

水文指標を用いた水叩き損傷事例の分析

国立研究開発法人土木研究所 ○松永隆正，菅野拓矢，伊藤誠記

1 はじめに

全国各地に約5万基と数多く存在する砂防堰堤に対して，その機能および性能を長期にわたって維持・確保し続けるためには，適切な時期に点検や修繕を行い砂防堰堤の長寿命化を図ることが重要である。

既往研究¹⁾では砂防堰堤の機能が低下または喪失するような重大な損傷形態として本堤部の破損や転倒，沈下が挙げられている。このうち，本堤部の沈下に至る過程の一つとして水叩きの損傷に伴う基礎地盤の流出が推定されている。水叩きの損傷は流下した土砂と水などの流れが作用することで生じるため，降雨規模や流出規模が大きくなることや，経年的な摩耗等の進行により水叩きの損傷が生じると考えられる。これまで水叩きの損傷があった砂防堰堤の位置の特徴や完成からの経過年数の分析といった研究²⁾は行われてきたが，完成からの経過年数と水叩きの損傷が生じた降雨規模あるいは流出規模を分析した研究事例は少ない。

そこで本研究では，水叩き損傷を生じさせる降雨規模や流出規模，完成からの経過年数の関係を把握することを目的として，全国各地の砂防堰堤損傷事例³⁾に基づいて確率年やストリームパワー等の水文指標を用いて水叩き損傷時の完成からの経過年数と降雨規模，流出規模に関する分析を行った。

2 対象堰堤の抽出

対象堰堤は既往研究³⁾に記載されている1934～2018年の間に発生した砂防堰堤の損傷事例800事例のうち，完成年が明らかであり1988年以降に土石流・土砂流により被災したと考えられる水叩きを有するコンクリート砂防堰堤25事例（図-1）とし，水叩きが損傷した事例（6事例），または水叩きは損傷せず他の部位に損傷が生じた事例（19事例）に分類した。本研究では，水叩きの損傷が基礎部にまで達したものを「水叩きの損傷」として扱った。表-1に対象とする水叩き損傷事例における流域面積や河床勾配，完成年，水叩きの損傷年を示す。なお，河床勾配は砂防堰堤上下流200mの平均河床勾配とした。水叩きが損傷した事例の完成年はいずれも1970年代以前であった。

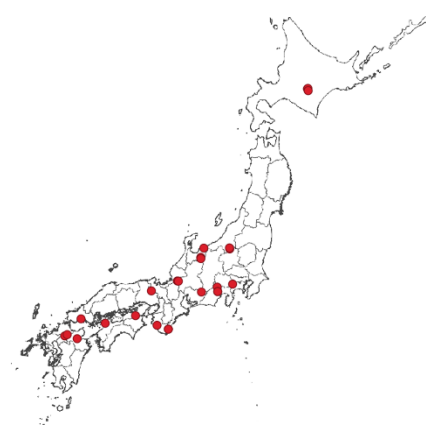


図-1 対象事例の位置

3 水文指標の算出

前章で抽出した砂防堰堤損傷事例に対し，損傷時における完成からの経過年数と降雨確率年，ストリームパワーとの関係について整理する。

3.1 砂防堰堤損傷時の確率年

本研究では，高解像度の格子雨量データである解析雨量を用いた。解析雨量の空間解像度は1988年4月から2001年3月までは5km格子，2001年4月から2005年12月までは2.5km格子，2006年以降は1km格子であり，本研究では対象堰堤から最近傍の格子点データを用いた。また，時間解像度は1時間とした。対象堰堤損傷時の最大時間雨量における確率年を，1988年から2021年の年最大時間雨量からGumbel分布に基づき算出した。また，対象堰堤損傷時とは，対象堰堤の損傷が発見された日を指す。なお，本研究では，対象堰堤の損傷が発見された日と対象堰堤に損傷を生じさせた降雨のタイミングが異なる可能性を考慮し，対象堰堤損傷時の最大時間雨量を砂防堰堤損傷時から1週間前までの降雨における最大時間雨量とした。

3.2 砂防堰堤損傷時のストリームパワー

ストリームパワーは豪雨時の土砂の土砂流出量を規定する主要要素である⁴⁾ことから，本研究では，水文指標としてストリームパワーを算出した。ストリームパワーは以下のとおり算出した。

$$P_s = A \cdot R_{24} \cdot I \cdots \cdots (1)$$

ここに， P_s ：擬似ストリームパワー（ $\text{km}^2 \cdot \text{mm}$ ）， A ：流域面積（ km^2 ）， R_{24} ：最大24時間雨量（ mm ）， I ：対象地点河床勾配である。なお，本研究では， R_{24} を砂防堰堤損傷時から1週間前までの降雨における最大24時間雨量として解析雨量から算出した。

表-1 水叩きが損傷した砂防堰堤

	流域面積 (km^2)	河床勾配 ($^\circ$)	完成年	損傷年
1	35.9	1.74	1964	2018
2	14.8	2.88	1958	2007
3	93.5	1.93	1951	1989
4	30.9	1.91	1958	2006
5	21.5	0.26	1955	2013
6	10.3	0.82	1952	2012

4 分析結果

4.1 確率年と経過年数

図-2a に砂防堰堤損傷時の最大時間雨量における確率年と対象堰堤の完成年から損傷時までの年数（経過年数）の関係を示す。水叩きに損傷があった事例の確率年および経過年数の平均値はそれぞれ 5.0 年、51 年であり、確率年の値はいずれも 100 年以下の確率であった。一方で水叩きに損傷がない事例の確率年および経過年数の平均値はそれぞれ 154.1 年、29 年であり、確率年の最大値は 1459 年であった。水叩きに損傷がある事例は水叩きに損傷がない事例と比べて、経過年数が長く確率年が小さい降雨により損傷を受けていた。

4.2 ストリームパワーと経過年数

図-2b に砂防堰堤損傷時の最大 24 時間雨量におけるストリームパワーと経過年数の関係を示す。水叩きに損傷があった事例および水叩きに損傷がない事例のストリームパワーの平均値はそれぞれ $284.7\text{km}^2 \cdot \text{mm}$ 、 $252.7\text{km}^2 \cdot \text{mm}$ であり、水叩きの損傷の有無によるストリームパワーの値に大きな差は認められなかった。また、最大 24 時間雨量および流域面積の平均値は水叩きに損傷がある事例でそれぞれ 278.8 mm、 34.5km^2 、水叩きに損傷がない事例でそれぞれ 382.4mm、 13.9km^2 であった。水叩きの損傷がある事例の方が水叩きに損傷がない事例と比べて確率年が小さい降雨により損傷を受けていたにもかかわらず、ストリームパワーの値に大きな差が認められなかったのは、最大 24 時間雨量が小さく、流域面積が大きいためであると考えられる。

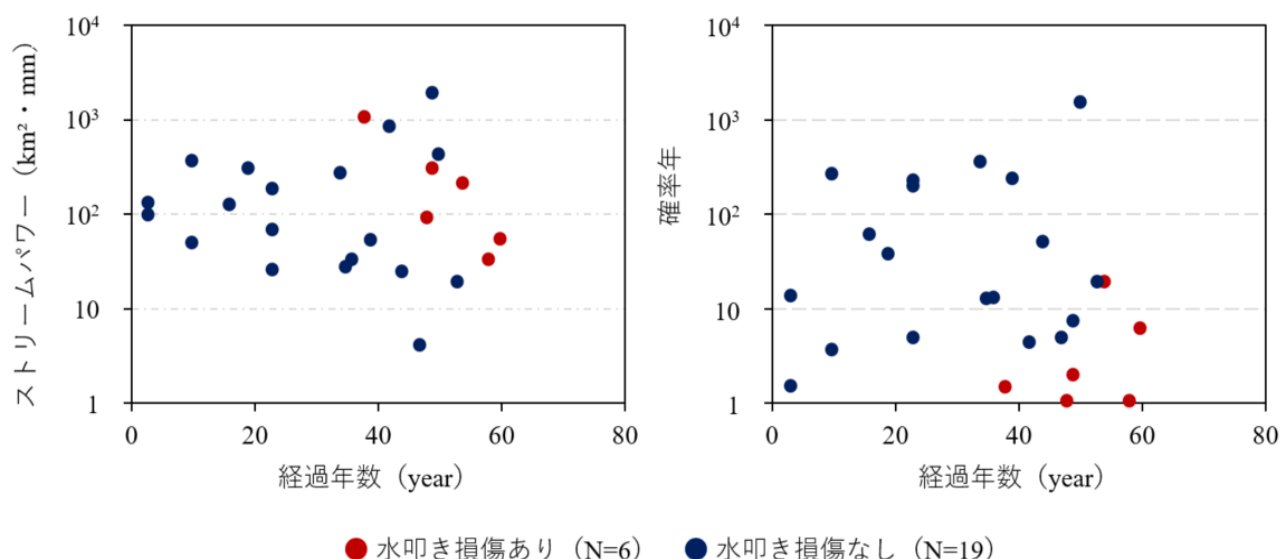


図-2 (a) 対象堰堤の完成年から損傷までの年数（経過年数）と確率年の関係、(b) 経過年数とストリームパワーの関係

4. まとめ

本研究では、既往研究³⁾で報告されている事例に基づき、水叩きの損傷とそれが生じた際の経過年数、降雨の確率年、ストリームパワーとの関係を分析した。その結果、水叩きに損傷があった事例はない事例と比べて確率年は小さい降雨により損傷を受けていたほか、ストリームパワーに大きな差は認められなかった。長期間の土砂や水の流れにより水叩きの摩耗が進行することで、小さい確率年の降雨で損傷が生じた可能性があるほか、現在のコンクリートと比べると空隙の残りやすい粗石コンクリートが廃止されたのが 1963 年であった⁹⁾ことから、今後は、水叩き摩耗過程やコンクリート強度との関係を含めて水叩きの損傷を分析する必要がある。

参考文献

- 1) 三浦光太郎, 山田拓, 石田孝司 (2023) : 事例調査による砂防堰堤の損傷に至る過程の推定, 土木技術資料, Vol.65, No.2, pp.12-15, 2) 山田拓, 羽馬一希, 伊藤誠記 (2024) : 砂防堰堤損傷事例に基づく水叩き損傷事例の分析, 砂防学会研究発表会概要集, pp.425-426, 3) 石田孝司, 山田拓, 三浦光太郎, 平田遼, 武澤永純, 石井靖雄 (2022) : 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, 4) 芦田和男, 奥村武信 (1977) : 豪雨時の流出土砂量に関する資料の解析研究, 自然災害科学資料解析研究, 4, pp.85-91, 5) 尾関信幸, 亀澤奈央 (2014) : 砂防堰堤におけるコンクリートの施工技術の変遷, 砂防学会研究発表会概要集, pp.404-405