

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01547

研究課題名(和文)河床変動モデルと斜面崩壊モデルの結合による天然ダム決壊予測手法の開発

研究課題名(英文) Prediction of landslide dam collapse by combining a riverbed fluctuation model and a slope failure model

研究代表者

里深 好文 (SATOFUKA, YOSHIFUMI)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：20215875

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：豪雨や地震によって大規模な山地斜面の崩壊が発生すると、時としてその崩壊土砂が河道を埋めることにより天然ダムが形成される。天然ダムが決壊すると大規模な洪水や土石流が発生するので、的確にその規模を予測し、下流氾濫範囲を推定する必要がある。本研究では天然ダム内部の浸透流がダム下流側のり面下端から流出するのに伴って発生する「進行性崩壊」や、上流湛水の影響により天然ダムが不安定になって突然崩壊する「すべり崩壊」を対象とした実験を行って、崩壊メカニズムを明らかにした。また、河床変動モデルと斜面崩壊モデルを組み合わせることで、ダム崩壊プロセスと崩壊時の洪水ハイドログラフを予測する計算法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、天然ダムが決壊した際の洪水規模の予測は越流決壊によるダムの決壊を対象としてきたため、進行性崩壊やすべり崩壊が発生した場合には洪水規模を的確に予測できない可能性が高かった。本研究により、種々の崩壊プロセスを対象とした洪水発生予測が可能となり、ダム決壊時の洪水氾濫範囲の予測精度が大幅に向上することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：When a large-scale collapse of a mountain slope occurs due to heavy rain or an earthquake, the collapsed sediment sometimes fills the river channel to form a landslide dam. When a landslide dam collapses, a large-scale flood and debris flow will occur, so it is necessary to accurately predict the scale and estimate the downstream inundation range. In this study, experiments were conducted to clarify the collapse mechanism, targeting the "progressive collapse" that occurs when the infiltration flow inside the natural dam flows out from the lower end of the downstream slope of the dam, and "Instantaneous dam failure" when the natural dam becomes unstable. We also developed a numerical simulation method that can predict the dam failure process and the flood hydrograph due to dam collapse by combining the riverbed fluctuation model and the slope failure model.

研究分野：砂防工学

キーワード：天然ダム 河床変動モデル 斜面崩壊モデル 進行性崩壊 越流決壊 すべり破壊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 地震や豪雨により河道沿いに斜面崩壊が発生して大量の崩壊土砂が河道に一気に流入すると、時として天然ダムが形成される。天然ダムが形成されるとその上流には水が溜まり、大規模な浸水被害が生じることになる。また、天然ダムが決壊するとダム上流に溜まっていた水は激しい濁流となって下流へと流れ出し、大規模な氾濫災害を引き起こす。国交省砂防部による「大規模な河道閉塞(天然ダム)の危機管理に関する提言」によれば、我が国では過去 200 年間に 80 を超える大規模な天然ダムが形成されており、そのうちいくつかの事例において記録的な大水害が発生している。一方で、通常の河川計画においては、洪水流量の設定に際し天然ダムの形成・決壊は考慮されていない。天然ダムの決壊がいわゆる想定外の大洪水を生むことは容易に想像できることから、その存在が確認された天然ダムに関しては形状等のデータを収集し、決壊に伴う洪水氾濫予測を行って、その危険度を一般に周知し、適切な避難行動に結びつけなければならない。しかし、天然ダムの決壊過程の解明および決壊に伴って発生する洪水の規模予測については、いまだ十分とはいえない状況にある。その原因としては、天然ダムの決壊過程を解析するとき、ダム下流面上の流れと土砂移動にあわせて、天然ダム内部の浸透流およびダム堤体の大規模な変形と破壊を考えなければならないことが挙げられる。堤体上の流れと土砂移動は土砂水理学的手法で解析できるのに対し、浸透流や堤体の変形・破壊に対しては地盤工学的的手法が必要不可欠である。いわゆる境界領域の問題であるため、これまで研究が進展しにくかったのではないかと考えられる。

(2) 天然ダムの決壊過程は a)越流水により堤体が急激な侵食を受けて決壊に至るケース、b)浸透流の漏出によって堤体下流端付近が小規模に崩壊し、それが上流方向へと徐々に進行するケース、c)堤体の強度低下や上流側の水圧の上昇により一気に崩壊するケースの 3 種あるとされている。これまでに報告されている天然ダムの決壊事例のうち約半数は a)越流侵食によるものであるため、これまでの研究の多くは越流侵食を対象としてきた。ただし、決壊過程が不明なものも半数近くあるため、より合理的な防災・減災のためには、a)越流侵食だけでなく b)進行性崩壊や c)すべり崩壊を含めた統合的な決壊予測が必要である。

2. 研究の目的

(1) 本研究の第 1 の目的は a)越流侵食、b)進行性崩壊、c)すべり崩壊の 3 種の異なる天然ダムの決壊プロセスを一つの計算モデルで予測できるようにすることである。そのためには、水工学と地盤工学および砂防工学の知見の融合が欠かせない。本研究のキーワードとして、洪水、土石流、氾濫、河床侵食、側岸侵食、飽和・不飽和浸透流、凍結・融解、斜面崩壊、すべり崩壊などが挙げられるが、これらからも研究領域の境界部分にあることが容易に理解される。

(2) 第 2 の目的は決壊予測によって得られる洪水流出ハイドログラフを、GIS を活用した汎用型氾濫シミュレータの入力条件として組み入れ、より高精度な洪水氾濫解析を可能にすることである。天然ダムの越流侵食については既に実用化が試みられているため、進行性崩壊やすべり崩壊にまで拡張できれば、国内外の天然ダム災害対策のニーズにより迅速かつ適確に応えられるようになる。

(3) 第 3 の目的は氷河湖の決壊予測にまでモデルを拡張することである。氷河湖の下流端に天然ダム状の土砂堆積が存在する場合、その内部の氷が解けると強度が低下し、大規模に決壊することが懸念される。将来、気候変動により気温が上昇していくと、氷河の融解によって上流から供給される流量も増えることが予想されるため、堤体の強度低下とあいまって氷河湖の決壊リスクはますます増大する。本研究により、氷河湖決壊時の洪水到達エリアがより定量的に評価されるようになれば、下流域の被害軽減に大きく寄与できる。

3. 研究の方法

(1) 天然ダムの進行性崩壊、すべり崩壊に関する数値計算モデルの開発
研究分担者の堤らが開発してきた斜面崩壊予測モデルは簡易 Janbu 法と動的計画法を組み合わせたものであり、任意のすべり面形状に適用できる。このモデルは 2005 年に大分県竹田市で発生した斜面崩壊等に適用され、実現象を良好に再現できることが判明している。このモデルと研究代表者が開発してきた不飽和河床上の土石流モデルとを組み合わせれば、天然ダム表面上の流れと流砂および浸透流を解析しながら同時に天然ダムの崩壊を解けるようになるため、天然ダムの 1 次元(流下方向のみを考慮)な進行性崩壊が解析できるようになる。つぎに、天然ダム上流の湛水の影響を堤らの崩壊予測モデルに組み入れて、すべり崩壊の 1 次元予測モデルを構築する。これまでに行った小規模水路における実験結果等と比較しながらモデルの検証を行う。

(2) 天然ダム内部の凍結・融解モデルの開発

研究分担者の堤らが開発してきた裸地斜面基岩内における凍結・融解モデルをもとに、天然ダム内部の氷が融解する過程を再現できる数値計算モデルを開発する。あわせて、ネパールの氷河湖において現地観測を実施し、決壊予測のベースとなるデータを収集する。

(3) 氾濫シミュレータへのダム決壊モデルの組み込み

研究分担者の中谷らが開発してきた GIS ベースの汎用土石流シミュレータである Hyperkanako は、詳細な標高データ等を利用して洪水や土石流の氾濫解析を比較的シンプルな操作で実施できる。(1)のモデルから得られる天然ダム決壊時の洪水流出ハイドログラフを氾濫計算の流入条件として使用できるよう、システムの改変を行う。

(4) 実渓流における天然ダムの進行性崩壊およびすべり崩壊に関する現地実験

計算モデルの妥当性検証のためのデータを収集するために、京都大学防災研究所穂高砂防観測所（岐阜県高山市）の観測エリアにある神通川水系足洗谷支溪ヒル谷において、高さ 1m 程度の天然ダムを設置して決壊実験を行う。

(5) 天然ダム決壊モデルの統合化と現地実験への適用

現地実験等により得られた天然ダム決壊に関する知見を(1)のモデルに組み入れるとともに、計算結果と実験結果との比較を通じてモデルの妥当性を検証し、天然ダム決壊に関する統合モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 天然ダムの崩壊に関する実験

京都大学穂高砂防観測所の観測領域内にあるヒル谷において、天然ダムの進行性崩壊に関する現地実験を行った。渓流内に高さ 1m 強の天然ダム模型を設置したのち、上流からの流水によりダム上流に湛水が生じる状況や堤体内の地下水位の変化を計測した。ダム法尻が浸透流によって浸食され、小規模な崩壊が繰り返し発生する（進行性崩壊）状況を生じさせ、天然ダム形状の時間的変化を追跡するとともに、ダム決壊に伴って発生する洪水のハイドログラフを計測した。天然ダムの縦断形状は三角形および台形とし、ダムの形状等の違いが崩壊プロセスや流出ハイドログラフに及ぼす影響を明らかにした。さらに、天然ダムのすべり破壊を模擬する小規模な室内水路実験を行い、決壊時に発生する土石流の規模はすべり土塊の滑動距離の違いに強く影響されることを明らかにした。

(2) ネパールの氷河湖 Tsho Rolpa における現地観測と氷河湖決壊危険度評価モデルの開発

ネパールの氷河湖 Tsho Rolpa の決壊リスク評価のため、現地踏査を行うとともに、1年間のモレーン堤体の表面温度の観測を行った。また、実験室レベルでの凍結融解に関するモデル実験を行い、熱伝導解析によって再現計算を行った。さらに、現地観測結果を入力境界条件として、モレーン堤体内部の温度分布変化を熱伝導解析手法により推定し、堤体の凍結融解によってモレーンの安定性がどのように変化するかを推定する方法を開発した。過去 100 年から将来 50 年の間のモレーン堤体内部の温度分布変化を熱伝導解析手法により推定し、融解層を対象に斜面安定解析を行った結果、堤体の氷結層の融解によってモレーンの斜面安定性が急激に低下し、過去 20 年から将来 20 年にかけての期間が、氷河湖決壊洪水の発生危険度が最も急速に上昇する時期であることがわかった。

(3) 天然ダムの崩壊予測に関する数値シミュレーションモデルの開発

天然ダム内部の浸透流れと地表面の流れを同時に解析できる一次元河床変動モデルと浸透流による崩壊発生予測モデルとを組み合わせることにより、天然ダムの進行性崩壊を再現可能な数値シミュレーションモデルを新たに構築した。計算モデルを小規模な水路実験や(1)の現地実験の結果に適用したところ、良好に再現できることが分かった。また、天然ダムのすべり崩壊を再現できるモデルを構築し、小規模室内実験に適用したところ、実験結果を良好に再現できることが明らかになった。

(4) 過去の災害に対する数値シミュレーションの適用

国内外の天然ダムについて情報収集や整理を行った後に、決壊時に想定される被害状況について数値シミュレーションを実施し、効果的な対策法についても計算を基に検討した。平成 30 年 7 月豪雨により京都府福知山で発生した天然ダムでは、発生箇所の勾配が緩く、決壊しても直下流の渓流内で堆積するだけで、居住地や道路までの土砂移動は起こらないことを確認した。さらに、平成 23 年紀伊半島豪雨災害で発生した奈良県の赤谷の天然ダムの事例においては、天然ダムの構成材料を適切なパラメータで表現することにより、実災害での氾濫堆積状況を再現できることを確認した。あわせて、天然ダム下流に砂防施設を計画する際の効果的な配置や高さについて解析結果を基に検討した。

(5) 土石流中の土砂濃度観測システム

実河川において土石流の土砂濃度を計測する観測システムを構築し、細粒土砂の土砂濃度を計測した。その結果、粗礫を除くと土石流に含まれる細粒土砂の濃度が河床容積濃度に近い値まで上昇する可能性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakatani, K., Kosugi, K., Satofuka, Y.	4. 巻 4
2. 論文標題 Debris Flow Simulations Due to Landslide Dam Outburst and Considering Effective Countermeasures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ICL Contribution to Landslide Risk Reduction, Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk	6. 最初と最後の頁 235-240
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-60706-7_21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyata, S., Mizugaki, S., Naito, S., Fujita, M.	4. 巻 585
2. 論文標題 Application of time domain reflectometry to high suspended sediment concentration measurements: laboratory validation and preliminary field observations in a steep mountain stream	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology, 585, Article 124747	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jhydrol.2020.124747	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高山翔揮, 星山博紀, 藤本将光, 里深好文	4. 巻 76
2. 論文標題 天然ダムのすべり破壊により生じる洪水流の規模に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_1183 - I_1188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayama, S., Nakauchi, T., Fujimoto, M., Satofuka	4. 巻 2
2. 論文標題 Acquisition of 3D Coordinates of a Landslide Dam Deformation Process by SfM Using Multiple Experimental Videos.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Asia-Japan Research Institute of Ritsumeikan University	6. 最初と最後の頁 45-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34389/asiajapan.2.0_45	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高山翔揮・藤本将光・里深好文	4. 巻 72
2. 論文標題 進行性崩壊による天然ダム決壊過程に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 砂防学会誌	6. 最初と最後の頁 3-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高山翔揮・星山博紀・宮田秀介・藤本将光・里深好文	4. 巻 75
2. 論文標題 進行性崩壊による天然ダム決壊過程に関する現地実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_847- I_852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hurlimann Marcel, Coviello Velio, Bel Coraline, Guo Xiaojun, Berti Matteo, Graf Christoph, Hubl Johannes, Miyata Shusuke, Smith Joel B., Yin Hsiao-Yuan	4. 巻 199
2. 論文標題 Debris-flow monitoring and warning: Review and examples	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth-Science Reviews	6. 最初と最後の頁 102981 ~ 102981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.earscirev.2019.102981	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 鈴木心, 堤大三, 里深好文, 高山翔揮
2. 発表標題 氷河湖決壊洪水(GLOF)の発生リスク評価法確立のための研究 現地観測結果を用いた数値解析
3. 学会等名 2020年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kokoro SUZUKI, Daizo TSUTSUMI, Shoki TAKAYAMA and Yoshifumi SATOFUKA
2. 発表標題 GLOF risks assessment on Tsho Rolpa lake due to moraine melt caused by global warming
3. 学会等名 Online International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, January 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林聖也, 中谷加奈, 小杉賢一朗, 長谷川祐治, 里深好文
2. 発表標題 平成30年7月豪雨で発生した土砂移動・土砂流出の数値シミュレーション
3. 学会等名 2019年度(公社)砂防学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kana NAKATANI
2. 発表標題 Study on hazard mapping of landslide dam breaking and debris flows with simulations
3. 学会等名 2019 Workshop on Emergency Operation for Landslide Dam, Taiwan (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakatani, K., Satofuka, Y., Gonda, Y., Miyamoto, K.
2. 発表標題 Debris flow simulations occurring from landslide dam outburst at Mt.Sinabung
3. 学会等名 21st International Association for Hydro Environment Engineering and Research(IAHR)- Asia Pacific Division (APD) Congress, Yogyakarta, Indonesia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木心、堤大三、高山翔揮、里深好文
2. 発表標題 凍結融解によるモレーンダム強度変化を想定した氷河湖決壊危険度の検討
3. 学会等名 中部森林学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堤 大三 (TUTUMI DAIZO) (40372552)	三重大学・生物資源学研究科・教授 (14101)	
研究分担者	藤本 将光 (FUJIMOTO MASAMITSU) (60511508)	立命館大学・理工学部・准教授 (34315)	
研究分担者	宮田 秀介 (MIYATA SHUSUKE) (80573378)	京都大学・防災研究所・助教 (14301)	
研究分担者	中谷 加奈 (NAKATANI KANA) (80613801)	京都大学・農学研究科・助教 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------