

強度特性が異なる落石防護土堤の衝撃変形挙動に関する DEM 解析

名古屋工業大学 学生会員 ○奥村 勇太
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一
 名古屋工業大学 学生会員 内藤 直人

1. はじめに

社会基盤施設の大更新時代に差し掛かった我が国では、老朽化した土木構造物の長寿命化が重要課題の一つである。これは落石防護工においても例外ではなく、劣化などにより構造物自体の安全性の低下が懸念されるが、我が国で多発する落石の対策工の場合には、斜面の経年劣化に伴う落石規模の拡大等により、供用期間中に設計荷重が増大するという、落石防護工としての安全余裕度の低下が大きな問題となっている。このため、その対策方法、アセットマネジメントの提案が急務となっている。

既設構造物の長寿命化には、補修・補強・改善の3つの方法が考えられる。斜面の表土や崖錘堆積物¹⁾の緩衝層による落石の運動エネルギー減衰を適切に評価し、終端速度を再検討するなど、想定外力の見直しも、落石対策における改善の一つと考えられる。また、補強は防護工の直接的な損傷を防ぐことであり、ロックシェッド用の敷砂緩衝材や落石防護壁用のソイルセメントを用いた緩衝システムなど、土の緩衝層の設置が考えられる。

そこで、落石防護土堤や崖錘堆積物、ポケット(斜面と対策工の空き空間)幅、など、今まで設計に考慮されることが少なかった土塊を防災施設の一部に見込むこと、現在、設計、施工が実施され供用されている土を用いた緩衝工の緩衝効果を適切に評価することが急務となっている。これらの緩衝材の適切な評価を実施することにより、構造物の大更新時代に即した防災力の維持に立ち向かうことができると考える。そこで、土を用いた落石防護工の衝撃緩衝メカニズムを明らかにし、適切な性能評価を行うことが重要な課題となる。

著者らは、敷砂緩衝材を対象とした、砂の緩衝効果に関する模型実験と二次元個別要素法(Discrete Element Method, 以下 DEM と略す)を用いた数値解析

を実施してきた。そこで、本研究では、落石対策工の合理的な維持管理・設計方法の提案を支援するために、強度特性が異なる落石防護土堤に対する落石の衝突現象について DEM 解析を実施した。

2. 解析概要

本解析で土堤を構成する土粒子のパラメータとして²⁾、表-1に示す値を基本設定値としている。ばねは線形ばねを用いており、土堤を構成する土粒子モデルは円形粒子を採用している。図-1に土堤の解析概略図を示す。落体モデルには幅1.2m、高さ1.6mである長方形を用い、標高80m程度の斜面より落体を転がし、20m/s程度の速度で土堤に衝突する解析を実施した。このときの土堤の衝撃変形挙動及び落体の補足性能について考察した。

解析ケースとして、粘着力がない場合($c=0.0\text{kN/m}^2$)を想定した円形粒子の回転を拘束しない場合と、粘着力がある場合($c=1.0\text{kN/m}^2$)を想定した円形粒子の回転を拘束した場合(2ケース:落体の初期姿勢を変えた)の計3ケースで実施した。

表-1 土堤を構成する土粒子モデルのパラメータ

パラメータ	記号(単位)	基本設定値
粒子直径	D (m)	
	最大粒径 $D_{\max}$	0.0833
	最小粒径 $D_{\min}$	0.0416
	平均粒径 D_{50}	0.0625
粒子の密度	ρ_s (kg/m^3)	2000
接触面法線方向ばね定数	k_n (N/m)	5.0×10^6
接触面接線方向ばね定数	k_s (N/m)	1.25×10^6
接触面法線方向減衰定数	h_n	1.0
接触面接線方向減衰定数	h_s	1.0
粒子間摩擦角	ϕ_μ (deg.)	30

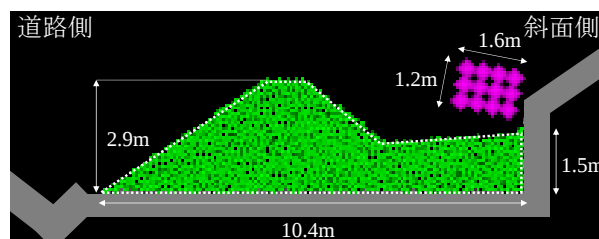
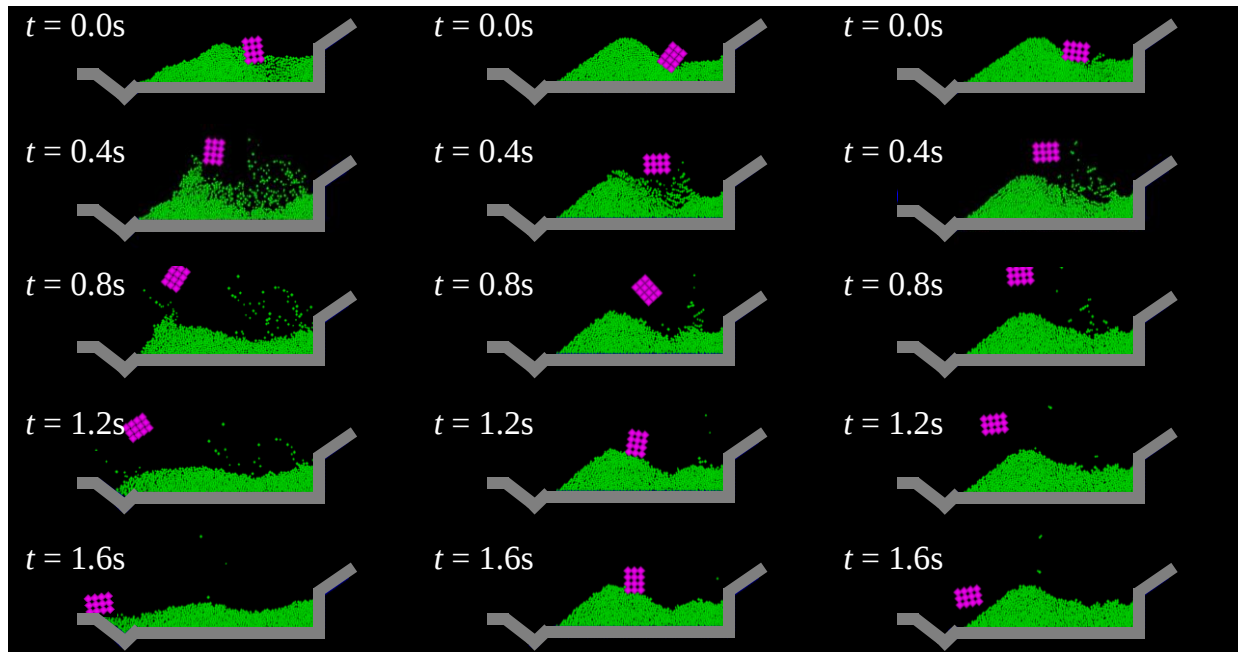


図-1 土堤の解析概略図

キーワード 落石, 土堤, 個別要素法, 衝撃
 連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL 052-735-5497



(a) Case1 : 粘着力なし $c=0.0\text{kN/m}^2$ (b) Case2 : 目標粘着力 $c=1.0\text{kN/m}^2$ (c) Case3 : 目標粘着力 $c=1.0\text{kN/m}^2$
 回転拘束なし 回転拘束あり 回転拘束あり，初期姿勢変化

図-2 土堤に落体が衝突した時の解析結果

3. 解析結果と考察

図-2 に土堤に落体が衝突した時の解析結果を示す。落体が土堤に衝突した時刻を $t=0.0\text{s}$ とし、 $t=0.4\text{s}$ 、 0.8s 、 1.2s 、 1.6s における落体の運動と土堤の変形挙動の様子を観察し、考察する。

図-2(a)の円形粒子に粘着力無しの Case1 の場合には落体が土堤に衝突した直後に土粒子が大きく飛散することが分かる。落体は、土堤衝突後に大きく跳躍し、 $t=1.6\text{s}$ には道路側に到達していることが分かる。

これに対して、図-2(b)の目標粘着力が $c=1.0\text{kN/m}^2$ の Case2 の場合には落体衝突後の土堤の変形が大きく抑えられており、落体が土堤を越えて道路側へ到達することを防げることが分かる。これは土粒子の回転拘束により土粒子間にはたらく摩擦が大きくなり、土粒子の移動が抑えられることで土堤の形状を維持できたものと考えられる。

しかし、同じ目標粘着力が $c=1.0\text{kN/m}^2$ の落体初期姿勢を変えた Case3 の場合では土堤の変形挙動は抑えられているものの、落体が大きく跳躍し道路側に到達している。これは、土粒子モデルを円形粒子で回転拘束することで土堤の強度を持たせているため圧縮性が乏しく、塑性変形が小さく弾性的な反発をしている可能性が考えられる。

以上より、角張っている土粒子からなる砂は圧縮性が高く、高い強度を発揮するが、円形粒子は転がり

摩擦のような回転抵抗を全く持たないため砂の特徴を再現し難い。そのため、土堤を構成する土粒子モデルに非円形粒子を採用し、粒子の凸凹の引っ掛かりが生じるようにすることで回転抵抗が働き、砂の圧縮性や強度の再現性を向上させる必要があるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、二次元 DEM 解析を用いて、強度特性が異なる落石防護土堤の衝撃変形挙動の把握を試みた。その結果、粘着力を想定して円形粒子を回転拘束することにより、土堤の強度が増加し変形が抑制されることが分かった。しかし、圧縮性が小さく弾性的な挙動を示すため、落体を強く跳ね返す可能性がある。今後は、土堤の衝撃変形挙動や落石補足性能について検討するために、粘着力の導入方法を再検討するなど、解析モデルの改善を図る予定である。

参考文献

- 1) 湯浅知英，前田健一：崖錐の落石エネルギー吸収効果に関する DEM 解析，第 44 回地盤工学研究発表会，E-13，pp.1751-1752，2009
- 2) 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.443-454，2012,9.