PTV 法を用いた風洞装置を用いた飛砂粒子の運動解析

香川大学大学院工学研究科	学生会員	○中原優祐	香川大学創造工学部	正会員	石塚正秀
鳥取大学乾燥地研究センター	非 会 員	黒崎泰典	鳥取大学工学部	正会員	中村公一
モンゴル水文気象環境情報研究所	非 会 員	Gantsetseg Batdelger	森林総合研究所	非会員	萩野裕章
森林総合研究所	非 会 員	南光一樹	森林総合研究所	非会員	鈴木覚

1. はじめに

世界では乾燥化が進行しており、地球規模での環境変化が生じている。砂漠などの乾燥域では、強風により巻き上がった砂粒子が地面に衝突し、黄砂となる微小粒子が大気中へ運ばれる。黄砂は、$PM_{2.5}$ を増加させる大気汚染物質の一つであり、健康被害を引き起こす。また、広域に移流拡散することから、地球全体の気候に影響を及ぼす。

黄砂発生に与える地表面条件の 1 つに土壌クラストがあり、土壌クラストの形成と崩壊が黄砂発生の重要な条件であることが観測により示された [1]。昨年の著者らの研究では PTV 法による解析粒子数が少なく、結果の代表性が低いことが課題であった。本研究では、解析粒子数を増やし、土壌クラスト形成下における飛砂粒子の運動特性をより詳細に明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

飛砂粒子を発生させるため、図 1 に示す飛砂風洞装置を用いた。風洞は、幅 0.6 m、高さ 1 m の長方形断面で、長さは 4 m のエッフェル型吸出式である。ファンの回転数が 800 rpm の場合、風速は約 9 m/s となる。図中の soil と書かれた場所に土壌バットを設置し、上部からレーザーを当てることで土壌バットに衝突した飛砂粒子を撮影する。土壌クラストの生成のため、土壌への水分供給は自然の降雨に近い均一な雨を降らすことができる人工降雨装置(株式会社テクノコア)を用いた。そして、降雨時間が長いケースを「強いクラスト」、短いケースを「弱いクラスト」とした。撮影には高速度カメラ (KATO KOKEN CO, LTD 製、K5) を用いた。撮影された動画は、動画解析ソフト DIPP-MotionV2D による PTV (Particle Tracking Velocimetry) 法によって解析した。

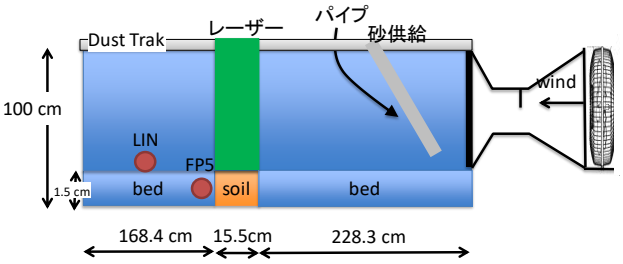

図 1　風洞装置の模式図

3. 実験土壌

土壌クラストを作成する土壌にはモンゴルのゴビ砂漠の土壌 (Loam) と笠岡粘土 (Silty clay loam) を用いた。また、飛砂として、単一粒径である豊浦標準砂 (Sand) を用いた (図 2)。モンゴル土壌の粒度特性は、細かい粒子と砂と同様の粗い粒子が存在しており、細かい粒子は黄砂 (ダスト)、粗い粒子は飛砂に対応することから、現地土壌は、黄砂が発生しやすい粒径特性を有する。

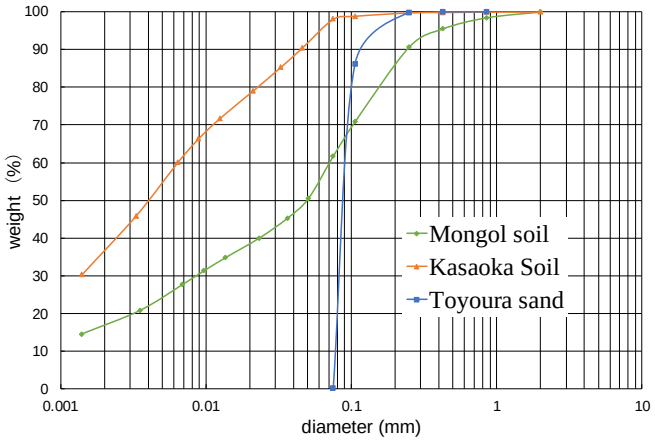

図 2　実験で使用した土の粒径加積曲線

4. 結果と考察

(1) 解析粒子

本研究では、昨年の研究で使用したものとは異なる

キーワード　土壌クラスト、射出角度、速度変化
連絡先　住所　香川県高松市林町 2217-20
電話番号　087-864-2143

解析ソフトを使用した。また、解析フレーム数を 100 frame から 1000 frame に増加させ、解析粒子数を増加させた。

昨年は、PTV 解析による粒子の追尾において、100 frame で 100～150 個ほどの粒子しか解析できておらず、結果の代表性が低かったが、本研究では 1000 frame の解析でエラーデータを除くと 1000 個程度の粒子を解析することができ、解析結果の精度向上につながる。

(2) 飛砂粒子の運動特性

図 3 は射出角度の頻度分布を示す。入射角度は 10° 以内におさまっているものがほとんどであったが、射出角度は 10° から 50° まで広く分布している。入射角度がだいたい 10° 以内におさまっていることを考慮し、10° 以上の角度で跳ね上がる粒子に着目すると、射出する粒子の割合が、クラストが無い笠岡粘土で 23 %、クラストの無いモンゴル土壌では 35 %、弱いクラストのモンゴル土壌では 35 %、強いクラストのモンゴル土壌では 39 %となった。つまり、粒径が小さい笠岡粘土では射出角度は小さくなり、粒径が大きいモンゴル土壌では射出角度は大きくなる結果が得られた。また、クラストが強くなるとわずかに射出角度が大きくなる傾向がみられた。

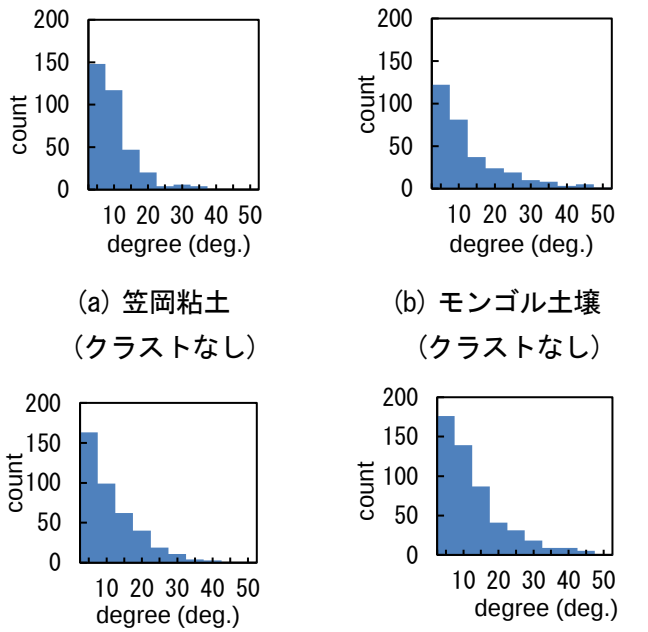

図 3　射出角度の頻度分布

クラストが無いモンゴル土壌における入射速度と射出速度を比較した結果を図 4 に示す。図より、射出速度が入射速度に比べて遅くなっていることが分かる。これは飛砂粒子の運動エネルギーが底面に当たることで減少するためと考えられる。速度変化が顕著に現れている高さ 1～3 cm における粒子の平均速度を表 1 にまとめて示す。クラストが無い笠岡粘土では、平均速度は 0.69 m/s しか減少していないが、モンゴル土壌ではそれぞれ 1.71 m/s、1.41 m/s、1.56 m/s 減少しており、速度の減少量が大きいことが分かる。これは土壌表面の粗度が関係していると考えられる。粒径が大きいモンゴル土壌表面の凹凸部分に砂粒子が衝突し、射出速度がより減少していると考えられる。

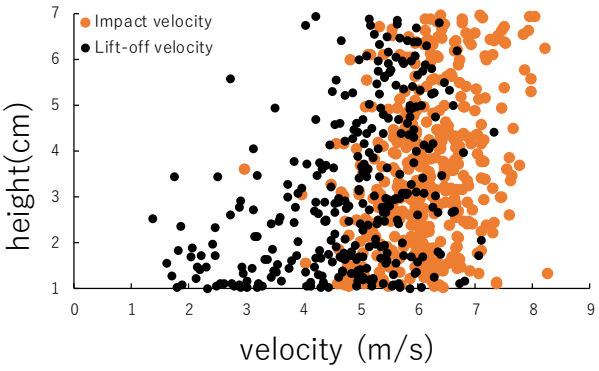

図 4　高度別の入射と射出の比較
(モンゴル土壌、クラストなし)

表 1　飛砂の平均入射速度と平均射出速度の変化
(高さ 1～3 cm)

Soil	Crust	Impact velocity	Lift-off velocity	Difference(m/s)
Kasaoka	no	5.89±0.82	5.21±2.8	0.69
Mongol	no	6.13±1.39	4.42±1.27	1.71
Mongol	weak	5.75±1.43	4.33±1.55	1.41
Mongol	strong	5.73±1.42	4.17±1.29	1.56

5. まとめ

今後の課題として、本研究で用いた動画では粒子が混在している底面付近の飛砂粒子数が多く、重なりが多かったためにすべての粒子を捉えることができなかったため、底面付近をより詳細に撮影し、飛砂粒子の挙動を解明することが重要である。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費基盤研究 B（課題番号：15H05115）、鳥取大学特別経費事業黄砂プロジェクトの補助を受けて実施した。また、本研究は森林総合研究所と香川大学との共同研究の成果である。

参考文献

1)　Ishizuka, M. et al.,: SOLA, 8, 129-132, 2012.