

# 損傷実態を踏まえた砂防堰堤の補強に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究機関：平 31～令 3

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：石井靖雄、石田孝司、平田遼、  
山田拓、武澤永純

## 【要旨】

土石流等により損傷した砂防堰堤の効率的な補強対策を提案することを目的とし、全国の砂防堰堤の損傷事例を収集し、集計・分類した。調査の結果、コンクリート砂防堰堤では機能が失われる致命的な損傷事例として本堤部破損・沈下がみられた。沈下事例では基礎地盤流失が起こっており、水叩きの損傷から基礎地盤流失に至る過程が推定された。また、石積砂防堰堤の水理実験により破壊メカニズムを検討した結果、天端の破損が下流部法面の流失に至る要因になり得ることが明らかになった。さらに、これらの損傷事例に対して施された補強・改築方法を分類しとりまとめた。

キーワード：損傷事例、基礎地盤流失、模型実験、補強・改築事例

## 1. はじめに

全国各地に設置された砂防堰堤は年数の経過とともに老朽化が進んでおり、損傷した砂防堰堤の補強・改築等の維持管理は計画的かつ効率的に行う必要がある。損傷が発生した場合、改築・補強等の復旧対策がなされるが、損傷の度合いによる対策の優先順位を事前に整理しておくとともに、致命的な損傷が発生する前から対策を検討していくことで、砂防施設の維持管理の計画はより効率的になると考えられる。

「土砂の流出抑制あるいは調節」及び「土石流の捕捉あるいは減勢」等の砂防堰堤の役割<sup>1)</sup>を十分に果たせなくなる致命的な損傷事例もあり、堰堤下流で土砂・水が氾濫するリスクが高まる他、修繕費も大きくかかるため、対策の優先順位は高い。損傷が致命的になる前に対策を実施するには、土石流・土砂流出など致命的な損傷を引き起こす要因および過程を推定する必要がある。

砂防堰堤の損傷過程を推定する方法の 1 つとして、過去の損傷事例を整理し、損傷実態を把握することがある。砂防堰堤は堤体材料別に見ると、コンクリート、粗石コンクリート、石積、鋼製があり、全国の多くの堰堤はコンクリートで施工されており、損傷事例もコンクリート砂防堰堤が多い。また、近年では平成 30 年 7 月豪雨時に石積砂防堰堤の被災事例も確認されていた。

以上より、本研究はコンクリート及び石積砂防堰堤について、土石流等が作用した際の損傷実態を把握するとともにメカニズムを推定し、砂防堰堤の補強方法の検討により、効率的な補強対策を提案することを目的とする。

本研究では、①土石流・土砂流による砂防堰堤による損傷実態の把握②損傷メカニズムの推定③既設堰堤の補強方法の提案を行った。①については、すべての堤体材料の砂防堰堤を対象に実施した。一方、②、③については、最も収集事例数の多かったコンクリート砂防堰堤、平成 30 年 7 月豪雨で被害の多く確認された石積砂防堰堤それぞれで検討を進めた。

## 2. 土石流等による外力作用時の砂防堰堤の損傷実態把握

### 2.1 研究方法

国土交通省が収集した全国の砂防堰堤の損傷事例 800 事例を用いて、堤体材料、損傷部位、損傷原因の集計と分類を行った。また、土石流・土砂流で損傷したコンクリート不透過型砂防堰堤のうち、写真で状況を確認できた 118 事例は損傷形態の分類と整理を行うことで、致命的な損傷事例を抽出した。

### 2.2 結果

砂防堰堤の損傷事例を堤体材料別に分類すると事例数が最も多いものはコンクリート砂防堰堤であり約 5 割を占め、その他に粗石コンクリートや石積を材料とする砂防堰堤がそれぞれ全体の約 2 割を占めている(図-1)。損傷の原因はいずれの堤体材料の砂防堰堤も土石流・土砂流を原因とするものが大半を占める(図-2)。損傷が発生した部位はコンクリート砂防堰堤では袖部、石積砂防堰堤では本堤部が最も多い(表-1)。

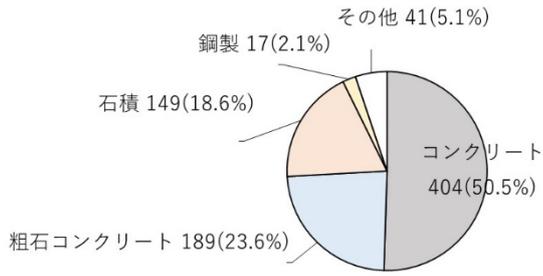


図-1 堤体材料別損傷割合(全 800 事例)

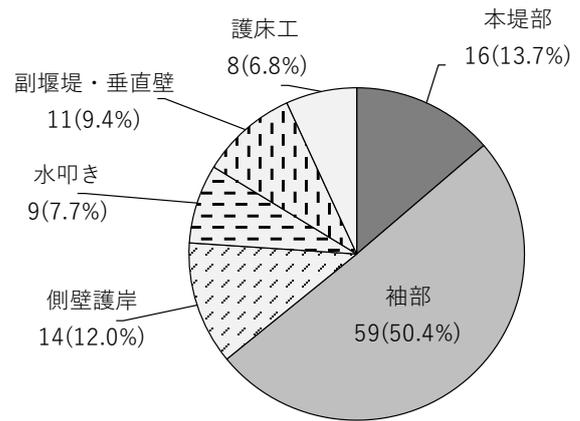


図-4 破損 117 箇所の部位別箇所数及び割合

本堤部破損以外に砂防堰堤の致命的な損傷事例として本堤部の沈下がある。図-3の本堤部沈下事例6箇所(4事例)とも本堤部の基礎地盤が流失していることから、本堤の一部は基礎地盤流失後に沈下したと考えられる。この6箇所含め基礎地盤流失が発生した事例は63箇所あり(図-3)、これらも放置していた場合、致命的な損傷につながった可能性がある。



図-2 堤体材料別・推定される損傷の原因別事例数及び割合

表-1 損傷が発生した部位の堤体材料別事例数

堤体材料	部位					合計(箇所)
	本堤部	袖部	前庭保護工	基礎地盤(本堤部)	基礎地盤(前庭保護工)	
コンクリート	132	142	133	102	98	607
粗石コンクリート	67	25	74	60	60	286
石積	81	58	50	26	20	235
鋼製	12	8	2	2	2	26
その他	19	10	17	10	8	64
計	311	243	276	200	188	1218

コンクリート不透過型砂防堰堤のうち損傷事例を写真で確認できた 118 事例で最も事例数が多かったのは、部位の一部が欠落した破損である(図-3)。破損部位のなかでも最も多かったものは袖部であり(図-4)、また、本堤部が破損した 16 事例では袖部も併せて破損している。本堤部破損は砂防堰堤の機能喪失につながる致命的な損傷であると考え、3.1 で破損に至った要因の検討を行った。

### 3. コンクリート砂防堰堤の損傷メカニズム推定および補強・改築方法整理

#### 3.1 砂防堰堤の損傷メカニズム推定

##### 3.1.1 研究方法

2.2 で整理したコンクリート不透過型砂防堰堤の損傷事例 118 事例のうち、最も事例数の多かった袖部破損および、本堤部の機能喪失に直接的に影響すると考えられる事象の1つである砂防堰堤の沈下に着目した。袖部破損では、損傷に至った要因を考察するために袖部の水通し天端幅の整理と、外力を考察した。基礎地盤流失事例ではこれが誘因となって本堤部の機能喪失に至ったと判断した事例に着目し、致命的な損傷に至る過程を推定した。

袖部破損事例のうち、袖部及び本堤部を破損していた 16 事例の天端幅が現行基準を満たしているかを確認した。外力の考察を行った事例は、平成 24 年 7 月の土砂災害で右岸側袖部の一部が流出した大分県の岳本川 1 号砂防堰堤である。基礎地盤流失事例の考察では、損傷が発生した部位とその状態を写真で確認し、本堤部の沈下による機能喪失に至る間の施設変化の過程も考察している。

##### 3.1.2 結果

3.1 で述べた本堤部破損及び袖部破損のあったコンクリート砂防堰堤 16 事例の天端幅を確認したところ、いずれも 3m 未満であり現行基準<sup>2)</sup>を満たしていなかった。本堤破損及び袖部の破損に至った要因として、天端幅の不

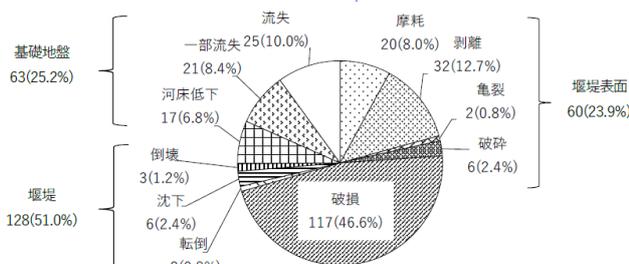


図-3 写真が存在する砂防堰堤の損傷形態別箇所数及び割合

足以外に、設計基準以上の外力が働いた可能性が考えられ、袖部の破損した事例の1つである大分県の岳本川1号砂防堰堤において、現地で発生した土石流荷重と照査基準から逆算した土石流荷重を推定し比較した。

現行の土石流・流木対策設計技術指針解説<sup>2)</sup>P63に記載されている数式を用いて、それぞれの土石流衝撃力と土石流流体力を算出した。現地で発生した土石流の荷重は地形データと災害後の現地調査結果に基づき推定し、袖部を破壊させる土石流荷重は設計照査基準から逆算した。現地で発生した土石流の衝撃力、流体力は、袖部の照査基準から逆算した土石流の衝撃力、流体力を上回る結果となった(表-2)。この結果から、袖部破損の要因として、天端幅が現行基準を満たしていないことの他に、設計基準を上回る土石流荷重が働いた可能性が考えられる。

表-2 岳本川土石流の流体力・衝撃力の計算結果

項目	A)袖部の照査結果から逆算した土石流の荷重	B) 現地で発生した土石流の荷重	B/A
流体力	118.5	356.3	3.0
衝撃力	84.1	651.1	7.7

基礎地盤流失発生要因は岐阜県のナンノ谷砂防堰堤で発生した事例で検討した。この堰堤は1895年に発生した大雨による大崩壊によって形成された天然ダム対策の1つとして1964年に河床勾配約2°の位置に設置されたが、2018年に垂直壁の一部沈下、水叩きの一部流失及び本堤部の沈下が確認された。本堤部沈下前の定期点検によると、2014年には水叩きの一部流失が確認された。また、垂直壁の沈下発生前には、水叩きの損傷箇所に河川水が流入している。水叩きに巨礫が確認されることから、水叩きの一部流失が生じた原因として水通し部から巨礫が落下し、その衝撃による亀裂等の発生が考えられる(図-5、写真-1)。



写真-1. 想定される損傷の段階別写真-1

(番号：図-5の損傷過程の順序に対応)

①：細谷10号砂防堰堤(石川県)

②, ③, ④, ⑤：ナンノ谷3号砂防堰堤(岐阜県)

### 3.2 砂防堰堤の補強・改築方法整理

#### 3.2.1 研究方法

2.2で整理した基礎地盤流失事例で実施されている復旧工法を整理した。発生していた基礎地盤流失の程度を、下流部の河床低下、背面の堆積土砂流失には至らない一部流失、背面の堆積土砂が流失する流失に分類した。また、復旧した部位別、復旧工事内容(新設、原型復旧、補強)別に整理した。

#### 3.2.2 結果

基礎地盤流失後に実施した復旧事例を整理した結果(表-3)では、河床低下あるいは基礎地盤流失後に根継工や前庭保護工(副堰堤含む)の補強・改築が実施されている。根継工の他に補強対策として腹付工も多く実施されていたが、これは堤体の安定性確保の目的で実施されている。本堤部の沈下に至った4事例はいずれも砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説<sup>3)</sup>で土石流の堆積区間とされている河床勾配が2°よりも緩い区間で基礎地盤流失が発生している。

既存不適格の堰堤では堤体の安定性確保のため、腹付工は必要であるが、今後の損傷防止の観点からは基礎地盤流失のリスクのある箇所でも根継工や前庭保護工整備も併せて行うのが有効である。2.2で整理した事例のうち、本堤部上部側の破損のあった12事例、本堤部全体の破損のあった1事例、本堤部転倒のあった1事例、本堤部沈下のあった4事例の河床勾配-集水面積の関係を整理したところ(図-6)、勾配が緩く集水面積が広いと沈下が発生している傾向が見られるため、このような箇所では事前に基礎地盤流失の対策を検討するのも有効であると考えられる。

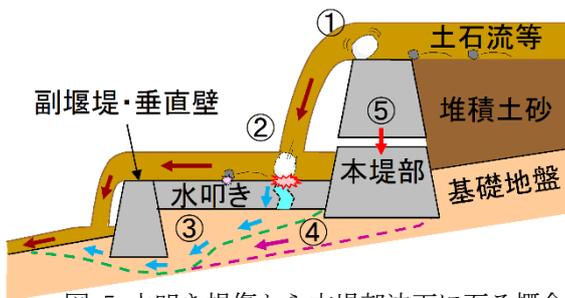


図-5 水叩き損傷から本堤部沈下に至る概念図

(番号：損傷過程の順序)

表-3 基礎地盤流失後の補強・改築事例

流失箇所	基礎地盤 流失レベル	根継工	前庭保護 工の補 強・改築	下流に 堰堤新設
本堤部基礎地盤	河床低下	2	3	1
	一部流失	0	1	2
	流失	0	1	0
前庭保護工基礎地盤	河床低下	2	1	0
	一部流失	2	8	0
	流失	1	4	0
本堤部基礎地盤及 び前庭保護工基礎 地盤	河床低下	0	1	0
	一部流失	0	1	0
	流失	0	1	0
	一部流失	0	0	1
	流失	0	0	1

(重複あり)

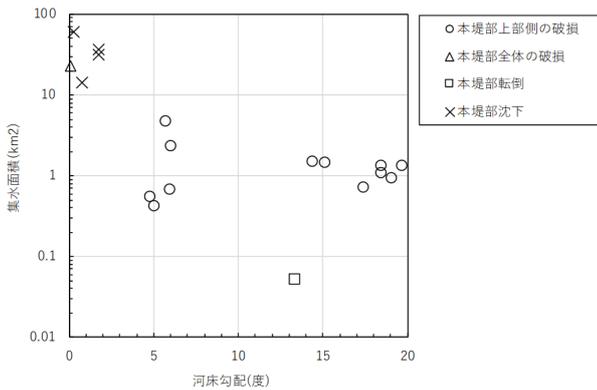


図-6 河床勾配—集水面積図

#### 4. 石積砂防堰堤の損傷メカニズム推定および補強・改築方法整理

##### 4.1 損傷メカニズム推定のための模型実験

###### 4.1.1 実験方法

表-1 の石積み砂防堰堤の損傷実態を整理した結果では本堤部が損傷している事例が多くみられた。そこで、石積み砂防堰堤の破損メカニズムを検討するために、模型実験を実施した。石積み砂防堰堤の被害を軽減するために部分的な補強を実施するには、破損しやすい箇所を把握することが重要であり、実験水路に堰堤の模型を設置するとともに土砂を敷設し、水路上流から水を供給し、土石流を発生させ、模型を越流させた(図-7)。堰堤の横に高速度ビデオカメラを設置し、堰堤の破壊状況を観察した。実験ケースは、ポンプからの供給流量とブロックサイズを変えたものを設定した(表-4、図-8)。

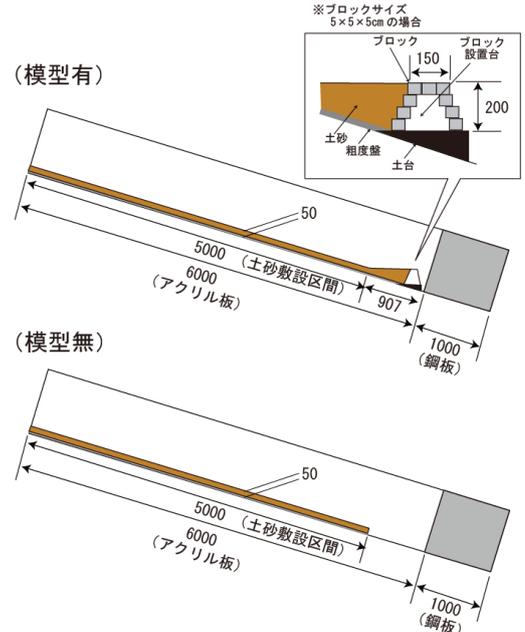


図-7 石積砂防堰堤破壊実験の水路規格(単位:mm)

表-4 実験ケース

ケース名	供給流量 (cm <sup>3</sup> /sec)	試料	模型	ブロック サイズ(mm)
Case0-L	7900	A	無	-
CaseA-L			有	25×25×25
CaseB-L			有	50×50×50
CaseC-L			有	50×50×25
Case0-S	3200	B	無	-
CaseA-S			有	25×25×25
CaseB-S			有	50×50×50
CaseC-S			有	50×50×25



ブロックに示されている数字はブロック番号  
ブロックサイズ: (a) 25×25×25 (mm)、(b) 50×50×50 (mm)、(c) 50×50×25 (mm)

図-8 石積模型のブロックサイズ

###### 4.1.2 結果と考察

破壊実験の結果は、下流法肩のブロックが先に流出したものと下流の法面のブロックが流出した事例が、6パターン中4パターン確認された(図-9のCaseB-L, CaseC-L, CaseA-S, CaseB-S)。流量を大きく設定した場合には、法肩のブロックが最初に流失し、残りの下流側のブロック

が流失するケースがあった (CaseA-L)。一方で、下流側のブロックがまとまって前傾し、下流側へ流失するケースも確認された (CaseB-L, CaseB-S)。流量を小さくすると、底部側のブロックが流失するケースもあった (CaseA-S)。

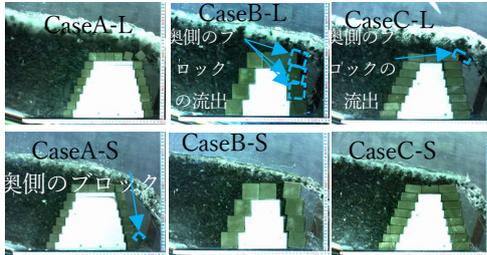


図-9 石積砂防堰堤破壊実験の結果写真

## 4.2 砂防堰堤の補強・改築方法整理

### 4.2.1 研究方法

国土交通省が全国から収集した石積砂防堰堤の補強・改築事例 46 事例のうち、被災して堤体が完全に流失した等の理由で本堤を新設した事例と、堤体の安定性確保を目的に実施された腹付工の事例を除き、35 事例の損傷状態と対策内容を整理した。なお、これら事例では平成 29 年以降に補強・改築がなされている。

### 4.2.2 結果

石積砂防堰堤の補強・改築事例では前庭保護工の補強・改築が実施されている事例が多くあった (表-5)。なお、35 事例中 27 事例は河床勾配 2° の土石流堆積区間以上の区間で実施されているものであった。前庭保護工の補強・改築を実施することとなった理由は点検の結果、水叩き損傷や河床洗堀の発生あるいは発生の恐れが確認されたことによる。4.1.2 の実験結果のように、天端の欠損が確認され、天端保護の対策を行っている事例も多くあった。

表-5 石積砂防堰堤の補強・改築事例

損傷形態	基礎改良	天端保護	前庭保護工 (護床工含む) の補強・改築
洗堀	1	4	13
天端損傷	1	6	2
洗堀及び天端損傷	2	3	8

(重複あり)

4.1.2 の実験結果より、石積砂防堰堤では、天端部や下流法面の流失リスクが高いことから、補強・改築時に前庭保護工の補強・改築や堤冠部保護を行うことは有効で

あると考えられる。石積砂防堰堤は現行の土石流・流木対策設計技術指針で定められている天端幅 3m 未満のものが多く存在し、堤体の安定性確保のため、腹付工が多く実施されるが、洗堀防止および下流法面流出を想定し、堤冠部保護や前庭保護工の補強・改築も併せて検討するのが有効であると考えられる。

## 5. まとめ

本研究は土石流等が作用した際の損傷実態を把握するとともに土石流の程度を推定し、砂防堰堤の補強方法の検討により、効率的な補強対策を提案することを目的とするものである。そのため、まず全国の砂防堰堤の損傷事例を収集し、堤体材料・損傷部位・損傷原因・損傷形態の、集計と分類を行った。その結果、コンクリート砂防堰堤では機能が失われる致命的な損傷事例として本堤部破損・沈下があった。また、石積砂防堰堤も土石流・土砂流による損傷事例が多く、本堤部・袖部・前庭保護工いずれも多くの損傷事例が確認された。そこで、それぞれの損傷に至った要因や外力について、損傷前後の点検結果写真や変状の時系列変化から推定を行った。特に石積み砂防堰堤については水理実験により破壊メカニズムを検討した。コンクリート砂防堰堤の本堤部破損事例では設計基準を上回る土石流外力により、袖部が破損しているものが確認された。コンクリート砂防堰堤の沈下事例では基礎地盤流失が起こっており、基礎地盤流失発生の要因を推定した。また、石積砂防堰堤については、天端の破損が下流法面全体の流失に至る要因になり得ることが分かった。さらに、これらの損傷事例に対して施された補強・改築方法を整理し提案を行った。コンクリート砂防堰堤の基礎地盤流失後に実施した復旧事例を整理したところ、河床低下あるいは基礎地盤流失発生後、根継工あるいは水叩きの新設が実施されていた。既存不適格の堰堤では堤体の安定確保のため、腹付工は必要であるが、今後の損傷防止の観点からは基礎地盤流失のリスクのある箇所では根継工や前庭保護工整備も併せて行うのが有効である。一方、石積砂防堰堤では、天端部や下流法面の流失リスクが高く、補強時には前庭保護工整備や天端保護も重要であると考えられる。

## 謝辞

今回用いた砂防堰堤の損傷事例関連資料は北海道開発局・各地方整備局・内閣府沖縄総合事務局・各都道府県防関係部局にご提供いただいた。

## 参考文献

- 1) (社)日本河川協会編：国土交通省河川砂防技術基準同解説 計画編，国土交通省河川局監修，p. 183，2005－640
- 2) 国土技術政策総合研究所(2016)：土石流・流木対策設計技術指針 解説，国土技術政策総合研究所資料，No. 905，ISSN 1346-7328
- 3) 国土技術総合政策研究所(2018)：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説，No. 904，ISSN 1346-7328

# RESEARCH ON REINFORCEMENT OF SABO DAMS BASED ON THE ACTUAL DAMAGE

Research Period: FY2018-2021

Research Team: Volcano and Debris Flow Research Team,

Erosion and Sediment Control Research Group

Author: ISHII Yasuo

ISHIDA Koji

HIRATA Ryo

YAMADA Taku

TAKEZAWA Nagazumi

Abstract: To propose efficient reinforcement measures for sabo dams damaged by debris, the damage cases of sabo dams nationwide were considered, and their case details were tabulated and classified. The damage and subsidence of the main embankment were found as a fatal case of loss of function in the concrete sabo dam. Moreover, the rupture mechanism was analyzed by hydraulic experiments on the masonry dam. The reinforcement methods applied to these damage cases were classified and summarized.

Keywords: Damage cases, foundation ground loss, model experiments, reinforcement / reconstruction cases