平成11年度 学術奨励賞を受賞して

除排雪システムの設計に関する研究

Study on Design Criteria of Snow Control Systems

上 村 靖 司*
Seiji Kamimura

1. はじめに

平成12年6月28日に開かれた平成12年度総会において、標記題目で平成11年度学術奨励賞を頂戴した。受賞の対象となった一連の研究について、その概要をここに紹介する。

2. 都市雪害の定量的評価法

最近、公共事業の費用対効果の評価の重要性が強く認識されるようになり、種々の克雪対策についても、その実施に向けた検討が進められている¹⁾。その場合、費用の算定は容易にできるが、効果の算定はその算定方法すら確立されていない。除排雪の場合、それ自身が利益や利便を生むのではなく、不利益、不便の解消や防止のためのものであるという面が、その評価を難しくしている。

まず、都市雪害の軽減という観点から、都市雪害を定量的に評価する方法を開発した。都市の雪害を空間の閉鎖と物の損壊に関わるもの分類し、長岡市の駅前地区の代表的なものについてその被害状況を調査し積算した。その結果、雪によって物が損壊したりあるいは損壊を防ぐためにかかる費用は、空間が閉鎖されることによる被害に比べると極めて小さく無視しうる程度であるということ、そしてその空間閉鎖の不利益を支配するのは、地価であるということがわかった^{2), 3)}。

以上の結果を整理し、都市雪害をその金額として表す雪害度を、無雪時を基準として有雪時に余計に

かかる費用（雪対策費）と空間が本来もたらしている便益の雪による低下分（負便益）の和である、として定義した^{2), 3)}（図1）。そして、具体的に年間の雪害度を計算する方法を示した⁴⁾。

具体的に、長岡市街地と十日町市街地を対象に雪害度を計算すると、長岡でも十日町でも、大雪の年ならば1㎡当たり年間に1000～1200円であり、内訳を見ると長岡では7：3で空間閉鎖による負便益が大きく、十日町では4：6で除排雪費が大きいことがわかった⁵⁾（図2）。この結果に基づき、流雪溝を例として、その費用対効果を試算すると、ほぼ費用に相当する効果が得られていると結論づけられた⁴⁾。

図1 雪害度の定義²⁾

* 小山工業高等専門学校機械工学科 助教授・工博

図2 長岡市街地と十日町市街地の年雪害度⁵⁾

3. 気象データを用いる積雪重量推定⁶⁾

上で述べた除排雪システムの経済性評価や能力設計をする上で、ある時点の降雪や積雪の量を正しく知ることは不可欠であり、特に、融雪装置等の設計基準を目的とする場合には、熱量の計算をともなうため、降雪あるいは積雪の重量を知る必要がある。

一般に降積雪の量は、深さ（体積）に、妥当と思われる密度を乗じて求められる。しかし、雪は、その状態によって密度が大きく変化するため、正確にその重量を把握することが難しい。一方、積雪重量

を直接測定する方法は、サンプラーで採取して水量に換算するか、プレッシャーピローをつかう方法のみである。どちらにしても、常時観測地点は少なく、特に融雪需要の多い都市部での測定はほとんど行われていない。

このため、直接測定でなく気象データを用いて積雪層の熱収支から積雪重量を求めるというアプローチがとられることが多い。その場合でも、降水形態の判別（雨か雪か）、アルベート（雪面の反射率）、雲量など各熱収支項を支配するデータは入手困難なものが多い。全国に1300ヶ所ある AMeDAS 観測地点で観測される気象4要素のみで、推計できるならば適用範囲も広く望ましい。

そこで日平均気温、日降水量のみで、日々の積雪重量を推計する方法を開発した。積雪層を1つのタンクととらえ、降雪量分が入り気温に比例した量が流出するという単純なモデルである⁷⁾。降雪量は、気温の関数として氷分率（降水中の水分の割合）を求め、これを降水量に掛けて求めている。この方法を、長岡、新庄、十日町に適用し、実用的な精度で推定が可能であることを示した（図3）。

図3 気温、降水量を用いる積雪重量計算の例⁶⁾：実測データ（菱形）は長岡雪水防災実験研究所および森林総合研究所十日町試験地の観測による。

図4 屋根融雪のシミュレーション⁸⁾: r は融雪能力 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$ を表し、一冬の積雪重量の変化の最大値が建物の許容荷重以内となる融雪能力を求める。

4. 融雪装置の能力設計⁸⁾

近年、新潟県を中心として広く普及している屋根融雪装置の設計に際しては、安全のために、人手で雪降ろしをするのに匹敵ほどの高い融雪能力を与えるのが一般的である。しかし、道路の融雪と異なり、構造物の許容荷重以内ならば、屋根上に積雪が残っていても問題はない。ある程度の積雪が許容されるならば、降雪のない期間に自然の融雪が期待できるため一冬のトータルの融雪量が少なくなり、燃料の節約にもつながる。

そこで、上で示した積雪重量推計式に、融雪の項を加えることによって、屋根融雪のシミュレーション(図4)を行った。融雪能力と装置の発停の基準となる積雪量のしきい値を与えてシミュレーションを行った結果、長岡では、1日に 1 m^2 あたり 20 kg 融かせる能力を与え、 $180\text{ kg}/\text{m}^2$ の荷重を超えたら運転するという制御を行えば、56豪雪時でも積雪荷重を許容荷重以内に維持できることが示された。

5. 経済的な新雪除雪基準の評価⁹⁾

2で述べた、雪害度の概念を応用すると、既存システムの経済的な運転条件を評価することもできる。一例として、ブラウによる新雪除雪を考えると、除雪をするか否か判断する除雪基準は道路の種類によりそれぞれ定められている。除雪基準の値を道路の

図5 経済的な新雪除雪基準の評価結果⁹⁾: BCRは1日あたりの除雪費に対する空間価値の比を表す。雪害度(実線)が最小となる除雪基準 M^* を求める。

サービス水準とすると、その値を小さくすれば、サービス水準は上がるが、除雪回数は増え費用は増す。一方、除雪基準を大きくすると除雪回数は減るが、路面に雪の残る時間が増し、サービス水準が低下する。この除雪基準をパラメータとして、1冬期に亘る除雪シミュレーションを行い、雪害度を最小にする除雪基準を求めた。長岡市の気象データを用い代表年について計算した結果、道路上に $5 \sim 9\text{ kg}/\text{m}^2$

程度の積雪があるときに新雪除雪を行うと最も経済的であることがわかった(図5)。

6. 拡幅除雪の作業回数および排雪需要算定のための除排雪シミュレーション¹⁰⁾

新雪除雪の場合と同様に、拡幅除雪、排雪除雪の場合でも、より早いタイミングで、トラック排雪が行われれば、より良いサービスが提供できるわけだが、保有機械設備の制限があるため、それとの兼ね合いで、経済的な出勤判断基準が存在するはずである。当然一時堆積空間として、路側部の面積に大きく作用される点も考慮しなければならない。

路側部分と、車線部分の面積比をパラメータとして、一冬の間に拡幅除雪と排雪除雪が行われる回数と総排雪量のシミュレーションを行った。これによって、雪害度を求めるための、除雪回数、排雪量、積雪による閉鎖日数の各項目が算定でき、その特性が明らかになった。しかし、その精度の検討が不十分であり、今後実測値による検証が行われなければならない。

7. おわりに

末筆ながら、長岡技術科学大学大学院在学中より12年余り続けてまいりました都市雪害の評価と除排雪システムの設計に関する一連の研究に対し、このような栄えある学術奨励賞を授与されたことは、誠に光栄なことであります。関係された皆様に深く感謝いたします。また研究の遂行に当たりご指導いただいた諸先輩方、快く貴重なデータを提供くださった自治体、研究所の各位に深謝いたします。

なおこの研究は長岡技術科学大学梅村晃由教授の指導のもと、小生と研究室の多くの学生達が取り組んできた成果であります。このあたりの経緯については、学会誌16巻4号の「私の視点」で、梅村教授が解説しておりますのでご一読いただければ幸いです。

参考文献

- 1) 国土庁地方振興局，都市における総合的な克雪対策の推進に関する調査報告書，2000.
- 2) 梅村晃由・大滝均・上村靖司，豪雪都市の雪害度に関する研究 一第1報 雪害度の定義と試算一，自然災害科学，9-1，pp.17-26，1990.
- 3) T. Umemura, S. Kamimura, H. Otaki, Snow Damage in Urban Area with Heavy Snowfall: Definition of the Amount of Snow Damage and Appraisal, Journal of Natural Disaster Science, 13-1, pp.1-11, 1991.
- 4) 上村靖司・梅村晃由，豪雪都市の雪害度に関する研究 一第2報 大雪年と少雪年の長岡市の用途地域別の雪害度一，自然災害科学，11-3，pp.145-156，1992.
- 5) 上村靖司・山之内洋明・梅村晃由，豪雪都市の雪害度に関する研究 一第3報 雪害度計算の精度向上と十日町市街地の雪害度一，自然災害科学，14-1，pp.77-86，1995.
- 6) S. Kamimura, T. Umemura, Estimation of Daily Snowmass on the Ground Using Air Temperature and Precipitation Data, CRR-EL Special Report 92-2, pp.157-167, 1992.
- 7) 上村靖司・梅村晃由，除排雪システムの性能と効果に関する基礎的考察，第12回日本雪工学大会論文報告集，pp.93-96
- 8) 上村靖司・梅村晃由，融雪装置の能力設計に関する提案，日本雪工学会誌，12-3，pp. 212-217，1996.
- 9) 上村靖司，経済的な新雪除雪基準の評価，雪氷，60-1，pp.25-35，1998.
- 10) 上村靖司・梅村晃由，除雪による雪の移動のシミュレーション，第13回日本雪工学大会論文報告集，pp.179-184，1996.