

# ワンパック 断熱フトン籠

～切土のり面の凍上対策～

土木研究所寒地土木研究所  
寒地基礎技術研究グループ 寒地地盤チーム  
主任研究員 山木正彦

# 開発の背景(凍上問題)

北海道のような寒冷地においては、地盤の凍上は古くから大きな課題であった。

- ・札幌千歳弾丸道路(現一般国道36号の札幌一千歳間)

1952年(昭和27年)10月:着工

1953年(昭和28年)11月:完成(延長34.5km)

## 工学上の意義

- ・アスファルト舗装の採用
- ・機械化施工による短期間施工
- ・その後の自動車専用道路に繋がる構造の採用
- ・凍上対策の実施

→当時の研究成果を踏まえ、凍上抑制層は理論最大凍結深に対し**80%**とすることに(その後更なる研究成果を得て、**70%**の置換率に※)

※「北海道における道路の凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究」  
土木試験所報告 第26号 昭和37年3月

# 開発の背景（凍上問題）

道路整備が地方部，山間部にまで進められるようになると，切土のり面における凍上が問題に。



# そもそも凍上とは？

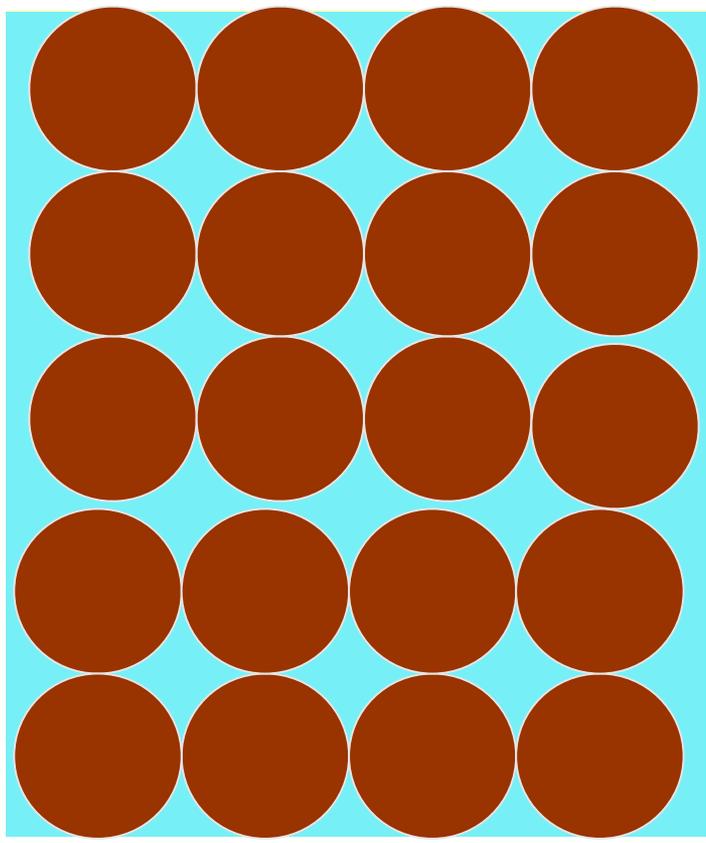
土が凍結するとき、地盤中にアイスレンズが発生して、それが成長することによって地盤が隆起する現象が「凍上」である。

- ・土(の間隙水)が凍ることとは区別していることに注意
- ・水(間隙水)が凍るとその体積が約9%増加するが、この体積増加による土(地盤)の体積増加は無視し得る程度

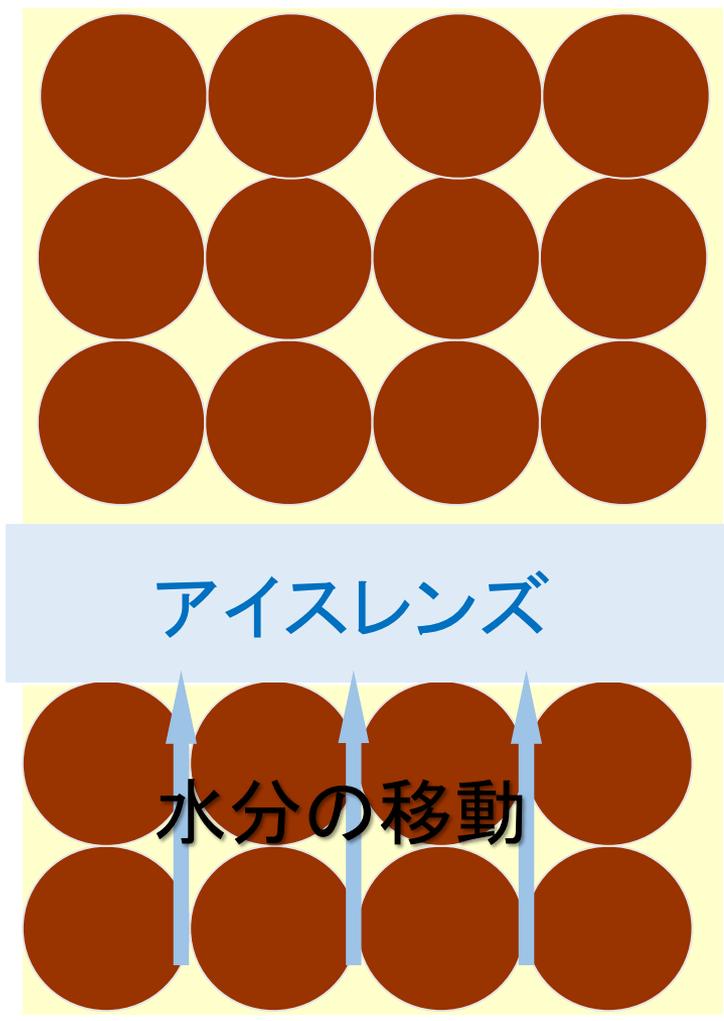


# そもそも凍上とは？

凍結と凍上の違い



凍結

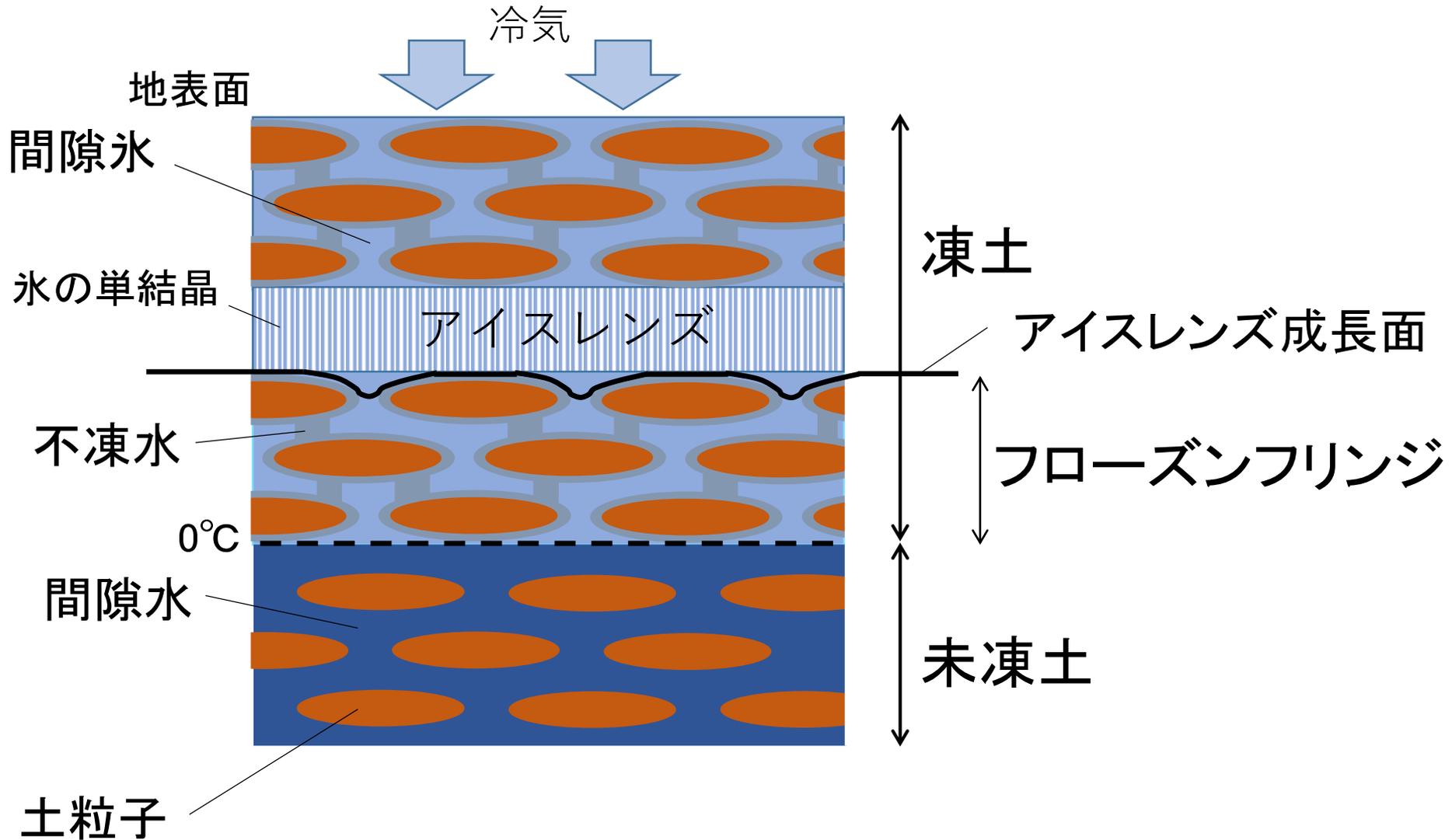


凍土

未凍土

凍上

# 凍上について(少し詳しく)



# 凍上の3要素(発生条件)

## ・温度

地中にアイスレンズが形成されるために、地中がマイナス温度である必要がある。一方で、気温が低すぎる(凍結面の移動が速すぎる)と、凍上は生じず、コンクリート状凍結となる。

## ・水分

アイスレンズを形成する水分が凍結面に供給されることで凍上が進行する。地下水面が高く、水分供給が十分に行われる条件での凍上は「開式凍上(⇔閉式凍上)」と呼ばれ、一般に凍上量は大きくなる。

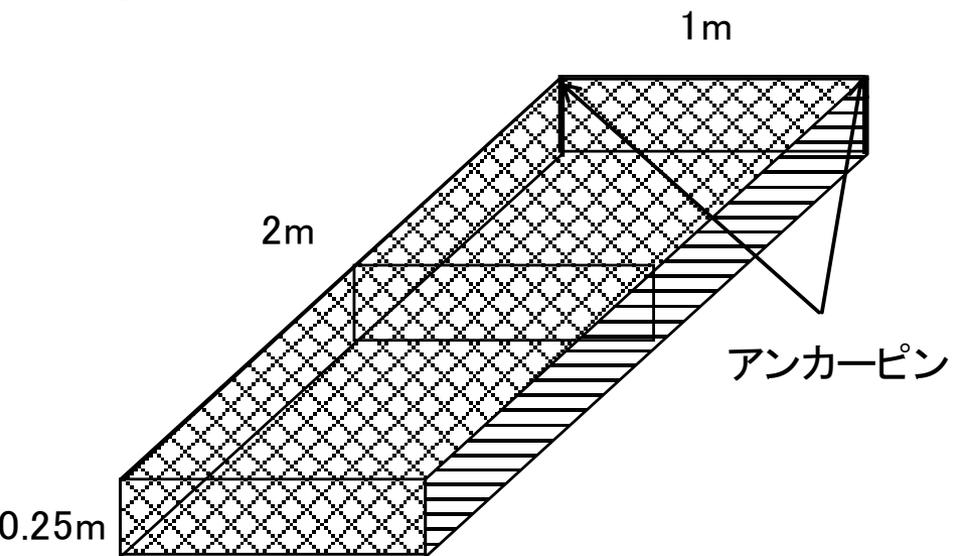
## ・土質

土の凍上性は粒径との関係が非常に強く、粒径0.1mm以下のシルト、粘土の領域で現れ、凍上性は粒径が小さい程強くなる。しかし、粒径が小さくなり過ぎると透水性が悪くなるため、地盤としての凍上性は逆に小さくなる。

つまりは、「地中を凍結させない」、「水分を排除する」、「凍結範囲の土質を非凍上性材料に置き換える」のいずれかが凍上対策の基本となる。

# 既存の凍上対策

## 特殊ふとんかご工



以下，道路土工 切土工・斜面安定工指針  
(平成21年度版)から一部抜粋

凍上及び融解によるのり面の上下の動きに  
追随する構造になっているのでその機能が  
損なわれることはなく，融雪期の融雪水やの  
り面に浸出する地下水を有効に処理できる  
ため崩壊後の対策として使用頻度が高い。



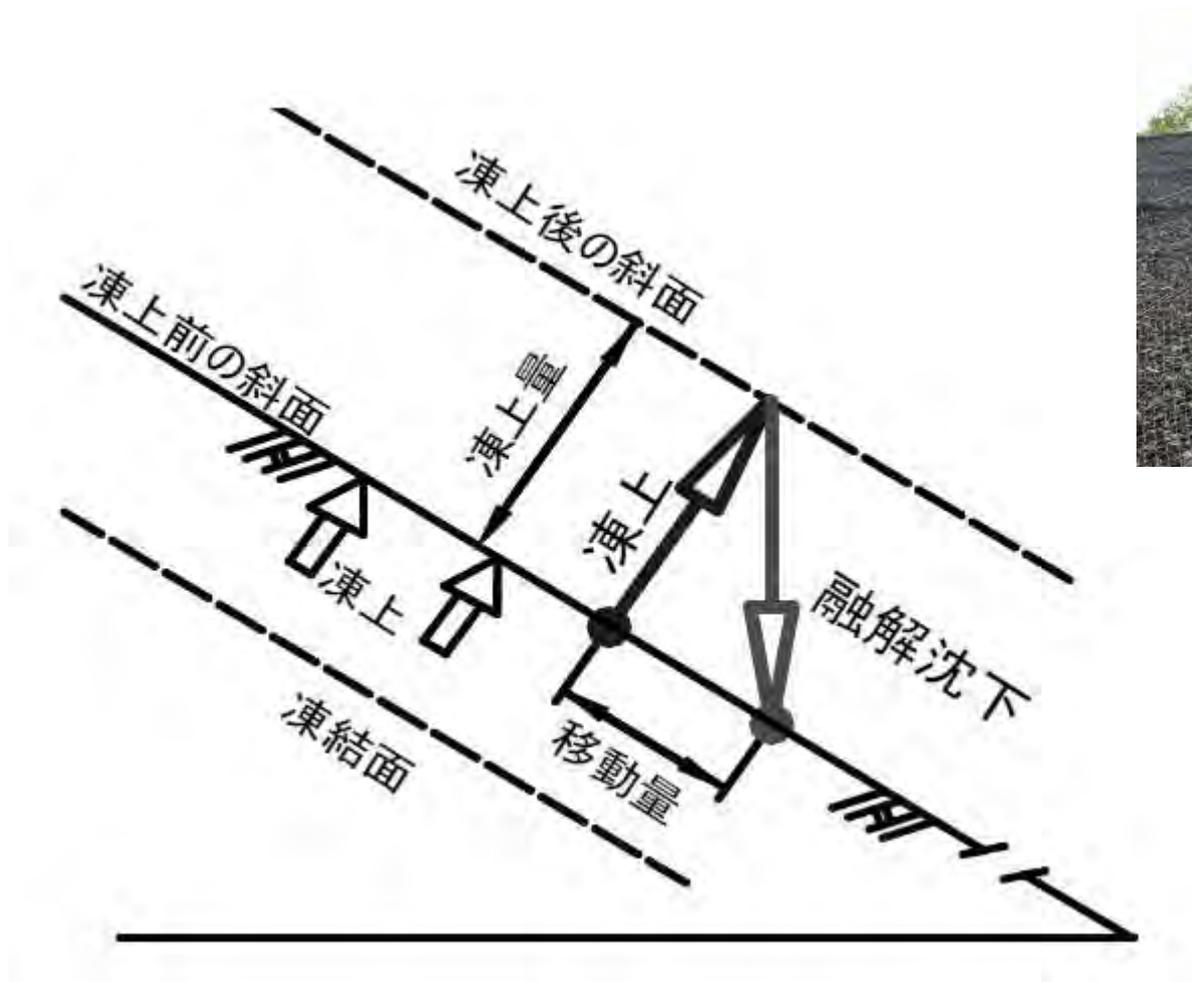
# 既存の凍上対策

## 特殊ふとんかご工の変状事例



- ・のり面表層25cm程度を非凍上性材料(礫材)で置換することになるため、のり面への冷気の侵入を若干抑制する効果はあるものの、のり面の凍上を防止する効果は限定的
- ・時間が経過すると変状することも

# 既存の凍上対策

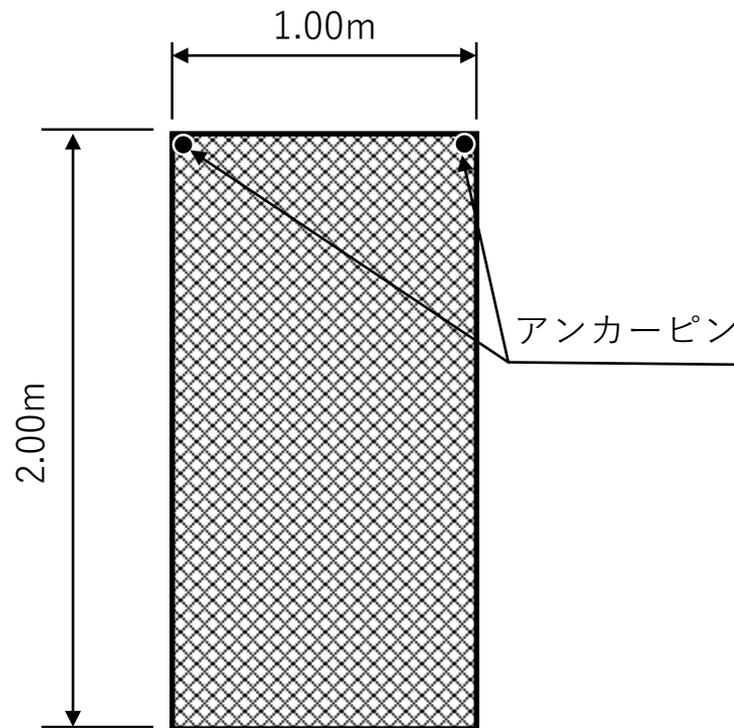
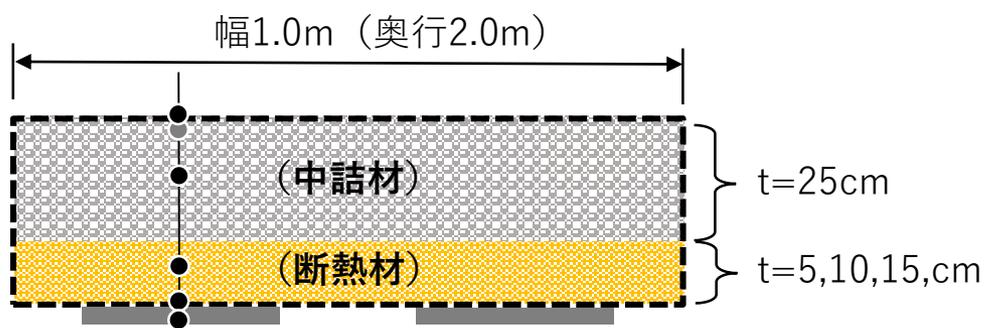


- ・特殊ふとんかごの下面(斜面表層)では, 冷気により凍上が発生。
- ・斜面が凍上により平行に持ち上がるが, 融解時は鉛直に沈下する。
- ・これらの作用を繰り返し受けることで, 特殊ふとんかごが変状。
- ・また, 特殊ふとんかごの背面(斜面)の状態が容易には確認できない。

# 近年の凍上対策

## 断熱特殊ふとんかご工

- ・先述の特殊ふとんかご工の課題を受けて、近年使用実績が増えつつある技術。
- ・特殊ふとんかごに断熱材を併用し、冷気の侵入を遮断することで凍上そのものを防止する対策工。

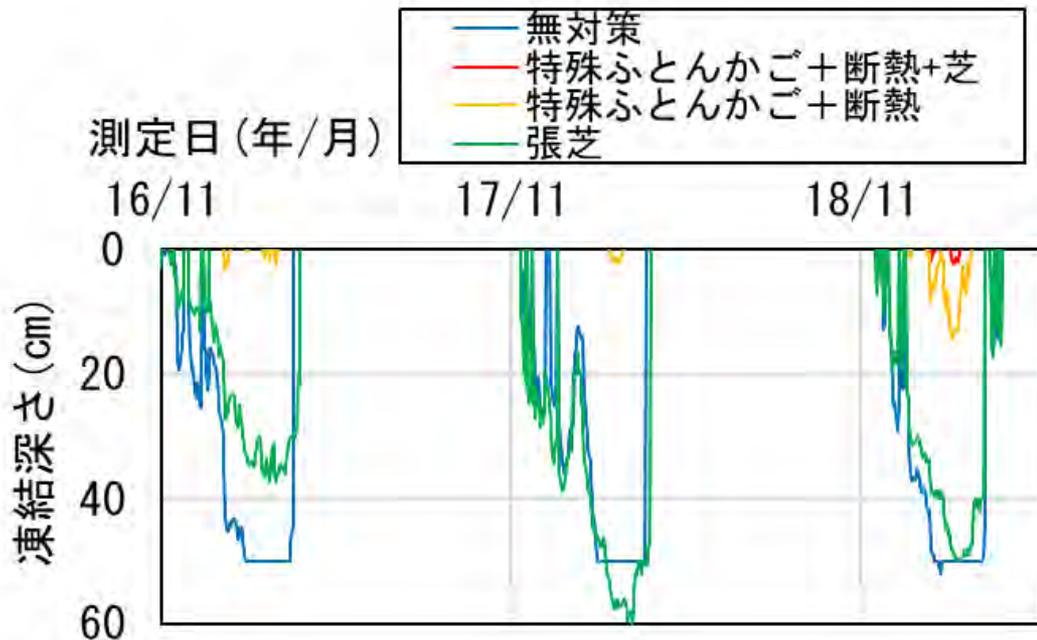


- ・フトン籠
- ・(植生を要する場合：2重張芝)
- ・中詰材 (t=25cm,粗粒材 φ 80mm級)
- ・断熱材 (t=5,10,15cm)
- ・フトン籠
- ・排水ドレーン材 (必要に応じ設置)

# 近年の凍上対策

## 断熱特殊ふとんかご工の効果

- ・断熱特殊ふとんかごが設置された切土のり面において、地中温度を継続して計測
- ・原位置の凍結指数は350～400°C・daysの範囲
- ・断熱材は厚さ5cmの透水性EPS



- ・断熱特殊ふとんかごにより、地中の凍結がかなり抑制されていることを確認
- ・現地を目視で確認しても、かごに変状は見られない

# 近年の凍上対策

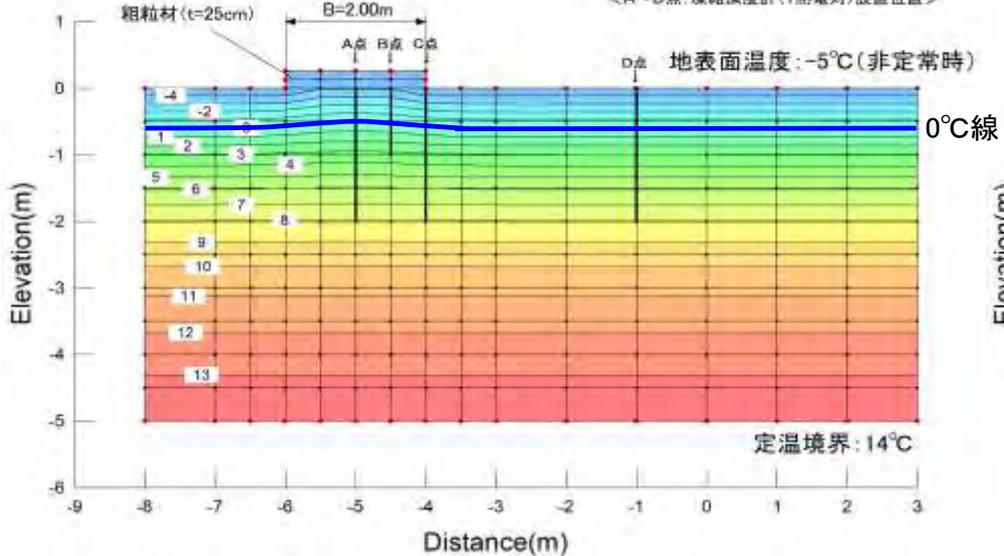
## 断熱特殊ふとんかごの効果

特殊ふとんかごと断熱特殊ふとんかごの断熱効果を熱伝導解析により試算

【対策工Case-1】 特殊ふとん籠 (t=25cm)

凍結指数:  $F=400^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$

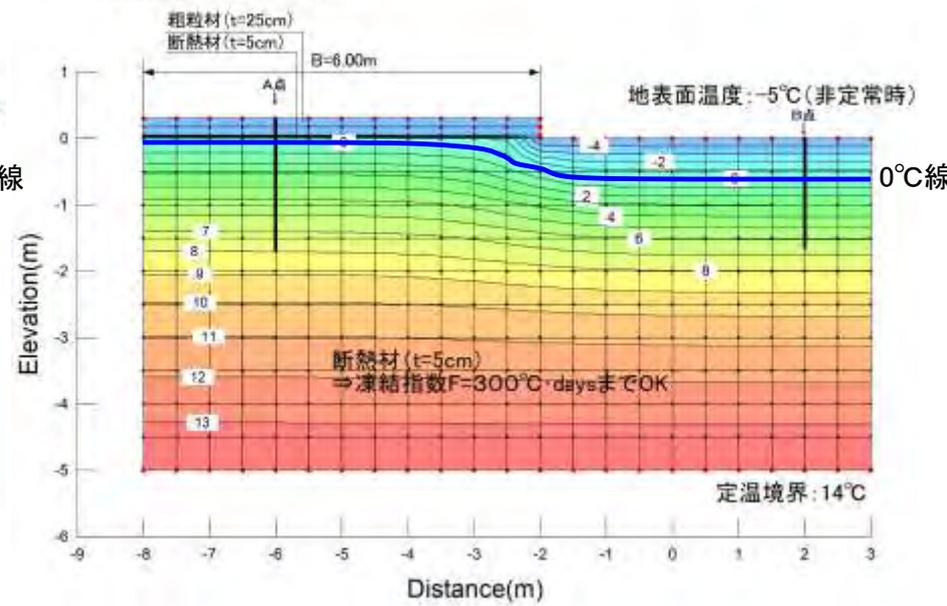
< A~D点: 凍結深度計 (T熱電対) 設置位置 >



左図: 特殊ふとんかごを設置した際の地中温度コンター図 (凍結指数  $400^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ )

【対策工Case-2】 特殊ふとん籠 (t=25cm) + 断熱材 (t=5cm)

凍結指数:  $F=400^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$



右図: 断熱特殊ふとんかご (断熱材厚さ 5cm) を設置した際の地中温度コンター図 (凍結指数  $400^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ )

断熱による冷気の侵入防止効果を改めて確認

# 「特殊ふとんかご」と 「断熱特殊ふとんかご」の課題

## 【特殊ふとんかご】

- ・断熱，置換効果は限られており，気象条件等によっては凍上を防止することはできない（背面の地山は凍上発生の可能性が）。
- ・切土工後に斜面での人力作業を伴うため，安全性・施工性に懸念。
- ・通常，中詰材は転圧されないため，時間の経過により中詰材がよれる。

## 【断熱特殊ふとんかご】

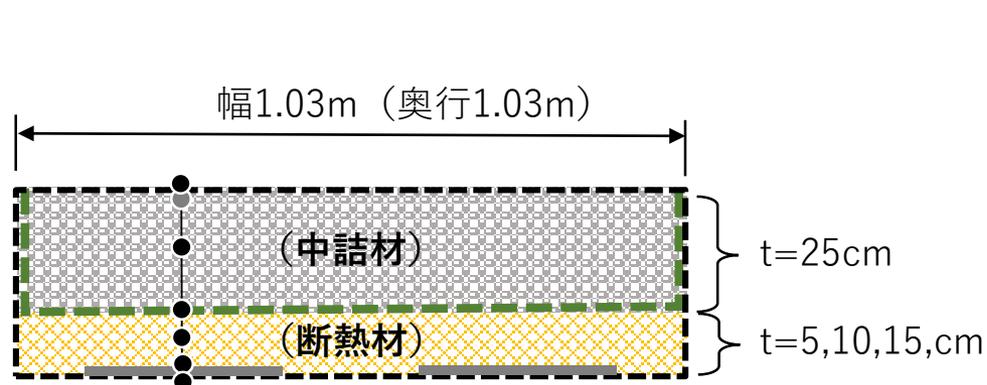
- ・特殊ふとんかごに対し，断熱材の分だけ施工手順・費用が増す。
- ・切土工後に斜面での人力作業を伴うため，安全性・施工性に懸念。
- ・通常，中詰材は転圧されないため，時間の経過により中詰材がよれる可能性がある。



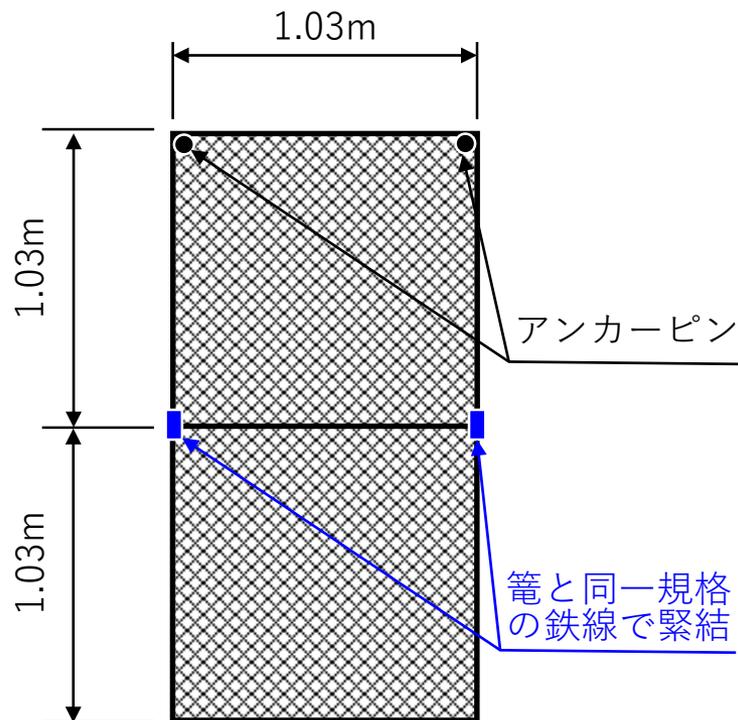
※赤字は共通

# ワンパック断熱フトン籠

先の課題に対応すべく、現在開発中の技術



- ・フトン籠
- ・(植生を要する場合：2重張芝)
- ・中詰材 (t=25cm,粗粒材  $\phi$  80mm級)
- ・中詰材抜け落ち防止シート
- ・断熱材 (t=5,10,15cm)
- ・排水ドレーン材 (W300mm)
- ・フトン籠

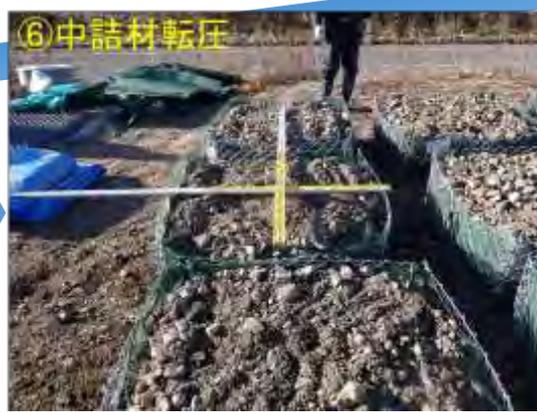
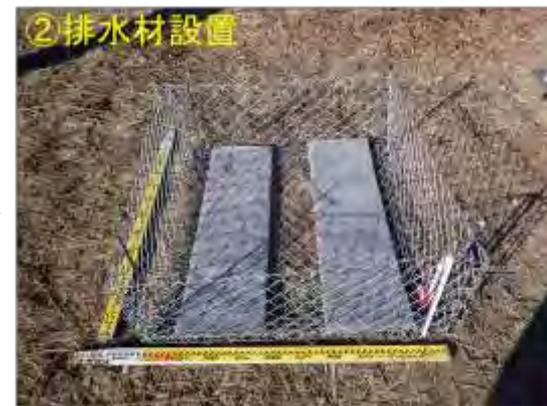


サイズを小型化しつつ、断熱材、中詰材、排水材を一つにまとめることで、平地で作製の上、クレーン等で吊り上げ、直接斜面に設置することができる。

# ワンパック断熱フトン籠



- ・フトン籠
- ・(植生を要する場合：2重張芝)
- ・中詰材 (t=25cm,粗粒材 φ 80mm級)
- ・中詰材抜け落ち防止シート
- ・断熱材 (t=5,10,15cm)
- ・排水ドレーン材 (W300mm)
- ・フトン籠



# ワンパック断熱フトン籠



- ・フトン籠
- ・(植生を要する場合：2重張芝)
- ・中詰材 (t=25cm,粗粒材φ80mm級)
- ・中詰材抜け落ち防止シート
- ・断熱材 (t=5,10,15cm)
- ・排水ドレーン材 (W300mm)
- ・フトン籠

- ・切土工を待たずに、事前に平地で籠の作製が可能
- 施工性向上
- 中詰材の転圧が容易
- ・設置の際クレーン等を使用することで斜面での人力作業が低減
- 安全性向上

現段階では吊り上げ時の籠の変形がやや大きいため、今後要改良

# 各種凍上対策比較表

	①特殊ふとんかご	②断熱特殊ふとんかご	③ワンパック断熱フトン籠
	凍上・凍結融解作用はあるが、大きな影響を受けない地山条件	凍上・凍結融解による影響を強く受ける地山条件	
適用条件	<b>【現場条件】</b> ◆非凍上性～弱い凍上性の土質で構成され、法面からの地下水の滲出水が少ない箇所で、冬期間の日照時間が比較的に長い場合	<b>【現場条件】</b> ◆凍上性の土質で構成され、法面からの地下水の滲出水が比較的多い箇所で、冬期間の日照時間が短いかほとんど日陰になるような場合	<b>【現場条件】</b> ②工法の条件に加えて、 ◆斜面・高所作業での安全性の確保が難しく、人力での作業量を低減したい場合 ◆施工箇所直近にかごや中詰材等資材を仮置きできない場合 ◆工期に余裕が無い場合
施工方法	◆施工はのり面整形にバックホウ、籠・砂利等の資材の搬入等にクレーンが使用される以外は、基本的に傾斜面での人力作業が中心	◆施工はのり面整形にバックホウ、籠・砂利等の資材の搬入等にクレーンが使用される以外は、基本的に傾斜面での人力作業が中心となり、①工法と同様	◆施工はのり面整形にバックホウ、資材の搬入等にクレーンを使用することは①②工法と同様であるが、かごの作製は別途平坦地で行い、ワンパックにしたものをクレーンで直接法面に設置することで可能 ◆必要に応じ中詰材を転圧
長所・短所	<b>長所:</b> ◆のり面の侵食・湧水処理に効果的 ◆かご自体が地山の凍上・融解に追従できるフレキシブルな構造であり、凍上対策として実績多数  <b>短所:</b> ◆かご自体で地山への凍結・凍上を防止することは困難(かごの損傷、背面地山の変状) ◆作業のほとんどが斜面での人力施工となり、十分な安全管理を必要とする。 ◆かごの作製・設置は切土工の後に行う必要があるため、施工条件が限られる	<b>長所:</b> ◆のり面の侵食・湧水処理に効果的 ◆地山面への凍結の進行を断熱材により防止するため、凍上によるかご自体の変形や破損を抑制可能 ◆かご背面の地山の凍結融解作用を防ぎ、地山の風化・脆弱化を抑制  <b>短所:</b> ◆①工法と比較し、施工手順が増え、費用は倍増 ◆作業のほとんどが斜面での人力施工となり、安全管理に十分配慮する必要がある ◆かごの作製・設置は切土工の後に行う必要があるため、施工条件が限られる	<b>長所:</b> ◆②工法に加え、斜面での人力作業を低減可能で、安全性が向上 ◆②工法に加え、作製したかごをクレーン等で吊り上げ設置するため、切土工と並行してかごの作製が可能で、また、現地に限らずかごの作製が可能のため、施工性が向上 ◆中詰材を転圧することで長期的なかごの安定性を確保可能  <b>短所</b> ◆②と比較し、施工手順・費用が微増

# 最後に

- ・現段階では「ワンパック断熱フトン籠」は実用に向け調査・試験を行っているところ。
- ・「断熱特殊ふとんかご」と合わせ、断熱材等を用いた凍上対策の設計法の構築を進める予定。
- ・凍上対策に際して、現場の気象条件，土質条件，施工条件に合わせて「特殊ふとんかご」，「断熱特殊ふとんかご」，「ワンパック断熱フトン籠」を使い分ける必要性を今後提案していく予定。

## ■お問い合わせ■

寒地土木研究所 寒地地盤チーム 山木  
TEL: 011-841-1709, FAX: 011-841-7333  
E-mail: yamaki-m22aa@ceri.go.jp