

## 除雪機械に関する研究 : 除雪ロータリ装置の性能に関する所見

|                |   |
|----------------|---|
| その他（別言語等）のタイトル | A Note on a Snow-handling Machinery : Experiments and Analyses about a Snow Rotary Blower |
| 著者             | 奥田 教海   |
| 雑誌名            | 室蘭工業大学研究報告  |
| 巻              | 4   |
| 号              | 3   |
| ページ            | 557-567   |
| 発行年            | 1964-06-30  |
| URL            | <a href="http://hdl.handle.net/10258/3199">http://hdl.handle.net/10258/3199</a>           |

# 除雪機械に関する研究

除雪ロータリ装置の性能に関する所見

奥田 教海

## A Note on a Snow-handling Machinery Experiments and Analyses about a Snow Rotary Blower

Kyōkai Okuka

### Abstract

In spite of presence of many difficulties in flowing snow out of the country roads and railroads in snowy zone, few researches into snow-handling machinery have been pursued in Japan.

In this report the author states the trial experiments and engineering analyses about a snow rotary blower device on DD-14 type Diesel-motive engine for railroads, with fluid torque converters, belonging to Japan Railroad Department.

According to calculations by angular momentum theory used to apply to general turbomachinery, it seems that very little horsepower is to be lost to make snow flow into and out of impeller channels of the snow blower. It is found that very much horsepower is to be exhausted to share and gather snow into front sideblades of the blower, according to calculations by an experimental formula. It is necessary, therefore, to lighten the resistance of sharing and gathering snow on railroads for making snow-handling successful.

Next, the author provides an equation of motion about snow flow out of the impeller, and then he draws a comparison about data between solutions of the equation and results of the experiments. The trial by the author is successful with a few errors.

### 1. 緒 言

積雪寒冷地帯の鉄道および道路の除雪には、積雪の状態や除雪の目的に応じて、現在各種の除雪機械が使用されているが、それら機械をよりよく設計するための除雪作用の理論的根拠や設計資料を得るための実験的研究は、非常に少ない。冬期の交通確保の上から見て、除雪機械に関する研究は重要問題の一つと思考される。

この報告では、最近北海道で使用され始めた除雪ロータリ装置に関して、一所見を述べる。今後の除雪機械研究の上に何等かの参考となれば幸である。

### 2. 研究の方法

本研究に入る第一段階として、昭和38年1月に行なわれた日本国有鉄道苗穂工場の除雪

ロータリ装置付ディーゼル機関車の除雪試験に立合った。その際、観察、写真撮影などによって、後に述べる理論的解析に必要な概数値が得られたので、それらを基として考察を進める。

### 3. 除雪ロータリ装置およびディーゼル機関車

除雪ロータリ装置の概略は、図-1に、ディーゼル機関車の外観は、図-2に、その諸元は表-1に示す。

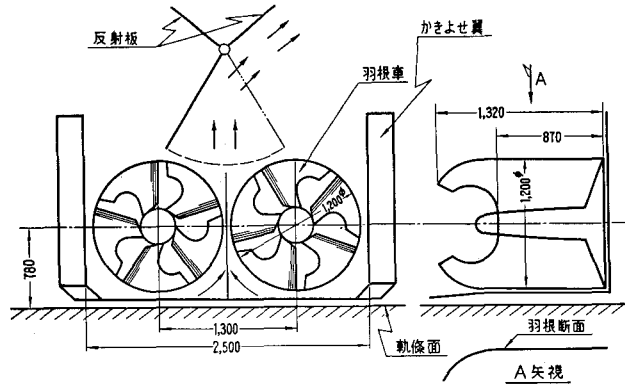


図-1 除雪ロータリ装置

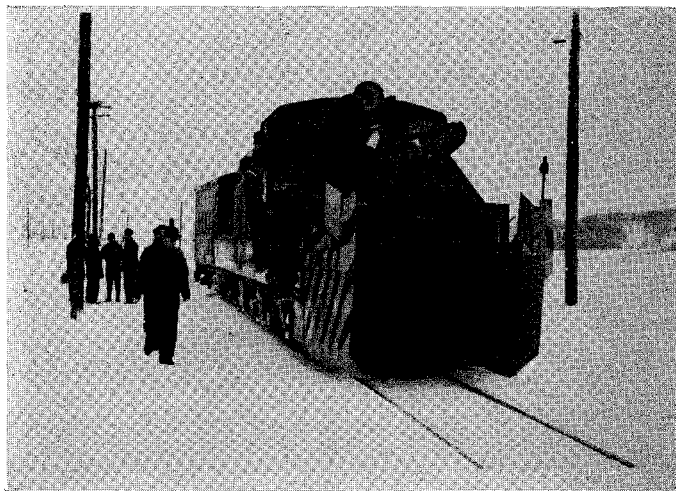


図-2 機関車外観図

表-1 DD-14形ディーゼル機関車の諸元

|               |           |               |            |        |
|---------------|-----------|---------------|------------|--------|
| 全 長 (除雪装置を含む) | 18,600 mm | 全重量 (除雪装置付) { | 運転整備時      | 約 73 t |
| 全 幅           | 2,974 "   |               | 空 車 時      | 約 66 t |
| 全 高           | 3,992 "   | 動 輪 直 径       | 860 mm     |        |
| 全 軸 距         | 12,250 "  | 最 高 速 度       | 77.4 km/hr |        |

|         |             |       |                      |
|---------|-------------|-------|----------------------|
| 最大引張力   | 14.5 t      | 出力    | 500 PS×2基            |
| ディーゼル機関 |             | 液体変速機 |                      |
| 形式      | DMF 31 SB-R | 名称    | SMR シンコー DS 1.2/1.35 |
| シリンダ    | 180×200×6   | 形式    | 2段4要素形油圧自動制御方式       |
| 回転数     | 1,500 rpm   |       |                      |

4. 除雪試験について

試験実施年月日 昭和 38 年 1 月 10 日  
 試験実施場所 北海道深名線全線  
 機関車および除雪装置 DD-14 形雪かき装置付液体式ディーゼル機関車  
 機関車および除雪装置の調節について

- a) 機関車の速度  $v = 1.5\text{--}10.0 \text{ m/sec}$  ( 5.4—36.0 km/hr)  
 [設計時想定値  $v = 4.2\text{--}12.5 \text{ m/sec}$  (15.0—45.0 km/hr)]
- b) ロータリ(羽根車)の回転数  $n = 358 \text{ rpm}$  (最高)
- c) ロータリの周速度  $u = 22.5 \text{ m/sec}$  (最高)
- d) かきよせ翼開度  $B = 2.05, 3.50, 3.90, 4.50 \text{ m}$  の 4 段階
- e) 投雪方向 その場所の状況により右側または左側に変更した。

5. 除雪試験結果

下記各駅構内における除雪試験の結果は、写真よりの判定値を含め、ほぼ次の通りである。

表-2 除雪試験結果

| 項目                               | 駅名             |             |                  | 備考   |
|----------------------------------|----------------|-------------|------------------|--|
|                                  | 朱 鞠 内          | 朱 鞠 内       | 添 牛 内            |  |
| 気 温 (°C)                         | -8             | -8          | -5               | B はかきよせ翼開度,<br>h は雪の盛り上り高さ,<br>$\alpha$ は水平線となす角。<br>$\alpha, H, L$ の値の中太字は<br>投雪主流についての値。 |
| 雪 質                              | 乾いた硬雪, 軽       | 乾いた硬雪, 軽    | 軌条にかきよせた乾いた雪, 中重 |  |
| 機関車の速度 (v/m/sec)                 | ≈1.0           | ≈1.0        | ≈1.0             |  |
| 除雪量 ( $B \times h \text{ m}^2$ ) | 3.9×1.0        | 3.5×0.9     | 4.5×1.0          |  |
| 投雪角度 ( $\alpha^\circ$ )          | 40—50—58       | 45—52—70    | 40—50—60         |  |
| 投雪高さ (Hm)                        | 5.0—7.0—8.0    | 4.5—6.5—8.3 | 4.0—5.0—5.8      |  |
| 投雪距離 (Lm)                        | 18.0—22.0—23.0 | 12.0—16.0   | 10.0             |  |
| 投雪方向                             | 左 側            | 左 側         | 右 側              |  |
| 投雪状態                             | 粉 雪 状          | 粉 雪 状       | 粉雪に小塊混入          |  |

6. 除雪試験結果に関する考察

A. 雪の流動経過について

この試験で観察した結果を定性的に 図-3 の記号を用いて表わせば、表-3 のようになる。  
 なお、反射板を過ぎる時、およびそれ以後の流動については、D 節に示す。

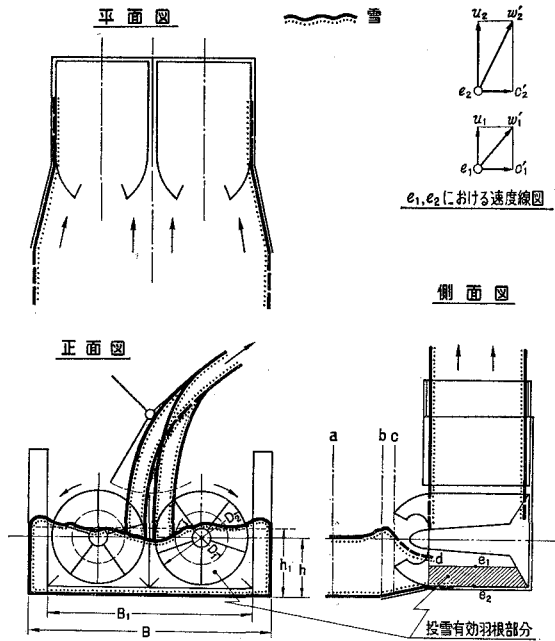


図-3 雪の流動

表-3 雪の流動

| 雪の状態 | 雪の位置             |             |  |  |
|------|------------------|-------------|--|--|
|      | かきよせ翼前<br>端<br>a | 羽根車の前<br>b  | 羽根車先端<br>c   | 羽根車内<br>d  |
| 幅    | B                | $B_1 (< B)$ | $\left\{ \frac{\pi}{4} D_2^2 + 2D_2(h_1 - h) \right\}$ | $\left\{ \frac{\pi}{2} (D_2^2 - D_1^2) \right\}$ |
| 高さ   | h                | $h_1 (> h)$ |  |  |
| 速度   | v                | $v_1 (< v)$ | $\approx v_1$  | 進行方向 $c_2$<br>円周方向 $u_1 \rightarrow u_2$         |

B. 所要投雪動力

上に示したように、雪の流動については、まだ定量的な解析結果を求めることのできる段階に至っていないが、除雪作業中の最悪条件の下、またはそれに近い状態における 2, 3 の数値例を挙げて所要投雪動力についての目安を得る計算を行なう。

羽根車内の雪の流動については、実験観察の結果からは、図-3 に示すように、投雪有効羽

根部分を考慮すべきであると考えられるが、ここでは一般的な羽根車を持つ流体機械の角運動量理論を適用してみることにする。図-4(a)において、一般的な回転羽根車の場合の、流体に与えられる動力  $N_0$  は、

$$N_0 = \frac{rQ}{g} (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) \text{ kgm/sec} \dots (1)$$

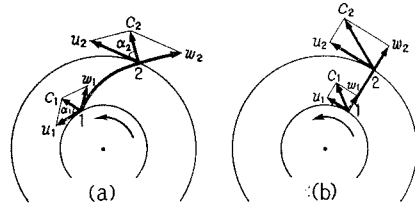


図-4 速度線図

で与えられる。ただし  $r$  は流体の単位体積の重量、 $Q$  は流量、 $g$  は重力の加速度、 $u$  は周速度、 $c$  は絶対速度、(図中の  $w$  は相対速度)、添字 1, 2 は入口および出口を示し、 $\alpha$  は  $u$  と  $c$  のなす角とする。

このロータリ装置の場合は、図-4(b)のように放射状直線羽根車であるから、

$$c_1 \cos \alpha_1 = u_1, \quad c_2 \cos \alpha_2 = u_2$$

であり、したがって

$$N_0 = \frac{rQ}{g} (u_2^2 - u_1^2) \text{ kgm/sec} \dots \dots \dots (2)$$

となる。ここで機関車に搭載されている機関の動力の中、投雪に消費される動力を  $N_1$  PS、伝達効率を  $\eta_1$ 、羽根車効率を  $\eta_2$  とすると、

$$2N_0 = 75 \times N_1 \times \eta_1 \times \eta_2 = \frac{2rQ}{g} (u_2^2 - u_1^2)$$

ただし、上式の初めの 2 は羽根車 2 基分を表わす。従って、

$$N_1 = \frac{2rQ(u_2^2 - u_1^2)}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot g} \text{ PS} \dots \dots \dots (3)$$

となる。ここで見積ることの困難な  $u_1$  については、これを省略する。(省略すれば、 $N_1$  が大きくなり、 $N_1$  を安全側に見積ることとなる。) 従って

$$N_1 = \frac{2rQu_2^2}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot g} \text{ PS} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、流量  $Q$  を先ず見積らなければならない。雪は図-3に示すように、断面  $b$  で盛り上りを見せ、この部分である量の雪が停滞するわけであるが、断面  $a$  にある雪は、結局すべて投雪されるものとするれば、求める雪の流量  $Q$  は、 $B$  をかきよせ翼の開度 (m)、 $h$  をかきよせた雪の高さ (m)、 $v$  を機関車の速度 (m/sec) とすると、

$$Q = Bhv \quad \text{m}^3/\text{sec} \dots \dots \dots (5)$$

となる。 $B=4.5$  m (最大)、 $h=0.78$  m (羽根車中心の地上高)、 $v=12.5$  m/sec = 45 km/hr (除雪作業の想定最高速度) とおけば、

$$Q = 4.5 \times 0.78 \times 12.5 = 43.9 \text{ m}^3/\text{sec}$$

また、周速度  $u_2$  については、 $n=358 \text{ rpm}$  (最高) をとり

$$u_2 = \frac{\pi n}{30} r_2 = \frac{\pi \times 358}{30} \times 0.6 = 22.5 \text{ m/sec}$$

雪の比重  $\gamma$  は、北海道における雪の値として 0.45 とする。伝達効率  $\eta_1$ 、羽根車効率  $\eta_2$  をそれぞれ 0.8, 0.7 と仮定すれば (4) 式より

$$N_1 = \frac{2\gamma Q u_2^2}{75\eta_1\eta_2g} = \frac{2 \times 0.45 \times 43.9 \times (22.5)^2}{75 \times 0.8 \times 0.7 \times 9.8} = 48.6 \text{ PS}$$

となる。もし羽根車内で、雪が羽根により衝撃的に圧縮され、結果として  $r=0.6$  とみなされるような極端な状態を想定すれば、

$$N_1 = 48.6 \times \frac{0.6}{0.45} = 64.8 \text{ PS}$$

となる。

このディーゼル機関車は 500 PS 機関 2 基を搭載し、除雪作業の荷重に応じて 1 基または 2 基使用するようになっている。雪の流動状態が、かきよせ翼および羽根車内に閉塞したりすることのない正常な状態では、上記の計算から推量されることは、所要投雪動力が機関 1 基の定格出力のせいぜい 10~13% 程度の値であることである。

それで、観点を変えて、この機関車全体の動力の配分を考えてみると、所要投雪動力以外に大きなものとして雪をかきよせるための抵抗、すなわち排雪抵抗に打勝つべき動力が考えられる。次にこの排雪抵抗について概算を試みる。

### C. 排雪抵抗について

鉄道研究所で用いているラッセル車の実験式

$$R_s = r b h (2 + 0.36 v) \dots\dots\dots (6)$$

を用いる。ここで  $R_s$  は排雪抵抗 ( $t$ )、 $r$  は雪の単位体積の重量 ( $t/m^3$ )、 $b$ 、 $h$  はそれぞれ除雪幅 (m)、除雪高さ (m)、 $v$  は機関車の走行速度 (km/hr) である。B 節で用いた値を考慮して

$$r = 0.4 \text{ t/m}^3, \quad b = 3.5 \text{ m}, \quad h = 0.78 \text{ m}, \quad v = 15 \text{ km/hr}$$

とすれば、

$$R_s = 0.4 \times 3.5 \times 0.78 (2 + 0.36 \times 15) = 8.08 \text{ t}$$

排雪抵抗に打勝つべき機関の所要動力を  $N_2$  PS とし、伝達効率  $\eta=0.8$  とすれば、

$$75 \times N_2 \times \eta = R_s \times 1,000 \times v \times \frac{1,000}{3,600} = \frac{10^3}{3.6} \times R_s v$$

$$\therefore N_2 = \frac{10^3 \times R_s v}{3.6 \times 75 \times \eta} = \frac{10^3 \times 8.08 \times 15}{3.6 \times 75 \times 0.8} = 561 \text{ PS}$$

このディーゼル機関車の実際運転の場合にも、排雪に必要な動力として、この程度以上が想定されるので、機関の動力の相当大きな部分を消費することとなる。

**D. 投雪主流の軌道について**

除雪ロータリ装置より投げ出された雪は、勿論、放物線状に運動する。図-5, 図-6 に示すように初めは帯状をなしているが途中から粉雪状に拡散し、地面に到達するときには相当の拡がりを持っている。

雪は拡散されるとはいえ、なおその主流となる部分が存在するので、ここでその主流の軌道はいかなる形を呈するかについて若干考察を加えてみる。

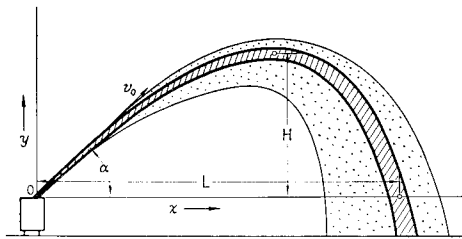


図-5 投雪流

表-4 投雪主流に関する値

| 試験番号                | I    | II   | III  |
|---------------------|------|------|------|
| 投雪角度 $\alpha^\circ$ | 50   | 52   | 50   |
| 投雪初速度 $v_0$ m/sec   | 22.5 | 22.5 | 15.7 |
| 投雪高さ $H$ m          | 7.0  | 6.5  | 5.0  |
| 投雪距離 $L$ m          | 22.0 | 16.0 | 10.0 |

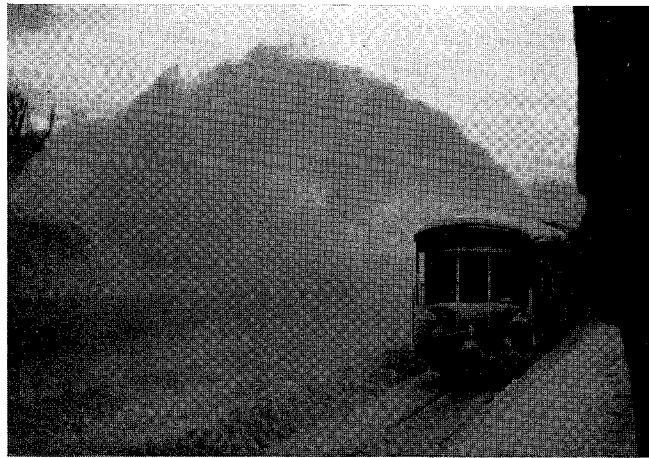


図-6 投雪流

投雪主流の軌道の方程式を求めるのに必要な資料を更めて表-2 より拾い、羽根車回転数より投雪初速度を算定して加えると、表-4 のようになる。

投雪主流の軌道の方程式を求める場合、問題を簡単化するために、機関車の任意の位置において投雪は軌条に直角な一平面内に行なわれるものと考え、二次元的問題として取扱う。

図-5 に示すように、投雪口上端中央を原点とし、軌条に直角な水平方向に  $x$  軸、これに直角に  $y$  軸をとる。



最初、重力のみを考え空気の抵抗を無視した、周知の放物体の運動の方程式をあげ、その後、この場合に適するように空気の抵抗を仮定した運動の方程式を導き、両者を表-4 の値により比較してみる。

### i. 放物体の運動の方程式

一般的な放物体の運動の方程式は、 $x, y$  方向の速度を  $v_x, v_y$ , 質量を  $m$ , 重力の加速度を  $g$  とするとき、

$$m \frac{dv_x}{dt} = 0, \quad m \frac{dv_y}{dt} = -mg$$

であり、初速度を  $v_0$ , 初速度の方向と水平線とのなす角を  $\alpha$  とするとき、放物体の軌道の方程式は

$$y = (\tan \alpha)x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 \dots\dots\dots (7)$$

である。従って投雪距離  $L$  m, 投雪高さ  $H$  m はそれぞれ

$$L = \left(\frac{v_0^2}{g}\right) \sin 2\alpha, \quad H = \left(\frac{v_0^2}{2g}\right) \sin^2 \alpha \dots\dots\dots (8)$$

で与えられる。

### ii. 空気の抵抗を考慮した場合の運動の方程式

雪の流れに対する空気の抵抗については、まだ一般的な解明は行なわれていないが、ここではこの問題を解き易いように次の2つの仮定を置く。

a) 雪は連続して空中に投げ出されるが、その帯状の投雪主流の断面積と等しい最大断面積をもつ雪球の運動とほぼ近い運動をなして雪は投げ出されるものとする。

b) その雪球は速度に比例する空気抵抗を受けるものとする。

a) で仮想した球の質量を  $m$  kgsec<sup>2</sup>/m, 断面積を  $A$  m<sup>2</sup>, 体積を  $V$  m<sup>3</sup>, 空気の密度を  $\rho_a$  kgsec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>, 次式に定義される抵抗係数を  $C_D$  とすれば、 $y$  方向の運動の方程式は

$$m \frac{dv_y}{dt} = -mg - C_D \cdot A \cdot \frac{\rho_a v_y}{2}$$

とおくことができる。従って、雪の密度を  $\rho_s$  kgsec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> とすれば、 $m = \rho_s V$  であるから

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{C_D \cdot A}{\rho_s V} \cdot \frac{\rho_a v_y}{2}$$

ここで上に仮想した球の直径を  $D$  m とすれば

$$\frac{A}{V} = \frac{\pi}{4} D^2 / \left(\frac{\pi}{6} D^3\right) = \frac{3}{2D}$$

であるから

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{3C_D \rho_a}{4D\rho_s} v_y$$

すなわち

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - k_y v_y \dots\dots\dots (9)$$

ただし

$$k_y = \frac{3C_D \rho_a}{4D\rho_s}$$

である。x 方向については g の項がなく

$$\frac{dv_x}{dt} = -k_x v_x \dots\dots\dots (10)$$

である。ただし

$$k_x = k_y = \frac{3C_D \rho_a}{4D\rho_s}$$

とおく。(9), (10) 式より  $v_x, v_y$  を求めると

$$v_x = v_{x0} e^{-kx} \dots\dots\dots (11)$$

$$v_y = \frac{1}{k} \{ (g + kv_{y0}) e^{-kt} - g \} \dots\dots\dots (12)$$

となる。ただし  $t=0$  で、 $v_x=v_{x0}, v_y=v_{y0}$  とおき、 $k_x=k_y=k$  とおいた。次に上式を更に積分して

$$x = \frac{v_{x0}}{k} (1 - e^{-kt}) \dots\dots\dots (13)$$

$$y = \frac{1}{k^2} \{ (g + kv_{y0})(1 - e^{-kt}) - kgt \} \dots\dots\dots (14)$$

が得られる。ただし  $t=0$  で、 $x=0, y=0$  とした。更にこの 2 式より  $t$  を消去すればこの場合の軌道の方程式が得られる。すなわち

$$y = \frac{g + kv_{y0}}{kv_{x0}} \cdot x + \frac{g}{k^2} \log_e \left( 1 - \frac{k}{v_{x0}} x \right) \dots\dots\dots (15)$$

となる。

iii. (7) 式と (15) 式との比較

両者は一見異なる式のように見えるが、(15) 式を級数に展開してみると、次に述べるように、(7) 式は (15) 式の特別な場合であると解釈することができる。

一般に  $-1 \leq X < 1$  なるとき

$$\log_e(1-X) = -X - \frac{X^2}{2} - \frac{X^3}{3} - \frac{X^4}{4} - \frac{X^5}{5} \dots$$

に展開されるので、この問題の場合に適用し、

$$-1 \leq \frac{kx}{v_{x0}} < 1$$

なるときには

$$\begin{aligned} \frac{g}{k^2} \log_e \left( 1 - \frac{k}{v_{x0}} x \right) &= -\frac{g}{k^2} \left\{ \frac{kx}{v_{x0}} + \frac{1}{2} \left( \frac{kx}{v_{x0}} \right)^2 + \frac{1}{3} \left( \frac{kx}{v_{x0}} \right)^3 + \frac{1}{4} \left( \frac{kx}{v_{x0}} \right)^4 + \dots \right\} \\ &= -\frac{gx}{kv_{x0}} - \frac{gx^2}{2v_{x0}^2} - \frac{gkx^3}{3v_{x0}^3} - \frac{gk^2x^4}{4v_{x0}^4} - \dots \end{aligned}$$

となる。また (15) 式右辺第 1 項は

$$\frac{g+kv_{y0}}{kv_{x0}} \cdot x = \left( \frac{g}{kv_{x0}} + \frac{v_{y0}}{v_{x0}} \right) x = \left( \frac{g}{kv_{x0}} + \tan \alpha \right) x$$

であるから、(15) 式は結局

$$y = (\tan \alpha) x - \frac{g}{2v_{x0}^2} x^2 - \frac{gkx^3}{3v_{x0}^3} - \frac{gk^2x^4}{4v_{x0}^4} - \dots - \frac{gk^{n-2}x^n}{nv_{x0}^n} - \dots$$

となり、(7) 式と比較すると、(7) 式はこの式の右辺第 2 項までを採ったものであり ( $v_{x0} = v_0 \cos \alpha$ )、第 3 項以降は、空気抵抗による影響を表わす項であるということになる。

さて、実際の数値例によって両者を比較して見よう。 $k=0.5$  または  $0.7$  とおき、 $v_0$ 、 $\alpha$  は表-4 の値をとれば、(7) 式について I の場合 (7-I とする。以下同様。)

$$y = 1.19x - 0.0234x^2$$

となる。

同様に、

$$7-II \quad y = 1.28x - 0.0255x^2$$

$$15-I \quad y = 2.54x + 39.2 \times 2.303 \times \log_{10}(1 - 0.0345x)$$

$$15-II \quad y = 2.238x + 20 \times 2.303 \times \log_{10}(1 - 0.0503x)$$

$$15-III \quad y = 2.58x + 20 \times 2.303 \times \log_{10}(1 - 0.0693x)$$

となる。 $y$  が 0 より出発して再び 0 になるまでの間に若干点をとって計算した結果を表-5 に示す。

表-5 投雪主流の軌道

| 7-I   |             | 7-II |             | 15-I |            | 15-II |            | 15-III |            |
|-------|-------------|------|-------------|------|------------|-------|------------|--------|------------|
| x m   | y m         | x    | y           | x    | y          | x     | y          | x      | y          |
| 0     | 0           | 0    | 0           | 0    | 0          | 0     | 0          | 0      | 0          |
| 15.0  | 12.6        | 15.0 | 13.5        | 8.0  | 7.6        | 8.0   | 8.0        | 4.0    | 3.8        |
| 25.45 | 15.2 (max.) | 25.0 | 16.0 (max.) | 13.6 | 9.8 (max.) | 10.7  | 9.0 (max.) | 6.7    | 4.8 (max.) |
| 35.9  | 12.6        | 35.0 | 13.5        | 18.0 | 7.6        | 14.0  | 7.6        | 9.0    | 3.7        |
| 40.0  | 10.2        | 40.0 | 10.4        | 22.0 | 0          | 17.0  | 0          | 11.0   | 0          |
| 50.9  | 0           | 50.0 | 0           |      |            |       |            |        |            |

この結果を図に表わしたものは図-7である。上表の  $y$  の値の (max) は表-4にある投雪高さ  $H$  であり、 $y$  が再び0になるときの  $x$  の値は投雪距離  $L$  であるから表-4の数値と比較して(7)式よりも(15)式の方がより近い値を与えることが解る。

(15)式は云うまでもなく、確かめる資料の少ないことや、係数  $k$  の値の採り方など数多くの疑問点を含んでい

るが、(15)式のような形の式によって投雪主流の軌道が示されるものと推論し、この式を提案する。

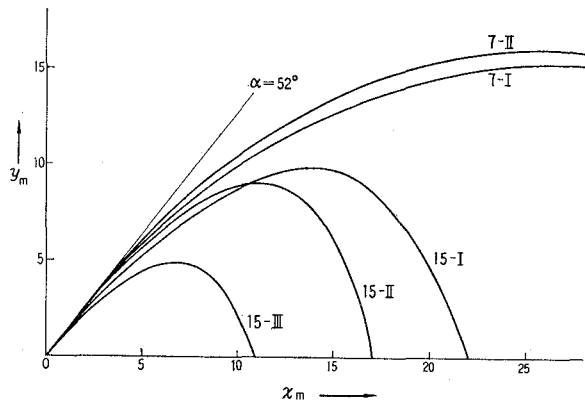


図-7 投雪主流の軌道

## 7. む す び

以上、除雪ロータリ装置についての試験および考察を述べたが、今後研究すべき重要な点として、次の事項があげられる。

(1) 正常な状態では除雪ロータリ装置の所要投雪動力は、北海道のような軽い雪質の場合さほど大きくないことが予想される。しかしながら、時としてかきよせ翼内および羽根車内に雪が閉塞する状態では過大な動力を必要とするようになる。それを避けるための諸条件を探ることが必要であり、そのためには雪の静的および動的な諸性質と羽根車との関係を更に調査検討すべきである。

(2) 羽根車内の雪の流動状態の解析によって、更に有効な羽根車の形態を考究すべきである。

(3) 排雪抵抗は相当大きいことが予想されるので、それを軽減する方法を考えるべきである。

(4) 投雪主流の軌道の方程式の一例を提案したが、更にこれに関して検討を行なうべきである。

終りに、この研究を実施するに当たり、北海道科学研究費補助金の交付を受けたことをここに特に記して感謝の意を表す。

また、除雪試験に際し、特にお世話頂いた日本国有鉄道苗穂工場機関車課 忍博光氏、工藤澄氏には厚く感謝の意を表す。