

平成 25 年度

〇〇管内防雪施設設計業務

風洞実験報告書

平成 26 年 3 月

理研興業株式会社

<目次>

1. 目的	3
2. 風洞実験装置	
2-1 風洞装置の概要	6
2-2 地吹雪発生装置の概要	7
2-3 模型雪	8
2-4 風速計	9
3. 現地気象データ	
3-1 主風向	11
3-2 積雪深（30年確率値）	12
3-3 吹溜量（30年確率値）	13
4. 風洞実験条件	14
5. 実験模型	17
6. 風洞実験方法	
6-1 実験方法	21
6-2 風洞実験パターン	22
7. 風洞実験結果（堆積実験）	
7-1 車道上の堆積深測定位置	24
7-2 堆積実験結果比較	25
8. 風洞実験結果（可視化実験）	
8-1 可視化実験結果比較	28
8-1 可視化実験結果まとめ	29
9. 実験結果まとめ	31

1. 目的

1. 目的

山形県尾花沢新庄道路（舟形 I C 付近）においては、過年度にて従来型吹止柵（柵高さ＝5 m 法肩～5 m 離れ）が設置されている。

しかし、該当路線においては「視程障害」による雪氷障害が頻発しているとの報告があった。原因は、設置されている防雪柵の路面からの柵高が低いことによる本路線（広幅員道路）に対する視程緩和効果範囲の狭くなっていることであると推察する。

そこで、該当路線における風洞実験による、現状の原因把握と改善案の検証を実施し報告するものである。

尚、本実験対象位置図を下記に示す



図 1-1 調査対象路線位置図（A矢視）

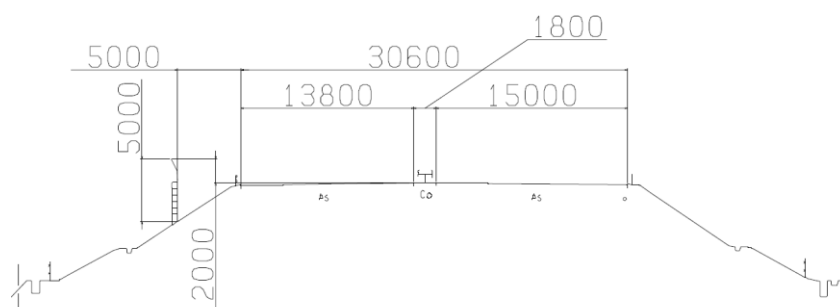


図 1-2 調査対象路線横断面図

2. 風洞実験装置

2-1 風洞装置の概要

本実験で使用した吹雪風洞装置の主要諸元と風洞設備の全体図を下記に示す。

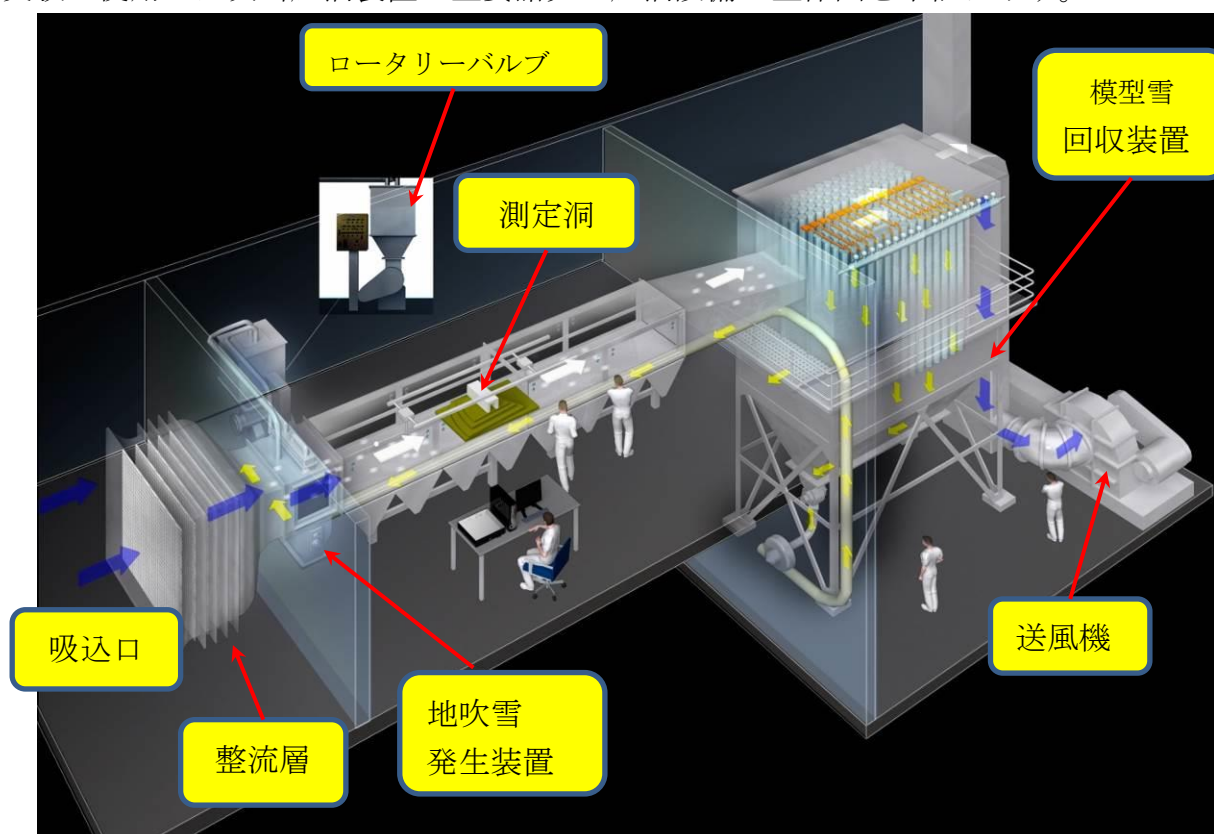


図 2-1 風洞装置全体図

表 2-1 風洞主要諸元

型 式	片吸い込み式クリーンエア外部放出型
風 速	0～7 [m/s] (インバータ制御)
モータ出力	22 [kW]×4P
風 量	435 [m ³ /min]
風 圧	125 [mm Aq]
測定洞寸法	高さ(H)750 [mm]・幅(W)1000 [mm]・長さ(L)5700 [mm]
吸い込み部分寸法	2050×1800 [mm]
吹雪発生装置	加圧式飛散型
模型雪	活性白土 (堆積量：1mm/10分 供給量：0.11 m ³ /h)
模型雪回収方法	バックフィルター(116 m ²)方式
模型雪払い落とし方法	ジェットパルスエア(0～60sec)ダイヤフラム式
バックフィルター寸法	H4000 [mm]×W4700 [mm]×L2250 [mm]
ロータリーバルブ容量	0.279 [m ³]

2-2 地吹雪発生装置の概要

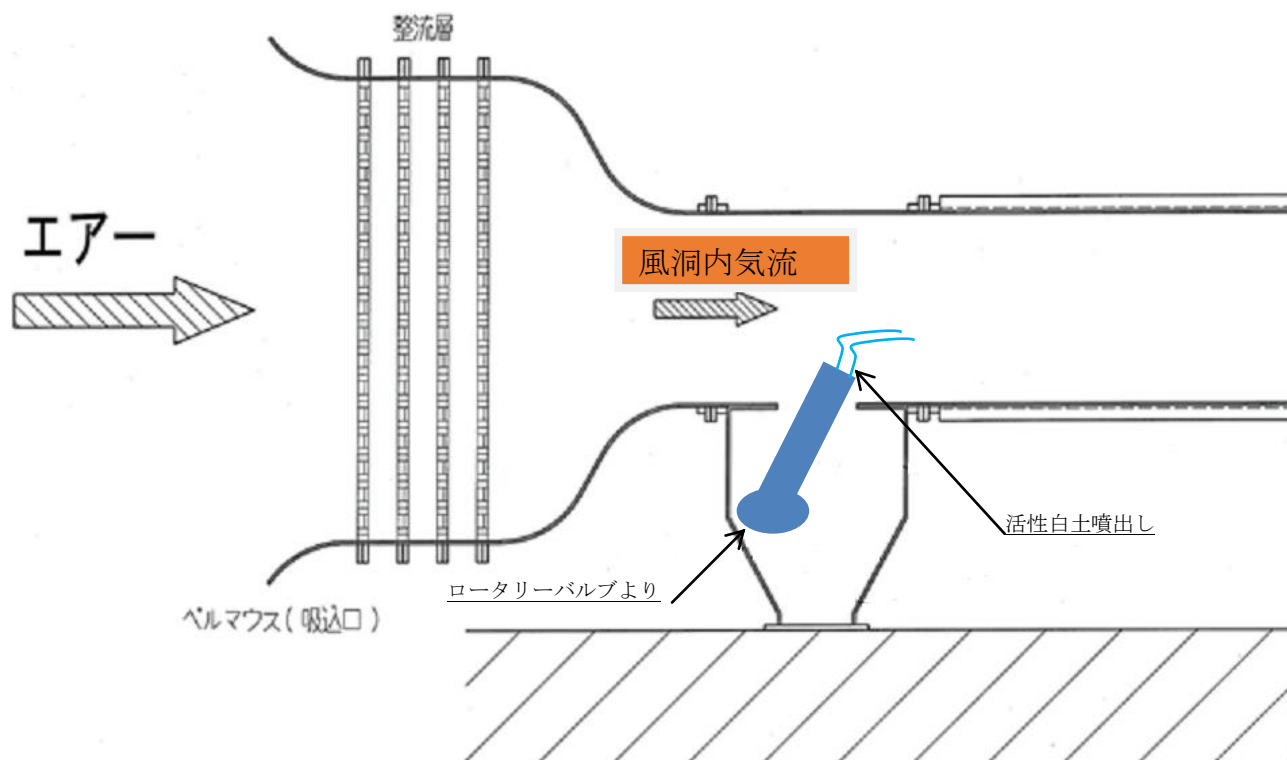


図 2-2 地吹雪発生装置 概略図

地吹雪発生装置は、ロータリーバルブより定量供給した活性白土を空気圧により噴出しノズルから風洞内に送り、風洞内気流（図 2-2）と合流させ活性白土が地表付近を移動することで、自然と相似な地吹雪現象を再現させる事のできる重要な装置である。

2-3 模型雪

地形模型を用いた風洞実験（吹雪実験）をおこなう際、模型雪として活性白土を使用している。

自然雪と活性白土の比較を表 2-2 に示す。

表 2-2 自然雪と活性白土の比較

項 目		単位	活性白土	自然雪
比重	実質	g/cm ³	2.3～2.4	0.92
	見かけ	g/cm ³	0.4～0.5	0.03～0.2
安息角（※1）		度	40～50	45～50
粒子径		mm	0.025～0.001	0.2～2
移動臨界摩擦速度		m/s	0.16～0.20	0.15～0.40

（※1）安息角

土（岩石片や砂など）や粉体（石炭粉など）を積み上げたときに自発的に崩れることなく安定を保つ斜面の角度



この安息角が雪に近い形態を示すため、古くから活性白土が風洞実験に使用されている。

2-4 風速計

表 2-3 に風速計主要諸元、写真 1 に風速計本体を示す。

表 2-3 風速計主要諸元

メーカ	日本カノマックス社			
型 式	多点式風速計 SYSTEM 6241			
測定範囲	風速 0 ～50 [m/s]			
測定点	4 [ch]			
測定精度	レンジ	0.05～2[m/s] 2～10 [m/s] 10～20 [m/s] 20～50 [m/s]	精度	±0.05 [m/s] ±0.3 [m/s] ±0.6 [m/s] ±1.5 [m/s]
データ・モード	平均値モード・瞬時値モード			
計測方法	0.1～6553.5 [sec]、0.1 [sec]単位で設定可能。			



写真 1 風速計本体

測定原理は加熱された素子に風があたると、素子は冷却される。素子の温度が変化すれば抵抗値も変化する。この抵抗値の変化は風速が早ければ早いほど、大きく変化する。従って、風速と抵抗値の関係がわかっているならば、抵抗値（又は電流）を測定することにより、風速値を知ることができる。このような原理を利用したものを**熱式流速計（熱線流速計）**といい、風速計として一般的に用いられている。

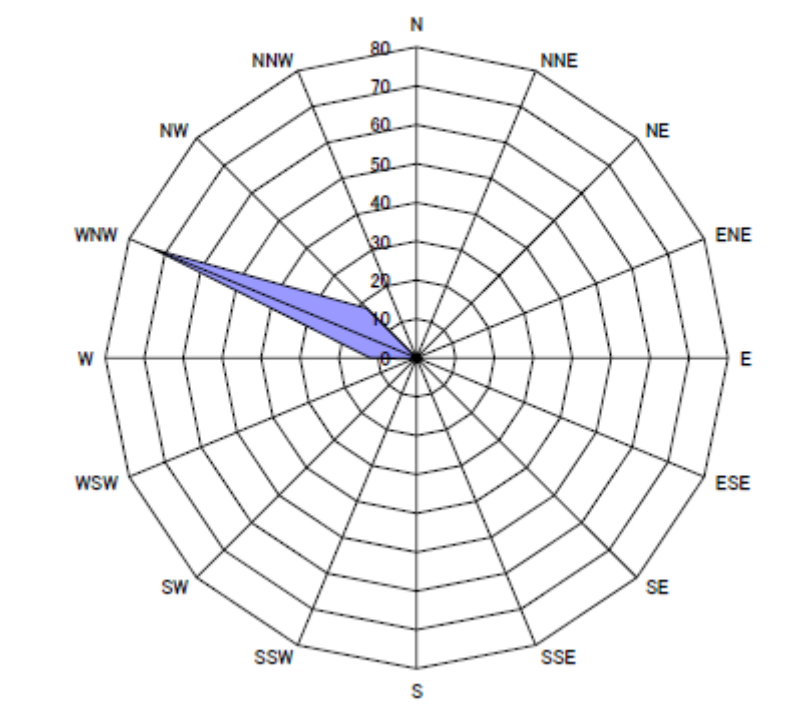
また、風速プローブは測定面の直径がφ2.5と微小であり、より細部にわたり測定可能であり、特性 ROM 付きのため、高精度を維持した互換機能をもっている。

3. 現地気象データ

本工区においては、現在気象観測データ取得中のため、
ここでは、近傍アメダス（山形県 尾花沢観測所）のデータを参考値として記す

3-1 主風向

山形県 尾花沢観測所 : 期間: 1998年 12月 ~ 2013年 3月 (15年間)



尾花沢観測所における主風向は西北西である。

3-1 積雪深 (30 年確率値)

30年確率積雪深

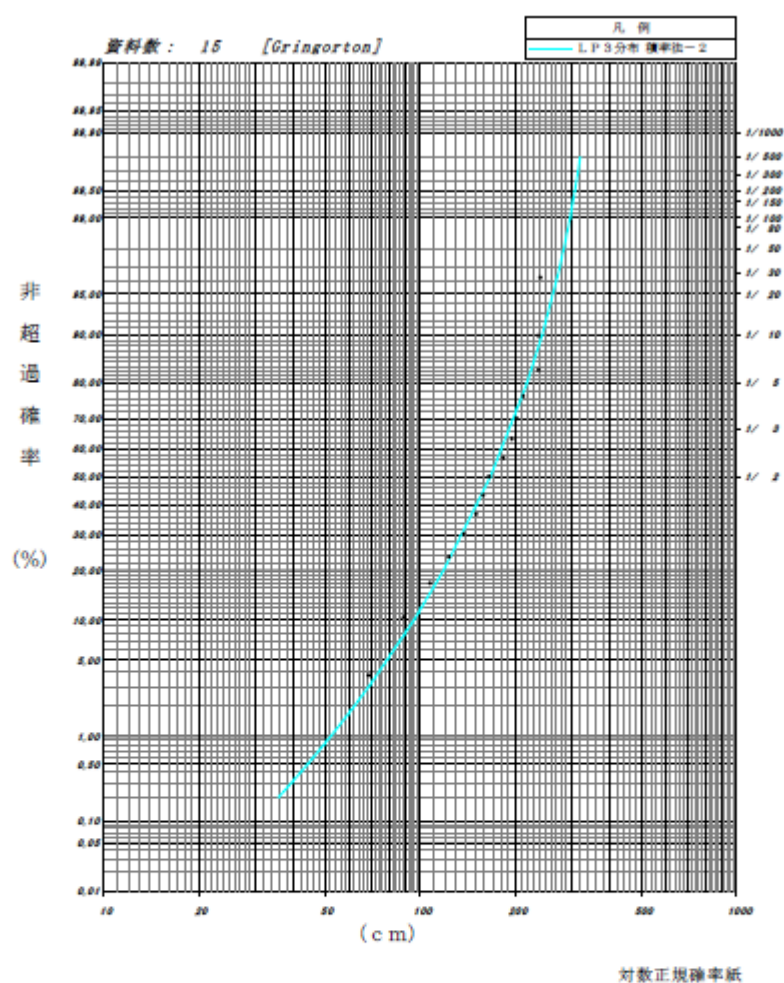


図2 尾花沢観測所における30年確率最大積雪深h

表2 [jackknife] LP3分布 積率法-2

確率年	統計値	平均値	補正值	誤差分散	推定誤差
10	243.64	243.54	245.08	259.41	16.11
30	273.97	274.00	273.53	507.22	22.52
50	285.12	285.26	283.22	740.17	27.21

表2により尾花沢観測所における30年確率最大積雪深hは 274.00 [cm] である。

3-2 吹溜量 (30 年確率値)

30年確率吹溜量

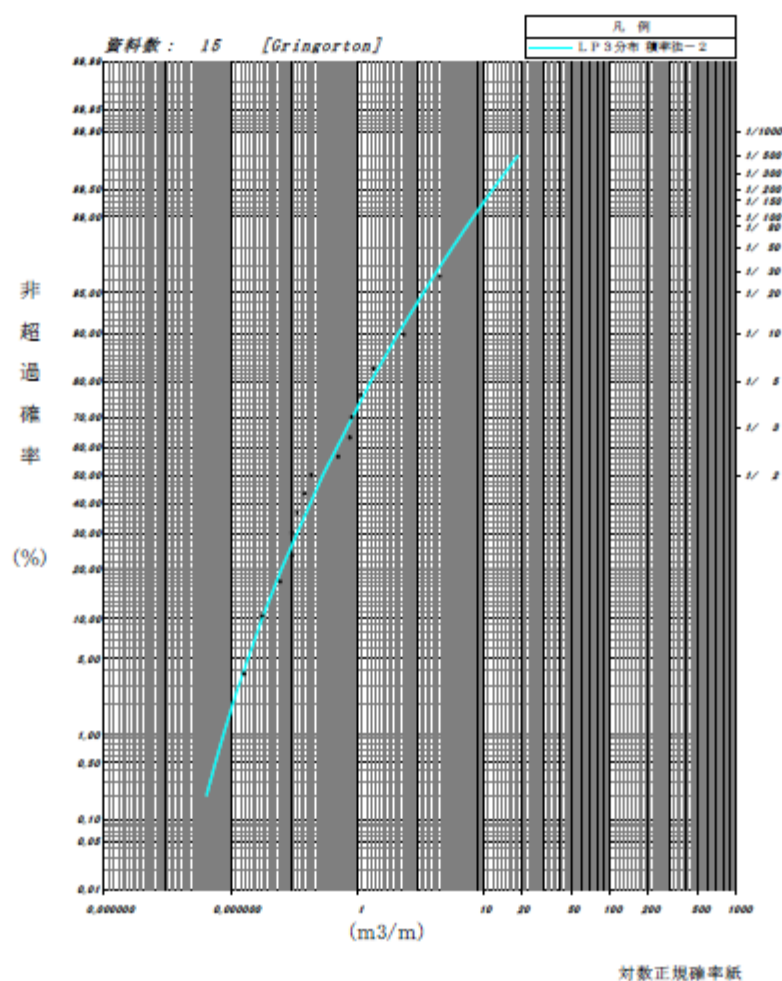


図 1 尾花沢観測所における30年確率最大吹溜量 v

表 1 [jackknife] LP3分布 積率法-2

確率年	統計値	平均値	補正值	誤差分散	推定誤差
10	2.14	2.14	2.05	0.63	0.79
30	4.27	4.29	3.98	3.85	1.96
50	5.73	5.77	5.19	8.45	2.91

表 1 により尾花沢観測所における30年確率最大吹溜量 v は 4.29 [m³/m] である。

4. 風洞実験条件

「3. 現地気象データ」を参考とし、
今回の風洞実験における条件（内容）を下記に示す。

① 堆積実験（防雪柵の性能を確認）

- ・ 模型縮尺 : 1/100
- ・ 模型雪 : 活性白土
- ・ 風洞内風速 : 4.5～5.0 (m/s)
- ・ 吹付角度 : 90°
→本実験において、既設防雪柵との相対比較を行うため
- ・ 風上側平地堆積深 : 20 (mm) → (現地換算 : 2.0m)
→気象データ（尾花沢アメダス）の30年確率積雪深は（≒2.74m）
→予備実験の結果、風洞装置の性能 MAX 堆積量＝20mm
以上の条件から、平地堆積量が20mm時の道路上の堆積量を比較することとした。
- ・ 確認方法 : 道路上の堆積量をスケールにて測定
- ・ 使用機器 : デジタルカメラ SONY DSC-WX170

② 可視化実験（防雪柵まわりの流れを解析）

- ・ 模型縮尺 : 1/50
- ・ 模型雪 : 活性白土
- ・ 風洞内風速 : 0.8 [m/s]
→道路上および防雪柵周りの風の流れが見やすいため
- ・ 確認方法 : 動画による確認
- ・ 使用機器 : ビデオ SONY HDR-HC1

<堆積実験時の風洞風速について>

堆積実験における風洞内風速については、現地の気象観測データによる風速との相似則で決定しているが、当路線における気象データは取得中であるため、下記表（※3）および近傍アメダス（尾花沢観測所）の気温より、決定した。

表1-4-4 吹きだまり量との関係を求める風速と気温の組み合わせ

気温	風速
0℃以上	8m/s以上
0～-5℃	7m/s以上
-5℃以下	5m/s以上

尾花沢観測所の気温は、最低-5.7℃であるが、日平均で見ると、-2.4℃であるため、上記表より7～8（m/s）とし、風洞内風速（基準風速）を下記の換算式より算出する。

[換算式]

$$U_m/U_p = (L_m/L_p)^\alpha \quad (\text{※1})$$

$$\left(\begin{array}{ll} U_m & : \text{基準風速 (m/s)} \\ U_p & : \text{現地風速 (m/s)} \rightarrow 8 \text{ (m/s)} \\ L_m & : \text{基準風速時の計測高さ (m)} \rightarrow 0.4 \text{ (m)} \\ L_p & : \text{現地風速時の計測高さ (m)} \rightarrow 10 \text{ (m)} \\ \alpha & : \text{べき指数 (田園} \rightarrow 0.167, \text{都市} \rightarrow 0.25) \quad (\text{※2}) \end{array} \right.$$

$$U_m = U_p \times (L_m/L_p)^\alpha$$

$$= 8 \times (0.4/10)^{0.167}$$

$$= 4.67 \text{ (m/s)}$$

(※1)

根本、航空宇宙学会誌、11 巻 116 号（1963-9）、272

(※2)

塩谷正雄、強風の性質、改訂新版（1981-4）、41

(※3)

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所(2011-3)

吹雪対策マニュアル（平成 23 年改定版）、1-4-13

5. 実験模型

本風洞実験（堆積実験）に使用した模型写真を下記に記す。

尚、模型の縮尺は、

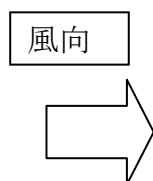
- ・堆積実験　： 1／100
- ・可視化実験： 1／50

とした。

堆積実験における縮尺は、吹き溜まり現象に着目し、雪粒子または活性白土と気流相互干渉を考慮した結果である。

<現状>

従来型吹止柵（柵高＝5 m　法肩～5 m離れ）



<改善案1>

高性能防雪柵（柵高＝5 m　法肩～5 m離れ）



<改善案2>

高性能防雪柵（柵高＝4 m　法肩～1.5 m離れ）



<改善案3>

高性能防雪柵（柵高＝3 m　法肩近傍）



6. 風洞実験方法

6-1 実験方法

図 6 に本実験のフローチャートを示す

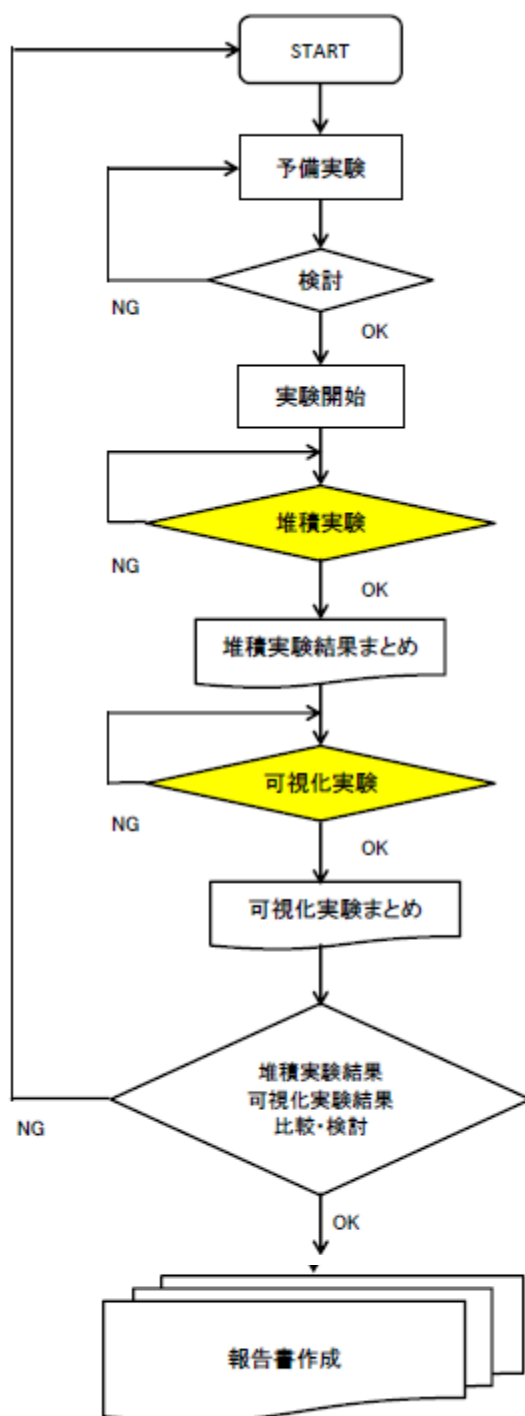


図 6 風洞実験フローチャート

6-2 風洞実験パターン

本工区における今回の風洞実験は、

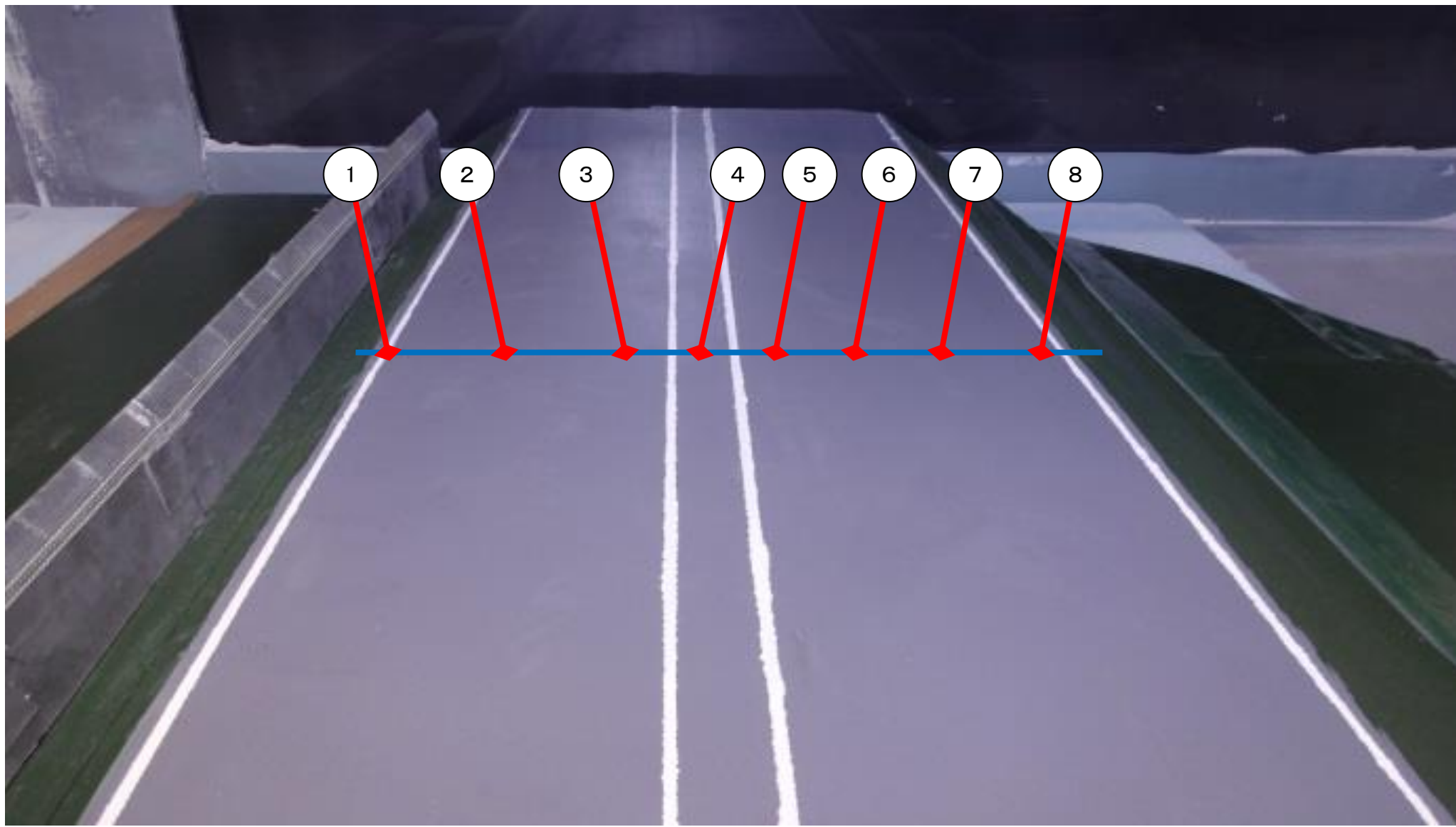
- ① 現状 : 従来型吹止柵 (柵高 = 5 m 法肩 ~ 5 m 離れ)
- ② 改善案 1 : 高性能防雪柵 (柵高 = 5 m 法肩 ~ 5 m 離れ)
- ③ 改善案 2 : 高性能防雪柵 (柵高 = 4 m 法肩 ~ 1.5 m 離れ)
- ④ 改善案 3 : 高性能防雪柵 (柵高 = 3 m 法肩 近傍)

における、道路上の吹溜状況および視程緩和領域を比較検討する。

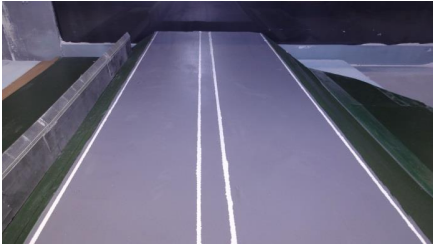
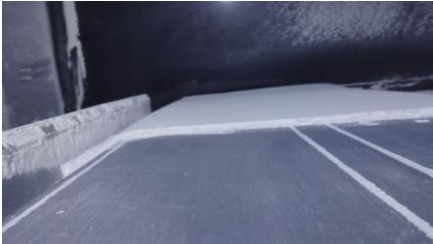
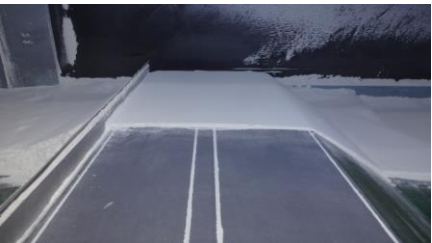
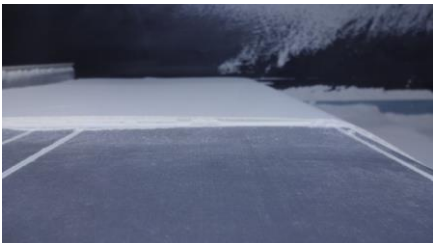
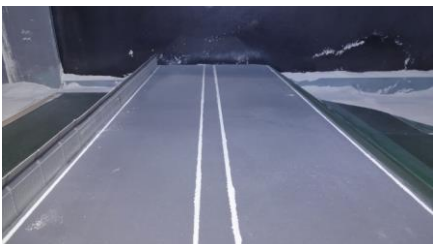
7. 風洞実験結果（堆積実験）

これから示す堆積実験結果の写真は、
平地堆積深が 20mm（現地換算：200cm）に達した時の車道上の堆積形状を示す。

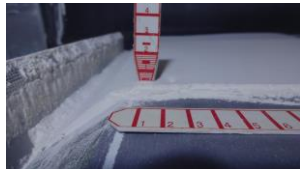
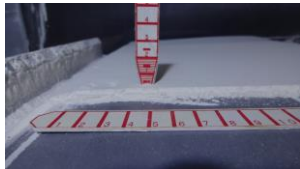
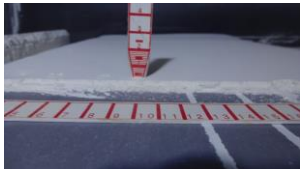
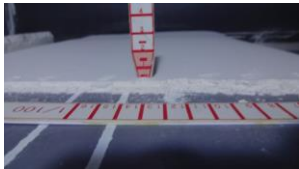
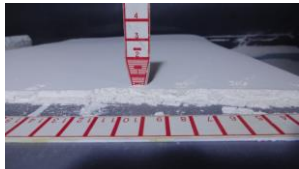
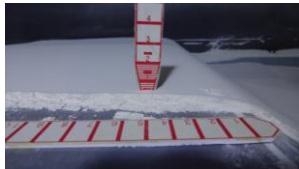
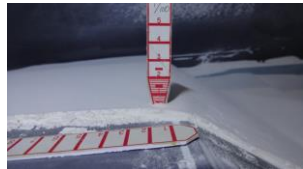
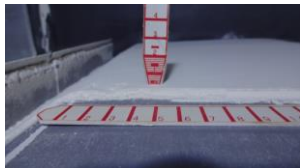
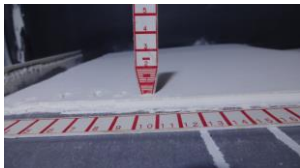
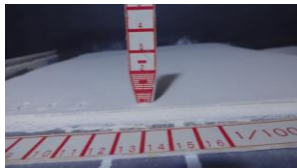
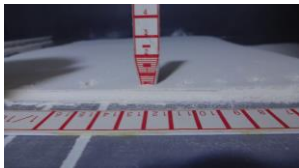
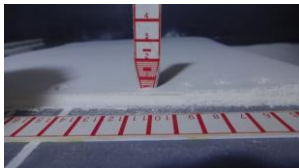
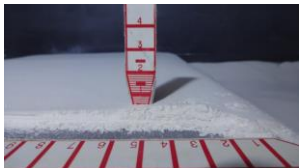
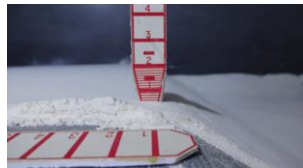
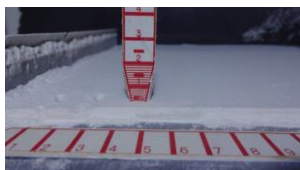
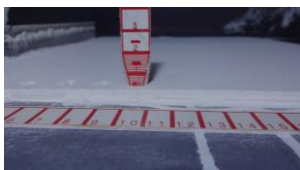
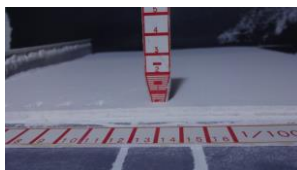
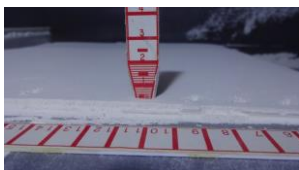
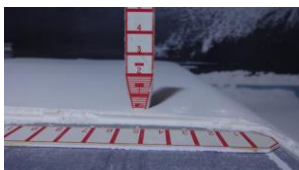
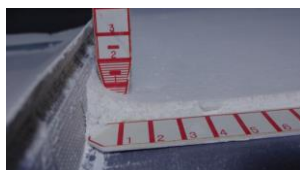
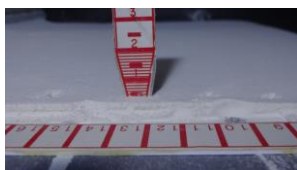
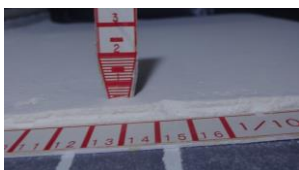
7-1 車道上の堆積深測定位置



7-2 堆積実験結果比較
(全体図)

防雪柵	実験前	堆積断面			
		車道全体	車道左	車道中央	車道右
＜現状＞ 従来型吹止柵 柵高＝5m 法肩～5m離れ					
＜改善案1＞ 高性能防雪柵 柵高＝5m 法肩～5m離れ					
＜改善案2＞ 高性能防雪柵 柵高＝4m 法肩～1.5m離れ					
＜改善案3＞ 高性能防雪柵 柵高＝3m 法肩近傍					

7-2 堆積実験結果比較
(堆積深測定)

防雪柵	実験後（左：実験堆積量 右：現地換算積雪深）															
	①法肩～アスカーブ左		②車道左（アスカーブ寄り）		③車道左（中央寄）		④車道中央		⑤車道右（中央寄）		⑥車道右		⑦車道右（アスカーブ寄り）		⑧法肩～アスカーブ右	
＜現状＞ 従来型吹止柵 柵高＝5m 法肩～5m離れ																
	4.5mm	45 cm	4.0mm	40 cm	3.5mm	35 cm	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	5.0mm	40 cm	5.0mm	50 cm	5.0mm	50 cm
＜改善案1＞ 高性能防雪柵 柵高＝5m 法肩～5m離れ																
	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	5.0mm	50 cm	5.5mm	55 cm	6.0mm	60 cm
＜改善案2＞ 高性能防雪柵 柵高＝4m 法肩～1.5m離れ																
	4.0mm	40 cm	3.0mm	30 cm	4.0mm	40 cm	4.5mm	45 cm	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	3.0mm	30 cm	1.5mm	15 cm
＜改善案3＞ 高性能防雪柵 柵高＝3m 法肩近傍																
	6～9mm	60～90 cm	4.0mm	40 cm	4.5mm	45 cm	5.0mm	50 cm	4.0mm	40 cm	4.0mm	40 cm	3.0mm	30 cm	2.0mm	20 cm

上記結果より、

- ・車道左～車道右（中央寄り）における堆積深に大きな差分は見られない。
- ・道路右～（法肩～アスカーブ右）では、「高性能防雪柵（柵高＝4 m 法肩～1.5 m離れ）」「高性能防雪柵（柵高＝3 m 法肩近傍）」で堆積深が少なくなっている。
- ・従来型吹止柵および改善案1においては、路面からの柵高さが2 m程度であり、車道右側に流れ落ちている事が予測される。
- ・ただし、「高性能防雪柵（柵高＝3 m 法肩近傍）」では、柵近くの堆積深が多くなっている。
- ・これは、堆積スペースの有無によるものと考える。

よって、今回の堆積実験より本路線に最も適しているのは、「高性能防雪柵（柵高＝4 m 法肩～1.5 m離れ）」であると考える。

柵周りの風の流れ（メカニズム）を可視化実験にて確認する。

8. 風洞実験結果（可視化実験）

8-1 可視化実験結果比較

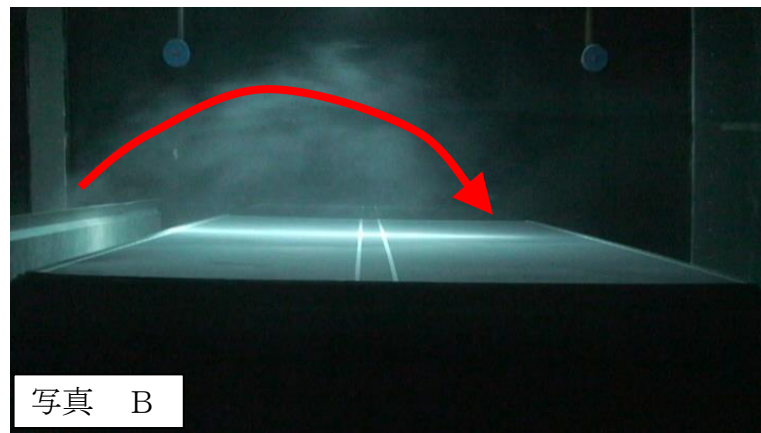
<現状>

従来型吹止柵（柵高＝5m 法肩～5m離れ）



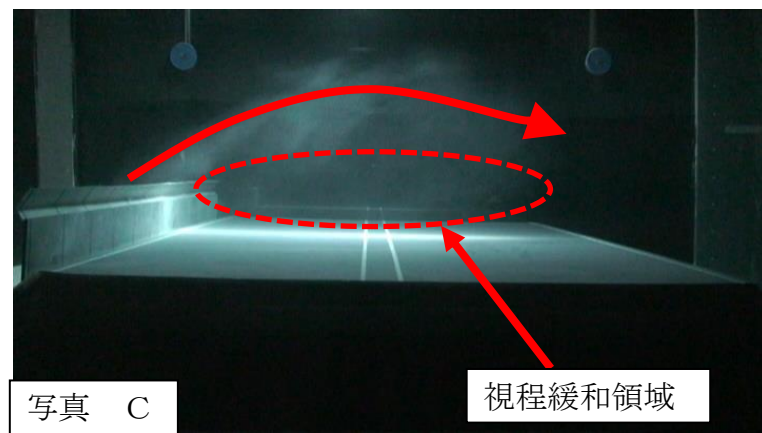
<改善案1>

高性能防雪柵（柵高＝5m 法肩～5m離れ）



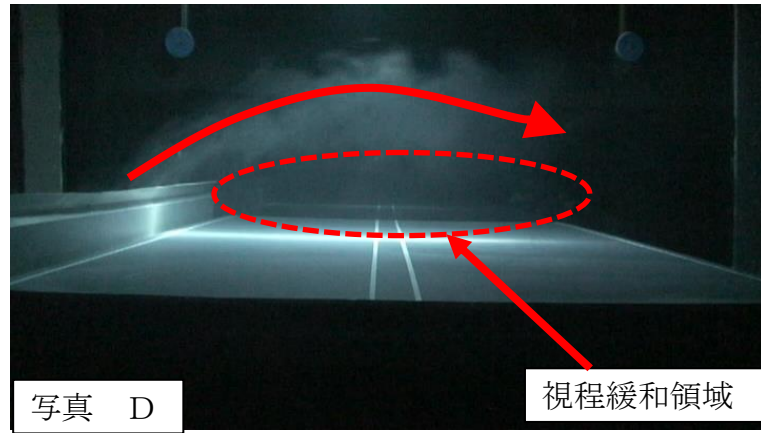
<改善案2>

高性能防雪柵（柵高＝4m 法肩～1.5m離れ）



<改善案3>

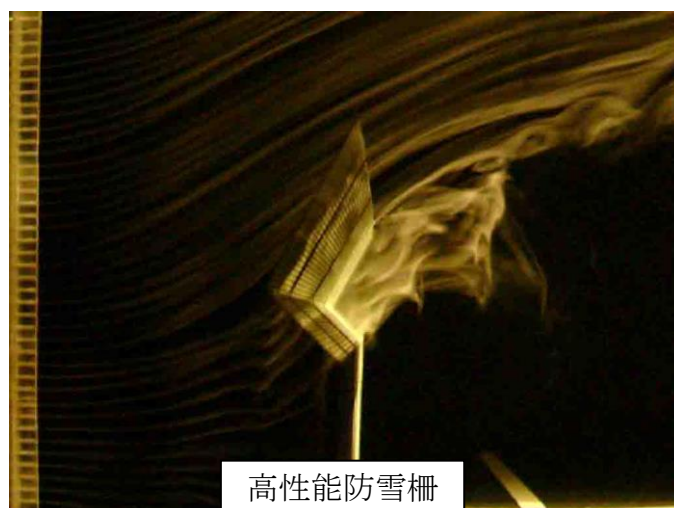
高性能防雪柵（柵高＝3m 法肩近傍）



8-2 可視化実験結果まとめ

可視化実験写真より

- ・従来型吹止柵および高性能防雪柵（いずれも 柵高さ 5 m 法肩～5 m 離れ）の場合防雪柵を乗り越えた風が車道右側に流れこむ様子がわかる。
- ・また、従来型吹止柵においては、車道左側においても高性能防雪柵と比較して視程障害が発生し易いことがわかる。
- ・下の写真は過去に実施した、風洞実験による煙法を用いた可視化の結果である。

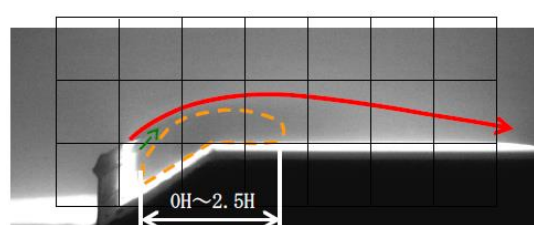
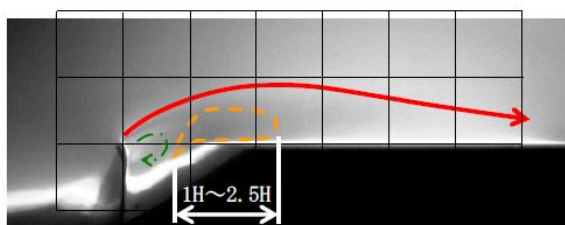


- ・従来型吹止柵と比較して高性能防雪柵の柵周囲の流れが滑らかであることがわかる。これは、高性能防雪柵の誘導板と忍び返し部の有孔板から吹き出す風が柵端から剥離する渦の発生を抑えたことにより、柵近傍の乱流が発生しにくくなったためである。
- ・過去の実験による平地における従来型吹止柵と高性能防雪柵の視程緩和領域の定義は以下。

従来型吹止柵＝柵高さ×4 倍程度

高性能防雪柵＝柵高さ×7 倍程度・・・①

過去の実験結果より、法肩から離して柵を設置した場合、柵を乗り越えた風の再付着点が車道右側にあることがわかっている



高盛土構造の法肩より 1.5H 風上側の位置に設置した時の可視化実験
→従来型（左）高性能型（右） 柵高さ（H=4m）

法肩から風上側に柵が離れる事により、視程障害緩和領域が減少することがわかり。従来型および高性能においては法肩に近づける方がより効果を発揮できる。

- ・写真C・Dの「高性能防雪柵（柵高＝4m 法肩～1.5m離れ）（柵高＝3m 路肩近傍）」の場合、車道上の視程緩和領域が確保されていることがわかる。
前頁の①の定義から、視程緩和領域は、

高性能防雪柵（柵高＝4m）： $4 \times 7 = 28\text{m}$

高性能防雪柵（柵高＝3m）： $3 \times 7 = 21\text{m}$

であるが、視程緩和の必要範囲は、

柵高さ＝4 m 法肩～1.5m離れ： $\approx 30\text{m} + 1.5\text{m} = 31.5\text{m}$

柵高さ＝3 m 路肩近傍： $\approx 30\text{m}$

となり、視程緩和領域が不足することとなるが、

高盛土構造における吹上効果が2.5H程度になるとの過去の実験結果より、視程緩和領域は、

高性能防雪柵（柵高＝4m）： $(4 \times 7) + (4 \times 2.5) = 38\text{m}$

高性能防雪柵（柵高＝3m）： $(3 \times 7) + (3 \times 2.5) = 28.5\text{m}$

となる。

以上の結果から、今回の道路幅員（ $\approx 30\text{m}$ ）による視程緩和領域が確保されている改善案は、

高性能防雪柵（柵高＝4m 法肩～1.5m離れ）

である。

9. 実験結果まとめ

今回実施した、「堆積実験」「可視化実験」結果を下記にまとめる。

表 9. 実験結果まとめ

No	防雪柵種類	堆積 (吹溜り)	可視化 (視程緩和)
現状	従来型吹止柵 (柵高 = 5 m) (法肩 ~ 5 m 離れ)	×	×
改善案 1	高性能防雪柵 (柵高 = 5 m) (法肩 ~ 5 m 離れ)	×	×
改善案 2	高性能防雪柵 (柵高 = 4 m) (法肩 ~ 1.5 m 離れ)	○	◎
改善案 3	高性能防雪柵 (柵高 = 3 m) (法肩 近傍)	△	◎

上記の結果から、今回の実験において道路上の吹溜りおよび視程緩和の効果が現れているのは、

高性能防雪柵 (柵高 = 4 m 法肩 ~ 1.5 m 離れ)

であると判断する。