

流木と礫を含む土石流モデルの荷重測定実験

砂防鋼構造物研究会 ○國領ひろし 石川信隆
 防衛大学校 渋谷 一 香月 智
 京都大学大学院 水山高久

1. 緒言

透過型砂防堰堤は、土石流および土砂とともに流出する流木の捕捉機能が期待されており、実際の土石流捕捉事例においても、流木+土砂の捕捉形態が報告されている¹⁾。しかしながら、土石流中の流木が透過型砂防堰堤に作用する荷重に与える影響については、あまり明確にはなっていない。そこで本研究では、実験水路により透過型砂防堰堤による流木と礫を含む土石流モデルの捕捉実験を行い、土石流中の流木が土石流の捕捉や作用荷重に与える影響について基礎的検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 実験条件

実験は、実物の1/50の縮尺とし、幅0.3m、高さ0.5m、長さ約4.0mの矩形水路を用いて行った。礫モデルには、比重1.9で粒径5~35mmの固化石炭灰を用い、流木モデルには、直径6mmで長さ12cmの円柱木材を使用した。堰堤模型は、直径1cmで高さ15cmの円柱状の木材を垂直に立てたモデルとし、この柱部材のうち1本に分力計を設置して柱部材に作用する荷重を測定した。

2.1 実験条件

実験ケースを表-1に示す。本実験では、流量を約4.4l/s、流下土砂量を一定とし、水路勾配 θ 、柱部材純間隔 W と95%粒径 d_{95} の比(間隔比) W/d_{95} および流木容積率 K_w を変化させて行った。実験は、計17ケースであり、各ケース5回測定を行った。

3. 実験状況

写真-1に、間隔比 $W/d_{95}=1.0$ 、流木容積率 $K_w=0, 20\%$ の場合の土石流捕捉状況を示す。まず、流木を含まない $K_w=0\%$ の場合では、巨礫が先頭部で捕捉された後、続いて中礫-小礫が捕捉されている状況がわかる。一方、 $K_w=20\%$ になると、礫より先に流木が捕捉され、捕捉面がほぼ流木で覆われていることが確認される。これより、土石流中の巨礫や流木が土石流先頭部に集中する流下形態やその捕捉形態が概ね再現できていることがわかる。

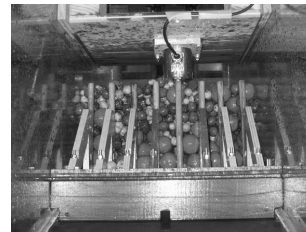
4. 実験結果

4.1 捕捉率と流木容積率の関係

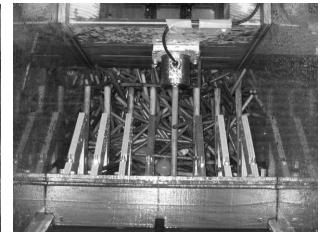
図-1に、捕捉率と流木容積率の関係を示す。間隔比 $W/d_{95}=1.0$ のケースでは、流木容積率 $K_w=0\%$ の場合は捕捉率が約70~85%となっているものの、 $K_w=10, 20\%$ となると、捕捉率がいずれも98%以上になることがわかる。一方、間隔比 $W/d_{95}=1.5, 2.0$ のケースでは、 $K_w=0\%$ の場合はほとんど捕捉されない結果となったが、 $K_w=10, 20\%$ となると、先頭部の流木が捕捉されることにより、捕捉率がいずれも95%以上となる。これより、同じ間隔比であっても、土石流中に流木が含まれることにより、捕捉率が顕著に上昇することがわかる。

表-1 実験ケース

勾配 θ (°)	柱部材純間隔 W	流木本数(本) (流木容積率 K_w)	ケース数
10	1.0× d_{95} (27mm)	0(0%)	8
12	1.5× d_{95} (40.5mm)	270(10%)	
15	1.0× d_{95} (27mm)	0(0%)	9
	1.5× d_{95} (40.5mm)	270(10%)	
	2.0× d_{95} (54mm)	608(20%)	



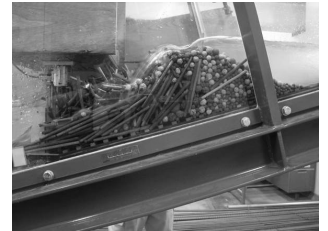
(a) $K_w=0\%$, -正面



(b) $K_w=20\%$, -正面



(c) $K_w=0\%$, -側面



(d) $K_w=20\%$, -側面

写真-1 土石流捕捉状況の一例(勾配15°, $W/d_{95}=1.0$)

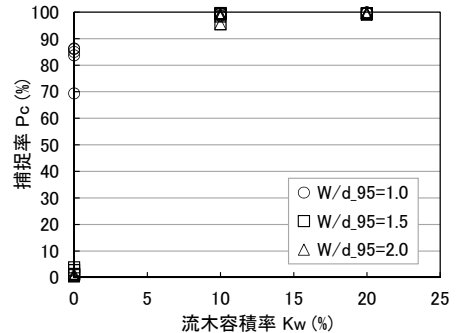


図-1 捕捉率~流木容積率の関係(勾配15°)

4.2 荷重~時間関係

図-2に、間隔比 $W/d_{95}=1.0$ 、流木容積率 $K_w=0, 10\%$ の場合の土石流捕捉時の荷重~時間関係の一例を示す。ここで、最大衝突荷重 P_{max} とは土石流衝突時に計測された荷重の最大値をいい、堆積荷重とは土石流捕捉後の収束荷重(荷重がほぼ一定になった状態)をいう。流木容積率 $K_w=0\%$ の場合では、礫衝突時に最大衝突荷重 $P_{max}=25.3N$ を生じ、その後、荷重は約4.0N程度に収束する。一方、流木容積率 $K_w=10\%$ の場合では、先頭部の流木衝突時に最大衝突荷重 $P_{max}=10.4N$ を生じ、その後、荷重が約4.0N程度に収束する。これより、本ケースでは土石流中に流木が含まれると最大衝突荷重が約40%小さくなる事がわかる。

4.3 最大衝突荷重と流木容積率の関係

図-3に、最大衝突荷重と流木容積率の関係を示す。なお、図-3(a)は同一条件下で各5回行った実験結果、図-3(b)はその平均値を示している。これより、土石流中に流木が含まれると最大衝突荷重が小さくなる傾向が見受けられる。特に、流木容積率 $K_w=0\%$ から $K_w=10\%$ に増加すると荷重の減少率が顕著である。これは、礫より質量が軽い流木が先行して衝突し、その後、先頭部で捕捉された疎な流木塊に礫が衝突することにより、この流木塊がクッションのように働くことで緩衝効果を発揮しているためと推定される。

4.4 堆積荷重と流木容積率の関係

図-4に、堆積荷重と流木容積率の関係を示す。これより、流木を含む場合の堆積荷重に大きなばらつきがあることがわかる。この堆積荷重のばらつきをみると、流木容積率 $K_w=0\%$ では標準偏差が1.1Nであるのに対し、 $K_w=10\%$ では2.6~4.1N、 $K_w=20\%$ では3.3~4.6Nと大きくなっている。図-4(b)に示す平均値では、 $K_w=10\%$ から $K_w=20\%$ に増加すると堆積荷重もやや増加する傾向が見受けられる。これは、流下土砂量を一定としているが、流木容積率が増加すると流下する土石流全体の総量が増加するためと考えられる。また、間隔比 W/d_{95} が大きいほど堆積荷重も大きくなる傾向があるが、これは間隔比が大きくなると柱部材1本に作用する荷重分担幅が大きくなるためと考えられる。

4.5 堆積荷重と礫圧荷重+静水圧荷重の比較

図-5に、堆積荷重と礫圧荷重+静水圧荷重の関係を示す。ここで、礫圧荷重および静水圧荷重とは、柱部材1本に作用する荷重を表し、土石流捕捉後に観察された堆積高さ h_d および捕捉後水深 h_w から指針³⁾を参考に算出した荷重を柱部材本数 n で除した値である。図-5(b)より、流木を含まない $K_w=0\%$ の場合には、各柱部材に均等に荷重が作用する100%相関線を概ね捉えているが、流木を含む $K_w=10, 20\%$ の場合には、ばらつきが生じ、100%相関値に対して最大で約1.5倍程度の値となるケースも生ずる。これは、土石流先頭部で流下する流木が先行して捕捉されるため、流木捕捉工に作用する荷重実験²⁾と同様に、複雑に絡み合った流木塊を介して柱部材に荷重が作用することによる偏りが生ずるためと考えられる。

5. 結論

本実験の成果をまとめると以下のようなになる。

- (1) 土石流中に流木が含まれると、先行して流木が捕捉されることにより、土石流全体の捕捉率が大きくなる。
- (2) 土石流中に流木が含まれると、最大衝撃荷重は礫のみの土石流の場合と比べ、小さくなる傾向がある。
- (3) 土石流中に流木が含まれると、堆積荷重はやや大きくなり、大きなばらつきが生じる。
- (4) 堆積荷重のばらつきの原因は、先行して捕捉された流木塊を介して柱部材に荷重が作用することによる偏りの影響であると考えられる。

なお、本実験は装置の関係上、柱部材のうち1本分の荷重しか測定することができなかったが、今後は、各部材に作用する荷重について測定・検証するとともに、解析可能な手法⁴⁾等を用いて荷重の偏りの影響を検討することが望ましいと考える。

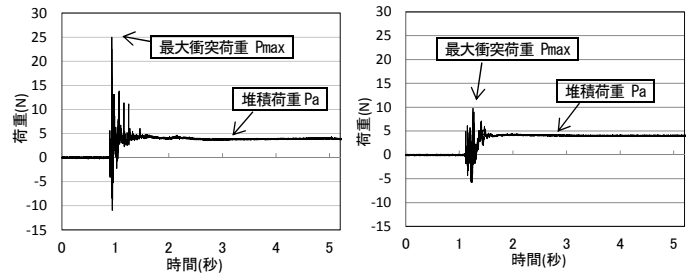


図-2 荷重～時間関係の一例 (勾配15°, $W/d_{95}=1.0$)

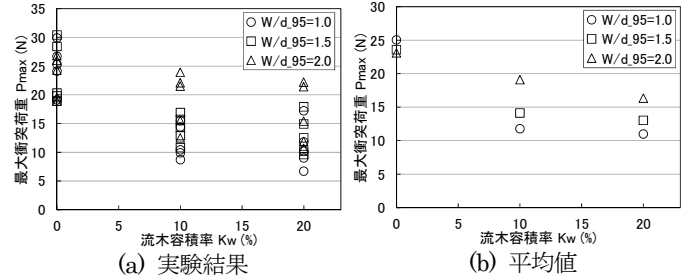


図-3 最大衝突荷重～流木容積率の関係 (勾配15°)

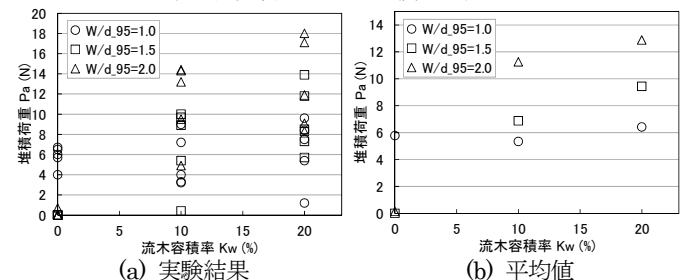
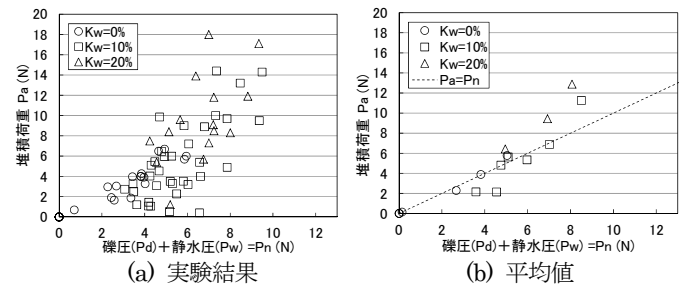


図-4 堆積荷重～流木容積率の関係 (勾配15°)



$$P_d = \frac{1}{2n} C_e \gamma_s h_d^2 B \quad \dots (1)$$

ここで、 P_d : 柱部材1本あたりに作用する礫圧荷重、
 γ_s : 土砂の水中単位体積重量、 B : 水路幅
 n : 柱部材の本数、 C_e : 土圧係数、

$$P_w = \frac{1}{2n} \rho g h_w^2 B \quad \dots (2)$$

ここで、 P_w : 柱部材1本あたりに作用する静水圧荷重、
 n : 柱部材の本数、 ρ : 水の密度、 B : 水路幅

図-5 堆積荷重～礫圧荷重(P_d) + 静水圧荷重(P_w)の関係

参考文献

- 1) 山口聖勝, 國領ひろし, 水山高久: 八幡谷渓流で土石流を捕捉した鋼製砂防堰堤の除石について, 平成23年度砂防学会研究発表会概要集, pp.494-495, 2010.5
- 2) 國領ひろし, 石川信隆, 渋谷一, 香月智, 水山高久: 流木捕捉工に作用する荷重に関する実験的研究, 平成23年度砂防学会研究発表会概要集, pp.308-309, 2011.5
- 3) 国土交通省砂防部, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 土石流・流木対策設計技術指針及び同解説, 2007.11
- 4) 渋谷一, 原大輔, 香月智: 3次元個別要素法による透過型砂防えん堤の流木混じり土石流の捕捉シミュレーション, 応用力学論文集, Vol.12, pp.449-460, 2009