

三層緩衝構造の緩衝特性に及ぼす発泡材の力学特性の影響

Influence of mechanical property of foamed material on cushioning behavior of Three layered Absorbing System

室蘭工業大学
室蘭工業大学大学院
(株) JSP
(株) JSP

○ 学生員 附柳 天馬 (Tenma Tsukeyanagi)
正 員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
非会員 小暮 直親 (Naochika Kogure)
非会員 新田 真一 (Shin-ichi Nitta)

1. はじめに

耐衝撃用途構造物の一つである落石覆工の耐衝撃性向上法として発泡スチロール (Expanded Poly Styrol: 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¹⁾。

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。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。

著者らは、材質や発泡倍率の異なる発泡材を対象に、厚さ 50 mm、平面寸法 240 × 240 mm の発泡材試験体を用いて、質量 20 kg の重錘落下衝撃実験を行っている²⁾。その結果、発泡材の力学特性により、緩衝性能や伝達応力の分布特性が異なることなどを明らかにしている。しかしながら、これらの実験は、試験体の寸法が実緩衝構造の 1/10 ～ 1/20 とかなり小さいため、定性的な比較検討は可能であるものの、定量的な性能評価は難しいものと考えられる。

このような観点から、本実験では、実規模の 1/4 ～ 1/2 程度の三層緩衝構造モデルを落石対策便覧³⁾に準拠して設計し、緩衝構造の性能に及ぼす力学特性の影響を重錘落下衝撃実験により検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体は、平面寸法 1,000 mm × 1,000 mm、高さ 250 mm の EPS ブロックの上に、厚さ 75 mm の RC 版を設置し、さらにその上に厚さ 50 mm の砂を設置している。

試験体の設計は落石対策便覧に準拠して質量 400 kg、落下高さ 1.83 m (衝突速度 6m/s 相当) の衝撃的外力に対して別途行った。

ここで、RC 版の引張鉄筋比は、落石対策便覧に準拠し 1 % 程度とした。そのため、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。

砂は、中央部の 400 mm 四方の範囲に設置した。砂の産地は北海道石狩市知津狩であり、その粗粒率、最大乾燥密度および最適含水比は、それぞれ 1.37, 1.516 g/cm³, 19 % となっている。

また、砂は足踏みによって締固め、所定の厚さである 50 mm に成形した。含水率は 8 % 程度となるように設定した。

発泡材には、落石覆工の緩衝材として最も実績のあるポリスチレン発泡体 (ST) の他ポリエチレン・ポリスチレン発泡体 (EST) を使用した。

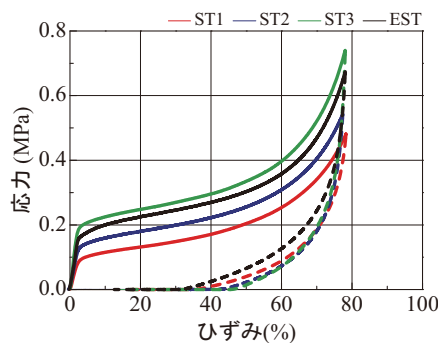


図-1 発泡材の材料試験結果

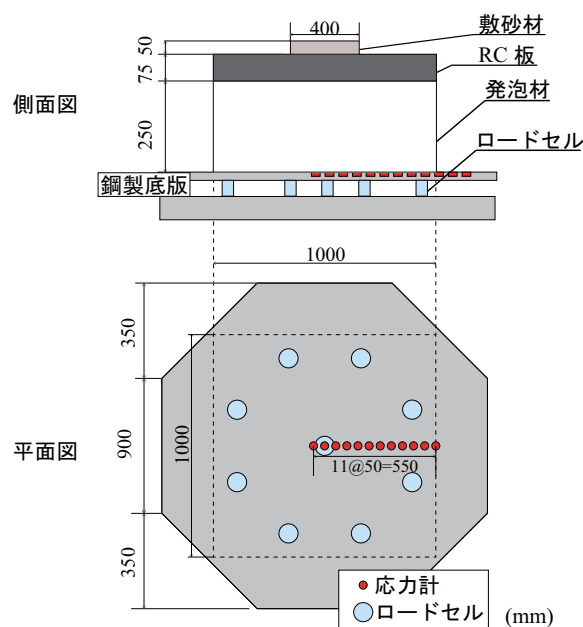


図-2 実験装置および試験体概要

また、表-1には、試験体一覧を示している。表中、試験体名の第1項目は発泡材の種類を示しており第二項目は試験体が3層構造であることを示している。本実験は、4種の試験体に対し衝突速度を 4～9 m/s の間で変化した全 20 ケースである。

2.2 実験方法

図-2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

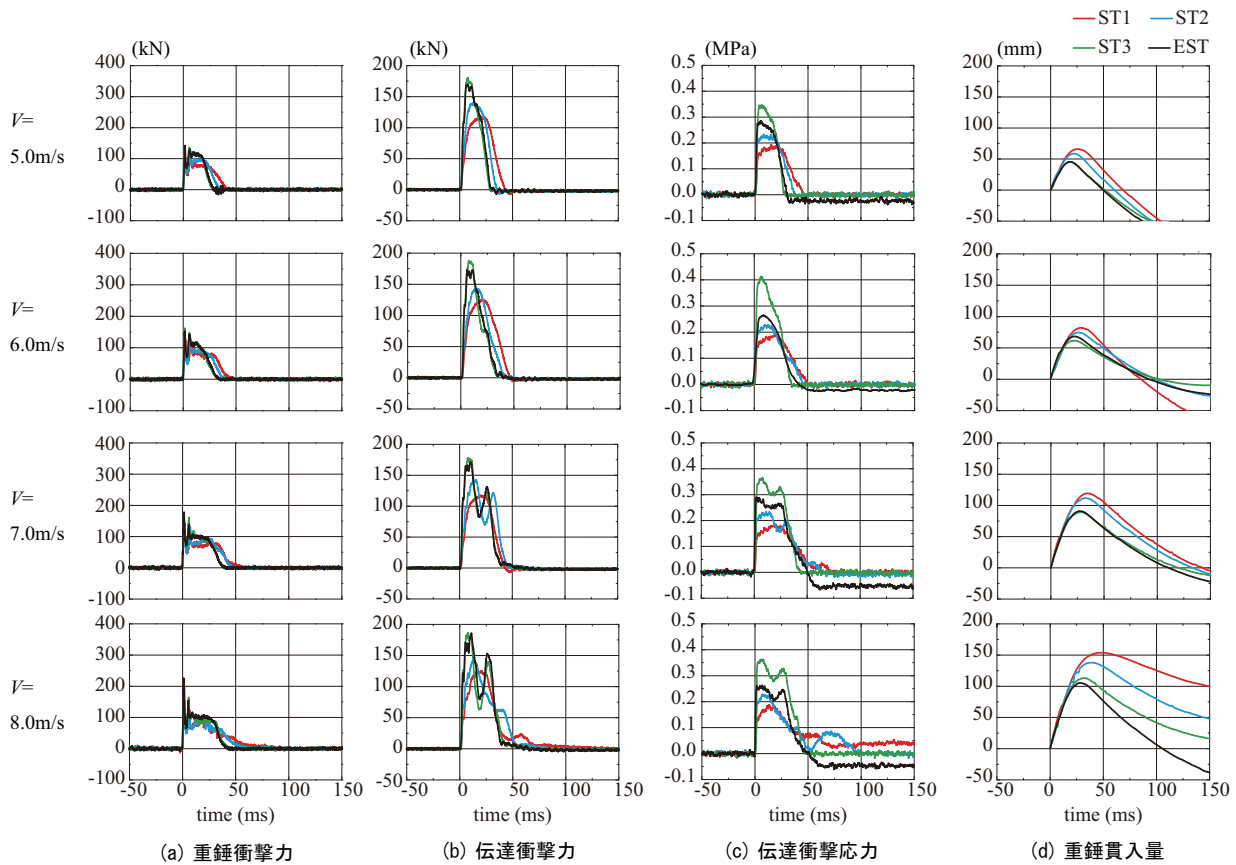


図-3 時刻歴応答波形

表-1 試験体一覧

試験体名	材質	単位体積重量 (kN/m ³)	衝突速度 (m/s)
ST1	ポリスチレン	0.16	5.0, 6.0, 7.0, 8.0
ST2		0.20	4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0
ST3		0.30	5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0
EST	ポリエチレン ポリスチレン 複合体	0.30	5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0

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载荷させる形で行った。重錘は質量400 kg、先端部直径φ200 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。また、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。

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図-3には、重錘衝撃力、伝達衝撃力、载荷点直下の伝達衝撃応力および重錘貫入量に関する時刻歴応答波形を衝突速度 $V=5.0, 6.0, 7.0, 8.0$ m/sの場合について示している。

図-3 (a)より、重錘衝撃力波形は、重錘衝突とともに急激に立ち上がり、その後振幅が小さく継続時間が長い波形が続いていることが分かる。また、衝突速度の増加に伴い波形の振幅が大きくなる傾向にある。波形の継続時間は発泡材の密度が小さいほど長くなる傾向にある。

図-3 (b)より、伝達衝撃力波形はいずれも継続時間が30～50 msであるが、衝突速度の増加に伴って第2ピークが出現する傾向にある。特に発泡材の密度が高いST3やESTの場合に顕著である。これは、重錘がRC版に衝突した後、RC版の押し抜けにより重錘が一度RC版から離れ、再度衝突したことによるものと考えられる。

なお、ST1の場合には第2ピークが見られない。これは、重錘がRC版の押し抜け後もRC版から離れることなく貫入し続けたためと考えられる。

図-3 (c)の载荷点直下の伝達応力波形は、伝達衝撃力と類似の波形形状を示しており、第2ピークの出現傾向もほぼ同様であることが分かる。また、振幅は発泡材の密度が大きい場合ほど大きく、特にEST試験体の場合において顕著である。

図-3 (d)の重錘貫入量波形は、いずれの試験体もほぼ同様の勾配で増加していることが分かる。最大値到達後には重錘が大きくリバウンドしていることから、発泡材は十分な緩衝性能を有しているものと考えられる。

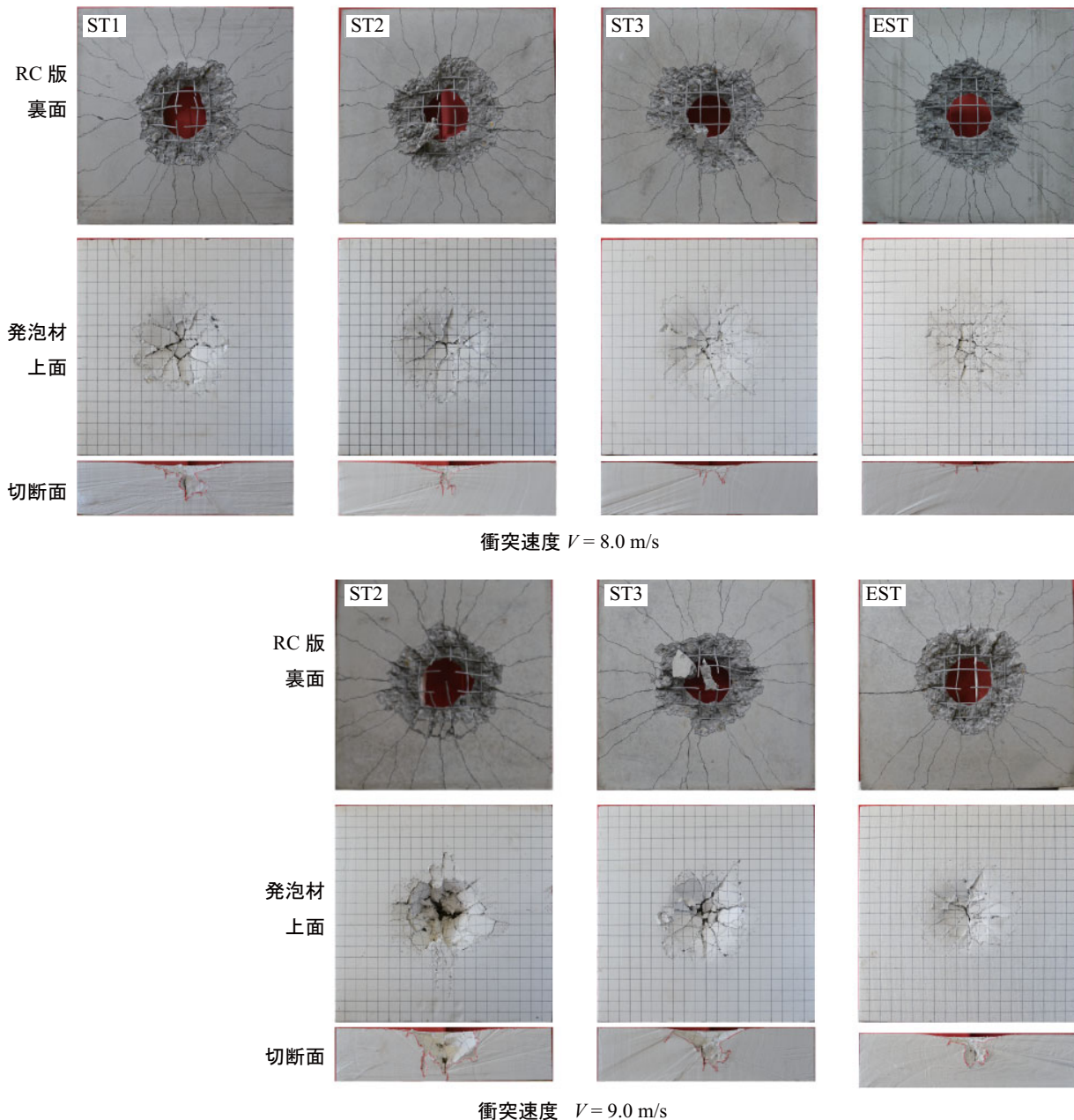


図-4 破壊性状

3.2 破壊性状

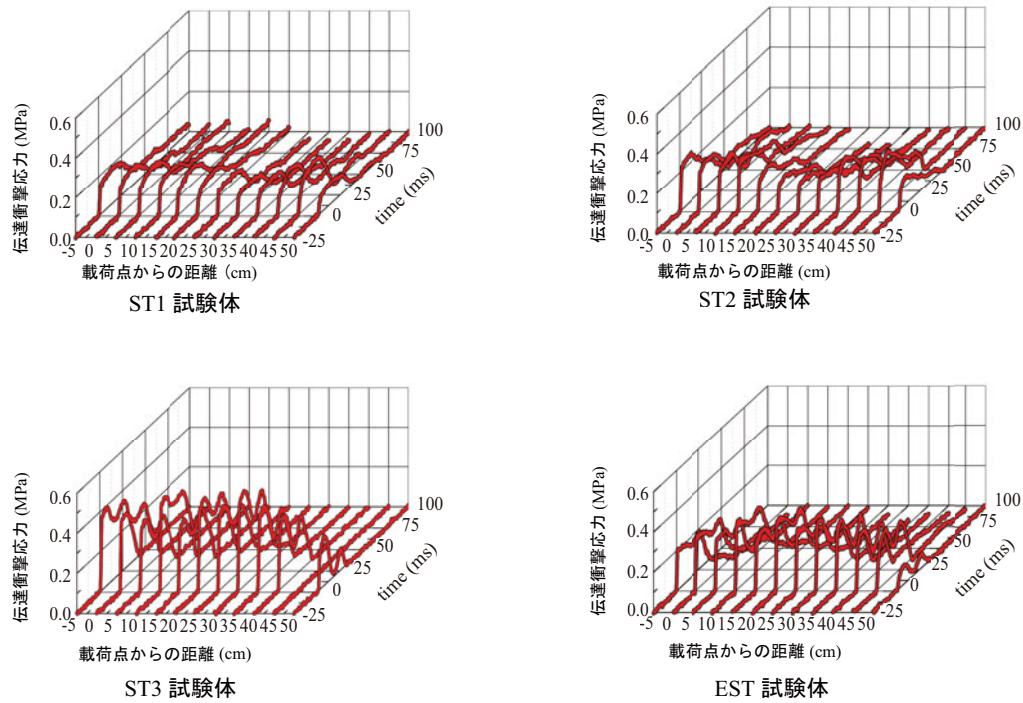
図-4には、RC版裏面およびEPSの上面と切断面の破壊性状を衝突速度 $V = 8, 9 \text{ m/s}$ の場合について示している。図-4よりRC床版はいずれの試験体においても押し抜きせん断破壊していることがわかる。RC版表面の押し抜きせん断コーンの直径は三層緩衝構造の設計とほぼ同様であり「重錘直径+RC版厚の2倍」であることが分かる。また、発泡材も類似の範囲で損傷している。また、発泡材の損傷度も同一衝突速度で比較すると、密度が低い場合ほど中央部の陥没や鉛直下向きに進展する亀裂などの損傷が顕著に見られる。

3.3 伝達衝撃応力の分布性状

図-5には、衝突速度 $V = 8 \text{ m/s}$ 時における各試験体の伝達衝撃応力分布を示している。図には、横方向に試験体中心からの距離、奥行き方向に時間、縦方向に伝達衝撃応力

を取って3次元で示している。図より、いずれの試験体も伝達衝撃応力は発泡材の端部においても中央部と同様の時刻歴応答で生じていることが分かる。前述のように発泡材は载荷部近傍において大きく陥没しており損傷が著しい。しかしながら、発泡材の下縁においては伝達衝撃応力がほぼ全域に渡って発生している。このことから、RC版が著しく押し抜ける場合においても伝達衝撃応力の分散効果が発揮されることが明らかになった。

なお、本研究において試験体の設計条件はST2を用いることを前提に、衝突速度 $V = 6 \text{ m/s}$ としている。本実験においては、 $V = 9 \text{ m/s}$ においても十分に干涉効果を発揮していることから、便覧に基づいて設計した三層緩衝構造は入力エネルギーの観点からは2.25倍の安全余裕度を有していると考えられる。



図－5 伝達衝撃応力分布

4. まとめ

本研究では、発泡材とRC版および砂で構成される積層緩衝構造の特性に及ぼす発泡材密度の影響を検討することを目的に、原材料や密度の異なる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) 発泡材の密度が小さい場合には伝達衝撃力が小さくなる一方で貫入量が大きくなる。
- 2) 発泡材の密度が大きい場合には伝達衝撃力が大きくなる一方で貫入量が小さくなる。
- 3) 重錘が著しく貫入する場合においても、伝達衝撃応力は広く分散する傾向にある。

- 4) 設計上の積層緩衝材の緩衝性能に対する、限界の緩衝性能は入力エネルギーの観点からは2.25倍程度である。

参考文献

- 1) 土木学会：ロックシェッドの耐衝撃設計，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
- 3) (社)日本道路協会：落石対策便覧，2017.12