

粒子法による土砂流下・衝突実験の再現解析

日本大学工学部土木工学科 正 中村 晋

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震は地震動や津波により甚大な被害をもたらした。被害のうち斜面崩壊に起因した被害として、白河市葉ノ木平の家屋倒壊や福島第一原子力発電所の送電鉄塔の倒壊などがある。このような斜面崩壊が人命や社会基盤施設に及ぼす影響、特に重要な施設に及ぼす影響を定量的に評価することは、それら施設の安全性の向上に資するために重要と考えられる。このような斜面崩壊による崩壊土砂の流下挙動の評価手法は、流路模型等を用いた実験により検討が進められ、流動機構の数値モデルが提案されてきた。しかし、崩壊土砂が施設に衝突した際の衝撃荷重の評価については実験例が少なく、十分に明らかにされてはいない。しかし、構造物への影響を評価する上では、斜面の崩壊・流下挙動と合わせて衝撃荷重を精度良く評価することが必要となる。

ここでは、斜面崩壊により生じる土砂流下・衝突挙動を定量的に評価する手法の構築を目的とし、地盤の弾塑性応答から崩壊に至る挙動をシームレスに評価できる解析法であるMaterial Point Method(MPM)を用いて既往の実験の再現解析を実施し、その適用性と精度の検証を行った。

2. 既往の土砂流下・衝突実験の概要

実験は、写真-1に示す大型の斜面流路模型を用いて実施した。斜面流路模型は横幅が5.0mであり、斜面部と平坦部で構成されている。斜面部は2つの傾斜を有する斜面で構成し、上部斜面が急勾配の角度43°で延長5m、下部斜面が勾配29°で延長5.7m、平坦部は延長10mとなっている。衝撃荷重を測定する荷重計は写真-1に示す位置(斜面と平坦部の境界から1.5m)に、写真-2のように設置されている。荷重計の前面には土砂の衝撃荷重を均等に荷重計に伝えるため、高さ50cm、幅2.0mのベニヤ板を取り付けている。実験に用いた地盤材料は粗粒分の少ない土砂(湿潤密度 1.64g/cm^3)と多い碎石(湿潤密度 1.85g/cm^3)の2種類である。斜面上のトラックの荷台を 66° に傾斜し、斜面に落下した。地盤材料の体積は、それぞれ 0.5m^3 と 1.0m^3 とした。また、実験は反力壁がないケースと有るケースについて実施した。

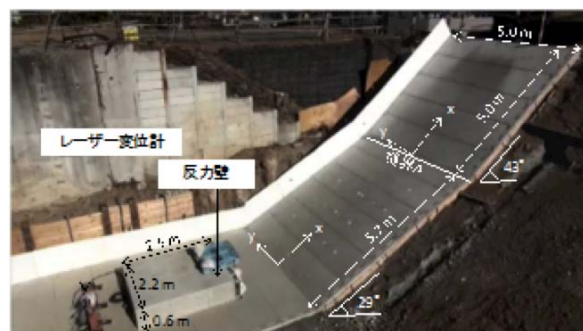


写真-1 大型斜面流路模型



写真-2 反力壁

表-1 地盤材料に応じた衝撃荷重の比較

体積(m^3)	土砂	碎石
	衝撃荷重 (合力kN)	衝撃荷重 (合力kN)
0.5	-	2.46
1.0	2.35	4.83

実験により得られた地盤材料、体積に応じた斜面滑落後の衝撃荷重を表-1に示す。 0.5m^3 の土砂は荷重計に衝突せず、碎石はいずれの体積についても衝突し、 1.0m^3 に対して土砂の2倍程度の衝撃荷重となっている。

3. 流下・衝突挙動の解析

3.1 解析手法の概要

MPMはSulskyにより提案され、Lagrange粒子とバックグラウンド格子からなり、Update-Lagrangian法と陽解法を組み合わせたアルゴリズムを用いており、粒子を用いるために土砂の滑落挙動を解析できる。土砂を粒子の集合で表し、粒子で輸送した応力などの物理量を一定時間刻み Δt 毎にバックグラウンド格子の格子点に内挿関数で集約し、運動方程式を解く。

キーワード：土砂，流下挙動，衝突荷重，粒子法，再現解析，Keywaord: Earth and soil, Sliding behavior, Impact load, MPM, Reproduction analysis, 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1, Tel:024-956-8712

3. 2 解析モデルおよび条件

堆積状況が適切に評価できるモデルパラメータの設定を目的とし、 0.5m^3 の碎石に対する反力壁無しのケースについて滑落挙動の解析を実施した。解析モデルは図-1に示すトラックの荷台から斜面部および平坦部を底面とし、トラック荷台の碎石が自重により流下する静的解析を実施した。

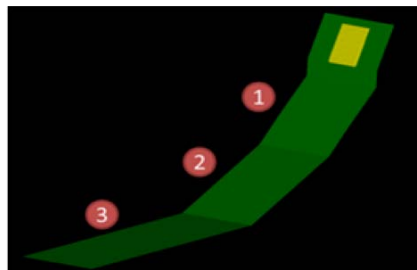


図-1 解析モデル



写真-3 平坦部への堆積状況

解析パラメータとして、構成則はDrucker-Plagerモデルを用い、三軸圧縮試験より得られた内部摩擦角 40.9° 、粘着力 3.0kPa をモデルパラメータとしたが、碎石 0.5m^3 内の応力状態は極低拘束圧状態であることから、粘着力は、その 0.1 倍の値も含み2ケースの検討を実施した。また、摩擦については実験により碎石とコンクリート床板との静止摩擦、動摩擦が、それぞれ 21° 、 37° と得られている。そこで、摩擦角を 20° 、 25° 、 30° の3ケースについて実施した。格子間隔は 0.2m 、 0.1m および 0.05m の3ケース実施した。

3. 3 平坦部における堆積状況

まず、格子間隔に応じた平坦部における法尻からの到達距離の平面分布について、実験結果と比較を行う。実験結果は、正面写真より法尻から先端までの到達距離を法尻中心より 0.5m 間隔で読み取った。格子間隔が 0.05m の場合には粒子の塊として挙動し、到達距離は実験の2倍弱と小さくなっている。次に、格子間隔を 0.05m とし、摩擦角 20° 、 25° 、 30° について、実験結果と到達距離の平面分布の比較を図-3に示す。図には、摩擦角 30° について粘着力が 0.1 倍のケースの比較も合わせて示す。摩擦角 30° に対する解析結果が概ね実験値と対応している。粘着力 3.0kPa のケースは群としての挙動を示しているものの、粘着力が小さなケースは実験の堆積状況に近い広がりが見られる。さらに、縦断方向に関する堆積状況についても粘着力の影響について実験と解析を比較し、図-4に示す。粘着力の小さいケースに対する堆積厚さは実験と比べ、最大値位置が法尻から 1m 程度離れた位置にあるものの、厚さは比較的对応している。

3. 4 衝撃荷重の評価

3.3の検討で得られた平坦部における堆積状況が実験結果とよく一致している解析パラメータを用い、碎石 0.5m^3 および 1.0m^3 について滑落および衝突挙動の解析を実施し、反力壁位置における衝撃荷重と時間の関係について実験値との比較を図-5に示す。碎石が反力壁へ到達後の衝撃荷重の増加率は実験の方が早いものの、衝撃荷重の大きさは土量によらず実験値の 1.4 倍程度と比較的良好な精度で評価できている。衝撃作用後の碎石の堆積による作用も大きめではあるが良好な精度で評価できていることが分かる。

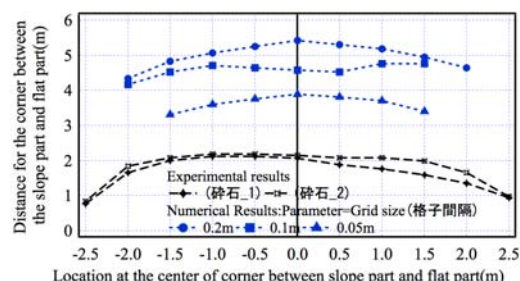


図-2 格子間隔に応じた到達距離の比較

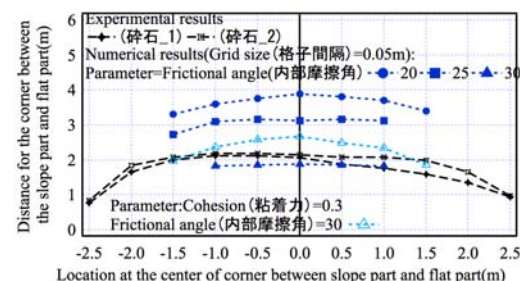


図-3 摩擦角に応じた到達距離の比較

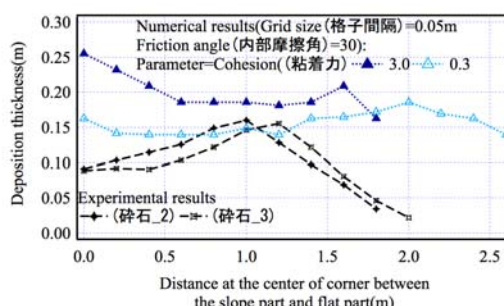
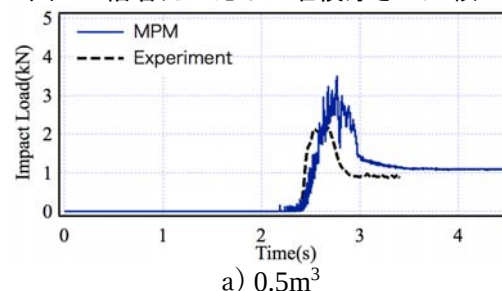
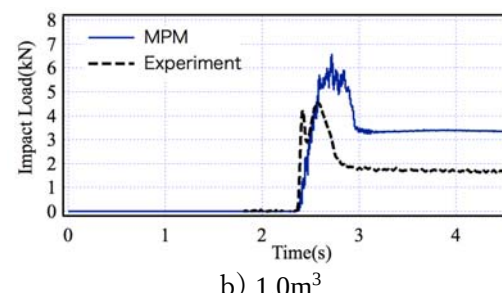


図-4 粘着力に応じた堆積厚さの比較



a) 0.5m^3



b) 1.0m^3

図-5 碎石滑落による反力壁への衝撃荷重