

琉球大学学術リポジトリ

土壌クラストの透水性

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 土壌クラスト, 動水勾配, 透水係数 キーワード (En): soil crust, hydraulic gradient, hydraulic conductivity 作成者: 宜保, 清一, 宮良, 志乃, 中村, 真也, Gibo, Seiichi, Miyara, Shino, Nakamura, Shinya メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3627

土壌クラストの透水性

宜保 清一*・宮良 志乃**・中村 真也*

Seiichi GIBO, Shino MIYARA and Shinya NAKAMURA :
Permeability of Soil Crust

キーワード：土壌クラスト, 動水勾配, 透水係数

Key words : soil crust, hydraulic gradient, hydraulic conductivity

Summary

To clarify the permeability of a soil crust, the constant head permeability tests were carried out on the kaolinite and the red soil, and the hydraulic gradient i where Darcy's law was valid and the saturated hydraulic conductivity of crusts were mainly examined.

For the kaolinite crust, the flux q gradually increased with the hydraulic gradient i , and reached its peak at different hydraulic gradients ranging from 80 to 100 and ended as a downward curve. For consolidated crusts at 70 hydraulic gradient of valid region of Darcy's law, the $q-i$ relation obtained by being tested at the hydraulic gradients below 70 was expressed as a straight line which had the saturated hydraulic conductivity of $k=6.80 \times 10^{-5}$ cm/s. For the red soil crust, all experimental data points of q and i were approximately on a straight line at the hydraulic gradients below 30, and thus $k=2.50 \times 10^{-4}$ cm/s was given.

緒 言

傾斜畑面では、雨水により土壌侵食が発生し、表面流出水は一部が凹面に滞留する。滞留水中の浮遊土粒子は土壌表面に沈積し、土壌クラストを形成する (Shainberg, 1985; 西村, 1995)。土壌層はクラストにより被われて土中への水の侵入が抑制される。雨水は、流出率を上げ、分散した土壌粒子を運搬しつつ畑面を流下する。土壌クラストの透水性が侵食に大きく影響する。

マルチングおよび有機質資材の施用は、土壌流出防止策として有効である (楊, 1999)。前者は畑面を被覆し落下雨滴の打撃力を弱化させること、後者は土壌粒子の団粒化を高めることで、その簡便さと合わさって多く実施されている。クラストは、その形成過程でマルチングと密接に関係し、通水性・通気性を阻害することで有機質資材施用と関係する。

本研究では、カオリナイトクラストおよび赤黄色土クラストについて定水位透水試験を行い、主にフラックスと動水勾配の関係におけるダルシー則成立範囲、透水係数等について検討し、土壌クラストの透水性を明らかにした。

*琉球大学農学部生産環境学科

**琉球大学大学院農学研究科

カオリナイトクラストの透水性

1 透水試験方法

1.1 定水位透水試験装置

実験に使用した定水位透水試験の概念図を図-1に示す。装置は、供試土柱（クラスト薄層+標準砂層）を内包する透水用円筒（内径60mm・高さ70mm）、濁水を湛水する際に使用する湛水用円筒（内径60mm・高さ300cm）、余水吐、越流水槽、給水槽の5つの部分で構成されている。これらの材質はアクリルで、透水用円筒、湛水用円筒、余水吐は防水シールとゴムバンドを用いて接合できるようになっている。

1.2 クラストの作成

カオリナイトクラスト+標準砂層の土柱について、水頭差 $H = 10, 20, 30, 40, 80, 120, 160\text{mm}$ 、および $H = 11, 20, 26, 30, 36, 40, 46\text{mm}$ を与え、透水試験によりフラックス q と動水勾配 i の関係を調べた。ここで、動水勾配 i は、 $i = \text{水頭差 } H / \text{クラスト層厚 } L$ で定義する。

入来カオリナイトおよび沖縄県石川市土取り場にて採取した赤黄色土を試料として用いた。供試土柱の作成については、下層の標準砂層は、20mm層厚相当の標準砂90gを水中落下法により試料円筒内に詰め、上層のクラストは、カオリナイトおよび赤黄色土の懸濁水をそれぞれ1分間振とうした後、湛水した円筒に注入し、標準砂層上に沈降させ作成した。クラストを透過した水の採取は、試験開始から30分までは10分間隔に、その後は30分間隔に1回1～3分間とし、流量が一定になるまで繰り返し行った。

2 試験結果および考察

透水試験は試料を透過する水の流れがダルシー則（式 $q = ki$ (q : フラックス, k : 透水係数, i : 動水勾配)）を満たす層流状態であることを前提としている（土質工学会, 1980）。砂試料の場合、高い動水勾配の下で非ダルシー挙動（ i が増大しある限界を越えると、 $q-i$ 関係が直線とならずダルシー則から逸脱する現象）を示すに対し、粘性土では低い動水勾配においてそれが見られる（土質工学会, 1980）。畑面のクラストが微細土粒子で構成されていることを想定すると、クラストの透水試験ではまずダルシー挙動を満足する動水勾配の範囲の確認が必要となる。

そこで、カオリナイトクラスト+標準砂層の土柱について、水頭差 H を与えて定水位透水試験を行い、 $q-i$ 関係を基にダルシー則成立範囲について検討し、クラストの k を求める。

2.1 ダルシー則の成立範囲

図-2は、水頭差 H の変化に伴うクラストの層厚 L の変化を示したものである。沈積終了時の $L = 3.4\text{mm}$ は、 H の増加と共に漸減し、 $H = 160\text{mm}$ で $L = 1.2\text{mm}$ となった。 L の減少は、より密な間隙状態に移行していることを意味する。

図-3に $q-i$ 関係を示す。 q は i の増加に伴いわずかながら湾曲しつつ上昇し、 $i = 80 \sim 100$ 付近でピークをとり、その後減少した。この減少傾向は、透過水流が層流でなく、カオリナイト粒子の配列

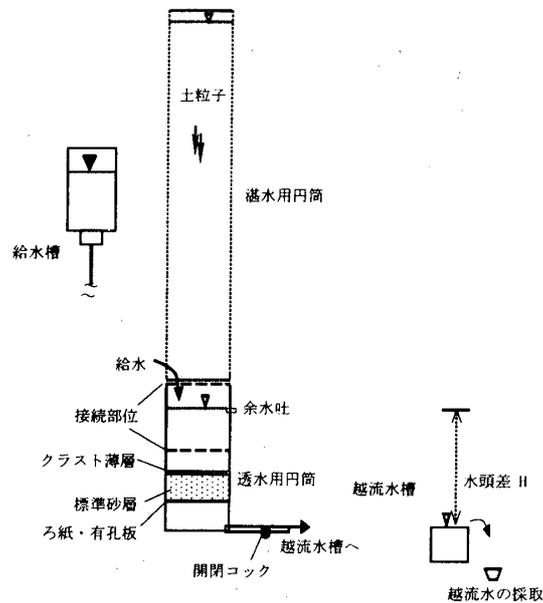


図-1 定水位透水試験の概念図

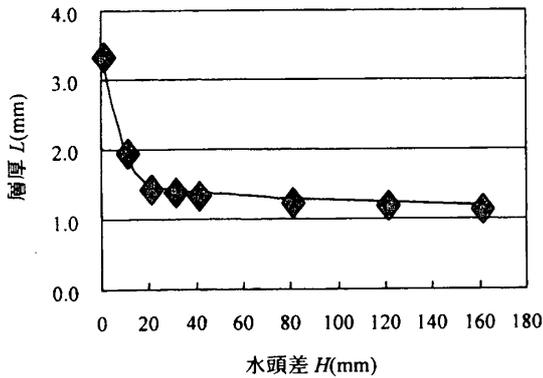


図-2 水頭差に伴うクラスト層厚の変化

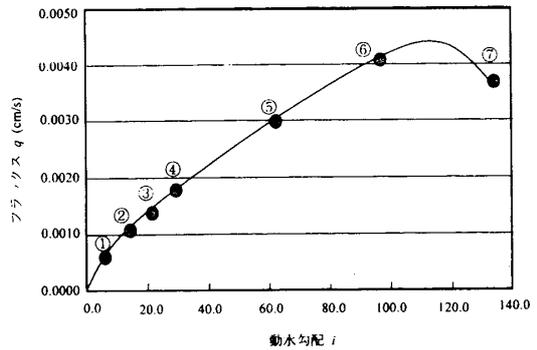


図-3 フラックスと動水勾配の関係
(カオリナイトクラストの場合)

構造が乱されたことを示唆する。ここでは、図-3から $i = 70$ 以下を層流範囲と判定した。図-4において、層流範囲内のプロット①～⑤の破線を直線と見なし、 $q = ki + c$ を得た。沈積させ作成したクラストでは、水頭差が大きいほど土壌間隙が密になる現象、いわゆる浸透圧による圧密効果 (Imai, 1979) があり、それぞれの i に呼応した土構造が形成されたと言える。そこで、土構造に変化のない状態の場合 (試料にあらかじめ高い水頭差を与えて圧密し (一定間隙比)、その後、水頭差を順次小さくして試験する)、 i の減少に伴う q の変化は、実線で示すように、直線関係となった。これは、クラストが一つの q を発揮することを意味しており、 $q = ki$ が成り立つ。

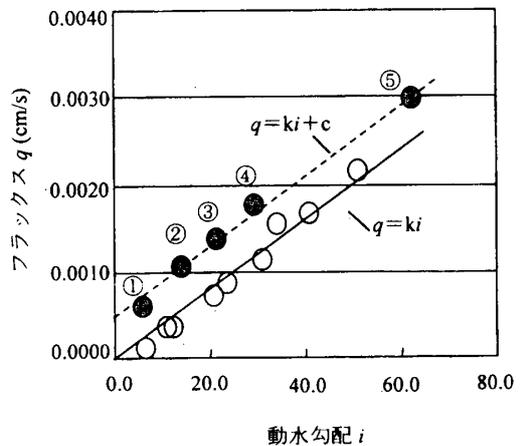


図-4 i の増減に伴うフラックスと動水勾配の関係
(カオリナイトクラストの場合)

2. 2 透水係数

図-5に示すように、①～⑤の各プロットの k を $k_1 \sim k_5$ (cm/s) とし、ダルシー式を適用して、 $i_1 = 5.0$ で $k_1 = 1.3 \times 10^{-4}$ 、 $i_2 = 13.3$ で $k_2 = 8.3 \times 10^{-5}$ 、 $i_3 = 20.7$ で $k_3 = 6.8 \times 10^{-5}$ 、 $i_4 = 28.6$ で $k_4 = 6.3 \times 10^{-5}$ 、 $i_5 = 61.5$ で $k_5 = 4.9 \times 10^{-5}$ を得た。当然のことながら、クラストは土壌の間隙に応じてそれぞれの透水係数を示すことがわかる。

畑地で見られる凹面の湛水深は大きくて数センチ程度で、水頭は大きくない。このようなクラスト形成の環境を考慮すると、高い水頭 (i の高い) 下で作成したクラストは実際の土壌クラストと符合しない。したがって、クラストの透水係数について、低い i 領域で検討することが適切であり、得られた結果では、 $k_1 \sim k_5$ から k_3 を代表させ、 6.80×10^{-5} cm/s をカオリナイトクラストの透水係数とした。

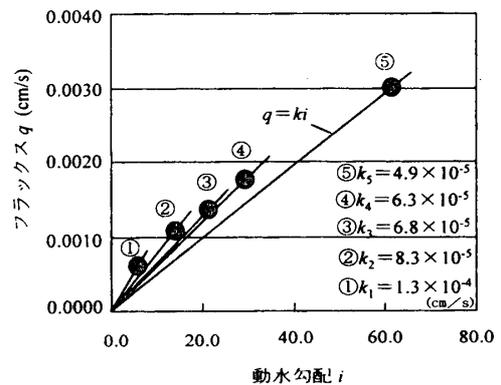


図-5 土構造の変化によって異なる透水係数
(カオリナイトクラストの場合)

赤黄色土クラストの透水性

赤黄色土は、土取り場の凹面に堆積したクラスト細粒土である。その粒度組成は、粘土分42.0%、シルト分58.0%である。水頭差 (H) を11, 20, 26, 30, 36, 40, 46mmとし、 $H = 10\text{mm}$ の下で $L = 1.7\text{mm}$ 相当質量 (2.5g) の赤黄色土懸濁水を沈積させ、クラストを作成した。透水試験は、前項の試験方法に準じた。

図-6は、赤黄色土クラストの $q-i$ 関係で、 q は $i=6.5\sim 31.3$ (プロット①~⑤)の範囲で増大したが、 $i=40.0\sim 57.5$ (⑥~⑦)でピークを示し、その後減少に転じた。この現象は、土壌間隙が比較的小さい場合、ある i 値を超えるとその後の増分に対して反応が小さくなるとの雷ら (1980)の報告と一致している。①~⑤の範囲は、 $i=4.0$ まで $q=0\text{ cm/s}$ 、 $i=6.5$ にて $q=0.0004\text{ cm/s}$ となり、 $q=ki-c$ 関係で示された。 $i=6.5$ は、透水が始まる動水勾配で、始動勾配と呼ばれる。この現象は、粘土粒子の有する一定の牽引力による水のひきつけがあって、その値以上の加圧によりはじめて水の流動が起こることを示している (Swartzendruber, 1962; Hillel, 1998)。厳密に言えば、水の流れがダグリー則に従わないケース (Smiles & Rosenthal, 1968)であるが、プロット①~⑤の直線関係を重視し、始動勾配 $i=6.5$ を平行移動して $i=30$ 以下を赤黄色土クラストの層流範囲と見なした。 $q-i$ 関係は、図-7に示すように、カオリナイトクラストと同様、直線的であり、プロット③に相当する $k_3 = 2.00 \times 10^{-4}\text{ cm/s}$ を赤黄色土クラストの透水係数とした。

層流範囲上限の $i=30$ の下で作成したクラストでは、 i の減少に対する q の変化は直線的ではあるが、高めのプロットとなった。これは、 i の減少に伴う圧力エネルギーの低下によりクラスト内部が水の透過しやすい構造に移行したためであり、膨潤圧発生時に見られる粘土粒子の回転運動や再配置運動 (中野, 1991)に起因したものと考えた。

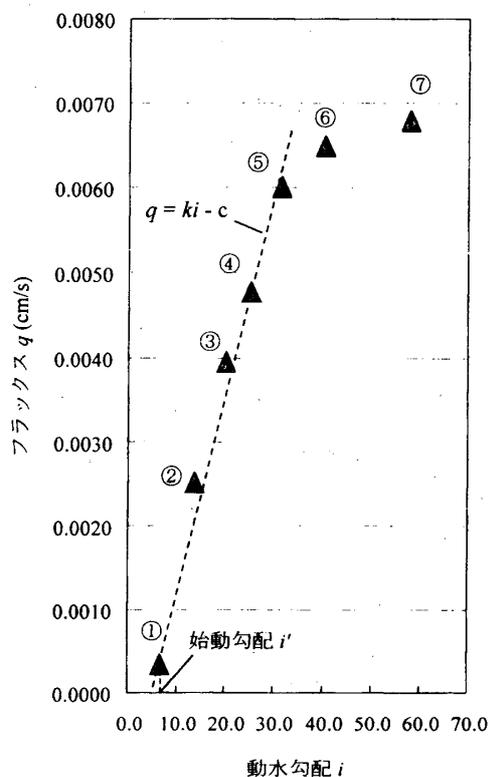


図-6 フラックスと動水勾配の関係 (赤黄色土クラストの場合)

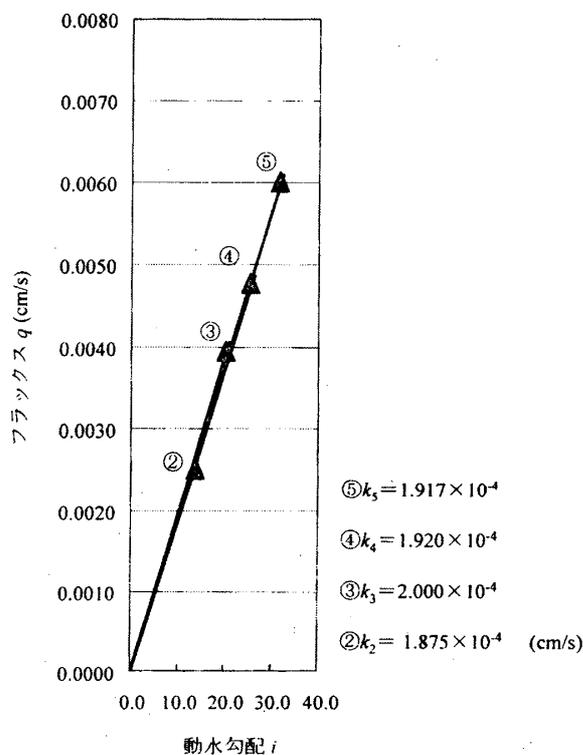


図-7 赤黄色土クラストの透水係数

結 言

本研究では、土壌クラストの透水性を明らかにするため、カオリナイトおよび赤黄色土を用いて定水位透水試験を行い、クラストのダルシー則成立範囲、透水係数等について検討した。得られた結果は次の通りである。

カオリナイトクラストでは、フラックス q は動水勾配 i の変化に対して、緩やかな上昇曲線を示し、 $i = 80 \sim 100$ でピークに至り減少に転じた。これは、水頭圧の高い透過水により土壌間隙が密な状態に移行したこと、カオリナイト粒子の配列構造に乱れが生じた現象である。ダルシー則の成立範囲の上限と見なした $i = 70$ の下で作成したクラストの $q - i$ 関係は直線的であり、透水係数 k は 6.80×10^{-5} cm/s となった。赤黄色土クラストは、 $q - i$ 関係が全体として曲線状となったが、 $i = 30$ 以下に対しては直線的で、 $k = 2.50 \times 10^{-4}$ cm/s を与えた。

なお、本研究は科学研究費、「水域環境に及ぼす赤土等の発生プロセスとその抑制法に関する研究」(平成13年度基盤研究(B) 13460105研究代表者：日下達朗)の補助を受けて行ったものであることを記し深謝の意を表する。

引用文献

- 土質工学会 1980 土質試験法, 土質工学会: 335-357
- Hillel, D. 1998 Environmental soil physics, Academic Press, New York: 189
- Imai, G. 1979 Development of a new consolidation test procedure using seepage force, *Soils and Foundations*, 19 (3): 45-60
- 中野政詩 1991 土の物質移動学, (財) 東京大学出版会, 東京: 149-158
- 西村拓 1995 降雨による表層クラストの形成が土層の物理性・受食性に及ぼす影響に関する研究, 東京大学博士論文: 93-94
- 雷沛豊, 多田淳 1988 代かき土壌の沈下と透水性に及ぼす初期間隙比と排水位の影響について—ハス田の土壌工学に関する研究(II)—, 農業土木学会論文集: 73-74
- Shainberg, I. 1985 The effect of exchangeable sodium and electrolyte concentration on crust formation, *Advances in Soil Science*, 1: 101-122
- Smiles, D. E. and Rosenthal, M. J. 1968 The movement of water in swelling materials, *Australian Journal of Soil Research*, 6: 237-248
- Swartzendruber, D. 1962 Non darcy behaviour in liquid saturated porous media, *Journal of Geophysical Research*, 67: 5205-5213
- 揚建英 1999 流出土砂量の推定手法と土壌流出防止に関する研究, 鹿児島連合大学博士論文: 40-94