

事例調査による砂防堰堤の損傷に至る過程の推定

三浦光太郎・山田 拓・石田孝司

表-1 写真で推定した損傷形態(石田ら³⁾から抜粋)

損傷形態	写真で推定した状態
摩耗	本堤部、副堰堤の天端表面あるいは水叩きの一部が割れた状態
剥離	本堤部あるいは袖部の下流法面が欠けた状態
亀裂	本堤部の表面に割れ目が入った状態
破碎	側壁護岸上面の一部が欠けた状態
破損	部位の一部あるいは全体が失われた状態
転倒	本堤部あるいは袖部の一部が分離し、下流に倒れた状態
沈下	本堤部、袖部あるいは垂直壁の一部が沈んだ状態
倒壊	垂直壁が倒れた状態

1. はじめに

砂防堰堤は、土石流の衝突等によって損傷する場合があります。損傷すると、砂防堰堤が保有している土石流の捕捉・減勢や土砂の流出抑制・調節等の機能を発揮できず、土砂災害等の防止あるいは被害の軽減が困難となる恐れがある。そのような損傷状況を防ぐためには、損傷の原因や過程を把握し、計画、設計、施工、維持管理の各段階で必要に応じて適切な対応をとる必要がある。

損傷の原因や過程を検討する方法の一つとして、災害事例から損傷の実態を明らかにすることが挙げられる。土木研究所（以下「土研」という。）は、建設省砂防課（当時）の協力を得て1979年度、1987年度に、損傷した砂防堰堤の事例を収集し、災害実態から設計、施工、計画上の問題点を整理した^{1),2)}。その後30年以上が経過し、この間にも砂防堰堤の損傷事例が報告された。

そこで、前記の資料^{1),2)}に掲載されている損傷事例に加えて、国土交通省が2019年度に収集した損傷事例、学術誌や施設管理者の調査報告事例及び土研で調査した損傷事例を整理し、損傷の実態について分析を行った³⁾。その結果、損傷事例として軽微な損傷の他、砂防堰堤の機能が低下あるいは喪失するといった重大な損傷も見られた。重大な損傷には大規模な修繕が必要となる場合が多いが、重大な損傷に至る前段階の現象を把握できれば、早期の段階で比較的軽微な修繕で予防的保全の対応が可能になると考えられる。

本報告では、砂防堰堤の重大な損傷の前段階に現れる現象の把握を目的として、砂防堰堤の損傷事例を基に重大な損傷に至る過程を推定した結果を報告する。

2. 研究方法

2.1 損傷した砂防堰堤の部位及び損傷形態の整理

収集した損傷事例の中で、事例数の多い土石流

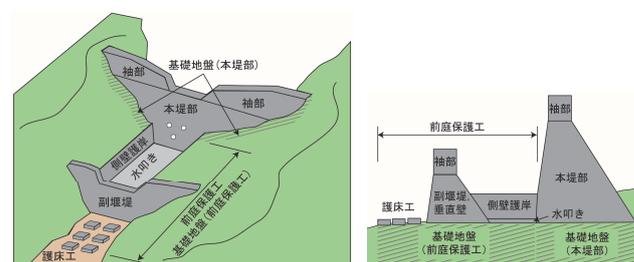


図-1 各部位の名称³⁾

・土石流によって損傷が発生したと推定されるコンクリート不透過型砂防堰堤118基を対象とした。損傷事例118基について、写真から損傷した部位及び損傷形態をそれぞれ表-1のとおり区分し、損傷形態別・部位別に箇所数を集計した。各部位の名称は、図-1に示すとおりである。

2.2 本検討での重大な損傷抽出の着目点

袖部は非越流部の下流洗堀防止、前庭保護工は越流部の落下水による基礎地盤の洗堀防止を目的に設置される。よって、砂防堰堤の機能である土石流の捕捉・減勢や土砂の流出抑制・調節等は本堤部が担っているため、本稿では本堤部の損傷及び基礎地盤が流失した事例に着目し、重大な損傷を抽出した。

重大な損傷は、土石流が本堤部に衝突することや、出水時の営力によって洗堀が急激に進行し、本堤部の基礎地盤が流失することで短時間に発生する場合と、洗堀が徐々に進行して発生する場合が考えられる。短時間に発生する重大な損傷は、土石流等発生後の点検等で発見され、修繕等が行われるが、洗堀が徐々に進行する場合は、重大な損傷に至る前段階で対策することで、予防的保全が可能と考えられる。本稿では抽出した重大な損傷事例の中でも、本堤部基礎地盤が徐々に流失し

たと考えられる事例について、損傷した部位及び損傷形態から、重大な損傷に至った過程及びその前段階に現れる現象を推定した。

3. 結果及び考察

3.1 損傷した部位及び損傷形態

損傷事例118基の損傷形態別・部位別に箇所数を整理した結果を表-2に示す。表-2の合計は188箇所であるが、これは複数の部位で損傷が確認された事例もあり、部位毎に箇所数をカウントしたためである。

損傷が発生した部位は、袖部が69箇所と最も多い。また、損傷の形態は、破損が117箇所と最も多い。収集した損傷事例では、袖部の破損が多く見られた。

表-2 損傷形態別・部位別箇所数(石田ら³⁾から抜粋)

損傷形態	本堤部	袖部	前庭保護工					計 (箇所)	合計 (箇所)
			副堰堤 垂直壁	側壁 護岸	水叩き	護床工			
摩耗	13	0	4	0	3	0	7	20	
剥離	23	8	1	0	0	0	1	32	
亀裂	2	0	0	0	0	0	0	2	
破碎	0	0	0	6	0	0	6	6	
破損	16	59	11	14	9	8	42	117	
転倒	1	1	0	0	0	0	0	2	
沈下	4	1	1	0	0	0	1	6	
倒壊	0	0	3	0	0	0	3	3	
合計(箇所)	59	69	20	20	12	8	60	188	

3.2 重大な損傷の事例

本稿では砂防堰堤の機能が低下あるいは喪失した重大な損傷として、本堤部の破損、本堤部の転倒、本堤部の沈下を対象とし、検討を行った。それぞれの代表事例を写真-1a~cに示す。

(a)本堤部破損事例では、本堤部の一部あるいは全体が失われ、堤高が低下していた(写真-1a)。この事例は16箇所を確認され、いずれも袖部の破損が見られた。また、本堤部の上部側が破損した事例は、主に打ち継ぎ目を境に分離していた。

(b)本堤部転倒事例では、非越流部の目地と目地の区間の堤体の一部が下流側へ倒れていた(写真-1b)。この事例は1箇所を確認され、計画規模を上回る降雨によって発生した土石流が非越流部に衝突し、袖部と共に転倒した可能性が高い⁴⁾と考えられている。

(c)本堤部沈下事例では、本堤部の下部側が分離し、鉛直方向に沈み込んでいた(写真-1c)。こ



写真-1 重大な損傷の代表事例³⁾
赤線：損傷範囲、水色矢印：流下方向
※越美山系砂防事務所提供

の事例は4箇所を確認され、いずれも基礎地盤が流失していた。

3.3 重大な損傷に至る過程の推定

(a)本堤部破損及び(b)本堤部転倒事例は、土石流等の衝突によって短時間に発生したと推定される。一方で、(c)本堤部沈下事例は、本堤部基礎地盤が洗堀等によって流失したことを誘因として、基礎地盤を失った本堤部の一部が不安定化し、沈下に至ったと考えられる。

本堤部沈下は4事例であるが、118基の損傷事例では、本堤部下流の河床低下や基礎地盤下流側が局所的に流失した事例、前庭保護工の損傷及び基礎地盤流失事例が多数確認されており、これらは本堤部沈下に至る前段階に見られる現象と推定した。そのため、これらの事例を繋ぎ合わせることで、本堤部沈下に至る過程を推定できる可能性があると考えた。そこで、各事例の損傷状況や本堤部の沈下に至る前段階と推定される現象の写真を基に、本堤部沈下4事例の損傷過程の推定を試みた。推定した損傷過程は、表-3に示す。

3.3.1 ケース1(側岸の侵食)

ケース1は、側岸の侵食、本堤部の基礎地盤流

表-3 推定した損傷過程の概要

損傷過程	ケース1 (1事例)	ケース2 (1事例)	ケース3 (2事例)
①	・側岸の侵食	・護床工の基礎地盤 下流洗堀 ・護床工基礎地盤 流失及び破損	・水叩きの一部破損
②	・側岸の侵食の拡大 ・本堤部の基礎地盤流失	・洗堀の拡大 ・垂直壁の基礎地盤 流失及び倒壊	・前庭保護工の基礎 地盤吸出し
③	・本堤部の傾等及び沈下	・洗堀の拡大 ・水叩きの基礎地盤 流失及び破損	・垂直壁の基礎地盤 流失及び沈下 ・水叩きの基礎地盤 流失及び破損
④	-	・洗堀の拡大 ・本堤部の基礎地盤流失	・本堤部の基礎地盤 下流洗堀
⑤	-	・本堤部の沈下	・本堤部の基礎地盤流失
⑥	-	-	・本堤部の沈下

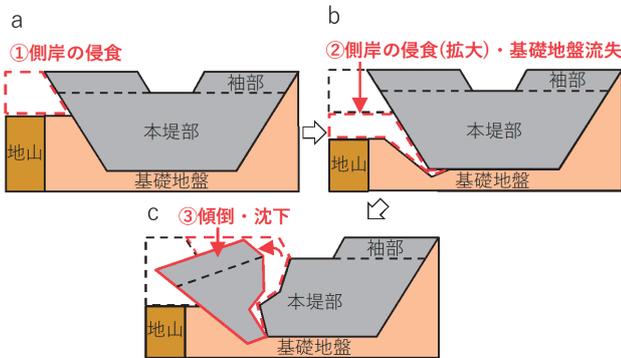


図-2 側岸の侵食から本堤部沈下に至る過程の想定横断面図（三浦ら³⁾に加筆）

失及び本堤部の傾倒・沈下が発生した事例である。この事例では、本堤部が水通し天端から縦方向に割れ、割れた本堤部が袖部と共に侵食が発生した側岸へ傾いた状態が確認された³⁾。

この状況から、①側岸の侵食（図-2a）、②側岸の侵食の拡大・本堤部の基礎地盤流失（図-2b）、③基礎地盤流失によって不安定化した本堤部の一部が水通しを境に縦方向に割れ、側岸へ傾倒・沈下（図-2c）という損傷過程を推定した。

3.3.2 ケース2（前庭保護工下流の洗堀）

ケース2は、前庭保護工基礎地盤下流の洗堀が徐々に上流側へ拡大し、本堤部沈下が発生したと推定される事例である。この事例は、河床勾配が約0.3度の緩勾配の溪流に水叩きが設置されており、水叩き及び本堤部の下部側が失われた状態が確認された³⁾。これは、水叩き下流から洗堀が拡大して水叩きが破損し、さらに洗堀が上流側へ拡大したことで本堤部沈下に至ったと考えられる。

また、他の事例において、本堤部沈下には至らなかったが、垂直壁、護床工基礎地盤が流失し、

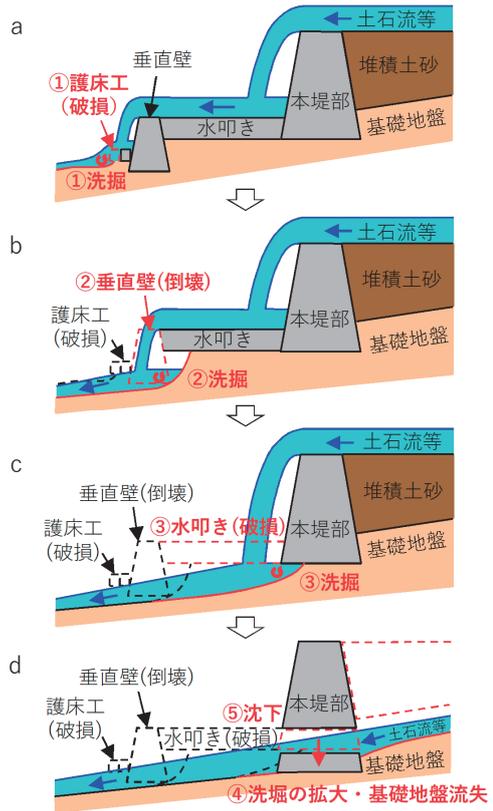


図-3 前庭保護工下流の洗堀から本堤部沈下に至る過程の想定縦断面図（三浦ら³⁾に加筆）

垂直壁が倒壊した状態や護床工が破損した状態が確認された³⁾。

これらの事例から、①護床工の基礎地盤下流洗堀・基礎地盤流失・破損（図-3a）、②洗堀の拡大・垂直壁の基礎地盤流失・倒壊（図-3b）、③洗堀の拡大・水叩きの基礎地盤流失・破損（図-3c）、④洗堀の拡大・本堤部の基礎地盤流失・⑤本堤部の沈下（図-3d）という損傷過程を推定した。

3.3.3 ケース3（水叩きの一部破損）

ケース3は、水叩きの破損箇所に流水が流入し、前庭保護工の基礎地盤流失及び損傷、本堤部の基礎地盤流失及び沈下が発生した事例である。この事例は、水叩き及び垂直壁が設置されており、垂直壁が沈下、水叩きが破損、本堤部の下部側が沈下した状態が確認された（写真-1c）。本堤部沈下発生前の施設点検では、水叩き上流部（本堤部直下流部）が一部破損しており、破損箇所に流水が流入していた。また、垂直壁の基礎洗堀が確認されていた。水叩きに巨礫が見られたことから、出水時に本堤部から巨礫が落下し、その衝撃で水叩きが破損したと考えられる。

これらの状況から、①本堤部からの巨礫落下による衝撃で水叩きの一部破損（図-4a）、②破損箇

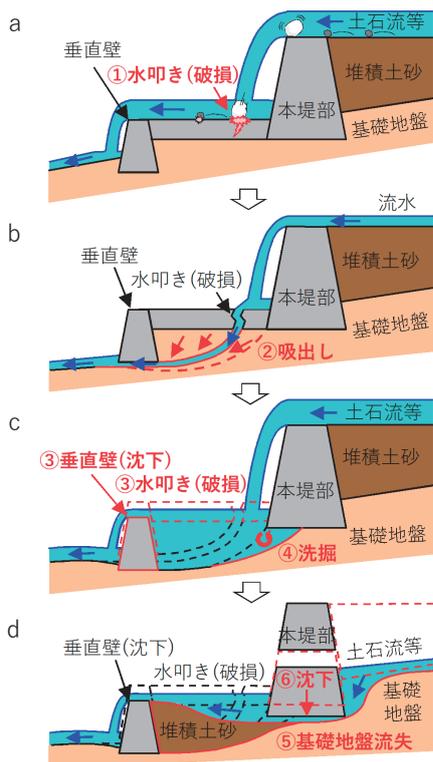


図-4 水叩きの一部破損から本堤部沈下に至る過程の想定縦断図（三浦ら³⁾に加筆）

所に流水流入・前庭保護工の基礎地盤吸い出し（図-4b）、③前庭保護工の基礎地盤流失・垂直壁の沈下・水叩きの破損、④本堤部の基礎地盤下流洗堀（図-4c）、⑤本堤部の基礎地盤流失・⑥本堤部の沈下（図-4d）という損傷過程を推定した。

本堤部沈下の初期段階に現れると考えられる現象例を写真-2に示す。一例であるが、写真例のような現象が確認された場合には、詳細な調査や修繕等の検討が必要と考えられる。

4. おわりに

本稿では、重大な損傷事例の中から、予防的保全が可能と考えられる本堤部沈下事例に着目し、損傷に至る過程の推定結果を報告した。点検時に側岸侵食（図-2a）、前庭保護工下流部の洗堀



写真-2 本堤部沈下の初期段階と考えられる現象例

による護床工等の破損（図-3a,b）、水叩きの破損（図-4a,b）が見られた場合は、徐々に侵食、洗堀、破損の範囲が土石流や営力によって拡大し、重大な損傷に至る可能性も考えて、必要に応じて補修・補強の検討を行う必要があると考えられる。

損傷事例の整理結果は、土木研究所資料³⁾としてとりまとめ、公開しているので、現場での点検の際に活用あるいは参考にさせていただきたい。

今後も損傷事例の収集を継続し、重大な損傷に至る前の過程及び初期段階に現れる現象の抽出を進めていく予定である。また、水中ドローン等の水中でも撮影可能な機器を用いて効率的に施設を点検する手法についても取り組む予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：砂防ダムの災害実態調査、土木研究所資料、第1514号、137p.、1979
- 2) 建設省土木研究所：砂防ダムの災害実態調査（2）、土木研究所資料、第2491号、50p.、1987
- 3) 石田孝司、山田拓、三浦光太郎、平田遼、武澤永純、石井靖雄：1934～2018年度に発生した砂防堰堤の破損等事例調査、土木研究所資料、第4425号、50p.、2022
- 4) 武澤永純、赤澤史顕、石井靖雄、西井洋史：京都府綾部市で発生した土石流による砂防堰堤の破壊実態の調査（速報）、平成30年度砂防学会研究発表会概要集、pp.79～80、2018
- 5) 三浦光太郎、山田拓、石田孝司：砂防堰堤の基礎地盤流失から本堤破損に至る過程に関する一考察、令和4年度砂防学会研究発表会概要集、pp.639～640、2022

三浦光太郎



土木研究所 土砂管理研究グループ火山・土石流チーム
交流研究員、博士（理学）
Dr. MIURA Kotaro

山田 拓



土木研究所 土砂管理研究グループ火山・土石流チーム
主任研究員
YAMADA Taku

石田孝司



土木研究所 土砂管理研究グループ火山・土石流チーム
上席研究員
ISHIDA Koji