

石礫破碎処理した農地表層土の粒度特性の検討

Grading Characteristics in Stoney Farmland after Stone Crushing

土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 小野寺康浩 (Yasuhiro Onodera)
町田 美佳 (Mika Machida)
近藤 晴義 (Haruyoshi Kondo)

1. まえがき

農地では、表層土に含まれるコブルなどの石分や礫分の混入が多くなると農耕に支障が生じるようになる。このため、表層土に含まれている石礫を取り除く、除礫工法¹⁾の施工が必要となる。除礫工法は、石礫地帯など多礫農地の土層改良²⁾のひとつとして、古くから実施されてきているものである。

除礫工法にはいくつかあるが、道内ではこれまで、人力あるいはふるいを装着した機械によって、一定の粒径を超える石礫を、排除、集積して、表層土から石礫を取り除く排除集積工法³⁾が多用されてきた。

一方、近年では石礫破碎処理機械を用い、表層土に含まれる石礫を破碎しながら、破碎礫とそれ以外の土を混合処理する除礫工法(以下、石礫破碎処理工法と称する)の施工事例も積み上げられてきている。

しかし、石礫破碎処理工法は、道外では施工実績がみられる^{2)~4)}ものの、道内では排除集積工法に比べると実績が少ないため、破碎礫と混合処理された土の性質、施工後の農地としての性状についての知見は少ないのが現状である。これには、施工の対象となる表層土の土質、混入している石礫の種別、施工時の土の水分状態などの条件がさまざまであることや、石礫破碎処理機械の種類、性能の変遷、あるいは事前処理として実施されることが多い下層の石礫を表層土中に拾い上げる工種の多様化なども影響していると思われる。

本論では、石礫破碎処理を施した農地表層土の基本的な物理的性質に関する基礎資料を得る目的で、石礫破碎処理後の粒径組成などを検討した。

2. 調査地および調査方法

2.1 調査地

調査地は十勝地域に位置する農地である。調査地の表層土には、地表面から深さ 38cm までは、上から順に有機質火山灰質土、礫まじりまたは礫質の有機質火山灰質土が堆積している。深さ 38cm より下には、主に溶結凝灰岩を母岩とする石礫土層が堆積している。

調査地の表層土とその付近には、粒径が 100mm を超える溶結凝灰岩を母岩としている未風化の垂円状、円状の石礫が混入している。

2.2 石礫破碎処理工法の概要

石礫破碎処理工法は、農地に混入している石礫を農耕および作物生育に支障のない大きさに機械的に細粒化

し、その場で表層土と混合する除礫工法である⁴⁾。

調査地で実施された石礫破碎処理工法による除礫工法の全体の工程は、①事前処理として、表層とその直下層に混入している石礫を施工深度である深さ 25cm 以浅程度まで拾い上げ、石礫破碎処理機械の作業効率を高める「耕起」、②石礫破碎処理機械とそれをけん引する機械による「石礫破碎処理」、③石礫破碎処理で膨軟となる表層土に対して、営農で使用する農作業機械の走行の確保と地表面の不陸修正のために軽度の転圧を行う「整地」からなる。

各工程で使用した施工機械は、①は 10t 級のクローラトラクタおよびブラッシュブレイカ、②は農用クローラトラクタおよびストーンクラッシャ(型式:STCH200)、③は 7t 級の湿地ブルドーザである。

石礫破碎処理に使用した施工機械の稼働条件は、施工深を 25cm 程度、作業速度を 5m/min 程度、機械走行を片道 1 回掛けとした。

なお、施工管理基準は、調査地では除礫工法の対象となる石礫は粒径 30mm 以上とし、施工後に深さ 25cm までの土層において粒径 30mm を超える残石礫が体積比で 5%以内と規定した。

2.3 調査方法

現地での土質調査は、2.2 で述べた耕起の前(以下、施工前と称する)、石礫破碎処理の直後、整地後に実施した。

まず、施工前に、幅 70cm、深さ 50cm 程度の試孔を人力で掘削し、表層土を堅密度などの違いから Ap1 層と Ap2 層の層位に区分し、Ap2 層直下の石礫土層を含めた 3 層を対象として、山中式土壤硬度計により土壤硬度を測定した。また、各層から攪乱試料を採取し粒度分布を調べるとともに、不攪乱試料を採取して単位体積重量、透水係数なども測定した。つぎに、石礫破碎処理の直後に、施工前の試孔箇所近傍の試孔で、各層の土壤硬度などを測定した。さらに、整地後には、施工前と同様の土質調査を行うとともに、粒度分布などを調べた。

このほか、石礫の物性を把握するために、細礫からコブルまでの石礫の密度、吸水率を測定した。また、粒径 53mm ~ 150mm の石礫の圧縮強度を調べた。

さらに、調査地とは別の農地で、整地後の土壤硬度と支持力の関係を調べる目的で、Ap1 層と Ap2 層において土壤硬度とコーン指数を測定した。

3. 調査結果および考察

3.1 表層土の粒度と石礫の特徴

調査地の施工前の表層土 (Ap1 層) の粒度加積曲線を図-1 に示す。

表層土に含まれている石礫の構成は、長年にわたり農地利用していることを反映して、粒径 2mm ~ 19mm の礫の含有率は極端に少ない。しかしながら、粒径 19mm ~ 75mm の粗礫と 75mm ~ 150mm のコブルの含有率が多く、粒度加積曲線は階段状を呈している。この結果は、石礫土層の上に造成された農地は、長年の農耕を経て、深耕などによってしだいに表層土に粗礫やコブルを含有する割合が多くなるという、多礫農地に特有の粒度の特徴をあらわしている。

このような表層土に石礫の混入が顕著な状況をふまえると、農地利用を継続するために除礫工法の適用が必須であることがわかる。

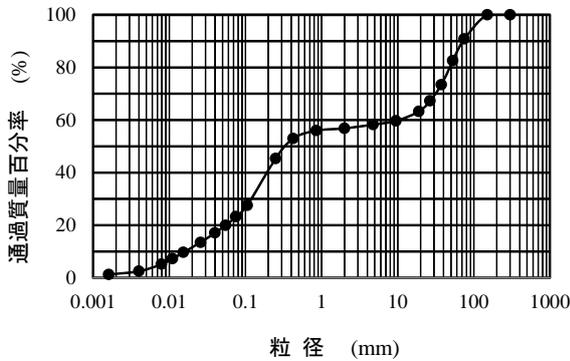


図-1 表層土の粒度加積曲線 (施工前)

なお、地盤材料の工学的分類法⁵⁾によれば、表層土はGFS (細粒分質砂質礫) に判別される。

表-1 に、表層土に混入している石礫の物性の一例として、粒径 75mm ~ 106mm のコブルに区分される石の密度、吸水率などを示した。吸水率の値は、耐久性のよい岩石質材料の目安のひとつとされる 3%以下⁶⁾を示しており、溶結凝灰岩質の石としては堅硬である。粒径 53mm ~ 150mm の石礫から抜き取った円柱供試体で測定した圧縮強度は、おおむね 50 ~ 100MN/m² の範囲にあった。このように、表層土には比較的高強度の石礫が含まれていた。

表-1 石の物性

密度 (g/cm ³)	2.491
吸水率 (%)	2.86
有効間隙率 (%)	6.96

表層土に混入していた歪円状の石の測定結果
(母岩：溶結凝灰岩、粒径：75mm ~ 106mm)

石礫破碎処理後に細片化した礫を観察した結果では、破碎によって形状が角ばった礫が含まれていた。これは、破碎処理の対象とした石礫が比較的硬質であったことと符合するものである。

3.2 粒度組成の変化

石礫破碎処理工法の施工前と整地後の粒度組成を図-2 に示す。図は表層土 (Ap1 層) の試験結果を比較したものであり、粒度組成は地盤材料の工学的分類法⁵⁾に基づき区分した。

除礫の対象である粒径 30mm 以上の石礫の含有率は、施工前が 31%、整地後が 3%となり、整地後には 30mm 以上の石礫の占める割合が大幅に減少した。また、最大粒径は、施工前は 300mm であったが整地後には 53mm になっていた。粒度組成については、整地後は、粒径 30mm 未満の礫分 (粗礫・中礫・細礫) の含有率が増加し、砂分とシルト分の含有率もそれぞれ増加し、砂分は 34%から 52%に、シルト分は 20%から 27%になった。

このように、石礫破碎処理によって、粒径 30mm 以上の石礫の含有率が減少し、粒径 30mm 未満の礫分、砂分、シルト分の含有率が増加していることが認められた。

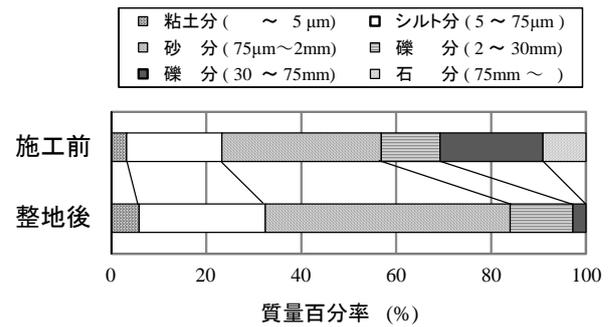


図-2 粒度組成の比較

本論では、Ap1 層の下位層である Ap2 層における粒度組成の結果は割愛するが、Ap2 層では Ap1 層に比べ破碎処理後の石礫の減少割合が小さく、本調査地では、深度が深くなると粒度の変化が少ないという傾向がみられた。

石礫破碎処理の効果発現には、施工機械の稼働条件のほかに、事前処理、施工対象とする石礫の硬軟や含有量、土の種類、コンシステンシーの差違、含水の多少などの土質条件が影響する。これらのことが、施工後の粒度分布や粒度組成に反映されるものと考えられ、定量的な検証は今後の課題である。

今後、条件の異なる調査地において、石礫破碎処理機械の稼働条件の相違などにも着目し、石礫破碎処理工法の効果を検証する必要があると考えられる。

3.3 土壌硬度の変化

施工前、破碎直後、整地後の時点における深さ方向の土壌硬度を図-3に示す。土壌硬度は各時点で変化がみられる。なかでも破碎直後の土壌硬度は、深さ23cmまでが4mm、深さ23cmから40cmが7mmと、かなり膨軟化している。これは、石礫破碎処理の過程で表層土は混合処理によって攪乱をうけるため、破碎直後にはルーズな状態になることをあらわしている。一方、整地後には深さ7cmから30cmの土壌硬度が10mmにまで増加しており、破碎直後よりも密になっていることがわかる。

なお、Ap1層とAp2層を合わせた層厚は、施工前は38cmであったが、破碎直後には40cmに、整地後には30cmになった。本調査地の整地工では、7t級の湿地ブルドーザを使用しているが、図-3から整地工による表層土の締固め、圧縮の効果は、深さ30cmまで及んでいることが確認された。

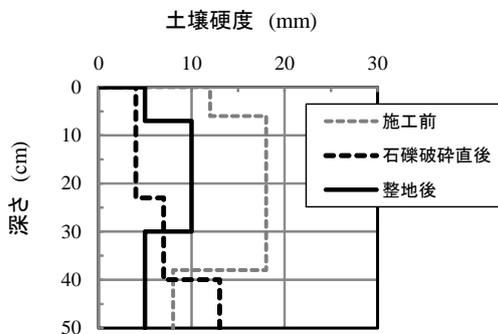


図-3 施工前、破碎直後、整地後の土壌硬度

3.4 整地後の機械走行能

前節までの調査地とは異なる近傍の農地において、石礫破碎処理後に整地を行った直後に試孔を掘削し、表層土(Ap1層、Ap2層)の土層断面で土壌硬度とコーン指数を測定した(図-4)。Ap1層は有機質火山灰質土に分類されるもので、石礫はほとんど含有していない。Ap2層は細礫、中礫、粗礫を含む礫まじりの有機質火山灰質土である。コーン指数(コーン底面積 3.23cm²)の測定は、土壌硬度計の測定と同じように、各土層断面に対し、直角の方向にコーンペネトロメーターを貫入させる方法で実施した。なお、図-4では、貫入深さ5cmにおける測定値をコーン指数として表示している。

前出の図-3から、石礫破碎処理の直後には深さ23cmまでの土壌硬度が4mmと低い状態にあったが、整地後には整地時の地表面付近の攪乱部を除くと、深さ7cmから30cmの土壌硬度が10mmに増加していることが認められた。図-4によれば、土壌硬度10mmの場合には、コーン指数500kN/m²程度が得られることがわかる。

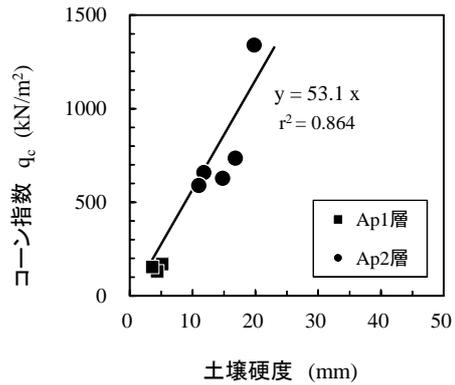


図-4 土壌硬度とコーン指数の関係

石礫破碎処理後に整地を行わず支持力が低い状態のままでは、農作業機械の走行、回りに支障が生じ、不陸などで局所的な滞水が発生することが推察される。石礫破碎処理後は、農作業機械の走行能に対応するトラフィカビリティ増加のために整地工の実施が必要である。さらに、整地工は、石礫破碎処理で一度膨軟化した表層土の水分量が降雨で増加する前に行うことが望ましい。道内の畑地帯のように広い面積の農地の営農では、大型の農作業機械が走行することも多いため、とくに農作業機械の走行能を確保するために、支持力の確保と不陸の解消が重要である。

施工後の農作業機械の走行能に対応した支持力を確保するため、今回の調査地のように、石礫破碎処理後には整地を実施することが有効と考えられる。

4. まとめ

石礫の混入が多い農地の表層土を対象に、石礫破碎処理後の粒径組成などの物理的性質を検討した。結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 施工前の表層土の粒度分布から、石礫土層の上に造成された農地では、長年の農耕によって下層から表層土に石礫が拾い上げられ、粗礫やコブルの含有量が多くなっていることが確認された。
- (2) また、表層土には、粒径19mmを超える粗礫以上の石礫の含有は多いものの、細礫、中礫の含有は少なく、階段状の粒度を示す特徴が認められた。
- (3) 石礫破碎処理工法の施工によって、粒径30mmを超える石礫の含有量が減少し、粒径30mm未満の礫分、砂分、シルト分の含有量が増加した。
- (4) 石礫破碎処理後は、施工前に比べ、表層土が膨軟になっていた。石礫破碎処理後には、農作業機械の走行能に対応するトラフィカビリティを増加させるために、整地工を施し、必要な支持力を確保する必要

がある。

5. あとがき

除礫工法には、本論で述べた石礫破碎処理工法のほかにもいくつかの方法がある。

道内で除礫工法を適用する場合には、大型の農作業機械を用いた営農に対応した工法の選択と工程の設定が重要と考えられる。また、石礫破碎処理工法の施工においては、事前処理や処理後に実施する整地が、施工後の良好な農地の物理性状を確保するうえで重要である。

なお、石礫破碎処理工法は、農地のみならず礫質土地盤の表層部の石礫破碎処理にも適用できる可能性がある。

今後は、ほかの除礫工法も含め、施工後の地盤の物理的性質などの経年変化について調査を行い、各種の除礫工法の特徴などを検討する予定である。

参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画 土層改良, pp.30～32 (1979)
- 2) 徳永光一・馬場秀和・古賀潔・石田智之・向井田善朗・佐藤照男・伊藤定雄・井上和成・似内政憲・斉藤哲郎・小原孝弘：多礫農地におけるロータリ型ストンクラッシャによる石砕工法の開発試験, 農業土木学会誌, 56 (12), pp.17～24 (1988)
- 3) 奥山武彦・中道清美・佐藤義春：石砕工による畑地土層の改良効果, 農業土木学会誌, 66 (5), pp.35～40 (1998)
- 4) 細川吉晴・小笠原秀夫・渡辺知記・村岡征：石多発地帯における農用地整備のための連続石礫破碎工法, 農業土木学会誌, 66 (5), pp.29～34 (1998)
- 5) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説, pp.53～80 (2010)
- 6) 地盤工学会：フィルダムの調査・設計から施工まで pp.67～76 (1983)