-1}}{\Delta x} \right] - \frac{B_i + 2\bar{h}_i}{\varphi^2} \left(\frac{\bar{Q}_i}{B_i h_i} \right)^2 \quad (7)$$

5. おわりに

以上, 1次元漸変流の運動方程式, 連続式, 固相連続式を差分法し, 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, 浮流砂をも考慮した場合に現地の状況に近いことが分かった.

参考文献

- 1) 平野宗夫・橋本晴行・村上浩史, 水工学論文集, 第37巻, 1993.
- 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.
- 4) 橋本晴行・平野宗夫・多川博章・増田考造, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, No2, 1997 (掲載予定).

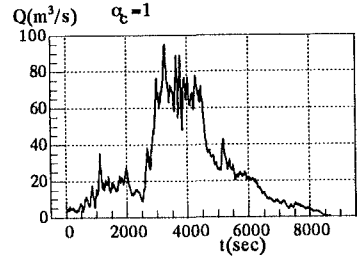


図-1 水無川で観測されたハイドログラフ³⁾

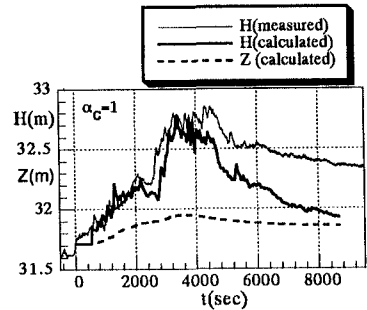


図-2 掃流砂のみの場合の河床変動計算

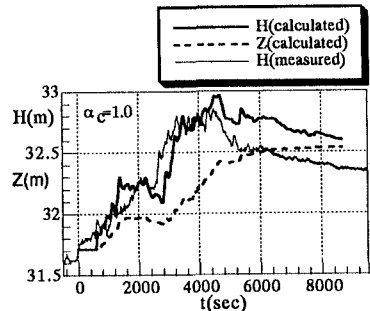


図-3 浮流砂を伴う場合の河床変動計算