

落石防護土堤の捕捉性能に土質材料が与える影響

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○保木和弘 正会員 鈴木健太郎
正会員 高橋浩司 正会員 牛渡裕二
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 寺澤貴裕 正会員 今野久志

1. はじめに

本研究では落石防護土堤¹⁾が有する落石捕捉性能を把握するための基礎資料収集を目的に、異なる土質材料で造成した1/5～1/4縮尺の小型土堤模型に対し、静的水平载荷(静的)実験および重錘衝突(衝撃)実験を実施して、その挙動について検討を行った。

2. 実験概要

図1および表1には、衝撃実験概要図および実験ケース一覧を示している。静的・衝撃実験ともに、土堤模型寸法は高さ0.5m、天端幅0.25m、法面勾配1:1.5である。静的実験は、重錘に接続した油圧ジャッキにより、土堤に水平荷重を作用させた。また、衝撃実験は振り子運動により球体重錘を土堤に衝突させて実施した。重錘は質量54kg、直径0.318mで、土堤高さの3/5程度の大きさとなっている。

実験ケースは、土堤材料、载荷方法および重錘落下高さを変化させた全9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も併せて示し、実験結果欄では、破壊形態(静的)と重錘捕捉の可否(衝撃)を示している。また表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。測定項目はそれぞれ、荷重および貫入量(静的)、高速度カメラによる重錘移動量(衝撃)である。

3. 実験結果

写真1に、実験終了後の土堤外観状況の一例を示す。(a)より、静的実験の非载荷面天端付近にはいずれもひび割れが生じていることが分かる。S-Sのひび割れは半円形に連結されており、押抜き破壊により楔土塊が形成されていることが窺える。C-Sの天端付近のひび割れは重錘貫入による土堤天端の引張によるものと推察される。G-Sは载荷部から押し込まれ、盛り上がった形状を呈している。(b)より、衝撃実験の衝突面側に着目すると、最も単一粒径に近い砂($U_c = 2.15$)で土堤模型を構築したS-I6では、重錘が衝突箇所の土粒子を飛散させ、押し分けながら貫入したことが分かる。最も細粒分が多い粘性土($D_{60} = 0.03\text{ mm}$)で構築したC-I6では、重錘貫入に伴う塑性変形が衝突箇所のみを生じ、周辺は若干の盛り上がりが生じている。一方、0～30mm級の角礫で粒度分布が良い砕

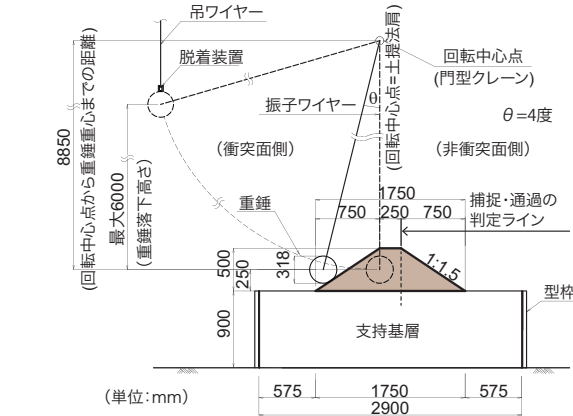


図1 衝撃実験概要図

表1 実験ケース一覧 (全9ケース)

ケース名	土堤材料	载荷方法	落下高H(m)	実測速度V(m/s)	実験結果
S-S	砂	静的	-	-	押抜き破壊
S-I2, S-I6		衝撃	2, 6	7.12, 11.04	捕捉, 通過
C-S	粘性土	静的	-	-	圧縮変形
C-I2, C-I6		衝撃	2, 6	6.70, 11.29	捕捉, 捕捉
G-S	砕石	静的	-	-	押抜き破壊
G-I2, G-I6		衝撃	2, 6	6.26, 11.24	捕捉, 通過

表2 材料試験結果一覧

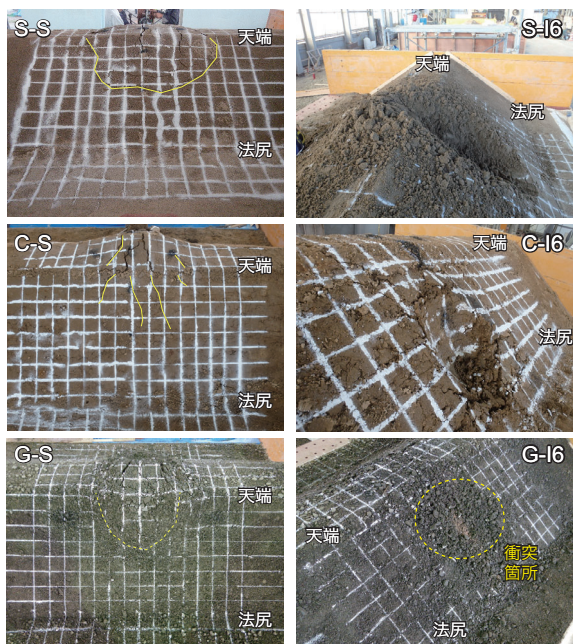
項目	単位	砂	粘性土	砕石
地盤材料の分類名	-	砂	シルト	礫
分類記号	-	S	ML	G
土粒子の密度	g/cm ³	2.58	2.66	2.67
60% 粒径 D_{60}	mm	0.37	0.03	13.05
均等係数 U_c	-	2.15	6.21	36.25
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/cm ³	1.59	1.37	2.18
最適含水比 w_{opt}	%	20.8	29.4	5.8
内部摩擦角 ϕ	度	36.5	29.8	38.6
粘着力 C	kN/m ²	-	4.6	-
平均湿潤密度	g/cm ³	1.56	1.87	1.82
平均含水比	%	10.0	20.4	4.7

石 ($U_c = 36.25$) で構築した G-I6 には明瞭な衝突痕が残らず、衝突箇所周辺に若干砕石の乱れが確認される程度であった。なお、いずれのケースにおいても非衝突面側に変状は確認されていない。

写真2に、実験後の载荷断面状況例を示す。载荷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5～6本の着色した砂を埋設している。(a)より、S-Sは载荷部付近の着色砂が腕状に変形しているほか、既往の実験²⁾と同様に局所化した複数のせん断変形箇所が見

キーワード：落石防護土堤、動的挙動、静的挙動

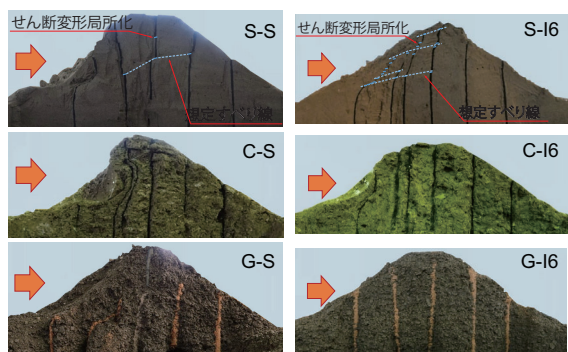
連絡先：〒065-8510 (株) 構研エンジニアリング 技術管理部 TEL / FAX 011-780-2811 / 011-785-1501



(a) 静的実験(非載荷面)

(b) 衝撃実験(衝突面, 6m落下)

写真1 実験後の土堤外観状況



(a) 静的実験

(b) 衝撃実験(6m落下)

写真2 断面の破壊状況

受けられることから、土堤内部にすべりが生じたものと推察される。C-Sは重錘形状に沿った載荷部付近の変形と着色砂間隔の狭さから、圧縮変形が卓越し、優れた塑性変形性能を有することを示唆している。G-Sは載荷部付近の着色砂が大きく曲がっていることが分かる。(b)より、S-I6はC/G-I6よりも変形が大きいことが分かる。静的実験と同様、局所化したせん断変形が複数箇所で見られ、すべりが生じたものと考えられる。C-I6の全体的な変形はS-I6よりも小さくG-I6よりも大きい。内部着色砂は衝突位置近傍のみが変形している。G-I6は、衝突部および着色砂に明瞭な変形は認められない。

図2に、静的実験における荷重－貫入量関係を示す。図より貫入量250～300mm程度までは、いずれも一定の勾配で上昇後に一定値に落ち着く傾向が認められる。S-Sは、ほぼ一定の勾配で最大値となる8kN程度に達した後、荷重が減少に転じている。C-Sは、S-Sよりも高い剛性勾配で、8kN程度で荷重増加が減少・停止し、300mm程度貫入した後に再度荷重が増加した。G-Sは貫入量200mmまではほぼ一定の勾配で荷重が増加し、各材料中で最大と

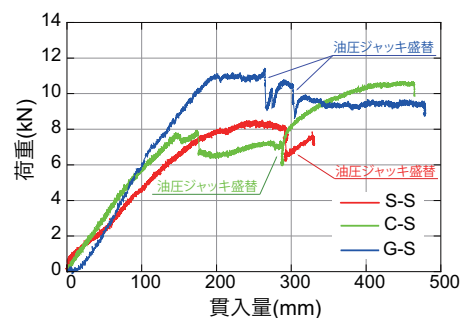


図2 荷重－貫入量関係(静的実験)

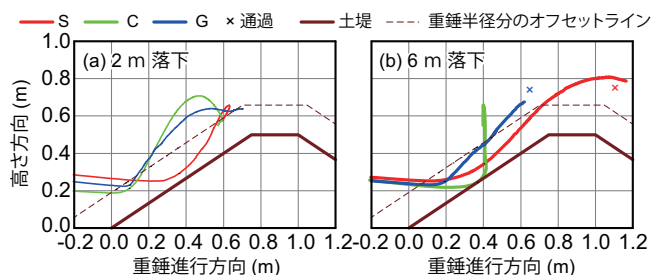


図3 重錘軌跡図(衝撃実験)

なる11kN程度に達した後、荷重が横ばい・減少に転じている。

図3には、衝撃実験における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。また、重錘が非衝突面側の法肩を通過したケースにおいては、高速度カメラの計測範囲から外れた分のデータは反映されていない。図より、 $H=2\text{m}$ はいずれも重錘を捕捉した。一方、 $H=6\text{m}$ ではCのみ重錘を捕捉し、S/Gは重錘が土堤を通過している。各ケースの軌跡に着目すると、Sは土堤内に重錘が貫入しながら拘束圧の小さい土堤表層付近に沿うように法肩上方へかけ上がる挙動を示す。CはS/Gよりも貫入量が大きく示されているが、かけ上がらずに鉛直方向に跳ね上がり、重錘を捕捉した。GはSとほぼ同様の軌跡を描いているが、貫入量が最も小さく、跳ね上がりながら法肩を通過した。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 静的実験より、粘性土のみ押抜き破壊が生じない結果となった。また、砂に比べて粘性土は塑性変形性能に優れ、碎石は最大耐力が大きい。
- 2) 衝撃実験より、粘性土が落石捕捉性能に最も優れる。
- 3) 落石捕捉性能は最大耐力よりも塑性変形性能に強い影響を受けると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，2017.12
- 2) 保木和弘，鈴木健太郎，高橋浩司，松尾和茂，前田健一，西弘明：落石防護土堤の静的荷重水平載荷実験，平成30年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会，A-41，2019.1