

土質材料を変化させた落石防護土堤の重錘衝突実験

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○牛渡裕二 正会員 鈴木健太郎
正会員 高橋浩司 正会員 山内翼
名古屋工業大学 正会員 峯祐貴 正会員 前田健一
土木研究所寒地土木研究所 正会員 今野久志 正会員 西弘明

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、砂質土および粘性土で構築した小型土堤模型を対象とした重錘衝突実験を実施して、落石捕捉性能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1/5～1/4程度の縮尺とし、高さ0.5m、天端幅0.25m、法面勾配1:1.0で製作した。実験は、質量178kgの球体重錘を表に示す落下高さから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0.318mで、土堤高さの3/5程度となっている。実験ケースは、土堤材料および重錘落下高さを変化させた全6ケースである。また、表には重錘捕捉結果も記している。

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状況例および高速度カメラから算出した重錘重心軌跡図を示している。表1にも示すとおり、砂は落下高さ6mで重錘が通過、粘性土は7mでも重錘を捕捉していることから、落石捕捉性能は粘性土が優れていることが分かる。写真および図より、単一粒径に近く($U_c=2.15$)土粒子が移動し易い砂で構築されたSはいずれも衝突高さと同じ高さで貫入し、S-H0.55/1.82はそれぞれ表層部あるいは土堤中央内部にて停止しているが、S-H6は砂を大きく飛散させながら重錘が土堤を通過していることが分かる。C-H0.55も表層にて重錘が停止し、C-H6/7は重錘が土堤に貫入して重錘位置が天端方向へ移動し、楔土塊が形成され重錘を捕捉していることが分かる。

写真2には、実験後における土堤非衝突面状況例を示している。写真より、S-H0.55は押抜きひび割れが生じていることから、楔土塊が形成されているものと推察される。S-H6は重錘が土粒子を押し分けて通過した形跡が示されている。一方、C-H0.55には変状は見受けられず、C-H6

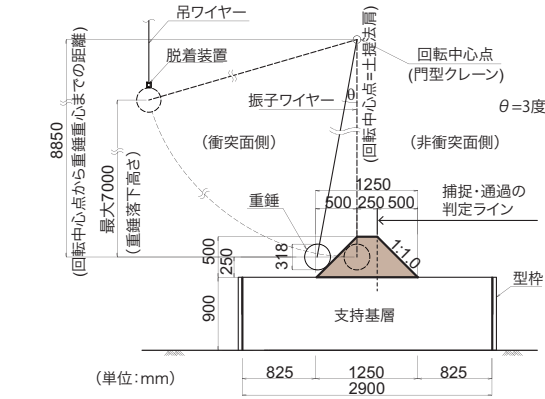


図1 実験概要図

表1 実験ケース一覧 (全6ケース)

ケース名	土堤材料	落下高 (m)	実測速度 (m/s)	換算エネルギー (kJ)	実験結果
S-H0.55, S-H1.82, S-H6	砂	0.55, 1.82, 6.0	3.55, 6.28, 11.15	1.12, 3.51, 11.06	捕捉通過
C-H0.55, C-H6, C-H7	粘性土	0.55, 6.0, 7.0	3.12, 11.25, 12.77	0.87, 11.26, 14.50	捕捉

表2 材料試験結果一覧

項目	単位	砂	粘性土
地盤材料の分類名	-	砂	シルト
分類記号	-	S	ML
土粒子の密度	g/cm ³	2.58	2.66
60% 粒径 D ₆₀	mm	0.37	0.03
均等係数 U _c	-	2.15	6.21
最大乾燥密度 ρ _{dmax}	g/cm ³	1.59	1.37
最適含水比 w _{opt}	%	20.8	29.4
内部摩擦角 φ	度	36.5	29.8
粘着力 C	kN/m ²	-	4.6
平均湿潤密度	g/cm ³	1.56	1.87
平均含水比	%	10.0	20.4

は押抜き破壊が生じている。

写真3には、実験後における衝突断面状況例を示している。衝突断面には土堤内部の変形状況を確認するために、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、S-H0.55は衝突部周辺の着色砂が碗状に変形し、せん断変形が局所化しすべり線が生じていることが分かる。S-H6は重錘が通過したため土堤形状を呈しておらず、土堤底面付近の着色砂にすべり線が確認できる。C-H0.55は衝突面付近の外形に若干の変形のみが確認される。C-H6は衝突部が重錘形状に沿って大きく変形し

キーワード：落石防護土堤、土質材料、落石捕捉性能

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

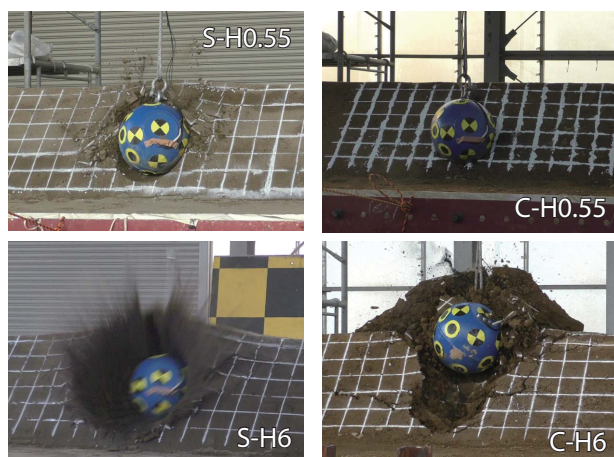


写真1 衝突面状況例（重錘衝突時）

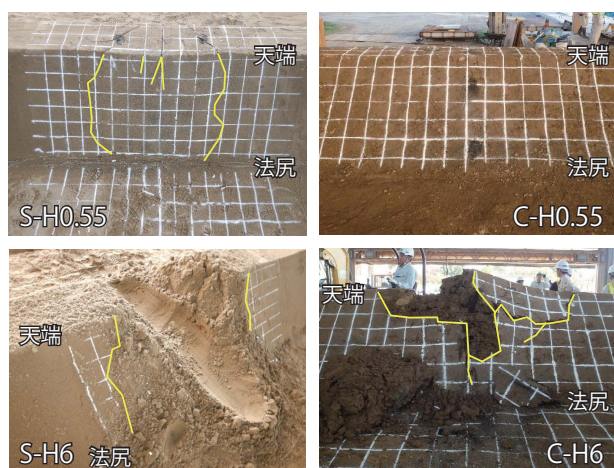


写真2 非衝突面状況例（実験後）

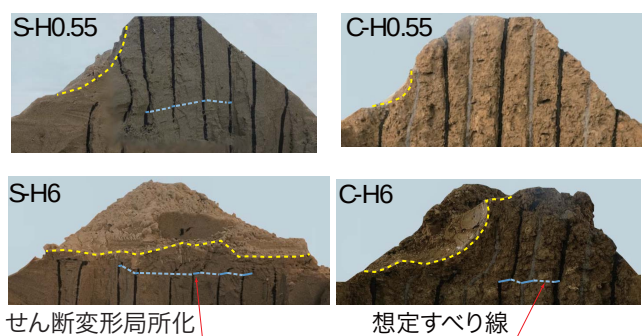


写真3 衝突断面状況例（実験後）

ており、かつ、着色砂の水平間隔が小さくなり圧縮変形が卓越していることが分かる。なお、S-H6のような壊滅的な損傷には至っていないものの、土堤底面にはすべり線が生じている。

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。なお、S-H6は重錘が土堤を通過したため波形が大きく乱れているものの、計測範囲内ではC-H6/7に近い波形性状を示すものと推察される。(a) 図より、同じ速度で比較すると、S-H0.55よりもC-H0.55の減少勾配が大きく示されている。また、50 ms以降ではS-H1.82よりもC-H6/7の水

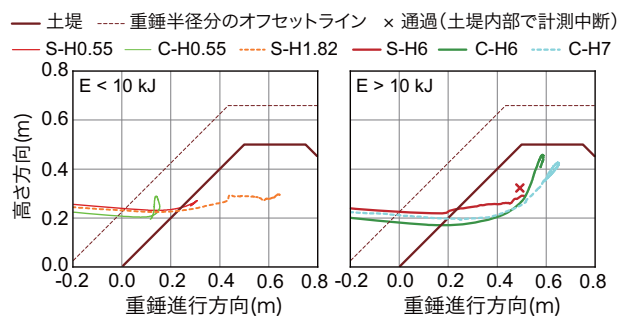


図2 重錘軌跡図

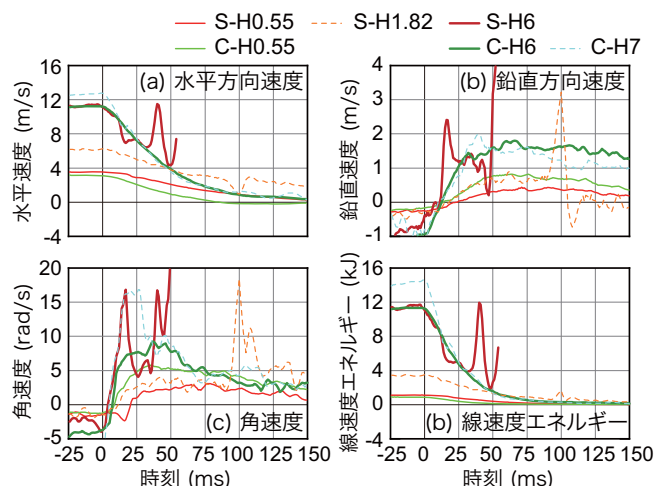


図3 各種応答波形

平速度が小さく示されており、砂よりも粘性土の場合が重錘貫入（水平移動）に対する抵抗が大きいことが分かる。(b) 図より、S-H0.55/1.82、C-H0.55は1 m/s未滿で推移するのに対し、C-H6/7は1.5 m/s程度と大きく示されている。これは、C-H6/7の水平速度減少分の一部が鉛直速度に変換されることによるものと考えられる。(c) 図より、S-H6、C-H6/7の増加勾配が大きく示されており、衝突速度が大きいほど回転運動に変換されることが分かる。(d) 図より、重錘が土堤を通過したS-H6以外は100 ms程度でほぼ0となっている。

以上より、粘性土が砂よりも落石捕捉性能が優れる理由として、1) 土粒子が移動（飛散）し難く変形に対する抵抗が大きい、2) 衝突部では圧縮変形が卓越する、3) 重錘貫入に対して楔土塊の抵抗力が大きい、が挙げられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 粘性土は砂よりも粘着力が大きい、土粒子が移動（飛散）し難く変形に対する抵抗が大きい。
- 2) 粘性土は砂よりも衝突部では圧縮変形が卓越する。
- 3) 粘性土は砂よりも重錘貫入に対して楔土塊の抵抗力が大きい、落石捕捉性能が優れる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，2017.12