

下枝の枯れ上がりが見られる
防雪林の管理手法に関する技術資料(案)

令和 5 年 3 月



国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

目 次

第1章	総 則.....	1-1
1.	目的.....	1-1
2.	適用範囲.....	1-2
3.	本技術資料(案)の構成.....	1-3
第2章	防雪林の防雪機能の評価.....	2-1
1.	下枝の枯れ上がりと防雪機能.....	2-1
1-1	防雪林の成長と防雪機能.....	2-1
1-2	下枝の枯れ上がりと機能低下.....	2-2
1-3	機能低下が懸念される防雪林.....	2-3
2.	防雪林の機能評価.....	2-5
2-1	評価の概要.....	2-5
2-2	防雪林風上の風速の推定.....	2-7
2-3	林縁、林内の現地樹木調査.....	2-9
2-4	防雪機能の評価.....	2-11
2-5	空隙率の調査.....	2-15
第3章	管理手法の検討.....	3-1
1.	検討の概要.....	3-1
2.	管理方法の選定.....	3-2
3.	補助柵設置による機能低下対策.....	3-4
4.	間引きによる機能低下抑制.....	3-6

参考文献

資料編

第1章 総 則

1. 目的

本技術資料(案)は、下枝の枯れ上がりが見られる道路防雪林の管理が適切に為されるように、補助工法を含めた防雪性能発揮のための管理手法に必要な技術的事項についてまとめたものである。

本技術資料(案)は、下枝の枯れ上がりが見られる道路防雪林（以下、防雪林という）の管理が適切に為されるために、補助工法を含めた防雪性能発揮のための管理手法に必要な技術的事項についてまとめたものである。

防雪林とは、道路の風上側（または両側）に樹木を設置し、風を遮り飛雪を捕捉することによって、吹雪による視程障害や吹きだまりの発生を防止または緩和する防雪施設と定義する。

本技術資料(案)では、近年報告が多い間引き遅れによる下枝の枯れ上がりにより防雪性能の低下が懸念される事例に着目し、その対策のために必要な技術的事項を記載した。これ以外の課題については、今後の本技術資料(案)の改訂により追加していくこととしたい。

2. 適用範囲

本技術資料(案)は、北海道開発局が整備する防雪林のうち、標準林の下枝の枯れ上がり対策として、補助柵の設置判断や、間引きを検討するための管理手法に適用し、「道路吹雪対策マニュアル」を補完する技術資料である。

本技術資料(案)は、北海道開発局が整備する防雪林のうち、標準林の下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関して、「道路吹雪対策マニュアル」を補完するものである。

防雪林に関する基礎的事項については、以下に示す関連図書を併せて参照されたい。

- ・「道路吹雪対策マニュアル」
- ・「2005除雪・防雪ハンドブック（防雪編）」

3. 本技術資料(案)の構成

本技術資料(案)は、防雪林の防雪機能の評価のためのデータ取得を目的とした「2章 防雪林の防雪機能の評価」と、防雪林の防雪機能を評価し管理手法について検討する「3章 管理手法の検討」で構成される。

本技術資料(案)の構成の構成を、表1-3-1に示す。

表1-3-1 本技術資料(案)の構成

技術資料案の構成	内容
第1章 総則	
1. 目的	・本資料の目的を提示
2. 適用範囲	・北海道開発局が整備する防雪林のうち、標準林の下枝枯れ上がりの対策として、補助対策工（ネット柵）の設置判断や、間引きを検討するための資料とすることを提示
3. 本技術資料案の構成	・本資料の構成を提示
第2章 防雪林の防雪機能の評価	
1. 下枝の枯れ上がりと防雪機能	
1-1. 防雪林の成長と防雪機能	・樹木の成長に従って防雪機能が変化する概念を解説
1-2. 下枝の枯れ上がりと機能低下	・下枝の枯れ上がりに伴う機能低下を解説
1-3. 機能低下が懸念される防雪林	・以降の調査の必要性を判断するため、機能低下が懸念される防雪林の見分け方を解説
2. 防雪林の機能評価	
2-1. 評価の概要	・調査および評価の概念や流れを解説
2-2. 防雪林風上側の風速の設定	・道路上の風速推定に向け、気象観測・資料収集によって得たデータを解析することによって防雪林の風上側風速を設定する方法を提示
2-3. 林縁、林内の現地樹木調査	・防雪林の状態（枯れ上がり等）の状況を把握するための、樹木の現地調査の方法を提示
2-4. 防雪機能の評価	・前項までの調査結果に基づき、防雪機能を評価する方法を提示（空隙率・風速を用いた定量的な評価、現地樹木調査結果による原因の考察）
2-5. 空隙率の調査	・道路上の風速推定に向け、空隙率を調査する方法を提示 ・簡易に空隙率を把握できるよう、ビデオカメラで撮影した映像等からの算出を想定。
第3章 管理手法の検討	
1. 検討の概要	・管理手法の検討の概要や流れを解説
2. 管理手法の選定	・前項で評価した防雪機能や、現地樹木調査結果より、管理手法を選定する方法を提示
3. 補助柵設置による機能低下対策	・柵の配置、高さの考え方や、検討の考え方を解説
4. 間引きによる機能低下抑制	・間引きの考え方や例を解説
参考文献	
資料編	
・検討の実施例	・一般国道40号 天塩町 雄信内防雪林、一般国道238号 浜頓別町 山軽防雪林を対象に実施した防雪機能の評価および管理手法の検討例を提示
・補助柵の併設例	・一般国道40号 天塩町 雄信内防雪林で実施した補助柵の併設方法と留意点、図面例、設計計算例、関連資料を提示

第2章 防雪林の防雪機能の評価

1. 下枝の枯れ上がりと防雪機能

1-1 防雪林の成長と防雪機能

「生き物」を利用した防雪施設である防雪林は、樹木の成長とともに形状が変化するため防雪機能にも大きな影響を与える。

防雪林は一般的に樹高1.0m以下の苗木サイズの常緑針葉樹が植栽されるために、植栽当初防雪機能は0または非常に小さい状態である。その後成長とともに道路の風上側の障害物としての数値が大きくなり、それに伴って防雪機能も高まる。図1-1-1に時間とともに変化する常緑針葉樹の形態を模式的に示した。

植栽後年数を経るとともに樹高は大きくなり、一方成長に不要となった下枝は枯れ上がっていく（枯れ上がりのメカニズムについては本節の最後で説明する）。

これは樹林の下部に風が吹き抜ける空間が生じることを意味している。また樹林として見ると、樹冠が閉鎖した林帯では、葉量はある時期に最大となり、それ以降はやや減少し一定の値に近づく。樹高成長とともに樹冠長（葉が着いている部分の長さ）も大きくなることから、成長するにしたがって単位空間あたりの葉の量は少なくなる。

これらのことから、道路防雪林はある一定の林齢（植栽してからの年数）までは防雪機能が向上していくが、

- 下枝の枯れ上がりによって林内を風が吹き抜ける空間が発生すること
- 葉の空間密度がある時点を最大にその後成長とともに小さくなる（障害物が少なくなる）こと

により防雪機能も低下していくと推定される。樹高が林齢と関係するとして、林齢と機能の関係を図1-1-2にイメージとして示す。

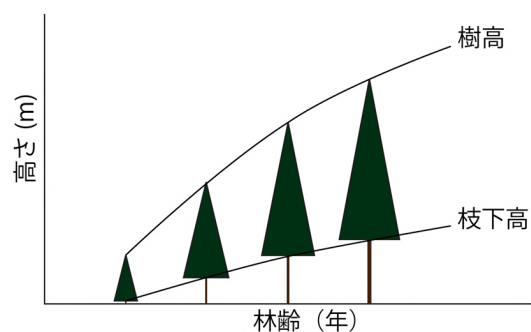


図1-1-1 樹高成長のイメージ図

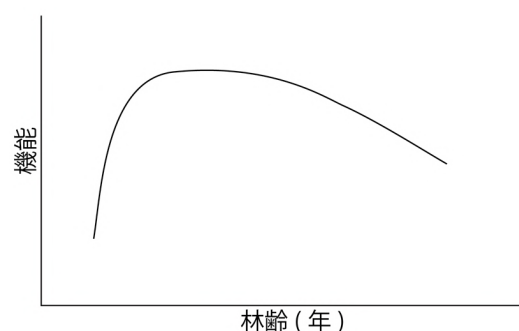


図1-1-2 林齢と防雪機能の関係イメージ図

1-2 下枝の枯れ上がりと機能低下

樹高成長による下枝の枯れ上がりは、吹雪時の障害物としての葉量が減少するだけでなく、防雪林帯下部に風が吹き抜ける領域を発生させるために吹雪が「吹き抜ける」現象が起きる可能性がある。これは防雪林の機能低下を意味し、道路上では視程障害や吹きだまりの生成などが生じる。

防雪林の樹高別の風速比の関係をみると、ある樹高までは成長とともに風速比が低下していくが、一定の成長をとげた防雪林では、樹高が風速比に与える影響が小さくなっている。むしろある樹高を超えると、風速比は高くなる傾向もある。これは先に述べたように、樹高成長とともに下枝の枯れ上がりが生じて枝葉の下を通り抜ける風が増加するためと考えられている¹⁾。

下枝の枯れ上がりのメカニズムについてはP.2-4に後述するが、一般には葉の寿命と陽光不足、さらに樹林では隣接する樹木同士の枝が触れあって枝の頂芽を損傷するために、枝の伸長が停止することが多い。

このために、樹形を断面で見ると、生長した枝で着葉していない部分がくさび形に上の方に伸びているかのような形状となる。図1-2-1の下の図のような形状である。

一方林縁部は枝先の接触がないために着葉部は伸長が続く。図1-2-1の上図のように両側の枝が垂れ下がったような形状となる。両袖の部分は、吹き抜けが生じる際の障害物となるため、防雪機能上有効な形状である。

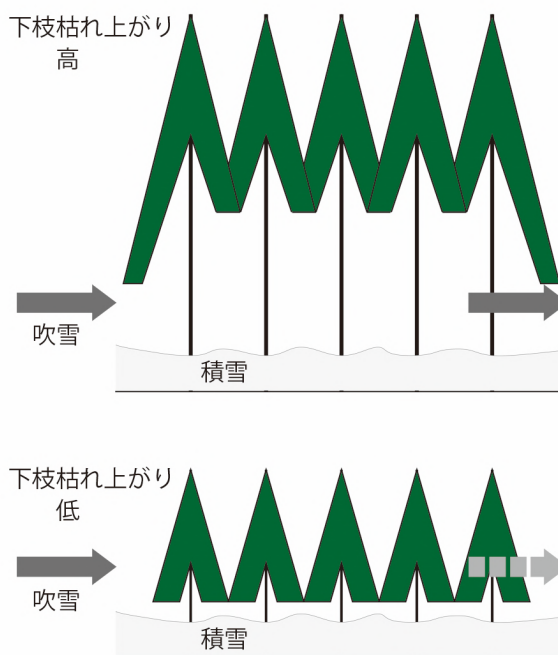


図1-2-1 樹高・樹形と防雪機能関係のイメージ図

1-3 機能低下が懸念される防雪林

ある一定林齢に達すると樹冠が閉鎖し、下枝の枯れ上がりが始まる。巡視によりこのときの状況を把握し、間引き等の枯れ上がり緩和対策を講じる。

下枝の枯れ上がりは、樹冠が閉鎖したときから始まる。道路吹雪対策マニュアルの苗木間隔であれば、樹冠の直径が2.0mになったところからである。

これまでの植栽実績から、表1-3-1に示す樹種では、概ね樹高6.0mのときには樹冠直径が2.0mとなることが知られている。ただし、植栽樹種によって、これらの大きさまでに達する年数は異なる。

表1-3-1に示す樹種別の樹冠閉鎖・所定の樹高に達するまでの年数を目安に巡視を行って、枯れ上がり状況を確認することが重要であるⁱⁱ。

下枝の枯れ上がりの高さや風速比について、風洞実験の結果ではあるが、図1-3-1のような結果が得られている。概ね樹高の1/4が枯れ上がると風速比は上昇、1/2になると風速比0.8程度まで上昇したⁱⁱⁱ。

巡視時には樹高と下枝の高さの関係を確認し、何らかの対策が必要か否かを検討することも必要となる。

なお、これは風洞実験の結果であるので、枝下高0を積雪深の平均値の高さと考えてよい。

表1-3-1 樹冠閉鎖時期と下枝枯れ上がり開始時期（目安）⁶

樹種名	樹冠閉鎖時期	枯れ上がり開始時期
	植栽からの年数(年)	植栽からの年数(年)
アカエゾマツ	20	18
ヨーロッパトウヒ	10	12
トドマツ	15	18

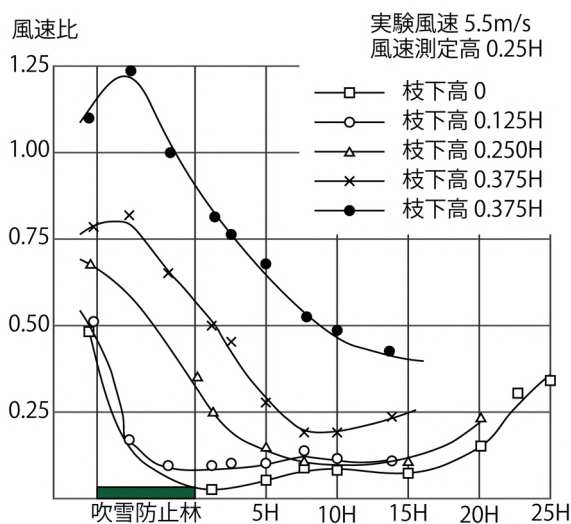


図1-3-1 枝下高の影響

■下枝の枯れ上がりのメカニズム■

枝が枯れてしまい、それが順次樹木の下方から上方に向かって順次進んでいくことを「下枝の枯れ上がり」という。

常緑針葉樹の葉は、「常緑」とはいつても落葉しないわけではない。落葉広葉樹のように毎年葉を落とさないが、葉には寿命がある。常緑針葉樹の葉の光合成能力は2年生葉が最大値を示し^{iv}、その後次第に能力は低下し、やがて落葉する。

樹種によって葉の寿命は異なり、エゾマツやヨーロッパトウヒは最大で7年程度の寿命^vであるのに対し、アカエゾマツは10年以上の生存が確認されている^{vi}。

仮に周囲に競合する樹木がない孤立した常緑針葉樹でも、発生してから7～10年以上経った枝の幹の付け根付近の葉は落葉していく。

樹林として群状に生育している場合には、枝が隣同士の樹木と触れ合って枝先の頂芽が損傷し枯れてしまう（図1-4-1の左）。

その場合は頂芽の枯死だけではなく、陽光不足により葉が衰弱して落葉してしまう。結果として、葉の寿命よりも前に落葉してしまい、下枝の枯れ上がりをより助長することになる。

常緑針葉樹は、一度落葉した場所から再び芽がでて葉が回復することはない。

図1-4-2に、枝の伸長データを解析し成長過程と下枝の枯れ上がりを推定したものを示す。列間1.5m、苗間3.0mの千鳥植え状態からサンプリングしたものである。

- 間引きは実施されているが、その時期については不明。密植状態なので枝張の最大値は隣接木との関係で制限され、3.0mを越えることはない。
- 植栽後15年程度から枯れ上がりが始まり、17年後には枝の樹幹近くが枯れくさび形を示すようになった。
- 植栽後24年後には枯れ上がり率は50%程度となった。

仮に植栽後15年程度で1本置きに間引きを実施した場合には枝張の伸長を確保することができ、枯れ上がりを抑制できたと考えられる。

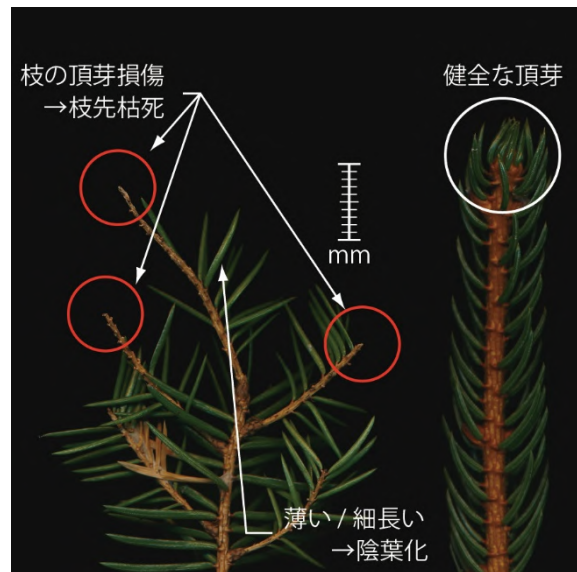


図1-4-1 アカエゾマツの枝が触れ合って損傷した枝先と健全な枝先

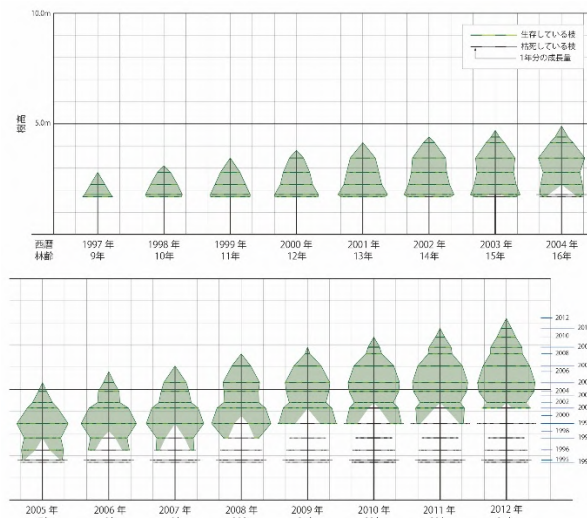


図1-4-2 アカエゾマツの成長と下枝の枯れ上がりの過程（山軽防雪林）

2. 防雪林の機能評価

2-1 評価の概要

防雪林が植栽された道路の吹雪障害は、気象条件や防雪林の状態によって変化する。本技術資料(案)では気象条件と防雪林の状態から推測した吹雪発生状況より、防雪林の防雪機能を評価する。

防雪林は、風を弱めることにより、吹雪によって風上から運ばれてきた雪を林帯内や林帯周辺に堆雪させ、道路上の吹きだまり形成を防止する機能や視程障害の緩和の機能が期待される施設である。

なお、防雪林に期待されるその他の機能として、視線誘導効果および道路吹雪対策マニュアルに示される二次的機能があるが、十分なデータがなく検討できないため本技術資料(案)では対象としない。

本技術資料(案)では道路上の吹雪発生を推定することで、防雪林の防雪機能を評価する。吹雪は降雪中の雪や積雪が強風によって空中に舞い上げられる現象で、強風を動力源として発生・発達するため、本技術資料(案)では道路上の風速から吹雪の発生を推定し、防雪機能を評価する。

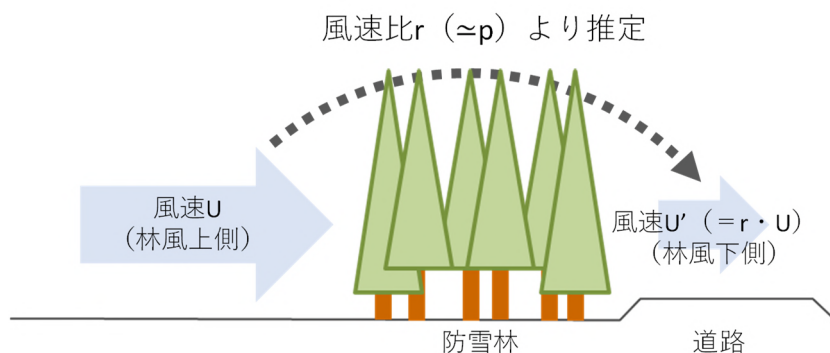


図2-1-1 防雪林風下側の風速推定のイメージ

防雪林風下側の風速 U' を推測する概念を図2-1-1に示す。防雪林風下側の風速は、防雪林風上側の風速 U と、防雪林の風上側・風下側の風速比 r によって式2-1-1より推測する。

$$U' = r \cdot U \dots\dots\dots (式2-1-1)$$

ここに、 r : 風上側風速に対する風下側風速の比（風速比）。

本技術資料(案)では「2-4防雪機能の評価」に示すように、防雪林の空隙率 p による経験式より風速比 r を算出する手法を提示する。空隙率とは、防雪林の投影面積で表現される枝葉の量を示し、防雪林による減風と関連する指標である。

以上より、防雪林の防雪機能の評価に向けて、防雪林風下側の風速 U' を推測するために、空隙率 p と防雪林風上側の風速 U が必要となり、以下の調査・検討を実施する。

(1) 防雪林風上側の風速の推定

防雪林風上側で想定される風速を、資料の収集や気象観測および統計解析により推定する。

調査した防雪林の空隙率および防雪林風上側の風速より防雪林風下側の風速を推定し、その後道路上の吹雪発生を推測することで、防雪林の防雪機能を評価する。

道路の吹雪発生から防雪機能を評価する方法は、次の2種類が想定される。一つ目は、風が強い場合における吹雪発生から評価する方法、二つ目は吹雪の発生頻度により評価する方法である。

さらに、防雪機能が低下していると評価される場合、以下の調査を実施して機能低下の原因を推定し、第3章にて管理手法を検討する。

(2) 林縁、林内の現地樹木調査

防雪機能低下の原因を推定するため、現地踏査等により樹木の状態を調査する。

(3) 空隙率の調査

防雪林による減風の程度（風速比）を把握するため、ビデオカメラ等で防雪林を撮影し、撮影した映像・画像から空隙率を算出する。

2-2 防雪林風上の風速の推定

防雪機能の評価に向けて、現地での気象観測または資料収集と解析を行い、防雪林風上にて想定される風速や風向・気温を推定する。

ここでは、防雪林風上側の風速を、既存気象観測所の気象データや現地での気象観測を基に推定する。なお、防雪林は長期的な防雪機能が期待される吹雪対策施設であることから、防雪機能の評価を行うために防雪林風上側の長期の風速・気温・風向（時別値）を推定する。

(1) 近傍に既存気象観測所がある場合

防雪林が設置された検討対象の区間が海岸部であり、また既存の気象観測所（気象庁アメダス、開発局テレメータ等）との距離が5km程度を下回る場合は、その観測値を防雪林風上側の風速として利用する。

ただし、既存気象観測所の風向風速計の設置位置の風上側には障害物がない、若しくは障害物があっても気流に影響を及ぼさないような距離が確保されていることに留意する。

(2) 近傍ではないが周辺に複数の既存気象観測所がある場合

(1)以外の場合で、かつ検討対象の区間が平坦地であり周辺に3地点以上の既存気象観測所がある場合は、それらの風速や気温を空間内挿（逆距離加重（IDW）内挿など）することで、防雪林風上における風速や気温・風向を推定する。

ただし、推定に利用する既存気象観測所が山間部・丘陵地などに位置し、検討対象の区間との風速の相関性が低いと考えられる場合は利用しない。

(3) 上記以外の場合

(1)または(2)を除く場合は、対象区間において1冬期の気象観測を行い、周辺の既存気象観測所との回帰分析により、防雪林風上側の長期の風速・気温・風向の推定を行う。

① 気象観測

対象区間を代表する地点や特に気象が厳しいと推測される地点等において、自動気象計器により連続観測を行う。なお、過去に連続観測を実施した資料があれば、新たな観測をせずにその資料を利用する。

以下に観測内容を示す。なお下記に記載がない事項については道路吹雪対策マニュアル第1編資料編資料4「気象雪氷調査法」を参照されたい。

気象要素：風向風速、気温、風向（時別値）

観測期間：1冬期

観測場所：道路防雪林の風上側で、平らな開けた場所に設置した独立した支柱等に測器を設置

観測高さ：風向風速計は3m程度の任意の高さ、気温は想定最大積雪深+1.2m程度の高さ

② 防雪林風上側の長期の風速・気温・風向の推定

防雪林は長期にわたって機能が維持されることが期待されるため、長期的な気象の代表値を用いて、防雪

機能の評価を行うことが望ましい。一方で気象には年変動があるため、①にて観測した1冬期の気象が、長期的な気象を代表するとは限らない。

そこで、①で観測した現地の気象と、別途長期間にわたって観測が継続された既存気象観測所における気象より、回帰分析等により推定式を作成し、現地の長期的な風速・気温・風向（時別値）を推定する。

なお、回帰式の作成は、吹雪時を想定し、現地で気温が氷点下かつ吹雪時の主風向が想定される場合を対象とする。また、既存気象観測所は現地との距離が近い地点を基本とするが、地形等によって現地と気象の相関性が低い場合は不適切であるため、相関性が高い地点を選定するよう留意する。

2-3 林縁、林内の現地樹木調査

防雪林の機能評価を行い、防雪機能向上のために対策を検討する上で防雪林の状態を定量的に把握することが必要である。林帯幅・樹木配置・樹高・枝張・下枝の枯れ上がり高などを調査する。

(1) 既存資料の確認

現地樹木調査に先立ち、道路管理者が保有する該当防雪林に関する設計・施工・維持管理時の資料を確認する。これらにより、林帯幅、樹木の配置、林齢（施工時からの経過年数）、間引きの実施有無、過去の調査時における樹木の情報（樹高・胸高直径）などを把握する。

(2) 調査測線の選定

図2-3-1に示すように防雪林帯の横断方向に一定幅の帯状に調査区画を設定し、その区画内に出現した全樹木を対象に計測等を行う。この調査方法をベルトトランセクト法と呼び、区画をベルトという。

空隙率調査の結果、場所によって明らかに空隙率に差がある場合には空隙率によって対象林帯のゾーニングを行い、ゾーン別に代表する箇所にベルトを設定する。

(3) 調査方法

調査側線を設定し、片側2m、両側4mの範囲をベルトとする（図2-3-1）。

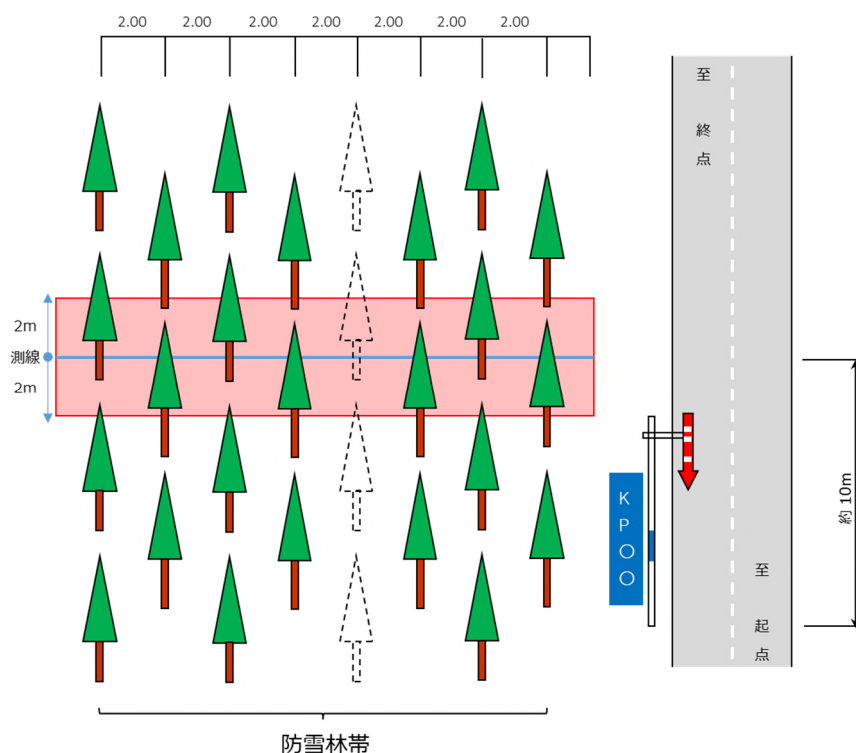


図2-3-1 調査測線の選定（青線）およびベルトトランセクト法による調査範囲（赤枠内）のイメージ

樹種名を記載し、樹木の樹高、生枝高（枝下高；4方向）、枝張（4方向）、地盤から1.3m高さ（本州以南では1.2m）の胸高直径または幹周を計測する¹（図2-3-2）。このほか、下枝の枯れ上がりの有無や下枝の隣の枝との干渉の有無を記録する（表2-3-1）。

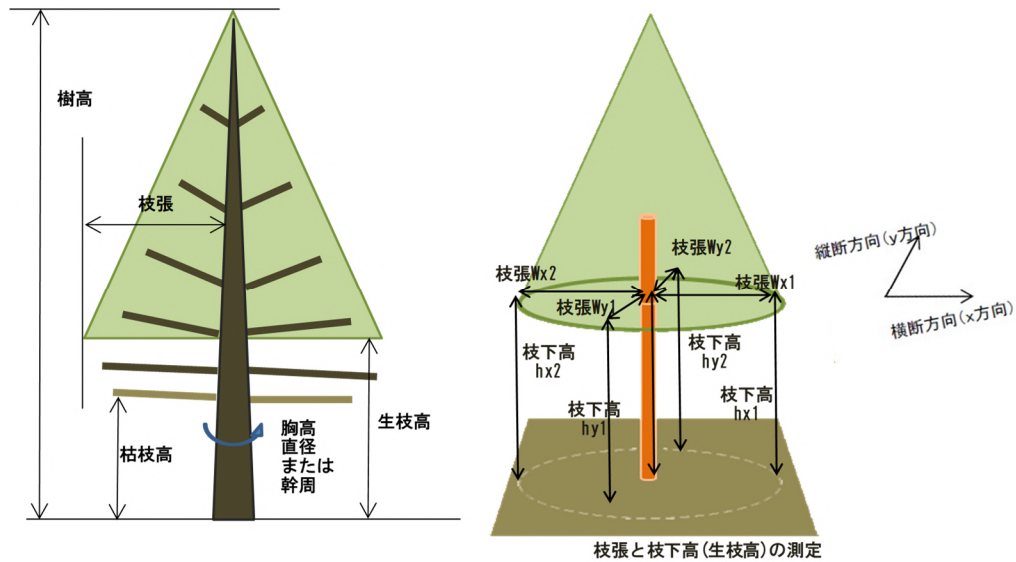


図2-3-2 現地樹木調査の測定項目

表2-3-1 現地樹木調査結果の整理イメージ

国道〇〇 〇〇町〇〇防雪林 生育状況調査結果 測線1

KP: _____

記入日: R. ____ . ____ . ____

調査No.	生育基盤法肩からの離れ(m)	測線からの離れ(m) +:起点側 -:終点側	樹種	樹高H (m)	胸高の幹周 (cm)	胸高直径 (cm)	枝張4方向				生枝下高					下枝の枯れ上がりの有無	下枝の隣の枝との干渉の有無	備考
							W_x1 (m)	W_x2 (m)	W_y1 (m)	W_y2 (m)	h_x1 (m)	h_x2 (m)	h_y1 (m)	h_y2 (m)	平均h (m)			
1	4.0	+1.2	アカエヤマ	12.5	57	18	1.8	0.6	1.3	1.0	7.8	10.0	9.1	8.9	8.9	有	有	
2	4.0	-1.2	アカエヤマ	11.7	55	18	1.2	1.2	0.9	0.9	9.4	7.9	9.0	9.3	8.9	有	有	
3	6.0	0.0	アカエヤマ	10.5	53	17	1.3	1.4	0.9	1.0	7.9	9.6	8.7	9.4	8.9	有	有	
4	8.0	+1.2	アカエヤマ	11.7	50	16	1.4	1.3	1.1	0.8	7.3	8.3	9.7	9.3	8.6	有	有	
5																		
6																		

¹ 林野庁，樹木の生育状況調査（森林詳細調査），
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/sizen_kankyo/attach/pdf/hogorin-57.pdf

2-4 防雪機能の評価

防雪林の防雪機能は、風上側の風速と空隙率より推定した防雪林風下側（道路上）の風速から、道路上の吹雪発生を推測することで評価する。

本項では、防雪林風上側の風速代表値と空隙率を用いて防雪林風下側の風速を推定し、推定した風速より道路上の吹雪発生を判定することにより、防雪林の防雪機能の評価する。

さらに、防雪林の防雪機能が不十分であると評価された場合には、第3章で管理手法を検討するため、現地樹木調査結果に基づき原因の推測を行う。

以降に、防雪機能の評価方法を示す。

(1) 防雪林風下側の吹雪発生の推定および防雪機能の評価

後述する「2-5 空隙率の調査」で得た防雪林の空隙率と、「2-2 防雪林風上の風速の推定」で得た防雪林風上側の風速（長期の時別値）を用いて防雪林風下側における道路上の風速（長期の時別値）を推定し、次に道路上の風速より吹雪発生を推測することで、防雪林の防雪機能の評価する。

評価手法は表2-4-1に示すように複数想定される。評価手法は大きく二種類に分けられ、強風時の吹雪発生より評価する方法（表中①・②）と、年間の吹雪発生頻度より評価する方法（表中③）である。

強風時の吹雪発生より評価する方法は、極値統計等により風速のある代表値を求めて評価する方法である。想定する強風時に吹雪発生が推定されない場合に「防雪機能が十分」だと評価する。なお、ある風速を用いて防雪機能の評価するため、任意性が介在する余地はなく、複数の区間で一貫した評価が可能である。

年間の吹雪発生頻度より評価する方法は、毎時の風速から吹雪発生を推定したうえ、年平均の吹雪発生頻度を算出し、頻度が許容値以下の場合を「防雪機能が十分」だと評価する方法である。許容値は道路吹雪対策マニュアル第1編4-1(3)路線の位置付け及び重要度に基づく吹雪対策のあり方に記載された路線のサービスレベル（管理目標）と路線機能（役割）を考慮して設定する。許容値の設定には任意性があるものの、道路管理の実情に応じた柔軟な検討が可能である。

表2-4-1 防雪機能の評価方法

評価方法		評価（概要）	特徴
強風時の吹雪発生より評価する方法	① 年最大風速（10年再現確率値）発生時を対象とした評価	(1) 年最大風速（10年再現確率値）を算出（防雪林風上側） (2) (1)で得た風速より吹雪の発生を推測し、吹雪が推測される場合を「防雪機能が不十分」、それ以外を「防雪機能が十分」と評価する	10年再現確率の風速に対し、道路上で吹雪が発生しない場合に「防雪機能が十分」と評価する。
	② 年最大風速（平年値）発生時を対象とした評価	(1) 吹雪時の年最大風速（平年値）を算出 (2) (1)で得た風速より吹雪の発生を推測し、吹雪が推測される場合を「防雪機能が不十分」、それ以外を「防雪機能が十分」と評価する	平年値を上回る風速では道路上で吹雪障害が発生する可能性があるものの、それ以下の風速では吹雪が発生しない場合に「防雪機能が十分」と評価する。
年間の吹雪発生頻度より評価する方法	③ 吹雪の発生頻度を用いた評価	(1) 年間平均の吹雪発生頻度を算出する (2) (1)で得た吹雪の発生頻度が許容値を上回れば「防雪機能が不十分」、それ以外を「防雪機能が十分」と評価する。	吹雪の発生頻度が許容範囲にある場合に「防雪機能が十分」と評価する。

評価に利用する防雪林風下側の風速は、式2-1-1に示すように風速比 r と防雪林風上側の風速から推測する。なお、風速比 r は、林帯幅や樹高にも依存すると考えられるものの、林帯幅30mの防雪林（一般国道40号 天塩町 雄信内防雪林）における観測に基づく経験式（式2-4-1）を用いて、防雪林の空隙率 p より推定する。

$$r = 1.39p^{0.24} \dots\dots\dots (式2-4-1)$$

また、吹雪の発生は風速に基づいて判断する。例えば、竹内ら（1986）^{vii}に示される図2-4-1等が、風速の閾値を設定する参考となる。

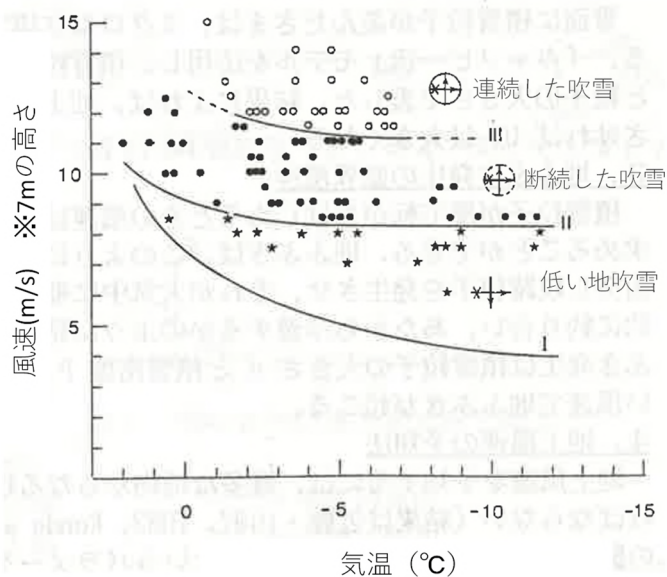


図2-4-1 風速・気温と吹雪の発生の関係例
(竹内ら(1986)^{vii}に加筆、風速は10分平均値)

以降に、各評価方法の詳細を示す。

① 年最大風速(10年再現確率値)発生時を対象とした評価

ア) 吹雪時における年最大風速10年再現確率値の算出

まず「2-2 防雪林風上の風速の推定」で得た防雪林風上側の風速・気温・風向より、吹雪時を想定し気温0℃以下かつ吹雪時主風向を対象として年最大風速を算出する。次に、極値統計(一般化極値(GEV)分布等)を利用により防雪林風上側の10年再現確率値を算出する。最後に、式2-1-1を用いて防雪林風下側(道路上)の年最大風速10年再現確率値を算出する。

イ) 防雪機能の評価

ア)で求めた年最大風速10年再現確率値(防雪林風下側)より防雪林の防雪機能の評価する。吹雪発生が想定される場合は「防雪機能が不十分」、吹雪発生が想定されない場合は「防雪機能が十分」と評価する。

② 年最大風速(平年値)発生時を対象とした評価

ア) 吹雪時における年最大風速平年値の算出

まず「2-2 防雪林風上の風速の推定」で得た防雪林風上側の風速・気温・風向より、吹雪時を想定し気温0℃以下かつ吹雪時主風向を対象として年最大風速を算出する。次に、年最大風速を算術平均し平年値を算出する。最後に、式2-1-1を用いて防雪林風下側(道路上)の年最大風速平年値を算出する。

イ) 防雪機能の評価

ア)で求めた年最大風速平年値より防雪林の防雪機能の評価する。吹雪発生が想定される場合は「防雪機能が不十分」、吹雪発生が想定されない場合は「防雪機能が十分」と評価する。

③ 吹雪の発生頻度を用いた評価

ア) 年平均の吹雪発生頻度の算出

まず、式2-1-1を用いて防雪林風下側（道路上）で吹雪発生が想定される風速の下限より、防雪林風上側の風速を求め風速閾値とする。次に、風速閾値と「2-2 防雪林風上の風速の推定」で得た防雪林風上側の風速・気温・風向より、吹雪時を想定し気温0℃以下かつ吹雪時主風向を対象として、毎時の吹雪発生を推定し、年平均の吹雪発生頻度を算出する。

イ) 防雪機能の評価

ア) で求めた年平均の吹雪発生頻度より防雪林の防雪機能を評価する。吹雪発生頻度が許容値より多ければ「防雪機能が不十分」、許容値以下であれば「防雪機能が十分」と評価する。なお、許容値は道路吹雪対策マニュアル第1編4-1(3)路線の位置付け及び重要度に基づく吹雪対策のあり方に記載された路線のサービスレベル（管理目標）と路線機能（役割）を考慮して設定する。

(2) 防雪機能低下の原因の判定

(1)で防雪林の防雪機能が不十分と評価された場合に、第3章で対策を検討するために原因の判定を行う（図2-4-2）。防雪機能が低下する原因は、下枝の枯れ上がり、それ以外が想定される。少なくとも生枝高が積雪深を上回る場合は、雪面から生枝高の間を飛雪が吹き抜ける可能性があるため、下枝の枯れ上がりによる機能低下であると判定する。

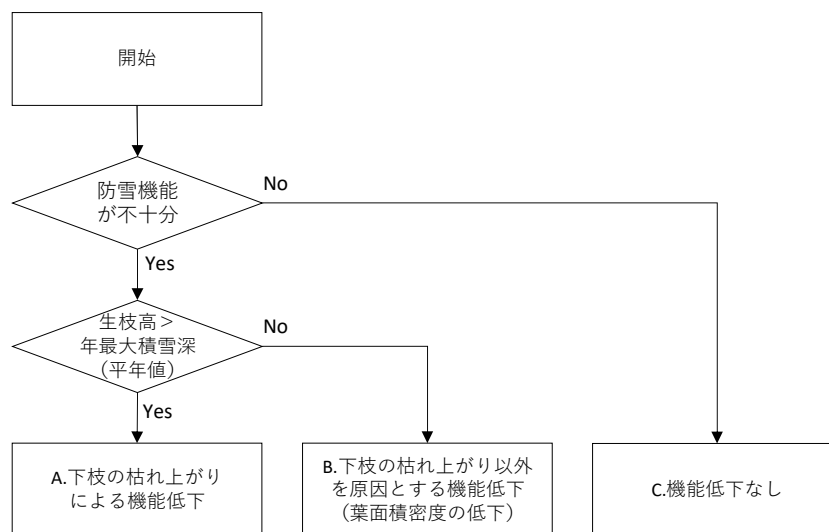


図2-4-2 防雪機能低下の原因判定フロー（例）

2-5 空隙率の調査

本技術資料(案)における防雪林の防雪機能の評価で、算定が容易である空隙率を利用する例を示す。

防雪林の防雪機能の評価に用いる空隙率 p をビデオカメラによる動画の撮影と、撮影した動画を解析し算出する。

(1) 動画・写真の撮影

調査の対象とする防雪林に対し、自動車にビデオカメラを進行方向の横（横断方向）に向けて設置し、一定速度で走行しながら動画撮影を行う。使用するカメラは一般的なデジタルカメラやビデオカメラとし、ドライバー目線に近い1.2mの高さで撮影する。写真2-5-1に撮影例を示す。



写真2-5-1 動画・写真の撮影例

(2) 画像の切り出しおよび画像のトリミング

撮影した動画または写真を抽出（動画の場合、ある時間のデータを抽出）する。また抽出した画像の不要な部分をトリミングする（写真2-5-2）。トリミングを部分は上端の空部分、画像の両端、地面付近の下部とするが、下部については下枝の枯れ上がり部分を残すようにする。なお、トリミングおよび(3)の処理については、画像処理ソフトを用いて行うとよい。

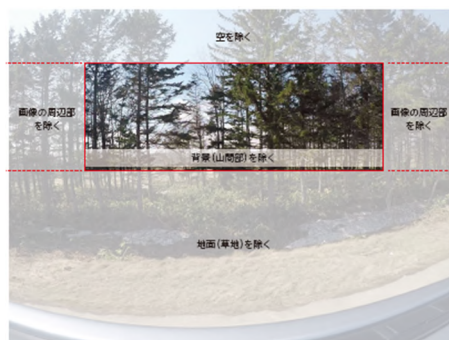


写真2-5-2 画像のトリミングの例

(3) 画像の2値化、空隙率の算定

(2)でトリミングされた画像を2値化によって白黒画像に変換する（写真2-5-3）。作成された白黒画像より、全ピクセル数および白部分（空隙部分）のピクセル数をカウントし、以下の式より空隙率 p を算出する。

$$p = \text{白部分のピクセル数} \div \text{全ピクセル数} \dots\dots\dots (式2-5-1)$$



写真2-5-3 2値化された画像の例

第3章 管理手法の検討

1. 検討の概要

防雪林の防雪機能を維持するためには、機能低下の原因となる下枝枯れ上がりの発生時の対策や発生防止のため管理などを適切に実施することが重要である。

第2章で示す通り、道路吹雪対策マニュアル^{viii}に示される育成期、維持期の防雪林では、隣り合った樹木の間で枝の競合が開始、進行するため、間引きなどの適切な育成管理が行われない場合、防雪機能の低下の原因となる下枝の枯れ上がり等が発生する可能性がある。

そのため、防雪機能の維持のためには、間引きによる樹木の密度管理や実際の機能が低下してしまった場合の補助柵の設置など、適切な育成管理を行うことが重要である。

本章では、樹冠閉塞後の枝の競合によって生じ、防雪機能の原因となる下枝枯れ上がりや枝葉の密度低下など発生時や発生防止のため、管理手法の選定や具体的な方法について示す。

(1) 管理方法の選定

樹冠閉塞後に進行する下枝の枯れ上がりや枝葉の密度低下の防止や発生時の機能低下対策について、第2章で評価される防雪機能の評価や機能低下の原因を基に、樹木の間引きや補助柵の設置など必要、適切な維持管理方法の選定を行う。

(2) 補助柵設置による機能低下対策

下枝の枯れ上がりが進行し、すでに防雪機能が低下している防雪林の防雪機能低下対策として、枝下を吹き抜ける風や吹雪を防ぐ補助柵の設置が考えられる。

ここでは、「2.管理方法の選定」において“補助柵の設置”と判断された場合の防雪機能改善のための補助柵の設置方法や諸元について解説する。

(3) 間引きによる機能低下防止

現在、十分な防雪機能は有しているものの、樹冠閉塞の開始している、または開始間近の林帯や、すでに機能が低下し、補助柵設置による対策を施したものの、今後下枝の枯れ上がりが進行する可能性がある林帯では、樹木の間引きによる密度管理が重要となる。

ここでは、「2.管理方法の選定」において“間引き”と判断された場合の適切な樹木の間引き方法について解説する。

2. 管理方法の選定

下枝の枯れ上がりなどを原因とした、防雪林の防雪機能低下の発生時の対策や防止のための管理方法を、現在の防雪機能の評価結果や機能低下の原因などを基に選定する。

(1) 下枝の枯れ上がり等に対する管理方法

樹冠閉塞によって進行する下枝の枯れ上がりに対する管理方法として、大まかに表3-2-1に示す方法が考えられる。「補助柵の設置」は、下枝の枯れ上がりによる防雪機能低下に対する対策として講じるものであり、すでに機能が低下している防雪林に対する管理方法となる。

「間引き」は、枯れ上がりの原因となる樹冠閉塞を防ぐための予防的対策であり、現状では十分な防雪機能を有している林や補助柵設置後の林に対して実施する。「防雪林の更新」は、防雪林が枝などの生長が見込めない維持期に入り、十分な防雪機能を有していないと判断された林に対する管理方法である。

本技術資料(案)では、「補助柵の設置」および「間引き」について、実施の判断や方法について解説する。

表3-2-1 下枝の枯れ上がり等における管理方法

管理方法	育成段階	内容
補助柵の設置	育成期、維持期	下枝枯れ上がりなどによって既に防雪機能が低下している防雪林に対し、枝下を吹き抜ける風や吹雪を防ぐ補助柵を設置する。
間引き	育成期	機能は低下していないものの、樹冠閉塞が開始または間近のものや、補助柵設置後も下枝の枯れ上がりの進行が予想される防雪林に対し、樹木の間引きによる密度管理を行う。
防雪林の更新	維持期	維持期に入り、補助柵の設置等による対策を講じても、防雪機能の回復が見込めない防雪林に対し、後継樹育成とそのための選択的伐採を行い、防雪林を更新する。

(2) 補助柵の設置判断フロー

「2-4. 防雪機能の評価」の防雪機能低下の原因判定フロー（P.2-14の図2-4-2）において、“A.下枝の枯れ上がりによる機能低下”または“B.下枝の枯れ上がり以外を原因とする機能低下”と判定された防雪林に対し、防雪機能の回復を目的として補助柵の設置の実施判断を行う。

図3-2-1に判断フローを示す。判断フローでは、機能の低下の原因に応じて、補助柵設置の判断を行うものである。なお、下枝の枯れ上がりが原因ではない状態で機能が低下している（樹木全体の枝葉の密度が低下している）場合、今後の枝葉の生長等による防雪機能の回復は見込めないため、防雪林の更新が必要と判断しているが、補助柵を設置し防雪機能の回復を確認する方法も想定される。

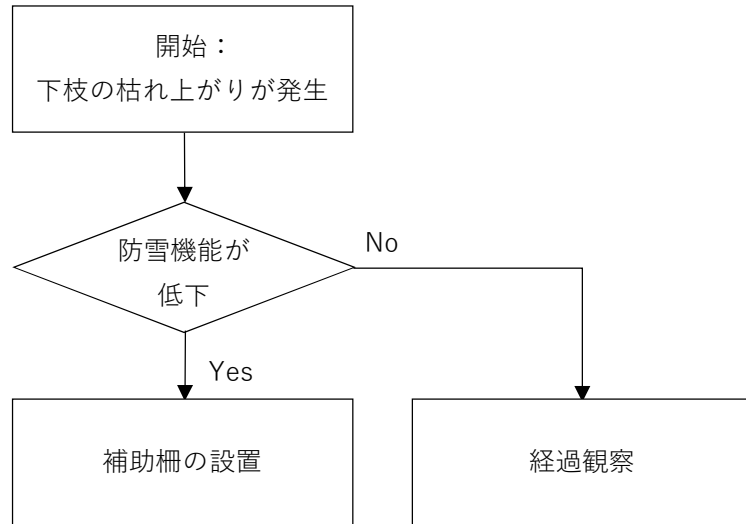


図3-2-1 補助柵設置の判断フロー

(3) 間引きの判断フロー

「2-4. 防雪機能の評価」の防雪機能低下の原因判定フロー（図 2-4-2）において、“C.機能低下なし”と判定された林帯、または補助柵を設置し機能が回復した林帯に対し、今後の生長を考慮し、間引きの必要性を判断する。

図3-2-2に間引きの判断フローを示す。間引きの実施は、樹冠が閉塞している場合に実施するものと判断する。なお、樹冠の閉塞が1～3年以内に発生することが予想できる場合に、管理作業の効率を考え、間引きを実施することも可能とする。

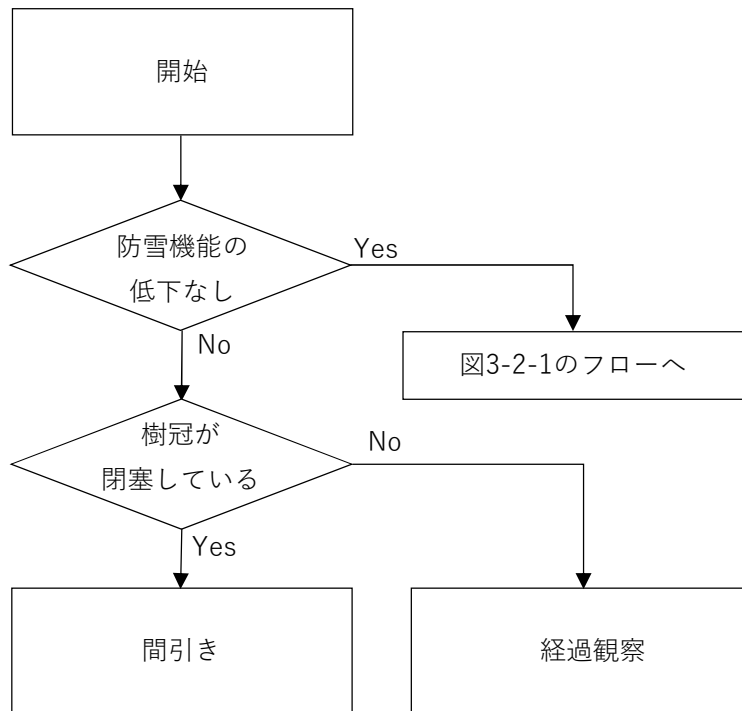


図3-2-2 間引きの判断フロー

3. 補助柵設置による機能低下対策

道路防雪林の下枝の枯れ上がりによる防雪機能の低下が生じ、防雪機能の向上を図る必要がある場合には、防雪林の林縁や林内に補助柵を設置することを検討する。

下枝の枯れ上がりによる防雪機能の低下を緩和するためには、下枝の枯れ上がり部分における強風や飛雪の吹き抜けを抑制し、道路上の吹雪障害を抑制することができる補助柵の設置を検討する。

補助柵は防雪林との併設により防雪機能の発揮が期待される施設である。また簡易な施設とすることで、設置・維持にかかるコストを抑制することが可能である。



写真3-3-1 補助柵の例

なお、下枝の枯れ上がり以外に防雪林の葉面積密度が低下した場合においても、風速の低減や飛雪の抑制を行う機能があることから補助柵には一定の効果が期待される。ただし現状では定量的な効果が不明であるため、設置後の効果検証や、その検証結果によっては別途対策を検討することが望ましい。

なお、補助柵の設置により防雪林風上側と比べ防雪林風下側で風速が低減する（風速比が減少する）ことが期待される。風速比の減少量は防雪林の状態や補助柵の設置位置・高さ・空隙率に依存すると考えられるが、30m林帯の雄信内防雪林の林帯中央に補助柵（ネットの空隙率30%）を試験施工した際の測定結果によると14%程度が期待される（図3-3-1）。

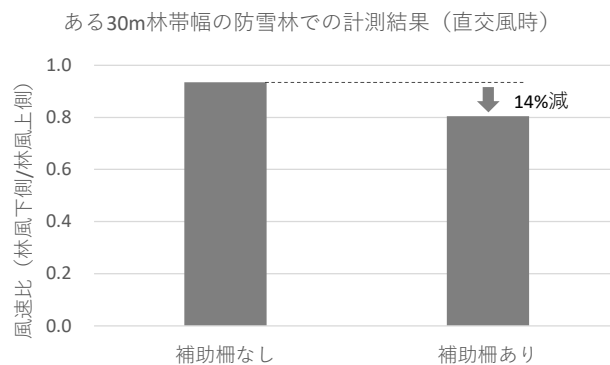


図3-3-1 補助柵と風速比の関係例

補助柵の設置位置や高さ、および材料は以降の考え方により検討するが、別途吹雪数値シミュレーションや実験などにより検討することもできる。

(1) 設置位置

用地の制約上、防雪林の風上側林縁、林内、風下側（道路側）林縁のいずれかが想定される。ただし補助柵は仮設を想定するものの、実際は通年設置されることが予想され、支柱の傾きや、材料の劣化による部材の脱落・飛散により通行車両への被害の可能性があることから、部材が飛散しても通行車両への影響が小さくなるように風上側林縁または林内への設置が望ましい。

また、人力による施工を想定するため林縁・林内とも施工性に大きな差は無いが、林内で枝が繁茂している場合は施工性が下がる可能性がある。

なお、吹雪数値シミュレーションを用いた検討例では、風下側林縁に補助柵を設置することで風速比が最も低下することが判明している。

(2) 高さ

補助柵が雪面より高い場合に効果が期待されることから、年最大積雪深（平年値）以上かつ生枝高の間で、できるだけ高くなるよう設置する。ただし、補助柵と接触することで樹木が被圧を受け、下枝の枯れ上がりを増長する可能性があることに留意する。

また、補助柵の高さが下枝の枯れ上がり高と同じ場合は、道路に吹きだまりが形成されやすくなるが、下枝の枯れ上がりが無い場合より小さいことがシミュレーション結果より推測される。

(3) 材料

補助柵は、主に支柱と、支柱の間に張った防雪ネット等より構成する。防雪ネットは、隙間の割合である空隙率が30%程度の材料で防雪機能が発揮されることが確認されている。

4. 間引きによる機能低下抑制

間引きは、基本的には1本置きまたは列状とする。道路吹雪対策マニュアル改訂前やマニュアル制定以前の定規等で造成された防雪林が数多くあることから、最終的には各防雪林の現状に応じて間引き方法を検討する。

(1) 平成15年版道路吹雪対策マニュアル以降のマニュアルの仕様で植栽された防雪林

平成23年度改訂版道路吹雪対策マニュアルによるものとする。以下、同マニュアルの考え方、方法を示す。

標準林は、方形植栽としている。1回目の間引きは樹高 6.0m 前後の樹木が対象である。1本置きに間引き千鳥状に残していくことを基本とする。

図-3-1-1 に標準林 20m タイプの場合の間引き木選定を例示する。主風に対し直角方向（道路進行方向）の枝張を十分に確保していくことがねらいである。1本置きに間引くと、間引き率は 50% となるために急激な環境の変化（特に風況）を招く可能性がある。このため最初に道路側半数の間引きを行い、数年の期間を設けて2回目に柵側の半数を間引くものとする。

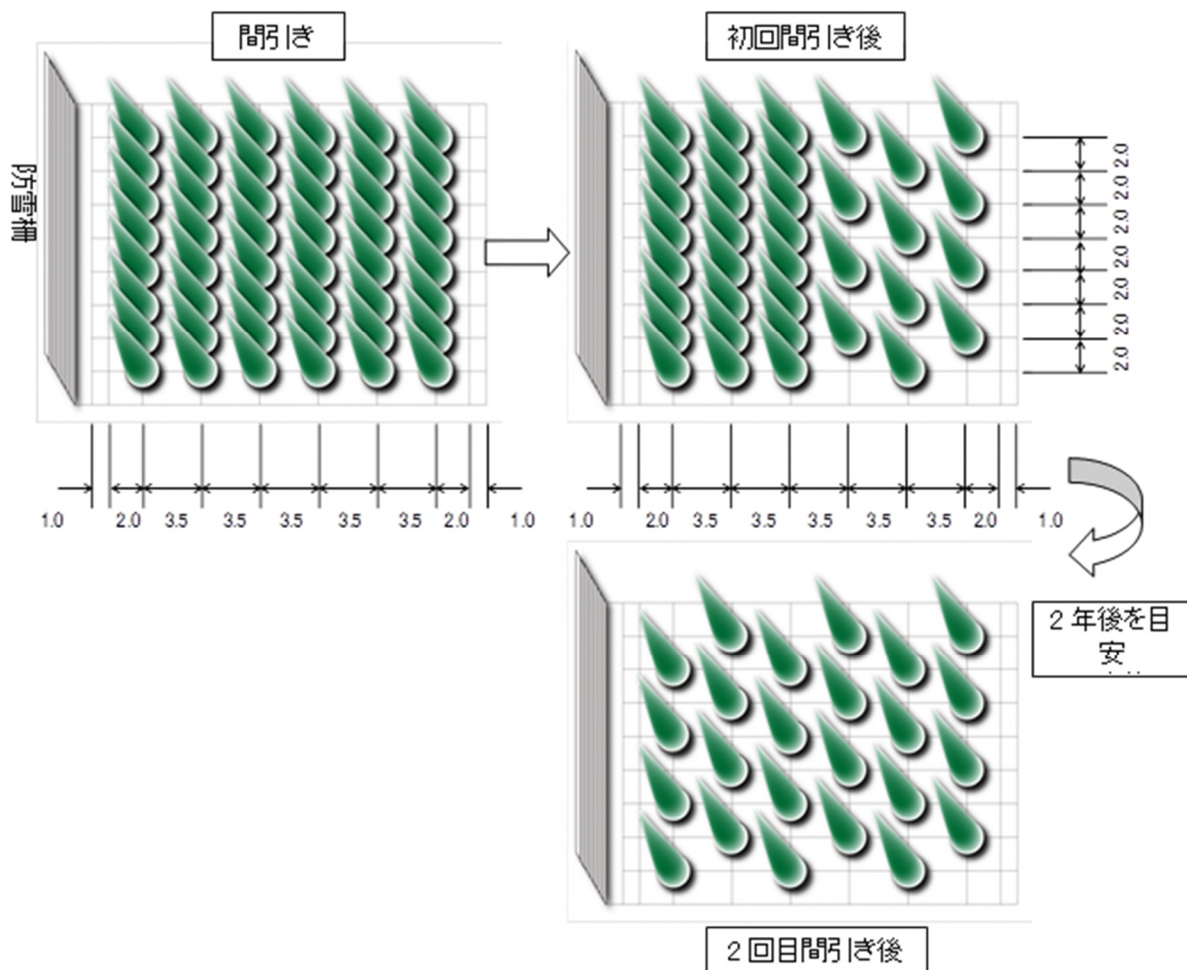


図-3-1-1 標準林20mタイプの間引き木選定方法模式図

(2) 平成2年度版道路吹雪対策マニュアル（防雪林編）の仕様で植栽された防雪林

平成2年度版道路吹雪対策マニュアル（防雪林編）では、1列2条・千鳥植で植栽することが基本となっている。列間は3.0m、条間は1.0m、苗間は2.0mである。この仕様での間引き計画の考え方を以下に示す。また模式的に図-3-1-2[※]に示す。

- ①両外側の常緑針葉樹は前生林や除雪時の投雪によって下枝の損傷が確認され枯れ上がり状態となっている場合が多いことと、条間の下枝の枯れ上がりが進行していることが多いことから、1列2条の形態で防雪機能の発揮を図る。
- ②両側の列を除くと間引き率は50%となる。一回に間引きを行うと急激に環境が変化する恐れがある場合には、3回に分けて間引く。
- ③管理用道路がなく、以後の管理作業に支障を来すことから管理用道路にかかる列を1回目の間引き対象とする。
- ④2回目は風下である道路側を間引き対象とし、1列2条のうち風上側の枝葉の生育を促進することを目的に道路側の1条を間引く。
- ⑤3回目に管理用道路と防雪柵間の列を間引く。
- ⑥単木として考えて間引き木を選定することはたいへん困難なことから、機械的に列状に間引くこととする。

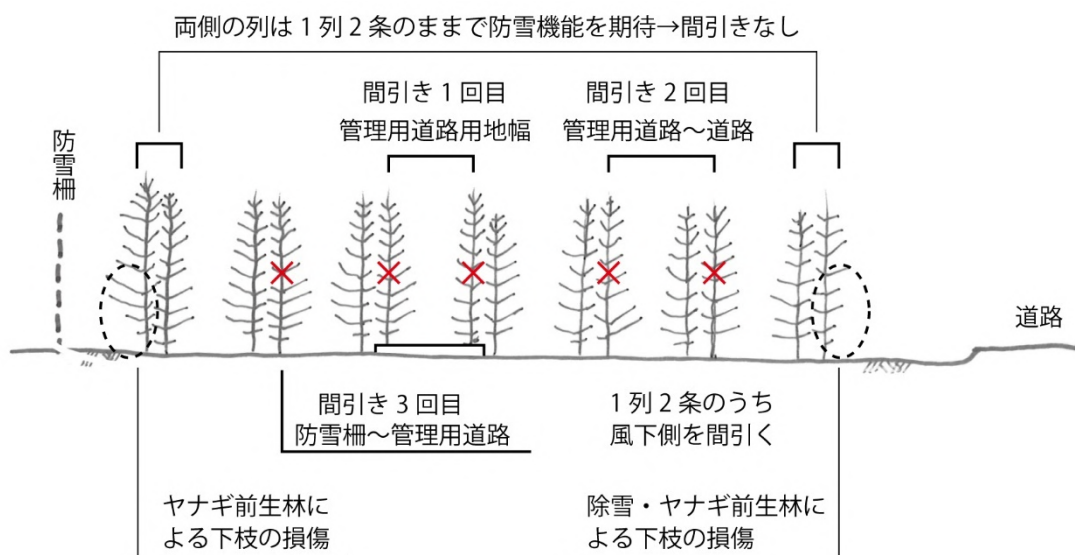


図-3-1-2 1列2条植えの間引き模式図と間引きの順序

(3) 道路吹雪対策マニュアル制定以前に植栽された防雪林

道路吹雪対策マニュアル制定以前には、列間1.5m苗間3.0m千鳥植のような高い植栽密度で造成された防雪林が多い。この仕様での間引き計画の考え方を以下に示す。また模式的に図-3-1-3^{ix}に示す。

このタイプの防雪林では道路側林縁部での内部では枯れ上がりが進行している、防雪側では雪圧害で形質不良となっている樹木が多い、などの状況が見られることが多い。

- ①道路側の常緑針葉樹は最も外側の下枝は健全であるが、次の列からは下枝の枯れ上がりが進行しているために道路から4列は間引きを行わず群としての形態で防雪機能の発揮を図る。
- ②内部では間引き率は50%となる。一回に間引きを行うと急激に環境が変化する恐れがあるため、3回に分けて間引く。
- ③管理用道路がなく、以後の管理作業に支障を来すことから管理用道路にかかる列を1回目の間引き対象とする。
- ④2回目は風下である管理用道路～道路側を間引き対象とし、1列置きに間引く。
- ⑤3回目に管理用道路と防雪柵間の列を間引く。ただし、残存密度が低い場合には形質不良木の間引きに留める。
- ⑥単木として考えて間引き木を選定することは困難なことから、機械的に列状に間引くこととした。

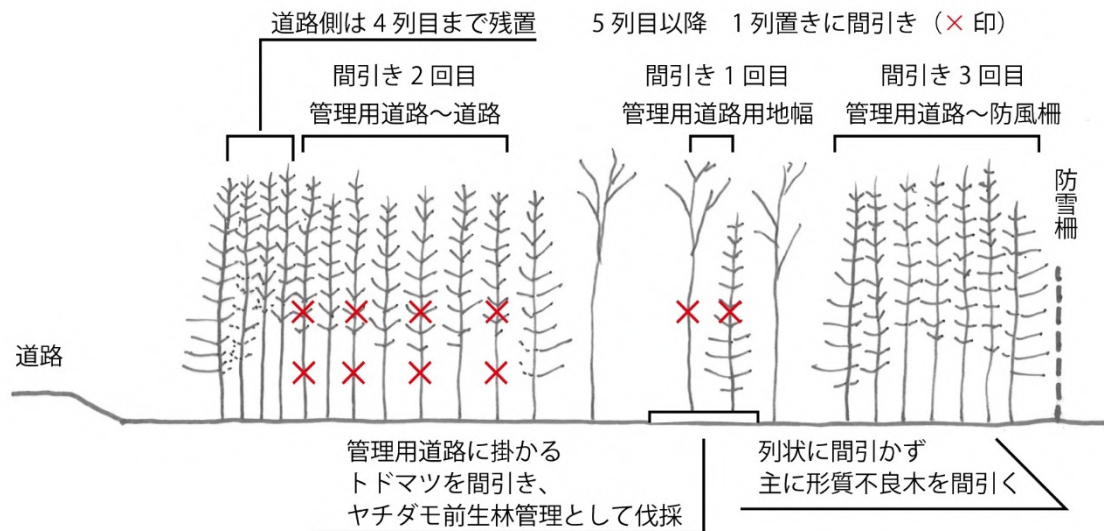


図-3-1-3 密植千鳥植えの間引き模式図と間引きの順序

参考文献

- i 寒地土木研究所雪氷チーム,2008,道路防雪林の視程障害緩和効果について,寒地土木研究所月報,No.664,34-38p,寒地土木研究所
- ii 寒地土木研究所雪氷チーム,2019,防雪林の機能向上に関する研究,1-15p
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2015/pdf/ju-70.pdf> 2022年1月14日閲覧
- iii 塩谷正雄・新井秀雄.1954,吹雪防止林の機能〔第2報〕－実験的研究－,雪氷,16(1),26-33p,日本雪氷学会
- iv 小池孝良 編,2004,樹木生理生態学,264pp,朝倉書店
- v 香山雅純,2006,トウヒ属樹木の蛇紋岩土壌における適応機構の解明と環境修復に関する研究,北海道大学演習林報告,63,1133-78
- vi 寒地土木研究所,2013,平成24年度道路防雪林の生育と植栽基盤に関する調査業務 報告書
- vii 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男, 福沢義文, 1986: 降雪時の高い地吹雪の発生限界風速, 昭和61年度日本雪氷学会全国大会予稿集, p252.
- viii (独)土木研究所寒地土木研究所,2011,道路吹雪対策マニュアル 平成23年改訂版
- ix 稚内開発建設部浜頓別道路事務所,2016, 平成27年度一般国道238号猿払村浅茅野防雪対策設計外一連業務報告書 (道路防雪林維持管理検討)

下枝の枯れ上がりが見られる
防雪林の管理手法に関する技術資料(案)

資 料 編

令和 5 年 3 月



国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

1. 検討の実施例.....	1-1
1.1 雄信内防雪林	1-1
1.1.1 防雪林の機能評価	1-1
1.1.2 管理手法の選定.....	1-9
1.1.3 補助柵併設による機能低下対策	1-9
1.2 山軽防雪林（L側）	1-10
1.2.1 防雪林の機能評価	1-10
1.2.2 管理手法の選定.....	1-18
1.2.3 補助柵併設による機能低下対策	1-19
1.3 山軽防雪林（R側）	1-20
1.3.1 防雪林の機能評価	1-20
1.3.2 管理手法の選定.....	1-28
1.3.3 補助柵併設による機能低下対策	1-29
2. 補助柵の併設例	2-1
2.1 概要	2-1
2.2 設計条件.....	2-3
2.2.1 設置箇所	2-3
2.2.2 補助柵の高さ	2-3
2.2.3 構造計算条件.....	2-3
2.3 雄信内防雪林併設事例.....	2-3

1. 検討の実施例

本章では、一般国道 40 号 天塩町 雄信内防雪林、一般国道 238 号 浜頓別町 山軽防雪林（L 側）、山軽防雪林（R 側）のそれぞれについて、下枝の枯れ上がりに対する管理手法を検討した実施例を示す。

1.1 雄信内防雪林

本節では、雄信内防雪林（測線 A）を対象として、下枝の枯れ上がりに対する管理手法を検討した実施例を示す。

1.1.1 防雪林の機能評価

(1) 防雪林風上の風速の推定

■推定方針

雄信内防雪林（現地）と、既存の気象観測所として雄信内テレメータ（開発局）の位置を図 1.1 に示す。雄信内防雪林は海岸部には位置しないため、現地で 1 冬期観測した気象データと、雄信内テレメータで 27 冬期に渡って観測された気象データより、現地の 27 冬期の気象データを推定して、検討に利用する。

使用するデータ

- ・雄信内防雪林（現地）： 風向、風速、気温（1 時間値）
2020 年 12 月～2021 年 4 月
- ・雄信内テレメータ： 風向、風速、気温（1 時間値）
1994～2020 年度（各年度 12～4 月）

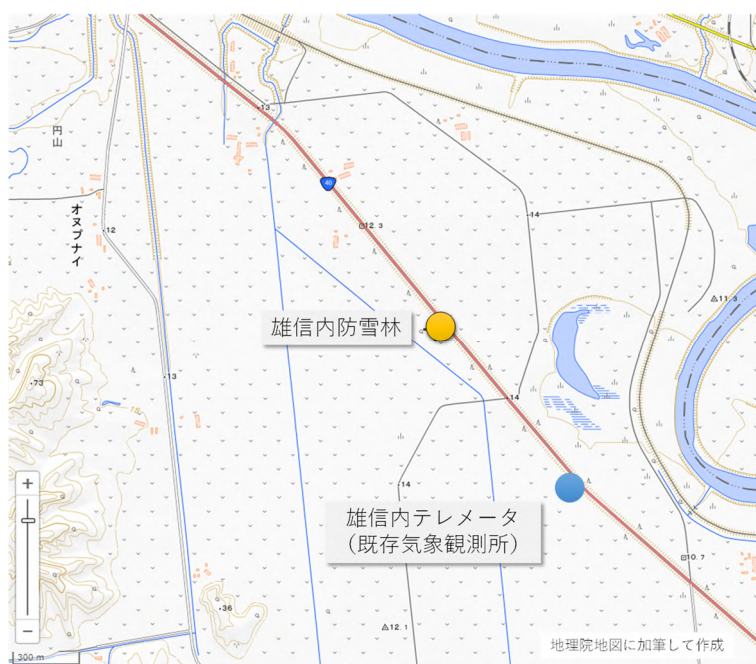


図 1.1 雄信内防雪林と気象観測所の位置

■風向の関係整理

風速の推定は、現地で吹雪が想定される時間を対象に行う。ここでは、現地で吹雪時の主風向が想定される条件を把握するため、図 1.2 に 2020 年度の風向別の発生頻度を整理した。

図の左側は現地で吹雪が想定される頻度を示す。ここでは、発生頻度が大きいことから、現地の吹雪時主風向を NW・WNW と想定した。なお、ここで利用した吹雪の発生条件は、気温 0℃ 以下、かつ 7m の高さの風速が 5m/s 以上の場合である。

図の右側は、現地で吹雪発生かつ吹雪時主風向時について、雄信内テレメータの風向別発生頻度を整理した結果であり、W～NW の頻度が大きいことが分かる。

以上より、雄信内テレメータで W～NW の風向時に、現地で吹雪時主風向となっている可能性が大きいと考えられる。

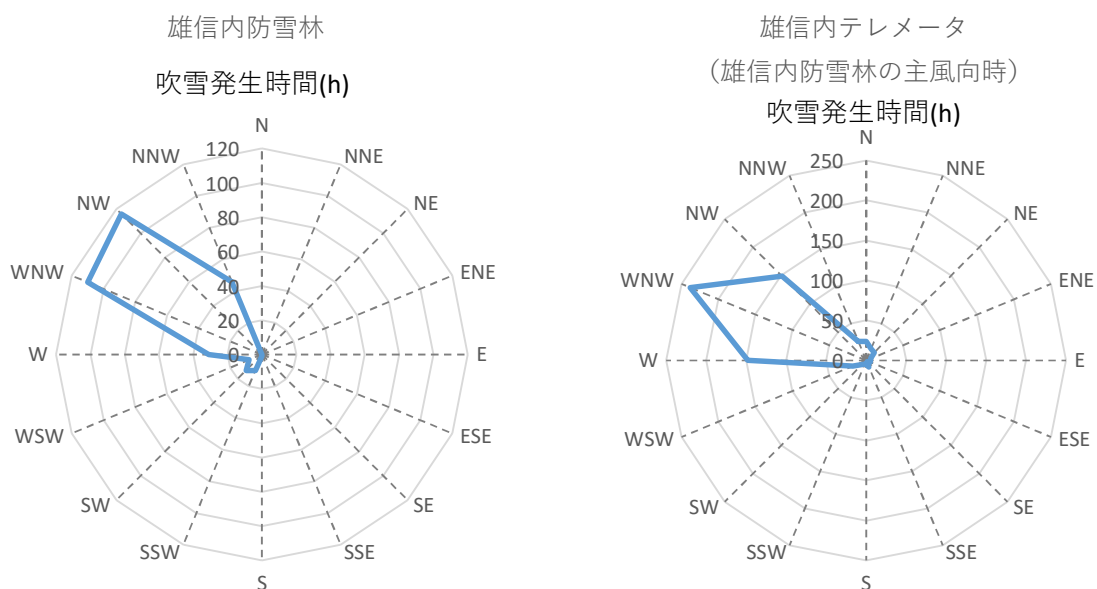


図 1.2 風向別の発生頻度

※左：雄信内防雪林の吹雪時

※右：雄信内テレメータ（雄信内防雪林で NW・WNW かつ吹雪時）

■回帰分析による推定式の作成

雄信内防雪林で吹雪時かつ主風向時の気象データを用いて回帰分析を行うことにより、雄信内テレメータから雄信内防雪林の気象を推定する回帰式を作成した（図 1.3）。

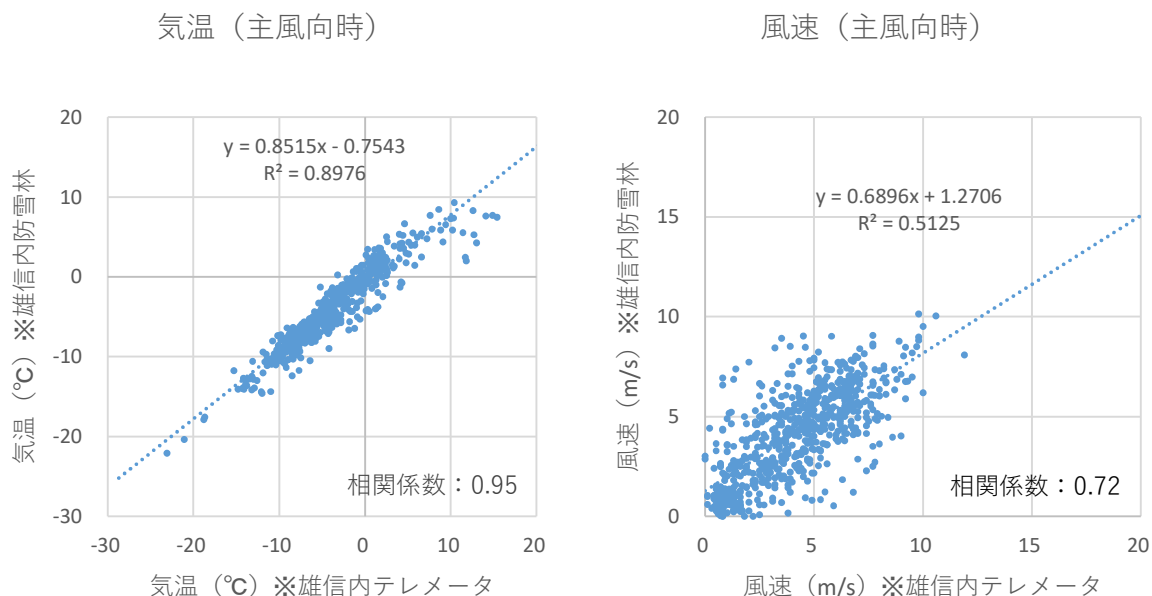


図 1.3 雄信内テレメータと雄信内防雪林の気象の関係（左：気温、右：風速）

※雄信内防雪林で吹雪発生かつ吹雪時主風向時

※1 時間値を示す。

■雄信内防雪林の風速の推定

雄信内テレメータの気象データを、前項で求めた回帰式に代入し、雄信内防雪林における風速を推定した。

なお、以降で示すように吹雪の発生を高さ 7m の風速で行ったため、道路吹雪対策マニュアルで示される風速の高度補正方法に基づき、推定した風速を高さ 7m に高度補正した後、以降の検討で利用した。

推定した期間：1994～2020 年度（各年度 12～4 月）

推定した条件：雄信内テレメータの風向が W～NW、

かつ推定される雄信内防雪林の気温が 0℃以下

(2) 防雪機能の評価

前項で推定した雄信内防雪林における風速（1994～2020 年度）を用いて、防雪林の防雪機能の評価を行った。

なお、防雪機能低下の原因の推測は次項で実施した。

■年最大風速（10年再現確率値）を対象とした評価

雄信内防雪林の年最大風速(7m 高)を図 1.4 に示す。また、年最大風速の極値統計結果を図 1.5 に示す。極値統計結果より、年最大風速（10年再現確率値）は 12.8m/s となる。

次に、防雪林風下側の風速を推定し、吹雪の発生から防雪機能を評価する。防雪林の空隙率は 0.17 であり、風速比は 0.91 と推測されることより、防雪林風下側の風速は 11.6m/s と推測される。

防雪林風下側で推測された風速は、8m/s より大きく、交通障害に至る吹雪（≠低い地吹雪）の発生が推測される。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した。

以上より、吹雪の発生が推測されるため、「防雪林の防雪機能が不十分である」と評価する。

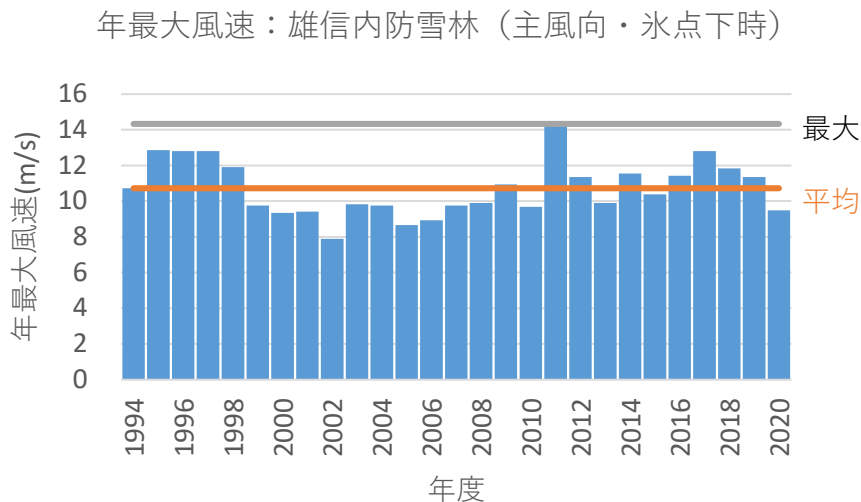


図 1.4 年最大風速

雄信内防雪林（吹雪時）

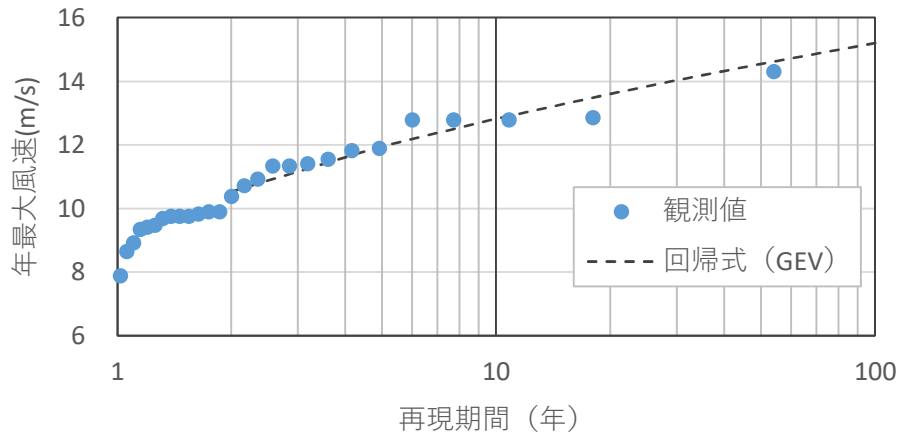


図 1.5 年最大風速の極値統計結果

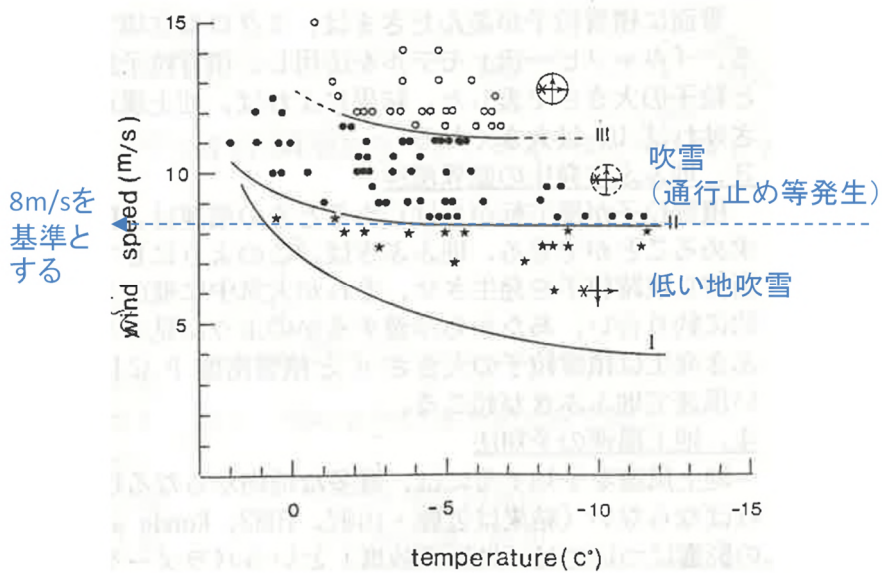


図 1.6 気温・風速（7m 高）と吹雪発生の関係例

※竹内ら（1964）¹に加筆して作成

¹ 竹内政夫ら、1986：降雪時の高い地吹雪の発生限界風速、昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集

■年最大風速（平年値）を対象とした評価

図 1.7 に雄信内防雪林で推定される年最大風速（7m 高）を示す。図より、平均値は 10.7m/s となる。

次に、防雪林風下側の風速を推定し、吹雪の発生から防雪機能を評価する。防雪林の空隙率は 0.17 であり、風速比は 0.91 と推測されることより、防雪林風下側の風速は 9.7m/s と推測される。

防雪林風下側で推測された風速は、8m/s より大きく、交通障害に至る吹雪（≠低い地吹雪）の発生が推測される。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した。

以上より、吹雪の発生が推測されるため、「防雪林の防雪機能が不十分である」と評価する。

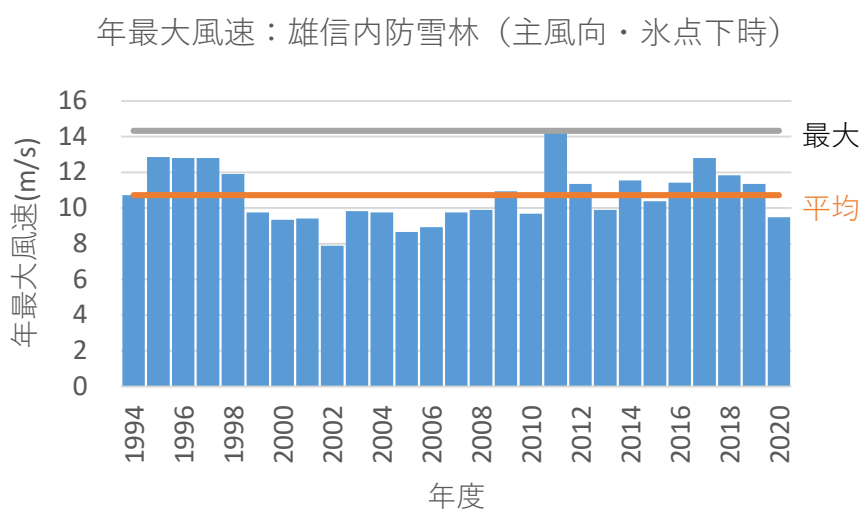


図 1.7 年最大風速（再掲）

■吹雪の発生頻度を対象とした評価

雄信内防雪林で吹雪発生が想定される時間数を推定した結果（図 1.8）より、防雪林の防雪機能を評価する。

吹雪発生の時間数は、以下に全ての条件に該当する時間数をカウントして算出した。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した。

雄信内テレメータの風向：	W～NW
雄信内防雪林の気温（推定値）：	0℃以下
雄信内防雪林の風速（推定値、7m 高）：	8m/s 以上

図より、吹雪時間数の年平均値は 17 時間である。ここでは 1 日程度（24 時間程度）の吹雪発生を許容すると考え、「防雪林の防雪機能が十分である」と評価する。

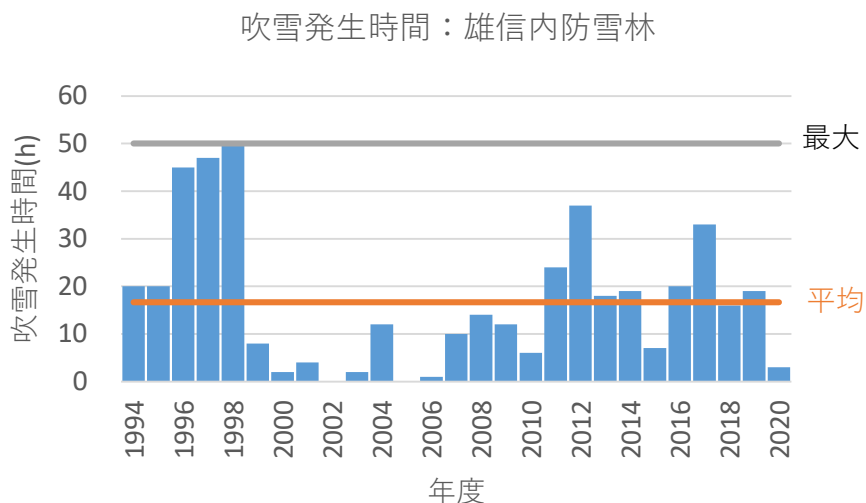


図 1.8 吹雪発生時間

(3) 防雪機能の低下の原因の推測

ここでは、前項の検討で「防雪林の防雪機能が不十分である」と評価された場合を想定して、機能低下の原因を推測する（図 1.9）。

樹木調査結果より生枝高は 7m 程度である。生枝高が現地の積雪深（平年値）より十分に大きいことから、雄信内防雪林では下枝の枯れ上がりに伴い防雪機能が低下したと推測される。

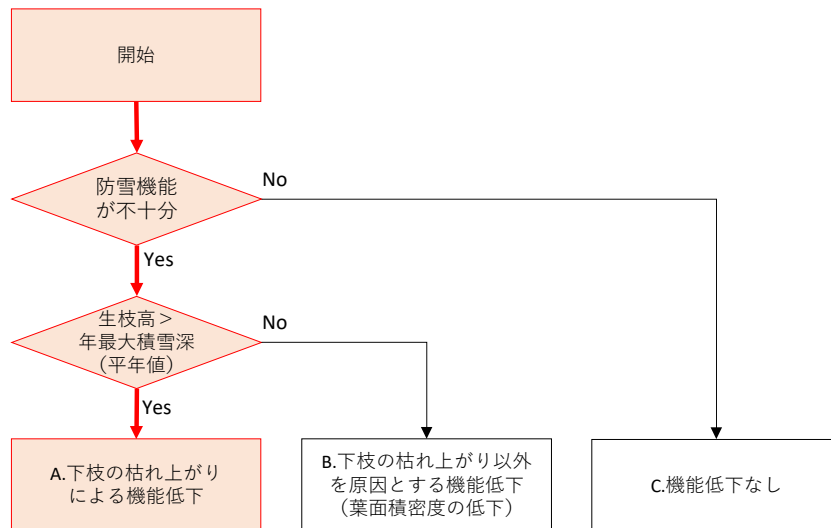


図 1.9 防雪機能低下の原因の推測

1.1.2 管理手法の選定

前項で「防雪機能が不十分」とされたとして管理手法を選定する。機能低下の原因が下枝の枯れ上がりであるため、補助柵の設置による防雪機能の向上を図る（図 1.10）。

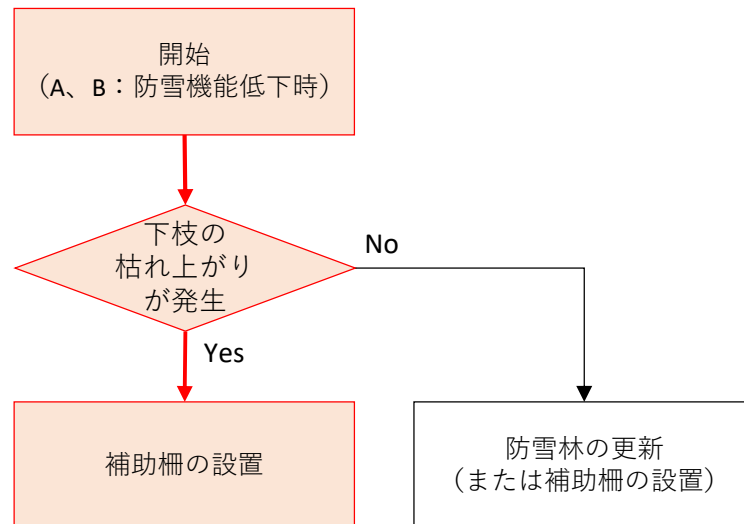


図 1.10 管理手法の選定フロー（防雪機能低下時）

1.1.3 補助柵併設による機能低下対策

ここでは補助柵の設置位置、高さについて検討する。

補助柵の設置は、道路上の風速を抑制し、かつ補助柵の部材（防風ネット）が道路上に飛散しないよう、防雪林内とする。

また、補助柵の高さは、生枝高の半分程度（高さ 3m）とする。

1.2 山軽防雪林（L側）

1.2.1 防雪林の機能評価

(1) 防雪林風上の風速の推定

■推定方針

山軽防雪林L側(現地)と、既存の気象観測所として浅茅野テレメータ(開発局)の位置を図 1.11 に示す。山軽防雪林は海岸部には位置しないため、現地で1冬期観測した気象データと、浅茅野テレメータで27冬期に渡って観測された気象データより、現地の27冬期の気象データを推定して、検討に利用する。

使用するデータ

- ・山軽防雪林L側（現地）： 風向、風速、気温（1時間値）
2020年12月～2021年4月
- ・浅茅野テレメータ： 風向、風速、気温（1時間値）
1994～2020年度（各年度12～4月）

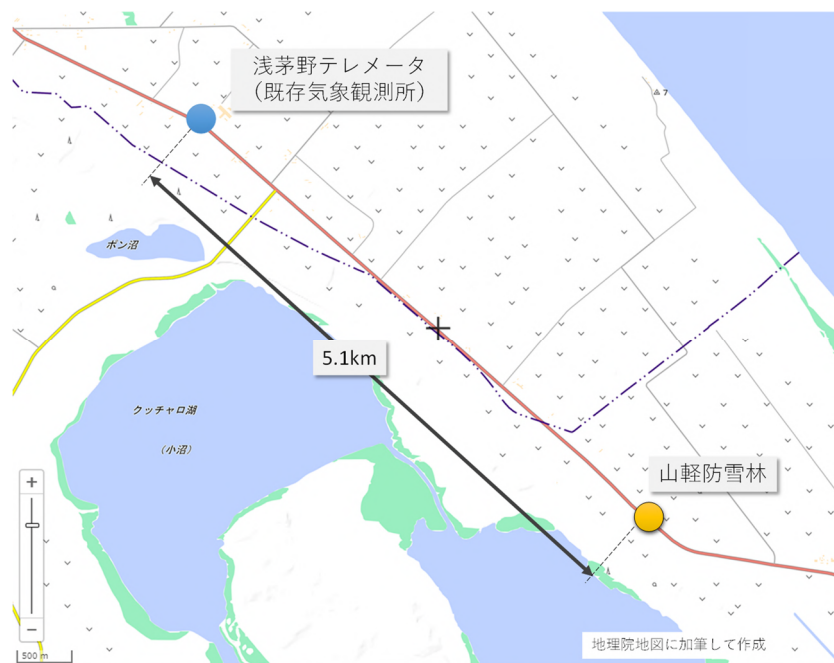


図 1.11 山軽防雪林と気象観測所の位置

■風向の関係整理

風速の推定は、現地で吹雪が想定される時間を対象に行う。ここでは、現地で吹雪時の主風向が想定される条件を把握するため、図 1.12 に 2020 年度の風向別の発生頻度を整理した。

図の左側は現地で吹雪が想定される頻度を示す。ここでは、発生頻度が大きいことから、現地の吹雪時主風向を WNW と想定した。なお、ここで利用した吹雪の発生条件は、気温 0℃ 以下、かつ 7m の高さの風速が 5m/s 以上の場合である。

図の右側は、現地で吹雪発生かつ吹雪時主風向時について、浅茅野テレメータの風向別発生頻度を整理した結果であり、W～WNW の頻度が大きいことが分かる。

以上より、浅茅野テレメータで W～WNW の風向時に、現地で吹雪時主風向となっている可能性が大きいと考えられる。

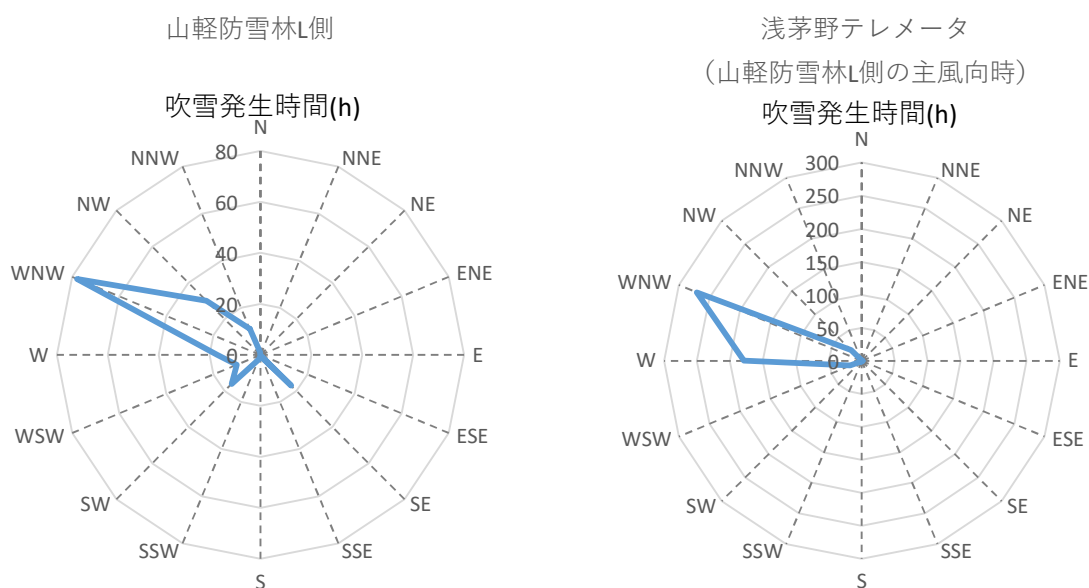


図 1.12 風向別の発生頻度

※左：山軽防雪林 L 側の吹雪時

※右：浅茅野テレメータ（山軽防雪林 L 側で W～WNW かつ吹雪時）

■回帰分析による推定式の作成

山軽防雪林 L 側で吹雪時かつ主風向時の気象データを用いて回帰分析を行うことにより、浅茅野テレメータから山軽防雪林 L 側の気象を推定する回帰式を作成した (図 1.13)。

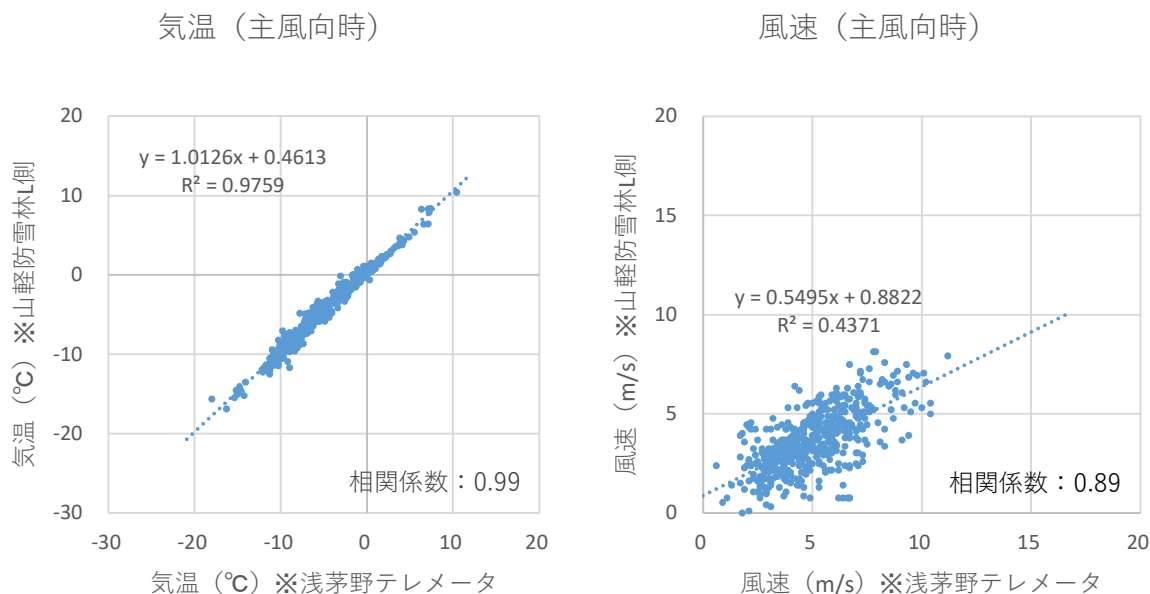


図 1.13 浅茅野テレメータと山軽防雪林 L 側の気象の関係 (左 : 気温、右 : 風速)

※山軽防雪林 L 側で吹雪発生かつ吹雪時主風向時

※1 時間値を示す。

■山軽防雪林 L 側の風速の推定

浅茅野テレメータの気象データを、前項で求めた回帰式に代入し、山軽防雪林における風速を推定した。

なお、以降で示すように吹雪の発生を高さ 7m の風速で行ったため、道路吹雪対策マニュアルで示される風速の高度補正方法に基づき、推定した風速を高さ 7m に高度補正した後、以降の検討で利用した。

推定した期間 : 1994~2020 年度 (各年度 12~4 月)

推定した条件 : 浅茅野テレメータの風向が W~NW、

かつ推定される山軽防雪林の気温が 0°C 以下

(2) 防雪機能の評価

前項で推定した山軽防雪林における風速（1994～2020 年度）を用いて、防雪林の防雪機能の評価を行った。

なお、防雪機能低下の原因の推測は次項で実施した。

■年最大風速（10年再現確率値）を対象とした評価

山軽防雪林の年最大風速(7m 高)を図 1.14 に示す。また、年最大風速の極値統計結果を図 1.15 に示す。極値統計結果より、年最大風速（10年再現確率値）は 10.0m/s となる。

次に、防雪林風下側の風速を推定し、吹雪の発生から防雪機能を評価する。防雪林の空隙率は 0.04 であり、風速比は 0.64 と推測されることより、防雪林風下側の風速は 6.4m/s と推測される。

防雪林風下側で推測された風速は、8m/s より小さく、交通障害に至る吹雪（≠低い地吹雪）の発生は推測されない。なお、吹雪発生時の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した（図 1.16）。

以上より、吹雪の発生が推測されないため、「防雪林の防雪機能が十分である」と評価する。

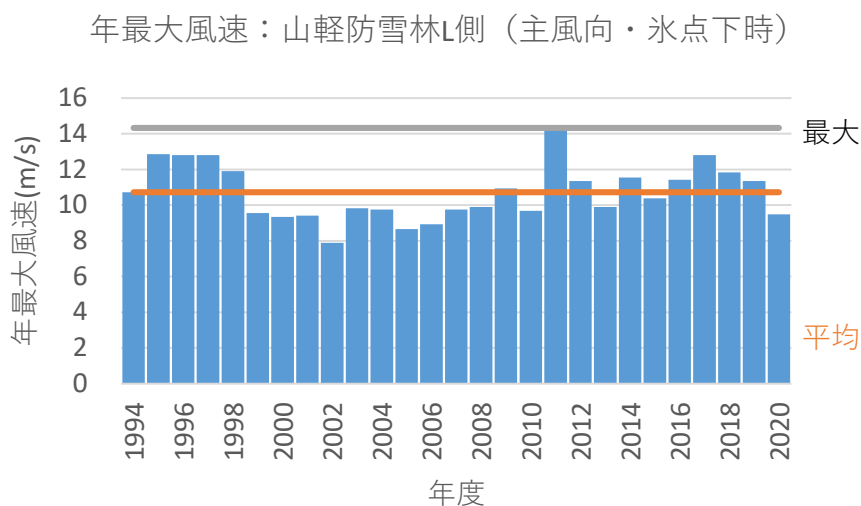


図 1.14 年最大風速

山軽防雪林L側（吹雪時）

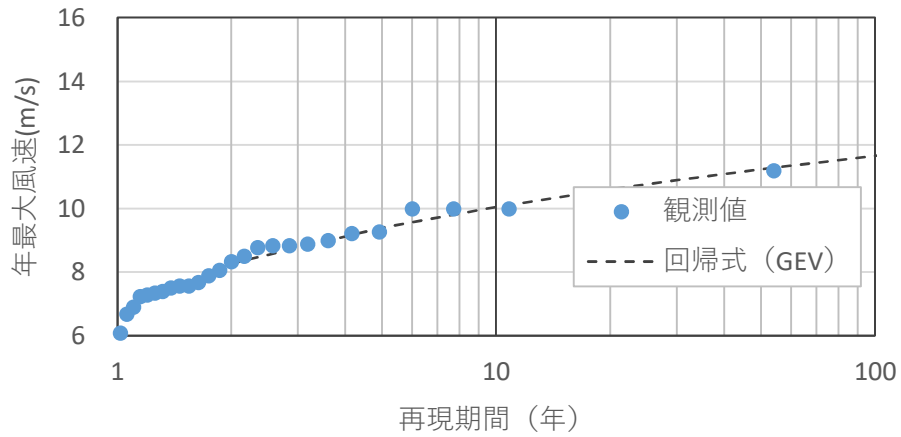


図 1.15 年最大風速の極値統計結果

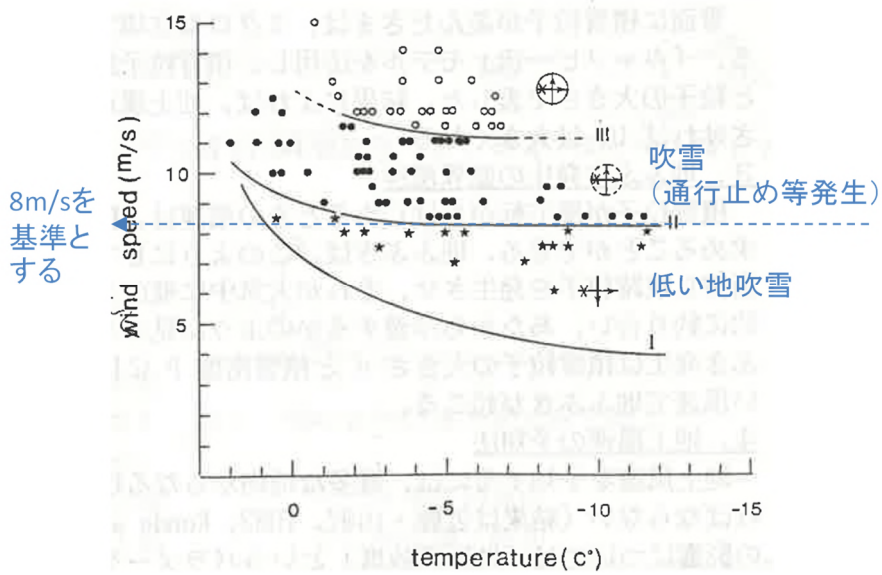


図 1.16 気温・風速（7m 高）と吹雪発生の関係例

※竹内ら（1964）²に加筆して作成

² 竹内政夫ら、1986：降雪時の高い地吹雪の発生限界風速、昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集

■年最大風速（平年値）を対象とした評価

図 1.17 に雄信内防雪林で推定される年最大風速（7m 高）を示す。図より、平均値は 8.4m/s となる。

次に、防雪林風下側の風速を推定し、吹雪の発生から防雪機能を評価する。防雪林の空隙率は 0.04 であり、風速比は 0.64 と推測されることより、防雪林風下側の風速は 5.4m/s と推測される。

防雪林風下側で推測された風速は、8m/s より小さく、交通障害に至る吹雪（≠低い地吹雪）の発生は推測されない。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した（図 1.16）。

以上より、吹雪の発生が推測されないため、「防雪林の防雪機能が十分である」と評価する。

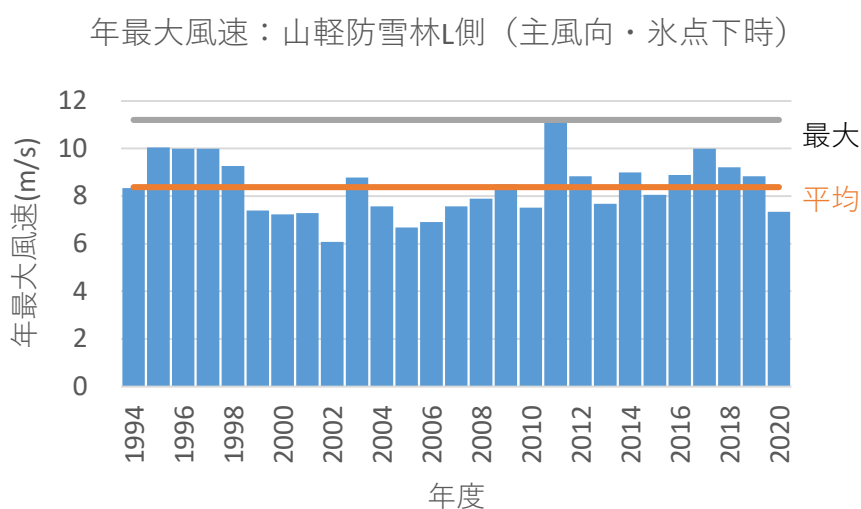


図 1.17 年最大風速（再掲）

■吹雪の派生頻度を対象とした評価

山軽防雪林で吹雪発生が想定される時間数を推定した結果（図 1.18）より、防雪林の防雪機能を評価する。

吹雪発生の時間数は、以下に全ての条件に該当する時間数をカウントして算出した。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した。

浅茅野テレメータの風向：	W～WNW
山軽防雪林の気温（推定値）：	0℃以下
山軽防雪林の風速（推定値、7m 高）：	8m/s 以上

図より、吹雪時間数の年平均値は 0 時間である。ここでは 1 日程度（24 時間程度）の吹雪発生を許容すると考え、「防雪林の防雪機能が十分である」と評価する。



図 1.18 吹雪発生時間

※全年度、発生頻度が 0 時間のため、値が表示されていない。

(3) 防雪機能の低下の原因の推測

前項の検討で「防雪林の防雪機能が十分である」と評価されたため、防雪機能の低下の原因はなく、図 1.19 では「C.機能低下なし」となる。

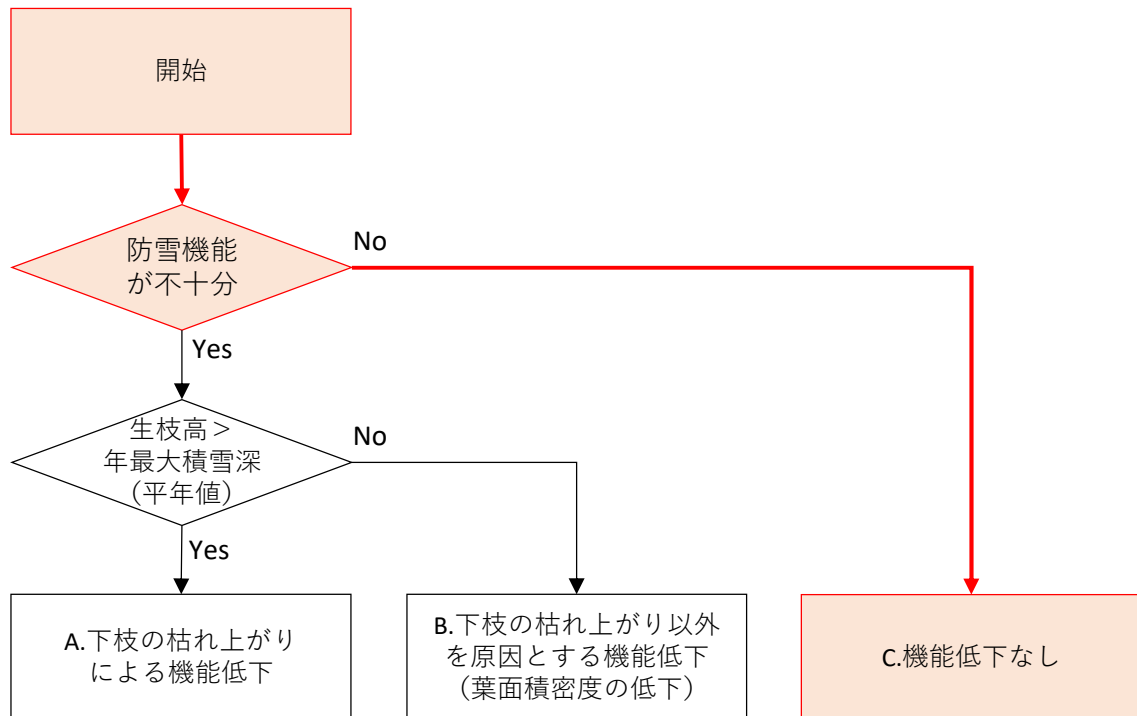


図 1.19 防雪機能低下の原因の推測

1.2.2 管理手法の選定

前項で「防雪機能の低下なし」とされたとして管理手法を選定する。樹木調査の結果より、樹幹の閉塞が見られるため、将来の下枝の枯れ上がりによる機能低下を予防するため、間引きを実施する（図 1.10）

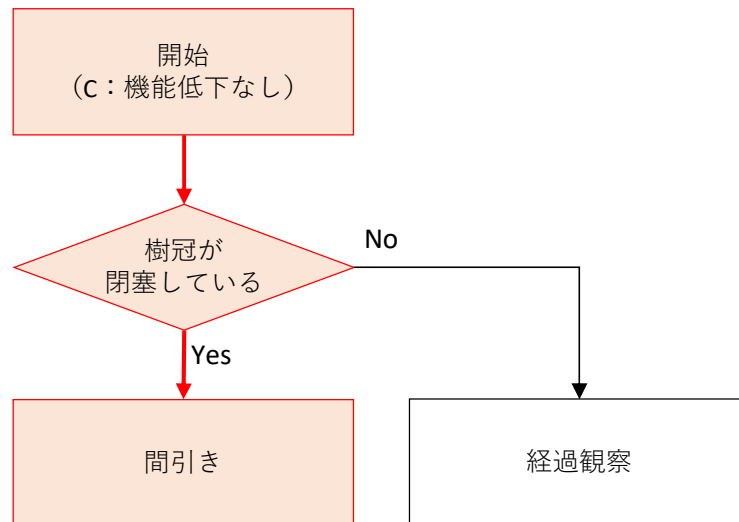


図 1.20 管理手法の選定フロー（防雪機能低下なし）

1.2.3 補助柵併設による機能低下対策

山軽防雪林は道路吹雪対策マニュアル以前に植栽された樹林であることから、技術資料の当該部分を参考に以下の間引きを実施する（図 1.21）。

- ①道路側の常緑針葉樹は最も外側の下枝は健全であるが、次の列からは下枝の枯れ上がりが進行しているために道路から4列は間引きを行わず群としての形態で防雪機能の発揮を図る。
- ②内部では間引き率は50%となる。一回に間引きを行うと急激に環境が変化する恐れがあるため、3回に分けて間引く。
- ③管理用道路がなく、以後の管理作業に支障を来すことから管理用道路にかかる列を1回目の間引き対象とする。
- ④2回目は風下である管理用道路～道路側を間引き対象とし、1列置きに間引く。
- ⑤3回目に管理用道路と防雪柵間の列を間引く。ただし、残存密度が低い場合には形質不良木の間引きに留める。
- ⑥単木として考えて間引き木を選定することはたいへん困難なことから、機械的に列状に間引くこととした。

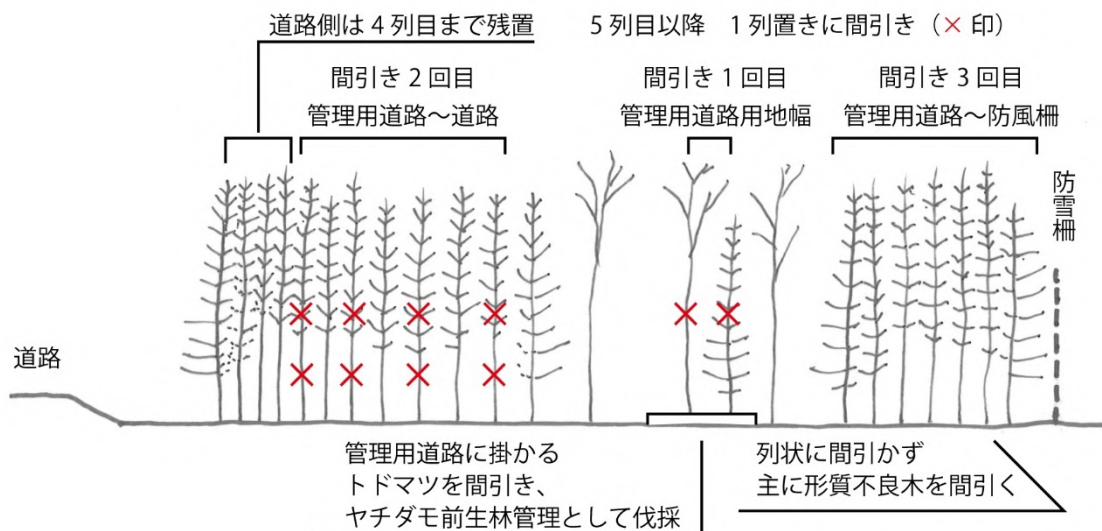


図 1.21 密植千鳥植えの間引き模式図と間引きの順序

1.3 山軽防雪林（R側）

1.3.1 防雪林の機能評価

(1) 防雪林風上の風速の推定

■推定方針

山軽防雪林 R 側（現地）と、既存の気象観測所として浅茅野テレメータ（開発局）の位置を図 1.22 に示す。山軽防雪林は海岸部には位置しないため、現地で 1 冬期観測した気象データと、浅茅野テレメータで 27 冬期に渡って観測された気象データより、現地の 27 冬期の気象データを推定して、検討に利用する。

使用するデータ

- ・ 山軽防雪林 R 側（現地）： 風向、風速、気温（1 時間値）
2020 年 12 月～2021 年 4 月
- ・ 浅茅野テレメータ： 風向、風速、気温（1 時間値）
1994～2020 年度（各年度 12～4 月）

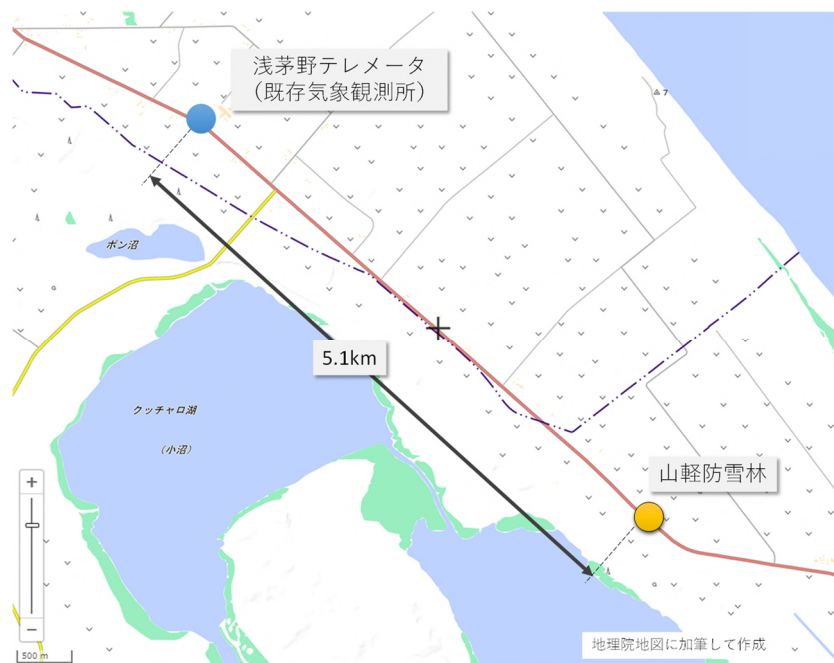


図 1.22 山軽防雪林と気象観測所の位置

■風向の関係整理

風速の推定は、現地で吹雪が想定される時間を対象に行う。ここでは、現地で吹雪時の主風向が想定される条件を把握するため、図 1.23 に 2020 年度の風向別の発生頻度を整理した。

図の左側は現地で吹雪が想定される頻度を示す。ここでは、発生頻度が大きいことから、現地の吹雪時主風向を NNE、NE と想定した。なお、ここで利用した吹雪の発生条件は、気温 0℃以下、かつ 7m の高さの風速が 5m/s 以上の場合である。

図の右側は、現地で吹雪発生かつ吹雪時主風向時について、浅茅野テレメータの風向別発生頻度を整理した結果であり、NNE、NE の頻度が大きいことが分かる。

以上より、浅茅野テレメータで NNE、NE の風向時に、現地で吹雪時主風向となっている可能性が大きいと考えられる。

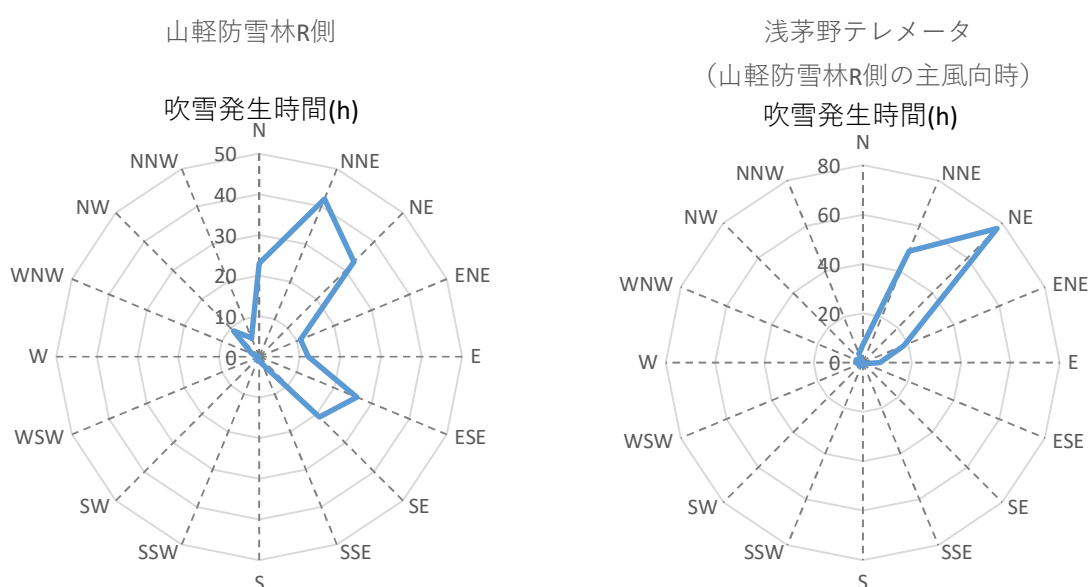


図 1.23 風向別の発生頻度

※左：山軽防雪林 R 側の吹雪時

※右：浅茅野テレメータ（山軽防雪林 R 側で NNE、NE かつ吹雪時）

■回帰分析による推定式の作成

山軽防雪林 R 側で吹雪時かつ主風向時の気象データを用いて回帰分析を行うことにより、浅茅野テレメータから山軽防雪林 R 側の気象を推定する回帰式を作成した (図 1.24)。

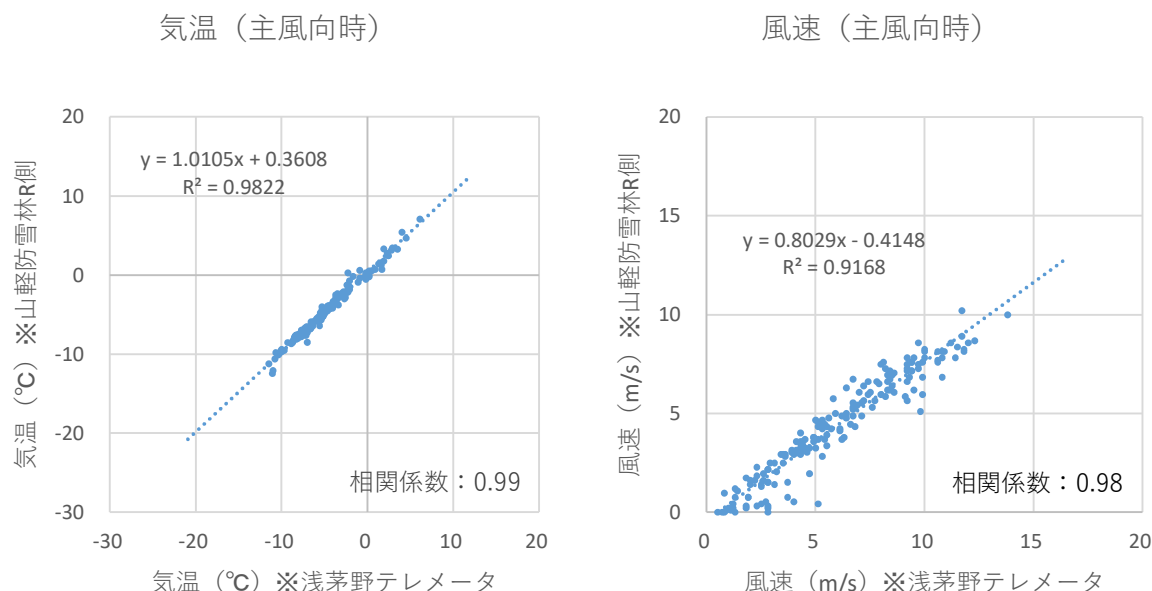


図 1.24 浅茅野テレメータと山軽防雪林 R 側の気象の関係 (左：気温、右：風速)

※山軽防雪林 R 側で吹雪発生かつ吹雪時主風向時

※1 時間値を示す。

■山軽防雪林 R 側の風速の推定

浅茅野テレメータの気象データを、前項で求めた回帰式に代入し、山軽防雪林 R 側における風速を推定した。

なお、以降で示すように吹雪の発生を高さ 7m の風速で行ったため、道路吹雪対策マニュアルで示される風速の高度補正方法に基づき、推定した風速を高さ 7m に高度補正した後、以降の検討で利用した。

推定した期間：1994～2020 年度 (各年度 12～4 月)

推定した条件：浅茅野テレメータの風向が ENE、NE、

かつ推定される山軽防雪林の気温が 0°C 以下

(2) 防雪機能の評価

前項で推定した山軽防雪林 R 側における風速（1994～2020 年度）を用いて、防雪林の防雪機能の評価を行った。

なお、防雪機能低下の原因の推測は次項で実施した。

■年最大風速（10 年再現確率値）を対象とした評価

山軽防雪林の年最大風速(7m 高)を図 1.25 に示す。また、年最大風速の極値統計結果を図 1.26 に示す。極値統計結果より、年最大風速（10 年再現確率値）は 9.4m/s となる。

次に、防雪林風下側の風速を推定し、吹雪の発生から防雪機能を評価する。防雪林の空隙率は 0.37 であり、風速比は 1.00 と推測されることより、防雪林風下側の風速は 9.4m/s と推測される。

防雪林風下側で推測された風速は、8m/s より大きく、交通障害に至る吹雪（≠低い地吹雪）の発生が推測される。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した（図 1.27）。

以上より、吹雪の発生が推測されるため、「防雪林の防雪機能が不十分である」と評価する。

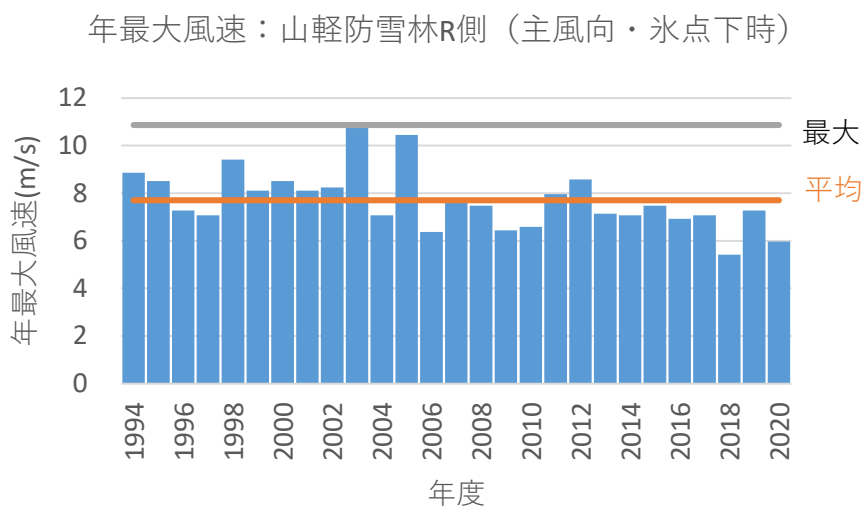


図 1.25 年最大風速

山軽防雪林R側（吹雪時）

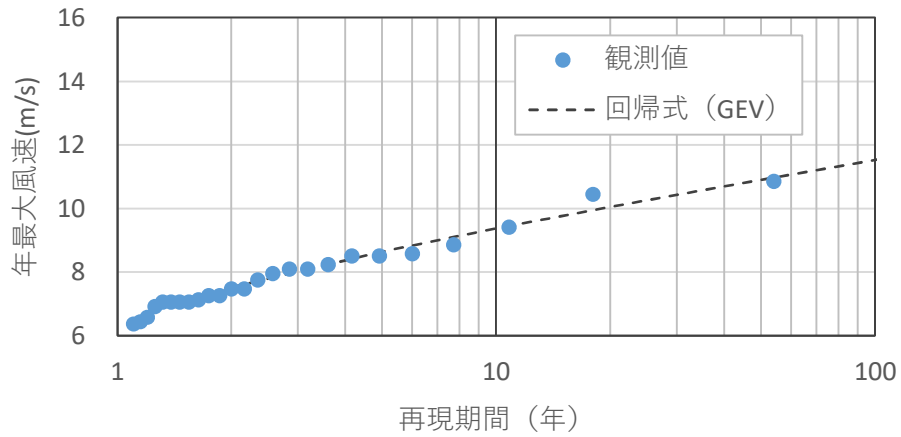


図 1.26 年最大風速の極値統計結果

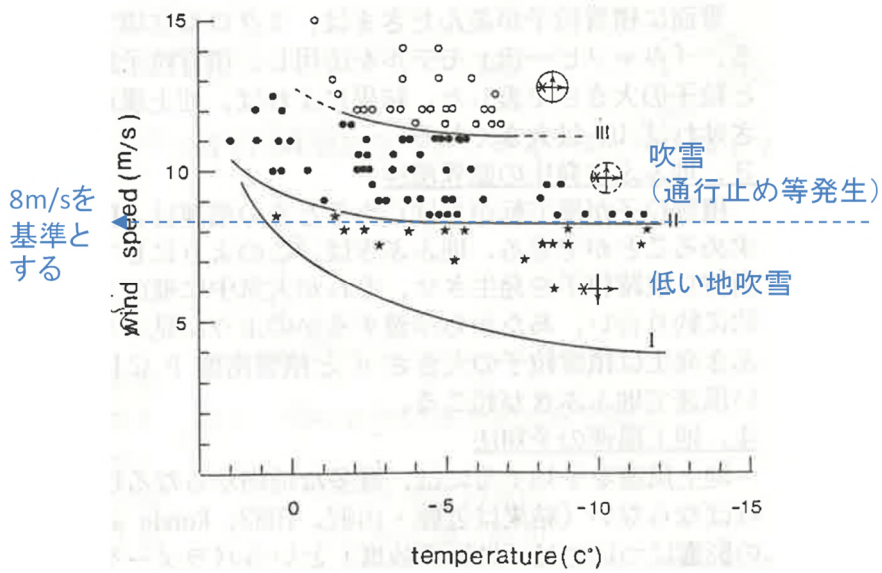


図 1.27 気温・風速（7m 高）と吹雪発生の関係例

※竹内ら（1964）³に加筆して作成

³ 竹内政夫ら、1986：降雪時の高い地吹雪の発生限界風速、昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集

■年最大風速（平年値）を対象とした評価

図 1.28 に雄信内防雪林で推定される年最大風速（7m 高）を示す。図より、平均値は 7.7m/s となる。

次に、防雪林風下側の風速を推定し、吹雪の発生から防雪機能を評価する。防雪林の空隙率は 0.37 であり、風速比は 1.00 と推測されることより、防雪林風下側の風速は 7.7m/s と推測される。

防雪林風下側で推測された風速は、8m/s より小さく、交通障害に至る吹雪（≠低い地吹雪）の発生は推測されない。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した。

以上より、吹雪の発生が推測されないため、「防雪林の防雪機能が十分である」と評価する。

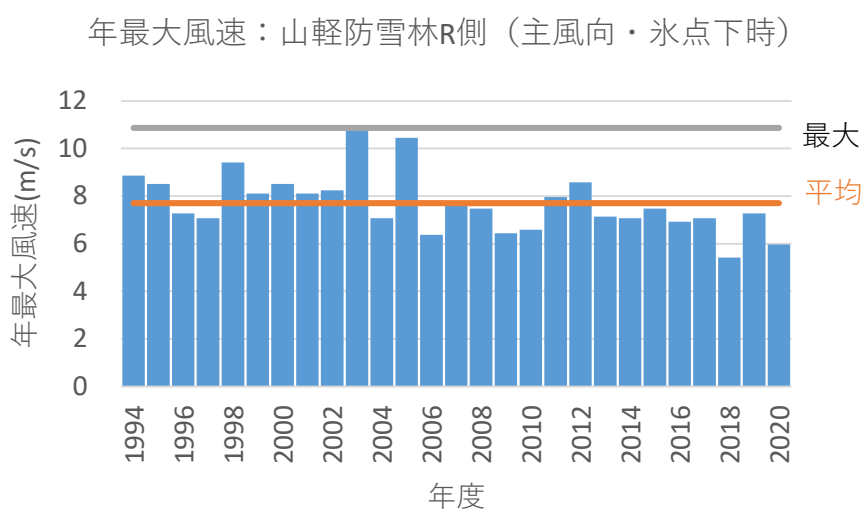


図 1.28 年最大風速（再掲）

■吹雪の派生頻度を対象とした評価

山軽防雪林で吹雪発生が想定される時間数を推定した結果（図 1.29）より、防雪林の防雪機能を評価する。

吹雪発生の時間数は、以下に全ての条件に該当する時間数をカウントして算出した。なお、吹雪発生の風速の閾値 8m/s は、竹内ら（1964）より、通行止めとなりやすい吹雪が発生するとされる風速を参考に設定した。

浅茅野テレメータの風向：	ENE、NE
山軽防雪林の気温（推定値）：	0℃以下
山軽防雪林の風速（推定値、7m 高）：	8m/s 以上

図より、吹雪時間数の年平均値は 1 時間である。ここでは 1 日程度（24 時間程度）の吹雪発生を許容すると考え、「防雪林の防雪機能が十分である」と評価する。

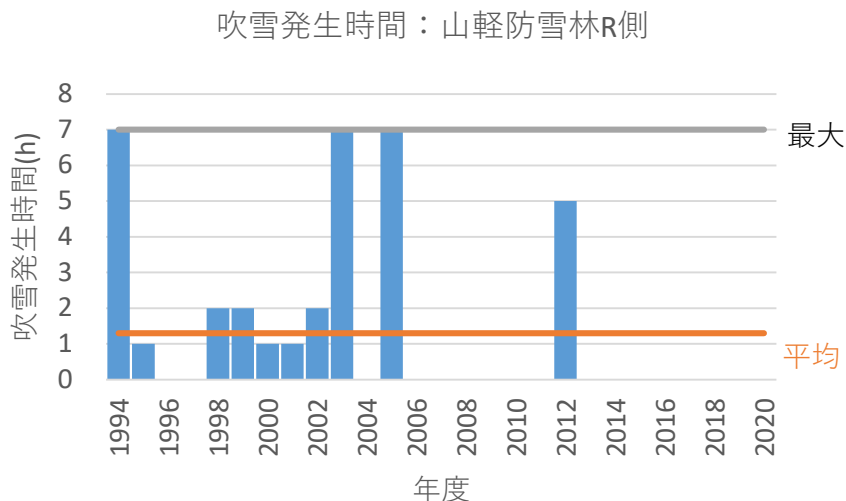


図 1.29 吹雪発生時間

※発生頻度が 0 時間の年度は表示されない。

(3) 防雪機能の低下の原因の推測

前項の検討で「防雪林の防雪機能が十分である」と評価されたとすると、防雪機能の低下の原因はなく、「C.機能低下なし」となる（図 1.19）。

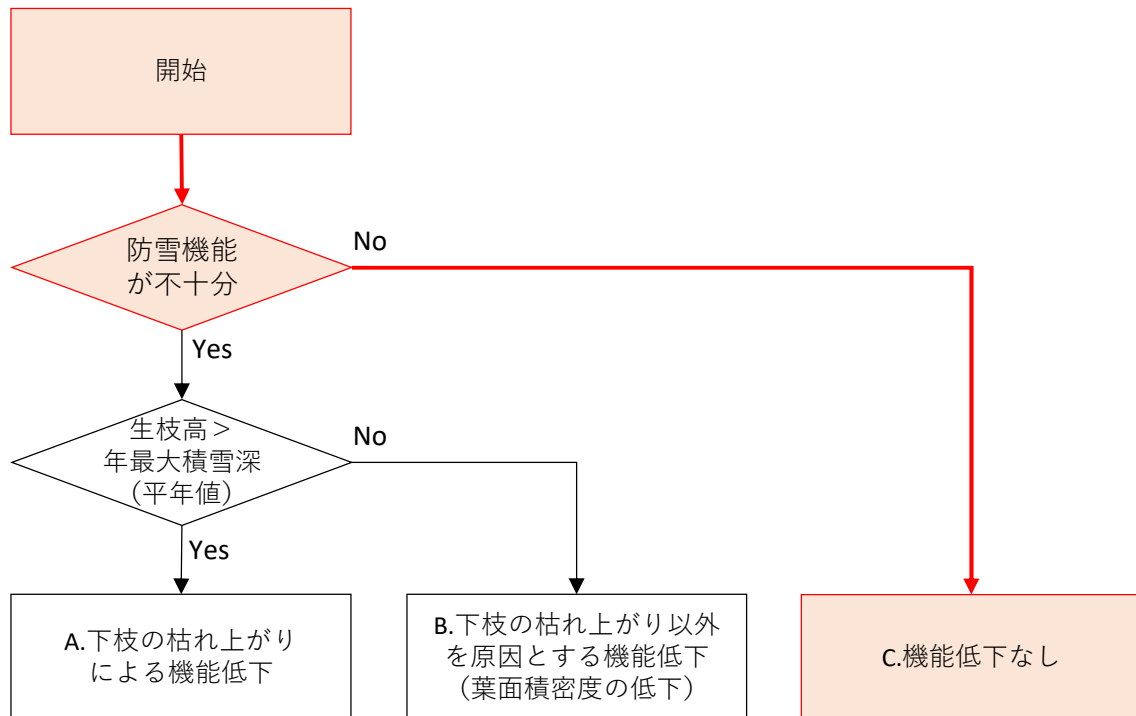


図 1.30 防雪機能低下の原因の推測

1.3.2 管理手法の選定

前項で「防雪機能の低下なし」とされたとして管理手法を選定する。樹木調査の結果より、樹幹の閉塞が見られるため、将来の下枝の枯れ上がりによる機能低下を予防するため、間引きを実施する（図 1.31）

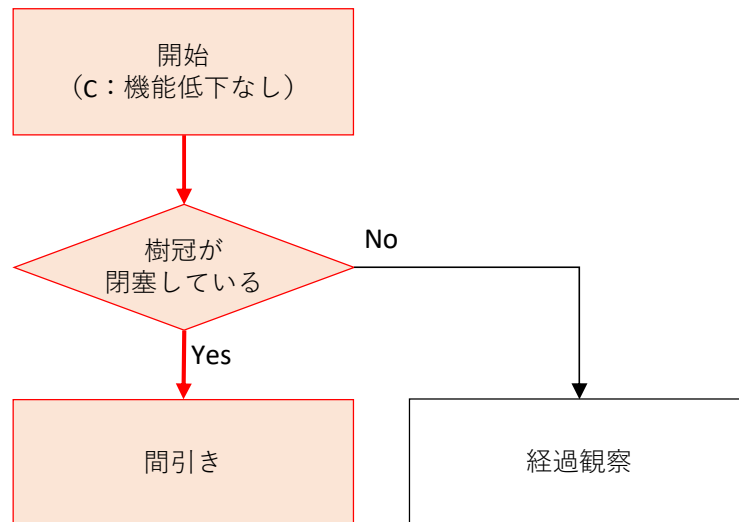


図 1.31 管理手法の選定フロー（防雪機能低下時）

1.3.3 補助柵併設による機能低下対策

山軽防雪林は道路吹雪対策マニュアル以前に植栽された樹林であることから、技術資料の当該部分を参考に以下の間引きを実施する（図 1.32）。

- ①道路側の常緑針葉樹は最も外側の下枝は健全であるが、次の列からは下枝の枯れ上がりが進行しているために道路から4列は間引きを行わず群としての形態で防雪機能の発揮を図る。
- ②内部では間引き率は50%となる。一回に間引きを行うと急激に環境が変化する恐れがあるため、3回に分けて間引く。
- ③管理用道路がなく、以後の管理作業に支障を来すことから管理用道路にかかる列を1回目の間引き対象とする。
- ④2回目は風下である管理用道路～道路側を間引き対象とし、1列置きに間引く。
- ⑤3回目に管理用道路と防雪柵間の列を間引く。ただし、残存密度が低い場合には形質不良木の間引きに留める。
- ⑥単木として考えて間引き木を選定することはたいへん困難なことから、機械的に列状に間引くこととした。

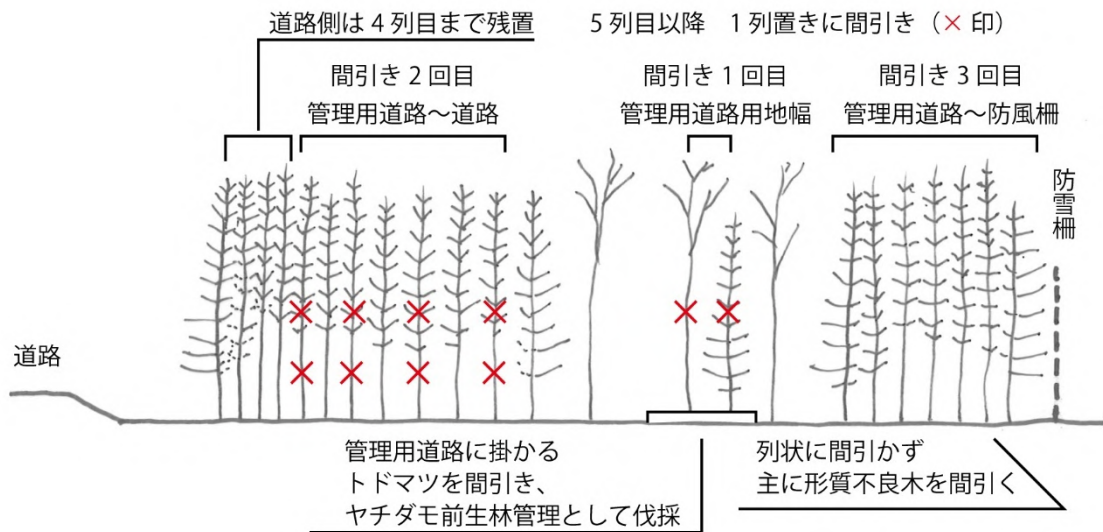


図 1.32 密植千鳥植えの間引き模式図と間引きの順序

2. 補助柵の併設例

2.1 概要

林が枯れ上がったことで、道路への吹き込みを防ぐために補助柵を設置した防雪林は、“一般国道 40 号天塩町雄信内防雪林”と“一般国道 44 号浜中町茶内防雪林”がある（写真 2.1、写真 2.2 参照）。

補助柵の構成は、雄信内防雪林・茶内防雪林共に単管パイプで枠を作りそこにネットを張っているものである。枠の建て込みは、単管パイプを杭と地中に打ち込みそれに単管クランプで繋いでいる。控え材の設置位置は、雄信内防雪林が風下側、茶内防雪林は風上側に設置されている。設置箇所は雄信内防雪林が林帯内、茶内防雪林は道路と林帯の間に設置されている。

雄信内防雪林の併用柵は、令和 2 年に羽幌道路で設置され、「令和 2 年度 道路防雪林における気象観測等業務」で風速等の観測が行われている。ここでは、今後各防雪林で補助柵の設置が必要となった場合の参考資料として設計条件と雄信内防雪林に設置された併用柵の図面及び構造計算等を添付するものである。



写真 2.1 雄信内防雪林（令和 3 年 4 月撮影）



写真 2.2 茶内防雪林（平成 30 年 6 月撮影）

2.2 設計条件

補助柵を設置する際の設計条件として留意する点を記載する。

2.2.1 設置箇所

補助柵は仮設の扱いであるが、通年設置されることが予想される。通年で現地に設置されれば、ネットの劣化や単管が傾くことが予想される。劣化や傾きが進行すれば、通行車両への二次被害も考えられる。よって、そのようなことがあっても二次被害の出にくい林帯の中に設置されることが望ましい。

2.2.2 補助柵の高さ

補助柵の高さは枯れ上がり高さにもよるが、雄信内で設置した高さ（ $H=2.70\text{m}$ ）は、「令和2年度 道路防雪林における気象観測等業務（寒地土木研究所）」で減風効果は証明されており、 $H=2.70\text{m}$ が望ましい。なお、それ以上の高さになると風の受ける面積が大きくなるため、単管パイプ等の構造計算を別途行い、安全を確かめる必要がある。

2.2.3 構造計算条件

(1) 基本風速

基本風速は近傍気象官署のデータで求められた30年確率値を採用する。なお、「道路吹雪対策マニュアル」にアメダスで求められた30年確率再現期待値が掲載されている。

(2) 材料

使用材料の断面性能等はカタログや文献等から把握しておくこと。

(3) 基礎計算における地盤定数

基礎計算で使用する地盤定数は、主に設計N値の他、地盤種別（砂質土 or 粘性土）である。地盤種別は目視調査、N値はスウェーデン試験等の調査を行うことが望ましい。なお、後に掲載する雄信内の地盤定数は想定ということである。

2.3 雄信内防雪林併設事例

(1) 図面

雄信内防雪林の一般図を参図 2.1～参図 2.2 に添付する。

(2) 設計計算

参図 2.1 の設計計算書を参図 2.3～参図 2.11 に添付する。

仮設防風ネットの計算 ネット高2.70m、下部間隙0.30m

1. 設計条件

1.1 設計風速

設計風速は、「道路吹雪対策マニュアル」P3-5-1を参考に下記の式により算出する。

$$V = V_T \cdot v_2$$

ここで、 V : 当該地域における防雪柵の設計風速 (m/s)
 V_T : 基本風速 (m/s) $V_T = 25$ m/s
 v_2 : 水平長補正係数 (1.21を基本とする。)
 $V = 25 \times 1.21 = 30$ m/s

1.2 材料

(1) 鋼材の定数

ヤング係数 $E = 205,000$ N/mm²

※「鋼構造設計基準」P8

(2) 許容応力度

①鋼材 (STK500)

許容応力度は、労働安全衛生規則第241条により算出する。

引張強さ 500 N/mm²
 降伏点強さ 355 N/mm²
 引張強さの3/4 375 N/mm²
 許容引張応力度 $f_t = 237$ N/mm²
 許容圧縮応力度 $f_c = 237$ N/mm²
 許容曲げ応力度 $f_b = 237$ N/mm²
 許容せん断応力度 $f_s = 135$ N/mm²

鋼材の許容曲げ応力及び許容圧縮応力の値は、当該鋼材の降伏強さの値又は引張強さの値の四分の三の値のうちいずれか小さい値の三分の二の値以下とすること

鋼材の許容せん断応力の値は、当該鋼材の降伏強さの値又は引張強さの値の四分の三の値のうちいずれか小さい値の百分の三十八の値以下とする

許容座屈応力度

$l \div i \leq \Lambda$ の場合

$$\sigma_c = [1 - 0.4 \cdot \{ (l \div i) \div \Lambda \}^2] \div \nu \cdot F$$

$l \div i > \Lambda$ の場合

$$\sigma_c = [0.29 \div \{ \{ (l \div i) \div \Lambda \}^2 \}] \cdot F$$

ここで、 l : 支柱の長さ (支柱が水平方向の変位を拘束されているときは、拘束点間の長さのうち最大の長さ) (cm)

i : 支柱の最小断面二次半径 (cm)

Λ : 限界細長比 $\Lambda = \sqrt{(\pi^2 \cdot E \div (0.6 \cdot F))}$

$$\Lambda = \sqrt{(\pi^2 \times 205,000 \div (0.6 \times 355))} = 97.0$$

π : 円周率

E : 鋼材のヤング係数

σ_c : 許容座屈応力

ν : 安全率 $\nu = 1.5 + 0.57 \cdot \{ (l \div i) \div \Lambda \}^2$

F : 該鋼材の降伏強さの値又は引張強さの値の四分の三の値のうちいずれか小さい値 $F = 355$ N/mm²

②緊結金具の許容耐力

直交クランプ 4.90 kN

自在クランプ 3.43 kN

③ネット

許容引張応力度 $F_t = 1.28$ kN

(3) 単管パイプ

仮設用単管パイプを使用する。下記数値は「新日本製鉄建設用資材ハンドブック」より

材質 STK500
 寸法 外径 $D = 48.6$ mm
 厚さ $t = 2.4$ mm
 重量 $W = 2.73$ kg/m
 断面性能 断面積 $A = 3.483$ cm²
 断面二次モーメント $I = 9.32$ cm⁴
 断面係数 $Z = 3.83$ cm³
 断面二次半径 $i = 1.64$ cm

(4) ネット充実率

$S = 70$ %

1.3 基礎

(1) 支持力の検討方法

支持力の検討方法は、「道路土工—仮設構造物指針」P68~P71を参考に行う。

$$R_a = \frac{1}{n} \cdot R_u$$

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i F_i$$

ここで、 R_a : 許容支持力 (kN)

R_u : 極限支持力 (kN)

n : 安全率 $n = 2$

q_d : 打込単管パイプ先端地盤の極限支持力度 (kN/m²)

$$q_d = 200 \cdot \alpha \cdot N$$

A : 打込単管パイプの先端面積 (m²)

U : 打込単管パイプの周長 (m) $U = 152.7$ mm = 0.1527 m

l_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

F_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

砂質土 $F_i = 2 \cdot \beta \cdot N_s$

粘性土 $F_i = 10 \cdot \beta \cdot N_c$

α : 施工条件による先端支持力度の係数

打撃工法とし $\alpha = 1.0$

N : 先端地盤のN値

β : 施工条件による周面摩擦力度の係数

打撃工法とし $\beta = 1.0$

N_s : 砂質土のN値 $N_s = 10$

N_c : 粘性土のN値 $N_c = 10$

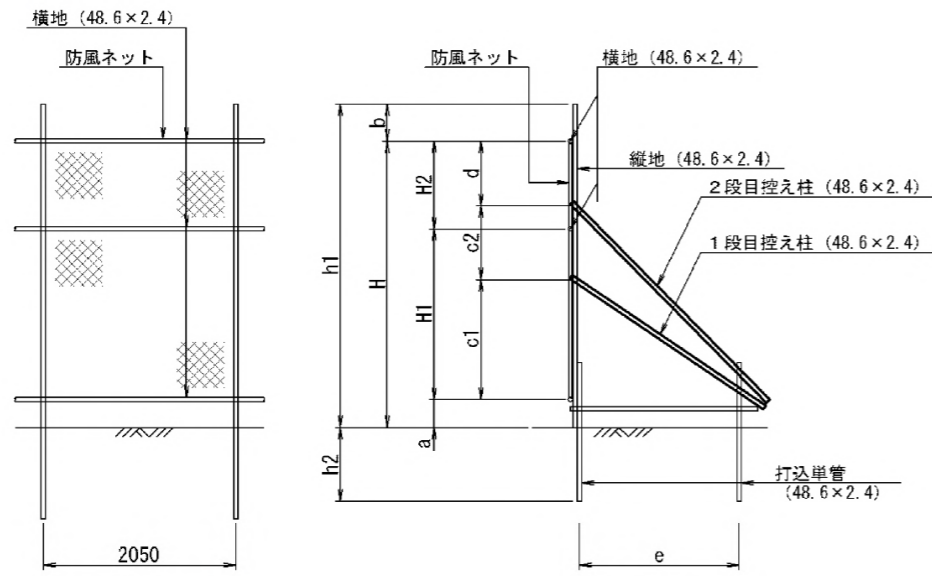
※粘性土のN値または粘着力で150kN/m²を上まわる場合は、150kN/m²とする。

(2) 許容杭頭変位量

$\delta_a = 15$ mm

参図 2.3 雄信内 設計計算書 (1)

1.3 構造諸元



寸法表

横地間隔	H	2.80	m
下段横地間隔	H1	1.85	m
上段横地間隔	H2	0.95	m
下段横地位置	a	0.30	m
上段横地位置	b	0.40	m
縦地寸法	h1	3.50	m
控え柱1段目接続位置1	c1	1.30	m
控え柱2段目接続位置1	c2	0.80	m
控え柱2段目接続位置2	d	0.70	m
打込単管根入れ	h2	0.80	m
打込単管離れ	e	1.70	m
縦地間隔	L	2.00	m
控え柱1段目接続位置2	f1	0.40	m
控え柱1段目接続位置3	g1	1.20	m
控え柱2段目接続位置2	f2	0.60	m
控え柱2段目接続位置3	g2	1.80	m

2. 風圧力の算出

風圧力の算出方法は、建築基準法施行令第87条、建設省告示1454号 (H12.5.31) を参考とする。

(1) 速度圧の算出

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V^2$$

ここで、 q : 速度圧 (N/m²)

E : 当該建築物の屋根の高さ及び周辺の地域に存する建築物その他の工作物、樹木その他の風速に影響を与えるものの状況に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

V : その地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度その他の風の性状に応じて30m/sから46m/sまでの範囲内において国土交通大臣が定める風速
ここでは、道路吹雪対策マニュアルで算出した設計風速 (m/s) とする。

$$E = E_r^2 \cdot G_f$$

ここで、 E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合} \quad E_r = 1.7 (Z_b/ZG)^\alpha$$

$$H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合} \quad E_r = 1.7 (H/ZG)^\alpha$$

地表面粗度区分		Zb (m)	ZG (m)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域以外の区域 (建築物の高さが13m以下の場合を除く。) 又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分 IV の区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線 (対岸までの距離が1,500m以上のものに限る。以下同じ。) までの距離が500m以内の地域 (ただし、建築物の高さが13m以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が200mを超え、かつ、建築物の高さが31m以下である場合を除く。)	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又は IV 以外の区域	5	450	0.20
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27

H : 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

G_f : 第3項の規定によって算出したガスト影響係数

G_f は、地表面粗度区分及びHに応じて次の表に掲げる数値とする。ただし当該建築物の規模又は構造特性及び風圧力の変動特性について、風洞試験又は実測の結果に基づき算出する場合には、当該算出によることができる。

H	(1)	(2)	(3)
	10以下の場合	10を超え40未満の場合	40以上の場合
I	2.0	(1)と(3)に掲げる数値を直線的に補間した数値	1.8
II	2.2		2.0
III	2.5		2.1
IV	3.1		2.3

$$\text{柵高} \quad H = 3.50 \text{ m}$$

$$\text{地表面粗度区分} \quad \text{III}$$

HがZb以下なので、Er算出は以下の式を使う。

$$E_r = 1.7 (Z_b/ZG)^\alpha$$

$$E_r = 1.7 \times (5 / 450)^{0.20} = 0.691$$

$$G_f = 2.5$$

$$E = 0.691^2 \times 2.5 = 1.194$$

$$q = 0.6 \times 1.194 \times 30^2 = 644.8 \text{ N/m}^2$$

参図 2.4 雄信内 設計計算書 (2)

(2) 風力係数

風力係数は、「金網その他の網状の構造物」として以下の式により算出する。

$$C_f = 1.4 \cdot K_z$$

ここで、 K_z : 次に掲げる表によって計算した数値

HがZb以下の場合		1.0
HがZbを超える場合	ZがZb以下の場合	$(Zb/H)^{2\alpha}$
	ZがZbを超える場合	$(Z/H)^{2\alpha}$

$$C_f = 1.4 \times 1.0 = 1.4$$

(3) 風荷重

$$P_0 = C_f \cdot q$$

$$= 1.4 \times 644.8 = 902.7 \text{ N/m}^2$$

(4) 風圧力

ネット充実率 $S = 0.70$

横地単管幅 $b_1 = 0.0486 \text{ m}$

縦地単管幅 $b_2 = 0.0486 \text{ m}$

ネット単位風圧 $\omega_1 = P_0 \cdot S = 902.7 \times 0.70 = 631.9 \text{ N/m}^2$

横地単管単位風圧 $\omega_2 = P_0 \cdot b_1 = 902.7 \times 0.0486 = 43.9 \text{ N/m}$

縦地単管単位風圧 $\omega_3 = P_0 \cdot b_2 = 902.7 \times 0.0486 = 43.9 \text{ N/m}$

3. ネットの検討

ネットの許容引張力 $F_t = 1.28 \text{ kN}$

ネットに掛かる風圧 $\omega_1 = 0.63 \text{ kN}$

$$F_t \geq \omega_1 \rightarrow \text{OK}$$

4. 横地単管パイプの検討

4.1 等分布荷重の算出

下段横地単管で検討する。

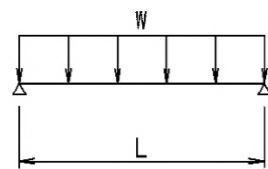
$$W = \omega_1 \cdot H / 2 + \omega_2$$

$$= 631.9 \times 2.80 / 2 + 43.9 = 928.6 \text{ N/m}$$

4.2 部材検討

1) 曲げモーメント

単純梁、等分布荷重として解く



L	2.00	m
---	------	---

$$M = W \cdot L^2 / 8$$

$$= 928.6 \times 2.00^2 / 8 = 464.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2) 曲げ応力度の検討

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{464.3 \times 10^3}{3.83 \times 10^3} = 121.2 \text{ N/mm}^2 \leq 237 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

5. 縦地単管パイプの検討

5.1 等分布荷重の算出

$$W1 = \omega_1 \cdot L + 2 \cdot \omega_2$$

$$= 631.9 \times 2.00 + 2 \times 43.9 = 1351.6 \text{ N/m}$$

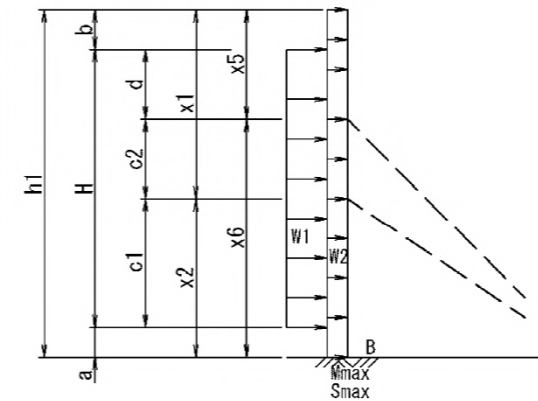
$$W2 = \omega_3$$

$$= 43.9 = 43.9 \text{ N/m}$$

5.2 控え材が無い場合の検討

(1) 荷重項の算出

片持ち、等分布荷重として解く



H	2.80	m	x1	1.10	m
a	0.30	m	x2	1.60	m
b	0.40	m	x5	1.10	m
h1	3.50	m	x6	2.40	m
c1	1.30	m			
c2	0.80	m			
d	0.70	m			
h2	0.80	m			
e	1.70	m			
L	2.00	m			

1) 支点反力

$$R_B = W1 \cdot H + W2 \cdot h1$$

$$= 1351.6 \times 2.80 + 43.9 \times 3.50 = 3938.1 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_B = -R_B$$

$$= -3938.1 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_B = -W1 \cdot H \cdot (h1 - b - \frac{H}{2}) + \frac{W2 \cdot h1^2}{2}$$

$$= -1351.6 \times 2.80 \times (3.50 - 0.40 - \frac{2.80}{2}) - \frac{43.9 \times 3.50^2}{2} = -6472.0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 応力度の検討

1) せん断応力度

(断面が薄肉円筒形型のせん断係数K=2)

$$\tau = \frac{K \cdot S}{A}$$

$$= \frac{2 \times 3938.1}{3.483 \times 10^2} = 22.6 \text{ N/mm}^2 \leq 135 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

2) 曲げ応力度

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

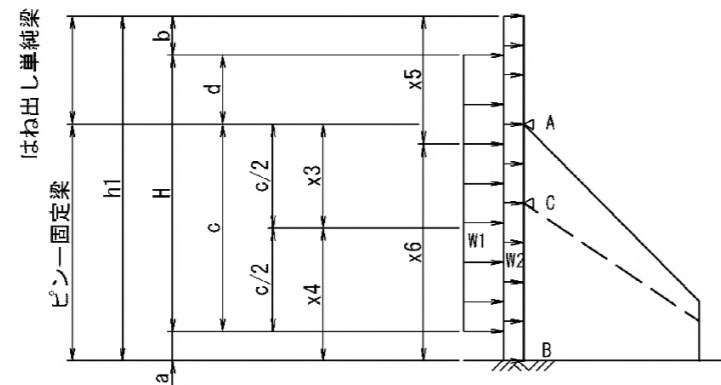
$$= \frac{6472.0 \times 10^3}{3.83 \times 10^3} = 1689.8 \text{ N/mm}^2 > 237 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OUT}$$

参図 2.5 雄信内 設計計算書 (3)

5.3 控え材を1段設置した場合の検討

5.3.1 荷重項の算出

はね出し単純梁、ピン-固定梁、等分布荷重として解く



H	2.80	m	x3	1.05	m
a	0.30	m	x4	1.35	m
b	0.40	m	x5	1.10	m
h1	3.50	m	x6	2.40	m
c	2.10	m			
d	0.70	m			
h2	0.80	m			
e	1.70	m			
L	2.00	m			

(1) はね出し単純梁 (控え材より上)

1) 支点反力

$$R_{A1} = W1 \cdot d \cdot \frac{2 \cdot x6 + d}{2 \cdot x6} + W2 \cdot x5 \cdot \frac{2 \cdot x6 + x5}{2 \cdot x6}$$

$$= 1351.6 \times 0.70 \times \frac{2 \times 2.40 + 0.70}{2 \times 2.40} + 43.9 \times 1.10 \times \frac{2 \times 2.40 + 1.10}{2 \times 2.40} = 1143.5 \text{ N}$$

$$R_{B1} = -\frac{W1 \cdot d^2}{2 \cdot x6} - \frac{W2 \cdot x5^2}{2 \cdot x6}$$

$$= -\frac{1351.6 \times 0.70^2}{2 \times 2.40} - \frac{43.9 \times 1.10^2}{2 \times 2.40} = -149.0 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{A1} = W1 \cdot d + W2 \cdot x5$$

$$= 1351.6 \times 0.70 + 43.9 \times 1.10 = 994.4 \text{ N}$$

$$S_{B1} = R_{B1} = -149.0 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_{A1} = -\frac{W1 \cdot d}{2} - \frac{W2 \cdot x5}{2}$$

$$= -\frac{1351.6 \times 0.70}{2} - \frac{43.9 \times 1.10}{2} = -497.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) ピン-固定梁 (控え材より下)

○単純梁での算出

1) 支点反力

$$R_{A0} = W1 \cdot \frac{x4 \cdot c}{x6} + \frac{W2 \cdot x6}{2}$$

$$= 1351.6 \times \frac{1.35 \times 2.10}{2.40} + \frac{43.9 \times 2.40}{2} = 1649.3 \text{ N}$$

$$R_{B0} = W1 \cdot \frac{x3 \cdot c}{x6} + \frac{W2 \cdot x6}{2}$$

$$= 1351.6 \times \frac{1.05 \times 2.10}{2.40} + \frac{43.9 \times 2.40}{2} = 1294.5 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{A0} = -R_{A0} = -1649.3 \text{ N}$$

$$S_{B0} = R_{B0} = 1294.5 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_{\max 0} = \frac{x3 \cdot x4 \cdot c}{x6^2} \cdot W1 \cdot \left(x6 - \frac{c}{2}\right) + \frac{W2 \cdot x6^2}{2} \cdot \left(\frac{x4}{x6} - \frac{x4^2}{x6^2}\right)$$

$$= \frac{1.05 \times 1.35 \times 2.10}{2.40^2} \times 1351.6 \times \left(2.40 - \frac{2.10}{2}\right) + \frac{43.9 \times 2.40^2}{2} \times \left(\frac{1.35}{2.40} - \frac{1.35^2}{2.40^2}\right) = 974.1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

○ピン-固定梁での算出

1) 支点反力

$$R_{A2} = R_{A0} + \frac{M_{B2}}{x6} = 1649.3 + \frac{-2255.2}{2.40} = 709.6 \text{ N}$$

$$R_{B2} = R_{B0} - \frac{M_{B2}}{x6} = 1294.5 - \frac{-2255.2}{2.40} = 2234.2 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{A2} = S_{A0} + \frac{M_{B2}}{x6} = -1649.3 + \frac{-2255.2}{2.40} = -2589.0 \text{ N}$$

$$S_{B2} = S_{B0} + \frac{M_{B2}}{x6} = 1294.5 + \frac{-2255.2}{2.40} = 354.8 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_{B2} = -\frac{W1 \cdot c \cdot \frac{c}{2}}{8 \cdot x6^2} \left\{ 8 \cdot x6^2 - 4 \cdot \left(x6 - \frac{c}{2}\right)^2 - c^2 \right\} - \frac{w2 \cdot x6^2}{8}$$

$$= -\frac{1351.6 \times 2.10 \times \frac{2.10}{2}}{8 \times 2.40^2} \times \left\{ 8 \times 2.40^2 - 4 \times \left(2.40 - \frac{2.10}{2}\right)^2 - 2.10^2 \right\} - \frac{43.9 \times 2.40^2}{8}$$

$$= -2255.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M = M_{\max 0} + M_{B2} \cdot \frac{x4}{x6}$$

$$= 974.1 + -2255.2 \times \frac{1.35}{2.40} = -294.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

○荷重項の合成

1) 支点反力

$$R_A = R_{A1} + R_{A2} = 1143.5 + 709.6 = 1853.1 \text{ N}$$

$$R_B = R_{B1} + R_{B2} = -149.0 + (2234.2) = 2085.2 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_A = S_{A1} + S_{A2} = 994.4 + -2589.0 = -1594.6 \text{ N}$$

$$S_B = S_{B1} + S_{B2} = -149.0 + (354.8) = 205.8 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_B = M_{B2} = -2255.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 応力度の検討

1) せん断応力度 (断面が薄肉円筒形型のせん断係数K=2)

$$\tau_n = \frac{K \cdot S_n}{A}$$

$$\tau_A = \frac{2 \times -1594.6}{2.400 \times 10^2} = -13.3 \text{ N/mm}^2 \leq 237 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

$$\tau_B = \frac{2 \times -205.8}{3.483 \times 10^2} = -1.2 \text{ N/mm}^2 \leq 135 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

2) 曲げ応力度

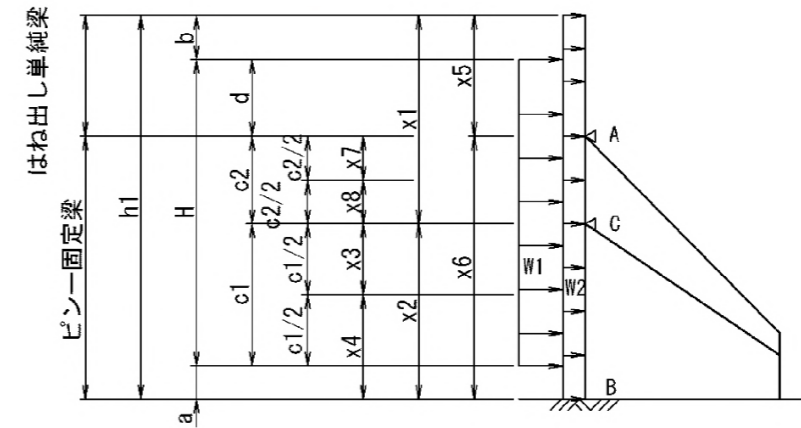
$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{2255.2 \times 10^3}{3.83 \times 10^3} = 588.8 \text{ N/mm}^2 > 237 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OUT}$$

5.4 控え材を2段設置した場合の検討

5.4.1 荷重項の算出

はね出し単純梁、ピン-固定梁、等分布荷重として解く



H	2.80	m	x1	1.20	m
a	0.30	m	x2	1.60	m
b	0.40	m	x3	0.65	m
h1	3.50	m	x4	0.95	m
c1	1.30	m	x5	1.10	m
c2	0.80	m	x6	2.40	m
d	0.70	m	x7	0.40	m
h2	0.80	m	x8	0.40	m
e	1.70	m			
L	2.00	m			

(1) はね出し単純梁 (2段目控え材より上)

1) 支点反力

$$R_{A1} = W1 \cdot d \cdot \frac{2 \cdot c2 + d}{2 \cdot c2} + W2 \cdot x5 \cdot \frac{2 \cdot c2 + x5}{2 \cdot c2}$$

$$= 1351.6 \times 0.70 \times \frac{2 \times 0.80 + 0.70}{2 \times 0.80} + 43.9 \times 1.10 \times \frac{2 \times 0.80 + 1.10}{2 \times 0.80}$$

$$= 1441.5 \text{ N}$$

$$R_{C1} = -\frac{W1 \cdot d^2}{2 \cdot c2} - \frac{W2 \cdot x5^2}{2 \cdot c2}$$

$$= -\frac{1351.6 \times 0.70^2}{2 \times 0.80} - \frac{43.9 \times 1.10^2}{2 \times 0.80} = -447.1 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{A1} = W1 \cdot d + W2 \cdot x5$$

$$= 1351.6 \times 0.70 + 43.9 \times 1.10 = 994.4 \text{ N}$$

$$S_{C1} = R_{C1} = -447.1 \text{ N}$$

参図 2.7 雄信内 設計計算書 (5)

3) 曲げモーメント

$$M_{A1} = -\frac{W1 \cdot d}{2} - \frac{W2 \cdot x5}{2}$$

$$= -\frac{1351.6 \times 0.70}{2} - \frac{43.9 \times 1.10}{2} = -497.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) ピン-固定梁 (1段目控え材と2段目控え材の間)

○単純梁での算出

1) 支点反力

$$R_{A2} = \frac{W1 \cdot c2}{2} + \frac{W2 \cdot c2}{2}$$

$$= \frac{1351.6 \times 0.80}{2} + \frac{43.9 \times 0.80}{2} = 558.2 \text{ N}$$

$$R_{C2} = \frac{W1 \cdot c2}{2} + \frac{W2 \cdot c2}{2}$$

$$= \frac{1351.6 \times 0.80}{2} + \frac{43.9 \times 0.80}{2} = 558.2 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{A2} = R_{A2} = 558.2 \text{ N}$$

$$S_{C2} = -R_{C2} = -558.2 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_{\max 0} = \frac{W1 \cdot c2^2}{8} + \frac{W2 \cdot c2^2}{8}$$

$$= \frac{1351.6 \times 0.80^2}{8} + \frac{43.9 \times 0.80^2}{8} = 111.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) ピン-固定梁 (1段目控え材より下)

○単純梁での算出

1) 支点反力

$$R_{C0} = W1 \cdot \frac{x4 \cdot c1}{x2} + \frac{W2 \cdot x2}{2}$$

$$= 1351.6 \times \frac{0.95 \times 1.30}{1.60} + \frac{43.9 \times 1.60}{2} = 1078.4 \text{ N}$$

$$R_{B0} = W1 \cdot \frac{x3 \cdot c1}{x2} + \frac{W2 \cdot x2}{2}$$

$$= 1351.6 \times \frac{0.65 \times 1.30}{1.60} + \frac{43.9 \times 1.60}{2} = 748.9 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{C0} = -R_{C0} = -1078.4 \text{ N}$$

$$S_{B0} = R_{B0} = 748.9 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_{\max 0} = \frac{x3 \cdot x4 \cdot c1}{x2^2} \cdot W1 \cdot \left(x2 - \frac{c1}{2}\right) + \frac{W2 \cdot x2^2}{2} \cdot \left(\frac{x3}{x2} - \frac{x3^2}{x2^2}\right)$$

$$= \frac{0.65 \times 0.95 \times 1.30}{1.60^2} \times 1351.6 \times \left(1.60 - \frac{1.30}{2}\right) + \frac{43.9 \times 1.60^2}{2} \times \left(\frac{0.65}{1.60} - \frac{0.65^2}{1.60^2}\right) = 416.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

○ピン-固定梁での算出

1) 支点反力

$$R_{C3} = R_{C0} + \frac{M_B}{x2} = 1078.4 + \frac{-860.6}{1.60} = 540.5 \text{ N}$$

$$R_{B1} = R_{B0} - \frac{M_B}{x2} = 748.9 - \frac{-860.6}{1.60} = 1286.8 \text{ N}$$

2) せん断力

$$S_{C3} = S_{C0} + \frac{M_B}{x2} = -1078.4 + \frac{-860.6}{1.60} = -1616.3 \text{ N}$$

$$S_{B1} = S_{B0} + \frac{M_B}{x2} = 748.9 + \frac{-860.6}{1.60} = 211.0 \text{ N}$$

3) 曲げモーメント

$$M_B = -\frac{W1 \cdot c1 \cdot \frac{c1}{2}}{8 \cdot x2^2} \left\{ 8 \cdot x2^2 - 4 \cdot \left(x2 - \frac{c1}{2}\right)^2 - c^2 \right\} - \frac{W2 \cdot x2^2}{8}$$

$$= -\frac{1351.6 \times 1.30 \times \frac{1.30}{2}}{8 \times 1.60^2} \times \left\{ 8 \times 1.60^2 - 4 \times \left(1.60 - \frac{1.30}{2}\right)^2 - 1.30^2 \right\} - \frac{43.9 \times 1.60^2}{8} = -860.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M = M_{\max 0} + M_{B2} \cdot \frac{x3}{x2}$$

$$= 416.2 + (-860.6) \times \frac{0.65}{1.60} = 66.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

参図 2.8 雄信内 設計計算書 (6)

(4) 荷重項の合成

1) 支点反力

$$\begin{aligned} R_A &= R_{A1} + R_{A2} = 1441.5 + 558.2 = 1999.7 \text{ N} \\ R_C &= R_{C1} + R_{C2} + R_{C3} = -447.1 + 558.2 + 540.5 = 111.1 \text{ N} \\ R_B &= R_{B1} = 1286.8 = 1286.8 \text{ N} \end{aligned}$$

2) せん断力

$$\begin{aligned} S_A &= S_{A1} + S_{A2} = 994.4 + 558.2 = 1552.6 \text{ N} \\ S_C &= S_{C1} + S_{C2} + S_{C3} = -447.1 + (-558.2) + 540.5 = -464.8 \text{ N} \\ S_B &= S_{B1} = 211.0 = 211.0 \text{ N} \end{aligned}$$

3) 曲げモーメント

$$M_B = -860.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 応力度の検討

1) せん断応力度 (断面が薄肉円筒形型のせん断係数K=2)

$$\begin{aligned} \tau_n &= \frac{K \cdot S_n}{A} \\ \tau_A &= \frac{2 \times 1552.6}{3.483 \times 10^2} = 8.9 \text{ N/mm}^2 \leq 135 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK} \\ \tau_B &= \frac{2 \times -211.0}{3.483 \times 10^2} = -1.2 \text{ N/mm}^2 \leq 135 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

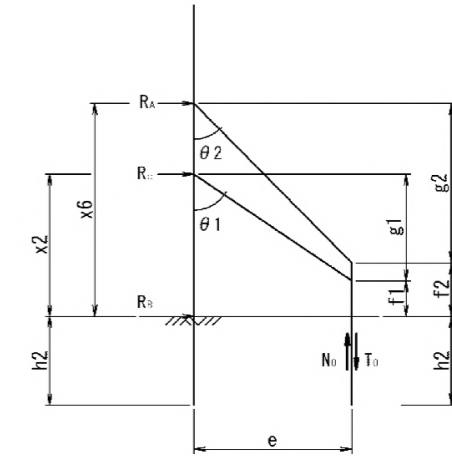
2) 曲げ応力度

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{Z} \\ &= \frac{860.6 \times 10^3}{3.83 \times 10^3} = 224.7 \text{ N/mm}^2 \leq 237 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

6. 控え材の検討

6.1 1段目控え材の検討

x2	1.60	m
x6	2.40	m
h2	0.80	m
e	1.70	m
f1	0.40	m
g1	1.20	m
f2	0.60	m
g2	1.80	m



(1) 応力度の検討

1) 支点反力
 $R_C = 111.1 \text{ N}$

2) 座屈長さ

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{g1^2 + e^2} \\ &= \sqrt{1.20^2 + 1.70^2} \\ &= 1.976 \text{ m} \end{aligned}$$

3) 軸力

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \tan^{-1} \frac{e}{g1} = \tan^{-1} \frac{1.70}{1.20} = 54.78241^\circ \\ N_1 &= R_A \cdot \sin \theta_1 = 111.1 \times \sin(54.78241) = 90.8 \text{ N} \end{aligned}$$

4) 限界細長比

$$\Lambda = 97.0$$

5) 細長比

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{1.976}{1.64 \times 10^{-2}} = 120.5 > \Lambda$$

6) 許容座屈応力度

$$\sigma_c = \frac{0.29}{(120.5 / 97.0)^2} \times 355 = 66.7 \text{ N/mm}^2$$

7) 座屈応力度

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N_1}{A} \\ &= \frac{90.8}{3.483 \times 10^2} = 0.3 \text{ N/mm}^2 \leq 66.7 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

参図 2.9 雄信内 設計計算書 (7)

6.2 2段目控え材の検討

(1) 応力度の検討

1) 支点反力

$$R_A = 1999.7 \text{ N}$$

2) 座屈長さ

$$l = \sqrt{(g^2 + e^2)} \\ = \sqrt{(1.80^2 + 1.70^2)} \\ = 2.388 \text{ m}$$

3) 軸力

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{e}{g} = \tan^{-1} \frac{2.40}{2.00} = 50.19443^\circ \\ N_2 = R_A \cdot \sin \theta_2 = 1999.7 \times \sin(50.19443) = 1536.2 \text{ N}$$

4) 限界細長比

$$\Lambda = 97.0$$

5) 細長比

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{2.388}{1.64 \times 10^{-2}} = 145.6 > \Lambda$$

6) 許容座屈応力度

$$\sigma_c = \frac{0.29}{(145.6 / 97.0)^2} \times 355 = 45.7 \text{ N/mm}^2$$

7) 座屈応力度

$$\sigma = \frac{N_2}{A} \\ = \frac{1536.2}{3.483 \times 10^2} = 4.4 \text{ N/mm}^2 \leq 45.7 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

7. クランプの検討

$$R_A = 1999.7 \text{ N} \leq P\mu = 3.43 \text{ kN} = 3430 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

$$R_C = 111.1 \text{ N} \leq P\mu = 3.43 \text{ kN} = 3430 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

$$R_B = 1286.8 \text{ N} \leq P\mu = 3.43 \text{ kN} = 3430 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

(自在クランプのすべり耐力)

8. 打込み単管パイプの検討

8.1 控え単管パイプ

8.1.1 作用荷重の算出

(1) 鉛直力

$$N_0 = N_1 \cdot \cos \theta_1 + N_2 \cdot \cos \theta_2 \\ = 90.8 \times \cos(54.78241) + 1536.2 \times \cos(50.19443) = 1035.8 \text{ N}$$

(2) 引抜力

$$T_0 = -N_0 = -1035.8 \text{ N}$$

(3) 水平力

$$H_0 = N_1 \cdot \sin \theta_1 + N_2 \cdot \sin \theta_2 + \frac{R_B}{2} \\ = 90.8 \times \sin(54.78241) + 1536.2 \times \sin(50.19443) + \frac{1286.8}{2} = 1897.7 \text{ N}$$

8.1.2 支持力の検討

(1) 砂質土の場合

1) 支持力の検討

$$R_a = \frac{1}{n} \cdot U \cdot h^2 \cdot 2 \cdot \beta \cdot N_s$$

$$R_a = \frac{1}{2} \times 0.1527 \times 0.80 \times 2 \times 1.0 \times 10 = 1.222 \text{ kN}$$

$$N_0 = 1035.8 \text{ N} \leq R_a = 1.222 \text{ kN} = 1222 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

2) 引抜力の検討

$$T_0 = 1035.8 \text{ N} \leq Q_T = 1.222 \text{ kN} = 1222 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

(2) 粘性土の場合

1) 支持力の検討

$$R_a = \frac{1}{n} \cdot U \cdot h^2 \cdot 10 \cdot \beta \cdot N_s$$

$$R_a = \frac{1}{2} \times 0.1527 \times 0.80 \times 10 \times 1.0 \times 10 = 6.108 \text{ kN}$$

$$N_0 = 1035.8 \text{ N} \leq R_a = 6.108 \text{ kN} = 6108 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

2) 引抜力の検討

$$T_0 = 1035.8 \text{ N} \leq Q_T = 6.108 \text{ kN} = 6108 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

参図 2.10 雄信内 設計計算書 (8)

8.1.3 水平力に対する検討

(1) 杭の特性値の計算

杭の特性値 (β) は、水平方向地盤反力係数から算定される値と、水平抵抗に関する地盤の深さから決まる値が等しくなるまで繰り返し計算を行い決定する。

1) 水平地盤反力係数による値

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kH \cdot D}{4 \cdot E \cdot I}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{183728.9 \times 48.6 \times 10^{-3}}{4 \times 205,000 \times 10^3 \times 9.32 \times 10^{-8}}}$$

$$= 3.288 \text{ m}^{-1}$$

2) 水平抵抗に関する地盤の深さによる値

換算荷重幅算出

$$\beta = 3.288 \text{ m}^{-1}$$

・ 水平抵抗に関する地盤の深さ

$$1/\beta = 0.30$$

3) 水平方向地盤反力係数の算出

$$kH_0 = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot E_0 = \frac{1}{0.3} \times 28000 = 93333.3 \text{ kN/m}^3$$

$$kH = kH_0 \times \left(\frac{BH}{0.3}\right)^{-3/4}$$

$$= 93333.3 \times \left(\frac{0.1216}{0.3}\right)^{-3/4} = 183728.9 \text{ kN/m}^3$$

4) 杭の換算荷重幅

$$BH = \sqrt{\frac{D}{\beta}} = \sqrt{\frac{48.6 \times 10^{-3}}{3.288}} = 0.1216 \text{ m}$$

5) 地層

地層諸元表

層厚 h2 (m)	N値	α	$\alpha \cdot E_0$ (kN/m2)	1/ β 間	
				層厚(Li) h(m)	$\alpha \cdot E_0 \cdot Li$
0.80	10	1	28000	0.30	8400

※変形係数 E_0 は2800Nで算出する。

(2) 基礎形状の判定

$$\beta \cdot h_2 = 3.288 \times 0.80 = 2.6304 \geq 2.5 \dots \dots \text{半無限長の杭}$$

(3) 杭頭変位の検討

地上に突出している杭として計算する。

$$\delta = \frac{(1 + \beta \cdot f)^3 + 1/2}{3 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot H_0$$

ここで、 δ : 杭頭の変位 (mm)
 E : ヤング係数 (N/mm2)
 I : 断面二次モーメント (mm4)
 f : 水平力の作用位置 (mm)
 H_0 : 水平力 (N)

$$\delta = \frac{(1 + 0.003288 \times 0.40)^3 + 1/2}{2 \times 205,000 \times 9.32 \times 10^4 \times 0.003288^3} \times 1897.7$$

$$= 2.101 \text{ mm} \leq \delta_a = 15 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関する技術資料（案）

令和5(2023)年3月作成

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム、寒地機械技術チーム

<問い合わせ先>

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム

TEL: 011-841-1746