

河 岸 土 塊 の 移 動 と そ の 流 送 過 程 に 関 す る 基 礎 的 考 察

岐阜大学工学部 正 会 員 藤 田 裕 一 郎

岐阜大学大学院 学生会員 川 口 雅 慎

岐阜大学工学部 ○奥村 志郎

1. はじめに

河川は地形形成の一要因として流域の自然特性の形成に関与すると共に、人間に種々の恩恵を与え、他方では洪水により人命や財産に多大な被害をも与えてきた。技術が進歩した現代においても、流水によって河岸の脚部が侵食されると、比高が高い河岸は、円弧・非円弧のすべり面を伴った大規模な侵食後退が生じ、宅地や農地が危険にさらされることがあり、平成7年の関川水害ではそのような被害が生じているこのような大規模な侵食は間欠的に生起することが知られているが、移動した河岸土塊は、流れの深部に到達するため、容易に流出され、侵食はすべりを伴わない場合よりも加速される可能性が指摘されている。

そこで本研究では、7～8m以上の高い河岸を対象として、小規模な滑落、崩落による連続的なものではなく、円弧・非円弧すべり面を伴った大規模な破壊に対する斜面の安定解析を行い、ついでこれまでと同様に、数値解析プログラムによって、すべり落ちる河岸土塊の加速度、速度、移動距離および河岸土塊の量を算定する。さらに移動した河岸土塊の流送過程について、掃流力分布を考慮した考察を行う。

2. 解析方法

(1) 河岸土塊の移動過程の取り扱い

不安定化した河岸土塊の移動過程についてJanbuの斜面安定解析方法を拡張して取り扱う方法を用いる。すなわち、各スライスの水平方向の力に釣り合いに慣性力を導入し、押し上げられる水塊の仮想質量を考慮し、運動方程式より土塊全体について合算した式を、加速度 dv/dt について整理すると、

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\sum W_i' \tan \alpha_i - \sum T_i' \sec \alpha_i}{\sum \left(\frac{W_i'}{g} + \beta_i C_m V_i \right)} \quad (1)$$

となる。ここで、各スライス底面に働くせん断力 T_i' は次式によって与えられる。

$$T_i' = \frac{c_l \cos \alpha_i + (W_i - u_i l_i \cos \alpha_i) \tan \phi}{\cos^2 \alpha_i (F_s + \tan \alpha_i \tan \phi)} \quad (2)$$

ここに、 F_s は安全率、 W_i' は各スライスの重量、 l_i は各スライス底面の長さ、 u_i は各スライス底面に働く間隙水圧、 α_i は各スライス底面の水平に対する傾き、 c は土の粘着力(ただし、すべり始めたら土塊には粘着力は働かないと考えられるので、移動距離を求める時 $c=0$ とおく。)、 v はすべり土塊の水平方向の移動速度、 V_i は各スライスの体積、 β_i は土塊の水中にある体積、 C_m は仮想質量係数、 ρ は土塊の密度、 g は重力加速度である。

以上より(2)式を時間的に数値積分して加速度、速度、移動距離を求める。

(2) 河岸土塊の流送過程の取り扱い

河岸土塊の流送過程に関しては、最も簡単な方法で推算する。側岸潤辺に働く掃流力分布を求め、ついで、バラバラになった土塊のpick-up rateを求める。

まず掃流力分布の推定は澤井・芦田¹⁾による法線面積分割法を用いる。その式は次に示す通りである。

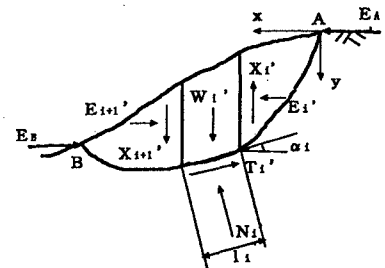


図1 スライスに働く力

$$h_s = h_n \left(1 - \frac{j}{2} \right) \quad (3)$$

ここに、 h_s は掃流力に関する有効水深($h_s = \tau_s / \rho g I_s$)、 h_n は潤辺の法線方向に沿った水深、 j は潤辺の曲率 C_s の無次元量($j = C_s h_n$)、 τ_s は潤辺に働く掃流力、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 I_s はエネルギー勾配である。

次にpick-up rateは中川・辻本²⁾によって示された次式を用いる。

$$p_{*s} = p_* \sqrt{d / (\sigma / \rho - 1) g} \\ = 0.03 \tau_{*c} (1 - \tau_{*c} / \tau_{*s})^3 \quad (4)$$

ここに、 p_{*s} はpick-up rate、 d は粒径、 σ / ρ は砂の比重、 τ_{*s} は無次元掃流力、 τ_{*c} は無次元限界掃流力である。なお、 d 、 σ は崩落土の細分化された塊を考慮させる必要がある。

3. 解析結果

まず移動過程の解析結果については、はじめに河岸が不安定になる条件を簡易Janbu法によって求め、ついで、不安定になる条件に対して河岸土塊の加速度、速度、移動距離を求めた。図2は河岸高8m、10m、14mに対しての計算結果である。計算条件は、単位体積重量 1.8 tf/m^3 、粘着力 1.0 tf/m^2 とし、安全率が1を少し下回る内部摩擦角(8mは 18° 、10mは 25° 、14mは 38°)に対して計算を行った。この結果、移動中の摩擦力の大きさに対応して加速度は、河岸高が高いほど加速度の変化が小さいということとなった。そしてこの場合、移動時間はすべて3秒弱であり、移動距離は、河岸高の大きさにはほとんど関係しないというないことが分かる。

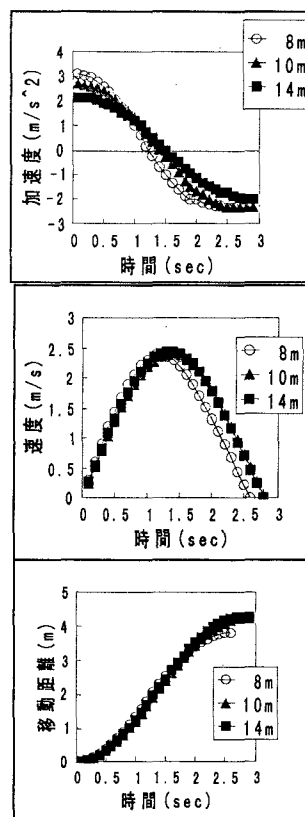


図2 各河岸高における加速度、速度、移動距離の時間的変化

つぎにすべり破壊の有無による流送状況の相違について検討するために、式(3)を用いて図3に示した元の河岸形状とすべり面形状に対する掃流力分布を求めると図4のようになる。すべりが発生しないときの河岸土塊に働く掃流力は、斜面中央部で $h_s = 1 \sim 2 \text{ m}$ 、すべりが発生した場合は土塊は4~5m移動して10~15mの位置に動き、そして $h_s = 3 \sim 4 \text{ m}$ となって掃流力は2~3倍に増加することになる。 p_{*s} は数倍に増大する可能性があり、したがって式(4)より土砂は極めて流送されやすくなると判断される。

4. あとがき

高い河岸で生じる大規模な崩落を伴った侵食過程と流送過程について具体的に計算を行った。今後は移動過程については、移動中の河岸土塊の分解を考慮し、厳密な計算を、また流送過程については、より具体的に解析を行う必要がある。

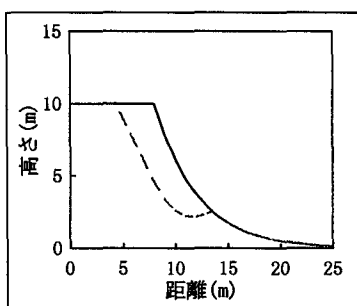


図3 河岸高10mのすべり面形状

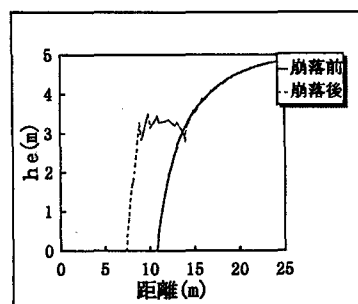


図4 H=10の崩落前と崩落後の掃流力分布

《参考文献》

- 1) 澤井健二・芦田和男: 粘着流路の侵食と横断形状に関する研究, 土木学会論文報告集, 第266号, pp73~86, 1997.
- 2) 中川博次・辻本哲朗: 水流による砂礫の移動機構に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第244号, pp71~80, 1995