断熱材による切土斜面の凍上抑制に 関する基礎的検討

Fundamental Study on Control for Frost Heave of Slope Soil by Using Insulating Materials

佐藤 雄太*・佐藤 崇*
Yuta Sato Takashi Sato
鈴木 久美子*・金子 賢治*
Kumiko Suzuki Kenji Kaneko
熊谷 浩二*
Kouji Kumagai

SYNOPSIS

In this study, the authors adjusted the strictly conditioned temperature to control to the frost heave. We carried out the laboratory frost heave tests of soils with some insulation materials to investigate the extent to control the frost heave. As the results, we concluded that some materials are very efficient to alleviate the frost heave of soils in valid.

Keywords : insulating materials, control of frost heave, temperature control

1. はじめに

寒冷地では、切土や盛土のり面部の表層に凍上が発生し、斜面保護工施設等に被害をもたらしている。写真-1は凍上が発生した群馬県内のある現場の、春先の状況である。この現場では、切土斜面下部に雑草等による歩道の通行障害を防止するために敷設したコンクリートパネルが波打ち、これを押さえるためのアンカーピンが浮き上がっている。斜面表層に凍上が生じると、道路等の平坦性を保つ地盤とは異なり、斜面に対して鉛直に隆起した土が融解時には重力の影響を受け鉛直下方に移動する。したがって、道路等の水平な地盤で生じる凍上による変形と異なり、永久的な変形となる。八戸市・十和田市を中心とする青森県三八上北地方では、一時期プラスチック製ののり枠を用いて切土補強を行う場合もあったが、凍上による変形が大きく、現在では殆ど使用されていない。

土の凍上とは、土中に含まれている水分が冷やされ

氷塊になることで、9%も体積が増加し、地盤表面を隆起させる現象である。これまでは、道路等の凍上現象あるいは凍上抑制に関する研究が行なわれてきた^{1)~3)}。また、擁壁や補強土等に対する凍上現象についても複数の先行研究が実施されている^{4)~6)}。しかしながら、切土斜面に対する凍上については、

写真-1 凍上発生現場

* 八戸工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

[本稿受理：2010年4月2日，修正原稿受理：2010年7月28日，討論期限：2011年1月28日]

その対策も含めて殆ど研究されていない。

凍上の抑制方法には「地盤の置換」、「水の制御」、「温度の制御」の3つの方法が有効な手段である⁷⁾。地盤の置換は、実際の道路工事現場において凍上の発生しにくい地盤材料に置き換える方法で、水の制御は、地下水等の供給をできるだけ抑え、凍上しにくい状態にする。地盤の置換や水の制御は、主に道路の凍上抑制に採用されている方法であるが、切土斜面において地盤の置換や水の制御を行なうことは、コスト面や施工性の観点から非常に困難な場合が多い。したがって、切土斜面の凍上対策としては温度の制御を考えることが経済的かつ効率的であり、最も適していると考えられる。

本研究では、切土斜面の凍上抑制工法の開発を目指して、表面に断熱材を敷設することによる凍上抑制手法について室内凍上試験に基づいて基礎的な検討を行う。まず、複数の断熱材料を用いた凍上試験を行い、断熱材の凍上抑制効果を検討・考察する。次に、斜面保護工の安定性向上のために用いられるアンカーピンが凍上に与える影響について、幾つかの材料を用いて同様に検討した。

2. 凍上試験法の概要

2.1 凍上試験装置と試験法

本研究では、基本的に道路土工—排水工指針⁸⁾の凍上試験方法を参考に実験を進めた。写真-2に凍上試験装置の外観を、図-1に本研究で行った凍上試験の概略を示す。試料の含水比を40%に調整し、水をなじませるために気密にした状態で12時間以上放置した後供試体を作成した。高さ15cm、内径8.5cmの塩化ビニール管をモールドとし、試料を4層に分けて所定の密度になるように詰めて供試体を作成した。下から1, 2, 3層上部にそれぞれ熱電対を合計3個設置し、試験中の土中の温度変化を測定した。供試体は、ポーラスストーン、ガーゼを入れたモールド架台とともに供試体の下面まで水に浸し、24時間以上給水させ、凍上試験機に設置した。モールドの周囲を厚さ8cmの発泡スチロールで囲むことにより、供試体の上部からのみ冷やされる状態となり、モールド上部から1次元的に冷気が伝わるよ

写真-2 凍上試験機

図-1 凍上試験の概略

うにした。温度条件は、冷却室内温度を -8°C 、水槽庫内温度を 3°C に設定した。冷却期間は4日間とし、供試体上部の変位と土中の温度変化を30分ごとに測定した。試験終了後、供試体を取り出しモールドから抜き割って土中の凍上の様子を観察した。

2.2 実験に使用した材料

実験には、十分に空気乾燥させ、ときほぐした後、 4.75mm 以下に粒度調整した八戸ロームを使用した。使用したローム土は、八戸工業大学西方の八戸南道路工事現場から採取したものである。採取深度は地表から約 2m の土層とした。八戸地域に堆積するローム土については、諸戸⁹⁾や志村¹⁰⁾によって詳細な検討が行われており、採取時の土層区分から判断すると高館ロームと推定される。本実験で用いたローム土の基本的性質を表-1に示す。粘土分含有

写真-3 アンカーと断熱材

表-1 実験に用いた試料(ローム土)の基本的性質

項 目	試 料
土粒子密度 (g/cm ³)	2.657
液性限界 (%)	63.7
塑性限界 (%)	42.7
塑性指数 (%)	21.0
礫分含有率 (%)	1
砂分含有率 (%)	18
シルト分含有率 (%)	32
粘土分含有率 (%)	49
最大粒径 (mm)	4.75

率49%，シルト分含有率32%であり，比較的凍上が発生しやすい土であると考えられた。

写真-3は断熱材とアンカーピン模型である。断熱材としては厚さ5mm・発泡率83%の発泡スチロールと，厚さ5mm・発泡率37%の押出法ポリスチレンフォームの2種類を準備した。押出法ポリスチレンフォームは住宅用の断熱材に広く利用されているものである。また，アンカーピンの材料としては，直径3mm，長さ90mmのプラスチック製および亚克力製の棒および直径3.75mm，長さ90mmの鉄製の棒の3種類を用意した。

2.3 実験ケース

本研究の実験ケースを表-2に示す。ケース1は断熱材，アンカーピンをともに用いない場合であり，凍上現象の比較・評価のために実施した。ケース2は断熱材として発泡スチロールを使用し，ケース6は断熱材として押出法ポリスチレンフォームをそれぞれ設置した。ケース3～5はケース2と同じ発泡スチロールを断熱材として使用し，アンカーピンの影響を検討するためにそれぞれアンカーピンの材質を変えている。ケース7～9はケース6と同じ押出法ポリスチレンフォームを断熱材として用い，それ

表-2 実験ケース

番号	断熱材名	アンカー材料
ケース1	断熱材なし	なし
ケース2	発泡スチロール	なし
ケース3		プラスチック
ケース4		亚克力
ケース5		鉄
ケース6	押出法ポリスチレンフォーム	なし
ケース7		プラスチック
ケース8		亚克力
ケース9		鉄

ぞれアンカーピンの材質を変えている。アンカーピンを用いる場合には，各供試体の中央上部に断熱材の上から供試体中に打ち込んでいる。

3. 凍上試験結果

3.1 断熱材による効果

まず，断熱材の凍上抑制効果について検討するために，いずれもアンカーピンを使用しないケース1，2，6の実験で得られた時間と凍上量（鉛直変位）の関係を図-3に示す。断熱材を敷設しないケース1の場合には，試験開始約4時間後に凍上が発生しその後急激な鉛直変位が見られた。これに対して，断熱材を敷設した2つのケースでは凍上開始時間をケース1に比べて遅らせていることが確認された。発泡スチロールを敷設したケース2の場合には試験開始約9時間後，押出法ポリスチレンフォームを敷設したケース6の場合には試験開始約10時間後に凍上が発生している。したがって，本実験において，断熱材を敷設することで凍上発生時間を2倍以上，6時間程度遅らせることがわかった。本実験では4日間-8℃の条件下に供試体を設置しているが，実際には日中の気温が0℃を下回る地域・日はそれほ

ど多くはなく、凍上を遅らせることができれば極寒の地域以外においては凍上抑制として効果的であると考えられる。

また、凍上発生後の変位の勾配を比較するとケース1の場合には急激に変位が増加しているのに対して、断熱材を敷設した2つのケースは比較的緩やかに変位が増加している。さらに、最終的な凍上による鉛直変位については、ケース1では10mm以上の変位が現れているのに対して、ケース2、6の断熱材を使用した場合には5mm以下となっている。本実験においては、断熱材を敷設することで凍上量を半分に低減させている。

また、断熱材の種類に関連し、今回使用した発泡スチロールおよび押出法ポリスチレンフォームの間には、それ程明確な差はなかった。凍上発生時間は発泡スチロールの方が若干早い、最終的な凍上量は発泡スチロールの方が若干小さい。

図-2 経過時間と変位凍上量

図-4 経過時間と土中の温度変化(ケース2)

図-4～6に断熱材を敷設しないケース1、2、6の実験中の土中の温度変化をそれぞれ示す。各ケースとも、供試体上部から順に温度が低下しており、ほぼ一次的に熱が伝わっていることが確認できる。供試体が0℃になる時間には各ケースにおいて大差は認められなかった。しかし、断熱材を用いていないケース1の場合には、断熱材を使用したケースと比較して0℃を推移する時間が半分程度となっている。水が氷に状態変化する際には0℃一定となるため、この間については供試体中央部付近の土中の水が氷へと状態変化している。完全に氷に変化した後、温度は再度低下するものと考えられるが、断熱材を敷設することで冷気の伝導を遅らせることにより凍上量も抑制することができるものと考えられる。以上より、断熱材を敷設することで、土中の熱伝導を遅らせ凍上を抑制することを確認した。

図-3 経過時間と土中の温度変化(ケース1)

図-5 経過時間と土中の温度変化(ケース6)

図－6 凍上量に与えるアンカーピン材質の影響（発泡スチロール）

図－7 凍上量に与えるアンカーピン材質の影響（押出法ポリスチレンフォーム）

図－8 土中の温度変化に与えるアンカーピン材質の影響（押出法ポリスチレンフォーム）

3.2 アンカーピンによる影響

次に、アンカーピンの凍上に与える影響について検討する。発泡スチロールを用いてアンカーピンの材質を変化させたケース 2～5 の経過時間と凍上量の関係を図－7 に、押出法ポリスチレンフォームを用いてアンカーピンの材質を変化させたケース 6～9 の経過時間と凍上量の関係を図－8 に示す。なお、図中には比較のためケース 1 の結果も併せて示している。アンカーピンに鉄を使用した場合には、発泡スチロールを使用した方が顕著であるが、断熱材の種類によらずアンカーピンを使用しない場合と比較して凍上量が大きく現れている。それに対して、アンカーピンにプラスチックやアクリルを使用した場合には凍上による鉛直変位を若干抑制していることが分かった。

図－9 に断熱材として押出法ポリスチレンフォームを使用した場合の各ケースの供試体中央部の温度変化を示す。0℃になる時間はどのケースもほぼ一定であるが、アンカーピンに鉄を使用したケース 9 の場合には試験開始から約24時間後に0℃から温度が低下している。これに対して、アクリル・プラスチックをアンカーピンに使用した場合やアンカーピンを使用しない場合には、試験開始約30時間後に0℃からの温度低下が始まった。アクリルやプラスチックと鉄との熱伝導率は一般的に数百倍異なり、アンカーピンに熱伝導率の大きい鉄を使用した場合には、土中へ冷気を伝えやすくなるために、凍上抑制には逆効果であることがわかる。従来、切土斜面の保護や防草のために設置する壁面材等を固定するために金属製のアンカーピンを使用するケースが多いが、凍上が発生するような状況下では、却って凍上を助長する可能性がある。また、断熱材を敷設して凍上の際、断熱材を固定するために金属製の材料を用いることも同様に、逆効果であるため注意が必要である。

4. まとめ

本研究では、切土斜面の凍上抑制を念頭に、断熱材を用いた凍上抑制工法について室内試験による基礎的な検討を行った。土表面に断熱材を敷設することで地盤中の熱伝導を遅らせて凍上量を低下させるとともに、凍上開始時間を遅らせることを確認した。さらに、壁面材固定のために用いられるアンカーピ

ンの材質の凍上に与える影響について検討した結果、プラスチックやアクリル等と比較して、熱伝導率の大きい鉄を使用すると、凍上を助長する可能性が示された。したがって、凍上が発生するリスクが高い地域や土質の種類によっては、斜面保護工に用いるアンカーピンの材質の選定が重要であると言える。

本研究を一層発展させるため、今後は凍結・融解の繰り返しによる挙動と断熱材の効果の検討を行うとともに、寸法効果の観点から実物大・現地実験による確認等を、課題として位置付けている。

参考文献

- 1) 福田誠・小川正二・亀井健史, 1988, Segregation Potential 理論による原位置凍上量予測, 土木学会論文集 400/III-10, pp.253-259.
- 2) 鈴木輝之・沢田正剛・尾中孝美, 1991, 地盤の凍上特性に関する屋外実験, 土木学会論文集 430/III-15, pp.107-114.
- 3) 小川正二・亀井健史・福田誠・佐々木嘉仁, 1987, 粘性土地盤における凍上現象に関する基礎的研究, 土木学会論文集 382/III-7, pp.149-156.
- 4) 鈴木 輝之・宇野 裕教・澤田 正剛・安達 謙二, 2000, 多数アンカー式補強土壁の背面凍結と凍結土圧, 土木学会論文集 III-50, pp.281-290.
- 5) 鈴木輝之・山下聡・沢田正剛, 2004, プレキャストコンクリート L 型擁壁の凍上対策, 土木学会論文集 771(3-68), pp.215-224.
- 6) 名久井保, 2000, 凍結作用を受けた火山灰質粘性土の工学的特性に関する研究, 八戸工業大学博士学位論文.
- 7) 川上房義, 2007, 土質力学第 7 版, 森北出版.
- 8) 社団法人日本道路協会, 1987, 道路土工排水工指針.
- 9) 諸戸靖史, 1995, 火山灰質粘性土の性質と地方における土工事上の課題および問題点, 第40回土質工学シンポジウム論文集, 土質工学会.
- 10) 志村吉一・三戸繁夫・小坂明・池本栄一, 1993, 八戸ローム及び高館ロームの大規模土工, 青森県における火山性の土研究小委員会報告集, 土質工学会東北支部地盤調査委員会.