

重錘質量を変化させた落石防護土堤の耐衝撃挙動

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○鈴木健太郎 正会員 山内翼
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 中村拓郎 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、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、重錘質量を変化させた場合の耐衝撃挙動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1:1.0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。実験ケースは重錘質量および重錘落下高さを変化させた全4ケースである。表には高速度カメラにより計測した実測衝突速度、換算運動量および衝突エネルギーも併せて示しており、いずれも単一載荷で実験を行った。また、表の実験結果欄には重錘が捕捉出来たか否かを示しており、重錘重心が非衝突面側の法肩を越えない場合を捕捉、越える場合を通過とした。

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。本実験の測定項目は、高速度カメラによる重錘移動量およ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変形状況である。

3. 実験結果

写真1および図2には、重錘衝突時の土堤衝突面における外観状況および高速度カメラから算出した重錘重心軌跡図をそれぞれ示している。なお、No.2/4は重錘が通

表 1 実験ケース一覧 (全 4 ケース)

No.	ケース名	重錘質量 (kg)	実衝突速度 (m/s)	換算運動量 (ton・m/s)	換算エネルギー (kJ)	実験結果
1	L-M0.4-E1.2	54	6.58	0.36	1.17	捕捉
2	L-M0.6-E3.3		11.11	0.60	3.33	通過
3	H-M0.6-E1.1	178	3.55	0.63	1.12	捕捉
4	H-M1.1-E3.5		6.28	1.12	3.51	捕捉

表 2 材料試験結果一覧

項目	単位	試験結果
地盤材料の分類名	-	砂
分類記号	-	S
土粒子の密度	g/cm ³	2.58
60 % 粒径 D ₆₀	mm	0.37
均等係数 U _c	-	2.15
最大乾燥密度 ρ _{dmax}	g/cm ³	1.59
最適含水比 w _{opt}	%	20.8
平均湿潤密度	g/cm ³	1.56
平均含水比	%	10.0

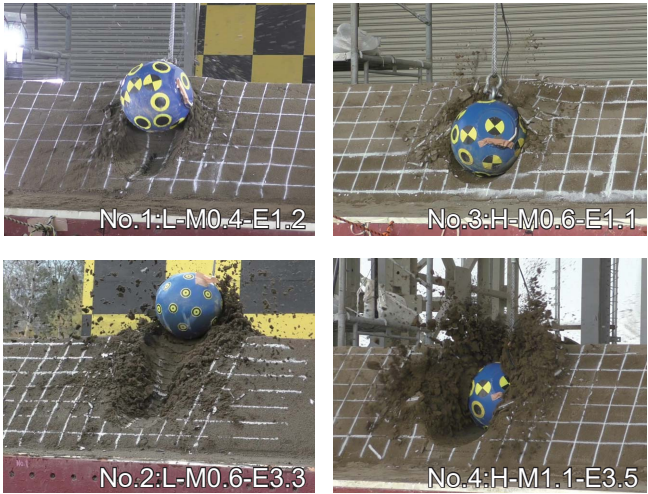


写真 1 衝突面状況 (重錘衝突時)

過あるいは土堤内部に貫入したため、途中までの計測となっている。写真および図より、まず運動量が同程度の No.2 および No.3 を比較すると、重錘質量が小さい No.2 は土堤衝突部の土粒子を飛散させ、重錘が法面上方へかけ上がる挙動を示す。重錘質量が大きい No.3 は衝突高さと同じ高さで重錘が土堤に貫入し、重錘が停止している。衝突エネルギーが同程度の No.1 および No.3、No.2 および No.4 をそれぞれ比較すると、重錘質量が小さい No.1/2 は法面上方へかけ上がる挙動を示すのに対し、重錘質量

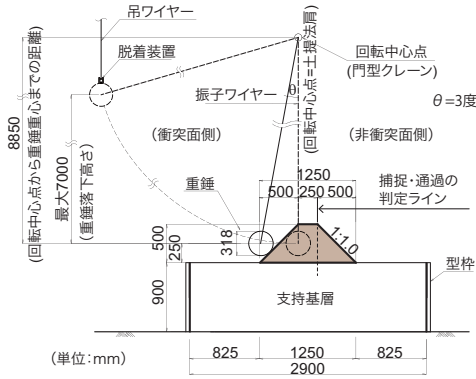


図 1 実験概要図

キーワード：落石防護土堤、重錘質量、耐衝撃挙動

連絡先：〒065-8510 (株) 構研エンジニアリング 防災施設部 TEL / FAX 011-780-2813 / 011-785-1501

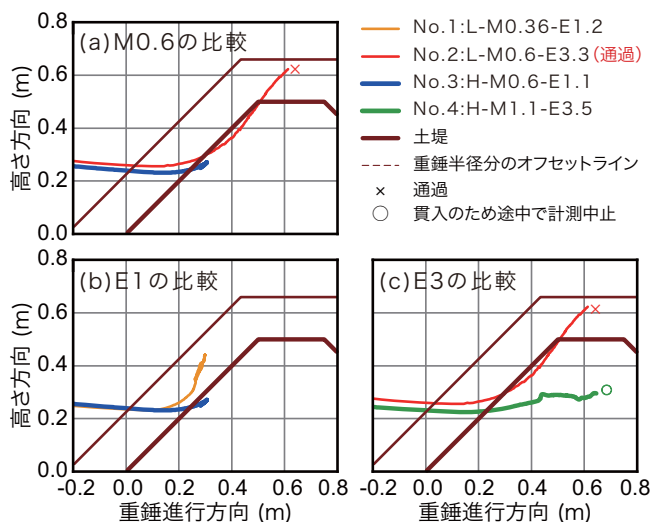


図2 重錘軌跡図

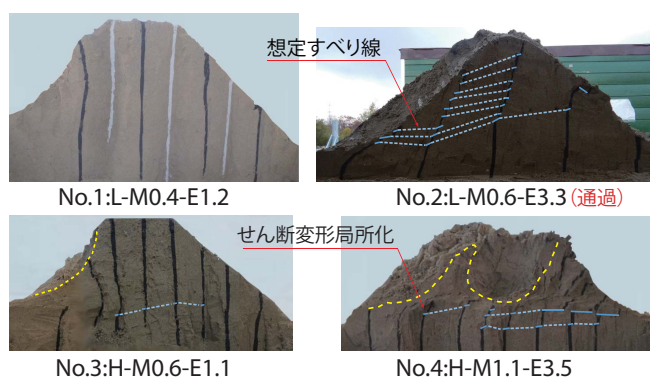


写真2 衝突断面の破壊性状（実験後）

が大きい No.3/4 はかけ上がらずに土堤に貫入する挙動を示している。以上より、運動量あるいは衝突エネルギーが同程度の場合には、重錘質量が大きいと重錘が貫入してかけ上がりが抑制され、落石捕捉性能が向上することが分かった。

写真2には、実験後の衝突断面における破壊状況を示している。衝突断面には土堤内部の変形状況を計測するために、実験前に削孔して5～9本の着色した砂を埋設している。写真より、重錘質量および衝突速度が小さい No.1 は全体的な変形および内部変形ともに最も小さい。重錘質量が小さく衝突速度が大きい No.2 は重錘が法面上方へかけ上がったため、衝突部から法面天端にかけて全体的に変形し、内部中央の着色砂は土堤底面から上方にかけて非衝突面側に曲がっていることが分かる。また、複数のせん断変形局所化の箇所も見受けられることから、すべり線が生じているものと推察される。重錘質量が大きく衝突速度が小さい No.3 は衝突部周辺の着色砂が湾曲し、土堤底面にはすべり線も生じている。重錘質量および衝突速度が大きい No.4 は土堤内部に埋まった重錘を取り出した形跡（図中、黄色破線）が確認できるほか、内部では土堤底面付近において複数のすべり線が生じている。これは、広範囲の土塊を変形させることによってエネルギーが

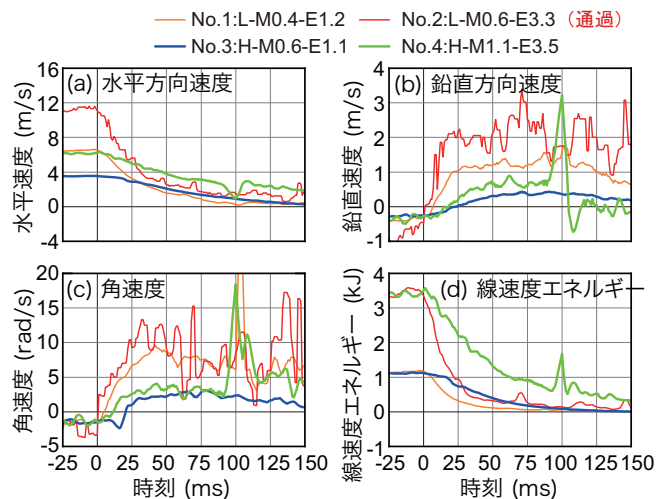


図3 各種応答波形

効率的に吸収されたことを示唆している。以上より、運動量が同程度の場合（No.2/3）には重錘質量によって損傷パターンが異なること、衝突エネルギーが同程度の場合（No.1/3, 2/4）には重錘質量が大きい（運動量が大きい）ケース（No.3/4）の損傷度合いが大きいことが分かった。

図3には、(a) 水平方向重錘線速度、(b) 鉛直方向重錘線速度、(c) 重錘角速度および (d) 重錘線速度における運動エネルギーに関する時刻歴応答波形を示している。(a) 図より、重錘質量が小さい No.1/2 の水平速度は25 ms 程度までの減少勾配が大きく、それ以降はいずれも同様の減少勾配で推移している。(b) 図より、(a) 図とは反対に No.1/2 が25 ms 程度までに鉛直速度が増加して1～2 m/s 程度となる。重錘質量が大きい No.3/4 は緩やかに増加して0.5～1 m/s 程度で推移する。(c) 図より、No.1/2 が急増することから、重錘質量が小さいほど回転運動に変換され易いことが分かる。(d) 図より、No.1/3 は100 ms 程度でほぼ0 となっており、No.4 も緩やかに減少している。一方、重錘が通過した No.2 は等速度運動に近い状態となるため100 ms 以降においてもエネルギーは減少しないものと考えられる。以上より、重錘質量が大きい場合には水平速度が長く継続すること、鉛直速度および角速度が小さいことが明らかとなった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 運動量あるいは衝突エネルギーが同程度の場合、重錘質量が大きいと重錘が貫入してかけ上がりが抑制され、落石捕捉性能が向上する。
- 2) 運動量が同程度の場合、重錘質量によって損傷パターンが異なる。衝突エネルギーが同程度の場合、重錘質量が大きい（運動量が大きい）ケースの損傷度合いが大きい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，2017.12