

湛水池への土石流の突入による水位変化に関する実験的研究

○水野秀明、小山内信智、清水武志、沖中健起

国土交通省国土技術政策総合研究所

1. はじめに

平成 16 年新潟県中越地震の際に芋川流域のように、1つの溪流筋に複数の天然ダムが形成された場合、まず、個々の天然ダムに対して決壊の危険性を予測することになる。その結果、上流側の天然ダムが下流側の天然ダムよりも先に決壊すると予測された場合、その決壊を考慮して、下流側の天然ダムにおける決壊の切迫性を判断する必要がある。

上流側の天然ダムが決壊した場合、下流側の天然ダムでは水や土砂の流入量が急激に増加するため、湛水量が急増し、波が形成される。決壊の切迫性は、湛水が天然ダムを越流し始めるまでの時間と、天然ダム内の浸潤線が下流端に到達するまでの時間を推定して判断する(建設省、1992)。一般に、水位の上昇や波の伝播は浸潤線の進行と比べて早い為、越流による決壊を対象とすればよい。越流による決壊を判断するためには、湛水量の増加に伴って上昇する水位と、上流からの水と土砂の湛水池への流入に伴って形成された波の天然ダムへの遡上を考慮する必要がある。前者については、下流側の天然ダムの湛水量に上流側のものを追加することで、決壊までの時間を推定することができる。しかし、後者については、波の遡上高を推定しなければならない。

波の遡上高は波高、波長、地形条件(勾配)と言った要因に大きく影響を受ける。土塊や土砂が湛水池に突入することで生じる波高は、その突入速度が速いほど、高くなることが報告されている(水山ら、1985、道上ら、1996、村上ら、1997)。また、突入速度を長波の速度で割った値(無次元速度)が大きくなるほど遡上高が高くなることが報告されている(張ら、2004)。実際の溪流では川幅は一様でなく変化していたり、湛水位も空から満水まで変化していたりすることから、それらの違いを考慮した方法で遡上高を求める必要がある。しかし、既往研究では、湛水位や川幅を系統的に変化させた事例がない。

そこで、本研究では、水と土砂の湛水池への流入に伴って形成された波の遡上高と、川幅や湛水位との関係を水路実験と数値計算によって定性的に把握することを目的とする。なお、本研究では、遡上高と湛水位の関係を水路実験、遡上高と川幅の関係を数値計算に基づいて検討した。

2. 水路実験と数値計算の概要

図-1は実験を行なった水路の概要である。水路は幅0.2m、長さ5.0mで、勾配を18.4°(1/3)に設定した。水路床を移動床とした場合、水路に厚さ0.1mの窪みに土砂(平均粒径5.95mm)を敷いた。固定床の場合、窪みを木製の蓋で覆った。水路の上流端には開閉用のゲートを有する貯水槽を設置し、

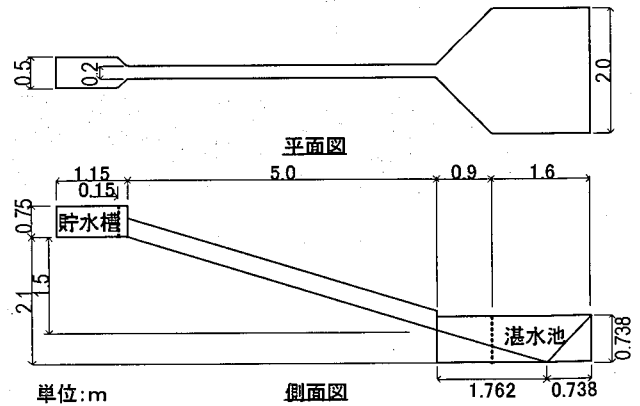


図-1 実験に用いた水路

表-1 実験ケース

	水路床	給水方法	湛水池水深(m)
case1	固定床	ダムブレイク	0.56
case2	固定床	ダムブレイク	0.46
case3	固定床	ダムブレイク	0.36
case4	移動床	ダムブレイク	0.56
case5	移動床	ダムブレイク	0.46
case6	移動床	ダムブレイク	0.36
case7	固定床	ポンプ給水	0.56
case8	固定床	ポンプ給水	0.46
case9	固定床	ポンプ給水	0.36
case10	移動床	ポンプ給水	0.56
case11	移動床	ポンプ給水	0.46
case12	移動床	ポンプ給水	0.36

水路の下流端には湛水池を設置した。実験に際しては、水と土砂を所定の位置に所定の量だけ与えた後、2種類の方法で水路へ給水を開始した。湛水池では、波高計を起動して、水位変化を計測した。水路の上方からビデオで湛水池を撮影し、遡上高を計測した。なお、給水方法は所定の水深で水を溜めてある貯水槽のゲートを手動で上げる方法(ダムブレイク)と、ポンプを用いて給水する方法(ポンプ給水)の2種類を設定した。

表-1は実験ケースを示したものである。湛水池の水深は最も深い地点での値である。

数値計算は式(1)に示す2次元浅水流モデルを用いた。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} = S \quad \dots(1)$$

$$Q = \begin{bmatrix} h \\ Uh \\ Vh \\ Ch \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} Uh \\ U^2h + 0.5gh^2 \\ UVh \\ CUh \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} Vh \\ UVh \\ V^2h + 0.5gh^2 \\ CVh \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} i \\ -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \\ -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \\ iC^* \end{bmatrix}$$

ここで、 h : 水深[m]、 U : x 方向の速度成分[m/s]、 V : y 方向の速度成分[m/s]、 C : 土砂容積濃度、 g : 重力加速度[m/s²]、 z_b : 河床位[m]、 ρ_m : 流れ全体

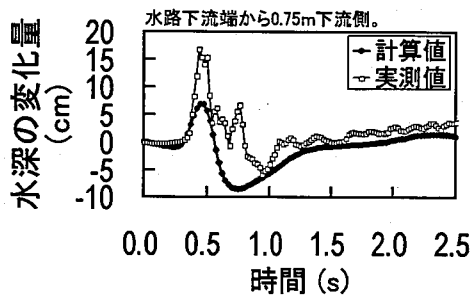


図-2 水位の変化 (Case-1, Ch. 7)

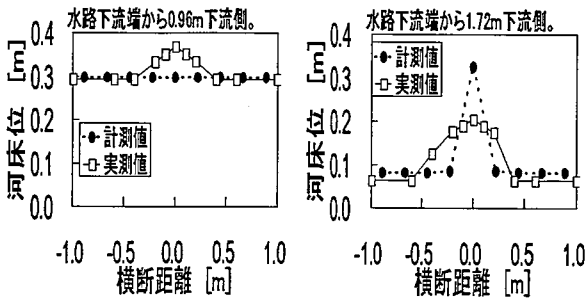


図-3 堆積形状 (Case-4)

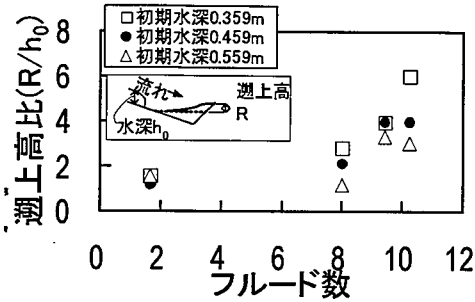


図-4 遡上高比とフルード数の関係 (水路実験)

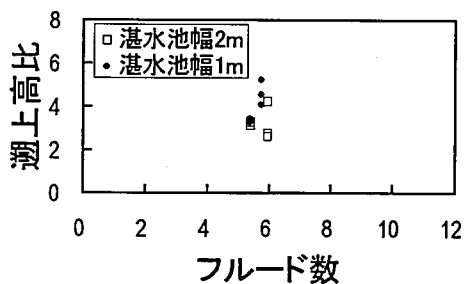


図-5 遡上高比とフルード数の関係 (数値計算)
 の密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、 τ_{bx} : 河床面に作用するせん断応力 (X 方向)、 τ_{by} : 河床面に作用するせん断応力 (Y 方向)、 i : 侵食速度 $[\text{m}/\text{s}]$ 、 C^* : 河床の堆積層における土砂容積濃度である。せん断応力は高橋・中川 (1992) のモデルを用いた。

計算はセル平均法を用いた有限体積法により実施した。計算セルの境界面を通過するフラックスは Roe 近似法に基づき算出した。また、計算セルは論理的矩形メッシュとした。

図-2 は Case-1 の数値計算の結果と実験結果を比較したものである。水深の増加量の計算値は実測値と比べて小さかった。波高計が 2 次元浅水流モデルでは再現できない水しぶきを計測したため、実測値が計測値より高くなったと考えられる。

図-3 は case4 の最終的な堆積形状を比較したものである。計算値は実測値と比べてかなり低くなっ

た。これは、計算上、一旦堆積した土砂が再度侵食されたためと考えられる。

3. 考察

3. 1 湛水池の初期水深と遡上高比の関係

図-4 は水路実験の結果で、X 軸に湛水池に流れ込む流れのフルード数、Y 軸に遡上高比をプロットしたものである。なお、遡上高比は遡上高を流入する流れの水深で割った値とした。フルード数が大きくなるほど、遡上高比は大きくなった。また、湛水池の初期水深が深いほど、遡上高比は小さくなる傾向を示した。湛水池の水量が多いほど、その水を移動させるために必要な運動量は多くなるため、図-3 のような傾向となったと考えられる。

3. 2 遡上高比と川幅の関係

図-5 は数値計算の結果で、遡上高比と川幅比の関係を示したものである。なお、図-3 に示したとおり、移動床の場合に再現精度が芳しくなかったため、数値計算は固定床の場合のみを実施した。図-5 から、川幅に対して湛水池の幅が狭いほど、遡上高比は大きくなる傾向となった。

4. まとめ

以上を取りまとめると次のようになる。①湛水池に入ってくる流れのフルード数が大きくなるほど、遡上高比は大きくなる。②湛水池の水深が浅いほど、遡上高比は大きくなる。③川幅に対して湛水池の幅が狭いほど、遡上高比は大きくなる。

遡上高比は湛水池に入ってくる流れの水利条件だけでなく、川幅と湛水池の幅の比など地形条件にも影響を受ける。この点に関して、数値計算モデルは現地の地形条件を考慮できるため、遡上高を推定する強力なツールになると言える。今後は、湛水池内の土砂の堆積過程をより精度良く再現できるよう数値計算モデルを改良していきたいと考えている。

引用文献

- 建設省 (1992) : 災害情報システムの開発報告書第 III 巻基幹施設編、p.353-409
- 高橋保、中川一 (1992) : 自然ダムの越流決壊によって形成される洪水の予測、京都大学防災研究所年報第 35 号 B-2、p.231-248
- 村松和樹、高濱淳一郎、嶋大尚、村上正人、道上正規、檜谷治、畦森雅樹、北栄雅人 (1997) : 土塊が水域に突入することによる段波の形成過程に関する実験的研究、平成 9 年度砂防学会研究発表会概要集、p.190-191
- 水山高久、吉松弘行、鈴木浩之 (1985) : 湛水した砂防ダムに突入する土石流の影響、第 29 回水理講演会論文集、p.639-644
- 道上正規、檜谷治、木戸正二 (1996) : 貯水池内での土砂流入に伴う水面波に関する実験的研究、鳥取大学工学部研究報告第 27 巻、p.105-112
- 張馳、岩堀康希、吉松弘行、阿部真郎 (2004) : 地すべりによる造波の有限要素法解析、日本地すべり学会誌、vol.40, No.6, p.484-494