

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04633

研究課題名（和文）ダンプトラックプローブデータを用いた運搬排雪計画策定支援技法の開発

研究課題名（英文）Development of Planning Method for Snow Hauling Using Dump Truck Probe Car Data

研究代表者

岸 邦宏（Kishi, Kunihiro）

北海道大学・公共政策学連携研究部・教授

研究者番号：60312386

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：現状での運搬排雪は、排雪作業場所から雪堆積場へ運搬されるが、作業の所要時間やダンプトラックの必要台数は、作業場所から雪堆積場までの距離が大きな要因となる。本研究では公園等の空き地を活用した中間雪堆積場を考慮した運搬排雪の効果をシミュレーションした。また、ダンプトラックの台数から運搬排雪作業時間を算出するモデルを構築した。さらには複数の箇所で同時に運搬排雪作業が行われ、ダンプトラックの総数に制約がある場合、全体の作業時間が最小になるためのダンプトラック配置モデルを構築した。ダンプトラックのETC2.0プローブデータを活用し、作業時間の推定値の精度を向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後の除雪作業はより一層の効率化が求められており、とりわけ運搬排雪については、より少ないダンプトラックで多くの作業をする必要がある。つまり、少ないダンプトラックで作業を早く終了させる新たな運搬排雪の方法の構築、そして、技術の伝承が困難で、経験の少ない人に対して、ダンプトラックの適切な必要台数、適切な運搬排雪作業時期の意思決定を支援するシステムが求められている。運搬排雪のマネジメントについて学術的に明らかにしたものは見られない。本研究の成果はこれらの課題に対して貢献すると考えている。

研究成果の概要（英文）：Currently, at snow hauling work, snow is transported from the snow removal site to the snow deposition site. The distance to the snow deposition site is a major factor in the time required for the work and the required number of dump trucks. This study simulated the effect of snow removal by considering intermediate snow deposition sites in open spaces such as parks. In addition, a model was developed to calculate the time required to snow hauling work based on the number of dump trucks. Furthermore, a model was developed to minimize the total work time when the total number of dump trucks is limited by the number of dump trucks used for snow hauling at multiple locations at the same time. The accuracy of the estimated work time was improved by utilizing ETC2.0 probe data of dump trucks.

研究分野：土木計画学

キーワード：運搬排雪 ダンプトラック ETC2.0プローブデータ

1. 研究開始当初の背景

積雪寒冷地における道路維持管理は、円滑な交通を確保するために、冬期の道路除雪作業が非常に重要となる。なかでも最も費用がかかる作業が運搬排雪であり、近年以下のような問題が生じている。

- ・自治体の厳しい財政状況による除雪予算の縮減
- ・業界の人材不足、高齢化によるオペレーター、ダンプトラックドライバーの確保の困難
- ・人材不足、高齢化に起因する除雪の技術の次世代への継承の困難

今後の運搬排雪は、より少ないダンプトラックで多くの作業をする必要がある。つまり、少ないダンプトラックで作業を早く終了させる新たな運搬排雪の方法の構築、そして、技術の伝承が困難で、経験の少ない人に対して、ダンプトラックの適切な必要台数、適切な運搬排雪作業時期の意思決定を支援するシステムが求められている。

2. 研究の目的

本研究は効率的な運搬排雪システムを構築することを目的とする。具体的には、以下の点に着目した運搬排雪の意思決定支援技法を開発するものである。

(1) 運搬排雪のダンプトラック台数決定支援技法の構築

ダンプトラックの台数から運搬排雪作業時間を導出する理論式を構築し、限られた時間で最低何台ダンプトラックを必要とすればよいかを明らかにするダンプトラック台数決定支援技法を構築する。さらに、複数の箇所でも同時に運搬排雪作業が行われ、ダンプトラックの総数に制約がある場合、それぞれにダンプトラックを何台配置すればよいかを導出するモデルを構築する。

(2) 中間雪堆積場を考慮した運搬排雪計画の検討

運搬排雪を短時間で少ないダンプトラックで行うために、これまで運搬排雪では扱われてこなかった、中間雪堆積場の概念を導入した運搬排雪について、作業効率化の効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) 運搬排雪のダンプトラック台数決定支援技法の構築

ダンプトラックの台数、運搬排雪作業現場と雪堆積場の距離、運搬排雪作業区間の距離から運搬排雪作業時間算出モデルを構築する。これによりダンプトラックを何台確保すれば時間内に作業を終わらせることができるのかを明らかにする。これを用いて、複数の箇所でも同時に運搬排雪作業が行われ、ダンプトラックの総数に制約がある場合、全体の作業時間が最小になるためのダンプトラック配置モデルを構築する。ダンプトラックの ETC2.0 プローブデータを活用し、ダンプトラックの作業状況の分析を行うとともに、作業時間の推定値の精度を向上させる。

(2) 中間雪堆積場を考慮した運搬排雪計画の検討

本研究では運搬排雪作業の道路ネットワークを想定し、最終雪堆積場までの運搬排雪と、中間雪堆積場を設置した場合(図1)の運搬排雪の作業時間の比較によって、中間雪堆積場の導入による作業効率化の効果を検証する。

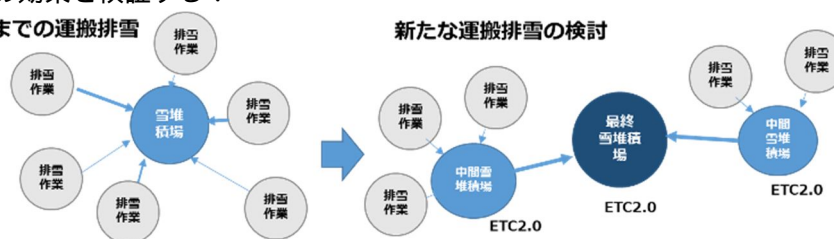


図1 中間雪堆積場の概念

4. 研究成果

(1) 運搬排雪作業時間算出モデルの構築

作業現場が1か所である場合、運搬排雪作業に要する時間は以下のモデル式で表すことができる。

$$T = N \times (t_0 + B_i) + \sum_{i=1}^{N_1-1} (S_i) \quad (1)$$

$$S_i = \frac{z \pm (D \times i - (D - 1))l}{v} + \frac{z' \pm D \times i \times l}{v'} + t_d - (D - 1)t_0 \quad (2)$$

ここで、

T : 運搬排雪作業時間(min)

S_i : i ターン目のロータリー車の待機時間(min)

B_i : ダンプトラック交替時のロータリー車の待機時間(min)

D : ダンプトラック台数(台)
 i : ターン回数(回) 注)ダンプトラックが作業現場から雪堆積場へ行く回数
 l : $14m^3$ 分の雪載荷による単位進行距離(km) 注)ダンプトラックが一度に運搬する雪の量
 L : 運搬排雪作業距離(km)
 $N = L/l$: 総運搬回数(回) 注)ダンプトラックの延べ必要台数
 N_i : 1台目のダンプの運搬回数(回)
 t_0 : ダンプ1台あたりの雪載荷時間(min)
 t_d : 雪堆積場滞在時間(min)
 v, v' : ダンプトラック走行速度(行き/帰り)(km/h)
 z, z' : 作業開始地点から雪堆積場までの距離(行き/帰り)(km)

(2) 運搬排雪のダンプトラック台数決定支援技法

前述のモデル式から、札幌市内のある区間を例に、運搬排雪作業におけるダンプトラックの台数と作業時間を推定する。例として、 $L=1.5km$ 、 $z=6.8km$ のケースで、雪堆積場に近づいて行く方向での作業の場合のダンプトラック台数と作業時間の関係を図2に示す。 D の増加に従い T は減少するが、 $D=33$ 台以上では T の値は一定となる。この場合、これ以上ダンプトラックの台数を増やしても、作業現場でダンプトラックの待ち行列が生じ、全体の作業時間は減少しないことになる。本研究では「飽和台数」と定義する。この場合は、最大でも33台のダンプトラックを確保すれば良いということであり、さらに、所要時間を所与の値とすれば、その時間内に作業を完了させるために最低必要な台数も求めることが可能となる。

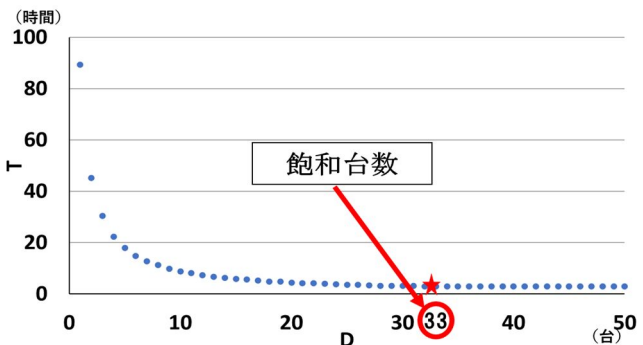


図2 ダンプトラック台数と運搬排雪作業時間

(3) 運搬排雪作業箇所が複数の場合のダンプトラックの最適配置

同時に複数の箇所において運搬排雪を行う場合、最短時間で作業を完了させるためには1か所の場合と同様各箇所での飽和台数 D' の分だけ DT が必要となる。

しかし配置可能な総 DT 台数には限りがあるため、全ての作業箇所に飽和台数を配置するのは不可能である。よって、配置可能な総 DT 台数、すなわち各作業箇所に配置可能な DT 台数の和は一定であるという制約条件の下で、総排雪作業時間を最小とするような DT の配置パターンが最適であるとして、式(3)のように目的式を設定する。

なお、2つめの制約条件は、どの作業箇所にも最低1台は DT が配置されることを意味している。

$$\text{Min}(allT = \sum T_n) \quad (3)$$

$$\text{制約条件: } allD = D_1 + D_2 + \dots + D_n \quad (2 \leq n \leq M)$$

$$1 \leq D_n \leq allD - M$$

ここで、

$allT$ (min): 総排雪作業時間, T_n (min): 各作業箇所の作業時間, $allD$ (台): 配置可能な総 DT 台数, D_n (台): 各作業箇所の DT 台数, M (箇所): 同時に排雪を行う作業箇所数

(4) 中間雪堆積場を考慮した運搬排雪計画の検討

本研究では、図3に示すような道路ネットワークを想定し、中間雪堆積場による運搬排雪の作業効率化について分析した。ダンプトラックが20台の場合を想定し、運搬排雪の作業時間を算出する。

1区画あたりの総作業時間は、各区間の上り方向と下り方向の和で表す。総作業時間は(1)で定式化したものを用いて算出した。

図4が最終雪堆積場に運搬した場合の作業時間の推移である。1日当たりの作業時間は592分が4日、544分が4日、496分が5日、448分が4日、400分が3日となっている。

次に、中間雪堆積場を導入した場合の作業時間を分析する。図5がその作業時間の推移である

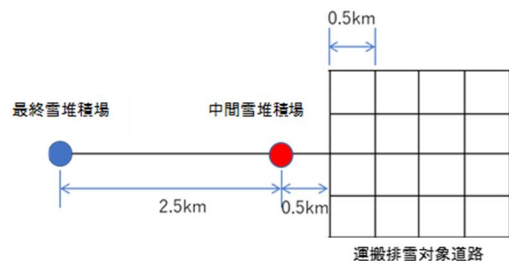


図3 分析対象ネットワーク

が、1日当たりの作業時間は352分が4日、304分が4日、256分が5日、208分が4日、160分が3日となっている。直接最終雪捨て場に運ぶ場合と比べて大幅に時間を削減できることが分かる。しかし、実際には、中間雪堆積場から最終雪堆積場に運搬することが必要である。そこで、ダンプトラック20台が1日当たり9時間(540分)作業すると仮定して、運搬に必要な日数を求めて、作業時間の推移を示したものが図6である。また、運搬排雪地点から中間雪堆積場までの作業時間については、1日当たりの作業時間が最終雪堆積場に直接運搬する時を超えないものとして、中間雪堆積場までの運搬は図5の2倍の作業をすとした。つまり、1区画1日としていたのを中間雪堆積場までだと1日2区画作業できることになり、所要日数は10日に半減する。

すると、中間雪堆積場までは10日、中間雪堆積場から最終雪堆積場までは20日、全体で30日かかることとなり、これは直接最終雪堆積場まで運搬するよりも10日多くかかることとなる。しかし、住宅街道路のような場所では、運搬排雪作業そのものを早く終わらせることが重要であり、中間から最終雪堆積場までの運搬は、後日改めて別の期間に対応しても良い。運搬排雪作業を早く完了するための方法として、中間雪堆積場導入の効果はあることがわかった。

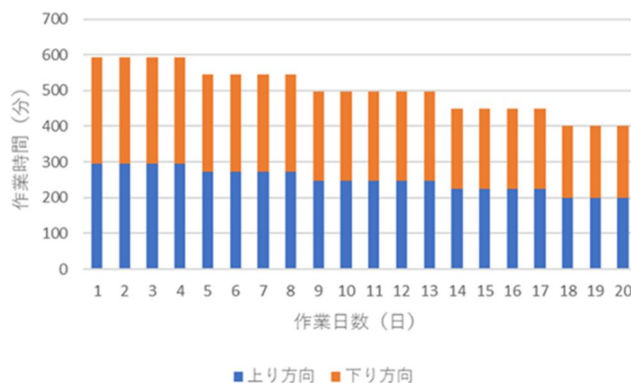


図4 最終雪堆積場に運搬した場合の作業時間の推移

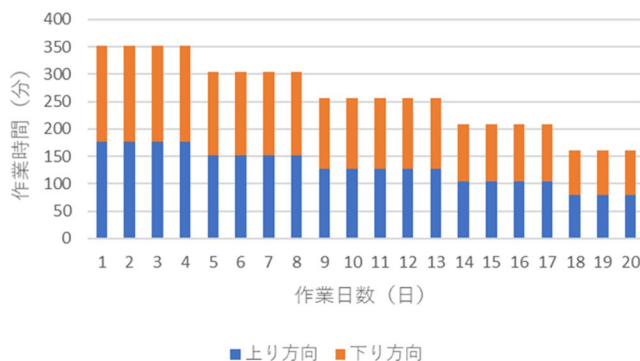


図5 中間雪堆積場まで運搬した場合の作業時間の推移

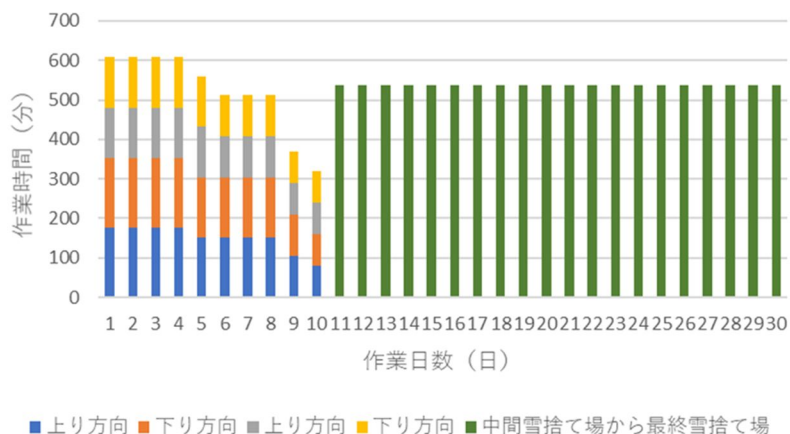


図6 中間雪堆積場を経由して最終雪堆積場まで運搬した場合の作業時間推移

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 村本 蓮, 岸邦宏	4. 巻 77
2. 論文標題 運搬排雪事業におけるダンプトラックの最適配置に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岸邦宏, 在田尚宏	4. 巻 -
2. 論文標題 運搬排雪事業効率化に向けたETC2.0 プローブデータの活用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第34回日本道路会議論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岸邦宏, 在田尚宏
2. 発表標題 運搬排雪事業効率化に向けたETC2.0プロブデータの活用
3. 学会等名 第34回日本道路会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村本 蓮, 岸邦宏
2. 発表標題 運搬排雪事業におけるダンプトラックの最適配置に関する研究
3. 学会等名 土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------