

鋼製透過型砂防堰堤の越流落下礫による下流部材への影響に関する実験的研究

JFE 建材株式会社 ○吉田 一雄, 松元 志津佳, 水山 高久

立命館大学理工学部 里深 好文

日本工営株式会社 矢野 隆宏

(株) 三水コンサルタント 杉江 武智

立命館大学大学院理工学研究科 妹尾 尚英

1. はじめに

鋼製透過型砂防堰堤は昭和 40 年代後半から設置が始まり、砂防基本計画策定指針（平成 28 年 4 月）では砂防堰堤の型式の選定においては、土砂とともに流出する流木等を全て捕捉するためには、透過構造を有する施設を原則とする。と謳われている。近年の土砂災害においては、短時間での局地的豪雨や数時間にわたって同じ場所に集中豪雨をもたらす線状降水帯によって各地で大規模な土砂災害が発生している。その土砂災害の中でも土砂とともに流れてくる流木の被害が拡大しているが、鋼製透過型砂防堰堤が未然に災害を防止している事例が多く紹介されてきている。一方で、その鋼製透過型砂防堰堤が土石流によって被災する事例も散見される。砂防鋼構造物研究会（会長：田畑茂清）では鋼製透過型砂防堰堤が被災した際は直ちに被災調査委員会を立ち上げて原因と対策について速報を出す体制が構築されており、これまでに 4 回の被災調査委員会が開催されているが、その内 3 回が越流落下礫による下流部材の損傷による被災であった。

そこで、本報告は満砂した砂防堰堤から落下する礫の挙動を明らかにする第一歩として、種々の形状や大きさの礫を用いて満砂状態の砂防堰堤を模した水路実験を行い、掃流による礫の落下範囲について検討した結果を報告する。

2. 水路実験の概要

2.1 実験水路及び実験装置

実験には立命館大学 BKC セル内にある可変勾配直線水路を使用した。水路の側面図を図-1 に示す。水路勾配は 7 度、水路幅は 20cm、水路長は 6m である。水路の下流端付近に満砂した堰堤堆砂敷を模した装置を設置している。この装置を設置することにより、堰堤堆砂敷の勾配は 1 度となる。堆砂面は固定床としており、河床表面には粒径 3~5mm の砂を張り付けて粗度としている。水路上流端から定常的に給水を行い、堆砂面上に礫粒子を個別に供給する。ガラス製の水路側面を通して礫の落下位置をビデオにより記録し測定している。装置下端の段差（堰堤高さ）は 7.0cm に設定しており、堰堤から礫落下地点までの距離を測るために目盛りを設置している。原点は堰堤直下流の河床とした。実験装置を設置した状況を図-2 に示している。図-3 は通水時の堰堤模型周辺の状況である。

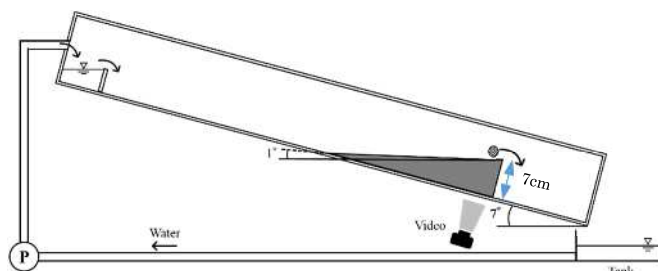


図-1 実験水路の側面図



図-2 実験装置設置状況



図-3 通水時の状況

2.2 実験に使用する砂礫

実験材料として伊勢砂利を使用した。比較的球形に近いもの、扁平なもの、凹凸のあるものを取り混ぜて 36 個選り出した。各粒子の質量と粒径を表-1 に示している。なお、粒径は長径と短径の相乗平均とした。

表-1 実験に使用した粒子の質量と粒径

粒子NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
質量(g)	9.5	9.5	9.5	10.0	8.5	9.5	10.0	10.0	11.5	9.5
粒径(mm)	21.33	20.82	24.38	21.28	18.66	16.30	19.16	20.96	21.67	20.46
粒子NO.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
質量(g)	8.0	6.5	7.5	7.5	7.5	7.5	9.0	8.5	7.0	9.5
粒径(mm)	18.02	16.06	17.95	15.62	12.72	19.04	18.73	18.02	18.04	18.71
粒子NO.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
質量(g)	8.5	8.0	7.0	9.0	6.0	6.0	6.5	6.0	5.5	5.5
粒径(mm)	18.96	18.38	19.12	20.93	17.78	20.19	18.59	16.15	15.98	17.00
粒子NO.	31	32	33	34	35	36	—	—	—	—
質量(g)	6.5	5.0	5.0	12.0	14.5	13.5	—	—	—	—
粒径(mm)	17.31	15.89	17.83	21.43	24.46	22.20	—	—	—	—

2.3 実験条件

給水は一定流量 1,250cm³/s としている。この時、堰

堤付近の水深は約 1.5cm であった。水路幅は 20cm であることから、堰堤天端付近における平均流速は 41.7 cm/s と考えられる。堆砂面の勾配は 1 度であるが、これを無視して水平に飛び出した水脈が自由落下するものと考え、水脈の落下地点は堰堤から 4.98cm の地点となる。実験において堰堤から 5.0～6.0cm 離れた範囲で水脈は河床に衝突していることから、ほぼ妥当な結果が得られているものと考えられる。

定常給水の下で、装置の段差（堰堤の天端）より 10cm 上流の位置に個別に礫を置き、流水により運搬された後に段差の下流に落下する位置を計測した。位置測定のために水路側方からビデオ撮影を行っている。

実験は 1 つの礫につき各 15 回行っている。前述のように堰堤直下流を原点として礫が落下して河床面に衝突する位置までの距離を測定した。図-4 に礫の供給状況と落下状況を示している。

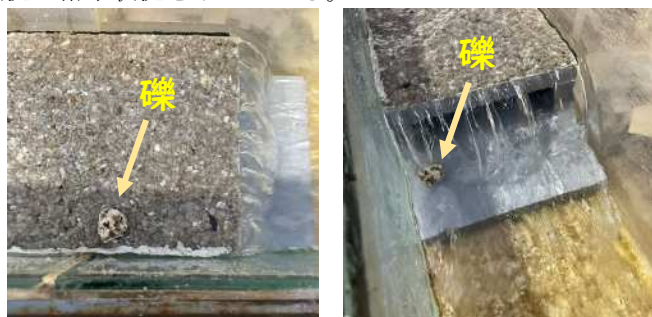


図-4 礫の供給状況と落下状況

3. 実験結果と考察

3.1 礫の落下地点までの距離に関する実験結果

堰堤から礫の落下地点までの距離 L に関する計測結果をもとに、各礫の距離 L と粒子質量との関係性を求めた結果を図-5 に示す。青い●は各粒子の 15 回の平均値であり、赤い●は 15 回のうちの最小値を示している。同様に礫の粒径と距離 L との関係を図-6 に、礫の短径との関係を図-7 に、礫の長径との関係を図-8 に示す。

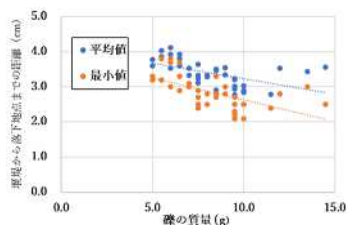


図-5 礫の質量と落下地点の関係

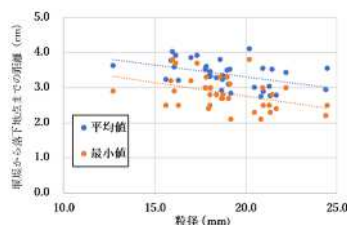


図-6 礫の粒径と落下地点の関係

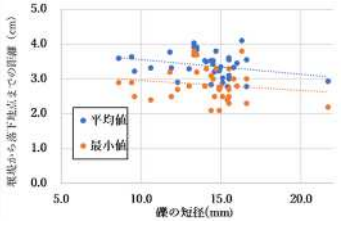


図-7 礫の短径と落下地点の関係

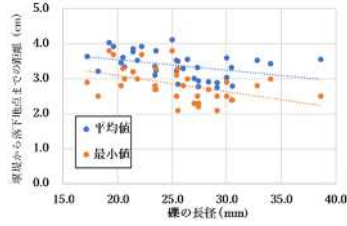


図-8 礫の長径と落下地点の関係

礫が河床に着地する地点と堰堤との距離 L は堰堤の高さ H_0 に関係する。堰堤天端から下流へと飛び出した粒子は自由落下運動をしていると考え、堰堤高さ H_0 と距離 L の関係は容易に求められる。礫が初速度 v_0 で水平方向に砂防堰堤の天端から下流方向へと飛び出す場合、鉛直方向の初速度は 0 であるので、礫が堰堤高さ H_0 だけ落下するために必要な時間 T は重力加速度 g を用いて $T = \sqrt{2H_0/g}$ と表される。時間 T の間に礫は水平方向（下流方向）に Tv_0 だけ移動するので、礫の落下地点と堰堤との水平距離 L は $L = Tv_0 = v_0\sqrt{2H_0/g}$ となる。このように距離 L は初速度 v_0 と堰堤高さ H_0 とによって表すことができる。

実験条件である $H_0 = 7\text{cm}$ 、 $g = 980\text{cm/s}^2$ を代入すると、 $v_0 = L/\sqrt{2H_0/g} = 8.37L$ となる。実験より距離 L が求められると、堰堤から飛び出す際の速度 v_0 が計算される。粒子の特性に応じて速度 v_0 は変動することが想定される。実験結果は $2.1 \leq L \leq 4.8(\text{cm})$ であり、 L が最小値 2.1cm の場合、平均流速 41.7 cm/s の 0.422 倍であり、この結果は堰堤により近い場所に礫が落下することを示している。

図-5 から図-8 において堰堤から落下地点まで距離 L に関する実験値のばらつきは大きい。粒子のサイズが大きくなるほど堰堤の近くに落ちやすくなっていることがうかがえる。

4. おわりに

満砂した堰堤の天端から掃流によって落下する巨礫の挙動を調べるために水路実験を行った。その結果、水流の平均流速で到達する 1/2 の距離に落下するものが数%存在すること、特に形がいびつで水深に対して大きい粒子ではその傾向が顕著となり、10%程度に及ぶことが明らかになった。想定されている水脈距離よりも堰堤に近い範囲に粒子が落下する可能性が決して小さいことが示された。

また、透過型砂防堰堤模型を水路下流端に設置して、下流斜め部材への衝突の有無を確認した。J 型模型は下流部材の勾配が 2 分のものを I タイプ、6 分のものを II タイプとした。その結果、I タイプは落下礫が計測上 1 度も当たらないのに対して、II タイプは平均衝突率が 86.5% であった。

透過型砂防堰堤の下流斜め部材を不透過型砂防堰堤の前のり勾配と同じ 1:0.2 に設定しておけば礫が当たらない流速範囲が広いことが確認できた。



図-9 J 型模型の越流状況