

流下中の崩壊土砂の構造物に及ぼす荷重に関する研究

A study on impulsive load of collapsed soil acting on the constructions

小山内信智 (国総研)、○内田太郎 (国総研)、曾我部匡敏 (国総研)、吉川修一(八千代エンジニアリング)

Nobutomo OSANAI, Taro UCHIDA, Masatoshi SOKABE, Shuichi YOSHIKAWA

Abstract To clarify the temporal variability in impulsive load of collapsed soil acting on the receiving type wall, laboratory flume experiments were conducted. The experiments were conducted using a cascading sediment experimental flume in NILIM. The head of flume was fitted with a vertical steel gate for suddenly release a static sediment mass and initiating an avalanche. All cascading sediment consisted of dry sand and gravel. We made two impulsive load meter. One was made of a steel wall with three load cells placed behind the steel wall and the other was made of a steel wall with four springs. Results of experiments showed that the temporal change of impulsive load of cascading sediments acting on constructions can be evaluated by the temporal changes of thickness, bulk density, flow direction and velocity of cascading sediments. Also, we found that effects of displacement of construction on the impulsive load of cascading sediments were negligible.

Keywords: Shallow landslide, Cascading sediment, Flume experiment, Gravity wall, Impulsive load

1. はじめに

急傾斜地崩壊防止工事の1つに崩壊した土砂を斜面直下で受け止め、人家等の保全対象に崩壊土砂が到達しないようにする待受け式擁壁工がある。「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が2001年に施行されたのにもない、急傾斜地の崩壊により建築物又はその地上部分に作用すると想定される力の大きさを算出する手法が定められた。これにより、近年、待受け式擁壁の設計に際しても、崩壊土砂が擁壁に衝突する際の力を考慮することができるようになってきた¹⁾。しかし、崩壊土砂が構造物に衝突する際に構造物に作用する荷重の実態は十分に把握されておらず、より合理的な擁壁断面の設計を実施するためには、崩壊土砂が擁壁に作用する力の時間変化、空間分布の推定手法が必要となる。

従来、崩壊土砂が構造物に衝突する際に構造物に作用する力の実態は、室内実験により検討されてきた。室内実験は、流下させる土砂の形態から、①袋に土砂をつめて落下させる実験²⁾と②乾燥砂を流下させる実験³⁾の2つのタイプに分類できる。①のタイプの実験では、流下時及び衝突に伴う土砂の変形が規制されることなど、崩壊土砂の流下・衝突の実態と一致しない可能性が高いと考えられる。一方、寺本ら(1987)⁴⁾は、②のタイプの実験結果から、砂質の流下土砂が構造物に衝突する際に構造物に作用する荷重は流体圧として表すことができることを示したが、②のようなタイプの実験により、寺本ら(1987)以降、流下土砂が構造物に衝突する際に構造物に作用する荷重について検討した例は少ない。

また、崩壊土砂が構造物に衝突する際に構造物に作用する力を検討した室内実験は、荷重の測定方法から、①鉄板等に土圧計またはロードセルを取り付けた 10^3 mm以下極めて変形量の小さい荷重測定装置を使用した実験²⁾、②流下土砂の荷重を受ける台をばねなどで支え、数cmオーダーの台の変位を測定し、あらかじめ求めておいた変位-荷重関係から荷重を換算する実験³⁾に分類できる。構造物の外力に対する挙動の解析手法は、構造物の変形量によって異なることから、両タイプの実験が必要であると考えられるが、②のタイプの実験例は極めて少ない。

そこで、本研究では、乾燥砂を用いた土砂の流下実験を行い、流下土砂が構造物の衝突時に構造物に作用する荷重を受荷台の変位置の異なる2つの装置で測定した。

2. 実験方法

実験は国土技術政策総合研究所の崩土流動実験装置を用いて行った(図-1)。実験装置上流端にある土砂供給装置から、川砂と礫を混合した試料(最大粒径19.0 mm、50%粒径5.1 mm)を実験斜面に流下させる方法で行った。土砂量は0.25、0.5、1.0 m³の3ケースとした。また、実験に用いた土砂の含水率は2~3%とした。斜面途中に設置した荷重計測装置に土砂を衝突させ、荷重を測定した。土砂供給装置から荷重計測装置の受荷台までの斜距離は5.25 m、斜面勾配は38.7、45度の2ケースとした。

荷重計測装置として、圧縮型ロードセル(荷重に対する変位置 7.0×10^{-4} mm/kN)とばね(荷重に対する変位置 1.0×10^2 mm/kN/本)を用いた2種類のものを作成した。ロードセルを用いた装置(以下、「ロードセル装置」と呼ぶ)では、受荷台背面に3台のロードセルをとりつけ、荷重を1000 Hzで測定した。また、ばねを用いた装置(以下、「ばね装置」と呼ぶ)では、受荷台背面に4本のばねを取り付け、受荷台の変位置をレーザー変位計で測定し、ばね定数を用いて荷重に換算した。そのほか、荷重計測位置から上流2mと3mの所に流動深調整板を設置し、流下する崩土の流動深を20cmに調整した(図-1)。

本実験は、土砂供給装置内に実験土砂を全量入れた後、土砂供給装置前面のゲートを開放することによって、土砂を流下させるため、土砂の流動深、流下速度はコントロールできない。そこで、本実験では、土砂の流下速度、流動深は、高速ビデオカメラを用いて撮影した画像を用いて測定した。流動深は、側方から撮影した画像を用いて、0.05~0.1秒間隔で測定した。流下速度は、流下土砂の表面が撮影できるように、斜面の床面に対して垂直に設置したビデオ画像を用いて、表面流速を受荷台から上流に25cmの地点における値を0.05~0.1秒間隔で測定した。実験土砂内にマーカーとなる粒子を混入させておき、そのマーカー粒子の表面移動速度から算出した。

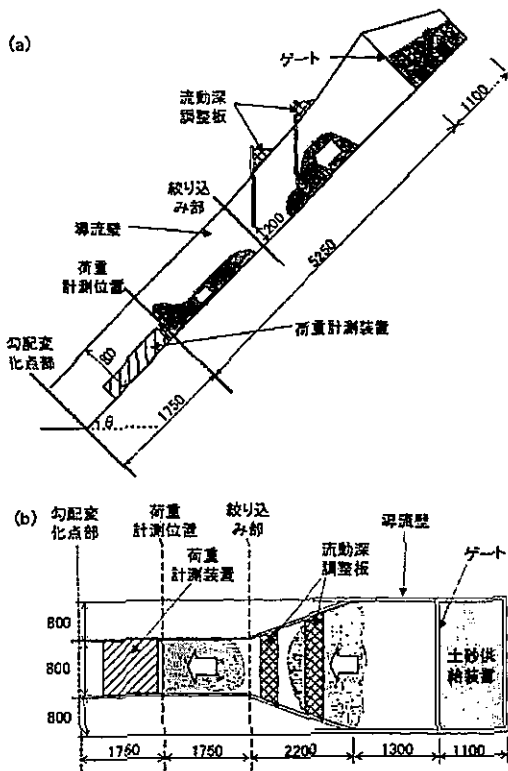


図-1 実験装置 (a) 側面図、(b) 平面図 (図中の数字の単位は mm)

3 実験結果と考察

勾配、土砂量の条件が同じ場合におけるばね装置とロードセル装置の最大値をプロットした。図-2 に示したとおり、いずれの実験条件に関しても、荷重の最大値の差は小さく、流下土砂の衝撃荷重の最大値に及ぼす受荷台の変位量の影響は小さかったといえる。

次に、本研究では、寺本ら (1987) に従い、土砂の流下を図-3 のように模式化し、A a 断面と B b 断面の運動量の変化が流下土砂が受荷台に作用する力積に等しいと考え、作用する力 (F_i) を以下の式から算出した。

$$F_i = h w \rho v^2 (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

ここで、 h 、 w 、 ρ 、 v はそれぞれ流下土砂の流動深、流下幅、密度、流速、 θ は図-2 に示した堆積勾配である。高速ビデオ画像から測定した h 、 v 、 θ を用いて算出した F_i に受荷台前面に堆積した土砂の堆積土圧を加えた荷重と実測荷重の関係を図-4 に示した。図示したように両者は、装置によらず概ね一致した。この結果、ばね装置にであっても、受荷台の運動量は 33 kg m/s と、流下土砂の運動量は約 1800 kg m/s に比べて十分小さい結果と矛盾しない。

4 まとめ

乾燥砂の流下実験を行った結果、流下土砂が構造物に衝突する際に作用する荷重は、流下土砂の流体圧、すなわち、流下土砂が構造物に衝突した際に失う作用面に垂直方向の運動量の変化から算出することができると考えられた。このことから、流下土砂が構造物に衝突する際に作用する荷重は、①流下土砂の密度、②流下土砂の流動深、③流下土砂の流下速度、④流下土砂が構造物に作用する角度によ

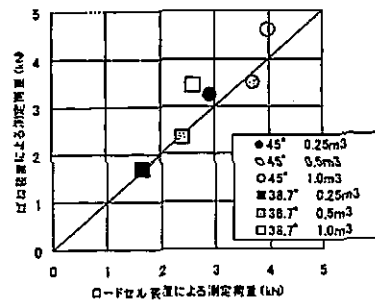


図-2 ロードセル装置とばね装置のピーク作用荷重測定値の比較

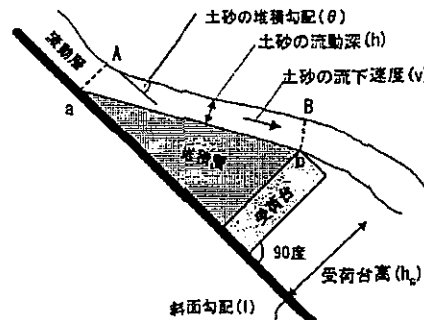


図-3 受荷台周辺の土砂

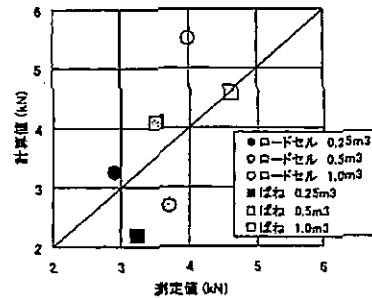


図-4 勾配 45 度のケースにおけるピーク荷重の測定値と計算値

って決まることが分かった。また、④を明らかにするためには、流下土砂の堆積形状を明らかにする必要があった。さらに、構造物の変位量が小さく、構造物の運動量に比べて、流下土砂の運動量が十分に大きい場合、構造物の変位は流下土砂が構造物に衝突する際に作用する荷重に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

参考文献

- [1] 全国地すべりがけ崩れ対策協議会, 崩壊土砂による衝撃力と崩壊土砂量を考慮した待受け擁壁の設計計算事例 (2004)
- [2] 中堤治朗, 谷 敬, 土木学会論文集, 325, 119-127 (1982).
- [3] 仲野公章, 右近則男, 砂防学会誌, 39(1), 17-23 (1986).
- [4] 寺本和子, 右近則男, 工藤賢二, 砂防学会研究発表会概要集, 140-141 (1987).
- [5] 長谷川祐治, 水山高久, 宮本邦明, 小田 晃, 阿部彦七, 砂防学会研究発表会概要集, 214-215 (2004).