落石防護擁壁用三層緩衝構造の耐衝撃挙動に及ぼす 芯材ジオグリッド位置の影響

Effects of layout of geogrid as core layer on impact resistant behavior of TLAS for rock fall protection walls

(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	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
室蘭工業大学大学院	正会員	栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)
(株) 構研エンジニアリング	正会員	鈴木健太郎 (Kentaro Suzuki)

1. はじめに

我が国の山岳部や海岸線を通過する道路は,急峻な地形 を呈していることから,落石災害を防止するための落石防 護構造物が数多く建設されている.一方で,近年の異常気 象(ゲリラ豪雨など)や対象斜面の経年変化,調査手法の 高度化によって,設計当初には想定され得なかった大規模 な落石要因が確認されるなど,落石防護構造物の安全性向 上が望まれている.しかしながら,これらを再度新設する 場合には既設構造物の撤去も含め,莫大な費用が必要とな り,建設コストの縮減が求められている中で,大きな負担 となっている.

落石防護構造物の1つである防護擁壁¹⁾に着目すると, 同擁壁は通常落石の持つ運動エネルギーと擁壁基礎地盤の 弾性応答エネルギーが等価となるように設計されている. そのため,直接基礎の無筋コンクリート製重力式擁壁が殆 どである.しかしながら,実際には落石による衝撃荷重が 作用するため,せん断破壊による損傷事例が数多く報告さ れている.また,たとえ補強鉄筋を配置した場合において もせん断ひび割れの発生は避けられない.このような既設 の無筋コンクリート製落石防護擁壁の耐衝撃挙動を向上さ せるためには,耐衝撃性能が大きく,安価な緩衝工を擁壁 背面に設置することが有効と考えられる.

このような観点から,著者らの研究グループは,ロック シェッド頂版上に設置する三層緩衝構造(敷砂+ RC 版+

	ジオグリッド	衝突	入力
試験体名	補強位置	速度	エネルギー
	(かぶり c (cm))	V (m/s)	E (kJ)
S30GL-E-V4.0		4.0	3.2
S30GL-E-V5.0		5.0	5.0
S30GL-E-V6.0		6.0	7.2
S30GL-E-V7.0	下投(5)	7.0	9.8
S30GL-E-V8.0		8.0	12.8
S30GL-E-V9.0		9.0	16.2
S30GU-E-V4.0		4.0	3.2
S30GU-E-V5.0	上段 (5)	5.0	5.0
S30GU-E-V6.0		6.0	7.2
S30GW-E-V6.0	上段 (5)	6.0	7.2
S30GW-E-V8.0	+	8.0	12.8
S30GW-E-V9.0	上段 (5)	9.0	16.2

表-1 実験ケース一覧

EPS)¹⁾や落石防護擁壁背面に設置する二層緩衝構造(RC 版+EPS)²⁾の原理を応用発展させた落石防護擁壁背面に 設置する「ソイルセメント+ジオグリッド+EPS」から構 成される新たな三層緩衝構造を考案している.本三層緩衝 構造の場合には,芯材としてのジオグリッドを任意の位置



図-1 実験装置概要



写真-1 実験状況 (S30GW-E-V9.0)

平成23年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第68号



図-2 各種応答波形

表-2 各材料の物性値一覧

(a) 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

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

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

に設置可能であることより,最適な配置位置を決定しなけ ればならない.本研究では,ジオグリッドの効果的な配置 位置を決定するための基礎資料を得ることを目的に,大き さが1m四方の緩衝システムに関する重錘落下衝突実験を 実施した.本論文では,ソイルセメントの中にジオグリッ ドを設置することを条件に,上縁近傍,下縁近傍,上下縁 近傍に設置し,比較検討を行うこととした.

2. 実験概要

図-1には、本研究に使用した実験装置の概要を示している。本実験装置は、伝達衝撃応力計測用の起歪柱型ロードセル(受圧面の直径20mm、容量7MPa)(以後、荷重計と記述)が設置された鋼製底盤(1.6m四方、厚さ75mm) および鋼製底盤を支持する9個の反力計測用の起歪柱型 ロードセル(受圧面の直径 87 mm,容量 100 kN)(以後,反 力荷重計と記述)から構成されている.なお,反力荷重計 は厚板鋼板を介して実験室ピット内の剛基礎上に設置され ている.また,荷重計は図に示すように底盤中央部より対 称軸に沿って 50 mm 間隔で12 個設置されており,その受 圧面と底版上面を揃え同一平面となるよう配置している.

写真-1には,重錘落下衝撃実験の状況を示している. 実験は,鋼製重錘を所定の高さから試験体中央部に落下さ せることにより行っている.実験に使用した鋼製重錘は質 量が400kg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.先端部の直径は200mmであり,底面に は片当たり防止のため2mmのテーパが設けられている.

表-1には、実験ケース一覧を示している. 試験体は、 ソイルセメント厚さを 300 mm, EPS 厚さを 250 mm とし, ソイルセメント中に芯材としてのジオグリッドを敷設して いる.実験ケースは、ソイルセメント下面よりかぶり50 mmの位置にジオグリッドを敷設する場合(以後,下段補 強) 6体, ソイルセメント上面よりかぶり 50 mm の位置に 敷設する場合(以後,上段補強)3体,上下端よりかぶり 50 mm の位置に敷設する場合(以後,上下段補強)3体の 3 種類全 12 体とした. 試験体は, EPS 上にソイルセメン ト打設用型枠を設置して、ソイルセメントを敷き均し、約 50 mm 毎に足踏みにて締固め,所定の位置にジオグリッド を敷設している. ソイルセメントは, 含水比 w=15%の砂 に早強ポルトランドセメント 100 kg/m³を使用している. **表-2**には、実験に用いられた各材料の物性値一覧を示し ている.実験時のソイルセメントの一軸圧縮強度は0.74~ 1.26 MPa であった.



図-3 各応答値と入力エネルギーの関係

実験ケース名は、ソイルセメント厚(300 mm:S30),ジ オグリッド補強位置(下段補強:GL,上段補強:GU,上 下段補強:GW), EPSの有無(EPS 有:E)をハイフンで 結び,末尾に重錘衝突速度を付して示している。

測定項目は,重錘衝撃力,伝達衝撃力,底版上への伝達 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,伝達衝撃力は底版を 支持している9個の反力荷重計,底版上への伝達衝撃応力 分布は荷重計,重錘貫入量はレーザ式変位計を用いている.

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図-2には、衝突速度毎に整理した(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,(d) 重錘貫入 量の各波形分布を示す.(a) 図より,衝突速度にかかわら ず最大応答値はt=2~3 ms 程度で生じており,衝突速度 の増加に伴い最大応答値も増加する傾向が示されている. 最大荷重を示す第1波は荷重継続時間が4msである.そ の後,重錘衝突速度に対応して30~100 ms 程度の第2波 から構成されている.

(b) 図より, 伝達衝撃力波形は 30 ms 程度の正弦半波状 の波形が励起している. その後, 衝突速度の増加に対応し て2波目の波形が励起している.継続時間は衝突速度の増 加に対応して増加の傾向にある.また,最大伝達衝撃力は 重錘衝突速度にかかわらず大略類似していることが分か る.なお, 重錘衝撃力と伝達衝撃力波形はジオグリッドの 配置位置にかかわらずほぼ等しい分布を示している.

(c) 図より, 載荷点直下における伝達衝撃応力の最大応答 値は, 衝突速度 V = 9.0 m/s の場合を除いて $\sigma = 0.2 \text{ MPa}$ 程 度に抑制されており, EPS ブロックの緩衝効果が十分発揮 されていることが分かる. V = 9.0 m/s の場合には入力エネ ルギーが大きいため, S30GL-E-V9.0 の場合は t = 40 ms 程 度, S30GW-E-V9.0 の場合は t = 80 ms 程度で $\sigma = 0.4 \text{ MPa}$ 程度の応力が生じていることが分かる. 波動継続時間に関 しては, 入力エネルギーの増加に対応して増加する傾向 にあることが分かる.

(d) 図より, 重錘貫入量波形は, V=4 m/s の場合には, いずれもリバウンドして最大貫入量よりも大きく跳ね返る傾

向を示していることが分かる.その後, $V \ge 6 \text{ m/s}$ の場合においては、いずれも正弦半波状の波形性状を示している.

3.2 各種応答値と入力エネルギーの関係

図-3には、各種応答値と入力エネルギーの関係を示している。(a)図より、最大重錘衝撃力は入力エネルギーの増加に対応して増加の傾向を示している。一方、最大伝達衝撃力は EPS ブロックの緩衝効果により、入力エネルギーにかかわらずほぼ同程度となっており、かつ最大重錘衝撃力の1/2~1/3程度に低減されており、ジオグリッドの配置位置にかかわらず緩衝効果が発揮されていることが分かる。

(b) 図より,載荷点直下の最大伝達衝撃応力はいずれの ケースも E = 12.8 kJ までは $\sigma = 0.20$ MPa 程度であり,十分 に荷重緩衝効果が発揮されていることが分かる.ただし, E = 16.2 kJ では $\sigma = 0.40$ MPa 程度まで増加していることか ら,ジオグリッドが破断しかつ重錘が EPS ブロックに深 く貫入していることを暗示している.従って,本実験の条 件下では,E = 12.8 kJ 程度が適用限界であるものと推察さ れる.

(c) 図より,最大貫入量および残留貫入量は全てのケースで入力エネルギーの増加とともにほぼ線形に増加し,大きな差は見受けられない.

3.3 伝達衝撃応力分布および破壊性状

図-4には、E = 7.2 kJ (V = 6.0 m/s) およびE = 16.2 kJ (V = 9.0 m/s) の場合における伝達衝撃応力分布を比較して示している. E = 7.2 kJ の場合には、いずれも伝達衝撃応力 も $\sigma = 0.2$ MPa 程度であり、EPS ブロックの広範囲に応力 が分散していることから、三層緩衝構造の効果が発揮され ていることが分かる. E = 16.2 kJ の場合には、下段および 上下段補強ともに載荷点近傍の応力が大きな値を示してお り、両者共にほぼ同様の伝達衝撃応力分布性状を示すこと が明らかとなった.

実験後の破壊性状に関しては、ここでは紙面の都合上示 していないが、上段補強であるS30GU-E-V6.0の場合は明 確なコーンが形成されていないが、他の場合はソイルセメ ント内部には押し抜きせん断コーンが形成されていた.ま た、S30GU-E-V6.0を除くケースでは下段ジオグリッドよ り下部のソイルセメントには中央部から放射状に細かいひ び割れが発生していたが、S30GU-E-V6.0では上段ジオグ







(c) S30GW-E

図-5 実験後の EPS ブロックの破壊状況(中心部切断面)

リッドより下部のソイルセメントおよび EPS が中央部から大きく割裂した.

図-5には, E = 7.2 kJ (V = 6.0 m/s) および E = 16.2 kJ (V= 9.0 m/s) の場合における EPS ブロック中心部切断面に おける破壊性状を比較して示している. E=7.2 kJ の場合 には、下段および上下段補強である S30GL-E-V6.0 および S30GW-E-V6.0 は上面が押し下げられ,かつ若干の押し抜 きせん断ひび割れが生じているのみであるが、上段補強で ある S30GU-E-V6.0 の場合は EPS 下面までひび割れが到達 し、EPS が割裂していることが分かる.これは、曲げ引張 側となるソイルセメントの下段をジオグリッドで補強する ことによりソイルセメントの拘束効果が発揮されるのに対 し、上段をジオグリッドで補強する場合はジオグリッド下 部におけるソイルセメントの拘束効果が十分得られず、荷 重分散性能を有効に発揮できずにソイルセメントおよび EPS ともに割裂してしまうためと考えられる. E = 16.2 kJ では下段および上下段補強ともに EPS に発生した押し抜 きせん断ひび割れが下面近傍まで到達しているものの,貫 通には至っていないことが分かる.

4. **まとめ**

本研究では、ジオグリッドの効果的な配置位置を決定す るための基礎資料を得ることを目的に、大きさが1m四方 の緩衝システムに関する重錘落下衝突実験を実施した.本 論文では、ソイルセメントの中にジオグリッドを設置する ことを条件に、上縁近傍、下縁近傍、上下縁近傍に設置し、 比較検討を行うこととした.実験の範囲で得られた知見を 整理すると、以下の通りである.

- 最大伝達衝撃力は、EPS ブロックの緩衝効果により、 入力エネルギーにかかわらずほぼ同程度の値を示し、 かつ最大重錘衝撃力の1/2~1/3 程度に低減され、ジ オグリッドの配置位置にかかわらず緩衝効果が発揮される。
- 最大伝達衝撃応力は、いずれのケースも E = 12.8 kJ までは σ = 0.2 MPa 程度となる.ジオグリッドにてソイルセメントの上段あるいは上下段を補強する場合、両者共にほぼ同様な伝達衝撃応力分布性状を示す.
- 3) ジオグリッドでソイルセメントにて上段を補強する場合は拘束効果が小さく,EPSの脆性的な破壊を抑制することは出来ないが、曲げ引張側となる下段を補強することにより荷重分散効果は有効に発揮される

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6.
- 川瀬良司,岸徳光,西弘明,牛渡裕二,刈田圭一:杭 付RC 落石防護擁壁の数値シミュレーションと簡易設 計法の提案,構造工学論文集,Vol.57A,pp.1213-1224, 2011.3