

凍上によるのり面の変状箇所の特性

Characteristics of deformed part on slope of frost heave

土木研究所寒地土木研究所 ○正員 佐藤厚子 (Atsuko Sato)
正員 畠山 乃 (Osamu Hatakeyama)

1. はじめに

寒冷地域における切土のり面は、凍結および融解作用を繰り返すことによるのり面の変状事例が多く報告されており、対策技術の確立が求められている。地盤工学会北海道支部「凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会（平成23年6月～平成27年3月）」では、のり面や斜面の凍上対策工法を選定するための調査手法や工法選定の判定指標、凍上対策の設計手法を示している¹⁾。凍上に関する調査は、概略調査と詳細調査があり、概略調査のひとつとして周辺構造物の変状を確認することがあげられている。しかし、様々なのり面構造物の変状が凍上によるものかを判断することは経験と技術的な判断が必要になり容易ではない。

また、凍上現象は「温度」、「土質」、「水分」の3つの条件が揃ったときに発生する²⁾。これらを詳細調査すれば、施工箇所の凍上性を判断できるが、全箇所を詳細調査するのは現実的ではなく、どのような箇所で詳細調査を行う必要があるかがまだ明確には示されていない。そこで、凍上により被災した箇所について、のり面の条件、気象条件などから調査対象箇所をある程度絞り込むことができ調査にかかる費用・時間を低減できると考えた。本報告は、凍上に関する変状箇所について資料整理した結果をまとめたものである。

2. 調査方法

国土交通省北海道開発局では、国道について防災カルテ点検表（以降カルテ点検表と称する）を作成し、管内を維持管理している。カルテ点検表は、災害に至る可能性のある要因として着目すべき変状に関して点検し、その状況を記録し対策工の必要性や緊急性を判断するために活用するものである。本調査では、このカルテ点検表より、切土のり面に対して凍上による変状が発生する可能性のある構造物として、グラウンドアンカー工、地山補強土工、擁壁工、補強土工、かご工、のり枠工、吹付け工、小段排水工などの中から現地踏査なしで写真により構造物の変状が凍上に起因するかどうかを判断することができるのり枠工のうち軽量のり枠を抽出して、平成18年から28年までの調査結果を整理することとした。軽量のり枠を施工したのり面では、写真-1、写真-2に示すような変状が見られた。この変状は、アンカーピンが凍着凍上により引き抜けたものであり、凍上に起因する変状である。加えて写真による判断も容易である。このことから、軽量のり枠工の変状を対象としてデータを整理した。

軽量のり枠についてカルテ点検表に記載された変状が、

凍上に起因するものかを判断し、凍上による変状を有する構造物を対象として、のり高、のりこう配、のり面の向きなどののり面の条件、のり面緑化の状態、湧水の有無、気温や積雪などの気象条件などの項目について比較検討することとした。



写真-1 鋼製のり枠工の変状



写真-2 プレキャストコンクリートのり枠工の変状

なお、軽量のり枠工は、降雨等による浸食防止や緑化基礎工としての機能を期待し、PCコンクリート製、鋼製、金網製、プラスチック製など軽量化されたのり枠を用いてのり面を安定させる工法であり、全国的に広く施工されている。しかし、北海道のような寒冷地では前述のような被災事例があることから、適用にあたっては十分な注意を行うこととされており³⁾、近年では施工される例は非常に少なくなっている。

3. 調査結果

3.1 軽量のり枠工の種類

北海道開発局のカルテ点検表では、鋼製、プレキャストコンクリート製、樹脂製、木製の軽量のり枠工が合計58箇所が凍上により変状していた。変状した軽量のり枠工の種類を図-1に示す。鋼製、PCコンクリート製、樹脂製、木製の順に変状数が多い。実際の施工数の把握が困難であったことから変状の発生しやすいのり枠工の種類を特定することはできないが、どのような材質であっても軽量のり枠工には凍上による変状が発生するものと考えられる。

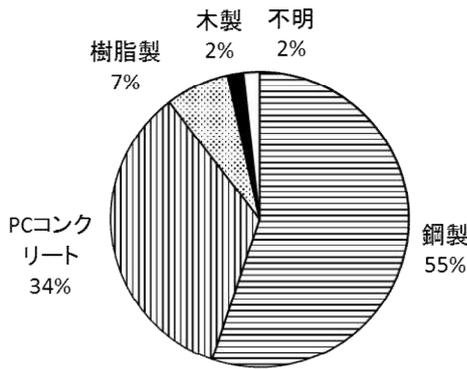


図-1 変状した軽量のり枠工の種類

なお、調査したカルテ点検表は、記録の開始した時期が平成18年から20年までであり、この時点ではすでに軽量のり枠工の変状が確認されており、この時期以前に変状が発生していると考えられる。軽量のり枠工の施工年が不明であったことから、施工後どの程度の時間経過で変状が発生したかは判断できない。しかし、上野らの既往の研究⁴⁾により、凍結により持ち上がった地表面は、融解により沈下するが、持ち上がった箇所は凍上前の位置に戻ることはなく、残留変位が累積するという報告がなされており、この現象が軽量のり枠工に発生した。すなわち、凍上により持ち上がった軽量のり枠工が、融解によりある程度は沈下するが、元の位置に戻ることがないため、時間の経過により、軽量のり枠工が残留変位の累積によりり面上にもち上がった状態になった。凍上に影響を与える「温度」、「土質」、「水分」の要因は大きく変化することはないと考えられることから、この現象は施工直後から発生しているものと考えられる。

3.2 変状が発生する高さ

軽量のり枠工が凍上により変状した高さを図-2に示す。高さ10m以下の比較的低い位置で、軽量のり枠工の変状が発生している。水分の流れは上方から下方へ向かうことから、り面の上方より下方が凍上による変状が発生しやすいと考えられる。り面の背面地形の情報がカルテ点検表に記載されている事例は全体の1/3の17件であり、これらはすべて台地の裾部、森林、集水

地形のいずれかであった。このような地形では、り面の背面に降雨などの水分を保有しやすい条件となり、この保有した水分が凍上の供給源となり得る。

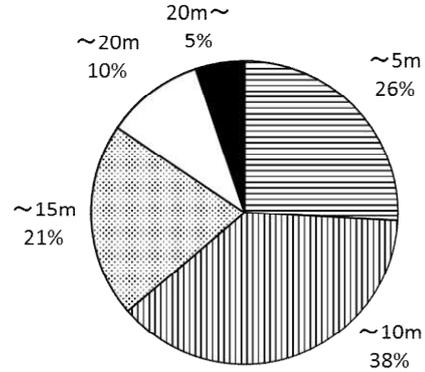


図-2 変状した軽量のり枠工の高さ

3.3 のりこう配

凍上により変状した軽量のり枠工のりこう配を図-3に示す。全体の90%程度がのりこう配1:1.2以下である。北海道開発局では切土に対して標準のりこう配を定めており⁵⁾、標準値は、湧水や地すべりがある場合を除いて1:1.0から1:1.2である。軽量のり枠工が施工されたり面は、この標準値と合致している。

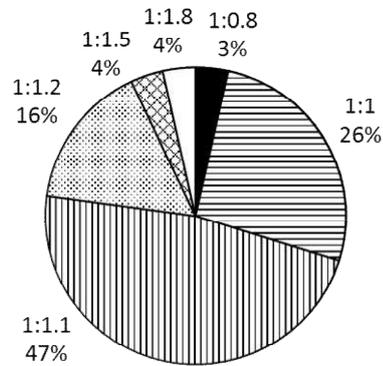


図-3 変状した軽量のり枠工のりこう配

3.4 のり面の向き

調査を行ったり面のうち、向きの情報があったものが24箇所あった。これらの軽量のり枠工のり面の向きを図-4に示す。北西、南東向きのり面で変状が多く、北東、南西向きのり面で変状が少ない傾向が見受けられる。今後変状が確認された他のり面についてもり面の向きを調査し、この傾向を確認したい。

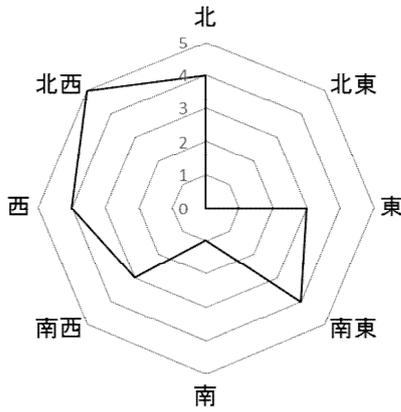


図-4 変状した軽量のり枠工ののり面の向き

3.5 緑化状況と湧水

調査箇所ののり面は、写真-1、写真-2 で示されるように笹や草本類が生育していた。調査した箇所では、のり面が裸地化していた箇所はなく、笹によるのり面保護と草本類によるのり面保護がほぼ同じ割合であった。笹や草本類は密にしっかりと生育していた。

調査した箇所のうち、はっきりと確認できる湧水があったのり面は 12 箇所ですべての 1/5 程度であった。しかし、施工箇所ののり面の植物の生育が良好であったことから、植物の生育に必要な十分の量の水分がのり面から供給されたと考えられる。このことは、のり面が凍上するのに必要な水分の供給が十分になされる環境にあったとも考えられる。

3.6 気象条件

調査箇所では気象を観測していないため、カルテ点検表にはこの情報は記載されていない。気象条件は凍上に大きく影響すると考えられたことから気温や積雪などの気象データとして、調査箇所付近の気温と積雪量を気象庁のアメダス⁹⁾よりデータを収集した。とりまとめに際して、軽量のり枠工の変状が平成 18 年から 20 年に確認されたことから、変状が確認されるまでの 10 年間のデータとして平成 10 年から 19 年までをまとめた。

この期間における全調査箇所付近のデータより、気温および積雪量の最大値と最小値を求め表-1 に示す。最も低い気温は-30.3℃であり、北海道の中でも寒さが厳しい箇所であるといえる。積雪は平地の観測結果であるが、27.9cm から 249.8cm の範囲であり、積雪がかなり多い箇所でも軽量のり枠工に変状が発生している。

表-1 気象条件

	最小値	最大値
気温(℃)	-30.3(朱鞠内)	-13.3(宗谷岬)
積雪量(cm)	27.9(根室)	249.8(朱鞠内)

3.7 凍上により変状した軽量のり枠工の施工箇所

凍上により変状した軽量のり枠工が施工された箇所を

軽量のり枠工の材質ごとに図-5 に示す。また、図-6 に北海道各地の主な気象特性⁷⁾をあわせて示す。北海道における軽量のり枠工での凍上被害の発生は、ほとんどが低温地域で発生し、そのうち少雪な地域で8割以上が発生し、多雪な地域では2割弱である。これは、雪には断熱効果があるためであり、多雪地域では雪の断熱により凍結深さが浅くなり凍上の発生も少なくなる。

鋼製のり枠工の変状はこの2つの地域で全体的に発生している。PC コンクリートのり枠工の変状は図-5 の低温・少雪地域で多く発生している。施工実績が不明であることから、変状の発生が施工数の偏りによるものか、気象の影響を受けているものかの判断はできない。

今回の調査では、多雪地域でも軽量のり枠工の変状が多数認められた。積雪が 20cm 程度を超えると雪の断熱効果により凍結深さが大きくなるとされている⁸⁾。のりこう配が緩やかであれば積雪が深くなり、こう配が急であれば積雪が浅くなると考えられる。筆者らは、苫小牧地区においてのりこう配と積雪深さ、凍結深さを測定した⁹⁾。その結果として、雪の断熱効果が期待できる 20cm 程度の積雪深となるのり面こう配は 1:1.5 であることを得ており、これよりものりこう配が急になると積雪深さが浅くなり、凍結深さも大きくなったことを確認している。さらに他機関の計測例¹⁰⁾を示した表-2 でものり面こう配が急になると凍結は深くなり、1:1.2 よりも急になると凍結深さが大きくなっている。表-1 に示す積雪量は平地での計測値であり、のりこう配が 1:1.2 よりも急になるようなのり面の場合には適切ではないと考えられる。なお、多雪地帯 11 箇所ののりこう配は、のりこう配が不明な 1 箇所を除くと 8 箇所が 1:1.2 よりも急であった。多雪地帯であってものりこう配が急な場合には、積雪がなく凍結が深くなり凍上による変状が発生することがある。

軽量のり枠工は枠の高さが比較的低いので、のり面こう配と積雪に関係性が見られると判断できるが、現場打設のコンクリートフレームに設置されるグラウンドアンカー工や地山補強土工などではフレームが高く、この中に堆雪する場合がある。同様に小段排水工は平面であり、堆雪しやすい構造である。このように、構造物によっては、のりこう配と関連がない場合もある。

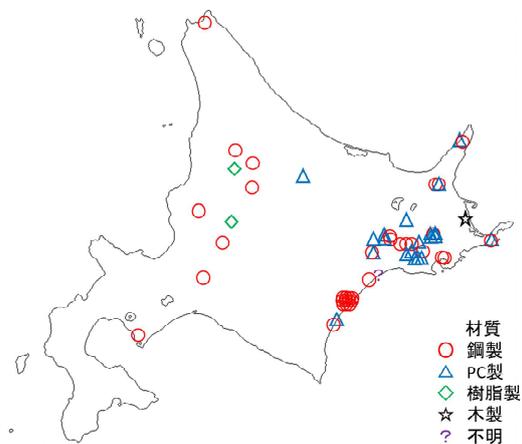


図-5 軽量のり枠工が変状した箇所



図-6 北海道各地の主な気象特性

- 6) 気象庁：過去の気象データ
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 7) 日本道路公団北海道支社札幌技術事務所：北海道の高速道路における最近の凍上対策技術取組み、ライラック 15号 p.1、2003.3
- 8) 土谷富士夫：気候変動が土の凍結深さ及びその特性に及ぼす影響、土の凍結と室内凍上試験方法に関するシンポジウム、地盤工学会、2001.10
- 9) 佐藤厚子、西本聡、鈴木輝之：のり面こう配と積雪深および凍結深さの関係について、第 29 回日本道路会議、2011.11
- 10) 社団法人 地盤工学会北海道支部斜面の凍上被害と対策に関する研究委員会：斜面の凍上被害と対策のガイドライン、2010.3.

表-2 のりこう配ごとの最大積雪深と凍結深さ

こう配	積雪深	凍結深さ
1:1.2	20	58
1:1.5	40	38
1:1.8	60	17
平地(強制除雪)	0	79

4. まとめ

本報告では、カルテ点検表を利用して軽量のり砕工の変状箇所を凍上による変状が発生する箇所として整理を行った。その結果、北海道においては積雪の量にかかわらず、低温地域で凍上による変状が発生することがわかった。また、植物の生育が良好なのり面でも凍上が発生し、のり面構造物に変状をおよぼすことも考えられる。さらに、切土のり面 1:1.2 程度の標準のりこう配では積雪による断熱は期待できない。加えてのり面の向きも凍上発生に影響を与える可能性があり、北西、南東向きののり面の場合に凍上する可能性がある。

謝辞：本検討に当たり、国土交通省北海道開発局より国道の防災カルテ点検表のデータ提供にご協力をいただきました。関係者の皆様に対し、心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 社団法人 地盤工学会北海道支部凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会：斜面の凍上対策の調査・設計マニュアル（案）、2016.9.
- 2) 10 地盤工学会：土の凍結—その制御と応用—土質基礎工学ライブラリーpp.7-8、1982.12
- 3) 北海道開発局道路設計要領：北海道開発局、I-4-28、2018.
- 4) 上野邦行、芮大虎、鈴木輝之、山下聡：芝生保護のり面の凍結・融解過程における挙動、観測(2)、第43回地盤工学研究発表会、pp.989-990、2008.7
- 5) 北海道開発局道路設計要領：北海道開発局、I-3-19、2018