

土石流含有物の大きさが流下速度と土石流荷重に与える影響

労働省産業安全研究所 正会員 ○堀井宣幸
労働省産業安全研究所 正会員 豊澤康男、玉手聡
(株)ジオデザイン 正会員 橋爪秀夫
武蔵工業大学工学部土木工学科 白鳥 大祐

1. はじめに

日本は急峻な地形で形成されている地域が多く、このような地域で集中豪雨が生じると、土石流を発生する危険性がある。土石流の流下特性については未解明な部分が多いため、現状では土石流の衝撃荷重を考慮した砂防ダムの設計法等は確立されていない。また、建設現場の安全を確保するための、仮設的に用いる土石流災害対策工の設計法等についても確立されてはいない。そこで本研究は、土石流の流下特性を明確にし、今後の土石流災害対策工法開発のための資料を得ることを目的として、土石流含有物の大きさが土石流流下速度と土石流荷重に与える影響について、遠心模型実験によって検討したので報告する。

2. 実験概要

1)実験装置：：図 1 に実験装置を示す。装置は試料タンクおよび土槽で構成されている。タンクの底蓋は遠隔操作で瞬時に開放できる機構となっている。土槽内部には、実際の斜面を模擬した幅 198mm、長さ 910mm、傾斜角 20 度、狭角 90° の V 字谷流路、流下させた土石流が衝突する受圧板が配置されている。土槽上部に流速測定用レーザー変位計(2 個、20cm 間隔)が設置されている。図 2 に受圧板側面図を示す。受圧板は 3 枚に分割されており、各受圧板の背面には、ロードセル、バネ、土槽外部に貫通した受圧板変位ターゲットが取り付けられている。また、衝突の際に受圧板に生じた変位を測定するためレーザー変位計(3 個)が設置されている。

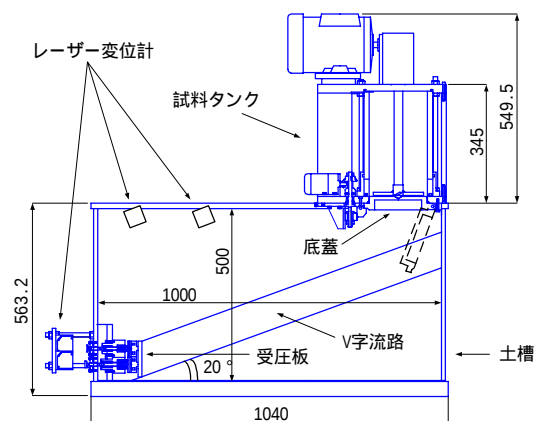


図1 実験装置

2)実験条件：表 1 に実験条件を示す。試料には、水、砂、礫を用いており、砂は豊浦砂、礫の粒径はφ 20～25mm とφ 10～15mm の 2 種類である。密度は、砂、礫ともに約 2.65g/cm³ である。試料配合は、水+礫φ 20～25、水+礫φ 10～15、水+砂、水のみ の 4 種類とした。水と混合試料は各 3kg ずつの合計重量 6kg とし、水のみ の場合は 6kg とし同一重量とした。砂および礫が含まれる試料配合の平均密度は約 1.45g/cm³ である。

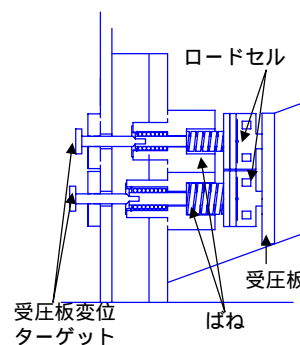


図2 受圧板側面図

3)実験方法：図 1 に示す装置を遠心載荷装置に搭載し、上部タンクにつめられた混合試料を実験条件の遠心加速度に達した時点で下部流路に流下させ、土石流を再現した。土石流速度は、V 字流路上のレーザー変位計で 2 点間を通過した土石流試料の時間差を計測することにより求めた。土石流の衝撃荷重は、受圧板に設置した 3 個のロードセルによって、受圧板変位は、土槽外に設置した 3 個のレーザー変位計によって測定している。

3. 実験結果

図 3 に遠心加速度 25 g および 50 g における各実験ケースの流速を示す。遠心加速度が大きいと、実験ケー

表1 実験ケース(混合試料条件)

	水(kg)	砂(kg)	礫(kg)	礫径φ(mm)	遠心加速度
case1	3	0	3	20～25	50
case2	3	0	3	10～15	50
case3	3	3	0	0.2(D ₅₀)	50
case4	6	0	0	—	50
case5	3	0	3	20～25	25
case6	3	0	3	10～15	25
case7	3	3	0	0.2(D ₅₀)	25
case8	6	0	0	—	25

キーワード 土石流、遠心模型実験、衝撃力、流速

連絡先 〒204-0024

東京都清瀬市梅園 1 丁目 4 番 6 号 TEL 0424-91-4512

FAX 0424-91-7846

スによらず流速が速くなっていることがわかる。これは、自由落下運動での物体の速度は $\sqrt{2gh}$ であることから、 g の増加によって流速が増加したと考えられる。また、流速は遠心加速度によらず速い順に水、豊浦砂、となり、同じような値で礫 $\phi 10 \sim 15$ および礫 $\phi 20 \sim 25$ となった。図4に、各実験ケースについて、遠心加速度 $25g$ の時の流速と遠心加速度 $50g$ の流速の比を示した。遠心加速度 g の違いによる、自由落下時の速度比は $\sqrt{2}$ 倍(1.4 倍)である。この図から、各実験ケースともに理論値にほぼ同等であることがわかる。図5に、水の平均流速に対する各実験ケースの平均流速の比と実験ケースの関係を示した。試料重量はすべての実験ケースで $6kg$ であるが、水と試料の密度差のため、試料タンクに投入された混合試料の高さはおおの異なる。受圧板中心位置から試料中心までの高さは水、砂、礫 $\phi 10 \sim 15$ 、礫 $\phi 20 \sim 25$ でそれぞれ $658mm$ 、 $618mm$ 、 $616mm$ 、 $615mm$ となっていた。同一の g において落下高さが異なる場合、落下速度の比は、高さ比の2分の1乗で表せる。水の高さを基準として各実験ケースの高さから求められた流速比を理論値としてプロットした。各実験ともに理論値よりも低い流速比となっている。このことから、流速の損失は、砂や礫が含まれる場合、粒子同士の衝突による摩擦と試料と流路との摩擦によって生じたものであることが考えられる。また、理論値から求められた流速比は、実験ケースによらずほぼ一定となっている。すなわち、理論的には砂、礫 $\phi 10 \sim 15$ 、礫 $\phi 20 \sim 25$ は同じ流速となるはずである。しかし、砂の流速比よりも礫を含んだ場合の流速比のほうが小さな値となっている。このことから、粒径が大きいほど流速が遅くなる傾向があることがわかる。図6に各実験ケースにおける流速と衝撃応力の関係を示す。衝撃応力の大きさを見ると、礫を含まないケース(豊浦砂、水)に比べて、礫を含むケース($\phi 10 \sim 15$ 、 $\phi 20 \sim 25$)の方が大きな衝撃応力を発生していた。土石流をある密度を持つ様な流体と仮定すれば、受圧板に作用する応力 σ は $F/A = \rho v^2$ となる。ただし、 F : 荷重、 ρ : 土石流密度、 A : 受圧板断面積、 v : 流速。流下させた土石流の密度 ρ を混合試料の平均密度とすると、砂の場合と礫の場合では約 $1.45(g/cm^3)$ とほぼ同じ値であるため、流速が速いほど衝撃応力も大きくなるはずである。しかし、実験では砂の衝撃応力に比べて礫の衝撃応力は約 $2 \sim 2.5$ 倍となっている。したがって、土石流の衝撃応力を $F/A = \rho v^2$ で算出できるとしても、礫を含むような土石流の場合、平均密度を用いると衝撃応力を過小評価する危険性がある。また、礫 $\phi 10 \sim 15$ と礫 $\phi 20 \sim 25$ は同程度の流速であるが、衝撃応力は礫 $\phi 10 \sim 15$ に比べて礫 $\phi 20 \sim 25$ の方が大きくなった。このことは、礫径が大きくなると衝撃応力も大きくなることを示唆している。

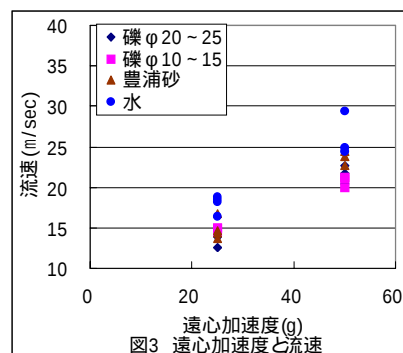


図3 遠心加速度と流速

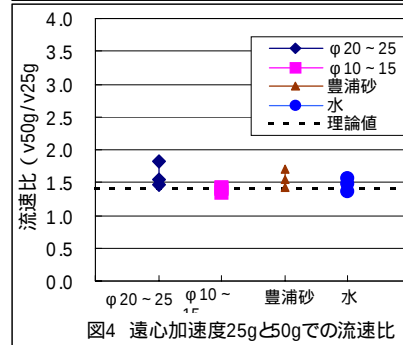


図4 遠心加速度25gと50gでの流速比

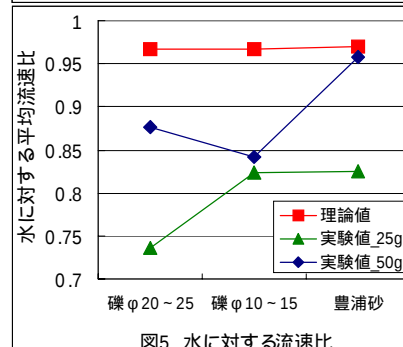


図5 水に対する流速比

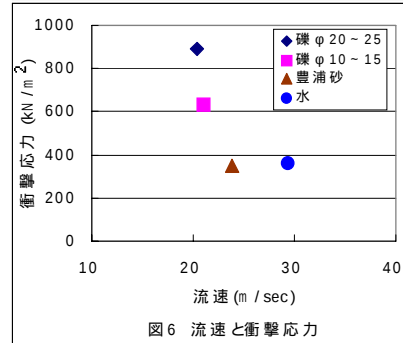


図6 流速と衝撃応力

4. まとめ

同じ重量の混合試料を遠心加速度 $25g$ 場、 $50g$ 場で流下させ、土石流含有物の大きさが流下速度と土石流荷重に与える影響について遠心模型実験より検討した。その結果、以下のことがわかった。

1. 土石流に含まれる粒径が大きいほど流速が遅くなる傾向がある。
2. 礫を含むような土石流の場合、衝撃応力を ρv^2 で算出できるとしても、平均密度を用いると衝撃応力を過小評価する危険性がある。
3. 礫径が大きくなると衝撃応力も大きくなる。

【参考文献】 2)堀井ら：模擬土石流流下時の土石流荷重に関する基礎的研究, pp684 ~ pp685 土木学会第 54 回年次学術講演会, 1999. 9.