

乾燥地における降雨後の土壌クラストの形成および飛砂粒子による破壊の基礎的実験

香川大学工学部 賛助会員 ○神高明徳 香川大学工学部 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

1. はじめに

世界では乾燥化が進行しており、地球環境や社会環境へ様々な影響をもたらしている。本研究では、近年、注目を浴びている大気汚染物質の $PM_{2.5}$ にも含まれる黄砂に着目する。東アジアの乾燥域は、他の地域にある乾燥域と比べて緯度が高いことから、降水や植生の季節変化が大きく、地表面条件の変化が大きい。黄砂発生域の一つであるモンゴルのゴビ砂漠で実施した観測により、土壌クラストの生成と崩壊が黄砂発生量の増加と抑制に対して重要な条件である可能性が示された (Ishizuka et al., 2012)。しかし、土壌クラストの崩壊のメカニズムは明らかでない (黒崎, 2016)。黄砂の発生過程として、サルテーション (飛砂) 粒子が地面に衝突した際に、より小さい粒子の結合が破壊され、黄砂となる微小粒子を巻き上げるサルテーション・ボンバートメントが関係すると考えられている (Shao, 2008)。本研究では、砂粒子の衝撃に対する土壌クラストの強度を定量的に明らかにすることを目的として、室内実験を実施した。

2. 実験方法

研究の流れとして、1) 降雨実験と乾燥実験を行い、土壌クラストを作成し、その後、2) 土壌クラストの破壊実験を行った。

降雨実験では降雨シミュレータ (鳥取大学所有)、乾燥実験では恒温乾燥機および大型の人工気象室 (鳥取大学所有) を使用して、自然状態に近い土壌クラストの形成を再現した。15.5 cm×12.6 cm×2.7 cm の複数のバットに、礫を取り除いたモンゴル土壌 (ゴビ砂漠北部で採取) をほぼ同じ質量となるように詰めた。また、破壊実験では砂落下装置 (図 1) を新たに開発した。約 1 m の高さから豊浦標準砂を自由落下させて、上記により作成した土壌クラストを破壊させた。

3. 実験条件

(1) 土壌条件

本実験で使用した豊浦標準砂とモンゴル土壌の粒

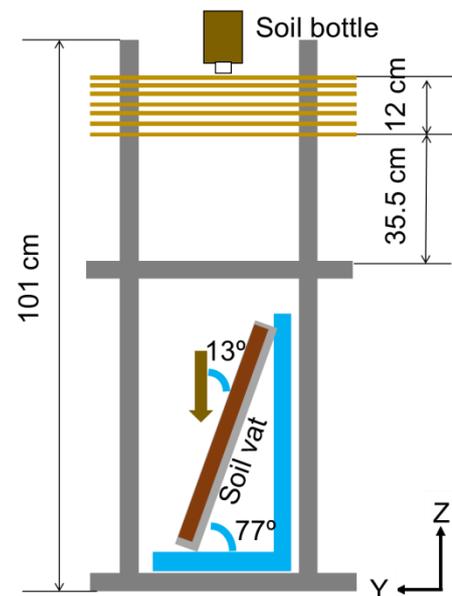


図 1 砂落下装置のモデル (側面図)

径加積曲線を図 2 に示す。モンゴルで採取した土は礫分 2%、砂分 38%、シルト分 37%、粘土分 24%、 $d_{50}=0.051$ mm、密度 2.71 g cm^{-3} であった。豊浦標準砂は砂分 100% で、単一粒径であり、 $d_{50}=0.184$ mm、密度 2.68 g cm^{-3} であった。

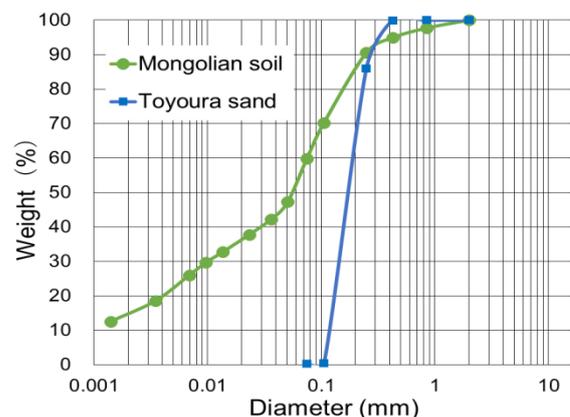


図 2 実験で使用した土の粒径加積曲線

表1 降雨実験と乾燥実験の実験条件

Case	Rainfall intensity	Rainfall time	Dry duration time	Air temperature
	mm/h		h	°C
1	20.94	1 min 55 sec	16	50
2	19.64	3 min 50 sec	24	15-30
3	20.07	3 min 50 sec	120	15-50
4	19.38	7 min 40 sec	24	15-40
5-1	20.78	57 sec	120	15-40
5-2	20.78	1 min 55 sec	120	15-40
5-3	20.78	7 min 40 sec	120	15-40

(2) 降雨実験

降雨実験と乾燥実験を異なる条件で5ケース実施した(表1)。降雨実験では、降雨強度は約 20 mm h^{-1} と同一にして、降雨時間を57秒~7分40秒まで様々に変化させて、供給水分量を変化させた。なお、同一条件でも、土壌バットの配置場所によって、供給水分量が異なる結果が得られた。

(3) 破壊実験

降雨実験後に、Case 2~5では、人工気象室を用いて、気温を15~40°Cもしくは50°C、相対湿度を20~35%、照度を0~6000 lxの範囲で日変化させながら乾燥させた。乾燥時間は、Case 1以外では24、120時間とした。

(4) 破壊実験

風により地面から飛び上がった砂粒子が再び地面に落下する入射角度は約13度であることから(Shao, 2008)、図1に示すように土壌バットを77度傾けて砂落下装置に設置した。そして、豊浦標準砂を高さ94 cm(バット中央からSoil Bottleまで)から約1分間自由落下させる実験を、1つのバットにつき計5回繰り返し行った。

4. 実験結果

土壌クラストの破壊実験より、落下する砂1gあたりに削られる土壌(土壌クラストを含む)の質量の割合(Soil erosion rate) M と降雨実験による供給水分量の割合(Supplied water ratio) ω の関係を求めた(図3)。 M 、 ω の算定方法を、以下に示す。

$$M = \frac{M_{\text{loss}}}{aM_{\text{sand}}} \quad , \quad \omega = \frac{w}{M_{\text{soil}}} \times 100$$

である。ここで、 M_{loss} は5分間砂を落下させて削られた土壌クラストの質量(g)、 M_{sand} は5分間落下させた砂の質量(g)、 a はバットを77度に傾けた時のバットが落下する砂を補足する割合、 w は供給水分量(g)、 M_{soil} は降雨実験前の土壌質量(g)である。

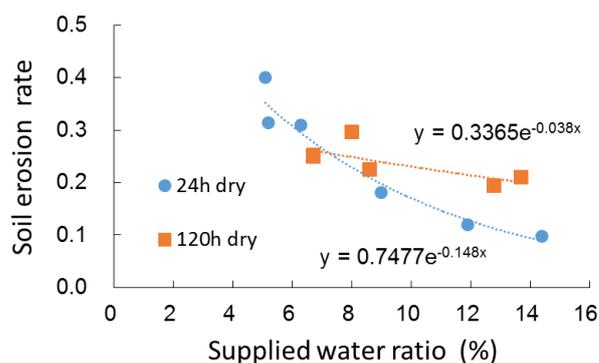


図3 供給水分量と削られた土壌クラストの関係

図3より、供給水分量の割合 ω が高いほど、削られる土壌の割合 M が小さくなる結果が得られた。この傾向は、乾燥時間が24時間の土壌の方が120時間乾燥した土壌よりもより明瞭であった。図には示していないが、供給水分量とクラストのひび割れ幅の関係を調べた結果、供給水分量が多いほど、ひび割れ幅が大きくなる傾向がみられたことから、 ω が高いほど、クラスト強度が強いと判断した。

24時間乾燥の場合に、 ω が増加すると M が小さくなる理由として、 ω と土壌水分量 M_w (= 乾燥後の土壌質量- 降雨前の土壌質量) の関係について考察した。

24時間乾燥の場合は ω が高いほど土壌水分量が多くなり、120時間乾燥の場合は土壌水分量の差が小さかった。このことから、24時間乾燥させた場合、乾燥後の土壌水分量が多いため、毛管水により土壌クラストより下層土壌の凝集強度が強くなり、削られる量が減少したと考えられる。

5. まとめ

新しく開発した砂落下装置を用いて、供給水分量の割合 ω が高いほど、削られる土壌の割合 M が小さくなる結果が得られた。今後は、実験データを増やして、より詳細な検討を行う予定である。

謝辞：本研究は、鳥取大学乾燥地研究センター共同研究(特定研究)(課題番号27A2003)、鳥取大学特別経費事業黄砂プロジェクト(、JSPS 科研費基盤研究B(課題番号：15H05115)の補助を受けて実施した。

参考文献：

- 1) Ishizuka, et al., SOLA, 8, 129-132, 2012.
- 2) 黒崎泰典：黄砂-健康・生活環境への影響と対策、鳥取大学乾燥地研究センター監修、丸善出版、37-47、2016.
- 3) Shao Y.: Physics and Modelling of Wind Erosion, Springer, p.119, p.152, 2008.