

道路上における吹雪時の視程と高さの関係

○松沢勝（北海道開発土木研究所）、竹内政夫、小林利章（日本気象協会）

1. はじめに

北海道では、滑りやすい凍結路面や、吹雪による視程障害のため、車の運転には厳しい状況にある。これまで、防雪柵や防雪林、スノーシェルター等の各種吹雪対策が行われてきた結果、かつては年間 100 件以上あった冬の国道における通行止めは、約 20～50 件／年程度まで減少してきている。その一方、冬期の多重衝突事故の件数は増加傾向にある。数十台の車を巻き込む多重衝突事故の要因の一つに、大型車の混入が上げられている（Kajiya *et al.* 2001）。運転席の高い大型車の方が吹雪時に見通しが利くといわれており、車種の違いによる視程の違いが、車種間の速度の差を生み、これが事故の誘因となっている可能性が高い。

著者らは、視程の推算式を用いて道路上の視程を計算し、高さによる視程の差を明らかにするとともに、吹雪時に道路上の数点で同時に飛雪流量の観測を行った。ここではその結果について報告する。

2. 吹雪時の視程の推算

2. 1 視程の推算式

吹雪粒子の運動形態は大きくわけて、転動、跳躍、浮遊の 3 つがある。このうち高さ 10cm 以上で卓越する浮遊は、乱流拡散モデルが適用できる。

浮遊粒子が卓越する層（浮遊層）での吹雪に関して、松沢と竹内(2002)は、以下の手順で高さ z での視程を推定することを示した。

●手順 1： 次式に適当な値を代入して飛雪濃度を求める。

$$N(z) = \frac{P}{w_f} + \left(N_1 - \frac{P}{w_f} \right) \left(\frac{z}{z_1} \right)^{-\frac{w_b}{ku^*}} \quad (1)$$

ここに、 P ：降雪強度($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)、 w_f ：降雪粒子の落下速度(m/s)、 w_b ：浮遊粒子の落下速度(m/s)
 N_1 ：基準高度 Z_1 での飛雪濃度(g/m^3)、 k ：カルマン定数($=0.4$)、 u^* ：摩擦速度(m/s)

●手順 2： 上で求めた N と高さ z における風速 V を次式に代入し飛雪流量 $Mf(\text{g}/\text{m}^2/\text{s})$ を求める。

$$Mf = N * V \quad (2)$$

●手順 3： 視程と飛雪流量との関係を表す次式（松沢・竹内，2002）に上で求めた Mf を代入し、高さ z における視程 Vis を求める。

$$\log(Vis) = -0.773 * \log(Mf) + 2.845 \quad (3)$$

2. 2 視程の推算条件

次に、実際に上の手順を用いて、異なる高さでの視程をいくつかの気象条件の下で推定する。まず飛雪濃度 $N(z)$ を求めるため、風速と降雪強度を除く数値を以下のように仮定する。

降雪粒子の落下速度	$w_f = 1.2 \text{ m/s}$
浮遊粒子の落下速度	$w_b = 0.35 \text{ m/s}$

カルマン定数	$k=0.4$
高さ $Z_1 (=0.1\text{m})$ での飛雪濃度	$N_1=10\text{ g/m}^3$
摩擦速度	$u^*=0.036V_{10}$ (V_{10} : 高さ 10m での風速)

これらの値を用い、以下の条件で計算を行った。

高さ 10m での風速	10 m/s および 20 m/s
降水(雪)強度	0mm/h および 1.0 mm/h

2. 3 視程の推算結果

(1) 雪堤が無い場合

図1は、前節の条件で視程を計算した結果である。雪堤などを考慮せず、単純に高さによる視程の違いを比較している。

図より、降雪が無い場合は、高さによる視程の差が大きくなることがわかる。特に風速が 10 m/s のケースが、風速 20m/s のケースに比べ、その傾向が顕著である。一方、

降雪強度が 1mm/h の場合は、高さが 0.6m 以上で、風速 10m/s のケースが、風速 20m/s のケースに比べ、高さによる視程の差が小さくなることをわかる。

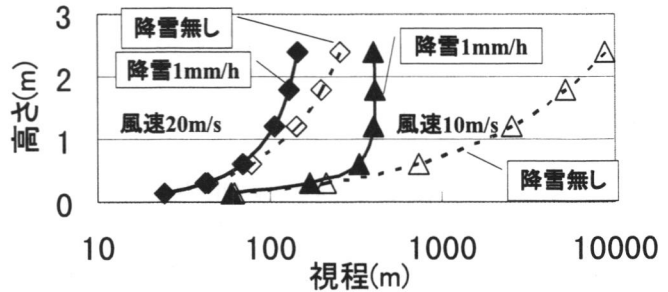


図1 高さによる視程の違い (計算値)

(2) 雪堤を考慮した場合

実際の道路では、路側の雪堤を考慮する必要がある。ここでは、図2のようなモデルを考える。跳躍粒子 (大きな黒丸) と異なり、浮遊粒子 (小さな黒丸) は、道路上でも落下することなく浮遊を続けると考えられる。そこで、雪堤の高さを H としたとき、路面からの高さ $Z \geq H + Z_1$ (図2の斜線部分) における、飛雪濃度分布は、雪堤上も道路上也同じと仮定する。

この仮定の下で、雪堤の高さが 0m、0.4m、0.8m の3条件で、かつ、降雪が無い場合と降雪強度 1mm/h の2条件で視程値を推算した。

図3にその結果を示す。図より雪堤が高くなるに従い、高さによる視程の差は大きくなる。その差は、降雪のない場合の方が、顕著である

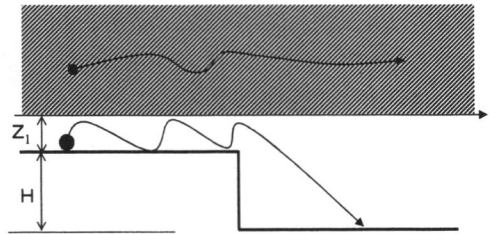


図2 雪堤がある場合の吹雪粒子の運動の模式図

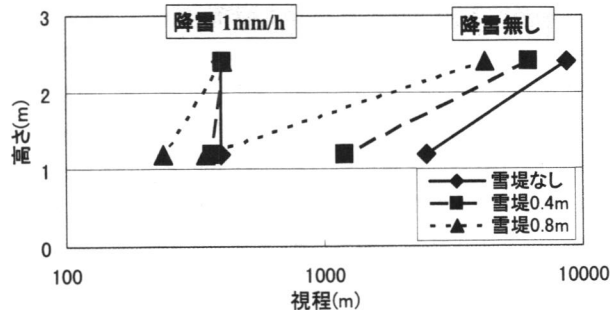


図3 雪堤がある場合の高さによる視程の推算結果

3. 吹雪時の視程の計測

3. 1 計測条件

視程の推算結果を確認するため、飛雪流量の計測を行った。計測は、石狩市の石狩川河川敷にある北海道開発土木研究所の石狩吹雪実験場で行った。計測には、直径約 10cm のネット式吹雪計を用いた。計測は、雪堤の風下側約 1 m の地点で、図 4 に示す 3 つの高さで実施した。このうち高さ 1.2m は小型車を運転するドライバーの目の高さを想定し、高さ 2.4m は大型車ドライバーの目の高さを想定している。

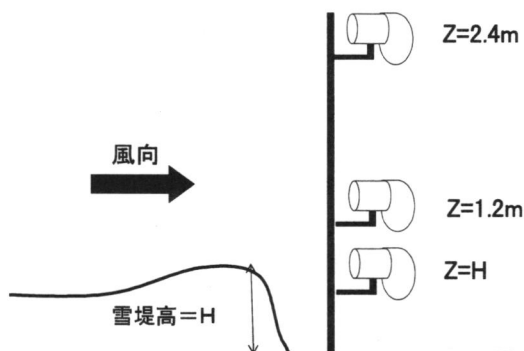


図 4 飛雪流量の計測状況

計測は、2002 年 2 月 9 日 11:45~14:40 と 2002 年 3 月 2 日 10:30~12:00 の時間帯で実施した。2002 年 2 月 9 日は、降雪が無く、高さ 1.2m での風速は 6.5~7.5m/s、気温は-3.8~-6.3℃であった。また、2002 年 3 月 2 日は降雪があり、高さ 1.2m での風速は 8.0~10.6m/s、気温は-4.3~-6.7℃であった。

3. 2 計測結果

図 5 に計測結果を示す。雪堤高 0.8m のデータは、2002 年 2 月 9 日の 3 計測の平均である。雪堤高 0.6m のデータはともに 2002 年 3 月 2 日の計測で、弱い降雪時は 4 計測、強い降雪時には 6 計測実施し、その平均をとった。その値を (3) 式に代入して視程値に換算した。なお、現地で降雪強度の計測は行っておらず、降雪の強弱は目視によるものである。

図 5 より、降雪が無い場合、高さによる視程の差が大きくなることがわかる。その一方で、降雪が強くなると、高さによる視程の差が少なくなることも明らかになった。この傾向は数値計算の結果と一致する。

図 6 は、雪堤の高さが 0.6m の事例と、0.8m の事例で、高さによる視程の違いを比較したものである。計測日はともに 2002 年 2 月 9 日で、降雪は観測されなかった。図 6 より雪堤の高さが 0.8m の場合の方が、高さ 0.6m 場合に比較して、高さによる視程の違いが大きいことがわかる。

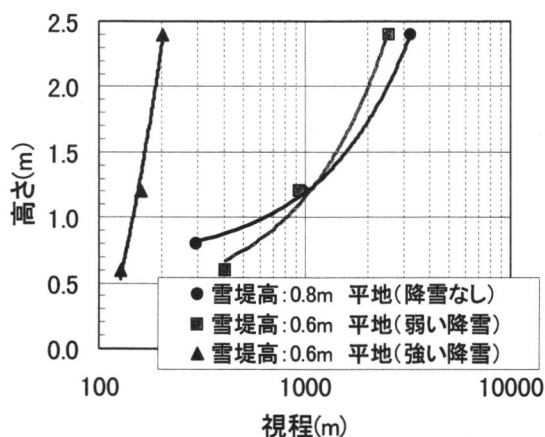


図 5 降雪の強さと高さによる視程の比較

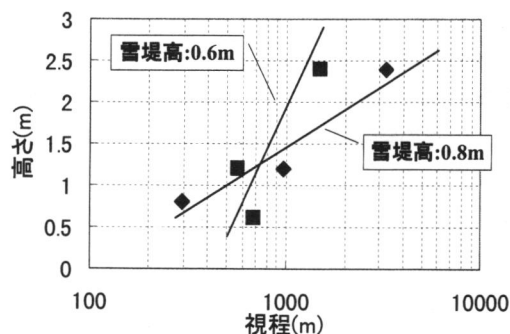


図 6 雪堤高と高さによる視程の比較

4 考察

今回の研究から、降雪のない場合に高さによる視程の差が大きくなる一方で、降雪が強い場合は、高さによる視程の差は少なくなることが明らかになった。吹雪時は、雪面から巻き上げられた浮遊粒子（高い地吹雪粒子）と、上から降ってくる降雪粒子が空間に混在する。降雪の空間濃度は高さ依存せずほぼ一定である一方で、浮遊粒子の濃度は、高くなるにしたがい減少する。降雪が強くなると、相対的に、風に巻き上げられる浮遊粒子の割合が少なくなるため、高さによる視程の差が小さくなると考えられる。

また、雪堤が高くなるに従い、視程の高度差が大きくなることも、実測から明らかになった。これは、路側から道路上に吹き込む飛雪粒子の濃度の垂直分布は、路側に近い道路上でも成り立つことを意味している。

さらに、実測では確認していないが、計算上では、降雪のない場合に、風速 10m/s における視程の高度差は、風速 20m/s における視程の高度差に比べ大きくなることが示された。これは、風速が大きくなると、雪が、より高く舞い上がりやすくなると考えられる。

5. 結論

以上の結果を、大型車のドライバーの目の位置と、小型車のドライバーの目の位置に置き換えて整理すると、以下の結論が得られる。

- 強い降雪のあるときは、大型車と小型車からの見え方の差は少なくなる。
- 降雪が弱い、或いは地吹雪だけの場合は、大型車と小型車からの見え方の差は大きくなり、大型車からの方が見えやすい
- 特に、路側の雪堤が高くなるほど、見え方の差は拡大する。

降雪や、吹雪の発生を止めることは、人間の力では不可能であるが、雪堤を低くすることは可能である。すなわち、大型車と小型車の見え方の差を少なくするためには、雪堤を低くするような道路構造や道路管理を検討する必要がある。

参考文献

- 1) Yasuhiko Kajiya, Yasuhiro Kaneda and Kazuhiro Tanji : Factors Inducing Multivehicular Collisions During Visibility Reduced by Snowstorm, Transportation Research Record, 1745, 61-66, 2001.
- 2) 松沢勝、竹内政夫：気象条件から視程を推定する手法の研究、雪氷、64、77-86、2002.