

論 文

歩道堆雪帯の計測による地方都市冬季歩行空間

宮腰 和弘¹・小林 拓²

¹環境都市工学科 (Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Nagaoka College)
²株式会社 ネクスコメンテナンス新潟 (NEXCO Maintenance Niigata)

The sidewalk space of winter season by the survey of the snow belt in the snowfall regional city

Kazuhiro MIYAKOSHI¹, Taku KOBAYASHI²

Abstract

We have a very wet and heavy snowfall in the city of Nagaoka in Niigata prefecture. Citizens in heavy snow areas are now asking for higher level of service than ever before. The objectives of this paper are to identify the condition of the sidewalk space environment in winter by the survey of the snow belt and the sidewalk space. As a result, the height of 200cm is a limit of the snow belt. And the snow removal space of 10cm was moved to residential site from road site. As for the coefficient of correlation of the simulation about the height of snow belt, enough values were provided. Important problems of the simulation are the influence of snow removal on the road and the heavy snowfall over 20cm per day.

Key Words : sidewalk space, snow removal, regional city, simulation instructions

1. 背景及び目的

豪雪地帯における地方都市では冬季歩行空間の確保は、歩行者が安全に通行するために必要である。しかし歩道は、市街地内の融雪が施されているところやアーケードの設置されている箇所を除き、降積雪の影響を受けるほか、車道除雪に伴う堆雪が歩道側の一部に形成され、安全な歩行空間の確保が困難となっている。道路構造令における視距における目の高さは、120cm とされており、歩道側の歩行者が確認するには、その高さを超えると難しくなる。ま

た、歩行時の人の目の高さは、150cm 程度と考えられる。そのため歩道除雪により、歩道堆雪帯の高さを考慮し、歩行空間をどのように確保していくかを考える上で本研究では上記の 120cm, 150cm を目安に見ていく。歩道幅員が狭い路線では、除雪機械の仕様等から十分な歩道除雪が行うことができず、歩行者は車道を歩かざるを得ない場合も多くなっている。特に通学路となっている路線の安全性、快適性向上のため、歩道除雪による歩行者空間の確保及び堆雪帯の高さ把握は、重要な課題である。

また、車道除雪については、土屋¹⁾及び増川²⁾

により車道除雪による堆雪の状況が研究されてきた。しかし、歩道除雪については、車道除雪における一次除雪がなく、小型ロータリー車による除雪のみとなるため、これまで降雪量と除雪による歩行空間、堆雪高さの状況は把握されていない。豪雪地帯における冬季歩行空間を確保する上で歩道除雪後の堆雪高さ等の状況を把握することは重要である。

そこで本研究では、豪雪地帯である地方都市新潟県長岡市の歩道路線を対象に、冬季の歩道断面と歩行空間、堆雪帯断面の成長過程を計測した³⁾⁴⁾。主として平成 23 年 2 月までの計測により得られたデータや気象状況、除雪作業の実態から、作業が堆雪帯へ及ぼす影響を把握し、分析する。次に除雪シミュレーションを行い、降雪と除雪時間を考慮して、除雪シミュレーションの方法を検討する。それらの結果から、今後の安全な歩行空間の確保を図るためどのような点が問題であるか把握することを目的とする。

2. 研究方法

降雪前に対象路線の横断面を測量し、歩道断面図を作成した。降積雪後は、歩道除雪後の午前中（8 時から 9 時）に歩道断面の堆雪状況を計測した。堆雪帯の成長過程を計測するために、植樹帯や歩道に設置されている街灯付近にスケール付きのポールを立て、計測を行うこととし、ポールが立てられない地点については携帯スケールで計測した。降雪後は、午前中に堆雪帯の計測を行い、一日の降雪量が「雪みち計画⁵⁾」における歩道除雪の出動基準（積雪 20cm）を超えた場合、夕方にも計測を行い、計測の際には堆雪帯の成長過程が分かり易い様に、歩行者の視点から写真撮影を行った。また、除雪作業による堆雪帯高を後に行う除雪シミュレーション結果と比較するため、計測し路線の除雪状況について除雪位置等について観察を行った。堆雪帯の計測は、図 6 から 9 に示すように民地側、車道側両方の頂上部高さや機械除雪の位置について計測した。縦断方向については、大きな変化が見られないため計測断面は、1 箇所とした。それ以外の計測数値については本論文では記載していない。次に除雪シミュレーションを行い、堆雪帯高の算定式に、当日の気象状況（アメダスデータ [長岡市緑町]⁶⁾）や前日の堆雪帯高を入力して、理論上の堆雪帯高を算出した。堆雪帯幅については、民地側からの計測により歩道幅員から求めた。堆雪帯高の算定式に導入す

表 1 対象路線歩道断面幅員

路線名	歩道幅員 (cm)	有効幅員 (cm)	路側帯幅員 (cm)
関原上除線	350	240	140
長岡バイパス	450	350	180
中沢悠久線	170	150	120

表 2 平成 22 年度雪みち計画 [除雪ランク]

ランク	呼称	内容	備考
A	早朝除雪	早朝(通勤、通学時)、昼夜を問わず、必要な時に除雪を行う。	交通量が多く、通学路となっており、道路構造上も除雪が容易な区間
B	昼間除雪	昼夜の必要な時に除雪を行う。(早朝、夜間は除雪しない。)	交通量が多く、道路構造上も除雪が容易な区間
C	連続降雪除雪	2~3日程度の降雪が収まった後、車道除雪に余裕が出た時に除雪を行う。	除雪が必要な一般的な区間
D	その他	積雪の落ち着いた時、または春先に除雪を行う。	交通量等からみて除雪の必要性が低い、または道路構造上除雪が困難な区間

表 3 歩道除雪のレベルと出動基準 (平成 22 年度)

確保すべき状態	内容	備考
除雪幅	1.0m程度	
除雪後の残雪深	5cm以下を標準	長靴、防寒靴で歩行可能な状態
出動基準	積雪20cm以上	昨年度(積雪10cm以上)

る降雪量は、計測時間帯を考慮して 21 年度までは、0 時から 24 時までの 24 時間の降雪量を用いていたが、除雪時間を考慮して前日 9 時から当日 9 時までの 24 時間降雪量に変更した。その後、除雪シミュレーション結果と除雪作業による堆雪帯高とを比較、分析し、歩行可能幅の実体を把握した。

3. 対象路線

これまで、平成 20 年、21 年度の 2 年間計測、検討を行ってきた状況を踏まえ^{3) 4)}、以下の 3 地点を対象とした。[①市道関原町上除線 (以下、関原上除線)]、[②国道 8 号長岡バイパス (関原地区) (以下、長岡バイパス)]、[③市道中沢町悠久線 (以下、中沢悠久線)]。断面概要を表 1、歩道断面図を図 1、図 2、無雪時の歩道状況を写真 1、写真 2 に示す。車道側には一部植樹がなされ植栽ボックスが設置されている。民地側については塀等があり、除雪による投排雪は民地に入らない地点とした。機械除雪を行うために必要な歩道の幅員は、長岡市役所等のヒアリングから、除雪機械の幅と堆雪帯スペースを考慮して、最低でも 150cm は必要であるとされる。計測対象とした 3 地点はこの条件を満たしている。

長岡市内の歩道は、市が策定する「雪みち計画 (平成 22 年 10 月策定)」(表 2, 3)に基づいて、

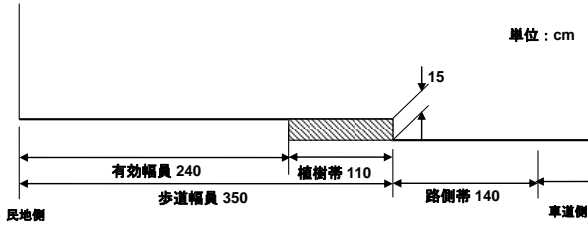


図 1 歩道断面図（関原上除線・平成 22/8/6）

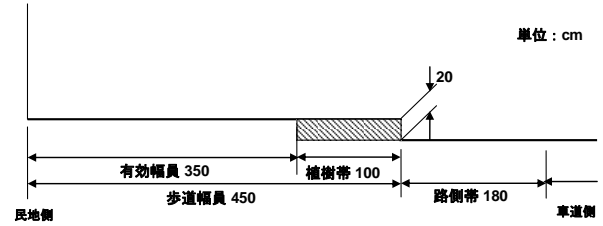


図 2 歩道断面図（長岡バイパス・平成 22/8/6）



写真 1 無雪時歩道状況（関原上除線・平成 22/8/6）



写真 2 無雪時歩道状況（長岡バイパス・平成 22/8/6）

民間委託または住民のボランティアにより除雪作業が行われた。22 年度、雪みち計画で定めている歩道除雪の出動基準は「積雪 10cm」から「積雪 20cm」に変更された。

対象路線の選定については、関原上除線は小学校の通学路となっており、長岡市からの民間委託により除雪ランク A、長岡バイパスは国の委託による除雪ボランティアにより除雪ランク B の歩道除雪が行われている。中沢悠久線は期間中一回も歩道除雪が行われなかったが、道路反対側の歩道は県の民間委託により除雪ランク C となっている。「中沢悠久線」は、車道側が消雪パイプによる融雪で機械除雪が行われていない。また、歩道除雪も春先まで行われなため、①②路線の堆雪高の比較対照として計測した。ただし、結果としては、表 4 に示すような状況であり、図 5 に堆雪状況を記載している。

平成 22 年度の計測期間 76 日間（平成 22 年 12 月 15 日～平成 23 年 2 月 28 日）中、10cm 以上の降雪があった日は 19 日あり、関原上除線では 16 回、長岡バイパスでは 8 回、歩道除雪が行われた。中沢町悠久線は計測期間中、1 回も歩道除雪が行われなかったため、本研究では、関原上除線と長岡バイパスについて検討を行い、中沢悠久山線について

は除雪シミュレーション等について対象外とした。

また、歩道のタイプは、関原上除線・長岡バイパスがマウンドアップタイプ、中沢町悠久線がフラットタイプである。

4. 研究結果

4.1 堆雪帯の変化

歩道除雪が行われている関原上除線と長岡バイパスの堆雪帯高について平成 20 年度から 22 年度の計測結果を図 3, 4, 5 に示す。平成 20 年度については関原上除線で 150cm を超えたものの堆雪帯の排雪は、行われなかった。堆雪帯高 150cm を超えた日数について表 4 に示す。年間累計降雪量については、平成 20 年度は、207cm で 21 年度、22 年度と比較して約半分で現在行われている除雪では排雪を行う状況にはならなかった。21 年度と 22 年度を比較すると累計降雪量は、ほぼ同じであるが、21 年度は 1 月半ばに集中しており、排雪も 1 回である。22 年度は、降雪が長く継続し、堆雪高が 150cm を超える日数が、21 年度に比較して長岡バイパスでは、約 2 倍の 29 日となった。また、排雪回数は、長岡バイパスでは、降雪期終盤に 2 回目が実施された。



図3 堆雪帯高の変化（平成20年度）

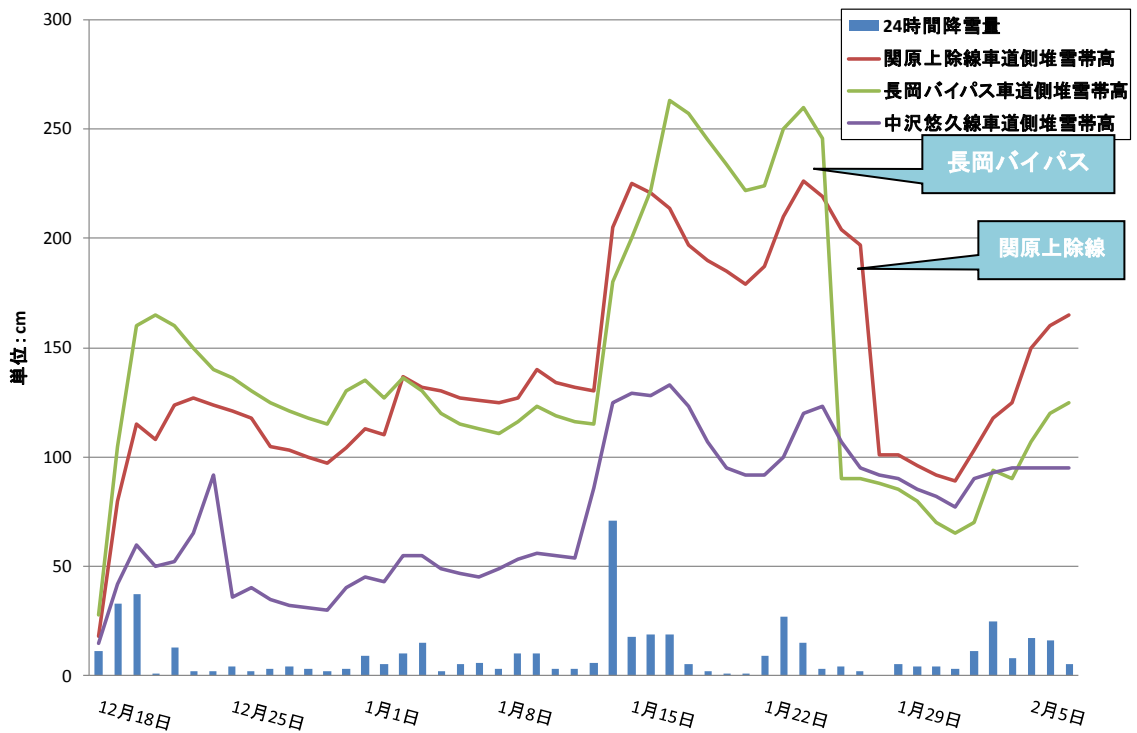


図4 堆雪帯高の変化（平成21年度）

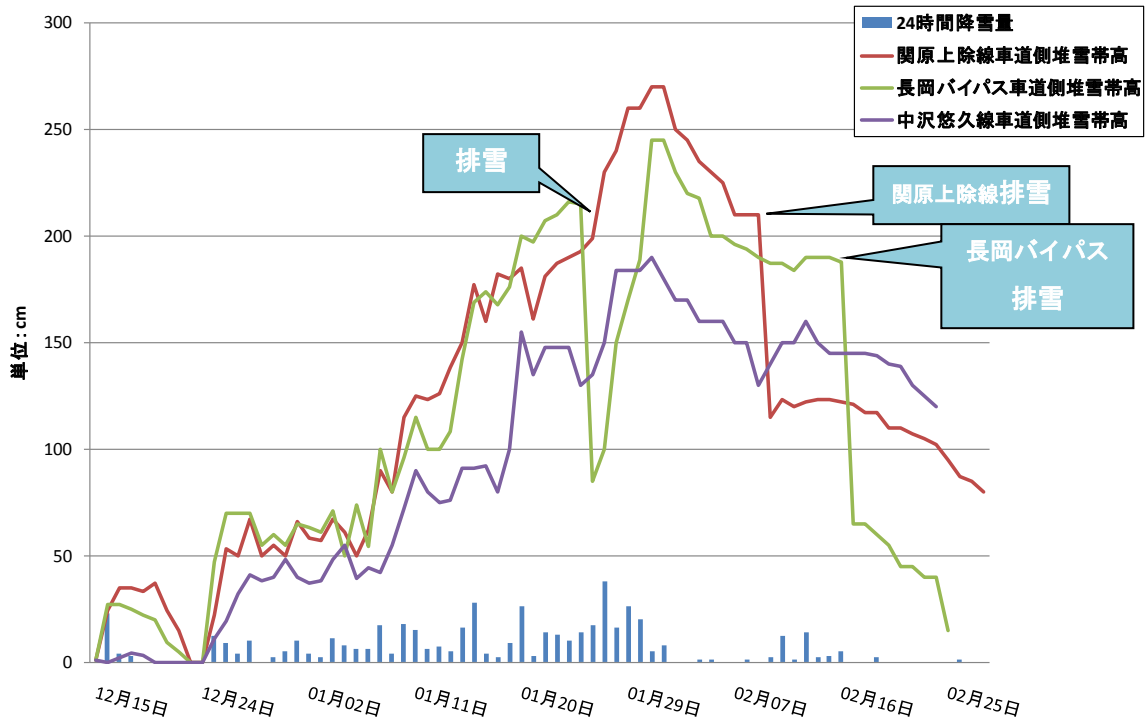


図5 車道側堆雪帯高の変化 (平成22年度)

表4 堆雪帯高150cm以上の日数

路線名	平成20年度	平成21年度	平成22年度
市道関原町上除線	0日	16日	25日
国道8号長岡バイパス(関原地区)	3日	15日	29日
市道中沢町悠久線		0日	12日
積雪深100cm以上の日	0日	5日	11日
年間累計降雪量	217cm	483cm	485cm

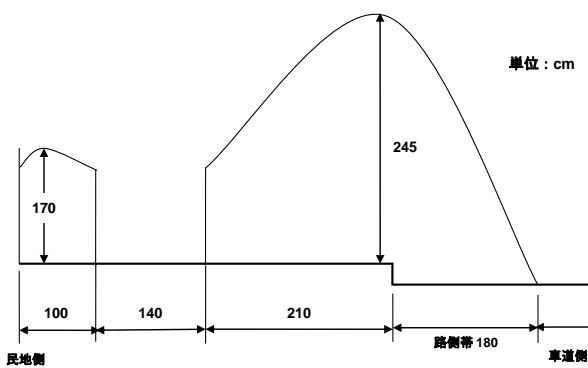


図6 最大積雪時断面 (長岡バイパス:cm)

中沢悠久山線については、除雪は行われていないものの歩道がフラットタイプで車道の消雪パイプの水がいくらか縁石の間から入るため、比較的堆雪帯高は低く、150cmを超えたのは、22年度のみで排雪は行われな

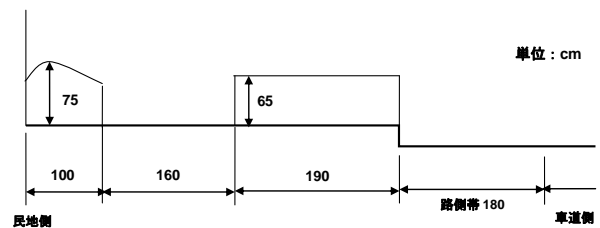


図7 排雪後断面 (長岡バイパス:cm)

かった。平成22年度についてみると計測期間中の最大の堆雪帯高は、関原上除線では平成23年1月31日の270cm、長岡バイパスでは同じく1月31日の245cmとなり、いずれの路線も目安とした120cmの倍以上

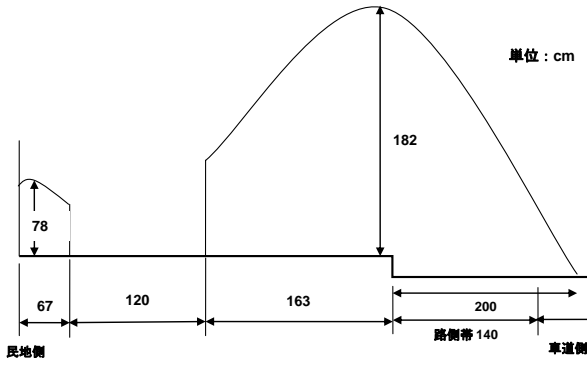


図8 歩行可能幅の位置変化状況 (移動前・平成 23/1/18)

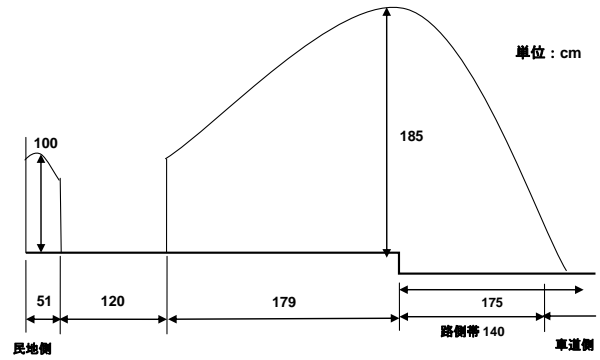


図9 歩行可能幅の位置変化状況 (移動後・平成 23/1/20)



写真3 歩行可能幅の位置変化状況
(移動前・平成 23/1/18)



写真4 歩行可能幅の位置変化状況
(移動後・平成 23/1/20)

の堆雪帯高となり、交差点部分では、歩行者用信号が見えなくなる恐れがあった(図6)。

歩道除雪では通常、車道側堆雪帯に投雪を行うが、車道側堆雪帯高が200cm以上になると民地側堆雪帯へも投雪していた。また、車道側堆雪帯の排雪については堆雪高が200cmを超えて降雪が安定した時期に行われていることが確認された。

関原上除線では、2月10日に排雪を行った。排雪前の堆雪帯高は210cm、排雪後の堆雪帯高は115cmまで水平に削られていた。国道8号長岡バイパスでは、1月25、26日に排雪を行った。排雪前の最大積雪時堆雪帯高は215cmで、堆雪帯幅が路肩から車道側に広がり、2車線の車道が、1車線しか利用できなくなるなど、車道側にも影響が出ていた。排雪後の堆雪帯高は86cmで水平に削られていた。堆雪帯が安全な高さまで排雪され、歩行可能幅が広く確保されたこと

により、周囲の車や歩行者を察知し易くなった。その後、1月31日に最大246cmまで堆雪した(図6)が、排雪は2月16日まで行われなかった。長岡バイパスの最大堆雪高断面を図6、排雪後の2月17日の断面を図7に示す。

4.2 歩行可能幅の位置変化状況

歩道断面の計測で得られたデータを分析した結果、歩道除雪を行う際には、堆雪帯高の変化に伴って歩行可能幅の位置(歩道除雪の位置)移動が確認できた。

歩道除雪の際、投雪は一般的に車道側堆雪帯に行われるが、前節で述べたように車道側堆雪帯高が約200cmになると、歩道除雪の位置が民地側に移動して民地側堆雪帯にも投雪が行われていた。すなわち歩道除雪で車道側堆雪帯への投雪が限界に近づくと歩道除雪位置を民地側に移動させ、民地側の空いたスペー

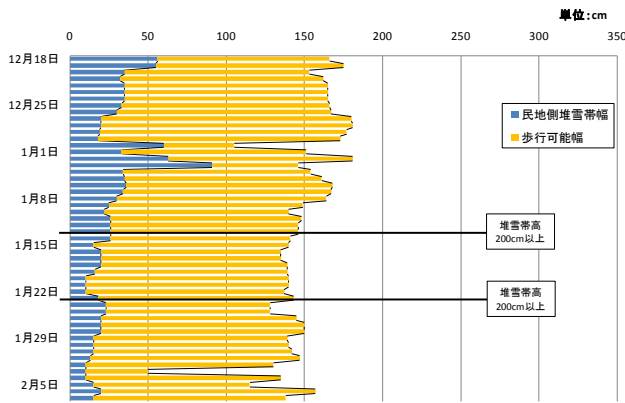


図 10 歩行可能幅の位置変化状況
(関原上除線・平成 21 年度)

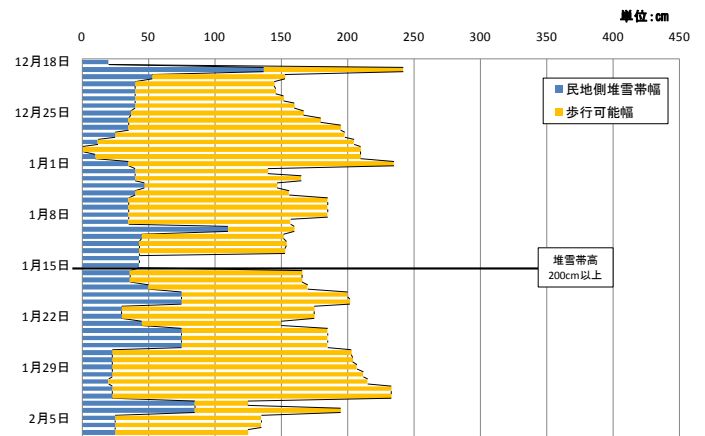


図 12 歩行可能幅の位置変化状況
(長岡バイパス・平成 21 年度)

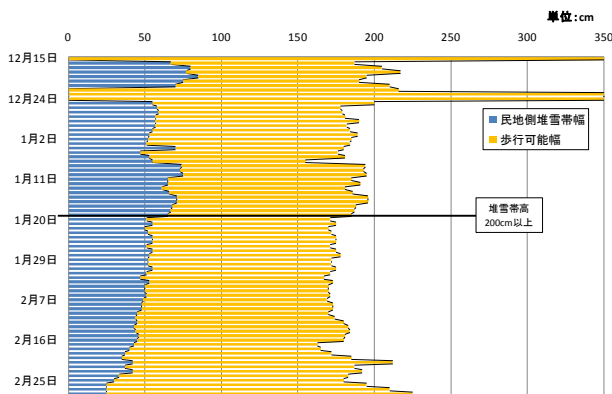


図 11 歩行可能幅の位置変化状況
(関原上除線・平成 22 年度)

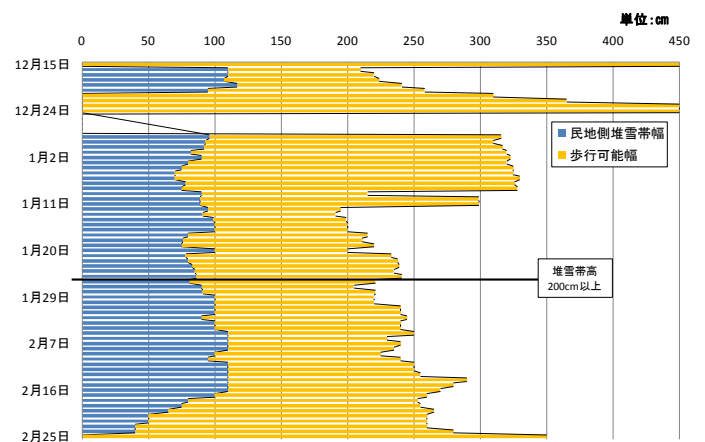


図 13 歩行可能幅の位置変化状況
(長岡バイパス・平成 22 年度)

スに投雪を行うことが確認できた。民地側に投雪が開始された後は、車道側と民地側へ交互に投雪を行い、堆雪帯の排雪がダンプを使用して行われるまで継続された(図 8, 9 写真 3, 4 は関原上除線の状況)。以下に示す図 10～13 は、歩行可能幅の位置変化状況である。左側の部分が民地側堆雪帯で、中央の部分が歩行可能幅(除雪部分)となっている。グラフの横軸は歩道幅員を表し、関原上除線 350cm、長岡バイパスは 450cm である。従って図の白い部分は車道側堆雪帯の変化状況を表す(一部欠測している)。

一般的な降雪時の歩道除雪の場合、民地側堆雪帯幅が約 50cm になるように除雪が行われ、歩行可能幅を確保してきたが、22 年度関原バイパスのように、降雪量が多い場合 50cm を超えている日が多くなっている。少雪だった平成 20 年度は本論文には図を記載していないが、他の年度と比較すると民地側堆雪帯が広く形成されていた。民地側堆雪帯と歩行可能幅を合わ

せると約 150～200cm になり、民地側堆雪帯 50cm に除雪機械の幅 100cm から 120cm を加えたものと同様になる。

平成 20 年度は車道側堆雪帯高が 200cm まで成長する事が無かったため、歩行可能幅が確保され、その位置変化もほとんど見られなかった。しかし、21 年度は、図 10 での関原上除線 1 月初めのように降雪により歩行可能幅に減少が見られるが、歩行可能幅は、除雪機械の幅 100cm から 120cm が最大で降雪と堆雪帯の状況により減少する。また、図 10, 11, 12 のように車道側堆雪帯が融雪等により無くなるに従って、次第に歩行可能幅が広がって行くことがわかる。図 13 の平成 22 年度長岡バイパスは、初期には民地側堆雪帯幅を約 100cm 確保して歩道除雪が行われたが、関原上除線と同様に、車道側堆雪帯高が約 200cm になると民地側堆雪帯を狭めて堆雪スペースを確保している

が、図 13 の 1 月 26 日頃からのように車道側堆雪帯状況により民地側についても増加しているのがわかる。今回の計測地点は、民地側に投雪した雪が入らないような地点であるため、このような歩行可能幅の移動となったが、降雪量が長岡市より多い地域においては、車道側堆雪帯の排雪回数を多くしないと民地側堆雪帯の高さや幅に対して影響がみられ歩道除雪の対応が難しくなると考えられる。

4.3 堆雪帯高の算定

歩行可能幅維持のために歩道堆雪帯の排雪時期を考えていくうえで降雪量の多い地域では、降雪量に応じた堆雪帯高の算定を行い排雪時期の推定を行うことが必要となってくる。そのため、本研究では、平成 20 年度から 21 年度に関原町上除線、長岡バイパスで堆雪帯の計測を行い、その結果をデータ化し、堆雪帯高の変化をシミュレーションした。除雪シミュレーションでは、既往の研究における堆雪帯高を算定する式(1)²⁾を用いた。算定式には降雪時の歩道断面計測によって得られた当日の堆雪帯形状データ、気象状況データ(アメダス長岡観測所)⁶⁾、前日の堆雪帯形状データ、除雪状況を基に、堆雪帯高の算出を行う。以上の結果と除雪作業実態の比較、分析を行う。

今回の計算では奥行きを 1cm と設定して計算を行った。ここに、増川の論文²⁾より投雪時の密度 ρ_2 を 0.31 g/cm^3 、また $\rho_0=1.0$ 、 $\rho_1=0.1$ とする。

また、 γ (雪面反射能) は、新雪 0.75、しまり雪 0.6、投雪層 0.4 とした。

表面積 S は計算の簡易化を図るため前日の堆雪帯高と堆雪帯幅の計測値を用いて行った。また、式 (2) では、 Me (有効波長放射量)、 Md (気温伝達熱量)、 Mv (水蒸気伝達熱量) の値は融雪量 W_m に及ぼす影響がわずかであるため、本研究では割愛して総日射量を用いて計算を行った。それに、融雪算定式(2)より得られた融雪量に融雪係数(K)を 2 として乗じることによって適正值に近い融雪量とした。

実際に堆雪帯高を算出する式を用いて計算を行った結果、降雪が多い日の除雪シミュレーションは計測値と計算結果の差が大きくなる場合があり、車道除雪の影響が堆雪帯高に現れることが確認できた(図 14、

15)。これは、歩道と車道の雪を車道側堆雪帯に投雪することによって生ずるためと考えられる。特に、降雪初期にこのような状況が見られる。また、降雪量が多かった平成 23 年 1 月 13 日、1 月 14 日のような場合にも車道除雪の影響を大きく受けたために計測値と計算結果に差が見られたと考えられる。

平成 21、22 年度対象路線でのシミュレーション結果では、以上のような場合を除き相関係数も 0.98 と比較的高くなっており、有効な結果が得られたと考えられる。ただ、図 14、15 にも見られるように理論上の堆雪帯高が計測値よりやや高い結果となり、融雪量が不足している可能性があり、今後検討していく必要がある。

$$HA = HA_0 + \frac{L \cdot R \cdot \rho_2}{B \cdot Z \cdot \rho_1} + R - \frac{W_m}{B \cdot Z \cdot \rho_0} \quad (1)$$

$$W_m = \frac{S}{80} \cdot [I_0(1 - \gamma)] \cdot K \quad (2)$$

HA	: 堆雪帯高 (cm)
HA ₀	: 前日の堆雪帯高 (cm)
L	: 除雪幅員 (cm)
R	: 降雪高さ (cm)
B	: 堆雪帯幅 (cm)
Z	: 奥行き (cm)
ρ_0	: 水の比重 (g/cm^3)
ρ_1	: 投雪時の雪の密度 (g/cm^3)
ρ_2	: 投雪後の雪の密度 (g/cm^3)
W _m	: 融雪量 (g)
S	: 堆雪帯の表面積 (cm^2)
80	: 融解係数 (cal/cm^3)
I ₀	: 日射熱量 (cal/cm^2)
γ	: 雪面反射能
K	: 融雪係数

5. まとめ

計測の結果、車道側堆雪帯高が 200cm 程度の状況になると、歩行可能幅を確保するため民地側堆雪帯側

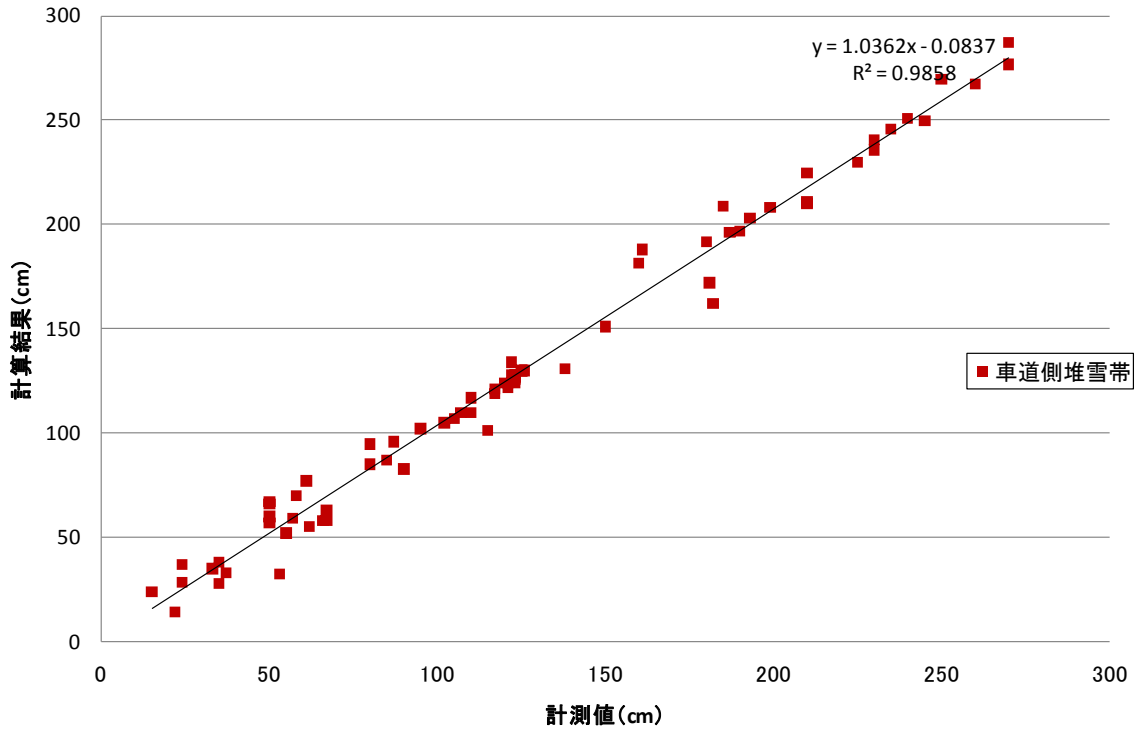


図 14 平成 22 年度除雪シミュレーション結果
(関原上除線車道側堆雪帯)

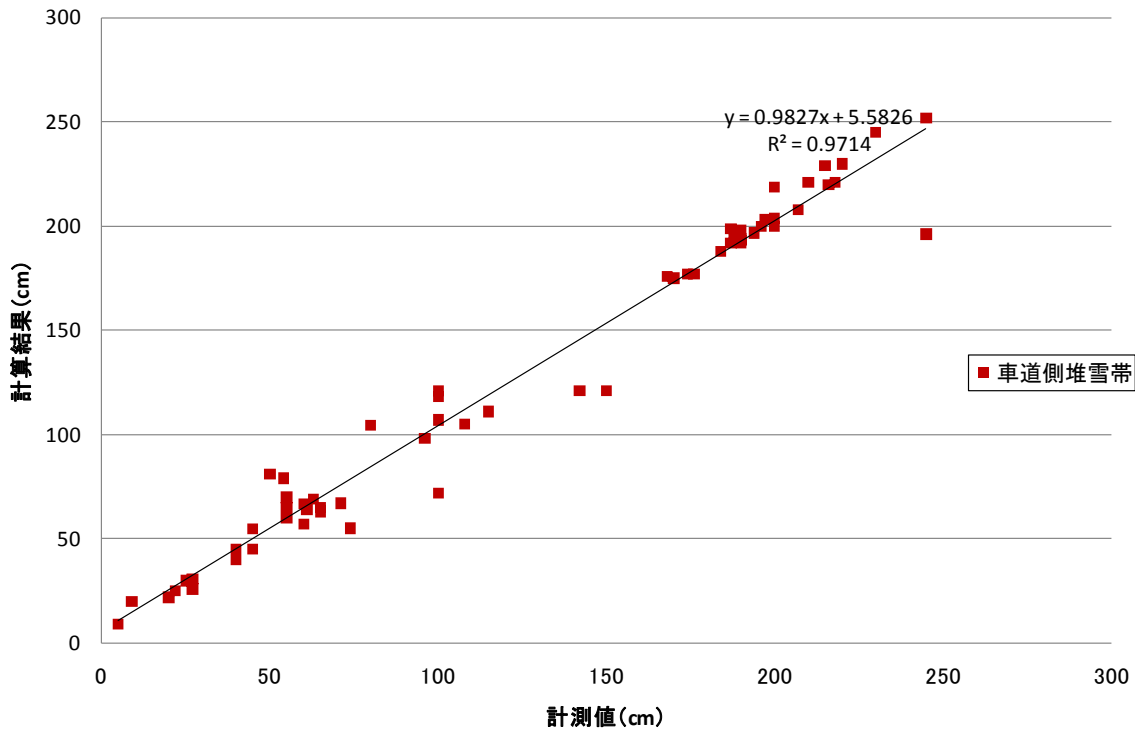


図 15 平成 22 年度除雪シミュレーション結果
(長岡バイパス車道側堆雪帯)

に約 10cm 移動して投雪し、除雪がおこなわれていた。除雪機械幅が、100cm から 120cm 程度でほぼ

一定、加えて民地側の堆雪帯幅が必要なため、歩道幅員としては、150cm から 200cm ないと除雪は難

しいことが分かった。そのため、車道側の路肩等に堆雪させることになる。これは、車道側の除雪が、堆雪帯高さに影響を与えることにもなっている。

人の目の高さと考えられる堆雪帯高が 150cm 以上になった日は、平成 22 年度関原上除線で 25 日、長岡バイパスで 29 日と、いずれも 21 年度の約 2 倍となった。21 年度と 22 年度の年間累計降雪量はほぼ同じであったが、22 年度は降雪が断続的に続いており、21 年度は、降雪により堆雪帯が急速に成長した。200cm 程度の堆雪高で排雪が行われていたが、これは、現在機械で除雪を行う場合の限界に近く、歩行可能幅を民地側に移動させても翌日の降雪が多い場合、民地側の堆雪帯も限界に達し排雪が必要になる。

平成 22 年度、歩道除雪の出動基準が 10cm から 20cm に変更されたが、実際歩行部分の積雪が 20cm に達すると、歩行が困難な状況になる。歩道除雪回数は、出動基準改定に伴って、長岡バイパスで出動回数が、平成 21 年度の 11 回から 8 回に減少した。計測により除雪状況を分析した結果、関原上除線は通学路のため、歩道の積雪が出動基準に満たない場合でも作業が行われており、ほぼ十分な歩行空間と路面が確保されていた。一方長岡バイパスは、業務委託が地域のボランティアであるため出動基準に基づいて作業が行われ、路面に積雪が多く、歩行が困難であった。そのため、十分な歩行路面を確保するためには、21 年度並みの基準で除雪作業を行う必要があると考えられる。

今回の観測地点より、降雪量の多い地域での歩道除雪は、より難しい状況になると考えられるが、今回行った堆雪帯高のシミュレーションは、相関係数においてほぼ満足できるものであった。ただ、計算値と計測値の乖離が大きいのは、降雪初期の車道除雪により、車道側堆雪帯に影響が出る場合と降雪量が日あたり 20cm を超えるような多量な場合の 2 つの場合であることが分かった。前者は、排雪にはかかわらないが後者は、かかわる場合も多く、課題となる。歩道除雪における排雪は、車道除雪に比較して遅れが大きいと共に民地側の堆雪状況にも影響する。今回観測した状況及びシミュレーションの結果を除雪している道路管理者等に提示することでより迅速な歩道除雪、設置される歩道の幅員も含めた歩行空間の確保が期待できる。

また、今後は急激な降雪が堆雪帯に及ぼす影響を考慮していく必要があり、算定式の融雪係数等の考慮が課題である。本研究では提示できなかったが、降雪早期に除雪を行う場合の方が、歩行路面の状況

がよいように思われる。今後冬季の歩行環境を向上させ、安全性を維持していく上でも検討する必要がある。

最後に本研究で作業、計測を行った学生諸氏に感謝します。

参考文献

- 1) 土屋雷蔵(1980)：「道路除雪における堆雪に関する研究」東京大学博士論文
- 2) 増川直実(1987)：「国道除雪作業シミュレーションの開発に関する研究」長岡技術科学大学修士論文
- 3) 渡邊潤，山崎孝子，宮腰和弘(2009)：「歩行環境を考慮した歩道除雪における堆雪断面の把握」，第 27 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，pp.264-265
- 4) 小林拓，宮腰和弘，渡邊潤(2010)：「堆雪帯断面の把握による冬季歩行者空間の確保」，第 28 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，pp.248-249
- 5) 長岡市役所(2009-2010)：「雪みち計画（平成 21，22 年度）」
- 6) 気象庁(2008-2010)：気象統計情報アメダスデータ「長岡市緑町観測値」

(2016. 9. 14 受付)