

崩壊土砂が衝突時に構造物に作用する荷重の時空間分布に関する検討

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○曾我部匡敏, 内田太郎, 小山内信智  
八千代エンジニアリング株式会社 吉川修一, 亀田信康

1. はじめに

急傾斜地崩壊防止施設のうち待受け式擁壁は、崩壊土砂（以下、「崩土」という）を保全対象の手前で受け止める目的で設置される。その設計において、崩土が擁壁に作用する荷重を考慮しているが、更にその空間分布や時間変化を考慮すると、考慮しない場合に比べてより小さい断面の擁壁で崩土を待受けすることができる可能性がある。曾我部ら（2004）<sup>1)</sup>は、がけ崩れ箇所における落石防護柵支柱の破損状況から崩土の衝撃荷重の空間分布を評価した。また、内田ら（2004）<sup>2)</sup>は、乾燥砂において崩土の衝撃荷重測定実験を行い、そのピーク荷重は崩土量に依存するが、崩土量の増大に伴いその依存性は小さくなることを報告した。本研究では、室内実験を行い、崩土が衝突時に構造物に作用する荷重を測定し、土砂の粒度分布の影響、土砂の含水率の影響を検討した。また、実験で測定した流下速度、流動深、堆積形状のデータを用いて、崩土の作用荷重の時間変化を再現することを試みた。

2. 実験方法

実験は国土技術政策総合研究所地すべり模型実験施設内の崩土流動実験装置を使用した。実験に用いた試料は、砂礫（最大粒径 19 mm, 50%粒径 5.1 mm,）、礫（最大粒径 19 mm, 50%粒径 5.2 mm）、スクリーニングス（最大粒径 4.8 mm, 50%粒径 0.74 mm）の 3 材料である。また、砂礫に関しては含水率が 2~3% の自然乾燥状態の「乾燥砂」、約 16% の「湿潤砂」の 2 ケース実施した（表-1）。土砂供給装置から試料を実験斜面に流下させ、斜面途中に設置した圧縮型ロードセル CLA-NA（東京測器研究所製, 1,000 Hz）を 3 台取り付けした荷重測定装置（受荷台）に衝突させ荷重を測定した。また、各時刻における土砂の流動深、流下速度、堆積状況は、高速度ビデオカメラ（400 Hz, フォトロン社製 RGB-Rabbit 3S-5）で撮影した画像を用いて測定した<sup>2)</sup>。

表-1 実験ケース一覧

	斜面勾配(°)	土砂量(m <sup>3</sup> )	試料	状態
Case 1	45	0.5	砂礫	乾燥
Case 2	45	0.5	礫	乾燥
Case 3	45	0.5	スクリーニングス	乾燥
Case 4	45	0.5	砂礫	湿潤
Case 5	38.7	0.5	砂礫	乾燥
Case 6	38.7	0.5	砂礫	湿潤

3. 実験結果

3.1 粒度分布の違いによる影響

測定開始から最初のピーク荷重となる時刻（0.3~0.35 秒後）、その継続時間、2 回目のピーク荷重となる時刻（約 0.5 秒後）はほぼ同じであった。ピーク荷重の大きさも同程度であった（図-1）。作用荷重の上昇過程を詳しく見ると、礫のケースは砂礫、スクリーニングスに比べると上昇速度は大きかった。作用荷重の下降過程は、どのケースも類似しており

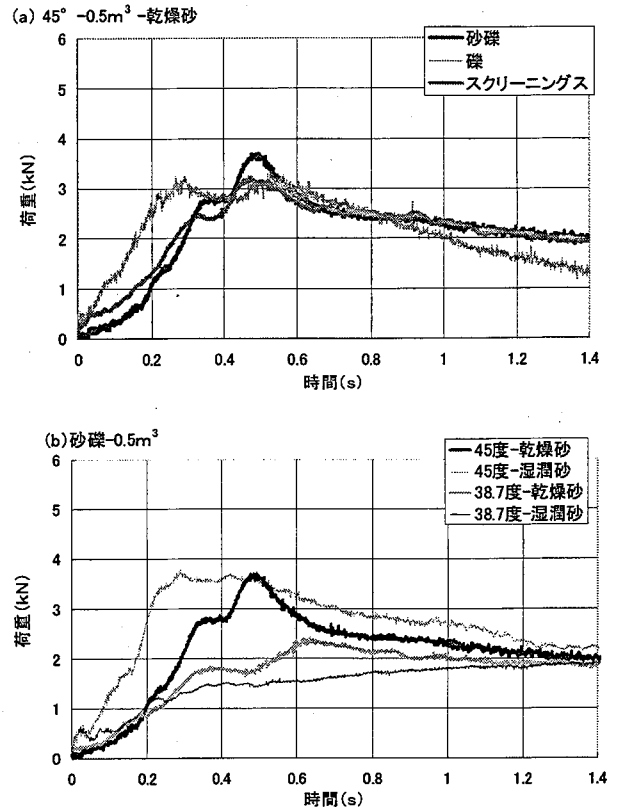


図-1 荷重測定結果

(a) 粒度分布の違い (b) 乾燥砂と湿潤砂の比較

その荷重もほぼ同じであった。

今回の実験から、粒度分布の影響は、土砂量、斜面勾配、含水率が同じ条件下では、作用荷重に及ぼす影響は小さいと考えられる。

3.2 乾燥砂と湿潤砂

砂礫の乾燥砂と湿潤砂を 45°、38.7° の斜面勾配で流下させ、その作用荷重を測定した。斜面勾配が同じ条件下において、斜面勾配 45 度の衝突開始から 0.4 秒までを除くと、ピーク荷重を含めて荷重値はほぼ同じであった。すなわち、作用荷重の時間変化は、乾燥、湿潤の影響は小さいと言える。

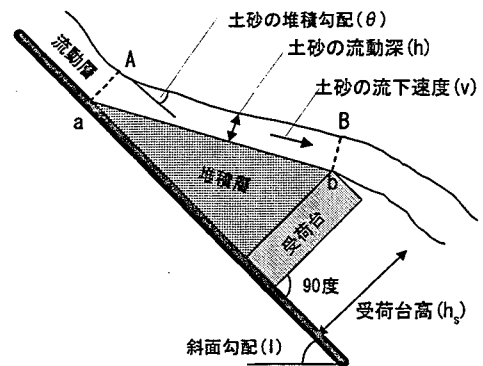


図-2 受荷台付近の土砂

#### 4. 考察

##### 4.1 時空間分布を考慮した作用荷重の推定方法

仲野・右近 (1986)<sup>3)</sup> は、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、すなわち崩土の運動量の変化によって表すことができることを示した。本研究においても同様に、受荷台への作用荷重 (F) は土砂の流体圧 (F<sub>i</sub>) と堆積土圧 (F<sub>s</sub>) の和であると考えた。

$$F = F_i + F_s \quad (1)$$

また、図-2におけるAa断面とBb断面の運動量の変化から荷重 (F) を式 (2) で求めた。ここで、受荷台前面の堆積土砂の影響は無視し、土砂の流動深、流下速度は場所によって変化しないと仮定した。

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

ここで、h: 土砂の流動深、w: 土砂の流下幅、 $\rho$ : 流下土砂の密度、v: 流下土砂の流速、 $\theta$ : 図-2に示した堆積勾配である。また、受荷台を設置せずに行った予備実験から流下土砂の平均密度を求め $\rho$ とした。

さらに、試料が受荷台前面に堆積した場合、堆積土圧 (F<sub>s</sub>) が作用する。

$$F_s = \rho_s g V (\sin I - \mu_1 A_1 \cos I) / (1 - \mu_1 A_1 \mu_2 A_2) \quad (3)$$

ここで、 $\rho_s$ : 堆積土砂の密度、g: 重力加速度、V: 堆積土砂の体積、I: 斜面勾配、 $\mu_1$ : 水路床との摩擦係数、A<sub>1</sub>: 底面積、 $\mu_2$ : 受荷台との摩擦係数、A<sub>2</sub>: 受荷台の面積である。なお、 $\rho_s$ は予備実験において求めた。なお、式 (3) は堆積土砂内ですべり面が生じることがなく堆積土砂は一塊として受荷台に作用するとした仮定が成立する条件下でのみで適用できる。ここで、土砂の移動が完了したとき、式 (1) より F = F<sub>s</sub> となることから、摩擦係数を 0, 0.2, 0.5 として堆積土圧と荷重測定値を比較した (図-3)。その結果、摩擦係数が 0 のときに概ね式 (3) で実験結果を再現できた。そこで、以下では  $\mu_1 = \mu_2 = 0$  とする。

##### 4.2 実測値と計算値の比較

実験により得られた作用荷重の波形 (実測値) と計算値を比較した (図-4)。衝突開始から 0.1 秒までの衝突初期段階においては、計算値が実測値を約 1 kN/m<sup>2</sup> 上回り、0.7 秒後の衝突終了段階では、計算値が 1~1.2 kN/m<sup>2</sup> 程度下回った。また、ピーク荷重はほぼ一致した。さらに、作用荷重の上昇・下降のタイミングも式 (1) により概ね再現できた。これは、粒度分布、斜面勾配、乾燥砂と湿潤砂と条件が変わっても同様な傾向であった。

ここで、実験値と計算値が少しずれる理由として、①衝突開始から 0.1 秒までの土砂の流下密度は平均の流下密度よりも小さいことが挙げられる。これは、ビデオ画像から確認できた。②ピーク荷重後に計算値が実験値を下回っている。これは、崩土が流動中に堆積形状を時刻歴で追跡することが困難で、正しく推定できていない影響である。Case1 では 0.6 秒付近までは堆積形状を推定できておりその影響が少ない。しかし、先に述べたように、静止時の土砂の堆積形状と作用荷重の比較から、式 (1) には矛盾はないと考えられる。

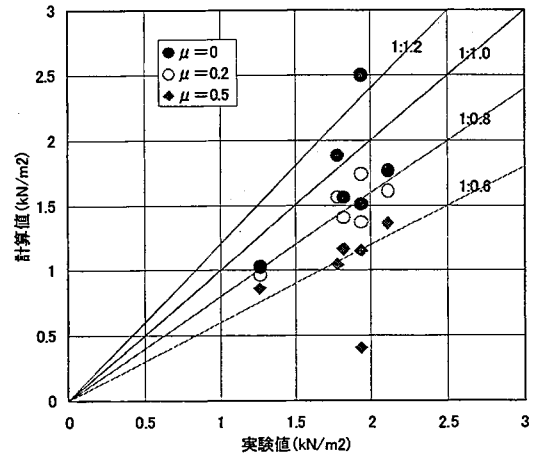


図-3 土砂移動完了後の作用荷重

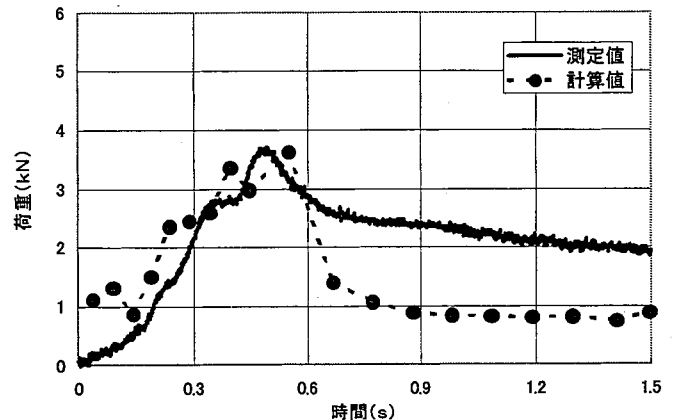


図-4 作用荷重の時間変化の比較 (Case1)

#### 5. まとめ

本研究から得られた主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 室内実験から、崩土が衝突時に構造物に作用する荷重は、土砂量、斜面勾配、含水率が同じ条件下において、ピーク荷重、収束荷重またその発現時間も同程度であり、粒度分布の影響は小さいと考えられる。
- 2) 湿潤砂においては、乾燥砂と同様に崩土が衝突時に構造物に作用する荷重は、試料の状態に依らず同様の挙動を示し、ピーク荷重やその発現時間もほぼ同じであった。
- 3) 崩壊土砂が衝突時に構造物に作用する荷重は、流下土砂の運動量の変化と堆積土砂の堆積土圧の和で作用荷重の時間変化を概ね表現することができた。

#### <参考文献>

- 1) 曾我部匡敏・内田太郎・小山内信智・吉川修一: 崩壊土砂の作用荷重の空間分布が待受け式擁壁の安定性に及ぼす影響, 第7回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, pp.1-6, 2004.
- 2) 内田太郎・曾我部匡敏・小山内信智・吉川修一・亀田信康: 室内実験による崩壊土砂の衝撃荷重に関する検討, 第7回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, pp.193-198, 2004.
- 3) 仲野公章・右近則男: 砂質崩土の衝撃力に関する実験, 新砂防, Vol.39, No.1, pp.17-23, 1986.