

岩手宮城内陸地震で発生した天然ダムの越流侵食状況の数値シミュレーション

田村圭司* 内田太郎** 吉野弘祐*** 森 俊勇**** 里深好文*****

1. はじめに

地震や豪雨で生じる天然ダムは、越流による侵食にともない土石流が発生するなどし、下流に甚大な被害を及ぼすことがある。このため、天然ダムの越流侵食時の侵食過程・流量変化を予測することは防災上極めて重要である。

2008年6月に発生した岩手宮城内陸地震では、多くの天然ダムが生じ、越流侵食による天然ダムの地形変化やそれともなう下流河道の流量変化が計測・観測された(内田ら¹⁾、吉野ら²⁾)。そこで、本研究では、岩手宮城内陸地震で生じた天然ダムを対象に、従来提案されてきた天然ダムの越流侵食に関する数値シミュレーション方法であるLADOFモデル(里深ら³⁾、⁴⁾)を適用し、手法の適用性について検証した。

2. 検討方法

2.1 検討対象

本研究では、図-1に示す宮城県栗原市の三迫川流域に位置する沼倉裏沢地区の天然ダム地点から栗駒ダムまでの約5km区間を対象とした。沼倉裏沢地区では、岩手宮城内陸地震により右岸斜面で大規模な崩壊が発生し、河道を閉塞した。2008年6月16日に取得されたレーザープロファイラ(以下LPと呼ぶ)による越流前の天然ダムの堰止め幅は約150m、堰止め長は約550mであった(図-2参照)。閉塞箇所の下流端と河道閉塞箇所の最高点の比高は約42m、水平距離は約400mであった。

2008年6月21日午前0時30分に、天然ダムの越流侵食によると考えられる流入量の急激な増加が栗駒ダムで生じた。同1時20分流量が最大の約100m³/sに達した¹⁾。また、この越流侵食後の2008年9月に再度LPによる計測が行われた。6月と9月の比較から、天然ダム天端付近では約12m削られ、約5.3万m³の土砂が流出した²⁾。そこ

で、本研究では、沼倉裏沢地区の天然ダムにおける越流侵食による詳細な地形変化と栗駒ダムにおける流入流量の変化の再現を試みることにした。



図-1 検討対象区間

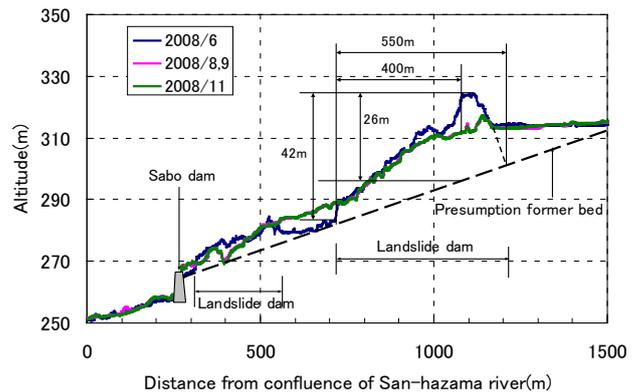


図-2 沼倉裏沢地区における河床縦断形状の変化

2.2 計算に使用するモデル

本研究では里深ら³⁾、⁴⁾が示したモデル(LADOFモデル)を用いて検討を行った。同モデルは土石流から掃流状集合流動への遷移過程を解析するために、水のみが流れる水流層と、水と砂礫の混合物が流れる砂礫移動層とに分解し、各層の支配方程式に基づいて解析する二層流モデルを基本としている。高濱ら⁵⁾は図-3で示すように二層流モデルではinterfaceを通じて質量と体積のフラックスが介在するので、水流層がinterfaceを通して単位時間・単位面積あたりに獲得する体積量を s_I とした支配方程式を用いている。これにより、土石流から掃流状集合流動まで統一的に扱うことができる。

また、里深ら³⁾、⁴⁾は縦方向の侵食と同時に横

Numerical simulation of overtopping erosion of landslide dam triggered by Iwate-Miyagi inland earthquake

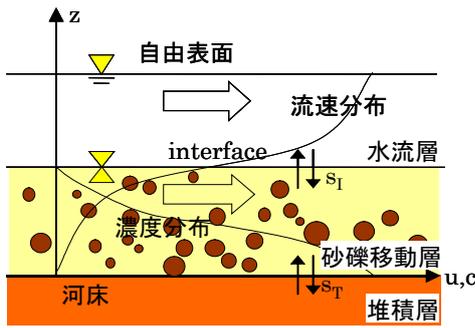


図-3 二層流モデルの模式図

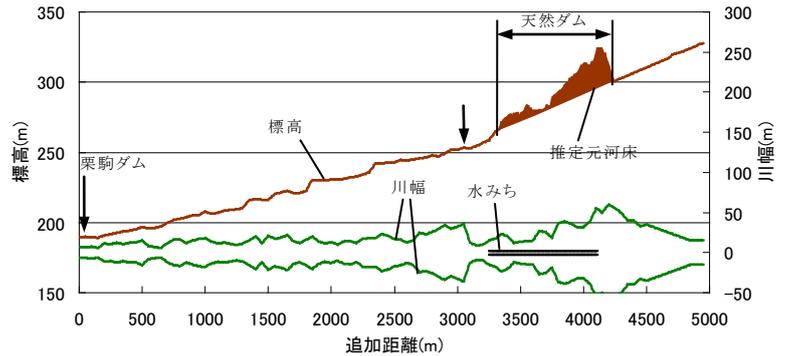


図-4 計算河道

方向の侵食（側岸侵食）が生じて流路は次第に拡大するといった側岸侵食のモデルを組み込んだ。里深らは、側岸侵食速度は流速と水深に比例するという高岡⁶⁾の考え方に基づいた上で、側岸侵食速度が側岸で高さ方向に一様であると仮定した側岸侵食速度式を用いた。

3. 計算

3.1 計算条件

(1) 天然ダム及び河道の形状

本研究では、内田ら¹⁾及び吉野ら²⁾により示された2008年6月のLPにより計測されたデータ(1mメッシュ)を用いて、天然ダム形状を設定した。計算に用いた初期河床（越流による侵食前）の縦断形状を図-4に示す。

縦断測線は、吉野ら²⁾が示した方法を用い、LPにより計測されたデータより天然ダム形成地点及びその下流の河道の中心に沿って測線を引き河道の縦断形を求めた。ただし、天然ダムの天端標高は天然ダムの満水位に大きな影響を与えるため、天端については天端の横断測線の最低標高を用いた。

また、川幅については全区間矩形断面とし、天然ダム形成地点及び下流の河道では、20m間隔で縦断測線に直交する横断測線を設定し横断形を把握したが、天然ダム上流(湛水範囲)については、最大湛水面積となる標高、すなわち天然ダム天端の最低点の標高の湛水幅を計算における川幅として設定した。ここで、計算河道は全区間矩形断面としているため、上記の理由により実際よりも湛水量が多く見積られる。

(2) 流入流量

本研究で対象とする沼倉裏沢の天然ダムは無降雨時に越流侵食した。このことから、降雨等の影

響による天然ダム地点における流入流量の変化はないものと仮定し、流入流量は一定とした。実際、栗駒ダムの流入流量は天然ダムの越流侵食によると考えられる流量の増減以外には、流量の増減はみられない。そこで、沼倉裏沢地点（集水面積約18km²）の流入比流量を、栗駒ダム（集水面積約45km²）の流入比流量と等しいと仮定し、2.6m³/s(ピーク終了後の2:00~5:00までの栗駒ダム平均流入量6.4 m³/sに対する沼倉裏沢地点の流入流量)とした。さらに、天然ダムに流入する水は、ある程度濁り成分は含まれているとは考えられるものの、決壊は無降雨時に発生したということから土砂濃度は低いと考え、上流からは真水（土砂濃度0の水）を供給した。

(3) 越流開始幅と側岸侵食の係数

里深ら³⁾の側岸侵食速度式において、侵食速度は流速の1/α倍となり、計算を実行するにあたり係数αを決める必要がある。里深ら⁴⁾は、2005年9月の台風14号の際に宮崎県耳川流域で発生した天然ダムの決壊計算においてα=1,000で実現象を良く再現できているという結果を得ている。そのため本検討でも側岸侵食速度式の係数αは1,000で実施した。

また、本検討では、天然ダム下流のり面の5箇所横断面に対して、(掃流力)>(限界掃流力)となる水深を算出し、その時の流量に応じた水面幅を水みちの幅として設定した。その上で、平均の水みち幅を求め、初期の水みち幅とした

(4) 土質及び流れに関するパラメータ

表1に示す物性値については、基本的には里深ら⁴⁾で用いられている一般値を用いた。内部摩擦角については、内田ら¹⁾による調査結果である天然ダム地点の斜面勾配35°を代用した。また粒径については、内田ら¹⁾が示した天然ダムを構成

する土砂の粗粒分の60%粒径である10cmとした。

表-1 計算に使用する物性値

	値	説明	設定根拠
σ	2.65g/cm ³	砂礫の密度	一般値
ρ	1.0g/cm ³	水の密度	一般値
ϕ	35°	内部摩擦角	斜面購買
d	0.1m	平均粒径	粒径調査結果
c*	0.6	堆積層濃度	一般値
n	0.04	粗度係数	一般値

3.2 計算の実施

計算の開始は天然ダム満水時点とし、天然ダム湛水域の上流端から定常流量(2.6m³/s)を供給し、徐々に水位を上昇させることにより越流侵食させた。また、計算は天然ダム本体の侵食が十分に収まる4時間とした。計算における刻み時間と刻み幅は、 $\Delta t=0.01s$ 、 $\Delta x=10m$ とし、リーブフログスキームで行った。

4. 計算結果

4.1 河床高の変化

河床高の変化計算結果を図-6に示す。2008年6月と9月のレーザープロファイラデータから求めた実績の侵食後の河床高(吉野ら²⁾)を併せて示した。

計算の結果、3,950m~4,200m地点の天然ダム部に形成している2箇所の山は侵食され、天端付近では実績で12m程度河床低下しているのに対して、計算では約8m程度低下している。また、侵食された土砂は3,600m~3,750m地点で多く堆積が見られ、実績で最大8m程度堆積しているのに対して、計算では最大約6m堆積している。このように、若干侵食の傾向が小さいものの、最終堆積形状は概ね実績に近い値となり、特に天然ダム堤体が侵食され、その直下流に堆積すると言った傾向は非常によく表現できていた。

4.2 水みち幅の変化

天然ダムの水みち幅の変化の計算値と、実績値(天然ダム越流侵食により生じた溝の上幅(詳細は吉野ら²⁾参照))を図-6に示す。川幅に対して水みち幅は、天然ダム部に形成した越流時の通水幅であり、越流侵食が進行すると、流量とともに側岸侵食速度が大きくなり次第に拡幅する。

計算の結果、上流から下流に向かって水みち幅

が広がっているが、4,000m付近で水みち幅の広がりが抑制されている。これは、今回用いたモデルが側岸で高さ方向に様に発生すると仮定しているため、水みちが深くなり、側岸の比高が大きくなるに従い、側岸侵食速度が低下するためである。このような相違はあるものの、下流に向かって広がるといった最終的な水みち幅の広がりを概ね再現できているようである。

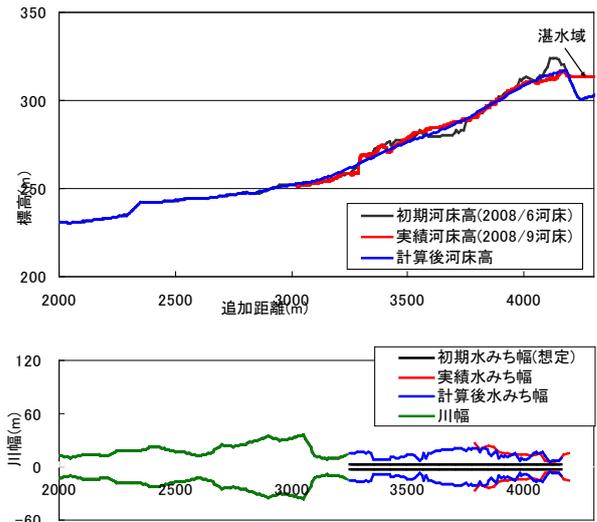


図-5 天然ダムの縦断形状と水みち幅の変化(全体図)

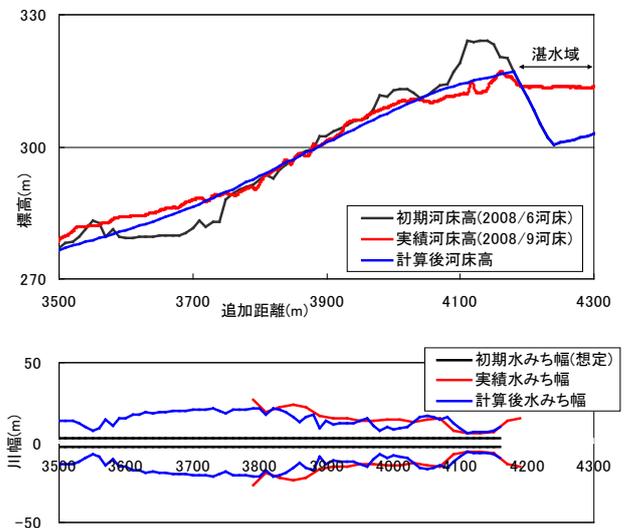


図-6 天然ダムの縦断形状と水みち幅の変化(詳細図)

4.3 栗駒ダムの流入流量

栗駒ダムの流入流量には、沼倉裏沢地点以外の流入比流量である3.8m³/sを一律加えて算出した。計算された流量の時間的変化を図-7に示し、栗駒ダムの実績流入流量(内田ら¹⁾)との比較を行った。なお、図-7は栗駒ダム流入量の計算値と実績値とをピーク流量発生時間で合わせている。

計算の結果、栗駒ダム流入ピーク流量は、実績

では約100m³/sであるのに対して、計算では約90m³/sであり、概ね実績を表現できていると考えられる。また、洪水継続時間は両者との約1.5時間であり概ね一致した。ただし、洪水波形をみると、計算では約5分で流量が立ち上がるのに対して、実績ではピーク到達までに約1時間かかっている。反対にピークの減衰については、計算値は1時間以上かけて減衰しているのに対して、実績では約20分で急激にピークが減衰しているという差異が見られた。

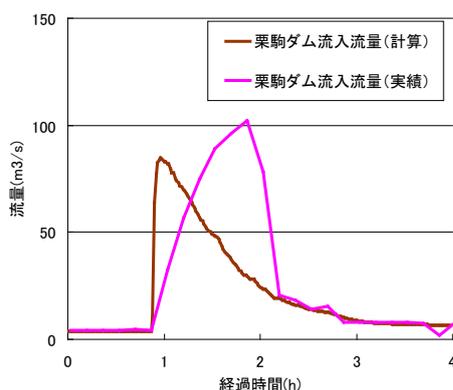


図-7 栗駒ダム流入流量

5. まとめ

本研究では、新たに得られたLPにより取得された詳細な天然ダムの地形データを用いて、LADOFモデルによる数値シミュレーションを実施し、実際の天然ダムの越流侵食現象の再現を試みた。まず、越流侵食による河床高、川幅などの地形変化を、天然ダム決壊前後の縦断形状および川幅を比較することにより考察した。次に栗駒ダムで観測された流入流量の急激な増加と決壊時のピーク流量および洪水波形とを比較した。

本検討で実施と比較した結果、計算後の河床高は、特に侵食された土砂がその直下に堆積している傾向について非常によく表現できていた。川幅についても同様で、下流に向かって川幅が広がっている状況が実績を良く表現できていた。

また、天然ダム下流の栗駒ダム流入流量は、ピーク値は若干計算値の方が小さいものの概ね実績を表現できていた。また、洪水の継続時間もほぼ再現できた。

今後は、緊急時の天然ダムに関するデータの取得方法を検討し、天然ダム形成後に迅速に被害推定を行うことにより、天然ダム越流侵食による洪水被害の軽減に役立てていきたい。

参考文献

- 1) 内田太郎・松岡暁・松本直樹・松田如水・秋山浩一・田村圭司・一戸欣也：天然ダム越流侵食の実態：宮城県三迫川沼倉裏沢地区の事例、砂防学会誌、Vol.62、No. 3、p. 23-29、2009
- 2) 吉野弘祐・内田太郎・田村圭司・小竹利明：天然ダム越流による侵食と土砂流出の実態：レーザープロファイラを用いた解析、砂防学会誌、Vol.62、No.5、p.21-29、2010
- 3) 里深好文・吉野弘祐・小川紀一郎・水山高久：天然ダムの決壊時のピーク流量推定に関する一考察、砂防学会誌、Vol. 59、No.6、p. 55-59、2007
- 4) 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一郎・内川龍男・森 俊勇：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、p. 901-906、2007
- 5) 高濱淳一郎・藤田裕一郎・近藤康弘：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、第44巻、p.683-686、2000
- 6) 高岡広樹：高濃度流れによる河道侵食と土砂流出に関する研究、九州大学学位論文、p.7-23、2006

田村圭司*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員
Keiji TAMURA

内田太郎**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員、農博
Dr. Taro UCHIDA

吉野弘祐***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員
Kousuke YOSHINO

森 俊勇****



財団法人砂防フロンティア整備推進機構 理事長、農博
Dr. Toshio MORI

里深好文*****



立命館大学理工学部都市システム工学科、工博
Dr. Yoshifumi SATO