

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 26
 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： 熊谷政行，丸山記美雄，星卓見，井谷雅司，
 大山健太郎
 大槻敏行，牧野正敏，三浦豪，中村隆一

【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及び対策が求められている．本研究は冬期の歩行者にとって望ましい路面性能を明らかにし適切な路面を提供するための路面管理手法についての検討及びすべり止め材のみによらない冬期歩道路面処理技術の提案を目標としている．平成 24 年度は，雪氷路面の対策前後におけるすべり抵抗値の分析及び歩行実験による主観評価を行った．また，冬期歩行者の救急搬送者の属性分析を行った．加えて，過年度の試験で抽出した氷板・圧雪路面処理装置及び排雪装置の課題の対策を行い，能力や適応性について試験を行った．

キーワード： 冬期歩道路面，すべり抵抗値，主観評価，転倒事故，雪氷路面処理，歩道除雪

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(写真-1)」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及び対策が求められている．

冬期歩道路面のすべり対策としては碎石散布，防滑材散布（塩化ナトリウム等）などが行われているが，その効果について定量的に評価された事例は少ない．そのため，歩行者にとって望ましい冬期歩道の路面性状を明ら

かにし適切な路面を提供するための路面管理手法について検討するための基礎的研究として，さまざまな冬期歩道路面に対して各種試験機器によりすべり抵抗値を測定した結果と歩行者が感じる主観評価の関係について実験・分析した．さらに，冬期の歩道における転倒事故の実態を明らかにするため，札幌，釧路における過去 5 年間の救急搬送者データをもとに，事故者の属性の調査を行った．

加えて，すべり止め材のみによらない冬期歩道の雪氷路面処理方法の検討として，過年度に試作した氷板・圧雪路面処理装置及び排雪装置の試験より抽出した課題に対して改良を行い，装置の有用性について試験を行った．



写真-1 つるつる路面（札幌市すすきの：夜）

2. 冬期歩道路面のすべり特性と主観評価

2.1 実験概要

2.1.1 試験路面

構内試験フィールドに延長 10m×幅 1m, 横断勾配 2% (道路構造令に準拠) の平坦な冬期歩道模擬路面を構築し, 各種試験機によるすべり抵抗値測定および被験者による歩行実験 (歩きやすさに関するアンケート評価) を実施した。試験路面の概要図を図-1 に示す。

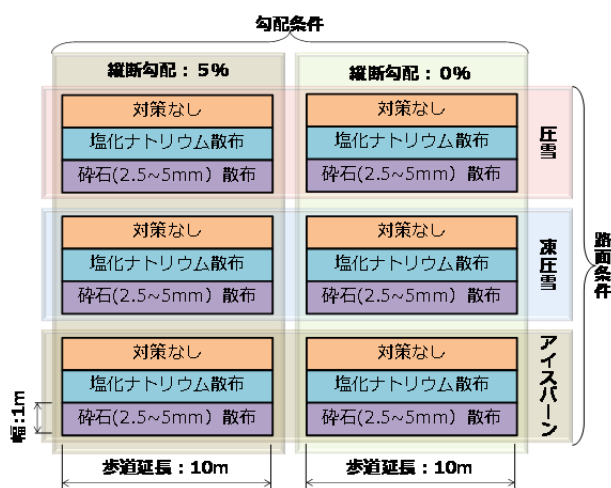


図-1 試験路面概要図

試験路面のパラメータは, 3 種類の雪質 (圧雪, 凍圧雪, アイスバーン), 2 種類の勾配 (0%, 5% (道路の移動等円滑化整備ガイドラインに示されるすり付け部の縦断勾配の最急値), 3 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)) とし, 散布量は道路管理者による実際の散布量を参考に多め, 少なめの 2 パターン (塩化ナトリウム: 10, 30g/m², 砕石: 30, 100g/m²) とした。

なお, 試験路面の雪質は木下式硬度計 (硬雪用) にて管理した。測定状況を写真-2 に結果を図-2 に示す。

雪硬度を路面別に見ると, 圧雪, 凍圧雪, アイスバーンの順に硬くなっている傾向が見られる。雪硬度の数値は, 圧雪は 60kg/cm²~80kg/cm², 凍圧雪は 80kg/cm²~120kg/cm², アイスバーンは 160kg/cm²~250kg/cm² となっており, 「除雪・防雪ハンドブック ((社) 日本建設機械化協会)」に示される硬度 (表-1) を概ね満足する結果の路面が作成できた。



写真-2 雪硬度の測定状況

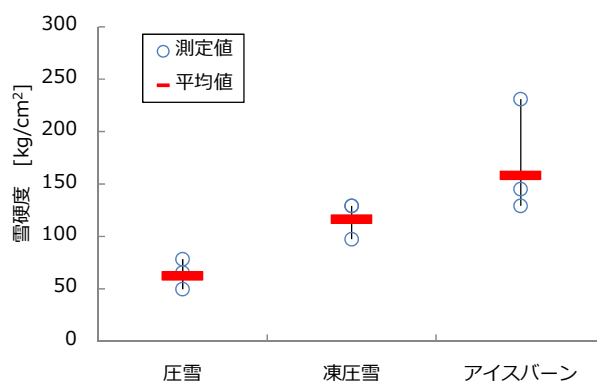


図-2 試験路面の雪硬度

表-1 雪質別の硬度の目安

種類	硬度
新雪	数 g/cm ²
しまり雪	数百 g/cm ²
しまり雪 (硬)	数 kg/cm ²
圧雪	20~170 kg/cm ²
氷盤	90~300 kg/cm ²

2.1.2 すべり特性測定

試験路面作成後, 各種路面条件においてすべり抵抗値の定量的な変化を測定することを目的に 5 種類のすべり測定機器 (BPT, S-DFT, PPD, AMS (裏面に靴底を塗付), OTTO) にてすべり抵抗値の測定を行った (写真-3)。測定は各路面にて 3 回行い 平均値をその路面の代表値とした。



OTTO



ASM



SDFT



PPD



BPT

写真-3 試験に用いたすべり測定機

2.1.3 歩行実験

すべり抵抗値と歩行感覚の相関を調査するため、被験者による歩行実験を実施した。試験方法は、健常者 20 名（30 代、40 代の男女）が試験路面を歩行し、その際の歩行時間の測定及び「歩きやすさ」に関するアンケート調査を行った。アンケート項目を図-3 に示す。各路面の見た目の印象、歩きやすさ、すべりやすさ、危険度、総合評価を 7 段階で評価する方式とした。被験者は試験路面を圧雪、凍圧雪、アイスパーンを無対策、碎石（多）、塩化物（少）、碎石（少）、塩化物（多）の順で歩行させ、歩行終了ごとにアンケートに記入してもらった。また、歩行時間はストップウォッチにて測定した。

さらに、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状態でも同様の調査を実施した（写真-4）。

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-5）。

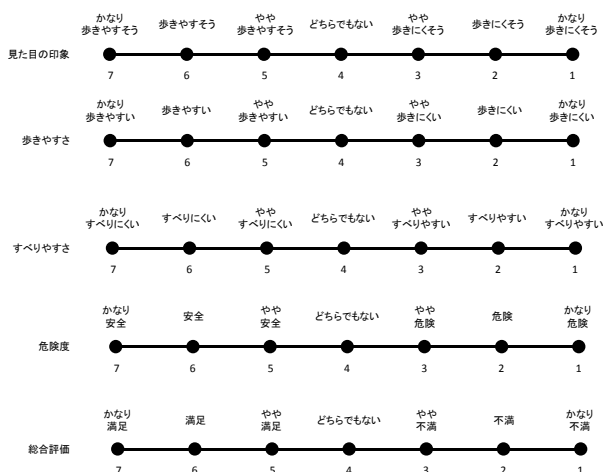


図-3 アンケート調査内容



写真-4 高齢模擬者の歩行状況



写真-5 試験に使用した靴

2.2 各種分析結果

2.2.1 被験者の属性

被験者の属性（性別、雪国在住歴、雪道をよく歩くか、調査靴のすべりやすさ）を確認した。図-4 に確認結果を示す。

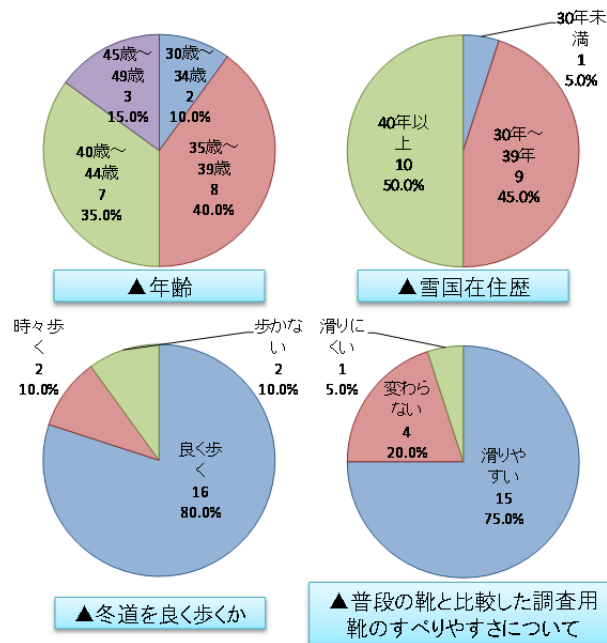


図-4 被験者の属性

1) 年齢

被験者の年齢は、「35 歳～39 歳」が 40.0%と最も多く、次いで「40 歳～44 歳」が 35.0%であった。

2) 雪国在住歴

被験者の雪国在住歴は、「40 年以上」が 50.0%と最も多く、「30 年～39 年」が 45.0%と次いで多かった。

3) 冬道をよく歩くか

被験者の冬道を歩く頻度は、「よく歩く」が 80.0%と最も多く、「時々歩く」と「歩かない」が 10.0%であった。

4) 普段の靴と調査用靴のすべりやすさについて

被験者が感じる「普段の靴」と「調査用靴」のすべりやすさについては、「滑りやすい」が 75.0%と多かった。

結果、雪国に長く在住し、普段よく歩く健常者に、比較的滑りやすい靴にて調査を行ったことがわかる。

2.2.2 被験者の主観評価結果

最も滑りやすい路面であるアイスパーンの試験路面のアンケート調査の結果（健常者）を図-5 に示す。

無対策の路面では「歩きにくい」との回答者が半数以上を占めるが、碎石、薬剤の散布量を増やすと「歩きやすさ」は改善する傾向にある。

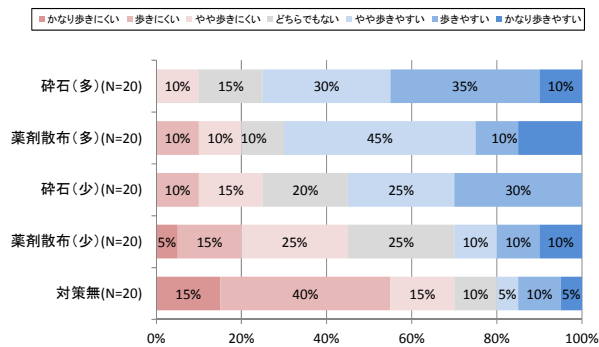


図-5 対策技術と主観評価の関係（アイスバーン）

2.2.3 路面縦断勾配と歩きやすさの関係

冬期歩道路面の縦断勾配の変化による「歩きやすさ」への影響が最も大きかった圧雪路面の分析結果を図-6に示す。縦断勾配5%では「歩きにくい」評価がやや増加する傾向にある。

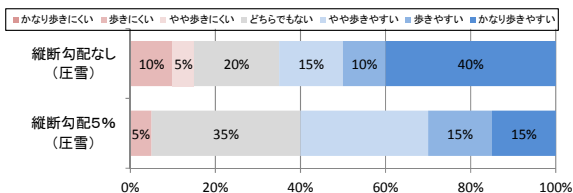


図-6 縦断勾配が主観評価に与える影響

2.2.4 健常者と高齢者模擬者の歩行速度

図-7 に例として最も滑りやすいアイスバーンにおける歩行時間の測定結果を示す。

塩化ナトリウム (10 or 30g/m²)、碎石 (30 or 100g/m²) を散布することにより歩行時間は短縮される傾向となる。高齢者模擬の歩行時間は健常者の1.5倍程度に増加する傾向である。過年度の調査においてロードヒーティング時(湿潤路面)の歩行時間は、7.5秒/10m程度との結果が得られているが、塩化物:30 g/m²及び碎石:100 g/m²程度散布することにより、健常者においては、ロードヒーティング時と同程度の歩行時間を確保できる結果となった。

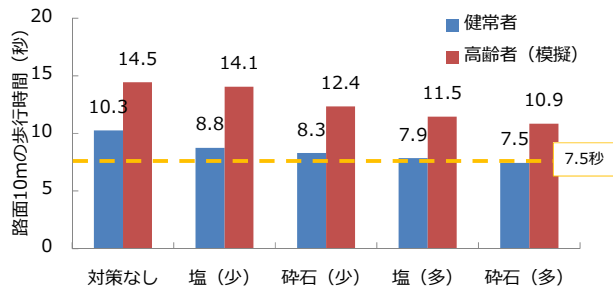


図-7 対策技術と歩行時間の関係（アイスバーン）

2.2.5 路面対策技術の主観評価分析

対策なしの路面と対策ありの路面の「歩きやすさ」の評価値に差があるかについてt検定を実施し、どの対策技術が効果的なのか分析を行った(表-2)。健常者に対しては、凍圧雪、アイスバーンに対して塩化物、碎石の散布が有意であり、特に、アイスバーンでは散布量が少なくても有意な差が得られた。また、高齢者についてはいずれの路面においても、塩化物、碎石を多く散布しなければ有意差が得られなかった。この結果から、高齢者に対してはいずれの路面においても塩化物や碎石の散布量を多くしなければ対策効果が得難いことが推察される。

表-2 t検定による対策効果の分析結果

被験者	路面状態	対策技術	平均値		平均値の差	両側P値	判定
			対象者	対照者			
高齢者(模擬)	圧雪	塩(少)	3.70	4.00	0.30	0.110	
		塩(多)	3.70	4.00	0.30	0.183	
		砕(少)	3.70	4.90	1.20	0.000 **	有意水準1%で有意差がある
		砕(多)	3.70	5.05	1.35	0.000 **	有意水準1%で有意差がある
	凍圧雪	塩(少)	3.85	3.85	0.00	1.000	
		塩(多)	3.85	3.85	0.00	0.453	
		砕(少)	3.85	4.85	1.00	0.001 **	有意水準1%で有意差がある
		砕(多)	3.85	5.05	1.20	0.000 **	有意水準1%で有意差がある
	アイスバーン	塩(少)	3.30	3.55	0.25	0.282	
		塩(多)	3.30	3.80	0.50	0.086	
		砕(少)	3.30	4.30	1.00	0.008 **	有意水準1%で有意差がある
		砕(多)	3.30	4.75	1.45	0.000 **	有意水準1%で有意差がある
健常者	圧雪	塩(少)	5.30	5.50	0.20	0.258	
		塩(多)	5.30	5.40	0.10	0.725	
		砕(少)	5.30	5.80	0.50	0.249	
		砕(多)	5.30	5.85	0.55	0.248	
	凍圧雪	塩(少)	4.70	4.95	0.25	0.204	
		塩(多)	4.70	4.95	0.25	0.309	
		砕(少)	4.70	5.45	0.75	0.024 *	有意水準5%で有意差がある
		砕(多)	4.70	5.55	0.85	0.028 *	有意水準5%で有意差がある
	アイスバーン	塩(少)	3.00	3.90	0.90	0.012 *	有意水準5%で有意差がある
		塩(多)	3.00	4.50	1.50	0.000 **	有意水準1%で有意差がある
		砕(少)	3.00	4.70	1.70	0.010 *	有意水準5%で有意差がある
		砕(多)	3.00	5.20	2.20	0.000 **	有意水準1%で有意差がある

*p<0.10 **p<0.05 p:両側t検定での平均値の差の有意水準

2.2.6 すべり測定法と歩きやすさの相関分析

湿潤路面及び乾燥路面における舗装のすべり測定法については各種提案されており、舗装性能評価法((社)日本道路協会)においてもBPTが記載されているが、冬期歩道路面におけるすべり測定は困難であり、確立されていると言えない。

本調査においても各種路面測定法にて測定したすべり抵抗値は、機種により測定傾向が異なる結果となった。そこで、被験者へのアンケート結果「歩きやすさ」と各種測定機の相関分析を行い、歩行感覚に近いすべり抵抗を測定している機器を分析した。表-3に分析結果を示す。

表-3 各路面のすべり抵抗値と歩きやすさの相関

測定機器	圧雪	凍圧雪	アイスバーン
OTTO	0.63	0.27	0.96
ASM	0.19	0.71	0.68
PPD	0.89	0.89	0.95
BPT	-0.58	-0.56	0.95
SDFT	0.85	0.26	0.61

PPD が各種路面において被験者の歩きやすさと相関が高く歩行者の感覚に近いすべり抵抗値を得ている結果となったが、気象条件や路面の平坦性、測定方法の改良等により異なる結果となることが想定されるため、今後も検討を進める必要がある。

3. 転倒に起因する救急搬送者数の実態整理

転倒事故の実態を把握するため、札幌市及び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。

3.1 調査結果

分析結果をまとめたものを図-8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、釧路市ともに損傷の程度は「軽症」が多いが、釧路市では「重症」の割合が札幌市よりも多い。

今後、気象条件や発生場所と事故の発生の因果関係について分析を進める予定である。

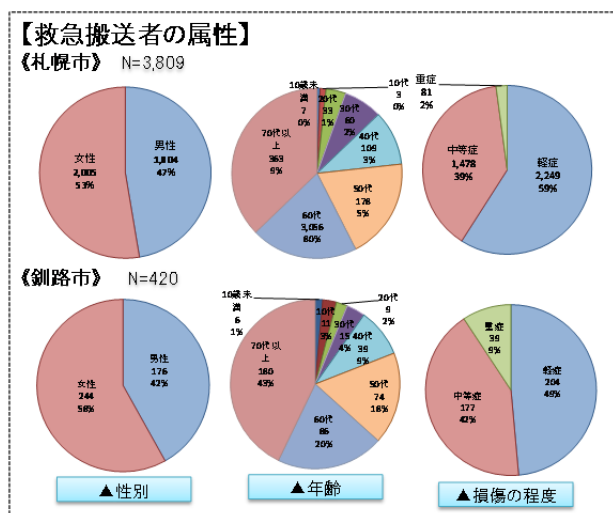


図-8 救急搬送者の属性分析

4. 冬期歩道路面処理技術の検討

すべり止め材のみによらない冬期歩道の雪氷路面処理方法として、構造が単純で特別な動力を必要とせず、施工速度が速く、雪氷路面の破碎効果が期待できる技術に着目して装置を試作し、冬期歩道部における当該技術の有用性について試験を行った。

4.1 装置の概要

装置は歩道部に形成された雪氷路面を処理するもので、歩道除雪で使用している小形除雪車の前部に装着した氷板・圧雪路面処理装置と、後部に装着した排雪装置から構成される（写真-6）。

過年度に行った試験で抽出した、路面の不陸による破碎雪氷の取り残しや、後方オーバーハングが大きいことによる工作物との接触の可能性などの課題に対する対策を行った。



写真-6 装置全景（小形除雪車装着）

4.1.1 氷板・圧雪路面処理装置

氷板・圧雪路面処理装置は、先端を斜めに切断した丸鋼（ピック）を複数個、主になる回転部（エレメント）に装着し、これを装置の自重（1,230kg）により路面に押し付けて、走行の推進力により回転させて、雪氷路面を破碎処理する装置である（写真-7）。

施工によって発生する破碎雪氷塊を装置単体で排雪する機能を検証するために、簡易な排雪機能としてのエッジの装着用ブラケットを取付けた（写真-8）。



写真-7 氷板・圧雪路面処理装置



写真-8 氷板・圧雪路面処理装置エッジ部

4.1.2 排雪装置

排雪装置は、氷板・圧雪路面処理装置により発生した破碎雪氷塊の排雪を行うものである。

全長を短くし、油圧による装置昇降機能と押付圧の調整が可能となるように改良した（写真-9）。



写真-9 排雪装置

4.2 調査試験

各装置の改良後の性能把握、有用性の確認のため、雪氷路面施工試験及び現道歩道施工試験を行った。

4.2.1 雪氷路面施工試験

各装置の能力及び特性を把握するために寒地土木研究所構内に雪氷路面を作製（写真-10）し、試験を行った。

試験では気温、路面温度、すべり摩擦、雪密度、雪硬度を計測した。各装置で施工（写真-11）を行い、装置の施工性、路面追従性、路面処理能力及び施工後の路面状況を確認した。



写真-10 雪氷路面作製状況



写真-11 雪氷路面施工試験

なお、施工の前後での相対的なすべり摩擦を比較するため、床用ポータブル静摩擦係数測定器（ASM）で測定を行った（写真-12）。



写真-12 床用ポータブル静摩擦係数測定器（ASM）

氷板・圧雪路面処理装置（エッジ無）＋排雪装置の併用施工と、氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工の2パターンで試験を行い、現道歩道で施工を行う場

合の排雪装置併用施工での排雪装置の施工高さや接地圧、氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工時のエッジ高さの目安値を設定した。

また、排雪装置の併用施工及び氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工ともに、作製した雪氷路面の破碎処理及び破碎雪氷塊の排雪を行うことが可能であり、装置施工による路面のすべり摩擦の向上を確認した。

4.2.2 現道歩道施工試験

現道歩道施工試験は北海道開発局札幌開発建設部札幌道路事務所所管の一般国道 274 号（札幌市厚別区上野幌）の歩道で、各装置の現場適応性について調査試験を行った（写真-13）。



写真-13 現道歩道施工試験

現道歩道施工試験についても雪氷路面施工試験と同様に気温、路面温度、すべり摩擦、雪密度、雪硬度を測定した。また、装置の設定条件については雪氷路面施工試験で得られたデータを基に試験を行った。

試験結果は、氷板・圧雪路面処理装置（エッジ無）＋排雪装置の併用施工、及び氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工の2パターンともに、歩道に形成された雪氷路面の表面を破碎し、発生した破碎雪氷塊を歩行路面の端部におおむね排雪できることを確認した。

排雪装置は、不陸が大きい箇所では破碎雪氷塊の取りこぼしがあったが、氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工では、路面破碎部と排雪用エッジの距離が短いため、排雪用エッジが不陸に追従しやすく、破碎雪氷塊の取りこぼしが少ないことを確認した（写真-14）。

また、オペレータからの聞き取りでは、氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工の方が負荷が軽く感じられ、ハンドル操作への影響が少ないとの意見があっ

た。これは施工機械がフロントタンDEM構造であることから、排雪作業の負荷の発生点がタンDEMに近くなり、影響を受けにくかったものと推定される。しかし、エッジ前方に抱え込んだ破碎雪氷塊がスムーズに排雪されない状況も生じた。



写真-14 施工後の状況

5. まとめ

歩行実験による主観評価とすべり抵抗試験等により、以下の知見が得られた。

- (1) アイスバーン路面においては無対策の路面では「歩きにくい」との回答者が半数以上を占めるが、碎石、薬剤の散布量を増やすと「歩きやすさ」は改善する傾向にあることが判明した。
- (2) 圧雪路面において無対策の場合、縦断勾配が5 %（交通円滑化ガイドラインの最急勾配）では歩きにくい評価がやや増加する傾向にあることが判明した。
- (3) 塩化物:30 g/m² 及び碎石:100 g/m² 程度散布することにより、健常者においては、ロードヒーティング時と同程度の歩行時間を確保できる結果となった。
- (4) 歩きやすさ評価に対する評価値の差に関する t 検定結果より、高齢者に対しては圧雪、凍圧雪、アイスバーンにおいては塩化物や碎石の散布量を多くしなければ対策効果が得難いことが推察される。
- (5) PPD 試験によるすべり摩擦力の測定結果は、各種路面において被験者の歩きやすさと相関が高く歩行者の感覚に近いすべり抵抗値を得ている結果となった。しかし、気象条件や路面の平坦性、測定方法の改良等により異なる結果となることが想定されるため、今後も検討を進める必要がある。
- (6) 札幌市、釧路市の過去5年間の救急搬送者数のデータより「女性」の救急搬送者が半数を超えており、60

代以上の高齢者の救急搬送者が半数以上と多いことが判明した。また、損傷の程度は「軽症」が多いが、釧路市では「重症」の割合が札幌市よりも多いことが分かった。今後、気象条件や発生場所と事故の発生の因果関係について分析を進める予定である。

また、氷板・圧雪路面処理装置及び後方排雪装置について、以下のことを確認した。

- (7) 氷板・圧雪路面処理装置（エッジ無）＋排雪装置の併用施工と、氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工は、ともに雪氷路面の処理が可能であった。また、路面のすべり摩擦の向上を確認できた。
- (8) 氷板・圧雪路面処理装置（エッジ付）の単独施工の方が、排雪装置の併用施工よりも不陸に追従しやすい。しかし、エッジ前方に抱え込む雪がスムーズに排雪されない。
- (9) エッジの路面追従性を向上させるための改良が必要である。

6. おわりに

今後は、路面性能評価について、被験者試験などの主観的評価試験をさらに詳細に分析し、主観評価値と定量的評価値の相関について検討を進め、より良い路面对策について分析を行う予定である。さらに、現場調査なども含め、路面对策に必要な路面性状を明らかにする。また、歩行者の転倒事故等の発生要因について気象条件や現場条件等を含めた詳細な分析を進める予定である。加えて、氷板・圧雪路面処理装置の舗装路面への影響調査、及び各装置の改良を行う予定である。

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 : FY2011-2014

Research Team : Road Maintenance Research Team
Machinery Technology Research Team

Author : KUMAGAI Masayuki, MARUYAMA Kimio, HOSHI Takumi, ITANI Masashi, OYAMA Kentarou
OOTSUKI Toshiyuki, MAKINO Masatoshi, MIURA Go, NAKAMURA Ryuichi

Abstract : In snowfall and in cold areas, accidents of pedestrians due to accumulated snow and freezing of road surfaces occur. Specially, road surface management methods and countermeasures are required to improve sidewalks for aged persons and disabled persons from a viewpoint of being traffic barrier-free. This study clarifies desirable road surface characteristics for pedestrians in winter and aims at a proposal of sidewalk surface treatment technology in winter that does not only depend on an anti-slipping agent.

In FY 2012, following researches were carried out.

- Skid resistance of the frozen snow road surface was measured.
- Subjective assessment was conducted to evaluate the effects of several types of anti-skid measures for winter sidewalk.
- The data of slip and fall accidents in winter sidewalk were analyzed in the view point of human attribute.
- Problem about a frozen snow road surface processing machine was improved.
- Capability and adaptability about a frozen snow road surface processing machine were examined.

Key words : Sidewalk surfaces in winter, Skid resistance, Subjective test, Falling accident, Frozen snow surface treatment, Sidewalk snow removal