

透過型砂防えん堤に作用する流木混じり土石流荷重に関する実験

Experimental study of load for steel frame check dam caused by debris flow with woody debris

渋谷 一*¹ 香月 智*² 國領 ひろし*³ 大隅 久*³ 石川 信隆*³
Hajime Shibuya Satoshi Katsuki Hiroshi Kokuryo Hisashi Ohsumi Nobutaka Ishikawa

Abstract

This paper presents an experimental approach on the load of debris flow with woody debris for open type steel frame check dam structure. The hydraulic model experiments are carried out with various parameters, i.e., driftwoods containment ratio of debris and slit interval of the structure. When the debris contains woody debris, the driftwoods are gathered the front of debris, and slit interval of the structure is blocked by the stuffed woods. And the impact load acting on the column caused by debris flow with woody debris is smaller than the one caused by debris of gravels. The accumulation of driftwoods acts like a shock absorber for the columns. The accumulation of driftwoods induces the lopsidedness of static load for the columns, because the accumulation is formed unevenly.

Key Words : load, debris flow with woody debris, steel frame check dam

1. 緒言

わが国における土石流・流木対策は、平成18年以前まで土石流対策技術指針¹⁾と流木対策指針²⁾として個別に管理されていたが、平成19年の指針の改訂によりこれらは砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)³⁾と土石流・流木対策設計技術指針⁴⁾として統合され、透過型砂防えん堤が土石流対策と流木対策の双方を期待する構造物として捉えられるようになった。しかし、鋼管製の構造物である透過型砂防えん堤は、平成18年以前から設置されており、必ずしも新指針で意図する流木を含む土石流荷重を受けるように設置されているとは言い難い。

土石流や流木が透過型砂防えん堤などの鋼管構造物に与える荷重に関する既往研究を見ると、例えば水山ら^{5),6)}は、土石流中に含まれる巨礫が先頭部付近に集中することに着目して、鋼管梁に対する重錘や鋼球の自由落下による衝撃実験を行っている。また石川⁷⁾は、流木止に作用する衝撃力評価のため、丸太による流木の衝突実験を行っている。流木に関する衝撃力評価に関しては、他にも松富⁸⁾により、鐘突き式に衝突する流木の衝突力評価式が提案されている。これらの研究は、一つの礫または流木が衝突する際の衝撃力を評価したものである。一方、土石流全体として構造物に作用する荷重の測定に関しては、薄肉鋼板や壁面に対し土石流全体が衝突する時に生じる衝撃荷重の測定に関する実験⁹⁾や、これに対する粒子法を用いた解析的な研究¹⁰⁾などが行われている。土石流以外にも、内田ら¹¹⁾や小山内ら¹²⁾により、崩土が擁壁等の構造物に与える衝撃荷重に関する検討なども行われている。

ところで、土石流・流木対策設計技術指針⁴⁾では、土石流捕捉時に透過型砂防えん堤に作用する荷重は堆砂圧と土石流流体力と考えられている。この設計式では、作用荷重は横断方向に均一に作用するものと仮定されている。しかし、実際に流下する土石流のうねりは、荷重の不均一性を生じさせ、その影響により砂防えん堤が破壊した事例も報告されている¹³⁾。このように、土石流捕捉時または捕捉後に作用する流木混じり土石流の荷重についての多面的な研究が必要と考えられる。

そこで本研究は、柱部材で構成される透過型砂防えん堤による流木混じり土石流の捕捉に関する水路実験を行い、透過型砂防えん堤に作用する土石流捕捉時の荷重を測定し、透過型砂防えん堤に作用する荷重に与える流木の影響について考察するものである。

2. 実験概要

実験はフルードの相似則に従うものと仮定した。ただし、その結果について実物大荷重に対する検討は行わず、水路実験から得られる結果を相対比較する範囲で考察するものとした。

2.1 実験装置の概要

図-1に実験に用いた実験水路の概要を示す。流下水路の寸法は、長さ4.35m、幅0.3m、高さ0.5mであり、底面はステンレス製、側面はガラス製で、側面からの観察が可能となっている。なお、流下水路の水路床は、金属製平滑面のままでは段波形状を形成しないので、文献14)を参考に、棧粗度(棧幅10mm、棧高さ5mm、設置間

*1 学生会員 防衛大学校理工学研究科 Graduate school of science and engineering, National Defense Academy (ed10006@nda.ac.jp)

*2 正会員 防衛大学校システム工学群建設環境工学科 Department of Civil and Environmental Engineering, School of Systems Engineering, National Defense Academy *3 正会員 砂防鋼構造物研究会 Research Association for Steel Sabo Structures

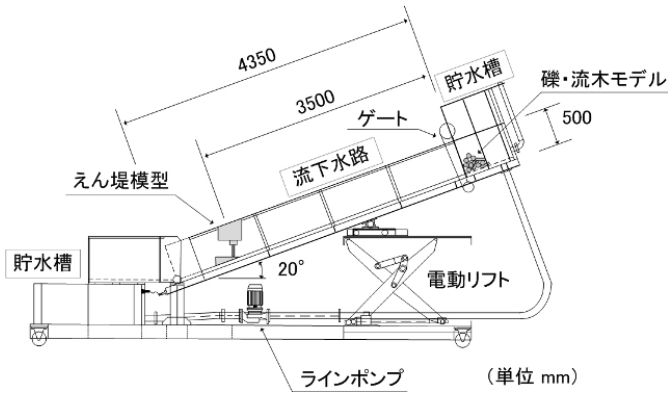


図-1 実験装置の概要

Fig.1 Side view of debris flow test device

表-1 礫モデルの諸元

Table 1 Data of gravels

呼称粒径 (mm)	粒径範囲 (mm)	実験に用いた容積 (ℓ)	着色
30	30~35	1.5	灰色
15	15~20	3.0	緑色
10	10~15	3.0	黄色
5	5~10	3.0	赤色



(a) 礫モデル (左から粒径 5, 10, 15, 30mm)



(b) 流木モデル (φ6×120mm)

写真-1 礫・流木モデル

Photo 1 Samples of debris and wood

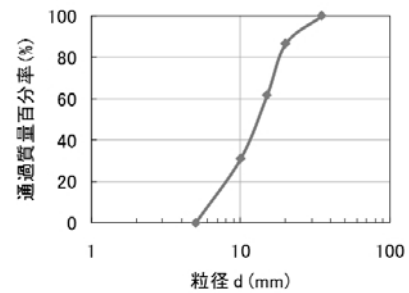


図-2 礫モデルの粒径加積曲線

Fig.2 Grain size curve of gravels

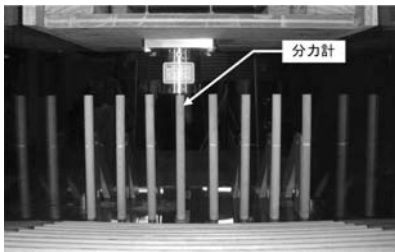


写真-2 えん堤モデルと分力計の設置状況

Photo 2 Check dam structure model and load cell

表-2 実験ケース

Table 2 Experimental cases

純間隔 W	流木本数(本) (流木容積率 K_w)	ケース数
$1.0 \times d_{95}$ (27mm)	0 (0%)	9
$1.5 \times d_{95}$ (40.5mm)	270 (10%)	
$2.0 \times d_{95}$ (54mm)	608 (20%)	

隔 20mm) を用いた。

2.2 礫・流木モデル

実験に用いた礫・流木モデルは、写真-1 に示すような粒子および木材によって構成される。礫モデルには粒状石炭灰 (比重 1.9) を用い、粒径ごとの捕捉状況を観察するため、粒径 30, 15, 10, 5mm の 4 種類の礫径にふるい分け、それぞれ灰色、緑色、黄色、赤色に着色した。表-1 に礫モデルの諸元を示す。また、礫モデルの粒径加積曲線は図-2 の通りであり、最大礫径 $d_{max}=35mm$ 、95%礫径 $d_{95}=27mm$ 、平均礫径 $d_{50}=13mm$ である。流木モデルは、著者らの行った調査結果¹⁵⁾ (流出した流木の平均長 6m, 平均直径 25cm) を参考にして、1/50 の縮尺で φ6×120mm の木材 (比重 0.8) を使用した。

2.3 えん堤モデル

写真-2 に、実験に用いた透過型砂防えん堤模型を示す。ここでは、一般的に用いられる鋼管直径 50cm に対応する φ10mm として、木製円柱を使用して作製した。間隔 W については、現行基準で採用されている鋼管間隔と 95%礫径の比 W/d_{95} (以下、間隔比と呼ぶ。) を、1.0 ($W=27mm$) を基準に、1.5 ($W=40.5mm$)、2.0 ($W=54mm$) の 3 種類を用いた。

2.4 実験条件

実験は水路勾配を 15°で固定し、礫・流木モデルを図-1 に示す水路上流に配置し、約 4.40/s の流量を供給しつつ流下させた。実験ケースは表-2 に示すように、間隔比と流木容積率を変化させて、各ケース 5 回ずつの実

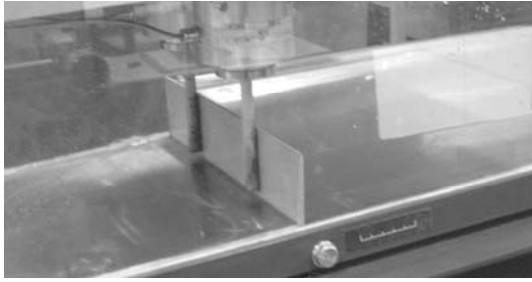


写真-3 静水圧荷重の測定状況
Photo 3 Measurement of hydrostatic pressure

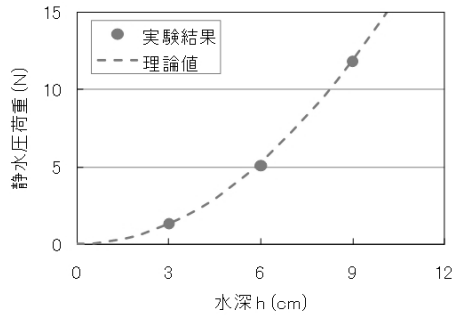


図-3 静水圧荷重の測定結果
Fig.3 Measurement result of hydrostatic pressure



(a) 流木容積率 0%



(b) 流木容積率 10%



(c) 流木容積率 20%

写真-4 土石流の流下状況
Photo 4 Flow of debris

験を行った。

実際の土石流においては流木の容積率が20%前後の値を示すことが報告¹⁶⁾されていることを参考に、実験の流木容積率は20, 10%と、比較のため流木を含めない場合(0%)の3種類とした。ここで、流木容積率 K_w とは次式で表される。

$$K_w = \frac{V_t}{V_g + V_t} \quad (1)$$

ここで、 V_g : 礫モデルの容積、 V_t : 流木モデルの容積。

2.5 荷重の計測方法

写真-2 に分力計の設置状況を示す。本研究では、えん堤モデルの柱部材のうち、中心に位置する1本に作用する荷重を分力計(ひずみゲージ式、容量:50N)により測定した。

2.6 静水圧荷重の測定による分力計の検定

実験に先立ち、写真-3 に示すように上述の分力計を用いて静水圧荷重を測定し、分力計の検定を行った。ここでは、実験で用いる50N分力計と、もう一つ10N分力計の2つを用いて、それぞれに取り付けた2本の柱の前面に水路幅分の板を立て、板の上流側を満水にすることで、静水圧を測定した。なお、板の高さは3, 6, 9cmの3種類を用いた。図-3 に測定結果を示す。ここで、計測荷重とは2つの分力計で計測された荷重の合計値である。

測定結果と理論値の曲線は同じ値になっており、分力計が圧力の合計値としての荷重を正しく計測できることを確認した。

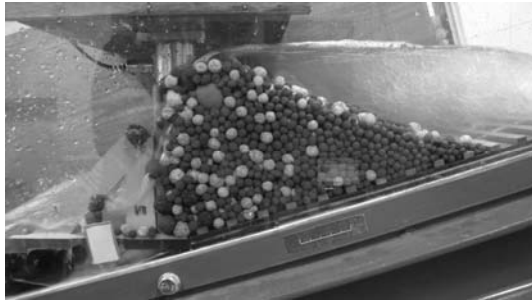
3. 実験結果および考察

3.1 土石流の流下状況

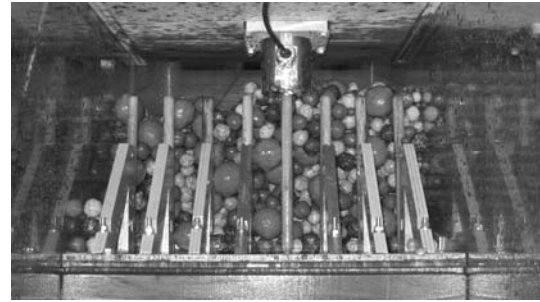
写真-4 に土石流の流下状況を流木容積率ごとに示す。まず、写真-4(a)に示す流木を含めない場合では、礫の順序が概ね灰(30mm)ー緑・黄(15, 10mm)ー赤(5mm)の順で流下しており、巨礫が先頭部に集中しながら流下している。さらに、写真-4(b), (c)に示す流木容積率10%, 20%では、礫よりも先に流木が流下している。これより、流木や巨礫が先頭部に集中する流木混じり土石流の流下に関する特徴を、概ね再現できていることがわかる。なお、参考までに、流下時の流木混じり土石流の平均的な容積濃度は0.55程度である。

3.2 土石流の捕捉状況

写真-5 に、間隔比 $W/d_{95} = 1.0$ のケースにおける土石流の捕捉状況を流木容積率ごとに示す。まず流木を含めない場合では、閉塞面に灰・緑・黄(30, 15, 10mm)の礫が多くみられ、赤(5mm)の礫がその上流に捕捉されている。また、捕捉後の水深は、捕捉された礫の最も高い位置まで湛水している。一方、流木容積率10%では、閉塞面にやや礫が見受けられるものの、大半は流木で閉塞してい



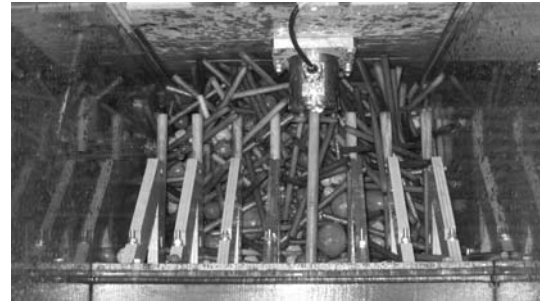
(a) 流木容積率 0%, 左岸側



(d) 流木容積率 0%, 下流側



(b) 流木容積率 10%, 左岸側



(e) 流木容積率 10%, 下流側



(c) 流木容積率 20%, 左岸側



(f) 流木容積率 20%, 下流側

写真-5 土石流の捕捉状況 ($W/d_{95}=1.0$ のケース)

Photo 5 Capture results of debris (Case of $W/d_{95}=1.0$)

る。さらに、流木容積率 20%になると、捕捉面は全て流木で閉塞している。また、流木混じり土石流の堆積塊中の水深は、礫の堆積面では礫と同等の高さになっているもの、流木の堆積面では流木塊よりも水深が低くなっている。これは、礫に比べて流木が疎に堆積していることにより、透水性が高くなっているためである。

3.3 荷重～時間関係

図-4 に、間隔比 $W/d_{95}=1.0$ のケースにおける土石流捕捉時の荷重～時間関係を示す。まず、流木を含まない場合には、礫到達時に最大荷重 $P_{\max}=25.3$ N を生じ、その後の衝突荷重は徐々に小さくなり、初めの衝突から 1.0 秒後には荷重が 4.0 N に収束している。一方、流木容積率 10% では、流木到達時に最大荷重 $P_{\max}=10.4$ N を生じ、その後衝突荷重が小さくなり、1.0 秒後に荷重が 4.0 N に収束している。さらに、流木容積率 20% になると、流木到達時の最大荷重が $P_{\max}=9.0$ N まで下がり、1.0 秒後には荷重が 7.5 N に収束している。このように、流木を含まない場合に比して流木容積率が大きくなると、衝突時の最大荷重が著しく小さくなっている。

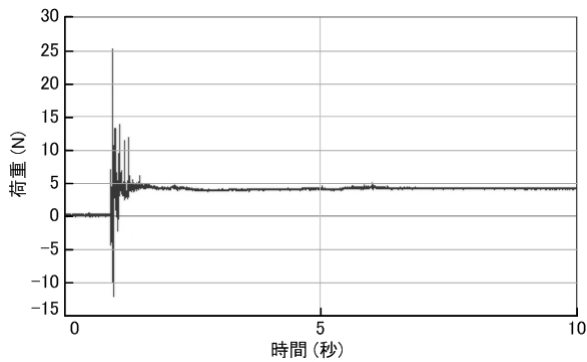
3.4 捕捉率と流木容積率の関係

図-5 に捕捉率と流木容積率の関係を示す。ここで捕捉率とは、流木を含む土石流全体の容積に対する捕捉された土石流の容積であり、次式で表される。

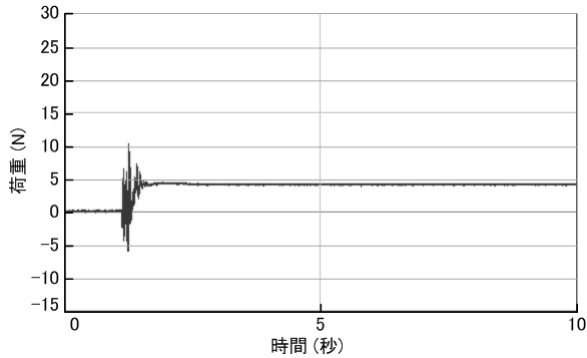
$$P_c = \frac{\sum V_{g-i}^{trap} + V_t^{trap}}{V_g + V_t} \quad (2)$$

ここで、 i : 呼称粒径 30, 15, 10 または 5mm を表す記号、 V_{g-i}^{trap} : 捕捉された粒径 i の礫モデルの容積、 V_t^{trap} : 捕捉された流木モデルの容積である。

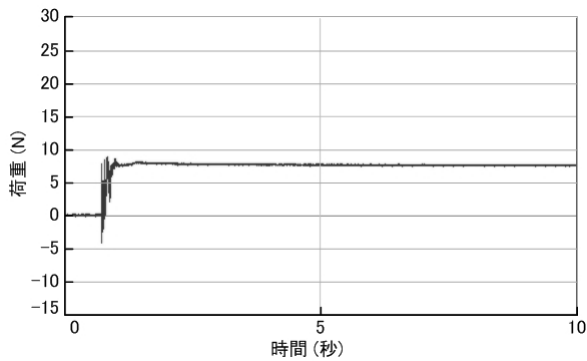
まず、間隔比 $W/d_{95}=1.0$ では、流木を含まない場合には捕捉率が約 69~86% となっているものの、流木容積率が 10, 20% になると捕捉率がいずれも 98.5% 以上となり、ほとんど捕捉されるようになる。一方、間隔比 $W/d_{95}=1.5$ や 2.0 では、流木を含まない場合にはほとんど捕捉されていない。これは、最大粒径 $d_{\max}=35$ mm に対し、純間隔が $W=40.5$ mm ($W/d_{95}=1.5$)、54 mm (同 2.0) と広がるため、捕捉されにくくなったものである。しかし、流木容積率が 10, 20% になると、ほとんどの流木が捕捉されることにより、捕捉率がいずれも約 95% 以上となっている。こ



(a) 流木容積率 0%



(b) 流木容積率 10%



(c) 流木容積率 20%

図-4 荷重～時間関係の一例 ($W/d_{95}=1.0$ のケース)
Fig.4 Time history of load (Case of $W/d_{95}=1.0$)

れより、同じ間隔比であっても、流木が土石流中に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。なお、本実験の流木長は $l=12\text{cm}$ の一定値であるが、部材間隔と流木長の比 W/l においては、 $W/l=0.23$ ($W/d_{95}=1.0$), 0.34 (同 1.5), 0.45 (同 2.0) と異なっている。

3.5 最大衝突荷重と流木容積率の関係

図-6 に、最大衝突荷重と流木容積率の関係を示す。なお、図-6(a)は同一条件下で各 5 回行った実験の実験結果、図-6(b)はその平均値を示している。

まず、間隔比 $W/d_{95}=1.0$ では、流木を含まない場合には最大衝突荷重が約 $19\sim 30\text{N}$ となっているものの、流木容積率が $K_w=10\%$ になると $8\sim 16\text{N}$ 、 $K_w=20\%$ では $6\sim 17\text{N}$

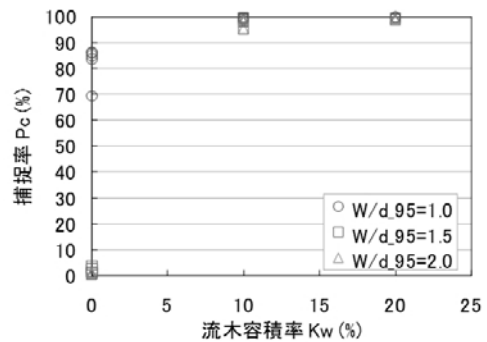
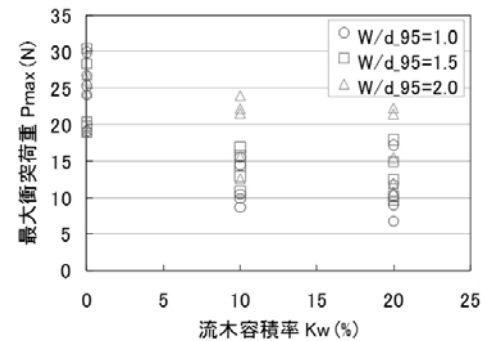
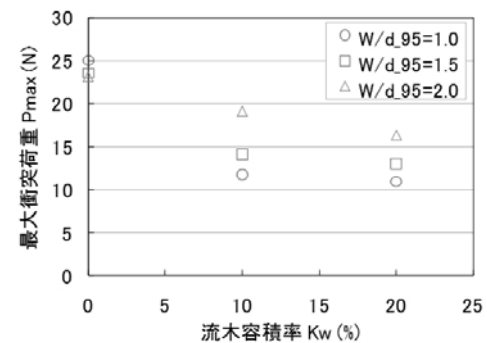


図-5 捕捉率～流木容積率関係

Fig.5 Relationship between capture ratio and driftwood containment ratio



(a) 実験結果

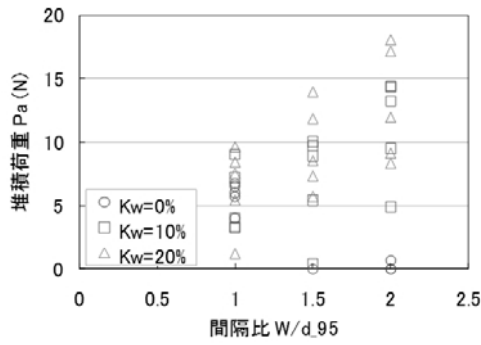


(b) 平均値

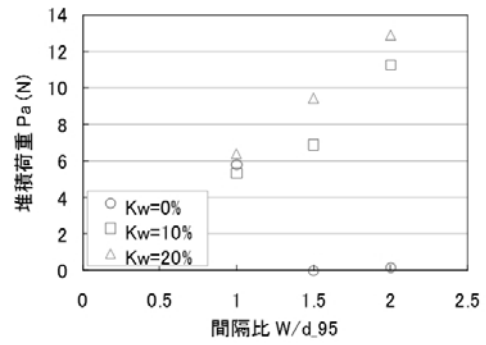
図-6 最大衝突荷重～流木容積率関係
Fig. 6 Relationship between impact load and driftwood containment ratio

となり、流木容積率の増加に伴い最大衝突荷重が著しく小さくなる。この傾向は、間隔比 $W/d_{95}=1.5, 2.0$ でも同様に見られる。特に、流木容積率が 0% から 10% に増加すると荷重の減少率が大きく、土石流中に流木が混じることにより、最大衝突荷重が小さくなることがわかる。この点について、写真-5 に示す流木の捕捉状況やビデオを観察すると、疎な流木塊が礫衝突に対するクッションとなり、緩衝効果を発揮していることがわかる。

さらに図-6(b)では、間隔比が小さくなると、この緩衝効果が大きくなる傾向が見られる。これは、部材間隔が小さいと、先行して捕捉された流木が複数の部材に跨るためと考えられる。



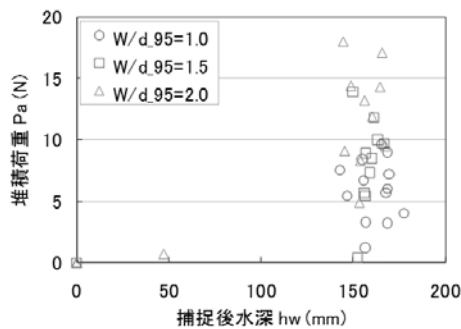
(a) 実験結果



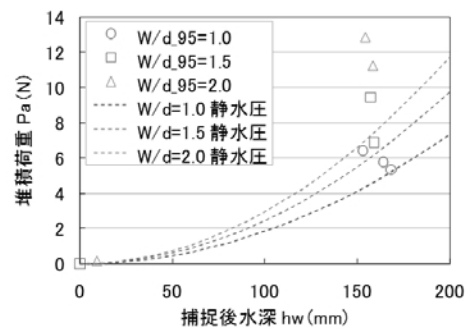
(b) 平均値

図-7 堆積荷重～間隔比関係

Fig. 7 Relationship between static load and slit interval



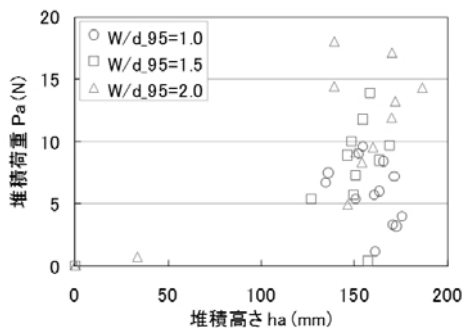
(a) 実験結果



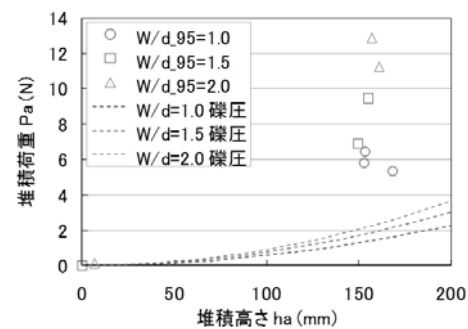
(b) 平均値

図-8 堆積荷重～捕捉後水深関係

Fig. 8 Relationship between static load and depth of water



(a) 実験結果



(b) 平均値

図-9 堆積荷重～堆積高さ関係

Fig. 9 Relationship between static load and height of accumulation

3.6 堆積荷重と間隔比の関係

図-7 に堆積荷重と間隔比の関係を示す。なお、図-7(a)は同一条件下で各5回行った実験結果、図-7(b)はその平均値を示している。ここで堆積荷重とは、土石流捕捉後の収束荷重のことを示しており、写真-5 に示す湛水した水の水压を含んだ荷重のことである。

まず、流木を含まない場合には、間隔比が $W/d_{95} = 1.0$ の場合には堆積荷重が約 4~7 N となっているものの、 $W/d_{95} = 1.5, 2.0$ になると 0 N となる。これは、図-5 でも示したように礫がほとんど捕捉されなかったためである。一方、流木容積率が 10, 20% の場合には、間隔比の増加に伴い堆積荷重が大きくなる傾向があることがわかる。

これは、間隔 W が広くなると、柱部材 1 本の受け持つ正面幅が大きくなるため、荷重が増大したものである。

3.7 堆積荷重～捕捉後水深、堆積高さ関係

図-8 に堆積荷重～捕捉後水深関係、図-9 に堆積荷重～堆積高さ関係を示す。ここで、捕捉後水深 h_w とは写真-6 に示すように、土石流捕捉後の水深のうち最も高い水深を読み取ったものである。また、堆積高さ h_a も同様に、土石流捕捉後の堆積塊の最も高い礫または流木の重心高さを読み取ったものである。

これより、堆積荷重は捕捉後水深、堆積高さのいずれに対しても相関性があまり見られない。これは、実験結

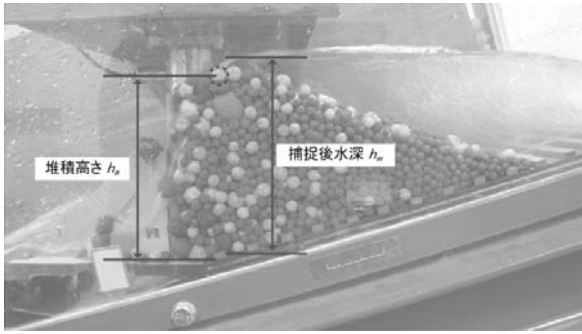


写真-6 捕捉後水深と堆積高さ
Photo 6 Depth of water and height of accumulation after capture of debris

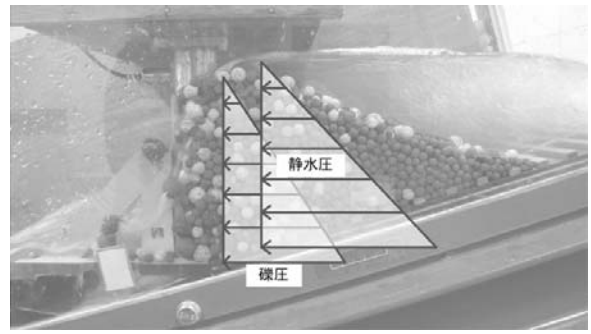


図-10 静水圧荷重と礫圧荷重
Fig.10 Hydrostatic load and load of gravel pressure

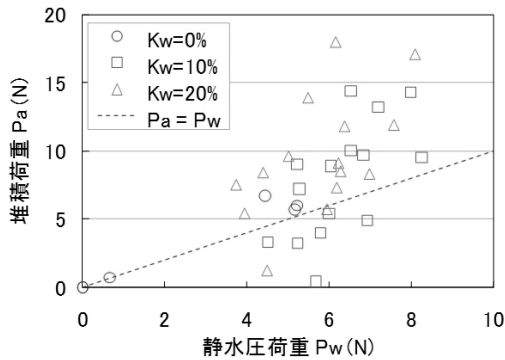


図-11 堆積荷重～静水圧荷重関係
Fig. 11 Relationship between static load and hydrostatic load

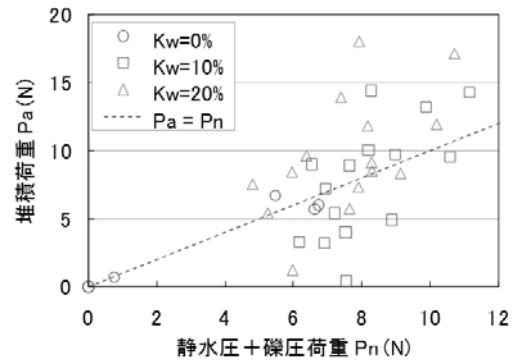


図-12 堆積荷重～静水圧+礫圧荷重関係
Fig. 12 Relationship between static load and hydrostatic and load of gravel pressure

果の捕捉後水深や堆積高さがほとんど同じ値となったためである。

ここで、図-8(b)中に示す点線は、柱部材 1 本にかかる静水圧荷重を表しており、水路幅全面にかかる水圧を柱部材の本数 n で除したもので、次式によって求めた。

$$P_w = \frac{1}{2n} \rho g h_w^2 B \quad (3)$$

ここで、 P_w ：柱部材 1 本あたりにかかる静水圧荷重、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 B ：水路幅。

また、図-9(b)中に示す点線は柱部材 1 本にかかる礫圧荷重を表しており、水路幅全面にかかる礫圧を柱部材の本数 n で除した値であり、指針^{3), 4)}の設計式を参考に次式で求められる。

$$P_g = \frac{1}{2n} C_e \gamma_d h_a^2 B \quad (4)$$

ここで、 P_g ：柱部材 1 本あたりにかかる礫圧荷重、 C_e ：土圧係数、 γ_d ：土石流の単位体積重量。

ここでは捕捉後の状態をプロットしているの、土石流上載圧を 0 と仮定している。図-10 に、この静水圧荷重 P_w と礫圧荷重 P_g のイメージ図を示す。

図-8(b)より静水圧荷重は、実験結果の平均値の傾向をやや捉えていることがわかる。一方、図-9(b)の礫圧荷重の曲線は、実験結果の平均値を下回っている。

3.8 堆積荷重と静水圧荷重等との比較

図-11 に堆積荷重と静水圧荷重 P_w の関係、図-12 に堆積荷重と静水圧+礫圧荷重 $P_n (=P_w+P_g)$ の関係を示す。これより堆積荷重と静水圧荷重との一致度は $R^2=0.6300$ であるが、堆積荷重と静水圧+礫圧荷重との一致度は $R^2=0.6350$ であり、静水圧+礫圧荷重の方が堆積荷重との相関性がやや高くなっている。なお、 R^2 とは 2 つの値の一致度を表す指標であり、次式で表される。

$$R^2 = \frac{(\sum_i (f_i - \bar{f}_i)(y_i - \bar{y}_i))^2}{\sum_i (f_i - \bar{f}_i)^2 \sum_i (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (5)$$

ここで、 f_i ：静水圧+礫圧荷重、 \bar{f}_i ：静水圧+礫圧荷重の平均、 y_i ：堆積荷重、 \bar{y}_i ：堆積荷重の平均。

しかし、図-12 において、堆積荷重は静水圧+礫圧荷重に対する 100% 相関線の周りにならばらつきがある。このばらつきの原因は、掃流区間における流木捕捉時の荷重測定実験¹⁷⁾と同様に、流木の堆積塊を介して荷重が作用することによる偏りの影響が表れたものと考えられる。このことは、流木を含まない実験結果 ($K_w=0\%$) である丸で示すプロットでは、ほとんどばらつきが見られないのに対し、流木を含む実験結果 ($K_w=10, 20\%$) である四角や三角で示すプロットでは、ばらつきが大きいことからわかる。

これより、堆積荷重は静水圧+礫圧荷重でその傾向を表すことができ、土石流中に流木が混じると荷重の偏りの影響が強くなり、個別の柱部材に作用する堆積荷重のばらつきが増すことがわかる。

4. 結言

本研究は、流木混じり土石流を受ける透過型砂防えん堤に作用する荷重を水路実験により測定し、土石流中の流木の影響について検討したものである。本研究の成果をまとめると以下ようになる。

- (1) 一般的な流木混じり土石流の流下形態である、流木がまず先頭部に集中し、続いて径の大きい礫が先頭部に集中し、後方に向かうに従って径の小さい礫が多くなる傾向を再現できている。
- (2) 土石流中に流木が混じると、最大衝突荷重は減少する。これは、先に捕捉された流木塊による緩衝効果が表れたためと考えられる。
- (3) 土石流中に流木が混じると、堆積荷重に大きなばらつきが生じる。これは、先に捕捉された流木塊を介して柱部材に荷重が作用するため、堆積塊の形状により荷重に偏りが生じることが原因と考えられる。

本研究では装置の関係上、柱部材のうち1本分のみの荷重を測定しているが、今後は、礫や流木の運動や個々の接触力が表現可能な解析手法¹⁸⁾を用いて、上述の荷重の偏りについて検討する必要がある。

また、水路実験における荷重については相似則を完全に満たすことが難しいため、実物大の現象を十分に説明できるとは言い難く、準実物大程度の実験で確認することが望ましい。

謝辞

本実験において、防衛大学校理工学研究科学生 石橋和佳氏、同研修生 鳥越大智氏、同本科学学生 楠富智太氏の支援を得た。ここに記して謝辞とする。

参考文献

- 1) 建設省砂防部：土石流対策技術指針（案），2000
- 2) 建設省砂防部：流木対策指針（案），2000
- 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：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説，2007

- 4) 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
- 5) 水山高久，中西宏，松村和樹：大口徑鋼管に対する衝撃載荷試験，新砂防，Vol.38，No.4，pp.10-15，1985
- 6) 水山高久，鈴木浩之：鋼管の衝撃による変形と破壊，新砂防，Vol.41，No.4，pp.11-20，1988
- 7) 石川芳治：山地小溪流からの流木を伴う土砂流出による災害に関する研究，京都大学学位論文，pp.82-100，1989
- 8) 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
- 9) 石川信隆，井上隆太，別府万寿博，長谷川祐治，水山高久：土石流段波モデルの可視化と荷重・変位計測実験，第9回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，pp.139-144，2008
- 10) 別府万寿博，井上隆太，石川信隆，長谷川祐治，水山高久：修正 MPS 法による土石流段波モデルのシミュレーション解析，砂防学会誌，Vol.63，No.6，pp.32-42，2011
- 11) 内田太郎，曾我部匡敏，寺田秀樹，松田義則，吉川修一，亀田信康：崩土の衝撃荷重の時間変化に関する実験的研究，平成16年度砂防学会研究発表会概要集，pp.350-351，2004
- 12) 小山内信智，内田太郎，曾我部匡敏，下田義文，吉川修一：崩壊土砂が衝突時に待受け式擁壁に作用する荷重の時間変化推定手法の検討，平成17年度砂防学会研究発表会概要集，pp.56-57，2005
- 13) 片出亮，金子智成，香月智，嶋丈示：土石流荷重の不均一性が鋼製砂防堰堤設計の安全性評価に及ぼす影響，砂防学会誌，Vol.62，No.2，pp.4-12，2009
- 14) 社団法人 砂防学会，財団法人 建設技術研究所：平成21年度砂防水理模型実験講習会講義集，p.2，2009
- 15) 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
- 16) 水山高久：講座 土石流，土と基礎，Vol.48，No.5，p.53-58，2000
- 17) 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
- 18) 渋谷一，原木大輔，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