

地域・路線特性に応じた 除雪機械配置計画手法について

---除雪速度影響要因分析による基準除雪速度の算定---

大上 哲也¹・佐々木 憲弘²・牧野 正敏³

¹正会員 (独) 寒地土木研究所 研究員 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸一条三丁目1-34)

E-mail:oogami-t22aa@ceri.go.jp

²国土交通省北海道開発局 機械課技術係長 (〒062-8602 北海道札幌市北区八条西二丁目第一合同庁舎)

(前 (独) 寒地土木研究所 研究員)

E-mail:sasaki-n22ah@hkd.mlit.go.jp

³ (独) 寒地土木研究所 主任研究員 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸一条三丁目1-34)

E-mail:makino-m@ceri.go.jp

冬期道路交通の確保のための道路除雪を効率的に行うためには、除雪機械の適正な配置が必要である。しかし、これまで除雪機械の配置は過去の経験と知識により決められており、工区間でサービスレベルの差が生じている。

これを解消するため、除雪機械の配置計画手法について検討を行っている。具体的には、除雪速度に影響を与える要因（気象・道路構造・沿道条件等の地域・路線特性）を分析することにより、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を算定し、この速度から除雪機械配置を行う手法の確立を目指すものである。

本検討の結果、基準除雪速度算定式を策定する手法の提案が可能になった。さらに、この基準除雪速度を用いて地域間のサービスレベルの平準化を図る経済的な配置計画のケーススタディーを実施し、算定した基準除雪速度の有用性を確認した。

Key Words: snowplow, deployment plan, snow removal speed, attributes of regions, attributes of routes

1. はじめに¹⁾

積雪寒冷地に住む人々の生活にとって、円滑な冬期道路交通の確保は必要不可欠であり、その手段である道路除雪は、常に注目すべき関心事である。また、道路除雪は道路管理者にとっては非常に重要な課題であり、近年の厳しい経済状況から、コスト削減のための効率性も求められている。

道路除雪を効率的に行うためには、目標である管理水準を満たす、工区（除雪延長）に適した除雪機械台数の配置を計画することが必要である。しかし、これまで除雪機械の配置計画は、過去の経験と知識により決められており、実際には工区間でサービスレベルの差が生じている。

このことから、配置する機械台数の適正化による均一なサービスレベルの提供や、コスト削減など、より効率的かつ経済的な除雪を目的に、除雪機械の配置計画手法について検討を行っている。具体的には、除雪速度に影響

を与える要因（気象条件・道路構造・沿道条件等の地域・路線特性）を抽出、整理し、さらに分析、検証することにより、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を算定し、この速度から除雪機械配置を行う手法の確立を目指すものである。

本稿では、これまでの研究成果について報告する。

2. 配置計画の定義

配置計画とは、管理水準（“路面積雪は○cm以下にする”などの目標とする路面状況）を満たすための除雪機械の必要台数を計画することであり、以下の概念式(1)で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{配置台数} &= \text{管理水準 (必要な作業量)} / \text{除雪性能} \\ &= \text{管理水準} / \text{機械性能} \times \text{現場条件} \end{aligned} \quad (1)$$

このことから、適正な配置計画を策定するためには、管理水準を前提に、この除雪性能を明確にすることが必要である。

3. 検討方針

除雪性能は、機械的な性能（除雪速度、除雪量等）と、その効率性に影響する現場条件（気象条件・道路構造・沿道条件等の地域・路線特性）の二つの要素で構成される。

新雪除雪の場合、除雪性能は除雪速度に置き換えることができる。この除雪速度については、各種文献に記載されているが文献毎に異なっており、しかも実際には各工区間で明らかに異なっているにもかかわらず、現場条件の差が加味されていない一律の除雪速度が記載されている²⁾。

以上のことから、本検討では適正な除雪機械配置を計画する上で必要かつ、未だ一定の整理がされていない除雪速度に注目し、除雪速度に影響を与える現場条件の要因（地域・路線特性）抽出及び分析検証を行い、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を算定することとした。

なお、検討は様々な地域・路線特性を網羅するため、北海道内の国道の全工区（224工区）を対象とし、除雪機械の中でも一番台数が多く、機械配置の基本となる新雪除雪機械（除雪トラック及び除雪グレーダ）の除雪速度について検討を行った。

4. 現状整理

(1) 地域の概要^{3),4)}

日本列島の最北に位置する北海道は、都道府県の中で最も広い約83,500km²の面積を有しており、国土の約22%を占める。また、全域が豪雪地帯であり、約半数の86市町村が特別豪雪地帯（豪雪地帯対策特別措置法により指定された地帯）に指定されている（図-1）。

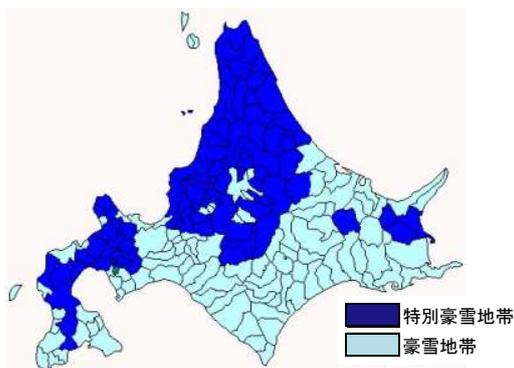


図-1 豪雪地帯指定図（北海道）

a) 気象特性⁵⁾

北海道の気候は地域により大きく異なる。例えば、函館市など道南地域は道内でも温暖で、冬期間の積雪・降雪が少なく、植生も本州と類似している。また、札幌市などの日本海側地域では降雪量が多く、倶知安町では平年値の最大積雪深さが193cmにも達する。さらに、内陸地域の旭川市では寒暖の差が非常に大きく、過去に最低気温-41℃を記録している。

北海道内各都市の気象状況を表-1に示す。

表-1 北海道内各都市の気象状況（平年値）

| | 札幌 | 倶知安 | 函館 | 旭川 | 稚内 | 釧路 | |
|------------|-----|-------|------|------|------|------|------|
| 平均気温 (°C) | 12月 | -1.0 | -3.1 | -0.1 | -4.4 | -2.0 | -1.9 |
| | 1月 | -4.1 | -6.0 | -2.9 | -7.9 | -5.0 | -5.3 |
| | 2月 | -3.5 | -5.6 | -2.5 | -7.2 | -5.1 | -5.3 |
| | 3月 | 0.1 | -1.9 | 0.9 | -2.3 | -1.4 | -1.6 |
| 累計降雪深 (cm) | 630 | 1,135 | 398 | 756 | 697 | 187 | |
| 最大積雪深 (cm) | 101 | 193 | 45 | 96 | 83 | 41 | |

b) 路線特性⁶⁾

北海道は、広域分散型の都市構造であり、平均都市間距離が4万人規模で約60kmを要するなど、郊外路線延長が長い。

しかし、北海道の人口約560万人のうち、約190万人が集中している札幌市など、交通量が多く沿道建物が連担する都市部路線や、標高1,000mを越える山間部路線など、多種多様な特性を有する地域が混在している。

(2) 新雪除雪速度

これら地域・路線特性が異なる北海道内の国道約6,550kmは、224工区により新雪除雪を実施している。除雪機械の稼働状況を記録している施工記録装置により整理した各工区の平均除雪速度を表-2（北海道開発局札幌開発建設部分の抜粋）に示す。

なお、平均除雪速度は標準的な降雪状況に鑑み、95%降雪強度（全降雪日における最大の降雪強度を100%とし、下位から95%の降雪強度）までに対応するものとし、それ以上の降雪時における除雪速度は対象外とした。

表-2 工区別平均除雪速度
(H20年度 札幌開発建設部を抜粋)

| 管理事務所 | 工区 | 平均除雪速度 (95%降雪強度) |
|-------|-----------|------------------|
| 札幌 | 札幌A | 6.00 km/h |
| | 札幌B | 5.39 km/h |
| | 札幌C | 8.78 km/h |
| | 札幌D | 11.77 km/h |
| | 札幌E | 14.02 km/h |
| | 札幌F | 12.19 km/h |
| | 札幌G | 19.83 km/h |
| | 札幌H | 8.49 km/h |
| | 札幌I | 19.67 km/h |
| | 札幌J | 15.28 km/h |
| | 札幌K | 15.28 km/h |
| | 札幌L | 17.32 km/h |
| | 札幌M | 7.06 km/h |
| 札幌N | 7.51 km/h | |
| 札幌O | 9.07 km/h | |
| 札幌P | 9.40 km/h | |
| 札幌Q | 8.08 km/h | |
| 岩見沢 | 岩見沢A | 18.15 km/h |
| | 岩見沢B | 14.03 km/h |
| | 岩見沢C | 18.12 km/h |
| | 岩見沢D | 22.53 km/h |
| | 岩見沢E | 22.95 km/h |
| | 岩見沢F | 27.19 km/h |
| | 岩見沢G | 11.32 km/h |
| | 岩見沢H | 12.95 km/h |
| | 岩見沢I | 8.33 km/h |
| 滝川 | 滝川A | 10.45 km/h |
| | 滝川B | 17.89 km/h |
| | 滝川C | 20.61 km/h |
| | 滝川D | 19.64 km/h |
| | 滝川E | 22.08 km/h |
| | 滝川F | 18.61 km/h |
| | 滝川G | 16.07 km/h |
| | 滝川H | 10.46 km/h |
| | 滝川I | 17.62 km/h |
| 深川 | 深川A | 16.57 km/h |
| | 深川B | 22.13 km/h |
| | 深川C | 17.77 km/h |
| | 深川D | 21.44 km/h |
| | 深川E | 21.58 km/h |
| | 深川F | 21.11 km/h |
| | 深川G | 22.37 km/h |
| 千歳 | 千歳A | 7.90 km/h |
| | 千歳B | 11.72 km/h |
| | 千歳C | 24.08 km/h |
| | 千歳D | 17.70 km/h |
| | 千歳E | 7.03 km/h |
| | 千歳F | 17.14 km/h |

約 5 倍

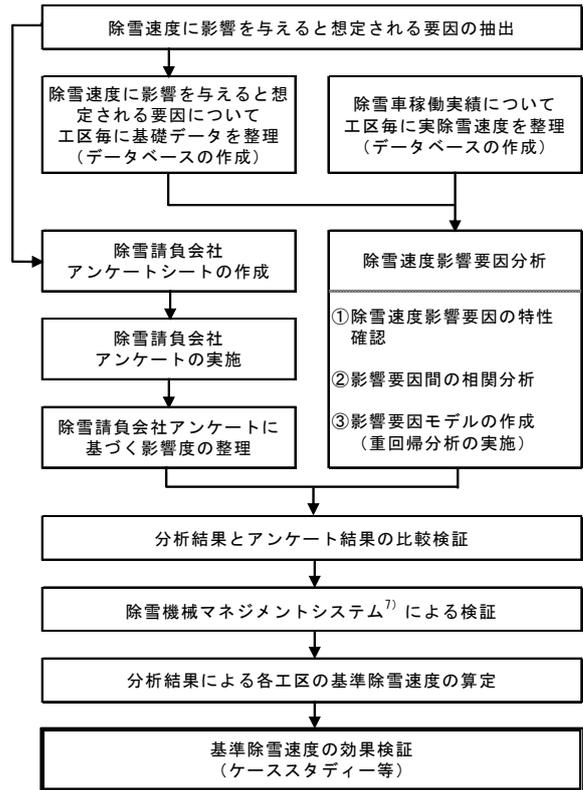


図-2 調査計画フロー

(1) 除雪速度影響要因の抽出及び整理

想定される様々な除雪速度の影響要因について抽出し、その結果を「気象条件」「道路構造」「道路付帯施設」「道路規格」「作業条件」「沿道条件」「交通条件」「関連施設」の8つに類型化した(表-3)。

さらに、全道の地域・路線特性を定量的に把握するため、抽出・類型化した各要因について調査し、全道の工区毎に取得可能である定量的なデータ約90項目について、過去4年分(気象データは10年分)を整理し、データベースを構築した。

具体的には、今後の継続的なデータ蓄積を鑑み、入手及び集計作業が容易な既存の基礎データ(気象庁アメダス、道路交通センサス等)を用いるとともに、各種要因のデータ入力及び統合を簡素化するため、入力フォームを作成した。

また、データベースには、任意(平常時以外など)のデータを除くことができるフィルタ機能、集計対象の期間や工区を選択できる検索機能を装備したほか、各種汎用ソフトでの解析を想定した出力形式とした。

この結果、札幌開発建設部管内の工区間で最大約5倍の速度差(最小値で5.39km/h, 最大値で27.19km/h)が生じており、地域・路線毎に除雪速度が大きく異なることがわかる。

しかし、この速度差の原因が地域・路線特性なのか、除雪請負会社の創意工夫や除雪機械オペレータの熟練度なのか、あるいはそれらの両方なのかは不明である。

5. 調査計画及び実施内容

以上のことから、適正な除雪機械配置を計画するためには、除雪速度に対する地域・路線特性の影響度合いを定量化し、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を算定する必要がある。

調査計画フローを図-2に示す。

表-3 整理した想定する除雪速度影響要因

| 要因 | 要因【中分類】 | 要因【小分類】 | 関連システムor書籍 |
|----------|--------------|----------------------------------------|---------------------------|
| 気象条件 | 雪質(*1) | 湿り雪、中間、乾き雪、しもざらめ | 道路TMシステム |
| | 降雪 | 降雪強度 | 道路TMシステム 気象庁 アメダス |
| | 積雪深 | 累計降雪深 | 道路TMシステム 気象庁 アメダス |
| | 風速 | 平均風速 | 道路TMシステム 気象庁 アメダス |
| | 路面状態 | 平均気温 | 道路TMシステム 気象庁 アメダス |
| 道路構造 | カーブ(曲線半径) | 150m以下、100m以下、60m以下 | 道路管理データベース |
| | 幅員 | 車道幅員 | H17道路交通センサス |
| | | 堆雪幅 | H17道路交通センサス |
| | | 堆雪不可能箇所延長 | 道路平面図、道路縦断面、道路横断面、道路台帳附図 |
| | 縦断勾配 | 5%以上、6%以上、7%以上 | 道路管理データベース |
| | 車線 | 車線数 | H17道路交通センサス |
| | | 車線延長(2車線、3車線、4車線、6車線、8車線、9車線、多車線) | H17道路交通センサス 除雪機械作業形態図 |
| | 付加車線・登坂車線 | 付加車線・登坂車線延長 | H17道路交通センサス |
| | 舗装種類 | コンクリート、アスファルト、排水性、SMA等 | H17道路交通センサス |
| | | | 道路現況図・現況調書 |
| 道路付帯施設 | 歩道 | 歩道延長 | H17道路交通センサス |
| | | 防護柵が無い歩道延長 | 道路管理データベース |
| | 防護柵 | 防護柵延長 | 道路管理データベース |
| | | 車窓除雪を妨げる防護柵延長 | 道路管理データベース |
| | 交差点数 | 交差点、信号交差点、無信号交差点、右折車線設置交差点、国道との平面交差点 | H17道路交通センサス 道路管理データベース |
| | 橋梁 | 橋梁数 | 道路管理データベース |
| | トンネル | トンネル数 | 道路管理データベース |
| | スノーシェッド | スノーシェッド数 | 道路管理データベース |
| | 中央分離帯 | 中央帯設置延長 | H17道路交通センサス 道路管理データベース |
| | 踏切 | 鉄道平面交差点箇所数 | H17道路交通センサス 道路管理データベース |
| | | | H17道路交通センサス |
| | 立体交差点 | 立体交差点数 | 道路管理データベース |
| | バスベイ | バス停留施設数 | H17道路交通センサス |
| | 流雪溝 | 流雪溝設置道路延長 | 道路管理データベース |
| | 融雪溝 | 融雪溝設置道路延長 | 道路維持管理台帳 |
| インターチェンジ | インターチェンジ延長 | 道路維持管理台帳 | |
| 吹雪対策施設 | 設置道路延長 | 道路管理データベース | |
| 道路規格 | 地域高規格 | 高規格延長 | 除雪機械配置図 |
| | ダブル区間 | ダブル区間延長 | 除雪機械配置図 |
| 作業条件 | 除雪路線 | 除雪区分(第一種、第二種、第三種) | 除雪機械配置図 |
| | 夜間作業割合 | 夜間作業割合 | 除雪作業日報 |
| 沿道条件 | 市街地 | DD延長 | H17道路交通センサス |
| | その他市街地 | その他市街地延長 | H17道路交通センサス |
| 交通条件 | 平地部 | 平地部延長 | H17道路交通センサス |
| | | 山間部 | 山間部延長 |
| | 交通量 | 平日24時間自動車類交通量(乗用車、バス、小形貨物車、大形貨物車、合計) | H17道路交通センサス |
| | | 平日夜間自動車類交通量 乗用車(乗用車、バス、小形貨物車、大形貨物車、合計) | H17道路交通センサス |
| | | 混雑時平均旅行速度 平日 | H17道路交通センサス |
| 大型車混入率 | 平日12時間大型車混入率 | H17道路交通センサス | |
| 関連施設 | 付帯施設 | 一次除雪敷地面積 | 道路維持管理台帳 |
| | 港 | 海岸線延長 | 道路維持管理台帳 |

*1: 雪質は1月、2月の平均気温を基に定量化した⁸⁾

(2) 除雪車稼働実績の整理

工区毎の平均除雪速度を把握するため、除雪機械の稼働状況を記録している施工記録装置により、除雪機械毎に日別の稼働実績を整理した。

なお、整理にあたっては、過去4年分をデータベース化し、フィルタ機能及び検索機能を装備したほか、各種汎用ソフトでの解析を想定した出力形式とした。

(3) 除雪速度影響要因分析

抽出・整理した除雪速度影響要因及び平均除雪速度を基に、除雪速度の影響要因分析を行い、除雪速度影響要因モデルを作成することにより、除雪速度に対する地域・路線特性の影響度合いを数値化した。

なお、平常時と想定される平均除雪速度を算出するた

め、異常気象時(95%降雪強度以上の降雪時等)のデータを集計から除外した。

a) 除雪速度影響要因の特性確認

除雪速度影響要因の統計的な特性を確認するため、影響要因毎に除雪速度との散布図を作成し、外れ値の有無や相関関係を視覚的に確認したほか、影響要因毎に除雪速度との相関を分析した。

例として、除雪速度と要因「4車線以上の延長」の散布図を図-3に示す。

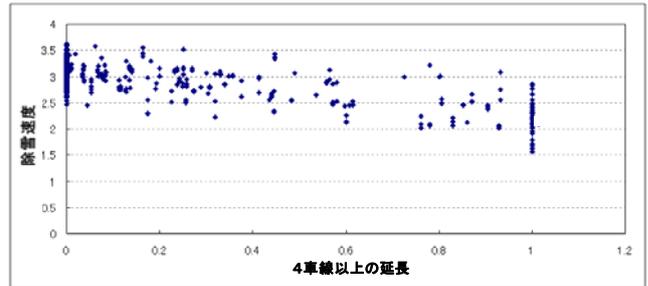


図-3 除雪速度と要因「4車線以上」の散布図

b) 影響要因間の相関分析

影響要因と除雪速度との相関性が高い場合でも、影響要因相互の相関性が高い要因を同時に抽出することにより、モデルの決定係数が誤った高い値を示す(多重共線性)ことがある。このことから、要因相互の相関性が高い要因を同時に抽出しないよう各要因の相関を分析した。

除雪速度との相関分析では、「車線幅員」「4車線以上の延長」「右折車線設置交差点数」「夜間作業割合」「DID延長」「平日24時間自動車類交通量(乗用車)」等は分析の結果いずれも相関性が高かったが、各要因相互の相関性も高いことから、要因として同時には抽出しないこととした。

c) 除雪速度影響要因モデルの作成

モデルの作成には、対数線形モデル(2)の重回帰分析を活用した。

重回帰分析は複数の変量のうち1つの目的変量(除雪速度)に注目し、その変量がほかの説明変量(除雪速度への各種影響要因)によって、どのように変化するかを分析する手法であり、除雪速度のように複数の要因が絡み合う際の分析に適している。

一方、対数線形モデルを採用することとしたのは、除雪速度が気象条件、道路構造等の様々な要因により、次第に増大もしくは減少しながらも決して負の値となることはなく、ある一定速度に漸近することから、対数線形モデルがモデルとして優位性が高いと判断されるからである。

■基準除雪速度モデル式

$$y = \exp \left[\sum_i^n a_i x_i + b \right] \quad (2)$$

具体的には、「除雪速度影響要因の特性確認」及び「影響要因間の相関分析」の結果を基に、除雪速度への相関性が極端に低い要因や、影響要因相互の相関性が高い要因等を除外することにより、活用する影響要因を整理し最適モデルを推定した。

d) 除雪速度影響要因モデル

分析の結果、除雪速度の低下要因として「雪質（乾き雪）延長率」「降雪強度」「累計降雪深」「4車線以上延長率」「排水性舗装延長率」「歩道延長率」「交差点数」「バス停留施設数」「折り返し地点数」、上昇要因として「山間部延長率」「混雑時平均旅行速度」を選定した。

分析の結果を表-4に示す。

表-4 分析結果

| | 偏回帰係数 | 標準誤差 | t 値 | P 値 | 標準化係数 | 許容度 | V I F |
|------------|-----------|----------|--------|-----------|--------|-------|-------|
| (定数項) | 3.150 | 0.116 | 27.08 | 5.39E-107 | | | |
| 雪質（乾き雪）延長率 | -0.0913 | 0.023 | -3.974 | 7.91E-05 | -0.096 | 0.841 | 1.188 |
| 降雪強度 | -0.1221 | 0.033 | -3.650 | 2.85E-04 | -0.086 | 0.877 | 1.141 |
| 累計降雪深 | -1.06E-05 | 2.88E-06 | -3.679 | 2.55E-04 | -0.094 | 0.761 | 1.314 |
| 4車線以上延長率 | -0.4436 | 0.042 | -10.55 | 5.08E-24 | -0.379 | 0.368 | 2.720 |
| 排水性舗装延長率 | -0.1448 | 0.075 | -1.922 | 0.055 | -0.069 | 0.558 | 1.791 |
| 歩道延長率 | -0.3172 | 0.084 | -3.760 | 1.86E-04 | -0.095 | 0.787 | 1.270 |
| 交差点数 | -19.64 | 8.267 | -2.375 | 0.018 | -0.069 | 0.630 | 1.586 |
| バス停留施設数 | -0.0386 | 9.32E-03 | -4.142 | 3.92E-05 | -0.131 | 0.531 | 1.884 |
| 折り返し地点数 | -507.8 | 184.6 | -2.751 | 6.11E-03 | -0.068 | 0.797 | 1.255 |
| 山間部延長率 | 0.0836 | 0.035 | 2.410 | 0.016 | 0.066 | 0.696 | 1.436 |
| 混雑時平均旅行速度 | 8.12E-03 | 1.88E-03 | 4.326 | 1.77E-05 | 0.189 | 0.311 | 3.217 |

| 重相関係数 (R) | 決定係数 (R ²) | 決定係数 (調整済み R ²) | 推定値の標準誤差 |
|-----------|------------------------|-----------------------------|----------|
| 0.836 | 0.700 | 0.694 | 0.194 |

| | 平方和 | 自由度 | 平均平方 | F 値 | P 値 |
|----|--------|-----|-------|---------|-----|
| 回帰 | 53.974 | 11 | 4.907 | 130.441 | 0 |
| 残差 | 23.172 | 616 | 0.038 | | |
| 全体 | 77.146 | 627 | | | |

このモデルの決定係数（調整済み）は0.694となり、一般的に高い相関関係があるとされる R²>0.49 を大幅に超える結果となったことから、分析結果は北海道の国道を管理する除雪工区の基準除雪速度の算定式として、十分な精度を確保していると評価できる。

なお、全ての要因において VIF<4であり、一般的に多重共線性が発生しているとされる値（VIF>10）を下回っている。

(4) 基準除雪速度算定式

分析の結果により策定した、北海道の国道を管理する除雪工区の基準除雪速度の算定式を(3)に示す。

$$y = \exp \left(-0.0913x_1 - 0.1221x_2 - 1.06E-05x_3 - 0.4436x_4 - 0.1448x_5 - 0.3172x_6 - 19.64x_7 - 0.0386x_8 - 507.8x_9 + 0.0836x_{10} + 8.12E-03x_{11} + 3.150 \right) \quad (3)$$

- y : 基準除雪速度 (km/h)
- x₁ : 雪質（乾き雪）延長率 (%)
- x₂ : 降雪強度 (cm/h)
- x₃ : 累計降雪深 (cm)
- x₄ : 4車線以上延長率 (%)
- x₅ : 排水性舗装延長率 (%)
- x₆ : 歩道延長率 (%)
- x₇ : 交差点数 (n/km)
- x₈ : バス停留施設数 (n/km)
- x₉ : 折り返し地点数 (n/km)
- x₁₀ : 山間部延長率 (%)
- x₁₁ : 混雑時平均旅行速度 (km/h)

(5) 基準除雪速度と実除雪速度の比較

分析結果の妥当性を検証するため、分析結果により算定した基準除雪速度と、施工記録装置により調査した実際の平均除雪速度の比較を行った（表-5）。

この結果、概ねの工区で速度は整合していたが、一部の工区では乖離した。

表-5 基準除雪速度と実除雪速度の比較（参考値）

（札幌開発建設部を抜粋）

| 管理事務所 | 工区 | 実除雪速度 (km/h) | 基準除雪速度 (km/h) | 差 (km/h) | 割合 (%) | 平均割合 (%) |
|-------|-----|--------------|---------------|----------|--------|----------|
| 札幌 | 札幌A | 6.00 | 6.96 | 0.96 | 86% | 98% |
| | 札幌B | 5.39 | 6.27 | 0.88 | 86% | |
| | 札幌C | 8.78 | 7.88 | -0.90 | 111% | |
| | 札幌D | 11.77 | 9.54 | -2.23 | 123% | |
| | 札幌E | 14.02 | 14.55 | 0.53 | 96% | |
| | 札幌F | 12.19 | 11.75 | -0.43 | 104% | |
| | 札幌G | 19.83 | 19.59 | -0.24 | 101% | |
| | 札幌H | 8.49 | 11.58 | 3.09 | 73% | |
| | 札幌I | 19.67 | 18.57 | -1.10 | 106% | |
| | 札幌J | 15.28 | 15.53 | 0.25 | 98% | |
| | 札幌K | 15.28 | 17.61 | 2.34 | 87% | |
| | 札幌L | 17.32 | 23.86 | 6.54 | 73% | |
| | 札幌M | 7.06 | 6.77 | -0.29 | 104% | |
| | 札幌N | 7.51 | 9.98 | 2.47 | 75% | |
| | 札幌O | 9.07 | 7.45 | -1.62 | 122% | |
| | 札幌P | 9.40 | 8.65 | -0.75 | 109% | |
| | 札幌Q | 8.08 | 7.66 | -0.42 | 105% | |

| 管理事務所 | 工区 | 実除雪速度 (km/h) | 基準除雪速度 (km/h) | 差 (km/h) | 割合 (%) | 平均割合 (%) |
|-------|------|--------------|---------------|----------|--------|----------|
| 岩見沢 | 岩見沢A | 18.15 | 13.88 | -4.26 | 131% | 105% |
| | 岩見沢B | 14.03 | 10.85 | -3.18 | 129% | |
| | 岩見沢C | 18.12 | 19.07 | 0.95 | 95% | |
| | 岩見沢D | 22.53 | 21.56 | -0.98 | 105% | |
| | 岩見沢E | 22.95 | 20.50 | -2.45 | 112% | |
| | 岩見沢F | 27.19 | 25.39 | -1.79 | 107% | |
| | 岩見沢G | 11.32 | 10.85 | -0.47 | 104% | |
| | 岩見沢H | 12.95 | 15.90 | 2.95 | 81% | |
| | 岩見沢I | 8.33 | 10.53 | 2.20 | 79% | |
| 滝川 | 滝川A | 10.45 | 13.14 | 2.69 | 80% | 98% |
| | 滝川B | 17.89 | 16.45 | -1.44 | 109% | |
| | 滝川C | 20.61 | 20.20 | -0.41 | 102% | |
| | 滝川D | 19.64 | 20.36 | 0.72 | 96% | |
| | 滝川E | 22.08 | 24.25 | 2.17 | 91% | |
| | 滝川F | 18.61 | 24.26 | 5.66 | 77% | |
| | 滝川G | 16.07 | 17.33 | 1.26 | 93% | |
| | 滝川H | 10.46 | 8.99 | -1.47 | 116% | |
| | 滝川I | 17.62 | 14.70 | -2.92 | 120% | |
| 深川 | 深川A | 16.57 | 16.96 | 0.39 | 98% | 105% |
| | 深川B | 22.13 | 20.24 | -1.89 | 109% | |
| | 深川C | 17.77 | 16.85 | -0.92 | 105% | |
| | 深川D | 21.44 | 20.24 | -1.20 | 106% | |
| | 深川E | 21.58 | 19.46 | -2.12 | 111% | |
| | 深川F | 21.11 | 21.74 | 0.63 | 97% | |
| | 深川G | 22.37 | 20.05 | -2.32 | 112% | |
| 千歳 | 千歳A | 7.90 | 12.16 | 4.26 | 65% | 83% |
| | 千歳B | 11.72 | 16.71 | 4.99 | 70% | |
| | 千歳C | 24.08 | 24.04 | -0.05 | 100% | |
| | 千歳D | 17.70 | 18.95 | 1.24 | 93% | |
| | 千歳E | 7.03 | 10.49 | 3.46 | 67% | |
| | 千歳F | 17.14 | 16.54 | -0.59 | 104% | |

(6) 分析結果とアンケート結果の比較検証

除雪請負会社へのアンケートとの比較により、分析結果の妥当性を検証した。

なお、アンケートの対象は北海道の国道を管理する全工区の除雪請負会社131社とし、123社からの回答を得た。

a) アンケート方法

アンケートの項目は、想定する除雪速度影響要因(表-3)を基本とし、自由記入欄を追加した。

また、アンケートの回答はWeb ページ上での選択式とし、除雪速度に対する当該要因の影響度を5段階で評価してもらった。なお、当該要因が担当する工区に無い場合も考慮し、回答欄に「対象無し」の選択肢を用意した。アンケートシートを図-4に示す。

4. 沿道条件に関する設問

0. 担当されている工区における、通常時(異常気象時を除く)、1次除雪(新雪除雪、路面整正)を行う際の各沿道条件について、除雪速度の減少の程度を以下の選択肢から選んで下さい。

| | |
|-------------------------------------------------|--|
| 1. 延長、実施箇所数に問わず、当該要因があることで、除雪速度低下の原因となる。 | |
| 2. 延長、実施箇所数によっては、当該要因があることで、除雪速度低下の原因となる可能性が高い。 | |
| 3. 延長、実施箇所数によっては、当該要因があることで、除雪速度低下の原因となる可能性がある。 | |
| 4. 当該要因があることで、除雪速度低下の原因となる可能性は低い。 | |
| 5. 当該要因があることで、除雪速度低下の原因となる可能性はない。 | |
| 6. 対象となる条件又は構造が担当工区内には存在しない。 | |

| | |
|----------|------------|
| 市区間(市街地) | 回答をお選びください |
| 郊外部 | 回答をお選びください |
| 平地部 | 回答をお選びください |
| 山間部 | 回答をお選びください |
| 河岸線 | 回答をお選びください |

その他の減少条件がある場合、以下に記入してください。

図-4 アンケートシート(沿道条件の抜粋)

b) アンケート結果

アンケートにより得られた5段階評価は、要因毎の比較を容易にするため、回答者毎に標準化(個々の点数-平均)/標準偏差)し基準値を求め、さらにアンケート項目毎に平均した。

この結果、アンケート結果、分析結果ともに市街地に多く在る要因の影響度が高いなど概ね整合したことから、分析結果は妥当であると判断できる。

なお、アンケートの結果で除雪速度低下の要因とされた「視程」及び「トンネル」については分析結果と乖離した。これらは注意喚起を促しやすい対象ではあるが、対象延長として短く、それほど除雪速度に影響しなかったと推定する。

(7) 除雪機械マネジメントシステムによる検証

除雪機械の詳細な位置・作業情報を収集・管理する除雪機械マネジメントシステムにより、分析結果の妥当性を検証した。

a) 検証方法

算定した基準除雪速度と、実除雪速度が乖離していた一部の除雪工区について、除雪機械マネジメントシステムにより得られる実際の除雪情報(GPSによる日時、位置、速度)を用いて、乖離の原因を調査した。

b) 検証結果

この結果、特定の除雪車が計画と異なる範囲での除雪実績があることが確認できた。具体的には、当該工区は市街部と山間部の両方を管理しているが、市街部のみを繰り返し作業をしている実態が多くあり、その結果、当該除雪車の実際除雪速度が算定した基準除雪速度に比べ大きく下回ったと想定する(図-5)。

さらに、特定の区間を抽出して調査した結果、選定した除雪速度影響要因のうちプラス要因が多い区間では実際に除雪速度は速く、マイナス要因が多い区間では除雪速度が遅いなど、分析結果と同様の傾向が確認できたことから、このことから分析結果は妥当であると判断できる。

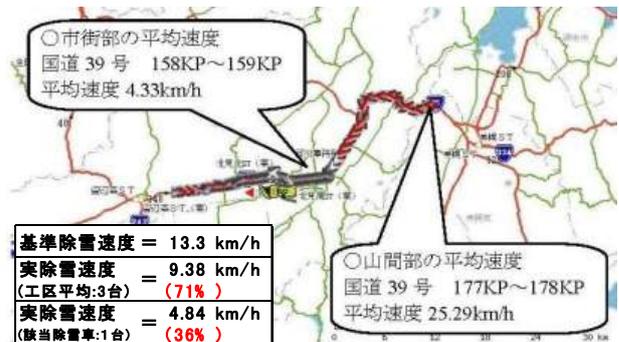


図-5 除雪機械マネジメントシステムによる検証

6. 基準除雪速度の活用例

(1) 効率性の評価

算定した基準除雪速度と実除雪速度を比較(表-5)することにより、除雪の効率性を工区毎に評価することが可能になる。

さらに、当該工区の効率・非効率性の原因を調査・検討することで、除雪効率のスパイラルアップが可能となる。

(2) ケーススタディー

式-3から得られた基準除雪速度を用いて、除雪機械配置計画のケーススタディーを実施した。

a) 最適工区延長の算出方法

管理水準である、除雪対象積雪深を満たす許容除雪時間は、各工区の降雪強度(95%降雪強度)により求める(4)。さらに、策定した算定式による基準除雪速度と許容除雪時間(管理水準)を乗算することにより、管理水準を満たす最適な工区延長を求めることができる(5)。

$$\Sigma s = C1 / Si \quad (4)$$

Σs : 許容除雪時間 (h)

$C1$: 除雪対象積雪深 (cm)

Si : 降雪強度 (cm/h)

$$\Sigma e = \Sigma s \times y \quad (5)$$

Σe : 最適工区延長 (km)

Σs : 許容除雪時間 (h)

y : 基準除雪速度 (km/h)

b) 道路事務所管内でのケーススタディー

旭川開発建設部の道路事務所管内3工区を対象にケーススタディーを行った。

具体的には、現状工区(図-6)のa、b1及びb2工区を対象に、式-3~5を用いて最適工区延長を算出(表-6)し、工区再編案(図-7)を作成した。

なお、実施にあたっては、除雪対象積雪深は現状と同じ10cmとし、地理的条件(事務所の管轄範囲、除雪ステーション位置、除雪車転回場等)は考慮していない。

【現状】



図-6 ケーススタディー(現状除雪工区)

【再編案】



図-7 ケーススタディー(除雪工区再編案)

表-6 ケーススタディー(最適工区延長の算出)

| | 除雪対象積雪深(h) | 降雪強度(cm/h) | 許容除雪時間(h) | 基準除雪速度(km/h) | 最適工区延長(km) |
|-----|------------|------------|-----------|--------------|------------|
| A工区 | 10.0 | 2.5 | 4.00 | 18.97 | 75.880 |
| B工区 | 10.0 | 3.5 | 2.86 | 21.92 | 62.628 |

表-6より再編案のA工区は、降雪強度=2.5cm/h、基準除雪速度=18.97km/hであることから、許容除雪時間は10cm/2.5cm/h=4.0h、最適工区延長は18.97km/h×4.0h=75.880kmとなる。この場合、再編案のA工区は現状のa工区のほか、b1工区のうち約29kmを編入することが可能となる。同様に再編案のB工区についても、最適工区延長は62.628kmとなる。再編案のA工区により、工区延長が短くなった現状のb1及びb2工区の合計延長は61.182kmであることから、B工区の許容工区延長以下となり、結果として除雪1工区の削減が可能となる。

この結果、b2工区に配置されている2台の除雪トラックが不要となる。この除雪トラックは、他工区の除雪機械不足(許容除雪時間内の作業未完)を解消することが可能なほか、不足している工区が無い場合には、除雪機械2台の削減により購入費と整備費4百万円/年(機械の更新サイクルを15年とした場合)の削減が可能である。なお、ケーススタディーの対象範囲を拡大することで、より高い費用便益を実現する工区編成を推定することができる。

以上のことから、除雪工区の再編により道路利用者に対する均一なサービスレベルとコスト削減の両立を図ることができると考えられる。

7. おわりに

本検討は、効率的かつ経済的な除雪を目的に、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を算定し、この速度から除雪機械配置計画を行う手法の確立を目指した。

この結果、次のような知見が得られた。

- ① 現場条件が除雪速度に与える要因と影響度を定量的に評価することにより、地域・路線特性に応じた基準除雪速度算定式を策定する手法の提案が可能となった。

- ② 算定した基準除雪速度を用いて、除雪の効率性評価及び道路利用者へのサービスレベルの地域間の平準化を図る経済的な配置計画のケーススタディーを実施し、基準除雪速度の有用性を確認した。

また、次のような課題を確認した。

- ③ 今回策定した基準除雪速度の算定式は 11 の要因によるものであり、算定式の実際の活用にあたっては、必要な調査データ数が多く煩雑になる可能性があるほか、各要因間の相関や論理矛盾の有無などの確認も多く必要となることから、算定式の簡素化が必要である。

今後は、課題解決のほか、必要に応じて更なる要因の抽出や各種情報を補完することにより、モデルの精度向上を図る。また、除雪機械の保有状況等の調査や、除雪機械マネジメントシステムとの連携を検討するなど、除雪機械の配置計画手法について、更なる知見を深めていく所存である。

謝辞：本検討の実施にあたりご助言、ご協力頂いた方々、除雪期間のご多忙中にも拘らずアンケート調査にご協力頂いた各除雪請負会社に対し、ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) Tetsuya OGAMI, Masatoshi MAKINO, Yuji YANAGISAWA, Kazuya YAMAGUCHI : Snowplow Deployment Management Method Considering Attributes of Region and Route, 13th International Winter Road Congress, 2010.
- 2) 機械除雪施工マニュアル編集委員会：機械除雪施工マニュアル（案），1991.
- 3) 北海道：北海道の統計，<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/overview/toukei.html>
- 4) 全国積雪寒冷地帯振興会議協議会ホームページ，<http://www.sekkankyo.org/zenkoku.htm>
- 5) 気象庁：気象統計情報，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/>
- 6) 国土交通省北海道開発局：冬期道路管理，2002.
- 7) 岸寛人，牧野正敏，佐々木憲弘：GPS を活用した除雪機械運用支援システムの開発，建設施工と建設機械シンポジウム，2010.
- 8) (社)日本建設機械化協会：2005 除雪・防雪ハンドブック，2004.