

実験に基づく崩壊土砂の衝撃作用と運動量の関係

日本大学工学部 正 中村 晋

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震がもたらした被害のうち、斜面崩壊に起因した被害として、白河市葉ノ木平の大規模斜面崩壊による人命を損なう被害^{1),2)}や福島第一原子力発電所敷地内の送電鉄塔の倒壊による外部電源の喪失などの被害が発生した。待ち受け擁壁など崩壊土の構造物への衝撃作用として、これまで、土砂の衝撃荷重を評価するための実験として、自由落下実験や滑落实験が実施されている。自由落下実験より、(1)式、滑落实験より(2)式などが提案されている。ここで、(1)式は衝撃荷重が土砂を個体と見なした際の運動量との関係し、(2)式は衝撃荷重が流体の運動量と関係していることを示している。2001年には国土交通省告示第三百三十二号により急傾斜地の崩壊による建築物に作用する力の大きさを簡易に算定する手法が示された。

$$P_s = h \cdot W^{0.6} \cdot H^{0.5} \simeq \alpha \cdot m \cdot v \quad (1), \quad P = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot v^2 \quad (2)$$

しかし、斜面形状に応じた流下から堆積に至る挙動、崩壊時の速度変化や土砂の変形を考慮した衝撃作用などの合理的な評価手法の構築が望まれている。

ここでは、既往の土砂自由落下実験の結果を踏まえ、土砂の衝突作用の評価手法について分析を行った結果を報告する。

2. 土砂自由落下実験

まず、滑落した土砂の構造物への衝撃作用を把握する上で、土砂を写真-1に示す様に土のうに詰め拘束した条件、および土砂をトンパックに入れ土砂の変形を大きく拘束しない条件、さらに土のうに詰めた土砂を複数トンパックに入れた条件について、土砂の自由落下実験を実施した。なお、土砂の変形を拘束したモデルは表-1に示すように重さ20kgの土のう1袋を2段、4段、6段と積み上げたモデル、土砂の変形を拘束しないモデルは重さ100kgの土砂をトンパックに入れた状態の、さらに土のう8袋を拘束せずにトンパック詰めしたモデルを用いた。

自由落下実験で衝撃荷重を測定する装置は写真-2に示すように反力体と荷重計からなり、荷重計には衝突荷重計測用の荷重計を用い、反力体は3400mm

深のH鋼杭6本を有した2600×1200×1400のRCブロック体であり、1.0MNの静的荷重に対しほとんど変位しないよう設計したものである。荷重計受け面には、60mm厚のコンクリート板(Fc27)を荷重計受け面に敷設した。自由落下実験では写真-3に示すように土砂模型をパワーショベルで掴み、反力壁上の荷重計に自由落下させることにより実施した。模型の落下高さは1.0m、3.0mおよび5.0mを基本とし、衝突直前の速度V(m/s)を式 $V = \sqrt{2gh}$ より求めた。ここで、gは重力加速度(m/s²)、hは落下高さ(m)である。一部ケースについては、模型衝突前後の挙動を高速度カメラで撮影し、画像解析の結果からも衝突速度および衝突荷重の算定を行った。



a)土のう 4 袋詰め
b)トンパック詰め
写真-1 土砂模型の一例

表-1 土砂模型

変形拘束モデル		変形非拘束モデル	
重量(kg)	備考	重量(kg)	備考
40	土のう2袋	100	トンパック
80	土のう4袋	160	トンパック内に土のう8袋
120	土のう6袋		

キーワード：自由落下実験、土砂、力積、運動量、流体力

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中川原 1 TEL 024-956-8712



写真-2 反力壁と荷重計



写真-3 自由落下実験の概要

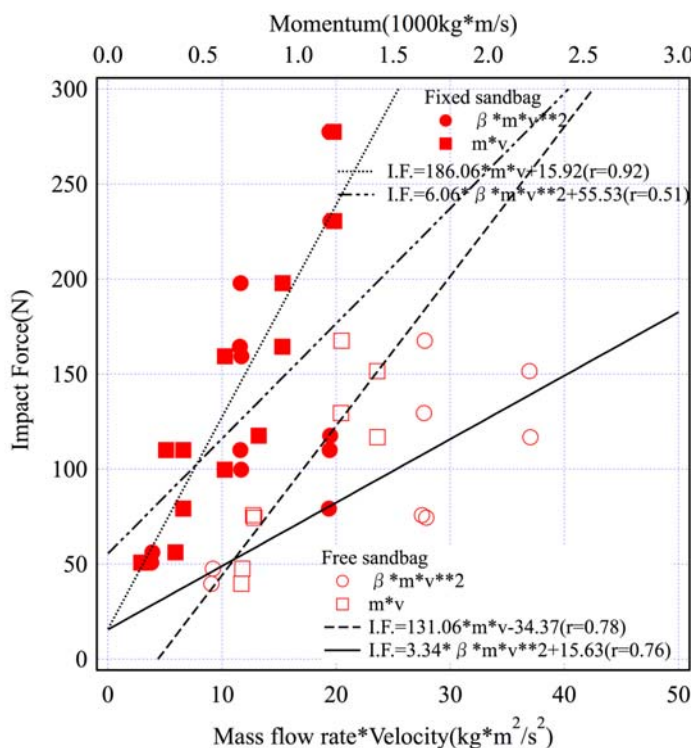


図-1 土砂模型モデルに応じた衝撃荷重と運動量の関係

3. 土砂の衝撃荷重に関する分析

表-1に示した各土砂模型モデルについて、衝撃荷重と運動量(momentum)および(2)式に示した流体力の運動量との関係を図-1に示す。ここで、衝撃荷重は荷重計で得られた鉛直方向荷重の最大値、速度は落下高さより算出した値とした。(2)式に示した流体力による運動量は単位時間における移動土砂を流体とみなした際の体積 $A \cdot v$ を質量密度 γ/g が単位時間における移動土砂の質量(質量流速:mass flow rate)に相当し、それに速度を乗じた量である。ここで、質量流速を実験における土砂の質量の速度を乗じた量に係数 β を乗じた量として表すことにより、衝撃荷重を運動エネルギーに関連する量として表すことができる。係数 β は(3)式のように表すことができるが、ここでは補正係数として考えることにする。

$$P = \beta \cdot m \cdot v^2 = \left(\frac{A \cdot \gamma}{m \cdot g} \right) \cdot m \cdot v^2 \quad (3)$$

図-1より、衝撃荷重は、変形の拘束、非拘束によらず、運動量との相関が高い。しかし、非拘束モデルにおいては、運動量との相関係数0.78に比べて、運動エネルギーとの相関係数0.76も比較的高い。また、運動量について、変形の拘束条件に応じた関係でみると、拘束モデルの相関係数は0.92と非拘束モデル0.78に比べて、大きい。非拘束モデルは荷重計に均等に衝突力が作用していないため、相

関が小さいと考えられる。土砂流下後の構造物への衝突挙動は、非拘束モデルに近いと推定される。すると、運動量、また運動エネルギー(流体力の運動量)とも同程度の相関性を有しており、流体力に対する評価も有意であると考えられる。ここでは、衝突土砂の質量が明確なため、土砂が固体として衝突する際の衝撃荷重と流体力の運動量や運動量との関係を比較することができたが、実斜面では衝突時に質量に相当する量の把握が困難となる。MPMなどの土砂の流下・衝突挙動への適用性が検証されている解析法を用い、前述の質量に係わる補正係数などについて検討を実施することが流体力による土砂の衝突荷重を評価する上で必要と考える。

参考文献

- 1) 中村晋, 仙頭紀明, 梅村順, 大塚悟, 豊田浩史: 2011年東北地方太平洋沖地震による福島県中通りおよびいわき地域における地盤災害—造成盛土や自然斜面の崩壊と変状, および液状化—, 地盤工学ジャーナル, Vol. 7, No. 1, pp. 91-101, 2012.
- 2) Nakamura, S., Wakai, A., Umemura, J., Sugimoto, H. and Takeshi, T.: Earthquake-induced landslide: distribution, motion and mechanisms, *Soils and Foundations*, Vol. 54, No. 3, pp. 544-559, 2014.
- 3) 内田太郎, 曾我部匡敏, 寺田秀樹, 近藤浩一, 小山内信智, 吉川修一, 亀田信康: 衝突時に崩壊土砂が構造物に作用する荷重に関する実験: 構造物の変位が荷重に及ぼす影響, 砂防学会誌, Vol. 59, No. 1, pp. 3-12, 2006.