

**積雪寒冷地における  
冬期土工の手引き  
【河川編】**

平成 27 年 2 月

冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会

## 発刊にあたって

北海道などの積雪寒冷地における土工、特に盛土の冬期施工は、外気温の低下、土の凍結・凍上、雪の混入、日照時間の減少など厳しい施工環境でおこなわれることになり、品質の確保に影響を及ぼすことがあります。しかしながら、施工時期の制約、災害復旧、工期短縮等のために、冬期における土工は避けることができません。さらに、安定した雇用の観点からも、工事の季節的な偏りを解消していく必要があります。そのため、発注者、施工業者、研究機関は、それぞれ冬期の土工の技術向上に努めてきましたが、これらの技術を集約し、新たな知見を加え発展させることで一層の品質確保を図る必要があります。

このため、(社)北海道建設業協会、(独)土木研究所寒地土木研究所、北海道開発局は、積雪寒冷地における河川・道路工事の一層の品質向上を目指し、平成22年度に「冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会」(以下「検討会」という。)を設立し、適切な冬期土工のあり方を検討してきました。

本手引きは、これまでの多くの経験と、検討会で実施した試験施工により得られた最新の知見をもとに、特に現場技術者が、冬期に盛土を行う際に必要な考え方を取りまとめたものです。本手引きが、積雪寒冷地における冬期の施工において、品質確保の一助になれば幸いです。

冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会

委員長 山崎 真一

# —— 目 次 ——

1	概説.....	1
1.1	目的 .....	1
1.2	適用の範囲 .....	2
1.3	凍上被害とメカニズム .....	3
1.4	凍上を支配する3要素 .....	7
2	冬期盛土の問題点.....	8
3	冬期盛土材料の検討.....	12
4	対策の考え方.....	14
5	施工管理.....	15
6	冬期盛土の対策例.....	18

# 1 概説

## 1.1 目的

- ◆ 本手引きは、積雪寒冷地において冬期盛土の設計・施工を行うための標準的な方法と取りまとめたものである。冬期盛土を行う場合は、本手引きを参考に品質の向上を図る。

### 【解 説】

北海道のような積雪寒冷地における冬期の盛土工事では、融解期に変状を招き土構造物としての適切な機能と安全性を確保できなくなる場合がある。

積雪寒冷地で冬期盛土を行う場合、外気温の低下、積雪、日照時間の減少など気象条件が厳しい日が多いことから、円滑な施工が阻害されることが多い。

本来、積雪寒冷地における盛土は、冬期の施工とならないよう工程管理を行い、極力回避すべきではあるが、施工時期の制約や災害復旧、工期短縮等やむを得ず冬期に盛土を行わなければならない場合がある。これまで、冬期盛土に関する指針としては、平成 11 年度に「冬期土工設計施工要領」<sup>1)</sup>が発刊されているが、この要領を適用するだけでは解決できない課題があるため<sup>2)</sup>、北海道開発局では、(独)土木研究所寒地土木研究所と共同で、冬期盛土の現場や試験施工フィールドにおいて工夫を重ね、実態調査を行い得られたデータを解析し、また不足する部分については、本検討会で(社)北海道建設業協会からの意見も加え、新たな調査等を行ってきた。

本手引きは、これらより得られた知見を基に、標準的な方法として取りまとめたものである。

## 1.2 適用の範囲

- ◆ 本手引きは、冬期に実施する築堤工事など、河川の盛土工事における凍上・凍結対策に適用する。
- なお、冬期とは日平均気温が0℃以下の気象条件とする。

### 【解 説】

冬期盛土を実施する場合には、盛土材料の性状を把握し、施工目的や施工範囲・工程等の諸条件及び、経済性・施工性等を勘案の上、最適な対策を選定する必要がある。

本手引きは、これまでに得られた知見を踏まえて作成したものであり、将来的に施工実績の積み重ねや研究の進展にともなう技術水準の向上や関係基準、指針などの制定や改訂があった場合には速やかに本手引きの改訂を行う必要がある。

なお、「関係基準、指針」とは次のものをいう。

- (1) 河川砂防技術基準 調査編（国土交通省 平成24年）
- (2) 河川土工マニュアル（一般財団法人 国土技術研究センター 平成21年）
- (3) 道路土工要綱 [平成21年度版]（公益社団法人 日本道路協会 平成21年）
- (4) 道路土工 盛土工指針 [平成22年度版]（公益社団法人 日本道路協会 平成22年）
- (5) 北海道における不良土対策マニュアル（独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 平成25年）
- (6) 冬期土工設計施工要領（通年施工推進協議会 平成11年）
- (7) 河川工事設計施工要領（北海道開発局 建設部 河川工事課 平成26年）

### 1.3 凍上被害とメカニズム

- ◆ 凍上・凍結対策を行うにあたっては、過去の被害状況、凍上のメカニズム、凍上を支配する要素を十分理解し、被害の起きやすい条件に留意する。

#### 【解 説】

#### (1) 凍上による盛土の変状被害

冬期に施工した盛土が、融解期に変状した事例を示す。写真 1-1 (a)は、施工中に盛土内で発生した凍上箇所が融解したため、築堤が天端からのり面にかけてすべり崩壊した事例である。また写真 1-1 (b)は、凍上箇所が融解したため、のり面の一部が沈下し、護岸ブロックが変状した事例である。



(a) 築堤盛土のすべり崩壊



(b) 護岸ブロックの変状

写真 1-1 冬期施工による築堤盛土および護岸ブロックの融解期の変状事例

(2) 凍結と凍上

図 1-1 に示すように、気温が低下して土の間隙水が凍結し固結することを凍結という。水を自由に吸水できる条件のもとで土が凍結した場合には、アイスレンズと呼ばれる析出氷晶が生じる。この現象が地表面で起きてできるものが霜柱である(写真 1-2 (a))。凍結にもなって凍結面付近でアイスレンズ(写真 1-2 (b))が成長し、土の体積が増加して地盤が隆起することを凍上という。この凍結面へ向かう水分移動が土にあらかじめ含まれていた水だけの場合を閉式凍上といい、地下水等が補給されて起こる場合を開式凍上という。

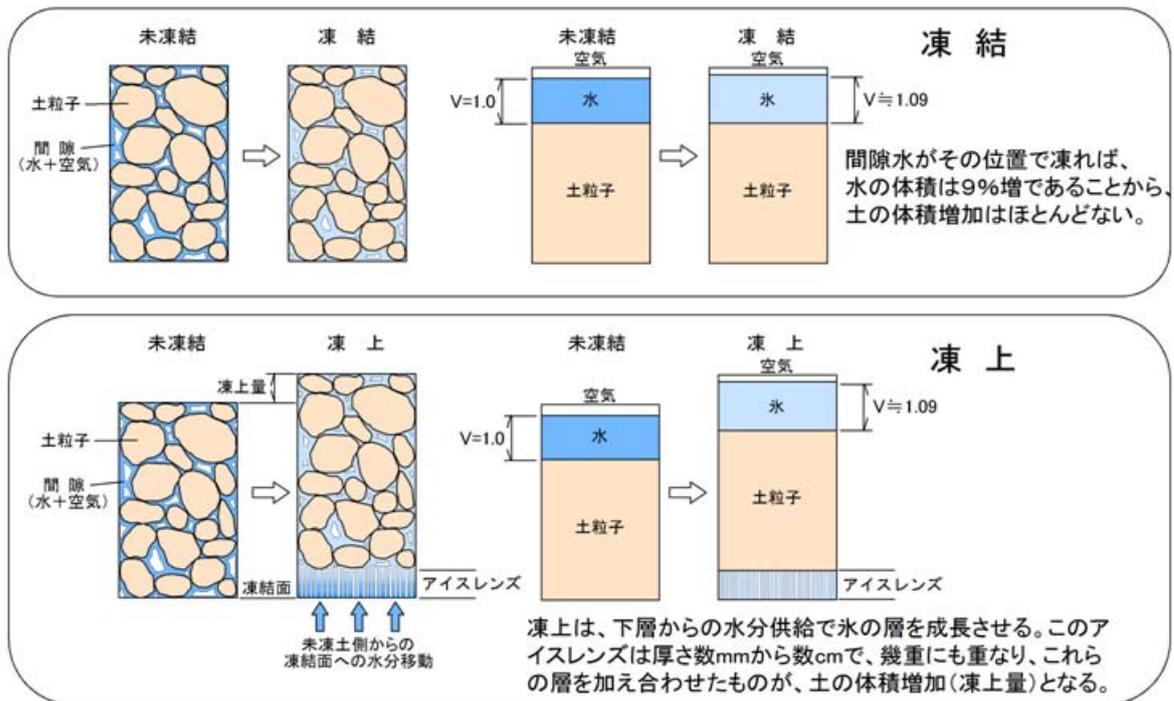


図 1-1 土の凍結と凍上のモデル図



(a) 地盤の表面にできた霜柱

(b) 土中にできたアイスレンズ

写真 1-2 アイスレンズ

細粒分の混在しない砂や礫で形成されている土が凍結すると、間隙水とともにコンクリートのよ  
うに固結した状態になる。そのような場合には、アイスレンズが形成されることはなく凍上は発生  
しない。土中の間隙水は凍結すると 9%の体積増加があるが、礫や砂の間隙水が凍結するときには、  
水分の体積増加の大部分は間隙に吸収されるため、土としての体積の増加はなく凍上しない。

一方、細粒分を含む土が凍結すると、**図 1-2** に示すように凍結面が地中に進行しアイスレンズが  
層状に形成されることとなる。閉式凍上の場合、アイスレンズが形成される時、それより下の未  
凍土部の水分は凍結面に移動し減少するため、含水比が低下する。

土が凍結したとしても、必ずしもすべての土で凍上現象が発生するものではなく細粒分を含む土  
に発生する現象である。

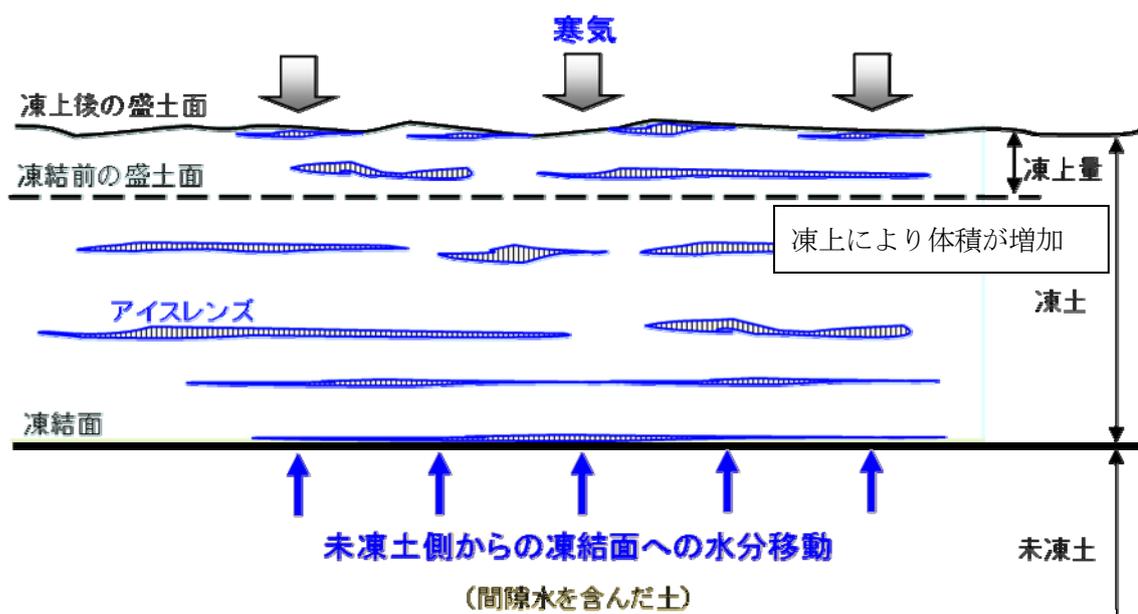


図 1-2 盛土内の凍上発生メカニズム (閉式凍上)

### (3) 冬期盛土における凍上現象

冬期盛土に凍上しやすい材料を用いる場合、低盛土で地盤の地下水面が地表近くにあると土粒子間へ水が供給されやすい状態となるため、凍上量に影響を与えやすい。

気温が特に低く、含水比の高い盛土材を使用しているときほど、アイスレンズの層が多くなり、凍上量は大きくなる（凍上量とは形成されるアイスレンズ厚の総和）。

凍上した土は外気温の上昇とともに盛土の外周部から融解が始まり、内部まで完全に融解するのは、2～3 ヶ月後になることが多い<sup>3)</sup>。

#### 1.4 凍上を支配する3要素

- ◆ 凍上を支配する要素は、温度・土質・水であり、この3要素が同時に揃ったときに発生する<sup>4)</sup>。  
したがって、以下に示す3要素のうち1つ以上を取り除くことにより凍上を防ぐことができる。
- (1) 温度：地表面温度の低下により盛土内の温度分布が、アイスレンズを発生しやすい状態になること。
  - (2) 土質：盛土材が細粒分を含み、アイスレンズを形成しやすい土質であること。
  - (3) 水：地下水面が高く、凍結していない側から凍結面への水分の補給が十分なこと。  
または、盛土材の含水比が高いこと。

#### 【解 説】

土中の温度分布は、凍上や凍結深さを支配する重要な要素となり、土の熱物性値のほかに地表面温度の影響を受ける。このうち地表面温度は、日射、風速等によって変化し、積雪があるときは、これが断熱材の働きをするため温度低下は小さくなる。

凍上を支配する土質の要素には、粒度、密度、粒子表面の物理化学的性質、熱的性質、透水性があるが、一般に粗粒土と呼ばれる砂や礫は凍上性を持たず、凍上には少なくともシルト以下の細粒分の存在が必要である。しかし、粒径がより小さくなると透水性が低くなるため、凍上しにくくなる。このため、土の粒度組成によって凍上性の判定を行うことが多い。

土中のアイスレンズの形成は、凍結面への水分補給の有無に支配されることから、閉式凍上では、盛土材の含水比が凍上に大きな影響を与え、開式凍上では地下水あるいは降雨や融雪などの浸透水の存在が大きな影響を与える。

## 2 冬期盛土の問題点

- ◆ これまでの施工実績や調査より、冬期に盛土を施工した場合、以下の現象が生じる場合がある。
  - (1) 盛土の層ごとに凍上が発生した場合、凍上が累積されることになり<sup>5)</sup>、融解期には盛土に変状を引き起こす場合がある。なお、1日あたりの施工の厚さが少ないほど凍上が累積しやすい。
  - (2) 凍結した土や雪が盛土材に混入すると、十分な締固めが出来ず、密度を満足できない場合がある<sup>6) 7)</sup>。
  - (3) 冬期には、凍上により盛土の表層部の含水比が高くなり、気温が上昇すると泥ねい化し、施工時のトラフィカビリティが低下する場合がある。
  - (4) 冬期に固化材を使用し改良を行った場合、養生温度が低いと十分な強度発現が期待できない。また、添加率が低いと改良が不十分となり凍上する場合がある<sup>8) 9)</sup>。
  - (5) 地下水位面が比較的高い状態で、冬期盛土を行うと気温の低下により盛土内にアイスレンズが形成され凍上する場合があり、アイスレンズの成長の程度によっては、融解期に盛土が変状することがある<sup>10)</sup>。

### 【解 説】

- (1) 盛土内の凍結深さは、気温、風速などの気象条件、密度、粒度などの土質条件、含水比などによって異なるので正確な予想は困難であるが、概略の関係は図2-1に示す通りである。土質別の凍結深さの進行速度は、粘性土、砂質土、火山灰の順に小さくなり、1時間に凍結する平均深さは気温 $-5^{\circ}\text{C}$ で約5mm、 $-20^{\circ}\text{C}$ では12~15mmである。

冬期の盛土施工では、夜間などに作業を中断すると気温の低下により凍上し、次の盛土はその上に施工することになる。

土は凍上すると、土質や水の供給条件により体積が2倍以上になる場合があり、さらにこの土が融解しても元の体積に戻らない場合がある。これらの現象により、冬期に施工した盛土が融解した後、変状に至る場合が多い。

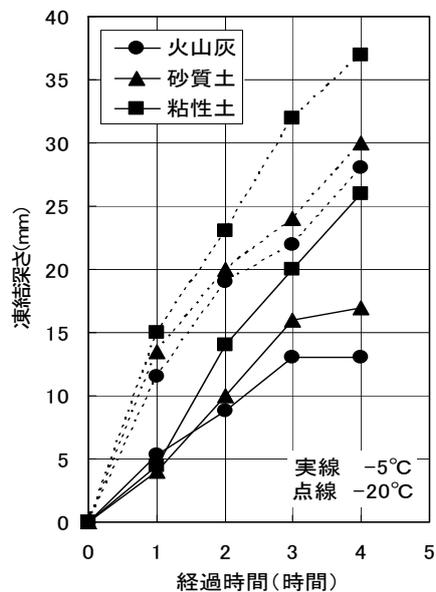


図2-1 低温下にさらした盛土材料の凍結深さ

図 2-2 は、凍上しやすい材料を使用して盛土の施工と中断を繰り返した場合の変状のメカニズムを示したものである。

盛土の 1 層目の施工後に夜間となり、盛土を中断することにより、盛土表面が氷点下の状態となる。このため盛土表面近くにアイスレンズが発生し b の状態となる。通常は、盛土表面部のアイスレンズの把握は困難であり、トラフィカビリティも十分確保できることから、そのまま、盛土を施工すると c の状態となる。夜間に中断するごとに凍上量が累積し d の状態となる。盛土完成時点では、盛土内部は凍結しているため変状しない。しかし、融解期になると、e に示すように盛土内部に発生したアイスレンズが融解し、盛土の変状が生じて f のような状態となる。

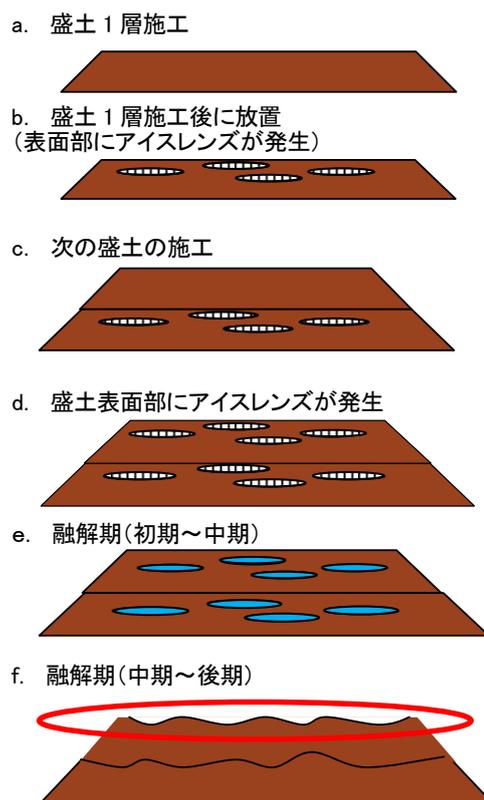


図 2-2 盛土の施工中断による盛土変状のメカニズム

(2) 盛土材料に凍結した土や雪が混入すると、締固め作業の条件が同じであっても最大乾燥密度が小さくなる傾向がある。図 2-3 は凍結した土の混入率と乾燥密度の関係を室内で試験した結果の一例を示したものである。

風化火山灰、未風化火山灰、粘性土、砂質土、礫質土はともに凍結した土の混入率が（破碎した土塊の重量比）多くなると締固め度 90%を満足しなくなることから、なるべく凍結土を混入させない施工が必要である。

一方、図 2-4 に雪を混入した試験結果を示すが、混入率が 10~15%で粘性土・砂質土に、さらに混入率が 20%になるとどの土質も締固めの基準値を下回り、雪の混入率が締固め度に大きく影響する結果が得られている。<sup>1)</sup>

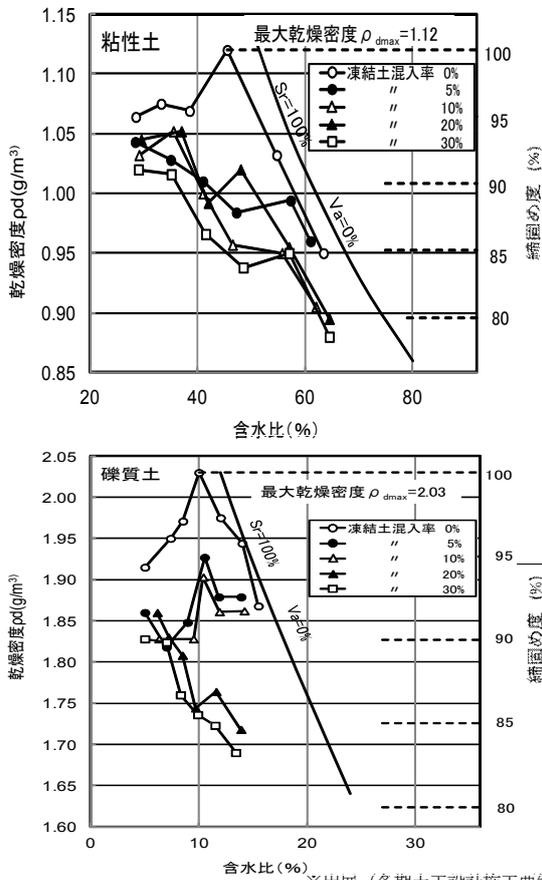


図 2-3 凍結土の混入による乾燥密度の変化

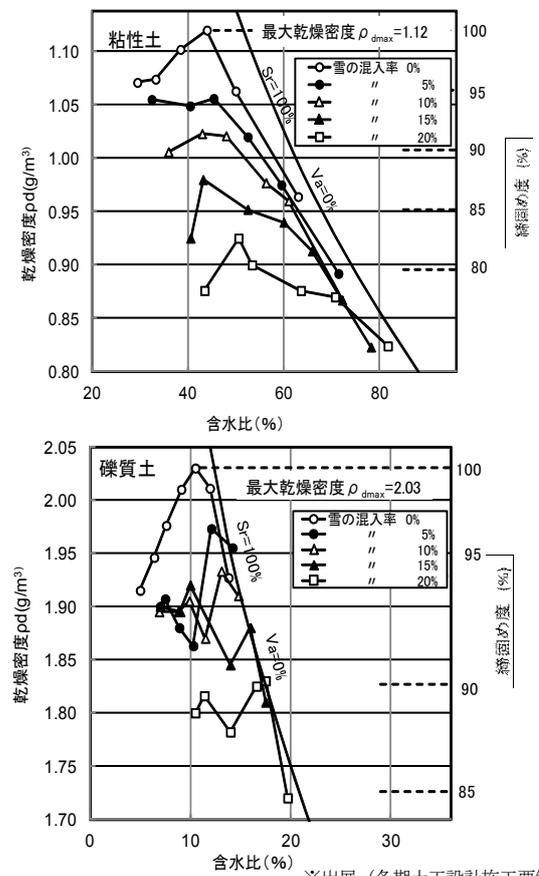


図 2-4 雪の混入による乾燥密度の変化

(3) 含水比が高い材料を用いて盛土を行うと、地表付近が凍結した状態では施工時のトラフィカビリティは確保されるが、これを繰り返すと気温が上昇した場合深くまで融解し、トラフィカビリティは確保ができなくなるため対策が必要となる。（この対策については「北海道における不良土対策マニュアル」平成 25 年 4 月，寒地土木研究所，pp. 34-35 を参照のこと）。

(4) 冬期に固化材による改良を行った場合、養生温度が低いと十分な強度発現が期待できない場合があるため、事前に現場と同様な条件（温度や養生期間等）で試験施工を行い強度を確認する必要がある。

(5) 地下水位面が凍上前の地盤面より 1m 程度以内の箇所で冬期盛土を行うと、地盤から水が供給されやすいため、開式凍上となりやすく、アイスレンズを比較的厚く形成しながら凍結面が盛土内へ進行することとなる（図 2-5 参照）。

厚く形成されたアイスレンズが融解すると盛土はぜい弱化し、変状をおこし崩壊に至ることもある。

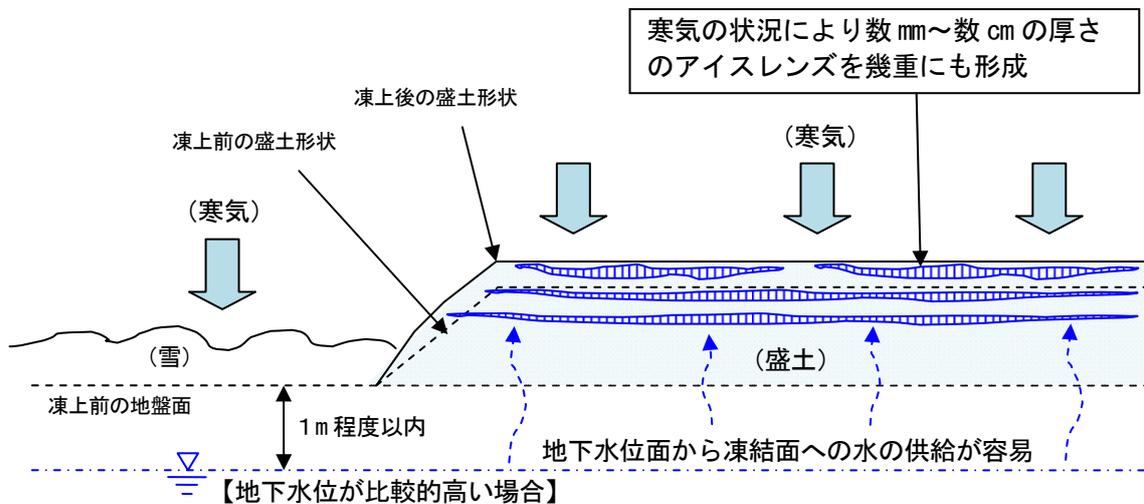


図 2-5 地下水位が高い場合に発生する凍上のメカニズム（開式凍上）

### 3 冬期盛土材料の検討

◆ 冬期盛土を施工する場合には、盛土材料の性状を把握し、施工目的や施工範囲・工程等の諸条件に応じて、経済性・施工性等を勘案の上、最適な対策工法を選定する必要がある。

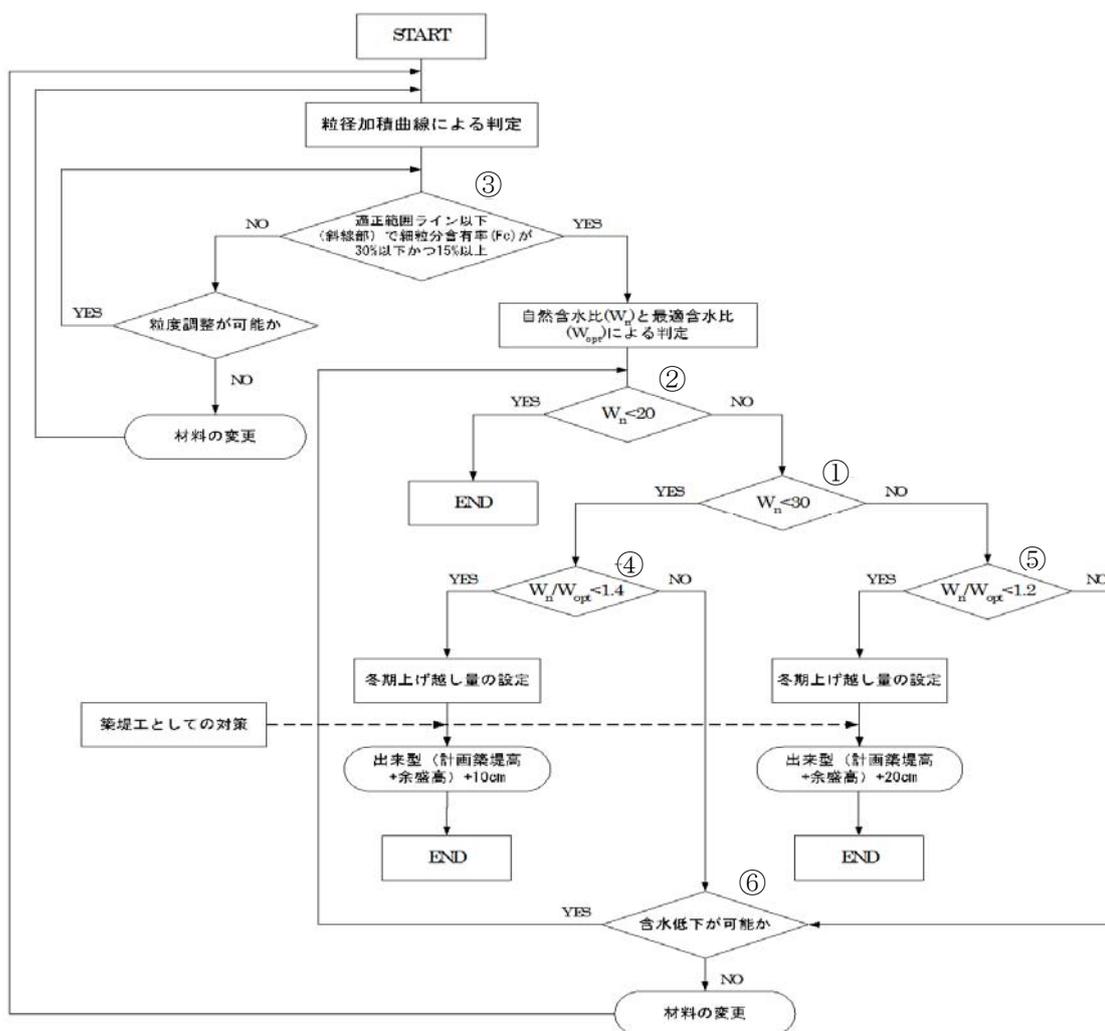


図 3-1 対策フロー (河川堤防) <sup>11)</sup>

1.4以上	そのまま施工可能	含水比の低下が 必要	含水比の 低下が 必要
1.4～1.2	そのまま 施工可能	上げ越 量 10cmで 施工	含水比の 低下が 必要
1.2未満	そのまま 施工可能	上げ越 量 10cmで 施工	上げ越 量 20cmで 施工
$W_n/W_{opt}$ / $W_n$	20%未満	20～30%	30%以上

表 3-1 細粒分含有率が  $30\% > F_c > 15\%$  の盛土材料の判定表

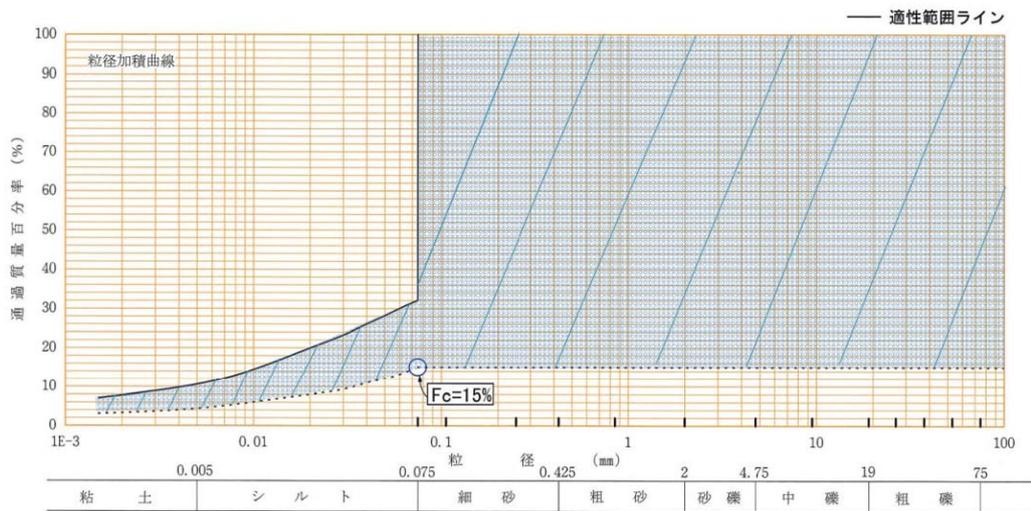


図 3-2 粒度分布による判定 (河川堤防) <sup>11)</sup>

【解 説】

冬期盛土材の選定例として、旧樋門撤去後の堤防盛土の管理基準のフローチャートを図 3-1 に示す。この管理基準を河川堤防の盛土に応用している場合もある。

- ① : 冬期盛土に用いる材料は、粒度分布が図 3-2 の範囲であり、かつ細粒分含有率  $F_c$  ( $75 \mu\text{m}$  以下の材料の占める割合) が 15%以上 30%以下でなければならない。材料の粒度特性が冬期盛土にとって適正でなければ粒度調整を行うか、または材料の変更を行う。
- ② : 材料の自然含水比が 20%未満の場合はそのまま盛土材として使用できる。
- ③ : 自然含水比が、20%以上～30%未満の場合は④、30%以上の場合は⑤に従った施工を行う。
- ④ : 自然含水比が最適含水比の 1.4 倍未満である場合は、冬期上げ越し量として出来型よりも 10 cm 高くして施工する。
- ⑤ : 自然含水比が最適含水比の 1.2 倍未満である場合は、冬期上げ越し量として出来型 (計画築堤高+余裕高) よりも 20cm 高くして施工する。
- ⑥ : 自然含水比が 20%以上 30%未満の範囲でかつ最適含水比の 1.4 倍以上のときや、自然含水比が 30%以上でかつ最適含水比の 1.2 倍以上のときは、含水比の低下を検討し必要な条件まで含水比を低下させる。含水比の低下が不可能な場合は、材料の変更を行う。

フローチャート (図 3-1) の自然含水比及び最適含水比による判定条件をとりまとめると表 3-1 となる。

## 4 対策の考え方

- ◆ 冬期盛土を施工する場合は、凍上を抑制する対策を検討しなければならない。
- ◆ 基本的な考え方は、凍上の3要素（温度・土質・水）のどれか一つを取り除くことであり、以下の対策が考えられる。

### (1) 温度対策

断熱材（断熱マット、板状断熱材など）や覆土、雪により工事休止中の盛土表面を低温から遮断する対策や、1日あたりの盛土の施工厚さを高くして盛土内に発生する凍上を少なくする対策、また材料自体の温度低下を抑制する対策。

### (2) 土質対策

盛土材料に非凍上性材料を使用して凍上させない対策。

### (3) 水対策

盛土材料の含水比を下げても凍上させない対策。

## 【解説】

北海道における冬期盛土では、非凍上性の材料だけを選定して施工することは、コスト面で困難な場合もあり、さらには、地下水の影響だけでなく、盛土自体の含水比による影響を避けることはできない。このため、凍上の3要素が全て揃うことは特異な条件ではなく、北海道における冬期盛土では、施工管理も含め、ほとんどの現場で何らかの対策が必要になってくる。以下、3要素を取り除く対策について説明する。

なお、冬期盛土の施工管理については、「5 施工管理」に、その対策例については、「6 冬期盛土の対策例」で後述する。

### (1) 温度対策

夜間や工事休止中の盛土表面を低温から遮断するための対策として、盛土全体を断熱材や土で覆う方法がある。断熱材としては、断熱マット、板状断熱材、覆土、雪(厚さ20cm程度)、シート、ウッドチップ、おがくずなどがあるが、盛土施工後の断熱材敷設及び次の盛土施工前の断熱材の除去に時間を要することから、比較的狭い範囲（構造物周辺の施工等）での使用に適した対策である。また、盛土の1日あたりの施工厚さを増やして（1日の施工する層を増やす、1回あたりの施工厚さを大きくするなど）、盛土内に累積する凍上を抑制する対策もある。<sup>5) 12)</sup>

一方、盛土材料を仮置きする場合は、断熱材やシートなどで覆い盛土からの温度低下を抑制する。搬入時には、暖気が荷台を通るような構造のダンプトラックを使用するなど、盛土材料を凍結させ

ない対策が必要である。また、土取り場からの掘削土砂を直接使用する場合は、凍結面より深い部分の材料を使用し土の保有熱を利用する対策もある。

## (2) 土質対策

盛土材料の凍上を抑制するために、切込碎石（砂利）、砂、火山灰、コンクリート等、非凍上性材料を使用する対策が考えられる。いずれの材料の場合でも凍上性の判定（碎石・砂利と砂は細粒分含有量による<sup>13)</sup>）を行い確認する必要がある。なお、これらの材料は費用が高価になり施工費を押し上げることになる。また透水性が高いことから、築堤盛土には適さず使用する箇所を十分検討しなければならない。

## (3) 水対策

含水比が高い盛土材を使用する場合は、閉式凍上に備え事前に仮置きを行い含水比を下げる対策が必要である。仮置場では、トレンチ排水等を設けて含水比を低下させる。高規格道路のような高盛土において砂質土、火山灰土等の盛土材を使った試験施工では、含水比が25%以下の材料で閉式凍上がほとんど発生しないとの報告がされている<sup>14)</sup>。

細粒分含有率が大きい粘性土や火山灰質粘性土のように容易に含水比の低下が期待できない材料については、1層当たりの施工厚さを薄くして締固め度を上げることで、密度が大きくなり融解による密度低下を抑制する効果が期待できる。細粒分含有率が30%以上の場合は、粒度調整などにより冬期盛土として適正な材料とする必要がある。

含水比などを改良するために用いられるセメント、石灰などの固化材は、盛土材料に適当量混合することで、凍上の抑制効果が期待できる<sup>15)</sup>。これは、固化材により生成される物質が土粒子間の間隙を埋めるため、透水性が低下し、凍上面へ水が移動しにくくなるためである。

図 4-1 は、高液性限界粘土 (CH) に高炉セメント B 種、セメント系固化材、生石灰を混ぜて改良した試料 (養生日数 7 日) の乾燥添加率と凍上速度の関係を示したものである<sup>16)</sup>。現地試験結果より凍上速度が 0.1 未満の場合には、凍上による圧力増加や変位が観測されなかったため凍上性は低いとされている。<sup>17)</sup> 図に示すとおり高液性限界粘土 (CH) では、生石灰で 12%程度以上、高炉セメント B 種およびセメント系固化材で 8%程度以上の乾燥添加率で凍上の抑制効果が得られる。逆に、添加率が 6%程度では、原料土より凍上が促進される結果となるため、トラフィカビリティを確保する場合に固化材を添加 (2~4%程度) するときには注意が必要である。この傾向については細粒分質砂質礫 (GFS) でも同様である。

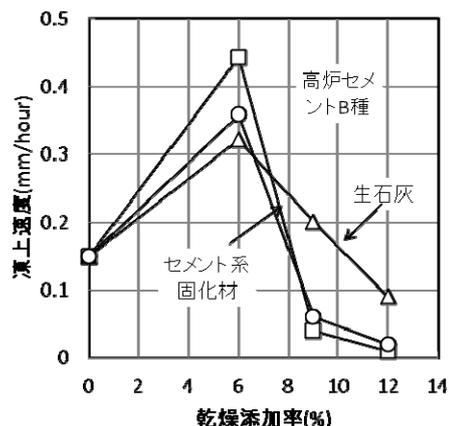


図 4-1 高液性限界粘土 (CH) における乾燥添加率と凍上速度の関係<sup>1)</sup>

また高液性限界シルト (MH) と火山灰質粘性土 II 型 (VH2) は、図 4-2 に示すように生石灰を 6%添加することで凍上量の抑制が確認されており、セメント系固化材よりも効果的であるという結果も得られている<sup>16)</sup>。

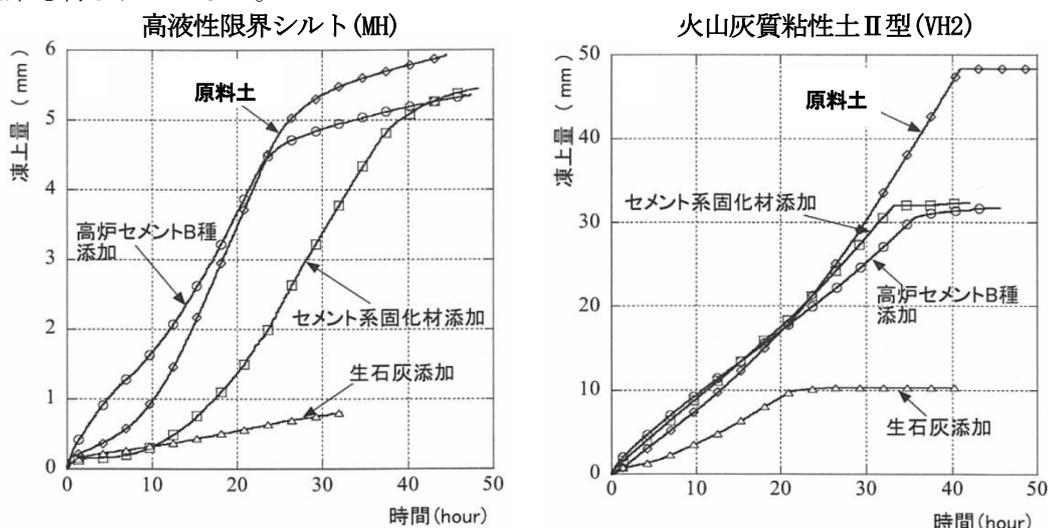


図 4-2 安定処理土の凍上試験結果 (添加率 6%)

低温下の地盤改良における研究において、0℃の養生でも 20℃に比べ 28 日強度比が 6 割弱確保されているとする報告もある<sup>18)</sup>。また、改良土自体の温度が 0℃よりも高ければ、外気温がマイナスであっても養生期間を長くすれば所定の強度を期待できるという報告がある<sup>8)</sup>。このように材料や養生温度により強度が変わることから、冬期に固化材により盛土材の改良を行う場合には、施工前に現場 (温度や養生期間等) に合わせた条件で、期待する強度が発現することを確認する必要がある。

## 5 施工管理

◆ 冬期盛土の施工管理においては、以下に留意する<sup>1)</sup>。

- (1) 雪や凍土を混入させない。
- (2) 材料の温度がマイナスにならないようにする。

### 【解 説】

(1) 盛土の施工にあたっては、積雪がある場合は除雪を徹底するなど、雪や凍土が混入しないように現場管理を行う必要がある。

### 【雪の混入防止】

- ① 盛土地盤の除雪作業にあたっては、凹部に雪が残らないようにしなければならない。
- ② 一日の作業を終えた盛土表面は、盛土施工再開時に機械除雪が可能となるように平坦に仕上げる。
- ③ 降雪量が多くなり、所定の品質確保が困難となる可能性がある場合には、速やかに作業を中止する。

### 【凍土の混入防止】

- ① 土取場の除雪面積は、一日の作業量に見合ったものとし、凍結土塊は積み込まないように十分注意する。
  - ② 施工箇所に搬入した盛土材が、長期間放置されることなく速やかに敷均し・締固め作業が日々完了できるように施工計画を立てる。
- (2) 使用する材料の温度がマイナスの場合、品質に影響を及ぼす場合があるので、敷均し作業前に材料の温度を測定し確認してから作業を開始する。また、積込み、運搬、敷均し、締固めの一連作業を速やかに行い材料の温度低下に注意する。特に、材料の運搬距離が長い場合には寒気にさらされている時間が長くなるので必ず温度管理を行う。

## 6 冬期盛土の対策例

◆ 冬期盛土について、雪や凍土を盛土内に混入させない対策や盛土施工後などに行われる対策の例を以下に示す。

- (1) シートによる対策
- (2) 覆土による対策
- (3) 断熱材（板状，シート，ウッドチップなど）による対策
- (4) 積雪を利用した対策<sup>19)</sup>
- (5) 土の保有熱を利用した盛土の対策
- (6) 仮置土への対策

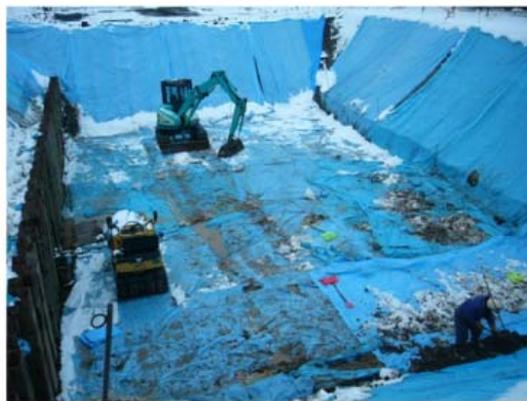
### 【解 説】

#### (1) シートによる対策

日々の盛土施工終了後に、除雪シートを敷設して雪の混入を防止する方法である（写真 6-1 参照）。一晚程度の寒気であれば、盛土の温度低下をある程度防ぐことも可能である。



【除雪シートの敷設状況】



【除雪状況】

写真 6-1 シートによる実施例

#### (2) 覆土による対策

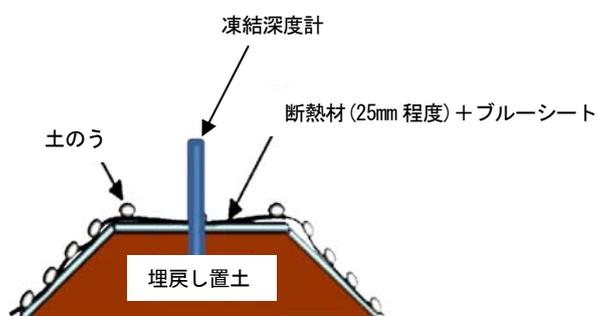
日々の盛土施工終了後に覆土を行うことで、盛土の温度低下を抑制し凍上を防止する方法である。覆土の厚さは、修正 Berggren 式（一次元熱伝導解析）<sup>20)</sup>や二次元 FEM 熱伝導解析<sup>21)</sup>によって算出することができるが、放置期間が 1～2 日間程度であれば 10cm 程度の厚さの覆土で対応できる。それ以上の放置期間になる場合には、いずれかの熱伝導解析により覆土厚を決定することが望ましい。なお覆土を超え盛土内まで凍結した場合には、凍上している可能性もあることから、凍結した部分を撤去する必要がある。

(3) 断熱材（板状断熱材，シート，ウッドチップなど）による対策

日々の盛土施工終了後に、断熱材を敷設して盛土の温度低下を抑制し凍上を防ぐ方法である。（写真 6-2 参照）養生する場合、周辺の雪を断熱材の上に被覆すると、高い断熱効果が期待出来ることから長期間養生する場合や、厳しい寒が入る場合には対応を検討すると良い。



【仮置き土の養生（シート+板状断熱材）】



【左写真の断面図】

写真 6-2 板状断熱材（+ブルーシート）による実施例

ウッドチップを用いて養生する場合は、施工中の盛土天端にウッドチップを 10cm 程度敷き均し、ブルーシートで被覆して養生する。（写真 6-3 参照）

ウッドチップ材は、バックホウ等の機械で敷均しが可能なため施工性が良く、木材で空気を多く含んだ状態になるので断熱性は比較的良好な材料である。同様におがくずも優れた断熱材であるが、材料の間に水分が入り込むと断熱効果が低減するので注意を要する。

これらの断熱材は、使用後の撤去や廃棄等の手間がかかるため土取り場などで養生に使用される場合があるが、長期間の養生には比較的安価で効率的である。



【ウッドチップ敷均し状況】



補強土壁背面盛土施工途中

【ウッドチップ+保温シート敷き完了時全景】

写真 6-3 ウッドチップによる実施例

#### (4) 積雪を利用した対策

断熱材を使わずに、積雪による断熱効果により盛土の温度低下を抑制し凍上を防止する方法（写真 6-4 左参照）であり、20cm 以上の積雪があれば断熱効果が期待できる。盛土天端の除雪を作業工程に合わせて調整することで対応することが出来るため、施工ヤードが広い場合にコスト面で有利となる。なお、除雪作業時は雪を残さないように注意する必要がある。（写真 6-4 右参照）。



【積雪を利用した断熱対策状況】



【施工時の除雪作業状況】

写真 6-4 雪の断熱効果による実施例

#### (5) 土の保有熱を利用した盛土の対策

土取場から盛土材を直接掘削する場合に、凍結面より深い部分の比較的温度の高い土砂を採取し、迅速に運搬、敷均し、締固めを行うことで盛土材の温度低下を軽減する方法である。土取場から運搬してきた材料を露出した状態にしておくと、保有熱が奪われるため注意する必要がある。

仮置きする場合には、土砂をシートで覆い、さらに雪を被せることで温度低下を防止する方法も取られている（写真 6-5 左参照）。

運搬車両については、排気熱を荷台に通し、土砂が荷台に凍着するのを防止するタイプのものが保温の観点から有効である。また、ダンプトラック荷台の土砂をシートで覆う養生も実施されている（写真 6-5 右参照）。



【仮置き土の雪による保温養生】



【ダンプ荷台のシート養生】

写真 6-5 土の保有熱を利用した養生による実施例

(6) 仮置き土への対策

含水比の高い材料を仮置きする場合、秋期から冬期では曝気乾燥による含水比低下が望めないため、あらかじめ、夏期または1年以上前から土砂を仮置きして、トレンチ排水等を設けて曝気乾燥による含水比低下対策を実施している事例も多い。その際、曝気乾燥が望めない時期になる前に、シート等による被覆養生を実施して含水比増大を防ぐ方法も効果的である。

## 【参考文献】

- 1) 通年施工推進協議会：冬期土工設計施工要領, 1999. 4.
- 2) 佐藤厚子、西本聡：冬期土工の留意点—春先に手直しをしないために—寒地土木研究所月報No. 682, 2010. 3.
- 3) 渡邊栄司, 西本 聡：冬期土工の品質向上に向けた研究, 北海道開発土木研究所月報 No. 607 , 2003. 12. 3)
- 4) 土質工学会編：土の凍結 —その制御と応用—, p. 24-25. 1989. 7. 10.
- 5) 佐藤厚子, 西本 聡, 鈴木輝之：冬期施工による盛土の性状, 第 53 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会, 2013. 2.
- 6) 桜庭満, 西川純一：低温状態における土の締固め特性, 開発土木研究所月報 No. 547, 1998. 12.
- 7) 川西 是, 能登繁幸, 荻野治雄, 佐々木晴美, 奥田稔, 根守克己, 東海林邦夫, 相馬和則, 原田厚子：土工の冬期施工に関する研究（第 1 報～第 5 報）, 第 24 回～28 回北海道開発技術研究発表会論文集, 1981～1985. 2.
- 8) 佐藤厚子, 鈴木輝之, 西本聡：セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす養生温度の影響, 地盤工学ジャーナル Vol. 3, No. 4, 331-342, 2008. 12.
- 9) 佐藤厚子, 西本聡：安定処理土の強度と凍上試験の関係について, 北海道開発土木研究所月報, No.619, 2004. 12.
- 10) 木下誠一, 鈴木義男, 堀口薫, 福田正己, 井上正則, 武田一夫：苫小牧における凍上観測（昭和 51 年～52 年冬期）：初期地下水位の影響, 低温科学. 物理篇, Vol. 35, pp. 307-319, 1977.
- 11) 【河川工事設計施工要領（平成 26 年改訂） p. 2-2-14】 北海道開発局建設部河川工事課
- 12) 安達隆征, 西本 聡, 佐藤厚子：標準的な転圧機械を用いた粗粒土による盛土厚層化の提案, 第 49 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会, 2009. 2.
- 13) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版）, p. 213.
- 14) 横田聖哉・三嶋信雄・三浦清一：地下水位を考慮した実用的な凍上量の設定方法, 土木学会論文集, N0. 574/VI-36, pp. 21-31, 1997.
- 15) 能登繁幸, 川西是：積雪寒冷地における 2, 3 の熱的問題, 土質工学会熱的シンポジウム, 1986.
- 16) 小野丘：安定処理土の凍上抑制効果における安定材および添加量, 地盤工学会北海道支部創立 50 周年記念シンポジウム論文集, pp. 129-132, 2006.

- 17) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説 p247
- 18) 橋本聖, 西本聡, 林宏親：異なる養生条件下でのセメント改良泥炭の強度発現傾向、地盤工学会北海道支部技術報告集第 50 号, p9-14, 2010. 1.
- 19) 丸山和訓, 伊藤祐明, 村上泰啓：冬期土工による盛土の変状とその対策の効果検証, 第 56 回 (平成 24 年度) 北海道開発技術研究発表, 2013. 2.
- 20) 日本道路協会：道路土工 排水工指針 (平成 19 年度版)
- 21) 橋本聖, 山梨高裕, 林宏親：冬期施工におけるセメント改良地盤の課題と対策－凍結指数に応じた覆土厚さの提案－, 第 57 回北海道開発技術研究発表会論文集, 2013

事務局

北海道開発局 建設部 河川工事課

独立行政法人 土木研究所

寒地土木研究所 寒地基礎技術基礎研究グループ 寒地地盤チーム

一般社団法人 北海道建設業協会

**積雪寒冷地における  
冬期土工の手引き  
【道路編】**

平成 27 年 2 月

冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会



## 発刊にあたって

北海道などの積雪寒冷地における土工、特に盛土の冬期施工は、外気温の低下、土の凍結・凍上、雪の混入、日照時間の減少など厳しい施工環境でおこなわれることになり、品質の確保に影響を及ぼすことがあります。しかしながら、施工時期の制約、災害復旧、工期短縮等のために、冬期における土工は避けることができません。さらに、安定した雇用の観点からも、工事の季節的な偏りを解消していく必要があります。そのため、発注者、施工業者、研究機関は、それぞれ冬期の土工の技術向上に努めてきましたが、これらの技術を集約し、新たな知見を加え発展させることで一層の品質確保を図る必要があります。

このため、(社)北海道建設業協会、(独)土木研究所寒地土木研究所、北海道開発局は、積雪寒冷地における河川・道路工事の一層の品質向上を目指し、平成22年度に「冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会」(以下「検討会」という。)を設立し、適切な冬期施工のあり方を検討してきました。

本手引きは、これまでの多くの経験と、検討会で実施した試験施工により得られた最新の知見をもとに、特に現場技術者が、冬期に盛土を行う際に必要な考え方を取りまとめたものです。本手引きが、積雪寒冷地における冬期の施工において、品質確保の一助になれば幸いです。

冬期の河川・道路工事における施工の適正化検討会

委員長 山崎 真一

# —— 目 次 ——

1	概説.....	1
1.1	目的 .....	1
1.2	適用の範囲 .....	2
1.3	凍上被害とメカニズム .....	3
1.4	凍上を支配する3要素 .....	7
2	冬期盛土の問題点.....	8
3	冬期盛土材料の検討.....	12
4	材料の判定方法.....	14
4.1	材料の判定方法 .....	14
4.2	粒度分布による凍上性簡易判定 .....	15
4.3	凍上性判定試験 .....	16
5	対策の考え方.....	18
6	施工管理.....	21
7	冬期盛土の対策例.....	22

# 1 概説

## 1.1 目的

- ◆ 本手引きは、積雪寒冷地において冬期盛土の設計・施工を行うための標準的な方法と取りまとめたものである。冬期盛土を行う場合は、本手引きを参考に品質の向上を図る。

### 【解 説】

北海道のような積雪寒冷地における冬期の盛土工事では、融解期に変状を招き土構造物としての適切な機能と安全性を確保できなくなる場合がある。

積雪寒冷地で冬期盛土を行う場合、外気温の低下、積雪、日照時間の減少など気象条件が厳しい日が多いことから、円滑な施工が阻害されることが多い。

本来、積雪寒冷地における盛土は、冬期の施工とならないよう工程管理を行い、極力回避すべきではあるが、施工時期の制約や災害復旧、工期短縮等やむを得ず冬期に盛土を行わなければならない場合がある。これまで、冬期盛土に関する指針としては、平成 11 年度に「冬期土工設計施工要領」<sup>1)</sup>が発刊されているが、この要領を適用するだけでは解決できない課題があるため<sup>2)</sup>、北海道開発局では、(独)土木研究所寒地土木研究所と共同で、冬期盛土の現場や試験施工フィールドにおいて工夫を重ね、実態調査を行い得られたデータを解析し、また不足する部分については、本検討会で(社)北海道建設業協会からの意見も加え、新たな調査等を行ってきた。

本手引きは、これらより得られた知見を基に、標準的な方法として取りまとめたものである。

## 1.2 適用の範囲

- ◆ 本手引きは、冬期に実施する道路の路体・路床盛土など、道路の盛土工事における凍上・凍結対策に適用する。  
なお、冬期とは日平均気温が0℃以下の気象条件とする。

### 【解 説】

冬期盛土を実施する場合には、盛土材料の性状を把握し、施工目的や施工範囲・工程等の諸条件及び、経済性・施工性等を勘案の上、最適な工法を選定する必要がある。

本手引きは、これまでに得られた知見を踏まえて作成したものであり、将来的に施工実績の積み重ねや研究の進展にともなう技術水準の向上や関係基準、指針などの制定や改訂があった場合には速やかに本手引きの改訂を行う必要がある。

なお、「関係基準、指針」とは次のものをいう。

- (1) 道路土工要綱 [平成 21 年度版] (公益社団法人 日本道路協会 平成 21 年)
- (2) 道路土工 盛土工指針 [平成 22 年度版] (公益社団法人 日本道路協会 平成 22 年)
- (3) 北海道における不良土対策マニュアル (独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 平成 25 年)
- (4) 冬期土工設計施工要領 (通年施工推進協議会 平成 11 年)
- (5) 北海道開発局道路設計要領 (北海道開発局 平成 26 年)

### 1.3 凍上被害とメカニズム

- ◆ 凍上・凍結対策を行うにあたっては、過去の被害状況、凍上のメカニズム、凍上を支配する要素を十分理解し、被害の起きやすい条件に留意する。

#### 【解 説】

##### (1) 凍上による盛土の変状被害

冬期に施工した盛土が、融解期に変状した事例を示す。

写真 1-1 (a) : 路体全体に沈下や変状が現れ、盛土法尻部で表層崩壊が起きた事例

写真 1-1 (b) : 路面や路肩に亀裂や不同沈下が現れ、これに伴いガードレールに変状が現れた事例



(a) 盛土法尻部の表層崩壊



(b) 路面の沈下とガードレールの変状

写真 1-1 冬期施工による盛土および道路附属物の変状事例

(2) 凍結と凍上

図 1-1 に示すように、気温が低下して土の間隙水が凍結し固結することを凍結という。水を自由に吸水できる条件のもとで土が凍結した場合には、アイスレンズと呼ばれる析出氷晶せきしゅつひょうしょうが生じる。この現象が地表面で起きてできるものが霜柱である(写真 1-2 (a))。凍結にもなって凍結面付近でアイスレンズ(写真 1-2 (b))が成長し、土の体積が増加して地盤が隆起することを凍上という。この凍結面へ向かう水分移動が土にあらかじめ含まれていた水だけの場合を閉式凍上へいしきとうじょうとい、地下水等が補給されて起こる場合を開式凍上かいしきとうじょうという。

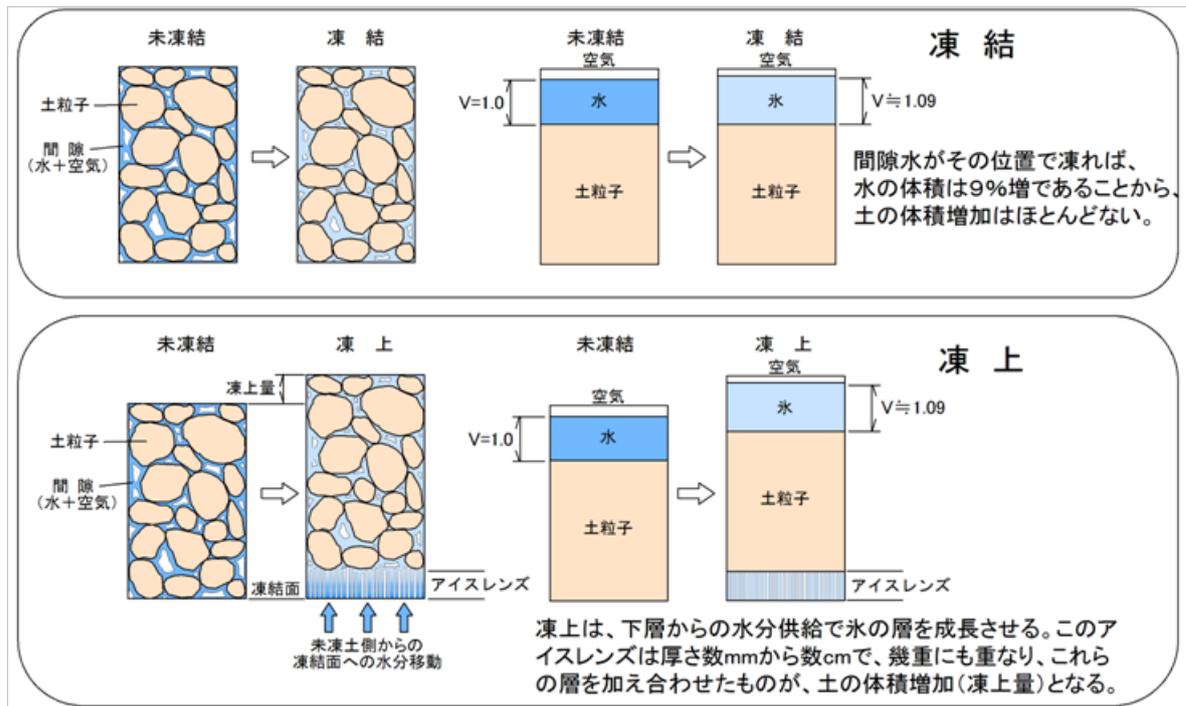


図 1-1 土の凍結と凍上のモデル図



(a) 自然地盤の表面にできた霜柱

(b) 土中にできたアイスレンズ

写真 1-2 アイスレンズ

細粒分の混在しない砂や礫で形成されている土が凍結すると、間隙水とともにコンクリートのよ  
うに固結した状態になる。そのような場合には、アイスレンズが形成されることはなく凍上は発生  
しない。土中の間隙水は凍結すると 9%の体積増加があるが、礫や砂の間隙水が凍結するときには、  
水分の体積増加の大部分は間隙に吸収されるため、土としての体積増加はなく凍上しない。

一方、細粒分を含む土が凍結すると、**図 1-2** に示すように凍結面が地中に進行しアイスレンズが  
層状に形成されることとなる。閉式凍上の場合、アイスレンズが形成される時、それより下の未  
凍土部の水分は凍結面に移動し減少するため、含水比が低下する。

土が凍結したとしても、必ずしもすべての土で凍上現象が発生するものではなく細粒分を含む土  
に発生する現象である。

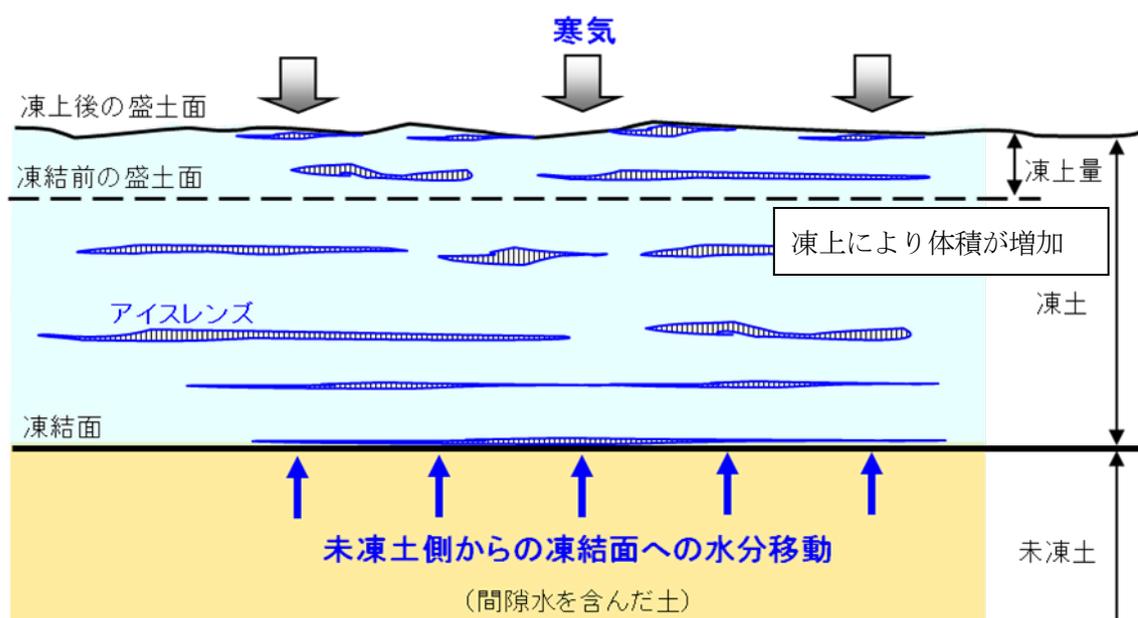


図 1-2 盛土内の凍上発生メカニズム (閉式凍上)

### (3) 冬期盛土における凍上現象

冬期盛土に凍上しやすい材料を用いる場合、低盛土で地盤の地下水面が地表近くにあると土粒子間へ水が供給されやすい状態となるため、凍上量に影響を与えやすい。

気温が特に低く、含水比の高い盛土材を使用しているときほど、アイスレンズの層が多くなり、凍上量は大きくなる（凍上量は形成されるアイスレンズ厚の総和）。

凍上した土は外気温の上昇とともに盛土の外周部から融解が始まり、内部まで完全に融解するのは、融解開始から2～3ヵ月後になることが多い<sup>3)</sup>。

## 1.4 凍上を支配する3要素

- ◆ 凍上を支配する要素は、温度・土質・水であり、この3要素が同時に揃ったときに発生する<sup>4)</sup>。したがって、以下に示す3要素のうち1つ以上を取り除くことにより凍上を防ぐことができる。
- (1) 温度：地表面温度の低下により盛土内の温度分布が、アイスレンズを発生しやすい状態になること。
  - (2) 土質：盛土材が細粒分を含み、アイスレンズを形成しやすい土質であること。
  - (3) 水：地下水面が高く、凍結していない側から凍結面への水分の補給が十分なこと。または、盛土材の含水比が高いこと。

### 【解 説】

土中の温度分布は、凍上や凍結深さを支配する重要な要素となり、土の熱物性値のほかに地表面温度の影響を受ける。このうち地表面温度は、日射、風速等によって変化し、積雪があるときは、これが断熱材の働きをするため温度低下は小さくなる。

凍上を支配する土質の要素には、粒度、密度、粒子表面の物理化学的性質、熱的性質、透水性があるが、一般に粗粒土と呼ばれる砂や礫は凍上性を持たず、凍上には少なくともシルト以下の細粒分の存在が必要である。しかし、粒径がより小さくなると透水性が低くなるため、凍上しにくくなる。このため、土の粒度組成によって凍上性の判定を行うことが多い。

土中のアイスレンズの形成は、凍結面への水分補給の有無に支配されることから、閉式凍上では、盛土材の含水比が凍上に大きな影響を与え、開式凍上では地下水あるいは降雨や融雪などの浸透水の存在が大きな影響を与える。

## 2 冬期盛土の問題点

- ◆ これまでの施工実績や調査より、冬期に盛土を施工した場合、以下の現象が生じる場合がある。
- (1) 盛土の層ごとに凍上が発生した場合、凍上が累積されることになり<sup>5)</sup>、融解期には盛土に変状を引き起こす場合がある。なお、1日あたりの施工の厚さが少ないほど凍上が累積しやすい。
  - (2) 凍結した土や雪が盛土内に混入すると、十分な締固めが出来ず、密度を満足できない場合がある<sup>6) 7)</sup>。
  - (3) 冬期には、凍上により盛土の表層部の含水比が高くなり、気温が上昇すると泥ねい化し、施工時のトラフィカビリティが低下する場合がある。
  - (4) 冬期に固化材を使用し改良を行った場合、養生温度が低いと十分な強度発現が期待できない。また、添加率が低いと改良が不十分となり凍上する場合がある<sup>8) 9)</sup>。
  - (5) 地下水位面が比較的高い状態で、冬期盛土を行うと気温の低下により盛土内にアイスレンズが形成され凍上する場合があり、アイスレンズの成長の程度によっては、融解期に盛土が変状することがある<sup>10)</sup>。

### 【解 説】

- (1) 盛土内の凍結深さは、気温、風速などの気象条件、密度、粒度などの土質条件、含水比などによって異なるので正確な予想は困難であるが、概略の関係は図 2-1 に示す通りである。土質別の凍結深さの進行速度は、粘性土、砂質土、火山灰の順に小さくなり、1 時間に凍結する平均深さは気温 $-5^{\circ}\text{C}$ で約 5 mm、 $-20^{\circ}\text{C}$ では 12~15mm である。

冬期の盛土施工では、夜間などに作業を中断すると気温の低下により凍上し、次の盛土はその上に施工することになる。

土は凍上すると、土質や水の供給条件により体積が 2 倍以上になる場合があり、さらにこの土が融解しても元の体積に戻らない場合がある。これらの現象により、冬期に施工した盛土が融解した後、変状に至る場合が多い。

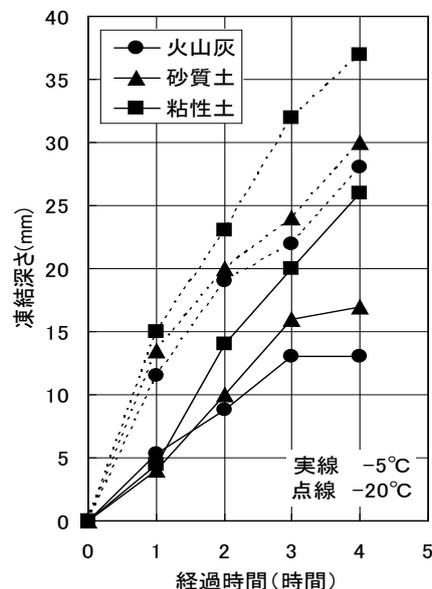


図 2-1 低温下にさらした盛土材料の凍結深さ

図 2-2 は、凍上性材料を使用して盛土の施工と中断を繰り返した場合の変状のメカニズムを示したものである。

盛土の1層目の施工後に夜間となり、盛土を中断することにより、盛土表面が氷点下の状態となる。このため盛土表面近くにアイスレンズが発生しbの状態となる。通常は、盛土表面部のアイスレンズの把握は困難であり、トラフィカビリティも十分確保できることから、そのまま、盛土を施工するとcの状態となる。夜間に中断するごとに凍上量が累積しdの状態となる。盛土完成時点では、盛土内部は凍結しているため変状しない。しかし、融解期になると、eに示すように盛土内部に発生したアイスレンズが融解し、盛土の変状が生じてfのような状態となる。

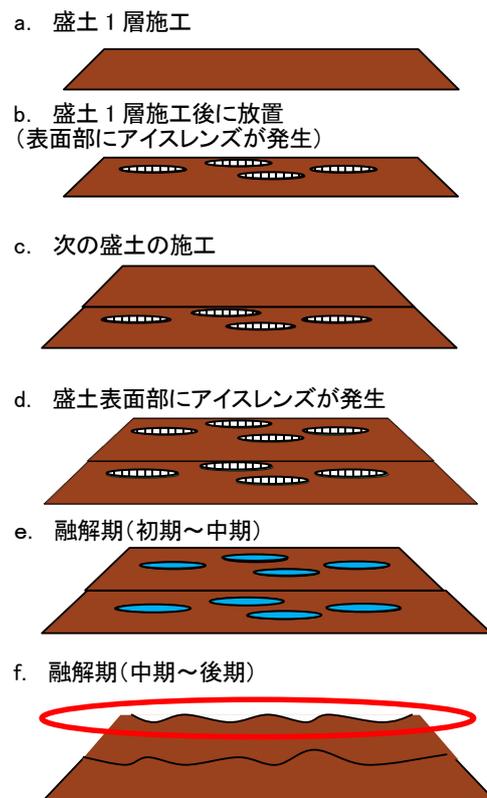


図 2-2 盛土の施工中断による盛土変状のメカニズム

(2) 盛土材料に凍結した土や雪が混入すると、締固め作業の条件が同じであっても最大乾燥密度が小さくなる傾向がある。図 2-3 は凍結した土の混入率と乾燥密度の関係を室内で試験した結果の一例を示したものである。

風化火山灰、未風化火山灰、粘性土、砂質土、礫質土はともに凍結した土の混入率（破碎した土塊の重量比）が多くなると締固め度 90%を満足しなくなることから、なるべく凍結土を混入させない施工が必要である。

一方、図 2-4 に雪を混入した試験結果を示すが、混入率が 10~15%で粘性土・砂質土に、さらに混入率が 20%になるとどの土質も締固めの基準値を下回り、雪の混入率が締固め度に大きく影響する結果が得られている。<sup>1)</sup>

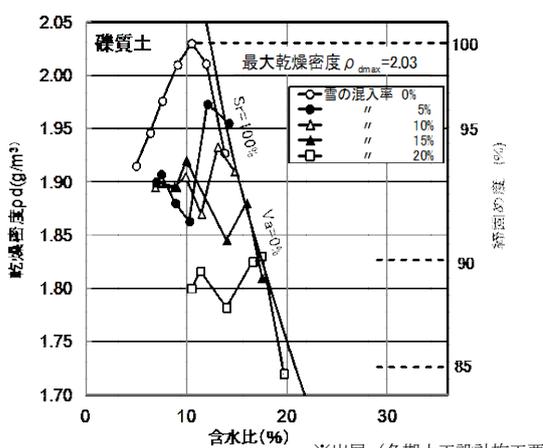
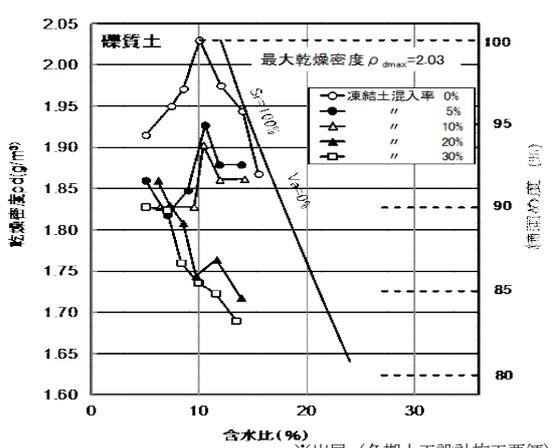
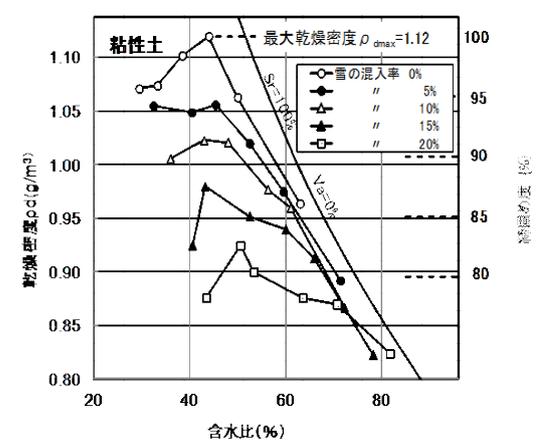
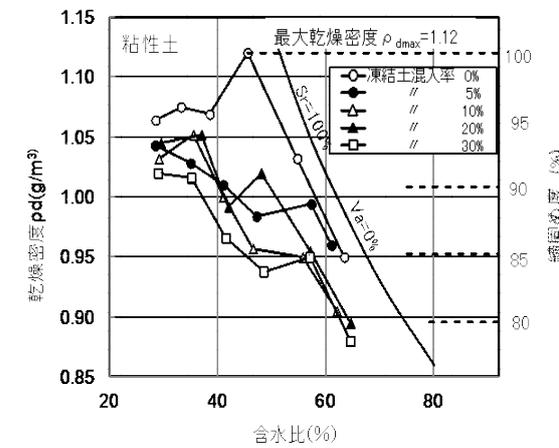


図 2-3 凍結土の混入による乾燥密度の変化

図 2-4 雪の混入による乾燥密度の変化

(3) 含水比が高い材料を用いて盛土を行うと、地表付近が凍結した状態では施工時のトラフィカビリティは確保されるが、これを繰り返すと気温が上昇した場合深くまで融解し、トラフィカビリティ

ティは確保ができなくなり対策が必要となる。（この対策については「北海道における不良土対策マニュアル」平成 25 年 4 月，寒地土木研究所，pp. 34-35 を参照のこと）。

(4) 冬期に固化材による改良を行った場合、養生温度が低いと十分な強度発現が期待できない場合があるため、事前に現場と同様な条件（温度や養生期間等）で試験施工を行い強度を確認する必要がある。

(5) 地下水位面が凍上前の地盤面より 1m 程度以内の箇所で冬期盛土を行うと、地盤から水が供給されやすいため、開式凍上となりやすく、アイスレンズを比較的厚く形成しながら凍結面が盛土内へ進行することとなる。（図 2-5 参照）

厚く形成されたアイスレンズが融解すると盛土はぜい弱化し、変状をおこし崩壊に至ることもある。

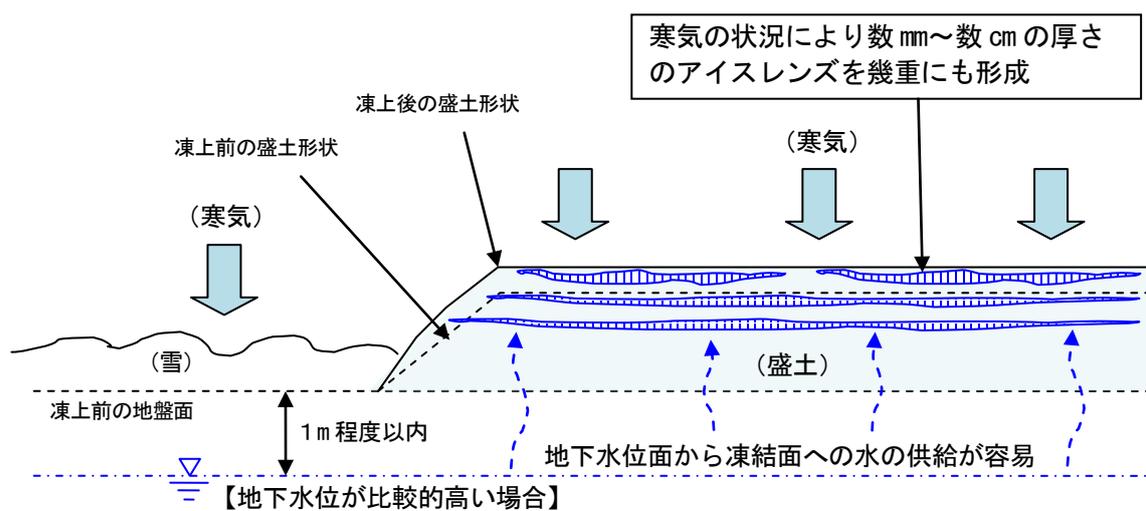


図 2-5 地下水位が高い場合に発生する凍上のメカニズム（開式凍上）

### 3 冬期盛土材料の検討

- ◆ 冬期盛土を施工する場合には、盛土材料の性状を把握し、施工目的や施工範囲・工程等の諸条件に応じて、経済性・施工性等を勘案の上、最適な工法を選定する必要がある。

#### 【解 説】

冬期盛土対策のフローチャートを図 3-1 に示す。

#### (1) 冬期盛土の判定

- ・ 日平均気温がマイナス（0℃以下）の気象条件の場合は冬期盛土の検討を行う。

#### (2) 材料の凍上性の判定

##### 1) 粒度分布による凍上性簡易判定

- ・ 材料試験結果から得られる粒度分布により、凍上性を簡易的に判定する。
- ・ 詳細は「4.2 粒度分布による凍上性簡易判定」を参照。

##### 2) 凍上性判定試験

- ・ 地盤工学会基準による「土の凍上性判定のための凍上試験方法(JGS 0172-2003)」<sup>11), 12)</sup>に準じる。
- ・ 詳細は「4.3 凍上性判定試験」を参照。

#### (3) 設計

- 「5 対策の考え方」を参照。

#### (4) 施工

- ・ 施工管理については「6 施工管理」を参照。

#### (5) 品質管理

- ・ 仕様書等に定められた品質管理を行う。

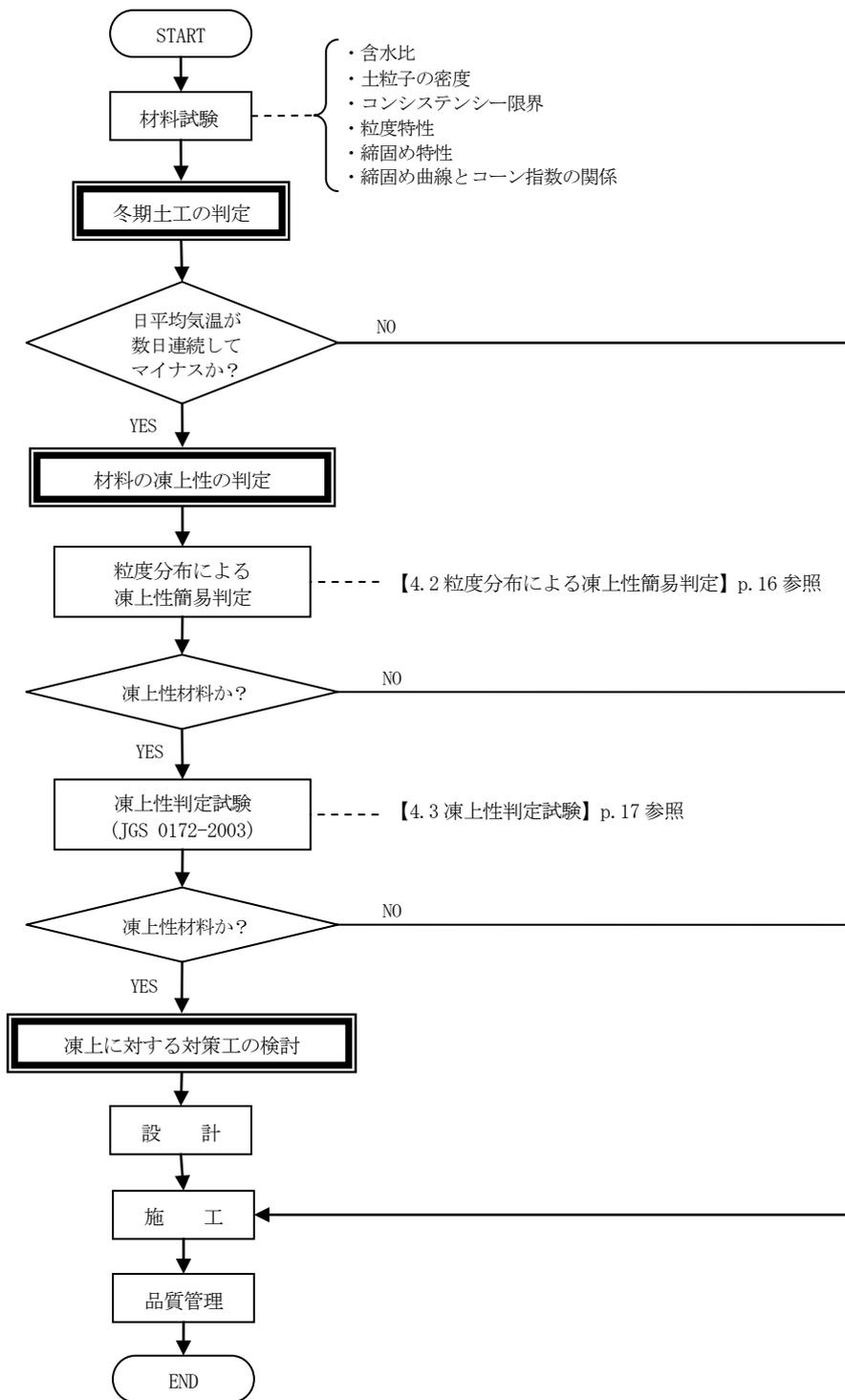


図 3-1 対策フロー

## 4 材料の判定方法

### 4.1 材料の判定方法

- ◆ 盛土材料の施工中の凍結・凍上は、融雪期の盛土変状要因の一つであることから、盛土材料が凍上する恐れがあるか否かの判定を行うことは、冬期盛土において非常に重要である。
- ◆ 凍上性の判定には、以下の2つの方法がある。
  - (1) 粒度分布による凍上性簡易判定方法
  - (2) 凍上性判定試験による方法

#### 【解 説】

凍上性の材料を用いて冬期盛土を施工した場合、凍上が発生し、融解期に変状を起こす要因となることから材料の適用性（凍上性）の判定は重要である。

盛土材料の凍上性は、物理的性質試験（土粒子の密度試験・含水比試験・粒度試験・液性塑性限界試験）により土質分類、粒度分布、細粒分含有量等から判定する。

判定する方法は上記の2つの方法があるが、**図 3-1**のフローに示すように、粒度分布による判定を行い、凍上性材料と判定された場合に「凍上性判定試験」を実施する。

ただし、盛土材料の粒度分布状態による判定が明らかな凍上性を示すものではなく、判定が不確定なものについては、「凍上性判定試験」を実施して確認するものとする。

これら2つの判定方法については、盛土に使用する材料の土質性状を鑑み、適切に選択すること必要がある。なお、明らかに凍上性が低い材料（砂・粗粒材）については、以下に示す道路の置換材料の判定基準により凍上性の有無の判断基準に使用してもよい。

- 砂 : 0.075mm ふるいを通過するものが全試料の6%以下となるもの。
- 切込砂利 : 全試料について0.075mm ふるいを通過する量が4.75mm ふるいを通過する量に対して9%以下となるもの。
- 切込碎石 : 全試料について0.075mm ふるいを通過する量が4.75mm ふるいを通過する量に対して15%以下となるもの。

(道路土工要綱[H21年度版]p.218)

なお、火山灰土やトンネルずり等の現地発生材等を、冬期に盛土材料として使用する場合には、「凍上性判定試験」を行うと良い。特に、トンネルずりや切土等により現地から発生する岩砕のうち、泥岩・シルト岩・頁岩および凝灰岩等の比較的軟質な岩石、あるいは風化作用を受けやすい岩石については、水分状態やスレーキングなどにより岩質が経年変化し、凍上性の材料となり、凍上被害を及ぼした例があるので、強制的に破砕細粒化させた試料での「凍上性判定試験」を行うことが望ましい。

## 4.2 粒度分布による凍上性簡易判定

◆ 土の凍上性を粒度分布から簡易的に判定する方法である。

### 【解 説】

土は粒径が 0.1mm 以上の砂では凍上はほとんど起こらない。0.05～0.1mm の粒径を含む土から凍上が起こり始め、最も凍上性が強いのは粒径 0.005～0.002mm と経験的に判定されている。

フィンランド道路局から、図 4-1 に示す粒度分布による凍上性の判定<sup>13)</sup>が提案されており、日本でも簡易的判定の際には使用されることが多い。

- ◆ 領域 4 ( $U_c > 15$  かつ  $D_{50} > 1\text{mm}$ ) … 【非凍上性】
- ◆ 領域 3 ( $U_c < 15$  かつ  $0.2 < D_{50} < 1\text{mm}$ ) … 【非凍上性】
- ◆ 領域 2 ( $U_c < 15$  かつ  $0.1 < D_{50} < 0.2\text{mm}$ ) で、毛管上昇高さが 1m 以下 … 【非凍上性】
- ◆ 領域 1 … 【凍上性】
- ◆ 領域 1L … 【凍上性】 透水係数が小さくなるため、地盤での凍上量は小さくなる

( $U_c$  : 均等係数,  $D_{50}$  : 平均(50%)粒径)

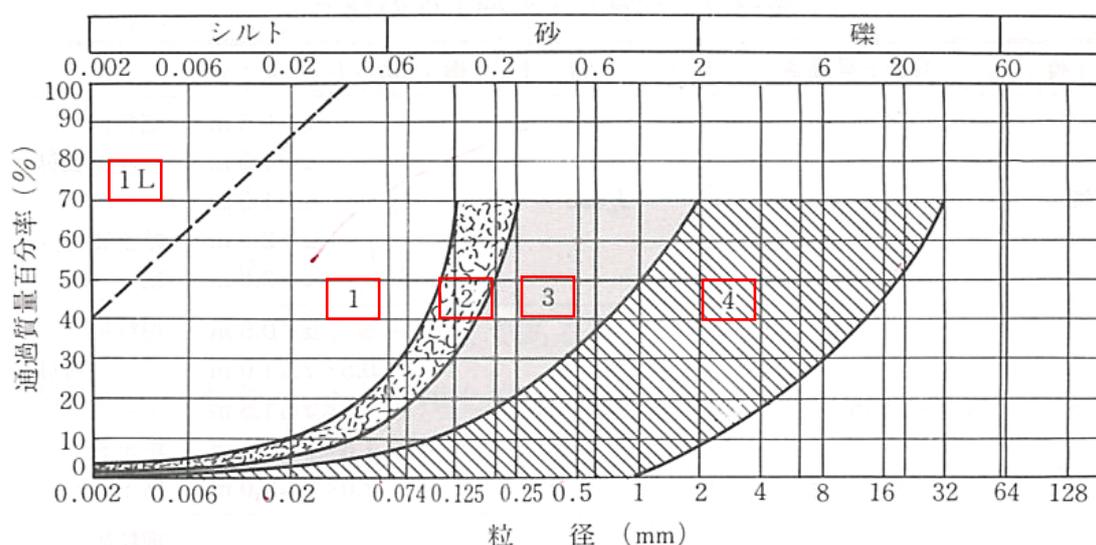


図 4-1 粒度分布による凍上性の判定<sup>13)</sup>

一般に、礫や砂は凍上しないが、礫や砂の中に細粒分(粘土・シルト)が含まれる場合、凍上する可能性がある。なお、北海道に広く分布し、盛土材や凍上抑制材に使用されることもある火山灰土(火山礫含む)については、粒径のみで凍上性を判断することが難しい<sup>14)</sup>ため、冬期に盛土材料として使用する場合には、4.3 凍上性判定試験を実施すると良い。

### 4.3 凍上性判定試験

◆ 土の凍上性を凍上試験により求める方法である。

#### 【解 説】

地盤中で起きる凍上現象を実験装置内で再現して、土の凍上特性を調べるのが凍上性判定試験である。言い換えれば凍上の3要素の中で、温度条件と水分条件を一定に設定して、土の凍上挙動を測定する土質試験である。

凍上性判定試験には、主に以下の2つの方法がある。②の試験法は、従来から実施されていた方法であるが、温度条件や吸水条件等において問題点が指摘され、試験結果にもばらつきが見られていた。この試験結果のばらつきを改善した試験法が地盤工学会による①の方法である。現状では、①による凍上試験を行う例が多くなってきている。

しかし、この①の試験機を有する者が十分でないことや、②の試験による基準値を用いた基準書も残っているため、ここでは2つの試験法を掲載した。可能な限り、現地に適合する凍上対策の検討を行うためには、①の「土の凍上性判定のための凍上試験方法」を用いるものとする。

#### ① 「土の凍上性判定のための凍上試験方法」(地盤工学会基準 JGS 0172-2003) <sup>11)12)</sup>

土の凍上性判定試験では、凍上性の有無を凍上速度で判断することになっており、その凍上性判定指標と凍上性判定について以下に示す。

#### 【凍上性判定試験の判定指標】

凍上速度 $U_h$ (mm/h)	凍上性
0.1未満	凍上性が低い
0.1以上0.3未満	凍上性は中位
0.3以上	凍上性が高い

注意：凍上速度  $U_h$  (mm/h) は凍結速度  $U$  を1~2 (mm/h) とした場合の数値である。

#### 【凍上性の判定】

- ◆  $U_h < 0.1$  mm/h …… 【非凍上性材料】：凍上抑制層として使用できる材料
- ◆  $0.1 \leq U_h < 0.3$  mm/h …… 【凍上性材料】：凍上性に及ばず多数の不確定な要因を考慮すると凍上性を排除できない材料（ただし、試験後の供試体状態や現地状況等で使用する材料の凍上性様式が「コンクリート状凍結」を呈している場合には“非凍上性材料”として扱っても問題はない）
- ◆  $U_h \geq 0.3$  mm/h …… 【凍上性材料】：強い凍上性を示す材料

② 「土の凍上試験方法」<sup>15)</sup>

凍上性を様式 1～5 までの 5 段階に判定し、コンクリート状凍結で凍上率が 20%未満である場合を凍上抑制層として使用できる材料としている。

冬期盛土の場合、アイスレンズを幾重にも形成しながら凍結する「霜柱状凍結」を呈する材料か否かが、融解期の崩壊や強度のぜい弱化に大きく影響するため、冬期盛土での凍上性の判定は次のようにする。

【冬期盛土での凍上性の判定】

◆ 「合格」・「要注意」	: 非凍上性材料
◆ 「不合格」	: 凍上性材料

【凍上様式】

番号	1	2	3	4	5
様式	コンクリート状凍結	微細霜降状を含むコンクリート状凍結	微細霜降状凍結	霜降状凍結	霜柱状凍結
形状					
説明	氷晶がまったく認められない	一部に氷晶がこまかく入っている	氷晶が非常にこまかく切れぎれに入っている	1～2mm厚程度の氷晶が入っている	純霜柱の発達したもの

【凍上性の判定】

番号	凍結様式	凍上率	判定
1	コンクリート状凍結 (氷粒散在を含む)	20%未満	合格
		20%以上	要注意
2	部分的な極微細霜降状凍結を含む コンクリート状凍結	20%未満	要注意
		20%以上	不合格
3	微細霜降、霜柱氷層等明らかに氷晶分離の傾向のある凍結	凍上率の大きさに 関係なく。	不合格
4			
5			

注) : 要注意のものは、わずかの凍上もゆるせない場合には使用してはならない。構造物の性質によって多少の凍上をゆるすことのできるものは、土質試験結果、地中水の状態などを考慮し、技術者が判断して合否を決定する。

## 5 対策の考え方

- ◆ 冬期盛土を施工する場合は、凍上を抑制する対策を検討しなければならない。
- ◆ 基本的な考え方は、凍上の3要素（温度・土質・水）のどれか一つを取り除くことであり、以下の対策が考えられる。
  - (1) 温度対策  
断熱材(断熱マット、板状断熱材など)や覆土、雪により工事休止中の盛土表面を低温から遮断する対策や、1日あたりの盛土の施工厚さを高くして盛土内に発生する凍土を少なくする対策、また材料自体の温度低下を抑制する対策。
  - (2) 土質対策  
盛土材料に非凍上性材料を使用して凍上させない対策。
  - (3) 水対策  
盛土材料の含水比を下げ、凍上させない対策や、地盤からの水分を盛土内に浸透させない対策。

### 【解説】

北海道における冬期盛土では、非凍上性の材料だけを選定して施工することは、コスト面で困難、な場合もあり、さらには、地下水の影響だけでなく、盛土自体の含水比による影響は避けることはできない。このため、凍上の3要素が全て揃うことは特異な条件ではなく、北海道における冬期盛土では、施工管理も含め、ほとんどの現場で何らかの凍上対策が必要になってくる。以下、3要素を取り除く対策について説明する。

なお、冬期盛土の施工管理については、「6 施工管理」に、その対策例については、「7 冬期盛土の対策例」で後述する。

#### (1) 温度対策

夜間や工事休止中の盛土表面を低温から遮断するための対策として、盛土全体を断熱材や土で覆う方法がある。断熱材としては、断熱マット、板状断熱材、覆土、雪(厚さ20cm程度)、シート、ウッドチップ、おがくずなどがあるが、盛土施工後の断熱材敷設及び次の盛土施工前の断熱材の除去に時間を要することから、比較的狭い範囲(構造物周辺の施工等)での使用に適した対策である。また、盛土の1日当たりの施工厚さを増やして(1日の施工する層を増やす、1回当たりの施工厚さを大きくするなど)、盛土内に累積する凍上を抑制する対策もある。<sup>5)16)</sup>

一方、盛土材料を仮置きする場合は、断熱材やシートなどで覆い盛土からの温度低下を抑制する。

搬入時には、暖気が荷台を通るような構造のダンプトラックを使用するなど、盛土材料を凍結させない対策が必要である。また、土取り場からの掘削土砂を直接使用する場合は、凍結面より深い部分の材料を使用し土の保有熱を利用する対策もある。

## (2) 土質対策

盛土材料の凍上を抑制するために、切込碎石（砂利）、砂、火山灰、コンクリート等、非凍上性材料を使用する対策が考えられる。いずれの材料の場合でも凍上性の判定（碎石・砂利と砂は細粒分含有量による<sup>17)</sup>）を行い確認する必要がある。なお、これらの材料は費用が高価になり施工費を押し上げることになるので使用にあたっては、十分検討しなければならない。

## (3) 水対策

含水比が高い盛土材を使用する場合は、閉式凍上に備え事前に仮置きを行い含水比を下げる対策が必要である。仮置場では、トレンチ排水等を設けて含水比を低下させる。高規格道路のような高盛土において、砂質土、火山灰土等の盛土材を使った試験施工では、含水比が 25%以下の材料で、閉式凍上がほとんど発生しないとの報告がされている。<sup>18)</sup>

細粒分含有率が大きい粘性土や火山灰質粘性土のように容易に含水比の低下が期待できない材料については、1層当たりの施工厚さを薄くして締固め度を上げることで、密度が大きくなり融解による密度低下を抑制する効果が期待できる。細粒分含有率が 30%以上の場合は、粒度調整などにより冬期盛土として適正な材料とする必要がある。

含水比などを改良するために用いられるセメント、石灰などの固化材は、盛土材料に適当量混合することで、凍上の抑制効果が期待できる<sup>19)</sup>。これは、固化材により生成される物質が土粒子間の間隙を埋めるため、透水性が低下し、凍上面へ水が移動しにくくなるためである。

地下水位の高い地盤上に凍上性の材料で盛土を施工する場合、施工中に表面から冷却されると盛土が凍上する場合がある。これを避けるためには現地盤から盛土への水分移動を遮断する必要がある。（26 ページ図 7-1 参照）

図 5-1 は、高液性限界粘土 (CH) に高炉セメント B 種、セメント系固化材、生石灰を混ぜて改良した試料 (養生日数 7 日) の乾燥添加率と凍上速度の関係を示したものである<sup>20)</sup>。現地試験結果より凍上速度が 0.1 未満の場合には、凍上による圧力増加や変位が観測されなかったため凍上性は低いとされている。<sup>21)</sup> 図に示すとおり高液性限界粘土 (CH) では、生石灰で 12% 程度以上、高炉セメント B 種およびセメント系固化材で 8% 程度以上の乾燥添加率で凍上の抑制効果が得られる。逆に、添加率が 6% 程度では、原料土より凍上が促進される結果となるため、トラフィカビリティを確保する場合に固化材を添加 (2~4% 程度) するときには注意が必要である。この傾向については細粒分質砂質礫 (GFS) でも同様である。

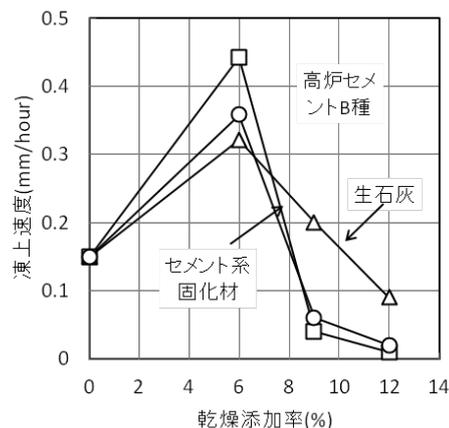


図 5-1 高液性限界粘土 (CH) における乾燥添加率と凍上速度の関係

また高液性限界シルト (MH) と火山灰質粘性土 II 型 (VH2) は、図 5-2 に示すように生石灰を 6% 添加することで凍上量の抑制が確認されており、セメント系固化材よりも効果的であるという結果も得られている<sup>20)</sup>。

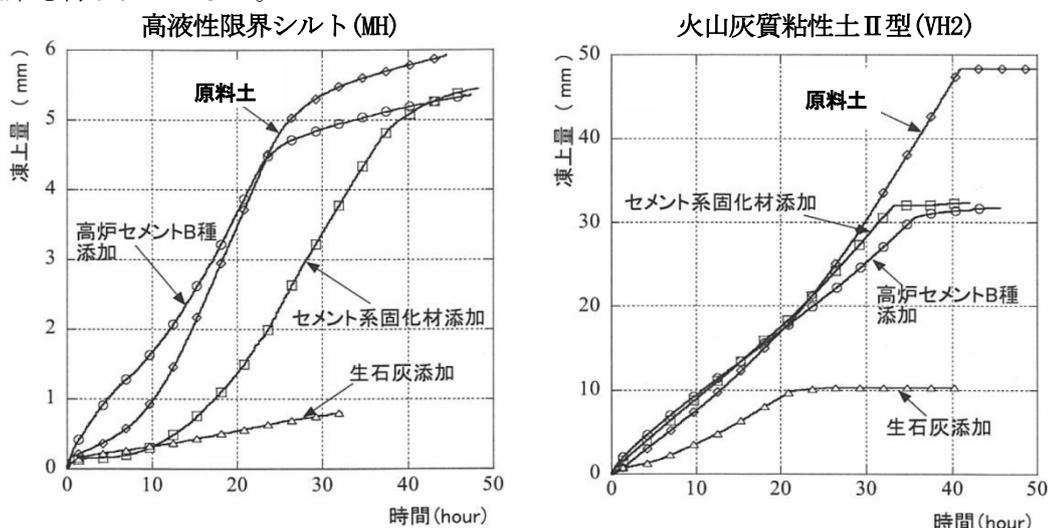


図 5-2 安定処理土の凍上試験結果 (添加率 6%)

低温下の地盤改良における研究において、0°C の養生でも 20°C に比べ 28 日強度比が 6 割弱確保されているとする報告もある<sup>22)</sup>。また、改良土自体の温度が 0°C よりも高ければ、外気温がマイナスであっても養生期間を長くすれば所定の強度を期待できるという報告がある<sup>8)</sup>。このように材料や養生温度により強度が変わることから、冬期に固化材により盛土材の改良を行う場合には、施工前に現場 (温度や養生期間等) に合わせた条件で、期待する強度が発現することを確認する必要がある。

## 6 施工管理

◆ 冬期盛土の施工管理においては、以下に留意する<sup>1)</sup>。

- (1) 雪や凍土を混入させない。
- (2) 材料の温度がマイナスにならないようにする。

### 【解 説】

(1) 盛土の施工にあたっては、積雪がある場合は除雪を徹底するなど、雪や凍土が混入しないように現場管理を行う必要がある。

### 【雪の混入防止】

- ① 盛土地盤の除雪作業にあたっては、凹部に雪が残らないようにしなければならない。
- ② 一日の作業を終えた盛土表面は、盛土施工再開時に機械除雪が可能となるように平坦に仕上げる。
- ③ 降雪量が多くなり、所定の品質確保が困難となる可能性がある場合には、速やかに作業を中止する。

### 【凍土の混入防止】

- ① 土取場の除雪面積は、一日の作業量に見合った広さとし、凍結土塊は積み込まないように十分注意する。
  - ② 施工箇所に搬入した盛土材が、長期間放置されることなく速やかに敷均し・締固め作業が日々完了できるように施工計画を立てる。
- (2) 使用する材料の温度がマイナスの場合、品質に影響を及ぼす場合があるので、敷均し作業前に材料の温度を測定し確認してから作業を開始する。また、積込み、運搬、敷均し、締固めの一連作業を速やかに行い材料の温度低下に注意する。特に、材料の運搬距離が長い場合には寒気にさらされている時間が長くなるので必ず温度管理を行う。

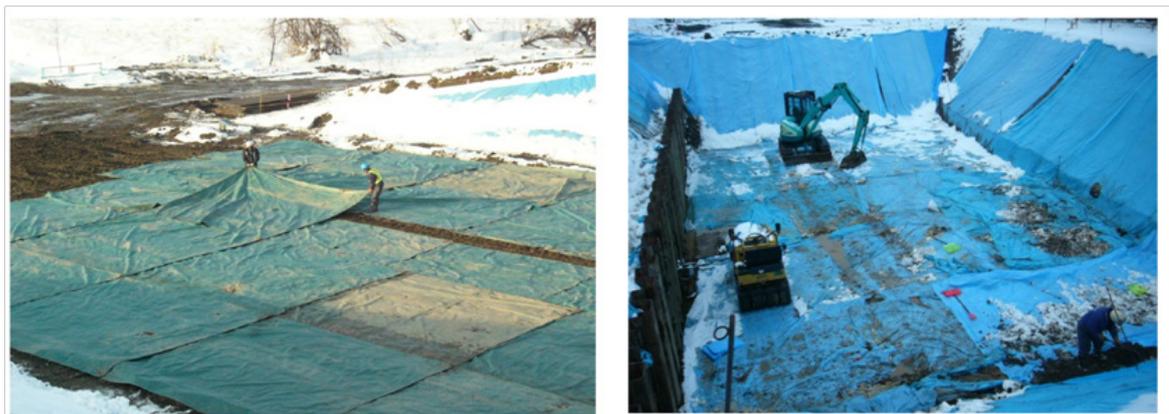
## 7 冬期盛土の対策例

- ◆ 冬期盛土について、雪や凍土を盛土内に混入させない対策や盛土施工後などに行われる対策の例を以下に示す。
  - (1) シートによる対策
  - (2) 覆土による対策
  - (3) 断熱材（板状，シート，ウッドチップなど）による対策
  - (4) 積雪を利用した対策<sup>23)</sup>
  - (5) 土の保有熱を利用した対策
  - (6) 仮置土への対策
  - (7) ジェットファーンネスによる対策<sup>24)</sup>
  - (8) 遮水対策
  - (9) 薬剤処理工法

### 【解 説】

#### (1) シートによる対策

日々の盛土施工終了後に、除雪シートを敷設して雪の混入を防止する方法である（写真 7-1 参照）。一晚程度の寒気であれば、盛土の温度低下をある程度防ぐことも可能である。



【除雪シートの敷設状況】

【除雪状況】

写真 7-1 シートによる実施例

#### (2) 覆土による対策

日々の盛土施工終了後に覆土を行うことで、盛土の温度低下を抑制し凍上を防止する方法である。覆土の厚さは、修正 Berggren 式（一次元熱伝導解析）<sup>25)</sup>や二次元 FEM 熱伝導解析<sup>26)</sup> によって算出

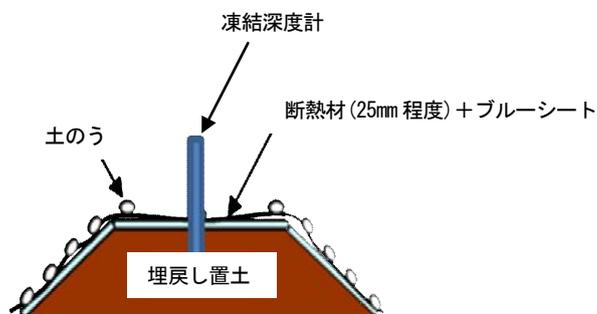
することができるが、放置期間が1～2日間程度であれば10cm程度の厚さの覆土で対応できる。それ以上の放置期間になる場合には、いずれかの熱伝導解析により覆土厚を決定することが望ましい。なお覆土を超え盛土内まで凍結した場合には、凍上している可能性もあることから、凍結した部分を撤去する必要がある。

### (3) 断熱材（板状断熱材，シート，ウッドチップなど）による対策

日々の盛土施工終了後に、断熱材を敷設して盛土の温度低下を抑制し凍上を防ぐ方法である。（写真7-2参照）養生する場合、周辺の雪を断熱材の上に被覆すると、高い断熱効果が期待出来ることから長期間養生する場合や、厳しい寒気が入る場合には対応を検討すると良い。



【仮置き土の養生（シート+板状断熱材）】



【左写真の断面図】

### 写真7-2 板状断熱材（+ブルーシート）による実施例

ウッドチップを用いて養生する場合は、施工中の盛土天端にウッドチップを10cm程度敷き均し、ブルーシートで被覆して養生する。（写真7-3参照）

ウッドチップ材は、バックホウ等の機械で敷均しが可能なため施工性が良く、木材で空気を多く含んだ状態になるので断熱性は比較的良い材料である。同様におがくずも優れた断熱材であるが、材料の間に水分が入り込むと断熱効果が低減するので注意を要する。

これらの断熱材は、使用後の撤去や廃棄等の手間がかかるため土取り場などで養生に使用される場合があるが、長期間の養生には比較的安価で効率的である。



【ウッドチップ敷均し状況】



補強土壁背面盛土施工途中

【ウッドチップ+保温シート敷き完了時全景】

写真 7-3 ウッドチップによる実施例

#### (4) 積雪を利用した対策

断熱材を使わずに、積雪による断熱効果により盛土の温度低下を抑制し凍上を防止する方法（写真 7-4 左参照）であり、20cm 以上の積雪があれば断熱効果が期待できる。盛土天端の除雪を作業工程に合わせて調整することで対応することが出来るため、施工ヤードが広い場合にコスト面で有利となる。なお、除雪作業時は雪を残さないように注意する必要がある。（写真 7-4 右参照）。



【積雪を利用した断熱対策状況】



【施工時の除雪作業状況】

写真 7-4 雪の断熱効果による実施例

#### (5) 土の保有熱を利用した盛土の対策

土取場から盛土材を直接掘削する場合に、凍結面より深い部分の比較的温度の高い土砂を採取し、迅速に運搬、敷均し、締固めを行うことで盛土材の温度低下を軽減する方法である。土取場から運搬してきた材料を露出した状態にしておくと、保有熱が奪われるため注意する必要がある。

仮置きする場合には、土砂をシートで覆い、さらに雪を被せることで温度低下を防止する方法も取られている（写真 7-5 左参照）。

運搬車両については、排気熱を荷台に通し、土砂が荷台に凍着するのを防止するタイプのものが

保温の観点から有効である。また、ダンプトラック荷台の土砂をシートで覆う養生も実施されている（写真 7-5 右参照）。



【仮置き土の雪による保温養生】



【ダンプ荷台のシート養生】

写真 7-5 土の保有熱を利用した養生による実施例

#### (6) 仮置き土への対策

含水比の高い材料を仮置きする場合、秋期から冬期では曝気乾燥による含水比低下が望めないため、あらかじめ、夏期または1年以上前から土砂を仮置きして、トレンチ排水等を設けて曝気乾燥による含水比低下対策を実施している事例も多い。その際、曝気乾燥が望めない時期になる前に、シート等による被覆養生を実施して含水比増大を防ぐ方法も効果的である。

#### (7) ジェットファーンネスによる対策

冬期土工における掘削作業に伴う切土面、床面の凍結防止や凍土の解凍時に、ジェットファーンネスにより養生する方法である（写真 7-6 参照）。

凍結を防止する確実な方法は、0℃を超える温度管理をすることで凍結を防止できるが、燃料費は大きくなる。



【防寒養生の状況】



【ジェットファーネス接続部の状況】

写真 7-6 ジェットファーネスによる方法

(8) 遮水対策

地盤の地下水位が高い場合に有効な対策である。

図 7-1 に示す遮水対策は、「地盤面から盛土底部への浸潤水を防止して、寒気が盛土内に浸入した場合の温度勾配による地下水の円滑な浸入を阻止することによって、盛土内に厚いアイスレンズを多数形成させない」ことに着目したもので、「盛土工指針（平成 22 年度版）」による基盤排水層を応用した対策である。

特に、地下水位が地表面付近にある場合には、遮水層下部に地下排水工（「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル（平成 23 年 3 月）」，5.2.1 トレンチ工法，p. 106 参照）を設置して地下水位を低下させてから遮水層を敷設することも有効である。

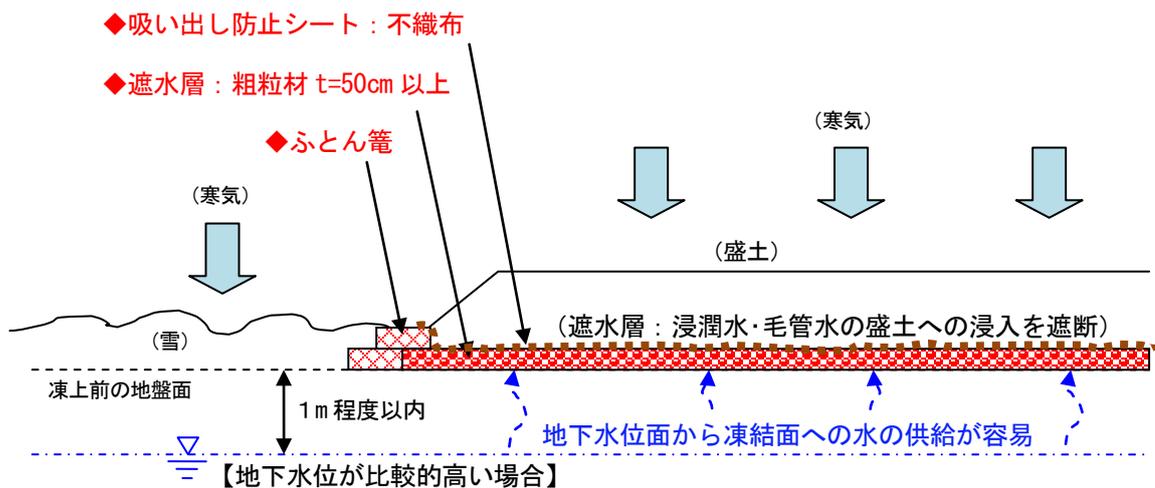


図 7-1 地盤の地下水位が高い場合の盛土の遮水対策

### (9) 薬剤処理工法

盛土材等に使用する土に予め凍結防止剤等の薬剤を混合して凍結・凍上抑制する工法である。図 7-2 に示す<sup>27)</sup>ように、土に各種薬剤を混合することで凝固点を低下させ、土の凍結を防止するという原理である。

写真 7-7 に示すように、一日の施工後の盛土天端にジョウロ等を使って散布する方法があるが、盛土材への浸透量（厚さ）を正しく判定できていないと、表層部は薬剤の凝固点降下により凍結しないが、その下位の薬剤が浸透していない盛土内に凍結を発生させることがあるので、散布量と浸透量の関係や気温の条件を十分に検討して使用しなければならない。

いずれの薬剤を使用するにせよ、施工規模・周辺条件・環境条件・経済性等について十分検討して採用する必要がある。

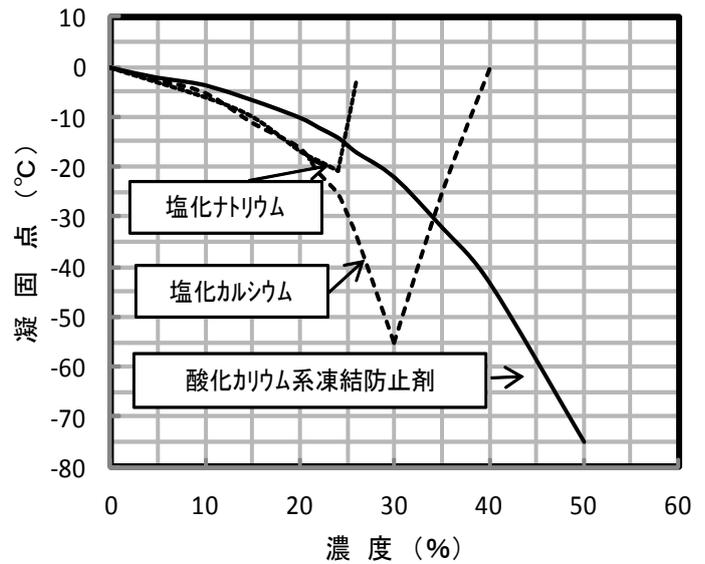


図 7-2 凍結防止剤の濃度と凝固点の関係



写真 7-7 盛土天端への薬剤の散布

## 【参考文献】

- 1) 通年施工推進協議会：冬期土工設計施工要領, 1999. 4.
- 2) 佐藤厚子, 西本 聡：冬期土工の留意点—春先に手直しをしないために—寒地土木研究所月報 No. 682 , 2010. 03.
- 3) 渡邊栄司、西本聡：冬期土工の品質向上に向けた研究, 北海道開発土木研究所月報 No. 607 , 2003. 12.
- 4) 土質工学会編：土の凍結 —その制御と応用—, pp. 24-25. 1989. 7. 10.
- 5) 佐藤厚子, 西本 聡, 鈴木輝之：冬期施工による盛土の性状, 第 53 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会, 2013. 2.
- 6) 桜庭満, 西川純一：低温状態における土の締固め特性, 開発土木研究所月報 No. 547, 1998. 12.
- 7) 川西 是, 能登繁幸, 荻野治雄, 佐々木晴美, 奥田稔, 根守克己, 東海林邦夫, 相馬和則, 原田厚子：土工の冬期施工に関する研究（第 1 報～第 5 報）, 第 24 回～28 回北海道開発技術研究発表会論文集, 1981～1985. 2.
- 8) 佐藤厚子, 鈴木輝之, 西本聡：セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす養生温度の影響, 地盤工学ジャーナル Vol. 3, No. 4, 331-342, 2008. 12.
- 9) 佐藤厚子, 西本聡：安定処理土の強度と凍上試験の関係について, 北海道開発土木研究所月報, No.619, 2004. 12.
- 10) 木下誠一, 鈴木義男, 堀口薫, 福田正己, 井上正則, 武田一夫：苫小牧における凍上観測（昭和 51 年～52 年冬期）：初期地下水位の影響, 低温科学. 物理篇, Vol. 35, pp. 307-319, 1977.
- 11) 地盤工学会：凍上量測定のための凍上試験方法, 凍上性判定のための凍上試験方法, 新規制定地盤工学会基準・同解説, p. 247, 2009. 11.
- 12) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版）, 資料-12, pp. 396-410, 2009. 6.
- 13) ISSMFE TC-8: Grain size distribution as a frost susceptibility criterion of soil, VTT Symposium, Vol.1, pp. 29-32, 1989.
- 14) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版）, p. 218.
- 15) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版）, 資料-13, pp. 411-416.
- 16) 安達隆征, 西本 聡, 佐藤厚子：標準的な転圧機械を用いた粗粒土による盛土厚層化の提案, 第 49 回地盤工学会北海道支部年次技術報告会, 2009. 2.
- 17) 日本道路協会：道路土工要綱（平成 21 年度版）, p. 213.

- 18) 横田聖哉・三嶋信雄・三浦清一：地下水位を考慮した実用的な凍上量の設定方法, 土木学会論文集, NO. 574/VI-36, pp. 21-31, 1997.
- 19) 能登繁幸, 川西是：積雪寒冷地における 2, 3 の熱的問題, 土質工学会熱的シンポジウム, 1986.
- 20) 小野丘：安定処理土の凍上抑制効果における安定材および添加量, 地盤工学会北海道支部創立 50 周年記念シンポジウム論文集, pp. 129-132, 2006.
- 21) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説 p247
- 22) 橋本聖, 西本聡, 林宏親:異なる養生条件下でのセメント改良泥炭の強度発現傾向, 地盤工学会北海道支部技術報告集第 50 号, pp. 9-14, 2010. 1.
- 23) 丸山和訓, 伊藤祐明, 村上泰啓：冬期土工による盛土の変状とその対策の効果検証, 第 56 回（平成 24 年度）北海道開発技術研究発表, 2013. 2.
- 24) 安藤彰, 高瀬一隆, 佐藤厚子：切土法面における湧水, 凍上対策について, 第 52 回（平成 20 年度）北海道開発技術研究発表, 2009. 2.
- 25) 日本道路協会：道路土工 排水工指針（平成 19 年度版）
- 26) 橋本聖, 山梨高裕, 林宏親：冬期施工におけるセメント改良地盤の課題と対策－凍結指数に応じた覆土厚さの提案－, 第 57 回北海道開発技術研究発表会論文集, 2013
- 27) 中地章・角谷文彦・黒山豊・鈴木輝之・澤田正剛：冬期土工への凍結防止剤の適用に関する基礎実験, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 第 39 号, pp. 75-80.

事務局

北海道開発局 建設部 道路建設課

独立行政法人 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

一般社団法人 北海道建設業協会