

斜面における落体の跳ね返り挙動に及ぼす表土特性の影響

名古屋工業大学 学生会員 ○内藤駿佑
名古屋工業大学大学院 学生会員 内藤直人
名古屋工業大学 正会員 前田健一

1. はじめに

我が国では、気象変動による降雨条件の変化や地震の多発も起因して落石発生件数は増加傾向にある。効率的な落石対策を計画・設計する上で、落石運動を予測することは非常に重要である。

本研究では、跳ね返り挙動に影響を及ぼす要因の明確にするため、表土を敷いた斜面に落体を鉛直落下させる模型実験を行い、落石運動の傾向を確認し考察をした。

2. 実験概要

模型実験において図1に示すモデル斜面を用いた。斜面の基盤にコンクリート、表層に相対密度70%、含水比3%の豊浦砂を敷き詰め、斜面角度を0度、30度、45度、60度とした。表土の層厚の影響は相対層厚 T/D^f (落体径 D^f に対する層厚 T の比) を0(表土無し)~1.0まで変化させ、落体を鉛直落下させた。落体には半径60mm、質量0.408kgの球体を用い、落下高さを0.25m、0.50m、1.00m、

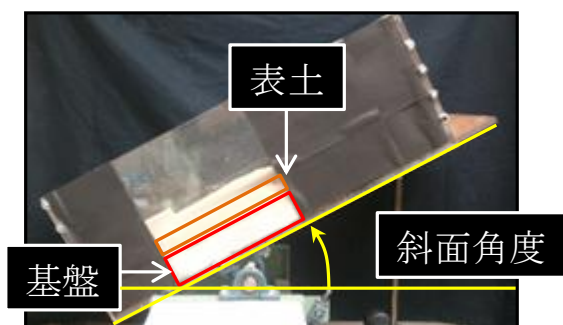


図-1 実験装置

1.75mについて、側面から高速度カメラで撮影し、画像解析によって速度を算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 層厚の影響

図(a)では、 $T/D^f=0\sim 1/16$ 程度までは、法線方向の速度比(衝突前後の速度比でいわゆる反発係数に相当する)は減少し、極端に低い値になる。また、斜面角度0度では $T/D^f=1/8$ 以上で速度比が0となる。このことから、薄い層厚でも表土のエネルギー吸収効果が期待できるといえる。一方、勾配を持つ斜面では $T/D^f=1/16\sim 1/2$ の厚さでは、 T/D^f の増加に伴い速度比は増加する。また、 $T/D^f=1/2$ 以上で速度比の値が収束している。この収束値は傾斜角で異なることがわかる。

図(b)では、接線方向の速度比が層厚、落下高さの減少に伴い低下することがわかる。層厚の増加に伴う速度比の変化を考察するために落体の貫入痕を調べた。貫入量についても速度比と同様に $T/D^f=1/2$ 以上で収束することを確認している。また、図(c)に示すように、表土の削れ方が非対称な対数らせん形状になることで、接線方向に比べ法線方向に飛び出すような挙動となり、落体の速度の法線方向成分が増加すると考えられる。

3.2 斜面角度の影響

図-2(a)から $T/D^f=1/2$ 以上での速度比の収束値

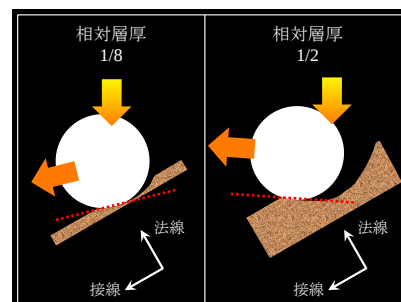
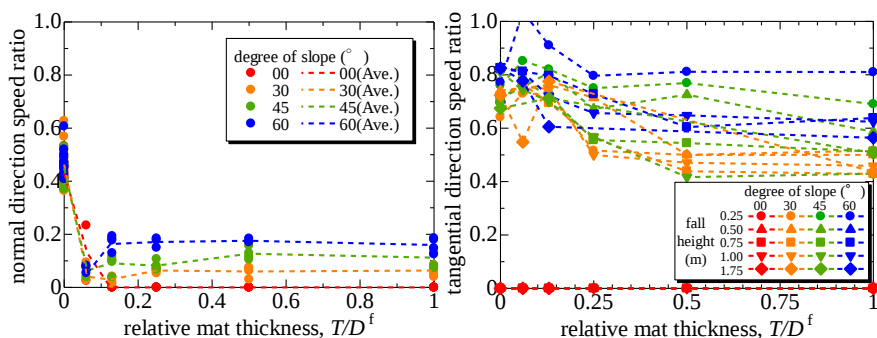


図-2 速度比と表土特性の関係：(a)法線方向速度比，(b)接線方向速度比，(c)典型的な落体の貫入痕

の大きさは斜面角度が大きいほど大きく、30、45、60度では、それぞれ5%、10%、20%となっている。また、接線方向の速度比(図2-(b))についても、 $T/D^f = 1/2$ 以上の収束値は、50%、60%、80%と傾斜角度大きいほど大きいことが確認された。これは、傾斜角度の大きいほど、初期せん断応力が大きく表土の支持力の余裕度が低いため、表土が削られやすく、エネルギー損失は小さくなるためと考えられる。

3.3 貫入痕形状による影響

落体は貫入によってエネルギー損失すると考えられるため、貫入量に着目した。図-3(a)では貫入量の増加に伴い速度比が低下していることがわかる。これは3.1節で述べたように、表面の落体による削れ方によって、速度の主成分が変化し、法線方向成分が相対的に大きくなると考えられる。

3.4 回転による影響

既報^{1),3)}より、回転が落体の速度比に影響を与えることが確認されている。そこで、回転による跳ね返り挙動に及ぼす影響をみるため、落体に順回転を与え鉛直落下させた。回転を与えたケースと回転を与えないケースの法線方向と接線方向の速度比の比較を図-4(a)に示す。方向に関わらず速度比は回転を与えたケースの方が大きい。図-4(b)で、回転を与えた落体が衝突時のエネルギー損失が減少することが分かった。

4. 結論

本研究で得られた結果は次の通りである。

1)斜面に表土がある場合、反発係数は0~0.2程度である。2)表土の層厚が増加するとともに跳ね返り難くなる。 $T/D^f = 1/2$ 以上では速度比は一定値に収束する。また、斜面角度が大きいほど速度比の収束値は大きくなる。3)速度比と貫入痕形状は深く関連しており、落体下の表層内の初期応力と変形・破壊挙動の詳細を検討する必要がある。4)落体が順回転することで、並進運動エネルギーの損失が減ることが確認された。

謝辞

この研究に用いた装置の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)21360222によるものであり、深謝の意を表します。

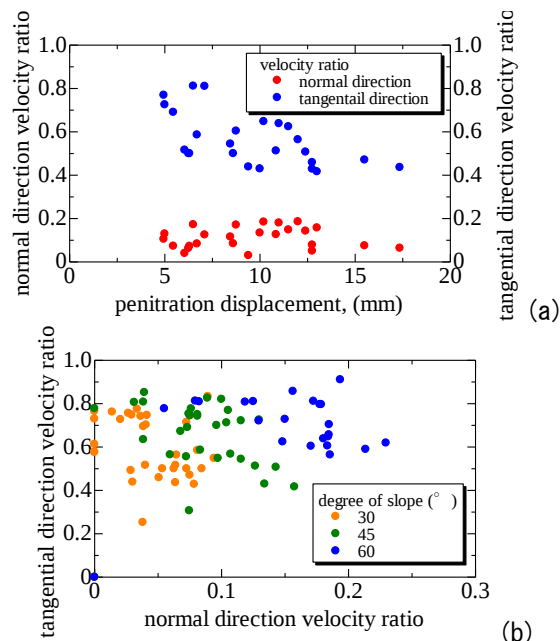


図-3 速度比と貫入特性の関係: (a) 貫入量と法線方向速度比, (b) 法線方向速度比と接線方向速度比

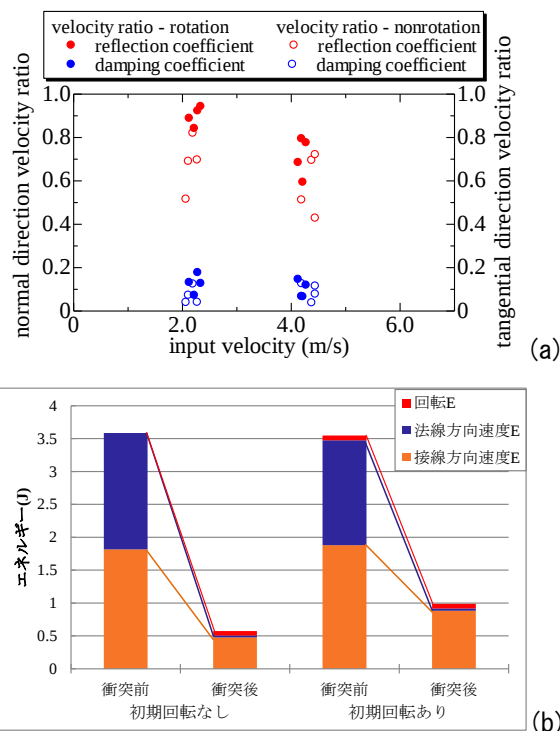


図-4 回転が落体速度に与える影響: (a) 回転が速度比に与える影響 (b) 回転有無による各エネルギーの影響

参考文献

- 1) 羽柴寛文, 前田健一, 内藤直人, 山口悟, 牛渡裕二, 鈴木健太郎, 川瀬良司: 落石特性の異なる水平堆積層内の衝撃力伝達挙動に関する二次元個別要素法解析, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.68, No.2, pp.443-454, 2012.
- 2) 前田健一, 羽柴寛文, 刈田圭一, 牛渡裕二, 川瀬良司: 二次元個別要素法を用いた落石による水平堆積層の衝撃力伝達挙動, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.67, No.2, pp.355-364, 2011.
- 3) 右城猛, 楠本雅博, 加賀山: 岩盤上の表土が落石の跳ね返り速度に及ぼす影響に関する研究, 第5回地盤と環境に関するシンポジウム論文集, pp.1-9, 2000.