

模型実験及び数値解析を用いた落石防護土堤の落石捕捉性能の把握

名古屋工業大学 学生会員 ○峯 祐貴 正会員 前田 健一
 学生会員 松尾 和茂 学生会員 堀 耕輔
 寒地土木研究所 正会員 今野 久志

1. はじめに

落石対策工の一つである落石防護土堤は、設置スペースさえあれば現地発生土の流用も可能で経済性、施工性、維持管理性能に優れた落石対策工法と言える。しかし、現行では変形・破壊モードを考慮した性能評価がなされていない。そこで、本研究では落石防護土堤の落石防護性能の把握のため、高さ0.5mの土堤模型を対象とした挙動確認実験を実施した。また、個別要素法（Discrete Element Method, 以下DEMと略す）を用いて再現解析を実施した。

2. 落石防護土堤の挙動確認実験

2-1. 実験概要

図1には、実験概要図を示している。実験は直径318mm、質量54kgの球体重錘を、振り子運動により、落下高さを変えて土堤に衝突させた。衝撃実験における計測項目は高速度カメラによる重錘移動量およ

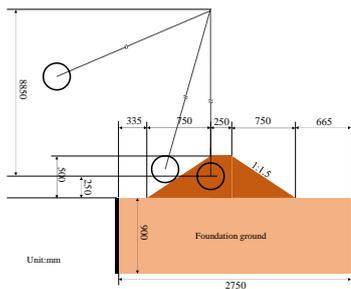


図1 実験装置の概略図

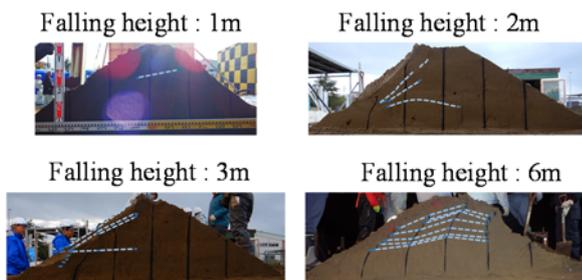


図2 各ケースにおける衝突断面の変形写真

び土堤構築時に予め配置した着色砂による実験後の土堤内部の砂移動量である。実施ケースは、落下高さ1m, 2m, 3m, 6mの4ケースである。

2-2. 実験結果

図2は、各ケースにおける衝突断面の変形写真である。変形写真は左側が衝突面、右側が非衝突面である。写真には着色砂のせん断箇所を連結させた想定すべり線を記入している。想定すべり線に着目すると、落下高さ1mのケースは1本、落下高さ2m, 3mのケースは3~4本程度、落下高さ6mのケースは7本程度のすべり線が見られた。また、落下高さ1~3mのケースでは土堤が落体を捕捉したが、落下高さ6mのケースでは落体が土堤を乗り越える結果となった。

3. 二次元DEMを用いた挙動確認実験の再現解析

3-1. 解析概要

図3には、解析の概要図を示している。土堤の断面形状、重錘形状並びに重錘質量は2章の実験と同様である。粒子直径は、最大粒径が重錘直径の1/10以下が望ましいとした既往研究¹⁾を参考に、最大粒径を重錘直径のおよそ1/10倍の大きさである0.03mとした。その他の解析パラメータについても既往研究²⁾の値を採用した。また、土堤の粘着力は3kPaに設定した。実施ケースは2章の実験と同様の4ケースである。

3-2. 解析結果

図4に解析終了時における土堤の変形図を示す。変形図は、左側が衝突面、右側が非衝突面である。変形図では、土堤内部の変状を可視化できるように、格子状に粒子を着色している。図4と、図2の変状を比較すると、落下高さが低いケースでは、変状の範囲や程度が概ね一致しているのに対し、落下高さが高いケースでは、解析の方が実験と比較して大きく変状しているのが分かる。これは、落下高さが高いケースの方が

キーワード：落石、個別要素法、落石防護土堤

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 TEL052-735-5497

土堤の変状範囲が大きい場合、側面抵抗がない2次元の解析と側面抵抗を有する3次元の実験で、差が生じてしまったものと考えられる。

図5に、落下高さ6mのケースにおける土堤内部の変状を時刻歴で示す。まず、重錘が土堤に衝突すると、図5の2のように衝突部表面での局所的な変状が発生していることが分かる。次に、重錘の土堤への貫入が進むと、土堤内部は図5の3のように法尻付近から変状し始め、土堤全体を押し出すような挙動をしようとしていることがわかる。衝突直後は重錘の速度も速く土堤全体を動かすように挙動を示し、それに費やしたエネルギーが減少すると、貫入が大きくなると土堤の抵抗力も大きくなることから、重錘は水平に押し返されて最も近い自由面である斜め上方に土塊を押し上げながら進むと考えられる。

これらのことから、図2のような土堤内部に発生したいくつものすべり線は、土堤全体挙動によるものではなく、重錘が移動することによって徐々に変状が進行していくものと考えられる。

また、落体が停止した位置については落下高さ1m、2mでは実験と同様に土堤が落体を捕捉する結果になった。しかし、落下高さ3mの解析では落体が土堤を通過したのちに停止した。落下高さ6mについては実験と同様に土堤が落体を乗り越える結果になった。この結果から、実験と解析の土堤が落体を捕捉する性能の違いについても側面抵抗が影響していると考えられる。これは、実験では解析で生じている抵抗に加えて側面抵抗が生じていることで、落体の衝突位置付近の粒子の移動に対する抵抗が高くなるためであると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 本解析では、外力が低い条件では土堤の変状を精度よく再現できているが、外力が高い条件だと実験と比較して土堤が大きく変状してしまう傾向にある。これは、外力が高い条件ほど土堤の変状が大きい場合、側面抵抗のない2次元解析と側面抵抗を有する実現象で差が生じてしまったと考えられる。
- 2) 土堤内部に発生したいくつものすべり線は、土堤

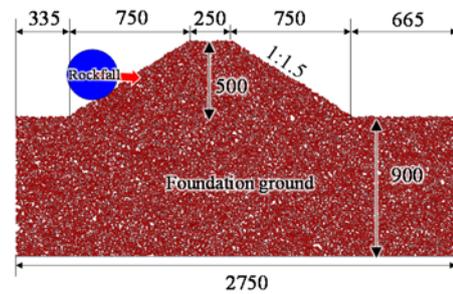


図3 DEM解析の概要図

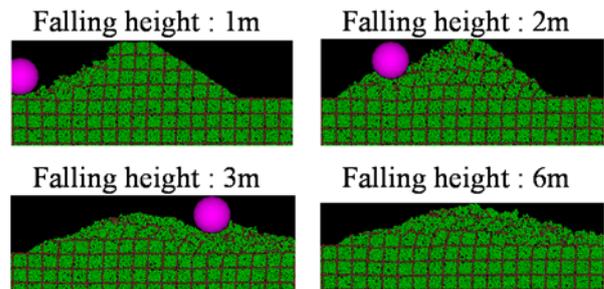


図4 解析終了時の土堤変形図

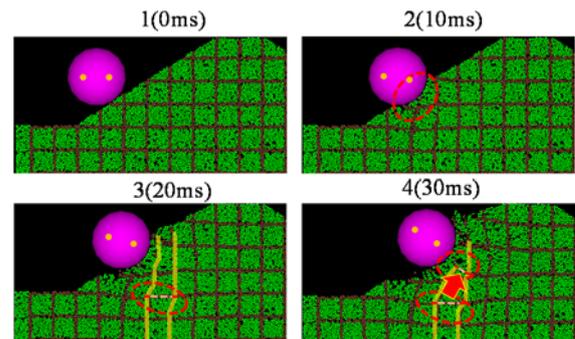


図5 各時刻における土堤変形図（落下高さ6m）

全体の挙動によるものではなく、重錘が移動することによって徐々に変状が進行することによるものであると考えられる。

- 3) 土堤の落体捕捉性能を評価するためには、2次元DEMで評価するためには土堤内部の側面抵抗の考慮の仕方を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 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, 2011年応用力学論文集, Vol.14
- 2) 田中敬大, 前田健一, 堀耕輔, 牛渡裕二, 川瀬良司, 鈴木健太郎, 二次元個別要素法を用いた落石防護土堤の衝撃緩衝性能に関する数値解析, 平成29年度構造工学論文集, Vol.64A, 2018.