

## 令和6年能登半島地震で形成された河道閉塞の 決壊実績に基づいた閉塞部を構成していた粒径の推定

国土技術政策総合研究所 ○山口柊生, 高原晃宙, 鈴木啓介

### 1. はじめに

地震や豪雨により河道閉塞が形成されると、閉塞部が決壊した場合、下流域に甚大な被害を及ぼすおそれがある。河道閉塞の決壊による被害を防止、軽減するため、河道閉塞の形成後、決壊時の下流河道における流量変化を予測し、下流域の被害範囲を予め推定することが重要となる。現在、河道閉塞の越流決壊による被害範囲を推定する手法の一つとして、LADOF (Landslide Dam Overflow Flood) モデル<sup>1)</sup>により決壊時の流量を解析し、さらに二次元氾濫計算を実施する数値シミュレーションがあげられる。

LADOF モデルを用いた予測計算を実施する際、発災初動期のような現地の観測情報が入手できない状況下では、平均粒径の設定が課題の一つとなる。この課題解決に向けて、平均粒径の妥当な設定値について知見を蓄積していくことが重要であると考えられる。

本研究では、令和6年能登半島地震で形成された河道閉塞を対象に、当地域における数値シミュレーションに用いる平均粒径の目安を示すため、河道閉塞を構成していた粒径を試算した。さらに、LADOF モデルを用いた予測計算において、平均粒径の設定値が決壊時の流量にどの程度影響を及ぼすか把握するため、平均粒径に関する感度分析を実施した。

### 2. 分析手法

#### 2.1. 対象とする河道閉塞箇所の概要

令和6年能登半島地震により形成された河道閉塞箇所を分析対象として25箇所を選定した。選定箇所の閉塞高は最小2.4m、最大33.6mであった。当地域に分布する地質は、流紋岩や安山岩などの火成岩、または珪質泥岩や砂岩泥岩などの堆積岩である。2024年9月21日から22日にかけて記録的な大雨（以下、9月豪雨とよぶ）の後、対象とした25箇所の内、16箇所において越流侵食が確認された。

#### 2.2. 河道閉塞を構成していた粒径の試算

地震発生直後から9月豪雨前までの期間で流量が

最大となるタイミングにおいて、閉塞部の侵食がなかったと仮定し、25箇所を対象に、閉塞部の天端に働く「掃流力<限界掃流力」の関係から粒径の下限値を試算した。また、9月豪雨時で流量が最大となるタイミングにおいて、越流侵食を確認できた16箇所を対象に、「掃流力>限界掃流力」の関係から粒径の上限値を試算した。粒径を試算する流れを図1に示す。なお、ここで粗度係数は $0.04 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ 、砂礫の密度は一般値として $2650 \text{ kg}/\text{m}^3$ と設定した。

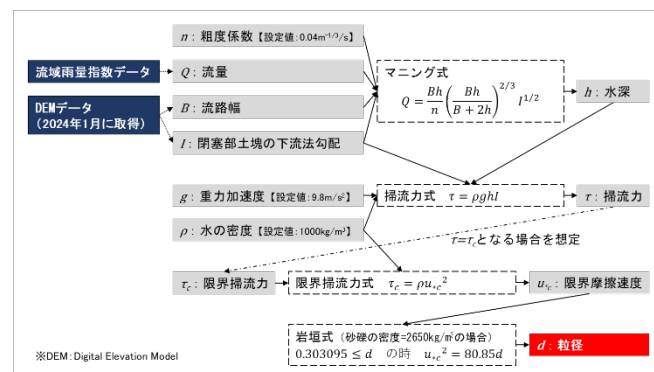


図1 粒径を試算する流れ

#### 2.3. LADOF モデルにおける平均粒径の感度分析

選定した河道閉塞25箇所内の1箇所を対象として、LADOF モデルの予測計算に用いる平均粒径を複数パターン設定し、決壊時の流量ピークについて分析した。

LADOF モデルでは、土石流から掃流状集合流動まで統一的に扱うために二層流モデル<sup>2)</sup>を基礎としており、河床面せん断応力と侵食速度式には江頭らのモデル<sup>3)4)</sup>が用いられている。また、縦侵食と同時に側岸侵食が生じて流路が次第に拡大する

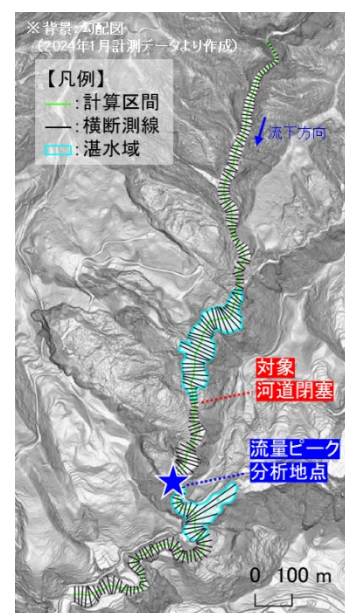


図2 設定した計算区間

という側岸侵食のモデル<sup>1)</sup>を組み込んでいる。

予測計算を実施した計算区間は図 2 の通り設定し、10 m 間隔で横断測線を作成後、各測線について河床標高と川幅を設定した。また、計算パラメータは表 1 に示す設定値を用い、全区間を矩形として計算した。

感度分析ケースにおいて、平均粒径は 2.2 の検討結果をふまえて 2 cm、5 cm、10 cm、20 cm の 4 パターンで設定した。また、流入流量の大小を考慮するため、流入流量条件を大、中、小の 3 パターンで図 3 の通り設定し、計 12 ケースの感度分析を実施した。

表 1 使用した計算パラメータ

パラメータ	単位	設定値	
dx	刻み幅	m	10
dt	刻み時間	s	0.01
g	重力加速度	m/s <sup>2</sup>	9.8
σ	砂礫の密度	kg/m <sup>3</sup>	2650
ρ	水の密度	kg/m <sup>3</sup>	1000
φ	内部摩擦角	°	35
c*	堆積層濃度		0.6
α	側岸侵食の係数		1000
hcr	流動深	m	0.1
n	粗度係数		0.04
	出力間隔	s	60

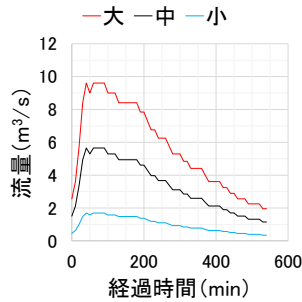


図 3 設定した流入流量条件

### 3. 分析結果

#### 3.1. 河道閉塞を構成していた粒径の試算結果

25 箇所を対象に、閉塞部を構成していた粒径の下限値および上限値を試算した結果を図 4 に示す。粒径の下限値は 1.6 cm から 8.7 cm と試算され、粒径の上限値は 3.4 cm から 20.0 cm と試算された。

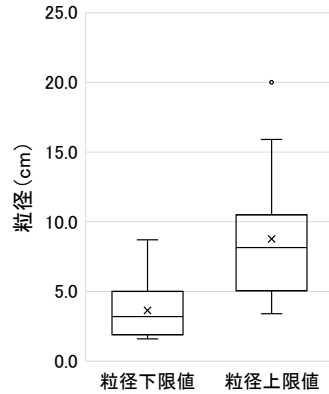


図 4 粒径の試算結果

#### 3.2. 平均粒径の感度分析結果

感度分析 12 ケースについて LADOF モデルを用いた予測計算を実施し、閉塞部の下流側 (図 2 の星印) において算出したハイドログラフを図 5(a) に示す。感度分析の結果、平均粒径が大きくなると流量ピークも大きくなる傾向がみられた。平均粒径が 2 cm と 20 cm の場合で流量ピークは、147 m³/s から 197 m³/s とその差は最大で 50 m³/s となった。一方、流入流量条件の規模で比較すると、平均粒径の各パターンで流量ピークは同程度の値であった。

越流開始地点となる閉塞部天端では、平均粒径が大きいほど、侵食開始時において標高が緩やかに低下し始め、水深ピークは大きかった (図 5 (b))。また、湛水域中央地点では、平均粒径が大きいほど、侵食開始時までに水深ピーク付近の状態がより長く継続していた (図 5 (c))。これらから、平均粒径が大きくなると、越流水による初期侵食が鈍化し、水頭差がより大きな状態で侵食が加速化したことが一因となって、流量ピークの増大に至ったと推察される。

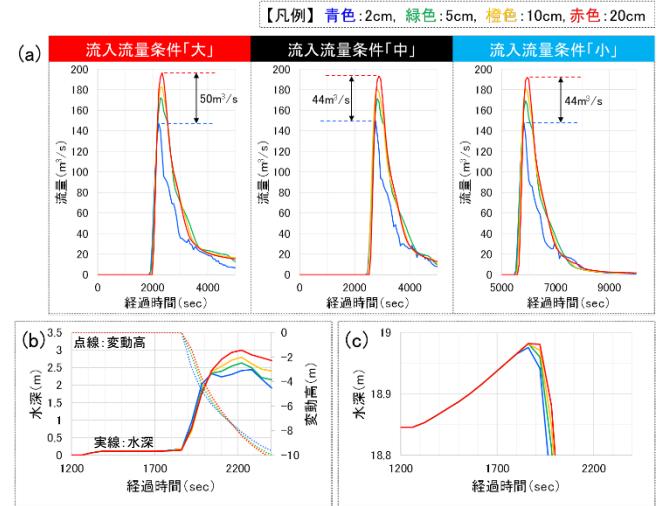


図 5 平均粒径についての感度分析結果

(a)流量ピーク分析地点におけるハイドログラフ、(b)閉塞部天端における水深と変動高の時間変化、(c)湛水域中央地点における水深の時間変化

### 4. まとめ

令和 6 年能登半島地震で形成された河道閉塞を対象に、降雨実績および決壊実績に基づいた掃流力と限界掃流力の関係から、今回の計算条件下において、河道閉塞を構成していた粒径は 1.6 cm から 20.0 cm 程度であったと試算した。また、LADOF モデルを用いた平均粒径の感度分析から、今回扱った河道閉塞では、平均粒径が 2cm から 20 cm の場合で流量ピークは、流入流量条件の大小によらず 147 m³/s から 197 m³/s 程度とその差は最大で 50 m³/s となった。

今後、内部摩擦角や礫密度などの設定条件が計算結果に及ぼす影響も確認するなど、予測計算における計算条件の設定値にかかる知見の蓄積を図りたい。

<参考文献> 1) 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一郎・内川龍男・森俊勇 (2007) : 天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究, 水工学論文集, Vol.51, pp.901-906 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へ遷移する流れの解析法に関する研究, 水工学論文集, Vol.44, pp. 683-686 3) 江頭進治・芦田和男・佐々木浩 (1988) : 土石流の流動機構, 第 32 回水理講演会論文集, pp.485-490 4) 江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭 (1997) : 掃流砂量に関する力学的解釈, 水工学論文集, Vol.41, pp.789-794