

実斜面での落石実験1(落石運動のメカニズム)

(株)第一コンサルタンツ ○ 国際会員 右城 猛
(株)第一コンサルタンツ 正会員 筒井 秀樹

1. まえがき

平成 12 年 10 月, 落石運動のメカニズムを解明する目的で, 高知県幡多郡西土佐村岩間のヒノキの植林地内で落石実験を実施した. 本文では, 落石実験の概要, 落石の初動時の挙動, 飛行時の挙動, 斜面あるいは立木に衝突したときの挙動, 平面的落下経路について発表する.

2. 実験の概要

斜面の断面図を図 1 に示す. 地質は風化が進んだ泥岩と砂岩が受け盤状に互層をなし, 表面に 2~5cm の砂岩角礫を含む礫混じりシルトが 3~50cm の厚さで堆積している.

供試落石は, 塊状または板状の砂岩碎石(質量 16~200kg)49 個, 砂岩玉石(質量 21~48kg)4 個, コンクリート製球(質量 16kg)3 個, コンクリート製立方体(質量 38kg)13 個, 合計 69 個である.

実験は, 上部の擁壁の法尻($x=0, y=0$)の位置に落石を置き静かに手を離して転がす実験 I (投石 35 個)と, 擁壁天端から自由落下させる実験 II (投石 34 個)の 2 種類行った. 落石の挙動は, 林道に 1 台, 対岸に 1 台, 斜面上に 4 台のデジタルビデオカメラ(30 コマ/秒)を設置して撮影した.

3. 実験結果

(1) 落石の初動

初期の落石の挙動を図 2 に示す. 実験 I のうち, 77%がころがり→飛行, 23%がころがり→すべり→飛行のパターンを示した. 細長い落石が最大慣性主軸回りでもころがる場合には, 初期状態から 1/2~2/3 回転($180 \sim 250^\circ$)

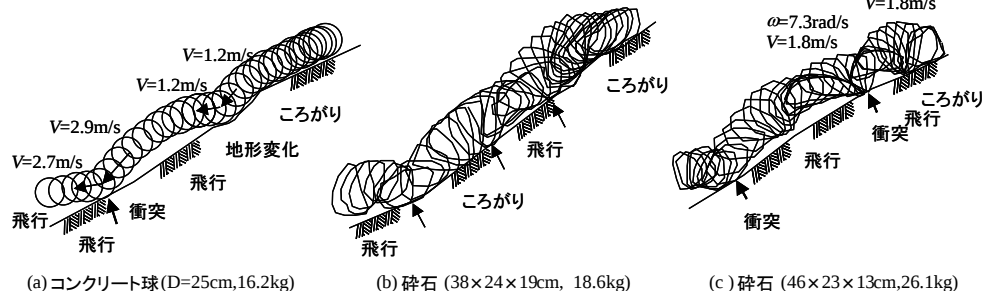


図2 初動時の挙動

する間に飛行へ移行するが, 最小慣性主軸回りに回転する場合には 2 回転~数回転しないと飛行へ移行しない. 飛行に移行する限界線速度は $1.2 \sim 1.8 \text{ m/s}$, 限界角速度は $7 \sim 8 \text{ rad/s}$ 程度であった. なお, 斜面および落石の表面形状が複雑であるため, 跳躍量が小さい場合には, ころがり運動か飛行運動かの識別は難しい.

(2) 飛行運動

落石が飛行運動する際は, 重心を中心に三次元的に回転する. 図 3 は, 投石したコンクリート立方体の中で最も慣性主軸の方向が安定したものを選んでいるが, それでも慣性主軸の時間的変化が著しい.

(3) 斜面への衝突

衝突運動は, 図 4(a),(b)のように衝突した次の瞬間に飛行を再開するモードと, (c),(d)のように衝突後ころがり運動を経てから飛行を再開するモードが現れる. 前者のモードは岩盤, 土砂の両方で出現した.

衝撃による地盤の塑性変形で法線方向運動エネルギーが失われ跳躍できずころがり運動となり, 回転による遠心力で

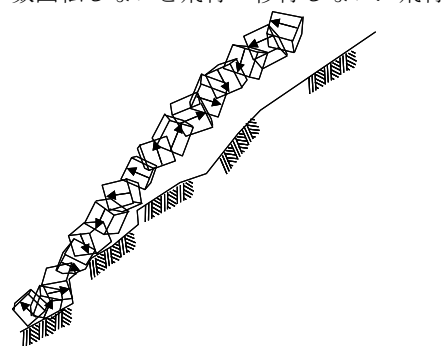


図3 飛行運動(コンクリート立方体25cm)

斜面抗力が 0 になった時点で飛行を再開するものと考えられる。衝突後の角速度が大きいとわずか 1/8 回転程度で飛行を始めるが、角速度が小さいと 1/2～数回転して飛行を再開する。

落石が斜面下部の私道へ衝突したときの挙動は、図 5 に示すように斜面上とは異なる。投石のうち 4 個は斜面内で停止し、65 個が私道に到達したが、私道へ衝突後 45 個はわずかな跳躍またはころがりで幅員 3.5m の私道内で停止、12 個は路側部まで跳躍、7 個は路側部を越えて跳躍した。

私道は泥岩斜面を切土して造られたもので、表面の数 cm は風化し土砂化しているものの斜面地盤に比べてはるかに堅い。約 70% の落石は、私道への衝突により法線方向運動エネルギーのほとんどを失ったことになる。衝突後に跳躍したの落石についても実質跳躍量は約 0.5m であるので、法線方向反射速度は $v=3\text{m/s}$ 程度である。

(4) 樹木への衝突

投石 69 個の内 8 個が落下中に樹木へ衝突した。その中の 2 例を図 6 に示す。飛行中の落石が樹木の根元へ真正面から衝突すれば、落石は樹木と斜面に挟まれて停止する。根元より上に当たれば、跳ね返って斜面に落下し、線速度 0 の状態からころがり運動を再開する。当たる角度が薄いと幾分減速はするものの進行方向を変えて飛行運動を継続する。

(5) 平面的落下経路

図 7 は投石全ての平面的落下経路である。矢印の付いた線は、落石停止位置が確認できなかったものを表している。落石の運動方向は、初動位置の地形に支配される。また、樹木や切株、露頭岩盤に衝突すると運動の方向を急変させる。投石位置からの落石の拡がり、初動地点の等高線の法線方向から左右にそれぞれ 30° (93%は 15°) 以内である。

4. あとがき

本実験により、実斜面を落下する落石の挙動を詳細に捉えることができ、運動機構を力学的に解明するための資料を得ることができた。

実験に際しては、高知県中村土木事務所の中城班長、久志技官、高知大学農学部小椋助教授、構営技術コンサルタントの宮地氏、基礎建設コンサルタントの山田氏、能野氏、(株)第一コンサルタンツ技術部およびおよび中村支店の各位にご協力いただいた。深甚の感謝を申し上げる。

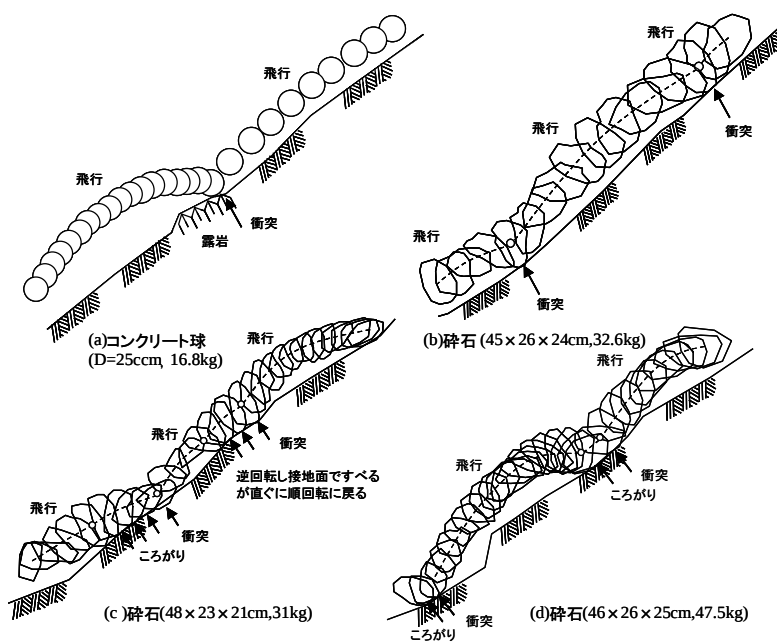


図4 斜面への衝突

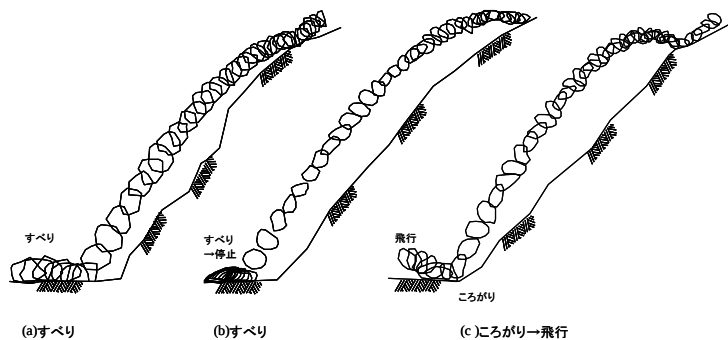


図5 私道への衝突

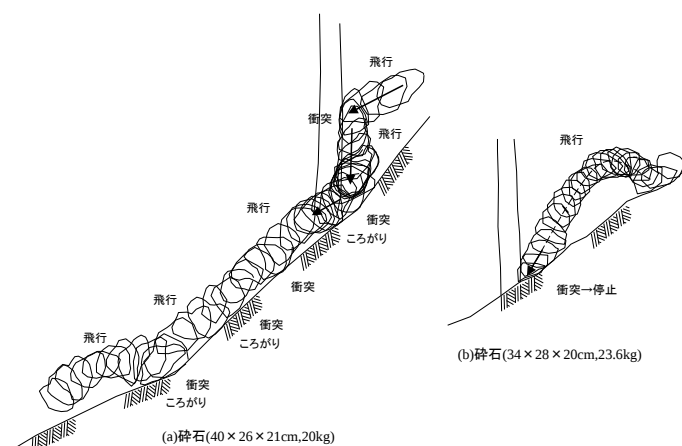


図6 樹木への衝突

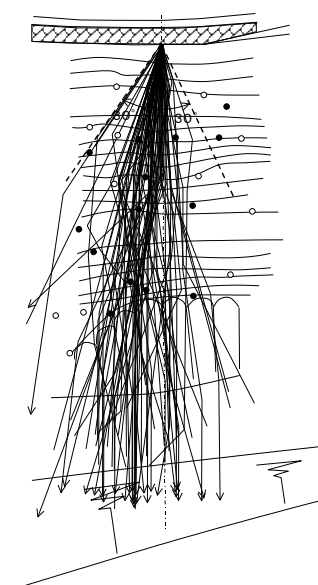


図7 平面的落下経路