

# 凍結路面における歩行特性と対策の効果に関する実験的研究

## Empirical Study on Walking Behavior in Ice Conditions and the Effect of Countermeasures for the Improvement of the Winter Pedestrian Environment

新谷陽子\* 原文宏\*\* 村井 暁\*\*\* 秋山哲男\*\*\*\*

Yoko Shintani\* Fumihito Hara\*\* Satoru Murai\*\*\* Tetsuo Akiyama\*\*\*\*

### 1. はじめに

札幌市では、冬期の歩行空間を改善するために、地下道・地下街の建設や歩道のロードヒーティング整備が進められてきた。しかし、スタッドレスタイヤが普及し始めた頃から非常に滑りやすい路面が多く見られ、冬期歩行者の路上転倒事故が急増している<sup>(1)</sup>。札幌市消防局によると、平成13年12月の1ヶ月間に札幌市内の路上で転倒し救急搬送された人は351人(一日平均11人)に達し、同月では過去最多を記録した<sup>(2)</sup>。また転倒によって重傷を負うこともあり、特に高齢転倒者の重傷件数は多い<sup>(3)</sup>。こうしたことから、雪国で暮らす人々にとって冬の外出は依然として困難であり、転倒事故の危険性を常に孕んでいると言える。

積雪寒冷都市における従来の雪対策は、「克雪」という言葉にも表されているように、雪は克服すべき障害と捉え、都市施設の防雪・防寒機能の強化に努めてきた。これは全ての人々が積雪時に安全に歩行する上で重要な対策である。しかしながら、札幌都市部では、都市施設の防雪・防寒対策が拡充するほど、人々の帽子・手袋・長靴の着用率が低下し、個人の防寒対策が疎かになっているとする報告もある

(4)。したがって、これからの冬期歩行者対策は、いわゆる「克雪」対策に依存したサービスを提供するのではなく、必要とされるサービスレベルとそれをどのように維持すべきなのかを見極める必要がある。そのためには、図1に示すように、いわゆるハード面だけでなく、歩行者自身がそれぞれの能力に応じて転倒事故の防止を図る等のソフト面の対策も視野に入れたサービスの提供を検討する必要がある。

このような背景をふまえ、本研究では、冬期の横断歩道の歩行を想定した実験を行い、凍結路面での歩行特性の把握と、比較的低コストで歩行者対策の主体(行政・民間・個人等)に関わらず直ちに講じられる防滑靴と砂利散布の効果を実験的に分析した。

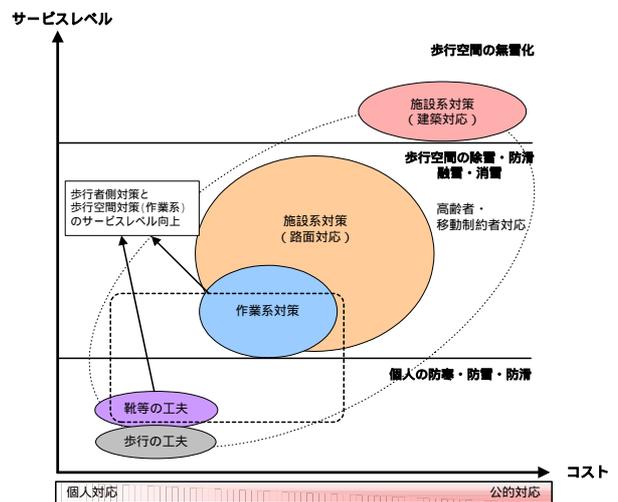


図1 歩行者対策のサービスレベルとコスト

キーワード：歩行者、転倒事故、雪氷路面対策

\* 正会員 (社)北海道開発技術センター研究員  
\*\* 正会員 工博 (社)北海道開発技術センター企画部長  
〒060-0051 札幌市中央区南1条東2丁目11番地  
tel.011-271-3028 fax.011-208-1566  
\*\*\* 北海道開発局札幌開発建設部道路維持課交通対策専門官  
〒060-8506 札幌市中央区北2条西19丁目  
tel.011-611-0111(ex.2387) fax.011-611-0797  
\*\*\*\* 正会員 工博 東京都立大学大学院都市科学研究科教授  
〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1  
tel.0426-77-1111(ex.1943) fax.0426-77-2352

### 2. 実験概要

実験は路面の縦断及び横断勾配を可変できる屋外用実験歩行路を使って実施した。(図2)調査因子は路面条件、勾配、靴、歩行制約条件とし、それぞれの因子水準を決定した。(表1,2)砂利の散布量に

については、高森,他<sup>(5)</sup>の実験で、50 g/m<sup>2</sup>の砂利散布によって圧雪路面の摩擦係数が0.2から0.4に改善された結果に基づき、50g/m<sup>2</sup>を基準に少ない量と多い量を設定し、それぞれの散布量が被験者の歩行動態に与える影響を把握することにした。

被験者は20歳代の健常者13名(男6,女7)である。まず、雪のない平坦な路面での普通歩行速度を測定し、次に、異なった条件でコースを1往復した時の歩行時間や歩行動態を記録した。また、被験者は歩行前と歩行後に感じた実験路面の危険度を3段階(普通、要注意、危険)で評価した。さらに、実験路面の滑り摩擦の変動を捉えるため、コースを1m間隔に区切って測点を設け、歩道専用の滑り摩擦測定器を使って摩擦係数を計測した。(表3)



図2 歩行実験コース構造図

表1 歩行実験の調査因子・水準

調査因子		因子水準		
実験日		2001.12.15	2001.12.16	2001.12.17
歩行者対策名称		防滑靴	砂1	砂2
説明変数	路面条件	路面性状	凍結	凍結+砂利
		表面	平坦	低密度ばらばら
	散布量 素材	-	散布量 39.45g/m <sup>2</sup>	散布量 166.60g/m <sup>2</sup>
勾配条件	縦断勾配	0%/2%/5%/8%	0%/2%/5%/8%	0%/2%/5%/8%
	横断勾配	0%/2%/5%/8%	0%/2%/5%/8%	0%/2%/5%/8%
歩行制約条件	普通:普通に歩く	普通:普通に歩く	普通:普通に歩く	普通:普通に歩く
	加重:体重の20%の重りを背負う	加重:体重の20%の重りを背負う	加重:体重の20%の重りを背負う	加重:体重の20%の重りを背負う
	片足首固定:右足首をギプスで固定	片足首固定:右足首をギプスで固定	片足首固定:右足首をギプスで固定	片足首固定:右足首をギプスで固定
靴	防滑靴	普通の冬靴	普通の冬靴	

表2 路面勾配条件:勾配水準の組み合わせ

路面勾配条件	基本	0	1	2	3	4	5	6	7
		水準: 2%、5%、8%							
縦断勾配	車道	0	2	2	2	5	5	5	8
横断勾配	歩車道	0	2	5	8	2	5	8	2
車道合成勾配		0	2.83	5.39	8.25	5.39	7.07	9.43	8.25

表3 データ収集・計測項目一覧

データ収集・計測項目	計測方法	
歩行速度	m/分	ストップウォッチ計測、ビデオ撮影
両脚支持率	1歩行周期毎の両足着地時間率	ビデオ撮影
路面評価	普通・要注意・危険	歩行前後に被験者に尋ねる
滑り摩擦係数	1m間隔	1実験日につき3回測定

### 3. 分析

#### (1) 路面の滑り摩擦比較

砂利の散布によって路面の滑りがどの程度改善されるのかを調べるため、それぞれの測点で最も頻繁に計測された動摩擦係数(最頻値)や、平均値、中央値、最大・最小値を比較した。(図3,表4)これを見ると、全ての路面での最頻値は歩行者にとって危険とされる0.2<sup>(6)</sup>を下回っており、最も滑りやすかったのは、砂利が多く散布された「砂2」であった。これは、前述の高森,他<sup>(5)</sup>の実験結果と大きくかけ離れており、「砂1」の約4倍の砂利を散布したにも関わらず、滑り摩擦の改善は見られなかったことを示している。

また、砂利のない「防滑靴」の路面は、砂利のある「砂1」や「砂2」よりも若干ではあるが摩擦係数が高かった。この原因としては、実験初日に行った「防滑靴」の路面が凍結して間もない状態であったため、その後の温度変化と共に再凍結を繰り返した「砂1」や「砂2」の凍結路面の方がより滑りやすい路面を形成していたことが考えられる。

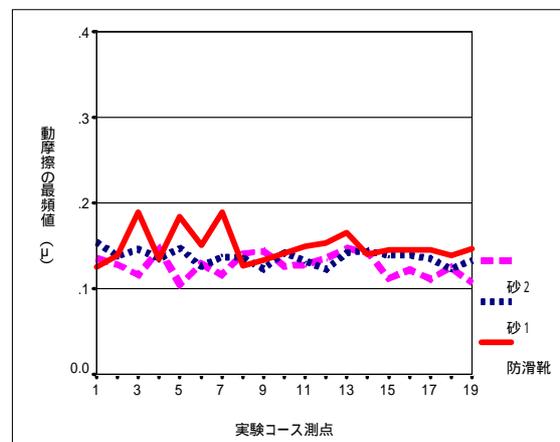


図3 路面条件別の動摩擦の最頻値比較

表4 路面条件別の動摩擦比較

動摩擦(μ)	平均値	中央値	最小値	最大値
防滑靴	0.166	0.164	0.125	0.244
砂1	0.154	0.154	0.123	0.273
砂2	<b>0.143</b>	<b>0.142</b>	<b>0.105</b>	<b>0.184</b>

#### (2) 被験者による路面の危険性評価

路面の滑り摩擦係数の比較では、当初の予測に反し、砂利を多く散布し路面の滑り抵抗を大きくしたはずの「砂2」の路面が、他の路面よりも滑りやすい結果となった。そこで、被験者が実際に「砂2」

の路面の滑りやすさを危険であると察知していたのかどうかを調べるため、歩行前後に実施した被験者による路面の危険性評価を路面条件別に比較した。(図 4,5)

この結果、被験者は砂利のない「防滑靴」の凍結路面に対し「危険」又は「要注意」と判断した件数が多かったことが明らかになった。これは、路面が最も滑りやすかった「砂 2」よりも、防滑靴で凍結路面を歩行する方が危険と感じていたことを示唆しており、砂利散布が歩行者に心理的な安心感を与えていたことが考えられる。

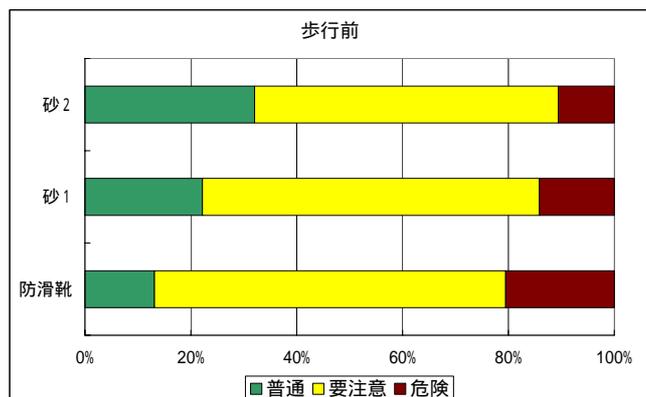


図 4 歩行前の危険性評価

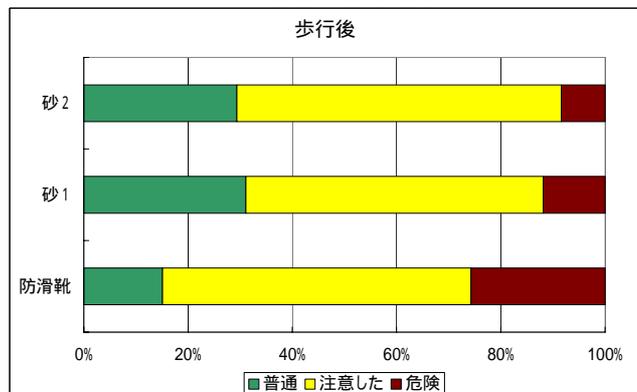


図 5 歩行後の危険性評価

### (3) 歩行速度・両脚支持率

被験者による路面の危険性評価では、被験者が防滑靴を履いて凍結路面を歩くより、砂利の撒かれた路面のほうが「普通に歩ける」と感じていたことから、実際に砂利路面での歩行速度や両脚支持率が改善されていたのかどうかを調べるため、歩行速度と両脚支持率の分析を行った。

図 6,7,8 は路面条件別・歩行制約条件別の歩行速度(中央値)と勾配の関係を示している。全般的に急勾配になるにつれて歩行速度の低下が見られ、特に加重や片足首固定の歩行制約下での歩行速度は普

通歩行よりも減速傾向が強いことから、防滑靴や砂利の有無に関わらず、急勾配と歩行者に課せられた負荷によって次第に歩きづらくなっていくことが確認された。また、被験者が雪のない路面を普通歩行した時の速度の中央値は 81.9m/分であったが、それを全て下回ったのは、「砂 2」となっていることから、たとえ被験者が砂利のある凍結路面を「普通に歩ける」と感じながらも、通常で歩行するのは困難であった事が推測される。

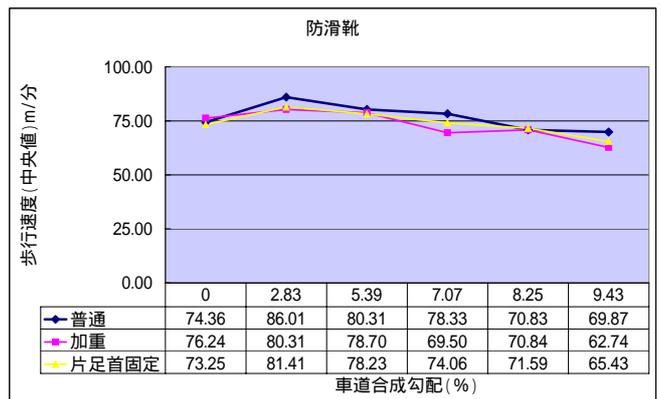


図 6 歩行条件別・勾配別 歩行速度比較 (防滑靴)

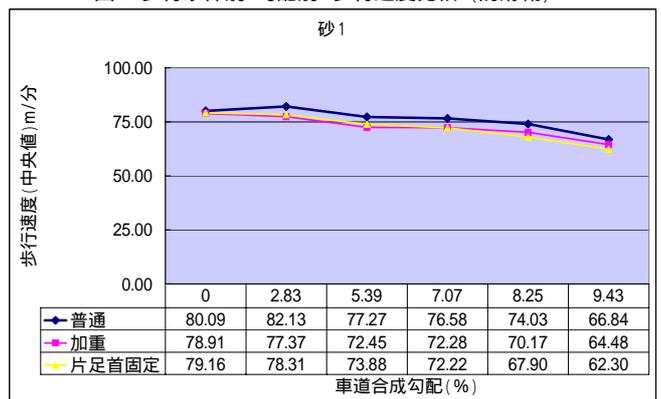


図 7 歩行条件別・勾配別 歩行速度比較 (砂 1)

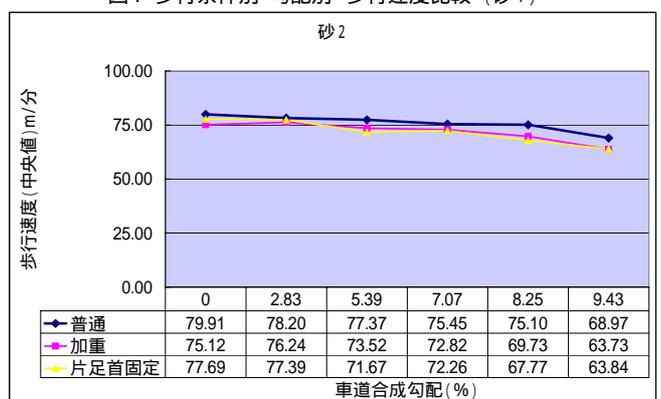


図 8 歩行条件別・勾配別 歩行速度比較 (砂 2)

図 9,10,11 は路面条件別・歩行制約条件別の両脚支持率と勾配の関係を示している。歩行速度と同様に急勾配になるに従って両脚支持率が増加する傾向があり、特に、被験者が荷物を背負っているときの

両脚支持率が他の歩行制約条件よりも上回っており、歩行に対する加重の影響が顕著であると言える。

標準歩行における両脚支持率の限界値は 20%とされているが<sup>(7)</sup>、いずれの条件においても 20%を超えている場合が多く、防滑靴や砂利散布の効果十分に発揮されているとは言い難い。しかし、「防滑靴」と「砂 1」を比較すると、「砂 1」の路面が滑りやすかったにもかかわらず、「防滑靴」よりも両脚支持率が低くなっており、特に合成勾配が 7%以下においては、「砂 1」の両脚支持率が 20%以下に留まっている場合が多い。このことから、勾配の緩やかな凍結路面では砂利散布が防滑靴よりも効果的であることが推察される。

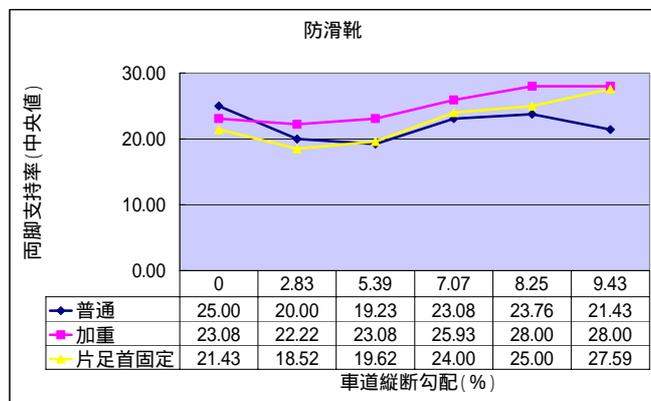


図 9 歩行条件別・勾配別 両脚支持率比較 (防滑靴)

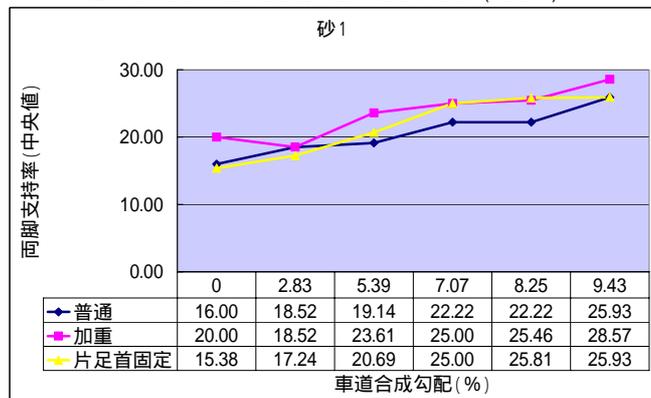


図 10 歩行条件別・勾配別 両脚支持率比較 (砂 1)

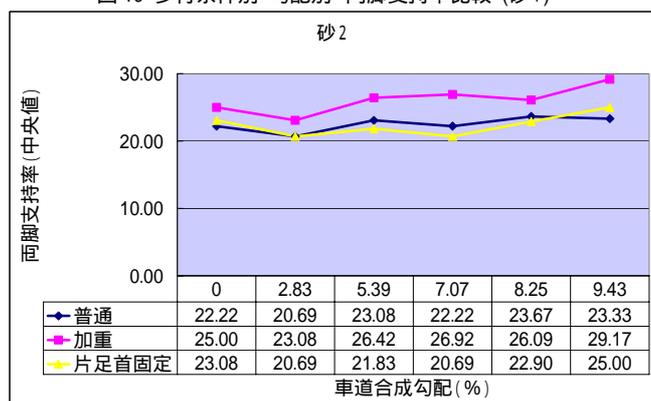


図 11 歩行条件別・勾配別 両脚支持率比較 (砂 2)

#### 4. 考察

今回の実験では、既往調査結果や当初の予測に反し、砂利の有無に関わらず、実験路面の滑り摩擦は歩行者にとって危険とされるレベルであり、砂利による滑りの改善は見られなかった。また、「砂 2」(散布量: 166.60g/m<sup>2</sup>)は、「砂 1」の約 4 倍の砂を散布したにもかかわらず、滑り摩擦は改善されなかった。しかし、被験者は実際の路面の滑りに関係なく、防滑靴を履いて凍結路面を歩くより、砂利の撒かれた路面のほうが「普通に歩ける」と判断する傾向が強く、特に勾配が緩やかな路面においては、砂利路面での歩行が比較的安定したことから、砂利の効果全くなかったとは断言できない。こうした矛盾の背景には、滑りやすい雪氷路面の形成の原因及びその性状は多様であり、それによって滑り抵抗に対する影響も異なる<sup>(6)</sup>ため、今回の実験では滑り現象を正確に把握できなかったことが考えられる。今後は、歩行者の靴の接地面や歩行時の荷重とタイミング、さらには路面の温度変化による再凍結や微気象の変化等を含めた滑り摩擦を厳密に調査したうえで、防滑靴や砂利散布の効果を変更して検証する必要がある。

また、防滑靴よりも砂利散布が被験者に心理的な安心感をもたらしていたことが確認されたが、急な勾配や重い荷物を持つ等の移動制約条件が重なると、このような心理効果は期待できない。場合によっては、砂利散布によって不用意に歩行者を安心させ、その結果転倒事故を招く恐れも十分に考えられる。したがって、今後は、砂利散布が効果を発揮する場所(あるいは状況)を見極めるための調査・検証が必要である。

#### < 参考文献 >

- (1) 新谷,原,平森,浅野:凍結路面における歩行に関する実験的研究,土木計画学研究・講演集 vol.24 No.47, 2001.
- (2) 北海道新聞朝刊 2002年(平成14年)1月5日付.
- (3) 原,川端,小林:札幌市の冬期歩行環境の安全性について - 路上転倒事故の実態調査 -,第6回寒地技術シンポジウム講演論文集, P151-157, 1990.
- (4) 新森,紺野,佐賀,原:冬の装いと都市の耐雪・耐寒化に関する一考察, 2002年北方都市会議 冬の都市フォーラム論文集, p227-232, 2002.
- (5) 高森,高木,大沼:冬期歩行中の転倒実態と歩道雪氷路面の改善に関する研究, 第10回寒地技術シンポジウム講演論文集, p45-50, 1994.
- (6) 市原,小野田:路面のすべりとその対策 - 道路・滑走路・床面・雪氷面 -,技術書院,1997.
- (7) 中村,齋藤:基礎運動学 第5版. 医歯薬出版株式会社, 2001.