

16-4 積雪期における安心・安全な歩道の路面管理技術に関する研究

研究予算： 運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム： 寒地保全技術研究グループ（寒地道路保全チーム）

技術開発調整監付（寒地機械技術チーム）

研究担当者：木村孝司，丸山記美雄，星卓見，磯田卓也，

井谷雅司，大山健太郎

大槻敏行，高本敏志，幸田勝，三浦豪

【要旨】

積雪寒冷地の冬期歩道路面では、積雪や路面の凍結により歩行者転倒事故が発生しており、特に交通バリアフリーの観点からも高齢者・移動制約者等に対して歩道空間を改善する路面管理手法および対策が求められている。本研究では、冬期でも快適な歩行空間を提供するため、冬期の歩行者にとって快適な路面性能を明らかにし、適切な路面を提供するための歩道の設計手法、機械除雪と路面管理の最適な組合せ手法について提案することを目的としている。

その結果、救急搬送者数の調査結果より冬期歩道路面における事故の特徴の把握を行った。また、道路構造についてバリアフリー区間の縦断勾配設計に関して、歩行者の主観評価試験を実施し、バリアフリー基準に基づく縦断勾配の影響について明らかにした。また、歩道の凍上抑制層等の舗装構成の違いによる路面への影響や積雪寒冷地の歩道への排水性舗装の適用性について明らかにした。また、新しい歩道部の冬期路面処理機械の開発を目的に、海外での雪氷路面破碎処理技術を活用し、国内の歩道での施工に対応した雪氷路面処理装置を試作した。さらに試験施工で現場での適応性や雪氷路面に対する処理能力を確認するとともに課題点の改良を行い、実機に向けた仕様を作成した。加え、効率的な冬期路面対策方法として、被験者調査等よりすべり止め材等の散布量及び雪氷路面処理装置による路面処理の効果を明らかにした。

キーワード：冬期歩道路面，すべり止め材，雪氷路面処理，バリアフリー，破碎処理

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期歩道路面では、積雪や路面の凍結により歩行者転倒事故が多発しており、特に高齢者が除雪が不十分な歩道を避けて車道を歩くことによる交通事故の危険性や、冬期の外出を控えがちになる等の問題も生じている。歩行空間の改善については、高齢者や移動制約者も含め、歩行者全般のニーズを踏まえた指針作り等がなされている。代表的な例として、「歩道等整備ガイドライン(案)」や「道路の移動等円滑化整備ガイドライン」が挙げられる。これらは、主に夏期を対象とした内容となっており、積雪寒冷地特有の「つるつる路面」等に関してはロードヒーティング等の事例に触れているが、詳細な提案に至っているとは言い難い。積雪寒冷地では、冬期に歩行困難な路面が頻出しており、特に交通バリアフリーの観点からも高齢者・移動制約者等に対して歩道空間を改善する路面管理手法および対策が求められている。

本研究では、救急搬送者数の調査結果より冬期歩道路

面における事故の特徴の把握を行った。また、道路構造についてバリアフリー区間の縦断勾配設計に関して、歩行者の主観評価試験を実施し、バリアフリー基準に基づく縦断勾配の影響について明らかにした。また、歩道の凍上抑制層等の舗装構成の違いによる路面への影響や積雪寒冷地の歩道への排水性舗装の適用性について明らかにした。さらに、散布技術（碎石，NaCl）によらない冬期路面処理技術として、雪氷路面を破碎処理する雪氷路面処理装置の開発を行った。加え、効率的な冬期路面対策方法として、被験者調査等よりすべり止め材等の散布量及び雪氷路面処理装置による路面処理の効果を明らかにした。

2. 高齢化社会に対応した寒冷地歩道の路面性能の解明

2.1 冬期歩道路面管理の実態調査（ヒアリング）

現在の冬期維持管理の実態を把握することを目的に、道路管理者及び維持管理業者からヒアリングを実施した。

2.1.1 調査方法

国道だけではなく地方道の現状も把握するため、道・札幌市・帯広市も対象にヒアリング調査を行った。

ヒアリングは、歩道除雪の形態、歩道路面状況の実態、歩道除雪可否の決定方法、歩道除雪の優先順位のつけ方等に着眼し実施した（写真-1）。



写真-1 ヒアリング状況

2.1.2 調査結果

ヒアリングの結果、歩道除雪の出動基準については、国においては「冬歩行者の従行が困難になったとき、又はおそれがあるとき」と仕様書に定められているが、多くの維持管理業者が通学路等については概ね降雪量 5cm 程度以上で出動していた。また、自治体では降雪量 10cm～15cm 程度で出動することとしていた。歩道除雪の作業時間については、通学・通勤前に終了することが指定されている。小型歩道機械除雪で行っているため生活道路以外については一定の幅 2.00m を確保している。

仕上げ厚さは歩道部の点字ブロック・景観歩道においてはレンガ等の損傷防止のため、10cm 程度を残している。基本的に歩道部においては苦情があった場合を除き防滑材の散布は行っていないのが現状である。地域（民家・コンビニ）に防滑材を配布している自治体もある。路面管理の注意点として、多くの管理者がすべり抵抗性・段差について最も注意を払っていることがわかった。また、札幌市では小型除雪機の後部に路面整正用装置（鉄製のブラシ）により凍結路面を粗面化し、一定期間効果のあるすべり対策を行っていた。

ヒアリング結果をまとめると、道路管理者および維持管理業者へのヒアリングの結果、多くの管理者がすべり抵抗性・段差について最も注意を払っていることがわかった。また、基本的に苦情が出ない限り防滑材の使用は行っていないことがわかった。

2.2 冬期歩道における救急搬送者の実態

冬期の歩道における転倒事故の実態を把握するため、北海道の札幌市及びアイスバーン路面が発生しやすい釧路市の冬期歩道路面における救急搬送者（過去5年）の特徴を分析した。

2.2.1 調査結果

分析結果をまとめたものを図-1 に示す。また特徴を以下に列挙する。

- 1) 札幌市、釧路市ともに「女性」の救急搬送者が半数を超えており多い。
- 2) 札幌市、釧路市ともに「60代」、「70代以上」といった高齢の救急搬送者が半数以上と多い。
- 3) 札幌市、釧路市ともに負傷の程度は「軽症」が多いが、アイスバーンが発生しやすい釧路市では「重症」の割合が札幌市よりも多い。

この分析結果より、冬期におけるアイスバーンにおける高齢者の転倒は重症事故に起因する可能性が高いことが伺え、高齢者に対する冬期路面の対応が求められる結果となった。

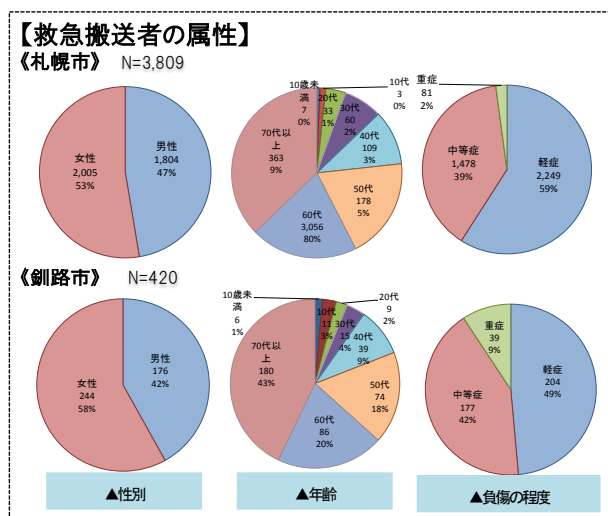


図-1 救急搬送者の属性分析

2.3 積雪期の歩道の路面性能評価法の検討

冬期の歩道に関して既往文献を調査した結果、冬期歩道路面の評価は主観による評価がほとんどであり、路面性状の定量的な評価は行われていないこと、また、現在提案されている歩道路面性状の測定手法は乾燥・湿潤路面が対象であり、雪氷路面への適用性は確認されていないことがわかった。

そこで、冬期路面性能の評価手法の適用性を解明することを目的として、表-2 に示す札幌市周辺をフィールド

として各種路面評価手法の冬期路面性状評価手法としての適用性の検証を行った。路面性状の測定は、歩道に圧雪・シャーベット・こな雪・凍結等の路面状態が発生したときを対象とした。

表-1 試験項目一覧

評価項目	試験法	試験場所					
		石狩吹雪実験場	R12大森駅	R230石山	R453平岸	R120川沿	札幌市道
横断凹凸	・横断プロファイラ	○	○				
平坦性	・手押し式プロファイラ(DAM)	○	○				
すべり抵抗性	・歩道用DFテスト	○	○				
	・PPDスリップメータ ・振り子式スキッドレジスタンステスト			○	○	○	○
弾性係数	・GB試験			○	○	○	○
雪密度	・雪密度試験			○			○
雪硬度	・雪硬度試験(標準木下式)			○			○
	・雪硬度試験(硬雪用木下式)			○			○

2.3.1 平坦性試験

冬期歩道路面の平坦性を調査することを目的として、歩道の各種路面状態（新雪・圧雪・シャーベット・アイスバーン）にて平坦性を測定した。

2.3.1.1 測定方法

平坦性の測定には、手押し式プロファイラ (DAM) を用いた (写真-2)。この装置は、変動輪の変位を計測することで 10mm のサンプリング間隔で路面高さを計測することができ、歩道路面形状を人の歩行速度で効率よく高精度で計測できるという特徴を持っている。



写真-2 手押し式プロファイラ (DAM)

2.3.1.2 測定結果

冬期歩道路面の平坦性の路面性状を調査するため、手

押し式プロファイラ (DAM) にて冬期路面の平坦性を測定した。石狩吹雪実験場, R12 大森において各路面状態ごとに4回の測定した結果の平均値を図-2に示す。

平坦性はシャーベットがもっとも悪く、アイスバーン、圧雪、新雪の順で平坦性が良い結果が得られた。「技術基準」や「舗装設計施工指針」には歩道の平坦性に関する基準値は示されていないが、舗装性能評価法別冊¹⁾によると乾燥路面における平坦性 σ と歩きやすさの関係は、平坦性 σ が 4mm 程度の場合歩行者は「歩きやすくも難しくもどちらでもない」と感じ、9mm 程度ではほとんどの歩行者が「歩きにくい」と感じると報告されているが、冬期歩道路面の基準をどの値に置くべきかは、主観評価などと組み合わせた検証が必要と考える。

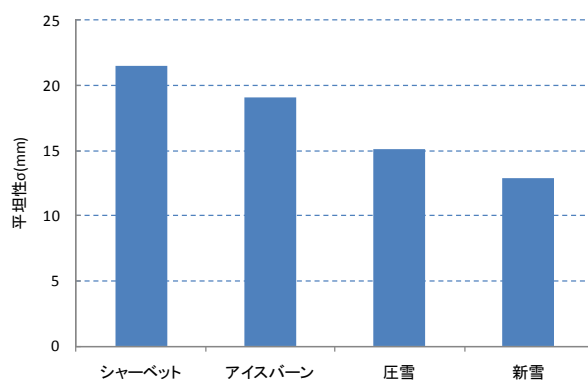


図-2 各種路面状態の平坦性

2.3.2 すべり抵抗性

路面のすべり抵抗値を測定する方法は、数多く提案されているが、どの測定法が冬期歩道路面のすべり抵抗性を適切に評価できるかは検証された例は少ない。そのため、冬期歩道路面のすべり抵抗を適切に評価できる試験法を検討することを目的に代表的なすべり試験法により路面性状の測定を実施した。

2.3.2.1 測定方法

すべり抵抗性の測定装置は、乾燥・湿潤路面において測定実績が多い歩道用 DF テスタ (S-DFT), 振り子式ポータブルスキッドテスタ (BPN), PPD スリップメータを対象として冬期歩道路面への適用性の検証を行った。

歩道用 DF テスタ (S-DFT) (写真-3) は、DF テスタをベースとした摩擦ホイール型の測定装置で、ゴムスライダが路面に接触しながら回転するときに生じる摩擦力から、回転速度 0~15km/h の範囲で静止および動摩擦係数を求めるものである。

振り子式ポータブルスキッドテスタ (BPN) (写真-4)

は、英国で開発されたポータブルな振り子式試験機で、1960年代初めから室内や現場で広く使用されており、日本にも早くから導入された試験機である。ゴムスライダが路面と規定の長さで接触するように高さを調整した振子を振り下ろし、振子が路面を擦った後振りあがる高さを読み取るものである。この振り上がる高さはゴムスライダが路面摩擦によって失うエネルギーで決まり、その値は0～140の範囲で測定される。

PPD スリップメータ (写真-5) は、小型で測定が容易なデジタル摩擦測定器である。計測機本体につながっている四角錐を静止状態から引張るときの抵抗力を測定し、摩擦係数へ変換した値を出力する装置である。



写真-3 歩道用DF テスタ (S-DFT)



写真-4 振り子式ポータブルスキッドテスタ



写真-5 PPD スリップメータ

2.3.2.2 測定結果

石狩吹雪実験場、R12 大麻において歩道用DF テスタ (S-DFT) を用いて各路面状態において4回すべり抵抗値を測定した結果の平均値を図-3 に示す。

シャーベット路面はすべり抵抗値が大きく、それ以外の舗装はすべり抵抗値が低い結果となった。

R230 石山, R453 平岸, R120 川沿, 札幌市道にて振り子式ポータブルスキッドテスタ (BPN) およびPPD スリップメータにてすべり測定した結果を路面状態別にプロットしたものを図-4 に示す。測定値にばらつきが大きく路面ごとの特徴が明確に表れなかった。これらの手法を冬期歩道路面のすべり評価に用いるためには、路面の下地処理を行うなど、何らかの改善が必要であることがわかった。

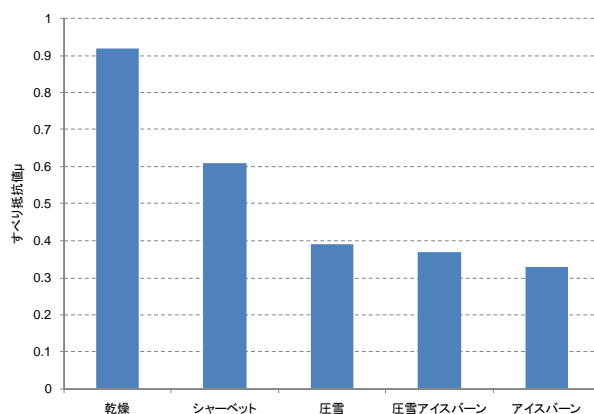


図-3 各種路面状態のすべり抵抗値 (S-DFT)

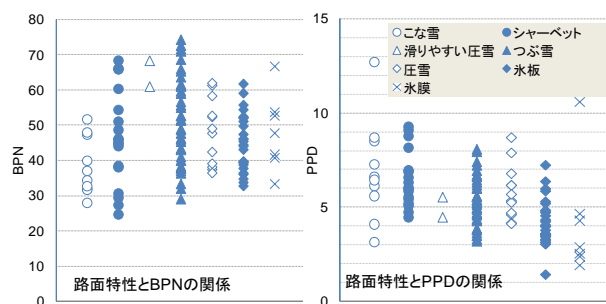


図-4 路面状態別のBPN, PPDの分布

2.3.3 弾性係数

乾燥路面における弾性係数は値が小さいほど身体に対する負担が少ないと考えられている。そこで、各種冬期歩道路面 (こな雪, シャーベット, 圧雪等) の歩きやすさを弾性係数により評価することの可能性を検証することを目的に各種歩道路面にて弾性係数の測定を実施した。

2.3.3.1 測定方法

弾性係数の測定には乾燥路面で多く使用されている

GB 試験を用いた。GB 試験とはゴルフボールを 100cm の高さから自由落下させ、ゴルフボールの反発高さを読み取るものである。試験状況を写真-6 に示す。



写真-6 GB 試験

2.3.3.2 測定結果

R230 石山, R453 平岸, R120 川沿, 札幌市道にて GB 反発度を測定した結果を路面状態別にプロットしたものを図-5 に示す。こな雪・シャーベット・つぶ雪・圧雪・滑りやすい圧雪では GB 反発度は低い傾向にあり、氷板・氷膜では比較的高い値が測定される傾向は得られたが、測定値のばらつきは大きい。

路面性状から推察すると、反発度が大きいほど歩きにくく、滑りやすい路面と評価できる可能性がある。ばらつきの原因の一つとして雪氷の硬度の違いが考えられる。

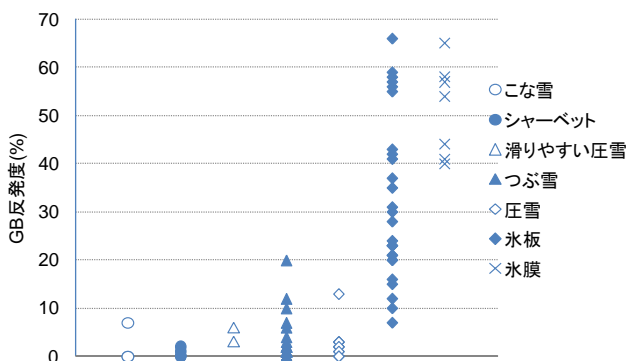


図-5 路面状態別の GB 反発度 (%) の分布

2.3.4 雪硬度

2.3.3.2 のとおり GB 反発度はばらつきが見られたが、その原因として雪硬度のばらつきが考えられる。雪硬度

の測定方法は標準式木下式と硬雪用木下式が提案されているが、雪の状態の評価方法として、いずれの測定方法が路面特性を適切に評価できるか2つの試験法の特性の検証を試みた。

2.3.4.1 測定方法

雪硬度の測定には標準式木下式と硬雪用木下式(写真-7)を用いた。いずれの測定方法も錘を一定の位置から落下させたときの貫入深さから雪硬度を算出するものであるが、標準式は円盤、硬雪用は先端のとがった三角錐状のものを雪面に貫入させる点が異なる。



写真-7 硬度計 (硬雪用木下式)

2.3.4.2 測定結果

2種類の雪氷硬度計(標準木下式, 硬雪用木下式)により、R230 石山, 札幌市道において圧雪路面・凍結路面・シャーベット路面を対象に雪硬度の測定を行い相関関係の確認を行った。2種類の硬度計による測定結果を図-6 に示す。

相関関係は比較的高いものの、硬雪用の硬度計の値の方が1.5倍程度大きい測定値が得られた。標準式の硬度計は比較的高い歩道積雪に対して通常の積雪に比べて貫入しづらく、値が低く出るものと考えられる。以上のとおり硬度は同一路面においても測定方法により異なる値が得られることが判明した。

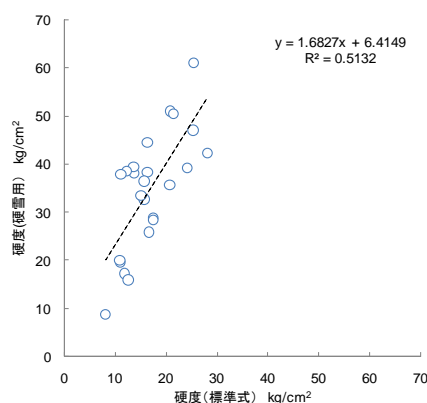


図-6 硬度計の違いによる硬度の散布図

2.3.5 測定器の調査結果

各種路面調査の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 手押し式プロファイラ (DAM) による現道の測定の結果、平坦性は、シャーベットがもつとも悪く、アイスバーン、圧雪、新雪の順で良くなる傾向にあった。
- (2) 振り子式ポータブルスキッドテスタ (BPN)、PPD スリップメータによるすべり抵抗性の評価は値のばらつきが大きく、冬期歩道路面のすべり評価に用いるには何らかの改善が必要である。
- (3) こな雪・シャーベット・つぶ雪・圧雪はGB反発度が低い傾向にある。氷板・氷膜は比較的高い値が計測されたが値のばらつきが大きい。GB反発度が大きいほど歩きにくく、すべりやすい路面と評価できる可能性がある。
- (4) 冬期歩道の雪硬度は硬度計により測定値が異なる。

3. 積雪や除雪作業に対応した歩道の設計技術の提案

3.1 バリアフリー基準に基づく縦断勾配の影響

高齢者や移動制約者も含め、歩行車全般のニーズを踏まえた指針作り等がなされており、道路構造に関しては「道路の移動等円滑化整備ガイドライン」が示されている。本ガイドラインにおいては歩道部のすり付け部の縦断勾配の最急値は5%と示されている(図-7)。また、「移動等円滑化のために必要な道路の構造を定める省令(H18.12.19国土交通省令第116号)」において、「歩道等の縦断勾配は、5%以下とするものとする。ただし、地形の状況その他の特別の理由によりやむを得ない場合においては、8%以下とすることができる。」と定められている。積雪寒冷地の歩道部はアイスバーンとなり、高齢者にとっては歩行困難となるケースが懸念される。このため、寒冷地の歩道においてもこの基準を準用して設計することの妥当性について検討するため、縦断勾配0%、5%のアイスバーンにて、高齢者擬似ツール装着者による評価値の変化を確認した。



図-7 歩道すり付け区間の縦断勾配概念図

3.1.1 試験方法

構内フィールドに延長10m×幅1m、横断勾配2% (道路構造令に準拠)、縦断勾配0%、5%の平坦なアイスバーンを作成し、歩行実験(アンケート評価)を実施した。

また、すべり止め材の散布量及び後述する雪氷路面処理装置による対策効果の差異を検証するため、4種類のすべり対策条件(無対策、塩化ナトリウム、砕石(2.5mm~5.0mm)、雪氷路面処理装置(装置に関して4.にて後述)とし、散布量は道路管理者による実際の散布量を砕石:30,60,100g/m²、塩化ナトリウム:10,20,30g/m²とした。これらの路面を、高齢者による歩行をシミュレートするため、高齢者擬似ツールを装着した健康者20名(男女)が歩行し、その際の被験者の主観評価に関するアンケート調査を行った(写真-8)。アンケート調査は乾燥路面を10点とした場合の総合評価値として実施した。

また、靴の違いによる調査結果への影響を排除するため、被験者の靴は同一のものとした(写真-9)。



写真-8 高齢模擬者の勾配部の歩行状況



写真-9 試験に使用した靴

3.1.2 試験結果

縦断勾配0%、5%における高齢者擬似ツール装着者の歩行実験の結果を図-8に示す。

歩行者の主観評価値は、バリアフリー構造部で定められている5%程度の勾配では、高齢者(擬似)においては、歩行に関する評価値は大きな差異はみられない。また、路面对策の効果も平坦路面と大きな違いはみられな

い。このことより、バリアフリー区間の現行の基準を踏まえて歩道の設計を行うことが冬期路面時においても妥当と考えられる。

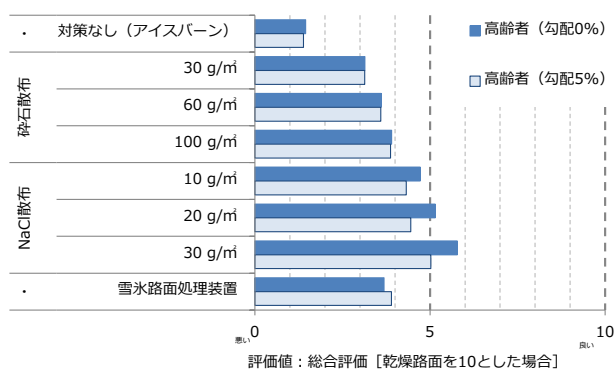


図-8 縦断勾配の違いと評価値の関係

3.2 歩道構造の違いによる凍上抑制効果に関する長期観測結果

北海道のような積雪寒冷地における一般国道の歩道部では、路床土の凍上現象により歩道が隆起することや、低温によりアスファルトが収縮し、低温クラックが発生し、歩道が破壊してしまう場合がある。このような路面のクラックや不陸、剥離による平坦性の悪化は、美観や高齢者の通行の上で問題を生じる可能性があることから、国土交通省北海道開発局では歩道の凍上被害が見られる箇所対策として凍上抑制層の置換厚の増厚を実施している。

本検討では、R241 音更町で試験施工を行った、舗装構成の異なる凍上対策を行った歩道舗装の供用長期後（12年供用後）の路面を観測し、各種対策工法の路面状態から、積雪寒冷地の歩道舗装設計に関する基礎資料を得るものである。試験施工を行った路面の種類は、表-2に示すとおりである。各工区同一歩道延長上で50mごとに工区を設定している。

表-2 試験工区の歩道の舗装構成

工法分類	略称	断面構成				
		表層	基層	路盤	断熱材	凍上抑制層
標準	標準	細粒As 3cm	-	切込砂利 40mmTop 27cm	-	-
凍上抑制層	タイプ1	細粒As 3cm	-	切込砂利 40mmTop 27cm	-	切込砂利80mmTop 30cm
	タイプ2	細粒As 3cm	-	切込砂利 40mmTop 27cm	-	切込砂利80mmTop 車道側70cm路側0cm
断熱材	タイプ3	細粒As 3cm	-	切込砂利 40mmTop 27cm	断熱材 5cm	-
As増厚	タイプ4	細粒As 3cm	密粒As 3cm	切込砂利 40mmTop 24cm	-	-
	タイプ5 (改II)	細粒As 3cm	密粒As 3cm	切込砂利 40mmTop 24cm	-	-

写真-10~15は各試験工区の路面状況の写真である。凍上対策を行っていない標準工区では、凍上の影響により路面が縦断方向の凍上クラックが発生するとともに、凍上の影響により歩道の中央が盛り上がり破損している。また、凍上クラック部は舗装が破損し、パッチングにより補修されている箇所がみられた。一方、凍上対策を行った、タイプ1からタイプ5の工区は、凍上クラックや低温クラックが見られるものの、舗装の構造的な破壊箇所は見られず補修の跡も見られず、大きな損傷には至っていない。



写真-10 標準工区

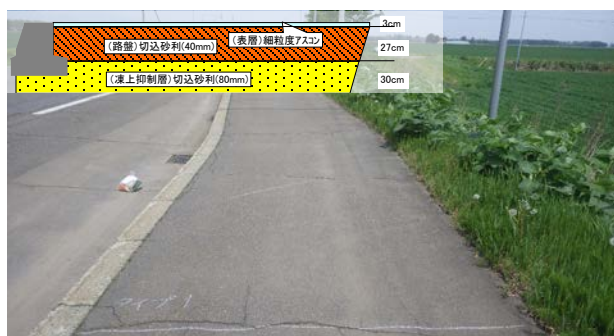


写真-11 増厚工区 (タイプ1)

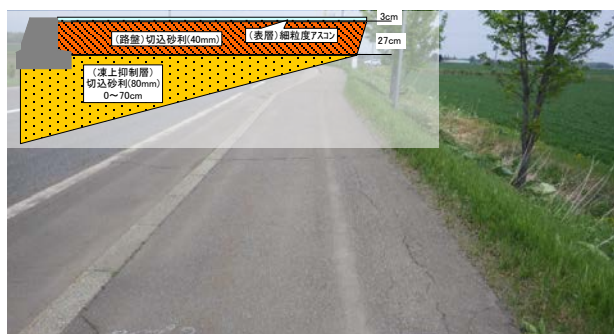


写真-12 すり付け工区 (タイプ2)



写真-13 断熱材工区 (タイプ3)



写真-14 舗装厚を増厚する方法 (タイプ4)



写真-15 舗装厚を増厚する方法 (改質II) (タイプ5)

各工区のクラックの発生状況を確認するため、凍上クラック、低温クラックの発生割合を図-9に示す。

低温クラックの発生割合は各工区とも大きな差は見られないが、凍上クラック(縦断クラック)発生は、標準工区に比べ凍上抑制層を設置したタイプ1, 2では抑制できているのに対し、断熱材の設置の効果は余り見られない。

また、アスファルト層を2層構造で増厚しているタイプ4, 5の工区は、凍上クラックはほぼ発生しておらず、改質II型を使用したタイプ5では12年経過後、凍上クラックは1本も確認されなかった。

タイプ4, 5は凍上を抑える対策を実施していないため、路床部での凍上の発生を抑える効果はないと思われる。

るが、舗装のアスファルト層を増厚し、2層構造にすることにより舗装部の曲げに対する抵抗力が高くなり、凍上の影響の路面への発生が抑制されたものと推察される。

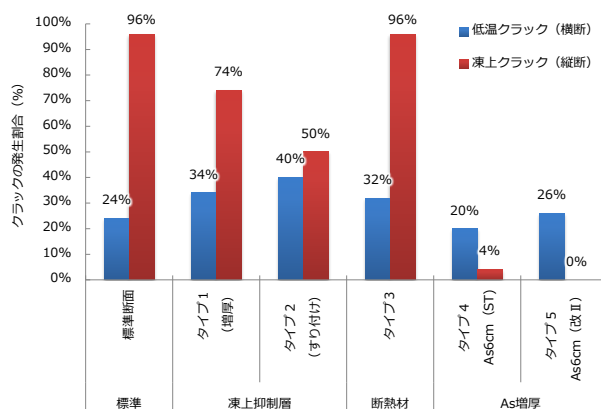


図-9 舗装構成の違いによるクラックの発生割合

3.3 積雪寒冷地の歩道への排水性舗装の適用について

バリアフリー化適用箇所の歩道舗装においては、透水性舗装(雨水の地下浸透)が全国的に実施されている。北海道開発局においては、歩道の凍上の影響が懸念されることから透水性舗装ではなく、排水性舗装の適用を当面の運用としている。北海道におけるバリアフリー区間の舗装のあり方について検証するため、実歩道の排水性舗装の実態と、今後の対応について整理する。

3.3.1 排水性舗装による歩道のバリアフリー化の適用経緯の整理

以下に歩道部への排水性舗装の適用の経緯を整理する。

① H6.9 法律第44号「高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律」(ハートビル法)

1) 高齢者・身体障害者などが円滑に利用できる建築物の建築促進を目的として制定。

2) あらゆる人の利用が想定される建築物の建築者に対し、高齢者や身体障害者が、円滑に建築物を利用できる措置を講ずることを「努力義務」として課している。

3) 平成18年に同法と交通バリアフリー法を統合したバリアフリー新法が施行。

② H12.5 法律第68号「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化に促進に関する法律」(交通バリアフリー)

1) 道路空間のバリアフリー化により、高齢者、身体障害者等の移動に際しての身体の負担を軽減し、移動

の利便性及び安全性の向上を図るために、関係機関による一体的・重点的な移動円滑化の実施・枠組が位置付けられている。

③ H12.11 (最終改正 H13.6, 国土交通省令第40号)「重点整備地区における移動円滑化のために必要な道路の構造に関する基準」

- 1) 同基準は、道路法、道路構造令および道路構造令施行規則に定めるもののほか、この省令の定めるところによる。
- 2) 歩道の縦断勾配5%以下、横断勾配1%以下を規定
- 3) 歩道等の舗装は、雨水を地下に円滑に浸透させることができる構造とするものとする。ただし、道路の構造、気象状況その他の特別な状況によりやむを得ない場合においては、この限りではない。

④ H13.11「道路の移動円滑化整備ガイドライン」原案の作成

- 1) 「交通バリアフリー法」、および「重点整備地区における移動円滑化のために必要な道路に関する基準」の施行を受け、道路管理者が同基準に基づき道路特定事業の整備を行う際のガイドライン原案が作成された。
- 2) 有識者、関係団体、福祉関連に携わる専門家、行政担当者等による「道路空間のユニバーサルデザインを考える懇談会」を設置し、多角的な意見、要望を伺いガイドラインの原案は作成されている。
- 3) 広く一般の方の意見を伺うため、原案についてパブリックコメントを実施し、749件という非常に多くの意見を頂き、ご意見を反映した修正を行い「道路の移動円滑化整備ガイドライン」が取りまとめられている。

⑤ H15.1「道路の移動円滑化整備ガイドライン」の発刊
※舗装に関する事項を以下に要約。

- 1) 高齢者、身体障害者等の移動の円滑化を図るためには、通行する路面が平坦で、雨天時においても水たまりがないことが必要。
- 2) 歩道等の舗装の雨水を路面下に浸透させることができる構造の舗装としなければならない。
- 3) ただし、浸透した雨水の凍結融解の繰り返しによる舗装破壊等が懸念される積雪寒冷地等雨水を地下に円滑に浸透させることができる構造を設けることが不適当な場所では、この限りでない。
- 4) 歩行中のつまずきや滑りによる転倒を防止する観点から、舗装面を平坦かつ滑りにくい仕上げとしなければならない。

5) 積雪寒冷地の舗装は、雪のある路面状況において、靴・杖・車いすの車輪が極力すべりにくく、かつ平坦なものとする。

6) 速やかな排水には横断勾配が必要だが、車いすの通行の障害となることを考慮し、透水性・排水性舗装、あるいは表面水を円滑に排除できる路面材料とする。

⑥ H18.6.21 法律第91号「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」(バリアフリー新法)

1) 高齢者、障害者等(身体障害者、知的障害者、発達障害者を含む、全ての障害者)の移動や施設利用の利便性及び安全性の向上を促進するために、利用者や整備の対象範囲を拡大し、ハートビル法(建築利用に関するバリアフリーの法律)と一体化し、バリアフリーの促進を図るものである。

⑦ H18.12.19 省令106号「移動等円滑化のために必要な道路の構造に関する基準を定める省令」

- 1) 同基準は、道路の構造の遵守すべき最低基準を定めているものであり、実際の道路空間を形成する上では、高齢者、障害者等をはじめ全ての利用者のニーズに合ったより質の高い歩行空間の形成が求められている。
- 2) 同基準は、バリアフリー新法の特定道路に課されるだけでなく、その他の全ての道路に対して適合の「努力義務」が課されている。

⑧ H20.2「道路の移動等円滑化整備ガイドライン(改訂版)」の発刊

1) 改訂にあたり、有識者、関係団体、福祉関連に携わる専門家、行政担当者等による「道路空間のユニバーサルデザインを考える懇談会」を設置し、意見・要望、実験、ヒアリング等から作成したものである。

3.3.2 国土交通省北海道開発局における歩道のバリアフリー構造について

① H14.9「歩道のバリアフリー化構造について」の事務連絡(道路計画課、道路建設課、道路維持課の連名)

- 1) 以下に示す箇所については、歩道のバリアフリー化構造の適用箇所である。
 - A) 交通バリアフリー法に基づく基本構想における重点整備地区
 - B) バリアフリーネットワーク地区
 - C) 上記A)、B)以外の地区で、高齢者・身障者が利用する施設があり、移動円滑化を特に配慮すべき地区(事前に本局と協議し設定すること)
- 2) 歩道構造等

表層（排水性舗装） $t=3\text{cm}$ +基層（密粒度アスコン）
 $t=3\text{cm}$

3) 事務連絡の抜粋

国土交通省北海道開発局では、積雪寒冷地における凍上の影響など、透水性舗装の適用の可否を検討すべく試験調査を続けているが、現在のところ結論を得るに至っていない。従って、重点整備地区に対する歩道整備は、当面、凍上の影響がない排水性舗装を適用することとし、重点整備地区に対する歩道整備は、当面、凍上の影響がない排水性舗装を適用とする。

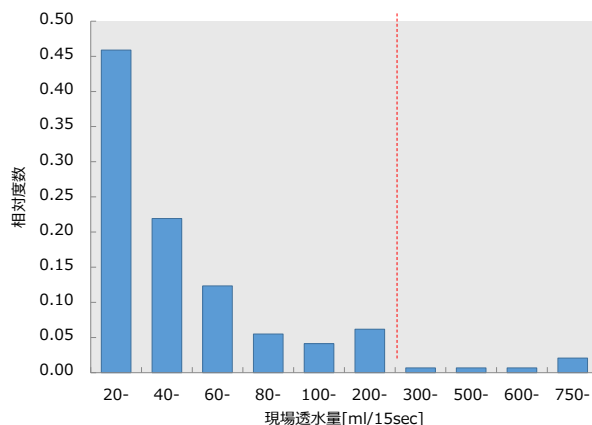


図-10 現場透水量のヒストグラム

3.3.3 排水性舗装の実態調査

当面の運用して実施されている、歩道の排水性舗装の適用性検証を目的に、国道の歩道舗装の路面性状の調査を実施した。

3.3.3.1 路面状態の調査内容

札幌市（R5, 12, 36, 230）、旭川市（R12, 39, 40）の歩道部に施工されている排水性舗装の現場透水量、きめ深さ及び舗装の状態の調査を行った。

調査位置：146箇所

調査方法：現場透水量試験、きめ深さ測定（CTM）、状況目視調査

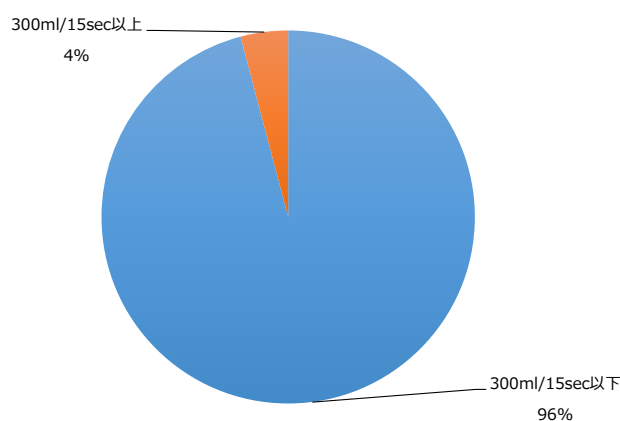


図-11 舗装設計施工指針の目標値の満足割合

3.3.3.2 調査結果

① 現場透水量（空隙つまり）

図-10に現場透水量のヒストグラムを示す。また、図-11に舗装設計施工指針に示される現場透水量の目標値の満足割合を示す。歩道の現場透水量は、舗装設計施工指針（平成18年度）においては、歩道の浸透水量の目標値を300(ml/15sec)としている。図-10, 11より目標値を上回る箇所は全体の4%であり、残りの96%は目標値を満足していない状況である。調査した舗装がいつ施工されたものか記録されておらず不明なため時間経過と透水量の関係が把握できていない状況であるが、排水性舗装は非積雪地においても2~3年で泥水や塵埃等により空隙詰まりが発生することが知られており、積雪寒冷地においては冬期に歩道には防滑材（7号砕石）の散布が実施されるため、より空隙が詰まりやすい状況であることが伺える。

② きめ深さ（空隙つぶれ）

図-12にCTMにより測定したきめ深さ（MPD）のヒストグラムを示す。きめ深さ（MPD）はいずれの箇所においても1.0mm以上確保されており、分布を正規分布と仮定すれば全体の70%[$\mu \pm \sigma$]は1.3mm~2.1mm間に分布しているといえる。

また、きめ深さ（MPD）は値が大きい側に分布する傾向である。歩道の新設部の排水性舗装のきめ深さ（MPD）は2.0mm程度であり、時間経過とともに空隙つまりの影響で、1.3mm程度に低下する推移をたどることが推察される。

いずれにしても、時間経過しても大半の排水性舗装は、きめ深さ（MPD）は1.3mm程度と比較的大きなきめ深さが確保できていることがわかる。

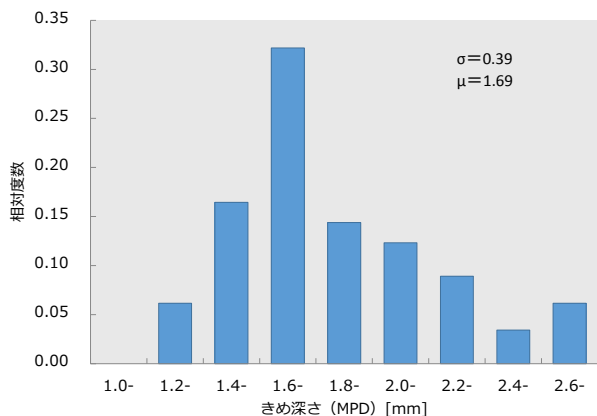


図-12 きめ深さのヒストグラム

③ きめ深さと現場透水量の相関

図-13に同一地点で測定したきめ深さ (MPD) と現場透水量の散布図を示す。

決定係数 $R^2=0.0286$ であり、きめ深さと現場透水量には相関関係は見られないといえる。

この結果を言い換えると、透水性能は時間経過とともに失われるが、それと相関してきめ深さは失われてはいないことが伺える。

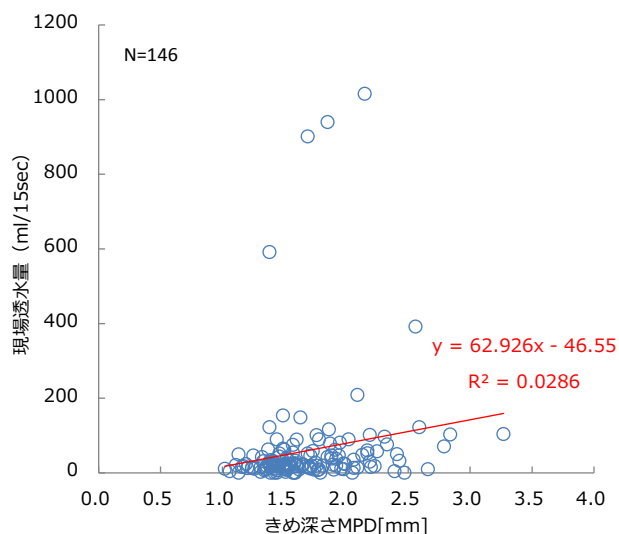


図-13 きめ深さ (MPD) と現場透水量の相関関係

④ 舗装の構造的健全性の確認 (目視調査)

先の結果より、歩道部の排水性舗装は機能的性能 (排水性能) は失われていることが判明したが、歩道部の排水性舗装が構造的に健全であるか検証するために R12, R36, R230 の歩道部の排水性舗装の全線を目視踏査を行い 損傷の程度を記録確認を行った。結果を図-14 に示す。

損傷の傾向としては、骨材飛散が若干見られる箇所が

10%程度確認されたが、クラックや構造的に破壊している箇所はほぼ見られなかった。

この結果より、歩道部の排水性舗装は、現場透水量は失われているが、車道部に見られるポットホールが発生など構造的な損傷は、歩道部においてはほぼ発生していないことが確認された。

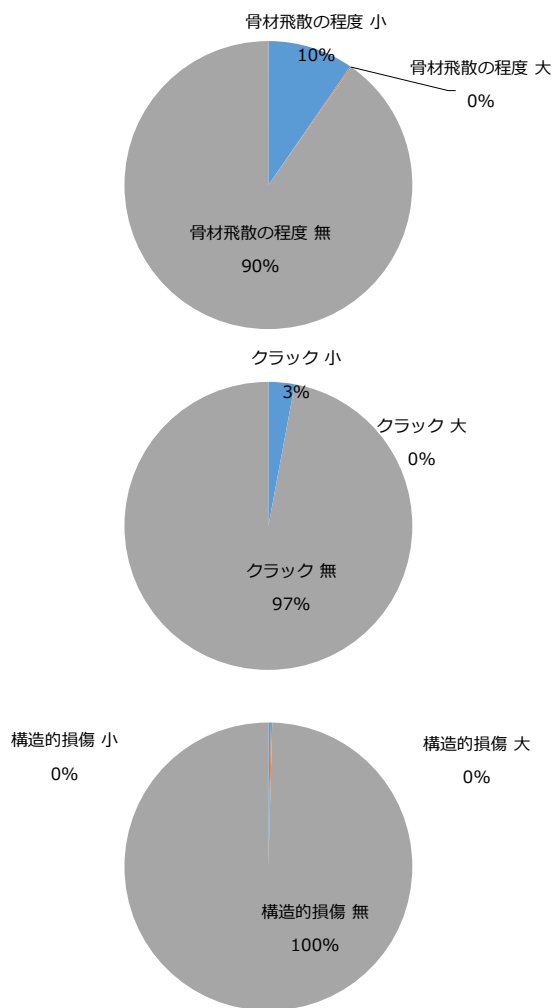


図-14 排水性舗装の損傷 目視調査結果表

3.3.3.3 歩道排水性舗装歩行者の満足度調査

排水性舗装を利用している利用者を対象に、歩道部の排水性舗装に関する満足度調査を街頭アンケートにより実施した。アンケートのあたっては、排水性舗装の説明を行い、通常の舗装と比べてどう感じるかに着目した調査を行った。被験者の内訳を図-15, 16 に示す。

調査の結果を図-17, 18 に示す。歩道利用者の排水性舗装に対する満足度は、高く好印象を持っている者が多く見られる。また、現場透水量が失われているにもかかわらず

ならず、水たまりの発生に関しても満足度が高い結果となった。この理由としては、現場透水量が失われているにも関わらず、表面のキメが確保されているため、表面排水により水たまりが発生しにくいと推察される。また、きめの大きさにより水はねも発生しにくい状況になっていることが伺える。

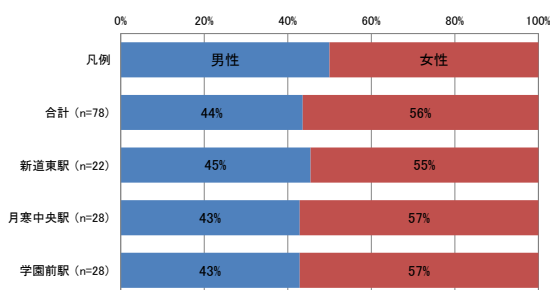


図-15 被験者の男女構成

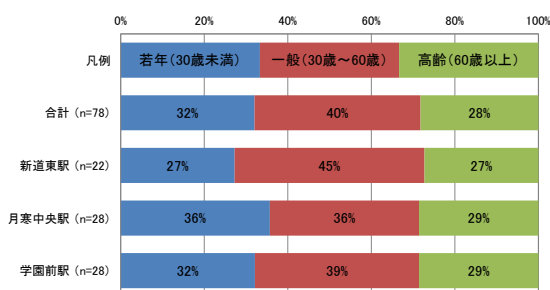


図-16 被験者の年齢構成

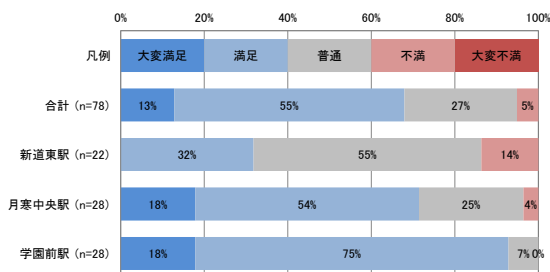


図-17 排水性舗装に関する満足度

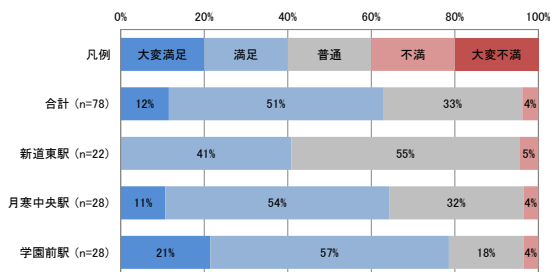


図-18 水たまりに関する満足度

3.3.4 積雪寒冷地の歩道部への排水性舗装適用に関するまとめ

以上の歩道部の排水性舗装の調査結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 排水機能は失われている。
- 2) きめ深さは1.3mm-2.0mm程度と大きい。
- 3) 構造的に破損している箇所はほぼ見られない。3.2の知見より、アスファルト層が2層構成と厚いため凍上による損傷に影響を受けにくいと想定される。
- 4) 排水性舗装の利用者の満足度は高い。

以上のことより、現在の基準を変更することなく、パリアフリー区間の歩道は排水性舗装にて運用していくことが望ましいと考える。

4. 新しい歩道部の冬期路面処理機械の開発

構造が単純で特別な動力を必要とせず、防滑材のみによらずに雪氷路面の改善効果が期待できる、海外での雪氷路面破砕処理技術を活用し、歩道部の雪氷路面処理装置（以降、処理装置という）の開発を行った。

4.1 雪氷路面処理装置の概要

処理装置は歩道上に形成された雪氷路面を破砕処理することで、すべりやすい雪氷路面を排除して不陸部の平坦性を高め、通行しやすい路面にすることを目的とする。処理装置は破砕部と排雪部で構成され、歩道除雪で使用される小形除雪車に装着し、雪氷の破砕処理を行う。

4.1.1 破砕部

活用した破砕機構は、海外で主に車道の雪氷路面の破砕処理に使用されている。破砕部は国内の歩道除雪で使用している小形除雪車の除雪装置（ロータリ装置）の全幅1,500mmに合わせて、1,520mmの幅で試作した(写真-16)。

主な特徴は、丸鋼の先端を斜めに切断した破砕刃(写真-17)を装着した回転体を装置の自重により路面へ押付けて、特別な動力を用いずに車両の推進力で自然回転させることで、雪氷路面の連続的な破砕を行うことである。



写真-16 試作当初の破碎部（小形除雪車装着）



写真-17 破碎部の破碎刃

試作した破碎部を用いて破碎試験を行った結果、破碎刃が雪氷路面に刺さり穴をあけるだけでなく、刃先により掘り起こす動作が加わることで、破碎刃間の雪氷にクラックが発生し、雪氷路面が破碎されることを確認した。また、施工後に破碎された雪氷片（5cm×5cm程度）が歩行路面に発生することを確認した（写真-18）。



写真-18 破碎部による雪氷路面の破碎状況と発生した雪氷片

さらに、雪氷路面の状況により破碎刃が深さ2cmほど刺さりこむため、降雪の少ない地域などに発生する雪氷厚1cm程度の雪氷路面では破碎刃が雪氷路面を突き抜けて舗装路面に影響を与える可能性があることを確認した。

このような薄い雪氷路面に対応するため、破碎深さ制御機能を製作した（写真-19）。これは破碎部のフレーム左右側面に、リンク機構により高さ調整可能なソリを設置し、破碎深さを制御するものである。



写真-19 破碎部に装備した破碎深さ制御機能

この機能を使用して試験を行った結果、破碎深さを5mmに設定した場合の実測の平均値が5.7mm、10mmの場合が9.7mmと、ほぼ設定どおりの破碎深さとなった。

さらに、実機仕様に向けて簡易で正確な調整作業ができるようにリンク式からねじ式に改良（写真-20）するとともに、巻き込み防止ガードを装着することで施工時の安全性の向上を図った（写真-21）。

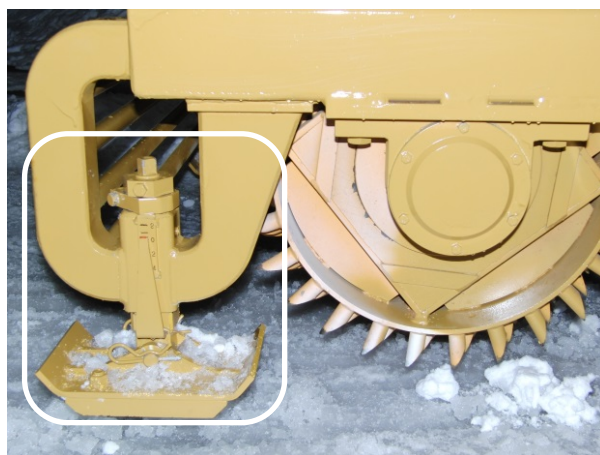


写真-20 改良した破碎深さ制御機能の調整ねじ部



写真-21 巻き込み防止ガード

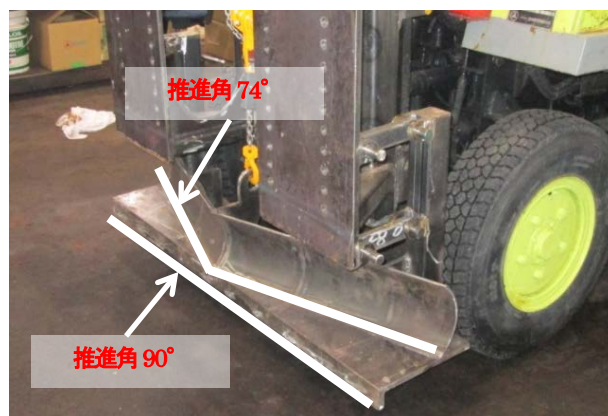


写真-23 排雪部のブレード角度

4.1.2 排雪部

破砕部の施工により発生する雪氷片が、歩行部に残留することで足を取られて歩きにくくなるため、雪氷片を歩行部から排除する排雪部を試作した(写真-22)。

主な特徴は、破砕部のフレーム下部に装着した排雪部がリンク機構により破砕部と独立して上下可動し、自重で路面に押し付けて前進することで雪氷片の排除を行うことである。

フレーム下部に抱え込んだ雪氷片を左右へ流すため、ブレードには進行方向に対して中心から左右に各 74° の推進角を付けた。さらに、推進角 90° のエッジ板を最下部に取り付け、雪氷路面に均一に接地させることで、不陸追従性を確保した(写真-23)。

試作当初は、作業及び回送のための排雪部の上下動はレバーブロックを使用して手動で行ったが(写真-24)、実機仕様に向けて、キャビン内から遠隔操作できるものとした(写真-25)。



写真-24 排雪部の上下動用レバーブロック



写真-25 排雪部の遠隔制御用油圧シリンダ



写真-22 破砕部フレーム下部に装着した排雪部

試験の結果、試作した排雪部により、発生した雪氷片をほとんど取りこぼすことなく排除できることを確認した(写真-26)。



写真-26 改良後の施工状況

4.2 舗装に与える影響

前述したように雪氷路面が薄い場合は破砕部の破砕刃が雪氷路面を突き抜けて舗装に接触する可能性があるため、破砕刃が接触した場合の舗装への影響について調査した。

4.2.1 舗装供試体を用いた舗装影響調査

歩道舗装供試体(300×150×30mm)、及び破砕刃の模型(1/1)を4本装着した破砕部回転体を模した形状のアダプタを用いて、舗装への影響調査試験を行った。

試験ではアダプタを油圧プレス機により設定荷重で舗装供試体に押し付け、舗装供試体に付いた傷の大きさと実荷重を計測した(図-19)(写真-27)。

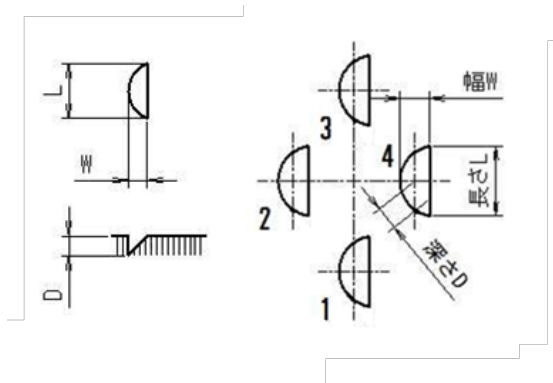


図-19 舗装供試体に付く傷の計測箇所



写真-27 舗装供試体試験を用いた状況

試験の結果、破砕部の装置自重と同等の1,960Nを上限とした破砕荷重では、破砕刃による傷の深さが最大で2.4mmとなった(表-3)。

この結果から、装置の自重により施工時に破砕刃が直接、舗装に接触した場合には、破砕刃1個当たり深さ約2mm程度の傷が付くことがわかった。

舗装への影響を抑制するには4.1.1に記載した破砕深さ制御機能が有効である。

表-3 破砕荷重による舗装に対する影響

測定区分	設定荷重(N)					
	980	1225	1470	1715	1960	
荷重(N)	952.0	1253.6	1454.4	1764.2	1936.8	
1	長さL(mm)	8.8	10.4	11.8	12.5	13.0
	幅 W(mm)	1.7	2.1	2.4	2.6	2.8
	深さD(mm)	0.8	1.3	1.6	1.9	2.0
2	長さL(mm)	6.6	6.9	8.7	9.4	9.8
	幅 W(mm)	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9
	深さD(mm)	0.5	0.5	0.7	1.1	1.3
3	長さL(mm)	11.6	12.4	12.9	13.9	14.0
	幅 W(mm)	2.2	2.4	2.6	3.0	2.7
	深さD(mm)	1.3	1.5	1.9	2.4	2.2
4	長さL(mm)	0.0	0.0	0.7	1.2	3.5
	幅 W(mm)	0.0	0.0	0.2	0.2	0.7
	深さD(mm)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
実荷重(N)	952.0	1253.6	1454.4	1764.2	1936.8	

4.3 改良した処理装置による性能の検証

実機仕様に向けて改良した処理装置(写真-28)の性能を検証するため、現道を使用した現道歩道適応性試験及び作製した雪氷路面での雪氷路面処理能力確認試験を行った。



写真-28 処理装置の全景（小形除雪車装着）

4.3.1 現道歩道適応性試験

処理装置の寸法は既存の除雪装置（ロータリ装置）に近いものとなっているが、現道施工における車両の取り回しや作業性などの問題点の有無等について確認するため、札幌市所管の道道 89 号線地下鉄美園駅周辺の歩道で適応性試験を行った(写真-29)。

なお、路面は平均雪密度 739kg/m^3 ・平均雪硬度 145kg/cm^2 で氷板に近い圧雪であった。



写真-29 現道歩道適応性試験施工箇所

試験の結果、車両の取り回しや作業性については除雪装置と同等であり、破碎部による雪氷路面の破碎及び排雪部による雪氷片の排除も確実に行われ、処理装置として問題なく施工できることを確認した。

施工により滑りやすい雪氷路面を破碎処理し、大きな不陸路面も解消されるため、滑りにくく平坦で通行しやすい路面になることを確認した(図-20)。

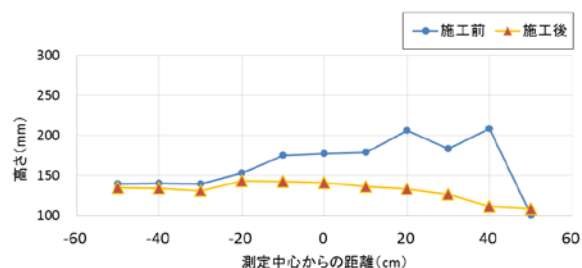


図-20 雪氷路面の不陸状況

4.3.2 雪氷路面処理能力確認試験

処理装置の施工による路面状況や静摩擦係数値の変化を確認するため、寒地土木研究所構内に雪氷路面（幅 2m × 延長 35m × 厚さ 10cm）を作製し、処理能力確認試験を行った。なお、静摩擦係数値の計測には、簡易に短時間で計測可能なアメリカンスリップメータ (ASM) を使用した(写真-30)。



写真-30 静摩擦係数値の計測 (ASM)

試験の結果、氷板の雪氷路面（平均雪密度 777kg/m^3 ・平均雪硬度 264kg/cm^2 ）の施工でも、現道歩道適用性試験と同様に雪氷路面の破碎及び雪氷片の排除が問題なく行えることを確認した(写真-31)。また、施工前後の静摩擦係数値の計測では、施工前に比べ施工後の数値が増加しており、滑り止め効果があることを確認した(図-21)。



写真-31 雪氷路面の施工前(左)と施工後(右)

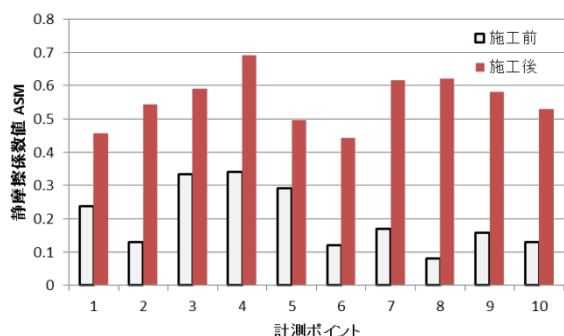


図-21 雪氷路面での静摩擦係数値

4.4 仕様の作成

これらの試験結果をふまえ、実機に向けた雪氷路面処理装置の仕様を作成した。

5. 最適な冬期の歩道路面管理技術の提案

5.1 冬期歩道路面管理支援システムによる危険路面の出現傾向の把握

当研究所では、道路管理者による車道の冬期路面管理の効率性向上のため、冬期道路マネジメントシステムの試験運用を行っている。本システムは、道路テレメータ等からの気象観測データ・路面温度観測データおよび気象機関からの日射、雲量、湿度といった気象実況データ、予測データをもとに、気象予測、路面温度、凍結リスク等に関する現況値、予測値を道路管理者に提供するものである。本システムの冬期歩道路面における適用性を検証するため、システムによる凍結リスクの予測値と冬期歩道路面の観測結果との整合性の検証を行った。

5.1.1 検証方法

図-22に示す札幌市内の17地点の歩道にて平成26年1月27日から平成26年3月28日に観測した計575個の歩道路面の調査結果と冬期路面管理支援システムの凍結リ

スクの予測値の整合性を検証した。なお、歩道路面の調査は、目視及び歩行にて行い表-4に示す指標を記録した。

表-4 歩道の目視調査指標

	1	2	3	4	5	6
日当たり具合	日向	日陰	-	-	-	-
風の強さ	強	弱	-	-	-	-
路面の状況	積雪	圧雪	アイスバーン	ブラックアイスバーン	乾燥	湿潤
路面形状	凹凸	平坦	-	-	-	-
砂利の散布状況	散布あり	散布なし	-	-	-	-
滑りやすさ	かなり滑る	滑る	滑らない	-	-	-



図-22 調査位置

5.1.2 冬期路面管理支援システムの検証結果

冬期路面管理支援システムにおける凍結リスク予測値は「高」「中」「低」で出力される。本検討では、凍結リスク「中」のデータが少なかったため、「高」「低」の予測値を用いて分析を行う。また、路面条件の判定の精度を上げるため、分析に用いたデータは碎石が散布されていない条件で抽出したものをを用いた。

a) 車道の凍結リスク予測値と歩道の路面状況

車道の凍結リスクの予測値が「高」の場合は、アイスバーンやブラックアイスバーン発生時の凍結路面が多くなることを意味する。図-23に車道の凍結リスク予測値「高」「低」別の歩道の路面種別の件数を示す。なお、歩道の路面状態は現地での歩行調査により把握した。車道の凍結リスクが高い場合、歩道では圧雪・積雪の出現が多い傾向にあり、また、車道の凍結リスクが「低」と予測された日においても、歩道では凍結路面が出現しているなど、歩道においては車道の凍結リスクが高い場合に凍結路面が多く出現しているとは限らないことがわかる。

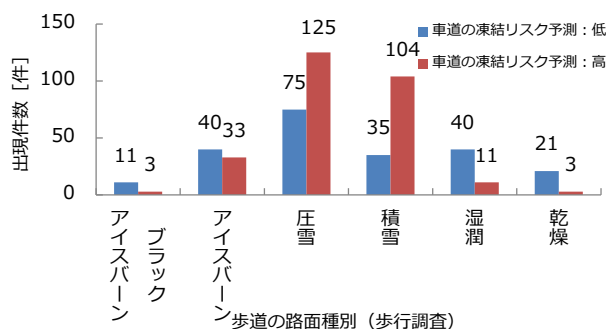


図-23 凍結リスク予測結果別の出現路面

b) 車道の凍結リスク予測値と歩道の路面のすべりやすさ

図-24 に車道の凍結リスクの予測値が「高」「低」のときの実際の歩道路面 (先にも述べたとおり, 砕石散布路面は排除) のすべりやすさ別の出現件数を示す。車道の凍結リスクが「高」の場合は「かなりすべる」「すべる」の評価値が高くなるのが予想されるが, 実際の路面は, 車道の凍結リスクが「高」「低」に関わらず, すべらない場合がほとんどであった。

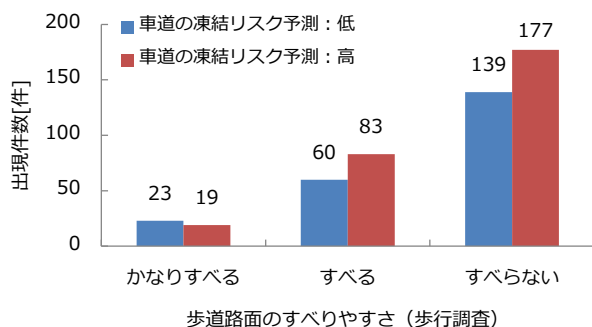


図-24 凍結リスク予測結果別の路面のすべりやすさ

5.1.3 冬期路面管理支援システムの歩道路面予測への適用について

以上の結果から, 車道で運用している冬期路面管理支援システムの凍結リスクの予測値は, 歩道の路面状況と整合性が高くないといえる。

冬期路面管理支援システムは, 気象観測データ等をもとに車道の凍結リスクを予測するものであるが, 車道の凍結リスク予測値が歩道の路面状況と整合しなかった理由として, 歩道路面は路面に雪を残した状態で管理する機会が多いことなど, 車道と管理水準が異なり, 路面の初期条件が違っていることが考えられる。

冬期路面の予測は, 気象条件や路面の水分条件, 除雪実施のタイミング, 砕石の散布履歴など様々な要因が複雑に関係しており, 凍結リスク予測は難しいと考えられる。

5.2 各種路面対策と冬期歩道の歩行改善効果

冬期の歩道における路面のすべり対策として, 砕石の散布および塩化ナトリウムの散布により対策が行われている。しかしながら, これらの散布量と歩行者に与える効果については定量的な見解は得られておらず, 最適な散布量は明らかとなっていない。そのため, 砕石, 塩化ナトリウムの散布効果, 及び, 開発した雪氷路面処理装置の効果を被験者の歩行によるアンケート調査により検証を行った。

5.2.1 アイスバーン路面への対策効果

5.2.1.1 試験方法

構内フィールドに延長 10m×幅 1m, 横断勾配 2% (道路構造令に準拠) の平坦なアイスバーンを作成し, 歩行実験 (アンケート評価) を実施した。

また, すべり止め材の散布量及び雪氷路面処理装置による対策効果の差異を検証するため, 4 種類のすべり対策条件 (無対策, 塩化ナトリウム, 砕石 (2.5mm~5.0mm), 雪氷路面処理装置) とし, 散布量は道路管理者による実際の散布量を参考とし砕石: 30, 60, 100g/m², 塩化ナトリウム: 10, 20, 30g/m², とした。これらの路面を, 高齢者による歩行をシミュレートするため, 高齢者疑似ツールを装着した健常者 20 名 (男女) が歩行し, その際の被験者の主観評価に関するアンケート調査を行った。アンケート調査は乾燥路面を 10 点とした場合の「歩きやすさ」「すべりにくさ」「総合評価」として実施した。また, 靴の違いによる調査結果への影響を排除するため, 被験者の靴は同一のものとした。試験路面を写真-32, 33 に示す。試験日の気温は約-1℃で晴天であった。



写真-32 構築したアイスバーン状況 (砕石散布)

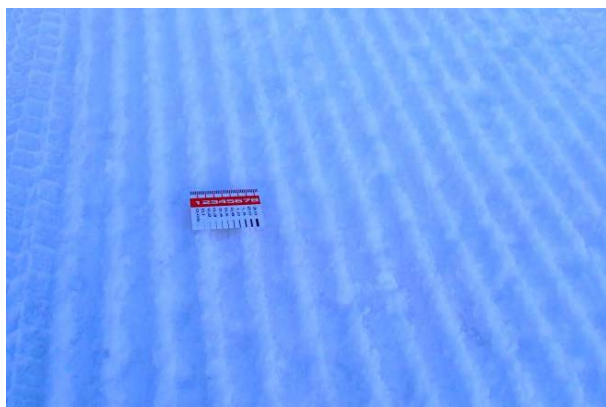


写真-33 雪氷路面処理装置施工後のアイスバーン



写真-34 雪氷路面処理装置施工後の圧雪路面

5.2.1.2 試験結果

アイスバーンにおける高齢者擬似ツール装着者の主観評価の結果を図-25に示す。

砕石散布および塩化ナトリウム散布により、評価値は改善し、散布量が増すほど、評価値が大きくなる傾向である。また、雪氷路面処理装置についても評価値がすべり止め材と同程度に改善することが判明した。このことより、雪氷路面処理装置による処理の有効性が確認された。

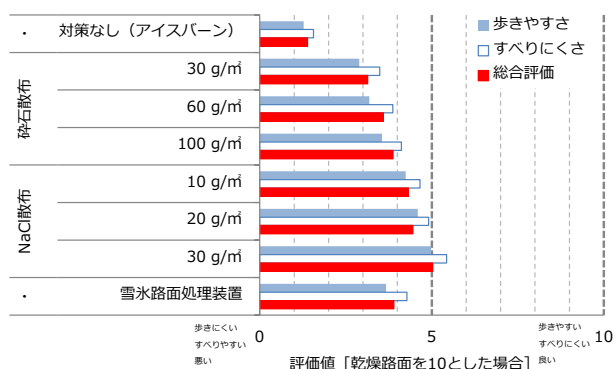


図-25 アイスバーンにおける対策技術の評価値 (高齢者擬似)

5.2.2 圧雪路面への対策効果検証

5.2.2.1 試験方法

札幌市内の国道の歩道にて雪氷路面処理装置及びすべり止め材 (砕石, 塩化ナトリウム) による圧雪路面対策を行った際の効果を被験者試験により検証した。試験日の気温は約-5℃であった。すべり止め材の散布量および調査方法は、アイスバーンと比較することを考慮し、同様の方法で実施した。雪氷路面処理装置により生成された試験路面の状況を写真-34に示す。

5.2.2.2 試験結果

圧雪路面 (実歩道) における主観評価の結果を図-26に示す。全体的にアイスバーンより高い評価値が得られていることがわかる。

砕石, 塩化ナトリウムは散布量が増すごとに評価値が増加する傾向である。特に塩化ナトリウムの評価値が高い傾向であった。また、圧雪路面においては、雪氷路面処理装置が、施工後の路面凹凸により「すべりにくさ」に高い評価が得られた。

これは、砕石や塩化ナトリウムと同等もしくはそれ以上の対策効果が得られることを示唆するものである。

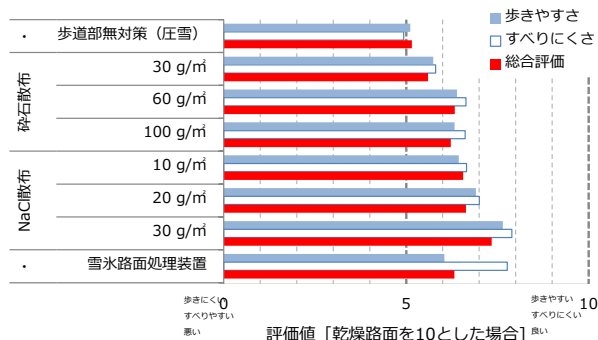


図-26 圧雪路面 (実歩道) における各種対策の評価値

5.2.3 対策技術の主観評価分析 (t検定)

アイスバーン・圧雪路面に対して、対策なしの路面と対策技術を実施した際の被験者の「総合評価値」に有意な差があるのかについてt検定を実施し、どの対策がどのような場合に効果的 (有意) なのか統計的に分析を実施した。

5.2.3.1 分析結果

t検定による対策効果の分析結果を表-5に示す。

圧雪路面に対しては、塩化ナトリウム散布が有意な差が得られる。また、高齢者に対しては、塩化ナトリウム散布に加えて雪氷路面処理装置が有意な差が得られる結

果となった。

圧雪に対して砕石散布が有意な差が得られなかった原因としては、砕石が歩行より雪に埋まってしまい効果を発揮しない場合があるためだと考えられる。

また、アイスバーンに対しては、いずれの路面でも有意な差が得られる結果となった。雪氷路面処理装置による対策の有効性について統計的に有意であったといえる。ただし、気象条件等により異なる結果となることが想定される。

表-5 t 検定による対策効果の分析結果

路面	被験者属性	対策技術	平均値		平均値の差	両側P値	判定
			対策なし	対策あり			
圧雪 (現場検証)	健康者	砕石 30 g/m ²	5.16	5.60	0.44	0.6357	
		砕石 60 g/m ²	5.16	6.33	1.17	0.1821	
		砕石 100 g/m ²	5.16	6.22	1.07	0.2177	
		NaCl 10 g/m ²	5.16	6.56	1.40	0.0866 *	有意水準5%で有意差がある
		NaCl 20 g/m ²	5.16	6.64	1.48	0.0809 *	有意水準5%で有意差がある
		NaCl 30 g/m ²	5.16	7.34	2.19	0.0089 **	有意水準1%で有意差がある
	雪氷路面処理装置	5.16	6.32	1.16	0.1850		
	高齢者 (模擬)	砕石 30 g/m ²	3.90	4.13	0.22	0.7659	
		砕石 60 g/m ²	3.90	4.69	0.79	0.3076	
		砕石 100 g/m ²	3.90	4.75	0.85	0.2626	
		NaCl 10 g/m ²	3.90	4.88	0.98	0.2122	
		NaCl 20 g/m ²	3.90	5.23	1.33	0.0896 *	有意水準5%で有意差がある
NaCl 30 g/m ²		3.90	5.76	1.89	0.0104 **	有意水準1%で有意差がある	
アイスバーン (模擬路面検証)	健康者	砕石 30 g/m ²	2.00	3.71	1.71	0.0034 **	有意水準1%で有意差がある
		砕石 60 g/m ²	2.00	4.05	2.05	0.0004 **	有意水準1%で有意差がある
		砕石 100 g/m ²	2.00	4.30	2.30	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
		NaCl 10 g/m ²	2.00	5.12	3.12	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
		NaCl 20 g/m ²	2.00	5.33	3.33	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
		NaCl 30 g/m ²	2.00	5.77	3.77	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
	高齢者 (模擬)	砕石 30 g/m ²	1.56	3.49	1.93	0.0026 **	有意水準1%で有意差がある
		砕石 60 g/m ²	1.56	3.81	2.25	0.0009 **	有意水準1%で有意差がある
		砕石 100 g/m ²	1.56	4.16	2.60	0.0001 **	有意水準1%で有意差がある
		NaCl 10 g/m ²	1.56	4.66	3.10	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
		NaCl 20 g/m ²	1.56	4.91	3.35	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
		NaCl 30 g/m ²	1.56	5.43	3.87	0.0000 **	有意水準1%で有意差がある
雪氷路面処理装置	1.56	4.28	2.72	0.0001 **	有意水準1%で有意差がある		

*p<0.10 **p<0.05 p: 両側検定での平均値の差の有意水準

5.2.4 砕石・塩化ナトリウムの有効散布量の試算

砕石や塩化ナトリウムの効果的な散布量を被験者試験結果をもとに試算を試みた。被験者試験結果のすべりにくさの評価値を目的変数とし、歩行実験の際の路面状況、散布量、摩擦係数の実測値を説明変数とする、重回帰モデルの構築を行った。モデル式の構築にあたっては、統計的に異常値と想定される値はフィルタリングを行い排除している。重回帰分析結果から算出された有効な散布量を図-27 に示す。従来、散布量は道路管理者により経験的に散布されていた量は、砕石で 30~100g/m²、塩化ナトリウムで 10~30g/m²程度であったが、被験者試験結果からも同程度の散布で有効な改善が行えることが伺える。

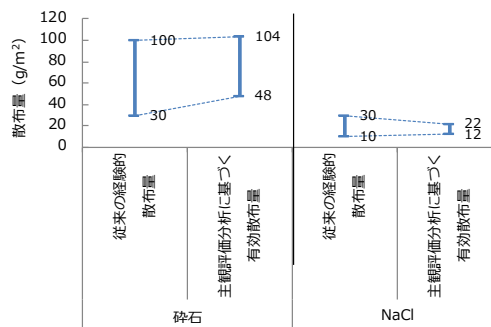


図-27 砕石、塩化ナトリウムの効果的な散布量

6. おわりに

本研究により、救急搬送者数の調査結果より冬期歩道路面における事故の特徴の把握を行った。また、道路構造についてバリアフリー区間の縦断勾配設計、歩道凍上の舗装構成による抑制効果、積雪寒冷地の歩道への排水性舗装の適用性について検証を行った。

また、新しい歩道部の冬期路面処理機械の開発を目的に、海外での雪氷路面破碎処理技術を活用して国内の歩道での施工に対応した雪氷路面処理装置を試作し、試験施工により現場での適応性や雪氷路面に対する処理能力を確認するとともに課題点の改良を行い、実機に向けた仕様を作成した。

加え、効率的な冬期路面对策方法として、被験者調査等よりすべり止め材等の散布量及び雪氷路面処理装置による路面処理の効果を明らかにした。

これらの成果は、技術資料として取りまとめ成果の普及に務める予定である。

参考文献

- 1) 舗装性能評価法別冊：(社) 日本道路協会, 2008. 3
- 2) 舗装設計施工指針：(社) 日本道路協会, 2006. 2
- 3) 防雪・除雪ハンドブック：日本建設機械施工協会, 2004. 12
- 4) 改訂版 道路の移動等円滑化整備ガイドライン：大成出版社, 2008. 2

RESEARCH OF SAFE AND COMFORTABLE SIDEWALK SURFACE MANAGEMENT TECHNOLOGY DURING SNOW SEASON

Budget : Grants for operating expenses
(General account)

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Road Maintenance Research Team
Machinery Technology Research Team

Author : KIMURA Takashi, MARUYAMA Kimio,
HOSHI Takumi, ISODA Takuya,
ITANI Masashi, OYAMA Kentaro
OTSUKI Toshiyuki, TAKAMOTO Satoshi,
KOU DA Masaru, MIURA Go

Abstract :

Pedestrians in snowy cold regions often slip and fall on icy or snowy roads in winter. From the viewpoint of improving "barrier-free" accessibility, pedestrian walkways must be managed in winter such as to make the walkways more accessible to elderly people and people with limited mobility. Toward providing convenient spaces for walking in winter, our study aims to identify favorable road surface properties in winter, to propose methods for designing comfortable walkways, and to suggest the most appropriate combination of mechanical snow removal and road surface management.

First, we investigated the characteristics of winter sidewalk accidents through a survey on the number of people who were transported to hospitals by ambulance. To clarify the relationship between the road structure and pedestrian accidents, we conducted a subjective evaluation experiment with participation from pedestrians and we investigated the relationship between the pedestrians' subjective evaluation of the ease of walking and the longitudinal slope design of the barrier-free zone of walkways. The investigation clarified the influence of longitudinal slope based on the barrier-free standards for walkways on the pedestrian accidents. Toward realizing a winter road surface maintenance technique that does not involve the spreading of crushed stone or NaCl, we developed a winter road surface maintenance machine that crushes the surface ice and compacted snow on roads. To develop more efficient winter road surface maintenance techniques, we investigated the results of surveys using human test subjects and clarified the optimum spreading amount of anti-skid materials and the effectiveness of road surface treatment using the winter road surface maintenance machine.

Keyword : winter walkway surface, anti-skid material, winter road surface maintenance, barrier-free, crushing surface treatment