

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04346

研究課題名(和文) 粒子衝突による土壌クラスト崩壊特性の影響因子に関する実験的検討

研究課題名(英文) Experimental study on impact of particle collisions on collapse characteristics of soil crust

研究代表者

中村 公一 (Nakamura, Koichi)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90530642

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：模擬試料を用いて作成した供試体に対しガラスビーズ(φ=約0.5mm)を衝突させる実験を、模擬供試体強度、ガラスビーズの入射角度と入射速度をパラメータとして実施した。これより、模擬供試体の強度(一軸圧縮強度)と侵食量の関係は、 $q_u=100\text{kN/m}^2$ は入射角度の増加とともに侵食量も増加するのに対し、 $q_u=200\text{kN/m}^2$ と $q_u=300\text{kN/m}^2$ は入射角度30度が侵食量最大となり、入射角度60度では減少する結果が得られた。したがって粒子衝突によるクラストの崩壊は、金属の入射角度-エロージョン量関係と同様であるものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、乾燥地域の土壌クラストが粒子衝突により崩壊する現象について、直径約0.5mmのガラスビーズが土供試体に衝突し発生する侵食量について実験的検討を行なった。実験より粒子衝突によるクラストの崩壊は、金属の入射角度-エロージョン量関係と同様であることを示唆する結果を得た。これより、土壌クラストの強度を測定できれば、土壌クラストの崩壊予測が可能になるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Experiments were conducted in which glass beads were impacted on specimens made from simulated specimens, using the strength of the simulated specimens, the angle of incidence of the glass beads, and the velocity of the glass beads as parameters. The relationship between the strength of the simulated specimen and the amount of erosion was shown to be as follows: for $q_u=100\text{kN/m}^2$, the amount of erosion increased with an increase in the angle of incidence. However, for $q_u=200\text{kN/m}^2$ and $q_u=300\text{kN/m}^2$, the maximum amount of erosion occurred at an incident angle of 30 degrees, and this amount decreased at an incident angle of 60 degrees. Therefore, it is considered that soil crust disintegration due to particle impact is similar to the angle-of-incidence-erosion relationship for metals.

研究分野：地盤工学

キーワード：エロージョン量 侵食量 入射角度 入射速度

1. 研究開始当初の背景

黄砂数値モデルは気候研究や黄砂予報などに使われているが、地表面の条件を考慮した計算を行っていない。これは土壌クラスト崩壊に関する定量的評価手法がないことが原因である。このため、黄砂数値モデルに入力するパラメータ(発生地点,発生量,発生原因となる風速値など)を決定できず、黄砂数値予報の精度向上をはかることができない。また、黄砂発生に関する既往の検討は、空中または地表面の粒子運動に関する検討(粒子の Saltation 運動)が主であり、土粒子衝突による土壌クラスト崩壊に関する検討がなされていない。そこで本研究では、粒子衝突による土壌クラスト崩壊特性に影響を与える因子について実験的検討を行うものである。

2. 研究の目的

黄砂の発生には、土壌クラストの崩壊が影響すると考えられており、土壌クラストが崩壊する原因として土粒子のサルテーション運動が指摘されている。本研究ではこの現象を検討するため、サルテーション運動する土粒子をガラスビーズ、強度の異なる土壌クラストをガラスビーズより十分に粒径が小さい土を締固めて供試体とし、ガラスビーズを供試体に衝突させ、入射前後のガラスビーズの軌跡、衝突痕(クレーター)の形状把握、衝突痕の体積と供試体強度の関係について実験的な検討を行なった。

3. 研究の方法

0.5mm ふるい通過, 0.425mm ふるい残留のガラスビーズ($\rho = 2.60\text{Mg/m}^3$)を入射粒子とした。入射粒子径はサルテーション運動する粒子径から決定した。供試体の粒径は、衝突痕の形状など実験結果に影響が小さくなるよう、最大粒径 0.075mm 以下のファインサンド($\rho_s = 2.65\text{Mg/m}^3$)を用いた。この試料を含水比 15%に調整し、所定の間隙比となるようシャーレに入れて静的に締固め、その後乾燥させたものを供試体とした。シャーレは内径 34.5mm, 高さ 10mm である。一軸圧縮試験も実施し、高さ 10cm × 直径 5cm の供試体を、5 層にわけて所定の間隙比となるよう突固めて作成した。供試体強度は、乾燥地域の調査結果より、地盤表面に対する貫入試験結果より 50 ~ 500kN/m²であることを考慮し、一軸圧縮強度 $q_u = 100, 200, 300\text{kN/m}^2$ の三種類の供試体に対し、実験を行った。

図 1 に実験装置の全体図を示す。実験手順は、供試体を作成、所定の入射速度と入射角度に調整してガラスビーズを供試体に衝突させ、その衝突状況をカトウ光研製高速度カメラと PIV Laser を用いて動画を撮影した。衝突後の供試体をデジタルマイクロスコップで撮影して、供試体表面の形状を取得した。撮影動画を運動解析ソフトウェア(DIPP-Motion V)で解析し、軌跡より入射速度・角度、反射速度・角度を求めた。図 2 に供試体と、ガラスビーズ入射方向を示す。ガラスビーズ発射管となる真鍮管は水平に設置され、入射角度は供試体を設置した台を傾斜させて設定した。傾斜台には、供試体と高速度カメラを一緒に設置しており、入射角度を変化させても供試体と高速度カメラの位置関係は変化しないため、撮影画像の供試体位置は変化しない。射出方法は、内径 0.6mm の真鍮管に所定の圧力の空気圧をソレノイドバルブとデジタルタイマにより制御している。撮影条件は、F 値 8, 動画サイズは 640×240pixel, フレームレートは 16000fps, 撮影範囲の実サイズは 40mm × 15mm である。供試体表面を撮影した画像の分解能は XY 軸 0.475 μm , Z 軸 0.001 μm である。クレーター体積は、衝突後の供試体表面を撮影し、そのデータから計算し求めている。入射角度は 7.5・15・30・60 度, 粒子の衝突速度は 6 ~ 10m/s とし、平均入射速度は約 8m/s である。

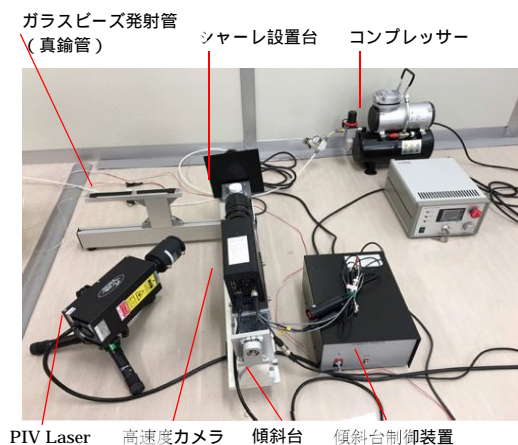


図 1 実験装置



図 2 入射方向と供試体の位置関係

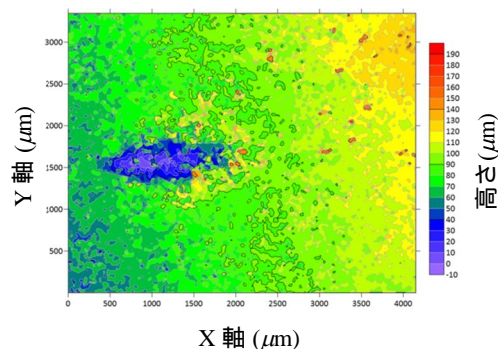


図 3 衝突痕の形状

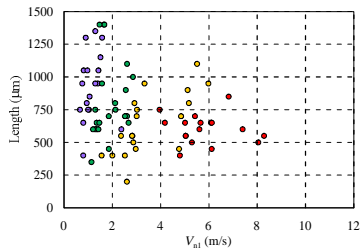


図4 衝突痕長さ
法線・接線方向速度

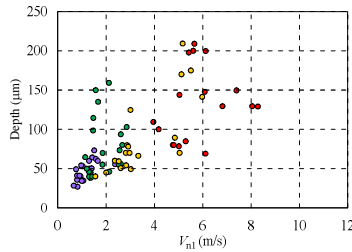


図5 衝突痕の深さと
法線・接線方向速度

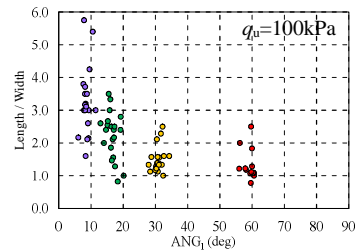
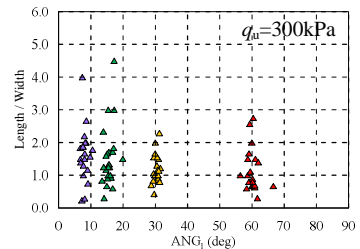
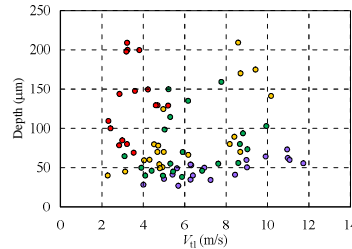
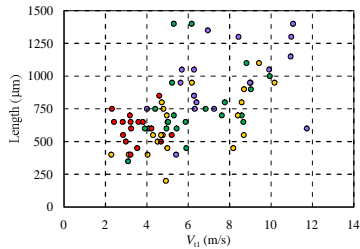


図6 衝突痕の長さ幅比
と入射角度



4. 研究成果

粉体輸送装置などの分野では配管壁面に生じるエロージョン¹⁾、地盤工学の分野では軟岩河床の流砂による侵食問題²⁾がある。このような事例に適用されるモデルの基盤となっているものは、Finnie³⁾とBitter⁴⁾⁵⁾の研究である。これらのエロージョン量推定モデルでは、入射角度と対象物体の強度特性が必要である。そこで実験結果を、入射時の入射角度 (ANG_1)、法線方向速度 (V_{n1})、接線方向速度 (V_{t1})、供試体の一軸圧縮強度、衝突痕の最大長さ・最大幅・最大深さ・侵食量に着目して整理を行なった。

図3に衝突痕の計測例として、入射角度7.5度、入射速度11.2m/sの実験結果である。図の左側から入射して衝突している。また、寒色が凹、暖色が凸を示している。衝突実験ごとの衝突痕画像から、上記の各項目を求めた。図4と図5は $q_u=100\text{ kN/m}^2$ 、図6は $q_u=300\text{ kN/m}^2$ と $q_u=100\text{ kN/m}^2$ の結果を記載した。また、各図のプロットは、図6のように入射角度で色分けしている。図4より、衝突痕の長さは V_{t1} に比例し、 V_{n1} とは関係がないことがわかる。なお、 $q_u=200\text{ kN/m}^2$ と $q_u=300\text{ kN/m}^2$ の結果は、 V_{t1} と V_{n1} とともにほぼ一定値を示した。図5より、衝突痕の深さは V_{n1} に比例して深くなり、 V_{t1} とは関係がないことがわかる。衝突痕の長さ幅比は、値が1で円形、大きくなると細長いことを示している。図6の $q_u=100\text{ kN/m}^2$ より、入射角度の増加とともに円形に近づき、入射角度60度でほぼ円形となることがわかる。 $q_u=300\text{ kN/m}^2$ は、入射角度に関わらず主に0.5から2.0に分布した。このように、衝突痕の形状は、供試体強度が小さいと入射角度による変化が大きい、供試体強度の増加とともに形状の変化が小さくなる。

エロージョン量推定モデルでは、粒子の入射速度が一定であるときの入射角度と摩耗量の関係を実験で求め、この関係を衝突対象の降伏応力、密度、ポアソン比、ヤング率などのパラメータを用いて求める各種方法が提案されている。そこで実験結果を整理し、図7に入射角度と衝突痕の体積関係を示した。なお、衝突痕の体積は入射角度それぞれの平均であり、平均入射速度は入射角度に関わらず約8m/sである。図7より、 q_u が小さいほど衝突痕の体積が大きいことがわかる。しかし、入射角度の増加に対する衝突痕の体積の対応は、 q_u により異なる。 $q_u=100\text{ kN/m}^2$ は入射角度の増加とともに衝突痕の体積が増加するのに対し、 $q_u=200\text{ kN/m}^2$ と $q_u=300\text{ kN/m}^2$ は、入射角度30度が最も衝突痕の体積が大きくなり、入射角度60度では減少した。金属の erosion rate は、金属の強度によるが入射角度10度から30度の範囲で摩耗量が最大となり、さらに入射角度が増加すると摩耗量は減少することが報告されている。図7のように、地盤に粒子が衝突することによる入射角度と衝突痕の体積の関係は、金属の erosion rate と同様であることがわかった。以上の検討により、粒子衝突によるクラスト崩壊には、衝突粒子に入射角度とクラストの強度が因子であると言える。また、Saltationに関する既往の研究から粒子の入射角度は約13度とされており、したがってクラスト強度の把握が重要といえる。なお、土壌クラストは地表面に厚さ数cmで存在していることから、クラスト強度の把握方法の検討が必要といえる。

参考文献

- 1) 峯村吉泰：摩耗の予測技術，ターボ機械，Vol.30，No.11，pp.9-16，2002。
- 2) 小松祐輔，渡邊康玄，泉典洋，竹林洋史：モルタルで擬似した軟岩の流砂の衝突による洗掘，河川技術論文集，Vol.17，pp.167-172，2011。
- 3) Finnie, I.: Erosion of surfaces by solid particles, Wear, Vol.3, pp.87-103, 1960.
- 4) Bitter, J. G. A.: A study of erosion phenomena, part I, Wear, Vol.6, pp.5-21, 1963.
- 5) Bitter, J. G. A.: A study of erosion phenomena, part II, Wear, Vol.6, pp.169-190, 1963.

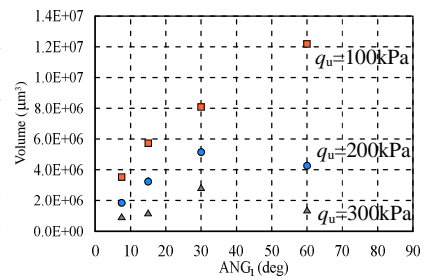


図7 入射角度 衝突痕の体積関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 中村公一	4. 巻 14
2. 論文標題 粒子衝突による土壌クラスト崩壊現象の実験的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地盤工学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 287-294
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3208/jgs.14.287	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村公一
2. 発表標題 粒子衝突による地盤表面の侵食に関する実験的検討
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村公一
2. 発表標題 サルテーション粒子の反発機構に関する基礎的検討
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石塚正秀, 中原優祐, 政岡瞳見, 中尾元軌, 石井智之, 黒崎泰典, 萩野裕章, 中村公一, Gantsetseg Batdelger, 南光一樹, 西原英治, 鈴木覚
2. 発表標題 飛砂風洞装置を用いた弱い土壌クラストが飛砂とダスト発生に与える影響の解明
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村公一
2. 発表標題 サルテーション粒子の反発機構に関する基礎的検討
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚正秀, 中原優祐, 中村公一, 西原英治, Gantsetseg Batdelger, Batjargal Buyantogtoh, Dulam Jugder, 三上正男, 山田豊, 黒崎泰典
2. 発表標題 黄砂発生に関わる乾燥地における土壌表層のクラスト崩壊現象の解明
3. 学会等名 鳥取大学乾燥地研究センター平成30年度共同研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------