

断熱工法を用いた舗装の凍上対策 —寒さに負けない舗装を目指して—

国立研究開発法人土木研究所
寒地土木研究所
寒地道路保全チーム

主任研究員 上野 千草



1 はじめに

積雪寒冷地では、冬期間に土の中まで寒さが入り、土の中の水分が凍結することで、霜柱のようなアイスレンズと呼ばれるものが何層にも土の中に発生し、土の層が膨れ上がることがあります。この現象を凍上といいます。これにより舗装の下の土の層が膨れ上がると、舗装が持ち上げられ、写真1のようにひび割れが発生することがあります。

また、春先の気温上昇に伴ってアイスレンズが溶けることにより、土の中にたくさんの隙間ができ、舗装を支える力が弱くなることによって、舗装にひび割れや沈下、凸凹が発生してしまうことがあります。このため、凍上を防止する対策は積雪寒冷地において舗装を構築する上で、とても重要です。

当チームでは、凍上によって舗装が損傷することを防ぐ対策として、断熱材を用いた対策工法について研究を行い、設計・施工するための方法についてとりまとめを行ってきました。

本稿では、道路舗装における凍上対策と、研究成果を取りまとめて作成した「断熱工法を用いた舗装の凍上対策に関する設計・施工マニュアル(案)」について紹介いたします。



写真1 凍上による舗装のひび割れ
左:アスファルト舗装、右:コンクリート舗装

2 凍上とその対策

凍上が発生するためには、①アイスレンズが発生する土質であること、②土の中に凍上に必要な水分があること、③土の中に凍結が入ること、という三つの条件が揃う必要があります。

上記の①～③うち一つでも欠けると凍上は発生しません。このため、凍上への対策を行う時は、どれか一つ以上を取り除くことを考えます。

道路舗装における一般的な凍上対策は、上記の①に対する対策です。具体的には、アイスレンズが発生する凍上しやすい土を、凍上が発生しにくい材料に置き換えるというものです¹⁾。凍結が入る深さに存在する凍上しやすい土を取り除き、代わりに碎石や砂、火山灰などで埋め戻します。この方法は置換工法と呼ばれます。

今回研究対象とした工法は、上記の③に関する対策です。すなわち、凍上する土がある深さまで凍結が入らないようにすることで凍上の発生を防ぐ工法です。具体的には、舗装の中に断熱材を敷き詰める工法になります。この工法を断熱工法といいます。

断熱工法を用いた場合、凍結が入る深さまで土を置き換える必要がなくなります。このため、置換工法よりも浅い深さで対策を終えられる場合があります。

現在使用している道路において、凍上による被害が出ている場合や、舗装の更新に伴い舗装の種類が変わることによって、追加の凍上対策が必要な場合があります。この時、断熱工法を用いることにより、凍上対策のために舗装や土を撤去する深さが浅くなることで、工事期間が短くなり、これに伴い交通規制の期間も短くなることから、道路利用者への負担が軽減されます。また、工事にかかる費用も縮減できる場合があります。

3 断熱工法の設計・施工方法

断熱工法は、駐車場や生活道路などで随時個別に設計・施工されてきた実績はありますが、一般的な設計・施工方法として整理されておらず、広くは適用されていません。そこで、設計、施工に必要な条件を整理し、試験施工を行い、断熱効果や凍上抑制効果、長期間使用した場合の耐久性を評価し、道路舗装に活用しやすいよう研究を進めました。

(1) 設計、施工に必要な照査

凍上する土がある深さまで凍結が入らないようにすることが断熱工法の大きな目的ですが、舗装の耐久性や、施工の確実性を確保する必要があります。設計および施工に必要な照査を以下に示します。

a. 荷重に対する照査

断熱材は舗装の中に設置されるため、断熱材には舗装の重さや、車両の通行に伴う交通荷重を受けても大きく変形しないことが求められます。照査には、発泡スチロール土木工法開発機構が提案する手法が有効です²⁾。

b. 断熱性能の照査

設計の対象とする期間に想定される最も寒い冬の条件においても、断熱材の下側に凍結が入らないように設計することが求められます。

断熱性能の照査にあたっては熱伝導解析が有効です³⁾。

c. アスファルト舗装施工時の熱の影響

一般的なアスファルト舗装に用いられる加熱アスファルト混合物は概ね140～160℃程度で敷き均されます。断熱材が熱によって変質・損傷する材料である場合、熱の影響を受けて変質・損傷しないように、断熱材とアスファルト舗装の間に路盤材を適切な厚さで配置し、一定の距離を確保する必要があります。

d. 断熱材上層の施工性・品質確保

断熱材よりも上層に対して、施工性および品質確保のために必要となる適切な施工厚さを検討する必要があります。版状の断熱材を使用し、その上に碎石などの層を構築する場合、断熱材の上面に施工した材料が滑ってしまい、適切な施工が行えない場合があります。

e. 断熱材の損傷対策

使用する断熱材が版状の場合、設置する面に凹凸があると、断熱材と下の層との間に隙間ができ、強い力

が断熱材にかかると断熱材が割れてしまう要因になります。また、断熱材の上下の層が粒が粗くとがった材料の場合、これらが断熱材に食い込むことが想定されます。このような場合の対応策として、断熱材とこれらの層の間に砂層を設けることによって、凹凸への対策や食い込みへの対策を行うことができます。

(2) 試験施工における評価

a. アスファルト舗装における事例

寒地土木研究所が所有する苫小牧寒地試験道路において実施した試験施工事例を紹介します。

図1に試験施工断面を示します。断熱工法を用いた工区(以下、断熱工区)、置換工法を用いた工区(以下、置換工区)、およびどちらの凍上対策も実施していない工区(無対策工区)をそれぞれ50mずつ設けました。

断熱工区は3.(1)の考え方へ従って設計、施工を実施しました。断熱材の設置状況を写真2に示します。なお、この試験施工では版状の断熱材を用いています。

置換工区	断熱工区	無対策工区
アスファルト混合物層 厚さ12cm	アスファルト混合物層 厚さ12cm	アスファルト混合物層 厚さ12cm
下層路盤層	下層路盤層	下層路盤層
切込碎石	切込碎石	切込碎石
厚さ40cm	厚さ40cm	厚さ40cm
凍上抑制層	砂層 厚さ5cm 断熱材 厚さ5cm 砂層 厚さ5cm	路床土 (凍上する土)
切込碎石		
厚さ30cm		
路床土 (凍上する土)		

図1 試験施工断面(苫小牧寒地試験道路)



写真2 断熱材の設置の様子(苫小牧寒地試験道路)

図2に2016年度から2022年度までの各年度において最も深くまで凍結が入った深さ(以下、最大凍結深さ)を工区別に計測した結果、図3に各年度において凍上により路面が持ち上げられた高さの最大値(以下、最大凍上量)を示します。

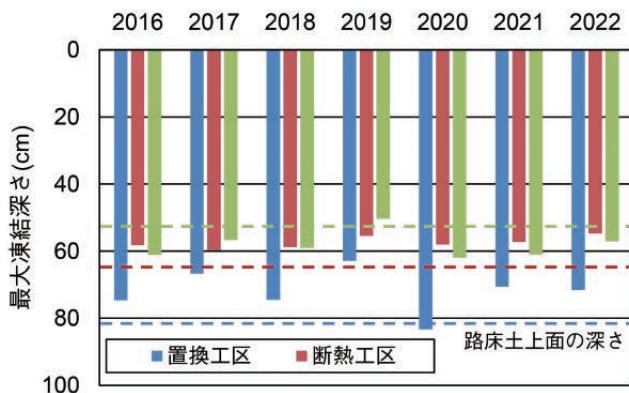


図2 最大凍結深さ(苫小牧寒地試験道路)

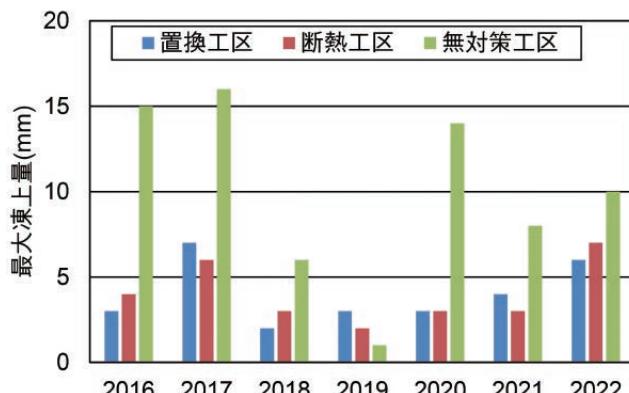


図3 最大凍上量(苫小牧寒地試験道路)

図2より緑色で示されている無対策工区では、緑色の点線で示す路床土上面の深さより深い位置まで凍結が入っている年度が多いということが分かります。これは、凍上する土の深さまで凍結が入ってしまっていることを表しています。一方、赤色で示す断熱工区および青色で示されている置換工区では、いずれの年度においても路床土上面(赤色の点線)より深い位置まで凍結が入っていないことが分かります。また、図3では、無対策工区の最大凍上量は10mm以上の値が複数の年度で発生していますが、断熱工区、置換工区では、このような凍上は発生していないことが分かります。また、断熱工区と置換工区の最大凍上量の差はいずれの年度も1mm以内となっていることから、断熱工区と置換工区は同程度の凍上抑制効果が得られていることが分かります。

b. コンクリート舗装における事例

岩見沢市内の国道において実施した試験施工の事例を紹介します。こちらは、老朽化したアスファルト舗装を更新する工事において、アスファルト舗装からコンクリート舗装に打ち換える工事の中で実施されました。この道路は舗装の損傷が発生しやすく、おおむね10年おきに舗装の修繕工事が繰り返されていた場所です。コンクリート舗装はアスファルト舗装よりも、わだち堀れやひび割れなどの損傷が発生しにくく、長寿命化が期待できることから、コンクリート舗装が採用されました。ただしコンクリート舗装は凍上には弱く、ほんの少しでも凍上に伴う不陸が発生してしまうと、たった一冬でひび割れてしまうこともあります、凍上対策をしっかり行う必要があります。

アスファルト舗装では多少の凍上を許容した設計方法が用いられていますが、先に述べましたように、コンクリート舗装は少しの凍上も許容できないため、使用予定の期間中に凍上が発生しないように設計を行います¹⁾。図4左に示す既設舗装の断面が試験施工箇所のもともとの舗装構成になります。ここで、置換工法を用いて対策をとる場合、岩見沢の気象条件では図4中央に示すように132cmの深さ(20年確率の最大凍結深さに相当)まで凍上しにくい材料で置き換える必要があります。

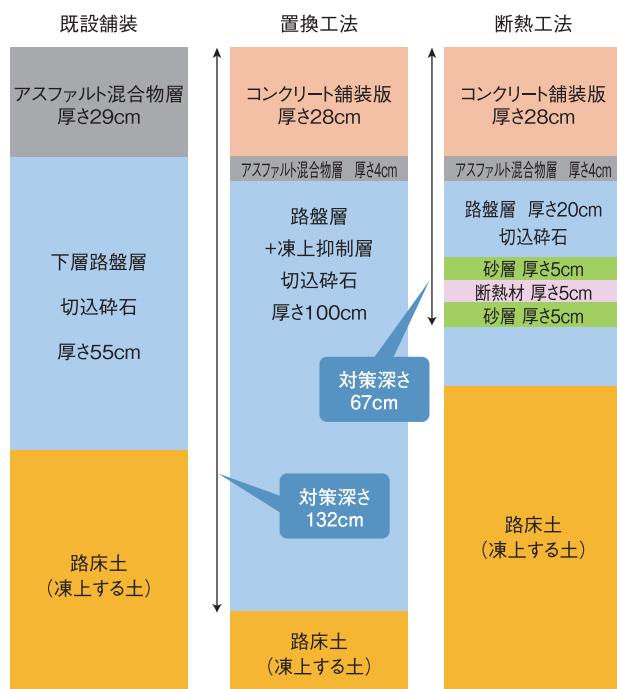


図4 試験施工断面(国道:岩見沢市)

一方で、3.(1)の考え方則り断熱工法による設計を行った場合、図4右のように対策深さが大幅に低減でき、67cmとなります。対策深さが大幅に浅くなることで、施工期間の短縮や工事費用を大きく縮減することができるところから、断熱工法を採用した試験施工が実施されました。

断熱工法を用いた工区を100m設け、断熱材を写真3に示すように設置しました。こちらも、苫小牧寒地試験道路と同様に版状の断熱材が用いられました。

写真4に断熱工法適用箇所の現在の様子を示します。工事完了後約6年が経過していますが、ひび割れなどの損傷は発生しておらず、良好な状態が維持されています。



写真3 断熱材の設置の様子(岩見沢市)



写真4 現在の様子(岩見沢市)

4 設計・施工マニュアルの発行

今回紹介した照査項目に基づき設計および施工を行った結果、断熱材を用いることで凍上を防止でき、その後の使用にも問題はないことが分かりました。

本検討結果は、事務局として寒地土木研究所が参加している国土交通省北海道開発局主催の「積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会」の成果として公表されています⁴⁾。

また、アスファルト舗装からコンクリート舗装に更新す

る際の設計・施工方法については、「断熱材を活用したコンクリート舗装修繕工法の設計・施工マニュアル(案)」として令和4年度にとりまとめを行い、令和5年度版の北海道開発局設計施工要領に反映され、現在、北海道内の舗装工事で活用されています¹⁾。

さらに、凍上が発生しているアスファルト舗装への凍上対策については、「断熱工法を用いた既設アスファルト舗装の凍上対策に関する設計・施工マニュアル(案)」として令和6年度にとりまとめを行っております。今後、北海道内での舗装工事で活用されることが期待されます。

5 設計・施工マニュアルの紹介

今回紹介いたしました二つの設計・施工マニュアル(案)は、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所の寒地道路保全チームのホームページに公開されており(図5)、無料でダウンロードが可能となっています。

A screenshot of the homepage of the "Road Maintenance Research Team" (寒地道路保全チーム). The page features a banner image of a yellow steamroller on a road. Below the banner, there are sections for "Research themes" (研究課題), "Technical Manual" (技術資料・マニュアル), "Paper & Documents" (論文・資料), and "Experimental facility" (実験施設). A large red arrow points to the "Technical Manual" section, which contains several sub-links related to concrete paving design and construction. Another red arrow points to the "Paper & Documents" section, which contains links to various reports and documents.

図5 寒地道路保全チームのホームページ5)

【参考文献】

- 1) 北海道開発局:道路設計要領、1-5-65～1-1-67、2025.
- 2) 発泡スチロール土工法開発機構:EPS工法—発泡スチロール(EPS)を用いた超軽量盛り土工法—、理工図書、pp.41～42、p.83、pp.89～93、1993.
- 3) 上野千草、松本第佑、丸山記美雄:断熱工法を用いたコンクリート舗装の凍上対策に関する一検討、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vo.78、No.2、I-92-99、2023.
- 4) 北海道開発局:積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会、https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ken/dou_ken/slo5pa000000epov.html
- 5) 土木研究所寒地土木研究所:寒地道路保全チームホームページ <http://www2.ceri.go.jp/jpn/iji/index.htm>