

# 力学特性の異なる発泡材上に RC 版を設置した積層緩衝構造の緩衝特性

Cushioning property of layered absorbing system consisted of RC slab and various foamed material

室蘭工業大学大学  
 室蘭工業大学大学  
 (株) JSP  
 (株) JSP

○ 学生員 須藤 滉平 (Kouhei Sudo)  
 正 員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)  
 非会員 新田 真一 (Shin-ichi Nitta)  
 非会員 小暮 直親 (Naochika Kogure)

## 1. はじめに

近年、異常気象や大規模地震などの影響により、建設時に想定していた荷重よりも大きな落石荷重に対する安全性の検討事例が増加している。

耐衝撃用途構造物の一つである落石覆工の場合には、頂版上部に落石荷重への緩衝材として砂や現地発生土を用いる他、より大きな落石エネルギーへの対策として、発泡材料の一つである発泡スチロール (Expanded PolyStyrol: EPS) の上に RC 版と砂を積層した緩衝構造が用いられる場合がある。これは、RC 版によって衝撃荷重を広範囲に分散させることで EPS の有する緩衝性能を有効に活用する高エネルギー吸収型の緩衝構造である<sup>1)</sup>。

一方、近年、様々な用途で多種多様な材料特性を有する発泡材料が開発されている<sup>2)</sup>。しかしながら、発泡材料の力学特性が積層緩衝構造の緩衝特性に及ぼす影響については、明らかになっていないのが現状である。

このような観点より、本研究では、力学特性の異なる各種発泡材料の緩衝効果を検討することを目的に、密度の異なる3種類の発泡材を対象として、芯材としての RC 版の有無や衝突速度を変化させて衝撃載荷実験を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験方法

図-1には、本実験で用いた実験装置および試験体の概要を示している。本実験装置は、伝達応力測定用ロードセル(以降、応力計)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個の伝達力測定用ロードセル(以降、反力計)から構成されている。応力計は、底盤中央部

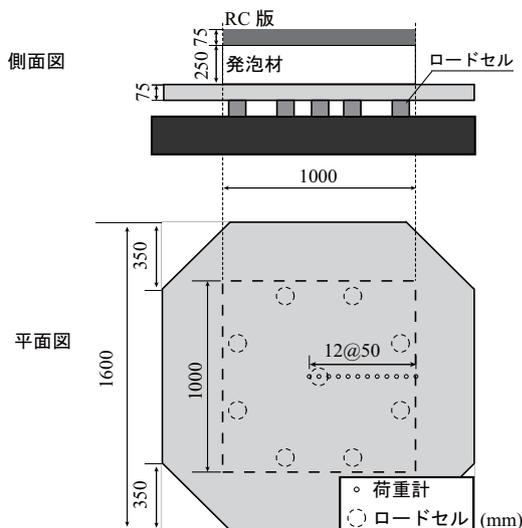


図-1 実験装置および試験体の概要

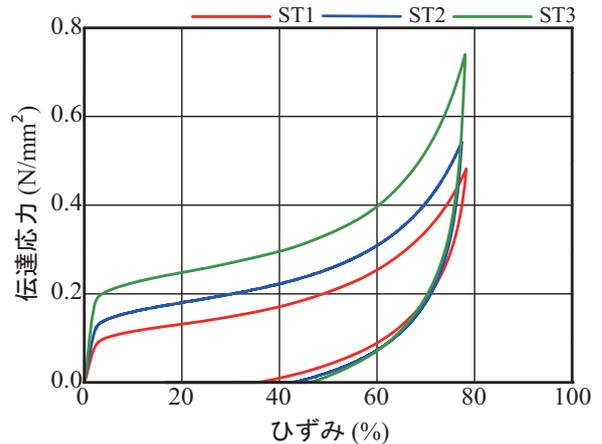


図-2 各発泡材の材料試験結果

表-1 発泡材の材料特性

発泡材の記号	発泡倍率	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
ST1	60	0.16
ST2	50	0.20
ST3	33	0.30

および左側 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試験体を装置の中央に配置し、衝撃荷重を試験体中央部に載荷させる形で行った。重錘は質量 400 kg、先端部直径  $\phi$  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。

本実験の測定項目は、重錘衝撃力、伝達衝撃力、伝達衝撃応力分布、および重錘貫入量である。なお、伝達衝撃力は前述の反力計で測定した 9 点の反力の合計である。重錘衝撃力は重錘に内蔵されているロードセル、伝達衝撃応力分布は前述の応力計、重錘貫入量はレーザ式変位計を用いて測定した。

### 2.2 試験体

表-1には、検討対象とした3種類の発泡材の材料特性を示しており、それぞれ発泡倍率の異なるポリスチレン発泡材 (ST) である。また、表-2は試験体一覧を示している。試験体は、発泡材のみのもので、発泡材の上に芯材として RC 版を設置したものを用意しており、衝突速度を変化させた全 21 ケースである。なお、発泡材は、平面寸法 1,000 mm  $\times$  1,000 mm、高さ 250 mm、RC 版は、厚さ 75 mm としている。ここで、RC 版の引張鉄筋比は、落石対策便覧に準拠し 1%

表-2 試験体一覧

試験体名	発泡材の種類	芯材の有無	設定衝突速度 (m/s)	実測衝突速度 (m/s)
ST1-N-V1	ST1	なし	1	0.86
ST1-N-V2			2	2.04
ST1-N-V3			3	3.03
ST2-N-V1	ST2		1	0.86
ST2-N-V2			2	1.97
ST2-N-V3			3	2.96
ST3-N-V1	ST3		1	0.85
ST3-N-V2			2	2.01
ST3-N-V3			3	3.03
ST1-C-V4	ST1	あり	4	4.08
ST1-C-V5			5	4.97
ST1-C-V6			6	6.11
ST1-C-V7			7	7.16
ST2-C-V4	ST2		4	4.02
ST2-C-V5			5	5.06
ST2-C-V6			6	5.99
ST2-C-V7	ST3		7	6.99
ST3-C-V4			4	4.08
ST3-C-V5		5	5.06	
ST3-C-V6		6	5.99	
ST3-C-V7	7	7.16		

程度とするために、SD295 D6 を 70 mm 間隔で格子状に配置した。コンクリートの圧縮強度は 30.5 MPa、鉄筋の降伏および引張強度はそれぞれ 362, 512 MPa であった。

表-2 において試験体名の第1項は発泡材の種類(表-1参照)、第2項は芯材の有無(N:無し, C:有り)、第3項の英文字Vに付随する数値は設定衝突速度(m/s)を表している。

図-2 には、各発泡材の材料試験結果を示している。本実験では図のような力学特性の違いを持つ発泡材の緩衝効果を検討する。

### 3. 衝撃載荷実験結果

#### 3.1 各種応答波形

図-3 には、各試験体の重錘衝撃力、伝達衝撃力および重錘貫入量の時刻歴応答波形の一例を示している。また、発泡材のみの場合には設定衝突速度  $V = 1 \text{ m/s}$ 、発泡材+RC版の場合には設定衝突速度  $V = 4 \text{ m/s}$  のケースについて示している。

図より、発泡材のみの場合において、重錘衝撃力波形は、発泡材の密度が大きい場合ほど最大振幅が大きかつ、波動継続時間が短くなる傾向にあることがわかる。また、伝達衝撃力波形も同様の波形性状を呈していることから、概ね、一対一で対応しているものと考えられる。重錘貫入量波形は、発泡材の密度が大きい場合ほど最大振幅が小さくなる傾向にある。

一方、発泡材+RC版の場合において、重錘衝撃力波形は、振幅が大きく継続時間の短い第1波と振幅が小さく継続時間の短い第2波から構成されていることがわかる。なお、発泡材の密度が大きいほど振幅が大きく継続時間が短い傾向は、発泡材のみの場合と同様である。伝達衝撃力波形は、重錘衝撃力とは異なり、衝突初期の振幅の大きな波形は見ら

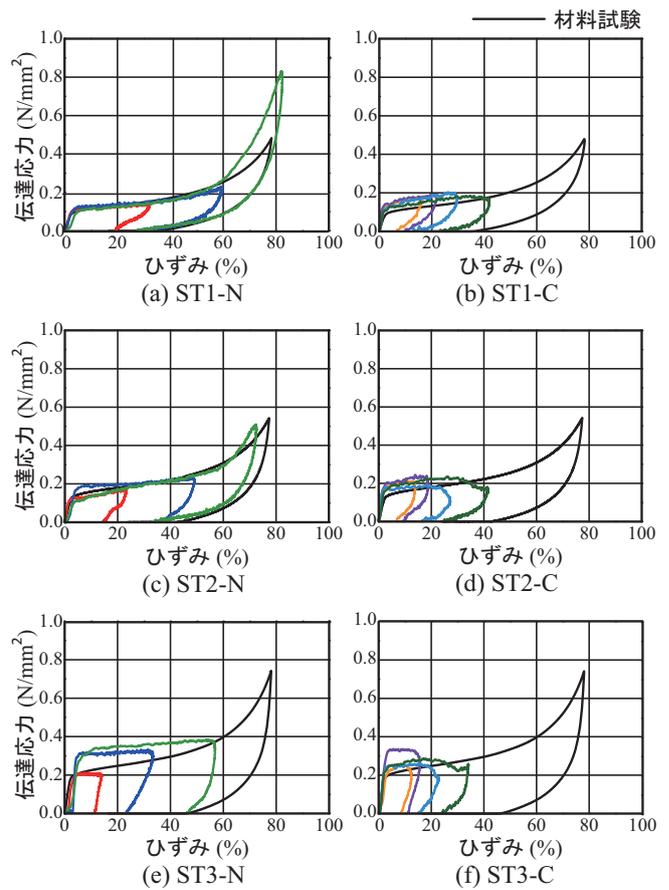


図-4 伝達衝撃応力-貫入ひずみ履歴曲線

れず、経過時間 10 ms ~ 20 ms に振幅が最大となる波形性状を示している。ただし、両者の力積はほぼ等しいことを確認している。

重錘貫入量波形は、発泡材のみの場合と同様に、その密度が大きいほど最大振幅が小さくなる傾向にある。なお、RC版を介して発泡材が全体的に変形していることから最大貫入量到達後、大きくバウンドしているものと考えられる。

#### 3.2 伝達衝撃応力-貫入ひずみ履歴曲線

図-4 には、伝達衝撃応力-貫入ひずみ履歴曲線を材料試験結果と比較して示している。なお、材料試験は一辺が 50 mm の立方体を用いて行われている。

図より、衝撃実験により得られた伝達衝撃応力-貫入ひずみ曲線はRC版の有無によらず、材料試験結果とほぼ同様である。従って、積層緩衝構造の設計においては、材料試験により得られた応力-ひずみ関係を適用することができるものと判断される。ただし、ST3のように発泡材の密度が大きい場合には、伝達衝撃応力が50%程度大きくなる場合があることに留意する必要がある。

#### 3.3 破壊性状

写真-1 には、発泡材+RC版の場合において、衝突速度ごとのRC版の裏面の破壊性状を示している。

写真より、衝突速度  $V = 4 \text{ m/s}$  の場合には、ST1-Cでは中央部から放射状に進展するひび割れが見られる。このような性状は、ST2-Cにおいてもほぼ同様である。一方、ST3-Cの場合には、中央部に押抜きせん断ひび割れが見られる。

$V = 5 \text{ m/s}$  では、ST1/2-Cにおいてもわずかに押抜きせん断ひび割れが見られる。 $V = 6 \text{ m/s}$  においては、これらの傾向が

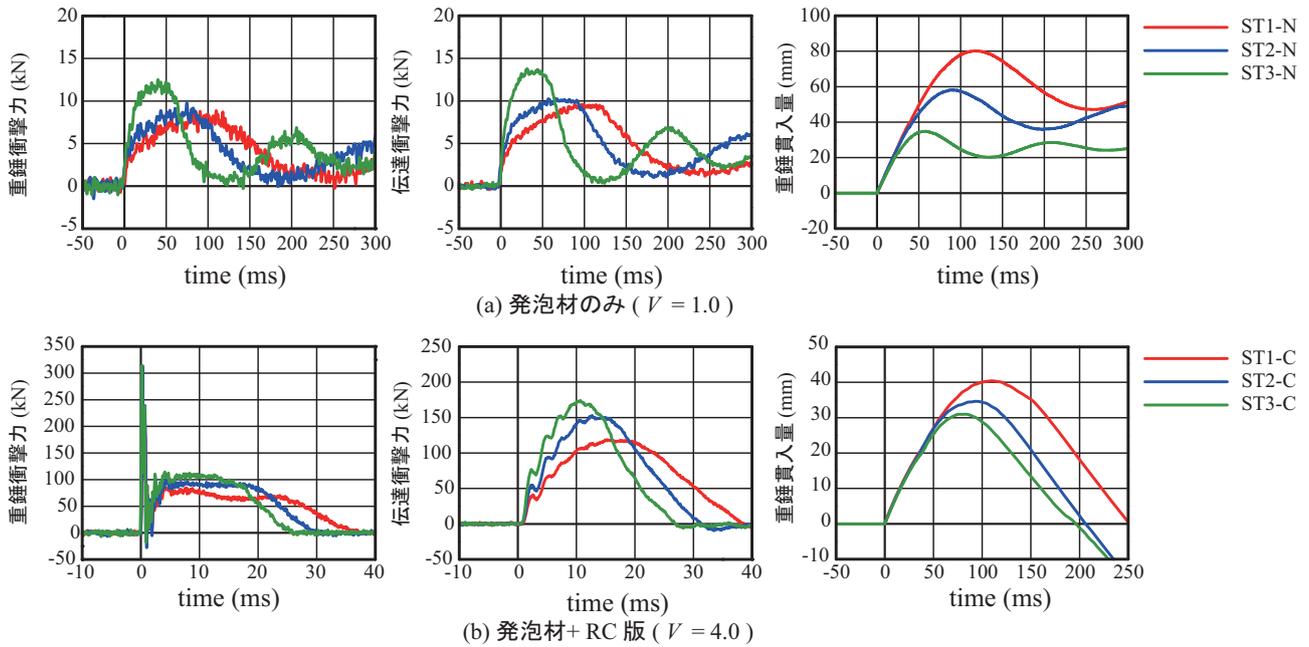


図-3 各種時刻歴応答波形

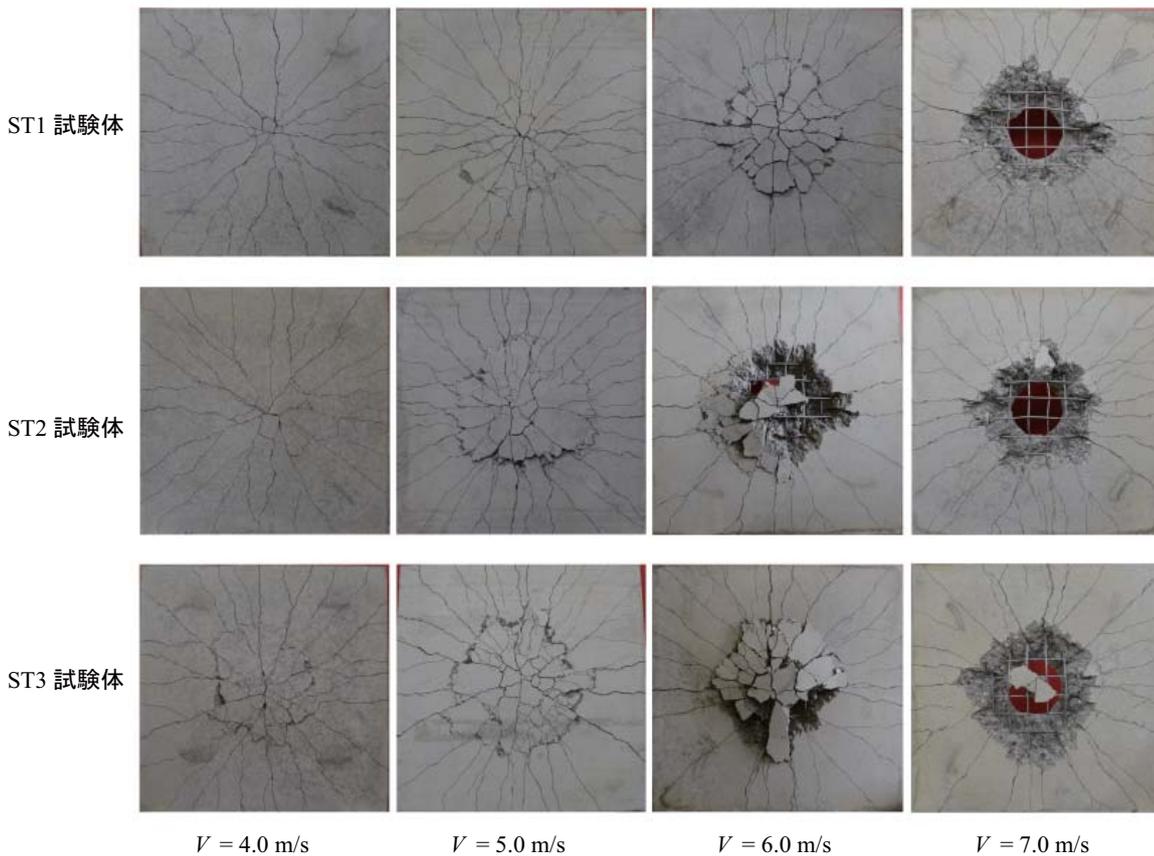


写真-1 各発泡材の衝突速度ごとのRC版の破壊性状

より顕著に見受けられる。

このように、発泡材の密度が大きい場合ほどRC版の押抜きせん断の傾向が強く出現するのは、後述するように重錘衝撃力が大きくなることによるものと推察される。

### 3.4 各種最大応答値と衝突速度との関係

図-5は、各試験体の重錘衝撃力、伝達衝撃力および重錘

貫入量の最大値と衝突速度との関係を示している。

図より、重錘衝撃力において、RC版を設置したケースの $V = 4 \sim 6$  m/sでは発泡材の密度が大きい場合ほど、その最大値が大きく示されていることがわかる。しかしながら、 $V = 7$  m/sではST2/3-C試験体の重錘衝撃力は低下している。これは、RC版が押し抜けたことによるものである。

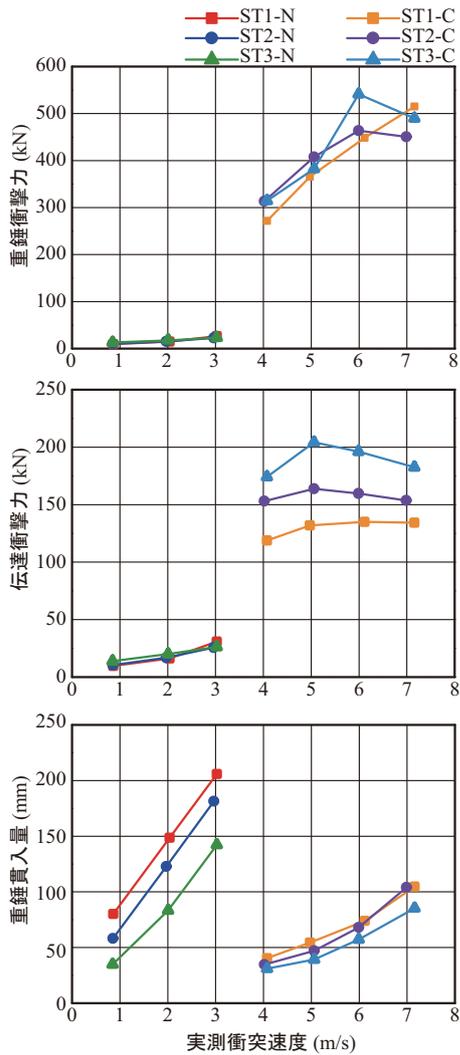


図-5 各種最大応答値と衝突速度との関係

伝達衝撃力は、発泡材の密度が大きいほど大きく示される傾向にあるものの、衝突速度による変動は小さい。これは、

発泡材のひずみレベルが、その応力変動の小さい領域にあることや、衝突速度が大きい場合にはRC版の押抜きせん断破壊により重錘+RC版の合質点の質量が小さくなることなどによるものと考えられる。

重錘貫入量は、発泡材のみの場合には、その密度の違いの影響が大きく現れているが、発泡材+RC版の場合には、その影響が軽減されている。密度が小さいST1は伝達衝撃力を低減できる反面、貫入量が大きくなる傾向にあるが、RC版を設置する場合には貫入量の増大を緩和できるものと推察される。これは、前述の「写真-1」に示しているように、ST1の場合には押抜きせん断破壊が生じにくいことも影響している可能性がある。

#### 4. まとめ

本研究では、力学特性の異なる発泡材上にRC版を設置した積層緩衝構造の緩衝特性を検討することを目的に、密度の異なる3種類の発泡材を対象として重錘落下衝撃実験を行った。本研究により得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 衝撃載荷実験より得られた発泡材の応力-ひずみ曲線は、材料試験により得られた結果とほぼ同様である。
- 2) 低密度の発泡材上に設置したRC版は、高密度発泡材の場合よりも大きな入力エネルギーで押し抜きせん断破壊を生じる。
- 3) 発泡材単体の場合には、その密度が小さいほど重錘貫入量が大きくなる傾向にあるが、RC版を設置するとその差異は低減される。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：ロックシェットの耐衝撃設計, 構造工学シリーズ8, 1998.11
- 2) 栗橋祐介, 小暮直親, 新田真一, 小室雅人, 戸上卓也：各種発泡材料の緩衝性能評価に関する重錘落下衝撃実験, 構造工学論文集, Vol. 64A, pp908-919, 2018.3