

落石防護土堤の静的破壊挙動の把握に向けた模型実験及び二次元 DEM 解析

名古屋工業大学 学生会員 ○近藤 慶亮 正会員 前田 健一
 学生会員 磯合 凌弥 学生会員 木村 絢
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 中村 拓郎
 (株) 構研エンジニアリング 正会員 菅原 正則
 豊橋技術科学大学 正会員 内藤 直人

1. はじめに

落石対策工の主な設計マニュアルに位置付けされている落石対策便覧¹⁾に示される落石防護土堤(以下、土堤と示す)は施工性、経済性、維持管理性に優れる。しかし、土堤の落石エネルギーの吸収メカニズム等に関して定量的には示されていない。そこで、本研究では土堤の耐荷性能の把握を目的として静的載荷実験及び2次元個別要素法(以下、2D-DEMと示す)を用いて数値解析を実施した。

2. 実験・解析概要

実験概要図を図-1に示す。実験は重錘に接続した油圧ジャッキにより、土堤に水平に載荷させた。実験ではEOTA型重錘(重錘径:0.5m,質量:234.5kg)を使用した。土堤は厚さ0.25m毎に、基礎地盤は0.3m毎に敷き均し、振動締めめ機を使用して構築している。計測項目は、ロードセルによる載荷荷重、ワイヤ式変位変換器による水平方向の重錘変位量、ビデオカメラによる土堤変状計測及び土堤載荷点内部に埋設した着色砂による土堤断面の変状である。

また、本稿では中型土堤に対する静的載荷実験の計画を立てる際の事前解析の位置づけで実施した数値解析を用いて考察した。解析モデル及び解析パラメータは既往研究²⁾に詳細を示す。

3. 実験結果と数値解析結果による考察

3.1 実験における土堤断面変状

図-2に載荷終了時の土堤断面を示す。土堤内部に埋設した着色砂を載荷面側からA~Iとしている。なお、赤線で載荷前と載荷終了後の重錘位置を示す。図-2より、非載荷面のクラックにつながる想定すべり線は、載荷面から着色砂Dまで概ね水平方向に発生しているが、その後は天端方向に延びていき非載荷面のクラックで抜けたと考えられる。ここで図-3

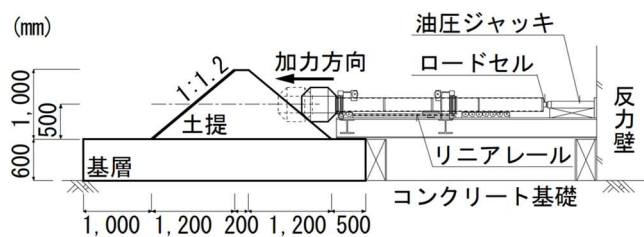


図-1 実験概要図

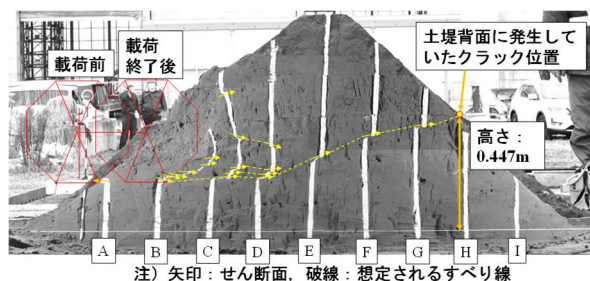


図-2 載荷終了時の土堤断面

に数値解析における貫入量0.1mと0.25m時点の応力分布図を示す。図中の応力は粒子接点力を粒子単位の空間で算定された平均主応力を表す。また、重錘には土堤との接触面にあたる辺を(a)(b)とし、白破線で示した。図より貫入量の増加に伴い、赤枠で示す土堤上部に作用する応力が大きくなっていることがわかる。これは重錘の接触面が上方(辺(a)から辺(b))に切り替わることが要因と考えられる。

したがって、貫入量の増加に伴い、重錘の接触面が上方に切り替わることで土堤上部に作用する応力が大きくなり、着色砂Dまでは水平方向のすべり線が、着色砂E以降では天端方向にすべり線が進展したと考えられる。

3.2 数値解析における土堤断面変状

図-4に、実験終了時における重錘の貫入量(0.34m)となった時刻における土堤断面を示す。図中の茶色に着色した粒子は実験時に埋設した着色砂と同様の配置としている。図-4において、数値解析で設定している粒径(平均粒径:37.5mm)が実験で使

用した土砂材（平均粒径：0.3mm）と比較して大きいことからせん断の発生を的確に観察することは困難であった。今後はせん断の発生を観察するため最適な粒径を検討する。

3.3 荷重貫入量曲線

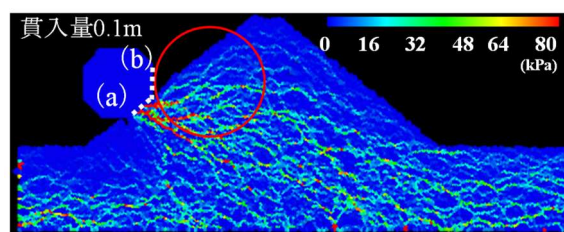
図-5 に数値解析と実験における荷重貫入量曲線を示し、各事象の発生点をプロットで示す。表-1 に図-5 でプロットした時刻における貫入量と荷重を示す。まず、図-5 より最大荷重を示す貫入量以前に着目すると概ね傾きが同程度であることがわかる。次に、表-1 から、実験よりも数値解析の方が最大荷重は約 1.6 倍、貫入量は約 1.8 倍大きいことが読み取れる。このことから粘着力を制御するパラメータであるボンド強度が大きく、粘着力が実験よりも大きく作用していたと考えられる。その一方、非載荷面にクラックが発生した際の荷重は同程度の値であることがわかる。また、ピーク荷重を迎えるまでは土堤は粘着力と摩擦力をもって重錘の貫入に抵抗しているが、ピーク荷重を越えると非載荷面にクラックが生じ、荷重が非載荷面に抜けると粘着力が著しく低下し摩擦力が支配的になると考えられる。したがって、粘着力を制御するパラメータであるボンド強度については、今後検討が必要と考えられる。一方で、摩擦力を制御するパラメータである内部摩擦角や粒子形状については実験結果を再現するにあたり概ね精度よく設定できていると考える。

以上より、図-5 における赤枠部で示す部分に関しては精度よく解析が行えており、今後はボンド強度について検討することで青枠部の実験と数値解析のギャップを解消できると考える。

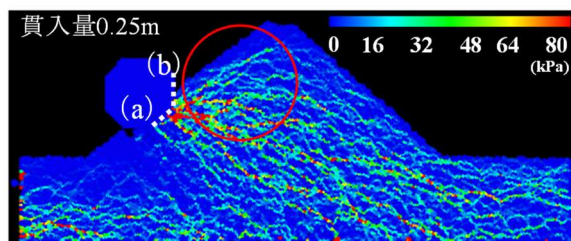
4. まとめ

本稿により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 静的載荷実験において土堤内部のすべり線は、重錘載荷点から水平方向に進展し、重錘の接触面が上方に切り替わることで天端方向に進展していくと推察される。
- 2) 粘着力を制御するパラメータであるボンド強度については、今後検討が必要と考えられるが、摩擦力を制御するパラメータである内部摩擦角や粒子形状については実験結果を再現するにあたり概ね精度よく設定できていると考える。



(a) 貫入量 0.1m



(b) 貫入量 0.25m

図-3 応力分布図

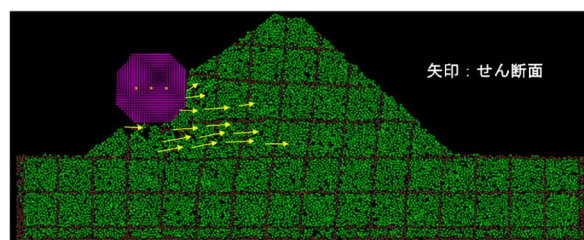


図-4 実験と同貫入量（0.34m）での載荷断面図

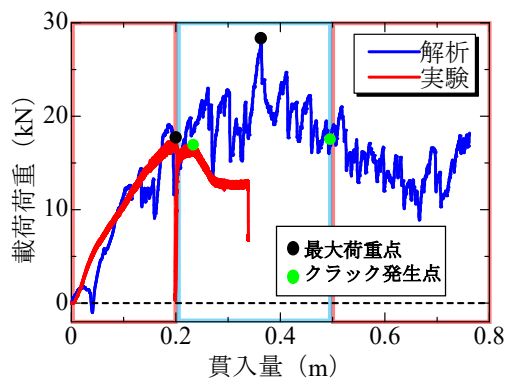


図-5 荷重貫入量曲線

表-1 荷重及び貫入量の比較

	最大荷重時		非載荷面にクラック発生時	
	荷重 (kN)	貫入量 (m)	荷重 (kN)	貫入量 (m)
模型実験	17.7	0.200	16.9	0.234
数値解析	28.3	0.364	17.5	0.496

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：落石対策便覧,2017.
- 2) 近藤ら：静載荷実験および二次元 DEM 解析による落石防護土堤の静的破壊挙動，令和4年度土木学会北海道支部年次技術研究発表