

乾燥砂を用いた崩壊土砂の衝撃力に関する実験的研究

(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 擁壁および堤体に崩壊土砂または土石流が衝突する際に生じる衝撃力は、個別の粒子の衝突によるものと、流体や粒状体などの連続体あるいは連続体と見なせる物体の衝突によるものに分けて検討されている^{1),2)}。後者については、衝突してくる流体などの材料の圧縮性が重要な役割をはたす場合と流線の変化に伴う運動量変化が重要な役割をはたす場合があると知られている³⁾。本研究では、崩壊土砂の運動量変化が重要な役割を果たす場合を対象とし、粒状体の衝突を連続体の衝突として取り扱うことによって、堤体に作用する衝撃力を実験から検討する。なお、本実験は、運動方程式を用いて衝撃力を評価するため、堤体を受けると崩壊土砂の運動量が0となる時刻の判読を容易なものとするため、堤体の変形を大きく許すように計画された。

2. 実験概要 実験には長さ180cm、幅10cmの直線矩形断面の斜路(30, 35度)を用いた。図-1の発生位置高さ(H₁)の位置に止め板を設置して、その背後に乾燥した砂10ℓを高さ40cmに敷き詰めたのち、止め板を取り除くことにより乾燥砂を流下させた。実験に用いた砂は、密度は2.65 g/cm³、粒径0.25mmの一樣砂である。一方、剛体は、車輪付きの台車とし、初速0でH₂の高さから流下させた。なお、H₁とH₂は、斜路の角度毎に壁面設置位置における剛体と乾燥砂の速度が同じとなるように設定した。堤体は、可動式の壁面とし、斜路下流端から20cmの高さ(H₃)に設置し、斜路との設置面には車輪を取り付け、壁面下端にゴムひもを設置した。初期状態のゴムひもは、自然の長さに保たれ、伸び縮みはないものとする。また、壁面は、土砂が越流しない高さとし、斜路底面に対して鉛直向きになるよう設置し、移動は斜路に対して平行移動となるようにした。なお、乾燥砂、台車の衝突速度や壁面の時間変位は、斜路側面に設置したビデオカメラ(60 fps.)から読みとった。

3. 実験結果

3.1 ゴムひもの変位と静的荷重の関係

実験に使用したゴムひもの鉛直方向の変位と静的荷重の関係を図-2に示す。なお、今回のような大変形を伴うゴムひもの場合、歪みの量でバネ定数が大きく変化する。そこで、図の測定データを用いて、本実験で用いたゴムひものバネ定数を次式のように定式化している。

$$k = 10.195 \cdot x^{-0.6169} \quad \dots (1)$$

ここに、 k : バネ定数 (Nm), x : ゴムひもの変位量 (m) である。

3.2 衝撃力の力積表現と剛体の衝突実験

堤体に衝突時の衝撃力を衝突する物体の運動量変化によって説明する場合、衝突する物体の運動量変化は、物体が衝突している間の堤体に作用する衝撃力の力積に等しい。このとき、一般に次式が成り立つ。

$$\int_0^t F dt = P(t) - P(0) \quad \dots (2)$$

ここに、 F : 衝撃力, t : 物体が堤体に接触してからの通過時間, $P(t)$: 時刻 t における物体のもつ運動量, $P(0)$: 物体が堤体に接触時の運動量である。さらに、物体が剛体であれば、右辺は次式のように表される。

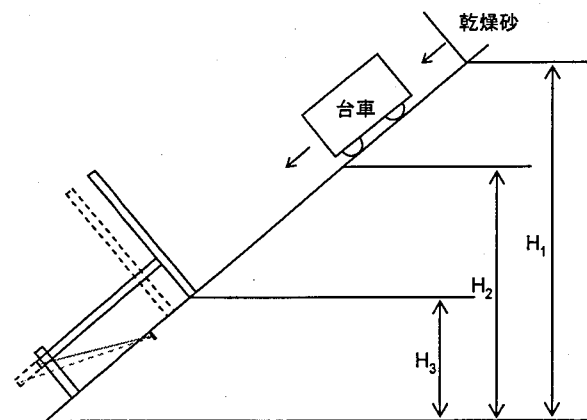


図-1 模型概略図

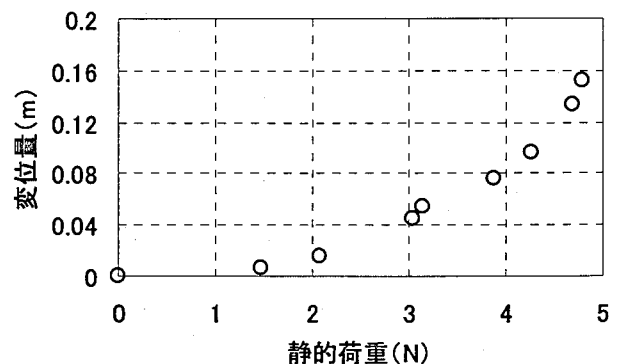


図-2 ゴムの鉛直方向の変位と静的荷重の関係

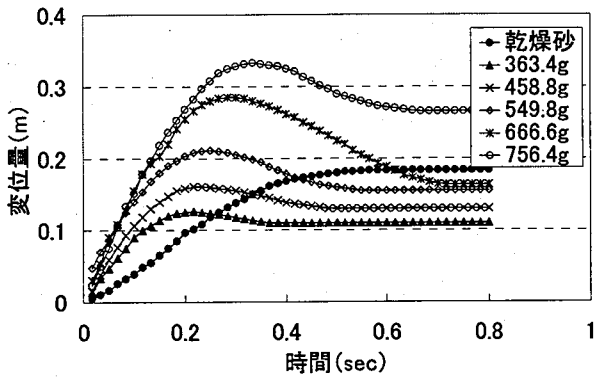


図-3 斜路角度 35 度の場合の時間と壁面の変位の関係

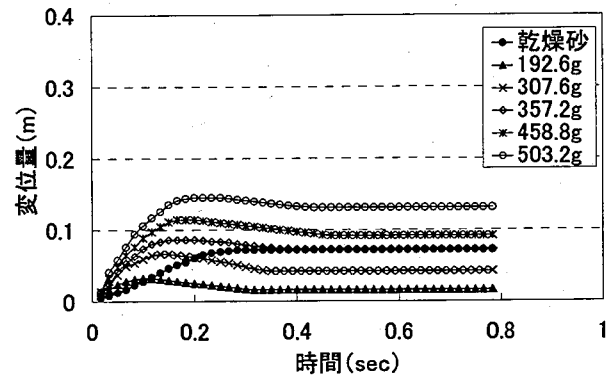


図-4 斜路角度 30 度の場合の時間と壁面の変位の関係

$$P(t) - P(0) = M(v(t) - v(0)) \quad \dots (3)$$

ここに、 M ：剛体の質量、 v ：剛体の速度である。図-3、4 は、それぞれ、斜路角度が 35 度、30 度における堤体壁面の変位の時間変化である。これらの図からもわかるように堤体の変位が極大値を迎えたとき、堤体と物体の境界の速度は 0 になるので、物体が堤体に接触してからこのときまでの時間を衝突時間と呼ぶことにし、これを T で表わすと $P(T) = 0$ となり、式(2)は、次式ようになる。

$$\int_0^T F dt = -P(0) \quad \dots (4)$$

図-5 は、剛体の衝突実験データを用いて、式(4)の右辺に対する左辺の比（力積比）を剛体の質量と斜面勾配で整理したものである。実験を通じて勾配 30 度の剛体の質量が小さい場合を除き両者の比がほぼ 1.0 に等しいことが分かる。

3. 3 乾燥砂の衝突実験

乾燥砂の場合には、堤体に衝突してくる物体は剛体でなく粒状体の流れであるので、粒状体の流れが堤体に衝突している間に変形をする。このとき、式(2)および式(4)を用いて堤体に作用する衝撃力の力積を直接的に評価するのは困難となる。そこで、粒状体の流れが定常等流であるとともに、粒子の体積濃度が鉛直方向に一様であると仮定すると、式(4)は近似的に次式のように表わされる。

$$\int_0^T F dt \doteq \gamma A u^2 T = \gamma A u L \quad \dots (5)$$

ここに、 γ ：乾燥砂の見かけの密度、 A ：乾燥砂の流下断面積、 u ：乾燥砂の流下速度、 L ：堤体に作用する乾燥砂の有効な縦断方向の長さ（有効長）である。式(5)を乾燥砂の実験結果に適用し、さらに、流下中における乾燥砂の見かけの密度が静止状態のものと等しいと仮定すると、堤体に作用する乾燥砂の有効長に関する無次元量 $\frac{L}{uT}$ は、35 度で 0.77、30 度で 0.69 となる。

4. おわりに 崩壊土砂の運動量変化が重要な役割を果たす場合を対象とし、粒状体の衝突を連続体の衝突として取り扱うことによって、堤体に作用する衝撃力を実験により検討を行った。得られたデータに基づいて、堤体に作用する乾燥砂の有効な縦断方向の長さ（有効長）を推定する一手法を提案した。しかし、乾燥砂の流れの堤体への応答システムの評価等については、今後、さらなる検討が必要である。また、本実験は、運動量変化の判読を容易なものとするため、堤体の変形を大きく許すように計画されたが、その大変形については、リングネット⁴⁾等の施設が受ける衝撃力の評価手法の検討に役立つと考えられる。

参考文献 1) 水山高久：砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点，砂防学会誌（新砂防），Vol. 32, No. 1, p. 40-43, 1979. 2) 宮本邦明ら：堤体に作用する土石流段波の衝撃力に関する研究（I），立命館大学理工学研究所紀要，第42号，1983. 3) 大同淳之：土石流が構造物に作用する衝撃力，土木学会第46回年次学術講演会，p. 592-593, 1991. 4) 門間敬一ら：リングネット工法の計画・設計等の実態調査，砂防学会誌（新砂防），Vol. 54, No. 2, p. 60-63, 2001.

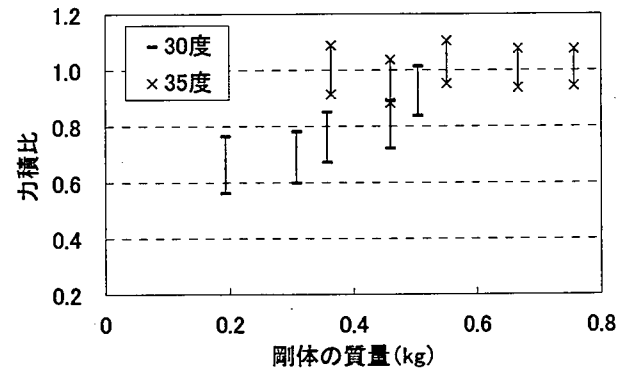


図-5 剛体の質量と力積比の関係