

新技術開発探訪

地域・路線特性を考慮した 除雪機械配置に関する マネジメント手法の確立

1. まえがき

本検討は、北海道開発局旭川開発建設部管内の除雪機械について、気象状況・沿道状況・道路線形・除雪工区編成等の地域・路線特性を考慮した除雪機械配置に関するマネジメント手法の確立および冬期路面管理のコスト縮減に資することを目的とする。

具体的には、道路管理データベースや稼働状況を記録する施工記録装置などの既存データを活用し、分析することにより、地域・路線特性を考慮した基準除雪速度を策定し、この速度から効率的かつ経済的な除雪機械配置を目指すものである。これにより、管理水準に応じた除雪機械配置計画の策定、道路利用者への除雪サービスレベルの平準化、除雪監督強化等が可能となる。

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、時間以内に除雪を完了するなど）を満たすための除雪機械の必要台数を策定することである。つまり「配置計画（台数）= 管理水準 / 除雪性能 = 管理水準 / (機械性能 × 現場条件)」と表せる。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によって策

定が可能となる。

3. 本検討のねらい

除雪性能の明確化は非常に重要ではあるが、除雪性能は機械的な性能（作業幅員・除雪速度）のほかに現場条件（気象状況・沿道状況・道路線形等の地域・路線特性）などさまざまな状況に左右される。

特に除雪速度については「除雪・防雪ハンドブック（除雪編）」（日本建設機械化協会）などの書籍に記載されているものは、書籍ごとに除雪速度が異なっており、しかも現場条件の差を加味しない一律の除雪速度が記載されているのが現状である。

本検討は、除雪機械配置計画を策定する上で必要かつ、いまだ一定の整理がされていないこの除雪速度について、除雪速度に影響を与える現場条件の要因（地域・路線特性）抽出および解析検証を行い、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を策定することを主眼にとりまとめる。

なお、本検討では除雪機械の中でも一番配置台数が多く、二次除雪（拡幅除雪等）機械配置にも多大な影響を与えるなどの理由から、機械配置の基本となる一次除雪（新雪除雪）機械の除雪速度について検討を行う。

4. 旭川開発建設部における現状整理

(1) 地域・路線特性

旭川開発建設部管内は、ほぼ全域が特別豪雪地帯に指定されているほか、北海道第二の人口を有し交通量が多く沿道建物の連担する都市部（旭川市）、北海道特有の都市間距離の長い郊外部、標高1,000mを超える道路を有する山間部（層雲峡）など、多様な特性を有する地域が混在隣接している674kmを26工区により一次除雪を実施している。

(2) 一次除雪速度

各工区の過去6年間における平均除雪速度を施工記録装置により整理した結果、表1のとおり工区間で最大約2倍の速度差（最小値で12.42km/h、最大値で24.12km/h）が生じており、一律の除雪速度により地域・路線特性を反映することは非常に困難である。

なお、平均除雪速度は、標準的な降雪状況を鑑み降雪強度95%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て整理した。

(3) 現状整理

以上のことから、効率的な除雪機械配置を計画するためには、平均除雪速度の違いが地域・路線特性の違いなのか、除雪請負会社の創意工夫・除雪機械オペレータの熟練度の違いなのか、あるいはそれらの両方なのかを明らかにし、さらに、それを地域・路線特性として配置計画に反映させるための手法、具体的には基準除雪速度の算定式を策定する必要がある。

表 1 工区別平均除雪速度（95%降雪強度）

地区	工区	平均除雪速度（95%降雪強度）
旭川地区	旭川A	12.45km/h
	旭川B	12.42km/h
	旭川C	12.99km/h
	旭川D	16.32km/h
	旭川E	15.83km/h
士別地区	士別A	18.80km/h
	士別B	23.58km/h
	士別C	18.53km/h
	士別D	20.95km/h
	士別高規格	21.22km/h
	士別E	16.94km/h
美深地区	美深A	22.31km/h
	美深B	23.71km/h
	美深C	19.22km/h
	美深D	23.83km/h
富良野地区	富良野A	18.25km/h
	富良野B	20.39km/h
	富良野C	17.50km/h
	富良野D	23.07km/h
上川地区	上川A	22.15km/h
	上川高規格	17.30km/h
	上川B	23.76km/h
	上川C	24.12km/h
	上川D	23.74km/h
	上川E	16.92km/h
	上川高規格	18.65km/h

約2倍の速度差

5. 調査計画および実施内容

調査計画フローを図1に示す。

なお、自動車専用道路である高規格道路については、速度影響要因が一般国道と著しく異なることが予想されるため、調査対象外とした。

(1) 除雪速度に影響を与える要因の抽出

除雪速度低下の影響要因を調査するため、机上にて想定される影響要因を抽出し、それに基づき管内11工区を対象として除雪請負会社に対してヒアリング・アンケートを実施した。このことにより要因項目の精度向上および対比較アンケートによる要因ごとに影響度の指標化を行った。

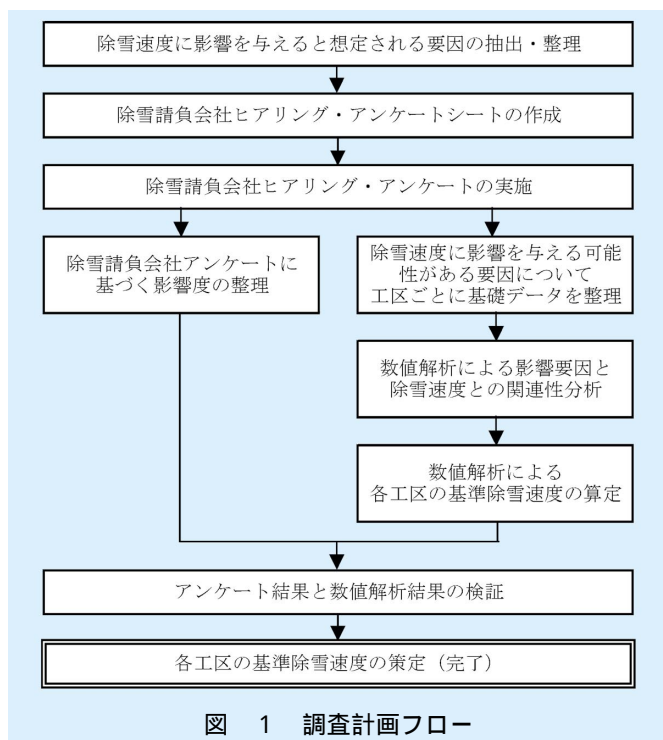


図 1 調査計画フロー

では除雪工区間の比較が難しいため、基本的にkm当たりの延長割合・個所数として整理した。

(3) 数値解析による関連性分析

各影響要因がどの程度、除雪速度に影響するのか関連性を分析するため、抽出した要因と除雪速度を数値解析により、地域・路線特性の影響度合いを数値化した。

① 分析手法

数値解析には、対数線形モデル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一つの目的変量（除雪速度）に注目し、その変量がほかの説明変量（除雪速度への各影響要因）によって、どのように左

(2) 影響要因の除雪工区ごとの基礎データの整理

地域・路線特性を把握するため、上述のヒアリング・アンケートの結果得られた除雪速度の影響要因を、一次除雪工区ごとに詳細に整理を行った。

整理に当たっては、今後の作業継続性を鑑み、民家連担延長以外については、容易に入手が可能であり、かつ集計作業の少ない既存の基礎データ（道路管理データベース、道路交通センサ等）を用いた。定量化方針を表 2 に示す。

なお、除雪工区ごとに除雪延長が異なることから、延長や個所数の評価

表 2 除雪速度影響要因の定量化方針

速度影響要因		活用データ	指標
気象	降雪強度（時間降雪95%値）	テレメータ	深さ
	雪質（乾き雪）	除雪・防雪ハンドブック	延長
	雪質（しもざらめ雪）	除雪・防雪ハンドブック	延長
道路構造	2車線延長	道路交通センサ	延長
	4車線延長	道路交通センサ	延長
	付加車線登坂車線延長	道路交通センサ	延長
	幅員変更点数	維持管理台帳	力所
	急カーブR < 150	道路管理データベース	力所 / 延長
	5%以上勾配延長	道路管理データベース	延長
	中央分離設置延長	道路交通センサ	延長
	歩道設置延長	道路交通センサ	延長
	橋梁	道路管理データベース	力所 / 延長
	防護柵LR延長	道路管理データベース	延長
	バス停数	道路交通センサ	力所
信号交差点合計	道路交通センサ	力所	
沿道状況	DID延長	道路交通センサ	延長
	その他市街部延長	道路交通センサ	延長
	平地部延長	道路交通センサ	延長
	山間部延長	道路交通センサ	延長
	民家連担LR延長	道路交通センサ・地形図	延長
一般交通	夜間交通量	道路交通センサ	台数・延長
その他特殊要因	流雪溝延長*	維持管理台帳	延長
	道の駅数*	道路網図	力所
	チェーン着脱場数*	維持管理台帳	力所
	山間部トンネル数*	維持管理台帳	力所
	無信号交差点数	道路網図	力所
折り返し地点数	除雪作業形態図	力所	

* 全数ではなく、一次除雪時間に影響する個所を整理

右されるの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。

除雪基準速度モデル式（対数線形モデル）

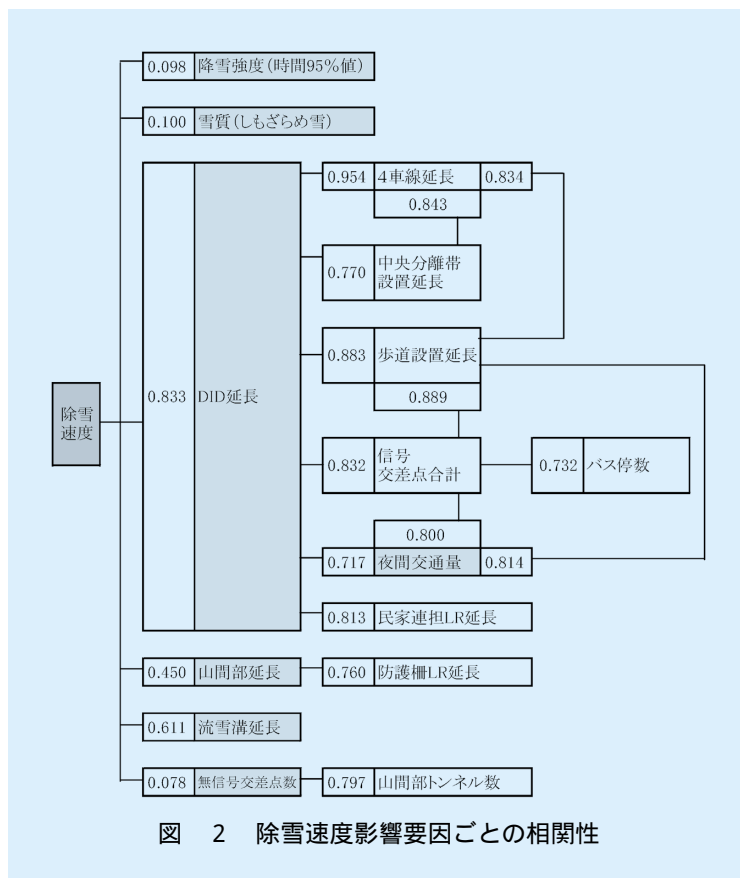
$$y = \exp \left(\sum_i^n a_i x_i + b \right) \quad \dots \text{式 1}$$

具体的には、各影響要因を大別（気象・道路構造・沿道状況・一般交通・その他特殊要因）の中からおのおの選択分析し、除雪速度への相関性が極端に小さい要因を除外することなどにより、活用する影響要因を整理し最適モデルを推定した。

② 影響要因ごとの相関性

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、要因相互の相関が高い要因を同時に抽出しないよう各要因の相関分析を行う。

影響要因ごとの相関性を整理した結果を図 2 に示す。



VIF	係数の解釈
10以上	多重共線性が発生している

市街部特性としてDID延長はさまざまな要素を含む変数の代表として活用可能であり、郊外部特性として山間部延長は防護柵の代表値として活用可能である。

夜間交通量については、DID延長との相関性があると判断していたが、複数のモデル作成評価の結果、多重共線性の発生（VIF < 3）はなく、実除雪速度を精度高く評価できたことから抽出要因の一つとした。

また、民家連担については、除雪速度の影響要因として、市街地特性等との相関が未知数であったため、地図から民家を拾い上げるなど非常に煩雑な基礎データの整理を行ったが、今回の結果DID延長との非常に強い相関が確認されたため、今後は旭川開発建設部管内の除雪速度要因の基礎データからは除外することが可能であると考え

③ 分析結果

分析の結果、除雪速度のマイナス影響要因として「降雪強度、雪質（しもざらめ雪）、DID延長、夜間交通量、流雪溝延長、無信号交差点数」、プラス影響要因として「山間部延長」を選定した。

分析の結果を表 4 に示す。

なお、モデルの推定結果、重相関係数R²は0.865となり、強い相関関係があるとされるR² > 0.49を大幅に越える結果となったことから、同分析結果は旭川開発建設部管内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。

(4) 旭川開発建設部管内の除雪速度算定式

重回帰分析の結果、旭川開発建設

表 4 分析結果

モデル集計				分散分析					
R	R ²	調整済 R ²	指定値の標準誤差		平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
0.930	0.865	0.802	0.9717	回帰	0.905	7	0.129	13.698	0.000
				残差	0.142	15	0.009		
				全体	1.047	22			

係数							
	非標準化係数		標準化係数	t	有意確率	共線性の統計量	
	B	標準誤差	ベータ			許容度	VIF
	3.128	0.063		49.929	0.000		
降雪強度	-0.009	0.005	-0.195	-1.897	0.077	0.851	1.175
雪質(しもざらめ雪)	-0.214	0.143	-0.146	-1.502	0.154	0.949	1.054
DID延長	-0.704	0.223	-0.475	-3.152	0.007	0.398	2.514
山間部延長	0.162	0.086	0.231	1.876	0.080	0.595	1.680
夜間交通量	-2.047	1.069	-0.296	-1.916	0.075	0.378	2.645
流雪溝延長	-0.110	0.065	-0.208	-1.689	0.112	0.593	1.685
無信号交差点数	-0.158	0.084	-0.208	-1.882	0.079	0.738	1.355

表 5 相関係数の関連性

相関係数R	重相関係数R ²	係数の解釈
0.0~0.2のとき	0.00~0.04のとき	ほとんど相関関係がない
0.2~0.4のとき	0.04~0.16のとき	やや相関関係がある
0.4~0.7のとき	0.16~0.49のとき	かなり相関関係がある
0.7~1.0のとき	0.49~1.00のとき	強い相関関係がある

部管内の除雪速度は以下の算定式で表される。

$$y = \exp(-0.009x_1 - 0.214x_2 - 0.704x_3 + 0.162x_4 - 2.047x_5 - 0.110x_6 - 0.158x_7 + 3.128) \quad \dots \text{式 2}$$

y : 基準除雪速度 (km/h)

x₁ : 降雪強度 (cm)

x₂ : 雪質(しもざらめ雪)(率)

x₃ : DID延長(率)

x₄ : 山間部延長(率)

x₅ : 夜間交通量(台・延長)

x₆ : 流雪溝延長(km)

x₇ : 無信号交差点数(カ所)

(5) 旭川開発建設部管内の基準除雪速度

参考として、分析により算定した基準除雪速度と、施工記録装置により整理した実除雪速度の比較を行った結果を表 6 に示す。なお、分析結果の基準除雪速度に対する割合をプラスマイナス10

%で整理した結果、相対的に効率的に作業がされていると考えられる工区と非効率な作業となっている可能性のある工区が以下のように分類される。

(6) アンケート結果と数値解析結果の検証

除雪機械オペレータへの実感アンケートと重回帰分析結果の比較により妥当性の検証をした。

その結果、アンケート結果、分析結果ともに市街地要素の影響度が高いなどおおむ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。

ただし、橋梁等構造物については、オペレータの実感と分析結果に乖離が見られた。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ためと推測する。

表 6 基準除雪速度と実除雪速度の比較（参考値）

地区	工区	実除雪速度	基準除雪速度	差	割合
旭川地区	旭川A	12.45	12.33	-0.12	1.01
	旭川B	12.42	12.79	0.37	0.97
	旭川C	12.99	12.83	-0.16	1.01
	旭川D	16.32	15.27	-1.05	1.07
	旭川E	15.83	17.95	2.12	0.88
士別地区	士別A	18.80	19.75	0.95	0.95
	士別B	23.58	22.10	-1.48	1.07
	士別C	18.53	17.79	-0.74	1.04
	士別D	20.95	19.25	-1.70	1.09
	士別E	16.94	18.75	1.81	0.90
美深地区	美深A	22.31	21.70	-0.61	1.03
	美深B	23.71	24.14	0.43	0.98
	美深C	19.22	21.45	2.23	0.90
	美深D	23.83	24.00	0.17	0.99
富良野地区	富良野A	18.25	18.74	0.49	0.97
	富良野B	20.39	21.65	1.26	0.94
	富良野C	17.50	17.42	-0.08	1.00
	富良野D	23.07	22.76	-0.31	1.01
上川地区	上川A	22.15	19.80	-2.35	1.12
	上川B	23.76	22.34	-1.42	1.06
	上川C	24.12	20.87	-3.25	1.16
	上川D	23.74	25.18	1.44	0.94
	上川E	16.92	19.58	2.66	0.86

実除雪速度 / 基準除雪速度 > 1.1 効率的な除雪が実施されている工区
 実除雪速度 / 基準除雪速度 < 0.9 非効率的な除雪の可能性のある工区

6. 分析結果の活用例 （ケーススタディ）

管理水準に対して過不足のない除雪延長を求めることにより、最適な除雪工区設定を行うケーススタディを実施した。

評価に当たっては、管理水準を満足することが可能な最大除雪延長を式 4 にて求めることにより、除雪速度に応じた最適な工区延長を設定する。また、管理水準を満足するためには、各工区の降雪強度に応じた時間内に除雪を完了することが必要であり、式 3 により許容除雪時間を求めることができる。

$$\Sigma s = Cl / Si \quad \dots \text{式 3}$$

Σs : 許容除雪時間（管理水準）

Cl : 管理水準値

Si : 降雪強度

$$\Sigma e = \Sigma s \times y \quad \dots \text{式 4}$$

Σe : 対応限度延長（余裕時間 0）

Σs : 許容除雪時間

y : 基準除雪速度

図 3 の 3 工区を対象に管理水準（10 年確率降雪強度 95% における降雪 10cm 到達時間）を維持し、式 2 により求めた基準除雪速度を用い、式 3 および式 4 により対応限度延長を求めた。ただし、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。

表 7 より A 工区は、降雪強度 = 2.5 cm/h、基準除雪速度 = 18.74 km/h であることから、許容除雪時間（本ケーススタディの管理水準値である 10cm 未到達時間）は 10cm / 2.5cm/h = 4.0h、対応限度延長（管理水準値未到達時間における除雪可能範囲）は 18.74 km/h × 4.0h = 74.96 km となる。

この対応限度延長を用いて工区再編を実施した場合、A 工区は現状 A 工区のほか、B 工区のうち約 28 km を補完する

ことが可能となり、同様に B 工区についても A 工区により工区延長が短くなった現状 B 工区および C 工区の合計延長が B 工区の対応限度延長以下であることから、結果として除雪 1 工区の削減が図れた（図 4）。

同様の計算を管内全体（23 工区）で行ったところ、合計除雪 3 工区の削減が可能なることから、当該工区に配置されている 6 台の除雪トラックの購入費と整備費 230 百万円が不要となり、15 年更新と仮定すると、15 百万円/年の購入費と整備費が削減となる。このことから、除雪工区設定の見直しによりコスト削減が図られる試算結果となった。

表 7 対応限度延長（ケーススタディ）

	降雪強度 (cm/h)	許容除雪時間 (h)	基準除雪速度 (km/h)	対応限度延長 (km)
A 工区	2.5	4.00	18.74	74.96
B 工区	3.5	2.86	21.65	61.86

【現状】

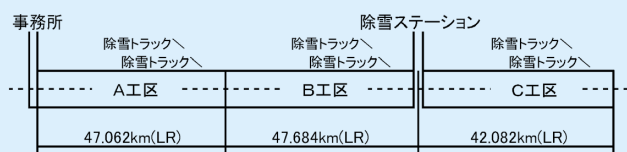


図 3 ケーススタディを実施した除雪工区

【再編案】

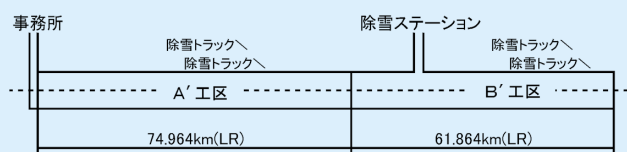


図 4 工区再編例（ケーススタディ）

7. まとめ

本検討は、さまざまな管理水準にも対応可能な地域・路線特性を考慮した除雪機械配置計画のマネジメント手法の確立および冬期路面管理のコスト縮減を目的に行い、次のような成果が得られた。

(1) 基準除雪速度の策定

現場条件が除雪速度に与える要因と影響度を定量的に把握し、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を策定する手法が確立できた。

(2) 機械配置計画の策定

策定した基準除雪速度により、作業の効率性の評価（効率・非効率）および効率的かつ経済的な配置計画の策定を行うことが可能となり、基準除雪速度の有用性を確認できた。

8. あとがき

今後の課題および展開は以下のとおりである。

- ・ 監督強化として、各除雪工区の地域・路線特性

データより策定した基準除雪速度（表 6）を基に、除雪請負会社と再度ヒアリングを実施し、効率（創意工夫等）・非効率（工法等）の要因を把握（監督強化）することにより、除雪効率のスパイラルアップおよびそれに伴う除雪費用の削減が可能となる。

- ・ 今回分析の対象となっていない地区・工区について、同様に調査を行うことにより、サンプル数の増加およびさらなる地域特有の要因（地域・路線独自に評価すべき速度影響要因）を抽出し、基準除雪速度算定式の精度および

妥当性の向上を行う必要がある。

- ・ 各種要因の時点修正もしくは除雪速度予測に用いることを念頭に、基準除雪速度算定およびそれに伴う分析結果の評価（重相関係数および多重共線性）の算定を容易にするため、データベース（除雪速度および降雪強度等）や各要因の計算シートを整備する必要がある。
- ・ 除雪性能（機械性能×現場条件）の一要素である機械性能を評価把握し、現場条件に対する機械性能の過不足を検証する必要がある。
- ・ 本マネジメント手法の確立（精度および妥当性向上）により、施工実績による積算から基準除雪速度を基とする歩掛化への移行が可能と考える。
- ・ また、本検討で実施した、地域・路線特性に応じた基準除雪速度（目的変数）の策定手法は、目的変数を凍結防止剤・防滑材の散布個所および散布量等に置き換えるなど、各種応用が可能と考える。

国土交通省北海道開発局帯広開発建設部帯広河川事務所 計画課
 国土交通省北海道開発局札幌開発建設部 施設整備課
 独立行政法人寒地土木研究所寒地技術推進室 道北支所

おおがみ てつや
 大上 哲也
 いずみさわ かつみ
 泉澤 克文
 こいわ ゆうた
 小岩 祐太