

稚内空港における冬期の視程向上を目的とした防雪柵の効果検証について

稚内開発建設部 稚内港湾事務所 第2工事課 ○水上 一生
須藤 賢哉

稚内空港では、冬期に低下する就航率を改善するため、横風・追風制限の緩和等を図る滑走路の延長や滑走路コンディションの向上を図る除雪体制の強化を実施してきた。更に、地吹雪発生時における滑走路の視認性向上等を図るため、積雪寒冷地における道路の吹き溜まりや地吹雪の発生を抑制する防雪柵を参考とし、空港滑走路に対応した試験防雪柵を設置し、その適用効果を検証することとした。本報告では、実際に試験防雪柵を設置して得た風向・風速、視程などの観測結果に基づき、防雪柵による視程の向上が稚内空港の冬期欠航便を減少させる効果について検証した結果を報告するものである。

キーワード：空港、地吹雪、防雪柵、滑走路視程、就航率

1. はじめに

稚内空港は、日本最北端のジェット化空港で首都圏および札幌と直結し、離島観光や海産物の輸送など長距離移動の時間短縮をもたらしている。また、近年はチャーター機の利用が増加し、新たな観光客を呼び込むとともに、都市部からの医師派遣など道北宗谷地域における高速交通・輸送の拠点として重要な役割を果たしている。

稚内空港は、昭和35年(1960)に延長1,200mの滑走路を有する第二種空港(現在は国管理空港)として開港した。その後、昭和62年(1987)に滑走路1,800mに延長されてジェット化空港となり、小型ジェット機B737が季節運航(夏期)ながら稚内～東京間に就航した。また、滑走路の延長に合わせてターミナルビルとエプロンが現在の位置に移転した。昭和63年(1988)には、滑走路2,000mが完成、計器着陸装置(ILS)も導入され、平成元年(1989)には東京便に中型ジェット機B767が就航した。

平成9年(1997)からは、東京便が通年運航となり、現在では、定期便として東京便が1日2往復(冬期は1往復)、

新千歳便が1日2往復(通年)就航している。かつては、利尻島と礼文島への離島路線の基地であったが、平成15年(2003)に路線が廃止となった。

平成25年(2013)には、(株)フジドリームエアラインズ(FDA)のチャーター便が、県営名古屋空港から稚内空港へ初めて就航し、平成27年(2015)には、岡山空港や、静岡空港など道外22空港と稚内を結ぶチャーター便が計106便運航された。

平成27年の稚内空港の乗降客数は185千人である。



写真-1 冬の稚内空港に着陸するDHC8-Q400機「エコボン」



写真-2 稚内空港全景 [平成26年(2014) 8月29日 撮影]

2. 冬期就航率

稚内空港の年間降雪量は、約600cmと札幌市内と大きく変わらないが、年平均気温が6.8℃と札幌より約3℃低く、東京より約8℃低い。一年中、風が強いのが特徴であり、特に、冬は秒速10m以上の風の出現率が25%近くを占めている。

このような冬季の厳しい天候により、これまで欠航やダイバート(他空港への代替着陸)が相次ぎ、冬期の就航率が著しく低いことが課題となっている。欠航の要因は、複数あり、路面コンディション、横風、視程、および、それらが複合した気象条件である。

この低い就航率を改善する目的で、平成21年には、最低気象条件(運航制限値)の緩和を図るために滑走路を2000mから2200mへ延長すると共に除雪体制を強化した。

滑走路を200m延長した効果を分析した結果、東京便の就航率が通年で2%あまり向上し、事業効果も発現していることが判った。(図-1)

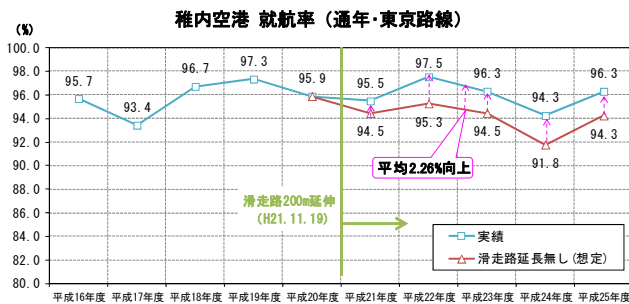


図-1 稚内空港の就航率(通年:東京路線)

冬期間(12月~3月)の就航率については、6%あまりの向上効果があったと分析されるが、気象条件によっては80%を割り込む年度もあり、さらなる就航率の向上が求められている。(図-2)

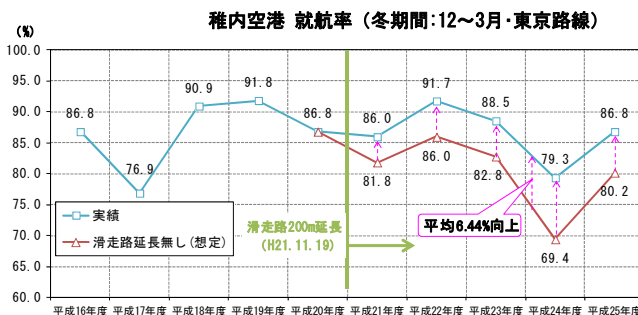


図-2 稚内空港の就航率(冬期:東京路線)

3. 稚内空港における防雪柵の検討経緯

北海道開発局港湾空港部では、平成17年度から平成18年度にかけて、北海学園大学の久保宏教授(当時)を委員長とし航空局や航空会社などが参加する「積雪寒冷地空港高質化検討委員会」を開催し、積雪寒冷地空港における様々な課題と対応策を検討した。

その中の課題の一つとして、稚内空港の防雪柵の有効性についても検討され、数値シミュレーションの結果な

どから視程を向上させる効果が期待できるので、試験防雪柵を設置して現地実証実験をすることが提案された。

平成21年度には、実際に試験防雪柵(330m)を設置し、(独法)土木研究所寒地土木研究所の松澤勝上席研究員(当時)を座長とする「稚内空港防雪柵効果検証検討会」を開催して、現地観測を行い観測結果を検証した。

引き続き、平成26年度も「稚内空港防雪柵効果検討委員会」を開催し、現地観測と効果の検証を行った。

4. 数値シミュレーションによる検討

数値シミュレーションを実施し、地吹雪が発生した際の視程を「対策なし」と「防雪柵有り」のケースで比較した。

制限表面(空港周辺の建物等の設置制限)の関係から、防雪柵の高さ5mの場合は、滑走路中心線から195m、高さ7mの場合は、210m離れた位置で計算した。その結果、「防雪柵有り」は「対策なし」に比べて滑走路付近の視程が長く、防雪柵の効果があると考えられた。(図-3)

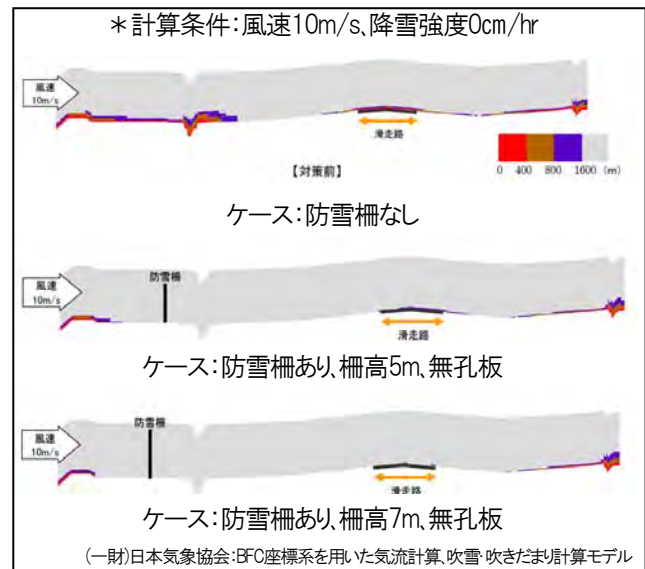


図-3 地吹雪発生時の視程比較(計算)

防雪柵による乱気流の発生も数値シミュレーションにより再現した。柵高7mと5m、無孔版と有孔版ありの計4ケースを比較し、いずれも防雪柵の風下側に乱気流階級「並」(算定突風速度Vde: 6.10m/s~10.67m/s)の範囲が発生するが、滑走路付近には影響が無い結果となった。

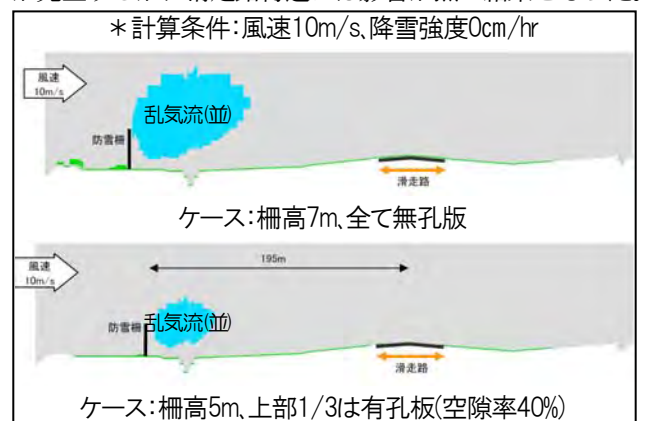


図-4 防雪柵設置時の乱流計算

また、防雪柵の柵高7mで無孔版のケースが、乱気流の発生範囲が大きく、柵高5mの有孔板ありのケースは、比較的小さくなっている。(図-4)

以上の様に、防雪柵を設置することによって、滑走路上で視程が向上する傾向があり、かつ、乱気流の影響は小さいと考えられることから、試験防雪柵を実際に現地に設置して、効果を検証することとした。

5. 試験防雪柵

試験防雪柵の設置延長は、到着便が欠航した際の風向を考慮して、滑走路中央付近で効果が確実に観測できる330mとした。設計風速は50m/sで、防雪板は、保安上及び気象観測上の視認性を確保するため、透明のポリカーボネート板を採用した。(写真-3)

設置する試験防雪柵は、より乱気流の影響が小さい、柵高5mの有孔板あり(無孔板3.5m+空隙率40%板1.5m)とし、場周柵と場周道路が吹きだまりで埋没するのを防ぐため、防雪柵の風上側に雪をためる「吹き止め柵」タイプとした。(写真-4)



写真-3 試験防雪柵全景

6. 現地観測

現地観測は、観測装置を臨時に設置して気象データ等を連続観測する固定観測と強風や地吹雪が発生した際にデータを収集する移動観測を実施した。(図-5)

固定観測点は、試験防雪柵の風下側と試験防雪柵の影響が及ばない場所の着陸帯に観測装置をそれぞれ1箇所ずつ設置した。観測装置は、航空障害灯、視程計、風向

風速計、簡易カメラ、データ伝送システムを装備し、視程と風向風速を連続観測した。(写真-4)

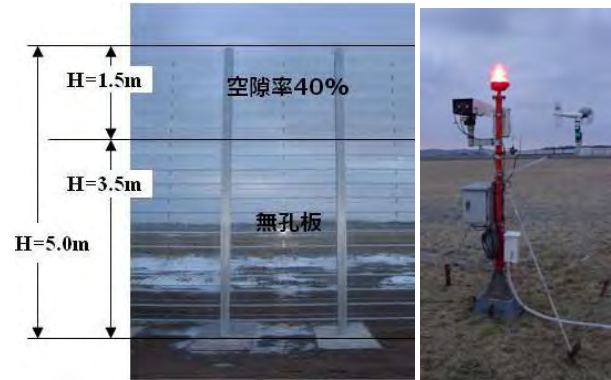


写真-4 試験防雪柵と固定観測点

空港ビルの展望デッキにはビデオカメラを設置し映像も連続撮影した。(図-5)

移動観測では、10m/s程度の風速の際に、高所作業車も使用して風向風速を観測し、乱気流の発生状況と防雪柵の減風効果を調べた。(写真-5)

また、地吹雪が発生した際は、移動気象観測車で地吹雪の中を走行しながら、風向風速の観測とビデオ撮影を行った。

積雪深観測は、空港制限区域への立ち入り許可を受けた調査員が、“かんじき”を履いて雪面に測深棒を刺しながら徒歩で行った。



写真-5 移動気象観測(風向・風速)

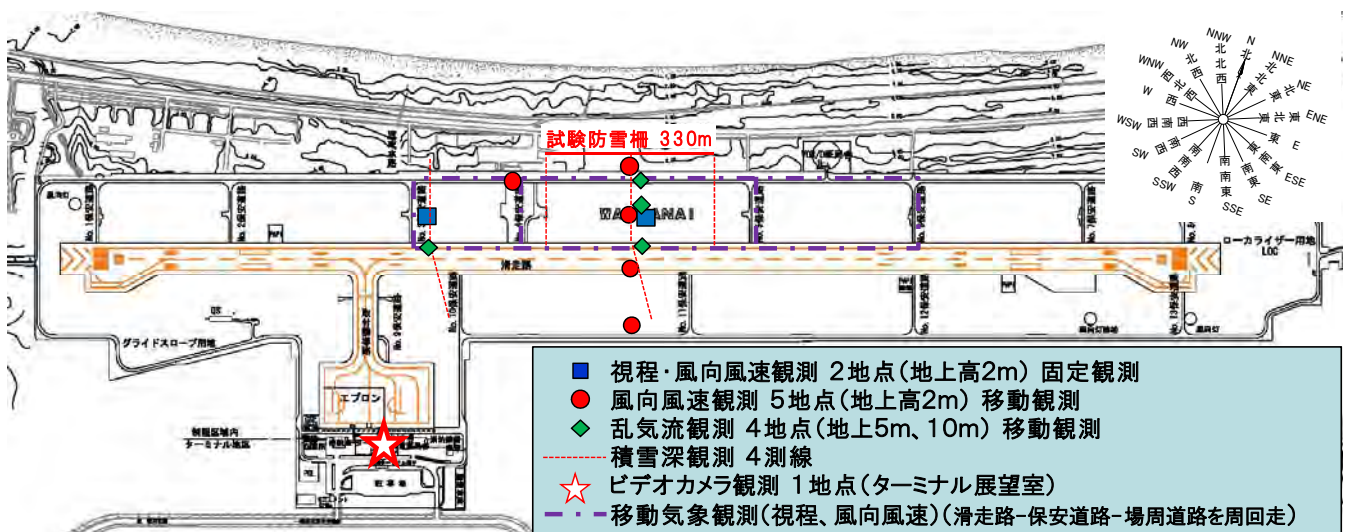


図-5 気象観測実施位置平面図

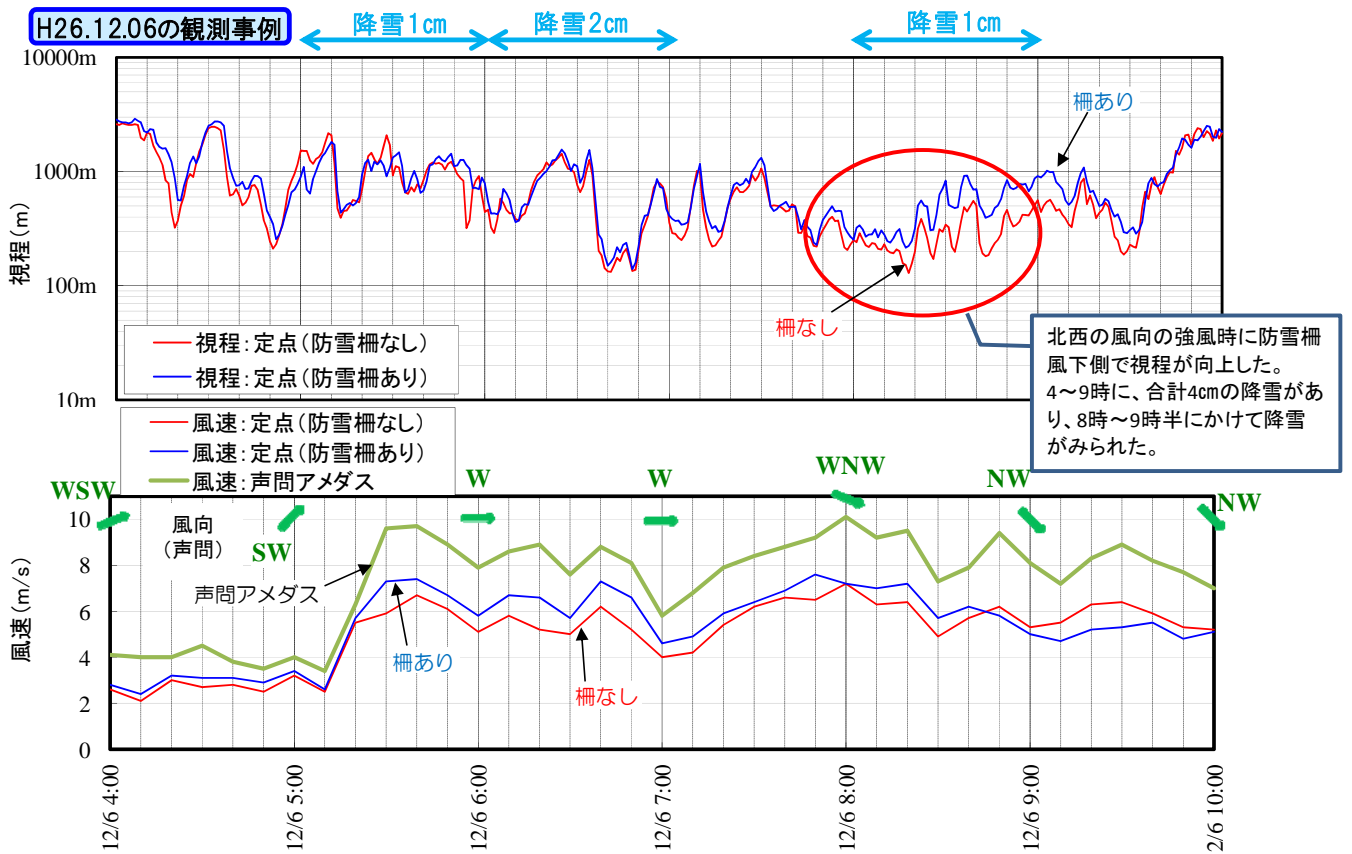


図-6 固定観測点 時系列グラフ(風向・風速・視程)

7. 観測結果 (視程)

今回設置した臨時的固定観測点の値と、気象庁が設置している声問アメダス点(稚内空港)の値を用いてデータを整理した。その一例を時系列グラフに示す。(図-6)

平成26年12月6日の視程と風向風速の時系列観測結果では、午前8時から午前9時30分の時間帯に、視程が150m~400mで推移しているところ、防雪柵風下側(柵あり側)の視程が50m~400m程度向上している。西向きの風から北西の風に変化したことで防雪柵の効果が現れたと考えられる。なお、この時間帯の気温は-5℃で1cmの降雪が記録されている。

次に、連続観測で得られた視程の観測結果を風向別に整理して、統計的に防雪柵の効果を確認した。縦軸が防雪柵あり(防雪柵風下側の固定観測点)の視程で、横軸が防雪柵なし(防雪柵影響範囲外の固定観測点)の視程のグラフに、同時刻の観測値が交わる点をプロットした。なお、防雪柵なし側の視程値が1,600m以上のデータは、着陸の制限値以上であるので、検討から除外している。

2分の1の傾き線より上にある点は、柵あり側の視程が柵なし側の視程より向上していることを表す。

試験防雪柵と直交する風向、北北西(NNW)の風では、向上している割合が68%である。(図-7)

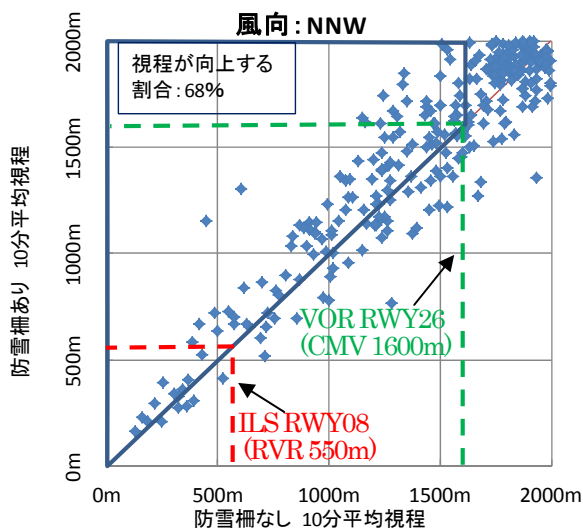


図-7 (柵なしと柵あり)の視程散布図 [北北西]

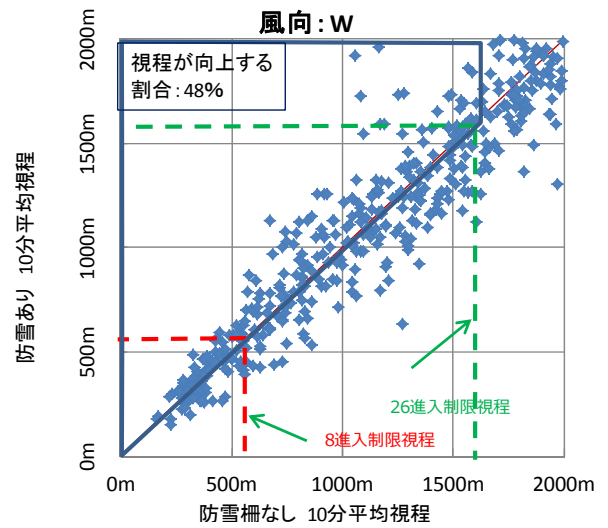


図-8 (柵なしと柵あり)の視程散布図 [西]

西風(W)の場合では、柵ありが向上している割合が48%であり、防雪柵の効果は認められない。(図-8)

一方、北北東(NNE)の風では、柵ありの視程値の向上率が86%であった。(図-9)

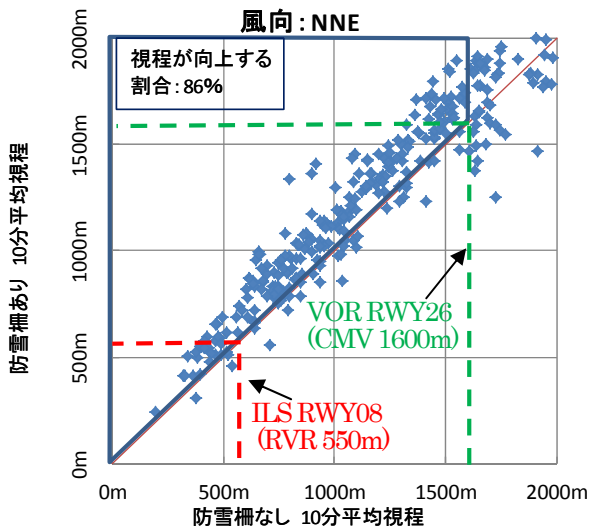


図-9 (柵なし)と(柵あり)の視程散布図 [北北東]

風向別の分析結果から、地吹雪を発生させる風が、防雪柵に直交する風向(北北西)と±2方位の計5方位の場合に防雪柵の効果による視程の向上が確認できた。

次に、防雪柵の効果によって、視程がどの程度向上するか検討した。ここに示すのはその一例である。

この例では、風向が西北西から北北東の5方位のときの視程のうち、1時間内の視程差の正の最大値をプロットして、防雪柵の効果が現れた場合の視程向上値を算出した。

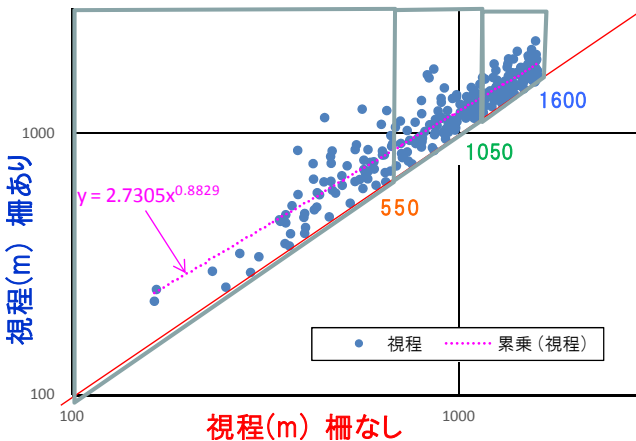


図-10 固定観測点の視程[柵なしと柵あり]の対数分布図

視程0mから1,600mを三つの区分に分けて、視程の向上値を算出した。(図-10)

防雪柵がない場合の視程が550m未満のとき、視程の向上値は180m、550m以上1,600m未満の時は、230mの視程の向上が見込めると試算結果となった。(表-1)

表-1 観測視程 (柵あり)と(柵なし)の視程差(向上値)

視程(m) [柵なし]	視程差(m),向上値 [柵ありと柵なしの差]
0~550	180
550~1,050	230
1,050~1,600	230

8. 観測結果 (滑走路視認性)

空港ターミナルビルの展望デッキに設置した、2台のビデオカメラの観測で、防雪柵の効果を確認した。

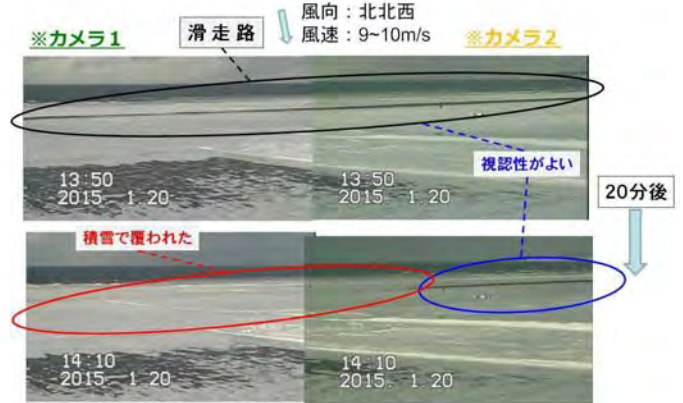


写真-6 ビデオカメラによる観測 (H27/1/20)

平成27年1月20日の画像では、13時50分には滑走路全体が黒く視認できていたが、20分後には、地吹雪が発生して滑走路が雪で覆われた。しかし、試験防雪柵の風下側の滑走路は、黒く視認できる状態である。(写真-6)

地吹雪が発生していた平成27年2月1日の移動気象観測車による観測では、試験防雪柵のない区間の滑走路を走行しているときは、スノースネークと呼ばれる雪の移動が発生していたが、試験防雪柵の風下側では、その現象は観測されなかった。(写真-7、写真-8)



写真-7 移動気象観測車による撮影(柵なし)(H27/2/1)



写真-8 移動気象観測車による撮影(柵あり)(H27/2/1)

9. 観測結果 (乱気流)

移動観測によって得られた地上高5mと10mの風向風速のデータを基に乱気流の発生状況を分析した。(図-11)

試験防雪柵に隣接する風下側では、風速が上下に大きく乱れて、乱気流階級「並」(算定突風速度 V_{de} : 6.10m/s~10.67m/s) の乱気流が発生している。滑走路上では、乱気流階級「弱」(算定突風速度 V_{de} : 1.52m/s~6.10m/s) 相当の乱気流が発生しているが、柵なし側と柵あり側の風の乱れは同じ範囲に入っており、防雪柵の影響は及んでいない。

また、防雪柵の減風効果は、着陸帯半ば(滑走路中心線から100m程度)まで達していることが確認できた。そのことによって、着陸帯から滑走路への飛雪量の減少が期待できる。

さらに、風速分布や乱気流の観測結果は、数値シミュレーションの結果と良く合致していた。

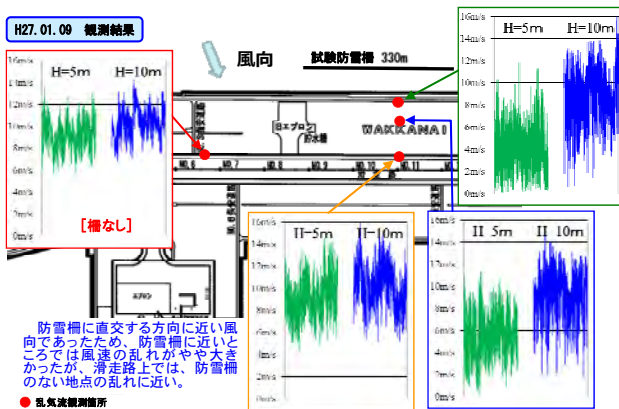


図-11 乱気流観測結果(風速)

10. アンケート調査

エアラインパイロットと空港除雪担当者へのアンケート調査を実施した。

エアラインパイロットへのアンケート(延べ81人)では、防雪柵の無い区間で「滑走路が見えにくかった」、「雪が多かった」という回答がそれぞれ一つずつあった。

乱気流に関しては、防雪柵の風下側で運航に影響を及ぼす風の乱れを感じたパイロットはいなかった。

除雪担当者(除雪作業経験:平成24年度~平成26年度)からは、「北寄りの風の時、防雪柵の風下側の滑走路では、地吹雪の発生は少なくなっているが、除雪労力に差はない」と、「場周道路では乱気流で雪が舞う」との回答があった。

11. 欠航便の救済効果

現地での観測結果から防雪柵には一定の効果があることは確認できたが、それらが航空機の就航にどの程度の効果があるのか分析を行った。(図-12)

過去5年間(平成21年度~平成25年度)の冬期(11月~3月)の到着便の欠航を原因別に分類し、その中から、視

程が悪く着陸できなかった便を抽出する。なお、防雪柵による除雪労力の低減や路面コンディションの向上の効果は確認できなかったため、視程のみが原因で欠航した便を対象とした。

視程のみが原因で欠航した便のうち、試験防雪柵の観測結果から、以下の3条件を同時に満たす場合、防雪柵が設置されていれば着陸可能であったと判定した。

- ・風向きが西北西から北北東の5方位の場合
- ・天候が地吹雪または降雪1cm/h以下の場合
- ・防雪柵の効果で向上後の視程が着陸制限値以上となる場合

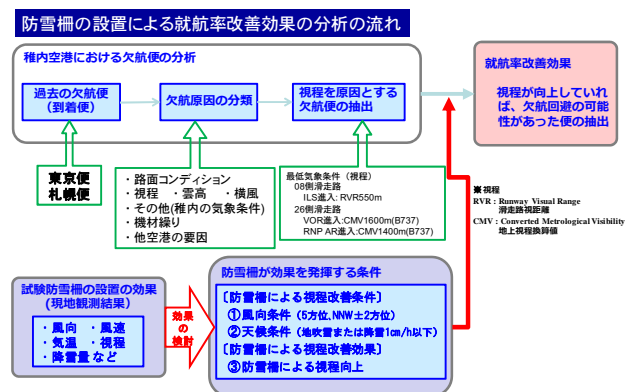


図-12 防雪柵設置による就航率改善効果の分析の流れ

視程が原因で欠航した便のうち、防雪柵の効果で視程が向上していれば着陸できていたと推定できる便を抽出し、それを欠航便の救済すなわち就航率の改善効果と想定した。

分析期間:平成21年度~平成25年度(5年間)

対象便:冬期(11月~3月)、到着便(羽田便、新千歳便)

全便数: 2,263便

欠航便: 317便 (就航率86%)

視程のみが原因の欠航便: 42便

欠航便救済: 7便

ただし、防雪柵の視程向上効果を180m~230mとした場合

12. まとめ

屋内空港に防雪柵を設置した場合、一定の気象条件のもとで視程が向上することが確認できた。さらに、滑走路の視認性が改善されることも確認できた。

また、乱気流の発生による航空機の運航への影響は確認できなかった。

防雪柵による視程の向上効果によって、過去5年間における推計で、最大で7便(到着便)の欠航を減少させる可能性があることが確認できた。