

吹雪視程障害発生に及ぼす沿道環境や道路構造の影響 Influence of Roadside Environment and Road Structures on Blowing-Snow-Induced Visibility Hindrance on Winter Roads

武知洋太, 松澤勝, 伊東靖彦, 國分徹哉 ((国研) 土木研究所 寒地土木研究所)
Hirotaka takechi, Masaru matsuzawa, Yasuhiko Ito, Tetsuya kokubu

1. はじめに

現在, 冬期道路の吹雪危険箇所に関する評価には, 道路防災点検の手引き¹⁾に示されている「吹雪安定度」や道路吹雪対策マニュアル²⁾に示される「吹雪危険度」が用いられている. しかし, その評価項目や評点等は経験的に決められており, 定量的な分析に基づき定められたものではない¹⁾²⁾. このため評価項目や評点等の根拠が曖昧であるなど定量的な評価を行うには不十分な点がある.

本研究では, 吹雪視程障害発生への沿道環境や道路構造による影響を定量的に明らかとするため, 吹雪時に移動気象観測を実施し, 多変量解析を行った. 本論文では, その結果を報告する.



図1 移動気象観測車



図2 観測箇所

2. 調査方法

著者らは, 移動気象観測車(図1)を用い2012年度から2014年度の3冬期間の地吹雪発生が予想された日に観測を行った. 移動気象観測車には車載用小型視程計(TZF-31A)を搭載しており, 走行中に視程の計測を行った. データ取得間隔は0.1秒とした.

移動気象観測を実施した区間は, 地吹雪による視程障害が発生しやすいと考えられる北海道内の図2に示す3路線4区間とした. 観測区間には, 盛土構造と切土構造が混在する郊外部の道路と市街部の道路が混在し, 風上側には吹雪が発達しやすい平坦地を有する区間や逆に吹雪が発達しづらい樹林帯を有する区間が存在するなど沿道環境の条件に変化がある区間を設定した. なお, 移動気象観測の実施日時と観測区間, 観測回数の詳細は表1に示す通りである.

また, 観測時には助手席に調査員が同乗し, 運転危険度を表2に示す5ランクで調査員の主観により連続的に評価した.

表1 観測結果の概要

路線	日時	KP ※最大の区間	調査員No.	観測回数	計	
一般国道231号 石狩市 (KP14.2-52.0)	2012/12/26	10:49 - 16:23	14.7 - 41.4	V	9	43
	2013/3/10	15:15 - 18:11	14.2 - 51.7	VI	4	
	2014/1/13	12:48 - 16:04	14.3 - 51.7	VI	3	
	2014/1/28	18:26 - 22:15	15.0 - 52.0	V	5	
	2014/1/31	14:44 - 17:44	15.0 - 52.0	V	4	
	2014/3/6	14:51 - 17:48	17.0 - 26.0	VI	3	
	2015/2/2	15:13 - 20:05	15.0 - 42.0	V	8	
一般国道232号 遠別町・初山別村・羽幌町 (KP35.3-81.0)	2012/12/27	8:52 - 16:05	35.9 - 76.5	V	6	48
	2013/2/2	19:49 - 20:26	52.8 - 73.0	V	1	
	2013/2/3	8:32 - 9:32	51.8 - 68.5	V	2	
	2013/2/5	14:58 - 15:34	44.3 - 70.4	VI	1	
	2013/2/20	6:32 - 12:51	41.6 - 71.2	VI	7	
	2014/1/11	11:25 - 15:22	36.0 - 71.4	VI	4	
	2014/1/28	16:00 - 21:01	35.9 - 71.4	VI	4	
	2014/1/29	8:50 - 14:11	35.3 - 57.5	VI	5	
	2014/1/31	17:33 - 18:52	36.0 - 71.4	VI	2	
	2014/2/3	9:54 - 12:43	36.0 - 64.4	VI	4	
	2014/3/7	15:44 - 16:43	47.0 - 64.0	VI	2	
一般国道238号 佐呂間町・湧別町・紋別市 (KP52.1-102.3)	2013/1/26	11:40 - 16:11	228.2 - 235.6	V	8	10
	2013/2/3	12:40 - 15:52	217.9 - 274.3	V	3	
	2013/12/27	18:17 - 22:20	217.1 - 258.5	I	2	
	2014/1/26	16:10 - 16:41	236.9 - 258.5	VI	1	
	2014/2/5	5:31 - 5:49	240.0 - 251.9	VI	1	
一般国道238号 浜頓別町・猿払村 (KP216.0-274.3)	2014/2/10	14:44 - 18:38	219.6 - 257.4	II	4	36
	2014/2/18	7:50 - 14:18	216.0 - 262.0	V	6	
	2015/2/27	8:27 - 20:05	225.0 - 257.0	V	9	
	2015/4/15	21:53 - 0:26	222.0 - 258.0	VI	2	

表2 運転危険度

ランク	運転危険度
1	運転することができず, 停止
2	運転が困難で本当は停止したいが, やむを得ず走行
3	かろうじて走行可能だが, コンビニやGSなどの駐車スペースがあれば停車
4	視界が悪いため, ゆっくりと走行を継続
5	視界が比較的良好いため, 通常の走行を継続

3. 分析方法

本研究では、吹雪時の視程障害発生と沿道環境及び道路構造との関係について、移動気象観測結果を基に多変量解析(数量化I類)により分析を行った。

目的変数には、観測時の気象条件の違いによる影響をできるだけ排除するため「視程障害発生割合」(視程障害の発生回数/全観測回数×100(%))及び「運転危険度割合」(運転危険度がランク2以下の回数/全観測回数×100(%))の2つの割合を定義し用いることとした。既往研究⁴⁾において、視程の平均値が200mを下回ると吹雪時の運転の危険性が高くなることが確認されている。このため、視程障害発生は平均視程200m未満であることとした。

説明変数には、現状の吹雪危険度¹⁾の評価で評価要因に設定されている沿道環境条件等を参考とし、「道路構造」、「風上の平坦地の長さ」、「樹林帯の有無と幅」、「家屋・市街地の有無と幅」、「防護柵の有無」の5つの要因(アイテム)を採用し、表3に示すカテゴリで区分した。

分析では観測区間を50m毎に区分した。区間毎に視程の平均値(平均視程)と運転危険度を整理し、視程障害発生割合と運手危険度割合を評価した。また、表3に示した道路構造及び沿道環境条件のデータは地図や道路台帳図、航空写真などにより取得した。なお本研究では、5回以上の観測を実施した吹雪対策の未設置区間のみを分析の対象とした。各説明変数のカテゴリ毎のデータ数(区間数)は表3に示す通りである。

4. 分析結果と考察

表4は、視程障害発生割合に対する表3に示した各要因の影響度(カテゴリスコア)を分析した結果である。カテゴリスコアの横には各要因のカテゴリスコアの範囲を示したレンジ、各要因の偏相関係数、各要因のp値を示した。また、表5は運転危険度割合を目的変数とした場合の結果を同様に示したものである。なお、カテゴリスコアは説明変数とした各要因のカテゴリの違いによる視程障害発生割合や運転危険度割合の増減を示すも

表3 説明変数とカテゴリ

説明変数	カテゴリ数と区分内容	データ数	
道路構造 (切土・盛土の高さ)	0 切土高さ 5.0m以上	145	
	1 切土高さ 0~5.0m	98	
	2 盛土高さ 0~1.0m	501	
	3 盛土高さ 1.0~3.0m	1192	
	4 盛土高さ 3.0~5.0m	234	
	5 盛土高さ 5.0m以上	130	
風上側	風上平坦地の長さ	0 なし	1034
		1 10~100m	871
		2 100~300m	244
		3 300m以上	151
	樹林帯の幅	0 なし	1816
		1 断続的	195
		2 10~30m	67
		3 30~50m	48
		4 50~100m	34
		5 100~200m	75
		6 200~300m	40
	家屋市街地の幅	0 なし	1888
		1 断続的	211
		2 10~30m	53
		3 30~50m	48
		4 50~100m	39
		5 100~200m	32
		6 200~300m	19
	防護柵の有無	0 なし	1737
		1 あり	563

表4 視程障害発生割合と各要因のカテゴリスコア

目的変数	説明変数 (カテゴリ数と内容)	カテゴリスコア	レンジ	偏相関係数	p値	
視程障害発生割合(%)	道路構造 (切土・盛土の高さ)	0: 切土 5.0m以上	-0.101	1.950	0.104	6.5×10 ⁻⁷
		1: 切土 0~5.0m	0.393			
		2: 盛土 0~1.0m	-0.462			
		3: 盛土 1.0~3.0m	-0.197			
		4: 盛土 3.0~5.0m	1.488			
		5: 盛土 5.0m以上	0.723			
	風上平坦地の長さ	0: なし	-0.547	1.681	0.114	4.5×10 ⁻⁸
		1: 10~100m	0.087			
		2: 100~300m	1.305			
		3: 300m以上	1.134			
	樹林帯の幅	0: なし	0.120	1.591	0.056	7.6×10 ⁻³
		1: 断続的	-0.245			
		2: 10~30m	-0.166			
		3: 30~50m	-0.052			
		4: 50~100m	-0.386			
		5: 100~200m	-0.790			
		6: 200~300m	-1.189			
	家屋市街地の幅	0: なし	-0.294	6.090	0.156	4.8×10 ⁻¹⁴
		1: 断続的	0.933			
		2: 10~30m	1.776			
		3: 30~50m	4.412			
		4: 50~100m	1.760			
		5: 100~200m	0.206			
		6: 200~300m	-0.363			
	防護柵の有無	0: なし	-0.375	1.532	0.118	1.3×10 ⁻⁸
		1: あり	1.157			
		定数項	2.761			

のである。そこで、要因毎にカテゴリスコアを比較し考察を行った。

道路構造の違いに着目すると、表4より視程障害発生割合のカテゴリスコアは高さ3 m以上の盛土道路で大きい傾向がみられ、特に高さ3~5 mの盛土道路で「1.488」とカテゴリスコアが最も大きかった。また、高さ5 m未満の切土道路においてもカテゴリスコアが「0.393」と比較的により大きい傾向が見られた。一方、高さ5 m以上の切土道路ではカテゴリスコアが「-0.101」と逆に比較的により小さい傾向が見られた。これは、十分に高さがある切土道路では風上から吹き込む飛雪粒子が風上側の法面上に捕捉されやすく盛土道路に比べ道路上の飛雪流量(単位時間当たりに単位断面を通過する飛雪粒子の質量)が減少するためと考えられる。

表5 運転危険度割合と各要因のカテゴリスコア

目的変数	説明変数 (カテゴリ数と内容)	カテゴリスコア	レンジ	偏相関係数	p値				
運転危険度割合(%)	道路構造 (切土・盛土の高さ)	0: 切土5.0m以上 1: 切土0~5.0m 2: 盛土0~1.0m 3: 盛土1.0~3.0m 4: 盛土3.0~5.0m 5: 盛土5.0m以上	2.346 1.621 -0.628 -0.227 1.088 -1.298	3.643	0.099	2.1×10 ⁻⁶			
	風上平坦地の長さ	0: なし 1: 10~100m 2: 100~300m 3: 300m以上	-1.479 0.017 3.764 3.952				5.481	0.198	1.1×10 ⁻²¹
	樹林帯の幅	0: なし 1: 断続的 2: 10~30m 3: 30~50m 4: 50~100m 5: 100~200m 6: 200~300m 7: 300m以上	-0.103 0.897 -0.229 -0.571 -0.308 0.379 2.587 -2.668				5.255	0.060	4.2×10 ⁻³
	家屋市街地の幅	0: なし 1: 断続的 2: 10~30m 3: 30~50m 4: 50~100m 5: 100~200m 6: 200~300m 7: 300m以上	-0.995 3.473 5.722 9.469 8.378 1.503 3.002 -4.391				13.859	0.252	1.6×10 ⁻³⁴
	防護柵の有無	0: なし 1: あり	-0.356 1.099				1.455	0.069	8.8×10 ⁻⁴
	定数項	6.772							

一方、表5より運転危険度割合については、切土道路でカテゴリスコアが「1.621」、「2.346」と大きく、次いで高さ3~5 mの盛土道路でカテゴリスコアが「1.088」と大きかった。このように、切土道路で運転危険度が高くなる傾向が見られた。吹雪時の視程が同程度であってもドライバーが実際に感じている視認距離は道路周辺に存在する目標物の有無によって異なり、目標物となる施設が少ない場合にはドライバーの感じる視認距離が視程より短いことが明らかとされている⁵⁾。切土道路では、背景が法面上の積雪のみとなり比較的により目標物が少ないことから、視程が同程度であってもホワイトアウトになりやすく、運転危険度割合が高かったと考えられる。

次に風上平坦地の長さに着目すると、視程障害発生割合、運転危険度割合とも風上側平坦地の長さが長いほどカテゴリスコアが増加する傾向が見られた(表4, 表5)。特に風上側平坦地の長さが100~300 mになると視程障害発生割合ではカテゴリスコアが「0.087」から「1.305」まで増加し(表4)、運転危険度割合ではカテゴリスコアが「0.017」から「3.764」へ増加しており(表5)スコアの増加幅が大きい傾向が見られた。このことから、概ね長さ100~300 m以上の風上平坦地の存在が視程障害発生や運転危険度の増加に大きく寄与する要因であると考えられる。なおTakeuchi⁶⁾により、視程障害の原因となる吹雪は植生のない平坦地が風上に長く存在するほど発達し、長さ350 m程度で十分に発達することが明らかにされている。本結果は、このような既往研究とも概ね傾向が一致した。

また風上の樹林帯の幅に着目すると、幅が50~100 m以上広い場合には幅が広い区分ほど視程障害発生割合のカテゴリスコアが小さい傾向が見られた(表4)。さらに幅が300 m以上になると視程障害発生割合のカテゴリスコアが「-1.471」(表4)と最も小さくなり視程障害発生割合が顕著に低下する傾向が見られた。このことから、風上の

樹林帯はその幅が広いほど吹雪による視程障害発生を軽減し、概ね幅が 300 m 以上存在する場合に視程障害の発生を大きく改善させる要因であると考えられる。ただし、運転危険度割合については風上の樹林帯の幅が 300 m 以上でカテゴリスコアが「-2.668」と最も小さいものの、幅 100~300 m の場合にカテゴリスコアが大きい傾向が見られた(表 5)。

次に風上の家屋・市街地の幅に着目すると、幅 300 m 以上の家屋・市街地が存在する箇所では、視程障害発生割合のカテゴリスコアが「-1.677」(表 4)、運転危険度割合のカテゴリスコアが「-4.391」(表 5)と最も小さく視程障害発生割合や運転危険度割合が低下する傾向が見られた。一方、幅 10~100 m 程度の家屋・市街地が存在する箇所ではカテゴリスコアが大きく、特に幅 30~50 m の家屋・市街地が存在する箇所では視程障害発生割合・運転危険度割合に関わらずカテゴリスコアが最も大きい傾向が見られた(表 4, 表 5)。郊外部の沿道に存在する家屋は、あまり密集していないことが多い。この理由として、郊外部の比較的幅が狭い家屋・市街地では地吹雪発生を十分軽減するほどには風速が道路周辺で低下せず、かつ家屋の周辺には除雪等による堆雪(雪山)が多く存在し、これらの堆雪から飛雪が道路へ吹き込むことによって視程障害が発生しやすかったことが考えられる。また、密集していない家屋の存在により風が乱れ視程障害が発生しやすかったことも考えられる。さらに防護柵の有無に着目すると、視程障害発生割合、運転危険度割合とも防護柵が存在しない場合に比べると防護柵が存在する場合にカテゴリスコアが大きく(表 4, 表 5)、吹雪時には視程障害が発生しやすく運転危険度も高くなる傾向が見られた。これは、防護柵が路側に存在することによってその周辺に雪堤が発生しやすいためと考えられる。

5. 今後の課題

道路吹雪対策マニュアル¹⁾に示される吹雪危険度は、「吹きだまり要因」と「視程障害要因」に区分し、気象条件による「主要因」と沿道環境条件や道路構造等による「危険要因」及び「安全要因」から評価されている。しかし現状、「視程障害要因」の評価では「風上平坦地」の長さが「危険要因」に考慮されていないなど、本研究の結果を踏まえると見直しが必要と考えられる箇所が伺えた。今後は、吹雪危険度の評価方法の見直しなどについて検討していく予定である。

【参考・引用文献】

- 1) (財)道路保全技術センター, 2007:道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)平成 19 年 9 月。
- 2) (独)土木研究所寒地土木研究所, 2011:道路吹雪対策マニュアル(平成 23 年 3 月)。
- 3) 福澤義文, 伊東靖彦, 松沢勝, 加治屋安彦, 阿部正明, 丹治和博, 2002:吹雪危険度評価に関する一考察(1)ー吹雪危険度評価フローの検討ー, 寒地技術論文・報告集, **18**, 354-358。
- 4) 武知洋太, 松沢勝, 伊東靖彦, 金子学, 國分徹哉, 2015:運転の危険性を考慮した冬期道路の吹雪視程障害評価と沿道環境による吹雪視程障害への影響, 土木学会論文集 D3(土木計画), **71(5)**(土木計画学研究・論文集 第 32 巻)。
- 5) 武知洋太, 松沢勝, 中村浩, 金子学, 川中敏朗, 2012:冬期道路の吹雪時における視程障害度の評価に関する研究, 寒地土木研究所月報, **No.706**, 20-29。
- 6) Takeuchi, M, 1980: Vertical profile and horizontal increase of drift-snow transportation, *J. Glaciol*, **26(94)**, 480-492。