

水平基盤に対する球形落体の反発係数に及ぼす細粒分と表土層厚の影響

名古屋工業大学 学○奥村勇太 正 前田健一
学 内藤直人 学 田中敬大
東電設計 正 中瀬 仁

1. はじめに

想定を超える地震動が作用して斜面が崩壊した場合の重要構造物や道路へのリスク評価には課題が残されている¹⁾。また、落石対策工を合理的に設計・維持管理するためには設計荷重の適正評価が必要不可欠であり、斜面上の表土や崖錐堆積物等が落石の落下速度に及ぼす影響の定量化は重要課題である²⁾。

そこで、粒子法や個別要素法等の離散系モデルによる数値解析手法の整備が求められている。特に、個別要素法解析の場合には、岩塊群に含まれる細粒分や斜面表土の取り扱いが重要課題の一つである。本研究では、水平基盤上の球形落体の反発係数に及ぼす細粒分と表土層厚の影響を調べる模型実験と個別要素法 (Discrete Element Method, 以下 DEM と略す) 解析を実施した。

影響が強い場合や岩盤崩壊時に土砂の生成が予測される場合等には、岩塊群の挙動に細粒分の影響を考慮することが望ましい。そこで、実験 1 では、球形落体の反発係数に同時落下する細粒分量が及ぼす影響について検討した。

図 1 に実験装置概要を示す。水平なコンクリート基盤上に球形に整形した直径 $D^f=33.51\text{mm}$ の石灰石の落体を、落下高さ $H=500\text{mm}$ から鉛直自由落下させることで反発係数を測定した。落体下部に平均粒径 0.144mm の珪砂 7 号の細粒分を設置し、落体と同時に落下させることで細粒分量が反発係数に及ぼす影響を調べた。細粒分量は実験前に測定した細粒分層厚で結果を整理している。なお、落体のみの反発係数は $e=0.489$ である。

2.2 表土を有する水平基盤への落体落下実験 (実験 2) :

水平基盤上の表土層厚が球体落体の反発係数に及ぼす影響

落石や岩盤崩壊に関する数値解析を実施する場合、落ちてくる岩塊だけでなく斜面のモデル化も重要な検討項目である。特に斜面上の表土や緩斜面に堆積する崖錐堆積物等は、岩塊が貫入するため大きなエネルギー減衰を期待できる。そこで、実験 2 では、球形落体の反発係数に表土層厚が及ぼす影響について検討した。

図 2 に実験装置概要を示す。水平なコンクリート基盤上に直径 $D^f=60.0\text{mm}$ のアルミナ製の球形落体を、落下高さ $H=1000\text{mm}$ 鉛直自由落下させることで反発係数を測定した。水平基盤上に平均粒径 0.173mm の豊浦砂の砂層を設置することで表土層厚が反発係数に及ぼす影響を調べた。なお、コンクリート基盤への直接衝突時 (相対層厚 $TD^f=0$) の反発係数は $e=0.410$ である。

2.3 実験結果及び考察

図 3 では実験 1 と実験 2 で得られた反発係数と相対層厚の関係を比較している。また、実験 1 で使用した落体、珪砂 7 号、コンクリート基盤を用いて、実験 2 のように基盤上に珪砂を $T=3\text{mm}$ ($TD^f=0.090$) 敷いて落体を落下させた結果 (実

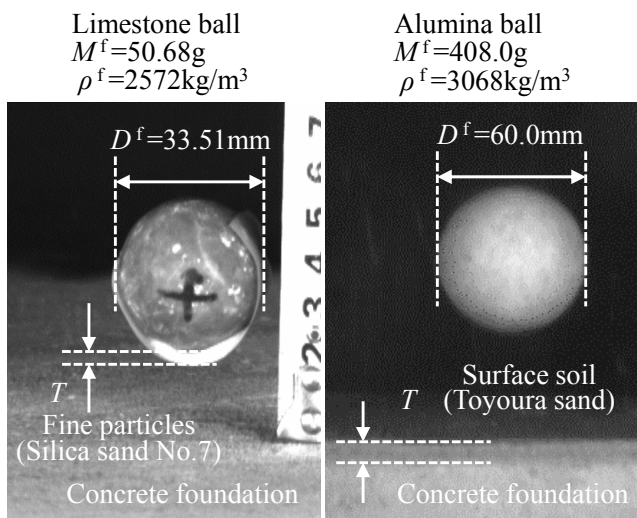


図 1 実験概要 (実験 1)

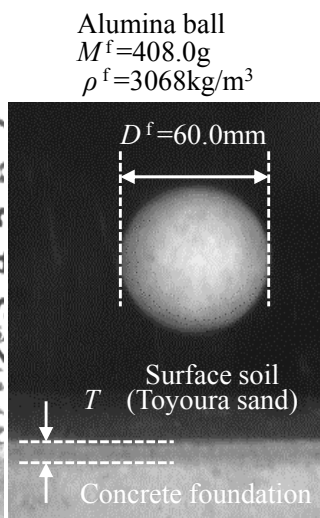


図 2 実験概要 (実験 2)

2. 模型実験

2.1 落体と細粒分の同時落下実験 (実験 1) : 球形落体と同時に落下させる細粒分量が反発係数に及ぼす影響

岩盤崩壊を想定した数値解析を実施する際、風化や侵食の

験1')も併せて示している。図3より、細粒分の存在形態によらず、2つの実験結果はほぼ一致していることが分かる。水平基盤上への落体鉛直落下時の反発係数が $e=0.4$ 程度の場合、落体と基盤の間に相対層厚 $T/D^f=0.1$ 程度の細粒分が存在すれば $e=0$ となることが明らかになった。

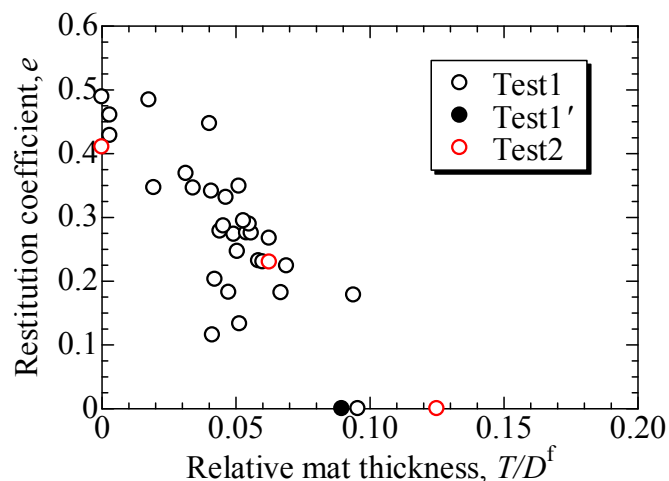


図3 細粒分の存在形態が反発係数と相対層厚の関係に及ぼす影響

3. 二次元 DEM を用いた落体反発解析

3.1 二次元 DEM 解析概要：実験1'の再現解析

二次元 DEM を用いて実験1'の再現解析を実施した。表1には、表土を構成する土粒子モデルの解析パラメータを示している。土粒子モデルは円形粒子とし、落体は実験と同じ直径 $D^f=33.5\text{mm}$ の円形粒子としている。解析では、図4に示す相対層厚 $T/D^f=0.003, 0.090$ ($T=0.1125, 3\text{mm}$)の2ケース実施している。 $T/D^f=0.003$ のケースは土粒子モデルを1列に並べた上に落体モデルを落下させており、そのときの反発係数は $e=0.511$ である。

表1 解析パラメーター一覧

パラメータ	記号 (単位)	基本設定値
粒子直径	D (mm)	
	最大粒径 $D_{\max}$	0.1500
	最小粒径 $D_{\min}$	0.0750
	平均粒径 D_{50}	0.1125
粒子の密度	ρ_s (kg/m ³)	2650
法線方向ばね定数	k_n (N/m)	2.0×10^7
接線方向ばね定数	k_s (N/m)	5.0×10^6
粒子間摩擦角	ϕ_μ (deg.)	25
減衰定数	h	0.75

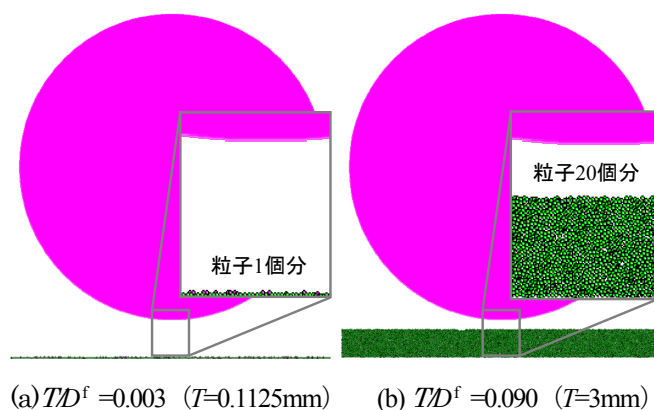
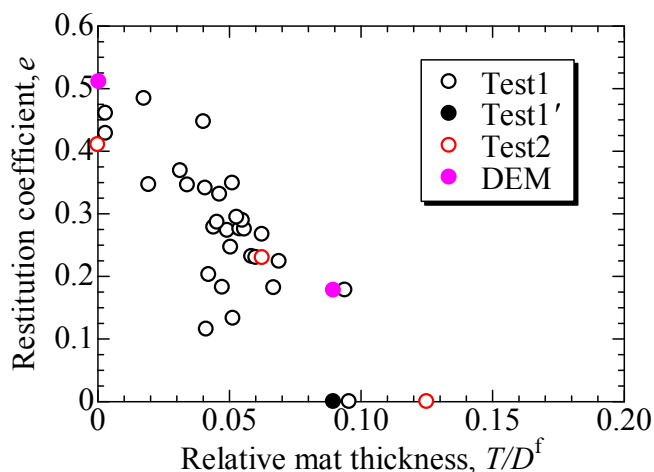


図4 DEM 解析概要

3.2 二次元 DEM 解析結果と実験結果の比較

図5には、二次元 DEM 解析結果を示しており、実験結果を併せて示している。DEM 解析結果は、相対層厚が大きいかほど反発係数が小さくなることが分かる。また、この傾向は実験結果とも一致している。



4. まとめ

水平基盤上への球形落体鉛直落下時の反発係数が $e=0.4$ 程度の場合、落体と基盤の間に相対層厚 $T/D^f=0.1$ 程度の細粒分が存在すれば $e=0$ となることが明らかになった。また、二次元 DEM 解析においても、土粒子を実スケールでモデル化することで、表土を有する基盤上での反発係数は実験結果と同様に小さくなることが分かった。数値解析において、斜面表土や岩塊群中の細粒分が岩塊の転動挙動に及ぼす影響を簡易的に表現するためには、反発係数を低減させる必要がある。

参考文献

1)吉田郁政 他(2015):土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4, I_136-I_144. 2)内藤直人 他(2016): 構造工学論文集, Vol.62A.