

施工性と安全性に優れた切土のり面の凍上対策 (ワンパック断熱ふとんかご)

寒地土木研究所 寒地地盤チーム

御厩敷 公平

背景

- ・凍上現象について
- ・凍上対策の考え方

切土のり面凍上対策工

- ・特殊ふとんかご工
- ・断熱特殊ふとんかご工
- ・ワンパック断熱ふとんかご工

背景 凍上現象について



写真 切土のり面の崩壊事例

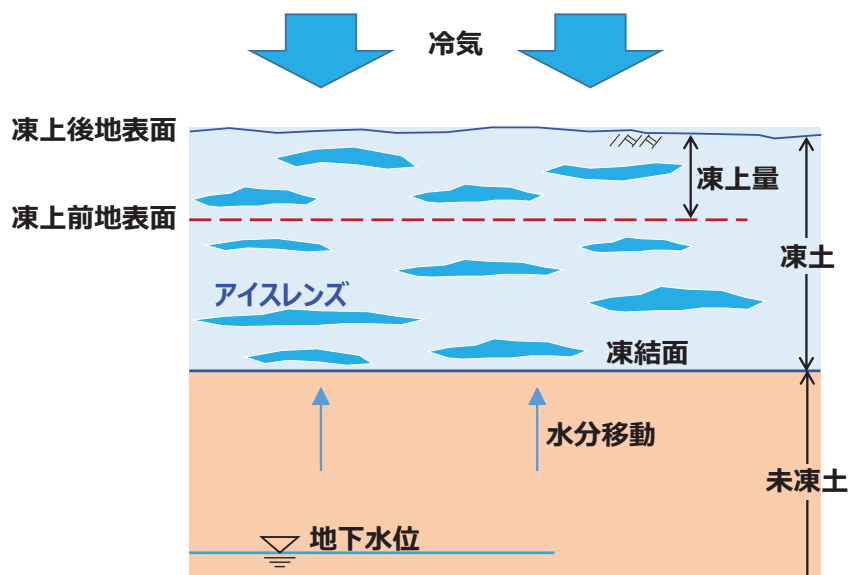
積雪寒冷地では春（融雪期）にのり面崩壊が多発

- ①凍結，凍上と融解の繰り返しによるのり面表層の脆弱化
- ②融雪期の融雪水や降雨による崩壊

3

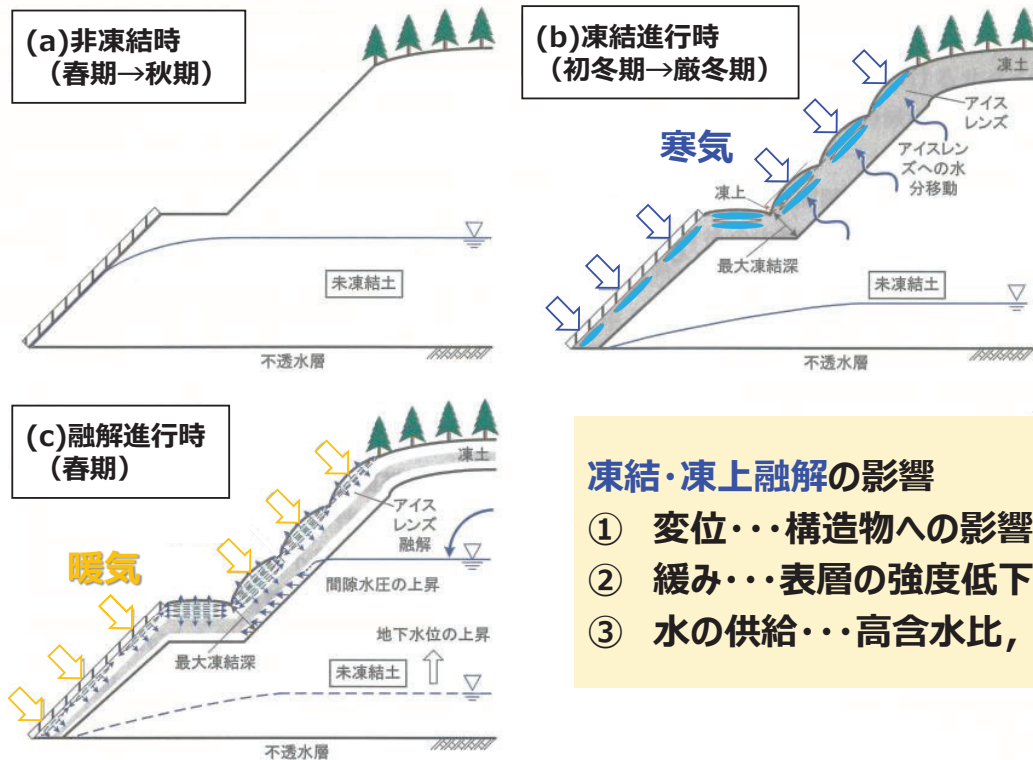
背景 凍上現象について

凍上・・・地盤が凍結する過程で地盤中に形成されたアイスレンズによって、冷却面に向かって地盤が膨張すること



4

背景 凍上現象について



凍結・凍上融解の影響

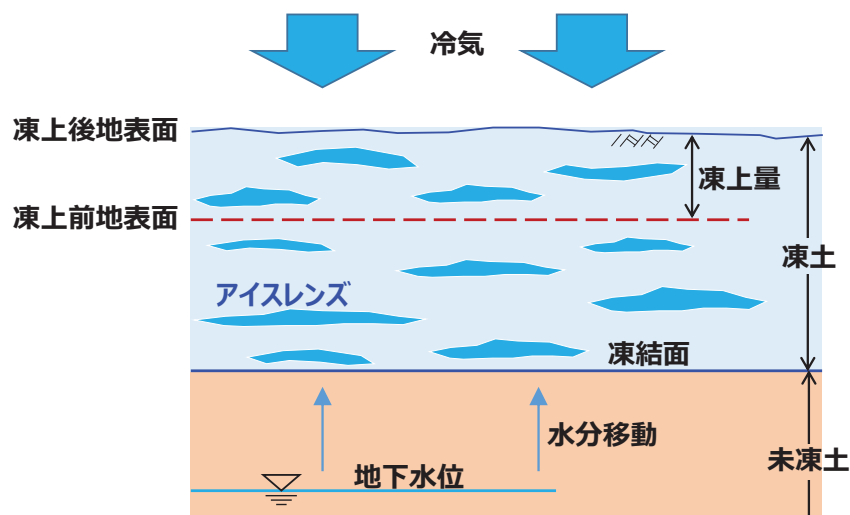
- ① 変位・・・構造物への影響
- ② 緩み・・・表層の強度低下
- ③ 水の供給・・・高含水比、侵食

図 斜面における凍結・凍上融解過程
※斜面の凍上被害と対策のガイドライン p19 図2-1に加筆

5

背景 凍上対策の考え方 (凍上の3要素)

- ① 温度・・・寒冷か (凍結指数)
- ② 土質・・・凍上の発生する土か (粒度)
- ③ 水分・・・アイスレンズ生成のための水分があるか (地下水位)



6

背景 凍上対策の考え方（凍上の3要素）

①温度・・・寒冷か（凍結指数）

②土質・・・凍上の発生する土か（粒度）

③水分・・・アイスレンズ生成のための水分があるか（地下水位）

凍結指数・・・冬期間における氷点下の温度の大きさと
その継続時間の積で表される

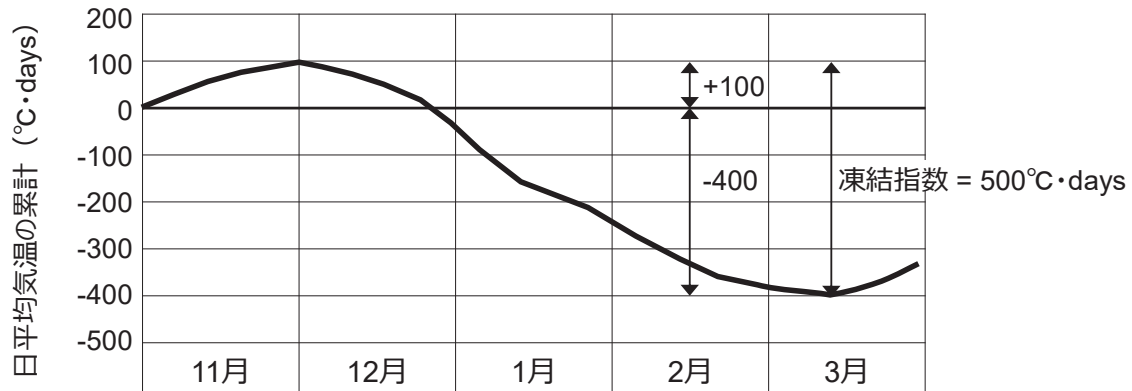


図 凍結指数の求め方（24点法の例）
※道路土工要綱 p378 資図9-1

7

背景 凍上対策の考え方（凍上の3要素）

①温度・・・寒冷か（凍結指数）

②土質・・・凍上の発生する土か（粒度）

③水分・・・アイスレンズ生成のための水分があるか（地下水位）

表 各地の10年及び20年確率凍結指数
※道路土工要綱 pp.381～385 資表9-4 より抜粋

地名	n 年確率凍結指数(°C・days)		標高 (m)
	n = 10	n = 20	
北海道・札幌	440	490	17
旭川	840	900	112
函館	340	400	33
栃木県・日光	470	520	1292
群馬県・草津	460	510	1230
長野県・軽井沢	400	450	999
岐阜県・六軒	580	630	1015

8

背景 凍上対策の考え方（凍上の3要素）

①温度・・・寒冷か（凍結指数）

②土質・・・凍上の発生する土か（粒度）

③水分・・・アイスレンズ生成のための水分があるか（地下水位）

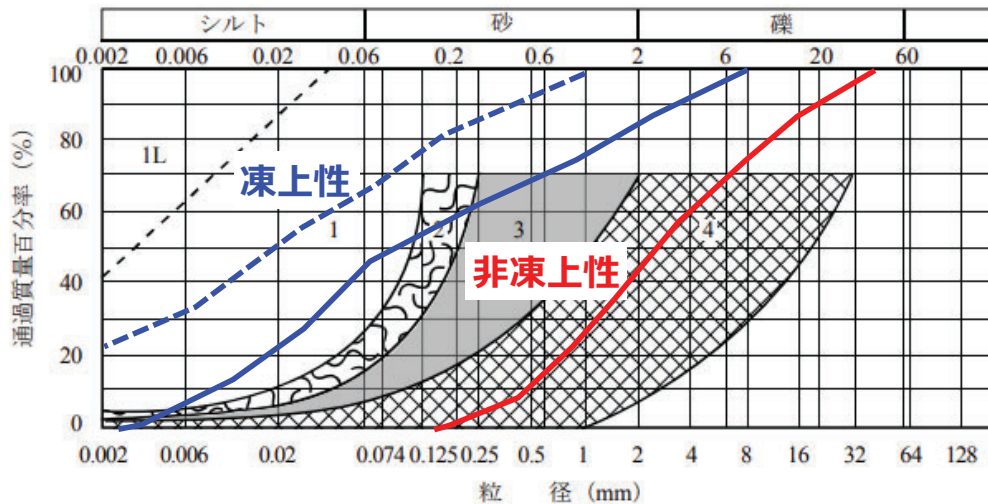


図 粒度による凍上性判定法
土質工学会：土の凍結-その凍結と実際-, 土質基礎工学ライブラリー23, 117p, 1994.

9

背景 凍上対策の考え方（凍上の3要素）

①温度・・・寒冷か（凍結指数）

②土質・・・凍上の発生する土か（粒度）

③水分・・・アイスレンズ生成のための水分があるか（地下水位）

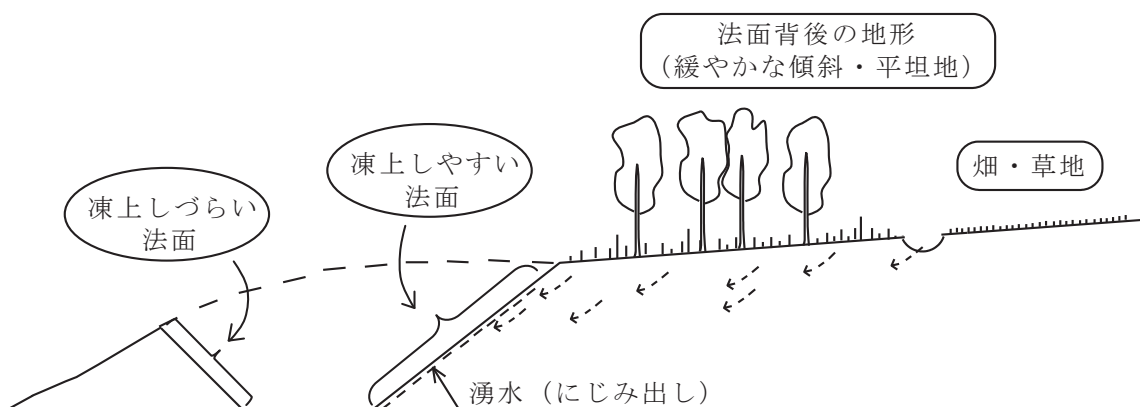


図 凍上の発生しやすい 地形条件
※斜面の凍上被害の調査・設計マニュアル (案) p23 図3-6

10

背景

- ・凍上現象について
- ・凍上対策の考え方

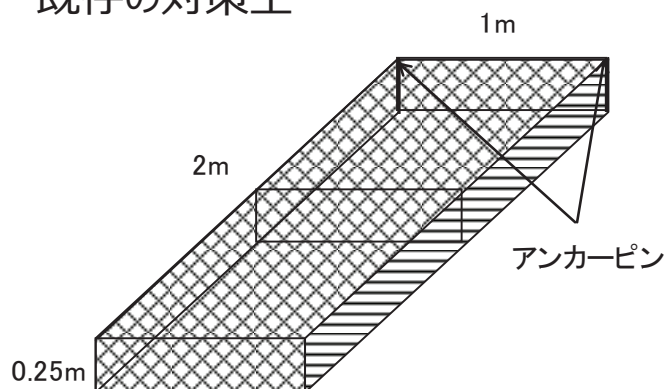
切土のり面凍上対策工

- ・特殊ふとんかご工
- ・断熱特殊ふとんかご工
- ・ワンバック断熱ふとんかご工

11

凍上対策工 特殊ふとんかご工

既存の対策工



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従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。

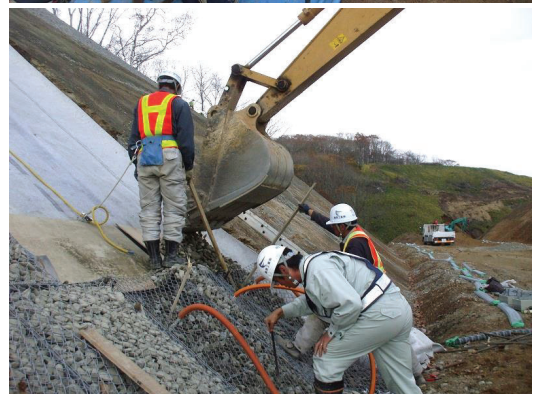


写真 特殊ふとんかご工施工の様子

12

凍上対策工 特殊ふとんかご工

既存の対策工の変状事例



- のり面表層25cm程度を非凍上性材料（礫材）で置換
⇒ のり面への冷気の侵入を若干抑制
- のり面の凍上を防止する効果は限定的
⇒ 凍上と融解の繰り返しにより変状する

写真 特殊ふとんかご工の変状事例

13

背景

- ・凍上現象について
- ・凍上対策の考え方

切土のり面凍上対策工

- ・特殊ふとんかご工 …… **凍上と融解の繰り返しによる変状**
- ・断熱特殊ふとんかご工
- ・ワンパック断熱ふとんかご工

背景 凍上対策の考え方

凍上の3要素（発生条件）

① 温度 …… 寒冷か（凍結指数）

⇒ **断熱工法**：地盤への寒気の侵入を防ぐ

② 土質 …… 凍上の発生する土か（粒度）

⇒ **置換工法**：凍上しない材料で置き換える

③ 水分 …… アイスレンズ生成のための水分があるか（地下水位）

⇒ **遮水工法**：凍結面に水分を供給させない

15

凍上対策工 断熱特殊ふとんかご工

断熱特殊ふとんかご工（特殊ふとんかご工 + 断熱材）



図 かご工の断面イメージ



写真 断熱特殊ふとんかご工施工の様子

- 特殊ふとんかご工に断熱材を併用し、**寒気の侵入を遮断**する
⇒ 凍上の発生を防止する

16

凍上対策工 断熱特殊ふとんかご工

断熱特殊ふとんかご工 対策効果の検証①

断熱特殊ふとんかご工（対策箇所）と張芝（無対策箇所）で地中温度計測

※のり面表層に厚さ5cmの断熱材を敷設

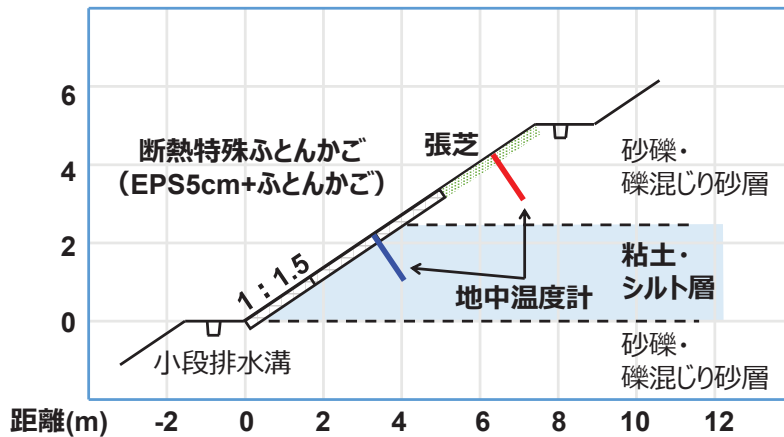


図 土層断面および地中温度計設置図

表 EPSの物性値

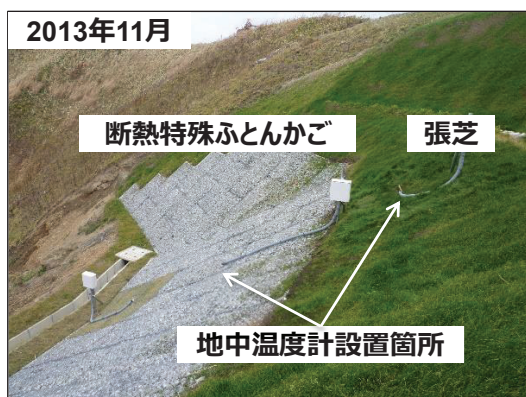
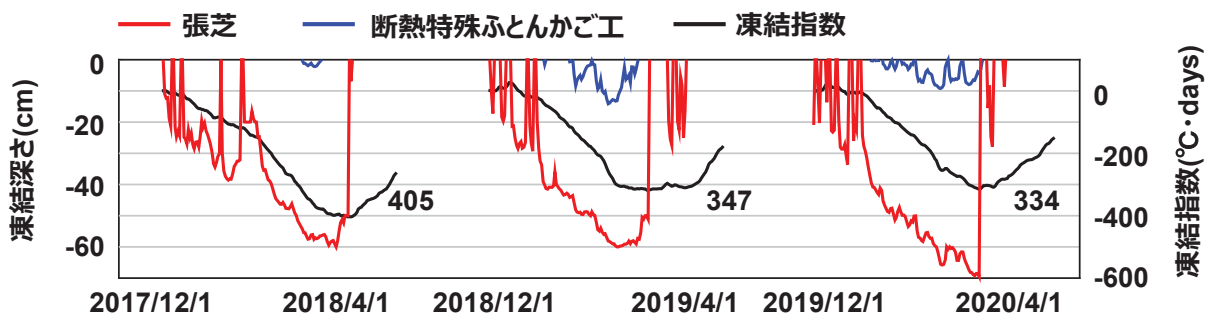
密度 (kg/m ³)	25
空気率 (%)	25
熱伝導率 (W/m・K)	0.039
透水係数 (m/sec)	2.0×10^{-3}



写真 試験箇所の状況（2013年11月）

凍上対策工 断熱特殊ふとんかご工

断熱特殊ふとんかご工 対策効果の検証①



9年

凍上対策工 断熱特殊ふとんかご工

断熱特殊ふとんかご工 対策効果の検証②

断熱特殊ふとんかご工（対策箇所）と 張芝（無対策箇所）で地中温度計測

※厚さ15cmの断熱材を使用

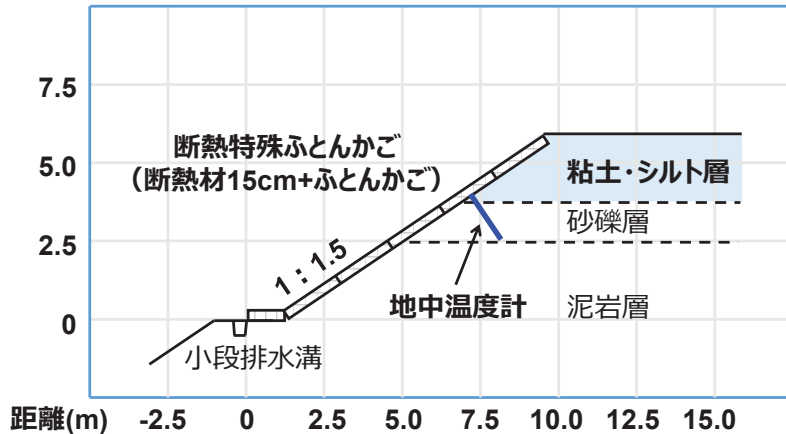


図 土層断面および地中温度計設置図



写真 断熱特殊ふとんかご施工の様子

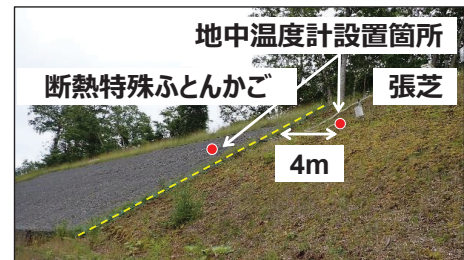


写真 現地計測箇所の全景

19

凍上対策工 断熱特殊ふとんかご工

断熱特殊ふとんかご工 対策効果の検証②

— 外気温 凍結指数 — GL+0.15m（断熱材上面）
— GL0.0m（地山表層） — GL-0.4m — GL-0.6m — GL-1.0m

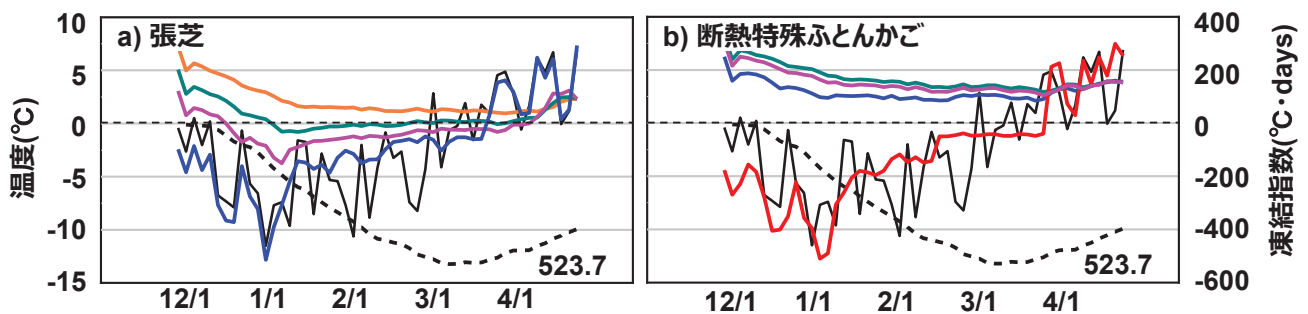


図 地中温度計測結果

- ・ 張芝箇所 ⇒ 最大凍結深さは60cm
- ・ 断熱特殊ふとんかご工 ⇒ 地表面，地中温度は0°C以上

20

凍上対策工

特殊ふとんかご工 と 断熱特殊ふとんかご工 の課題

【特殊ふとんかご工】

- ・ 断熱，置換効果は限られている（気象条件によっては凍上発生の可能性）
- ・ **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**
- ・ **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

【断熱特殊ふとんかご工】

- ・ 特殊ふとんかご工に対し，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

21

背景

- ・凍上現象について
- ・凍上対策の考え方

切土のり面凍上対策工

- ・特殊ふとんかご工 …… **凍上と融解の繰り返しによる変状**
- ・断熱特殊ふとんかご工 …… **斜面での人力作業を伴う**
- ・ワンパック断熱ふとんかご工

22

凍上対策工 ワンバック断熱ふとんかご工

従来工法（特殊ふとんかご、断熱特殊ふとんかご）の課題

- ・ 凍上と融解沈下の繰り返しによる変状
- ・ 設置や補修には高所かつ斜面での人力施工が必要

ワンバック断熱ふとんかご

断熱効果が高く、施工性と安全性に優れた法面保護工法

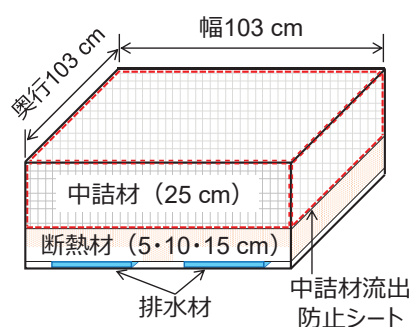


図 ワンバック断熱ふとんかごの基本構造



吊上げ～設置の様子（倍速）

23

凍上対策工 ワンバック断熱ふとんかご工

① 籠底面と側面の組立



② ドレイン材と断熱材の設置



③ 中詰材流出防止ネットの設置



④ 中詰材の投入



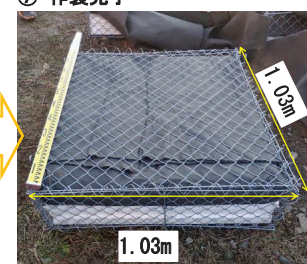
⑤ 中詰材の転圧



⑥ 籠上面の組立



⑦ 作製完了



まとめ

特殊ふとんかご

- ・ 北海道において使用頻度が高い
- ・ 地山の温度の低下抑制効果あり
- ・ 気象条件によっては地山の凍上が発生



断熱特殊ふとんかご

- ・ 特殊ふとんかご+断熱材による対策工
- ・ 寒気の進入を防止し凍上の発生を抑制



ワンパック断熱ふとんかご

- ・ 中詰材, 断熱材, 排水材を内包した構造
 - ・ 事前に平場でかごを作製可能, 重機による吊り上げ設置が可能
- ⇒安全性と施工性の向上



25

おわりに



積雪寒冷地では, 凍結や融解, 凍上と融解沈下, 春先の融雪水による土工構造物の損傷が報告されています。

寒地土木研究所 寒地地盤チームではそれらに対する種々の対策方法について研究を進めています。

その他, 軟弱地盤, 盛土, 切土, 基礎, 土工等について現場でお困りの際はぜひ, 寒地地盤チームにご相談ください。

■お問い合わせ先■

寒地土木研究所 寒地地盤チーム

TEL: 011-841-1709, FAX: 011-841-7333

御厩敷公平 E-mail: onmayashiki-k@ceri.go.jp

26