ソイルセメント材料を変化させた落石防護擁壁用緩衝システムの衝撃荷重載荷実験

(株) 構研エンジニアリング　正会員　○保木　和弘　(株) 構研エンジニアリング　正会員　牛渡　裕二
(株) 構研エンジニアリング　非会員　海部　友和　室蘭工業大学大学院　正会員　小室　雅人
釧路工業高等専門学校　フェロー　岸　徳光

1. はじめに

本研究では，落石防護擁壁用緩衝システムにおいてソイルセメントの材料特性が緩衝性能に及ぼす影響を検討することを目的として，材料特性が異なる 2 種類 (S：砂，C：粘性土) のソイルセメントで製作した緩衝システム模型に関する衝撃荷重載荷実験を実施した．

2. 実験概要

表 1 には本実験に用いた試験体の一覧を示している．また，**図 1** には，本実験で用いた実験装置および試験体の概要を示している．試験体は平面寸法 1,000 × 1,000 mm であり，厚さ 250 mm の EPS ブロックの上に層厚 300 mm のソイルセメントを打設し製作した．また，ジオグリッドはソイルセメントの下面から高さ 50 mm の位置に設置している．なお，既往の研究より，EPS ブロックの降伏応力は 0.2 MPa 程度であることを載荷実験により確認している．実験は，剛基礎上に設置した試験装置の中央に試験体を配置し，重錘質量 400 kg，先端部直径 $\phi = 200$ mm の鋼製重錘を所定の高さにセットして一度だけ自由落下させる単一衝撃荷重載荷実験により実施した．なお，本実験の測定項目は，重錘衝撃力，伝達衝撃力，伝達衝撃応力，および重錘貫入量である．

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図 2 には，(a) 重錘衝撃力，(b) 伝達衝撃力に関する時刻歴応答波形を示している．

図 2 (a) より，重錘衝撃力波形は，重錘衝突初期に振幅が大きく継続時間の短い第 1 波を示し，その後振幅が小さな台形状の波形分布を示していることが分かる．**図 2** (b) より，伝達衝撃力波形は，継続時間が 30 ～ 50 ms 程度の正弦半波状の第 1 波とそれに後続する継続時間の長い第 2 波から構成されていることが分かる．

表 1　実験ケース一覧

試験体名	土質材料	結合材	衝突速度 V (m/s)	入力エネルギー E_k (kJ)	ソイルセメント圧縮強度 (MPa)
S-V6.0	砂	早強ポルトランドセメント	6.0	7.2	0.85
S-V7.0			7.0	9.7	
S-V8.0			8.0	12.8	
S-V9.0			9.0	16.2	
C-V6.0	粘性土	一般軟弱土用セメント系固化材	6.0	7.2	0.82
C-V8.0			8.0	12.8	
C-V9.0			9.0	16.2	

3.2 破壊状況

図 3 には，実験終了後における各試験体の (a) ジオグリッド上側のソイルセメント（押抜きせん断コーン）および (b) EPS ブロック上面の破壊性状を示している．

図 3 (a) より，ジオグリッド上側のソイルセメントに着目すると，S 試験体，C 試験体ともにソイルセメント内部に押抜きせん断コーンが形成されていることが分かる．しかしながら，C 試験体は S 試験体に比べ押抜きせん断コーン頂部の破壊が抑制され，重錘貫入も小さい傾向にあることが分かる．なお，コーン底面幅はソイルセメント材料にかかわらず，いずれも 60 ～ 70 cm 程度となっている．

図 3 (b) より，EPS ブロック上面に着目すると，$V = 8.0$ m/s では，S 試験体の EPS ブロックには円形状のひび割れが生じているが，C 試験体のひび割れは放射状となっていることが分かる．また，S 試験体は $V = 8$ m/s 以上，C 試験体は 9 m/s で EPS ブロック中央部に押抜きせん断破壊が生じて重錘が貫入している．

上述の破壊性状および前述の応答波形より，ソイルセメント材料に砂を用いる場合には，重錘衝突によってソイルセメント内部に押抜きせん断コーンが形成されるものの，

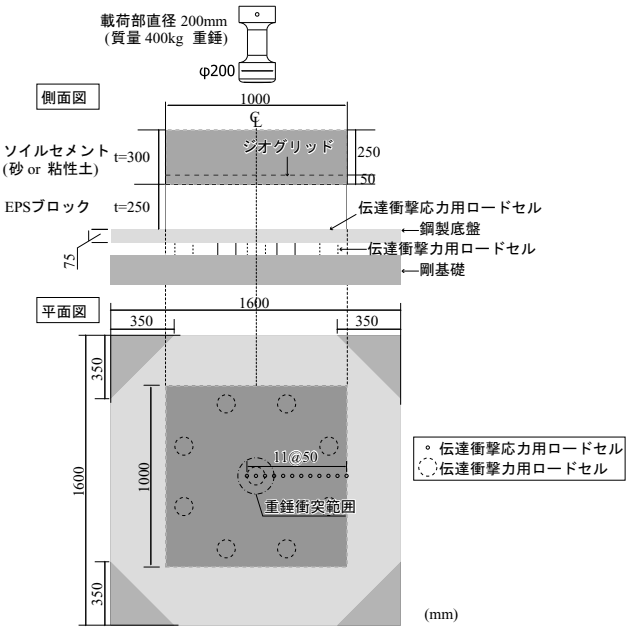
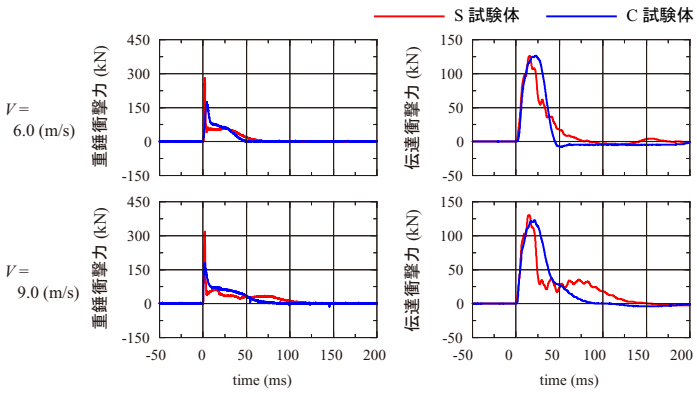


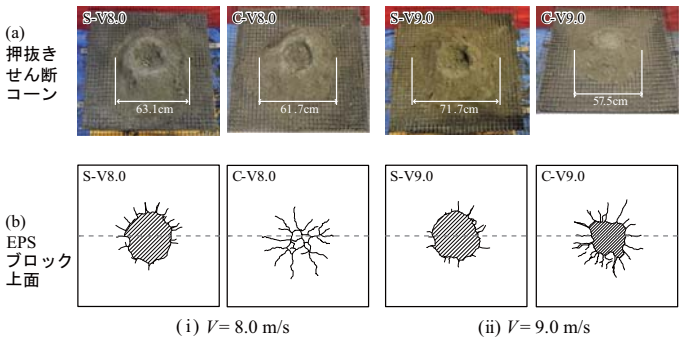
図 1　実験装置および試験体の概要

キーワード：落石防護擁壁，緩衝システム，ソイルセメント，材料特性，ジオグリッド，衝撃荷重載荷実験
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/-785-1501



(a)重錘衝撃力　(b)伝達衝撃力

図 2　時刻歴応答波形



(i) V= 8.0 m/s　(ii) V= 9.0 m/s

図 3　試験体の破壊性状

重錘貫入とともにその押抜きせん断コーンが破壊することが明らかになった．また，粘性土を用いる場合には，ソイルセメントそのものが粘りを有するため，重錘衝突時の見かけのソイルセメント強度が低い一方で粘り強くなり，押抜きせん断コーンの破壊や砂状化が抑制されるものと推察される．これにより，**図 2** (a) (b) に示されるように，C 試験体は S 試験体よりも最大重錘衝撃力が小さく，各応答値の継続時間も短く示されるものと考えられる．

3.3 各応答値と入力エネルギーの関係

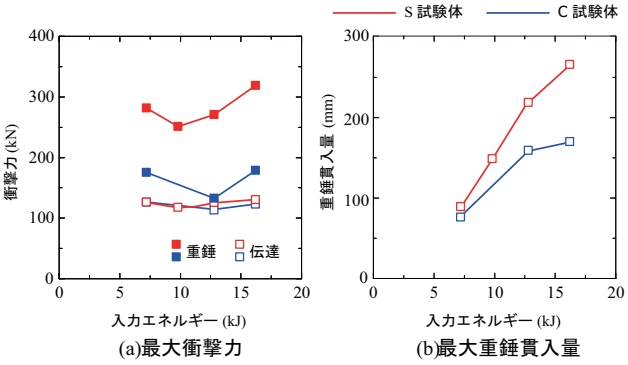
図 4 には，各試験体の (a) 最大衝撃力および (b) 最大重錘貫入量と入力エネルギーとの関係を示している．

図 4 (a) より，最大重錘衝撃力に着目すると，両者ともに E_k = 7.2 kJ (V = 6 m/s) が大きな値を示しているものの，入力エネルギーの増加に伴って若干増加する傾向にある．また，C 試験体の最大重錘衝撃力は S 試験体の 50 % 程度となっている．また，最大伝達衝撃力に着目すると，ソイルセメント材料および入力エネルギー量にかかわらず，ほぼ一定値を示していることが分かる．

図 4 (b) より，ソイルセメント材料にかかわらず，重錘貫入量は入力エネルギー量の増加に対応して増加している．また，ソイルセメント材料に粘性土を用いる場合は，砂を用いる場合よりも最大値および増加勾配が小さく示されている．

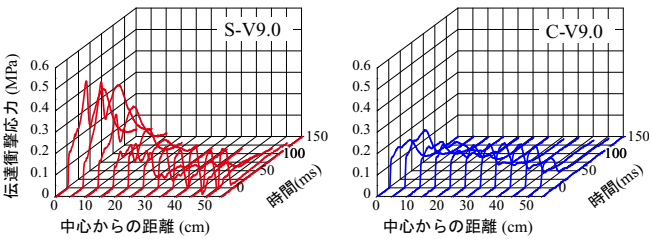
3.4 伝達衝撃応力分布

図 5 には，各試験体の伝達衝撃応力分布を衝突速度 V = 9.0 m/s の場合について示している．



(a)最大衝撃力　(b)最大重錘貫入量

図 4　各応答値と入力エネルギーの関係



(a) S 試験体　(b) C 試験体

図 5　伝達衝撃応力分布波形 (V = 9.0 m/s)

S 試験体に着目すると，応力が 0.4 MPa 以上となる測定点が見られることが分かる．これは，ソイルセメント材料に砂を用いる場合は粘性土を用いる場合よりも EPS ブロック中央部に荷重が集中する傾向にあることを暗示している．一方，C 試験体に着目すると，応力が EPS ブロックの降伏応力である 0.2 MPa 程度を示している．これは，C 試験体が S 試験体に比較して，EPS ブロックの緩衝性能を効果的に発揮することを示唆している．

これらのことより，EPS ブロックの降伏応力を超過しない程度の入力エネルギー量は，ソイルセメント材料に砂を用いた場合よりも粘性土を用いた場合が大きく，より高い緩衝性能を有しているものと判断される．しかしながら，ソイルセメントを実用化する場合には，長期耐久性に関する検討が必要であり，今後の課題と考えている。

4.　まとめ

1) ソイルセメントに粘性土を用いる場合には，砂を用いる場合に比べて粘着力が大きいことから，押し抜きせん断耐力が大きくなり，重錘の貫入量が抑制されて衝撃力が広く分散して作用する傾向を示し，ジオグリッドの破断および EPS ブロックの損傷が軽微となる．
2) 最大伝達衝撃力は，ソイルセメント材料および入力エネルギー量にかかわらずほぼ一定値を示す．
3) EPS ブロックの降伏応力を超過しない程度の入力エネルギー量は，ソイルセメント材料に砂を用いた場合よりも粘性土を用いた場合が大きく，同等以上の緩衝性能を有している．