

落石防護土堤への衝撃载荷実験による衝突後の転がりに着目した重錘の運動機構

名古屋工業大学 学生正会員 ○木村 絢 正 会 員 前田 健一
 学生正会員 磯合 凌弥 学正生会員 近藤 慶亮
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正 会 員 中村 拓郎
 (株) 構研エンジニアリング 正 会 員 鈴木健太郎
 豊橋技術科学大学 正 会 員 内藤 直人

1. 目的

落石対策工の一つである落石防護土堤(以下、土堤と示す)は土のみで構成され、経済性、施工性等に優れている。しかし、土堤の性能設計法は未だ確立されていない。そこで、落石防護土堤へ重錘が衝突した際の基本的挙動を確認することを目的に、砂質土で構築された実規模の 1/2 スケールの中型模型を対象に振り子運動による衝撃载荷実験を実施した。

2. 実験概要及び計測項目

図-1 に実験概要図を示す。実験は図-2 に示す直径 0.5m の EOTA 型重錘をクレーンで釣り上げた後、重錘に取り付けた着脱装置を外すことで振り子運動により土堤に衝突させた。表-1 に実験ケース及び実験結果一覧を示す。実験は重錘の落下高さを変えて計 3 ケース実施した。ケース名中の I に付随する数字が落下高さ (m) を表している。計測項目は重錘挙動とし、高速度カメラ画像 (500fps で撮影) から PTV (Particle Tracking Velocimetry) 解析により重錘重心の座標を算出した。

3. 実験結果及び考察

3.1 重錘重心の軌跡

図-3 に重錘重心の軌跡図を示す。軌跡図は斜面法尻を原点としており、実線で土堤形状を、破線で重錘半径分のオフセットラインを示す。また、プロットにて各事象の座標を示す。軌跡は最大水平到達時までを示している。3 ケースとも土堤衝突後、土堤法面に貫入しながら法面上を駆け上がる挙動を示した。I-4, I-6 では最大水平距離に達した後、I-7 では最大到達高さに達した後に停止し、捕捉された。

3.2 重錘速度の時刻歴波形

図-4, 5 に重錘の並進速度、角速度の時刻歴波形を、図-6 にかけ上がり速度の定義を、図-7 にかけ上がり速

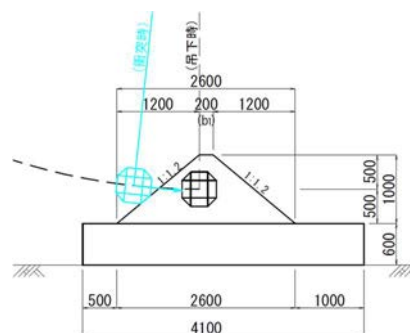


図-1 実験概要図

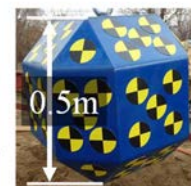


図-2 EOTA 型重錘

表-1 実験ケース及び実験結果一覧

実験ケース		土堤衝突時					最大貫入時				
ケース名	落下高さ (m)	時刻 (ms)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)	合成速度 (m/s)	角速度 (rad/s)	時刻 (ms)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)	合成速度 (m/s)	角速度 (rad/s)
I-4	4	0	8.90	-1.05	8.96	1.33	72	2.26	1.89	2.94	5.31
I-6	6	0	10.56	-1.09	10.61	2.44	80	2.48	2.12	3.27	7.34
I-7	7	0	11.70	-1.29	11.77	2.01	76	2.45	2.08	3.21	8.57

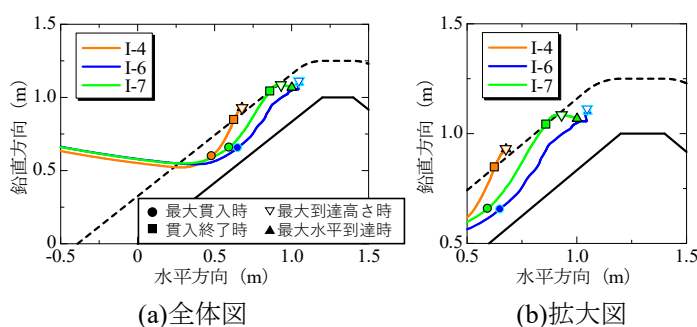


図-3 重錘重心の軌跡図

度 v_t (m/s) に対する回転速度 v_r (m/s) の割合を示す。かけ上がり速度は土堤法面と平行方向の速度とし式 (1) より、回転速度は重錘が回転することで進む重錘重心の移動速度であり式 (2) より求めた。

$$v_t = v_x \cos \theta + v_y \sin \theta \quad (1)$$

$$v_r = r\omega \quad (2)$$

ここに、 v_x : 重錘の進行方向速度 (m/s)

v_y : 重錘の鉛直方向速度 (m/s)

キーワード 落石, 落石防護土堤, 衝撃実験, 回転

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市中区御器所町

名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

θ : 土堤法面の勾配 ($^{\circ}$)

r : 重錘を球とした場合の半径 (m)

ω : 重錘の角速度 (rad/s)

図-4, 5, 7は土堤衝突時刻を 0s としており, 各事象の時刻をプロットにて示している. なお, 並進速度は重錘進行方向及び鉛直上向きを正, 角速度は進行方向に対して順回転を正としている. また, 図-7 において $v_r/v_t > 100\%$ では線速度優位で滑っている状態, $v_r/v_t < 100\%$ では回転速度優位で滑っている状態を表す.

図-4 より, 3 ケースとも鉛直速度は土堤衝突直後に急激に増加し, 最大貫入時付近に約 3m/s で一定推移した後減少傾向を示した. 水平速度は土堤衝突直後に急激に減少し, 最大貫入時付近で鉛直速度と同程度となり, 以降は緩やかに減少する傾向を示した.

図-5 より, 3 ケースとも土堤衝突後に重錘進行方向に対して順回転の角速度が発生した. 最大貫入時付近までは急激に増加し, その後は緩やかな減少傾向に転じた. また, 落下高さが大きいほど, 角速度は大きい.

図-7 より, かけ上がり速度に対する回転速度の割合は土堤衝突後に増加し, 最大貫入時付近で同程度となった後は回転速度の方が大きく 100~400%程度となっ

ている. 最大貫入時付近では滑ることなく転がる状態であり, それ以降は重錘の移動に関して回転速度の影響が大きいと考えられる. すなわち, 重錘が土堤をかけ上がる要因としてかけ上がり速度よりも土堤衝突後の回転速度が重要であると言える. なお, I-4 における 300ms 以降の急激な増加は, 重錘が最大到達高さ付近では並進速度が小さいことが原因であると考えられる.

4. まとめ

本実験条件で得られた知見を以下にまとめる.

- 1) 土堤衝突直後に重錘の鉛直速度は急増, 水平速度は急減し, 最大貫入時付近で水平及び鉛直速度は同程度となった後は緩やかに減少する傾向を示した.
- 2) 重錘の角速度は土堤衝突後により急増し, 最大貫入時付近で最大値を示した後は減少傾向を示した.
- 3) 重錘のかけ上がり速度に対する回転速度の割合は土堤衝突後に増加し, 最大貫入時付近で同程度となった後は回転速度の方が大きい. これより, 重錘が土堤をかけ上がる要因としてかけ上がり速度よりも土堤衝突後の回転速度が重要である.

5. 参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会: 落石対策便覧, 2017

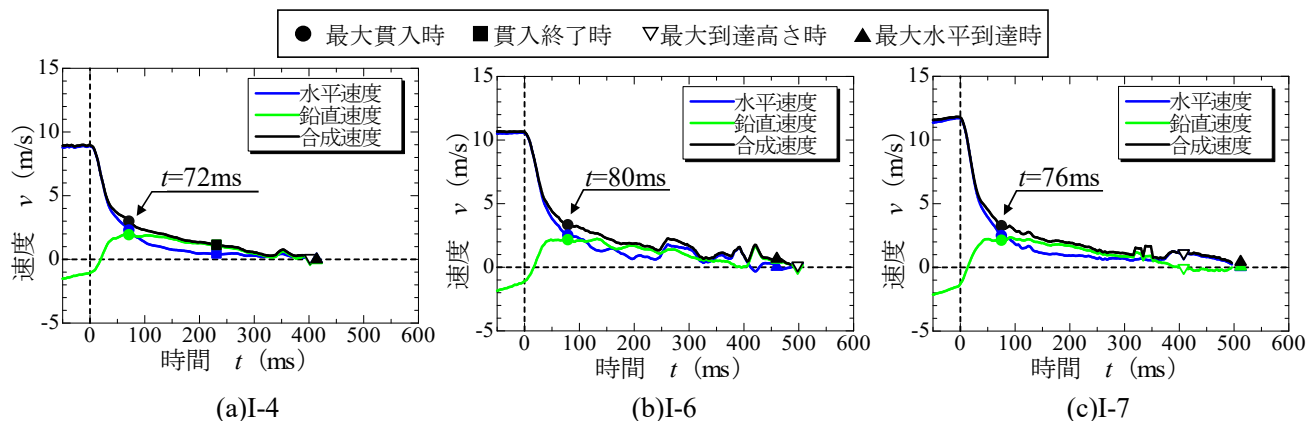


図-4 並進速度の時刻歴波形

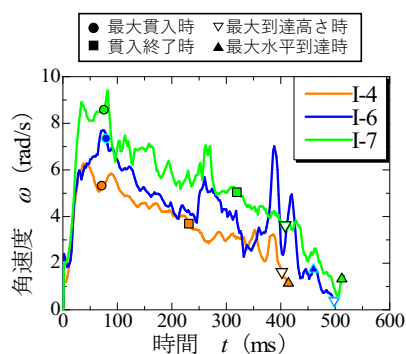


図-5 角速度の時刻歴波形

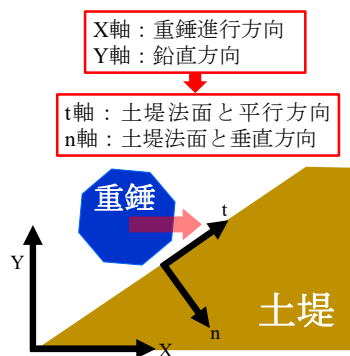


図-6 かけ上がり速度の定義

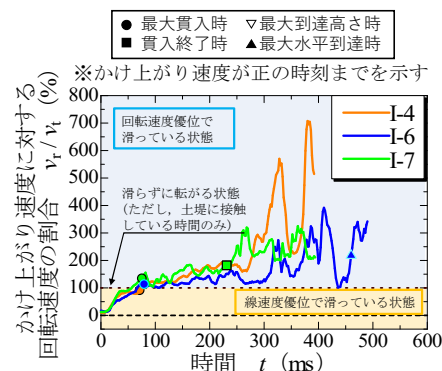


図-7 かけ上がり速度と回転速度の関係