

氏名	DHUNGANA PRAKASH		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	総博甲第141号		
学位授与年月日	令和2年3月19日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項		
文部科学省報告番号	甲第686号		
専攻名	総合理工学専攻		
学位論文題目	Hydro-mechanical constraints and premonitory factors of landslide dam failure caused by seepage (浸透による地すべりダム崩壊の水力学的制約及び前兆現象)		
論文審査委員	主査	島根大学教授	汪 発武
		島根大学教授	酒井 哲弥
		島根大学教授	亀井 淳志

## 論文内容の要旨

Landslide dams inevitably demonstrate the potential for catastrophic failure with high-risk damage to life and property at the downstream site. The formation of a landslide dam is a natural process; thus, minimizing the risk due to its failure is important. Landslide dam failure can be categorized into three types: seepage failure, overtopping and slope failure. As described by other researchers, the established premonitory factors of landslide dam failure are hydraulic gradients, seepage, and turbidity as well as vertical displacement and inflow rate into the reservoir. Knowledge of the internal instability of dam material is the key factor to predict the seepage failure of the landslide dam. Failure time is another factor to reduce the adverse effect of catastrophic floods. The objective of this study is to support field engineers for predicting the failure time of the landslide dam caused by seepage, based on the possible available data in the field without disturbing the dam body.

An experimental study has been conducted with a different mix of silica sand for failure and not failure cases to find the possible condition for dam crest failure and its stability. Three groups of samples that represented fine, medium and coarse particle sizes were prepared by Silica sand S4, S5, S6, and S8 of different proportions. These samples were used to conduct the flume experiments of failure and not failure cases. Premonitory factors of landslide dam failure behave differently in different particle size samples. From the experiment, it is found that the TSS trend line may be the initial factor for checking the stability of a dam crest. A landslide dam with an increasing TSS order will fail and a decreasing order may not fail. Based on all experiments, it can be concluded that the hydraulic gradient has three stages: 1) it starts to

increase and reaches a peak value; 2) it starts to decrease from the peak value and reaches a minimum, and 3) it starts to increase again where the seepage water begins to come out and the vertical displacement starts to increase. Dam failures always occur when seepage water comes out with an increasing TSS and increasing vertical displacement. Repeated experiments on samples having more fine particles show that if a landslide dam is formed by fine particles, then there would be a high chance of its failure. In the case of a constant hydraulic gradient, the landslide dam would be stable whenever there is an increasing vertical displacement and presence of TSS. Similarly, in case of constant vertical displacement and a decreasing TSS, a landslide dam would be stable.

Extensive laboratory work was done with mixed samples of silica sands to find the relation between seepage water volume and TSS. Seepage water was collected from a flume tank with the facility to measure the hydraulic gradient, vertical displacement, and seepage water volume. Grain size affected the life span of the dam. The seepage volume increased with the increase in the percentage of silica sand S4, whereas TSS increased with the increase in the percentage of silica sand S8. With the increase in the reservoir size with constant quantity of inflow, TSS decreased, and the total seepage volume increased.

Dam failure depends on the particle size, dam geometry, inflow rates, reservoir size, hydraulic gradient, and seepage water volume, and TSS of seepage water. Results indicated that with the increase in fine particles, the life span decreases, and TSS increases. With the increase in the inflow rate into reservoir, the dam life span decreases, and the TSS and seepage volume rate increase. With the increase in the reservoir size, for a same quantity of inflow, the total seepage water volume decreases.

These experiments of flume tanks provide a framework for a better understanding of the possibility of seepage-induced failure of landslide dams. The results of this comprehensive research would aid in the development of accurate dam breach models and these results can be used in the field to predict possible failure time, which can reduce the disaster.

## 論文審査結果の要旨

地すべりダムは地すべり運動によって山間部の河川が堰き止められて形成されるもので、一旦破壊すると、下流地域に二次災害を及ぼすことが予想される。その破壊形態として、越流、浸透、そしてすべりの三種類があるが、浸透によるものは隠避性が高いため、それによる被害も甚大になることが予想される。近年、地震及び降雨による地すべりが多発し、その多くは、地すべりダムの形成が伴い、地域社会に二次災害の懸念が残される。浸透による地すべりダムの破壊予測は災害軽減に有効であるが、その前兆現象を抽出することは災害予測のカギとなる。本論文は室内実験手法を用いて、浸透による地すべりダム崩壊の水力学制約条件を解明し、地すべりダム崩壊の前兆現象の抽出を目的としている。

具体的に、1) 粒度組成の異なる土試料を用いて地すべりダム模型を作り、それに対して水力学条件を変えて、地すべりダム崩壊と非崩壊の実験を実施し、ダム下流から流出する水の濁度 TSS の変化及びダム頂部の沈下量を計測し、地すべりダム崩壊の前兆現象パラメータとして使用する。2) ダム構成土粒度の異なる地すべりダム模型を用いて破壊実験を行い、ダム下流から流出する水の体積と濁度 TSS を計測し、その関係を注目した。室内実験を通して、地すべりダムサイズ、

貯水域面積，地すべりダム構成材料，動水勾配などを変えることによって，地すべりダムの破壊状況，そして，地すべりダム沈下量，流出水濁度の計測を行い，地すべりダム崩壊の前兆現象の抽出を試みた。

その結果，1) 地すべりダムの構成粒子サイズの違いによって，地すべりダム破壊機構が違うことが分かった。ダム頂部の安定性を確認するために，濁度の変化傾向を最初に確認する必要がある。濁度が増えると，地すべりダムが破壊する可能性が高くなる。すべての実験結果から，動水勾配の変化に3つのステージが存在していることが見出された。すなわち，動水勾配は，(1) 最初に増加し始め，ピーク値に達する；(2) ピーク値から減少し始め，最小値に達する；(3) 浸透水が出始めると，ダム頂部の垂直変位が増加し始め，濁度が再び増加し始める。濁度の増加とダム頂部垂直変位の増加に伴って浸透水が出てくると，地すべりダムの破壊が発生する。より微細な粒子を含むサンプルで実験した結果，破壊の可能性が高くなることが示された。2) 地すべりダム破壊は，構成する土の粒子サイズ，ダム形状，貯水池への流入速度，貯水池の面積，ダム内の動水勾配，浸透水量，浸透水の濁度に依存していることが分かり，細粒部の増加に伴い，またダム内浸透水量が増えることによって，濁度が増えて，地すべりダム寿命が短くなることが分かった。

この研究では，自ら設計・構築した実験装置を用いて，地すべりダム崩壊に影響する素因・誘因を総合的に試験・考察し，異なる構成材料の地すべりダム崩壊を誘発する水力学条件を明らかにした。注目すべきは，現地で計測しやすいダム頂部沈下量とダム下流から流出する水の濁度を基にして崩壊に至る前兆現象の抽出方法を考案した部分である。動水勾配とダム変形との対応では，破壊型地すべりダムにおける三つのステージを見出した。また，濁度の上昇は地すべりダム破壊予測の重要な指標として使えることを具体的に指摘した。得られた結果は1g場での成果であるので，実務において，応用の価値が高いと期待される。

研究成果は査読付きの国際学術誌 *Geoenvironmental Disasters* に2編投稿し受理され，1編が公表済みで，1編印刷中である。2編の関連論文はともに，申請者が筆頭著者である。

以上を総合して，本論文は博士（工学）の学位授与のための論文として合格と判断した。