

# 砂と碎石を用いた互層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす碎石層厚の影響

Effects of thickness of gravel layer on the absorbing performance of alternating layer using sand and gravel

|            |      |                        |
|------------|------|------------------------|
| 名古屋工業大学    | ○学生員 | 内藤直人 (Naoto Naito)     |
| 名古屋工業大学    | 正員   | 前田健一 (Kenichi Maeda)   |
| 構研エンジニアリング | 正員   | 牛渡裕二 (Yuji Ushiwatari) |
| 室蘭工業大学     | 正員   | 小室雅人 (Masato Komuro)   |
| 室蘭工業大学     | 正員   | 山口悟 (Satoru Yamaguchi) |
| 寒地土木研究所    | 正員   | 荒木恒也 (Nobuya Araki)    |

## 1. はじめに

落石防護工の一つであるロックシェッド頂版上には、落石が発生した場合にロックシェッドの直接的な損傷を防ぐために地盤材料を用いた緩衝材が設置される。我が国では、緩衝材に砂を用いることが推奨されているが、スイス等の山岳地帯に位置する国では、砂は湖の浚渫土等に限定されていることから碎石のような礫質土を用いている。

砂と碎石を比較した場合、碎石に比べて砂の方が衝撃力の最大値を2分の1程度に抑制できるが、貫入量は4倍程度大きくなるケースがあることが分かっている<sup>1)</sup>。これより、斜面の経年変化による落石規模の増大によって超過外力が作用した場合には、敷砂緩衝材では落石を受け止めきれずロックシェッドへの直撃を招く危険性が考えられる。緩衝材の性能としては、想定内の外力に対しては衝撃力を小さく抑え、超過外力に対しては防護工への直撃を防ぐことが望ましいと考える。

そこで、著者らは砂と碎石を組み合わせた互層緩衝構造の提案に向けた検討を進めている<sup>2)</sup>。これは表層に砂、中間層に碎石、下層に砂を配置する互層の緩衝構造である。本論文では、中間層の碎石層の厚さが異なる緩衝層に対する重錘落下衝撃実験結果から、碎石層厚が互層緩衝構造の耐衝撃性能に及ぼす影響について検討する。さらに、緩衝層内の変形挙動についても併せて検討する。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験装置

図-1 に本実験に使用した実験装置の概要を示す。緩衝層は鋼製底盤にボルト結合した鋼製砂枠の中に敷き詰め、載荷部直径 230mm、質量 400kg の円柱型鋼製重錘を 750mm の高さから自由落下させる実験を実施した。実験では、落体衝撃力を重錘先端部に組み込まれているロードセルで計測、落体貫入量はレーザ式変位計を用いて計測した。また、鋼製底盤を支持する9個の起歪柱型ロードセル（受圧面の直径 87mm、容量 100kN）で計測した値を合計することで伝達衝撃力を算出し、鋼製底盤に面一で設置された起歪柱型ロードセル（受圧面の直径 20mm、容量 10MPa）で伝達衝撃応力を計測した。さらに、緩衝層底面には富士フィルム製の感圧シートであるプレスケールを設置することで、底面に伝達する衝撃応力を面的に測定することを試みた<sup>3)</sup>。

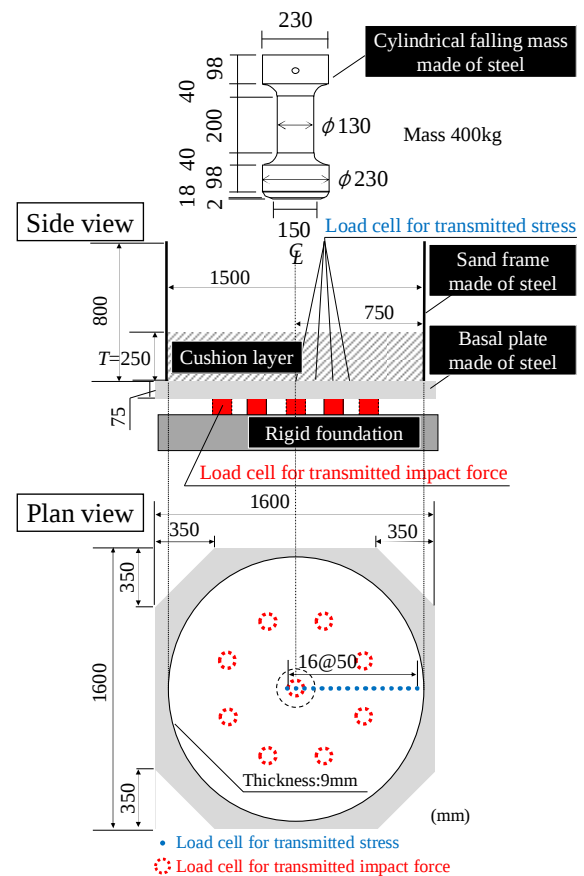
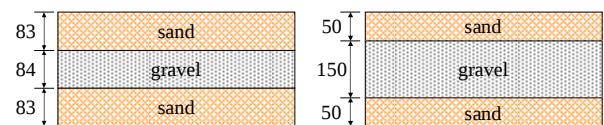


図-1 実験装置概要



(a) SGS250-W4-H0.75 (b) SGS250S-W4-H0.75  
図-2 中間層の碎石層厚が異なる互層緩衝構造の概要

### 2.2 互層緩衝構造の設置条件

図-2 に衝撃実験で用いた緩衝層の概要図を示す。緩衝層の全層厚は 250mm として、砂：碎石：砂の比率がおよそ 1：1：1 である中間層の碎石層厚が 84mm のケース（SGS250-W4-H0.75）と、中間層の碎石層が厚い 150mm のケース（SGS250S-W4-H0.75）の2つの緩衝層

について検討した。図-3 には互層を作製する際の砂と碎石の粒度分布を示している、敷き均しは足踏みで緩詰めとなるように締固めた。

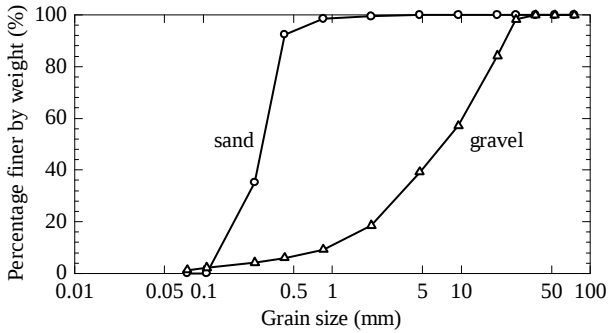
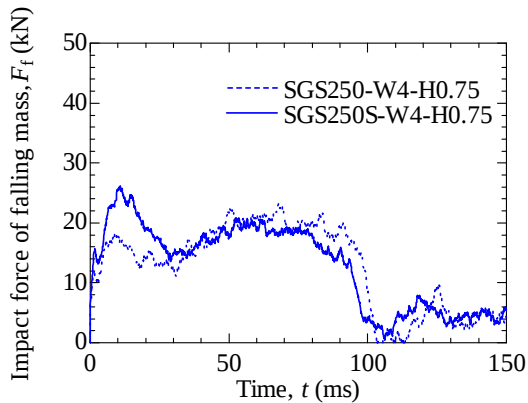


図-3 実験試料の粒度分布

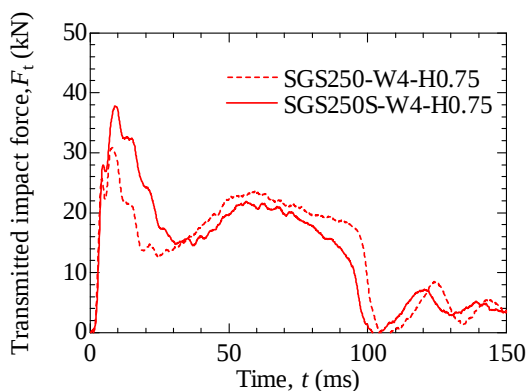
また、碎石層が厚い SGS250S-W4-H0.75 のケースでは、緩衝層設置時に着色した碎石を規則的に配置し、実験後に着色碎石の座標を測定することで緩衝層内の変形挙動の把握を試みた。

### 3. 碎石層厚の異なる互層緩衝構造の緩衝性能の比較

#### 3.1 衝撃力・貫入量波形に及ぼす碎石層厚の影響



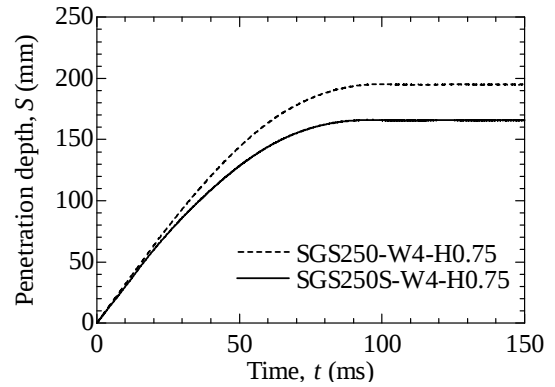
(a) 重錘衝撃力



(b) 伝達衝撃力

図-4 各種応答波形

図-4(a)(b)(c)に落体衝撃力、伝達衝撃力、落体貫入量の時刻歴波形を示す。碎石層が薄い SGS250-W4-H0.75 は破線、碎石層が厚い SGS250S-W4-H0.75 は実線で示す。



(c) 落体貫入量

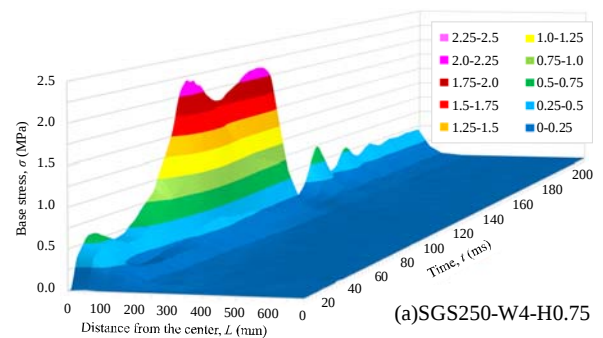
図-4 各種応答波形

落体、伝達衝撃力はいずれも2つのピークが生じる波形性状である。落体衝撃力は碎石層が薄い方 (SGS250-W4-H0.75) は第2ピークで最大値となるが、碎石層が厚い方 (SGS250S-W4-H0.75) は第1ピークで最大値となる。伝達衝撃力はいずれも第1ピークで最大値となる。また、両衝撃力とも碎石層の薄い方に比べて厚い方が第1ピークは大きく、第2ピークは小さく傾向がある。貫入量は中間層の碎石層の厚い方が小さくことが分かる。

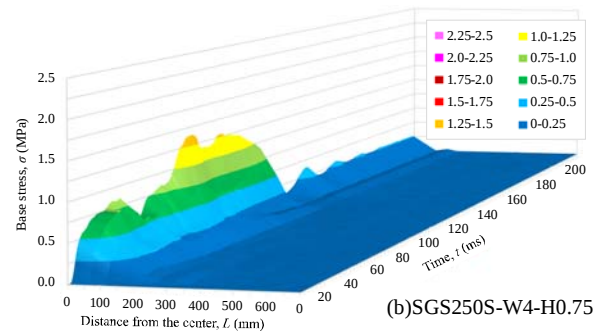
砂に碎石を組み合わせた互層緩衝構造は、中間層の碎石層を厚くするほど、落体、伝達衝撃力波形の第1波目が大きくなるが、貫入量を小さくできることが分かった。

#### 3.2 底面応力分布に及ぼす碎石層厚の影響

図-5(a)(b)に底面に作用する伝達衝撃応力分布の継時変化を示す。縦軸に伝達衝撃応力、横軸に重錘中心からの距離、奥行き方向の軸に時間を示している。図-5 より碎石層の厚い方が伝達衝撃応力の最大値は抑えられていることが分かる。



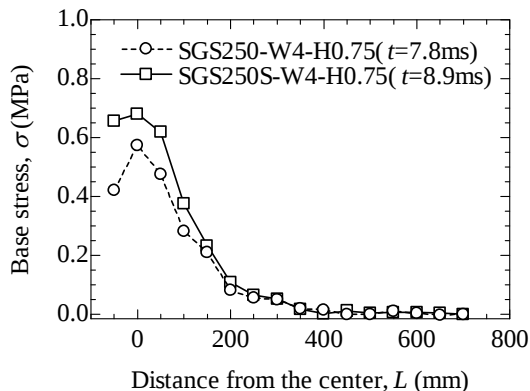
(a)SGS250-W4-H0.75



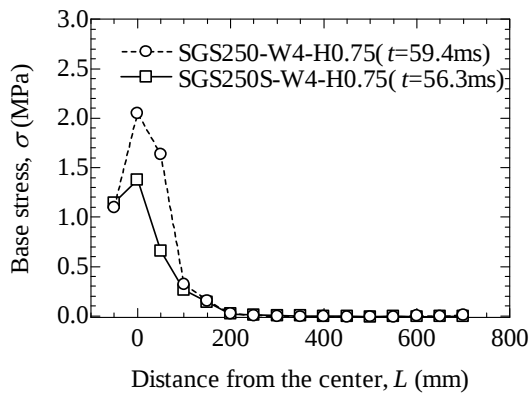
(b)SGS250S-W4-H0.75

図-5 底面応力分布の時刻歴波形

応力分布について定量的に比較するため、図-6(a)(b)に伝達衝撃力波形の第1ピークと第2ピーク時の応力分布を示す。碎石層が薄い方は(SGS250-W4-H0.75)は破線、碎石層が厚い方(SGS250S-W4-H0.75)は実線で示している。



(a) 伝達衝撃力第1ピーク時の応力分布



(b) 伝達衝撃力第2ピーク時の応力分布

図-6 伝達衝撃力の第1・2ピークにおける応力分布

まず、衝撃力の第1ピーク時の結果を比較する。図-6(a)の最大伝達衝撃応力は、碎石層が薄い方に比べて厚い方が1.18倍大きくなる。図-4(b)に示す伝達衝撃力の第1ピーク値は、碎石層の厚い方が1.22倍大きくなっている。第1ピーク時には、伝達衝撃力と最大伝達衝撃応力の関係が概ね対応していると言える。

続いて、衝撃力の第2ピーク時の結果を比較する。図-6(b)の最大伝達衝撃応力は、碎石層が薄い方が1.49倍大きくなる。図-4(b)に示す伝達衝撃力の第2ピーク値は、碎石層の厚い方が伝達衝撃力は大きいが碎石層が薄い条件に比べて最大伝達衝撃応力は小さくなることが分かった。これは、落体衝撃力の第2ピーク時における残存層厚が異なることが原因の一つに考えられる。残存層厚が厚ければ、同じ落体衝撃力だとしても底面に伝達する応力は小さくなることが予想される。実際に、落体衝撃力の第2ピーク時において、碎石層が薄い場合の残存層厚は75mmであることにに対し、碎石層が厚い場合の残存層厚は126mmであった。

### 3.3 互層緩衝構造の変形挙動の可視化

碎石層が厚いSGS250S-W4-H0.75のケースでは、着色碎石を用いて緩衝層内の変形挙動の把握を試みた。図-7(a)(b)に着色碎石の配置状況と実験後の測定状況を示す。着色碎石の初期位置は底面から50, 100, 150, 200mmの高さに、落下中心から0, 120, 240, 480mmの位置に配置している。



(a)設置状況



(b)実験後の測定状況

図-7 着色碎石概要

図-8に着色碎石の初期位置(白抜きプロット)と重錘落下後の位置(塗り潰しプロット)を示す。水平方向に最も移動した碎石粒子は、底面から100mmの高さで落下中心から120mmに位置する粒子であり、その水平方向の移動量は68mmであった。底面に最も近い位置に設置した高さ50mm, 落下中心から120mmの粒子でも46mm水平移動したことが分かった。

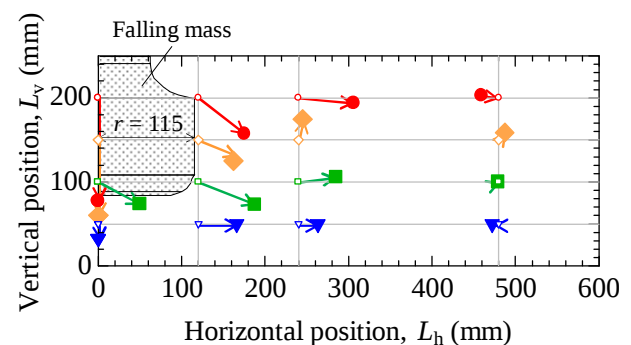


図-8 着色碎石の初期位置と実験後の位置

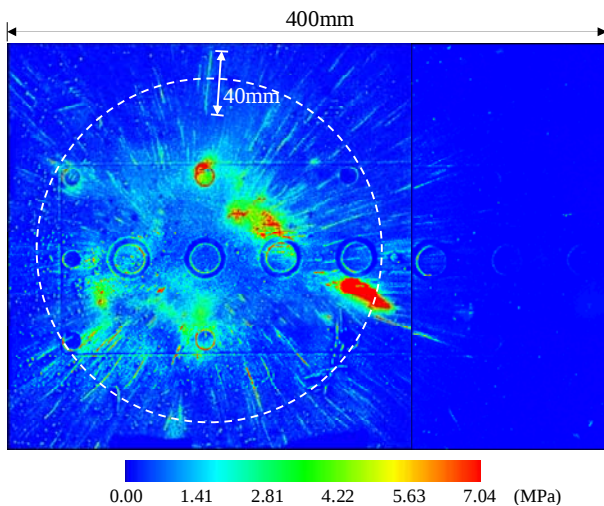


図-9 感圧シートから得られた底面の最大応力分布

図-9 には碎石層が厚い SGS250S-W4-H0.75 のケースの感圧シートから得られた最大応力分布を示す<sup>3)</sup>。図中にはφ230mmの重錘落下位置を白色破線の円で示している。図中で不自然に赤く高い応力が作用している部分は碎石が直接衝突していたことを確認している。図-9から落下中心ほど高い応力が作用していることが分かる。また、良く見ると落下中心から放射状にひっかき傷のような線がある。目視で観察できる最長の放射状の線分の長さは40mmであった。これは底面から50mmの高さに配置した着色碎石の移動量に近い値である。

図-8, 9の結果から、緩衝層内の碎石粒子は水平方向にも数十mmに渡って移動していることが明らかとなった。また、感圧シートに記録された放射状の線分は緩衝層底面に位置する砂粒子の移動経路を表している可能性がある。

#### 4. まとめ

本論文では、中間層の碎石層の厚さが異なる緩衝層に対する重錘落下衝撃実験を実施し、緩衝層内の変形挙動についても検討した。得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 砂に碎石を組み合わせた互層緩衝構造は、中間層の碎石層を厚くするほど、落体、伝達衝撃力波形の第1波目が大きくなるが、貫入量を小さくできることが分かった。
- 2) 緩衝層内の碎石粒子は水平方向にも数十mmに渡って移動していることが明らかとなった。また、感圧シートに記録された放射状の線分は緩衝層底面に位置する砂粒子の移動経路を表している可能性がある。

**謝辞：**本研究に用いた装置の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)26289152及び特別研究員奨励費(26・7908)の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 山口悟, 木幡行宏, 小室雅人, 内藤直人, 岸徳光: 敷砂あるいは碎石緩衝材の緩衝特性に関する大型重錘落下衝撃実験, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.983-995, 2014.
- 2) 田中敬大, 前田健一, 奥村勇太, 小室雅人, 山口悟: 異なる地盤材料を組み合わせた互層緩衝構造の緩衝特性, 平成27年度土木学会北海道支部論文報告集, Vol.72, 2015. (投稿中)
- 3) 奥村勇太, 前田健一, 内藤直人, 栗橋裕介, 川瀬良司: 伝達衝撃応力測定のための感圧シートの利用, 平成27年度土木学会北海道支部論文報告集, Vol.72, 2015. (投稿中)