

暗渠疎水材の凍結融解繰返し後の耐久性に関する実験的検討 - 砕石および火山礫の事例 -

新津 由紀* 小野寺 康浩**

1. はじめに

農地には、地表残留水の速やかな排除や地下水位の低下などを図るために暗渠排水工が施工される。一般的な暗渠排水工では、地表面下1m前後の深さに暗渠排水管(有孔管)を敷設して、雨水などの浸透水を農地の外へ排除する場合が多い。

従来の暗渠排水工は、暗渠排水管の側上部に現地掘削土を埋め戻す施工方法が標準であった。しかし、掘削土は膨軟な状態で埋め戻されるため、農作業機械の走行などによって暗渠施工数年後に粗孔隙が減少して排水不良が生じること¹⁾²⁾が課題となっていた。これを解消するため、近年では、砕石や火山礫などの透水性の高い疎水材³⁾を暗渠排水管の側上部に埋め戻して、浸透水の移動を容易にするゾーンを設けた疎水材型の暗渠排水工が増加している。

しかしながら、暗渠排水工の疎水材は凍結深度以浅にも施工されるため、北海道のような積雪寒冷地では、疎水材が凍結融解作用を受ける環境条件におかれている。さらに、疎水材型の暗渠排水工は普及してから年数が短いため、長期間の供用後の材料特性のデータが少なく、積雪寒冷地における疎水材の耐久性や排水性の検証が求められている。

本資料は、疎水材の耐久性に関する基礎資料を得て、機能低下の少ない疎水材の選定などに資することを目的としている。そこで、北海道で疎水材として使用実績が多い砕石および火山礫を対象とした室内実験を行い、凍結融解の繰返し作用を受けた後の疎水材の物理的性質などの変化を検討した。

2. 疎水材の劣化要因

2.1 疎水材の劣化因子

北海道内で疎水材型の暗渠排水工で使用されている主な疎水材は、砕石や火山礫などの無機質系のものと、モミガラや木材チップなどの有機質系のものに大別できる⁴⁾(図-1)。本資料では、無機質系の疎水材の

なかから、近年の国営事業などで使用事例が多い砕石と火山礫⁵⁾を検討対象とした。

図-2は、無機質系の疎水材の耐久性に及ぼす劣化因子を整理したものである。疎水材の耐久性に影響を及ぼす劣化因子はいくつかあげられ、なかでも北海道のような積雪寒冷地では、凍結融解の繰返し作用が疎水材の耐久性に与える影響が大きいと考えられる。また、疎水材は雨水や融雪水で湿潤状態におかれる時期があるものの乾燥の影響も受ける。このため、疎水材の耐久性を検討する場合には乾燥と湿潤の繰返し作用

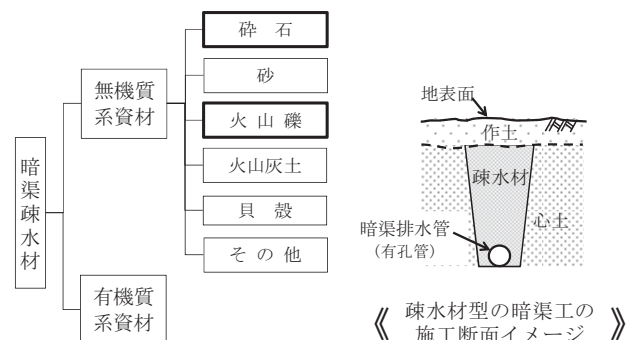


図-1 暗渠疎水材の材料分類

本資料では太枠線の疎水材を検討対象とした

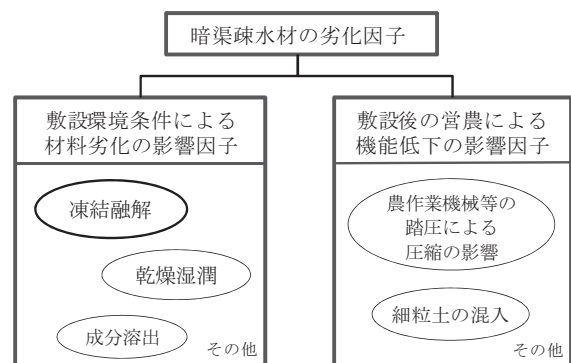


図-2 暗渠疎水材の耐久性に及ぼす劣化因子

の影響も考慮する必要がある。乾湿繰返し作用に対する疎水材の耐久性については別途報告する予定で、本資料では積雪寒冷地に特有の劣化因子でとくに少雪寒冷地の農地に施工される疎水材の環境条件を念頭におき、凍結融解の繰返し作用に対する耐久性を検討した。

2. 2 農地における凍結融解作用

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とし、各地で冬期間に土壤凍結が生じることが知られている。冬期間の土壤凍結を経て、春先には融解が生じ、周年で見ると農地の表層部は凍結と融解が繰り返される。たとえば、土谷・松田による畑地の土壤凍結についての研究⁶⁾では、農地では初冬から徐々に0℃面が下層土の深部に形成され、2月上旬に深さ50cm程度までが凍結し、3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。

暗渠排水工の疎水材は、地表面よりおよそ20cmから100cm程度までの土壤凍結が及ぶ範囲に施工されることが多いため、凍結融解作用の影響は避けられない。

3. 実験方法

寒冷地の暗渠排水工における疎水材の耐久性を検討するうえで、凍結融解に対する抵抗性の評価が重要である。本実験では、碎石および火山礫を供試土に用い、凍結融解の繰返し作用を与えた後の物理性などを検討した。

3. 1 試料

実験には、暗渠排水工の疎水材として使用事例が多い、碎石(粒径5-25mm)および火山礫(粒径0-40mm)の2種類の試料を用いた。試料の基本的性質は表-1に示すとおりである。

3. 2 実験方法

3. 2. 1 凍結融解工程の概要

実験では、試料を直径15cm、高さ12.7cmのモールドに3層に分けて、ルーズな状態(締め固めエネルギー0%)で詰め供試体を作製した。その後、4日間の水浸過程(水温20℃)を経て、-5℃で24時間の凍結過程と20℃で24時間の融解過程を1サイクルとして、凍結融解を繰り返した。

なお、土の凍結融解試験は様々な設定条件があるが、本実験の凍結温度は既往研究⁶⁾において、-5℃程度まで地温が低下している結果を参考とした。また凍結

表-1 試料の基本的性質

疎水材	碎石	火山礫
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.717	2.876
最大粒径 D_{max} (mm)	26.5	37.5
自然含水比 w_n (%)	1.0	44.9
コンシステンシー	NP	NP
土質材料分類	GP (分級した礫)	GWS (粒径幅の広い砂質礫)

と融解に要する時間は実験作業工程に配慮し24時間とした。サイクル数は現時点で20サイクルを実施しているが、後述するように今後サイクル数を増加した実験も予定している。

3. 2. 2 測定内容

凍結融解の繰返し後の物理的性質を調べるため、凍結融解0、5、10、20サイクル後に、試料の粒度分布、比重、吸水率などを測定した。また、凍結融解の繰返し作用による供試体の軸ひずみの変化を把握するために、凍結融解前の0サイクル時点から凍結融解の各繰返しサイクルにおいて供試体上面の鉛直変位量を測定した。

このほか、所定のサイクルではCBR試験に準じた方法で貫入強さを測定し、凍結融解にともなう供試体の強度の変化を調べた。さらに、凍結融解0、10、20サイクル後には、定水位法によって透水係数を測定した。

4. 実験結果

図-3に、碎石と火山礫の0サイクル時点(凍結融解前)、凍結融解10サイクル後、20サイクル後の粒度分布を示す。碎石、火山礫ともに凍結融解作用を繰返し負荷しても、粒度組成の変化や細粒分の増加などに大きな変化はみられなかった。なお、凍結融解の繰返しを20サイクルまで負荷した段階では、いずれの試料も成分溶出などによる比重の減少はみられなかった。

凍結融解繰返し後のCBR貫入強さの変化を図-4に示す。貫入強さは凍結融解の繰返しを受けた後に農作業機械の踏圧などの上載荷重が作用した場合の疎水材部の抵抗力の評価に用いることができる。凍結融解の繰返しを20サイクルまで負荷した段階では、0サイクル時点よりも貫入強さが大きくなる結果が得られた。これには、後述するようにサイクル数の増加とともに供試体の高さが減少していることの影響が大きいと考

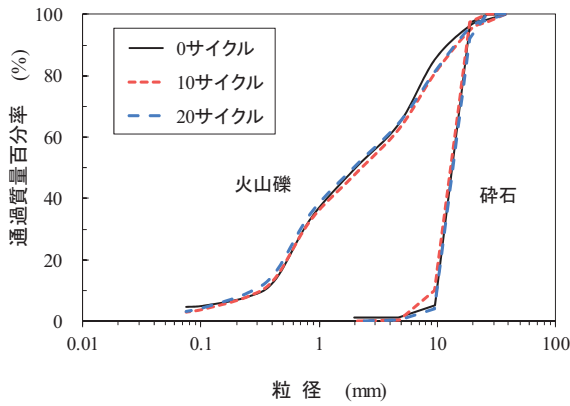


図-3 凍結融解繰返し後の粒度分布

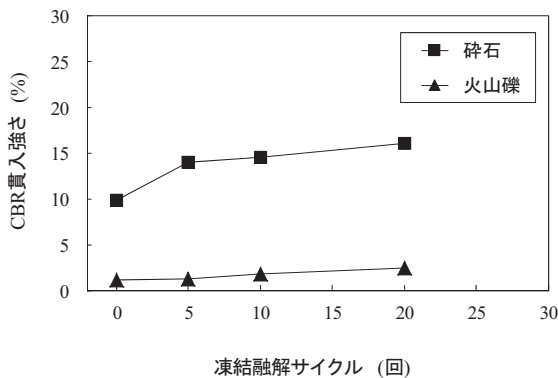


図-4 凍結融解繰返し後の貫入強さの変化

えられる。このような傾向は碎石と火山礫のいずれも同様であった。このように、凍結融解サイクルが増加するにしたがい貫入強さが徐々に増加する傾向が認められた。

図-5に、凍結融解サイクル数の増加にともなう各供試体の鉛直方向の軸ひずみを示す。軸ひずみは暗渠排水工の施工後における疎水材部の層厚の減少の程度を予測するもので、疎水材部の体積減少の目安になる。碎石、火山礫ともに、凍結融解作用前の1回目の水浸によって軸ひずみが大きく変化している。また碎石に比べ火山礫で軸ひずみが大きい。いずれの試料も凍結融解サイクル数が増加するにしたがい軸ひずみも増加している。凍結融解繰返し後の透水係数はいずれの試料も0サイクル時点より若干低下する傾向はみられたが、凍結融解20サイクル後においても、碎石が 10^{-2} m/sec オーダー、火山礫が 10^{-3} m/sec オーダーを保持していた。今回の実験の範囲では、凍結融解の繰返し作用を受けても暗渠排水工の疎水材として十分な透水性を有していることが確認された。

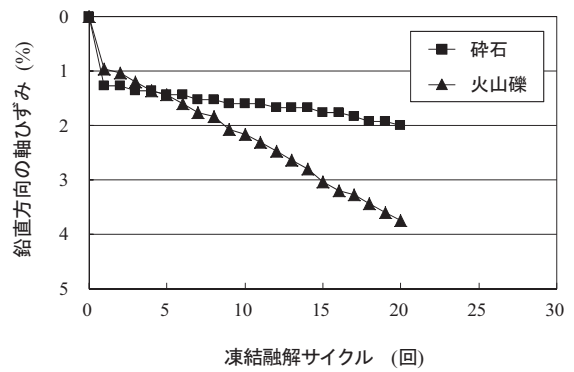


図-5 凍結融解繰返し後の鉛直方向の軸ひずみ

以上のように、凍結融解の繰返しを20サイクルまで実施した段階では、いずれの試料も細粒化はごくわずかであることがわかった。また、疎水材部の層厚は若干ではあるが施工直後から徐々に減少するものの、貫入強さはしだいに増加する傾向が認められた。時間の経過とともに層厚がわずかに減少する反面、疎水材部が密になることで地耐力が向上することが推察される。

5. まとめ

暗渠排水工の疎水材における耐久性評価の一環として、碎石と火山礫を供試土に用い、凍結融解の繰返し作用にともなう物理的性質などの変化について検討した。結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 碎石、火山礫ともに、凍結融解の繰返しを負荷しても、20サイクル後の粒度分布に大きな変化はみられず、また細粒分の増加もみられなかった。
- (2) 農作業機械の踏圧などの影響を想定し、凍結融解繰返し後に CBR 貫入強さを計測した。その結果、サイクル数の増加とともに供試体が密になり、貫入強さが大きくなる傾向が認められた。貫入強さは火山礫よりも碎石のほうが大きかった。
- (3) 凍結融解の繰返しによって生じる疎水材部の層厚の変化を調べるため、サイクル数と軸ひずみの関係を調べた。軸ひずみの変化は1回目の水浸で最も大きく、その後は緩やかに増加することがわかった。凍結融解サイクルの増加にともなう軸ひずみの発生量は、碎石よりも火山礫のほうで大きかった。
- (4) 凍結融解繰返し後の透水係数を測定した結果、0サイクル時点に比べると若干透水係数が低下したが、十分な透水性を有していることが確認された。

6. おわりに

暗渠排水工の疎水材は材料自体の耐久性が重要である。今後は、凍結融解サイクルをさらに増した場合の疎水材の性状変化などを検討する予定である。

また、浸透水や地下水を暗渠排水管に導くためには、疎水材の排水性能が良好に保持されることが不可欠である。この点については現在疎水材の種類を変えた場合の排水性に関する検証実験を進めているところである。

参考文献

- 1) 石渡輝夫・横堀 将・横濱充宏・高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策(その2), 開発土木研究所月報, No.498, pp.2-9, 1994
- 2) 石渡輝夫・横堀 将・横濱充宏・高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策(その2), 開発土木研究所月報, No.499, pp.3-11, 1994
- 3) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画「暗渠排水」基準書・技術書, p.132, 2000
- 4) 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
- 5) 大深正徳・岡村裕紀・大岸 讓：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
- 6) 土谷富士夫・松田 豊：畑地の土壌凍結について - 寒冷地における冬期の農地工学的研究(I) -, 農業土木学会論文集, 第110号, pp.51-57, 1984

- 1) 石渡輝夫・横堀 将・横濱充宏・高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策(その



新津 由紀*
NIITSU Yuki

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
研究員



小野寺 康浩**
ONODERA Yasuhiro

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
総括主任研究員
技術士(農業)