

除雪方法の適用とその評価について

北海道大学助教 正会員 山村悦夫

日本道路公団 正会員 木村文則〇

I. まえがき

現在、積雪地方で除雪を行ふ自動車交通を確保する事は、経済的にも社会的にも重要な公共事業に成っている。自動車保有の爆発的な伸びに伴ひ、年々その規模は増大している。例えば、札幌市だけでも除雪関係予算は2億円から3億円、カナダのモントリオール市に至っては、30億円にも達する。この様な大事業に従事する者にとって、どの様な方法で除雪を行ふ事が経済上或は社会的に最善であるかを判断することは重要である。本論文は、各種除雪作業の方法の経費と交通を確保するまでの問題よりそれらの適応を考察し、具体的な数値を札幌市をモデルにして示すものである。

II. 除雪方法の適応とその評価

或る特定道路に除雪作業を行おうと考える場合その作業の経費(H)とそれに伴う経済的效果や社会的效果等種々の利益を(R)とすれば $\frac{R}{H} > 1$ のとき 除雪作業が行なわれるであろう。除雪作業の方法が数種ある場合、どの方法を採用するのかは、

$$\frac{R_1}{H_1}, \frac{R_2}{H_2}, \dots, \frac{R_n}{H_n}$$

H_i : 除雪作業の方法*i*を行なうための経費
 R_i : " " 行なったときの伴う利益

を比べ、そのうち最大のものを選ぶであろう。もし除雪作業が、対象路線の需要交通量を確保出来なければ、 R は非常に小さなものになるとすれば、需要交通量を確保出来、しかも除雪作業費が最小である除雪方法を選べば良いことになる。しかし実際には降水量は毎日変化するのが普通であり、それによつて各除雪作業費は違つたものになる。又道路の周囲の条件も問題であり、特に街路が除雪の決め手になる。ここでは比較的降雪量が多く、地域の街路を対象にして、冬期の需要交通量を確保出来ることが、経済的、社会的に最善であると仮定する。具体的な数値は後節で、札幌市をモデルにして示す。

1. 除雪作業の方法

- 除雪作業の方法は大略次のようなものと考えられる。
- グレーダー等で雪を路側に押しのける。
 - 路側に押しのけられた雪を運搬し排雪する。
 - 下水管を利用して、流雪する。
 - 路面の雪に水や温水等を吹きかけ融雪する。
 - 路面下に電熱 温水を通じて、路面の雪を融かす。
 - 移動式スノーメルターを移用する。

名 称	
単純除雪方式	グレーダー、フルードー等で新雪或は積雪を路側にかき寄せ、交通容量を確保する。
雪捨え場方式	単純除雪を行つたのち、路側の雪をトラックに積み込み、運搬して、雪捨え場に捨てるもの。
ロードヒーティング方式 (R.H方式)	路面下に電熱又は温水等を通じて、路面の雪を融かす。ここでは電熱のものについて述べる。
移動式スノーメルター (M.S方式)	路側に雪を寄せた後、移動式スノーメルターで、融雪する。

表 II-1

本論文では、比較的降雪量が多く、気温も低い地域の除雪を対象とするので、従来行われている(iii)と将来発達するであろう(iv)の除雪方法を想定し表II-1のものを議論の対象とした。

2. 除雪方式別の経費

除雪作業機械等の設備遊休費を考慮せよ為に年当たりの経費算出の一般式を示そう。

(i) 単純除雪方式、移動式スノーメルター

$$① = X [K(\frac{1}{T} + R) + H + S(N+M) + D]$$

$$C = \frac{C}{PA}$$

$$\begin{array}{lll}
 C_1: 年当り除雪費 & T: 減価償却期間(年) & C: 単位重量(km) 当り経費 \\
 X: 機械台数 & R: 利息率 & N: 燃料費(時間当り) \\
 K: 機械の価格 & H: 保険料 & M: 労務費(時間当り) \\
 & & P: 降雪期間の全降水量(mm) \\
 & & S: 全稼働時間 \\
 & & A: 除雪道路面積(km^2)
 \end{array}$$

(2) 雪塔工場方式

雪塔工場方式とは、クレーターやロードヘーパー等で路側に雪をかき寄せた費用とトラックによる積み込み費用、雪塔工場での処理の費用が追加される。

$$\text{積込費 } C_1 = x_1 [k_1 (\frac{1}{T_1} + r_1) + h_1 + s_1(M_1 + m_1) + d_1] + Y_1$$

$$\text{運雪費 } C_2 = x_2 [k_2 (\frac{1}{T_2} + r_2) + h_2 + d_2] + \frac{x_2}{V_2} (M_2 + m_2) + Y_2$$

$$\text{雪塔工場費 } C_3 = x_3 [k_3 (\frac{1}{T_3} + r_3) + h_3 + d_3 + s_3(M_3 + m_3)] + Y_3 + W$$

$$\text{単位重量(km)当りの経費} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{P}$$

X: 各々の作業に必要な機械台数
L: 雪塔工場までの距離(km)
V: 連雪トランクの速度(km/h)
Z: 連雪日数
Y: 付帯労務費 W: 雪塔工場地代
他の文字は(i)の大文字と同じ

P: 年間排雪量(km)
C_4: 新雪除雪費で(i)の単純費と同じ

(3) ロードヒーテンク

$$C = d \cdot p \cdot A + k (\frac{1}{T} + R) + Y$$

P: 降雪期間の全降水量(mm) A: 除雪道路面積(km²)

α は面積当たり降水量(強度)1mm融雪する為の費用である。RH方式の経費は気温・降水強度・量及び敷設方法により相違があり、各地域で α を実験等で算出するべきである。

3 各除雪方式の限界交通容量

各除雪方式の適応を認めるには、経費の他に(i)各除雪方式で確保し得る最大の交通容量にこれを除雪方式の除雪交通容量と名付ける(ii)作業中、交通にどの様な影響を及ぼすのか、について考慮せねばならない。この2条件から、各除雪方式で確保し得る最大の交通容量を限界交通容量と呼ぶことにする。

(i) 単純除雪方式

(i)除雪交通容量は、冬の間中、雪を路側に押しやつたままで、年間の累計降雪量から判断出来る。

(ii) 街路工事を考えると、ロータリー車の様に雪を吹き飛ばすものは使えず、クレーターや機械が作業の主体をなす。毎回の必要クレーター数(n)は次式で示される。

$$n = \frac{B}{L} \times 2 \times \frac{L}{V} \times \frac{1}{T}$$

B: 除雪する道路の巾員(cm) $\frac{B}{L}$: クレーターの距離(cm) $\frac{L}{V}$: クレーター速度(km/h)

注) 3m当りをクレーター2台で雁行する。

札幌市を例にとると、 $B=75m$, $V=8km/h$ で1時間で作業を完了させようとするならば $\frac{B}{L}=0.6$ kmとなる。 $B=75m$ の路線の除雪交通容量はロードヒートランク1000veh/hである。つまり作業による交通容量の減少は、路側堆雪による減少に比べて非常に少ない。この方式の限界交通容量は除雪交通容量で決まる。

(2) 雪塔工場方式、移動式スノーメルター(M.S)方式、ロードヒーテンク(R.H)方式

M.S方式、R.H方式の限界交通容量は雪塔工場方式の作業の性格に密接な関係がある。

(i) 雪塔工場方式は、路上の雪を運んでしまうので、原理的には無積雪と同じ容量を確保出来る。

(ii) 雪塔工場方式が作業中交通に及ぼす影響については、次の事柄を考慮する必要がある。

a. クレーターや機械が、雪を路側にかき寄せる作業中に及ぼす影響

b. 1時路側に雪を置くので、その量と期間

c. 路側の雪を積み込む作業と運雪トラックによる影響

限界交通容量を求める意味でb,cを特に考慮せねばならない。MS方式、雪塔工場方式の作業速度により路側堆雪の期間が決まるが、路側堆雪までの期間以下しか許容出来ない路線はロードヒーテンクを適応すべきである。MS方式と雪塔工場方式の作業は、現在ではab共に同じ位の条件或は将来MS方式

の方かやや条件が良くなると思われる。雪捨工場方式の限界容量はNS式のそれから運雪トラックによる交通量の増大の分だけ差し引きばよい。

Ⅲ 札幌市をモデルにした場合の除雪方法の適応

1 各除雪方式の経費比較

(1) 単純除雪方式、雪捨工場方式

札幌市42年度の除雪関係費報告より経費を推定する。前節の一般式の具体的な数値を求めるることはこの報告だけでは不可能なので単位重量(km)当たりの経費だけを示す。(表Ⅲ-1)

(2) 移動式スノーメルター ロードヒーテンク

移動式スノーメルターの製作は最近のことであり価格 融雪雪捨場 90円/ton 3.23円/cm

能力等の点で未だ完全であるとは言へ難い。我が国で実績はほとんど無い。(参考の為に)カナダモントリオールの実験結果では963.467m³(堆雪密度0.25%)である。MS方式は雪捨工場方式の3倍位と言えそうである。ロードヒーテンクに関する研究は札幌市でもかなり進められているが、その経費も雪捨工場方式の2倍~3倍位のようである。

2 各除雪方式の限界交通容量

各除雪方式の限界交通容量を知るには前節で

(a) 降雪(水)量と交通容量の関係

(b) 排雪量と路上堆雪量の関係

(c) 運雪トラックによる増加交通量

を解析する必要があることを述べた。

(d) 降雪(水)量と交通容量

降雪量と交通容量の関係についての研究は皆無の状態であるが北大の交通管理研究室によると除雪が良好に行われていれば、冬期の交差点容量は、それ当り夏期のそれの約60%位であるようである。ただし路面は3~4cm位の雪厚で視界は良好である。又札幌市でもその数値を用いて除雪計画を行っているので、大胆ではあるがここでしその数値を用いて次式を作った。

$$Q_w = Q_S(B-2L) \times \frac{1}{3} \times 0.8$$

$$\text{ただし } L = f(P)$$

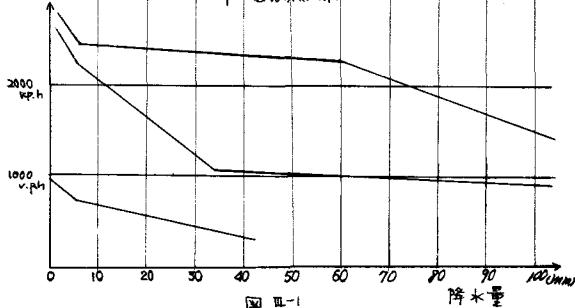
P: 降水量(mm)

Q_w: 冬期の街路容量

Q_S: 夏期の "

B: 夏期の車道幅(m)

L: 路側堆雪による横幅の減少量(m)



図Ⅲ-1

図Ⅲ-1は新構造令案を用いたP-Q_wの関係図である。(L-Pの関係は紙面の都合で省略)これと冬期累計降水量より単純除雪方式の限界容量が解る。

(e) 排雪量と路上堆雪量

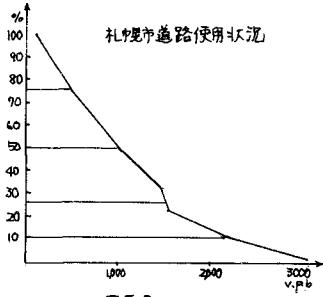
排雪量を求めるのに次の手順を用いた。

a 過去の降雪量を吟味し妥当な排雪量と排雪間隔を推定する。

b 起り得るであろう「降雪量の変化」を調べて降雪量から排雪量を差し引いて路側堆雪変化図を作成する。

c 路側堆雪量変化図とP-Q_wの関係より確保される交通容量を知り需要交通量から排雪量・排雪間隔を検討する。

図Ⅳ-2は札幌市をモデルにして交通量とその交通量を有する道路区間数を百分率で示したものである。



図Ⅳ-2

今1,500 vph を確保すると 約80%の道路が容量以下になり、容量をオーバーして走る区間の自動車はすくい走る道路に回避することを考え合わせれば札幌市では1500 vphを確保出来ず排雪量を考慮すれば分である。また札幌市の道路のほとんどのが雪庇13m位であるので(図III-1より)そのときの堆雪量は25mmである。上表に許容堆雪量をまとめた。

表III-3は、排雪を毎日5mm,7.5mm,10mmづつ行ったとき路側堆雪量が25mm,60mm,70mmを越える日数(降雪期間中)を示したものである。札幌市では降水量30mm以上で豪雪とすると豪雪回数は平均年1回位でアソシ分分布をなし年5回以上は無いといふことより、代表的な5例を選んだ。この表より排雪量10mm/dayは多少の豪雪時でもほとんど交通渋滞はないと考えられる。7.5mm/dayは、10mm/dayに比べて差がなく、経費の点で非常に有利であるので札幌市では7.5mm/day(都心では10mm/day)の排雪能力をもつのが適当であろう。

(iii) 運雪トラックによる増加交通量

a 石の回の様なモテルを考える。

$$b \text{ 全排雪量}(G) = B \times L \times P$$

B: 集雪巾(m)

L: 排雪延長(km)

P: 計画排雪量

$$c \text{ 排雪時間}(T) = \frac{1}{P} \times B \times L \times P$$

R: 積込能力(km/h)

$$d \text{ 延べトラック数}(n) = \frac{L}{R} \times B \times L \times P$$

G: 運雪用トラック積込量(t/km)

$$e \text{ 運雪トラックの交通量}(Q_T) \quad (\text{冬季期外除雪換算係数} \approx 2.0 \text{ 既定})$$

$$Q_T(\text{vph}) = \frac{2 \times 2 \times n}{T} = 4 \times B \times L \times P \times \frac{R}{B \times L \times P} = \frac{4R}{T}$$

この値の値は非常に大きな値で日雇交通量の多いときは、排雪作業が出来ない。つまり日雇でも排雪しなければならない程、路側堆雪を許せない路線では雪塔式は不適である。札幌市では過去の降水量統計から5~10mmは日雇排雪させねばならないようであるから(平均的な降雪強度は降水量にして2mm/h) 雪塔式の限界交通容量は、図III-1よりP=10mmのときの交通量をあててられる。

3 各除雪方式の適応路線

各除雪方式の適応路線は交通量をパラメータにすると札幌市では石表の如くなる。現在移動式スノーメーカーは非常に高価で作業能力は雪塔式と同程度又はそれ以下

甲	単純除雪方式	雪塔式	ロードヒーティング方式
7.5 m	1,000 台/日以下	10,000 台/日	10,000 台/日以上
13 m	5,000 "	22,000 "	22,000 台/日以上
16 m	10,000 "	26,000 "	26,000 台/日以上
(累計降水量 150mm)			

下であり、大型などの交通にかなり障害(10mmの堆雪量の交通障害以上)になると想われるのを省略した。

参考文献

41年度札幌市の豪雪特性について
交通計画

北大交通計画研究室
水川博三