

既設砂防堰堤に付与した張り出しタイプ流木捕捉工の荷重計測実験

Load measure experiment of a hangover-type driftwood catchment on an existing closed Sabo dam

渡邊大貴*, 堀口俊行**

Daiki Watanabe, Toshiyuki Horiguchi

*防衛大学校, 理工学研究科 前期課程(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

**博(工), 防衛大学校准教授, 建設環境工学科(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

キーワード: 張り出しタイプ, 流木捕捉工, 不透過型砂防堰堤, 土石流荷重

KeyWords: hangover-type, driftwood catchment, closed Sabo dam, debris flow load

1. 緒言

近年, 異常気象に起因した台風や集中豪雨により, 土石流や洪水が頻発している. 令和3年7月伊豆山土砂災害では, 住宅地に土石流が流れ込むなど地域住民の生活を脅かしている¹⁾. 大量の流木の流下は, 平成29年7月九州北部豪雨^{2), 3)}で発生した事例から着目されている. 写真-1は, 須川第一砂防堰堤で流木によって天端部分が損傷したものである. 天端部分まで流木が覆われておられるが, 流木が一気に越流することはなかった⁴⁾. しかし, このような事例への対策のため, 不透過型砂防堰堤における大量の流木の流下への対応が急務である.

国土交通省は, 流木による被害を減少させるため, (1) 新設の砂防堰堤は, 土砂とともに流出する流木等を全て捕捉するために, 透過構造を有する施設(例えば, 透過型砂防堰堤)を原則設置すること, (2) 既設の砂防堰堤は, 流木の捕捉効果を高めるため, 流木捕捉工の設置を行うこととした. これにより, すべての砂防堰堤に流木捕捉効果を付与する必要がある, 流木の捕捉に有用な透過構造を有した堰堤の建設が急務である. そのため, 写真-2に示すような既設不透過型砂防堰堤の水通し部に対して, 鋼製堰堤の張り出しタイプ流木捕捉工(以下, 流木捕捉工)の設置が進められている⁵⁾. しかし, 計画流量やこの流木捕捉工に対して流下してくる流木量が不明確であり構造物に作用する外力が検討できない現状である.

土石流の特性として高橋ら⁶⁾は, 石礫型と土砂型(泥流を含めた)に2分類できることを示した. これは, 粒径の違いによって土石流の形態が大きく変化することを示しており, その流下形態においても大きく異なる. 中でも, 石礫型土石流は, 巨礫が先頭部に集中することで大きな衝撃力が生じると言われている. そのような研究の成果を基に土石流荷重に関する既往研究として, 池谷

ら⁷⁾は土石流の荷重モデルを2つに分け, (1) 流体理論からの土石流荷重, (2) 固体理論からの土石流荷重に分けた. さらに, 水山⁸⁾は, それぞれの理論の特性からコンクリート製の砂防堰堤に対する衝撃力について実験と推定式で比較して, それぞれの理論の妥当性を検討した. そこでは, 巨礫の衝撃力を固体理論によって, 衝突時における局所的な破壊によるエネルギーから求めた. また, 大同ら⁹⁾は, 流体理論から土石流を非圧縮性流体または圧縮性流体とみなし, 衝撃荷重の求め方を示した. 現行法では, これらの研究成果に実験定数を導入し土石流流



写真-1 大量の流木による堰堤の損傷



写真-2 張り出しタイプ流木捕捉工

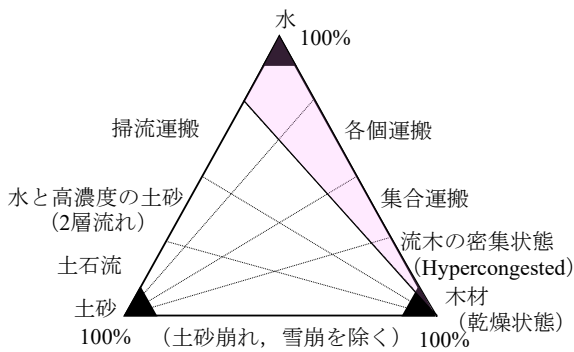


図-1 土石流における流れの区分

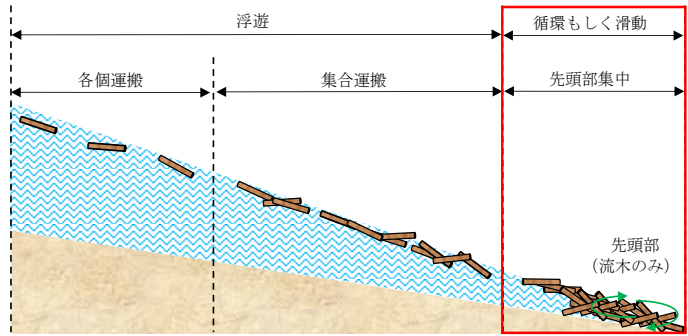


図-2 流木混じり土石流の流下の状態¹³⁾

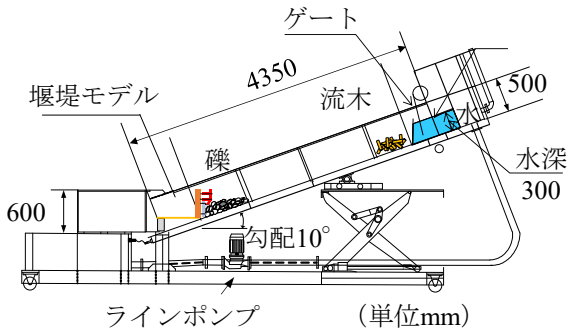


図-3 実験水路状況

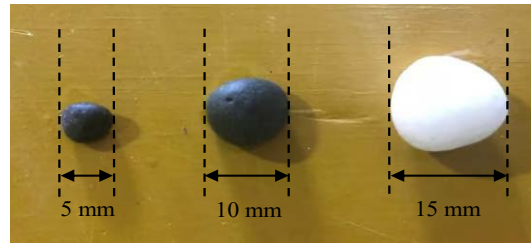


写真-3 礫モデル

体力として与えているが、流木における荷重評価は検討されておらず、衝突荷重の目安として礫衝突荷重の1/10とされている¹⁰⁾。さらに、流木の流れは掃流区間において表面流速と同じである¹¹⁾¹²⁾とされているが、既設の砂防堰堤に付与された場合、勾配が異なることがある。流木における流下形態は、写真-1に示しているように区分することができ、流木の流下イメージは各個運搬もしくは集合運搬であり、大量の流木の流下 (Hypercongested) はあまり検討されていない。また、流れの形態は、従来流木捕捉工を設置している条件では、各個運搬や集合運搬が想定されているが、図-2の赤枠のように、流木の先端に大量の流木が絡み合いながら押し流される条件も想定され、大きな衝撃力が生起すると示唆される¹³⁾。

流木の衝撃力についての研究を見ると、津波における流木単体の衝撃力荷重が検討されている¹⁴⁾。有川ら¹⁵⁾は、文献14)の松富の式と比較して、数本の流木を固い板に衝突させて流木衝撃力における推定式を提案している。しかし、流木混じり土石流の衝撃荷重を評価するには、流木の本数のみならず流下形態についても異なり、大量の流木が流下したときは検討されていない。

筆者ら¹⁶⁾は、流木混じり土石流における荷重評価について、実験から得られたものを解析で再現することで流木の衝撃作用と土石に対する緩衝効果について実験と解析で定量的に評価した。しかし、図-1に示すような赤枠の部分における大量の流木と水の混合流体による土石流を扱っているものではない。さらに、最も外力が生じる先頭部に流木が集まり、絡み合った流木が一気に堰堤に到達したときのことを想定していない。このように、

設計的視点において、不透過部と流木捕捉工からなる構造物における荷重評価についての検討が必要である¹⁷⁾。

そこで本研究は、流木捕捉工を付与された不透過型砂防堰堤の荷重計測実験を実施し、流木捕捉工に作用する荷重を計測し、勾配の影響について考察するものである。その際、進入してくる流木の流下速度ごとの運動形態を整理する。

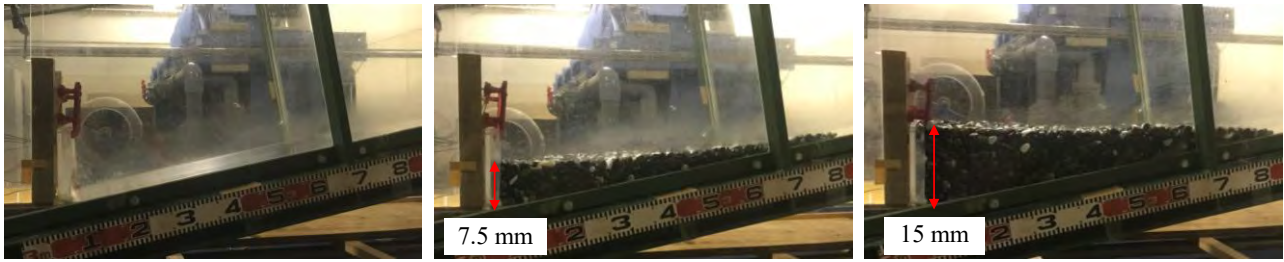
2. 実験の概要

2.1 実験装置

図-3に示す実験水路の諸元は、水路長4.5 m、水路幅30 cm、深さ50 cmであり、水路勾配 ($\theta = 0 - 20^\circ$) は任意に設定できる。本実験は、河床勾配 ($\theta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$) に設定し、初期堆積を設置する条件のときは堰堤直前が、掃流区間である勾配 $\theta = 0^\circ$ とした。これは、文献18)における満砂時における張り出しタイプ流木捕捉工の設置要領に従っている。写真-3に示す礫モデルは、粒径5～15 mmのものを初期堆積礫として堰堤の前面部に水平に設置した。また、初期堆積礫の設置条件は、写真-4に示すように初期堆積無、初期堆積礫高比50%、満砂の3種類とした。

2.2 流木混じり土石流モデル

ここで使用する流木混じり土石流は、大量の流木が流下し、先頭部に流木が集中している状態 (Hypercongested flow¹³⁾) である。その状況は、図-1に示している赤枠の部分で流木が絡み合いながら流下しているものを想定し

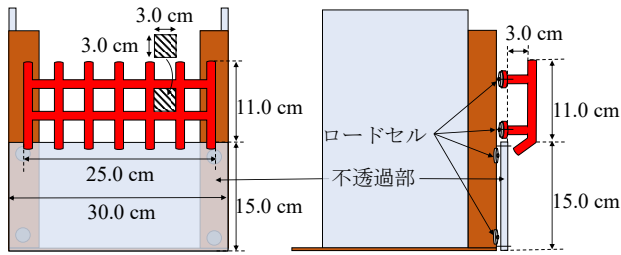


(a) 初期堆積礫無

(b) 初期堆積礫高比 50%

(c) 満砂

写真-4 初期堆積礫条件



(a) 堰堤モデル

(b) 荷重計測要領

図-4 堰堤モデルと荷重計測要領

ている。流木モデルは、直径 6 mm、流木長 120 mm の円柱形木材を使用した。フルード相似側において 1/40 としており、文献 19) を参考に一般的に流れる流木の長さで最も頻度が多いものとした。流木混じり土石流を発生させる流水は、上流に無作為に設置した流木モデルに対して後方から電動ポンプによって貯めた水 20 L を一挙に流すダムブレイク方式を採用した。また、この流下方法では流木や礫が越流しないことを確認している。

2.3 堰堤モデル

図-4 は、堰堤モデルと荷重計測要領である。図-4(a) に示す堰堤モデルは、流木捕捉工と不透過部からなり、流木捕捉工高さは 11.0 cm、不透過部の高さは 15.0 cm である。実験水路幅の限界から実際の堰堤の水通し部のみを再現している。また、不透過部には厚さ 1.0 cm のアクリル板を使用しており、捕捉状況に関して下流側からの観察が可能となっている。流木捕捉工は、ポリプロピレンを材料として、3D プリンタで作成した。なお、鋼管径は 1.0 cm である。さらに、流木捕捉工の純間隔および堤体からの設置距離は、流木長の 1/2 以下かつ最大礫径の 2 倍以上となるように 3.0 cm とした。実験モデルは、フルード相似側で 1/40 スケールとした。

図-4 (b) に示す荷重計測要領は、流木捕捉工および不透過部に、それぞれ 4 個のロードセル (LMB-A-500 N-P) を配置して荷重を計測した。流木捕捉工に作用する力は、流木捕捉工に配置した 4 個のロードセルの合計値に、不透過部に作用する力は、不透過部に配置した 4 個のロードセルの合計値となる。なお、不透過部は、静水圧荷重が計測できることを確認している。また、流木捕捉工の荷重計測は、流木モデルが衝突した時に正確に荷重を計測できることを確認している。不透過部の底面は基礎地

表-1 実験ケース

河床勾配 θ	初期堆積礫条件	流木本数 n (本)
5°	無 (0%)	無 (水のみ)
10°	初期堆積礫高比 50%	100
15°	満砂 (100%)	300
		500

盤を模しており、本実験では水平とした。

2.4 実験ケース

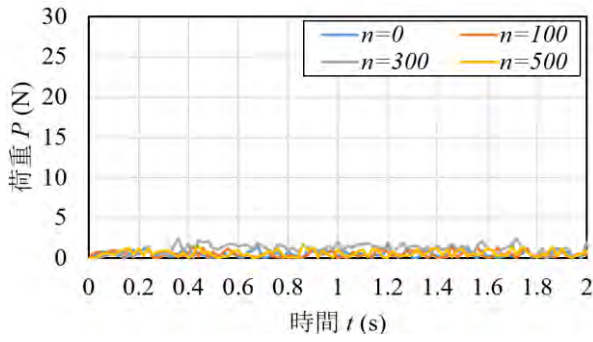
表-1 に実験ケースを示す。河床勾配 ($\theta=5, 10, 15^\circ$) に初期堆積礫高を 3 種類、流下させる流木本数 $n=0, 100, 300, 500$ まで変化させ、合計 36 ケースについて各ケース 5 回ずつ計測した。なお、勾配 $\theta=15^\circ$ においては、流木の流下形態とはならなかったため、運動形態のみの考察とした。

3. 実験結果

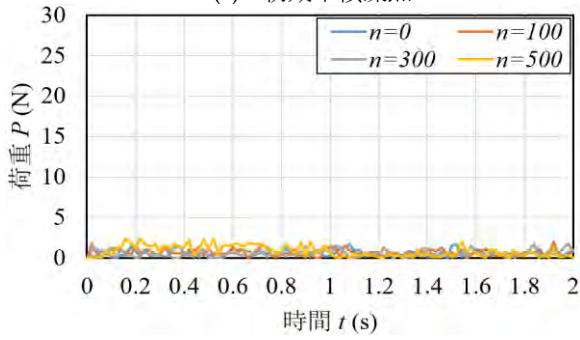
3.1 荷重～時間関係

図-5~8 は、それぞれ河床勾配 $\theta=5^\circ, 10^\circ$ における流木捕捉工と不透過部の荷重～時間関係である。なお、ここでは各ケースの代表値を示している。さらに、それぞれ考察のために衝撃荷重まで至る区間を領域 I (衝撃領域)、衝撃的な荷重から準静的な荷重へ安定するまでの遷移区域を領域 II (遷移領域) とした。さらに、安定した荷重もしくは衝突から 3.0 s 後における区域を領域 III (安定領域) とした。なお、領域 III は、図-5, 6 において荷重が安定したことを確認しているため示していない。

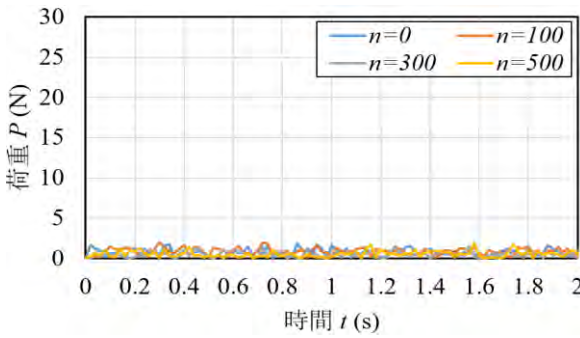
表-2 に、全実験結果における計測結果を示している。表-2 (a)、表-2 (b) は、それぞれ河床勾配 $\theta=5^\circ, 10^\circ$ のときのものである。初期堆積礫の条件ごとに初期荷重 P_i 、不透過部に作用する荷重での最大荷重 P_{dmax} および安定したときの荷重 P_{ds} を示している。流木捕捉工に作用する荷重は、最大荷重 P_{wmax} 、安定したときの荷重 P_{ws} を示している。それぞれ 5 回ずつ計測を行ったが、同条件においては荷重のばらつきが小さいことを確認している。また、すべての結果はその平均値を示している。不透過部の荷重に影響を与える初期堆積礫高ごとの初期荷重 P_i



(a) 初期堆積礫無



(b) 初期堆積礫高比50%



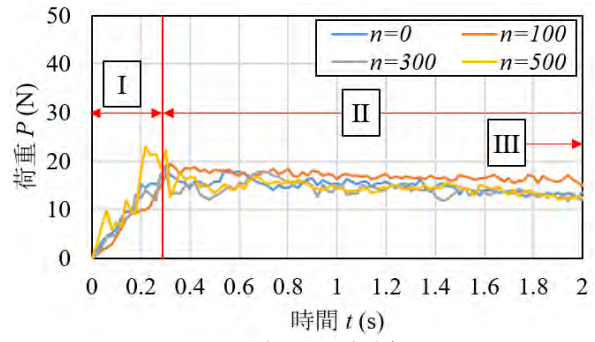
(c) 満砂

図-5 $\theta=5^\circ$ における荷重～時間関係 (流木捕捉工)

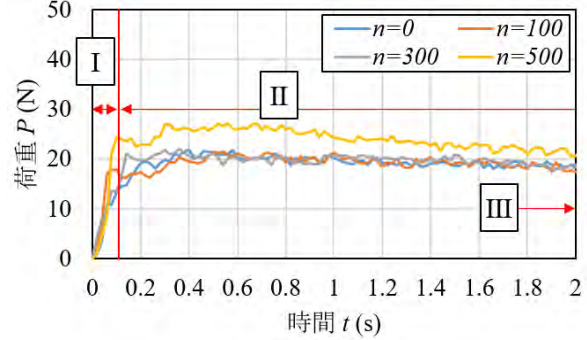
は、初期堆積礫高比50%では $P_1=40\text{ N}$ 、満砂では $P_1=63\text{ N}$ が作用している。比較を容易にするため堰堤に作用する荷重は、これを基準として実施した。準静的な荷重として透過部を見ると、水が抜けることで荷重が0に近づいていく。一方で、満砂かつ流木本数 $n=500$ では、流木捕捉工に流木が絡み、やや荷重が生じている。また、各ケースにおいて不透過部、初期堆積礫に流木もしくは水が衝突する直前の時刻を $t=t_0\text{ s}$ として設定している。

(1) 初期堆積礫無

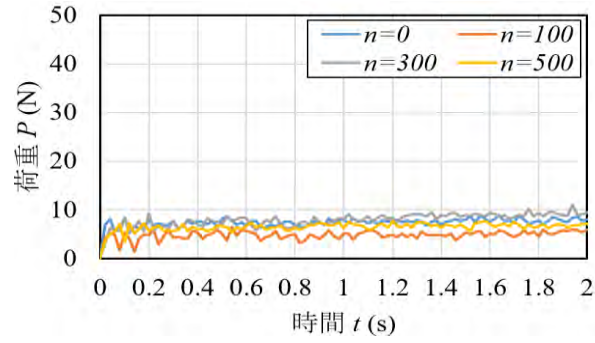
図-5 (a)、図-6 (a)、図-7 (a)および図-8 (a)は、初期堆積礫無における流木捕捉工および不透過部の荷重～時間関係である。不透過部は、 $\theta=5^\circ$ の場合、土石流の衝突により不透過部に対して荷重が発生しているものの、衝突後に荷重が著明に減少することはなく、ほぼ一定の値となっている。これは、写真-5 (a)に示すように、河床勾配が緩やかであるために河床勾配 $\theta=10^\circ$ のときほどの流速を有していない土石流が流下方向に向かって伸びることで、不透過部に衝突し続けていることが原因であ



(a) 初期堆積礫無



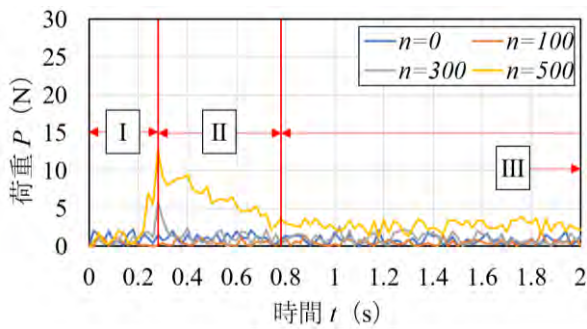
(b) 初期堆積礫高比50%



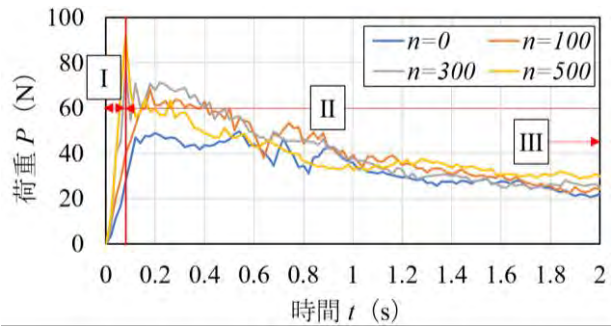
(c) 満砂

図-6 $\theta=5^\circ$ における荷重～時間関係 (堰体)

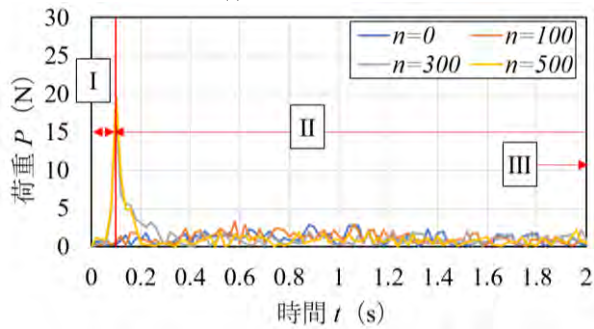
ると考えられる。河床勾配 $\theta=10^\circ$ の場合では、全ての実験ケースにおいて衝撃的な荷重が作用している。写真-5(b)を見ると、領域Iでは、流木もしくは流水が直接不透過部に衝突しており、その間に荷重が一気に上昇している。また、水のみケースでは、最大荷重が生じている時間が他のケースよりも長いように見えるが、不透過部に対して瞬間的に立ち上がる傾向は同じである。また、流木本数が増えるに従い、瞬間的に荷重が大きくなる傾向が明確になっている。これは、流木が流水の表面流速に従って流れ、流木の荷重分だけ荷重が瞬間的に上がるとともに、流木が多くなると流木が段波形状で衝突するものと示唆される。また、流木捕捉工については、河床勾配 $\theta=5^\circ$ のとき、すべてのケースで流木捕捉工に対して流木が衝突していないために衝撃荷重を生じていない。一方、 $\theta=10^\circ$ の場合は、流木本数 $n=500$ のケースを除いては、衝撃荷重が生じていない。これは、流下してきた流木が流木捕捉工に衝突したケースが流木本数 $n=500$ のみであったためである。さらに、流木本数 $n=500$



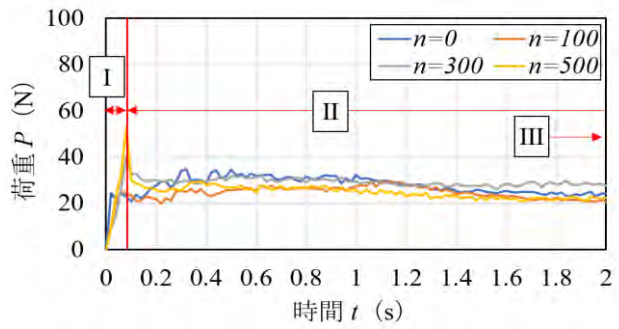
(a) 初期堆積礫無



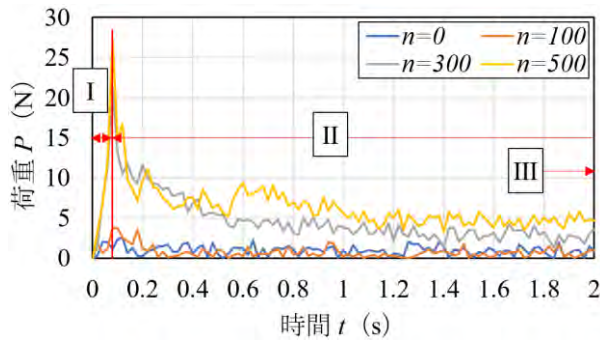
(a) 初期堆積礫無



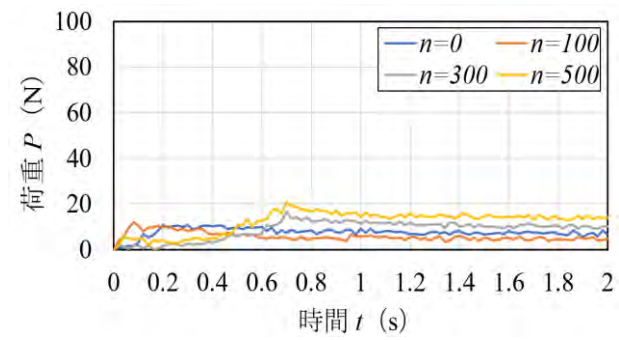
(b) 初期堆積礫高比50%



(b) 初期堆積礫高比50%



(c) 満砂



(c) 満砂

図-7 $\theta = 10^\circ$ における荷重～時間関係 (流木捕捉工)

図-8 $\theta = 10^\circ$ における荷重～時間関係 (堤体)

のケースを見ると、流木が流木捕捉工に到達すると衝撃的な荷重が生じていることから、不透過部においても流木がせり上がるような流下形態の場合は、衝撃的な荷重を評価する必要がある。領域II以降は、徐々に荷重が低下し、領域IIIでは流木の有無にかかわらず不透過部は静水圧荷重に至り、流木捕捉工では、荷重が0に近づいていく。写真-5(c)は河床勾配 $\theta = 15^\circ$ のときであるが、急勾配を勢いよく流下してくるにより、不透過部に衝突した後に、激しく渦を巻いていることが確認できる。

(2) 初期堆積礫高比50%

図-5(b)、図-6(b)、図-7(b)および図-8(b)は、初期堆積礫高比50%における流木捕捉工および不透過部の荷重～時間関係である。河床勾配 $\theta = 5^\circ$ の場合は、初期堆積礫無のときと同様の傾向が見られる。一方で河床勾配 $\theta = 10^\circ$ の場合は、領域Iをみると不透過部、流木捕捉工いずれにおいても、流木本数 $n=300, 500$ のときに衝撃荷重が生じており、流木捕捉工に生じる荷重は、それぞれ15N、20Nとなる。流木本数 $n=0, 100$ のときは、流木捕

捉工には衝撃的な荷重が生じていない。これは、初期堆積礫が流木と水から受ける衝撃力を吸収しており、既往の研究²⁰⁾における先行停止礫における荷重の低減と同じものと考えられる。しかし、流木の本数が多くなると先行停止礫では流木を捕らえられずにそのまま流木捕捉工に衝突する。領域II以降は、徐々に荷重が低下し、領域IIIでは流木の有無にかかわらず不透過部に水による圧力のみが加わる。一方、流木捕捉工は流木が捕捉されているが、荷重がほぼ生じていないことが分かる。

(3) 満砂

図-5(c)、図-6(c)、図-7(c)および図-8(c)は、満砂における流木捕捉工および不透過部の荷重～時間関係である。いずれのケースにおいても、不透過部は、堰堤上流部が天端まで礫で満たされているため、衝撃荷重が生じていないが、水が礫間に浸透しているときに荷重が徐々に上昇する。河床勾配 $\theta = 5^\circ$ の場合は、写真-6(a)に示すように、流速が低いために、すべてのケースにおいて、流木が流木捕捉工に衝突する前に先行停止礫の摩擦

表-2 実験結果の総括 (平均値)

(a) $\theta = 5^\circ$

初期堆積礫高比 h (%)	初期荷重 P_i (N)	流木本数 n (本)	不透過部に作用する荷重		流木捕捉工に作用する荷重	
			衝撃領域 P_{dmax} (N)	安定領域 P_{ds} (N)	衝撃領域 P_{wmax} (N)	安定領域 P_{ws} (N)
			0	0	0	20.3
		100	20.2	14.3	0	0
		300	24.6	15.1	0	0
		500	28.1	15.5	0	0
50	44.7	0	64.1	58.9	0	0
		100	64.8	57.8	0	0
		300	70.2	58.8	0	0
		500	69.5	61.2	0	0
100	69.3	0	72.1	68.8	0	0
		100	73.4	70.9	0	0
		300	73.1	67.1	0	0
		500	73.5	67.3	0	0

(b) $\theta = 10^\circ$

初期堆積礫高比 h (%)	初期荷重 P_i (N)	流木本数 n (本)	不透過部に作用する荷重		流木捕捉工に作用する荷重	
			衝撃領域 P_{dmax} (N)	安定領域 P_{ds} (N)	衝撃領域 P_{wmax} (N)	安定領域 P_{ws} (N)
			0	0	0	50.4
		100	58.5	19.3	2.9	0
		300	72.8	19.9	6.1	0
		500	90.3	19.9	12.9	0
50	40.1	0	65.8	62.1	1.5	0
		100	66.1	63.3	3.6	0.8
		300	74.4	63.1	15.4	0.9
		500	91.8	65.1	20.4	0.3
100	63.6	0	71.9	65.6	2.1	0
		100	72.8	65.0	4.1	0.2
		300	72.2	75.0	20.3	0.7
		500	74.1	78.7	26.1	5.8

を受けて停止する。一方で河床勾配 $\theta=10^\circ$ の場合、流木捕捉工に生じる荷重を見ると、領域 I において、流木本数 $n=300, 500$ では、作用する荷重がそれぞれ 20 N, 26 N となる。写真-6(b)に示すように、満砂状態で流木が流下してくると、明瞭な衝撃荷重が生じ、流木捕捉工に到達していることが分かる。一方で、流木本数 $n=100$ の場合は、生じた荷重が 3 N 程度であり、あまり大きな荷重が生起しなかった。写真-6(c)は、河床勾配 $\theta=15^\circ$ のときであるが、流下してきた水によって初期堆積礫が激しく巻き上げられていることが確認できる。

4.3 荷重～初期堆積礫高さ関係

図-9 は、流木捕捉工における最大衝撃荷重～初期堆積礫高さ関係である。流木本数 $n=100$ までは最大衝撃荷重が作用していないことがわかる。流木本数 $n=300, 500$ と増大させると、最大衝撃荷重は線形に大きくなっている。また、初期堆積礫高さが大きくなるにつれ、流木が流木捕捉工に衝突しやすくなるため、最大衝撃荷重が大きくなる。これによって、不透過部の除石の状況に

よって、流木捕捉工に作用する荷重に影響を与えるとともに、移動可能流木量によって衝撃的な荷重が生起する可能性が示唆される。さらに、流木捕捉工での外力作用について、直前の勾配が緩やかであり、流木の流下形態が各個運搬であれば問題ないが、最悪荷重を想定する場合は、衝撃的な荷重評価を検討していく必要がある。

4.4 荷重～流木本数関係

図-10は、流木捕捉工における最大衝撃荷重～流木本数関係である。流木本数 $n=300, 500$ と増加させると、最大衝撃荷重についても線形に増加している。このことから、大量の流木が含まれることで、流木捕捉工に大きな衝撃荷重を生起させることが分かった。

5. 結論

本研究は、既設砂防堰堤に付与する流木捕捉工が流木混じり土石流に対して作用する荷重を実験的に検討したものである。さらに、流木捕捉工と既設砂防堰堤が

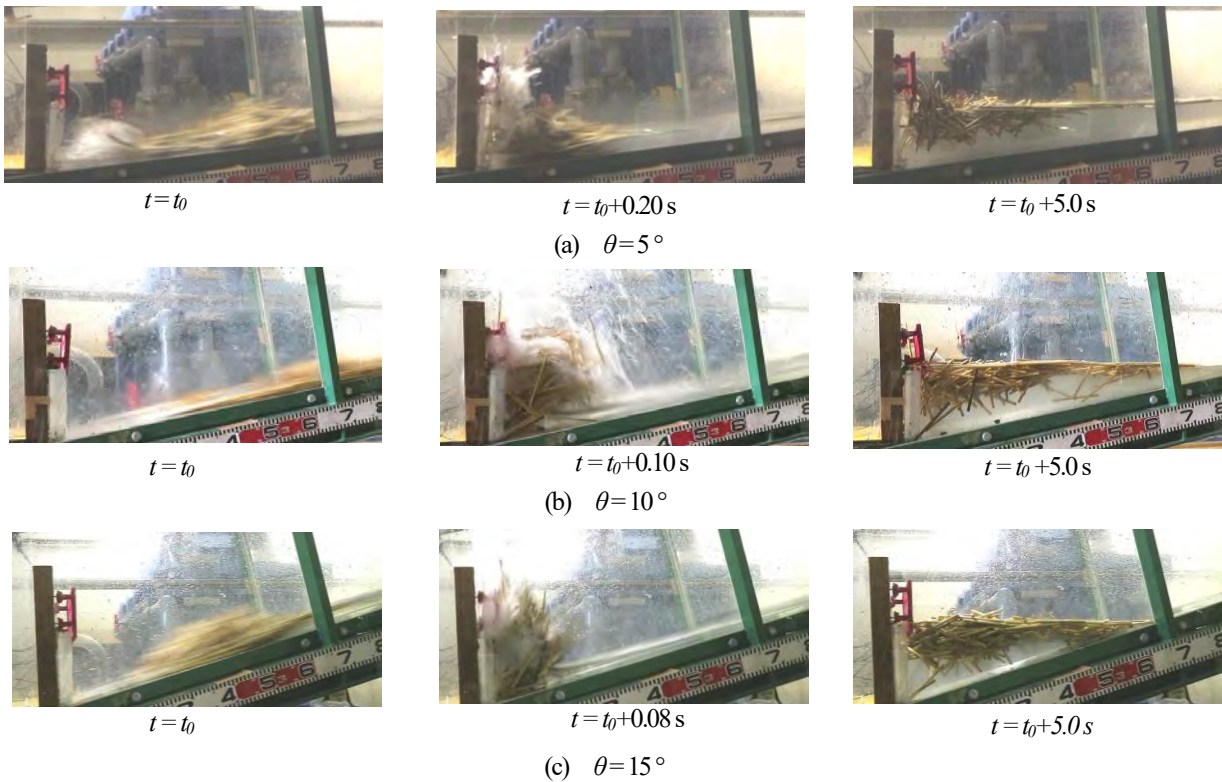


写真-5 流木の流下状況（初期堆積礫無）

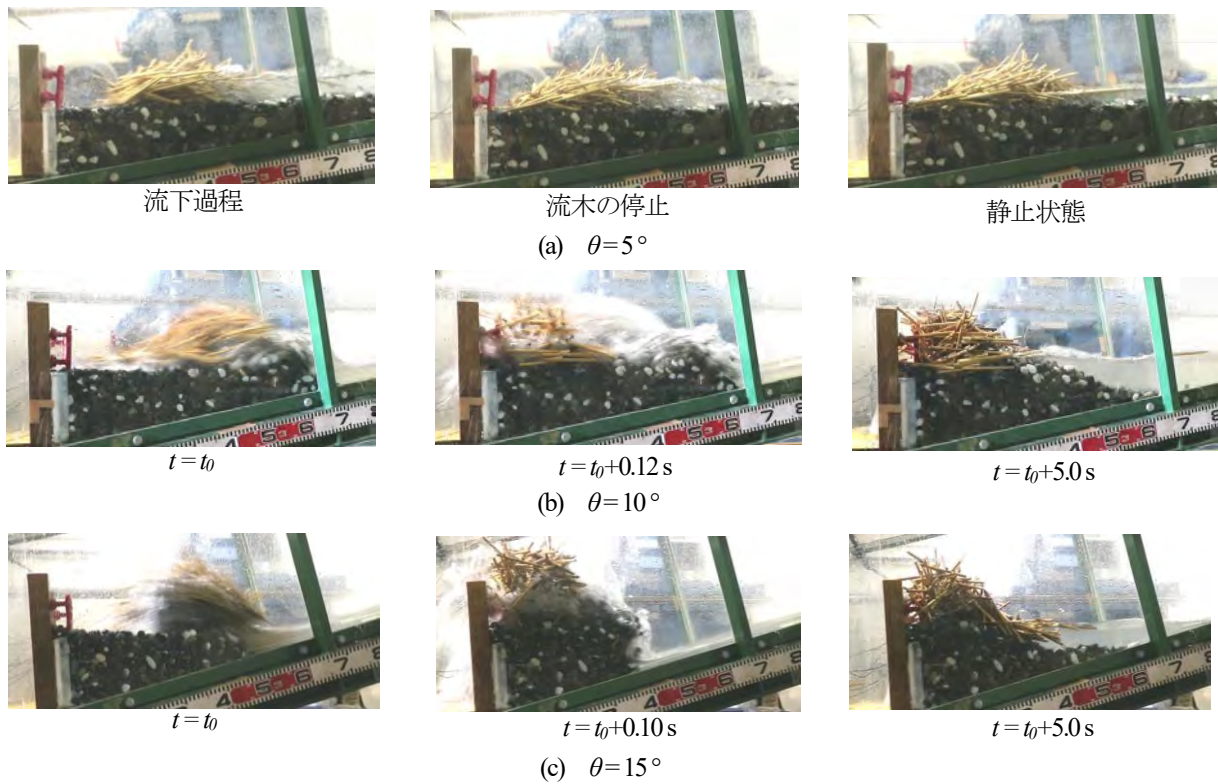


写真-6 流木の流下状況（満砂）

受ける荷重について整理した。その成果を以下に示す。

- 1) 初期堆積礫条件の影響に関係なく、流木本数が多くなると流木捕捉工まで流木が到達して衝撃的な荷重が生じることが分かった。
- 2) 流木本数が多くなると、流木捕捉工に作用する最大衝撃荷重が大きくなる。また、満砂の条件以外は不透

過部に生じる荷重も大きくなる。このことから、不透過部は静的な荷重に加えて衝撃的な荷重を考慮する必要がある。

- 3) 満砂時に大量の流木を流下させたとき、流木が流木捕捉工に到達して最大荷重が生じる。一方で、後方の流水が不透過部に滞留することで徐々に荷重が上昇し

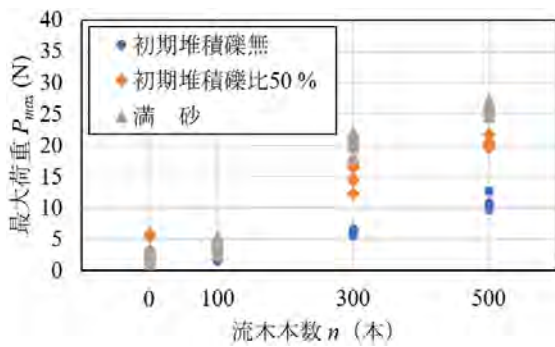


図-9 荷重～初期堆積礫高さ関係

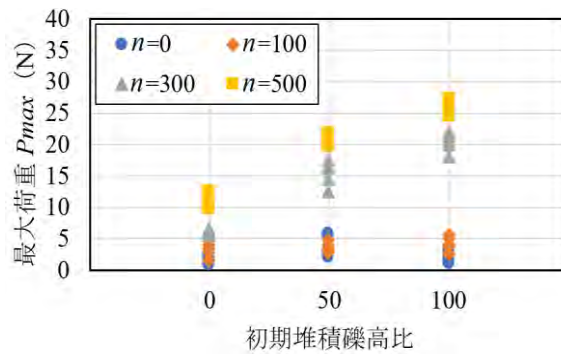


図-10 荷重～流木本数関係

ていることが分かった。これは、礫の間隙に水が浸透して、その分の荷重が作用しているためである。

- 4) 大量の流木が流れてくると流木捕捉工に衝撃的な荷重が作用するため、既設砂防堰堤に流木補捕捉工を付与する場合は、大量の流木によって生じる衝撃荷重を加味する必要がある。
- 5) 今後の課題として、勾配の影響もあるが、流木の混合や流木と礫の混合等における土石流側の材料の影響や流木の流下形態ごとの荷重の影響について検討していく。

参考文献

- 1) 国土地理院ホームページ：令和3年(2021年)7月1日からの大雨に関する情報, 2021.
- 2) 国土交通省：平成29年7月九州北部豪雨による土砂災害の概要, 2017.
- 3) 国土交通省：平成29年7月九州北部豪雨に伴う流木発生量(速報値)について, 2017.
- 4) 赤澤史顕, 武澤永純, 石井靖雄：2017年7月九州北部豪雨における須川第一砂防堰堤の袖部を破壊させた原因の一考察, 砂防学会誌, Vol.72, No.5, pp.15-26, 2020.
- 5) 一般財団法人砂防・地すべり技術センター：張り出しタイプ流木捕捉工設計の手引き, 2020.
- 6) 高橋保：土石流の発生と流動に関する研究, 京大防災研究所年報, B-2, pp.1-31, 1977.
- 7) 池谷浩：土石流の分類, 土木技術資料20(3), pp.44-49, 1978.
- 8) 水山高久：砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点, 新砂防, Vol.112, pp.40-43, 1979.
- 9) 大同淳之, 吉栖雅人, 中嶋健太：土石流による衝撃力, 水工学論文集, 第38巻, pp.557-562, 1994.
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策技術指針解説, 国土技術政策総合研究所資料, 第905号, 2016.
- 11) 水山高久, 石川芳治, 矢島重美：透過型砂防ダムに

よる流木捕捉効果, 土木技術資料, Vol.30, No.11, pp.47-52, 1988.

- 12) 石川芳治, 水山高久, 福澤誠：砂防ダムおよび流木止めスクリーンによる流木捕捉効果, 土木技術資料, Vol.31, No.9, pp.41-47, 1989.
- 13) Ruiz-Villanueva V, Bürkli L, Mazzorana B, Mao L, Ravazzolo D., Iribarren P, Wohl E., Nakamura F, Stoffel M.: Defining and characterizing wood-laden flows in rivers using home videos, E3S Web of Conferences 40, pp.1-5, 2018.
- 14) 松富英夫：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性, 土木学会論文集, No.621/II-47, pp.111-127, 1999.
- 15) 有川太郎, 鷲崎誠：津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.781-785, 2010.
- 16) 堀口俊行, 合田明弘, 嶋川理, 山田正：透過型砂防堰堤に作用する流木混じり土石流荷重の検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.72, No.2, pp.325-336, 2020.
- 17) 原田紹臣, 高橋諒, 佐藤厚慈, 里深好文, 水山高久：流木対策施設における流木捕捉機構に関する一考察, 第70回令和3年度砂防学会研究発表会概要集, pp.421-422, 2021.
- 18) 立石龍平, 堀口俊行, 園田佳巨, 嶋川理：回転円筒実験における土石流中の流木偏析現象に関する個別要素解析, 構造工学論文集, Vol.65A, pp.821-834, 2019.
- 19) 渋谷一, 香月智, 大隅久, 國領ひろし：平成22年7月16日に広島県庄原市で発生した豪雨災害における流木実態調査, 砂防学会誌, Vol.64, No.1, pp.34-39, 2011.
- 20) 小松喜治, 堀口俊行, 香月智, 石川信隆, 水山高久：鋼製透過型砂防堰堤の前面傾斜角が土石流衝撃荷重に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.779-788, 2018.