

V-4 歩道の雪処理工法の効率的活用に関する調査

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：山元 弘、山口 崇

【要旨】

積雪寒冷特別地域における冬期歩行空間の確保においては、機械除雪や種々の消・融雪施設による雪処理工法が採られている。各工法とも様々な得失を有しており、目標とする管理水準等に応じて選択されるが、気象条件や現場条件、コストを考慮した効率化を図る上で試行錯誤が続いている。特にわが国は、気象条件、現場条件が地域により大きく異なっており、これらを的確に考慮した雪処理工法の選択が冬期道路管理のコスト縮減を図る上で重要な課題である。

このため、本調査では、冬期歩行空間の確保における様々な雪処理工法の適用状況、コスト等の実態調査を行い、各々の特性を整理した。さらに、降雪量などの気象条件や現場条件を考慮した雪処理工法の選定方法を検討し、雪処理工法を合理的に選定するための考え方をとりまとめた。

キーワード：冬期歩行空間、雪処理工法、機械除雪、消・融雪施設、冬期道路管理

1. はじめに

わが国では、高齢化が急速に進展しており、高齢者や障害者はもちろん、歩行者の誰もが安心してスムーズに移動できる歩行空間の整備が急務となっている。そのため、「交通バリアフリー法」（平成 12 年度施行）に基づき、国土交通省では、道路空間から歩行者の通行に障害となるものをなくす「バリアフリー歩行空間」の整備事業を総合的に進めている。

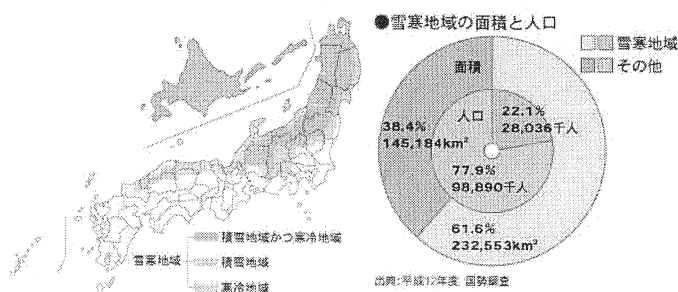
国土面積の約 6 割を占め、全人口の約 2 割の人々が生活している積雪寒冷特別地域（図 1-1 参照）は、その他の地域に比べ高齢者、若年者といった交通弱者の占める割合が高く、特に足下の悪い冬期間は特別な対策が必要となっている。また、インターネッ

トを利用した除雪事業に対するアンケート（（社）雪センター調べ）においても、歩行者対策、高齢者を対象とした除雪に対するニーズが高い傾向にあり、スパイクタイヤ禁止以後、頻繁に出現するようになったいわゆる「ツルツル路面」が原因と推察される歩行者の転倒事故の増加も懸念されている。

このため、積雪寒冷特別地域における冬期歩行空間の確保は重要な課題の一つとなっている。

現在の積雪寒冷地域における冬期歩行空間の確保においては、機械除雪や種々の消・融雪施設による雪処理工法が採られている。各工法とも様々な得失を有しており、目標とする冬期歩行空間の管理水準等に応じて選択されるが、気象条件や現場条件、コストを考慮した効率化を図る上で試行錯誤が続いている。特にわが国は、気象条件、現場条件が地域により大きく異なっており、これらを的確に考慮した雪処理工法の選択が冬期道路管理のコスト縮減を図る上で重要な課題である。

よって、本調査では、冬期歩行空間の確保における様々な雪処理工法の適用状況、コスト等の実態調査を行い、各々の特性を整理した。さらに、降雪量などの気象条件や現場条件を考慮した雪処理工法の選定方法を検討し、雪処理工法を合理的に選定するための考え方をとりまとめた。



積雪寒冷特別地域とは、「2月の積雪深の最大値の累年平均が50cm以上または1月の平均気温の過去5年の累年平均が摂氏0度以下」の地域

（出典：国土交通省HP）

図 1-1 雪寒地域の面積と人口

2. 調査方法

本調査の実施フローを図 2-1 に表す。各項目の実施内容は、下記のとおりである。

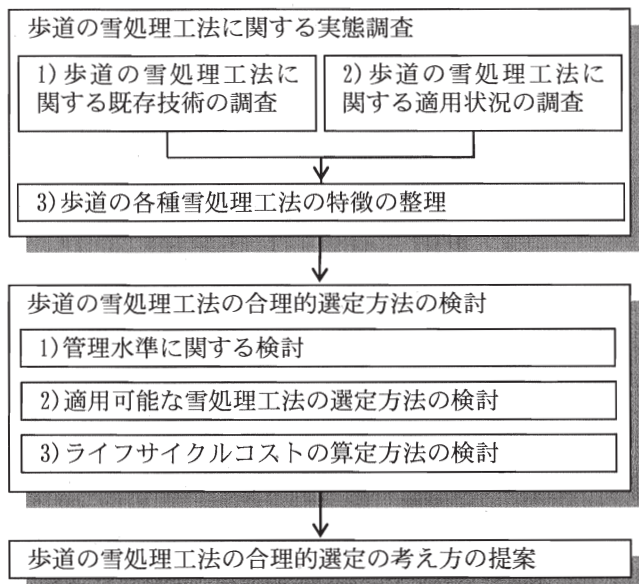


図 2-1 実施フロー

2.1 歩道の雪処理工法に関する実態調査

冬期の歩行空間を確保するために用いる機械除雪や種々の消・融雪施設などの雪処理工法について、その実態を調査し、各工法の特徴を整理した。調査は、既存技術の調査と適用状況の調査を実施した。

1) 既存技術の調査

歩道の雪処理工法について、既存技術に関する調査を行った。調査方法は、表 2-1 の調査項目について、アンケート調査を実施した。調査対象は、(社)雪センターと(社)日本建設機械化協会会員の民間企業とした。

表 2-1 「既存技術の調査」調査項目

1	工法の種類
2	概要
3	特徴 (長所・留意点)
4	適用条件 (気象的条件、道路構造的条件、その他)
5	概算コスト (イニシャルコスト、ランニングコスト)
6	設計に必要な気象データ (項目、収集期間)
7	関連技術基準
8	納入実績

2) 適用状況の調査

歩道の雪処理工法について、どのような工法をどのような箇所に適用して雪処理を実施しているか調査を行った。調査方法は、表 2-2 の調査項目について、アンケート調査を実施した。調査対象は、各地方整備局および北海道開発局、26 道府県、2 政令指

表 2-2 「適用状況の調査」調査項目

1	工法の種類
2	概要
3	特徴 (長所・留意点)
4	適用箇所の条件 (気象的条件、道路構造的条件、沿道状況、その他)
5	概算コスト (イニシャルコスト、ランニングコスト)
6	選定理由

定都市の道路管理者とした。

3) 歩道の各種雪処理工法の特徴の整理

上記で実施した調査の結果をもとに、各種雪処理工法の特徴について整理した。機械除雪は、環境・省エネルギー性、雪処理能力およびコストについて整理した。消・融雪施設は、施工性、耐久性、環境性、省エネルギー性、雪処理能力、維持管理性およびコストについて整理した。

2.2 歩道の雪処理工法の合理的選定方法の検討

冬期の歩行空間を確保するために用いる種々の雪処理工法を合理的に選定する方法を検討した。検討に際しては、管理水準に関する検討と適用可能な雪処理工法の選定方法の検討およびライフサイクルコストの算定方法の検討を実施した。

1) 管理水準に関する検討

歩道の雪処理工法を選定する上での管理水準の考え方について検討するとともに、雪処理工法別に可能となる冬期路面の管理水準について整理した。

2) 適用可能な雪処理工法の選定方法の検討

歩道の各種雪処理工法の特徴の整理結果と管理水準に関する検討結果をもとに、適用可能な雪処理工法の選定方法を検討した。検討した結果は、選定フローとして整理した。

3) 工法別のライフサイクルコストの算定方法の検討

雪処理工法別に可能となる冬期路面の管理水準をもとに、冬期間の除雪出勤回数、消・融雪施設の出力、運転時間をシミュレーションし、イニシャルコストとランニングコストを算出する方法を検討した。

また、積雪寒冷地域の道府県で気象官署がある 21 都市について、このシミュレーションを行い、イニシャルコストとランニングコストを算出し、整理した。

2.3 歩道の雪処理工法の合理的選定の考え方の提案

本調査で調査・検討した結果は、「歩道雪処理工法に関する手引き書 (案)」として、とりまとめた。

3. 調査結果

3.1 歩道の雪処理工法に関する実態調査結果

3.1.1 既存技術の調査結果

歩道雪処理工法に関する既存技術の調査として行ったアンケートの結果を報告する。アンケート調査で回答のあった雪処理工法（44 工法）の各種類別の割合を図 3-1 に示す。「消融雪設備」が 84.8%（39 工法）と 8 割以上を占めていて、次いで、「機械除雪」が 10.9%（5 工法）となっている。「流雪溝」、「消融雪溝」および「アーケード」に関する回答はなかった。

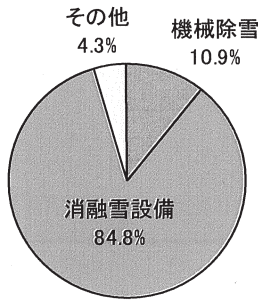


図 3-1 既存技術のアンケート調査における雪処理工法別の回答状況

表 3-1 コストの整理に用いた気象条件

	気象条件 1	気象条件 2	気象条件 3
平均日降雪深	7 cm	10cm	6cm
年平均降雪深	500cm	700cm	175cm
日降雪 10cm 以上の日数	15 日	30 日	5 日
日最低気温(1 月又は 2 月)	-8℃	-4℃	-0.4℃
日平均気温(1 月又は 2 月)	-4℃	-1℃	2.3℃
融雪必要熱量	220W/m ² 程度	180W/m ² 程度	120W/m ² 程度

有効回答の 8 割以上を占めている消融雪設備のイニシャルコストおよびランニングコストを 3 パターンの気象条件毎に整理したものを図 3-2 に示す。なお、3 パターンの気象条件は表 3-1 のとおりである。イニシャルコストが低いのは散水方式や薬液散布方式で 50 千円/m²未満となっている。また、温水ボーイ

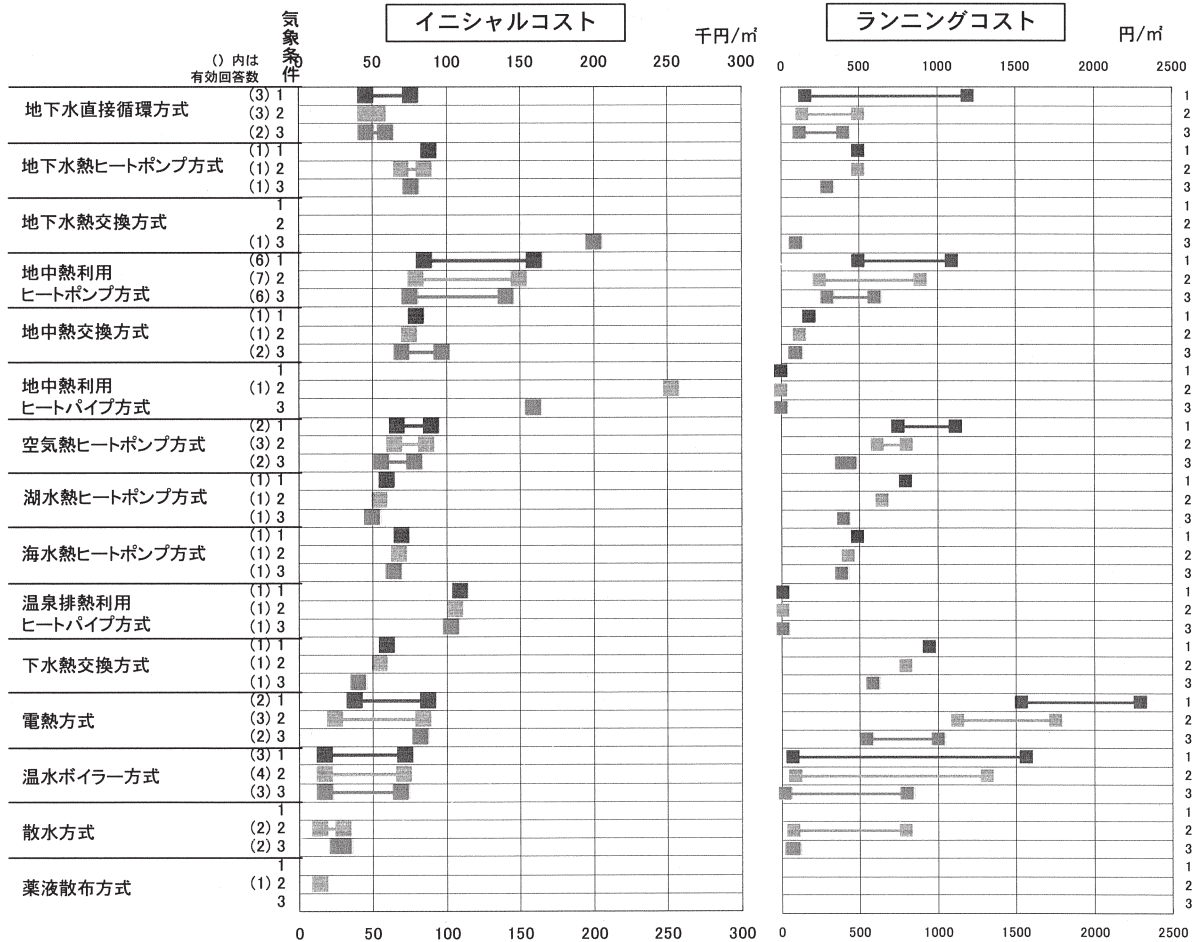


図 3-2 既存技術のアンケート調査における消・融雪設備のイニシャルコストとランニングコスト

ラー方式や電熱方式は、50千円/m²未満のものもあるが、高いものは50千円/m²以上となっている。イニシャルコストが高いものは地中熱ヒートパイプ方式や地下水熱交換方式で200千円/m²以上(地中熱ヒートパイプ方式は気象条件2)となっている。

ランニングコストが低いのは地中熱ヒートパイプ方式や温泉排熱利用ヒートパイプ方式で0円/m²となっている。逆に高いのは、電熱方式や温水ボイラー方式で、気象条件によっては1,500円/m²以上となる場合がある。ただし、どちらの方式もコストが低い場合もあり、一概に高いとは断言できない。なお、電熱方式は気象条件によってランニングコストが大きく異なっている。

3. 1. 2 適用状況の調査結果

歩道雪処理工法に関する適用状況の調査として行ったアンケートの結果を報告する。アンケート調査で回答のあった雪処理工法(75工法)の各種類別の割合を図3-3に示す。「機械除雪」が56.0%(42工法)と半数以上を占めていて、次いで、「消融雪設備」が36.0%(27工法)、「流雪溝・消融雪溝」が8.0%(6工法)となっている。なお、「アーケード」に関する回答はなかった。

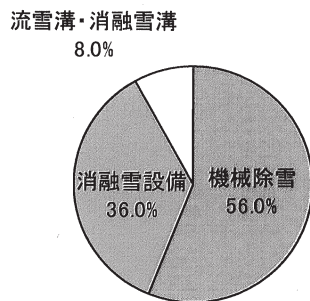


図3-3 適用状況のアンケート調査における雪処理工法別の回答状況

各雪処理工法のコスト(イニシャルコスト、動力費、維持管理費)について整理したものを図3-4に示す。

イニシャルコストが低いのは機械除雪や散水方式で、これらの方式はランニングコスト(動力費、維持管理費)も低くなっている。ただし、散水方式は一部高くなっている例もある。また、この他にイニシャルコスト、ランニングコスト共に比較的低いものは、地下水循環方式、流雪溝・消融雪溝となっているが、これらの方式も適用例によってはやや高めとなっているものもある。

イニシャルコストが高いものは、温泉排熱利用ヒ

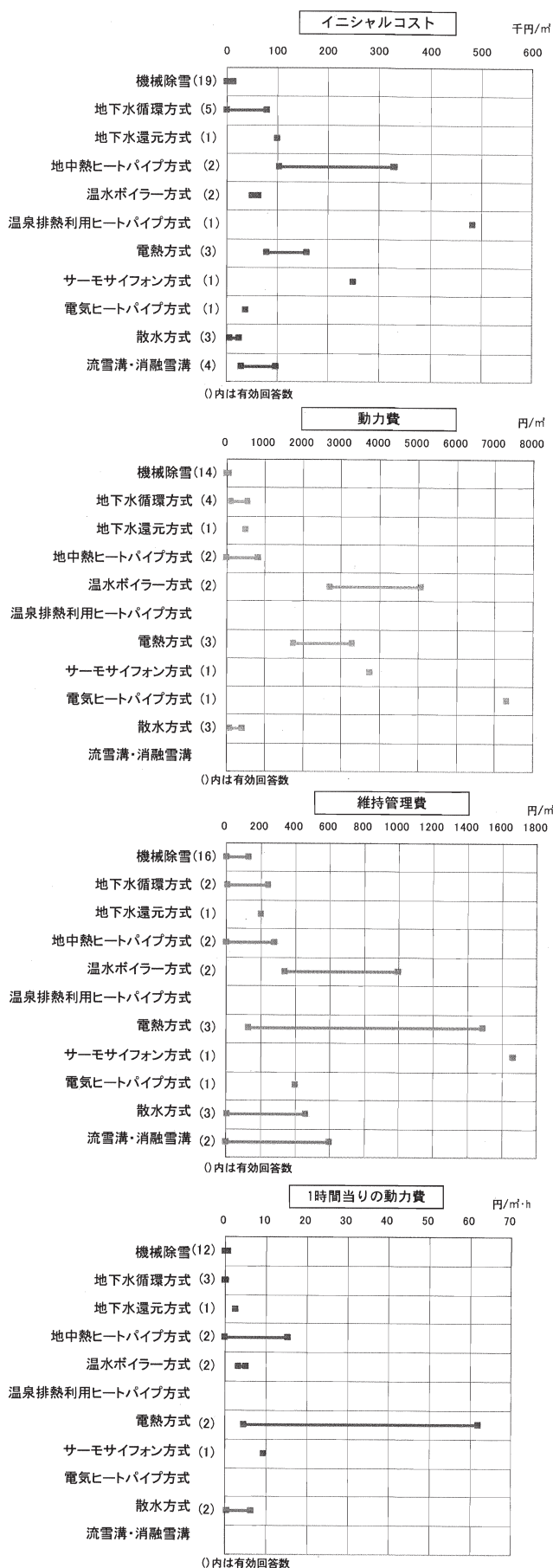


図3-4 適用状況のアンケート調査におけるイニシャルコストとランニングコスト

ートパイプ方式や地中熱ヒートパイプ方式であるが、地中熱ヒートパイプ方式についてはランニングコストが低くなっている（温泉排熱利用ヒートパイプ方式は不明）。

温水ボイラー方式はインシヤルコストが低めだが、ランニングコストは高めとなっている。電熱方式は維持管理費の低い場合と高い場合の差が大きい。

動力費を稼働時間1時間当りに換算すると、温水ボイラー方式よりも電熱方式のほうが高めとなる。地下水循環方式は、適用事例ごとに差があまりなく、機械除雪に近い水準となっている。

3. 1. 3 各種雪処理工法の特徴の整理結果

既存技術と適応状況の調査結果をもとに、各種雪処理工法の特徴について整理した。機械除雪は、環境・省エネ性、雪処理能力およびコストについて、消融雪施設は施工性、耐久性、環境性、省エネ性、雪処理能力、維持管理性およびコストについてそれぞれ整理した。

機械除雪は搭乗型ロータリが4タイプとハンドガイド式が1タイプの計5タイプについて整理した。消・融雪施設は消雪施設が「地下水消雪パイプ」、「回収加熱水消雪パイプ」、「にじみだし」について、融雪施設が「地下水直接循環」、「地下水熱ヒートポンプ」、「帯水層熱交換」、「太陽熱利用帯水層蓄熱」、「地中熱交換」、「地中熱利用ヒートポンプ」、「地中熱利用ヒートパイプ」、「空気熱ヒートポンプ」、「湖水熱ヒートポンプ」、「海水熱ヒートポンプ」（ここまでが自然エネルギー利用）、「温泉熱直接通水」、「温泉熱交換」、「温泉熱ヒートパイプ」、「下水熱交換」（ここまでがローカルエネルギー利用）、「電熱ロードヒーティング」、「ボイラー温水循環」（ここまでが化石エネルギー利用）についてそれぞれ整理した。消・融雪施設の整理結果の例を表3-2に示す。

なお、消融雪施設のコスト算出条件は既存技術の調査における概算コスト算定条件とした。

表3-2 消・融雪施設の特徴の整理結果の例

項目	無散水融雪施設				
	温泉熱利用ヒートパイプ	下水熱交換	電熱ロードヒーティング	ボイラー温水循環	
概要図					
施工性	熱源（水源）設備	取水ポンプ 側溝またはヘッダー管	採熱管（熱交換器） 循環ポンプ	受電設備	ボイラー 循環ポンプ
	道路上設備	放熱管（全面施工）	放熱管（全面施工）	発熱体（全面施工）	放熱管（全面施工）
	舗装条件	Co 舗装が望ましい	Co 舗装が望ましい	特になし	Co 舗装が望ましい
	橋梁	△	○	○	○
耐久性	15年程度	15年程度	10～20年程度	15～20年程度	
環境性	地下水障害	なし	なし	なし	なし
	騒音	なし	なし	なし	あり（ボイラー）
	大気汚染	なし	なし	なし	CO2発生
省エネ性	動力がポンプのみ	動力がポンプのみ	節電タイプあり	なし	
雪処理能力	気象的条件	気象条件に左右されない	気象条件に左右されない	気象条件に左右されない	気象条件に左右されない
	効果	常時放熱	下水流量、温度に左右される	大	大
維持管理性	ほとんど必要ない	不凍液交換（数年に1回）	ほとんど必要ない	ボイラー点検 不凍液交換（数年に1回）	
コスト					
留意点	・温泉排湯を利用する場合、時間帯によって水量が変化する			・温泉成分により、管が閉塞しやすい ・温泉排湯を利用する場合、時間帯によって水量が変化する	

表 3-3 歩道のサービスレベルと管理手法

サービスレベル	歩行空間の状態 [確保幅、路面状態]	確保時間		
		朝夕ピーク型 通勤通学者対象	日中ピーク型 商業施設・官公庁施設利用者	複合型 左記の複合型
確保 (50人/hr以下)	幅員=1.0m 路面残雪深=制限なし	機械除雪	機械除雪	機械除雪
	幅員=1.0m 路面残雪深=5cm・5%	機械除雪	機械除雪 (散水消雪施設・流雪溝)	機械除雪 (散水消雪施設・流雪溝)
	幅員=1.5m 路面残雪深=5cm・5% (交通弱者がいない)	機械除雪	機械除雪	機械除雪
安全 (50~400人/hr)	幅員=2.0m 路面残雪深=5cm・5%	機械除雪	機械除雪 (散水消雪施設・融雪施設 【無散水】)	機械除雪 (散水消雪施設・融雪施設 【無散水】)
円滑 (400人/hr以上)	幅員=3.0m以上 路面残雪深=5cm・5%	融雪施設(無散水)	融雪施設(無散水)	融雪施設(無散水)
	幅員=3.0m以上 路面残雪深=2cm・3% (車いす利用者)	融雪施設(無散水)	融雪施設(無散水)	融雪施設(無散水)
快適 (400人/hr以上)	幅員=3.0m以上 路面残雪深=ドライ	アーケード・融雪施設(無散水)	アーケード・融雪施設(無散水)	アーケード・融雪施設(無散水)

3. 2 歩道の雪処理工法の合理的選定方法の検討結果

3. 2. 1 管理水準に関する検討結果

歩道の冬期管理水準については、歩行者が安全に通行できるかどうかの観点から、歩道上の残雪深の管理水準とその状態を確保する時間帯について設定し、対応する手法とした。

なお、残雪深の管理水準とその状態を確保する時間帯については、国土技術政策総合研究所道路空間高度化研究室における検討結果を参考としている。その結果では、サービスレベルを「確保」→「安全」→「円滑」→「快適」にわけ、それぞれの確保すべき幅員、路面状態(残雪深)を表3-3のとおり定めている。なお、北海道、東北、北陸の歩道の除雪で

は、除雪後の残雪深は基本的に5cmであるが、除雪工法からやむを得ない場合は10cm以下としている。

そこで、歩道の雪処理工法における管理基準は、基本的に表3-3に沿うものとし、残雪深に規定がないサービスレベル(「確保」の幅員1.0m:交通弱者がいない箇所)では、残雪深を10cmに設定し、冬期路面の管理水準として、各雪処理工法の適応性とランニングコスト(除雪回数、融雪施設出力及び運転時間)を検討するものとした。

歩行空間の状態と雪処理工法の対応の整理結果を表3-4に、確保すべき時間帯と雪処理工法の対応の整理結果を表3-5に示す。

3. 2. 2 適用可能工法の選定方法の検討結果

各雪処理工法の特徴の整理結果や管理水準に関する検討結果をもとに適用可能工法の選定方法について検討し、選定フローとして整理した。整理した選定フローを図3-5に示す。

表 3-5 確保すべき時間帯と雪処理工法の対応

	除雪	消雪施設	融雪施設
朝夕ピーク	○	(○) 常時確保	(○) 常時確保
日中ピーク	○	(○) 常時確保	(○) 常時確保
複合	○	(○) 常時確保	(○) 常時確保

表 3-4 歩行空間の状態と雪処理工法の対応

歩行者空間の状態		除雪	消雪施設	融雪施設
「確保」	幅員 1.0 m 残雪深 10 cm	○	(△) 運用時はさらに高いサービスレベルに維持される	(△) 運用時はさらに高いサービスレベルに維持される
	幅員 1.0 m 残雪深 5 cm	○	○	○
	幅員 1.5 m 残雪深 5 cm	○	○	○
「安全」	幅員 2.0 m 残雪深 5 cm	△往復作業になるため、作業に時間がかかる。 (最大 2m 幅を確保できる除雪機械もあるが一般的ではない)	○	○
「円滑」	幅員 3.0 m 残雪深 5 cm	△往復作業になるため、作業に時間がかかる。	△水を飛ばすタイプでは、円滑な人の流れの障害になる	○
	幅員 3.0 m 残雪深 2 cm	△往復作業になるため、作業に時間がかかる。	△水を飛ばすタイプでは、円滑な人の流れの障害になる	○
「快適」	ドライ	×	×	△常にドライは不可能

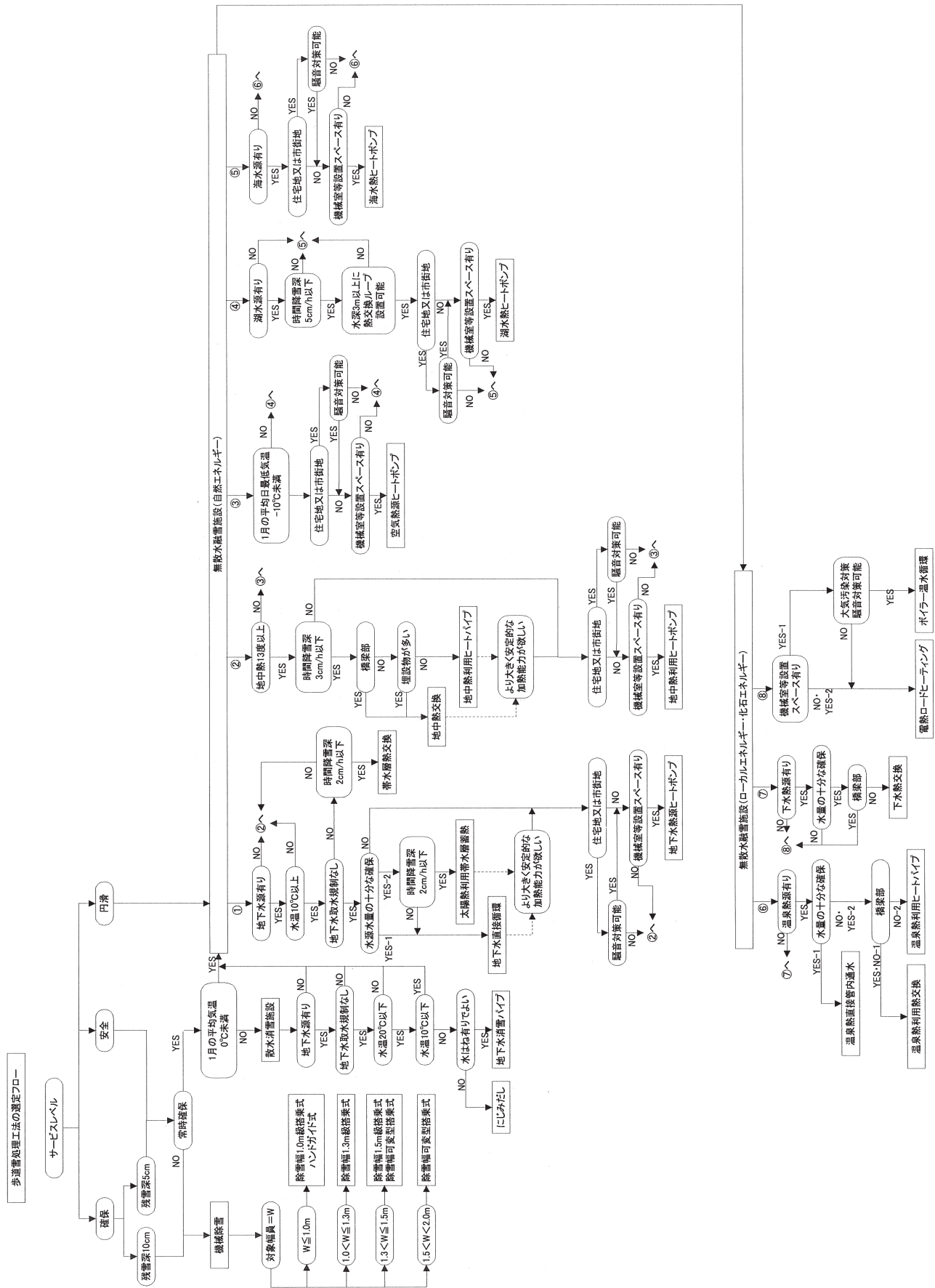


図3-5 歩道の雪処理工法の適用可能工法選定フロー

工法の選定は、第1段階として適用対象箇所のサービスレベルを選択する。「確保」の場合はさらに残雪深レベルを選択し、残雪深5cmであれば常時確保かどうかを選択する。「安全」の場合も常時確保かどうかを選択する。「円滑」の場合は無散水融雪施設となる。

サービスレベルの選択以降は気象や施工性、環境性等の条件を選択して、適用可能工法を選定する。

なお、この選定フローは、最適な工法を決定するものではなく、選定対象箇所に適用可能な工法を選定するもので、複数の工法が選定されることを前提としている。したがって、この選定フローで選出された工法をそれぞれコスト面や特徴面で比較し、最適な工法を決定することになる。

選定フローでは、適用可能かどうかを判断する各項目について「YES」、「NO」で判断していくのだが、項目によっては「YES」と「NO」の各系統が複数ある場合がある。この場合は両方の系統を選び、それぞれの系統に従ってフローを進めていく。また、ある工法が選定されても、さらにフローが続いている場合があるが、それもフローを進めていく。無散水融雪施設の場合、8系統のフロー(①～⑧)が用意されている。これは、なるべく多くの熱源について適用可能か判断できるようにしたものである。

なお、選定フローでは、アーケード、流雪溝、消融雪溝は、選定候補の雪処理工法に含んでいない。アーケードは、機械除雪や消・融雪施設では困難な路面状態を常時ドライに保つことが必要なサービスレベル「快適」での利用となる。また、流雪溝と消融雪溝は、降雪量が多く歩道空間からの除雪後に堆雪場所がない地域での運搬排雪に代わる方法として有効な工法である。よって、このような地域では、流雪溝と消融雪溝について、官民協調手法による地域住民の除雪作業における利用や機械除雪と併用した利用を検討する必要がある。

3. 2. 3 工法別のライフサイクルコストの算出方法の検討結果

適用可能工法選定フローで選定された工法について、コストに関する比較検討ができるように、雪処理工法別に可能となる冬期路面の管理水準(残雪深とその状態を確保する時間帯)をもとに、冬期間の除雪出動回数、消・融雪施設の稼働時間・必要熱量をシミュレーションし、ライフサイクルコストを算出する方法について検討した。検討したパターンを表3-5に示す。なお、シミュレーションに使用する

表3-5 検討パターン

設計残雪深	レベル	除雪	消雪施設	融雪施設
10 cm	「確保」	除雪回数 ・朝夕ピーク ・日中ピーク ・複合		
5 cm	「確保」 「安全」 「円滑」		運転時間	必要熱量 運転時間
2 cm	「円滑」			

気象データは、1時間毎の気温、風速、積雪深とし、降雪密度は、「路面消・融雪施設等設計要領」⁴⁾の値を用いた。

また、これらの項目について、積雪寒冷特別地域の道府県で気象官署がある21都市について気象データを集計し、ライフサイクルコストを算出した。

1) 除雪回数

次の条件で、1シーズンの出動回数を算出することとした。

<除雪を行う時間帯>

- ・朝夕ピーク
6:00～9:00 及び 15:00～19:00 の7時間
- ・日中ピーク
9:00～18:00 の9時間
- ・複合 6:00～19:00 の13時間

上記以外の時間帯は、自然積雪と同様に残雪量が増加する。

<出動基準>

- ・除雪を行う時間帯において、残雪深10cm、残雪深5cm、残雪深2cmを越えないように出動する。

<歩道上の積雪深>

積雪深と同様に増減する。

<除雪を行える出動時間間隔>

- ・3時間 出動後の2時間後までは除雪されず、自然積雪と同様に残雪量が増加。

除雪回数のカウント例を図3-6に示す。

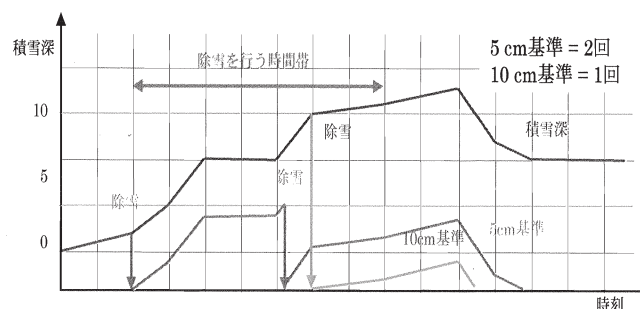


図3-6 除雪回数のカウント例

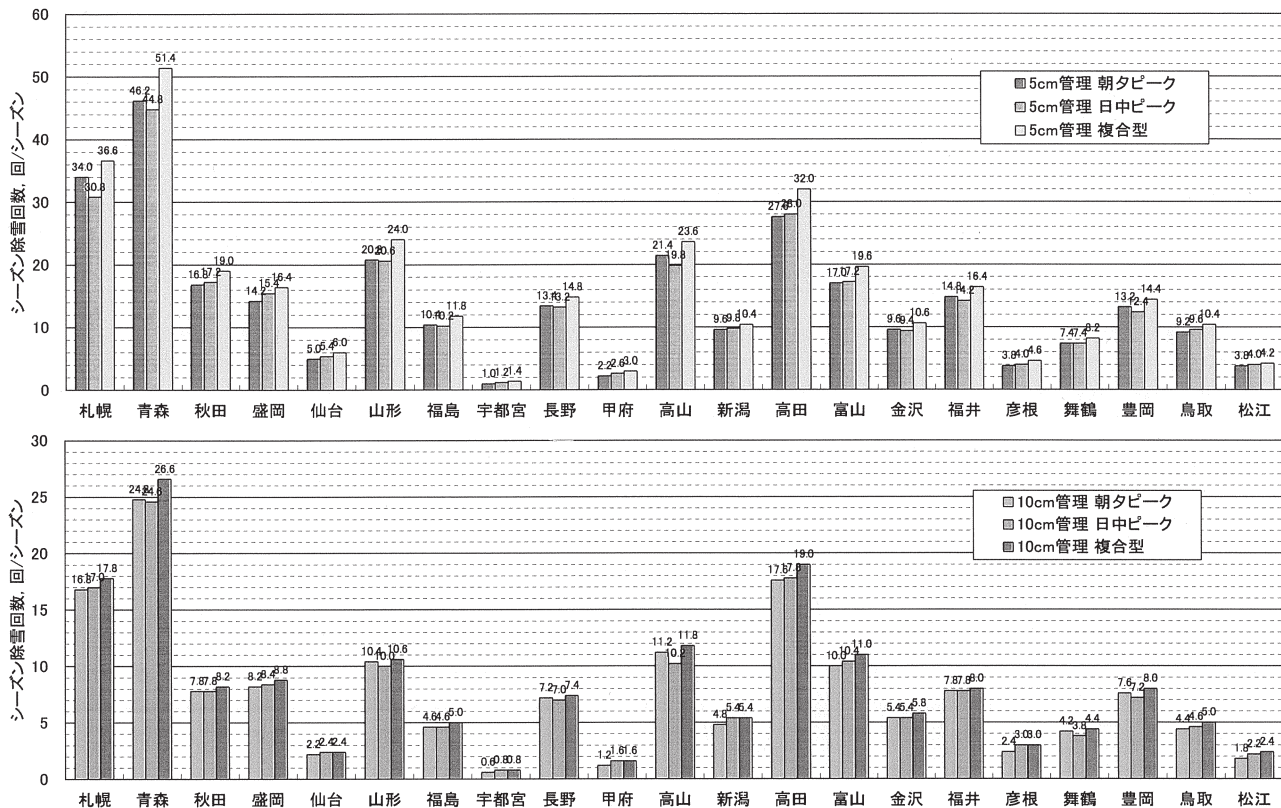


図 3-7 除雪出動回数の算出結果

積雪寒冷特別地域の 21 都市における除雪出動回数の算出結果を図 3-7 に示す。なお、シミュレーションに用いた気象データは、2000～2005 年の 5 シーズン分のアメダスデータである。

最も降雪日数の多い青森では残雪深 5 cm の場合、45～50 回程度の出動、残雪深 10 cm の場合は 25 回程度の出動となり、最も降雪日数の少ない仙台では残雪深 5 cm の場合、5 回程度の出動、残雪深 10 cm の場合は 2 回程度の出動となった。

2) 消雪施設稼働時間

消雪施設稼働時間は、積雪深が増加した時間数と気温 2℃以下時の降水時間数で、重複を避けた合計時間として集計する。消雪施設稼働フローを図 3-8 に示す。なお、実際には強制的に運転を停止する第二融雪時間があること、降雪が終わっても一定時間運転を続けるディレイ運転がある。

積雪寒冷特別地域の 21 都市における消雪施設稼働時間を積雪深が増加した時間数として集計した結果を図 3-9 に示す。なお、シミュレーションに用いた気象データは、2000～2005 年の 5 シーズン分のアメダスデータである。

最も長いのは富山の 431.8 時間/シーズンであり、最も短いのは宇都宮、甲府の 46.8 時間/シーズンであった。

なお、路面に散水を行うことで雪を融かす消雪施設の適用範囲は、散水した水の凍結などを考慮し、一般的に 1 月の平均気温が 0℃以上（地下水散水の場合）の地域としているため（「路面消・融雪施設等設計要領」⁴⁾ 参照）、札幌、青森、秋田、盛岡、山形、長野、高山は参考値とした。

3) 融雪施設稼働時間と必要熱量

次の条件で、稼働時間と必要熱量を算出することとした。

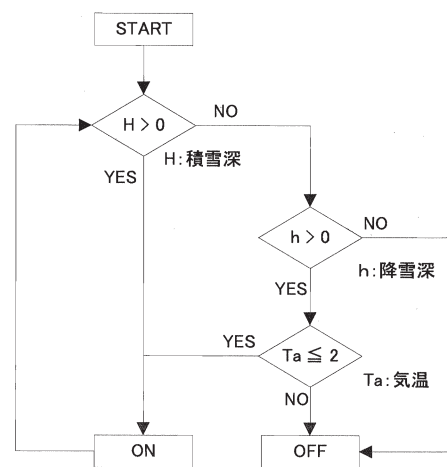


図 3-8 消雪施設稼働フロー

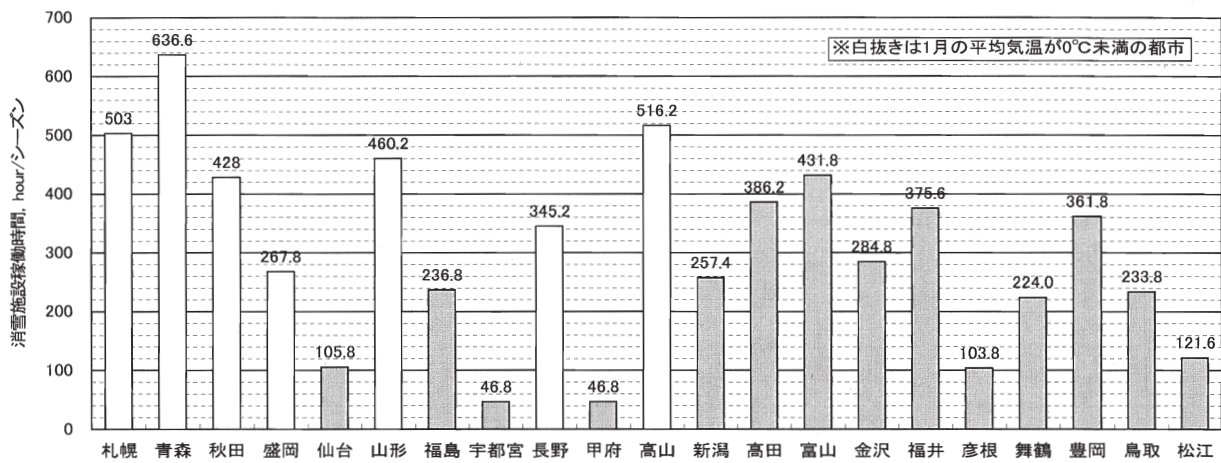


図3-9 消雪施設稼働時間の算出結果

<路面上の残雪量>

$$H_{t+1} = H_t + h - \frac{Q \eta}{\rho (J + |T_a| \cdot C)} \quad (H \geq 0)$$

- H_{t+1} : 時刻 t より 1 時間後の残雪深 (m)
- H_t : 時刻 t における残雪深(m)
- Q: 必要熱量(W h/m^2)
- η : 熱効率=0.9
- ρ : 降雪の密度(kg/m 3)
- h: 時刻 t から 1 時間での自然積雪深の増加量 (m/hour)
- J: 融解潜熱= 334(kJ/kg)
- T_a : 気温(°C)
- | T_a |: 気温の絶対値、 $T_a > 0$ のときは 0 とする。(°C)
- C: 氷の比熱= 2.1(kJ/kg°C)

<融雪熱量>

路面上の残雪深を集計し、残雪深 5 cm 及び残雪深 2 cm を越える時間が降雪時間の 20% 以下 (80% の時間で確保 = 確率管理基準 80% と定義) となる融雪熱量とする。なお、「路面消・融雪施設設計要領」⁴⁾ によれば、一般に大雪が降り続けているとき、全ての雪を直ちに融解し、路面を雪のない状態に保つことは不経済なため、設計時間降雪深以上の降雪が発

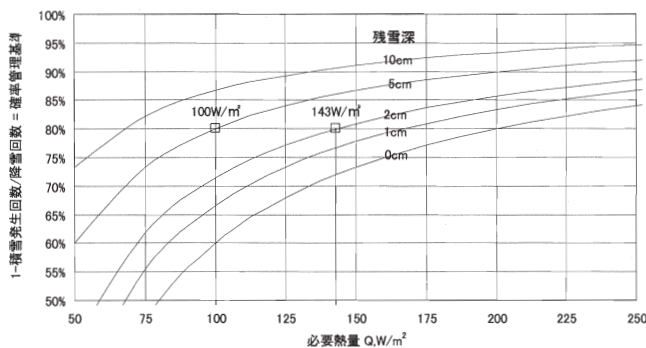


図3-10 残雪深・確立管理基準・必要熱量の例

生したときは、路面全体が薄く雪で覆われる状態まで許容できるものとしている。そして、設計時間降雪深を既往データから決定する場合に解析する日降雪深の大きさ別降雪日数とその構成比率の累積相対頻度において、日降雪深が大きくなると急激に日数が少なくなる境界が概ね 80% 程度となっている。そこで、今回の検討では、「路面消・融雪施設設計要領」⁴⁾ を参考にして、確率管理基準を 80% としている。

図3-10の例では、残雪深の管理基準 5 cm の場合、融雪熱量 = 100 W/m 2 、残雪深の管理基準 2 cm の場合、融雪熱量 = 143 W/m 2 となる。

<凍結防止熱量>

「路面消・融雪施設等設計要領」の算定式に基づき、1 時間毎の凍結防止熱量について、小さい方から累積 80% の値とする。

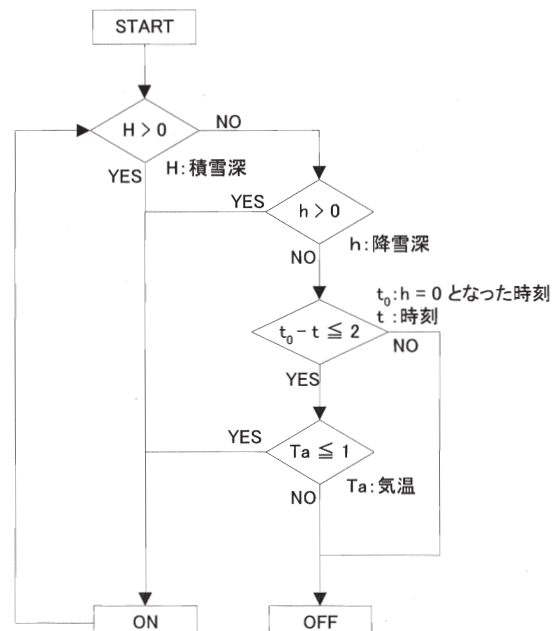


図3-11 融雪施設の稼働フロー

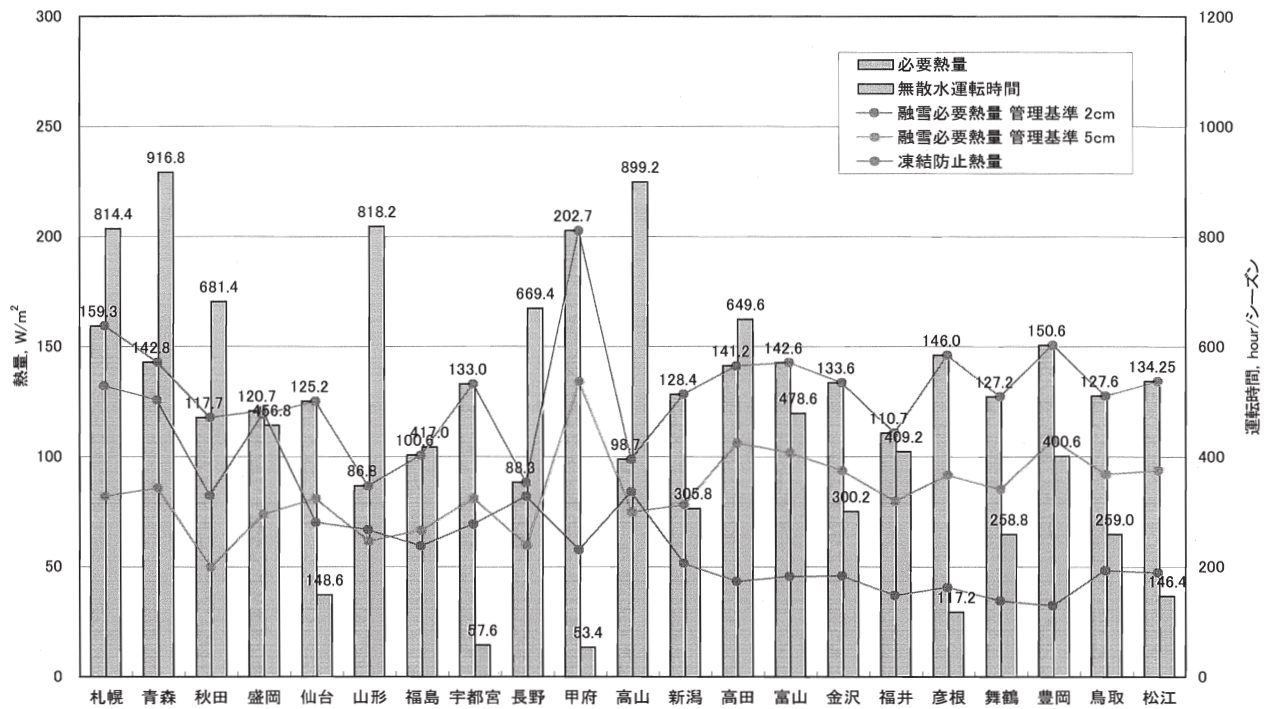


図3-12 融雪施設稼働時間と必要熱量の算出結果

＜必要熱量＞

融雪熱量と凍結防止熱量のうち、大きい値とする。

＜稼働時間＞

次の条件に当てはまる時間の総和とした。なお、融雪施設稼働フローを図3-11に示す。

- ・残雪量が0より大きい時間
- ・降雪時（積雪増加時間+気温 2℃以下で降水時（重複しない））

・残雪量が0となった時の時刻

・降雪時の後2時間以内かつ気温が1℃以下の場合
積雪寒冷特別地域の21都市における融雪施設の稼働時間と必要熱量を算出した結果を図3-12に示す。なお、シミュレーションに用いた気象データは、2000～2005年の5シーズン分のアメダスデータである。

必要熱量は甲府の202.7 W/m²（融雪熱量）が最大

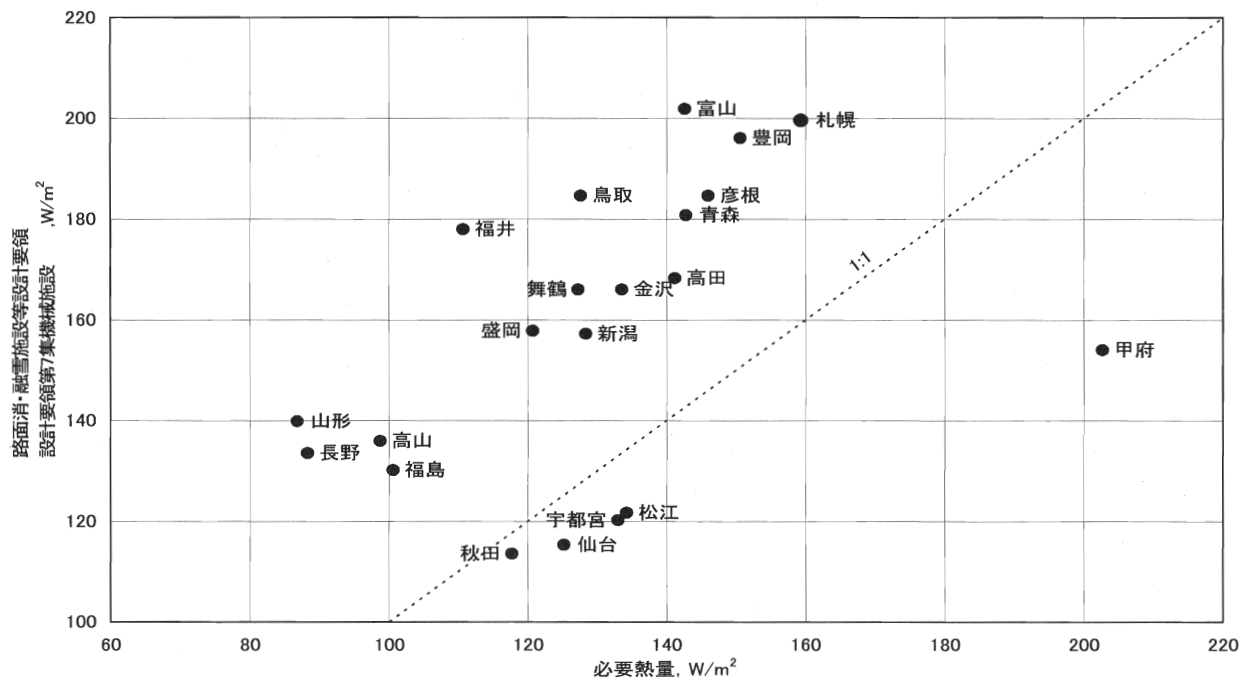


図3-13 従来と今回の算出方法による必要熱量の比較

表3-6 機械除雪のランニングコストの算出結果（※除雪範囲は1,000 m²で人件費は含まれていない。）

		札幌		青森		秋田		盛岡		仙台		山形		福島	
		出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト
		回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)
5 cm 管理	朝夕ピーク	34	5300	46	7,200	17	2,600	14	2,200	5	800	21	3,200	10	1,600
	日中ピーク	31	4800	45	6,900	17	2,700	15	2,400	5.4	800	21	3,200	10	1,600
	複合型	37	5700	51	8,000	19	2,900	16	2,500	6	900	24	3,700	12	1,800
10cm 管理	朝夕ピーク	17	2600	25	3,800	7.8	1,200	8.2	1,300	2.2	300	10	1,600	4.6	700
	日中ピーク	17	2600	25	3,800	7.8	1,200	8.4	1,300	2.4	400	10	1,600	4.6	700
	複合型	18	2800	27	4,100	8.2	1,300	8.8	1,400	2.4	400	11	1,600	5	800
		宇都宮		長野		甲府		高山		新潟		高田		富山	
		出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト
		回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)
5 cm 管理	朝夕ピーク	1	200	13	2,100	2.2	300	21	3,300	9.6	1,500	28	4,300	17	2,600
	日中ピーク	1.2	200	13	2,000	2.6	400	20	3,100	9.8	1,500	28	4,300	17	2,700
	複合型	1.4	200	15	2,300	3	500	24	3,700	10	1,600	32	5,000	20	3,000
10cm 管理	朝夕ピーク	0.6	100	7.2	1,100	1.2	200	11	1,700	4.8	700	18	2,700	10	1,600
	日中ピーク	0.8	100	7	1,100	1.6	200	10	1,600	5.4	800	18	2,800	10	1,600
	複合型	0.8	100	7.4	1,100	1.6	200	12	1,800	5.4	800	19	2,900	11	1,700
		金沢		福井		彦根		舞鶴		豊岡		鳥取		松江	
		出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト	出動	ランニングコスト
		回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)	回数	(円/シーズン)
5 cm 管理	朝夕ピーク	9.6	1,500	15	2,300	3.8	600	7.4	1,100	13	2,000	9.2	1400	3.8	600
	日中ピーク	9.4	1,500	14	2,200	4	600	7.4	1,100	12	1,900	9.6	1500	4	600
	複合型	11	1,600	16	2,500	4.6	700	8.2	1,300	14	2,200	10	1600	4.2	700
10cm 管理	朝夕ピーク	5.4	800	7.8	1,200	2.4	400	4.2	700	7.6	1,200	4.4	700	1.8	300
	日中ピーク	5.4	800	7.8	1,200	3	500	3.8	600	7.2	1,100	4.6	700	2.2	300
	複合型	5.8	900	8	1,200	3	500	4.4	700	8	1,200	5	800	2.4	400

となり、山形の86.8 W/m²が最小となった。稼働時間は青森の916.8時間/シーズンが最長となり、甲府の53.4時間/シーズンが最短となった。

また、今回の検討結果と従来式（代表として、北陸～東北で利用されている「路面消・融雪施設等設計要領」⁴⁾の値)を比較すると、2cmまでの積雪を許容することから、図3-13のように、概ね本検討値の方が40 W/m²前後小さい値となった。しかしながら、秋田、仙台、宇都宮、松江、甲府では大きくなる結果となった。なお、甲府については、2001年1月27～28日にかけて24時間降雪量が45cmの観測史上最高の大雪があり、そのデータも含んだシミュレーションのため、検討結果の融雪熱量がかなり大きな値となっている。数年～十数年に一度の大雪の気象データを含んだ検討では不経済となるため、降雪量の年超過確率で対象とする大雪の範囲を決めるなどの評価が必要である。

4)機械除雪のライフサイクルコストの算出

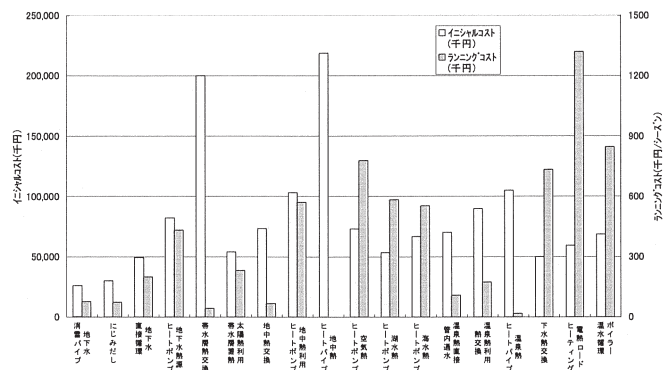
算出した積雪寒冷特別地域の21都市の除雪出動

回数を用いて、各都市に適用した場合のライフサイクルコストを算出した。算出条件は「歩道の雪処理工法に関する既存技術の調査」におけるコスト算出条件（幅員2m×延長500m=1000 m²）を用いた。算出基準データとして、「歩道の雪処理工法に関する適用状況の調査」におけるコストに関する項目で、「適用面積」「出動回数」「燃料費」の全項目に回答のあった回答者のデータを使用した。

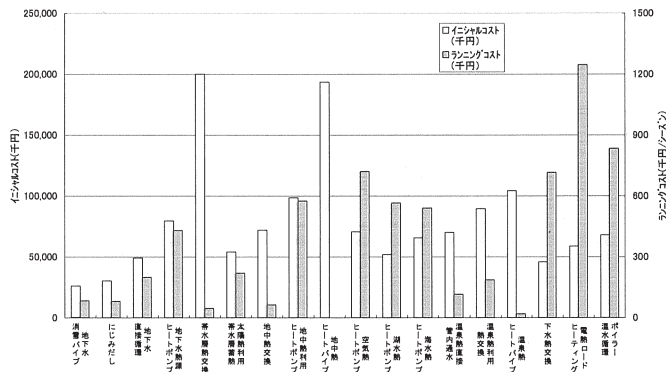
該当する調査結果より1,000 m²を除雪する際の1回あたりの燃料費を算出すると、平均で155円となった。この値に1)除雪回数で算出した各都市の管理基準別除雪回数を乗じて各都市の管理基準別除雪ランニングコスト（燃料費）を算出した。算出結果を表3-6に示す。

最も高いのは、青森の5cm管理複合型で8,000円となった。除雪回数が7回未満の場合には1,000円未満となっている。

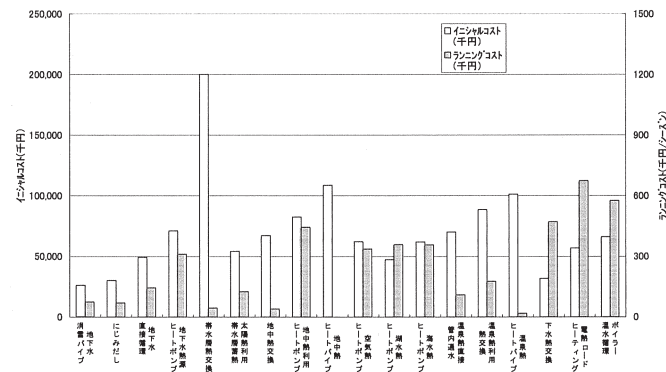
また、参考値として1,000 m²あたりのイニシャルコスト算出結果は、概ね1,245千円/1,000 m²程度とな



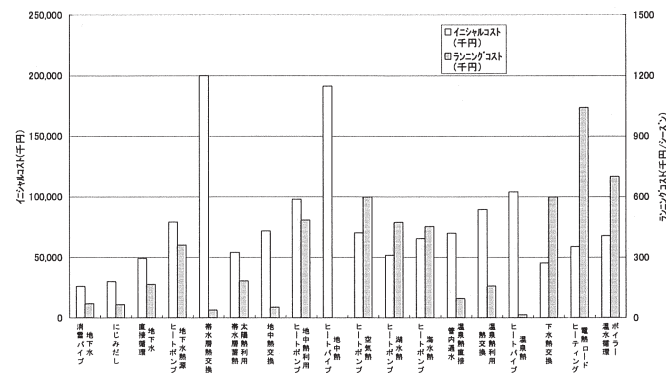
札幌



青森



山形



高田

図3-14 消・融雪施設コスト比較の例

った。なお、算出基準データとして、「歩道の雪処理工法に関する適用状況の調査」におけるコストに関する項目で、「適用面積」「イニシャルコスト」の項目に回答のあった回答者のデータを使用した。

5) 消・融雪施設のライフサイクルコストの算出

算出した積雪寒冷特別地域の21都市の必要熱量と施設稼働時間を用いて、各都市に適用した場合のライフサイクルコストを算出した。コストの算出条件は「歩道の雪処理工法に関する既存技術の調査」における算出条件（幅員 2.0m×延長 500m=1,000 m²）とし、各種雪処理工法の特徴の検討で整理した各工法のコストを参考に各都市のコストを算出した。各種雪処理工法の特徴の整理結果において、1つの気象条件（必要熱量）のみコストが算出されている場合（地下水消雪パイプ、帯水層熱交換）のイニシャルコストはすべて同じ値とした。それ以外の工法のイニシャルコストは各種雪処理工法の特徴の整理結果に掲載している必要熱量との関係図（表3-2参照）における近似線形式から算出した。近似線形式は、必要熱量が120W/m²と180W/m²のときのコストの値を用いて導き出した式と180W/m²と220W/m²のときのコストの値を用いて導き出した式の2通りとした。必要熱量が180W/m²未満の都市のコストは前者の式を用いて算出し、必要熱量が180W/m²以上の都市のコストは後者の式を用いて算出した。

また、ランニングコストについては、電気契約種別を東北電力の融雪用電力契約として、電気基本料金の4ヶ月分および稼働時間に必要電力量を乗じて算出した。灯油等の燃料費の場合は1時間あたりの燃料費と稼働時間を乗じて算出した。算出結果の例を図3-14に示す。

必要熱量が大きい都市はイニシャルコストが高く、稼働時間が多い都市はランニングコストが高くなる。必要熱量が大きく、稼働時間も長い札幌では両コストが高くなっている。

3. 3 歩道の雪処理工法に関する手引き書（案）

本調査で調査・検討した結果は、「歩道雪処理工法に関する手引き書（案）」として、とりまとめた。

歩道の雪処理工法を選定する場合には、「対策を行う場所の条件」と「雪処理工法の特徴」および「管理水準」をもとに、最も適切な工法を選択する必要がある。そこで、「歩道雪処理工法に関する手引き書（案）」は、これらを評価項目とした合理的な選定方法となるようとりまとめた。歩道雪処理工法の合理的な選定フローを図3-15に示す。

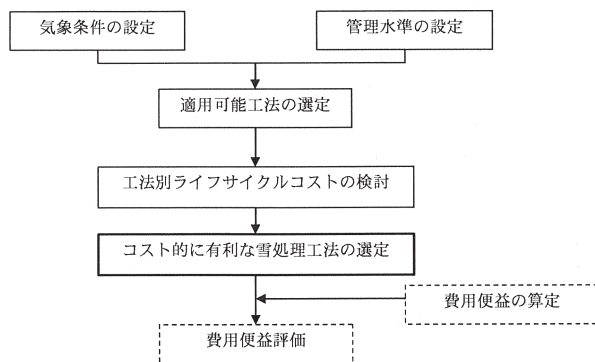


図3-15 歩道雪処理工法の合理的な選定フロ

なお、「歩道雪処理工法に関する手引き書（案）」の主な記載内容は以下のとおりである。

- 1) 歩道雪処理工法の概要
- 2) 歩道雪処理工法選定の流れ
- 3) 事前調査内容
- 4) 選定方法
- 5) 選定例

4. まとめ

本調査では、雪処理工法の適用状況、コスト等の実態調査を行い、歩道の雪処理工法を合理的に選定するための考え方をとりまとめた。その結果、以下の成果を得た。

- 1) 歩道の雪処理工法の既存技術と適応状況の調査を行い、雪処理工法選定の基礎資料となる各雪処理工法の特徴を整理した。
- 2) 対策を行う場所の条件と、その管理水準及び雪処

理工法の特徴から適用可能となる雪処理工法を選定する方法を検討し、選定フローを作成した。

3) 管理水準である残雪深と確保時間を考慮したイニシャルコストとランニングコストの算出方法を作成した。また、雪処理工法の選定の参考となるように積雪寒冷地域内の道府県の気象官署がある21都市について、イニシャルコストとランニングコストを算出し整理した。

4) 上記の検討結果を基に、歩道の雪処理工法を合理的に選定するための「歩道雪処理工法に関する手引き書（案）」をとりまとめた。

今後は、広く冬期道路の管理者と意見を交換することで、「歩道の雪処理工法に関する手引き書（案）」を、より実用的な手引書にしていく必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人日本建設機械化協会：新編防雪工学ハンドブック、1988.3
- 2) 社団法人日本建設機械化協会、社団法人雪センター：2005 除雪・防雪ハンドブック、2004.12
- 3) 社団法人日本道路協会：道路防雪便覧、1990.5
- 4) 建設省北陸地方建設局：路面消・融雪施設等設計要領、2000.3
- 5) オンサイト型年融雪システム研究会：オンサイト型都市融雪システムの実際と計画、2000.4
- 6) 土木研究所資料第3749号：新熱源を利用した道路消融雪施設の検討 都市部における道路消融雪施設への未利用エネルギー活用検討（その1：フィージビリティ・スタディ）、2000.10
- 7) 土木研究所資料第3935号：蓄熱技術を活用した消融雪設備に関する研究、2004.2