

非連行型侵食速度式を用いた土石流の数値シミュレーション

国土技術政策総合研究所（前（財）砂防・地すべり技術センター） ○鈴木拓郎
東京大学大学院農学生命科学研究科 堀田紀文
筑波大学生命環境科学研究科 宮本邦明

1. 背景及び目的

現在用いられている土石流の侵食速度式¹⁾は、河床勾配の平衡条件に基づいて提案されている。発表者ら²⁾は、この侵食速度式の問題点として、①侵食速度が流速に比例している（連行型）こと、②侵食・堆積の発生の有無が河床勾配に対する粒子濃度の平衡条件にのみ支配されること、を指摘し、非連行型の侵食速度式を提案している。さらに、不透過ダムにおける数値シミュレーションを実施し、提案した侵食速度式により土砂の堆積が良好に再現できることを明らかにしている。

本論では、提案した侵食速度式を用いて、不透過ダムが既に湛水している状態や、湛水している天然ダムに土石流が流入する場合を想定した数値シミュレーションを実施し、その適用性を検討した。

2. 湛水域に流入する土石流に関する既往研究

椿ら³⁾は、清水域に土石流が流入した場合について、粒子の分散、沈降、掃流を考慮した粒子の停止条件からフロント部の停止距離の理論式を導いており、さらに堆砂形状を2次式により仮定した上で、土砂の連続式から堆砂過程を解析している。また、この解析結果は同時に実施している水路実験結果と良く一致している。

しかしながら、この検討は土石流が海に流入するような条件を想定しているため、湛水量が流入土石流量に対して比較的大きな条件でしか実施されていない。砂防ダムや天然ダムの場合、湛水量が流入土石流量に対してさらに小さい場合も十分に想定でき、その場合、堆砂形状を仮定して行う方法を適用するのは不合理ではないと思われる。また、天然ダムの場合は、流入する土石流による堆砂と越流による侵食を同時に解析する必要がある、この方法では困難である。

3. 湛水した不透過ダムにおける堆積過程の数値シミュレーション

17° から 3° へと勾配が急変する条件において、勾配変化点に不透過ダムを設置し、土砂の堆積過程の数値シミュレーションを実施した。流路幅は 10m、流路長は急勾配側、緩勾配側それぞれ 100m で、砂防ダムの高さは 5m である。砂防ダムの上流側では砂防ダムの高さまで湛水させ、満水状態としている。上流からは平衡濃度の土石流を供給し続け、供給流量 Q は 30,150 (m^3/sec) の 2 種類である。なお、侵食速度式は、江頭らの式と発表者らの式についてそれぞれ行っている。

堆積過程の結果を図-1に示す。江頭の式の場合、流量の大小に関わらず、土石流が湛水域に流入しても土砂は堆積しておらず、逆に侵食されている。これは侵食・堆積の有無が粒子濃度の平衡条件によってのみ決まるからである。湛水域に流入すると、土砂が分散して粒子濃度が小さくなり侵食が発生する。

それに対し発表者らの式では、湛水域に土石流が流入した時の土砂の堆積が再現できている。流量が小さいときは流入した瞬間に土砂が堆積し、徐々に堆砂が進行しているのに対し、流量が大きい時は流入した直後にも比較的砂防ダムの近くまで土砂が到達しており、堆砂形状は大きく異なっている。また、流量が大きいほど下流側に多くの土砂が流出している。湛水域に流入すると土砂が堆積し、土石流のフロント部が砂防ダムに到達しない（または軽減される）、という結果は実現象を想定しても定性的に自然だと思われるが、今後実験等での検証が必要である。

4. 湛水した天然ダムにおける侵食・堆積過程の数値シミュレーション

3. の実験条件と同様の条件で、天然ダムを想定した数値シミュレーションを実施した。

侵食・堆積過程の結果を図-2に示す。どの条件においても、土石流が流入したことにより発生した段波が、天然ダムに到達して越流侵食が発生し天然ダムが決壊しているが、江頭の式の場合には段波が上流側に遡上している。これは、湛水部に到達しても土砂が堆積できず、土砂濃度が高い状態を保っているため、大きなせん断応力が発生するからである。流量が大きいほど段波が大きいのでその傾向も顕著であり、20 秒経過時点で

も堆積できない土砂が不自然な状態で存在している。発表者らによる式では、そのような現象は発生しておらず、段波がスムーズに下流側に伝搬している。

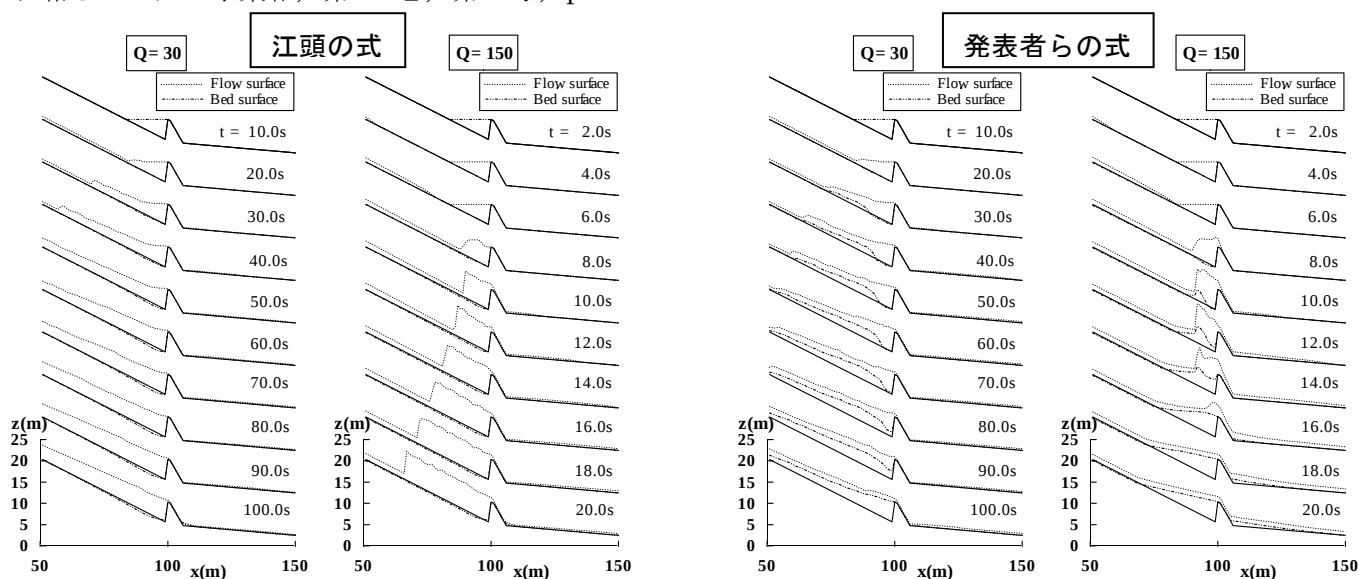
天然ダムの決壊によるピーク流量は、供給流量が $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ の条件では、江頭の式は $59.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、発表者らの式は $78.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、供給流量が $150 \text{ m}^3/\text{sec}$ の条件では、江頭の式は $247.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、発表者らの式は $302.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。天然ダムの存在により大きなピーク流量が発生することを再現しているが、どちらの条件でも江頭の式の方が小さい値となっている。これは天然ダム上流側で不自然に大きなせん断応力が発生し、段波が下流側に伝わりにくくなっているからである。

5. まとめ

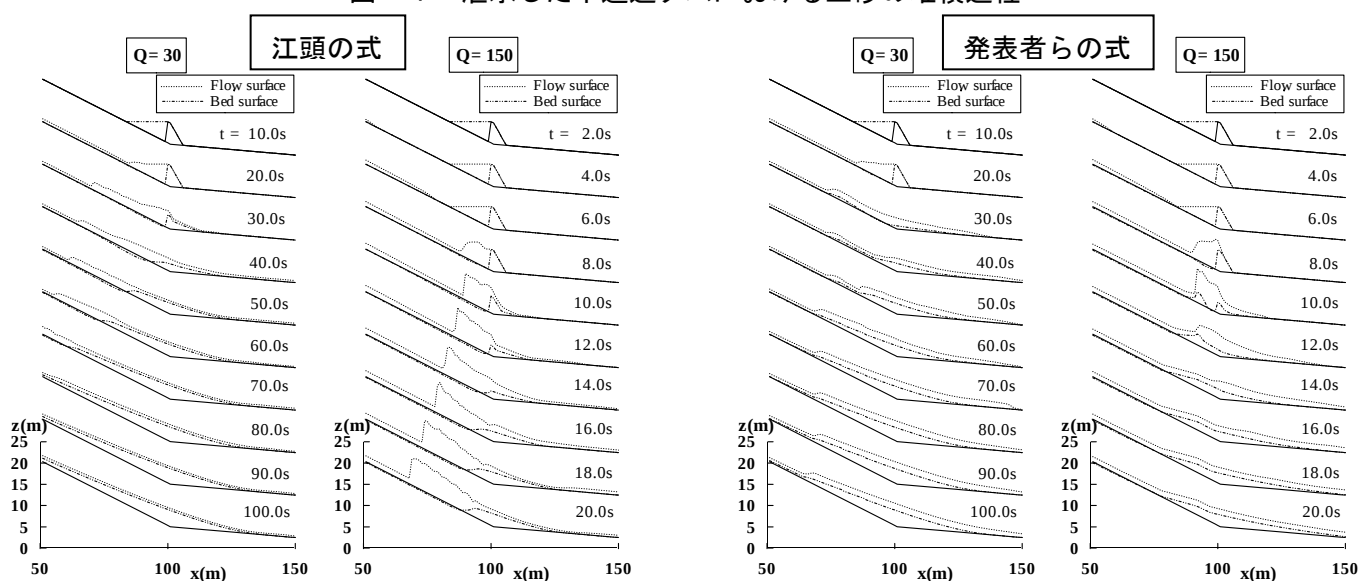
前報で提案した侵食速度式を用いて、湛水した砂防ダムや湛水した天然ダムにおける土石流の数値シミュレーションを実施した。江頭の侵食速度式では、湛水部で土砂が堆積しないなどの不自然な結果が得られるのに対し、本論の式では合理的と思われる結果が得られた。今後水理実験等で検証を行っていきたい。

6. 参考文献

- 1) 江頭：新砂防，Vol.47，No.2，p.51-56，1993，
- 2) 鈴木ら：平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集，p.26-27
- 3) 椿ら：九大工学集報，第 57 巻，第 2 号，p.87-93



図ー 1 湛水した不透過ダムにおける土砂の堆積過程



図ー 2 湛水した天然ダムにおける土砂の侵食・堆積過程