

遠心力場における崩壊土砂の衝撃圧力に関する研究

豊田工業高等専門学校	正会員	○小笠原 明信
豊田工業高等専門学校	正会員	小林 睦
豊橋技術科学大学	正会員	内藤 直人
豊橋技術科学大学	正会員	松田 達也

1. はじめに

近年、激甚化している豪雨や頻発する地震の影響で多くの大規模土砂災害が発生している。そのため、国土の約7割を山地・丘陵地が占める我が国における交通ネットワークを維持・発展させるためには、急傾斜地の崩壊土砂への対策の合理化が必要不可欠である。国内では、現行の国土交通省告示式第332号¹⁾「移動の力」の設計式が用いられているが、崩壊土砂の流下・衝突現象は、抵拘束圧下で生じるものであるため、従来の土質力学の知見だけでは解釈が難しいとされている。すなわち、同告示式での衝撃力は過剰評価であり、実現象との乖離が生じていると指摘され、現在も設計式のパラメータ設定方法の合理化に関する議論が続いている²⁾。例えば、詳細な現象を考察し、より高精度な設計式を提案するために、崩壊土砂の実規模・大規模模型実験が実施されている³⁾。しかしながら、この種の大規模実験では、実験実施に際して多くの時間とコストを要することから、パラメトリックスタディは容易ではないのが実情である。そこで本報告では、遠心力载荷装置を用いて崩壊土砂防護工に作用する応力に着目したパラメトリックスタディを実施するため、土砂流下実験システムを紹介し、衝撃圧力の評価手法について述べていく。

2. 実験概要

図1は本研究で構築した、遠心力場における崩壊土砂流下実験システムの概要を示している。模型土槽の寸法は幅 250mm、高さ 210mm、奥行 60mm である。また、斜面寸法は斜面高さ 200mm、流下長さ 190mm、斜面勾配を 45 度としている。本実験では、直径 3mm、密度 3.26g/cm³ のアルミナボールを試料として使用し、ゲートにより堰き止めている試料の単位体積重量が 21.3kN/m³ となるように模型を作製している。試料の重量は 2.4N とし、水平面に対して 23 度となるように堆積させた。模型を作製後、重力加速度の 10、20、30 倍の遠心加速度を付与し、ゲート開放システムにより崩壊土砂流下実験を実施した。斜面模型には切り込みを入れており、ゲート自重に加えて試料重量により試料が流下しないように堰き止めている。このゲートは滑車を介して貯水容器と綿糸で繋がっている。遠心载荷中に遠心装置外部からスィベルジョイントを介して貯水容器に水を供給していくと、瞬時にゲートが開放されるシステムとしている。また、衝撃圧力については、対策工に見立てた壁面に複数の圧力計を埋め込んだアクリル板を貼り付けることで測定を行っている。壁面全体に作用する衝撃圧力は重要な計測項目であるものの、対策工として用いられる擁壁や柵の設計では荷重の作用高さの情報が必要となるため、実験では壁面に作用する応力分布を把握することが望ましい。そのため本実験においても、多点に圧力計を設置している。圧力計の設置位置は、模型土槽底面から高さ 10mm (PP1)、30mm (PP2)、50mm (PP3) としている(図1参照)。なお、土砂の流下挙動や層厚分布を観察するために、小型カメラを使用して撮影を行っている。

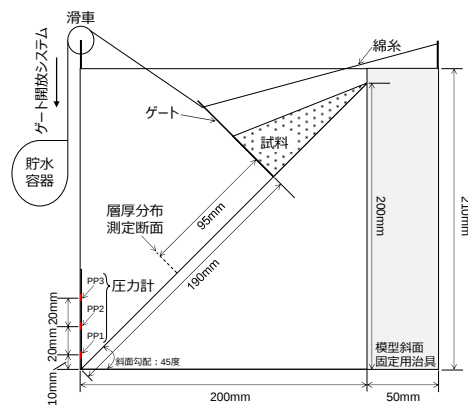


図1 崩壊土砂流下実験システム

キーワード 崩壊土砂，遠心模型実験，衝撃圧力
連絡先 〒471-8525 愛知県豊田市栄生町 2-1
豊田工業高等専門学校 TEL 0565-32-8811

3. 実験結果および考察

表 1 は、各遠心加速度場におけるゲート開放後に、先端の試料が移動を開始してから壁面に到達する時間を動画より求め、速度を計算して整理している。これより、4~9m/s の範囲にあることから土石流並みの崩壊土砂流下現象を再現できていることが確認できる。また、流下距離を算出するとおおむね模型斜面の長さ 0.19m 程度であることが確認できている。

図 2 に 30G におけるゲート開放から崩壊土砂が対策工に堆積するまでの様子を示す。これより、崩壊土砂の層厚が先端の方ほど薄く、中央付近で厚くなり、後端ほど再び薄くなっていることが確認できる。そこで、図 3 に崩壊土砂の層厚測定点（図 1 参照）における厚さの経時変化を示す。これより、上に凸な形状を示していることから、崩壊土砂の厚みが均一でないことが確認できる。また、遠心加速度が大きなケースの方が最大厚さに到達する時間が短いことも指摘できる。これは、表 1 から分かる通り、流下速度が異なることに起因しているものと考えられる。流下速度が遅いケースほど最大厚さに到達してから後端が通過するまでに時間を要していることも指摘できる。このように、本研究では、崩壊土砂の流下現象を異なる流下速度で再現できているといえる。

図 4 は、各実験ケースでの最大圧力および衝突後の残留圧力と流下速度の関係を示している。なお、最大圧力を計測した圧力計の位置が 10, 20G のケースでは中央の PP2 であったことに対して、30G のケースでは最下段の PP1 であった。これより、衝突直前の速度が増加すると衝撃圧力が大きくなっていることが分かる。衝突速度から求められるエネルギーは、30G のケースは 10G のケースの 3.6 倍であることから、衝撃圧力と衝突エネルギーとの間に比例関係があると考えられる。一方で、20G のケースにおいては、これらの関係にあてはまらないことから、計測器の設置位置によるばらつきが含まれていることが考えられる。

4. まとめ

以上のことから、遠心力模型実験によって崩壊土砂の流下現象を種々再現できることがわかり、流下速度と防護工に作用する衝撃圧力から崩壊土砂防護工の適切な設計に資する知見を得ることができていることが示唆された。今後は、種々の遠心加速度条件下において、圧力計設置位置や流下させる試料の土質特性を変化させ、崩壊土砂防護工に作用する衝撃力の適切な算定に向けたパラメトリックな実験を実施していく。

参考文献

1) 国土交通省：告示式第三百三十二号，https://www.mlit.go.jp/river/sabo/dosha_hourei_pdf/dosya_kokuji.pdf，（入手 2022.）
2) 長谷川陽一，遊佐直樹，金澤瑛，瀧口茂隆，中谷洋明，小嶋孝徳：待受式擁壁の設計に用いられる流体抵抗係数の設定に関する検討，第 56 回地盤工学研究発表会，13-10-4-08，2021.
3) 木村 絢，前田 健一，杉山 直優，磯合 凌弥，内藤 直人，難波 正和：実規模土砂流下実験による待ち受け対策工に作用する応力分布，令和 3 年度土木学会中部支部研究発表会，III-26，2022.

表 1 各遠心加速度における流下時間と流下速度

遠心加速度 (G)	10	20	30
流下時間 (s)	0.06	0.05	0.04
流下速度 (m/s)	4.6	6.9	8.7



図 2 30G における崩壊土砂流下時の様子

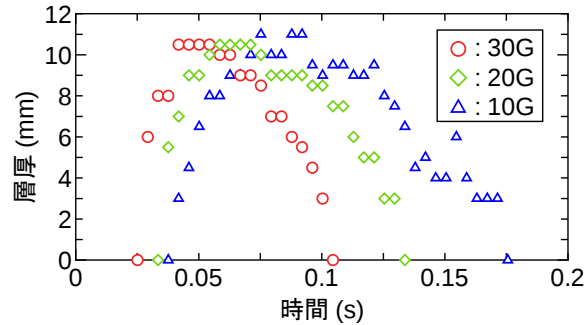


図 3 崩壊土砂における層厚の経時変化

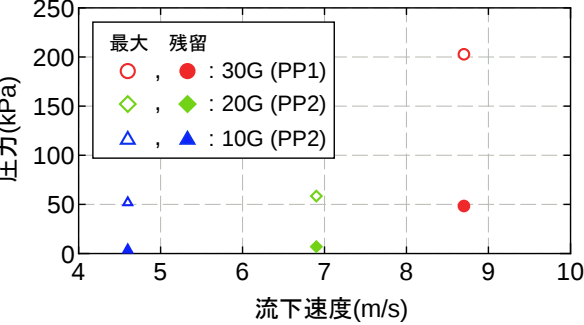


図 4 最大圧力および残留圧力と流下速度の関係