

乾燥砂を用いた崩壊土砂の衝撃力に関する実験的研究 (2)

(財) 建設技術研究所
 京都大学大学院農学研究科
 筑波大学農林工学系
 (財) 建設技術研究所
 同上

○長谷川祐治
 水山 高久
 宮本 邦明
 小田 晃
 阿部 彦七

1. はじめに

前報¹⁾では、可動式の堤体に剛体や乾燥砂を衝突させて、運動量変化から衝撃力の検討を行った。剛体に同じ運動量変化を与える場合、その変化時間が長くなるほど衝撃力は小さくなる。すなわち、大変形の堤体を受ける剛体による衝撃力は、微小変形の堤体を受ける衝撃力と比べ堤体に衝突してから運動量が0になるまでの時間（以下、衝突時間と呼ぶ。）が長くなるため小さくなる。しかし、乾燥砂のような連続体が堤体に衝突する場合、剛体と異なり堤体衝突後の連続体の形状が大きく変化するため、必ずしも堤体が剛体の衝突と同じ挙動を示すとは限らない。本報では、剛体や乾燥砂の衝突に対する堤体の応答の違いについて、衝突後の堤体の変位速度や衝突時間に着目して検討を行う。

2. 実験概要

実験は、概ね前報と同様に行った。しかし、使用斜路や給砂方法など変更点があるので改めて概要を示す。実験には長さ400cm、幅10cm、勾配40度の剛な側壁を有する直線矩形断面の斜路を使用した。斜路下流端から50cmの位置に可動式の堤体を、上流端には定常的に乾燥砂を供給するためホッパーを設置した。実験砂には密度2.65g/cm³、粒径0.25mmの様な乾燥砂を10kg使用した。一方、剛体は車輪付きの台車である。堤体は斜路底面に対して垂直向きになるように、移動は斜路に対して平行移動となるように設置し、ばね定数100, 500, 1000N/mのばねにより支えられている。堤体の変位や乾燥砂の変形は、それぞれ変位センサ(200 f.p.s.)およびビデオカメラ(60 f.p.s.)を用いて計測を行った。実験条件を整理し、表-1に示す。

3. 実験結果

3.1 剛体と乾燥砂の衝突による衝撃力の比較

図-1は、剛体と乾燥砂の衝撃力を示している。図中の衝撃力は、堤体の最大変位量から求めている。この図によると、剛体の衝撃力は堤体の変位量の増加に伴い小さくなるが、乾燥砂は堤体の変位量に関係なくほぼ一致している。これは、明らかに剛体と乾燥砂とでは堤体の応答が異なることを示している。

3.2 剛体の衝突による堤体の応答

図-2は、剛体の衝突による堤体の変位量の時間変化をばね定数ごとにプロットしたものである。なお、実験では堤体の変位量は、最大値までしか読み取っていない。また、図中の曲線は、式(1)の運動方程式を初期条件、 $t=0$ のとき、 $x=0$ 、 $v=u_0$ (u_0 : 衝突速度)、のもとで解いた式(2)を示している。

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = Mg \sin \theta \quad \dots(1)$$

$$x = A \sin \left(\sqrt{\frac{k}{M}} t - B \right) + \frac{Mg \sin \theta}{k} \quad \dots(2)$$

$$A = \sqrt{u_0^2 \frac{M}{k} + \frac{(Mg \sin \theta)^2}{k^2}}, \quad B = \sin^{-1} \frac{Mg \sin \theta}{\sqrt{u_0^2 \frac{M}{k} + \frac{(Mg \sin \theta)^2}{k^2}}}$$

表-1 実験条件

| | 剛体 | 乾燥砂 |
|-------------|-----------|-----------|
| 衝突速度 | 0.95m/sec | 4.2m/sec |
| 質量 | 0.98kg | 10kg |
| 単位時間あたりの給砂量 | — | 1.5kg/sec |

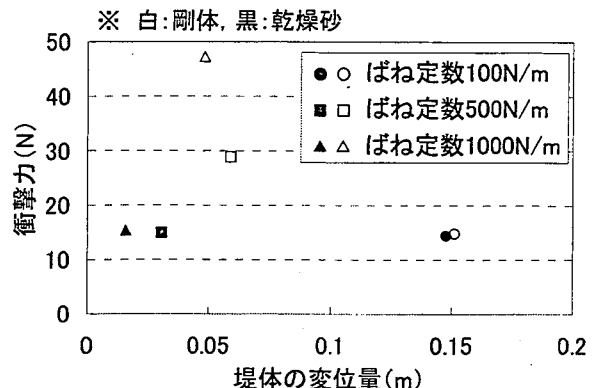


図-1 剛体と乾燥砂の衝突による衝撃力

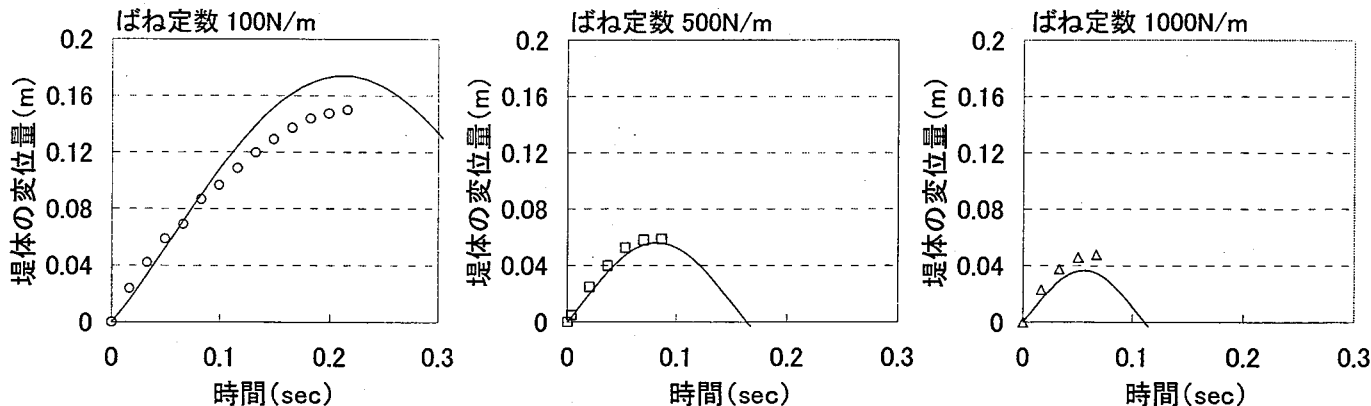


図-2 剛体の衝突による堤体の変位量の時間変化

ここに、 M : 剛体の質量、 x : 堤体の変位量、 k : ばね定数、 g : 重力加速度、 θ : 斜路勾配である。図-2によると、式(2)と実験結果は良く一致している。式(2)より剛体の衝突による衝撃力は次式で表され、ばね定数が大きくなると衝撃力が大きくなるのが分かる。

$$F = \sqrt{u_0^2 kM + (Mg \sin \theta)^2} + Mg \sin \theta \quad \dots (3)$$

3.3 乾燥砂の衝突による堤体の応答

図-3と図-4は、それぞれ乾燥砂の衝突による堤体の変位量と衝撃力の時間変化を示している。また、図-4には無施設時における堤体設置断面の流動深の時間変化を示している。ばね定数が異なると堤体の変位量に関する応答は異なっているが、衝突時間および衝撃力に関する堤体の応答には影響しないことがわかる。また、衝撃力と流動深の時間的な変化傾向はほぼ一致していることがわかる。堤体が受ける力が流れの運動量変化に等しいとすると次式が成り立つので、流れの先端部の形状が時間的に変化しないとすれば、その間の流速は一定である必要がある、衝撃力は流動深にほぼ比例することになる。

$$F = \gamma Bhu^2 \quad \dots (4)$$

ここに、 γ : 乾燥砂の見かけの密度、 B : 斜路幅、 h : 乾燥砂の流動深、 u : 乾燥砂の流下速度である。

4. おわりに

剛体や乾燥砂の衝突に対する堤体の応答の違いについて検討を行った。その結果、剛体に対してはばねにより支持された剛体の運動として評価され、乾燥砂に対しては流れの持つ運動量により評価されることが示された。今後、さらに、乾燥砂の衝突速度や単位時間あたりの給砂量、総土砂量(質量)を変化させ検討を行っていく。

参考文献

1) 長谷川ら: 乾燥砂を用いた崩壊土砂の衝撃力に関する実験的研究, 平成16年度砂防学会研究発表概要集, 砂防学会, pp.214-215, 2003

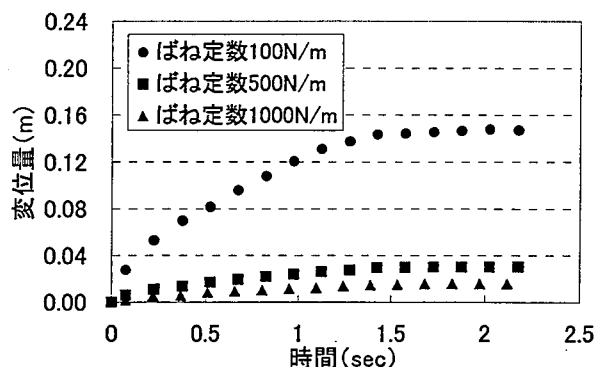


図-3 乾燥砂の衝突による堤体の変位量の時間変化

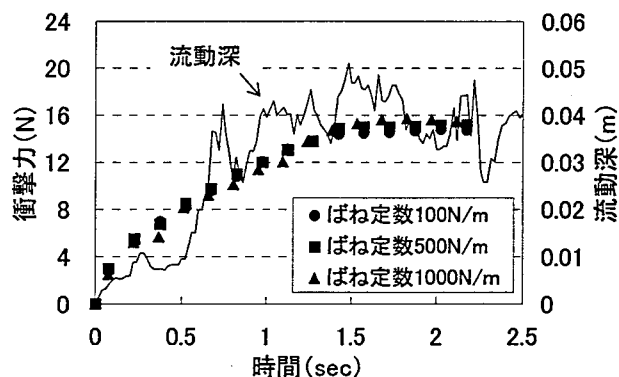


図-4 乾燥砂の衝突による衝撃力と流動深の時間変化