

学位論文題名

Studies on the effect of soil crust formation on infiltration

(土壌クラストの形成が水の浸入に与える影響に関する研究)

学位論文内容の要旨

裸地状態の農地が降雨にさらされると、土壌表面の団粒が崩壊し厚さが 2~3 mm の薄いクラスト (土膜) が生成される。クラストが形成されると雨水の浸入速度が低下して表面流去が発生し、土壌侵食の原因となる。また、クラストが乾燥すると、土壌によっては固結し出芽障害を招くこともある。明瞭な乾期がなく、土壌侵食が大きな問題となっていない我が国の農地ではクラストの研究は少ない。しかし、火砕流堆積物に覆われ自然の起伏を利用して大面積の畑作を展開している富良野や美瑛では、クラストに起因する土壌侵食が生じている。そこでクラストが発生する土として美瑛の農家畑を、対照として豊平川の沖積土である北大研究農場の畑を対象とし、クラスト形成が浸入現象に与える影響を研究した。

クラストの発達程度は土壌の起源に加え、降雨条件、土壌水分等の初期状態によっても変化する。そこで、室内試験では、雨滴の衝撃の有無と土壌の初期状態がクラスト形成に及ぼす影響を、野外試験では、クラスト層とその直下層の浸入現象の特徴からクラストを評価することにした。

室内実験では、直径 6 cm 長さ 13 cm のカラムに細土を 10cm 充填して試料を作成した。処理区として、風乾試料 (2 mm 以下の風乾土)、大団粒試料 (5mm 以下の風乾土)、高乾燥密度試料 (乾燥密度が大きな 2 mm 以下の風乾土) および湿潤試料 (2 mm 以下の湿潤土) を用意した。雨滴によるクラストの影響を見るために、底部にほぼ等間隔に 25 個の小さな穴をあけた給水装置により一定の高さから人工降雨を発生させた。降雨強度は毎時 60~63 mm であり、雨滴直径は 2 mm とした。クラストを形成させる目的で、雨滴終速度が約 6 m s^{-1} の高さ 170 cm からの人工降雨を雨滴衝撃有りとし、クラストが形成されない高さ 18 cm からの人工降雨を雨滴衝撃無しとした。降雨は 1 時間継続し、カラム上端からの表面流去量とカラム下部からの排水量を 15 分ごとに測定した。降雨終了後、直ちに定水位法により飽和透水係数を測定した。

雨滴衝撃無しでは、両土壌の高乾燥密度試料および美瑛の風乾試料を除き、降雨は全て浸入し表面流去は発生しなかった。これは、高乾燥密度試料では透水係数が降雨強度よりも小さいためであり、美瑛の風乾試料は雨水の浸入により土塊が崩壊し、間隙の一部が閉塞されたことによると考えられた。一方、雨滴衝撃ありでは、全ての試料において表面流去が発生し、雨滴によるクラストが形成され、浸入速度が低下したことが明らかであった。

土壌の初期水分、粒径、乾燥密度がクラスト形成に及ぼす影響を、雨滴衝撃有りとなしとの 15 分ごとの積算浸入量の比を指標として評価した。その結果、両土壌の風乾及び湿潤試料では雨滴衝撃が浸入量に与える影響は大きく、北大の大団粒試料では影響は少

なかった。一方、高乾燥密度試料の積算浸入量は初期において雨滴衝撃の有無に差が見られたが、降雨終了段階においては雨滴衝撃の有無に差が認められなかった。

雨滴の衝撃有りとなしとの降雨終了後の透水係数を用いてクラストの透水係数を評価した。クラストの厚さは実測により 2 mm とした。クラストの透水係数はクラスト無しの透水係数に比べ北大では 1~2 オーダー、美瑛では 2~4 オーダー小さかった。また、クラストの透水係数は北大の湿潤試料および美瑛の風乾試料で著しく小さかった。

以上の結果から、雨滴の衝撃がクラスト形成に影響を及ぼすことは明らかであったが、試料の処理法によりその程度は異なった。クラストの透水係数は北大では乾燥試料が湿潤試料より大きく、乾燥しても粒団が安定であったが、美瑛のクラストの透水係数は乾燥試料が湿潤試料に比べてはるかに最も小さかった。このことは、美瑛では地表面が乾燥したあとに降雨があった場合に特にクラストが出来やすく、表面流去が発生しやすく、北大では湿った状態で再び降雨がある場合にクラストの影響が強くなるということを表している。なお、粒径の大きな試料が小さな試料に比べ雨滴の衝撃の影響は小さいという今回の結果は、大粒径ほど粒子の崩壊による目詰まりを起こしやすいという既往の報告とは異なった。

畑では降雨後、乾燥したクラスト層とクラストを除いた直下層の透水係数を負圧浸入計により近飽和状態で測定し、クラストの影響を評価した。また、クラストの有無が鉛直方向と水平方向の浸入に及ぼす影響も調べた。クラスト表面は平滑ではないので、予備試験として、負圧浸入計とクラストの接触を良好に保つ方法を検討した。乾燥砂、火山灰下層土風乾土、湿潤砂を比較した結果、負圧を連続的に変化させる多段負圧法試験では湿潤砂を用いるのが最も信頼できる測定法であった。

透水係数は直径 10cm の負圧浸入計を用い、10, 6, 3, 1 cm の負圧条件下の定常浸入速度から計算する多段負圧法を用いて計算した。また、水の浸入状態は、TDR 水分計、浸入試験終了後の含水比分布および水溶性の白色塗料の広がりにより調査した。クラスト層、直下層とも測定は 3 反復とした。

クラスト層と直下層の透水係数は負圧が 6, 10 cm では大きな差はなかった。一方、負圧 1 cm ではクラスト層の透水係数は直下層に比べ北大では 1/8, 美瑛では 1/20 と大きな差が認められたものの、両クラスト層の透水係数はほぼ同程度であった。このように、負圧浸入試験から雨滴により形成されたクラストは不飽和状態の浸透に影響を与えるほど難透水性とはならず、飽和透水係数を低下させることが明らかになった。また、クラストが形成後に乾燥した圃場では北大と美瑛の透水係数が同程度であったことは、表面流去の発生には雨滴の衝撃が重要であることを意味している。また、浸入試験後の水分変化から、クラストは直下層に比べて鉛直方向の浸入を抑制し、水平方向の浸入を増大させることも明らかにされた。

室内試験の結果から、美瑛は乾燥すると北大に比べてクラストが顕著に発達することが明らかであった、このことは、火砕流堆積物からなり、有機物含量が少ないという土壌の起源によるものと考えられる。また、クラストの影響は、クラスト無しの透水係数とクラスト有りの透水係数の比（クラスト指数）を用いることにより定量的に評価することが出来た。室内は飽和条件下の試験であり、近飽和条件下の畑条件よりもクラストの影響は顕著であった。このことは畑においてより飽和に近い状態でクラストの影響が大きかったこととも一致した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷川 周 一
副 査 教 授 長 澤 徹 明
副 査 教 授 矢 沢 正 士
副 査 助 教 授 相 馬 尅 之

学位論文題名

Studies on the effect of soil crust formation on infiltration

(土壌クラストの形成が水の浸入に与える影響に関する研究)

本論文は6章からなり、図18、表17、引用文献101を含む99ページの英文論文である。他に参考論文1編が添えられている。

裸地状態の農地が降雨にさらされると、土壌表面の団粒が崩壊し厚さが2~3 mmの薄いクラスト(土膜)が生成される。クラストが形成されると雨水の浸入速度が低下して表面流去が発生し、土壌侵食の原因となる。明瞭な乾期がなく、土壌侵食が大きな問題となっていない我が国の農地ではクラストの研究は少ない。しかし、火砕流堆積物に覆われ自然の起伏を利用して大規模な畑作を展開している富良野や美瑛では、クラストに起因する土壌侵食が生じている。そこでクラストが発生しやすい土として褐色森林土の美瑛の農家畑土壌を、対照として豊平川の沖積土である北大研究農場の畑土壌を用いて、クラスト形成が浸入現象に与える影響を明らかにした。

クラストの発達程度は土壌の起源に加え、降雨条件、土壌水分等の初期状態によっても変化する。そこで、室内試験では浸入現象から雨滴の衝撃の有無と土壌の初期状態がクラスト形成に及ぼす影響を評価し、野外試験ではクラスト層とその直下層の不飽和浸入現象からクラストを評価することにした。

室内実験では、風乾試料(2 mm以下の風乾土)、大団粒試料(5mm以下の風乾土)、および湿潤試料(2 mm以下の湿潤土)をカラムに充填し、雨滴によるクラストの影響を明らかにするために一定の高さの人工降雨を発生させた。降雨強度は毎時60~63 mmであり、雨滴直径は2 mmとした。クラストを形成させる目的の高さ170 cmからの人工降雨を雨滴衝撃有りとし、高さ18 cmからの人工降雨を雨滴衝撃無しとした。

雨滴衝撃無しの場合、美瑛の風乾試料のみ、雨水の浸入により土塊が崩壊しクラストが形成されたが、他の試料では降雨は全て浸入し表面流去は発生しなかった。一方、雨滴衝撃ありでは、全ての試料において雨滴によるクラストが形成され、表面流去が発生するとともに浸入速度が低下した。

雨滴の衝撃有りと無しの降雨終了後の透水係数を測定し、クラスト自体の透水係数を評価した。クラストの厚さは実測の2 mmを用いた。クラストの透水係数はクラスト無しに比べ北大では1~2 オーダー、美瑛では2~4 オーダー小さかった。また、クラストの透水係数は北大の湿潤試料および美瑛の風乾試料で著しく小さかった。

以上の結果から、雨滴の衝撃がクラスト形成に影響を及ぼすことは明らかであったが、試料の処理法によりその程度は異なった。クラストの透水係数は北大では乾燥試料が湿潤試料より大きく、美瑛では乾燥試料が湿潤試料に比べてはるかに小さかった。このことは、美瑛では地表面が乾燥したあとに降雨があった場合に特にクラストが出来やすく表面流去が発生し、北大では湿った状態で再び降雨がある場合にクラストの影響が強くなるということを表している。なお、粒径の大きな試料が小さな試料に比べ雨滴の衝撃の影響は小さいという今回の結果は、大粒径ほど粒子の崩壊による目詰まりを起しやすという既往の報告とは異なった。

畑では乾燥したクラスト層とクラストを除いた直下層の飽和近傍の透水係数を負圧定常浸入速度から計算し、クラストの影響を評価した。また、クラストの有無が鉛直方向と水平方向の浸入に及ぼす影響を浸入試験前後の含水比分布等により調査した。

クラスト層と直下層の透水係数は負圧6, 10 cmでは大きな差はなかったが、負圧1 cmではクラスト層の透水係数は直下層に比べ北大では1/7, 美瑛では1/20と大きな差が認められた。このことから、クラストは大きな孔隙を消失させ、飽和透水係数を低下させることが明らかになった。また、浸入試験後の水分分布から、クラストは直下層に比べて鉛直方向の浸入を抑制し、水平方向の浸入を増大させることも明らかにされた。

室内および畑の試験結果から、美瑛は北大に比べてクラストが顕著に発達することが明らかになったが、このことは、火砕流堆積物からなり、有機物含量が少ないという土壌の特性に由来する。また、クラストの影響は室内、畑試験とも、クラスト無しの透水係数とクラスト有りの透水係数の比(クラスト指数)を用いることにより定量的に評価出来ることを示した。

以上のように、本論文では2種の土を用いて、クラストが水の浸入に与える影響を評価した。特に、野外における飽和近傍の透水性からクラストを評価した点、およびクラスト無しと有りの透水係数の比でクラストの発達程度を定量化した点は高く評価できる。よって、審査員一同は Getachew Girmay Asgedom が博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有すると認めた。