

落石衝突を受ける敷砂緩衝材の密度変化

名古屋工業大学	学生会員	奥村勇太
名古屋工業大学大学院	学生会員	内藤直人
名古屋工業大学	正会員	前田健一

1. はじめに

我が国では、近年の気象変動による降雨条件の変化や地震の多発に起因して落石発生件数は年々増加傾向にある。しかし、既存の落石防護工では斜面の経年劣化に伴う落石規模の拡大に対応できず、安全余裕度が低下することが大きな問題となっている。このため、その対策方法の提案が急務である。落石防護工の一つにロックシェッドがある。ロックシェッド上面には敷砂緩衝材があり、落石衝撃力の緩衝効果に優れるものの、敷砂緩衝材の耐衝撃応答には未解明の問題が数多く存在する。例えば、落体の敷砂衝突時に落体が受ける落体衝撃力と、敷砂底面全体に伝わる伝達衝撃力（ロックシェッド上面に入力する衝撃力）との関係では、伝達衝撃力が落体衝撃力の2倍になるケースがあるなど、敷砂緩衝材を介した衝撃力の伝達について詳細に把握できていない。

今までの大型衝撃実験および数値計算（DEM 解析）（図 - 1 (a) (b)）を参照すると、敷砂内部の密度変化は、単純に圧縮されるわけではない複雑なもので、わずか 1m 程度の層厚ということもあり、地盤力学の分野でも積極的に取り組まれてこなかった問題である。また、大型模型実験においても落体直下数 cm が密になり、それより深い位置では緩くなることが確認されている。以上より、敷砂緩衝材を伝播する衝撃力について考える上で、敷砂内部にどのような密度変化がおきているかを正確に把握することが重要であると考えられる。

本研究では、砂の緩衝効果を詳細に評価するため、敷砂内部の密度変化に着目した。そこで、メッシュ状の敷砂模型に落体を鉛直落下させる模型実験を行い、画像処理によって、敷砂内部の変形量を算出し、密度変化（ひずみ変化）について考察した。

2. 実験概要

模型実験は、図 - 2 に示したような豊浦砂と黒色

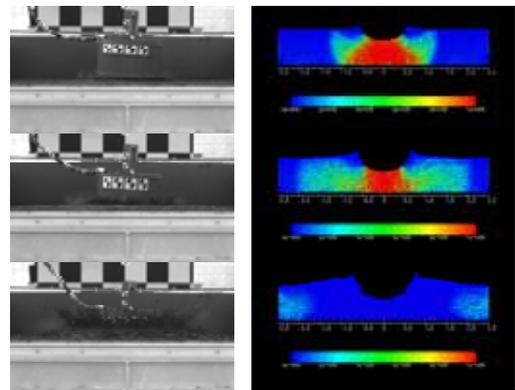


図 - 1 落体衝突時の敷砂の変形挙動；
(a)大型衝撃実験，(b)DEM 解析（応力分布）

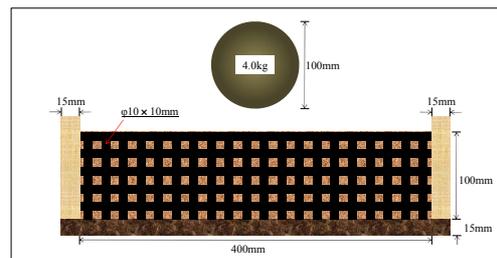


図 - 2 初期状態の中央断面図（ $T/D^f = 1.0$ ）

に着色した豊浦砂を互層にした敷砂模型を用いて実験を実施した。各層の厚さは 10mm とし、相対密度は 50%に管理した。落体直下位置(中央)の面には鉛直方向にも黒色の豊浦砂(直径 10mm の円柱状砂層)を 20 か所に敷き詰め、密度変化が捉えることができるよう、断面をメッシュ状に作製した。実験ケースは、相対層厚 T/D^f (落体径 D^f に対する層厚 T の比)が 0.5, 1.0 となるように、敷砂層厚 $T=50\text{mm}$, 100mm の 2 ケースを行うことで落体落下時の境界部分との距離による影響を把握することを目的とした。落体は直径 100mm, 質量 4.0kg の球体を用いて落下高さ 0.4m から鉛直自由落下させた。落体落下後の敷砂内部をカメラで撮影し、画像処理することによってメッシュのひずみ量（真ひずみ、圧縮を正とした）を算出した。このときの豊浦砂の含水比は 7%で、底面境界は鉄製で剛とみなせる。

3. 実験結果および考察

落体落下後の相対層厚 $T/D^f = 0.5, 1.0$ の落体直下の敷砂内部の状態をそれぞれ図 - 3(a), 図 - 4(a)に示す。この時の、敷砂内部の鉛直の直ひずみ分布を示したものがそれぞれ、図 - 3(b), 図 - 4(b)である。 $T/D^f = 1.0$ においては、表層だけでなく深部までひずみ変化しているのがわかり、圧縮領域（赤～黄緑）が落体から鉛直方向に約 30° 程度の広がり分布しており、砂が側方移動しているのがわかる。 $T/D^f = 0.5$ では、周囲に広がることなく、ほぼ落体直下の領域だけ（赤色で示した）が集中して、圧縮しており、落体直下周囲は緩んでいる領域（青～水色）が広がっている。以上より、 $T/D^f = 0.5$ の方が $T/D^f = 1.0$ に比べて敷砂内部の圧縮が局所化していることがわかり、落体の衝撃力があまり分散・低減せず敷砂底面へ伝わっていると考えられる。

つぎにより詳しく現象を考察するために、表層から3層目(20mm～30mmの黒色の層)、5層目(40mm～50mmの黒色の層)における、 $T/D^f = 0.5, 1.0$ の鉛直の直ひずみに着目した(図 - 5(a) (b))。表層から3層目では、 $T/D^f = 0.5, 1.0$ ともに圧縮しているのがわかる。しかし、表層から5層目に関しては、 $T/D^f = 1.0$ では、落体直下が強く圧縮されているのに対して、 $T/D^f = 0.5$ では値が $-0.3 \sim 0$ の間におさまっており、ほとんど圧縮していないことがわかる。これは、底面境界の影響を受けているためと考えられる。境界との距離が近い場合、敷砂が側方移動することができず、砂の緩衝効果を十分に発揮することが難しくなっていると考えられる。

4. 結論

本研究では、メッシュ状の敷砂層を用いることで、ひずみ量を算出し、敷砂内部の圧縮領域・膨張領域がどのように分布するかを把握することができた。層厚が厚い場合には、表層だけでなく、深部まで圧縮しているのに対して、薄い層では深部がほぼ変形していないことから、砂の変形挙動に底面境界との距離が与える影響は強いといえる。このように敷砂内部を可視化することで、砂の移動および衝撃の影響範囲・度合が確認でき、砂の緩衝効果について詳細に評価することができるのではないかと期待できる。

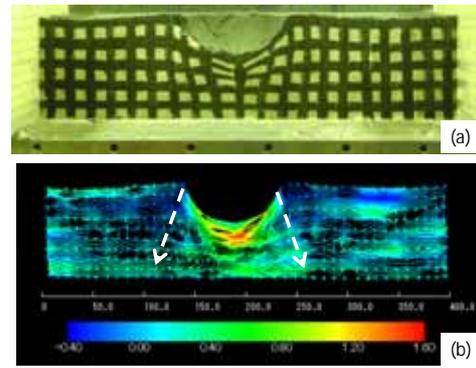


図 - 3 落体落下後の中央断面図 ($T/D^f = 1.0$);
(a)実験後の状況写真, (b)鉛直の直ひずみ分布

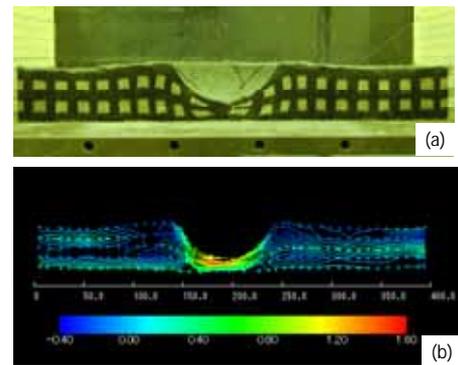


図 - 4 落体落下後の中央断面図 ($T/D^f = 0.5$);
(a)実験後の状況写真, (b)鉛直の直ひずみ分布

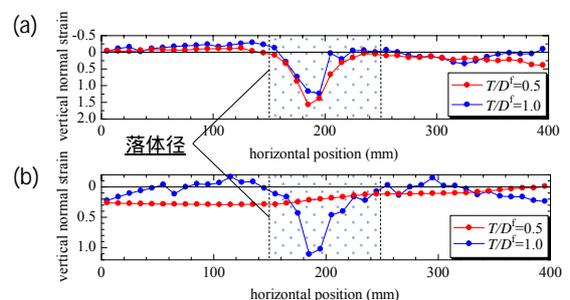


図 - 5 鉛直ひずみ分布;

(a)表層から3層目, (b)表層から5層目

参考文献

- 1)西弘明, 岸徳光, 牛渡裕二, 今野久志, 川瀬良司: 敷砂緩衝材を設置した 1/2 縮尺 RC 製ロックシェード模型の重錘落下衝撃実験, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1173-1180, 2011.03.
- 2)内藤直人, 前田健一, 山口悟, 牛渡裕二, 鈴木健太郎, 川瀬良司: 落体の貫入挙動に着目した敷砂の衝撃緩衝メカニズム, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.69, No.2, pp.361-370, 2013.