

狭窄拡幅部を通過する土石流の数値計算について

京都府立大学（現 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター） ○三崎 太一

京都府立大学 砂防学研究室准教授 高濱 淳一郎

1 はじめに

我が国は山地の割合が大きく、梅雨期や台風襲来期など降水量が増加する期間を有することから、各地で多くの土砂災害が発生している。その中でも土石流は短時間に甚大な被害を及ぼす。土石流による被害を軽減するためには、ソフト・ハード面両方の対策が必要であり、そのために土石流の発生・流下・侵食・堆積・停止を精度高く予測できる数値計算モデルの構築が必要である。また、土石流の侵食堆積現象の評価は運動方程式中の重力項と河床面せん断応力（降伏応力）の大小関係で議論されることが多く、流路幅の急変部を対象にした議論には充分には至っていない。

そこで本研究では、侵食堆積現象の評価に流れの急変部の効果として圧力勾配を導入した数値計算と効果を導入しない場合の数値計算を行った。そしてその効果について考察するとともに、過去に行われた狭窄部を通過する土石流による不等流状態に関する実験結果¹⁾のデータと比較することでその適用性について検討した。

2 研究方法

土石流は低濃度、あるいは緩勾配のときに、水流層、砂礫移動層に分かれて、掃流状集合流動と呼ばれる図-1 に示す二層流の形態をとることが知られており、高濱らはこの形態を含む土石流の挙動を評価するため、各層の連続式、運動方程式を二層間のインターフェースの取り扱いに留意して解析する二層流モデル²⁾を提案している。図-2 に示す水路による過去の実験では、斜面勾配が 15.9° 、 8.0° 、 4.0° の三通り、狭窄区間長が 16.0cm、32.0cm、48.0cm、64.0cm の四通りの計 12 通りで行われているが、本研究では圧力勾配導入の効果と土石流の挙動を調べるため、圧力勾配を考慮しないものと 15.9° の条件下でそれぞれ上記の二層流モデルを用いて数値計算を行った。なお、侵食堆積速度式は下に示す

江頭ら³⁾の式を用いた。江頭ら³⁾による侵食堆積速度式は次式で与えられる。

$$S_i = v_i \tan(\theta - \theta_e) \quad (1)$$

また、江頭ら³⁾による平衡勾配は次式で与えられる。

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho - 1)c_t}{(\sigma/\rho - 1)c_t + 1} \tan \phi \quad (2)$$

式(2)に圧力勾配項を加えると

$$\{(\sigma - \rho_w)c_t + \rho_w\}gh_t \sin \theta_{ep} - \cos \theta_{ep} \frac{\partial(P_{w0} + P_{s0})}{\partial x} - (\sigma - \rho_w)c_t gh_t \cos \theta_{ep} \tan \phi = 0 \quad (3)$$

圧力勾配を考慮した平衡勾配を θ_{ep} は次式で称えられる。

$$\tan \theta_{ep} = \tan \theta_e + \frac{1}{\rho gh_t} \frac{\partial(P_{w0} + P_{s0})}{\partial x} / \{(\sigma/\rho - 1)c_t + 1\} \quad (4)$$

本研究では上記の式を用いて数値計算を行った

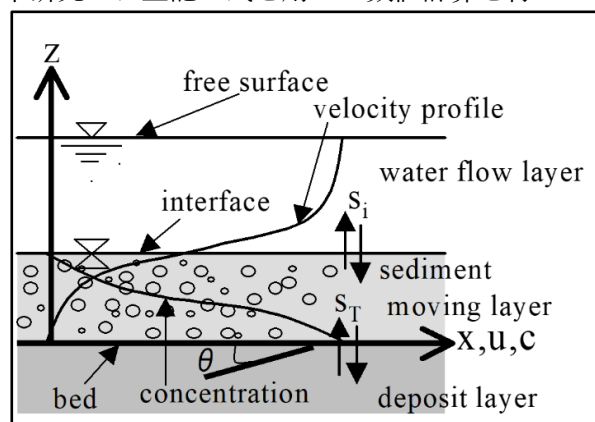


図 1 二層流モデルの模式図

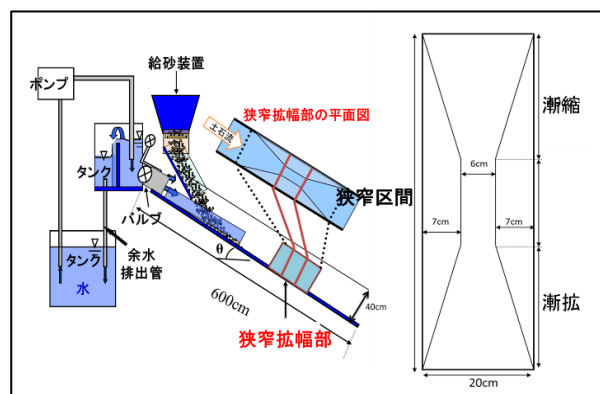


図 2 狭窄拡幅部と実験水路の模式図

3 結果

3.1 圧力勾配を導入しない計算

図-3 に圧力勾配を導入しなかった場合の数値計算結果を示す。なおグラフは横軸が初期河床となるようにしている。

河床を比較すると、実験では漸縮区間において侵食が発生し、狭窄区間で侵食深が最大となり、漸拡区間にて侵食が発生しているのに対し、計算では河床の変化がほとんど見られなかった。

一方で自由表面を比較すると、水位が異なっているものの、漸縮区間で少し盛り上がり、狭窄区間で低下、漸拡区間にて上昇していくという動きが一致した。

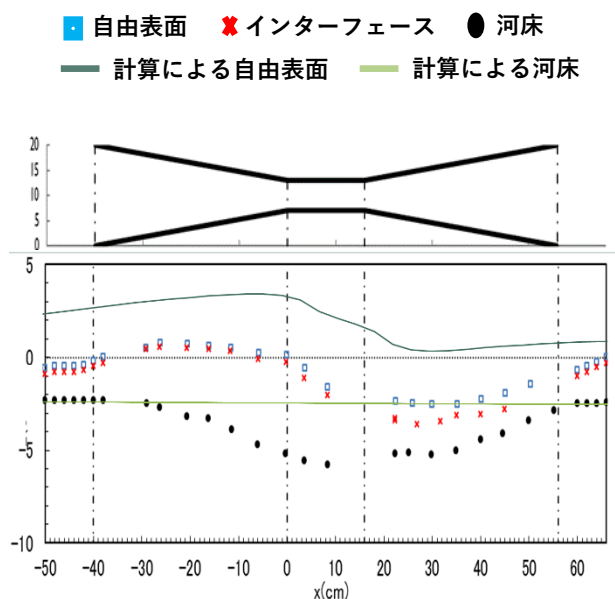


図3 実験と数値計算の結果比較

(実験 15.9° , 16 cm, 数値計算 圧力勾配なし)

3.2 圧力勾配を考慮した計算

図-4 に実験による結果と数値計算による結果の比較結果を示す。

河床を比較すると、圧力勾配を考慮しなかった場合と異なり、侵食が発生しているうえ、区間ごとの動きも一致していた。自由表面を比較すると、区間ごとの動きは一致しているものの変化量は小さくなった。

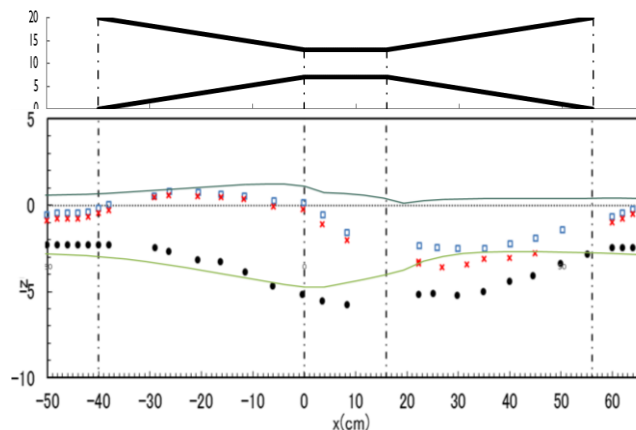


図4 実験と数値計算の結果比較

(実験 15.9° , 16 cm, 数値計算 圧力勾配あり)

4 考察と課題

狭窄部へ進入した土石流は漸縮区間で側壁の作用を受け、高さ方向に逃げるため狭窄区間手前から狭窄区間では狭窄部へ侵入する土石流よりも流動深が厚くなる。そのため、流動深が薄い狭窄部より上流の土石流と流動深が厚くなった狭窄区間との土石流の間に圧力差が生じ、その圧力の向きは上流側方向となる。この間、下流側方向には重力、上流側方向には降伏応力と圧力が働いており、その釣り合いからこの区間の平衡勾配を求めると狭窄部ではない区間の平衡勾配より大きくなる。逆に狭窄区間を抜けた流動深の厚い土石流は、漸拡区間で側壁の作用から開放され、漸縮区間と反対の減少が起こる。つまりこの間、下流側方向に圧力が作用し、圧力、降伏応力、重力の釣り合いから平衡勾配を求めると狭窄部ではない区間の平衡勾配より小さくなる。狭窄部内の平衡勾配が他の区間より大小することによって下に凸の形状を表現できるようになったと考えられた。したがって圧力項を導入することにより河床や自由表面の動きを表現することができると考えられる。しかし一方でその大きさには計算と実測の間に大きな差がみられた。これは圧力項の導入による計算結果が不安定になったことなどが考えられ、より精度の高い計算のためには数値計算の構成や方法について見直す必要があると考えられる。

参考・引用文献

- 1) 小野義紘・高濱淳一郎：狭窄部を通過する土石流の挙動に関する実験的研究，砂防学会研究発表会，H24
- 2) 高濱淳一郎・藤田裕一郎・近藤康弘(2000)：土石流から掃流状集合流動に遷移する流れの解析法に関する研究，水工学論文集，No 44, p.683-686
- 3) 江頭進治：土石流の停止・堆積のメカニズム (1)，砂防学会誌 Vol 46 No 1, p-45-49, 1993