



Title	電線着雪実験用風洞
Author(s)	若浜, 五郎; WAKAHAMA, Gorow; 小林, 俊一 他
Citation	低温科学. 物理篇, 38, 183-187
Issue Date	1980-03-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18404">https://hdl.handle.net/2115/18404</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	38_p183-187.pdf



Gorow WAKAHAMA, Shun'ichi KOBAYASHI and Katutosi TUSIMA 1979 Short Report: In Situ Wind Tunnel for Snow Accretion Experiments Using Natural Snow Flakes. *Low Temperature Science, Ser. A, 38.*

## 電線着雪実験用風洞\*

若浜五郎・小林俊一・対馬勝年

(低温科学研究所)

(昭和54年10月受理)

### I. ま え が き

気温が $0\sim+2^{\circ}\text{C}$ で、風速が $10\sim 30\text{ m/s}$ の暴風雪下で起る「北海道型電線着雪」の発生、成長の機構を明らかにするため、これまでに屋内低温風洞や人工着雪装置を用いて電線着雪の基礎実験が行われてきた<sup>1-5)</sup>。

しかし従来の風洞実験で使われた雪の試料は、積雪塊を篩でほぐして粉状ないし粒状の雪にしたものに $0^{\circ}\text{C}$ の霧水をふきつけてぬらして用いたので天然の着雪時に降る湿雪雪片とはかなり性質の異なるものであった。従ってわれわれが風洞実験で得た種々の結果をそのまま天然の着雪現象にあてはめるのは多少危険である。そこでわれわれは自然の降雪雪片をそのまま電線に衝突させ、着雪を起すことができるような野外風洞を試作した。本報告では、その概略とそれを用いて行なった着雪の観測例、および着雪が発達しうるか否かの臨界降雪強度についてのべる。

### II. 野外風洞の概要

試作した野外風洞は高さ約 $4.5\text{ m}$ のたて型の吸込み風洞で(第1図)、本研究所本館(3階建)の屋上に設置された木造の小屋の中に納められた。本体の材質は厚さ $5\text{ mm}$ の透明な塩化ビニール板である。小屋の屋根の上に口を開いた降雪雪片の取り込み口は一辺が $1\text{ m}$ の正方形断面であるが、その下方の試験電線を取り付けた部分は一辺 $35\text{ cm}$ の正方形断面に絞ってある。取り込み口と試験線部分の断面積の比が $8.2:1$ なので、試験線に対する降雪強度は天然のその約8倍になるはずである。しかし実際に自然降雪時に取り込み口と試験線部分における降雪強度を同時観測してみたところ、両者の比は $1:(4\sim 8)$ であった(第4図参照)。

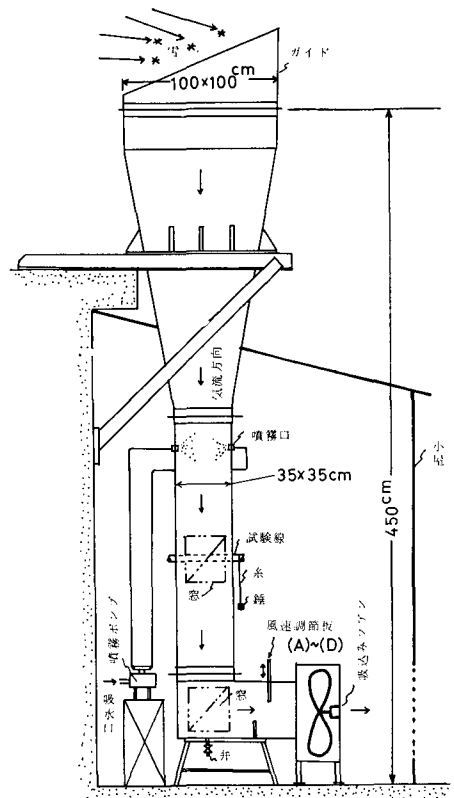
吸込み用のファンは三相 $200\text{ ボルト}$ 、直径 $60\text{ cm}$ の大型扇風機である。風洞内の気流速度はファンの前方に取り付けた風速調節板を上下することによって $2.5\sim 7.0\text{ m/s}$ の範囲に変えることができる。風洞内の風速分布を測定したところ、壁面付近から風洞中心部に至る間で風速はほぼ一樣なことが確かめられた。

天然の着雪が起るためには、気温が $0\sim+2^{\circ}\text{C}$ で $3\text{ mm/h}$ 以上の大きな降雪強度のぬれ雪

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2176号

が数時間持続して降ることが必要といわれる<sup>6)</sup>。札幌でこのような諸条件を同時に満たす降雪は冬期間を通じて1回あるかないかである。多くの場合降雪強度は1 mm/h 以下であり、また、時に2~3 mm/h の雪が降っても気温が0°C 以下のことが多い。降雪強度だけについていえば、上述のように風洞を絞ることによって降雪強度を自然の値の4~8倍に高めることはできた。しかし同時に風洞内の温度を上げることは今回はうまく行かなかった。例えば圧力釜を改造した蒸気発生装置を用いて風洞内に蒸気を噴出させたり、赤外線ランプで照射したりしたがいずれも好い結果は得られなかった。そこで、ぬれ雪にするために噴霧装置を用いて風洞内に吸い込んだ雪を強制的に湿らせたところ、試験線に着雪はできたものの、着雪体に含まれた水が凍結して着氷状になってしまった。

そこで今回は、気温が+1°C 前後のときに降る自然のぬれ雪片を木風洞内に吸い込んで実験を行った。実験中は風洞内の気流速度は7 m/s に保たれ、試験線は直径2 cm のアルミ管と「より線」が用いられた。



第1図 野外風洞装置

### III. 観測例

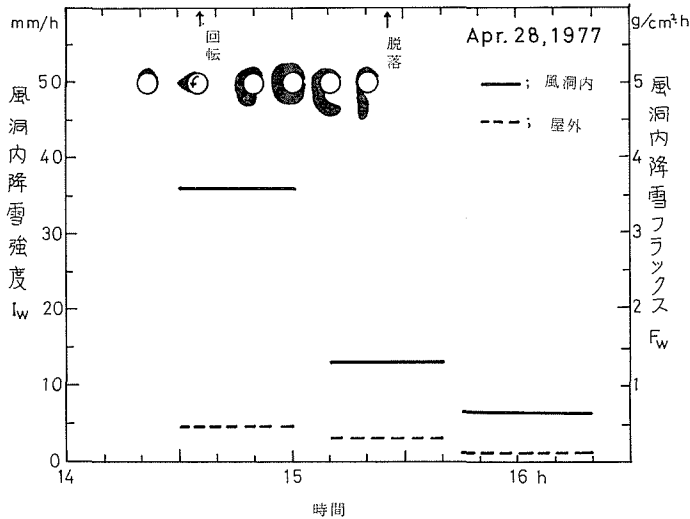
観測を行なった1977年1月から1978年3月までの間に、自然状態の降雪雪片を用いて実験ができたのは次のべるわずか2回に止った。

#### (1) 1977年4月28日の例

この日の午後は気温が+1.0°C 前後、自然状態での降雪強度  $I_0$  は雨に換算して1~4 mm/h (降雪フラックス  $F_0$  にして0.1~0.4 g/cm<sup>2</sup>·h) のかなり激しい雪が降った。14時20分ころから着雪が発達し始め、15時25分ころにそれが脱落するまでの様子を第2図の上部に模式的に示した。14時30分から15時にかけての降雪強度  $I_0$  は4.4 mm/h で、この間に着雪は次第に成長して筒雪状になった。この時、風洞内の降雪強度  $I_w$  は36 mm/h であった。その後、15時10分ころから屋外の降雪強度が3.1 mm/h (風洞内で  $I_w=13$  mm/h) に減少すると着雪の発達はとまり、筒雪状の着雪は切れて半分垂れ下り、ついには脱落してしまった。

#### (2) 1978年3月11日の例

この日の午前9時から10時の間、気温は+0.8°C、屋外の降雪強度  $I_0=3.6$  mm/h (風洞内の降雪強度  $I_w=18.6$  mm/h) のとき着雪が発達し始めた。その状況を第3図 a に示す。10~11時にかけては  $I_0=4.9$  mm/h ( $I_w=17.3$  mm/h) で、筒雪状の着雪となった(第3図 b)。その後11~



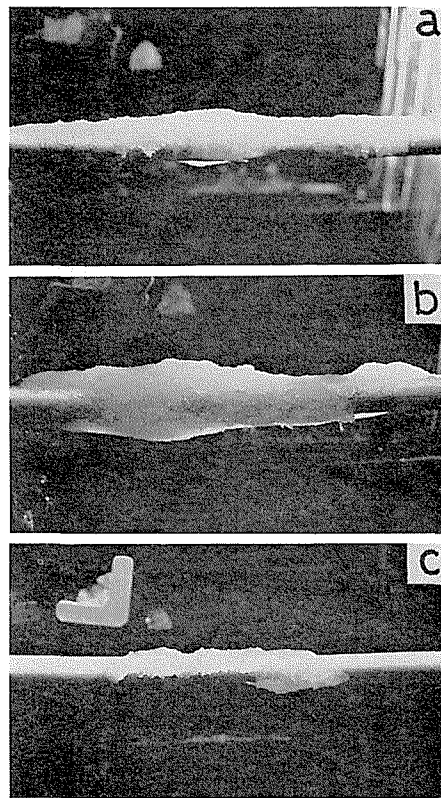
第2図 着雪の成長脱落と降雪強度の観測例 (1977年4月28日)

12時の間は  $I_0=2.2$  mm/h,  $I_w=11.0$  mm/h と降雪強度が低下するに伴い、着雪体から雫が落ちて着雪はやせる傾向となり、12~13時には  $I_0=1.3$  mm/h,  $I_w=10.3$  mm/h に減少すると第3図cの如く、すっかりやせ細ってしまった。その後13~14時には、 $I_0=0.3$  mm/h ( $I_w=1.3$  mm/h) となり、着雪体はほとんど消滅した。

以上わずか2回の観測例ではあるが、着雪が発達するにはある臨界の降雪強度が必要であるように思われたので、それについて次のべる。

IV. 着雪の発達に必要な臨界降雪強度

前報告<sup>4)</sup>ですでにのべたように、われわれが室内の風洞で着雪実験を行なったとき、風洞内に送り込む降雪の強度が雨に換算して200 mm/hをこえないと着雪は筒雪にならず途中で脱落してしまった。しかし200 mm/hという大きな降雪強度は自然界では起らない。重大な電線着雪事故が起ったときの降雪強度は5~10 mm/h といどと報告されている。室内風洞実験で用いた雪は積雪をほぐして用いたので自然降雪雪片より付着力や捕捉率が小さく、従って、臨界降雪強度を過大に評価した可能性がある。従って自然界での臨界降雪強



第3図 着雪の成長 (1978年3月11日の例)

- a) 11時50分 降雪強度  $I_w=17.3$  mm/h
- b) 12時00分 //  $I_w=10.1$  mm/h
- c) 13時00分 //  $I_w=10.3$  mm/h

度は室内風洞で得た 200 mm/h の半分かそれ以下、つまり 100 mm/h 以下と考えてもよからう。しかしそれでもなお自然界で観測される降雪強度よりもひと桁は大きい。そこで今回の屋外風洞で自然降雪雪片を用いて行なった着雪実験の結果から、着雪に必要な降雪強度を求めてみた。第 4 図の縦軸に風洞内の降雪強度  $I_w$  を、横軸に風洞外の降雪強度  $I_0$  をとり、観測された値を記入した。ここで黒丸 (1977 年 4 月 28 日)、黒三角 (1978 年 3 月 11 日) は着雪が成長しつつある時の値、白丸と白三角は着雪がやせつつある時の値である。

観測回数は少ないが、電線に対する降雪強度が 15 mm/h 以上の降雪が 1 時間以上持続すれば筒雪状の着雪が発達しうることがわかった。この値は着雪が起るに必要な臨界降雪強度と考えてよからう。

次に、今ここで求めた臨界降雪強度を実際に電線事故が発生した時の降雪強度と比較してみよう。近年北海道で発生した電線着雪事故発生時の気象条件は気温が  $0 \sim +2^\circ\text{C}$ 、風速が 10~20 m/s、降雪強度が 3~5 mm/h 程度である。降雪強度だけについてみると、この値は今回われわれが求めた臨界降雪強度の 1/5~1/3 にすぎない。しかしこの違いは次のように考えればよからう。

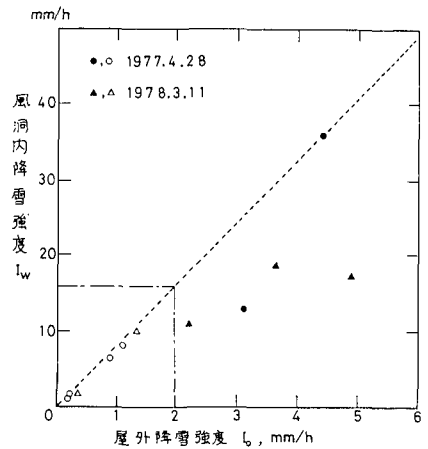
着雪事故発生時の降雪強度 3~5 mm/h は地上で観測された降雪強度  $I_0$  (mm/h) である。ところで北海道で重大事故を起したときの着雪は上述のように平均 10 m/s 以上の強風下で起っている。強風の下では電線に対する実質降雪強度  $I_n$  (mm/h) は一般に地上で観測された強度  $I_0$  よりも大きい。すなわち、今、雪片の空間密度を  $\rho_s$  (g/cm<sup>3</sup>)、雪片の落下速度を  $v$  (m/s)、風速を  $u$  (m/s)、水の密度を  $\rho_w$  (g/cm<sup>3</sup>) とすると、地表面および電線の単位面積を単位時間に通過する際の雪のフラックス  $F_0$ ,  $F_n$  はそれぞれ、

$$F_0 = \rho_w \cdot I_0 = \rho_s \cdot v \quad (1)$$

$$F_n = \rho_w \cdot I_n = \rho_s \cdot \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

従って、 $I_n/I_0 = \sqrt{\left(\frac{u}{v}\right)^2 + 1}$  となる。 $v$  は 1 m/s の程度だから、 $u$  が 10~20 m/s のとき、 $I_n/I_0 \approx u/v$  となる。従って、 $u=10$  m/s の場合、 $I_n/I_0 \approx 10$ 、 $u=20$  m/s のときは  $I_n/I_0 \approx 20$  となる。従って、着雪事故発生時の降雪強度  $I_0=3 \sim 5$  mm/h は、風速が 10 m/s および 20 m/s の下にある電線に対する実質降雪強度  $I_n$  に換算すると 30~100 mm/h となる (フラックスにすると、 $F_n$  が 3~10 g/cm<sup>2</sup>・h となる)。この値は、われわれが室内風洞実験の結果から推定した臨界降雪強度 100 mm/h かそれ以下という値と一致するが、今回の自然降雪を用いた風洞内で得られた値 15 mm/h よりは数倍も大きい。

これらのことから考えると、実質降雪強度  $I_n$  が 15 mm/h を越えると筒雪状の着雪が発達



第 4 図 風洞内降雪強度  $I_w$  と風洞外降雪強度  $I_0$  との関係

して事故が起りはじめるが、さらに  $I_n$  が大きくなって 30~100 mm/h ていどになると送電鉄塔の倒潰を含むような重大事故をひき起す大着雪にまで発達することが予想される。

次に、降雪強度が着雪の発達するか否かを支配するのはなぜか、その物理的な理由を考えてみよう。着雪が発達するためには、先ず筒雪状の着雪ができなければならないが、降雪強度が弱いと筒雪になる前に脱落してしまう。また、いったん筒雪ができて、途中で降雪強度が低下すると第3図のところでのべたように着雪は脱落してしまう。従って、直径が 30 cm もあるような大きな着雪に発達するには、電線に対する実質降雪強度が 30~100 mm/h (フラックスにして 3~10 g/cm<sup>2</sup>·h) ていどの降雪が少くとも数時間持続する必要があると考えられる。

#### IV. あとがき

従来行ってきた室内風洞による着雪実験では、積雪塊をほぐしてばらばらにした雪を風洞内に送り込んで用いたので、自然の降雪雪片が起す着雪現象とは違うおそれがある。そこで今回、自然降雪雪片を直接取り込めるような屋外風洞を試作して電線着雪を観測した。観測回数が少ないので決定的なことはまだいえないが、7 m/s ていどの風が吹く環境下で電線着雪を起す臨界の降雪強度として 15 mm/h を得た。但しこの風洞では風は電線に対して上方から吹きつける欠点がある。今後は風を電線の側方から吹かせるように風洞を改良する必要がある。

最後に、風洞の製作に当って御協力いただいた本研究所の山田知充助手、高長太郎吉技官、桧森政治技官に心から感謝致します。

なお、本研究に要した費用の大部分は文部省科学研究費(自然災害特別研究 I, 着雪着氷災害対策の基礎的研究, 代表者・若浜五郎) から支出された。

#### 文 献

- 1) 五藤員雄・黒岩大助 1975 北海道における電線着雪とその発達抑止に関する研究. 雪氷, **37**, 182-191.
- 2) Wakahama, G., Kuroiwa, D. and Goto, K. 1977 Snow accretion on electric wires and its prevention. *J. Glaciol.*, **19**, 479-488.
- 3) 藤野和夫・小林俊一・若浜五郎 1977 着雪の風洞実験 —着雪周辺の風速分布—. 低温科学, 物理篇, **35**, 147-156.
- 4) 若浜五郎・小林俊一・対馬勝年・鈴木重尚・矢野勝俊 1978 電線着雪の風洞実験 —高風速下での着雪の成長—. 低温科学, 物理篇, **36**, 169-180.
- 5) 竹内政夫 1978 道路標識の着雪とその防止. 雪氷, **40**, 117-127.
- 6) 栗原正之・五藤員雄・蒔田 孝・中村英夫 1972 最近の電線着雪事故と発生プロセスについて. 日本雪氷学会秋季大会講演予稿集(昭和47年), 90.