粒子衝突による土壌クラスト崩壊現象の実験的検討

中村公一¹

1 鳥取大学工学部・社会システム土木系学科

概 要

黄砂とは、乾燥地において強風のため微細な土粒子が舞い上がり、偏西風によって広域に運ばれる現象である。これを予報する数値モデルでは、粒径と臨界摩擦速度の関係が用いられる。地表面に土壌クラストが存在した場合、粒径と臨界摩擦速度の関係が変化することが指摘されており、これが予報精度低下の原因とされている。本研究では、土壌クラストに粒子が衝突するため、粒径と臨界摩擦速度の関係が変化するものと考えた。そこでモンゴルゴビ砂漠北部で採取した土試料を用いて土壌クラストを作成し、入射角度を固定・入射速度を変化させたガラスビーズを無風下で衝突させ、土壌クラストからの土粒子飛散状況を高速度カメラで撮影する実験を計 115 回実施した。その結果、ガラスビーズの入射速度とともに飛散する放出粒子数は増加すること、放出粒子の到達高さは土試料表面から約 20mm 以内であることがわかった。

キーワード：黄砂、土壌クラスト、衝突実験

1. はじめに

黄砂とは、主に乾燥地において強風によって微細な土粒子が舞い上がり、偏西風によって広域に運ばれる現象であり、日本においてもしばしば観測される。黄砂発生は、風速の影響を最も受けるため、現地観測では各高度の風速が計測されている。そして黄砂予報モデルで用いられるのは粒径と臨界摩擦速度・臨界風速¹⁾の関係である。図 1 の左軸が摩擦速度 u^* 、右軸は風速 u である。摩擦速度は、風の応力 τ と大気密度 ρ から $u^* = \sqrt{\tau/\rho}$ で求められる。 u は Kalama²⁾ が植生のない平らな乾燥地において、砂粒子径 0.250mm、高度 10m、臨界風速 6.5m/s として計算された、 u^* に対応する数値である。土粒子の舞い上がりに関する検討では u^* が重要なパラメータとなる。土粒子の粒径は、風により土粒子が舞い上がりはじめる臨界摩擦速度 u_{*1} に影響を与える。shao³⁾ は粒子間結合力に着目し、 u_{*1} を求める式を提案している。粒子間結合力に着目する理由は、小さい粒子ほどファンデルワールス力・静電力・表面張力・化学結合力が、土粒子が舞い上がり始める u_{*1} に大きく影響すると考えられるためである。しかし、粒子間結合力を測定するのは困難であるため、shao³⁾ は提案式に含まれる粒子間結合力の項をまとめ γ とした。この γ を変化させ、観測結果と比較して粒子間結合力がとりうる値について検討している。図 1 では、 γ を 1.65×10^{-4} 、 5×10^{-4} 、 3×10^{-4} として計算した結果を示している。この結果より、 $\gamma = 3 \times 10^{-4}$ が適切であろうと説明している。なお、白丸は Fletcher^{4,5)}、黒丸は Greenley&Iversen⁶⁾ の観測結果である。また、Greeley&Iversen による u_{*1} は、参考文献より引用された近

図 1 粒径と臨界摩擦速度・臨界風速の関係¹⁾

似曲線である⁶⁾。図 1 より、一般に粒径が大きくなるほど粒子が運動しはじめる u_{*1} は大きくなるが、粒径が小さいほど u_{*1} も小さくなるわけではなく、粒径が 0.070～0.500mm の範囲が最も小さいことがわかる。

空気中の土粒子の運動を説明する模式図を図 2 に示す¹⁾。運動はクリープ、サルテーション、サスペンションの 3 つに大きく分類され、それぞれの運動をする粒径範囲が記載されている。図 1 の u_{*1} が最も小さくなる粒径は、図 2 のサルテーションする粒径に対応している。これより、3 つの運動のなかでサルテーションが最も発生しやすいと考えられる。なお、日本へ飛来する黄砂(代表粒径約 0.004mm)は、サルテーションまたはサスペンションに近いサルター

図2 風による土粒子の運動の模式図¹⁾

ションの運動を行う土粒子が空中で衝突し、土粒子表面に存在する微細粒子が分離したものが偏西風で日本まで輸送されたものである。この土粒子が空中で衝突し、土粒子表面に存在する微細粒子が分離する現象をサルトーションボンパートメント^{7,8,9)}と呼び、本研究で検討する現象とは直接関係はない。

本研究が対象とした地点は、鳥取大学がモンゴルに設置している観測サイトである。この周辺は写真に示すように地表面は土壌クラスト（以降クラストと呼ぶ）で覆われていることが多い。このクラストは、降雨により水が供給され乾燥することによりできるものである。現地調査では、地表面に厚さ 1~15mm ほどのクラストが存在し固結しているが、その下は固結していない。このクラストの存在は u_{*t} に影響を与える。図1の u_{*t} は、地表面が固結していない条件で検討した結果である。したがって、地表面にクラストが存在する場合は u_{*t} が大きくなり、土粒子は舞い上がり難くなる。このため一般的に黄砂数値予報モデルでは、クラストが存在する地域の u_{*t} を大きく設定し、そこは黄砂発生域とはならない。これに対し現地と衛星による観測結果から、クラストが存在していても黄砂発生域となることが指摘されている。これより、クラストの状態が変化して u_{*t} が小さくなり、黄砂発生域に変化すると考えられている。そして、クラストの状態を変化させる原因として図2に示す土粒子の運動が関係していると考えられている¹⁰⁾。しかし、図2に示す運動がクラストに影響を与え、 u_{*t} が小さくなるメカニズムは明らかにされていない¹⁾。これが黄砂予報の精度低下原因のひとつとなっている。

既往の研究でサルトーション運動に着目されている理由は、風のみでは舞い上がり難い地表面の土粒子が、サルトーション運動する土粒子が地表面に衝突することにより、地表面の土粒子を舞い上げるためである。このような問題に対し実験による検討では、主に風洞を用いてサルトーション運動の土粒子が地表面に衝突したときの土粒子の運動や、地表面の衝突痕の状況が確認されてきた^{11,12)}。しかし、入射角や入射速度を調整し、1つの粒子を地表面に衝突させ、詳細に地表面の衝突痕の状況を検討した例はクラストの有無に関わらずほとんどない。そこで本研究は基礎的な検討として、クラストに1つの粒子を衝突させ、クラストからの土粒子飛散状況に着目した実験を行った。

図3 現地のクラストの様子と圧縮強度確認状況

図4 粒径加積曲線

具体的には、入射速度を変化させた粒子をクラストに衝突させ、放出粒子数、放出粒子の到達高さについて実験的検討を行った。

2. 実験試料と実験装置

2.1 実験試料と供試体作成方法

試料は、モンゴルのゴビ砂漠の北部にあるツォクトオボー（北緯 44.42 度、東経 105.32 度）で採取し、オートクレーブしたものを用いた。試料の土粒子密度は $\rho_s = 2.64 \text{ g/cm}^3$ 、粒径加積曲線は図4に示す。ここで図3に示すように、現地では地表面に小石の存在が認められるが、本研究では粒径 2mm 以上を除いた試料を用いた。

なお、ツォクトオボーはケッペンの気候区分で寒冷な砂漠気候 (BWk) に属し、一年を通して乾燥している。年間降水量は約 100mm でそのほとんどが夏の間に降り、12月から2月にかけては降雪もある。鳥取大学はツォクトオボーに観測サイトを設置し、PM10 量を測るダスト濃度、砂の跳躍を表すサルトーションなど黄砂発生量に影響すると思われるパラメータを測定している¹³⁾。

クラストの形成には、雨滴による物理的な衝撃やスレーキング等により地表面の団粒が壊れ、分散した粒子が土中に運ばれ孔隙の目詰まりを起こす場合と、蒸発に伴い水に溶解しやすい化学物質が地表面に移動、集積することによるものが原因としてあげられる。降雨量が少ない乾燥地では、塩基の溶脱と集積がクラストの形成に影響する。このようにクラストの強度には様々な要因が影響するため、全ての条件を検討することは難しい。そこで、本実験ではオートクレーブされた採取試料を用いて、現地調査結果を参考に厚さと強度が同様となるよう供試体を作成した。図3

図5 供試体

図6 フォースゲージによる圧縮強度と試験状況

には、現地のクラストの様子と、ハンディタイプのフォースゲージにより圧縮強度を測定する様子を示している。図中の載荷盤の直径は1.5cmである。これより、クラストの平均的な厚さは約7mm、クラストより下は固結していない状態であり、ハンディタイプのフォースゲージにより測定した圧縮強度は50～60kPaであった。なお、現地調査では、人力で載荷しているため変位は計測しておらず、得られる結果は最大圧縮強度のみである。

本研究では現地調査結果を参考に、シャーレに固結した部分（クラスト）と、固結していない2層となるよう供試体を作成した。この供試体に対し、フォースゲージによる載荷試験を行ない、同様な結果が得られるか確認した。作成方法は、内径46mmのシャーレに自然乾燥させた試料を入れ所定の間隙比に調整後、シャーレ全体に蒸留水を霧吹きで与え、地表面から所定の深さまで蒸留水が浸透するように作業を行った。蒸留水を与える際は、地表面に均一に与えかつ水溜りができないように留意した。その後、恒温室(20℃)で質量が一定になるまで乾燥させた。供試体は、現地計測された圧縮強度約60kPaとなるよう作成条件を決定した。間隙比は、乾燥状態の初期間隙比を大きくすると、蒸留水を与えたときには沈下、乾燥後には収縮するなどして、シャーレの高さより供試体表面が低くなり、真横から撮影できなくなるなど実験が困難となる。そのため、蒸留水を与える前の間隙比を実験可能となる0.51とした。そして、クラスト強度はクラスト厚さとの関係があるとの研究結果¹⁴⁾を参考に、蒸留水が浸透する厚さを変化させクラスト厚さを調整し、現地計測結果と同様な約60kPaとなるクラスト厚さ7mmで実験を行なった。図6にフォースゲージを用いた載荷実験結果を示す。本実験では、現地調査結果で得られているのは圧縮強度のみであることから、圧縮強度とクラスト厚さを用いて供試体を作成した。今後は、現地のクラストの間隙比や塩基などの状態、雨滴衝撃がクラスト強度に与える影響など、作成条件とクラスト強度の関係を考慮して、供試体を作成し実験する必要がある。

図7 実験装置

図8 実験装置配置図

2.2 実験装置

図7に示すように、供試体となるシャーレを水平に設置し、そこへ所定の角度に設置した真鍮管よりガラスビーズを射出し、シャーレの地表面に衝突させる。その状況をカトウ光研製のUSB高速度カメラと、PIV Laserを用いて撮影した。各装置の配置図を図8に示す。レンズは100mm・F1.8・最短撮影距離1.0mを用い、画像サイズは640×480pixel、実サイズは横約90mm、縦約70mmである。このため1pixelあたりの実サイズは0.14mmである。PIV Laserにアングルユニットとスライドユニットを取り付けることで、シャーレの地表面から幅10cm×高さ10cm程度を照射するよう調整した。PIV Laserを照射するため、粒子の散乱光により実際の粒径より膨張して撮影される。なお、直径約0.075mmのガラスビーズを落下させ撮影し、流体解析ソフト(FlowExpert2D2C)により認識できるかを確認している。8000fpsで撮影し、粒子の軌跡と個数は流体解析ソフトを用いて確認した。なお、ガラスビーズの入射速度は、実験ごとに流体解析ソフトを用い衝突直前の値を求めている。

2.3 射出粒子と射出方法

サルテーションなど土粒子が空中を運動し、地表面に衝突する問題については、風洞実験などを用いた実験的検討

や、その結果を参考に衝突による崩壊体積の推定方法などが提案されている^{15,16)}。この風洞実験で用いられている粒径は、図1や図2に示されているサルテーションの粒径範囲とほぼ同様な0.150~0.600mmである。また、このような既往の研究では、主に砂が用いられている。今後同様な研究結果と比較検討するには、実験で用いる入射粒子が土粒子と同様な密度かつ粒径が望ましい。そこで本研究では、現地で採取した試料を最大粒径2mm以下に調整したものを実験試料(図4参照)とし、入射粒子には粒径0.500mm~0.425mmのガラスビーズ($\rho=2.64\text{g/cm}^3$)を用いた(図10参照)。

射出方法は、長さ300mm、内径0.6mmの真鍮管を塩ビ板に貼り付け、その真鍮管内にガラスビーズを入れ、コンプレッサーから送り出される空気圧により射出した。入射速度は、ソレノイドバルブによる空気放出時間を0.04sとし、空気圧を変化させることで調整した。図7に示す橙色の矢印方向にガラスビーズが射出され、供試体に衝突する。入射角度は、供試体を水平に設置し、真鍮管を所定の角度とすることで設定している。射出される気流が実験結果に影響を与えない確認は、シャーレに乾燥試料を入れクラストを作成していない供試体に対し、ガラスビーズなしで空気圧0.15MPaの条件で装置を動作させ、気流により供試体表面の土粒子が運動しないことを高速度カメラにより確認した。その結果、水平距離100mmで問題なかったが、水平距離は長いほうが望ましいことから250mmとした。

ガラスビーズを射出する空気圧と入射速度の関係を図9に示す。図9の入射速度は、射出ごとの高速度カメラ撮影動画を解析して求めたものであり、撮影は図7と図8に示す装置を用いて行った。この結果から、同じ空気圧で射出しても供試体への入射速度は大きく変化することがわかる。そこで、図9は入射速度を調整するときの参考とし、ガラスビーズの入射速度は、実験ごとに撮影動画を解析して求めた。

3. 実験条件

3.1 入射角度

ガラスビーズの入射角度は、ガラスビーズが衝突してクラストが崩壊し飛散する状況に大きく影響を与えるものと考えられる。そこで本研究では、図11に示すuniform saltation¹⁴⁾を参考に入射角度を 13° と設定した。図7に実験装置に設定した入射角度を示している。uniform saltationとは、サルテーション時の粒子の運動を単純なモデルで表したものである。図11にはuniform saltationを表すのに必要となるパラメータ、放出角度 θ_1 、衝突角度 θ_2 、到達距離 l 、到達高さ z_m を示している。図11に示すuniform saltationでは、サルテーション運動する粒子の速度は変化するが、 θ_1 と θ_2 は変化しない。そのため、到達距離と到達高さのみが変化している。放出時の粒子の速度と角度についてRiceら¹⁵⁾およびBagnold¹⁶⁾は、サルテーションを写真計測することで大きな不規則性を持つことを明らかにした。そ

図9 ガラスビーズの射出空気圧と射出速度の関係

図10 ガラスビーズ

図11 Uniform Saltation¹⁴⁾

してShao¹⁴⁾は、放出後の軌道に影響を与える地表面付近の乱気流は弱い無視できること、多くの粒子は約 55° で放出され、降下し地表面には約 13° で衝突するという特徴をもつことを考慮し、uniform saltationを示している。

図2や図11に示すようにサルテーションの模式図は示されているが、サルテーション運動する土粒子がクラストに衝突し、クラストから放出される土粒子の到達高さについて実験的に検討された例はみられない。そこで本研究では、ガラスビーズの入射速度が、衝突により放出される土粒子の到達高さに与える影響を検討する。本研究では無風下で実験を行った。この理由は、風洞内で同様な実験を行う場合、サルテーション運動する粒子の入射角度を一定として、運動エネルギーの変化が結果に与える影響を精度よく把握することは困難なためである。実験は無風下で行っているため、本研究で得られる放出粒子の到達高さは、uniform saltationで示されている到達高さとは異なるものである。

3.2 入射速度

ガラスビーズの入射速度は、約5m/s~35m/sまで変化させて行った。これは、風速は約40m/sまで現地で観測されていること、8000fpsでは40m/sの入射速度であることを

動画解析より確認できないためである。

ガラスビーズの体積と密度、入射速度から計算される運動エネルギーは、入射速度 5m/s で約 $2.16 \times 10^{-6} \text{ J}$ 、35m/s で約 $1.06 \times 10^{-4} \text{ J}$ と非常に小さい。ガラスビーズの体積は、直径 0.5mm の真球として求めた。

4. 実験結果

4.1 ガラスビーズ入射速度と放出粒子数の関係

ガラスビーズの入射速度がクラストの崩壊量に与える影響について検討する。放出粒子とは、ガラスビーズの衝突によりクラストから飛散した土粒子である。また、放出粒子数は、入射させたガラスビーズ衝突以降の軌跡を用いて求めている。放出粒子数が増加するほど、より大きくクラストが破壊されているといえる。衝突実験は計 115 回行ない、供試体は同一であるが各衝突実験の衝突地点が異なるように供試体の位置を変更した。

図 12 にガラスビーズの入射速度と放出粒子数の関係を示す。ガラスビーズの入射速度増加とともに放出粒子数は増加する傾向がみられる。図中には線形回帰であるとして、回帰直線式と決定係数を示した。これより、 R^2 値は 0.4 程度であることから強い相関を示してはいない。このような場合、実験結果に異常値が含まれていることが考えられる。そこで、線形回帰モデル（図 12 に示す回帰直線式）を適用してよいか検討¹⁷⁾する。

図 13 に当てはめ値と残差の関係を示す。回帰分析の前提より、残差は当てはめ値に関わらずばらつきが一定であることや系列相関がないことが要求される。図 13 の赤線は平滑化曲線であり、ガラスビーズの入射速度によらずほぼゼロであることから残差には問題がない。図 14 に、標準化された残差の正規 Q-Q プロットを示す。誤差項の分布が正規分布に従うと仮定すると計測値は、図中に点線で示された直線上にプロットされることとなる。図 14 より、計測値のほとんどが直線上または近傍にプロットされていることがわかる。図 15 は、横軸が Leverage（梃子比）、縦軸が Standardized residuals（標準化された残差）の関係である。Leverage とは、図 12 に示す回帰式に、該当データが影響を与える度合いを示している。Standard residuals は、残差をその標準偏差の推定値で除したものである。この図より、実験値に線形回帰モデルへ大きく影響を与えるデータが含まれているかを確認することができる。この図で示される Cook の距離が 0.5 より大きいと影響があり、1.0 より大きいと異常値である可能性が高い。図 15 より、全ての結果が 0.5 以下であることから実験値に異常値はないと判断できた。

以上よりガラスビーズの入射速度と放出粒子数の関係は、不規則性をもつが線形回帰で表すことができ、ガラスビーズの入射速度が増加するほどクラストが大きく破壊される傾向があることが確認できた。

図 12 入射速度と放出粒子数の関係

図 13 当てはめ値と残差の関係

図 14 正規 Q-Q プロット

図 15 梃子比と標準化された残差の関係

4.2 放出粒子の到達高さ

ガラスビーズの入射速度が放出粒子の到達高さに影響を与えるか検討する。ここで複数の粒子が放出されるが、全ての粒子が同じ運動エネルギーではない。そこで、1回の衝突により放出された粒子の到達高さの分布状況について整理した。無風下で実験を行っているため、放出粒子の到達高さはガラスビーズの衝突により放出される粒子の運動エネルギーを表すことになる。整理手順は、まず流体解析ソフトを用いてフレームごとの放出粒子座標を出力する。そのデータより、地表面から上方へ5mmずつ区分し区分内を最高到達点とする粒子数を作成したプログラムにより求めた。図16はガラスビーズの入射速度19.76m/sで衝突させた実験の解析例であり、流体解析ソフトにより粒子が認識された結果を示している。実験では、PIV Laserを照射し粒子が反射する散乱光を撮影しているため認識できずとぎれている箇所もあるが、作成したプログラムにより整理を行い追跡している。なお、図16はガラスビーズ衝突以降の解析した軌跡を示し、赤矢印で示した軌跡は入射させたガラスビーズであり放出粒子と速度が異なるため判別が可能である。また、ガラスビーズ衝突地点は図中に矢印で示した。実施した衝突実験115回の結果を整理したものを図17に示し、横軸はガラスビーズの入射速度、縦軸は1回の衝突により放出される粒子総数を100%として該当層を最高到達点とした粒子の割合である。図17より、大部分の放出粒子が到達するのは3層までであり、4～6層は20～10%と減少し、7層以上はほとんどない。以上より、無風下では放出粒子の大部分は地表面から20mm以内を最高到達点とする運動エネルギーで放出されることが確認できた。今回の実験結果より、ガラスビーズの衝突により放出される粒子の運動エネルギーは小さいと言える。

5. 結論

乾燥地では地表面の状態により変化する臨界摩擦速度を超えるとサルテーションがはじまる。これまでサルテーションの軌跡や、サルテーションが地表面に与える影響に関する検討は、主に現地観測と風洞実験により行われてきた。本実験は、これらを補完することを目的としており、本論文では現地調査結果をもとにした供試体作成条件、入射粒子射出方法、及び計測方法について述べた。そして、最も侵食が大きいとされる入射角度(13°)で、サルテーション最大粒径相当のガラスビーズを用いた衝突実験を実施した。実験条件の入射速度5～35m/sとして衝突による放出粒子数とその高さに着目し、その結果は以下のものであった。

図16 放出粒子の軌跡と各層の位置
(入射速度 19.76m/s)

図17 ガラスビーズ入射速度と各層を頂点とする放出粒子の割合の関係

- 1) ガラスビーズの入射速度増加とともに、放出粒子数は増加する。
- 2) ガラスビーズの入射速度によらず、放出粒子が到達する高さは20mm以内であった。

サルテーション運動する粒子が地表面に衝突し、地表面から放出される土粒子の量や運動に与える影響は、未説明

な点が多い。さらに、地表面にクラストが存在する場合は、クラストの硬さや厚さ、粒度分布、入射粒子の衝突角度などにより、入射粒子の反発後の軌跡や、放出粒子の高さや飛散時の密度も変化すると考えられる。今後は、これらの因子も考慮して、サルテーション運動する粒子が地表面に衝突したときに起こる現象について検討する必要があると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15H05115 の助成を受けて実施した。鳥取大学乾燥地研究センター 黒崎泰典先生、香川大学 石塚正秀先生、カトウ光研(株) 横田紘様に実験・解析方法について助言を頂きました。実験は、鳥取大学工学部土木工学科 伊藤赳生様の協力を得て実施しました。ここに記して感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 黒崎泰典, 黒沢洋一, 篠田雅人, 山中典和 : 黄砂・健康・生活環境への影響と対策, 丸善出版, 2016, 150p.
- 2) Kalma, J. D., Speight, J. G. and Wasson, R. J. : Potential wind erosion in Australia -A continental perspective-, International Journal of Climatology, Vol.8, Issue4, pp.411-428, 1988.
- 3) Shao, Y., Lu, H. : A simple expression for wind erosion threshold friction velocity, Journal of Geophysical Research, Vol.105, No.D17, pp.22,427-22,443, 2000.
- 4) Fletcher, B. : The erosion of dust by an airflow, Journal of Physics D:Applied Physics, Vol.9, Num.17, pp.913-924, 1976.
- 5) Fletcher, B. : The incipient motion of granular materials, Journal of Physics D:Applied Physics, Vol.9, Num.17, pp.2471-2478, 1976.
- 6) Greeley, R., and Iversen, J. D. : Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus and Titan, Cambridge University Press, New York, 1985.
- 7) Gillette, D. A. : Fine Particulate Emissions Due to Wind Erosion, TRANSACTIONS of the ASAE, vol.20, No.5, pp.890-897, 1977.
- 8) Nickling, W. G. and Gillies, J. A. : Dust emission and transport in Mali, West-Africa, Sedimentology, vol.40, pp.859-868, 1993.
- 9) Shao, Y., Ishizuka, M., Mikami, M. and Leys, J. F. : Parameterization of size - resolved dust emission and validation with measurements, Journal of Geophysical Research, vol.116, D08203, 2011.
- 10) Ishizuka, M., Mikami, M., Yamada, Y., Kimura, R., Kurosaki, Y., Jugder, D., Gantsetseg, B., Cheng, Y. and Shinoda, M. : Does Ground Surface Soil Aggregation Affect Transition of the Wind Speed Threshold for Saltation and Dust Emission?, Scientific Online Letters on the Atmosphere, vol.8, pp.129-132, 2012.
- 11) Rice, M.A., Willetts, B. B., and McEWAN, I.K. : Wind Erosion of Crusted Soil Sediments, Earth Surface Processes and Landforms, vol.21, pp.279-293, 1996.
- 12) Rice, M.A., McEWAN, I. K., and NULLINS, C.E. : A Conceptual Model of Wind Erosion of Soil Surfaces by Saltating Particles, Earth Surface Processes and Landforms, vol.24, pp.383-392, 1999.
- 13) 友行功美, 中村公一 : ADR による体積含水率原位置測定結果の温度補正と年変動に関する検討, 地盤と建設, Vol.33, pp.45-51, 2015.
- 14) Shao, Y. : Physics and Modeling of Wind Erosion, Springer Verlag Gmbh, pp.152-153, 2009.
- 15) Rice, M.A., Willetts, B.B. and McEwan, I.K. : Observations of collisions of saltating grains with a granular bed from high-speed cine-film, Sedimentology, vol.43, pp.21-31, 1996.
- 16) Bagnold, R. A. : The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen, London, 1941, 336p.
- 17) 外山信夫, 辻谷将明 : 実践 R 統計分析, オーム社, 2015, 372p.

(2017. 4. 2 受付)

Experimental study of soil-crust destruction caused by particle collision

Koichi NAKAMURA¹

1 School of Engineering, Tottori University

Abstract

Kosa mainly comprises soil particles swept-up by strong winds over arid landscapes. This dust is transported by westerly winds over wide areas. Such dust emissions are known to collapse the soil crust. Typically, the relation between the grain size and critical friction velocity is considered in a numerical model for the dust, without considering the collapse of the crust. Thus, the numerical model for dust yields inaccurate results. Herein, the soil sample is collected from the collapsed crust created. The soil particles are allowed to collide with glass beads at a fixed incident angle and variable incident velocity. The simulation is observed using a high-speed camera. Results reveal that the number of released particles and the incident velocity of the glass beads could be linearly approximated and that the emitted particles reach a height of ~20 mm from the surface of the soil sample.

Key words: Kosa, soil crust, collision experiment