

砂と礫の混合割合及び表層の礫層厚の違いによる衝撃緩衝特性の把握

Grasp of Impact absorbing characteristics by the difference in mixed ratio of sand and gravel, thickness of gravel layer

名古屋工業大学	○学生員	奥村勇太 (Yuta Okumura)
名古屋工業大学	正員	前田健一 (Kenichi Maeda)
名古屋工業大学	学生員	内藤直人 (Naoto Naito)
土木研究所寒地土木研究所	正員	西 弘明 (Hiroaki Nishi)
土木研究所寒地土木研究所	正員	山口 悟 (Satoru Yamaguchi)
構研エンジニアリング	フェロー	川瀬良司 (Ryoji Kawase)

1. はじめに

我が国で多発する落石の対策工の一つに敷砂緩衝材を設置したロックシェッドがある。ロックシェッドの屋根部分である頂版上には、落石が発生した場合に構造物の直接的な損傷を抑制する敷砂などの土の緩衝材が設置される。敷砂緩衝材は、落石衝撃力の緩衝効果に優れるだけでなく、低コストで設置・維持管理ができ、腐食や劣化が発生し難いことから材料としての安定性に優れている。

落石対策便覧¹⁾では、ロックシェッドの上面に敷砂緩衝材を90cm敷き、砂の飛散が予想される場合には飛散防止材として礫を20cm敷き均すことが必要であるとしている。しかし、既設ロックシェッドの調査報告²⁾によれば、頂版上の緩衝材は現地の崖錐堆積物など主に砂質礫の場合が多く、敷砂による緩衝材と比較した場合にどのくらい緩衝効果があるのかは不明である。

そこで、本研究では緩衝材に砂と礫の粒度分布が異なる2種類の試料を用い、砂と礫を混合した場合、砂層上に礫層を設置した場合に、混合割合及び表層の礫層厚を変化させたときの落体衝突による衝撃力及び緩衝材底面に伝わる応力について、模型実験を実施し検討した。

2. 実験概要

直径300mm、高さ250mmの鋼製円筒土層に緩衝材模型を作製し、落体を鉛直自由落下させる実験を実施した。緩衝材は含水比0%の乾燥状態を用い、相対密度が50%となるように管理し、層厚を100mmとした。

緩衝材は砂と礫を用いており、砂と礫を混合した場合、砂層上に礫を設置した場合の2つの条件のもとで実施した。礫の細粒分が砂の粒径と混合するのを避けるため、礫は粒度分布が狭い4.75mm~9.52mmの粒径を用いた。砂と礫を混合した場合に用いる試料は乾燥重量比で混合し、その混合割合を100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100の5通りとした。図-2に各混合割合における粒度分布を示す。各混合割合に対して、最大密度・最小密度試験を実施し、最大間隙比及び最小間隙比を求めた。図-2には各混合割合の最大間隙比・最小間隙比とともに、模型実験に用いた相対密度50%における間隙比を示している。また、砂層上に礫層を設置した場合は、礫層厚が0mm, 18mm(落石対策便覧の比率)、25mm, 33mm, 50mm, の5通りとした。

図-3に実験模型の概要図を示す。落体には球体(直径100mm, 質量4.0kg)を用い、高さ1000mmから緩衝材模型

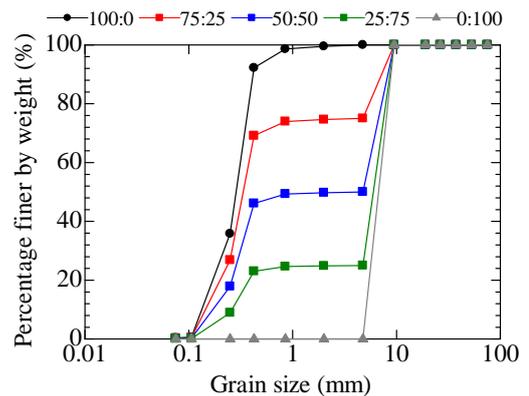


図-1 実験試料の粒度分布

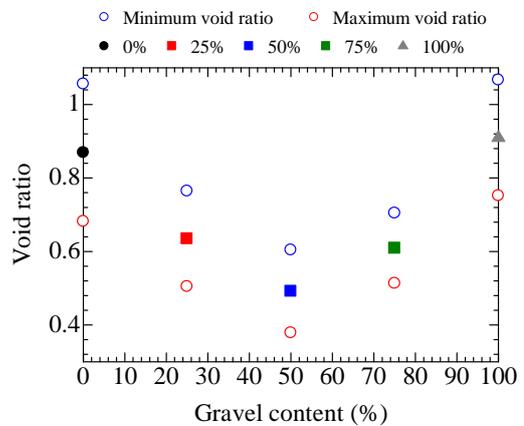
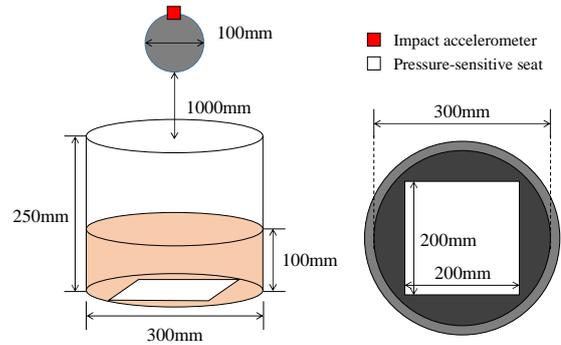


図-2 各混合割合における間隙比



(a) 側面図, (b) 平面図

図-3 実験模型の概要図

に鉛直自由落下させた。この時、落体上部に衝撃加速度計を設置し、緩衝材底面には縦 200mm、横 200mm の感圧シートを設置し、「落体衝撃力」と「底面応力分布」を測定した。感圧シートは落体落下後に緩衝材底面より取り出し、感圧シートに作用した力の強さに応じて反応する色の濃さ(明度)を描画した。

3. 実験結果及び考察

3.1 砂と礫を混合した場合

(1) 落体衝撃力に与える影響

図-4 に緩衝材の混合割合が異なる場合の落体衝撃力の経時変化を示し、図-5 には最大落体衝撃力の値を示す。落体衝撃力の波形性状は緩衝材の混合割合が 100:0, 75:25, 50:50 の場合において、正弦半波状の波形の後になだらかな二波目が存在する。しかし、混合割合が 25:75, 0:100 では正弦半波状の波形のみである。このことから、礫が少ない場合には二波目が生じ、礫が多い場合には一波のみであり、緩衝材の粒度分布によって波形性状が異なると考えられる。

図-5 より、礫の混合割合に対する最大落体衝撃力の推移は、50:50 の時に最大値をとる凸形となる。図-2 に示した各混合割合の相対密度 50%における間隙比を比較すると、間隙比が小さい時には最大落体衝撃力が大きくなり、間隙比が大きい時には最大落体衝撃力が小さくなる事が分かる。以上から、相対密度一定の条件では、緩衝材の混合割合が 50:50 の場合において、間隙比が最も小さくなり、最大落体衝撃力が大きくなると考えられる。

(2) 底面応力分布に与える影響

図-6 に底面応力分布の作成方法の説明として、緩衝材底面に設置した感圧シート及びその感圧シートの明度情報を抽出したコンター図を示す。コンター図は感圧シートの縦横約 195mm の領域から作成している。なお、落体落下の中心位置は感圧シート設置時と落体落下後における真上からの画像により推定した。落体直径(100mm)を点線で示す。

感圧シートは力が作用すると反応し、色が濃くなる。感圧シートの端部数カ所に赤くなっている部分が見られるが、これらは感圧シート設置時に力が加わったためである。感圧シート・コンター図は色の濃さ(明度)で表しており、155 の値は最も明るい色素である。255 の値は図中では白または青で表されており、力が全くかかっていない部分である。以下では、コンター図のみを示す。

図-7 に混合割合が異なる場合の底面応力分布のコンター図を示す。混合割合が 100:0, 75:25 と砂の割合が多い場

合では、おおよそ落体直径分(100mm)に黄緑色で表される領域が分布している。また、混合割合が 25:75, 0:100 の礫の

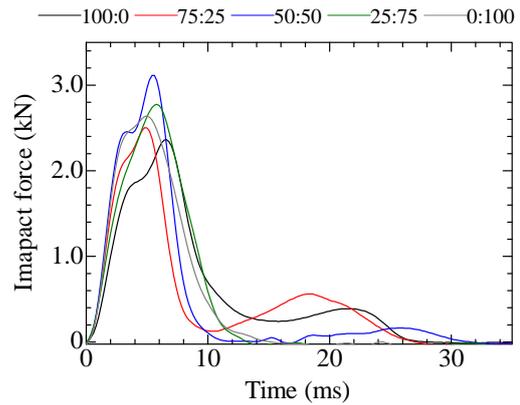


図-4 混合割合が異なる場合の落体衝撃力

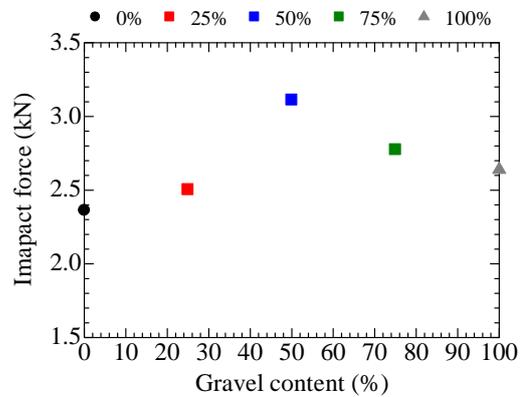
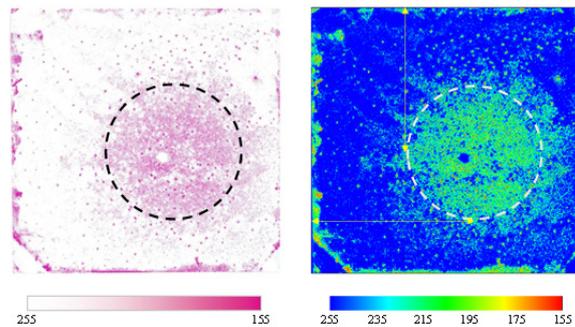


図-5 混合割合が異なる場合の最大落体衝撃力



(a)感圧シート, (b)コンター図

図-6 底面応力分布の作成方法

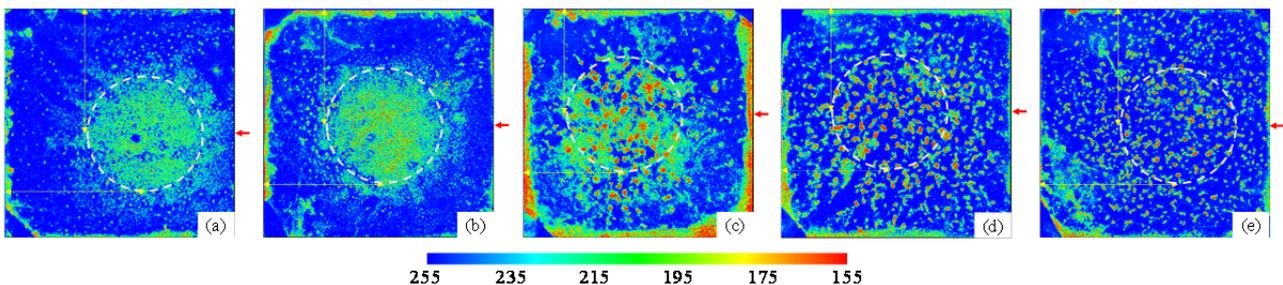


図-7 混合割合が異なる場合の底面応力分布のコンター図
(a)0%, (b)25%, (c)50%, (d)75%, (e)100%

割合が多い場合では、落体直径分に赤色で表される領域が所々に分布しているのに加え、落体直径よりも外側においても赤色や黄緑色の領域が分布している。混合割合が 50:50 の砂と礫が同重量である場合には、落体直径分に赤色で表される領域が多く存在している上に、緑色で表される領域も分布している。落体直径よりも外側にも分布しており、力が広範囲に伝達していることが分かる。

底面応力分布をより比較するために、図-7 中の各コンター図の右側に示した矢印の一行に着目し、数値をグラフ化したものを図-8 に示す。これはコンター図の矢印で示した一行について、10 個の要素を平均化したものである。混合割合が 75:25 の場合は緩衝材が砂のみである 100:0 と比較しても、大差はなく同じような傾向を示している。しかし、50:50 では落下位置中心付近において、特に強い力がかかっていることが分かる。これは、砂が礫の粒子を支える役割を果たし、礫が底面に力を伝達するのを助長したと考えられる。混合割合が 25:75 と 0:100 では強い力がかかっている部分と全く力がかかっていない部分が存在し、礫の混合割合が多い場合には局所的に底面に力を伝えていることが読み取れる。

また、図-9 には図-8 の一行の底面応力分布について、落体直径分(-50mm ~ +50mm)における平均値と、落体落下位置の中心に近い局所的な領域(-20mm ~ +20mm)における平均値をプロットしたものを示す。砂のみの礫層厚 0mm では局所的な領域(40mm)と落体直径分(100mm)の平均値がほぼ等しいのに対して、混合割合が 75:25, 50:50, 25:75 では落体直径分(100mm)の平均値よりも局所的な領域(40mm)の平均値の方が大きいことが分かる。礫のみの 0:100 では落体直径分(100mm)及び局所的な領域(40mm)の平均値は小さく、あまり力がかかかっていないように見える。ただし、最大落体衝撃力の比較より、混合割合が 25:75 と 0:100 でも底面に伝達する力は図-8, 9 に示すほど小さくないことが推定される。感圧シートを取り扱う上で緩衝材底面に敷く材料の選定に留意する必要があると考えられる。

以上より、緩衝材の混合割合が 50:50 の場合に、底面に伝達する応力は最も大きくなり、応力分布が局所化する傾向があることが考えられる。

3.2 砂層上に礫層を設置した場合

(1) 落体衝撃力に与える影響

図-10 に砂層上に設置した礫層厚が異なる場合の落体衝撃力の経時変化を示し、図-11 には最大落体衝撃力の値を示す。

波形形状は礫層厚が 0mm と 18mm において、最大落体衝撃力となる前に変曲点が見られる。礫層厚が 18mm の波形に着目すると、3.5ms までは礫層厚 25mm のものと同じ波形となっているが、それ以降の衝撃力の増加傾向に違いが見られ、最大落体衝撃力は小さくなる。

また、最大落体衝撃力は、砂層上に礫層を設置すると、礫層厚が 0mm(砂のみ)である場合に比べ、基本的に大きくなる。礫層厚が 18mm の場合は砂のみの場合とほぼ等しくなり、礫層厚が 25mm の時に最大落体衝撃力が最大となる。礫層厚が 18mm と 25mm 以上を比較すると、25mm 以上では砂層まで貫入していないため最大落体衝撃力が増加するが、礫層厚が 18mm では最大落体衝撃力発生前に砂

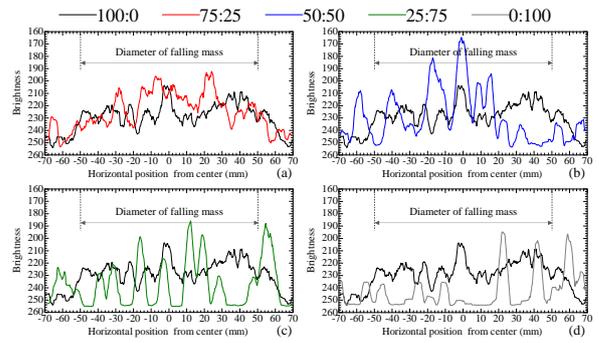


図-8 混合割合が異なる場合の底面応力分布の比較
(a) 25%, (b) 50%, (c) 75%, (d) 100%

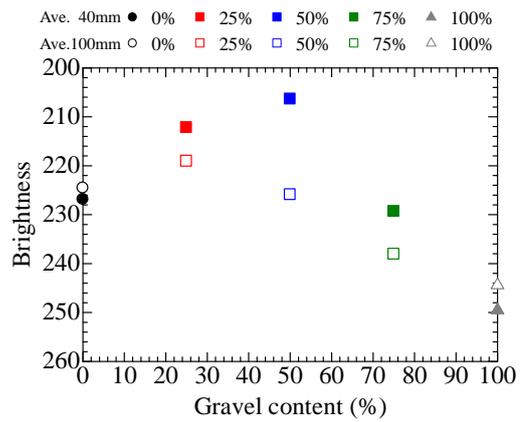


図-9 混合割合が異なる場合の底面応力分布の平均値

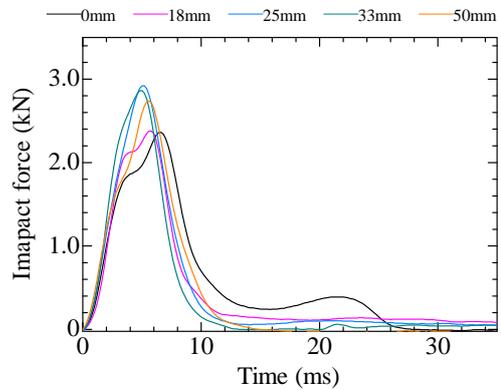


図-10 礫層厚が異なる場合の落体衝撃力

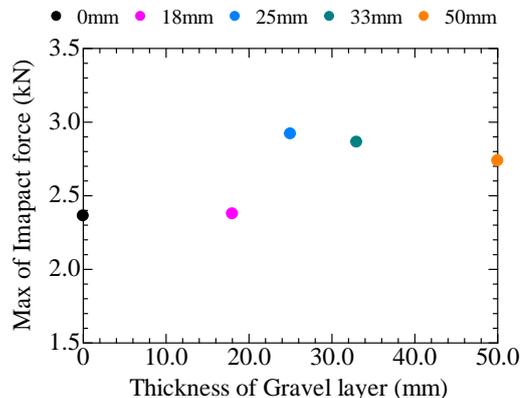


図-11 礫層厚が異なる場合の最大落体衝撃力

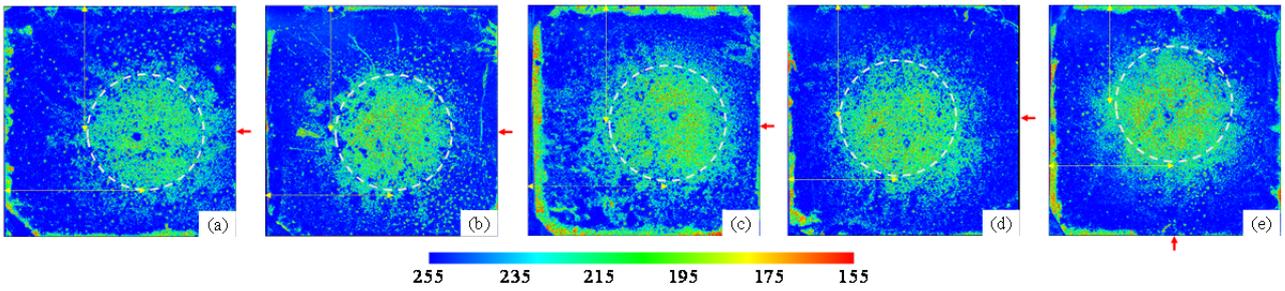


図-12 礫層厚が異なる場合の底面応力分布のコンター図

(a) 100:0, (b) 75:25, (c) 50:50, (d) 25:75, (e) 0:100

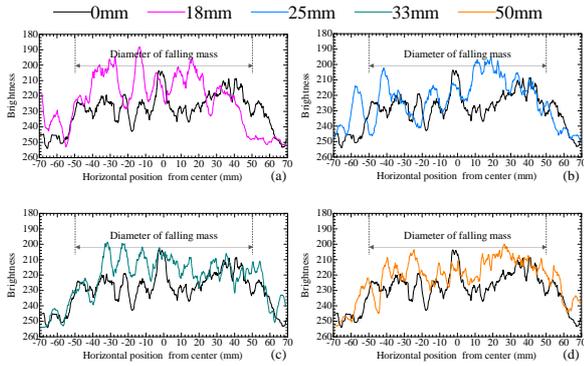


図-13 礫層厚が異なる場合の底面応力分布の比較

(a) 18mm, (b) 25mm, (c) 33mm, (d) 50mm

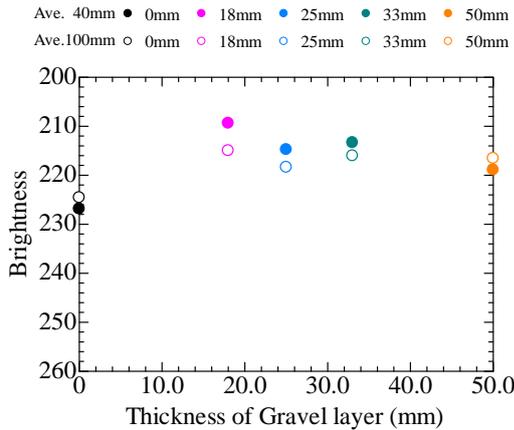


図-14 礫層厚が異なる場合の底面応力分布の平均値

層まで貫入したため最大落体衝撃力が増加しなかったものと考えられる。

また、礫層厚が大きい 33mm, 50mm では値が若干低下しているが、緩衝材が礫のみである場合には最大落体衝撃力が 2.64kN であり、礫層厚が 50mm 以上の場合はほぼ一定値に収束するものと考えられる。これは、最大落体衝撃力は、表層部分の材料特性に依存するため、ある一定値以上層厚が大きくなっても最大落体衝撃力は増加しないものと考えられる。

(2) 底面の応力分布に与える影響

図-12 に 3.1 節にて用いた感圧シートを同様に緩衝材底面に設置し、落体落下後の感圧シートから明度情報を抽出し、コンター図を示す。どの礫層厚のケースにおいても、落体直下の落体直径分(100mm)に黄緑色で表される領域が広

がっているのが確認でき、所々に赤色の点が見られる。しかし、それ以外に目立った違いは見られないため、より詳細に検討するため、3.1 節と同様に図-12 中の各コンター図の右側あるいは下側にある矢印が指し示す方向の一系列に着目し、明度をグラフ化したものを図-13 に示す。ここでは、礫層厚が 18mm の時に底面応力分布の値が大きくなっているように見える。

ここで、図-14 に 3.1 節と同様に落体直径分(-50mm ~ +50mm)と落体落下位置の中心に近い局所的な領域(-20mm ~ +20mm)の平均値を示す。礫層厚 0mm(砂のみ)に比べ、砂層上に礫層がある場合には平均値が大きくなっており、高い応力が伝達していることが分かる。特に礫層厚 18mm に着目すると、図-11 の最大落体衝撃力の値は礫層厚 0mm と同等であったのに対し、底面応力分布は大きな値を示している。以上より、砂層上の礫層の有無の影響として、最大落体衝撃力に違いがなくても、底面伝達応力は礫層有りの方が大きくなる可能性がある。

4. まとめ

本論文では、緩衝材に砂と礫の粒度分布が異なる 2 種類の試料を用い、砂と礫の混合割合及び表層の礫層厚を変化させた模型実験を実施した。得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 砂と礫を混合させた場合、相対密度一定の条件では、緩衝材の混合割合が 50:50 の場合において、間隙比が最も小さくなり、最大落体衝撃力が大きくなることが分かった。
- 2) 砂と礫を混合させた場合、緩衝材の混合割合が 50:50 に近いほど底面に伝達する応力は大きくなり、局所化する傾向があることが考えられる。
- 3) 砂層上の礫層の有無の影響として、最大落体衝撃力に違いがなくても、底面伝達応力は礫層有りの方が大きくなる可能性がある。

今後は静的載荷試験を実施することで接触面強度や落体貫入特性を把握し、落体衝撃力と底面応力分布に加え、底面の伝達衝撃力について検討することで、衝撃緩衝メカニズムの解明を目指す。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.
- 2) 山口悟, 西弘明, 今野久志, 岸徳光: 既設落石防護覆道上の緩衝材土質調査結果について, 平成 23 年度土木学会北海道支部論文報告集, Vol.68, C-1, 2012.02.