粒子法による土砂滑落・衝突実験の再現解析

日本大学工学部土木工学科 学生会員 〇鈴木 太気,正会員 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滑落・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. 既往の土砂滑落・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/cm³)と多い砕石(湿潤密度1.85g/cm³)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0.5m³と1.0m³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。

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。0.5m³の土砂は荷重計に衝突せず、砕石はいずれの体積に ついても衝突し、1.0m³に対して土砂の2倍程度の衝撃荷重となっている。

3. 滑落挙動の解析

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、Updata-Lagrangian法と陽解法を組み 合わせによる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, 滑落, 衝突, 粒子法, Keywaord: Earth and soil, Slide, Impact, MPM, 〒963-8642 郡 山市田村町徳定字中河原1, Tel:024-956-8712



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(m³)	土砂	砕石
	衝擊荷重 (合力:kN)	衝擊荷重 (合力 kN)
0.5	-	2.46
1.0	2.35	4.83

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て、0.5m³の砕石に 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、トラック荷台の砕石が自重 により滑落する静的解析を実施した。

解析パラメータとして、構成則と底面との摩擦に関するパラメ ータと、格子間隔を設定する必要がある。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41.5°、粘着力1.5kPaをモデルパラメータとしたが、砕石 0.5m³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砕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

解析結果として、平坦部における縦断方向の高さ分布につい て、実験結果と比較を行う。実験結果は、側面写真と堆積した 砕石の最も深い位置の高さの実測値と側面写真より、縦断方 向20cm毎に堆積高さを写真から読み取った。摩擦角30°につ いて格子間隔の影響についての比較を図-2、格子間隔0.05m、 粘着力1.5kPaについて摩擦角の影響の比較を図-3、格子間 隔0.05m、粘着力0.15kPaについて摩擦角の影響の比較を図 -4に示す。図-2より格子間隔が0.05mのケースが実験による堆 積ピーク位置の値と近いが、平坦部の境界では大きく異なって いる。また、図-3より、摩擦角の大きな30°のケースが堆積ピーク 位置の値と近い。図-4より、粘着力を0.15kPaとした場合、堆積 到達位置は実験より1m程度大きいものの、高さは摩擦角の大 きな30°のケースが実験と比較的よく一致している。

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,砕石 0.5m³および 1.0m³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.砕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倍程度と比較的よい精度で評価できている.衝撃 作用後の砕石の堆積による作用も大きめではあるが良い精度 で評価できていることが分かる.





写真-3 平坦部への堆積状況





図-4 堆積高さ分布(格子間隔0.05m,C=0.15kPa)



図-5 砕石滑落による反力壁への衝撃荷重