# 落石防護擁壁用三層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす 芯材ジオグリッド配置位置の影響

Effects of layout 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保木和弘 (Kazuhiro Hoki)(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小室雅人 (Masato Komuro)共和企興(株)非会員荒川浩幸 (Hiroyuki Arakawa)釧路工業高等専門学校フェロー岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

#### 1. はじめに

北海道の山岳部および海岸線は急峻な地形を呈してお り、このような地域を通る道路には、落石から人命や通行 車両、道路網を守るために落石防護施設が建設されてい る、これらの施設が受け持つ落石災害の規模は、計画時に 現地調査を実施した結果から設定され、建設後数十年経過 したものも多い、一方で、近年の異常気象(ゲリラ豪雨な ど)や対象斜面の経年劣化、調査手法の高度化により、設 計当時には想定され得なかった規模の落石要因が確認され るなど、落石防護施設の安全性向上が望まれているのが現 状である、しかしながら、これらを改築する場合には、既 設施設の撤去、仮設落石対策を含めた多大な国費を投じる こととなり、昨今の逼迫した財政下においては大きな負担 となる、

本研究の対象である落石防護擁壁は,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, 実際には落石時にこれらの施設に衝撃荷重が作用するた め,せん断破壊の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,衝撃 エネルギー吸収性能が大きく,安価な緩衝工を背面に設置 することが有効であると考えられる.

著書らの研究グループは、これまでに落石覆工用に開 発した三層緩衝構造(砂+RC版+EPSプロック)や落石 防護擁壁用の二層緩衝構造(RC版+EPSプロック)の原 理を応用発展させた「ソイルセメント+ジオグリッド+ EPSプロック」から構成される落石防護擁壁用の新たな三 層緩衝構造について研究開発を進めているところである (図-1).現在までの研究成果としては、ソイルセメント の厚さや強度、ジオグリッド設置位置の影響について室内 実験を実施し、各種材料が伝達衝撃力に及ぼす緩衝特性や 効果についてある程度の知見を得ている.さらに、落石防 護擁壁模型を用いた重錘衝突実験を実施することで,開発 した緩衝構造は優れた緩衝効果を発揮することが明らかに なっている.<sup>1)~3)</sup>

しかしながら,本工法をより実用的なものとするために は,これまでに検討してきた設計パラメータの範囲を広 げ,緩衝性能を把握することが必要である. このような観点より,本論文では,芯材であるジオグ リッドに着目し,ソイルセメントの上・中・下段に配置し た場合における緩衝効果に明らかにすることを目的に,ソ イルセメント中に設置するジオグリッド位置を3種類に変 化させた重錘落下衝撃実験を実施したので,報告する.

## 2. 実験概要

図 - 2 には,本研究に使用した実験装置の概略図を示し ている.本実験装置は,伝達衝撃力計測用の起歪柱型ロー ドセル(受圧面の直径 20 mm,容量 7 MPa)が設置された鋼 製底盤(1.6 m 四方,厚さ 75 mm)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)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,伝達衝撃応力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,その受圧面は底盤上面と面-となっている.

写真 - 1 には,重錘落下衝撃実験の状況を示している. 衝撃載荷実験は,所定の厚さに成形した試験体に対して, 平底鋼製重錘を所定の高さから供試体中央部に落下させる



図 - 1 提案の三層緩衝構造



図-2 実験装置概要

ことにより行っている.

衝撃載荷実験に使用した鋼製重錘は質量 400 kg 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.衝突 部直径は 200 mm であり,衝突部での片当たりを防止する ため,2 mm のテーパが設けられている.

表 - 1 には,実験ケースの一覧を示している.実験は, ソイルセメントの層厚およびセメント量を一定とし,ジオ グリッド配置位置と衝突速度をパラメータとしている.な お層厚は,EPS ブロックがt = 25 cm,ソイルセメントがt= 30 cm であり,セメント量は,C = 100 kg/m<sup>3</sup> である.

ソイルセメントの打設は,含水比を15%に調整した砂 を使用し,最適含水比とした段階で早強ポルトランドセメ ントを加えて攪拌した後,1×1mの型枠に5cm厚程度毎 に足踏みおよび突き固めにより締固めた.

実験ケース名は,ジオグリッド配置位置(下段配置:GL, 中断配置:GM,上段配置:GH)に,衝突速度V(m/s)をハ イフンで結び設定している.

また,図-3には本実験で使用している EPS ブロック の応力-ひずみ関係の概念図を示している.

# 3. 実験結果

# 3.1 時刻歴応答波形

図 - 4 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) 載荷点直下における伝達衝撃応力(以後, 伝達衝撃応力),(d) 重錘貫入量の時刻歴応答波形を示して いる.衝突速度は V = 6,8,9 m/s の各ケースについて示し ている.なお,本論文では,(b) 図の伝達衝撃力は底盤反 力の合計値を用いて評価することとした.

(a) 図より,最大応答値は衝突速度にかかわらず t = 2 ~ 3 ms 程度で生じており,衝突速度の増加に対応して最大応答値も若干であるが増加する傾向にある.波形性状は,

表 - 1 実験ケース一覧				
実験	ジオグリッド	載荷方法 衝突速度	入力エ ネルギー	圧縮強度
9-2	的且业且	(m/s)	(kJ)	(MPa)
GL-v6.0	下段	6.0	7.2	0.82
GL-v7.0		7.0	9.8	
GL-v8.0		8.0	12.8	
GL-v9.0		9.0	16.2	
GM-v6.0	中段	6.0	7.2	0.97
GM-v7.0		7.0	9.8	
GM-v8.0		8.0	12.8	
GH-v4.0	上段	4.0	3.2	1.09
GH-v5.0		5.0	5.0	
GH-v6.0		6.0	7.2	



写真 - 1 実験状況 (GM 試験体)



図 - 3 EPS ブロックの応力 - ひずみ関係(概念図)

最大応答値を示す第1波の発生後に,50kN程度の荷重が 継続する性状を示しており,衝突速度の増加に伴い荷重継 続時間が長くなる傾向を示している.これは,衝突速度の 増加に対応して衝突エネルギーも増加し,そのため貫入量 も大きくなることによるものと推察される.

(b) 図に示す伝達衝撃力に着目すると,荷重継続時間がt = 30~35 ms 程度である正弦半波状の第1波が発生してい る.その後20kN程度の荷重を維持し,緩やかに荷重低下 している.また,その継続時間は衝突速度の大きいV=8~ 9m/sのケースでより長くなる傾向にある.波形の履歴は, ジオグリッドの設置位置にかかわらずほぼ同様であるが、 中段および上段に配置したケースでは,下段に配置した場 合の最大応答値に至っていない.これは,後述するソイル セメントおよび EPS ブロックの破壊性状の差異によるも のと推察される. すなわち, ジオグリッドを下段に配置し た場合には、衝撃荷重が重錘衝突面からジオグリッドまで に伝搬する間に十分な荷重分散がなされ,より広範囲のジ オグリッドに荷重が伝達されることにより,荷重強度も減 少し, EPS ブロックに入力するためと推察される.しかし ながら,ジオグリッドを中段および上段に配置した場合に は, 重錘衝突面からジオグリッドまでの間で十分な荷重分 散が行われないことから,荷重強度が大きい状態でかつ局 所的な荷重が EPS ブロックに作用するためと推察される.

平成24年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第69号



図 - 5 各種応答値と入力エネルギーの関係

(c) 図より,載荷点直下の伝達衝撃応力は,衝突速度が 大きいほどに継続時間が長くなる傾向を示している.応力 は概ね EPS ブロックの応力特性に従い 0.2 MPa 程度で推移 しているが,衝突速度の大きい V = 9 m/s の場合において は,0.2 MPa 以上の応力が発生していることが分かる.こ れは,衝突速度が大きいことにより,EPS ブロックのひず みが 55%を超えて著しく変形したためと推察される.

(d) 図に示す重錘貫入量に着目すると,衝突速度の増加 に伴い,貫入量が増加する傾向にある.また,V=6m/sに おける最大貫入量は各ケースでほぼ同程度であるが,衝突 速度の大きいV=8m/sにおいては,下段配置のGL試験体 に比べて中段配置のGM試験体で,より大きな貫入量を示 している.これは,局所的な荷重がEPS ブロックに伝達し たことに起因しているものと推察される.

3.2 各種応答値と入力エネルギーの関係

図 - 5 に,入力エネルギーと各種応答値の関係を示す. (a) 図に示す入力エネルギーと最大重錘衝撃力の関係よ り,入力エネルギーの増加に伴い,重錘衝撃力は概ね線形 に増加していることが分かる.また,上段配置である GH 試験体に着目すると,他に比較して増加勾配が大きい傾向 にある.これは,ジオグリッドが上段に配置されているこ

とにより,衝突面での剛性が他ケースよりも大きくなった ことによるものと推察される.

(b) 図より,入力エネルギーと最大伝達衝撃力の関係に 着目すると,応答値は前述の最大重錘衝撃力よりも小さく なる傾向を示していることが分かる.また,荷重は各ケー スでほぼ一定値で推移しているが,ジオグリッドを上段 および中段に配置した GH/GM 試験体の値は,ジオグリッ ドを下段に配置した GL 試験体に比べて1割程度小さい傾 向を示している.これはソイルセメントが割裂し, EPS ブロックに局所的な荷重が作用したことによるものと推察される.

(c) 図より,載荷点直下における最大伝達衝撃応力に着 目すると,GH 試験体は入力エネルギーE = 12.8 kJ (V = 8m/s)時点までは 0.2 MPa 程度で推移しており,入力エネル ギーE = 16.2 kJ (V = 9 m/s)の段階で 0.2 MPa を超過した. 一方,中段配置である GM 試験体の場合には,入力エネル ギーE = 9.8 m/s (V = 7 m/s)時点で 0.2 MPa 以上の応力を示 している.これは,前述のようにソイルセメントが割裂し て荷重が広く分散されないために,荷重強度が大きい状態 で EPS ブロックに作用するためと推察される.

(d) 図より,最大重錘貫入量に着目すると,各ケースは 入力エネルギーの増加に対応してほぼ線形に増加している が,中段配置である GM 試験体の場合には増加勾配が大き い傾向を示している.これもソイルセメントの割裂によっ て荷重が広く分散しないこと等による影響であると推察さ れる.

#### 3.3 伝達衝撃応力分布

図 - 6 には,底版に設置された荷重計で計測された伝達 衝撃応力分布を時系列で示している.図よりGL 試験体に 着目すると,応力分布は,V=8 m/sの時点まではほぼ同程 度の応力(~0.2 MPa)が広範囲に分布していることが分か る.V=9 m/s には,載荷点近傍において大きな応力が分布 していることより,その領域におけるひずみは55%を超過 しているものと推察される.

GM 試験体において, V=6 m/s の段階では,GL 試験体 と同様にほぼ同程度の応力 (~0.2 MPa) が広範囲に分布す る傾向にある.V=7 m/s 以上の場合には,GL 試験体と同



図-6 伝達衝撃応力分布



図-7 衝撃実験終了時の破壊状況

様に 載荷点近傍において大きな応力が分布している.

以上より, EPS ブロックのひずみが 55%の範囲内(応力 が 0.2 MPa 以内)にある荷重レベルにおいては,衝撃力を 広範囲かつ平均的に荷重分散する傾向を示すことが明らか になった.また,ジオグリッドを下段配置した場合がより 大きな入力エネルギーに対応可能であることが明らかに なった.

3.4 破壊性状

図 - 7 には, 各ジオグリッド配置位置の最終衝突速度に おける実験終了後の破壊性状を示している.

せん断コーンに着目すると、ジオグリッドをソイルセメ ントの下方に配置するほど、せん断コーンが大きな形状と なることが分かる.また、ジオグリッド下のソイルセメン トの破壊性状は、ジオグリッドをソイルセメントの上方に 配置するほどひび割れ開口幅が大きい傾向である.これ は、ジオグリッドがより上部に配置されることで、ソイル セメント下方のひび割れ拘束効果が小さくなり、水平方向 への移動が卓越したことを示唆している.

EPS ブロックの破壊性状に着目すると,ジオグリッドを 上段配置した場合に割裂していることが分かる.これは下 方にジオグリッドが無いためにソイルセメントのひび割れ 開口を抑制できず, EPS ブロックは割裂したソイルセメン トの移動とともにそれに追従することで,ひび割れが発生 したものと考えられる.また,ジオグリッドの下段配置お よび中段配置の場合にはほぼ同様の破壊性状を示している が, EPS ブロックの陥没範囲は下段配置の場合が若干大き い傾向を示している.これは,下段にジオグリッドを配置 することで,中段配置に比較して荷重分散効果が大きいこ とを示している.

## 4. まとめ

本研究では,提案の三層緩衝構造を構成する材料の一つ である芯材ジオグリッドの最適な設置位置の把握を目的と して,ジオグリッド位置をソイルセメントに対して3種類 の位置に設置した場合について,重錘落下衝撃実験を実施 した.その結果,以下のことが明らかとなった.

- ジオグリッドを下段配置とすることにより,ソイルセ メントによるジオグリッド・EPS ブロックへの荷重分 散範囲が大きくなる.
- 2) ジオグリッドを下段配置とすることで,対応可能な衝突速度が大きくなり,より効果的に緩衝性能を発揮するものと考えられる.一方,上段配置とした場合には,対応可能な衝突速度が小さくなり,破壊性状もより脆性的な傾向を示す.

参考文献

- 1) 菅原慶太,岸 徳光,牛渡裕二,小室雅人,栗橋祐介: 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,土木学会北海道支部 論文報告集,A-34,CD-ROM,2012.2
- 2) 牛渡裕二,岸 徳光,栗橋祐介,鈴木健太郎: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,土木学会北海道支部論文報告 集,A-33,CD-ROM,2012.2
- 3) 牛渡裕二,岸 徳光,保木和弘,前田健一:ソイルセ メントを有する三層緩衝構造を設置した 1/2 スケール 落石防護擁壁模型に関する重錘衝突実験,コンクリー ト工学年次論文集,Vol.33,CD-ROM,2011.7