落石防護擁壁用三層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす 芯材ジオグリッド強度の影響

Effects of strength of geo-grid on absorbing performance of TLAS for rockfall-protection walls

(株)構研エンジニアリング正会員鈴木健太郎 (Kentaro Suzuki)(株)構研エンジニアリング正会員牛渡裕二 (Yuji Ushiwatari)室蘭工業大学大学院正会員栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)(株) 三菱樹脂販売正会員加藤貴久 (Takahisa Kato)釧路工業高等専門学校フェロー岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

海岸線や山岳部において,急崖斜面に近接して建設さ れている道路には,落石から人命や道路ネットワークを 守るための落石防護構造物が数多く建設されている.一 方,それらに作用する落石荷重は,近年の異常気象や大 地震の発生等によって,設計当初よりも大きく評価され る事例が多数報告されている.そのため,既設落石防護 構造物は耐衝撃性能の向上が求められている.

著者らは、これまで落石防護擁壁用緩衝構造として、芯 材にRC版,裏層材に発泡スチロール(以後,EPS)ブロッ クを用いる二層緩衝構造を提案するとともに、その緩衝効 果を実験的・数値解析的に明らかにして、合理的な設計 手法を確立している.また、二層緩衝構造の開発によっ て得られた知見に基づき、より費用対効果の高い緩衝構 造として、表層材にソイルセメント、芯材にジオグリッ ド、裏層材にEPSブロックを用いる三層緩衝構造を提案 し、その緩衝効果を小型模型(平面寸法1m四方、総厚 45~75 cm程度)を用いた重錘落下衝撃実験により検討し ている¹⁾.その結果、提案の三層緩衝構造は、ソイルセメ

	ジオグリッド	衝突	入力	ソイル
試験体名	品質管理強度	速度	エネ	セメント
	(kN/m)	V	ルギー	圧縮強度
	(枚数)	(m/s)	E_k (kJ)	(MPa)
G0.5-V6.0		6.0	7.2	
G0.5-V7.0	12.0×22.0	7.0	9.8	
G0.5-V7.5	(1枚)	7.5	11.3	0.9
G0.5-V8.0		8.0	12.8	
G1.0-V4.0		4.0	3.2	
G1.0-V5.0		5.0	5.0	1.1
G1.0-V6.0		6.0	7.2	
G1.0-V7.0	34.0×43.0	7.0	9.8	0.8
G1.0-V7.5	(11)	7.5	11.3	1.1
G1.0-V8.0		8.0	12.8	0.0
G1.0-V9.0		9.0	16.2	0.8
G2.0-V6.0		6.0	7.2	
G2.0-V8.0	34.0×43.0	8.0	12.8	
G2.0-V9.0	(2枚)	9.0	16.2	0.9
G2.0-V10.0	(64.0×86.0)	10.0	20.0	
G2.0-V11.0		11.0	24.2	

表 - 1 実験ケース一覧

ントの押抜きせん断破壊,ジオグリッドの荷重分散効果, および EPS ブロックの塑性変形によって緩衝効果が効率 的に発揮されることを明らかにしている.しかしながら, ジオグリッドの引張強度が緩衝性能に及ぼす影響につい ては未だ十分に検討されていない.

このようなことより,本研究では,提案の三層緩衝構造 においてジオグリッドの強度が緩衝性能に及ぼす影響を 明らかにすることを目的として,大きさが1m四方の緩衝 システム模型を用いた重錘落下衝撃実験を実施した.本 研究では,ジオグリッドの引張強度を3種類に変化させ て比較検討を行っている.

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.表中,試験体名の第1項目は,品質管理強度34.0×



図 - 1 実験装置および試験体概要



写真 - 1 実験状況 (G2.0-V11.0)



図-2 実験終了後の試験体状況

表 - 2 各材料の物性値一覧

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

(b) シオクリット						
++ 65	目合	製品基準	品質管理			
竹貝	(mm)	強度 (kN/m)	強度 (kN/m)			
ポリプロピレン	28 × 40	10.0 × 20.0	12.0 × 22.0			
	28 × 33	27.0 × 37.0	34.0 × 43.0			

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

43.0 kN/m のジオグリッドを1枚配置した場合を基準とし たジオグリッドの引張強度比を,第2項目は重錘衝突速 度(m/s)を示している.なお,表には入力エネルギー(kJ) およびソイルセメントの一軸圧縮強度(MPa)を併せて示 している.

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.本実験装置は,伝達衝撃応力測定用の ロードセル(以後,応力計)が設置された鋼製底盤(1.6 m四方,厚さ75mm)と鋼製底盤を支持する9個の伝達 衝撃力測定用のロードセル(以後,反力計)から構成され ている.応力計は,底盤中央部および左側50mmの位置 に1個ずつ,および中央部から右側端部まで50mm間隔 で10個の計12個が設置されており,その受圧面は底盤 上面と面一となっている.

試験体の平面寸法は 1,000 × 1,000 mm であり,高さ 250 mm の EPS ブロックの上に高さ 300 mm のソイルセメント を設置している.ジオグリッドは,ソイルセメント下面か ら高さ 50 mm の位置に配置し,全 16 ケースの実験を行った.なお,G2.0 については基準となるジオグリッドを 2 枚重ねて配置している.試験体は含水比を 15 % に調整した砂に早強ポルトランドセメント 100 kg/m³ を練り混ぜ,これを EPS ブロックの上に配置した型枠に敷き詰め,約

50 mm 毎に足踏みにて締固め製作した.表-2 には,実 験に使用した各材料の物性値を一覧にして示している.

写真 - 1には,実験装置および実験時における試験体 状況を示している.実験に使用した重錘は,質量 400 kg, 先端部直径 200 mm の鋼製重錘であり,先端部には起歪柱 型ロードセルが組み込まれている.また,底部には片当 たり防止のため2 mm のテーパが設けられている.実験は 鋼製重錘を所定の高さにセットした後,一度だけ自由落 下させる単一衝撃荷重載荷実験により行った.

本実験における計測項目は,重錘衝撃力,伝達衝撃力, 伝達衝撃応力分布,および重錘貫入量である.なお,伝 達衝撃力は,前述の反力計で測定した9点の反力の合計 である.また,伝達衝撃応力分布は,前述の12個の応力 計で,重錘貫入量は非接触型レーザ式変位計で測定した. 実験終了後にはソイルセメント,ジオグリッド,EPS ブ ロックの破壊状況を観察した.

3. 実験結果

3.1 破壊性状

図 - 2には,(a)実験終了後における各試験体のソイル セメント表面,(b)押抜きせん断コーン(コーン周辺のソ イルセメント撤去後),(c)ジオグリッド,(d)ジオグリッ ド下側のソイルセメントおよび(e)EPSプロック表面と中 央部切断面の破壊性状を示している.

図 - 2 (a)より,ジオグリッド強度にかかわらずソイル セメント表面中央部が重錘形状と同様の円形状に陥没し, その周辺には放射状のひび割れが発生し開口している.

図 - 2 (b)より,いずれも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.これらソ イルセメント表面の変形状況および押抜きせん断コーン の形成状況は他の衝突速度においても確認されている.

図 - 2 (c)より,ジオグリッドが一部あるいはリング状 に破断する衝突速度は,G0.5 試験体の場合でそれぞれV = 6.0 m/s, 7.0 m/s,G1.0 試験体の場合で 8.0 m/s,9.0 m/s と なっている.一方,G2.0 試験体の場合には11.0 m/s にお いても未だリング状の破断は生じていない.これより,ジ

平成24年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第69号



オグリッド強度が大きいほどジオグリッドの破断が抑制されることが明らかとなった.図-2(d)より,ジオグリッド下側のソイルセメントには,重錘衝突部に円形状のひび割れが発生し,かつ,その周りには放射状のひび割れが発生していることが分かる.また,(c)図との対比により,ジオグリッドがリング状に破断した場合には,載荷点近傍のジオグリッドより下側のソイルセメントに陥没が生じることが分かる.

図 - 2 (e)より, EPS ブロック表面には円形状のひび割 れが発生し,ジオグリッド強度が小さいほどおよび衝突 速度が大きいほど,EPS ブロックが押抜きせん断破壊し て貫入量が増加する傾向を示している.これは,ジオグ リッド強度が大きいほど押抜き変形が抑制され,衝撃荷 重が分散して EPS ブロックに伝わるためと考えられる. 3.2 時刻歴応答波形

図 - 3には,(a) 重錘衝撃力,(b) 伝達衝撃力,(c) 載荷点 直下の伝達衝撃応力(以後,載荷点伝達衝撃応力)およ び(d) 重錘貫入量に関する時刻歴応答波形を衝突速度 V = 6.0,7.0,8.0,9.0,11.0 m/s の場合について示している.

図 - 3 (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 さく,継続時間が70~150 ms 程度の三角形状の波形を示 していることが分かる.また,衝突速度の増加に伴って 最大振幅が大きくなる傾向にあるが第2波目の最大振幅 はほぼ同程度である.このような性状はジオグリッド強 度によらずほぼ同様である.図 - 3 (b)より, 伝達衝撃力 波形は,継続時間が30~40 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.最大振幅は衝突速度およびジオグリッド強度に よらずほぼ同等である.

図-3(c)より,載荷点伝達衝撃応力波形は,衝突速度 が小さい場合には最大振幅0.2 MPa 程度の台形状の波形 性状を示しているが、衝突速度の増大と共に 0.2 MPa 程度 の応力レベルを示す上辺部の継続時間が延びる傾向を示 していることが分かる、衝突速度 V = 6.0 m/s の場合には、 ジオグリッド強度が小さいほど継続時間が長く示されて いる.また、ジオグリッド強度が大きい場合ほど、伝達 衝撃応力が EPS ブロックの降伏応力である 0.2 MPa 程度 に抑制される重錘衝突速度が増加することが分かる.こ れは、図 - 2 (c) からも明らかなとおり、ジオグリッド強 度が大きいほどジオグリッドがリング状に破断しないた めと推察される.

図 - 3 (d) より, 重錘貫入量波形は, 重錘衝撃力が零レ ベルに達する時刻程度まで単調に増加して最大値を示し, その後緩やかに減衰する傾向を示している.最大変位は 衝突速度の増加に伴って増大し,ジオグリッド強度が大 きいほど最大変位が小さい.このことからジオグリッド を配置することによって EPS プロックの変形を抑制でき ることが分かる.なお,G2.0-V6.0 およびG1.0-V7.0 のリ バウンドが小さい理由は不明である.

3.3 各種応答値と入力エネルギーの関係

図 - 4には,各試験体の(a)最大重錘衝撃力,(b)最大伝 達衝撃力,(c)最大載荷点伝達衝撃応力および(d)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,最大重錘衝撃力はジオグリッド強度に かかわらず入力エネルギーの増加に伴って,ほぼ線形に 増大していることが分かる.これに対して,図 - 4 (b)の 最大伝達衝撃力は,ジオグリッド強度および入力エネル ギー量によらずほぼ一定値を示している.これは,入力 エネルギーの大きさによらず,重錘衝撃力が EPS ブロッ クの降伏応力に対応する伝達衝撃力に低減されたことに よるものと考えられる.

図 - 4 (c) より, ジオグリッド強度が大きいほど最大伝 達衝撃応力が小さいことが分かる.また, EPS ブロック



図 - 5 伝達衝撃応力分布波形

の降伏応力を超過しない程度の入力エネルギー量はジオ グリッド強度が大きいほど大きいことが分かる.

図 - 4 (d)より,ジオグリッド強度にかかわらず,重錘 貫入量は入力エネルギーの増加に対応してほぼ線形に増 大していることが分かる.また,ジオグリッド強度が大 きいほどその増加する勾配が小さい.

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 = 6.0,8.0,9.0 m/s の場合について示している.図には, 横方向に試験体中心からの距離,奥行き方向に時間,縦 方向に伝達衝撃応力を取って3次元で分布を示している.

V=6.0 m/s の場合には,いずれの測定点においても伝達 衝撃応力は EPS ブロックの降伏応力である 0.2 MPa 程度 を示している.また,衝突速度の増加に伴い載荷点近傍の 伝達衝撃応力が大きく示される傾向にある.紙面の都合 により G2.0-V11.0 の結果を省略しているが,それぞれの 最終衝突速度では最大で 0.4 MPa 以上となっている.これ は,前述の図 - 2 (e) からも分かるように,EPS ブロック がせん断破壊するとともにせん断コーンが大きく変形し たことによるものと推察される.これより,ジオグリッ ド強度が大きいほど,伝達衝撃応力は EPS ブロックの降 伏応力程度以下に抑制されることが明らかとなった.

4. まとめ

本研究では,提案の三層緩衝構造においてジオグリッド 強度がその緩衝性能に及ぼす影響を把握することを目的と して,ジオグリッドの強度を3種類に変化させ,緩衝シス テム模型に関する重錘落下衝撃実験を実施した.本研究 により得られた知見を整理すると,以下のとおりである.

- ジオグリッド強度が大きいほど、ジオグリッドの破 断や EPS ブロックの押抜きせん断破壊および重錘の 貫入が抑制される傾向にある.
- ジオグリッド強度および入力エネルギー量によらず、 最大伝達衝撃力はほぼ一定値を示す。
- 3) ジオグリッド強度が大きいほど、伝達衝撃応力は EPS ブロックの降伏応力以下に抑制され、入力エネルギー 量の上限値が大きくなる。

参考文献

 1) 菅原慶太,岸徳光,牛渡裕二,小室雅人:表層材ソ イルセメント厚を変化させた落石防護擁壁用三層緩 衝構造の緩衝性能,コンクリート工学年次論文集, Vol.34,2012,pp.715-720