落石防護土堤の重錘衝突実験に関する衝撃力計測

(株)構研エンジニアリング	○正会員	山内 翼	正会員	鈴木健太郎
(株)構研エンジニアリング	正会員	高橋浩司	正会員	牛渡裕二
名古屋工業大学	正会員	杉山直優	正会員	前田健一
土木研究所寒地土木研究所	正会員	山澤文雄	正会員	今野久志

1. はじめに

本研究では落石防護土堤¹⁾に関する落石捕捉性能把握の ための基礎資料収集を目的として,砂,粘性土および砕石 で構築した 1/5~1/4 縮尺の小型土堤模型を対象とした重 錘衝突実験を実施して,重錘衝撃力に関する検討を行った.

2. 実験概要

図1および表1には、実験概要図および実験ケースの一 覧を示している. 土堤模型は高さ 0.5 m, 天端幅 0.25 m, 法面勾配 1:1.5 および 1:1.0 で製作した. 実験は、質量 54 kg および 178 kg の球体重錘を振り子運動により土堤 に衝突させて実施した. 重錘直径は両者ともに 0.318 m で, 土堤高さの 3/5 程度となっている. 実験ケースは土堤材料, 法面勾配, 重錘質量および重錘落下高さを変化させた全 15 ケースであり, C1.0-MH-H0.18 および C1.0-MH-H7 は繰 り返し載荷, それ以外は単一載荷にて実験を行った. 表2 には、実験に使用した土堤材料の物性値一覧を示している.

本検討では、高速度カメラおよび加速度センサから得ら れた加速度に重錘質量を乗じることにより衝撃力を算出 した.前者は画像解析(フレームレート1,000 fps)から算 出した重錘移動量を時間微分することで加速度を算出し ている.後者は重錘の脱着装置取付位置付近に3つの加速 度センサを設置し加速度を計測した.加速度センサにより 得られた加速度については2.5 msの単純移動平均処理を 行っている.なお、加速度センサは定格容量100 G、サン プリング周波数は10 kHz である.



図1 実験概要図

キーワード 連絡先

落石防護土堤,衝撃力,加速度センサ 〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1 構研エンジニアリング TEL 011-780-2813 FAX 011-785-150

ケース名	土堤 材料	土堤 勾配	重錘 重量 (kg)	落下 高さ (m)	実測 エネルギー (kJ)
S1.5-ML-H2		1.1 5		2	1.4
S1.5-ML-H6	ו ו	1.1.0	54	6	3.3
S1.0-ML-H2	וו		04	2	1.2
S1.0-ML-H6	砂			6	3.3
S1. 0-MH-H0. 55	砂 粘性	1:1.0	178	0.55	1.1
S1.0-MH-H1.82	1 1			1.82	3.5
S1.0-MH-H6				6	11.1
C1.5-ML-H2		1:1.5	54	2	1.2
C1.5-ML-H6	44			6	3.4
C1. 0-MH-H0. 18	柏州			0.18	0.4
C1. 0-MH-H0. 55	111	1.1 0	170	0.55	0.9
C1.0-MH-H6		1.1.0	178	6	11.2
C1.0-MH-H7	1			7	14.5
G1.5-ML-H2	砕	111 5	54	2	1.1
G1. 5-ML-H6	石	1.1.5	54	6	3.4

表1 実験ケース

表 2 材料試験結果一覧

項目	単位	砂	粘性土	砕石
地盤材料の分類名	-	砂	シルト	礫
分類記号	-	S	ML	G
土粒子の密度	g/cm ³	2.58	2.66	2.67
60%粒径D ₆₀	mm	0.37	0.03	13.05
均等係数Uc	- 1	2.15	6.21	36.25
最大乾燥密度P _{dmax}	g/cm ³	1.59	1.37	2.18
最適含水比Wopt	%	20.8	29.4	5.8
内部摩擦角¢	度	36.5	29.8	38.6
粘着力C	kN/m ²	-	4.6	-
平均湿潤密度	g/cm ³	1.56	1.87	1.82
平均含水比	%	10	20.4	4.7





3. 実験結果

3.1 衝撃力波形

図2には、重錘衝撃力の時刻歴応答波形の一例を、写真 1には、衝突時の重錘姿勢状況の一例を示す.図より、画 像解析による衝撃力はノイズが大きく、一部のケースでは 波形性状を読み取ることが困難な場合があることが分か る.画像解析による加速度波形についてはローパスフィル タや移動平均処理を試行したが、波形性状を読み取ること ができなかったことから、生データのままとしている.一 方、加速度センサによる衝撃力はノイズが小さく波形性状 が明瞭に読み取ることが出来る.

図より加速度センサによる衝撃力と画像解析による衝 撃力を比較すると,(b) S1.0-MH-H0.55,(d) C1.0-MH-H0.55 および(e) G1.5ML-H2 の 3 ケースにおいては最大衝撃力の 大きさは同程度であるのに対し,(a) S1.0-ML-H2,(c) C1.5-ML-H2 および(f) G1.5-ML-H6 では加速度センサの値 が画像解析の値より小さくなっていることが分かる.ここ で写真を見ると後者の3ケースでは衝突時,重錘が横を向 いていたことが分かる.したがって,加速度センサによる 計測では計測方向と衝突方向が一致しない場合,衝撃力を 過小に評価する傾向を示すことがわかった.

3.2 最大衝撃力

図3には、最大衝撃力と衝突エネルギーの関係を示す. S-1.0ML-H6 は加速度センサを設置していないこと、 G1.5-ML-H6 は衝突時の重錘が側方を向いており、なおか つ、画像解析による加速度のノイズが比較的小さいことか ら画像解析による値を用いている.その他のケースについ ては加速度センサによる値を用いている.

図より,同一エネルギーにおいては砂と粘性土の最大衝 撃力は同程度であり,砕石の衝撃力は約2倍と大きくなっ ている.いずれの土堤材料においても,エネルギーが大き いほど最大衝撃力は大きくなる傾向を示す.

また,図には参考として振動便覧の衝撃力推定式により 推定した値を示している.砂および粘性土については重錘 質量 54 kg,178 kg のいずれの場合もラーメ定数 λ =20 kN/m²,砕石についてはラーメ定数 λ =200 kN/m²とした推定 衝撃力の大きさと同程度となることがわかる.

3.3 波形継続時間

図4には、波形継続時間とエネルギーの関係を示す.波 形継続時間は砂が40~100 ms,粘性土が50~100 ms,砕 石は30 ms程度であった.本実験範囲ではエネルギーと波 形継続時間には明瞭な相関関係は認められなかった.

4.まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す.

- 画像解析による衝撃力はノイズが大きく、波形性状を読み取ることが困難な場合がある.加速度センサの計測では、計測方向と衝突方向が一致しない場合加速度を過小に評価する傾向を示す.
- 2) 同一エネルギーにおいては,砂と粘性土の最大衝撃力は 同程度であり,砕石は約2倍と大きくなっている.振動 便覧式を参考とすると,砂および粘性土についてはλ =20 kN/m²,砕石についてはラーメ定数λ=200 kN/m²とし た推定衝撃力の大きさと同程度となる.
- 3) 衝撃力波形継続時間は砂が 40~100 ms, 粘性土が 50 ~100 ms, 砕石は 30 ms 程度であった.

参考文献

1)日本道路協会: 落石対策便覧, 2017.12