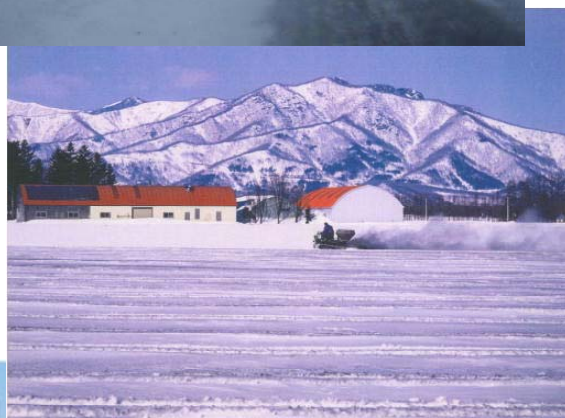


北海道発の寒地開発技術



平成25年改訂

国土交通省 北海道開発局
独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所

北海道は我が国の最北に位置しており、積雪寒冷地特有の厳しい条件下における様々な課題を克服するための多くの土木技術が開発、適用されるとともに、これらの成果や知見が蓄積され、改良が積み重ねられています。

北海道をはじめとする積雪寒冷地において持続可能で活力ある地域社会を形成するためには、老朽化した社会資本ストックの長寿命化や計画的・効率的な維持・管理・更新、自然共生社会や循環型社会の構築に向けた先駆的取組、安全・安心の確保に向けた取組などに対して、これらの土木技術をより一層有効に活用することが求められています。

このため、北海道開発局、(独) 土木研究所寒地土木研究所が培ってきた寒地開発技術のうち、他機関、他地域で今後活用が期待される技術について広く紹介することを目的に、技術情報概要集(260技術)をとりまとめました。

これらの技術には相談窓口も記載していますので、技術の相談にご活用下さい。

本資料に関する問い合わせ

北海道開発局事業振興部技術管理課 技術開発係

011-709-2311 (内線 5489)

北海道発の寒地開発技術 目次

第1章 北海道の地域特性	・・・	2
北海道の地理的位置、気候分類、降雪の特性、海水 冬期の河川、土の凍結、泥炭地の分布		
第2章 北海道発の寒地開発技術	・・・	9
1. 寒地開発技術の概要		
2. 雪に関する技術		
3. 氷（寒さ）に関する技術		
4. 泥炭地に関する技術		
5. 寒冷地における社会資本ストックの予防保全に関する技術		
第3章 寒地開発技術の個別技術資料	・・・	24
（55技術）		
第4章 寒地開発技術 技術情報概要表	・・・	81
（260技術）		
第5章 寒地開発技術 活用実績一覧表	・・・	111
（第3章個別技術のうち、公表可能データがある技術のみ 掲載しています。）		

第1章 北海道の地域特性

1. 北海道の地理的位置

北海道は日本列島の最北に位置し、西は日本海、南は太平洋、北東はオホーツク海に面している。北海道と本州の間は津軽海峡があるが、1987年に青函トンネルが開通し、鉄道で結ばれている。

北海道の面積は、日本全体の約22%を占め、オーストリアとほぼ同じ面積であり、オランダやスイスの国土の2倍に相当する。

道都である札幌市は北緯43度の位置にあり、ボストン（アメリカ）、ポートランド（アメリカ）、マルセーユ（フランス）などと同緯度にある。



北海道の位置

出典：CraftMAP・日本・世界の白地図・

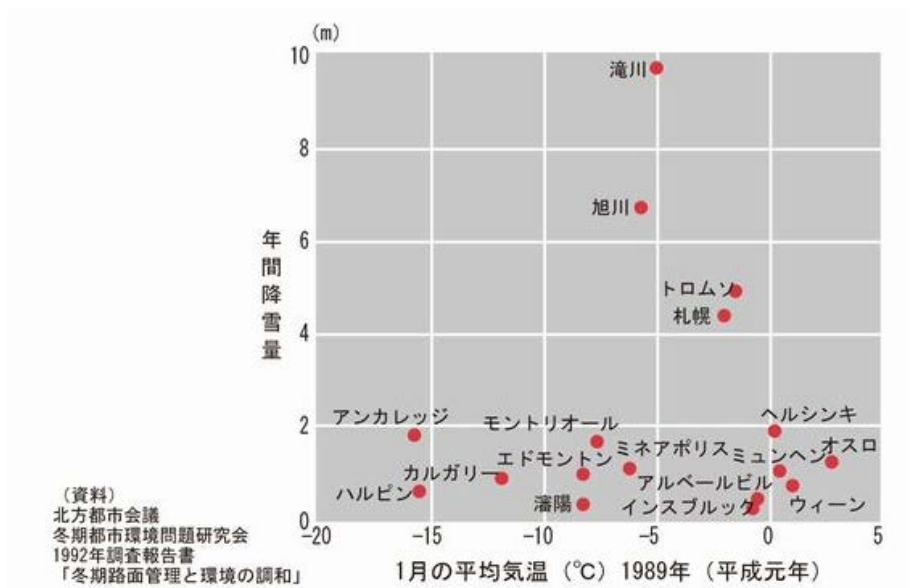


北緯43度周辺の都市

2. 気候分類

気候分類に見た北海道の位置付けを、ケッペンの分類による北極地域を中心とした寒冷気候地域の分布図で見ると、北海道及び東北・北陸の一部は亜寒帯の夏雨気候に属するとされている。この気候の特色は、寒冷な長い冬を持ち、冬期間地面は凍結するが、夏期には日射によって比較的高温となり、森林は十分成育でき、農耕も行われている。

気候と降雪量の関係を北海道と世界の都市を比べると北海道の都市は降雪量が多く、北米やヨーロッパの内陸にある都市は気温が低く、降雪量は少ない。

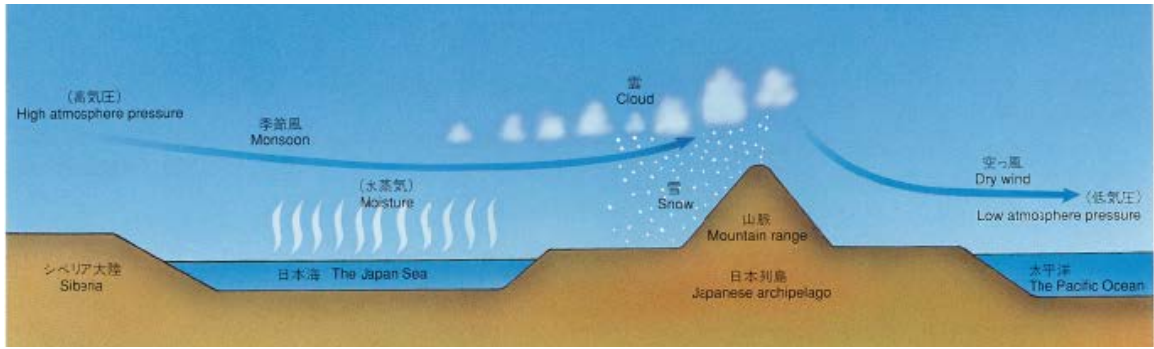


世界の都市の1月の平均気温と降雪量

3. 降雪の特性

わが国の降雪は、西高東低の気圧配置によって、シベリア大陸からの冷たい気団が日本海から水分の供給をうけつつ運ばれ、山脈の影響によって日本海側に大量の雪をもたらす、太平洋側に乾いた空気をもたらすのが一般的である。道内においても、日本海側の山脈の麓に沿って降雪量が多い地域が分布しており、太平洋側や道東地域では降雪量が少なくなっている。

降雪量の多い地域では、降雪や積雪による交通障害を取り除くために、除雪や排雪に多くの労力を費やしている。



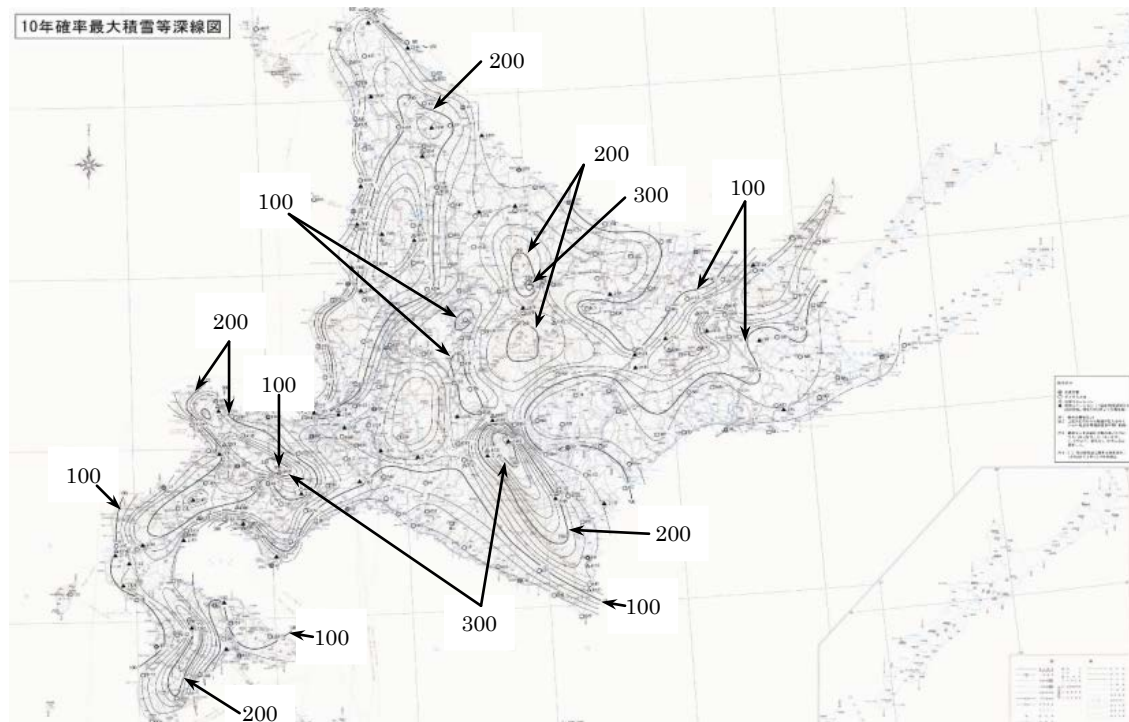
季節風型の降雪機構



吹雪のため動けなくなった大型車



街中での運搬排雪作業



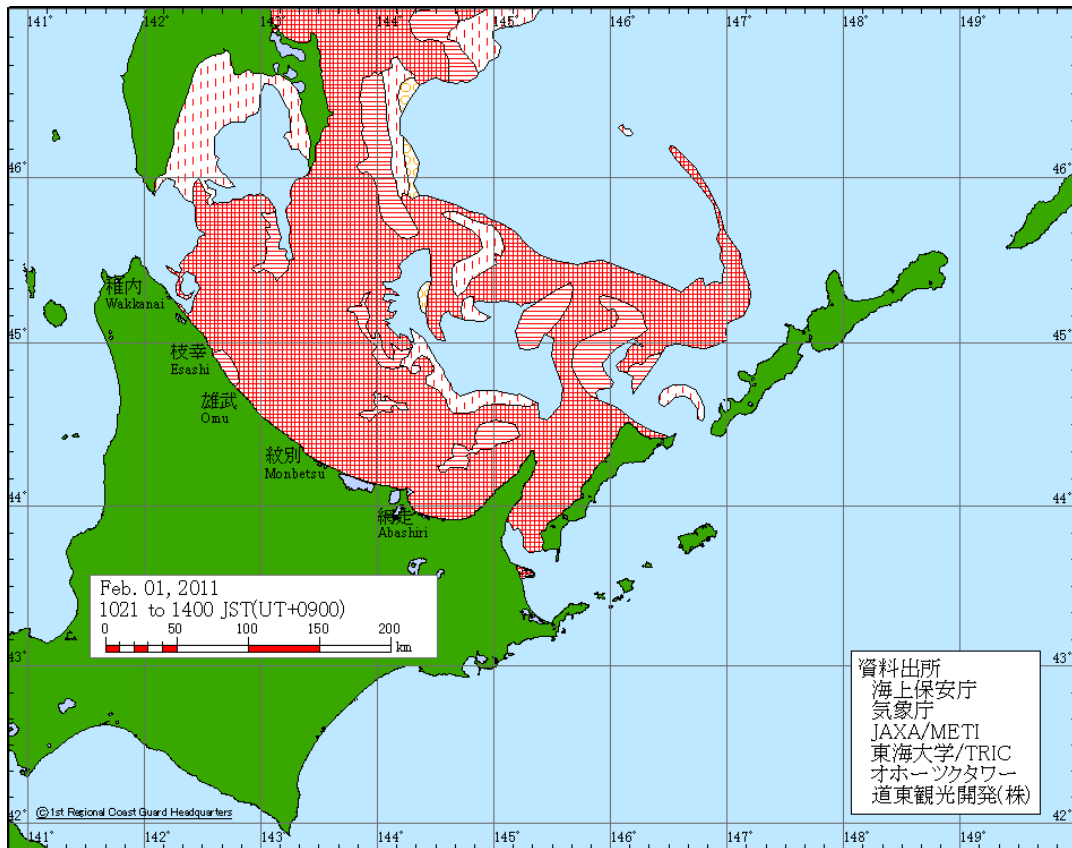
最大積雪等深線図 (10年確率)

4. 海氷

北海道の宗谷岬から根室半島のオホーツク海沿岸は、冬期間流氷におおわれる。これらの沿岸域では流氷が接近し、海水温度の低下と海域の静穏化によって、結氷を開始する。

また、日本海に面した道北地域や道東の太平洋沿岸では、流氷は接岸しないものの、港湾や漁港内の静穏海域が気温の低下とともに結氷する場合がある。

このような水域の港湾、漁港、航路においては、港内の結氷および海氷の制御や、航路を確保するための砕氷作業などが必要となる。



凡例

1-3
 4-6
 7-8
 9-10
 レーダー
 雲

数字は密接度 密接度 : ある水域の氷の分布状態がバラバラになっているか、つまっているか、その平均の密集度を10分位法で表したものを。

北海道における流氷の接岸状況

(2011年2月1日)

出典：第一管区海上保安部海氷情報センターHP

海氷速報 海氷分布図

5. 冬期の河川

北海道の洪水期は春の融雪によるものと夏の大雨によるものと通常2期にわたる。融雪期には急激な暖気や降雨があれば増水し、河道災害や氾濫を起こす場合もあり、流域の人々の社会活動に重大な影響を与えることもある。しかし、一方で融雪水は年間総流出量の約50%を占めており貴重な水資源となっている。

北海道のほとんどの河川は、冬期間結氷する。特に道東、道北の河川は全面凍結し、寒さが厳しい上に、降雪も少ないことから氷厚も発達する。結氷した河川では、氷による取水障害や河川構造物に対する被害が発生している。



北海道の河川における期別結氷図（2月下旬）

出典：北海道における河川の結氷特性と結氷下の水理特性について
（開発土木研究所月報 No.480 1993年5月）



渚滑川アイスジャム



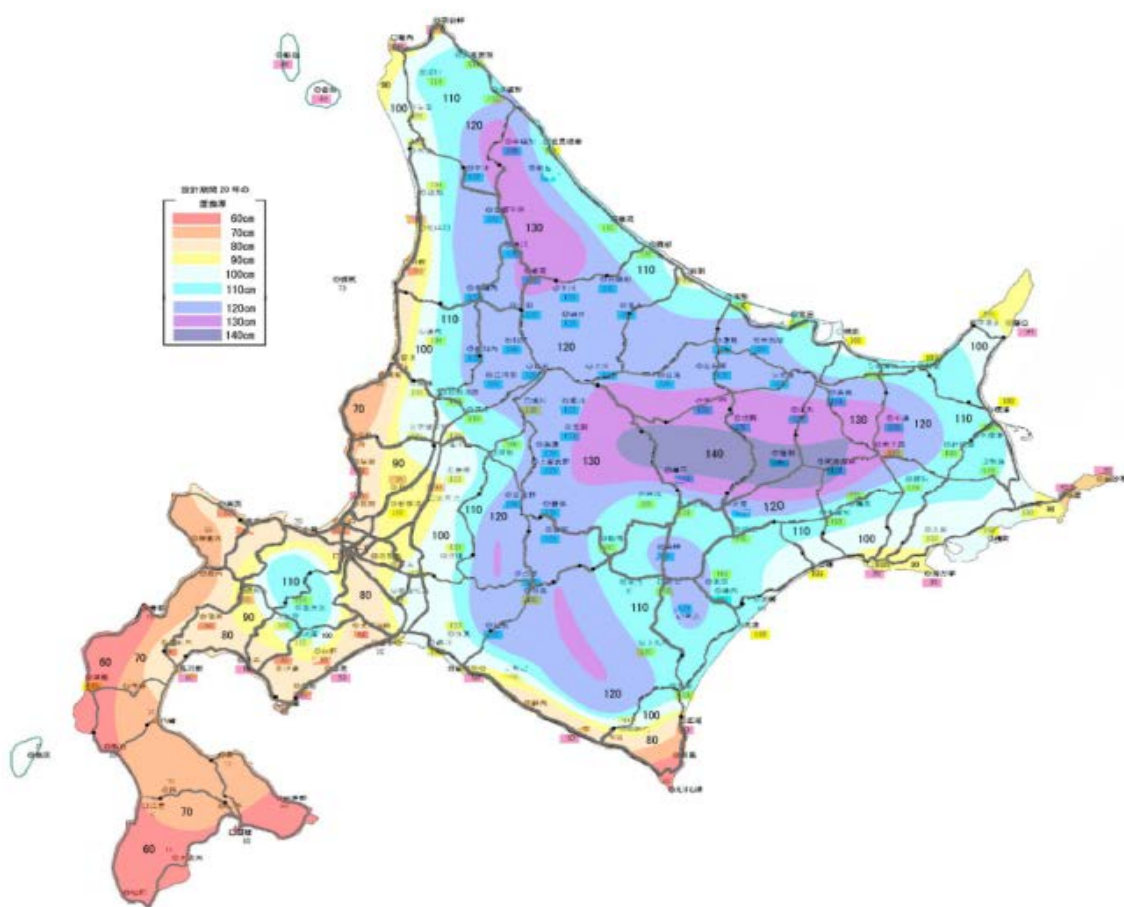
渚滑川の結氷

6. 土の凍結

寒さのために、北海道の土は冬期間凍結する。特に寒さが厳しい道東地域では、降雪が少ないこともあり、凍結深度が深い地域が広く分布している。

これらの地域では、凍上現象により地中で霜柱が成長し地表面を押し上げるために道路や土構造物、建築物等に被害を与える。この被害は、凍結期より融解期に顕著に現れ、4～5月には、地中の霜柱が日射と地熱によって一斉に融け、土が泥ねい化し支持力が低下する。

また、土の凍結期間が長いために、農作物の播種時期がわが国の他の地域よりも遅くなったり、土壌温度が低いために発芽に悪い影響が出るなどの問題もある。



北海道開発局が道路設計で用いる 20 年確率置換厚全道図

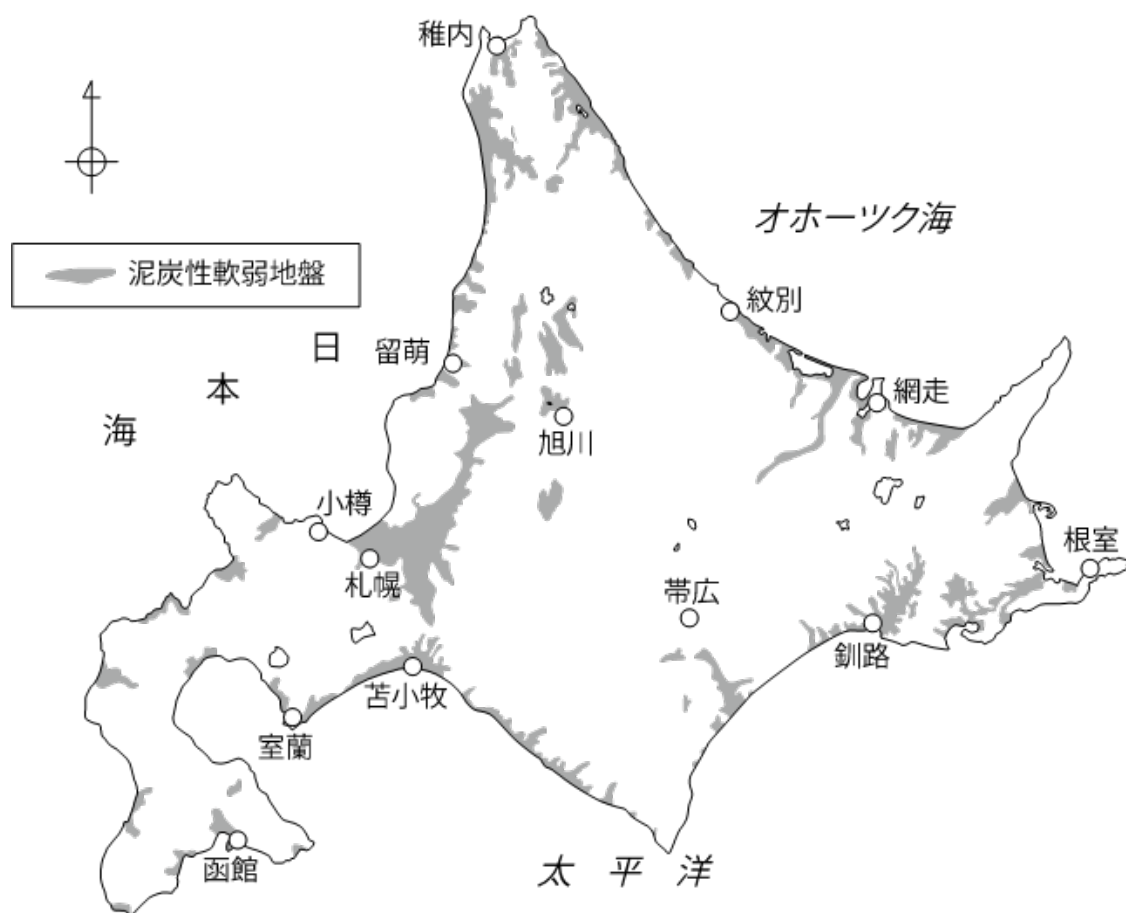
※置換厚：凍上対策として凍上性の路床土を非凍上性材料で置き換えた場合の厚さで、設計期間20年を考慮し、20年確率凍結指数から置換率を70%として算出された深さ

出典：北海道開発局 道路設計要領

7. 泥炭地の分布

本州ではほとんど見られない水分を多く含んだ軟弱な泥炭地が、北海道の平野部に広く分布している。これは、枯れた植物が十分に分解されず、約1万年にわたって堆積してできたもので、積雪寒冷地ならではの特殊な土壌である。地盤沈下が起こりやすく、道路や農耕地の陥没などの現象が発生する。

北海道の泥炭地の総面積は、約20万haといわれている。泥炭は圧縮性が高く、有機物含有量が極めて大きく、せん断強さは小さい。また、諸性質に関する顕著な異方性があるなどの工学的特徴を持ち、沈下量が大きく土木構造物の建設にとって問題となることが多い。



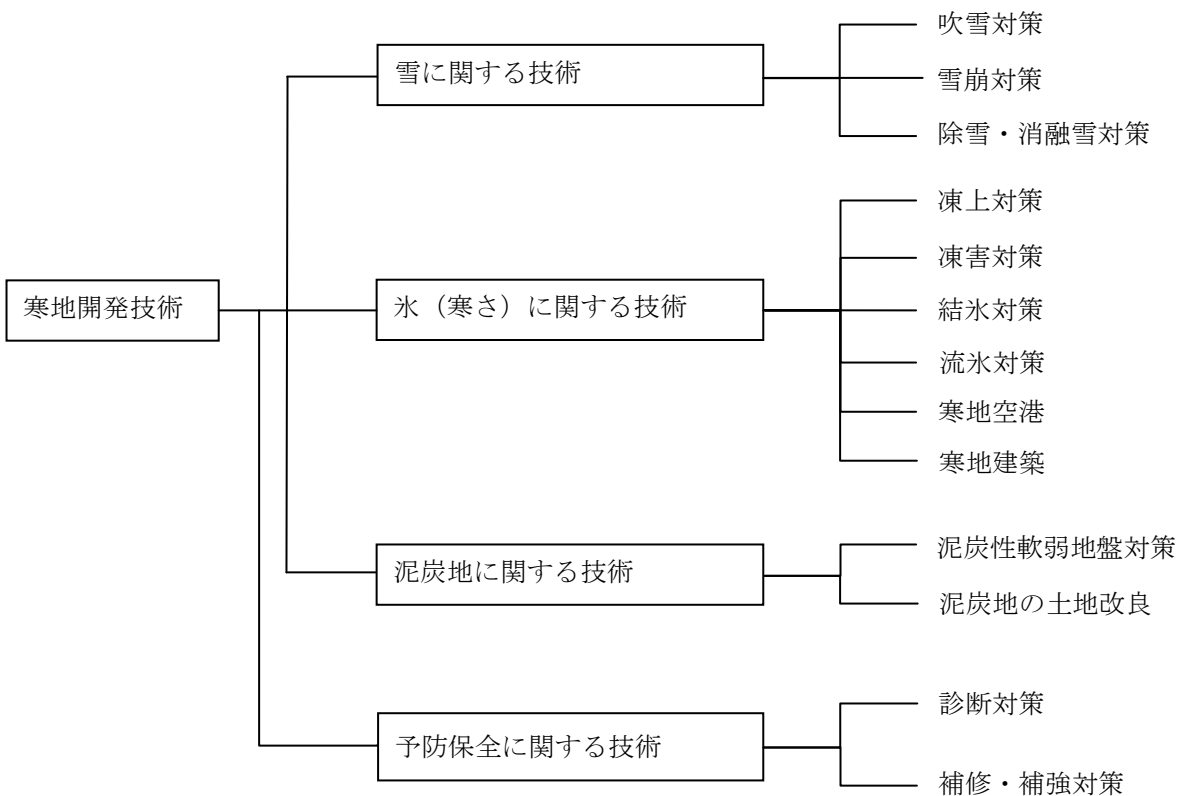
北海道における泥炭軟弱地盤分布図

出典：独立行政法人土木研究所寒地土木研究所

第2章 北海道発の寒地開発技術

1. 寒地開発技術の概要

積雪寒冷な気候による雪や寒さなどによる様々な障害や被害は、北海道における暮らしの安全・安心の確保や経済活動の維持に対して影響を及ぼす大きな課題となっている。北海道開発局と独立行政法人土木研究所寒地土木研究所は、社会基盤整備や維持管理を行う中で、これらの課題へ対処するための技術開発と研究を続け、事業や工事の中で活用・研鑽しながら、技術の蓄積・向上を進めている。

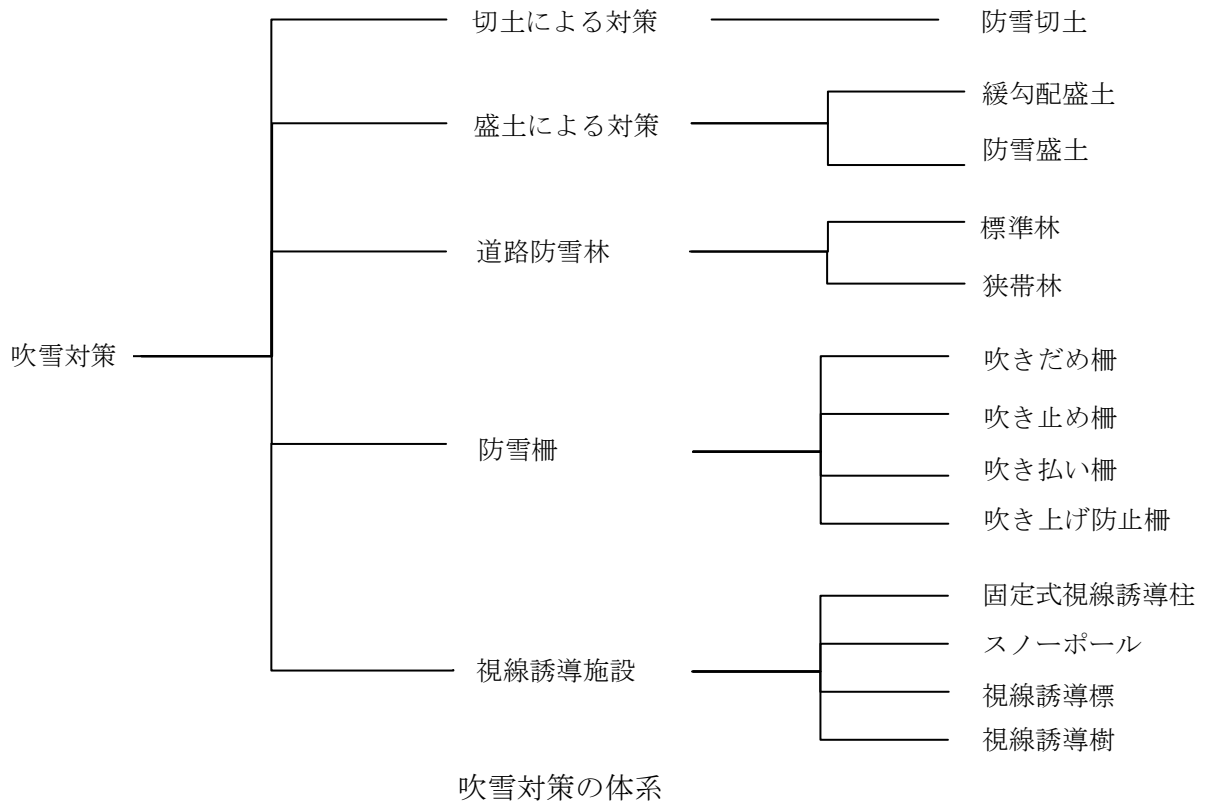


寒地開発技術の体系

2 雪に関する技術

2-1 吹雪対策

北海道の冬期道路では、降雪、吹雪による吹きだまりや視程障害によって、通行止めや交通事故などが発生しており、吹雪が冬期道路に与える影響は大きい。このため、北海道の道路では道路防雪林、防雪柵、視線誘導施設などの道路吹雪対策施設の整備が進められている。



国道の視程障害状況



吹雪による吹きだまり状況



吹雪による交通事故

(1) 切土による対策

切土区間において、風上側の法面勾配を1:3.0より緩い勾配とし、さらに路側雪堤の高さを低く抑えられるよう堆雪スペースを設け、切土斜面上に安定した雪庇や吹きだまりを形成させる道路構造。

(2) 盛土による対策

盛土により路面に吹きだまりが形成されにくくし、路側雪堤を低く抑えることにより雪堤からの視程障害を防止するのを目的とした道路構造。

(3) 道路防雪林

林帯が持つ防風能力により、林帯内や林周辺に飛雪を補足して道路上の吹きだまりを防止したり、道路上の視程障害の緩和を図ることを目的とした施設。林帯幅10m以上を標準防雪林といい、10m未満を狭帯林という。

(4) 防雪柵

鋼板等の材料で作られた防雪板を用いて柵前後(風上、風下)の風速や風の流れを制御し、飛雪を吹きだめたり吹き払うことによって、道路の吹きだまり防止や視程障害の緩和を図ることを目的とした防雪施設。

(5) 視線誘導施設

路側や道路線形の視認性を高めることによって、ドライバーの視線誘導や除排雪作業の安全性・効率性確保のための吹雪対策施設。

出典：(独) 土木研究所寒地土木研究所
「吹雪対策マニュアルより」(平成23年3月)



防雪柵 (吹き払い柵)



防雪林

2-2 雪崩対策

「雪崩」は斜面に積もった雪が重力によって、谷側に向かって崩れ落ちる現象である。雪崩が道路や人家に被害を与えることを防ぐため、各種の雪崩対策が必要となっている。

雪崩対策工は、雪崩予防工と雪崩防護工の2種類に分けることができる。雪崩予防工は、雪崩の発生を未然に防止するものであり、斜面に積もった雪を移動させない方法と、雪崩の主要な要因となる雪庇を形成させない方法とがある。雪崩防護工は、発生した雪崩から道路や家を防護する方法である。

地形及び気象条件を考慮しながら各種の工法を検討し、単独もしくは複数の工法を組み合わせた雪崩対策が進められている。



雪崩対策工の体系

出典：(独) 土木研究所寒地土木研究所
「北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料 (案)」 (平成22年3月) より



国道における雪崩

主な雪崩対策工とその概要

(1) 吊柵

柵構造物によって雪崩の発生を未然に防ぐ工法。全層及び表層雪崩対策に用いられる。



吊柵

(2) スノーシェッド

道路が雪崩の走路を横切る場合において、道路上に屋根を設置し、雪崩を通過させることを目的とした工法。



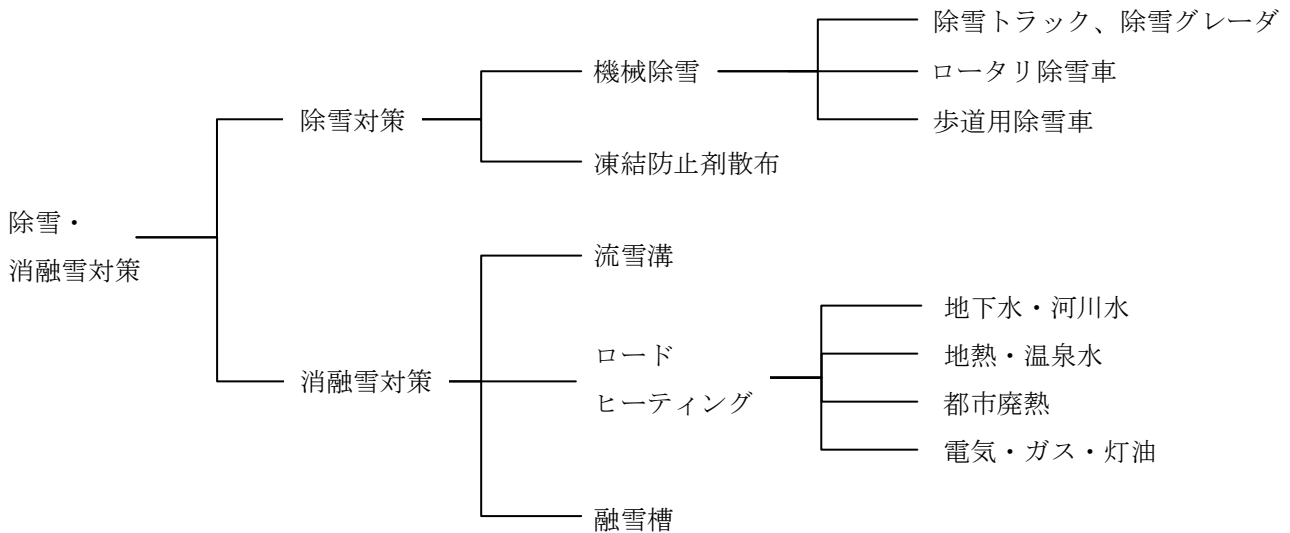
スノーシェッド

出典：(独) 土木研究所寒地土木研究所
「北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料(案)」(平成22年3月)より

2-3 除雪・消融雪対策

除雪対策は、除雪機械を使って道路の雪を排除する対策である。除雪工法によって機械を単独または組み合わせで使用。北海道開発局では、北海道に適した除雪機械や効率的な除雪作業のシステム開発を行っている。

消融雪対策は機械除雪に比べ、一般的に完全無雪化を図るなど水準の高い除排雪が可能であるが、一方で設備費やランニングコストが高く、設置条件に制約も多い。主なものに、流雪溝、ロードヒーティング、融雪槽等があるが、流雪溝は人力で投入口から投雪する必要があり沿道住民の協力体制が重要である。



除雪・消融雪対策の体系

(1) 除雪機械・凍結防止剤散布

機械除雪はスノープラウやスノーブレードを装備した除雪トラックと除雪グレーダ、更にロータリ除雪車などの機械を使用して行う。北海道開発局では、歩道用小型除雪車、凍結防止剤散布車などを組み合わせて、北海道の地域特性にあった効率的な除雪事業を進めている。



市街地における機械除雪（除雪グレーダ）



郊外部の機械除雪（除雪トラック）



歩道部の除雪



凍結防止剤の機械散布

(2) 流雪溝・融雪槽

流雪溝は水の力を利用して、雪を輸送するシステムである。河川などからポンプなどの動力または自然取水して、道路沿いに設けられた流雪溝に通水する。流雪溝は地域住民が人力による投雪を行うものであり、投雪された雪は、流水とともに河川まで移動処理される。流雪溝用の水源としては、河川水、下水処理水、工場排水、海水などが利用される。

融雪槽は槽内で熱を用いて雪を溶かす技術である。主な熱源は温水や電気、化石燃料などだが、近年は廃熱やヒートポンプなどを活用する例もある。



流雪溝への投雪

(3) ロードヒーティング

ロードヒーティングは路面温度を上昇させて雪や氷を融解するシステムである。設置場所としては急な坂道や急カーブ、交差点などである。使用する熱源によってシステムは異なるが、一般的なものは電熱線を加熱する方法で使用実績が多く、適用範囲も広い。



ロードヒーティング

3 氷（寒さ）に関する技術

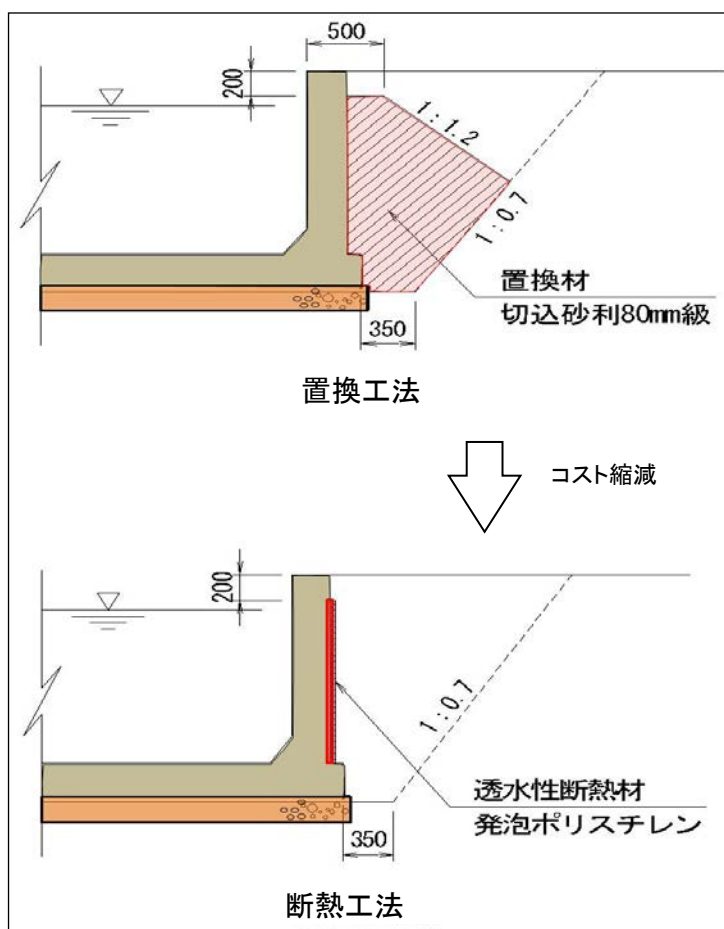
3-1 凍上対策

凍上は地中の氷のかたまりが発生成長することによって起こる現象である。この凍上によって、地盤が持ち上げられたり、沈下したりするため、道路、農業用用水路、滑走路、建築基礎のような土木構造物に被害が発生する。

現在まで様々な凍上対策が試験されてきたが、北海道では置換工法が一般的である。また現場条件に応じ断熱工法を採用し、コスト縮減を図るケースもある。



凍上による舗装のひび割れ



農業用用水路における凍害対策工法

3-2 凍害対策

コンクリートの凍害は、コンクリート中の水分の凍結や凍結融解作用の繰り返しによってコンクリートが劣化する現象である。このため、積雪寒冷地におけるコンクリート構造物は温暖な地域に比べて劣化の進行が早くなる。特に橋梁では、疲労も加わることで床版が抜け落ちて一般車両の通行に支障が出ることもある。また、海水や凍結防止剤の塩分との複合劣化により、地覆等が著しくスケーリングを起こすこともある。

このような現象への対策として、コンクリートの高性能化、防水床版、表面含浸材等によるコンクリートの保護や耐凍害性の高い材料等を用いた既設構造物への補修などがある。



スケーリングが起きた地覆

3-3 結氷対策

北海道の河川や湖沼では結氷する事があり、河川管理の基礎となる流量の把握が困難となったり、着氷による取水施設等の操作に支障をきたすことがある。また、結氷期に降雨・融雪による増水や津波の来襲があると、割れた河川の氷が流水と共に流され、橋梁や狭窄部で氷が詰まり水かさが増すアイスジャムや、橋脚や水門への衝突などの被害が発生する事がある。

これまでに、結氷時の流量観測や氷板厚予測の技術が開発されている。また、取水施設に対する結氷対策としては、エアバブルなどがある



河川における結氷

3-4 流水対策

北海道のオホーツク海沿岸では流氷の接近により、海洋構造物やパイプライン・ケーブル等を破損したり海岸浸食が起こる場合がある。また、サロマ湖などオホーツク海に面する汽水湖では、流氷の流入により湖内にある養殖施設や漁船などが被害を受けることが多く、流氷の流入対策を行っている。



サロマ湖漁港流氷流入防止施設

3-5 寒地空港

積雪寒冷地空港では、航空機に付着した雪や氷の除去及び付着防止のため防除雪氷剤散布作業(デアイシング)を離陸前に行う必要があり、ターミナルビル前面のエプロンで作業しているが、降雪等の影響で離陸待ちが発生すると薬剤効果が時間切れとなり、再びエプロンに引き返し再デアイシングを行うため、大幅な遅延やエプロンの混雑を引き起こしている。この解消として、デアイシング専用のエプロンを整備し遅延の対策を行っている。



空港における雪氷除去作業

3-6 寒地建築

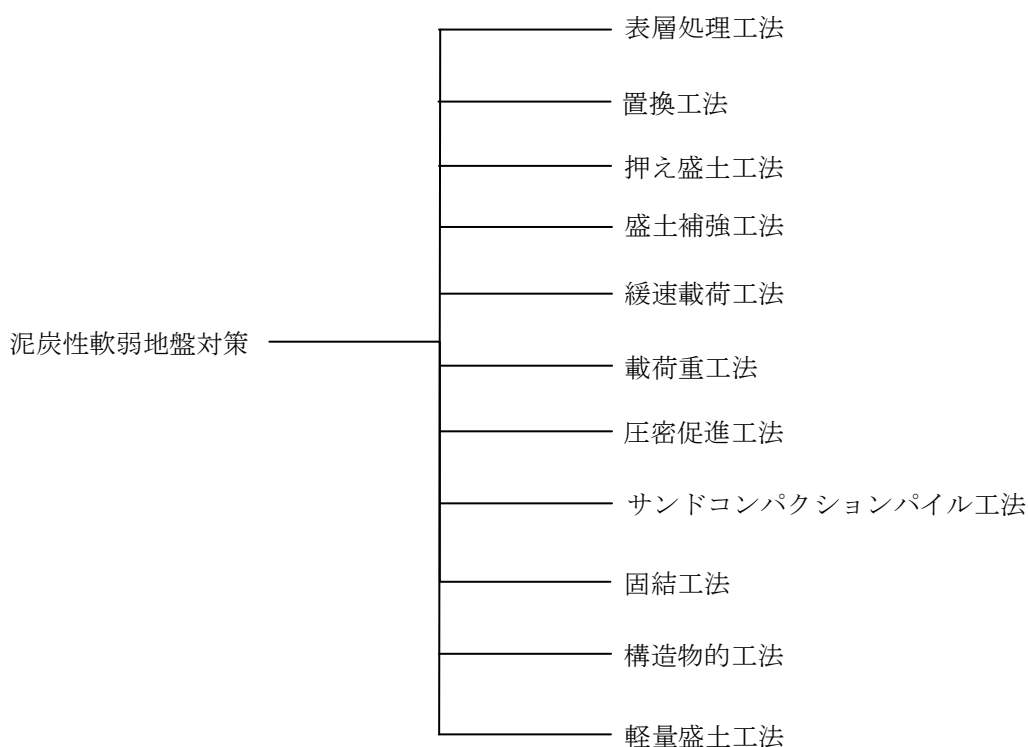
外断熱工法は、建築物の構造体の外部を断熱材で覆うことで、高断熱化が可能になるとともに、ヒートブリッジによる熱のロスを防ぎ、エネルギーの有効利用と安定した室内環境が図られ、加えて構造体の長寿命化や結露防止が期待できる工法である。

4 泥炭地に関する技術

4-1 泥炭性軟弱地盤対策

泥炭性軟弱地盤に構築される土木構造物については、有害な沈下が生じると予想される
とき、あるいは基礎地盤にすべり破壊可能性がある場合に、様々な対策を実施している。

対策工に求められる条件は多岐に渡るが、泥炭性軟弱地盤に関する地質調査を踏まえて、
工事の規模、施工の難易、工期及び経済性なども考慮するほか、施工機械・交通車両によ
る地盤振動などの環境対策を考慮した各工法の特徴を十分認識して、最も現地条件に合致
した対策工を選定しなければならない。



泥炭性軟弱地盤対策工の体系

(独) 土木研究所寒地土木研究所「泥炭性軟弱対策工マニュアル」より



泥炭性軟弱地盤における長期沈下



圧密促進工法

真空圧密工法（気密シート）



圧密促進工法

真空圧密工法（キャップ付き）



圧密促進工法

敷き金網併用プラスチックドレーン工法



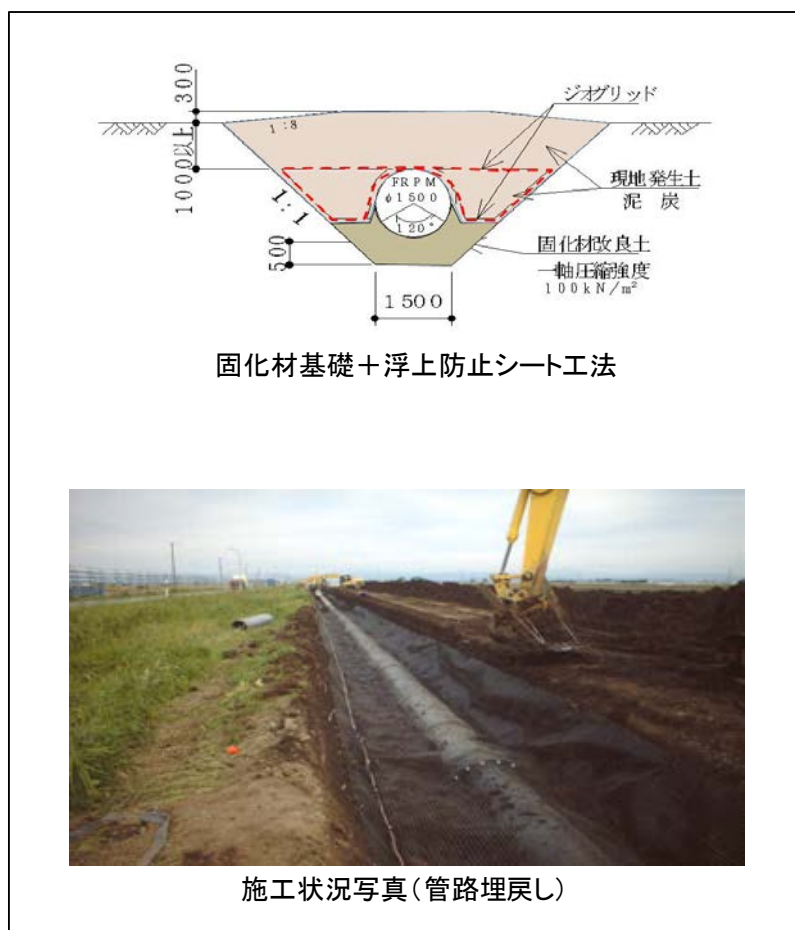
固結工法

中層混合処理工法（トレンチャー方式）

4-2 泥炭地の土地改良

泥炭などの軟弱地盤帯において大口径パイプライン工事を実施する場合、現地盤と管材の単位体積重量の格差から管路は容易に沈下し、浮上に対しては、埋戻し土の重量のみを期待した対策を施すと、土被りが大きくなり、施工性の低下や工事費の増嵩を招くため、軟弱地盤帯でパイプラインを設置する場合は、沈下、浮上の両方を考慮した設計が重要である。

近年実施されている対策工法としては、現地発生土にセメント系固化材を混合した改良土を基礎（120° 支承）とし、浮上防止対策として固化材基礎上面から管頂部までの埋戻し土を浮上防止シートで巻き込む「固化材基礎＋浮上防止シート工法」がある。



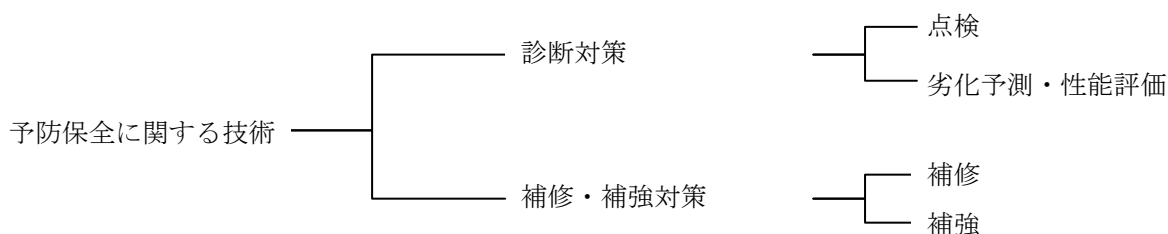
農業用管水路における沈下・浮上対策

5 寒冷地における社会資本ストックの予防保全に関する技術

高度経済成長時代に集中投資した社会資本は高齢化が進行しており、老朽化に伴う事故や災害等が懸念されるとともに、維持管理費・更新費が急増することが予想される。このような状況において、劣化や損傷が深刻化してから大規模な対策を施す従前の事後保全型では適切な維持管理を続けることが困難となる恐れがある。

既存の社会資本ストックを有効に利用していくためには、点検から補修補強に至るまでの維持管理を高度化し、早期発見・早期対策によって、それらの機能・安全性を確保すると共に、LCCの最小化、長寿命化を図る予防保全への取組が必要となっている。

また、北海道では積雪寒冷地の過酷な気象条件における凍害劣化や結氷による被害、広範囲に分布する泥炭性軟弱地盤等の地盤沈下による被害など独自の課題が存在することから、社会資本ストックの維持管理にあたっては、これらを考慮しなければならない。



予防保全に関する技術の体系

5-1 診断対策

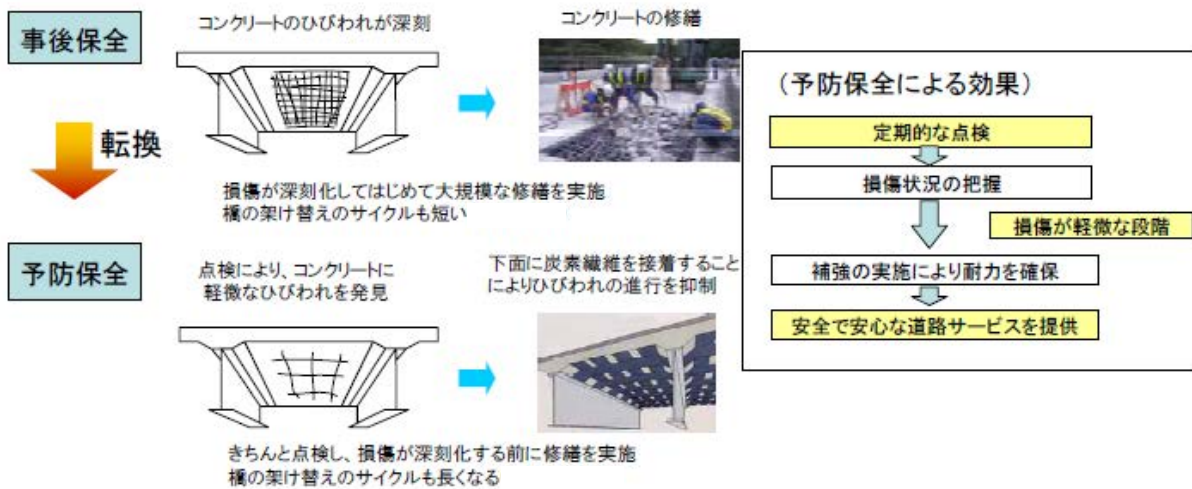
土木構造物の劣化や損傷など、その状態を把握するための構造物点検を計画的に実施し、点検結果を蓄積・分析して劣化予測を行い、性能を評価することによって効果的な補修、補強、更新に繋げることが不可欠である。



橋梁点検

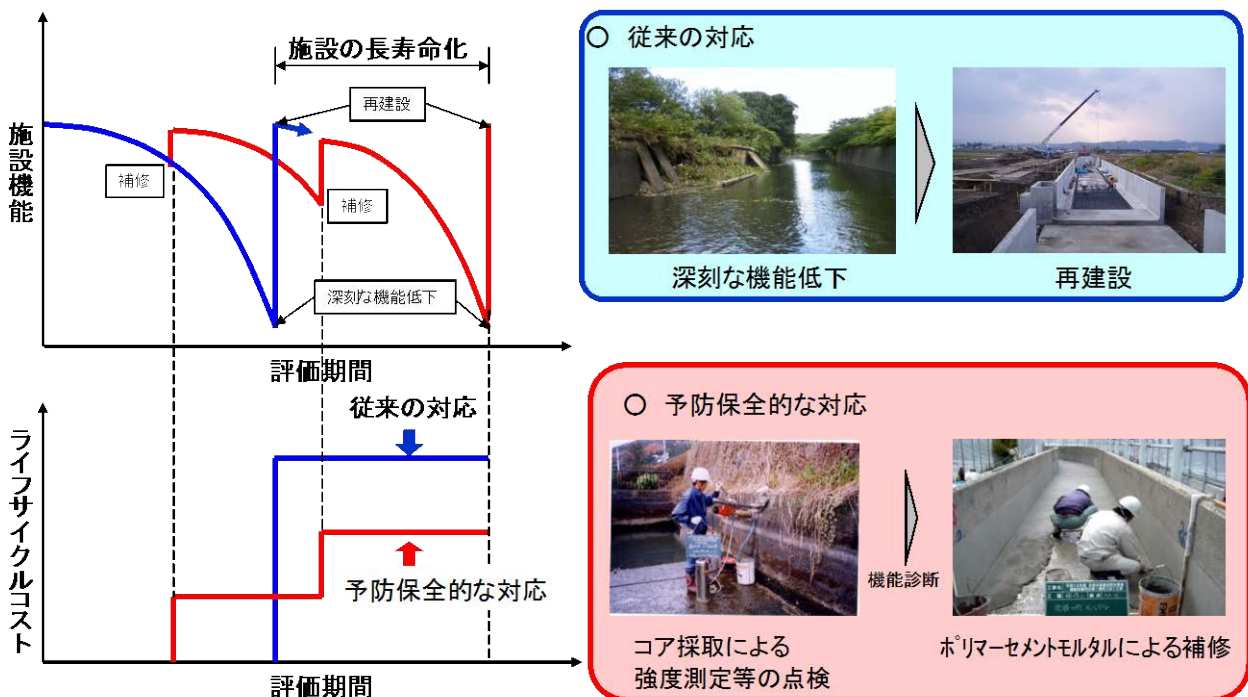
5-2 補修・補強対策

維持管理費が削減されている中、計画的な補修や補強の実施は施設の長寿命化のためのアセットマネジメントには必要不可欠である。このためには、点検および劣化予測や性能の評価により、施設が深刻な劣化に至る前に補修あるいは補強を行うなどを判定し、効果的な対策を実施することが必要である。



道路橋における予防保全

出典：国土交通省「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」資料



農業水利施設における予防保全