

吹雪映像を用いた吹雪時の視程評価

Visibility Assessment on Snowstorm Using Snowstorm Image

(独) 土木研究所寒地土木研究所 ○正員 武知 洋太
 同 上 正員 伊東 靖彦
 同 上 正員 松澤 勝
 同 上 正員 加治屋安彦

1. はじめに

北海道内の冬期道路においては、吹雪による視程障害を原因とする通行止め、多重衝突事故が発生しており、吹雪による視程障害を対策していくことが重要な課題である。しかし、対策を取り組む際には、道路利用者が感じている吹雪による視程障害を正しく評価していくことが必要である。

現在、道路交通管理に用いられてきている「視程」は航空気象や海洋気象に基づくものであり、道路とは利用環境が異なる状況下で定義されたものである。このため、道路利用者の視点にたった道路交通管理のための視程計測、評価方法は定義が確立されていない。このため、道路交通により適した視程の評価方法を新たに定義していくことが必要となっている。

そこで、本調査では吹雪時の映像を用い、吹雪による視程障害時に道路利用者の感じる視程と従来観測している視程との差異や視程に対する気象状況の影響について調査を行ったので、その結果を報告する。

2. 視程計測の現状

従来、道路管理のため把握される吹雪時の視界状況は、路側に設置された視程計によって観測された視程を平均することで評価されている。

ここで、視程計による視程観測の原理について簡単に解説する。視程計には投光部と受光部があり、投光部から発せられた赤外光は、吹雪の中で減衰や散乱して受光部に入る。視程計は、この吹雪の空間濃度に依存する受光強度を測定する。透過型視程計の場合、受光強度から求められる光の消散係数と視程の関係式より¹⁾ 視程を求めている。

3. 調査概要

本調査では、最初に平成19年度の冬期に屋外において9枚の視程板（黒板（表1、写真1））のビデオ撮影及び視程、風向風速、飛雪流量の観測を行った。

次に、吹雪時に撮影した9枚の視程板の映像（写真2）

表1 視程板の設置概要

	1枚目	2枚目	3枚目	4枚目
ビデオカメラから視程板までの距離	10m	20m	40m	60m
視程板の1辺の大きさ(m)	0.12×0.12	0.24×0.24	0.49×0.49	0.73×0.73

5枚目	6枚目	7枚目	8枚目	9枚目
80m	100m	135m	175m	255m
0.98×0.98	1.22×1.22	1.65×1.65	1.96×1.96	3.00×3.00

(視程良好時)



(視程不良時)



写真1 視程板（黒板）の撮影状況



写真2 吹雪時における視程板の映像

を室内で被験者に見せ、視認できる枚数についてアンケート調査を行い、その結果を基に道路利用者が感じている視程と観測機器で観測した視程、風速、飛雪流量などとの関係について分析し、吹雪時における視程について評価を行った。

3. 1. 吹雪時における映像の撮影及び気象観測

著者らは、平成19年1月10日～平成19年2月28日に石狩吹雪実験場（図1）において中心高さ1.2～2.5m



図1 調査箇所（石狩吹雪実験場）

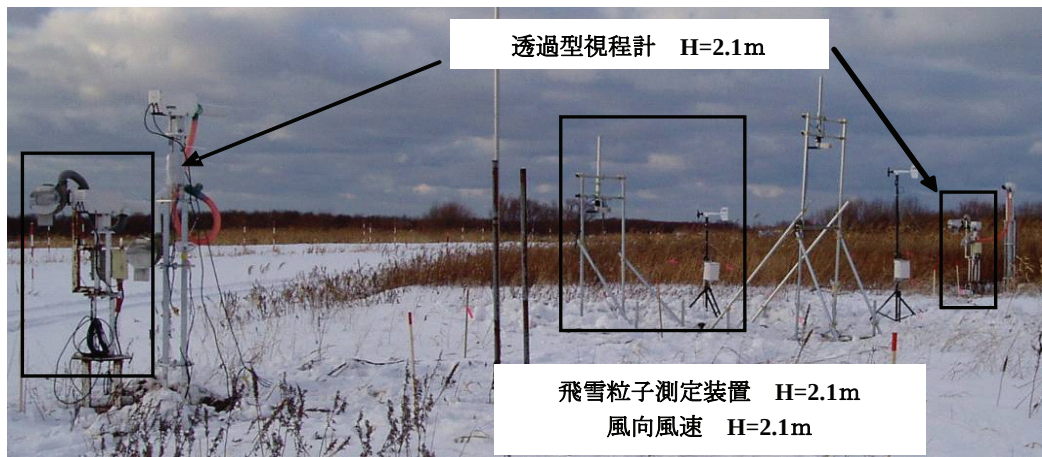


写真 3 気象観測機器の設置状況
(透過型視程計, 飛雪流量計測装置, 風向風速計)

の位置に設置した 9 枚の視程板 (表 1) の撮影と視程、風向風速、飛雪流量の観測を行った。視程板の撮影は、1.2m の高さに設置したビデオカメラを用い日中のみ撮影を行った (写真 1)。また、視程、風向風速、飛雪流量については透過型視程計 (TZE-2T)、風向風速計 (KDC-S4)、飛雪流量測定装置 (SPC-S7) を高さ 2.1m の位置に設置しサンプリング間隔 1 秒で観測を行った (写真 3)。なお、気象観測は視程板を撮影したカメラの風上側直近で行った。

3. 2. 映像を用いた吹雪視程評価に関する実験

著者らは、寒地土木研究所の講堂において 2. 1 で撮影した吹雪時の視程板の映像を用い、吹雪視程評価に関

する被験者実験を行った。

実験では、被験者に高さ 2.25m×幅 3.05m のスクリーンの手前約 10m の位置からスクリーンに映写した吹雪映像を暗室で視認させ (写真 4, 図 2)、視程板の形を認識出来る枚数についてアンケートを行った。実験には表 2 に示した 9 ケースの吹雪映像を用い、1 ケース当たりの映像時間は 20 秒間とした。なお、9 ケースの映像は、高さ 2.1m に設置した透過型視程計で観測した視程値の平均を参考に、吹雪状況が異なるものを抽出した。

また、被験者は性別、年齢がなるべく均等となるよう計 107 名集めた (図 3)。

表 2 実験に用いた吹雪映像概要

映像 ケース	日付	時刻	降雪 有無	透過型視程計 (設置高=2.1m)	
				最低	平均
A	2007/2/19	12:41:15 ~ 12:41:35	有り	109m	119m
B	2007/2/19	13:41:36 ~ 13:41:56	有り	117m	122m
C	2007/2/19	14:40:12 ~ 14:40:32	有り	134m	152m
D	2007/1/19	10:20:32 ~ 10:20:52	有り	181m	192m
E	2007/2/11	13:41:30 ~ 13:41:50	有り	400m	422m
F	2007/2/7	15:20:00 ~ 15:20:20	有り	620m	756m
G	2007/2/19	15:40:39 ~ 15:40:59	無し	135m	150m
H	2007/2/19	13:21:39 ~ 13:21:59	無し	181m	189m
I	2007/2/19	13:21:06 ~ 13:21:26	無し	185m	193m



写真 4 被験者実験状況 (寒地土木研究所 講堂)

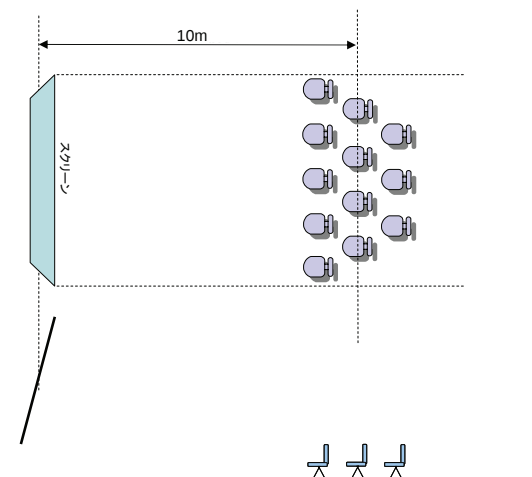


図 2 映像の被験者の視認方法

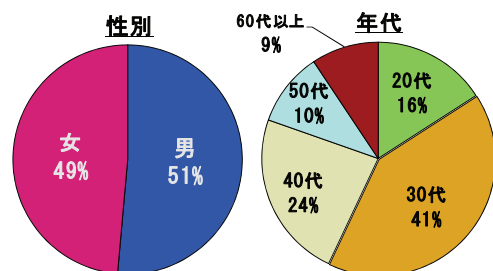


図 3 被験者の属性 (n=107)

4. 調査結果

4. 1. 視程板の映像視認距離と視程計測値

図 4 は、吹雪映像を見て被験者が視認できた視程板の枚数から評価した視程の平均値 (以下: 視程板の映像視認距離) と透過型視程計で映像に対応した 20 秒間に高さ 2.1m で観測した視程の平均値 (以下: 視程計測値) の関係を示したものである。縦軸には視程板の映像視認

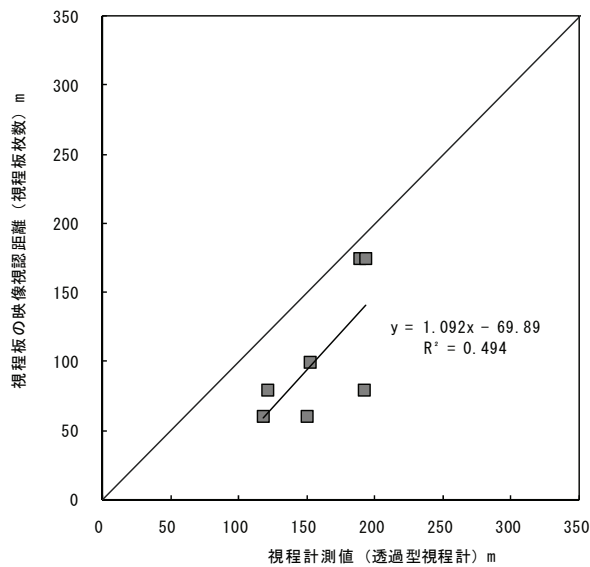


図 4 視程板の視認距離と視程計測値の関係

距離、横軸には視程計測値を取った。

図 4 より、視程板の映像視認距離は視程計測値に比べ小さい傾向が見られる。また、高さ 2.1m で観測した視程計測値が 200m 以下では、道路利用者は視程板の映像視認距離を概ね視程計測値より 70m 短く感じていることがわかる。

4. 2. 視程板の映像視認距離と気象条件

図 5 は、風速と視程板の映像視認距離の関係を示したものである。縦軸に視程板の映像視認距離、横軸に映像に対応した 20 秒間に高さ 2.1m で観測した風速の平均値を取った。

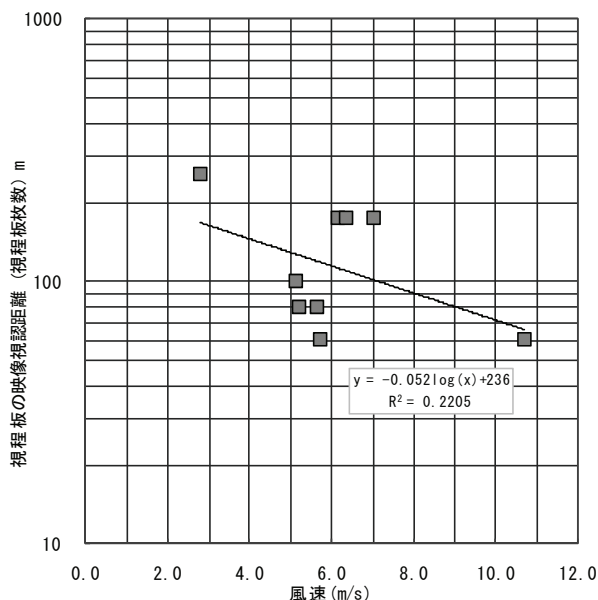


図 5 視程板の映像視認距離と風速の関係

図 5 より、風速の増加に伴って視程板の映像視認距離が低下する関係が見られる。しかし、線形近似すると相関係数(=√R²)は 0.470 であり、風速と視程板の映像視認距離の相関は低かった。

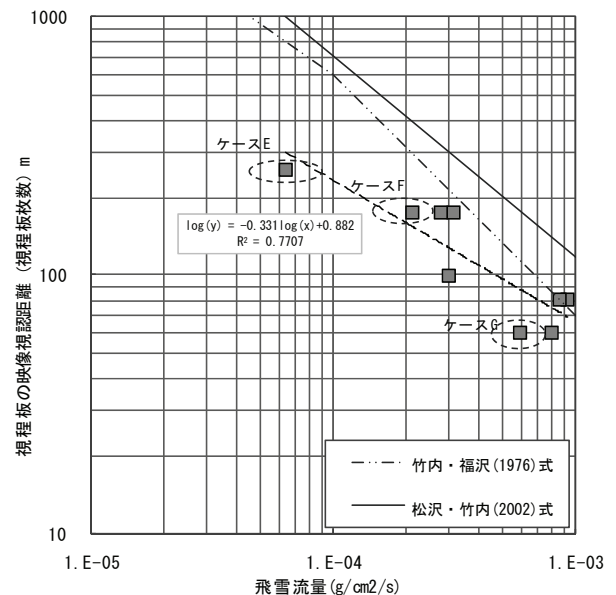


図 6 視程板の映像視認距離と飛雪流量の関係

次に、観測した飛雪流量と視程板の映像視認距離の関係について分析を行った。図 6 は、飛雪流量と視程板の映像視認距離の関係を示したものである。縦軸に視程板の映像視認距離、横軸に映像に対応した 20 秒間に高さ 2.1m で観測した飛雪流量を取った。

図 6 より、飛雪流量が大きい程、視程板の映像視認距離が低下する傾向が見られる。視程 V と飛雪流量 Mf の関係については、これまでに竹内・福沢ら²⁾は近似式として式(1)を、松沢・竹内ら³⁾は近似式として式(2)を導いている。

$$V = \frac{68.3}{(Mf + 0.125)} + 2.6 \quad (\text{竹内・福沢,1976}) \cdots(1)$$

$$\log(V) = -0.773 \cdot \log(Mf) + 2.845 \quad (\text{松沢・竹内,2002}) \cdots(2)$$

そこで、既往研究で導き出された視程と飛雪流量の関係式と今回の踏査結果を比べてみると、飛雪流量が大きい領域では視程板の映像視認距離が既往研究の式で推定される視程に近い傾向が見られる。一方で飛雪流量が小さい程、既往研究の式で推定される視程に比べ、視程板の映像視認距離が小さくなる傾向が見られる。

この原因の 1 つとしては、ケース E、F は視程板で評価できる視認距離 (255m) 以上であったことの影響が考えられる。

また、ケース G については次のように考えることができる。道路利用者が吹雪時に感じている視程には、雪粒子によって遮断される光量が影響していると考えられ、光の遮断には雪粒子の投影面積の影響が大きいと推測される。この雪粒子の投影面積は、飛雪流量が同じであっても粒径が小さい程大きくなる。

ここで、ケース G の飛雪粒径分布を見てみると、他のケースに比べ粒径の小さい粒子の数が多かった(図 7)。このため、同じ飛雪流量であってもケース G では雪粒子の投影面積フラックス(図 8)が他のケースに比べ大き

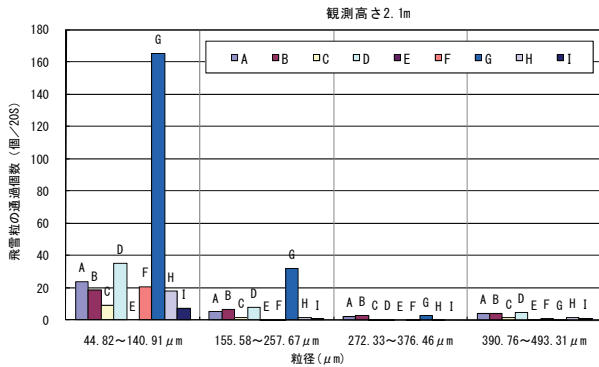
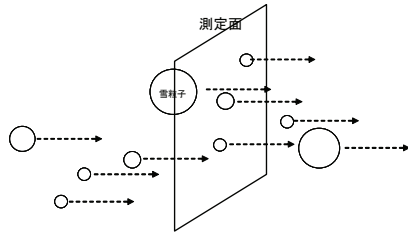


図 7 飛雪粒子の粒径分布



雪粒子を球と仮定し、片方向からの投影面積(粒径を直径とした円の面積)の単位時間、単位面積当たりの通過量(フラックス)を投影面積のフラックスと定義

図 8 雪粒子の投影面積フラックスの定義

かったことが、視程板の映像視認距離に影響していた可能性が考えられる。

そこで、飛雪流量測定装置で観測した飛雪粒子の通過個数と粒径から飛雪粒子の投影面積を積分し単位時間、単位面積当たりの雪粒子の投影面積フラックスを求め視程板の映像視認距離との関係について分析を行った。

図 9 は、視程板の映像視認距離と飛雪流量フラックスとの関係を示したものである。縦軸に視程板の映像視認距離、横軸に高さ 2.1m の雪粒子の投影面積フラックスを取った。

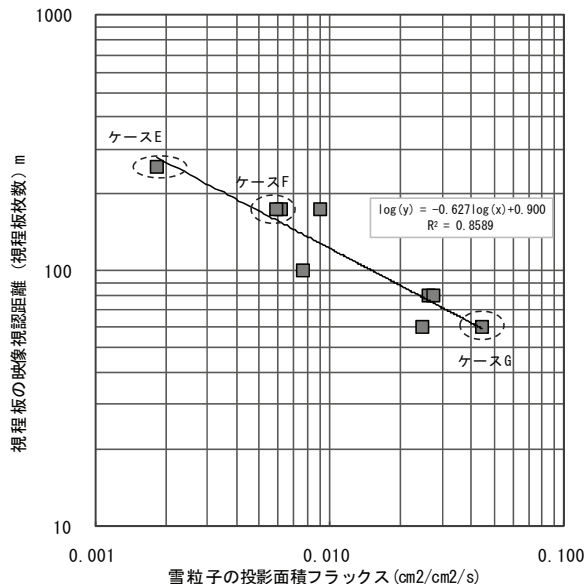


図 9 視程板の映像視認距離と雪粒子の投影面積の関係

図 9 より、雪粒子の投影面積フラックスが大きいほど視程板の映像視認距離は低下する傾向がみられる。また、回帰曲線の相関係数について見てみると、相関係数は 0.927 を示しており風速、飛雪流量よりも視程板の映像

視認距離との相関が高い結果が得られた。このことから、吹雪時に道路利用者が感じている視程を把握する上で雪粒子の投影面積フラックスは重要な要素であると考えられる。

5. まとめ

吹雪映像を用い吹雪による視程障害時の道路利用者の感じる視程と従来の視程値の差異やその影響について調査を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 透過型視程計で観測される視程計測値と吹雪映像で道路利用者が感じている視程板の視認距離には差異があり、吹雪時の視程が 200m 以下では高さ 2.1m で観測した視程計測値に比べ道路利用者は視程板の映像視認距離を概ね 70m 短く感じていることがわかった。
- 2) 吹雪時に道路利用者が感じている視程板の映像視認距離は、風速が大きい程低下する傾向が見られたが相関は低かった。
- 3) 吹雪時に道路利用者が感じている視程板の映像視認距離と飛雪流量の関係については、飛雪流量が大きい程視程板の映像視認距離が低下する傾向が見られ、高さ 2.1m で観測した飛雪流量と高い相関が見られた。しかし、竹内・福沢ら²⁾及び松沢・竹内ら³⁾の近似式で推定される視程と視程板の映像視認距離では吹雪流量が大きい程、差異が大きくなる傾向が見られた。
- 4) 吹雪時に道路利用者が感じている視程板の映像視認距離と飛雪粒子の投影面積の関係では、飛雪粒子の投影面積フラックスが大きい程、視程板の映像視認距離が低下する傾向が見られ、相関は風速、飛雪流量より高かった。

今回の結果は室内での吹雪映像を用いた評価であるため、今後は現地で同様の実験を実施し、映像と現地での差異について検証を行う予定である。

また、今回は気象条件の影響について分析したが、吹雪時の視認距離に影響すると考えられる道路の沿道環境や背景、時間帯、被験者の年齢や視力などの影響についても今後調査を進めていきたい。

謝辞

本調査では、気象観測において(株)ズコーシャ、被験者実験やデータの分析において(株)雪研スノーイーターズにご協力を頂いた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：道路吹雪対策マニュアル、国土交通省北海道開発局、(独)北海道開発土木研究所、1-7-7～1-7-9、2003
- 2) 竹内政夫、福沢義文：吹雪時における光の減衰と視程、雪氷、38、165-170、1967
- 3) 松沢勝、竹内政夫、小林利章：吹雪時の道路上における視程と高さの関係、北海道の雪氷、21、46-49、2002