

ソイルセメントを用いた三層緩衝構造の緩衝効果に及ぼす
ジオグリッド位置の影響

Effects of layout of geo-grid on the absorbing effect(performance) of TLAS using a soil-cement

室蘭工業大学大学院 ○学生会員 藤堂 俊介 (Shunsuke Todo)
(株) 構研エンジニアリング 正会員 牛渡 裕二 (Yuji Ushiwatari)
共和企興(株) 非会員 荒川 浩幸 (Hiroyuki Arakawa)
室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

我が国の道路は山間部や海岸線の近傍に建設されている場合が多く、急崖斜面など落石災害の発生が懸念される区間には落石防護擁壁などの落石防護構造物が多数設置されている。また、近年の異常気象や風化などが原因で経年劣化した急崖斜面においては、落石規模が設計当初に想定していたよりも大きくなり、落石防護構造物が変状する事例が報告されている。この種の問題に対し、RCロックシェッドにおいては、敷砂緩衝材や緩衝効果の高い三層緩衝構造(表層材:砂、芯材: RC 版、裏層材: EPS ブロック)といった緩衝工が適用されている¹⁾。一方、落石防護擁壁の場合には二層緩衝構造(表層材:RC 版、裏層材:EPS ブロック)が開発され、実用化されている²⁾。しかしながら、対象とする落石エネルギーが 300 kJ 程度であり、より大きな吸収エネルギーを有する緩衝システムの開発が望まれている。

このようなことから、著者らの研究グループでは、自立可能な新しいタイプの三層緩衝構造(表層材:ソイルセメント、芯材:ジオグリッド、裏層材:EPS ブロック)を提案している。提案の三層緩衝構造について実験、検討してきた結果、様々な緩衝性能が明らかとなっており、擁壁工背面に本緩衝工を設置した際の緩衝効果も確認されている³⁾。

しかしながら、既往の 1/2 スケール擁壁実験用供試体作成時に、ソイルセメント内にジオグリッドを直立した状態で埋設することは、ジオグリッドの仮固定が必要になることやかぶり部のソイルセメントの打設にも工夫が必要であることなど、実用化に向けて更なる施工性向上策の検討が必要であるものと考えられる。

提案の三層緩衝構造を実用化する場合、ジオグリッドをソイルセメントと EPS ブロックの境界に設置することで施

工性が飛躍的に向上することが想定された。しかしながら、ソイルセメント内にジオグリッドを埋設した場合におけるソイルセメントの割裂抑制効果や衝撃力を分散し高い緩衝効果を得ることなどが、ソイルセメントと EPS ブロックの境界にジオグリッドを設置した場合においても同様の効果が得られるかは未確認であった。

以上の背景より、本研究においては、ジオグリッドをソイルセメントと EPS ブロックの境界に設置することによる緩衝性能への影響を把握することとした。

2. 実験概要

表-1 には、試験体一覧を示している。表中、試験体名の第 1 項目において、G に付随する数字はジオグリッドのかぶり厚さ (cm) を示しており、第 2 項目 V に付随する数字は衝突速度 (m/s) を示している。本実験は、ソイルセメントの厚さ 20 cm の試験体に対し、衝突速度を変化させた全 7 ケースである。

図-1 には、本実験で用いた実験装置の概要を示している。本実験装置は、鋼製底盤 (1.6 m 四方、厚さ 75 mm) と底盤を支持する 9 個の伝達衝撃力計測用のロードセルから構成されている。

実験は、本装置を剛基礎上に設置し、ソイルセメント、

表-1 試験体一覧

試験体名	ソイルセメント厚 (cm)	衝突速度 (m/s)	入力エネルギー (kJ)	ジオグリッド位置
G0-V6.0	20	6.0	7.2	ソイルセメントと EPS ブロックの境界面に配置
G0-V6.5		6.5	8.45	
G0-V7.0		7.0	9.8	
G5-V6.0		6.0	7.2	ソイルセメント かぶり 5cm の位置に埋設
G5-V7.0		7.0	9.8	
G5-V8.0		8.0	12.8	
G5-V9.0		9.0	16.2	

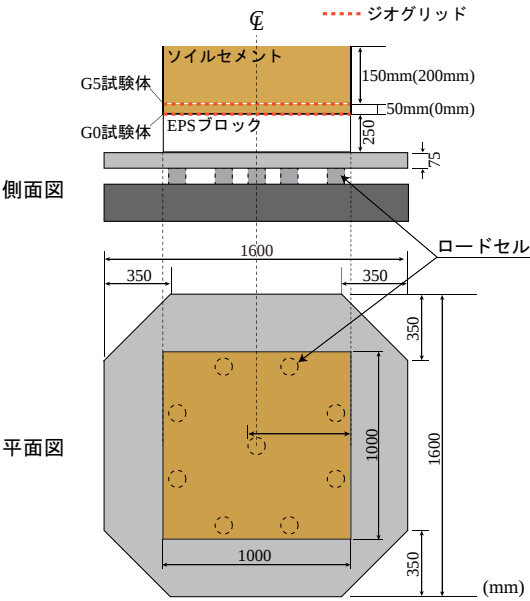


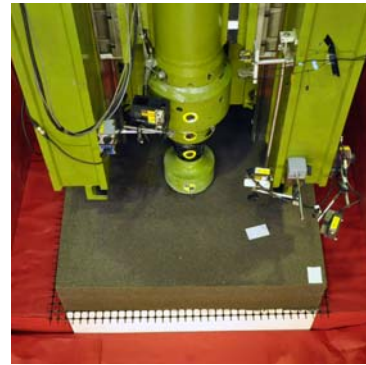
図-1 実験装置概要

表－2 各材料の物性値一覧

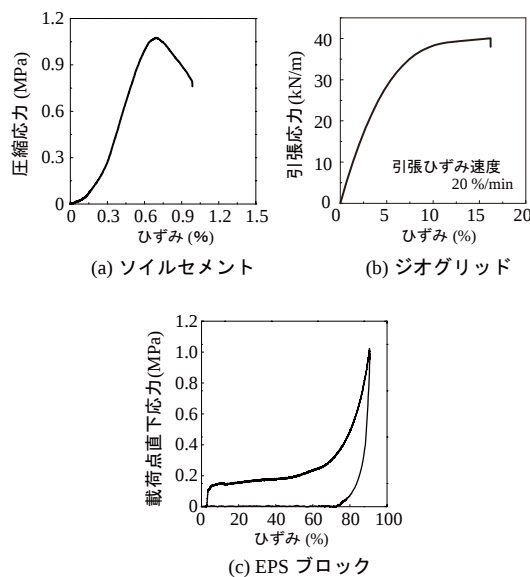
砂					
産地	種類	均等係数	土粒子 密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	最適 含水比 (%)
登別	中粒砂	2.6	2.79	2.46	16

ジオグリッド			
目合 (mm)	品質管理 強度 (kN/m)	製品基準 強度 (kN/m)	材質
28 × 33	34.0 × 43.0	27.0 × 37.0	ポリプロピレン

EPS		
密度 (kg/m ³)	発泡倍率	製造法
20	50.0	型内発泡法



写真－1 実験状況



図－2 各材料の応力－ひずみ曲線

EPSブロック、ジオグリッドを組み合わせた試験体を装置の中央に配置し、重錘を所定の速度で底盤中央部に落下させる形でいった。なお、重錘質量は400 kg、先端部直径はφ200 mmであり、その底部には片当たり防止のために2 mmのテーパが設けられている。

表－2には、実験に使用した各材料の物性値を一覧に示している。また、図－2には、本実験で用いた各材料の応力－ひずみ関係を示している。本実験の測定項目は、重錘衝撃力、伝達衝撃力および重錘貫入量である。なお、重錘衝撃力は重錘に内蔵されているロードセル、伝達衝撃力は底盤を支持している9個のロードセル、重錘貫入量はレーザ式変位計を用いて測定している。

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図－3には、重錘衝撃力、伝達衝撃力および重錘貫入量に関する時刻歴応答波形を示している。

(a) 図より、重錘衝撃力波形は、重錘衝突時に振幅の大きい第一波を示し、その後振幅が小さく、継続時間が100 ms程度の台形状の波形を示している。第二波に着目すると、 $V = 7.0$ m/sにおける最大振幅がG5試験体よりもG0試験体で小さいことが分かる。これは、ソイルセメントの有効高

さが大きくなることにより、広範囲に衝撃力を分散したことによるものと考えられる。

(b) 図より、伝達衝撃力波形は、正弦半波状の第一波とそれに続く第二波から構成されていることが分かる。同一衝突速度の場合において、第一波の最大振幅は衝突速度の増大やジオグリッドの位置によらず概ね同様の値を示している。 $V = 7.0$ m/sにおける最大振幅がG5試験体よりもG0試験体で小さいことは重錘衝撃力波形の場合と同様と考えられる。また、G5試験体においては、重錘速度の増加に伴い第二波の振幅が増加傾向を示し、衝突速度 $V = 8.0$ m/sの時点で第二波の最大振幅が第一波の最大振幅を上回っていることが分かる。これは、ソイルセメントの押抜きせん断破壊では大半の衝撃エネルギーが減少せず、EPSブロックが大きく欠損し陥没したことによるものと推察される。

(c) 図の重錘貫入量波形は、重錘衝突とともに第1波が励起し、その後残留変形を伴って振動状態に至っている。最大重錘貫入量について見ると、ジオグリッド位置による差異は見られないが、衝突速度が上がるほど大きくなっていることが分かる。一方、G5試験体はいずれもリバウンドが確認されるものの、7 m/sの場合におけるG0試験体のリバウンドはG5試験体に比べて小さく示されている。これは、G0試験体はソイルセメントとジオグリッドの付着が小さいため、ジオグリッドによるソイルセメントの割裂抑制効果が低下し、緩衝システムとしての重錘貫入抑制効果が低減することによるものと考えられる。なお、後述の破壊性状より、G0試験体の実験は7 m/sまでとしている。

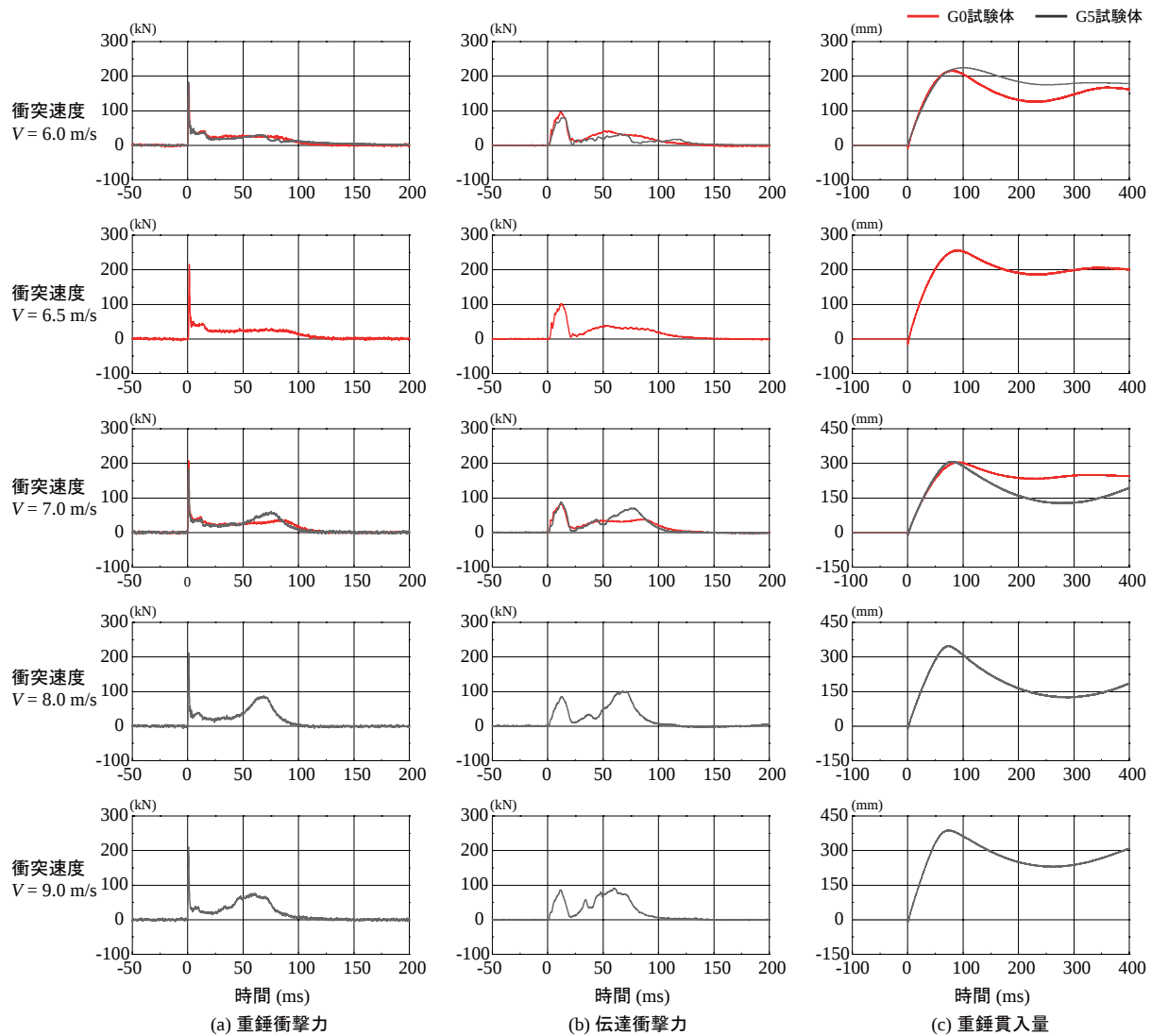
3.2 破壊性状

図－4には、実験後における試験体の破壊性状を示している。

図(a)より、いずれのケースにおいても、ソイルセメント表面に十字型のひび割れが卓越していることが分かる。また、その開口幅はG0試験体の方が若干大きくなっていることが確認できる。これは、ジオグリッドとソイルセメントとの間で十分な付着が取れていないために、ソイルセメントの割裂抑制効果が低減したためと推察される。

図(b)より、いずれのケースにおいても円錐台状の押抜きせん断コーンが形成されていることが分かる。

図(c)より、G0試験体では、ジオグリッドにリング状のひび割れがないことが確認できる。これは、ジオグリッドとソイルセメントとの付着が小さいため、ジオグリッドがリング状に破断する前にジオグリッドが滑ったものと考え



図－3 各種時刻歴応答波形

られる。

図(d)より、G5試験体では、EPSブロック表面の荷重位置に均一に荷重が分散され、EPSブロックの押抜きせん断破壊により終局に至っていることが分かるが、G0試験体では、EPSブロックの中央部に荷重が集中していることが分かる。これは、ジオグリッドとEPSブロックの付着が確保されていないため、衝撃荷重作用時にジオグリッドがずれたことによるものと推察される。

3.3 各種応答値と入力エネルギーとの関係

図－5には、各種応答値と入力エネルギーとの関係を示している。

図(a)より、最大重錘衝撃力は入力エネルギーの増加に伴って概ね増大する傾向を示していることが推察できる。また、最大重錘衝撃力は振動便覧の式より、ラメ定数 3500 kN/m^2 を用いることで安全側に算出可能であることが分かる。

図(b)より、最大伝達衝撃力は入力エネルギーによらずほぼ重錘衝撃力の $1/3 \sim 1/2$ 程度の値を示していることが分かる。また、最大入力エネルギー時に着目すると、ジオグリッドの位置によらず、応答値が減少していることが確認

できる。これは、EPSブロックが割裂、または大きく開口することで衝撃力を十分に伝達することが出来なかったためと推察できる。よって、各試験体が有する可能吸収エネルギーの範囲を超えていると考えられる。これらのことから、ジオグリッドをソイルセメント内に埋設した方が可能吸収エネルギーが大きくなるものと考えられる。

図(c)より、最大重錘貫入量はジオグリッド位置および入力エネルギーによらず概ね対数関数的に増加していることが分かる。

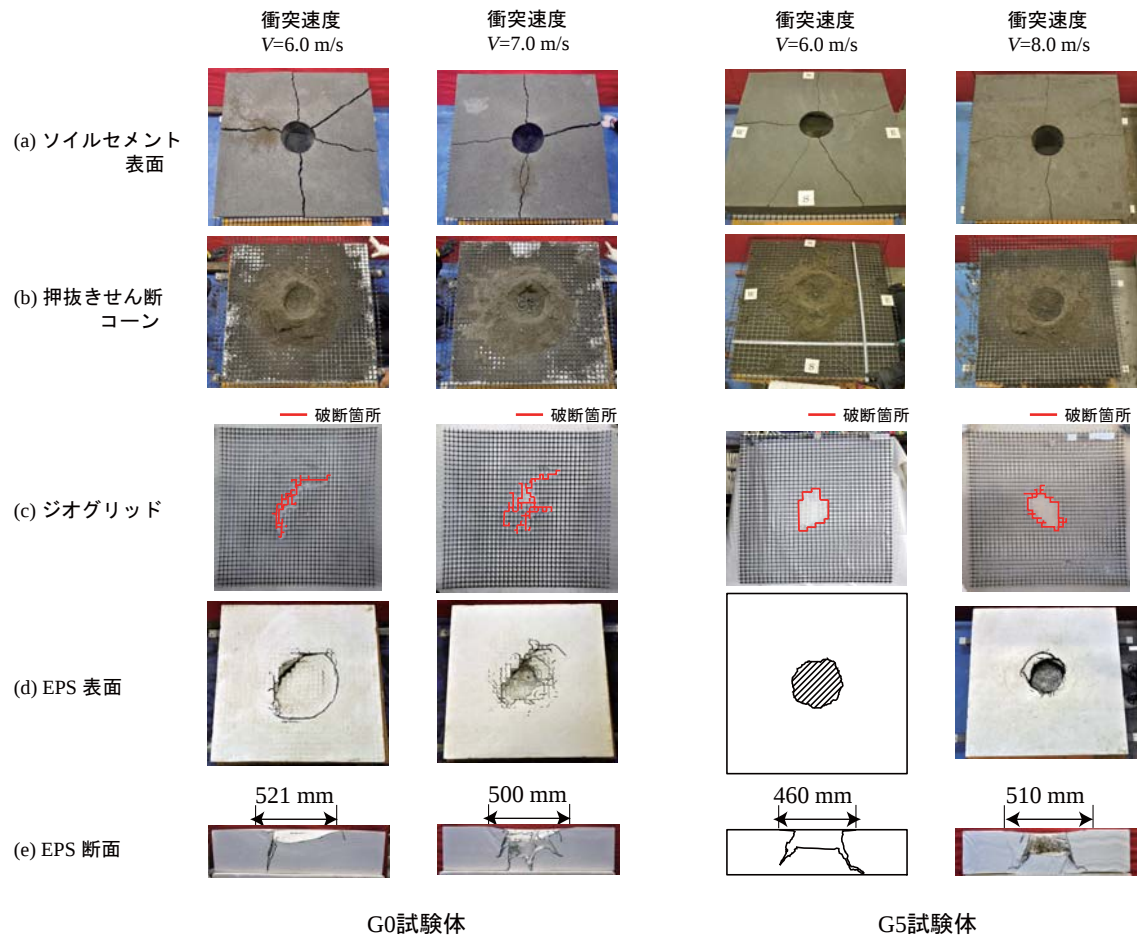
以上のことより、本緩衝システムの緩衝効果を十分に発揮させるためにはジオグリッドをソイルセメント内に埋設する必要があることが明らかとなった。

4. まとめ

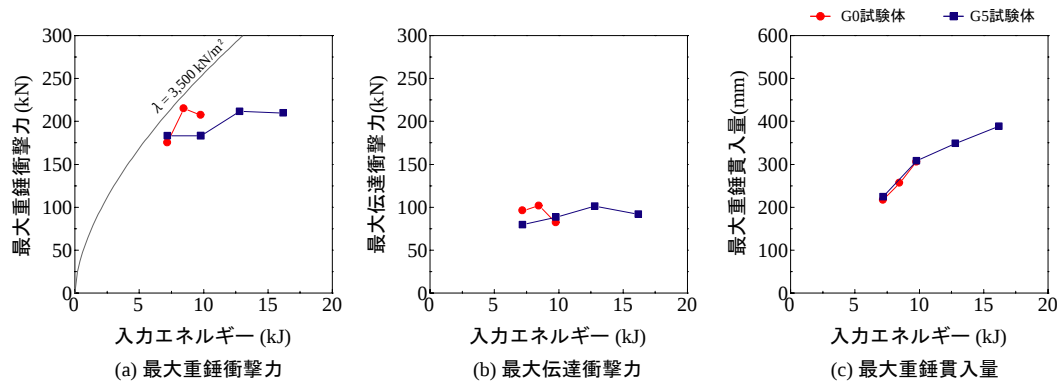
本研究では、施工性向上策として提案したジオグリッド位置が緩衝性能に与える影響を把握することを目的に、ジオグリッドをソイルセメントとEPSブロックの境界面に設置した試験体に対して重錘落下衝撃実験を行った。

本実験で得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- 1) ジオグリッドをソイルセメントとEPSブロックの境界面に設置した場合、有効高さが大きくなることにより、



図－4 実験後における各種破壊性状



図－5 各種応答値と入力エネルギーとの関係

- ソイルセメントの押抜きせん断破壊に伴う衝撃エネルギーの吸収やジオグリッドへの衝撃力分散範囲が大きくなり、貫入量の抑制やジオグリッドへの負担を低減する効果を得られる。しかしながら、ジオグリッドから EPS ブロック表面への衝撃力の分散、伝達が均一に行われないことにより緩衝性能が十分に発揮されない。
- 2) ジオグリッドをソイルセメントと EPS ブロックの境界面に設置する場合よりも、ジオグリッドをソイルセメントに埋設する場合の方が、より大きなエネルギーに対して緩衝効果を得ることが可能となる。

参考文献

- 1) 土木学会：構造工学シリーズ 8 ロックシェットの耐衝撃設計，平成 10 年 11 月
- 2) 岸 徳光，川瀬良司，今野久志，岡田慎哉：二層緩衝構造を用いた落石防護擁壁模型の重錘衝突実験と数値解析的検討，構造工学論文集，土木学会，Vol. 48A，2002.3，pp. 1567-1578
- 3) 牛渡裕二，川瀬良司，栗橋祐介，前田健一，岸 徳光：ソイルセメントを用いた緩衝システムを設置する落石防護擁壁に関する重錘衝突実験，土木学会次学術講演会概要集，土木学会，Vol. 68，2013.9，pp. 943-944