

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560499

研究課題名（和文） 流速に着目した浸透破壊規準とその天然堰止めダムへの応用

研究課題名（英文） Study on the criterion of the seepage failure based on the flow velocity and applied it to the stability of a natural dams

研究代表者

梅村 順 (UMEMURA JUN)

日本大学・工学部・講師

研究者番号：70256816

研究成果の概要（和文）：

本申請課題では、土の浸透破壊現象について、流速および動水勾配に着目したそれぞれの評価規準を評価するための試験装置を作成し、それらを用いた評価手法を提案した。そして、それら評価規準の関係を土の物理的性質と関連づけて、それらの適用条件を明らかにした。また、それら規準のうち、土粒子個々の運搬に着目したモデルの応用として、天然ダムの現場での事例に適用を試みるための模型実験を実施し、適用性の可否と問題点を整理した。

研究成果の概要（英文）：

On this study, two testing equipment for evaluating the criterion of the seepage failures were developed. One is for the evaluated by the velocity of seepage flow, and the other by the hydraulic gradient. And the testing methods using them were proposed.

Then the relation of these evaluation criteria was related with the physical property of soil, and those applicable conditions made clarified. Moreover, as the application about the criterion based on the velocity of flow, some model tests for stability of a natural dam against the toppling flow was carried out, and its problems and applicability were clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤防災・浸透破壊・天然堰止めダム・限界流速・限界動水勾配・室内実験

## 1. 研究開始当初の背景

近年続発している内陸地震で生じた地すべりダムや、申請者がこれまで行ってきたヒマラヤの氷河湖決壊洪水（以下、GLOFと呼ぶ）を引き起こすモレーン（氷河堆積物）ダ

ム等の天然堰止めダムの危険度評価を検討する際に、パイピングをはじめとする浸透破壊に係る知識、知見が必要になるケースが増えている。浸透破壊は従来、開削工事での地下水に対する安定性や豪雨時の斜面安定

性などを対象に多くの研究がなされ、幾つかの破壊規準が提案されている。しかし、浸透破壊現象は様々な形態を示し複雑なので、それら規準の適用に決め手を欠き、迷うことが多い。

浸透破壊規準を実験的に検討しようとする研究は古くから行われ、大きく2つに分けられる。一つは、限界動水勾配式に代表される、土塊に作用する浸透流の圧力差に対する抵抗力を評価しようとするものである。もう一つは、土粒子1つ1つに対して作用する水の粘性に起因した流体力に対する抵抗力を評価しようとするものである。これらの研究ではそれぞれで力学系が異なるため、両者の間の関係には未解明な点が残されている。

近年、地下でのハイドロフラクチャリングや、液化化後の永久変形に関連し、土要素の応力状態とひずみの関係に着目した検討が行われている。これらの研究では、有効応力の現象に伴うせん断変形の進行を主に検討していることから、圧力差に視点が置かれている。また、模型実験では、開削現場での土留め壁回り込み地下水に対する安定性を実験的に検討したものが多い。これらの研究では多くの場合、現象の把握に重点を置いたものである。さらに、地すべりダムをはじめとする天然堰止めダムについて、現地調査に基づく定性的な検討が行われ、ダムに作用するクリープ比が統計的に検討されている。

一方、水理学の分野では、DAMBRKモデルをはじめ、パイピングや越流に伴うアースダムの安定性評価手法が幾つか提案されている。これらのモデルの幾つかは実用に供され、天然堰止めダムの安定性検討にも応用できるが、パイピングに対する地盤工学的知見からの検討が進めば、より精度の良い評価手法への発展が期待できると思われる。

## 2. 研究の目的

以上のように、浸透破壊規準に関する研究は、動水勾配と流速との2つの視点から、近年では動水勾配から検討するものが多い傾向にある。しかし、特に天然堰止めダム等の場合、破壊の原因はパイピングでありその現象が浸透水出口での浸透流速の増加による洗い出しによるので、流速からの検討が必要になる。要するに、破壊の形態は土の性質に依存するから、1)動水勾配だけでなく、流速からの規準にも着目し、これら2つの規準についてそれぞれの基礎的な位置づけと関係を明確にすること、2)これらの規準を、特に土の性質と関連づけて適用性を判断できれば、DAMBRKモデルのような水理学の分野での成果に組み込む等して、より精度の高い危険度評価が可能になると思われる。これらのことから、既に限界流速の検討が可能な流量制御型浸透破壊試験装置(以下、流量制御

装置)を改良し、上記目的の達成を目指した。

## 3. 研究の方法

(1) 流速による浸透破壊規準の実験による評価方法の検討

改良した流量制御装置を用いて、ガラスビーズや、侵食に弱いといわれるまさ土を対象に、いくつかの実験を実施した。そして、それらの結果を精査、また、限界流速式や限界流速でのモデルと評価値とを比較して評価の位置づけを明確にした。さらに、それらの方法を定式化して提案した。

(2) 土の物理的性質と浸透破壊限界との関係

土粒子個々が受ける粒体力の評価値として、簡便に調べることができる沈降試験器を作成して、粒度で分類したガラスビーズとまさ土を対象に、限界流速を求めた。それらの結果に基づき流量制御装置を用いたガラスビーズを対象とした実験を行い、それらの土粒子の密度や粒度のような物理的性質等をパラメータに、土が受ける作用力を調べた。次いで、まさ土を対象に実験を行い、ガラスビーズでの結果と比較して、それらの破壊に対する抵抗力を調べた。このとき、発揮されるその抵抗力と、物理的、力学的性質等の地盤工学的性質との関係を明らかにし、限界流速と限界動水勾配の適用範囲を定量的に表すことに主眼を置いた。

(3) 評価値の原位置への適用

天然堰止めダムを想定した模型実験実施して、土粒子個々の移動に着目した評価を試み、既存のDAMBRKモデルプログラムへの適用性と問題点を明らかにし、後の研究への展望をまとめた。

## 4. 研究成果

(1) 土木工学分野、および、地質学(堆積学)分野を対象に浸透破壊に関わる文献を収集し、およそ60を収集した。これらから、浸透破壊の評価基準に、初歩的な勘違いと思われる力学系が混乱した評価方法が多く認められ、それらが評価基準を複雑にしていることを確認した。また、ほぼ全てが静力学に置換した系を取り扱っており、時間次元を取り入れたものはなかった。そこで、土が浸透流から受ける力を、静水圧と動水圧に配分されると考える概念を導入し、その方法の提案を行った。

(2) 土粒子そのものの性質としての限界流速を捉えることを試みて、それを計測するための装置を作成した。そして、この装置を用いてガラスビーズ、まさ土、しらす等の試料を対象に実験を行った。それらの結果、限界流速が単に、土粒子そのものの性質として表すことが困難で、土粒子の形状や大きさに依存して引き起こされる、土粒子近傍に発生する

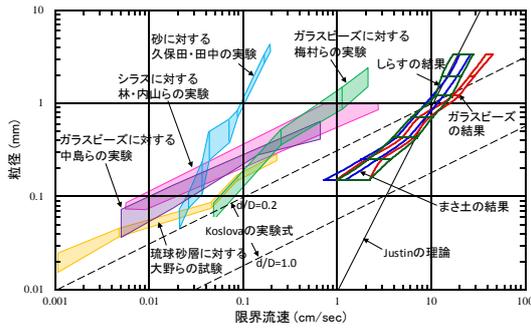


図-1 限界流速試験結果

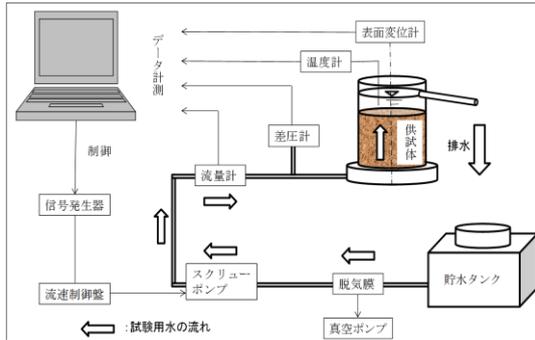


図-2 流量制御型試験装置模式図

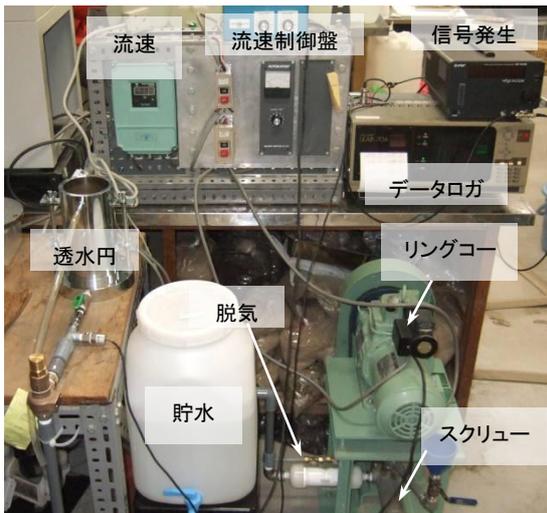


写真-1 流量制御型試験装置

水の流れ状態に大きく影響を受けることが解った。

また、土粒子近傍に生じる流れ状態の影響を取り除いた限界流速値は、理論式から得られる値とほぼ同じになることを確認した。そこでこれらの値を利用して、土粒子の形状を流れの乱れ状態から評価する方法を提案した。(図-1)

(3) 流量制御型実験装置(図-2, 写真-1)に、購入した非接触型変位計と微差圧計を取り付けて改良し、ガラスビーズを対象とした実験を行って、性能確認した。次いで、特に、粒度範囲を数種類変え広くしたガラスビーズとまさ土を対象に、特にそれら供試体の土の間隙比が及ぼす影響について調べたとこ

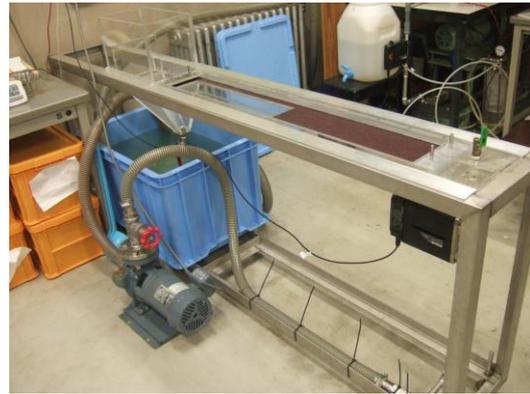


写真-2 水路模型実験装置外観

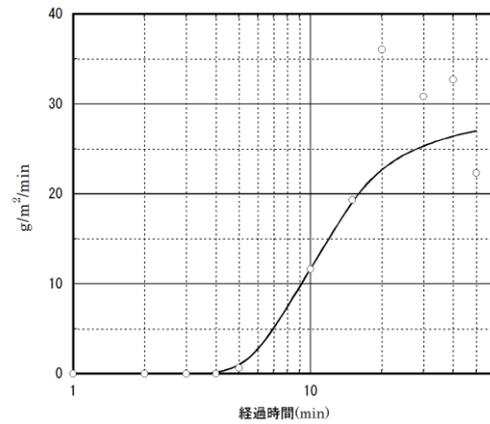


図-3 水路実験装置での進行性状の様子

ろ、静水圧から評価される抵抗力は間隙比に依存したが、動水圧から評価される値は、それによらないことが判った。これらの結果から、静水圧での破壊には極限釣り合いの傾向、動水圧に起因する破壊には進行性の傾向がそれぞれ認められ、これらのことが浸透破壊現象を複雑にしていたことが分かった。

(4) 天然堰止めダムでの越流侵食を想定した水路模型実験装置を作成(写真-2)し、その性能確認を進めた。その結果、侵食現象が経時現象(図-3)であり、その点で、動水圧に起因する破壊と類似していること、土の表面で土粒子の交換が生じて粗粒化が生じることを確認した。このことから、越流侵食は動水圧からの評価と密接に関連していると考えられ、この視点からの評価が必要であることが解った。

(5) BREACH モデル、DAMBRK モデル等、10 の既存のモデルについて、それぞれのモデルパラメータと特徴を整理した。それに基づき、動水圧からの評価との関連づけを試みたが、経時的現象の評価に問題が残された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

(1) Umemura, J., Higaki, D., Sato, G., Komori, J. & Koike, T.: Material properties of the moraine of the glacial lake and the examination about the outburst of dam of glacial lake for the hazard assessment, Journal of Nepal Geological Society, 査読有, Vol. 41, 2010, pp. 12.

(2) 石塚陽人・橋本桂弥・梅村 順: 岩手・宮城内陸地震で生じた2つの土砂災害に関する土の性質とそれから見た機構の検討, 第5回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, 2010, pp. 159-164.

(3) 梅村 順: 流速制御型浸透破壊実験装置の製作とそれを用いた限界流速・限界動水勾配の実験的検討, 地盤工学会誌, 査読有, 2009, Vol. 57, No. 9, pp. 22-25.

〔学会発表〕(計 11 件)

(1) 梅村 順: 動水勾配と流速それぞれの浸透破壊発生規準の関係に関する実験的検討, 公益社団法人土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月9日, 東北大学.

(2) 梅村 順: 天然ダムの決壊危険度を背景とした越流表面侵食の評価に関する実験的検討, 公益社団法人土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月9日, 東北大学.

(3) 芦田未来矢・梅村 順: 浸透破壊現象における流速と動水勾配の関係に関する基礎的検討, 公益社団法人土木学会東北支部技術研究発表会, 2012年3月3日, 秋田大学.

(4) 芦田未来矢・梅村 順: 限界流速の評価に関する基礎的実験とその結果に基づく土粒子形状の評価について, 公益社団法人地盤工学会第46回地盤工学研究発表会, 2011年7月15日, 神戸国際会議場.

(5) 梅村 順: ブータンヒマラヤの氷河湖堰止めモレーンダム構成材料の性質とダム決壊に係る2,3の検討, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月26日, 千葉県幕張メッセ国際会議場.

(6) 梅村 順: ヒマラヤ地域における氷河湖決壊洪水の流量解析とリスク評価, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月26日, 千葉県幕張メッセ国際会議場.

(7) 梅村 順: Watershed risk assessment of GLOF in Bhutan - a case study in Mangde Chhu river-basin -, the 5th Symposium on Sediment-Related Disasters, 2010年8月11日, 山口大学工学部.

(8) Umemura, J.: Material properties of the moraine of the glacial lake and the examination about the outburst of dam of glacial lake for the hazard assessment, Sixth Nepal Geological Congress, Nov., 16, 2010., Everest Hotel, Nepal.

(9) Umemura, J.: Geological and geomorphological causes of landslides

induced by the Iwate-Miyagi Inland Earthquake in 2008, Sixth Nepal Geological Congress, Nov., 16, 2010., Everest Hotel, Nepal.

(10) Umemura, J.: Landslide distribution as a potential GLOF risk in Mangde-chu River Basin, Bhutan, Sixth Nepal Geological Congress, Nov., 16, 2010., Everest Hotel, Nepal.

(11) 芦田未来也・梅村 順: 浸透破壊における限界流速の評価規準に関する基礎的実験, 社団法人土木学会東北支部技術研究発表会, 2011年3月5日, 東北工業大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

梅村 順 (UMEMURA JUN)

日本大学・工学部・講師

研究者番号: 70256816

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: