

単粒度碎石を充填したジオセルの緩衝効果に関する実験的研究

Experimental study for absorbing effects of Geocell wall filled with one-size aggregate

大山亮貴*, 小室雅人**, 栗橋祐介***, 村田佳久****, 渡邊 忍*****

Ryoki Oyama, Masato Komuro, Yusuke Kurihashi, Yoshihisa Murata, and Shinobu Watanabe

* 東京インキ株式会社, 生産技術部 (〒114-0002 東京都北区王子 1 丁目 12-4)

ry-ohyama@tokyoink.co.jp

** 博(工), 室蘭工業大学准教授, 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

*** 博(工), 室蘭工業大学講師, 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

**** 日本サミコン株式会社, 技術本部 (〒950-0925 新潟市中央区弁天橋通 1 丁目 8-23)

***** 和光物産株式会社, 防災事業部 (〒951-8141 新潟市中央区関新 1 丁目 2-34)

In this paper, to investigate the absorbing effects of a new absorbing system by means of Geocell filled with one-size aggregate, the impact loading tests of the new system were conducted. Here, to measure the transmitted impact stresses, total 24 load-cells were embedded in the rigid wall behind the new system. The high speed camera was also used to precisely record the impact resistant behaviors of the system. From this study, the following results were obtained: (1) maximum impact force can be better evaluated by means of Hertz contact theory with Lamé's constant $\lambda = 1,500 \text{ kN/m}^2$; and (2) transmitted stress was distributed within both sides of 1,000 mm in the horizontal direction from impact loading point and the maximum transmitted stress was developed at a slightly lower position from the loading point.

Key Words : Geocell, impact loading test, absorbing effect, transmitted impact stress

キーワード : ジオセル, 衝撃載荷実験, 緩衝効果, 伝達衝撃応力

1. はじめに

国土が狭いうえに山岳地帯が多い我が国では山間部を縫うように道路が建設されている。これらの道路には斜面の落石から走行車両や人命を守るため様々な形式の落石防護構造物が建設されている。その落石防護構造物の1つに写真-1に示す重力式コンクリート製落石防護擁壁があり、比較的小規模な落石の発生が想定される斜面の防護構造物として数多く採用されている。

重力式コンクリート製落石防護擁壁は、設計の対象と



写真-1 コンクリート製落石防護擁壁の例

す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斜面の風化の進行により、近年では、建設当初の想定設計落石荷重を超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ために落石衝突時にコンクリート表面の局部損傷が懸念されるのも事実である。そのため過去に建設され供用されている落石防護擁壁の耐衝撃性能の向上や局部損傷の具体的回避手段が求められることが多くなってきている。

このような背景のもと、近年では、これらを有効かつ安価に解決する方策として、コンクリート製防護擁壁の背面に緩衝体を新たに設置する構造が考案されている。

例えば、表層材にRC版、裏層材に発泡スチロールを用いた二層緩衝構造に関しては、実大実験によって緩衝効果を確認するとともに、数値解析を行ったうえで合理的な設計手法を確立している¹⁾。さらに、この二層緩衝構造とフーチングが不要な杭付落石防護擁壁を組み合わせることにより、緩衝効果の実現と斜面掘削の不要を兼ね備えた複合的落石防護擁壁が提案され²⁾、実規模試験体を用いて衝撃実証実験が行われ³⁾、実用化されている。ま

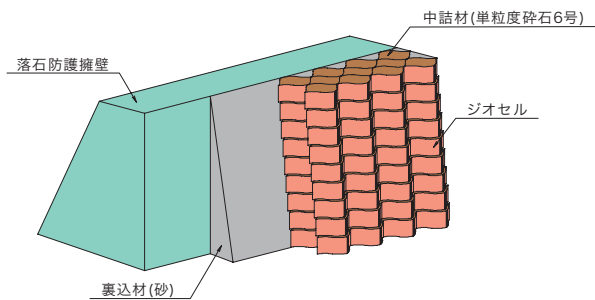


図-1 提案するジオセル緩衝体



写真-2 ジオセル

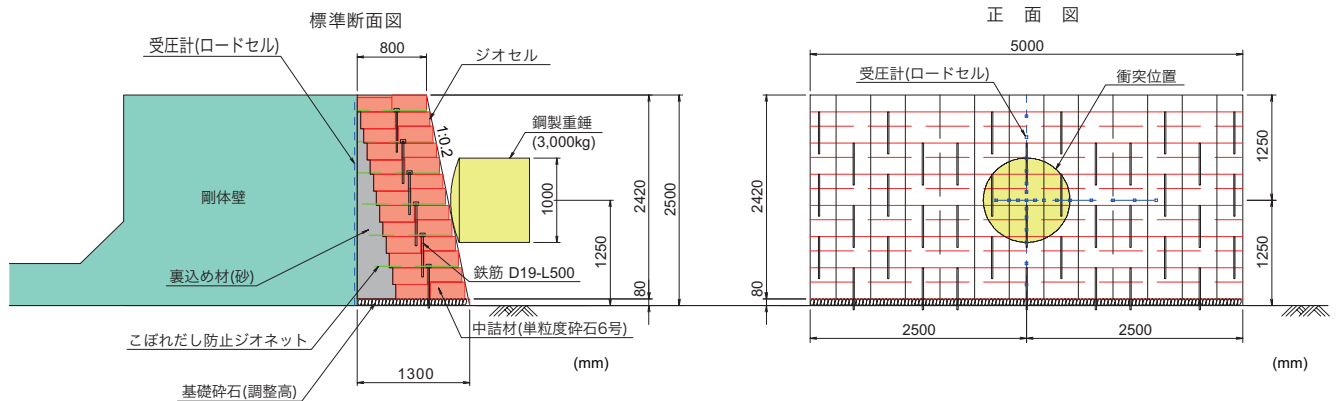


図-2 試験体概要

た、これらの研究開発から得られた二層緩衝構造の緩衝メカニズムを発展させ、より効果的な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、裏層材に発泡スチロールを用いた三層緩衝構造が提案され、1/2スケール落石防護擁壁の重錘衝撃載荷実験の実施により⁴⁾、効果の実証がされている。このようにコンクリート製落石防護擁壁の性能向上に用いることを主目的とした緩衝体の提案研究は、緩衝効果の実験的数値解析的実証が積極的に進められ、実用化に至っている。

筆者らも、これらを代表とした落石防護擁壁用の緩衝体の新たな構造として、特に施工性に主眼をおくことによりジオセル構造に着目して研究開発を行っている。ジオセル(写真-2参照)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。これらの形成された個々のセルに土や碎石を充填することにより、落石等の荷重を受けた場合にセル個々の拘束が発揮され高い補強効果が期待できるものである。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の緩衝体として評価がされている⁵⁾。一方で、コンクリート製落石防護擁壁に対する緩衝体としての適用性に関しては、未だ十分な検討は行われていない。この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。

本研究では、コンクリート製落石防護擁壁の緩衝体として、図-1に示すようなジオセルを用いた新しい緩衝体を提案し、その緩衝効果の把握を目的に重錘を用いた実規模衝撃実験を実施した。ここでは、擁壁を模擬した剛体壁前面に提案の緩衝体を設置し、振り子運動により重錘を水平衝突させることにより、実験を実施している。なお、本実験では、剛体壁にロードセルを埋め込み、伝達応力を測定している。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

図-2には試験体の概要を、図-3にはジオセル緩衝体の背面に設置したコンクリート製剛体壁前面におけるロードセルの配置状況を示している。また、写真-3にはジオセル緩衝体の設置状況を示している。

本実験で使用した試験体は、幅 5,000 mm、高さ 2,500 mm であり、剛体壁前面を全て覆うように施工している。剛体壁には、図-3に示すように全 24 個の伝達衝撃応力測定用ロードセルを重錘衝突位置を基準に水平、鉛直方向に埋設している。なお、ロードセルは重錘衝突位置を基準として、左側に 3 個、右側に 8 個、鉛直上下方向にそれぞれ 6 個を規則的に配置している。

緩衝体の施工に使用したジオセルは、展開時の寸法が

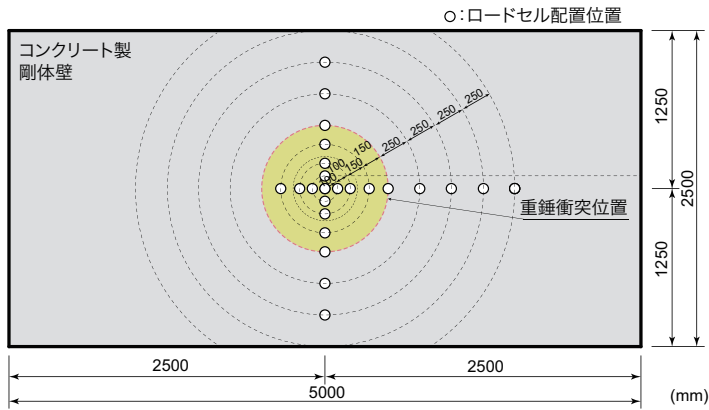


図-3 剛体壁前面におけるロードセル配置状況



写真-3 使用した試験体



(1) ジオセルの設置 (最下段)



(2) 中詰材投入・転圧 (最下段)



(3) ジオセルの設置 (2 段目)



(4) 中詰材投入・転圧 (2 段目)



(5) ジオネットの敷設



(6) 鉄筋アンカーの打設

写真-4 ジオセル緩衝体の作製手順

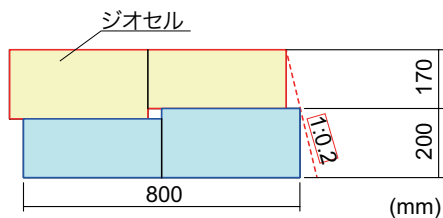


図-4 ジオセル積層方法

厚さ 800 mm，幅 2,000 mm，高さが 200 mm 部分と 170 mm の部分を持つ階段状となっている。このため，幅方向には 3 つのジオセルをビスを使って接合することで施工した。また，高さ方向には，底部に基礎碎石を 80 mm 敷きならした後に，図-4 に示すようにジオセル 2 段で高さ 370 mm となるように，高さ 200 mm 部と 170 mm

部を交互に全 12 段積み上げ，最上段のみ 1 段で施工することによって高さを 2,500 mm となるように仕上げた。

試験体の中詰材には，全国的に入手しやすく空隙により排水性能や凍上防止性能のよい単粒度碎石 6 号を充填し，1 層ごとに充填材の砂と合わせて振動プレートで転圧した後，次段のジオセルを積み上げた。また，緩衝体の安全性と施工性を考慮して，重錘の衝突面が 1:0.2 の勾配 (2 分勾配) になるように 1 層につき 40 mm セットバックをして施工している。上下方向には，各段ユニットの連結効果を高めるために鉄筋 D19 (長さ $L=500$ mm) にて連結している。さらに，ジオセル溶着部の剥離による中詰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 2 段につき 1 セット敷設した。写真-4 にはジオセル緩衝体の作製手順を示している。

表-1～表-4 には，それぞれ実験にて使用した砂，碎

表-5 実験ケース一覧

| 試験体名 | 緩衝材 | 重錘質量 (ton) | 落下高さ (m) | 実測重錘衝突速度 (m/s) | 入力エネルギー (kJ) |
|--------|---------------------------|---------------|-------------|-------------------|-----------------|
| H2.0 | 単粒度碎石 6号 (粒度 13~15 mm) | 3 | 2 | 6.3 | 59.0 |
| H3.75 | | | 3.75 | 8.7 | 114.3 |
| H5.0 | | | 5 | 9.6 | 138.5 |
| H7.0 | | | 7 | 12.5 | 233.3 |
| H9.0 | | | 9 | 13.5 | 273.0 |
| H7.0-R | | | 7 | 12.1 | 220.3 |

表-1 砂

| 産地 | 種類 | 粒径 (mm) | 単位容積 質量 (kg/L) | 表乾 密度 (g/cm ³) | 吸収率 (%) |
|-----|-----|------------|----------------------|----------------------------------|------------|
| 知津狩 | 細目砂 | 1.18 以下 | 1.41 | 2.56 | 2.83 |

表-2 単粒度碎石 6号

| 産地 | 種類 | 粒径 (mm) | 単位容積 質量 (kg/L) | 実積率 (%) | 表乾 密度 (g/cm ³) | 吸収率 (%) |
|----|----|------------|----------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 札幌 | 碎石 | 13~5 | 1.49 | 59.4 | 2.58 | 2.92 |

表-3 ジオセル

| セル サイズ | 展開時 製品 サイズ (mm) | セル数 | シートの 厚み (mm) | セルの 高さ (mm) | 溶着 強度 (N) | 材質 |
|--------------|--------------------------|-------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------|
| 400 × 400 | 800 × 2000 | 5 × 2 | 1.7 以上 | 170, 200 | 2,200 以上 | ポリプロ ピレン |

表-4 ジオネット

| 規格寸法 | | 引張強度 縦方向 (kH/m) | 材質 | 開口径 (実測値) |
|----------|-----------|-----------------------|---------------|---------------------|
| 幅 (m) | 長さ (m) | | | |
| 1.0 以上 | 30 以上 | 10.0 以上 | 高密度 ポリエチレン | 楕円 8 mm × 5.5 mm |

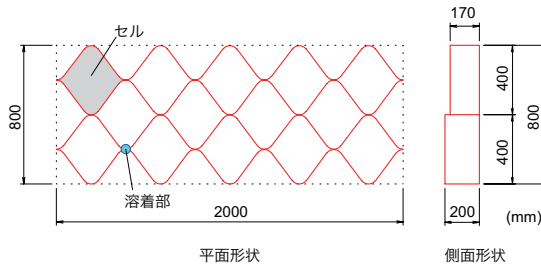


図-5 ジオセルの形状寸法

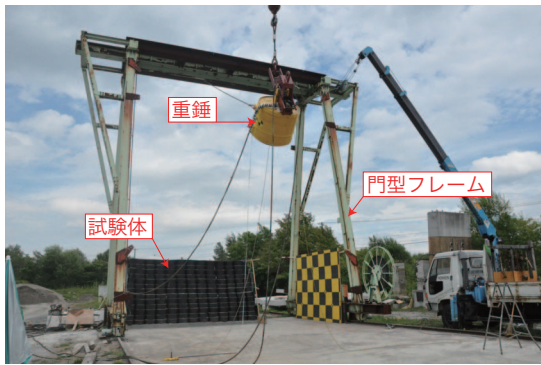


写真-5 実験状況

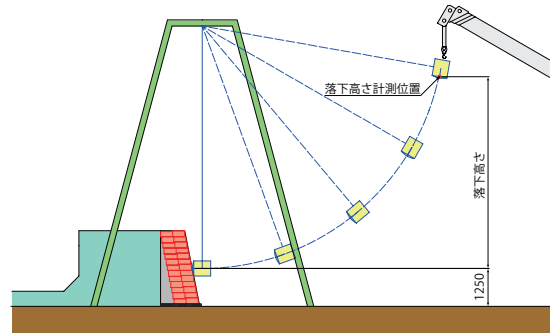


図-6 落下高さの計測方法

石、ジオセルおよびジオネットの材料物性値を示している。また、図-5にはジオセルを展開した際の形状寸法を示している。

2.2 実験方法

表-5には、実験ケースの一覧を示している。表中の試験体名のHに付随する数字は落下高さ(m)を意味して

いる。なお、H7.0-Rは、落下高さ $H=9.0$ mで実験を実施した後に同一試験体に対して試験体を補修することなく、 $H=7.0$ mで落下させたことを意味する。

実験は写真-5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、ラフテレーン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、重錘中心が剛体壁の半分の高さとなるように地表面より1,250 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剛体壁の中央としている。また、落下高さは図-6に示すように重錘の衝突面中央から計測しているため、表-5に示す実測重錘衝突速度は理論値よりも大きい値となっている。なお、落下高さ5

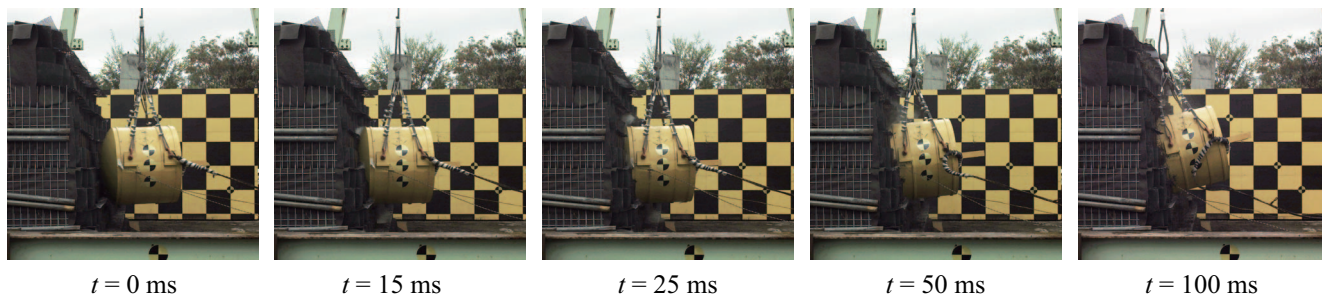


写真-6 重錘衝突時の貫入状況(H9.0の場合)



(a) H2.0



(b) H5.0



(c) H9.0



(d) H7.0-R

写真-7 実験終了後の破壊性状

mの実験ケースは、摩擦等によるエネルギーロスが大きかったために理論値よりも小さな衝突速度となっている。

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、剛体壁前面に埋め込まれたロードセルによる伝達衝撃応力、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。実験時の各種応答波形については、サンプリングタイム 0.1 ms でデジタルデータレコーダにて一括収録を行っている。なお、重錘の衝突速度および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ー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. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

写真-6には、H9.0における重錘衝突時の貫入状況を時系列で示している。試験体の前面は2分勾配を有していることより、重錘が試験体に衝突した後、重錘後方が上方に若干回転しながら貫入していく様子が伺える。

写真-7には、H2.0, H5.0, H9.0 および H7.0-Rの実験終了後におけるジオセルの破壊性状を示している。写真-7より、落下高さの増大とともにジオセルの損傷度が激しくなる傾向にあることが分かる。また、損傷範囲においても落下高さの増大とともに拡大し、特に下方に広がっていることが確認できる。なお、ジオセルは溶着部の剥離によって破壊に至っており、損傷が激しい場合は多量の碎石が緩衝体から流れ出ていることが確認できる。しかしながら、2段ごとに配置したジオネットの抑制効果により、ジオネットを配置しない場合に比べて流れ出る碎石の量が少ないことを実験的に確認している。

3.2 各種応答波形

図-7には、重錘衝撃力、高速度カメラの画像解析から求めた重錘貫入量および伝達衝撃応力に関する時刻歴応答波形を示している。なお、(c)図の伝達衝撃応力については、H3.75 および H7.0-R の場合を除き最大値を示した、重錘衝突位置から 100 mm 下方のロードセルによる結果を示している。なお、連続载荷の場合(H7.0-R)のみ、最大応力が重錘衝突位置から 500 mm 下方で生じていることより、その結果も併せて示している。

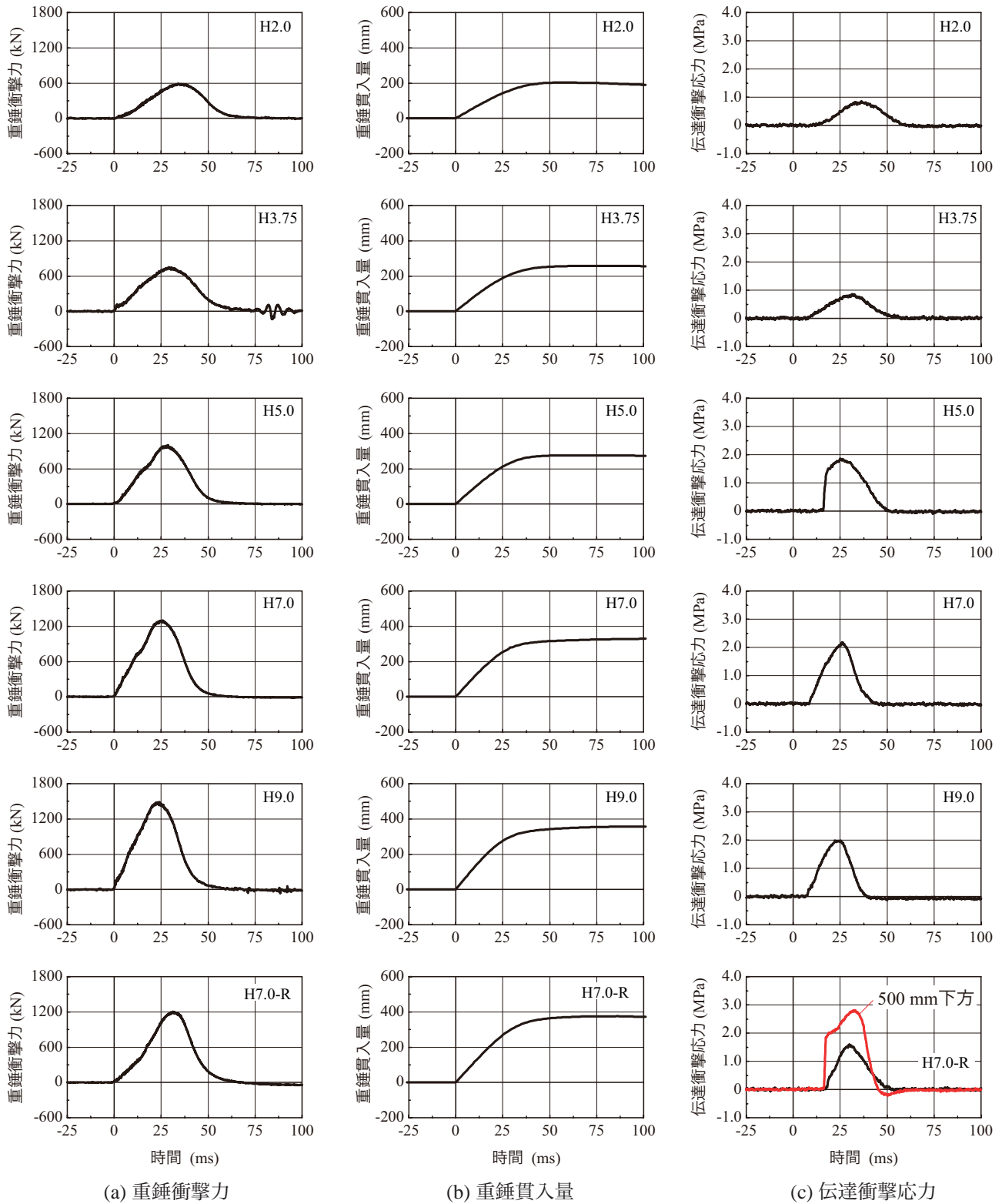


図-7 各種時刻歴応答波形

図-7(a)より、重錘衝撃力波形は、いずれも正弦半波状の1波のみで構成されている。単一载荷の場合では、重錘衝撃力の最大値は、重錘の落下高さの増加に伴って増加する傾向にあることが分かる。また、波形の継続時間はH2.0およびH3.75では60ms程度、H5.0では約55ms程度、H7.0およびH9.0では約50ms程度であり、重錘の落下高さが大きくなるほど継続時間は短くなる傾向にある。一方、载荷の場合(H7.0-R)では、重錘衝撃力の最

大値は同一の落下高さであるH7.0とほぼ等しい値を示しているものの、波形の継続時間は約60ms程度と若干長く、H2.0およびH3.75の場合と同程度となっている。

図-7(b)より、最大重錘貫入量は、落下高さの増加に比例して増大していることが分かる。また、最大値を示す時間は、H2.0、H3.75およびH5.0では、約50msであるのに対して、H7.0、H9.0およびH7.0-Rでは約75msである。なお、全実験ケースを通しての最大重錘貫入量は、

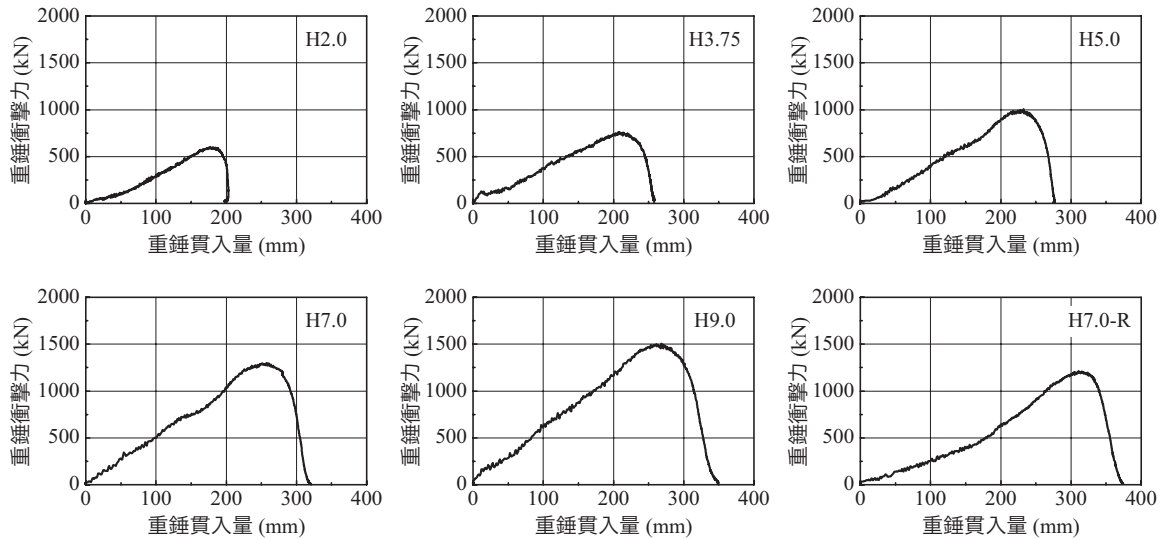


図-8 重錘衝撃力と重錘貫入量の関係

表-6 実測入力エネルギーと吸収エネルギー

| 実験ケース | 実測入力エネルギー E_i (kJ) | 吸収エネルギー E_a (kJ) | エネルギー比 E_a/E_i |
|--------|----------------------|--------------------|------------------|
| H2.0 | 59.0 | 58.0 | 0.98 |
| H3.75 | 114.3 | 105.5 | 0.92 |
| H5.0 | 138.5 | 141.5 | 1.02 |
| H7.0 | 233.3 | 224.3 | 0.96 |
| H9.0 | 273.0 | 283.0 | 1.04 |
| H7.0-R | 220.3 | 204.8 | 0.93 |

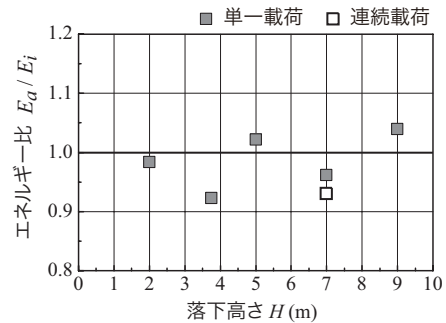


図-10 落下高さエネルギー比の関係

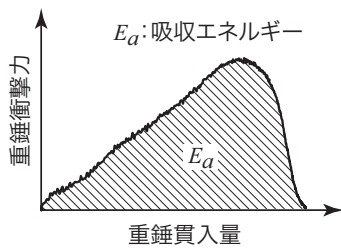


図-9 吸収エネルギーの算出方法

375 mm であり、緩衝体全幅 (800 mm) の 5 割にも達していない。

図-7(c) より、伝達衝撃応力は、単一および連続載荷のいずれの場合においても重錘衝突時刻から 10 ~ 15 ms 遅れて励起していることが分かる。また、H5.0 の場合を除き、いずれの場合も正弦半波状の 1 波のみで構成されている。一方、連続載荷における 500 mm 下方の結果(赤線)を見ると、波形がほぼ垂直に立ち上がり、かつピーク値が 2 箇所あるような不規則な波形を示している。また、落下高さ 7 m の場合の単一載荷と連続載荷における伝達衝撃応力(100 mm 下方)を比較すると後者の方が前者よりも小さく示されている。これは、第 1 衝突時に緩衝体前面が損傷し、最前列のジオセル溶着部が剥離するとともに碎石が下方に流出した状態(写真-7c 参照)に対して

載荷実験を実施していることに起因しているものと考えられる。

3.3 実測入力エネルギーと吸収エネルギーの関係

図-8 には、実験結果から得られる重錘衝撃力と重錘貫入量の関係を示している。図より、単一載荷の場合には、重錘衝撃力は重錘貫入量に比例してほぼ線形に増大し、最大値に到達後、急激に減少していることが分かる。一方、連続載荷 (H7.0-R) の場合には、重錘衝撃力の初期勾配が同一落下高さである H7.0 の場合と比較して緩やかであることが分かる。これは、前述のように第 1 衝突時において緩衝材前面が損傷していることによるものと考えられる。

表-6 には、実測重錘衝突速度から算出される実測入力エネルギー E_i (以後、単に入力エネルギー) と図-9 に示すように重錘衝撃力と重錘貫入量の関係から評価される吸収エネルギー E_a を比較して示している。また、図-11 には、縦軸にエネルギー比、横軸に落下高さを取って整理したものである。

表-6 および 図-11 より、両者のエネルギー比 E_a/E_i を見ると、落下高さによって多少のバラツキが見られるものの、0.92 ~ 1.04 の範囲に分布しており、両者はほぼ等しいことが確認される。

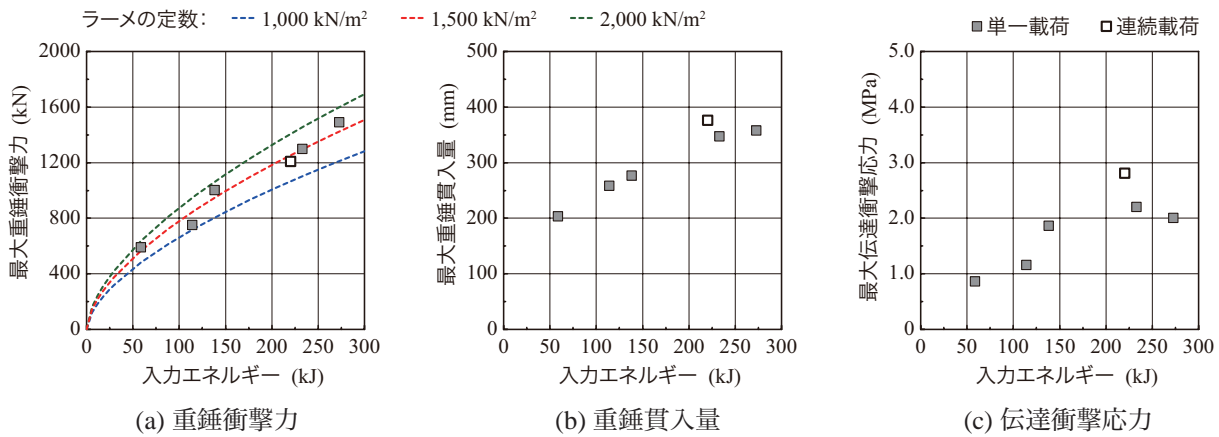


図-11 各種最大応答値と入力エネルギーの関係

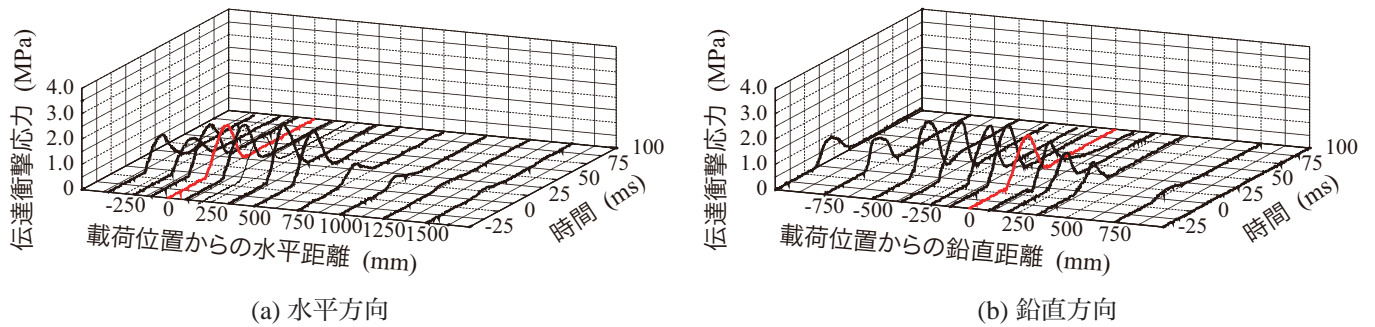


図-12 各測定点における伝達衝撃応力波形分布 (H9.0 の場合)

3.4 各種最大応答値と入力エネルギーの関係

図-11には、重錘衝撃力、重錘貫入量および伝達衝撃応力の最大値と入力エネルギーの関係を示している。なお、図-11(a)には、落石対策便覧⁶⁾に準拠し、下式(1)により算出した理論値を破線にて示している。

$$P_{\max} = 2.108 \cdot \lambda^{\frac{2}{3}} \cdot (M \cdot g)^{\frac{2}{3}} \cdot H^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここに、 λ ：ラーメの定数 (kN/m²)、 M ：重錘質量 (ton)、 g ：重力加速度 (m/s²)、 H ：重錘落下高さ (m) である。

(a) 図より、重錘衝撃力の最大値は、単一载荷や連続载荷にかかわらず、入力エネルギーの増大とともに増加していることが分かる。また、単一载荷、連続载荷にかかわらず、すべての実験ケースにおいてラーメの定数が $\lambda = 1,500$ (kN/m²) の破線に概ね一致することが分かる。

(b) 図より、最大重錘貫入量は、単一载荷の場合では重錘衝撃力と同様に、入力エネルギーの増大に比例して大きくなることが分かる。連続载荷の場合には、同程度の入力エネルギーである H7.0 と比較すると、貫入量が 30 mm 程度大きい。

(c) 図より、最大伝達衝撃応力に関しても、他の場合と同様に多少のばらつきはみられるものの、入力エネルギーに比例して増加する傾向にあることが分かる。なお、連続载荷 (H7.0-R) の場合においても、最大伝達応力は 2.9 MPa 程度であり、同程度の入力エネルギーを単一载荷した場合と比較しても 0.5 MPa 程度のみ増加である。なお、連続载荷は前述したように最前列のジオセル溶着部

が剥離し碎石が流出した状態に対して実験を実施しており、このような状態においても十分な緩衝性能を有していることを実験的に確認した。

3.5 伝達衝撃応力分布

図-12には、各測定点における伝達衝撃応力波形の水平方向と鉛直方向の分布を落下高さ 9 m の場合について示している。図中の各座標は、横方向に载荷点からの距離 (mm)、奥行き方向に時間 (ms)、高さ方向に伝達衝撃応力 (MPa) を示し、3次元的に示している。

(a) 図より、水平方向の伝達衝撃応力分布は、いずれの測定点においても継続時間 35 ms 程度で同様の形状の波が励起していることが分かる。また、伝達衝撃応力は载荷位置から 1,000 mm 程度の範囲に分布していることが分かる。

(b) 図より、鉛直方向の伝達衝撃力分布に着目すると、応力の継続時間はいずれの測定点においても水平方向の場合と同様に 35 ms 程度である。しかしながら、その分布性状は重錘衝突位置から下方と上方で大きく異なる。すなわち、下方では最下端でも約 1.0 MPa の応力が作用しているのに対し、上方では载荷位置から 750 mm の高さにおいて伝達応力はほぼ 0 となっており、1,000 mm の高さでは応力が発生していない。以上のことから、伝達衝撃応力は重錘衝突位置から下方に向けて広く分布していることが分かる。これは、緩衝体が 2 分勾配で設置されていることから、前述の 写真-6 に示されているよう

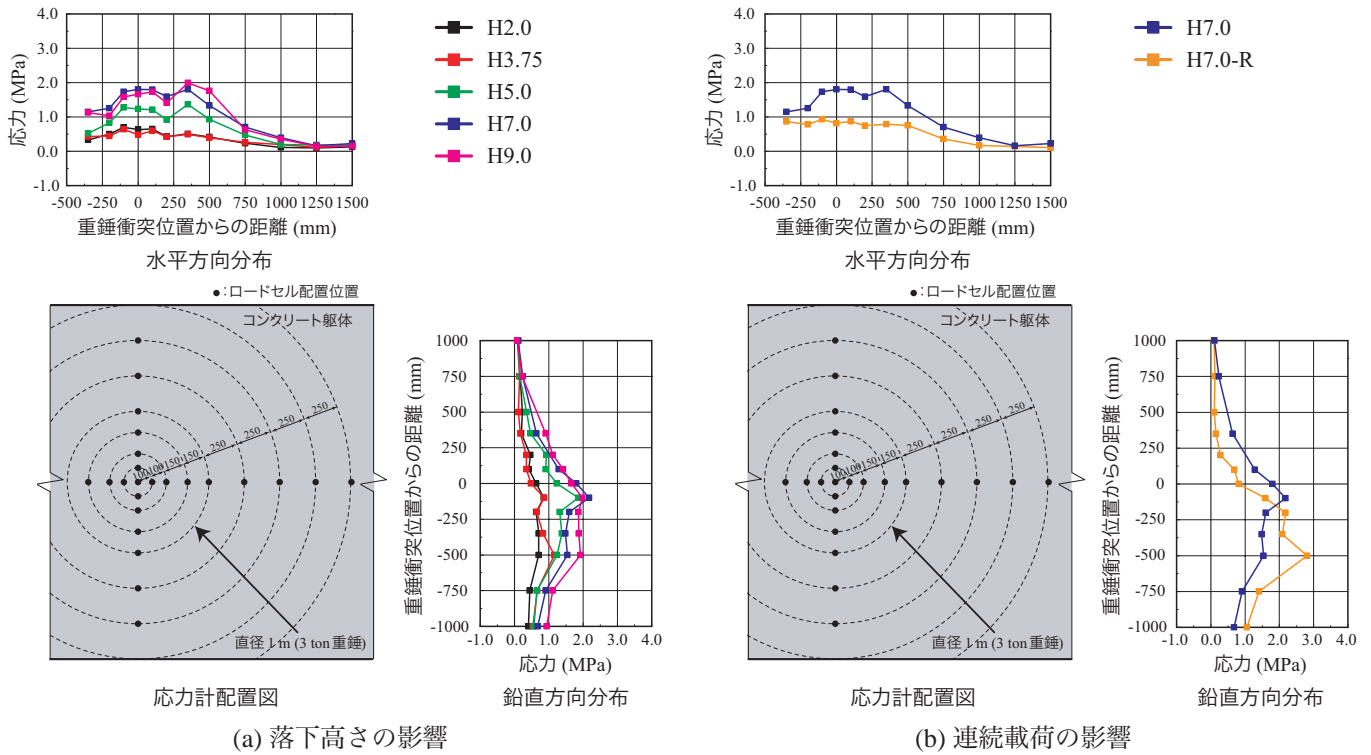


図-14 各実験ケースにおける伝達衝撃応力の包絡線分布

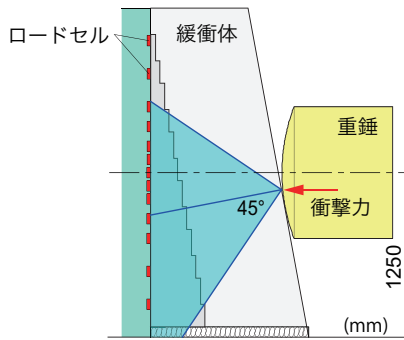


図-13 伝達衝撃応力の分散範囲に関する概念

に重錘が緩衝体に衝突する際に、重錘下部が先に緩衝体に衝突するため、図-13に示すように衝撃力が下方に分散して伝達されるものと考えられる。なお、図-13は重錘衝撃力を一点荷重と仮定し、かつ落石対策便覧⁹⁾を参考に、衝撃力が衝突面に対して45°の分散角度で応力を伝達すると考えた場合の概念図である。

3.6 各実験ケースにおける伝達衝撃応力の包絡線分布

図-14には、重錘衝突位置からの距離 (mm) と各ロードセルが計測した最大応力の関係を包絡線として示している。なお、(a) 図には落下高さの影響を比較するために H2.0 ~ H9.0 までの単一荷重を、(b) 図には連続荷重の影響を比較するために H7.0, H7.0-R の結果を示している。

(a) 図より、水平方向や鉛直方向にかかわらず落下高さの増大に伴い発生する応力は増大する傾向にあることが分かる。なお、その分布範囲は落下高さにかかわらずほぼ一定であり、水平方向には荷重点から左右に 1,000 mm

程度、鉛直方向に関しては荷重点から上方に 750 mm、下方は最下端に至る領域である。また、鉛直方向の応力の最大値は、重錘衝突位置より下方にあることが分かる。これは、前述のようにジオセルを2分勾配で設置したことにより、衝撃力が下方に伝達したためと推察される。

(b) 図より、連続荷重の場合には、鉛直方向の応力の最大値を示す位置は単一荷重の場合よりも大きく下方に移行していることが分かる。これは、荷重履歴を有するため、ジオセルが損傷したことによるものと推察される。また、連続荷重の水平方向分布は、単一荷重の場合よりも発生する応力が小さい。これは、鉛直方向分布からも明らかのように、ジオセルの損傷によって応力集中箇所が下方に移動したことにより水平分布も下方に移動したものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、単粒度碎石を充填したジオセルを用いた緩衝工の緩衝効果を検証することを目的に重錘水平衝突実験を行い、実験結果を整理し考察を行った。

本研究により得られた結果を整理すると、以下のことが明らかになった。

- (1) ラーメの定数は、重錘の落下高さにかかわらず 1,500 kN/m² 程度である。
- (2) 伝達衝撃応力は重錘衝突位置から下方に向けて広く分布し、また最大応力を示す位置は重錘衝突点よりも下側に位置する。
- (3) 提案の緩衝体は、ジオセルが著しく損傷しない限り、連続衝突時においても高い緩衝性能を期待できる。

謝辞

本論文のとりまとめにあたり、日本サミコン株式会社の佐竹比呂志氏、室蘭工業大学構造力学研究室の杉本成司君、勝見悠太君をはじめとする学生諸君に多大なるご支援を頂きました。記して感謝の意を表します。

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モデル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モデル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

(2014 年 9 月 24 日受付)

(2015 年 2 月 1 日受理)