落石防護擁壁用三層緩衝構造の衝撃吸収性能に及ぼす 表層材ソイルセメント厚の影響

Effect of thickness of Soil-Cement on absorbing performance of TLAS for rockfall protection walls.

室蘭工業大学大学院	○ 学生会員	菅原	慶太 (Keita Sugawara)
室蘭工業大学大学院	フェロー	岸	徳光 (Norimitsu Kishi)
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	小室	雅人 (Masato Komuro)
室蘭工業大学大学院	正会員	栗橋	祐介 (Yusuke Kurihashi)

1. はじめに

山間部や海岸線に設置されている道路のうち、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建設されている。また,昨今の異常 気象や凍結融解などの経年劣化によりその落石規模は設計 当時よりも大きくなっている場合が少なくない. この種の 構造物の耐衝撃性を向上させる方法の1つとしては,落石 衝突面に緩衝工を設置する方法が考えられる. 落石覆工頂 版部には敷砂緩衝材や、より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)などが適用 されている。一方、落石防護擁壁の場合には EPS ブロック と RC 版から構成される二層緩衝構造が開発され、実用化 されている、しかしながら、施工費が重む等の指摘も受け ており, 安価で効率的な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 図-1 に示すような新しいタイプの三層緩衝構造を提案した。本 システムは,表層材として自立可能なソイルセメントを用 い、芯材に衝撃力分散のためのジオグリッドおよび裏層材 に衝撃エネルギー吸収のための EPS ブロックを用いるもの である.

本研究では,提案の三層緩衝構造の耐衝撃性や緩衝メカ ニズムを詳細に明らかにすることを目的として,ソイルセ メント厚を2種類に変化させた場合に関する重錘落下衝撃 実験を実施した.

2. 実験概要

S30GE-V9.0

	ソイル	EPS	衝突	入力
試験体名	セメント厚	ブロック厚	速度	エネルギー
	(cm)	(cm) (cm)		(kJ)
S20GE-V4.0			4.0	3.2
S20GE-V5.0	20		5.0	5.0
S20GE-V6.0			6.0	7.2
S30GE-V4.0			4.0	3.2
S30GE-V5.0	30	25	5.0	5.0
S30GE-V6.0			6.0	7.2
S30GE-V7.0			7.0	9.8
S30GE-V8.0			8.0	12.8

9.0

16.2

表-1 には,	試験体一覧を示している.	表中,	試験体名
	表-1 試験体一覧		





図-2 実験装置概要



図-3 試験体概要

の第1項目において、Sに付随する数字はソイルセメント の厚さ(cm)であり、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を2 種類に設定した試験体に対し、衝突速度を変化させた全9 ケースである.

図-2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、荷重計が設置された鋼製底盤(1.6 m 四方、厚さ75 mm)と底盤を支持する9個の反力計測用のロードセルから構成されている。荷重計は、底盤中央部および

平成23年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第68号



図-5 各種応答波形

砂									
産地	利	重類	复 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	粒砂 2.6		2.79		2.46	16	
			ジ	オグ	リット				
目合 (mm))	品質管理 強度 (kN/m)		り強	製品基準 貧度 (kN/m)		材質		
28×3	33	34.0×43.0		27	7.0×37.0		ポリプロピレン		
EPS									
密度(kg/m ³)			発泡倍率 製造法						
	20			5	50.0 型内発泡法				
σ (MPa) 0.4 0.2 0.1 5 55 70 ε (%)									

表-2 各材料の物性値一覧

図-4 EPS ブロックの応力-ひずみ曲線

左側 50 mm の位置に 1 個ずつ,および中央部から右側端部 まで 50 mm 間隔で 11 個の計 13 個設置されており,その受 圧面は底盤上面と面一となっている.

実験は、本装置を剛基礎上に設置し、ソイルセメント、 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 せる形で行った.なお、重錘質量は 400 kg、先端部直径は ϕ 200 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.

図-3には、試験体概要を示している. 試験体は、平面寸法 1,000 mm×1,000 mm,高さ 250 mmの EPS ブロックの上に、平面寸法 1,000 mm×1,000 mm,高さ 200 mm,300 mmのソイルセメントを設置している. なお、ソイルセメント

の下面から 50 mm の位置にジオグリッドを配置した. 試験 体の製作は, 含水比 15 % の砂に早強ポルトランドセメン トを 100 kg/m³練り混ぜたものを, EPS ブロックの上に敷 き詰め, 足踏みにて締固め製造した. **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. 実験時 のソイルセメントの圧縮強度は 1.1 MPa であった. また, 図-4 には,本実験で用いた EPS ブロックの応力-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、底盤反力、底盤上へ の伝達衝撃応力分布、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、底盤反力は 底盤を支持している9個のロードセル、底盤上への伝達衝 撃応力分布は前述の荷重計、および重錘貫入量はレーザ式 変位計を用いて測定することとした.

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図-5には、重錘衝撃力、底盤反力、載荷点直下の伝達応 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, 衝撃初期に大きな衝撃力 を示し, その後振幅が小さく, 継続時間が 50~100 ms 程 度の台形状の波形を示している.

(b) 図より, 底盤反力波形は継続時間が 30 ms 程度の正弦 半波状の第1波と, 振幅が小さく継続時間の長い第2波か ら構成されている. ソイルセメント厚が小さい場合に, 第 1波の振幅が小さく, かつ継続時間も短くなる傾向にある. また, 衝突速度が第1波目の振幅に及ぼす影響は小さい.

(c) 図の載荷点直下の伝達応力分布波形は, 衝突速度が小 さくかつ最大振幅が 0.2 MPa 程度以下の場合には, 継続時 間が 40~60 ms 程度の正弦半波波形を呈している.また, 最大振幅が 0.2 MPa を上回る場合には三角形状の第 1 波が 励起した後, 継続時間の長い第 2 波が後続している.これ は入力エネルギーが大きいことにより, ジオグリッドが破 断され, 重錘が EPS に局所的に作用することにより大きな ひずみが発生したことによるものと推察される.

(d) 図の重錘貫入量波形は, 重錘衝突とともに正弦半波状



図-7 EPS ブロックの破壊性状

の第1波が励起し、その後減衰自由振動状態に至っている. なお、V = 6 m/s以降では変位が残留している.これはソイルセメントが破壊して重錘が大きく貫入していることを示しているものと考えられる.

3.2 重錘衝擊力, 伝達衝擊力-重錘貫入量関係

図-6には、重錘衝撃力、底盤反力および載荷点直下の 伝達応力と重錘貫入量との関係を示している。

重錘衝撃力と重錘貫入量との関係より,重錘衝撃力は, 重錘が10~20 mm 程度貫入する過程において大きな値を 示し,その後30~50 kNのほぼ一定の値を保持した状態で 貫入量のみが増大している.これは,重錘が10~20 mm 程 度貫入した時点でソイルセメントが破壊し,その後EPS ブ ロックの変形により衝撃エネルギーを吸収していることを 示している.

一方,底盤反力と重錘貫入量の関係を見ると,前述の重 錘衝撃力の場合に比して底盤反力は重錘貫入量の増加に 伴って緩やかに増大し,最大値到達後緩やかに低下してい る.これは,ソイルセメント破壊後,EPSブロックに伝達 された衝撃エネルギーが EPSブロックの変形とともに徐々 に吸収されていることを示している.また,S20GE-V6.0や S30GE-V9.0の場合には,底盤反力が除荷された後,再度載

図-8 各種応答値と入力エネルギーの関係

荷と除荷の状態を示している.これは、ジオグリッドの破 断と共に重錘が EPS に深く貫入し、かつリバウンド状態に 至ったことを暗示している.

また,このときの載荷点直下の伝達応力と重錘貫入量の 関係を見ると,伝達応力が EPS ブロックの降伏強度である 0.2 MPa を超過し 0.4 MPa 程度に達している.

図-7には、EPS ブロックのひび割れ性状を示している. 図より、いずれの場合も EPS ブロックが押抜きせん断破壊 に至っていることがわかる.また、EPS ブロック上面の見 かけ上の載荷面は直径 25~35 cm 程度で重錘直径よりも大 きいことより、ソイルセメントはコーン状の押抜きせん断 破壊に至っていることが推察される.このことは、実験時 においても確認し、入力エネルギーによらず重錘の外周か ら 40~50°の角度で押抜きせん断コーンが形成されていた.

以上のことから,重錘の貫入に伴うソイルセメントおよび EPS ブロックの変状の推移を整理すると以下のようになる.すなわち

- ジオグリッドの効果により、衝撃荷重は広範囲に分散 されるが、重錘が10~20mm程度貫入する過程でソ イルセメントは押抜きせん断破壊に至る。
- 2) ジオグリッドの剛性がそれほど大きくないことにより,



図-9 伝達応力分布

結果としてソイルセメントの押抜きせん断コーンの底 面が見かけ上の載荷面となり EPS ブロックに衝撃力が 伝達される.ただし、ジオグリッドの応力分散効果に より、せん断コーンの底面積が拡大することは勿論で ある.

- 3) 貫入量の増大とともに EPS ブロックが徐々に変形し, それに対応して底盤反力が増大する.
- EPS ブロックに入力される衝撃エネルギーが EPS ブ ロックの吸収性能を上回ると EPS ブロックは押抜きせ ん断破壊に至る。
- 3.3 各種応答値と入力エネルギーとの関係

図-8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.図より、重錘衝撃力は入力エネルギーの増加に 伴って増大する傾向を示している.これに対し、底盤反力 は入力エネルギーによらずほぼ同様の値を示している.こ れより、提案の三層緩衝構造は大きな緩衝効果を発揮して いることが明確に確認できる.なお、このような傾向は、 ソイルセメントの厚さによらず同様である.

載荷点直下伝達応力と入力エネルギーとの関係より,入 カエネルギー5kJまではソイルセメント厚によらず,伝達 応力が 0.2 MPa 程度となっていることが分かる.これは, EPS ブロックが変形するものの,そのひずみレベルは降伏 棚の領域内にあることを示している.また,ソイルセメン ト厚が 20,30 cmの場合において伝達応力が 0.2 MPa を超 過する入力エネルギーは,それぞれ 7.2,16.2 kJ である.こ の時点を各緩衝構造の終局状態とし,入力エネルギーの観 点から緩衝性能を評価するとソイルセメント厚を 20 から 30 cm とすることにより緩衝性能は 2.25 倍向上することが 分かる.

3.4 伝達衝撃応力分布

図-9には、各試験体の伝達応力分布を衝突速度V=4, 6,9m/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、縦方向に伝達応 力を取って3次元で示している。図よりS20GE-V4.0およ びS30GE-V4.0/6.0の場合には、EPSブロック全域に渡り 0.2 MPa 程度の応力が発生していることがわかる。このこ とより、これらのケースの場合には EPSブロック底面にほ ぼ均等に応力が分散されているものと考えられる。一方、 S20GE-V6.0 および S30GE-V9.0 の場合には,衝撃荷重載荷 初期においては, EPS ブロック全域に渡り 0.2 MPa 程度の 応力が発生する傾向を示すものの,その後載荷点近傍の応 力が急激に増大する傾向にあることがわかる.これは,前 述の EPS ブロックの損傷状況からもわかるように,ジオグ リッドが破断して重錘が深く貫入することにより EPS ブ ロックがせん断破壊に至るためと考えられる.

4. **まとめ**

本研究では、ソイルセメント、EPS ブロック、ジオグリッ ドを組み合わせた三層緩衝工の動的挙動に及ぼすソイルセ メントの厚さの影響を検討することを目的に、厚さを2種 類に変化させ、三層緩衝工の衝撃荷重載荷実験を実施した. 本実験で得られた結果をまとめると、以下の通りである.

- 提案の三層緩衝構造の緩衝効果は、ジオグリッドによる応力の分散効果とソイルセメントの押抜きせん断破壊、および EPS ブロックの変形による衝撃エネルギーの吸収の組み合わせにより発揮される。
- 2) ソイルセメント厚さを大きくすることにより、緩衝効 果が増大する.これは、ジオグリッドによる応力の分 散効果およびソイルセメントの押抜きせん断破壊に伴 うエネルギー吸収が大きく影響しているものと推察される.
- 3)提案の三層緩衝構造は、EPSブロックの押抜きせん断 破壊により終局に至る。

参考文献

- 岸徳光,三上浩,栗橋祐介:低速度衝撃を受ける四辺 単純支持 RC 版の耐衝撃設計法に関する一提案,構造 工学論文集, Vol.55A, pp.1327-1336, 2009
- 2)岸 徳光,今野久志,岡田慎哉:重錘落下衝撃荷重載 荷時の大型 RC 桁に関する衝撃応答下解析法の適用性 検討,構造工学論文集,Vol.53, pp.1227-1238, 2007.3
- 北海道開発局事業振興部技術管理課:北海道開発局道路・河川工事仕様書, pp.4-41,平成22年度版
- 4) 土木学会:構造工学シリーズ8ロックシェッドの耐衝
 撃設計,平成10年11月