

1. はじめに

土石流災害を防止・軽減するために、従来より数多くの調査・研究が行われ種々の成果が得られているが、未解明な点も数多く残されている。その1つとして、土石流と共に多量の流木が流下してくる場合の対策法が確立されていないことが挙げられる。流木が土石流災害を助長させ、災害の復旧作業を遅延させていることは、近時の長崎災害や島根災害などでみられるところであり、土石流災害における流木問題の解決は焦眉の急務といえよう。本研究では、このような土石流災害に占める流木問題の重要性に鑑み、その解決策に科学的基準を与える研究の端緒として、実験水路において模型化した土石流・流木を流下させ、流木の流下状況を高速ビデオカメラで撮影し、その映像記録を詳細に検討することにより、実際の土石流中に含まれる流木の運動機構を実験的に明らかにしようとしたものである。

2. 実験方法

2.1 実験装置および実験材料

実験水路は図-1に示すように、長さ600cm、幅20cm、側壁高25cmの長方形断面水路で、水路側面は流下状況が観察できるように透明アクリル張りになっており、水路床には、粗度として後述の擬似土石流構成粒子と同じものを張りつけてある。擬似土石流を構成する

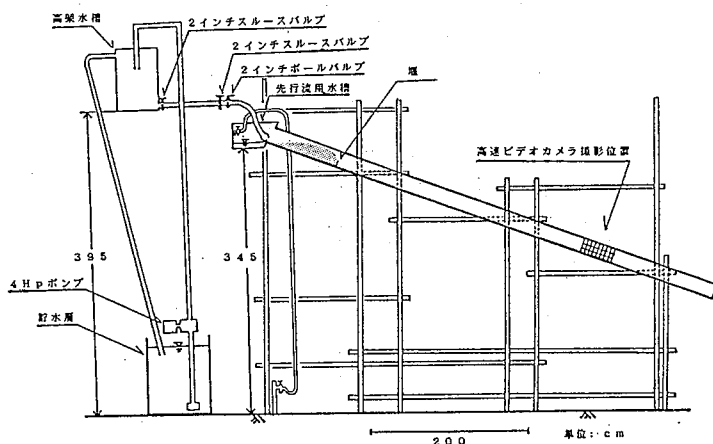


図-1 実験装置概略図

粒子材料としては、直径5mm、密度 2.50g/cm^3 の透明ガラスビーズを用いた。模型流木は、長さ5cmの竹材、スプルース材、バルサ材、ヤナギ材を使用し、その形状は総て円柱形とした。なお、透明ガラスビーズの中に青色に着色したガラスビーズを約3%混ぜ、擬似土石流中の粒子の運動を観測できるようにした。

本実験では模型流木および擬似土石流構成粒子の流下中の挙動を解析するため、水路上流端より420cm～450cmの区間の水路側面において高速ビデオカメラ（200画面/秒）を用い、撮影した。なお、この区間の側面には5cm四方のメッシュが刻まれており、映像記録の解析の際に利用される。

2.2 模型流木を含む擬似土石流の発生方法

本実験で流下させる擬似土石流は、水路上流端より92cm下流に設置した高さ7cmの堰より上流にガラスビーズ（総量7ℓ）をほぼ安息角に敷きつめ、十分に散水した後に高架水槽の水をボールバルブにより毎秒2.383ℓの割合で3秒間（総量7.149ℓ）給水し発生させた。なお給水に先立ち、8本の模型流木を、堰より10cmおよび15cm上流に4本ずつ2列に、模型流木の一端をほぼ鉛直に深さ約1cmま

で埋め込み配列し、先行流として毎秒15l/m²の水を水路
上流端より流下させた。

2.3 実験条件

同じ土石流中の流木の運動には、その長さ、直径、単位
体積重量が深く関係していると思われるので、本実験で
は模型流木の長さ、直径、単位体積重量に関して表-1の
ように変化させた。また、水路勾配に関しては30°、20°
、10°の3段階に変化させた。

3. 結果および考察

3.1 擬似土石流中の模型流木の存在位置について

映像解析によると、本実験における擬似土石流は、粒
子濃度が高く流動深が急激に増大する段波前半部、粒子濃度が高く流動深の変化が比較的少ない段波
後半部および粒子濃度、流動深ともに次第に減少していく後続部から構成されており、実際の土石流
と比較的類似した流れとなっていると思われる。水路勾配30°における擬似土石流は、観測地点にお
いて、先端が到着してから後端が通過するまで平均6.83秒間であり、そのうち段波前半部の流れは擬
似土石流先端より平均0.45秒間、段波後半部の流れは段波前半部の後端より平均1.82秒間までを占め、
それ以降は後続部である。

図-2は、水路勾配30°において観測され
た模型流木について、横軸は擬似土石流全体
の流れ方向の長さを1としたときの模型流木
の擬似土石流先端からの相対位置を、縦軸は
擬似土石流の流動深を1としたときの模型流
木の水路床からの相対位置をとり、図示した
ものである。この図を見ても明らかなように、
模型流木の流れ方向における相対位置は約0.
05から約0.22の間、特に相対位置約0.10付
近に集中して存在していることがわかる。すな
わち、擬似土石流の段波中間部と思われる位
置に模型流木は存在している場合が多い。ま
た、模型流木の流動深方向における相対位置
は、約0.10から約0.63の間に多く存在してい

る。実際の土石流堆積地における調査によると、流木が堆積物の先端部に近い位置に多く見い出され
ている。このことから考えると、実際の土石流中の流木は本実験と同様な位置に存在し、流下してい
ると言えるであろう。

3.2 擬似土石流中の模型流木の運動形態について

本実験で観測された模型流木の運動形態は、次の3つに大別できる。なおここでは、単独に模型流

表-1 実験N0.と実験に用いた模型流木の諸元

	N0	水路勾配	模型流木の長さ (cm)	模型流木の直径 (cm)	模型流木に使用 した材料	模型流木の 単位体積重量 (g/cm ³)
A	1	30°	50	5	竹材	1.15
	2	30°	20	5	竹材	1.15
	3	30°	80	5	竹材	1.15
	4	30°	40	5	竹材	1.15
B	1	30°	50	5	竹材	1.15
	2	30°	50	9	竹材	1.15
	3	30°	50	2	ヤナギ材	1.13
C	1	30°	50	5	竹材	1.15
	2	30°	50	5	スプルース材	1.19
	3	30°	50	5	バルサ材	0.93
	4	30°	50	5	スプルース材に 瓦の瓦を 打ち込んだもの	1.31
D	1	30°	50	5	竹材	1.15
	2	20°	50	5	竹材	1.15
	3	10°	50	5	竹材	1.15

注: N0.B1,N0.C1,N0.D1についてはN0.A1と同様なので
N0.A1を それにあてて

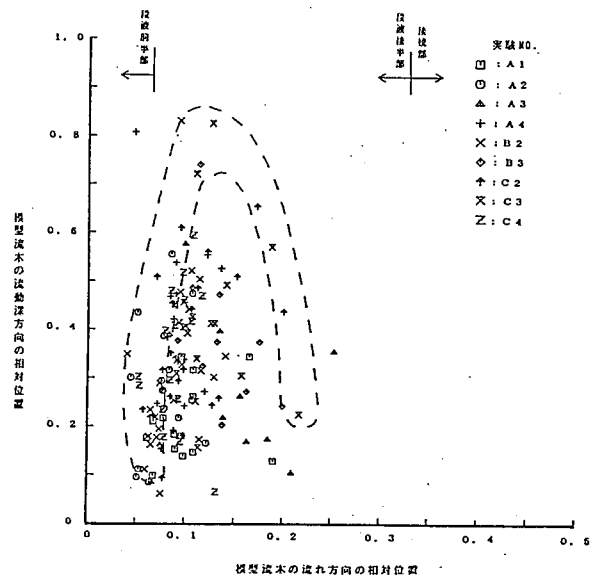


図-2 水路勾配30°における模型流木の相対位置

木が流下している場合だけを取り上げ、模型流木が互いに干渉しあっている場合は除くことにした。

① 水路床とほぼ平行に流下する場合

水路勾配 30° の実験で観測された、模型流木が水路床とほぼ平行に流下する運動形態の一例を、図-3.1に示す。このように模型流木が水路床に対しほぼ平行に流下する場合の模型流木の存在位置は、上述の模型流木の相対位置の全体に分布していることが認められたが、水路床から流動深のほぼ5割の高さより下層に、そして擬似土石流先端から約0.06~約0.15の相対位置の間に集中していた。またその数も、映像記録として観測された模型流木全体の約63%を占めていた。なお、水路勾配 20° と 10° の場合の模型流木の運動形態は、ほとんどがこの形態をとることが観測された。この運動形態をとる模型流木が存在する位置においては、擬似土石流中の粒子の動きも水路床に対し平行に移動していることが多い。よって、そこに存在する模型流木は粒子の動きに支配され、このような運動形態を取るものと思われる。

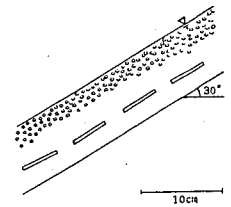


図-3.1 水路床と平行に流下する模型流木
〔実験No. A 4-1〕

② 水路床に対して傾きを有し、そのまま流下する場合

水路勾配 30° の実験において観測された、模型流木が水路床に対して傾きを有し、そのまま流下する運動形態の一例を、図-3.2に示す。この場合、図のように流下方向に対し模型流木の後端が上にある場合（模型流木と水路床がなす角が鋭角の場合）が、映像記録として観測された模型流木全体の約11%を占め、模型流木の前端が上にある場合（模型流木と水路床がなす角が鈍角の場合）は約7%であった。このように水路床に対し傾きを有して流下する場合は、相対位置において模型流木が流動深方向の約0.15から約0.55の間、流れ方向の約0.06から約0.15に位置する場合に限られていた。この模型流木の運動形態は、擬似土石流内部の流動深方向における濃度勾配に支配されているものと思われる。つまり、傾きを有した模型流木の下端が粒子濃度の高い擬似土石流の流動層の下層部に捕捉されそのまま流下したと思われる。また、これら模型流木の傾きは水路床に対して約 30° 以内か、もしくは約 150° 以上であった。模型流木が水路床に対しこのような角度の傾きを持って流下しようとするとき、その運動形態は次に述べる回転運動へと移行していくものと考えられる。

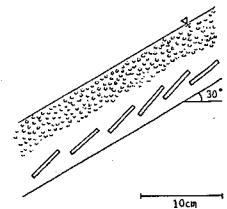


図-3.2 水路床に対し傾きを有して流下する模型流木
〔実験No. A 4-2〕

③ 回転しながら流下する場合

水路勾配 30° における実験で観測された、模型流木が回転しながら流下する場合の一例を図-3.3に示す。模型流木がこの運動形態をとって流下する場合、流下方向に対し模型流木の後端から上へと回転する。この運動形態をとって流下する模型流木は、図-2中の、破線で囲まれた部分に位置する場合に多く観測された。この部分は擬似土石流中の粒子の動きも活発で、しかもその粒子の動きは、流下方向左からみて反時計回りに動いているので、この部分に位置する模型流木は擬似土石流中の粒子の動きに支配され回転運動形態をとる場合が多いものと思われる。

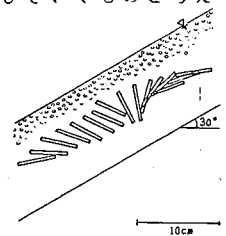


図-3.3 回転しながら流下する模型流木
〔実験No. A 4-1〕

3.3 擬似土石流中の粒子と模型流木の速度比について

模型流木の絶対速度には、擬似土石流中における模型流木の存在位置および運動形態などが深く関

わっているものと思われるので、ここでは模型流木が水路床
"に対しほぼ平行に流下している場合を対象とし、模型流木と
模型流木近傍の粒子との速度比について検討を加える。なお、
擬似土石流中の模型流木の速度は近傍の粒子の速度に比べて
小さいという結果が得られている。

図-4、図-5は、それぞれ模型流木の長さや直径に関し
擬似土石流の粒子の直径で除し無次元化したものと速度比に
ついての関係を、それぞれ図示したものである。なお、図中
の直線は回帰式を示している。これらを見ると、模型流木の
長さ、直径が大きくなるにつれ速度比も大きくなる傾向がみ
られる。これは、長さや直径が大きくなるにつれ擬似土石流
中の粒子が模型流木に衝突しやすくなり、せん断力の伝達が
盛んに行われ、その結果速度比が増大するものと思われる。

図-6は模型流木の単位体積重量と速度比の関係を図示し
たものである。図中には回帰直線が示されているが単位体積
重量1を境にして傾向が異なっているように思われるので、
さらに実験と検討が必要である。

図-7は水路勾配と速度比の関係を図示したものである。
この図を見ると、水路勾配が大きくなるにつれて速度比が減
少していることがわかる。これは、水路勾配が小さくなるに
つれて擬似土石流中の個々の粒子の運動範囲も減少し模型流
木が擬似土石流中の粒子に、より完全に捕捉されるようにな
り、擬似土石流の粒子と一体化し流下するために起こるもの
と思われる。

4. おわりに

以上、擬似土石流中の単一模型流木の運動機構について基
礎的な検討を加え、定性的に述べてきた。しかし、主に水路
勾配 30° の場合を対象として検討を加えたので、水路勾配が
変化すると模型流木の挙動にどのような変化が起こるか、ま
た、多数の流木が相互に干渉しあいながら流下した場合の挙
動はどのようなものかなどは、今後の研究課題にしたい。

さらに、流木が土石流に及ぼす影響や、流木の堆積機構、ならびに土石流中に含まれる流木の阻止工
法についても、実験・研究を重ねるつもりである。

最後に、本学専攻生の真壁賢治氏には実験するに際し御協力頂いた。記して感謝の意を表する。

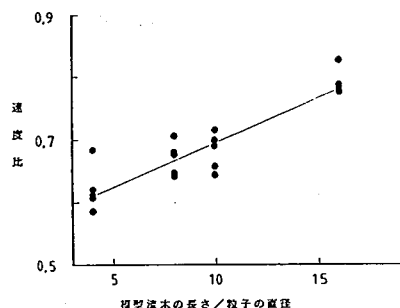


図-4 無次元化した模型流木の長さや速度比の関係

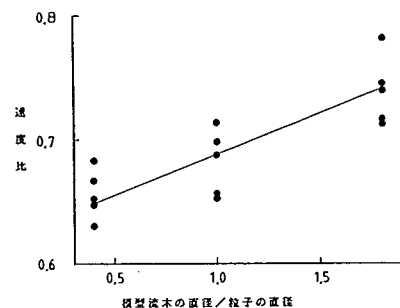


図-5 無次元化した模型流木の直径と速度比の関係

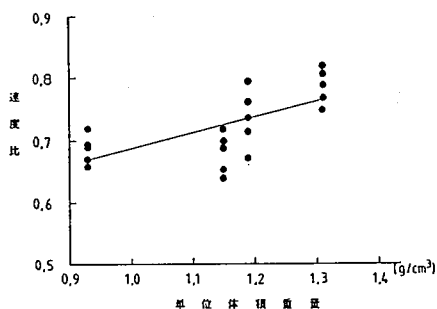


図-6 模型流木の単位体積重量と速度比の関係

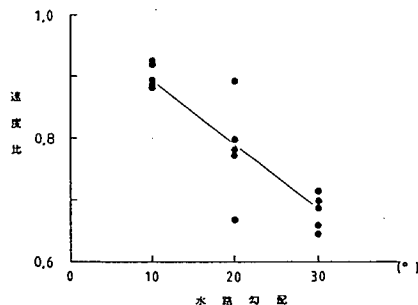


図-7 水路勾配と速度比の関係