

積雪寒冷地における 無機質系暗渠疎水材の耐久性の検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 資源保全チーム ○新津 由紀
小野寺康浩
石田 哲也

積雪寒冷地の北海道でも疎水材型暗渠排水が施工されている。一方、疎水材は各種の劣化作用を受ける環境におかれているものの、その耐久性は明らかではない。そこで、積雪寒冷地で特徴的な劣化要因である凍結融解作用などを負荷する室内実験を行った。試料には、近年の国営事業で使用例の多い砕石と火山礫を使用した。その結果、凍結融解20サイクルを経過した後も疎水材として良好な性状を保持していることが明らかとなった。

キーワード：暗渠排水、疎水材、耐久性、凍結融解、乾燥湿潤

1. はじめに

農地では、作物の生育環境や農作業機械の作業性向上などを目的として¹⁾、暗渠排水を施工している。近年、国営農地再編整備事業の区画整理工事などで施工している暗渠排水は、透水性の高い材料を疎水材²⁾として使用したものが標準化している。この暗渠排水は、従来行われていた掘削土を埋め戻す施工に比べ、埋戻し部の排水性は改善されている。

暗渠の機能を継続させるには、疎水材の排水機能を持続して維持することが必要である。しかし、積雪寒冷地である北海道では、疎水材が凍結融解や乾燥湿潤などの過酷な条件下におかれている。そこで、疎水材の性状変化と耐久性について検討した。

2. 疎水材の種類と劣化要因

(1) 疎水材の種類

北海道内で暗渠排水に使用されている疎水材の種類を図-1に示す。疎水材は、砕石や火山礫などの無機質系の材料と、モミガラや木材チップなどの有機質系の材料に大別される。

近年の農業農村整備事業で使用している疎水材は、北海道内のいずれの地域でも調達可能な砕石（砂利を含む）を用いる事例が多い。また、地域によっては火山礫、火山灰土あるいはホタテ貝殻なども利用されている³⁾。

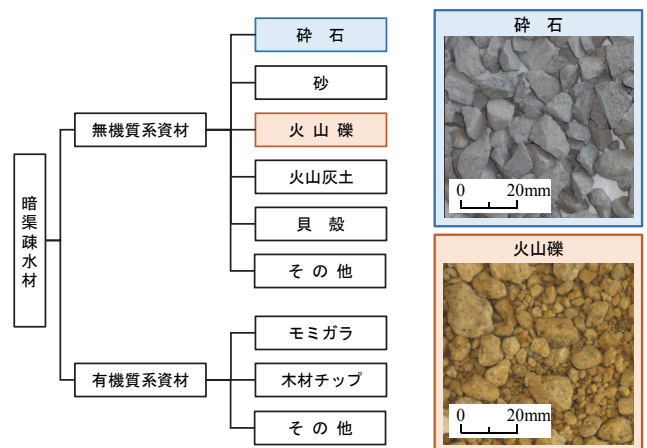


図-1 暗渠疎水材の種類

(2) 疎水材の劣化要因

疎水材の耐久性に影響を与える劣化因子を図-2に示す。劣化因子は、敷設環境条件によるものと敷設後の営農によるものに大別できる。敷設環境条件によるものは、①積雪寒冷地で特有の現象である凍結融解によるもの、②乾燥湿潤によるもの、③酸性水などの環境下で起きる成分溶出によるものなどが考えられる。また、営農によるものとしては、④農作業機械などの踏圧による圧縮や、⑤細粒土の混入などによる暗渠管や疎水材の目詰まりなどで排水性が低下することなどが考えられる。

今回はこれらの劣化因子のうち、①凍結融解によるもの、②乾燥湿潤によるものに着目して室内試験を行った。なお、本論では記述しないが、当チームでは、①、②以外の劣化因子に対する耐久性の検討も実施している。

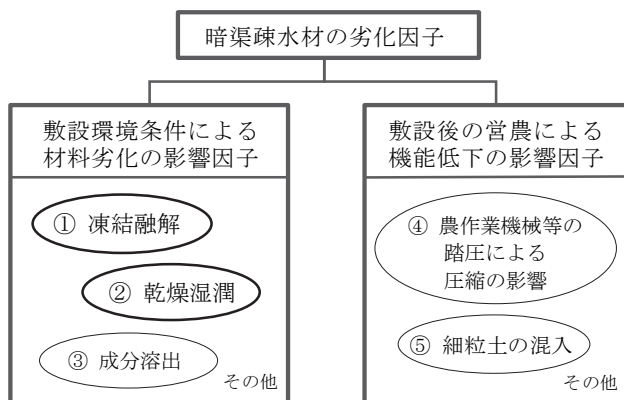


図-2 疎水材の耐久性に及ぼす劣化因子

a) 凍結融解作用

北海道内では、十勝地域、根釧地域などの少雪寒冷地域をはじめ各地域で土壌凍結が生じる。農地の表層部は、冬は凍結して春には融解し、周年で見ると凍結と融解が繰り返される条件下におかれている。このため、疎水材も凍結融解の影響を受けることから、物理的性質などの変化を考慮する必要がある。

凍結深度に関して、土谷・松田による畑地の土壌凍結についての研究⁵⁾では、冬には土壌の上層から下層へと徐々に凍結が進み、2月上旬に深さ50cm程度までが凍結し、4月上旬頃から地表側と下方側から融解が生じることなどが報告されている。また、北海道内の凍結深度は最大で120cm程度で、道内の約半数の市町村で凍結深度が80cmを超えることなども報告されている⁶⁾。暗渠疎水材は、地面の約20cm以深から約100cmまでの範囲に施工される場合が多いため、凍結融解作用の影響は避けられない。

b) 乾燥湿潤作用

疎水材は土中に埋没しているものの、常時湿潤状態にあるものではない、したがって、湿潤時の吸水膨張と乾燥時の乾燥収縮の繰り返しで生じる細粒化を考慮する必要がある。

3. 試験方法

積雪寒冷地の暗渠排水における疎水材の耐久性を検討するため、砕石および火山礫を試料に用い、各劣化環境における疎水材の物理的性質と強度の変化を調べた。

(1) 試料

試験には砕石と火山礫の2試料を用いた。これらの試料は、北海道中央部の土取場から採取したものである。

試料の基本的な性質を表-1に示す。砕石は、砂岩を母岩とする呼び径5-25mmに分級調整したもので、その粒

度組成の大半は礫分で構成されている。火山礫は、降下テフラの火山噴出物を呼び径40mmふるいを通過させ最大粒径を調整したものであり、礫分と砂分の含有率が多く、細粒分の含有率は少ない。

表-1 試料の基本的性質

| 試料 | 砕石 | 火山礫 |
|---------------------------------------|-------|-------|
| 最大粒径 D_{max} (mm) | 26.5 | 37.5 |
| 礫分 (%) | 98.8 | 50.3 |
| 砂分 (%) | 1.2 | 45.0 |
| 細粒分 (%) | 0 | 4.7 |
| 土粒子の密度* ρ_s (g/cm ³) | 2.717 | 2.876 |
| コンシステンシー | NP | NP |
| 自然含水比 w_n (%) | 1.0 | 44.9 |
| 地盤材料分類 | GP | GVS |

* JIS A 1202 による

表-2に試料の密度、吸水率などを示す。砕石は呼び径5-25mm、火山礫は呼び径0-40mmの全粒径を対象として求めたものである。初期状態における吸水率は、砕石は約1%と小さく、火山礫は多孔質であるため約84%と大きい。

表-2 試料の密度、吸水率

| 試料 | 砕石 | 火山礫 |
|---|--------|---------|
| 表乾密度 (g/cm ³) | 2.660 | 1.360 |
| 絶乾密度 (g/cm ³) | 2.620 | 0.740 |
| 吸水率 (%) | 1.2 | 83.9 |
| 有効間隙率 (%) | 3.1 | 61.9 |
| $E_c=100\%$ での乾燥密度 (g/cm ³) | 1.578* | 0.876** |

* JIS A 1210 のB-c法の締固めエネルギー(E_c)にて w_n の試料で求めた

** JIS A 1210 のB-c法による

(2) 試験方法

各試料を直径15cm、高さ12.7cmのCBR試験用モールドにルーズに詰めた状態で試験を行った。粒径は疎水材の種類によって異なるものの、最大でも40mmである。疎水材は底幅が15cm~20cm程度の暗渠溝に、ルーズな状態で施工されている。本試験ではこのような現地条件を考慮し供試体を作製した。また、疎水材は土被りが小さいことから、供試体の上に重さ5kgの有孔板を載せることで現地の作土の荷重を模擬することとした。このように本試験では、現地の疎水材の拘束・荷重条件を考慮し、とくに側方から過度な拘束圧が作用しない条件設定とした。

a) 凍結融解繰返し試験

試験では、試料をモールドに詰めた状態で前処理として4日間(96時間)水浸させた。その後、 -5°C で24時間の凍結、 20°C で24時間の融解を1サイクルとし、凍結融解の繰返しを与えた。本論では、20サイクルまでの試験結果を述べる。

なお、土の凍結融解試験の温度条件には様々な設定があるが、本試験では既往研究⁹⁾において地温が -5°C 程度まで低下している観測結果を参考に凍結温度を決定した。

b) 乾燥湿潤繰返し試験

試験では、a)と同様に前処理として4日間(96時間)の水浸を行った。その後、 60°C で24時間の乾燥、水温 20°C で24時間の水浸を繰り返し、20サイクルまで行った。

(3) 測定内容

0、10、20の各サイクルにおいて、粒度試験(JIS A 1204)、粒子の密度・吸水率試験、CBR試験(JIS A 1211)、定水位透水試験(JIS A 1218)を実施した。また、負荷を与えた際に生じる供試体の軸ひずみを把握するため、0サイクル時点から各サイクルにおいて、供試体の上に設置した有孔板を介して鉛直変位量を測定した。

4. 結果および考察

(1) 粒度

凍結融解の繰返し後の粒度分布を図-3に示す。図には、0サイクル時点(凍結融解前)、10サイクル後、20サイクル後の粒度分布を示している。碎石、火山礫ともに、凍結融解の繰返し後も粒度分布に大きな変化はみられず、凍結融解0~20サイクルでは顕著な細粒化は生じていない。また、乾燥湿潤の繰返しのケースでも、0~20サイクルの範囲では粒度分布に大きな変化は生じていなかった。

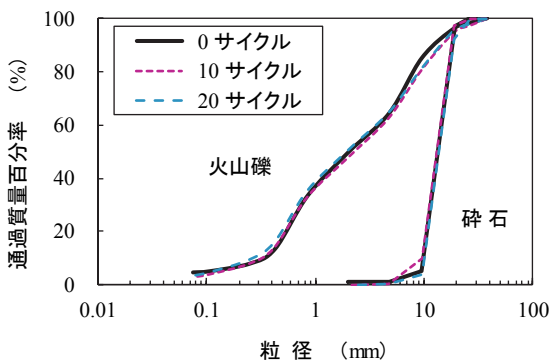


図-3 凍結融解繰返し後の粒度分布

これらの結果は、実際の農地における疎水材の現地調査において、施工後3~9年を経過した火山礫が細粒化していなかった調査結果⁷⁾と一致するものであった。

(2) 吸水率

凍結融解の繰返しにともなう吸水率の変化を図-4に示す。吸水率は凍結融解0~20サイクルにおいて、碎石は1.2~1.4%、火山礫は83.9~85.5%の範囲で、繰返しサイクルの進行とともに大きくなっている。

乾燥湿潤の繰返しを与えた場合でも、凍結融解の繰返しと同様に繰返しサイクルの進行とともに吸水率が大きくなり、図-4と同じ傾向が認められた。

今回の試験結果から、凍結融解や乾燥湿潤の繰返しにともない、碎石、火山礫ともに徐々に吸水率が大きくなるが、その変化の程度は小さいことがわかった。また、乾燥湿潤よりも凍結融解の繰返しのほうが、細粒化や吸水率の変化がやや大きいこともわかった。

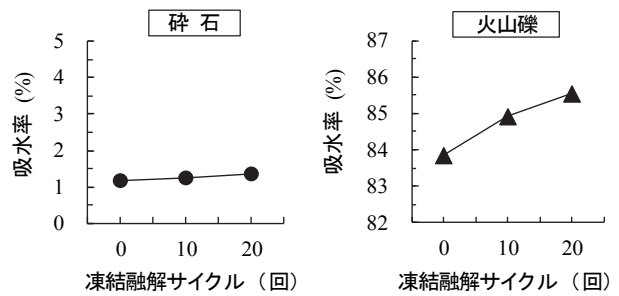


図-4 凍結融解サイクルと吸水率

(3) 軸ひずみ

図-5に、凍結融解の繰返しにともなう供試体の軸ひずみの推移を示す。碎石、火山礫ともに、凍結融解を与える前処理の水浸時に大きなひずみが発生し、その後、サイクルが進行するにつれ徐々にひずみが増加している。20サイクル時点における軸ひずみは、碎石は約2%、火山礫は約4%であり、火山礫よりも碎石のほうが小さい。この結果は、碎石を用いた場合のほうが施工後の圧縮や収縮が小さいことを示唆していると考えられる。

図-6は、乾燥湿潤の繰返しによる軸ひずみの推移を示したものである。碎石、火山礫ともに前処理の水浸時のひずみが大きく、その後はサイクルの進行とともにひずみが増加している。20サイクル時点の軸ひずみは、碎石は約4%、火山礫は約5%であり、火山礫よりも碎石のほうが小さい。

このような軸ひずみの変化は、施工後における粗粒材料の層厚の変化を予測するうえで参考になるものと考えられる。暗渠排水の疎水材施工では、盛土工のような締固めは行われないため、施工後の水の浸入の影響や、凍結融解あるいは乾燥湿潤の繰返しなどで、わずかながらではあるが層厚が減少することが示唆される。

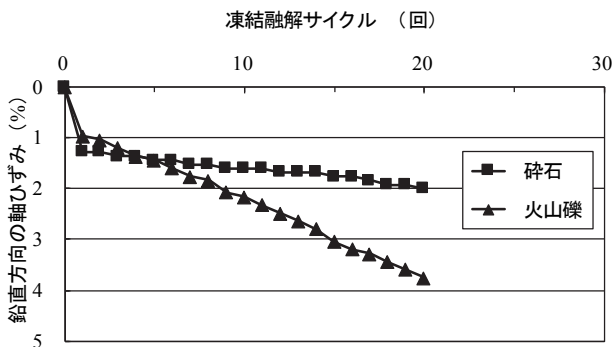


図-5 凍結融解サイクルと鉛直方向の軸ひずみ

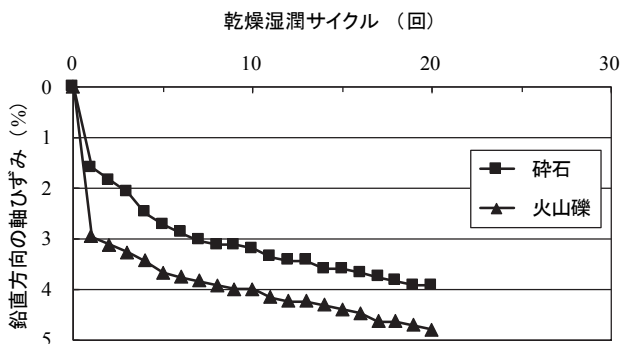


図-6 乾燥湿潤サイクルと鉛直方向の軸ひずみ

(4) 貫入強さ

図-7は、凍結融解の繰返し試験を例に、繰返しサイクルにともなう貫入強さの変化を示したものである。砕石、火山礫ともに、凍結融解サイクルの進行にしたがい貫入強さが大きくなることからわかる。このような繰返しサイクルの進行にともなう貫入強さの増加は、乾燥湿潤の繰返し試験のケースも同様であった。

図-7の結果は、前節(3)で示した繰返しサイクルの進行とともに軸ひずみが増加すること、すなわち凍結融解の繰返しを受けるとしだいに供試体の厚さが減少する結果と符合している。砕石、火山礫ともに、施工直後よりも層厚が若干減少するものの貫入強さは増加していることから、時間の経過とともに密になり、農作業機械の走行性や踏圧に対する抵抗力が向上することを示しているものと考えられる。

Yuki Niitsu, Yasuhiro Onodera, Tetsuya Ishida

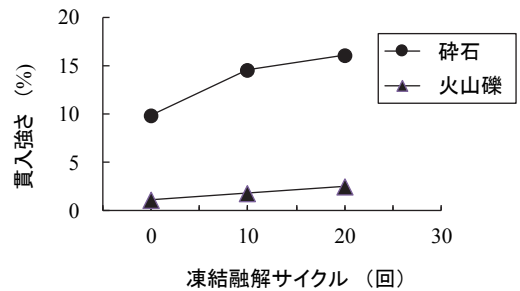


図-7 凍結融解サイクルと貫入強さ

(5) 透水性

表-3に、凍結融解0サイクルと20サイクルの各供試体の透水係数を示す。砕石は、凍結融解サイクルが増加すると透水係数が若干大きくなる傾向がみられたが、0サイクル時点（凍結融解前）とオーダーに違いはみられず、凍結融解0～20サイクルにおける透水性は同程度である。火山礫は、凍結融解サイクルが増加するとわずかに透水係数が低下しているもののオーダーが変化するほどの大きな変化は生じていない。このように、凍結融解繰返し後の透水係数は、火山礫で0サイクル時点よりもわずかに低下する傾向がみられるものの、20サイクル後において、砕石は 10^{-2} m/secオーダー、火山礫は 10^{-3} m/secオーダーを保持しており、暗渠排水の疎水材として十分な透水性を有しているものと判断される。

また、乾燥湿潤の繰返しのケースでも0～20サイクルの範囲では透水係数の顕著な変化はみられず、十分な透水性を維持していた。

表-3 凍結融解サイクルと透水係数

| 試料 | 透水係数 (m/sec) | |
|-----|-----------------------|-----------------------|
| | 0サイクル | 20サイクル |
| 砕石 | 2.24×10^{-2} | 3.44×10^{-2} |
| 火山礫 | 7.61×10^{-3} | 5.03×10^{-3} |

5. まとめ

積雪寒冷地における暗渠排水の疎水材の耐久性に関する基礎資料を得るために、砕石および火山礫を試料に用い凍結融解や乾燥湿潤の繰返し後の性状を検討した。今回の試験結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 砕石および火山礫ともに、凍結融解や乾燥湿潤の繰返しを 20 サイクル与えた後の粒度分布に大きな変化はみられなかった。
- (2) 吸水率は凍結融解や乾燥湿潤の繰返しにともない、わずかではあるが徐々に大きくなる傾向が認められた。
- (3) 凍結融解や乾燥湿潤の繰返しで生じる軸ひずみは初回の水浸時に顕著に発生し、以降はサイクルの進行とともにわずかに増加した。軸ひずみの発生は、砕石よりも火山礫のほうで大きかった。
- (4) 凍結融解や乾燥湿潤の繰返し後に貫入強さは増加した。これには、凍結融解や乾燥湿潤の繰返しにともないしだいに密な状態になることが影響していると考えられた。
- (5) 凍結融解や乾燥湿潤の繰返しを 20 サイクル与えた後も、透水係数に大きな変化はみられず、砕石および火山礫ともに、疎水材として十分な透水性を維持していた。

6. おわりに

農作業期間が短い北海道では、農地の排水性の確保が極めて重要である。また、北海道では農地の区画が大きいというえ、泥炭や湿性の火山灰土などの排水改良が不可欠な特殊土壌が広く分布している。

今回実施した凍結融解および乾燥湿潤 20 サイクル後までの試験結果から、砕石、火山礫ともに疎水材として良好な性状を有しており、耐久性が高いものと考えられた。なお当チームでは、道内で無機質系疎水材として施

工実績のあるホタテ貝殻などを暗渠疎水材に用いた圃場での耐久性に関する調査⁸⁾⁹⁾も実施しており、これらの疎水材も十分な耐久性を保持していることを確認している。

今後は、砕石および火山礫を対象に、さらにサイクルを増やした場合の性状の変化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「暗きょ排水」基準書・技術書, pp.4-7. (2000)
- 2) 同上 1), p.132.
- 3) 北川 巖：圃場の総合的な排水改良技術の確立に関する研究, 北海道立農業試験場報告, 第 113 号, pp.1-42. (2007)
- 4) 大深正徳・岡村裕紀・大岸 譲：暗渠疎水材として用いられた火山礫の劣化因子と長期供用後の性状, 寒地土木研究所月報, No.732, pp.20-27. (2014)
- 5) 土谷富士夫・松田 豊：畑地の土壤凍結について－寒冷地における凍期の農地工学的研究（I）－, 農業土木学会論文集, No.110, pp.51-57. (1984)
- 6) 藤村成夫：建物の凍上被害と対策, 土と基礎, Vol.38, No.6, pp.78-80. (1990)
- 7) 大岸 譲・大深正徳・中谷利勝：火山礫を暗渠疎水材に用いた暗渠の排水機能の持続性, 寒地土木研究所月報, No.707, pp.11-17. (2012)
- 8) 石田哲也・山田 章：暗渠疎水材に使用したホタテ貝殻の劣化状況に関する報告, 寒地土木研究所月報, No.666, pp.20-24. (2008)
- 9) 横濱充宏・伊藤久司：ホタテ貝殻の暗渠疎水材への利用, 農業農村工学会誌, 第 82 巻, 第 7 号, pp.15-18. (2014)