

ジオセル緩衝体を配置した 1/2 スケール擁壁の重錘衝突実験

Impact loading tests on half-scale rock-fall protection wall with Geocell absorbing system

東京インキ株式会社	○	大山亮貴 (Ryoki Oyama)
室蘭工業大学	正員	小室雅人 (Masato Komuro)
室蘭工業大学	正員	栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)
日本サミコン株式会社		村田佳久 (Yoshihisa Murata)
和光物産株式会社		渡邊 忍 (Shinobu Watanabe)

1. はじめに

重力式コンクリート製落石防護用壁は、設計対象となる落石衝撃力が小さいため、落石衝撃力の緩衝を目的とした緩衝体がほとんど設置されていないのが通常である。しかしながら、建設後の斜面危険度再点検や風化の進行により、近年では、建設当初の想定設計落石荷重を越える評価がなされることも多い。また、擁壁背面に緩衝体が設置されていない為に落石衝突時にコンクリート表面の局部損傷した事例も報告されている。このような背景の下、近年ではコンクリート製防護擁壁の背面に二層緩衝構造 (RC 版 + EPS ブロック) や三層緩衝構造 (ソイルセメント + ジオグリッド + EPS ブロック) などの緩衝体を新たに設置する構造が考案されている^{1)~4)}。

著者らも、新たな緩衝構造としてジオセル構造に着目して研究開発を行っている⁵⁾。ジオセル (写真-1) とは、板状の高密度ポリエチレン製素材を溶着することにより平面的連続性を持たせ、さらに、それらを展開することにより個々のセルからなる立体的ハニカム構造を形成する構造体である。ジオセルの落石防護構造物への適用は、すでに落石防護補強土壁の緩衝体への適用として研究がなされており、自然斜面を利用した実物大重錘落下実験が実施され補強土壁として評価されている⁵⁾。また、ジオセル構造は緩衝体として単一層形態である上に、地盤面から順次嵩上げしていく段積み構造であるため、施工の簡易性に優れているという特徴を有する。しかしながら、ジオセル構造を落石防護擁壁背面に設置した場合における緩衝効果については、未だ検討されていないのが現状である。

このような背景より、本研究では、落石防護擁壁用の新しい緩衝工の開発を目的として、単粒度碎石を充填したジオセル (以後、ジオセル緩衝体) を積層する工法に着目し、その緩衝効果を実験的に検討した。実験は提案の緩衝工を配置した 1/2 スケール落石防護擁壁に対し、重錘を水平方向に衝突させる形で行った。



写真-1 実験に使用したジオセルの外観

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、擁壁模型およびジオセル緩衝体の概要を示している。擁壁の寸法は、実規模の 1/2 程度とし、壁高 $H = 1.5$ m、延長 $L = 2.0$ m、天端幅 $b = 0.3$ m であり、擁壁背面 (重錘衝突面) は鉛直、擁壁前面は 1:0.3 の勾配となっている。ジオセル緩衝体は擁壁背面に厚さ 800 mm で配置した。なお、ジオセルは、勾配を設けずに積層した。

ジオセルの中詰め材には単粒度碎石 6 号を充填し、1 層ごとに振動プレートで転圧した後、次層のジオセルを積層した。さらに、ジオセルの切断による中詰め材のこぼれだしを最小限に抑えるために、幅方向全域にジオネットを 1 段につき 1 セット敷設した。

2.2 実験方法

表-1には、試験体一覧を示している。試験体名は緩衝材の有無 (N: なし, G: あり) と重錘落下高さ H (m) の組み合わせとしている。また、表には目標および実測衝突速度 (m/s)、実測入力エネルギー (kJ) を併せて示している。なお、G 試験体の場合には同一の擁壁に繰り返し載荷を行っている。

実験は写真-2に示すように、門型の鋼製フレームに吊り下げられた鋼製重錘を着脱装置を介して、ラフタークレーンにより所定の高さまで吊り上げ、振り子運動によって試験体の所定の位置に水平衝突させることにより行っている。本実験に用いた重錘は質量 3,000 kg、直径 1 m の円柱状であり、衝突面は球面状となっている。重錘衝突位置は、重錘中心が擁壁の半分の高さになるように地表面より 750 mm 上方の位置としている。なお、延長方向の重錘衝突位置は擁壁の中央としている。

本実験における測定項目は、重錘頂部表面に設置したひずみゲージ式加速度計 (容量 100 G、応答周波数 DC ~ 2 kHz) による重錘衝撃力、高速度カメラによる重錘衝突速度および重錘貫入量である。実験時の各種波形については、サンプリングタイム 0.1 ms でデジタルデータレコーダーにて一括収録している。なお、重錘衝突速度および重錘の貫入量は高速度カメラにより撮影された画像データを用いて、重錘に貼付したターゲットマーカの移動量から算出した。また、実験終了後には試験体の破壊性状の写真撮影を行っている。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

写真-3には、N-1.0 試験体の実験終了後における擁壁前面のひび割れ状況を示している。なお、N-1.0 試験体は重錘衝突後大きく傾いたものの、転倒には至っていない。

写真より、擁壁前面 (衝突面の裏面) において、載荷点近傍には曲げ変形に起因する格子状のひび割れが発生していることが分かる。また、下部には押し抜きせん断ひび割れに起因

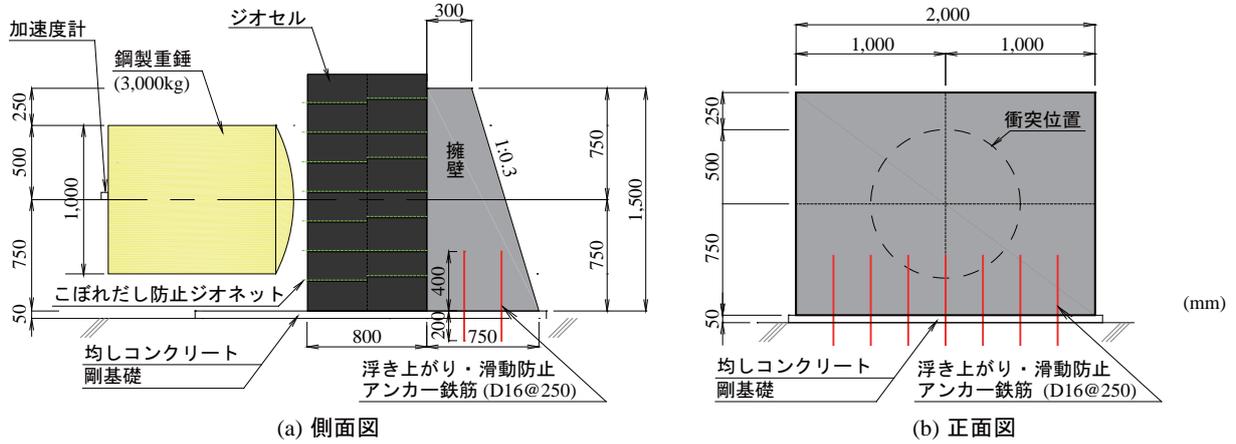


図-1 擁壁模型およびジオセル緩衝体の概要

表-1 試験体一覧

試験体名	緩衝工の有無	重錘落下高さ (m)	目標衝突速度 (m/s)	実測衝突速度 (m/s)	入力エネルギー (kJ)
N-1.0	なし	1.0	4.43	4.69	33.0
N-1.2		1.2	4.85	5.33	35.3
G-1.0	あり	1.0	4.43	4.72	33.4
G-3.0		3.0	7.67	8.58	110.4
G-5.0		5.0	9.90	11.5	199.1



写真-2 実験状況



写真-3 擁壁の破壊性状 (N-1.0 試験体)

する面外方向のずれを伴うひび割れが発生している。このように、緩衝体を設置しない場合には、30 kJ 程度の入力エネルギー作用時において、数多くのひび割れが発生することが明らかになった。

一方、ジオセル緩衝体を設置した場合には、後述するように、200 kJ 程度の入力エネルギーが作用し擁壁が転倒した場合においても、ひび割れが全く発生していないことを確認している。

写真-4には、N-1.2, G-3.0/5.0 試験体の重錘衝突時の状況を連続的に示している。写真より入力エネルギーが35 kJ 程度であるN-1.2 試験体の場合には、重錘衝突後擁壁が大きく傾いていることが分かる。なお、実験では、その後擁壁は転倒した。

これに対し、G-3.0 試験体の場合には、入力エネルギーがN-1.2 試験体の場合よりも3倍程度大きいにもかかわらず、重錘衝突による擁壁の傾きは極めて小さい。なお、入力エネル

ギーが200 kJ 程度であるG-5.0 試験体の場合には、重錘の貫入とともにジオセル緩衝体が崩壊し、擁壁が大きく傾き、その後擁壁は転倒した。

これらのことより、ジオセル緩衝体を擁壁背面に設置することにより、擁壁の損傷および転倒を大きく抑制可能であることが明らかになった。

3.2 重錘衝撃力および重錘貫入量波形

図-2には、各実験ケースにおける重錘衝撃力および重錘貫入量波形を示している。なお、重錘貫入量は、重錘衝突時の時刻をゼロとし、それ以降における水平方向の移動量である。また、擁壁頂部に取り付けたターゲットマーカーの移動量についても、図中の破線にて併せて示している。ただし、N-1.0 試験体の擁壁移動量は、実験条件の都合上測定されていない。図より、N 試験体の重錘衝撃力波形は、重錘衝突直後振幅が大きく継続時間の短い第1波が発生し、その後過減衰の自由振動状態に至っていることが分かる。

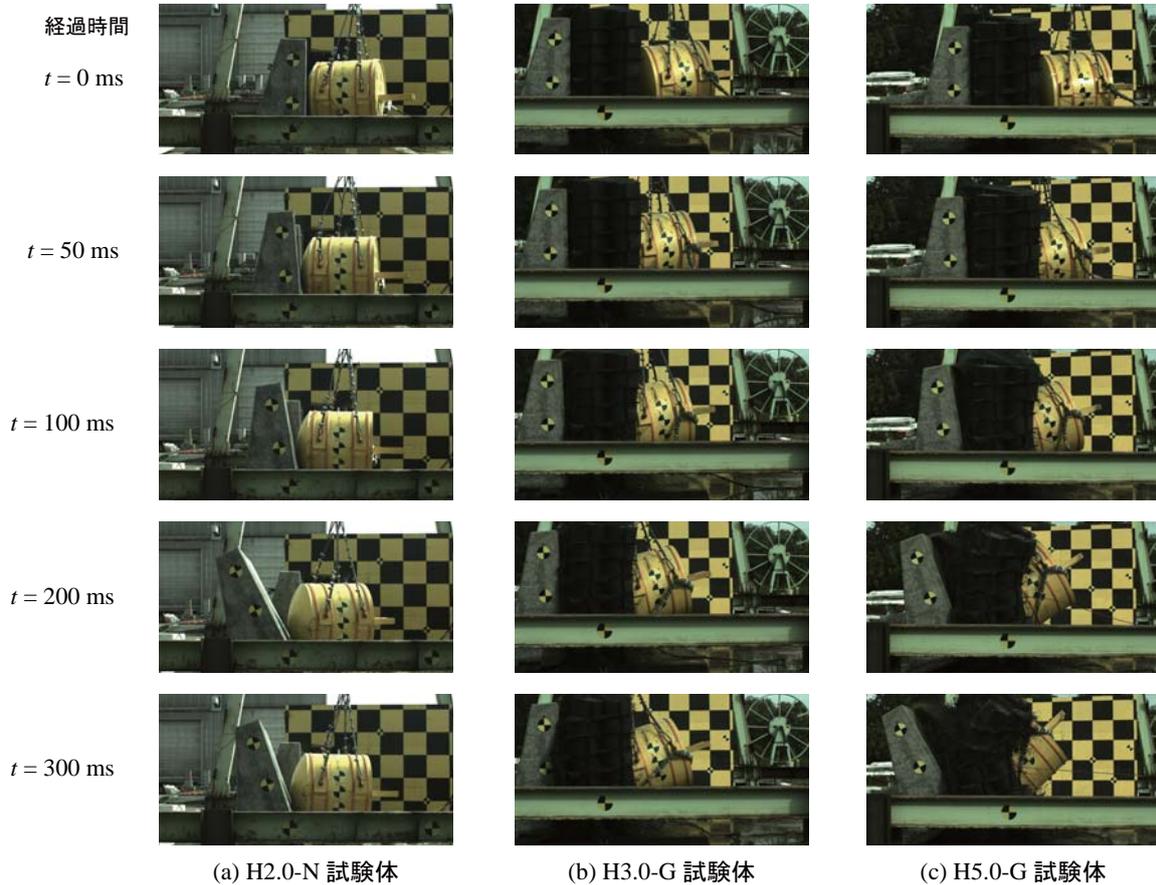


写真-4 重錘衝突時の状況

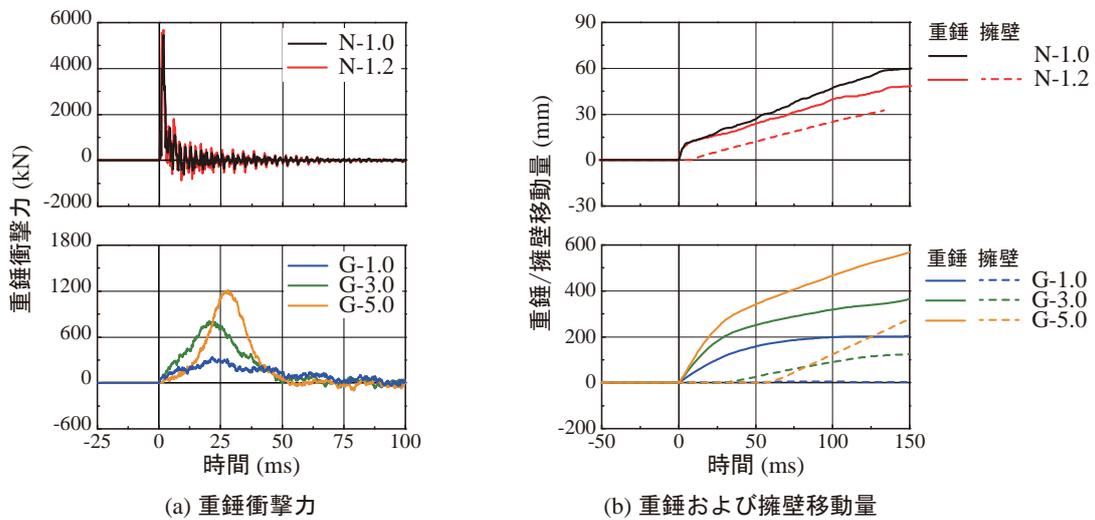


図-2 重錘衝撃力および重錘貫入量波形

一方、G試験体の場合には、落下高さ H によらずN試験体の場合よりも振幅が小さくかつ継続時間の長い波形性状を示している。また、重錘衝撃力波形の振幅は、落下高さ H の増加に伴って大きくなる傾向にある。なお、波形の立ち上がりの性状は、G-5.0試験体の場合がG-3.0試験体の場合に比較して緩やかである。これは、G-5.0試験体の場合には、繰り返し载荷の影響により重錘衝突部のジオセル緩衝体が損傷し、碎石の一部が消失していることによるものと考えられる。

(b)に示す重錘貫入量に着目すると、N試験体の場合には重錘衝突直後に急激に立ち上がり、その後、増加勾配が緩やか

になっている。勾配変化時の時刻と前述の重錘衝撃力が最大値を示す時刻がほぼ同様であることより、N試験体の場合には、重錘が背面に10mm程度貫入しているものと考えられる。

G試験体の重錘貫入量はN試験体と比較してゆるやかに増大している。その後経過時間 $t=20\sim 25$ msにおいてその勾配は、さらにゆるやかになっている。G試験体においても、勾配変化時の時刻と最大重錘衝撃力発生時の時刻がほぼ同様であることから、重錘貫入量はG-1.0/3.0/5.0試験体においてそれぞれ100, 200および300mm程度であるものと推察される。

擁壁頂部の移動量は、N-1.2試験体の場合には重錘衝突直後

表-2 実験結果一覧

試験体名	緩衝工の有無	重錘落下高さ (m)	最大重錘衝撃力 (kN)	実験後の擁壁の状況	入力エネルギー (kJ)
N-1.0	なし	1.0	5,451	転倒なし	33.0
N-1.2		1.2	5,685	転倒あり	35.3
G-1.0	あり	1.0	340.2	転倒なし	33.4
G-3.0		3.0	806.4	転倒なし	110.4
G-5.0		5.0	1,210	転倒あり	199.1

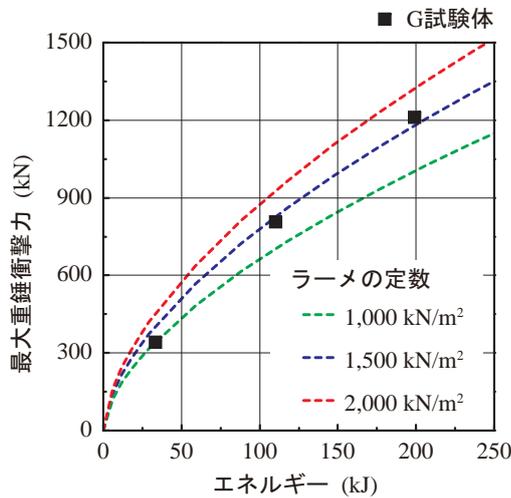


図-3 重錘衝撃力と入力エネルギーとの関係

に増加していることが分かる。これに対し、G-1.0 試験体の場合には、擁壁はほとんど移動していない。従って、ジオセル緩衝体が入力エネルギーを全て吸収しているものと考えられる。また、G-3.0 および G-5.0 の場合には、それぞれ経過時間 $t = 30$ および 70 ms 程度までは擁壁移動量が零であり、その後擁壁が移動している。従って、これらのケースの場合には、重錘がジオセル緩衝体に貫入する過程において伝達衝撃力が増大し、擁壁の転倒安定限界を超過したものと考えられる。

図-3 には、G 試験体の場合における重錘衝撃力と入力エネルギーとの関係を示している。また、図には、日本道路協会落石対策便覧⁶⁾に基づいて算出した重錘衝撃力についても示している。図より、入力エネルギーの増大に伴い重錘衝撃力が大きくなっていることが分かる。また、これらの値は、ラーメの定数を $1,500 \text{ kN/m}^2$ とした場合の計算値と概ね対応していることが分かる。従ってジオセル緩衝体を用いる場合の重錘衝撃力は、ラーメの定数を $1,500 \text{ kN/m}^2$ とし落石対策便覧式により評価可能であるものと考えられる。

3.3 緩衝効果の評価

表-2 には、実験結果の一覧を示している。表より、落下高さ $H = 1.0 \text{ m}$ の結果に着目すると、G-1.0 試験体の重錘衝撃力が N-1.0 試験体の場合の $1/20$ 程度に低減されていることが分かる。

また、N 試験体の場合には $H = 1.2 \text{ m}$ において擁壁が転倒しているのに対し、G 試験体の場合には $H = 3.0 \text{ m}$ においても転倒していない。このことから、擁壁の転倒安定性を入力エネルギーの観点から評価すると、相似則より上述の転倒安定性向上効果は 17.4 倍であるものと評価される。なお、転倒安定性の向上した要因としては、緩衝体設置による衝撃荷重の低減およびその分散効果などによるものと考えられる。今

後は、これらについて検討するとともに、合理的設計法の確立に向けた検討を進めていく必要があるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では落石防護擁壁用の新しい緩衝工の開発を目的として、単粒度碎石を充填したジオセルを積層する工法に着目し、その緩衝効果を実験的に検討した。実験は、提案の緩衝工を配置した $1/2$ スケール落石防護擁壁に対し、重錘を水平方向に衝突させる形で行った。

本実験より得られた知見を整理すると以下のとおりである。

- 1) ジオセル緩衝体を配置することにより、重錘衝撃力を $1/20$ 程度に低減可能である。
- 2) 提案の緩衝工を用いる場合の重錘衝撃力は、振動便覧式を用い、ラーメの定数を $1,500 \text{ kN/m}^2$ とすることで算定可能である。
- 3) 擁壁の転倒安定性を相似則を考慮し、入力エネルギーの観点から評価すると、提案の緩衝工を用いることにより 15 倍以上向上可能である。

参考文献

- 1) 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, pp.1567-1578, 2002.3
- 2) 川瀬良司, 岸 徳光, 今野久志, 鈴木健太郎: 二層緩衝構造と杭基礎を併用した壁式落石防護擁壁の開発に関する数値解析的検討, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.1285-1294, 2006.3
- 3) 今野久志, 岸 徳光, 川瀬良司, 石川博之: 杭付形式 RC 落石防護擁壁の耐衝撃性能に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.751-756, 2007.7
- 4) 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.34, No.2, pp.727-732, 2012.7
- 5) 田島与典, 前川幸次, 島田 優, 村田佳久, 明永卓也, 渡邊 忍, 難波正和, 遠田真澄: 実物大斜面落石実験によるジオグリッドとジオセルを用いた補強土壁の評価, ジオシンセティックス論文集, 第 25 巻, pp.221-226, 2010.12
- 6) (社) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.6