

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760445

研究課題名(和文)凍結・融解履歴を受ける斜面内土要素の異方性に関する研究

研究課題名(英文)A study on the anisotropy of surface soils on slopes subjected to freeze-thaw history

研究代表者

川口 貴之(Kawaguchi, Takayuki)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20310964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：寒冷地にある自然斜面や人工斜面では、春先の融雪期に斜面表層が崩壊したり、凍上と融解を繰り返すことで表層土が少しずつ斜面下方へ移動することが報告されている。そこで本研究では、凍上・融解前後における間隙比と透水係数の変化や、アイスレンズがなす面とほぼ平行にせん断することが可能な一面せん断試験装置を開発し、これを用いて凍上・融解履歴による変形強度特性の変化を調べた。さらに、鉛直・水平方向に伝播するせん断波速度の測定が可能な凍上試験装置を開発し、凍上・融解履歴によるせん断弾性係数およびその異方性の変化についても詳細に検討した。

研究成果の概要(英文)：In cold areas, surface soils on slopes often move downward in spring. Its moving is caused by repeated freeze-thaw cycles. If we properly evaluate slope stabilities and carry out effective slope protection works, we should understand variations of strengths, stiffnesses, permeabilities, and so on in the cycles. By the way, it is known that repeated freeze-thaw cycles make ice lenses within surface soil. They spread parallel to ground surface so they are arranged parallel to shear stress on the slope. In this study we carried out frost heave tests that obtained changes of the void ratio and permeability in the cycle of freezing and thawing, direct box shear tests that obtained strength-deformation characteristics in the cycles, and the bender element tests that also obtained velocities of shear waves with vertical and horizontal propagation in the cycles. Then we conclude that the formation of ice lenses made parallel to shear stress is important for mechanical properties of surface soils.

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：土質力学 凍上 異方性

1. 研究開始当初の背景

北海道のような積雪寒冷地にある自然斜面や無対策の盛土・切土法面では、冬期の気温低下によって地表面から凍結し、春期の気温上昇によって地表面付近にある凍土は地表面から融解する。このとき、図1に示すように冬期において地表面付近の土が凍上すると表層にはアイスレンズが形成され、春期にこれが融けると周辺地盤が高含水比になるとともに、この部分が空洞化するために表層部が弱体化し、ここに融雪水や降雨が加わることで崩壊に至るケースが数多く報告されている。

他にも冬期において形成された凍土が遮水壁となって背後の間隙水圧が上昇し、春期にこれが融けることで浸透流によるパイピングのような現象で崩壊する事例や、夏期等においても冬期～春期の凍結・凍上によってできた緩み層が豪雨によって崩壊する事例、更には凍上は斜面に垂直方向なのに対し、融解は重力方向に生じるために変状が繰返し進行することも報告されている。

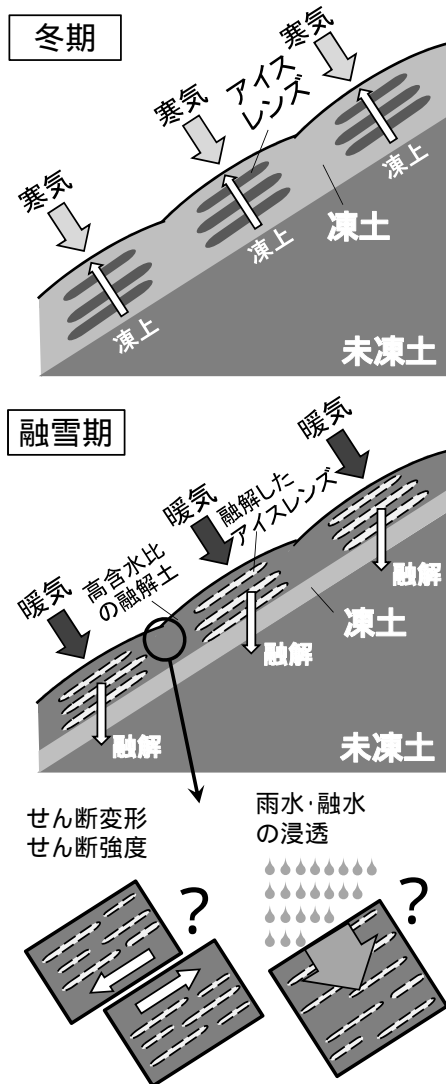


図1 凍結・融解履歴による斜面変状と崩壊のメカニズム

本来であれば、このような「斜面における凍上・融解被害」は道路施工等に関する指針や要領に記載され、その安定性評価法について何らかの記載されているべきであるが、現時点でそのような記述はほとんど見られない。

このような背景もあって、(社)地盤工学会北海道支部では「斜面の凍上被害と対策に関する研究委員会」を設立し、申請者もその委員の一人として被害の現状と現時点におけるその対策法についてまとめた「斜面の凍上被害と対策のガイドライン」を発行した。しかし、本報告書では先述のような凍結・融解履歴を受ける自然斜面や無対策の盛土・切土法面の安定性評価法については一切触れられておらず、斜面内土要素の変形・強度特性や透水性等が凍結・融解履歴を受けることによってどの程度変化するのかを把握することが急務な状況にあった。

2. 研究の目的

斜面内土要素について考えると、一般にアイスレンズは熱流方向に対して直角方向に形成されるため、凍結・融解履歴を受ける斜面内土要素に作用するせん断応力や降雨や融雪、アイスレンズが融けた水による浸透流の方向はアイスレンズおよびそれが融けてできるクラック(空洞)とほぼ平行となることが分かる。すなわち、凍結・融解履歴を受ける斜面内土要素の安定性を評価するには、変形・強度特性や透水性の異方性を把握(特にアイスレンズに平行となる方向について)することが不可欠であると考えられる。

そこで本研究では、各種室内試験装置・方法を駆使することで、透水係数や変形・強度特性など、凍結・融解履歴を受ける斜面内土要素の異方性について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では上記の目的を達成するために、以下の三種類の試験装置を用いた。一つ目は地盤工学会基準である「凍上性判定のための土の凍上試験方法」に準拠した、直径10cm、高さ5cmの円盤供試体を対象にした凍上試験装置であり、ビューレットを併設することで凍上・融解試験前後の変水位透水試験を可能にしている。二つ目はベンダーエレメントによって凍上・融解試験の前後に供試体中を伝播するせん断波速度の測定が可能な凍上試験装置であり、上下冷却盤とモールドに2対のベンダーエレメントが取り付けられており、水平方向に振動しながら鉛直方向に伝播するせん断波速度から得られるせん断弾性係数と、伝播・振動ともに水平方向のせん断速度から得られるせん断弾性係数を得ることができる。三つ目は凍結・凍上させ、それを融解させた供試体を設置・せん断することが可能な一面せん断試験装置である。

次に、実験に使用した試料は北海道北見市

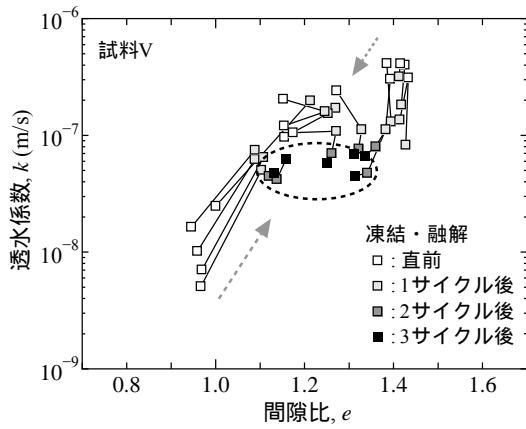


図2 凍結・融解履歴による透水係数と間隙比の変化

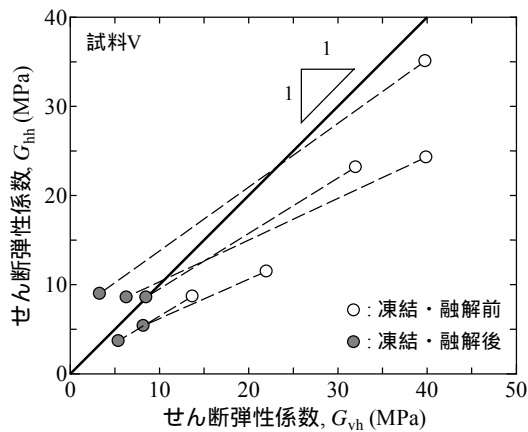


図3 凍結・融解履歴によるせん断弾性係数の変化

で採取された風化火山灰と粉末乾燥状態で市販されている粘土とシルトを重量比1:1で混合したものの2種類であり、風化火山灰については締固め、混合したものについては液性限界の2倍に調整したスラリーを一次元予圧密したものを供試体とした。

4. 研究成果

まず始めに、凍結・融解履歴による間隙比と透水係数の変化を把握することを目的とした試験では、図2に示すように凍結開始時の間隙比が大きいものは凍上・融解試験後に間隙比が小さくなり、反対に間隙比が小さいものは大きくなることで、この試料では1.1~1.3の比較的狭い範囲に収束していくことが分かった。また、凍結・融解履歴に伴う透水係数の変化は間隙比の変化に強く依存し、この試料では透水係数の値が先と同様に 5×10^{-8} m/s程度に収束することが明らかとなった。さらに、凍結融解を受けた土の透水係数の異方性については、1辺12cmの立方体供試体を用いた変水位透水試験により、一般に知られるように水平方向の透水係数の方が幾分大きいものの、その程度は凍結融解履歴によって大きく変化するものではなく、これについても主に間隙比の変化に追従して増

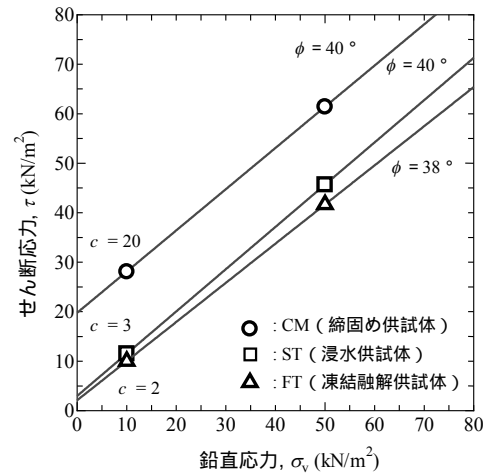


図4 凍結・融解履歴が強度定数に与える影響

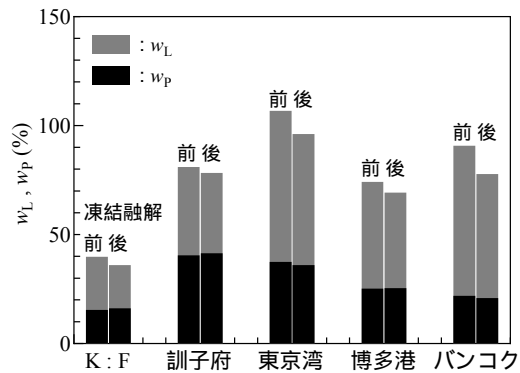


図5 凍結・融解履歴がコンシステンシー限界に与える影響

減することが明らかとなった。

次に、凍結・融解履歴が変形特性、特にせん断弾性係数に与える影響を把握するために行った試験からは、先述のように凍結融解によって間隙比は同様な範囲に収束するものの、図3に示すように鉛直方向に伝播するせん断波から産出されるせん断弾性係数は凍結前の間隙比の大きさや凍結・融解による間隙比の増減とは無関係にこの試料では10MPa以下まで大きく低下していることが分かった。一方、水平方向に振動しながら伝播するせん断波から算出されるせん断弾性係数は凍結融解によって減少するものの、その程度は鉛直方向に伝播するせん断波から産出されるせん断弾性係数に比べて小さかった。これは、鉛直方向に伝播するせん断波はアイスレンズの消失によってできた空洞等による構造的な弱部を横断するためだと推測され、アイスレンズの生成と消失によってできた構造的な損傷が変形・強度特性に大きな影響を与えていることが確認された。

最後に、凍結・融解履歴が一面せん断挙動に与える影響を把握するために行った試験からは、図4に示すように定圧一面せん断試験から得られる粘着力や内部摩擦角にはそ

れほど大きな変化は見られないものの、凍結融解履歴を与えることで負のダイレイタンス挙動が顕著となり、せん断初期の剛性が低下することが確認され、上記の成果を裏付けるものとなった。

一方、上記の試験とは別に実施した凍結融解が細粒土の基本的性質、特にコンシステンシー限界に与える影響を明らかにするための実験からは、凍結融解履歴を与えることで液性限界は一般に減少するものの、その程度には土質によって異なり、 $2\mu\text{m}$ 以下の粘土分が多く含有するほど、大きく低下することが分かった。なお、塑性限界についてはそれほど大きな変化は見られなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

小林歩, 川口貴之, 他5名, 凍結融解履歴が種々の細粒土のコンシステンシー限界に与える影響, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 査読無, 54, 2014, 75-78.

佐々木貴, 川口貴之, 中村大, 山下聡, 凍結融解履歴の有無による締固めた細粒土の一面せん断挙動の違い, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 査読無, 54, 2014, 69-74.

川口貴之, 他9名, ジオセルとジオグリッドを併用した補強土壁の試験施工と凍結融解挙動, ジオシンセティックス論文集, 査読有, 28, 2013, 345-352.

川尻峻三, 川口貴之, 澁谷啓, 砂質土地盤材料の微小ひずみ領域でのせん断弾性係数の測定と評価, 材料, 査読有, 62(1), 2013, 39-44.

小林歩, 川口貴之, 中村大, 山下聡, 凍結融解履歴が細粒土の液性限界に与える影響, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 査読無, 53, 2013, 275-280.

川尻峻三, 川口貴之, 澁谷啓, 高橋正和, 締固めた地盤材料の変形・強度特性に及ぼす締固め時の含水比および締固め方法の影響, 土木学会論文集 C, 査読有, 67-4, 2011, 532-543.

[学会発表](計5件)

川口貴之, 他4名, Effects of Freeze-Thaw History on Deformation-Strength Properties and Permeability of Fine-Grained Soil, 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2013.9.2-6, Paris

小林歩, 川口貴之他, 凍結融解による細粒土の液性限界の変化, 地盤工学会, 2013年7月24日, 富山国際会議場

川口貴之, 風化火山灰のせん断弾性係数に及ぼす凍結融解履歴の影響, 地盤工学会, 2012年7月16日, 八戸工業大学

川口貴之, 締固め方法が細粒分質礫質砂の一軸圧縮およびベンダーエレメント試験結果に及ぼす影響, 地盤工学会北海道支部, 2012年1月30日, 札幌市民ホール

川口貴之, 一面せん断試験による凍結・融解履歴を受けた粘性土の変形・強度特性の評価, 地盤工学会, 2011年7月7日, 神戸商工会議所

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川口 貴之 (KAWAGUCHI, Takayuki)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20310964

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: