異なる飽和度における落石緩衝材の側方変位に着目した衝撃緩衝メカニズム

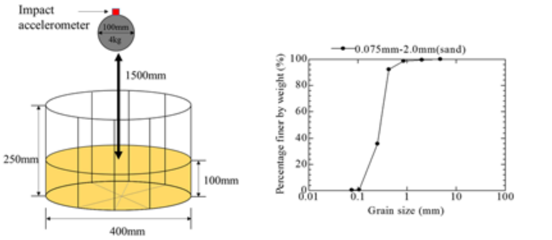
名古屋工業大学　学　○堀　耕輔　　正　前田　健一
学　田中　敬大　　学　内藤　直人
構研エンジニアリング　　正　牛渡　裕二　　正　鈴木　健太郎
フェロー　川瀬　良司

1.　はじめに

落石の対策工であるロックシェッドの頂版上には，落石が衝突した場合の構造物への衝撃荷重緩和と損傷抑制を目的として高緩衝性能を有する敷砂などの土の緩衝材が設置される．

しかし，最適な性能を引き出すための含水状態や降雨による飽和度の変化に伴う性能の変化に関する機構は未解明であり，落石対策便覧 [1]にも明記されていない．よって敷砂設置時だけでなくその後の地盤条件の変化を想定した敷砂緩衝材の緩衝性能の把握は重要な課題である．

そこで，本研究では異なる飽和度が敷砂緩衝材の衝撃緩衝特性に及ぼす影響について考察を行う．



(a)実験装置概要　　(b) 実験試料の粒度分布

図-1 実験概要

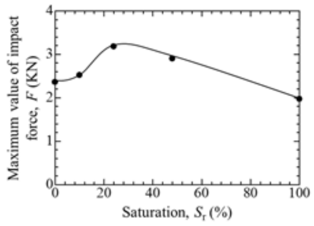


図-2　最大落体衝撃力と飽和度

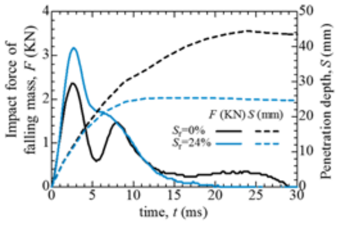


図-3　落体衝撃力と貫入量の時刻歴波形

2.　実験概要

本研究では，図-1(a)の直径 400mm，高さ 250mm の円筒土層に図-1(b)の粒度分布の試料を用いて砂の単一層を作成した．そして飽和度 0%，10%，24%，48%，100%の緩衝層をそれぞれ設置した．なお緩衝層は層厚を 100mm とし，三層に分けて相対密度が 50%となるように締固めた．

実験は落体を高さ 1500mm から緩衝層に鉛直自由落下させて実施している．落体には直径 100mm，質量 4.0kg の球体を用いた．落体上部には衝撃加速度計を設置し，落体衝撃力を測定した．さらに，高速度カメラを用いて落体貫入量を測定した．

3.　実験結果と考察

3．1　落体衝撃力と落体貫入量の時刻歴波形

図-2 に実施したケース全ての落体衝撃力の最大値をプロットした図を示す．図-2 から，飽和度が大きくなるほど落体衝撃力は大きくなり，飽和度 24%で落体衝撃力は最大値を迎え，その後は飽和度が大きくなるほど落体衝撃力は小さくなる．これは粒子間に存在する水の形態の違いによるものと推察される．乾燥状態から飽和度が上昇すると，始めは引張に強いメニスカス水 [2]により砂がずれにくくなるが，飽和度をさらに増やしていくと引張にほとんど寄与しないバルク水 [2]の割合が増えてゆき，砂がずれやすくなる．よって飽和度がある値に達してからは落体衝撃力の最大値が低くなったと考えられる．

また，図-3 に飽和度 0%，24%の落体衝撃力と落体貫入量の時刻歴波形を示す．飽和度 0%では衝撃力波形に 2 波目が発生したのに対し，飽和度 24%では 2 波目が発生していない．このことから，乾燥砂と不飽和砂では砂の変形挙動が異なることが示唆される．

3．2　落体衝撃力と砂の側方向移動の関係

飽和度 0%では衝撃力波形に 2 波目が発生したのに対し，飽和度 24%では発生しなかった原因を探るため，新たな実験を実施した．本実験では，図-4 ように緩衝材の中心から 60mm，80mm，100mm の位置にそれぞれ針を標

キーワード　落石，落体衝撃力波形，相対速度
連絡先　〒466-8555　愛知県名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学 16 号館 227 号室　TEL052-735-5497

点として埋め，その標点を画像解析することにより砂の移動を計測し，砂の移動速度を求めた．土層直径，落下高さ，層厚，相対密度はそれぞれ 2 章と同条件とし，飽和度 0%と 24%の 2 ケースについて実験を実施した．

図-5(a), (b)に飽和度 0, 24%における，落体衝撃力の時刻歴波形，落体貫入速度 V_1, x=60 における針の直交三方向の合成速度 V_2, 落体貫入速度 V_1から針の合成速度 V_2を引いた相対速度 V' （$= V_1 - V_2$）を示す．また，せん断面が図-6 のように現れることが分かっているため，砂の表層の移動速度を V_2 と仮定する．図-6(a)に示すように，V_2 が遅くなると，落体直下の砂が密になり，落体衝撃力が大きくなる．また，V_1 と V_2 の差が大きいので，V'も大きくなる．図-6(b)に示すように，V_2 が早くなると，落体衝撃力が小さくなり，V'も小さくなる．V_1 と V_2 の差が小さいので，V'も小さくなる．このように，V'と落体衝撃力との増減関係が対応している．よって，落体衝撃力波形を説明するパラメータとして適切と判断し，V'を用いて考察をした．

落体衝撃力と速度の時刻歴波形を，増加減少の顕著な変化が現れる点を境とし，A~D の 4 種類の区間にわけ考察を行う．また，衝撃力と速度の時刻歴波形の間で各区間の時間軸に差が生じているのは，速度の変化が加速度の変化に対して時間遅れが生じるためである．

まず，区間 A では，V_1 の勾配が大きいが，落体接触面積の増加率が大きいため，落体衝撃力波形が急に立ち上がると考えられる．区間 B では，V_2 が維持される．しかし V_1 は常に減少しているため，V'も減少し，落体衝撃力も減少すると考えられる．区間 C は，飽和度 0%でのみ生じた．ここでは V_2 が減少しており，V_1 の勾配が緩くなっているため，V'は増加し，落体衝撃力も同様に増加すると考えられる．区間 D は V_1, V_2, V', が減少している．V'が減少しているため，落体衝撃力波形も終端へ向かうと考えられる．以上のことから相対速度 V'の増減により衝撃力波形の形成メカニズムを定性的に説明できる可能性が示された．

4.　まとめ

本研究では砂の緩衝層の飽和度を変化させて模型実験を実施した．また，砂の側方移動に着目した実験を行った．その結果，以下のことが分かった．

1) 飽和度が高くなると最大落体衝撃力も大きくなるが，飽和度がある値に達してからは飽和度が上がるほど最大落体衝撃力は小さくなる．
2) 乾燥砂では衝撃力波形に 2 波目が発生したのに対し，不飽和土では発生していない．この原因を探るため針の標点の移動を画像解析した結果，相対速度 V'の増減により衝撃力波形の形成メカニズムを定性的に説明できる可能性が示された．

今後は種々の落石条件や地盤条件における敷砂緩衝材の衝撃緩衝性能を評価する指標の確立に向け，様々な条件において砂の側方への移動を計測していきたい．

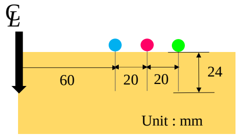
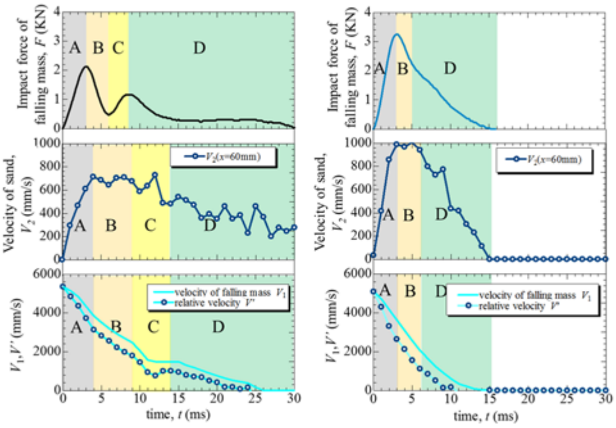
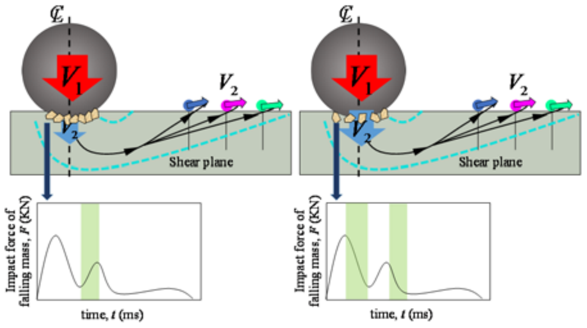


図-4　針の設置位置



(a)S_r=0%　　(b) S_r =24%

図-5 各種時刻歴波形



(a)V'が大きく落体直下が密　(b) V'が小さく落体直下が緩

図-6 落体衝撃力の発揮と相対速度 V'（$=V_1 - V_2$）の関係

参考文献

1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2000.6
2) 河井亮之，江偉川，飯塚敦：水分特性曲線ヒステリシスの表現と不飽和土の応力変化，応用力学論文集，Vol.5, pp.777-784, 2002.