

除雪機械の故障発生分析による除雪機械配備の平準化計画に関する一考察

ケーススタディー：札幌建設管理部所有の除雪トラック

沼田 実*¹ 米川 康*² 大井 条司*² 平岡 城栄*² 伊藤 康徳*³

1. はじめに

北海道における冬期の道路交通の確保は、地域住民の生命線の確保に必要不可欠なものであり、冬期の道路交通の確保では、除雪機械による除排雪や凍結路面对策が非常に重要な役割を果たしている。

しかし、近年では、限られた予算の中で効率的な除雪機械の更新が思うように進まず、除雪機械の老朽化が急速に進展している。こうした状況下、故障件数の増加や部品調達が困難となり、故障した場合の不稼働日数の長期化が問題となっている。本稿では、こうした課題の解決に向け「除雪機械の配備転換により稼働の負荷を平準化」させる研究についてケーススタディとして除雪トラックを抽出し、考察したものである。

しかしながら、故障してもその詳細記録を分析したり有効活用する事例が少ないのが現状である。その理由として、除雪機械の効率的な整備基準そのものが整備されていないという現実がある。最近では、予防保全を目的に整備マニュアルの制度化に向けた動きはあるものの、除雪機械の故障予測の困難さ（故障箇所サンプル数の不足など）から、経験的なメンテナンスに頼ったり、故障してから対応する事後保全が主流となっているのが実態である。

3. アセットマネジメントとの考え方

除雪事業におけるアセットマネジメントを検討するにあたって、除雪機械を管理する責務を担っている公共事業主が留意しておくべき重要な項目を、下記にまとめてみた。

- ① 道路利用者、国民等に最小費用で最大限の満足度を与える。
- ② 適正な管理水準の下で、適切な維持管理計画を策定し実行する。
- ③ 現有資産（除雪機械）を最大限に有効活用させるため、様々なソフト施策の充実を図り、除雪サービスの向上に努める
- ④ 必要な新規投資を行う場合も、現有機械によって提供できる公共サービスの限界、利用者ニーズの実態を踏まえながら、維持管理投資も含むアセットマネジメント全体の中で検討する。

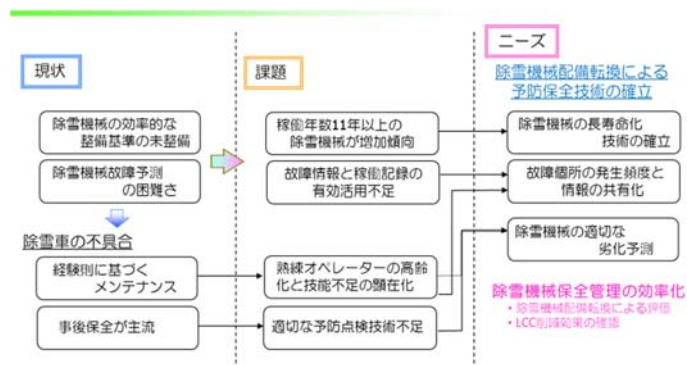


図1 除雪機械の老朽化の現状と維持管理の困難性

2. 除雪トラックの稼働年数と保全の実態

一般的に除雪機械は20年を耐用年数としてひとつの用途を設けている。札幌建設管理部（以下、札幌建管）管内の除雪トラック稼働年数の実態（図-2）をみると、既に11年以上の稼働機械が全体の61%になっており、今後故障リスクの顕在化が懸念される。

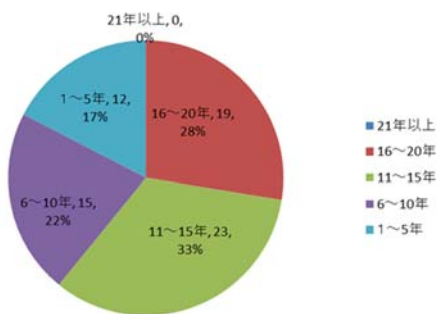


図2 除雪トラックの稼働年数(札幌建管管内)

資産である除雪機械の物理的、機能的老化等を将来にわたり把握し、もっとも費用対効果の高い維持管理を行う必要がある。まずは、公共サービスの最適化という観点から、現有する除雪機械の有効活用に努めることが優先される。次に、現有の除雪機械では明らかに道路利用者等のニーズに十分対応出来ない場合は、同じく費用対効果に十分留意しながら必要に応じて新たな新設投資を検討することが考えられる。

しかしながら、先に述べたように、故障予測の困難さから個々の機械に対する予防保全技術を推進するには極めて困難が伴う。そこで、筆者らは、負荷のかかっている路線車輛と負荷の少ない路線車輛を特定できれば、それらを配置転換させることで機械の延命化が可能となると考えた。

除雪機械の故障原因は、その車両に何らかの負荷が加わったことによる結果と推定できる。

*¹ (独) 国立高等専門学校機構 特専教授

*² 明治コンサルタント(株) *³ NIシステム

そこで、稼働記録と故障修理記録から負荷のかかっている車輛、あるいは負荷の少ない車輛が特定できるかについて検討することとした。今後かかるであろう修理費用の予測が可能となれば、負荷のかかっている車輛を負荷のかかりにくい路線に配置転換が想定可能となる。それが可能となれば除雪機械の長寿命化や、LCC削減も期待できる。

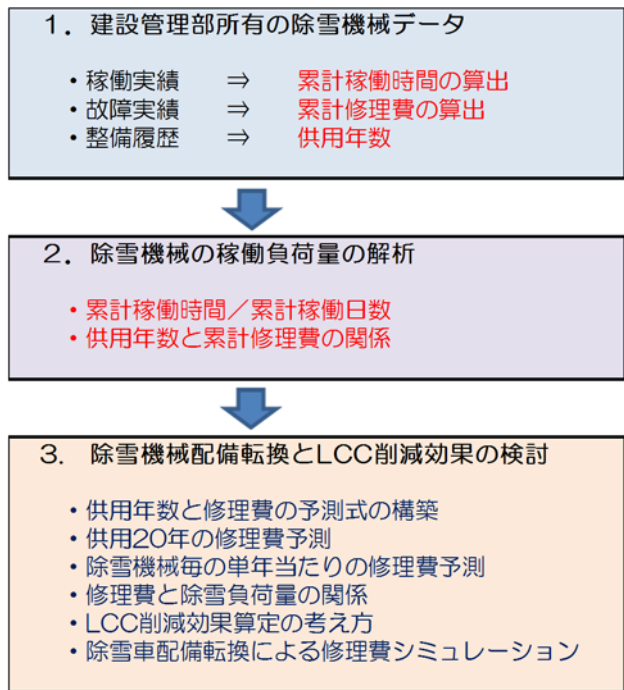


図3 稼働分析の概略のながれ

4. 稼働分析のながれ

稼働分析に用いる対象データは、北海道建設管理部保有の過去20年分の除雪機械の稼働記録と故障記録から、サンプル数が十分確保されている除雪トラックを抽出し、ケーススタディとした。

表1 稼働記録基礎データの事例(抜粋)

出張所	除雪ST	管理番号	供用年数	供用20年までの年数	購入年度	累計稼働時間/累計稼働日数	累計降雪量	累計稼働日数	累計稼働時間	累計修理費
深川	沼田	S27-0114	0	20	27					
滝川	文殊	S26-0114	1	19	26	5.5	626	37日	203h	0千円
千歳	千歳	S26-0115	1	19	26	4.6	398	27日	124h	0千円
千歳	千歳	S26-0128	1	19	26		398	0日	0h	0千円
長沼	若菜	S25-0119	2	18	25	5.0	468	42日	211h	0千円
滝川	滝川	S25-5002	2	18	25	5.7	1,329	83日	476h	480千円
千歳	千歳	S25-5003	2	18	25	4.2	905	71日	297h	0千円
深川	沼田	S25-0127	2	18	25	7.0	1,329	24日	167h	604千円
当別	江別	K23-0102	4	16	23	6.3	3,398	93日	587h	805千円
長沼	若菜	K23-0104	4	16	23	5.0	886	121日	599h	905千円
千歳	千歳	K23-0105	4	16	23	2.1	1,898	127日	268h	1,499千円
深川	深川	K23-0160	4	16	23	7.0	2,640	225日	1,581h	1,949千円
長沼	長沼	M22-0101	5	15	22	6.4	863	223日	1,421h	1,691千円
当別	青山	S21-2506	6	14	21	6.7	3,674	357日	2,375h	1,806千円
長沼	若菜	S20-2520	7	13	20	6.0	1,254	235日	1,399h	2,285千円
千歳	千歳	S20-2521	7	13	20	4.5	3,165	221日	995h	3,195千円
千歳	千歳	S20-2522	7	13	20	2.6	3,165	252日	657h	3,129千円
当別	新篠津	S19-2510	8	12	19	4.4	4,783	445日	1,941h	2,145千円
滝川	滝川	S19-2518	8	12	19	4.6	5,439	379日	1,742h	3,752千円
長沼	長沼	S19-2519	8	12	19	5.5	1,463	284日	1,552h	2,967千円
岩見沢	岩見沢	S18-2513	9	11	18	5.7	3,698	426日	2,439h	3,707千円
滝川	滝川	S18-2514	9	11	18	3.4	4,716	359日	1,206h	3,135千円
深川	深川	S18-2515	9	11	18	4.5	4,716	512日	2,307h	5,057千円
当別	青山	S18-2516	9	11	18	3.5	5,379	543日	1,900h	3,264千円

これらのデータを統計分析し、故障モードから除雪トラックの修理や不稼働となるリスクを明らかにする。

まず、提供データからそれぞれの除雪機械の個体が持つ、累積稼働時間や累積修理費、供用年数を算出した。次いで、除雪機械の稼働負荷量を試算する。この負荷量は累積稼働日数1日あたりの累積稼働時間と供用年数に対する修理費として表現できると仮定した。

解析では、供用年数と修理費の予測が可能か、可能ならば、除雪機械を20年間供用すると仮定した場合、個々の車輛修理費の試算は可能か、あるいは修理費と除雪負荷量は推定可能かなど、配置転換によるLCC削減についてシミュレーションした。

5. 解析結果

5.1 地域性と修理費の関係

地域性と修理費との間に相関性が存在するかについて、検討した。

その結果、累計降雪量と修理費の間には、札幌建管全体では相関性は $r = 0.66$ と低いものの、出張所単位に仕分けすると一挙に相関性が高くなる傾向になった(表-1~2)。

表2 アメダスによる累計降雪量基礎データ(事例:石狩)

石狩 降雪の深さの月合計値(cm)「年の値は寒候年の合計値」					
年	1月	2月	3月	12月	累計降雪量(年度)
1995				160	
1996	306	236	127	150	829
1997	150	193	149	169	642
1998	283	169	92	218	713
1999	245	216	137	111	816
2000	201	198	169	174	679
2001	184	99	73	170	530
2002	118	117	84	175	489
2003	149	126	73	96	523
2004	177	157	49	185	479
2005	188	205	136	173	714
2006	221	126	113	129	633
2007	162	139	112	102	542
2008	242	169	17	101	530
2009	139	154	77	108	471
2010	207	129	113	97	557
2011	304	108	137	238	646
2012	246	150	66	215	700
2013	174	191	100	169	680
2014	232	138	81	267	620
2015	208	80	66	104	621
2016	192	142	79		517

表3 累計降雪量と累計修理費の関係

地域	累計降雪量と累計修理費の相関係数
札幌建管全域	0.66
岩見沢	0.98
滝川	0.88
千歳	0.99
当別	0.75
長沼	0.94
深川	0.98

次に、除雪機械ごとの供用年数を説明変量に置換え、修理費との相関性を回帰分析することとした。ここで、説明変量を供用年数としたのは、容易に入手できることに加え、今後の維持管理指標として扱いやすい変量と考えたためである。

解析の結果、表-3 のように高い相関性が認められ、供用年数によって概略の修理費を試算可能とする予測式が得られた。

表 4 供用年数と累計修理費の関係

地域	供用年数(x)と累計修理費(y)の相関係数	累計修理費予測式(千円)
岩見沢	0.98	y=843x-4775
滝川	0.90	y=642x-1490
千歳	0.99	y=440x-305
当別	0.96	y=380x-577
長沼	0.93	y=745x-2418
深川	0.96	y=949x-1805

5.2 路線別修理費と負荷の大小

図-4 は、表-3 に示した地域別予測式を用いて、除雪トラックが今後対応しなければならぬ修理費予測を整理したものである。

負荷量の推定では、単位累計稼働日数当たりの稼働時間が大きければそれだけその除雪機械は高い負荷環境で稼働していると推定できる。したがって、今後の単位年当たりの修理費が大きければ負荷値が高いと定義する。

個々の機械の負荷値を相対的に判定するには、全サンプルのメジアン中央値を算出し、それ以上であれば、相対的に負荷の高い車輛と仮定した。

この2つの要素の高い値の車輛が故障する環境にあり、逆に低いものは故障リスクの低い車輛と仮定した。

こうした推定に基づき、負荷量の大きな地域の除雪機械を負荷量の小さな地域の除雪機械と配置転換した場合、どの程度の修理費削減効果をもたらすかをシミュレーションした。

表 5 管内除雪トラックの配置転換シミュレーション

出張所	管理番号	供用20年までの年数	累計稼働時間/累計稼働日数	20年間供用すると仮定した場合の単位年当たりの予測修理費
深川	S25-0127	18	7.0	921千円
深川	K23-0160	16	7.0	952千円
深川	S15-2513	8	6.2	1,027千円
深川	S14-2515	7	5.7	1,004千円
岩見沢	S18-2513	11	5.7	762千円
岩見沢	S17-2524	10	5.5	823千円
岩見沢	S16-2509	9	5.6	916千円
岩見沢	S16-2516	9	5.2	811千円
岩見沢	S14-2514	7	6.5	871千円
長沼	M22-0101	15	6.4	719千円
長沼	S20-2520	13	6.0	784千円
長沼	S19-2519	12	5.5	793千円
千歳	S26-0115	19	4.6	447千円
千歳	K23-0105	16	2.1	437千円
当別	S16-2530	9	4.2	451千円
当別	S11-2529	4	4.1	570千円
当別	S18-2516	11	3.5	342千円
当別	S17-2530	10	4.3	365千円
当別	S14-2516	7	4.1	350千円
当別	S13-2525	6	4.8	407千円
千歳	S20-2521	13	4.5	408千円
千歳	S20-2522	13	2.6	413千円
当別	S19-2510	12	4.4	407千円

たとえば千歳や当別の車輛を深川や岩見沢そして長沼に配置転換したりすると、今後約5千万円の削減が見込まれると推定された。

表 6 除雪トラック配備転換とLCC削減効果

交換対象車両番号	これまでの累計修理費(千円)	供用20年までの年数	同じ機械を20年間供用すると仮定した場合の今の予測修理費(千円)	20年間供用すると仮定した場合の交換後の修理費予測額(千円)	差額(千円)	交換対象車両番号	これまでの累計修理費(千円)	供用20年までの年数	同じ機械を20年間供用すると仮定した場合の今の予測修理費(千円)	20年間供用すると仮定した場合の交換後の修理費予測額(千円)	差額(千円)
S25-0127	604	18	16,577	15,277	-1,300	S26-0115	0	19	8,896	8,055	-841
K23-0160	1,948	16	15,232	13,379	-1,853	K23-0105	1,489	16	6,997	6,735	-262
S15-2513	8,987	8	8,214	5,787	-2,427	S16-2530	2,965	9	4,082	2,945	-1,139
S14-2515	10,151	7	7,008	4,838	-2,192	S11-2529	4,746	4	2,281	943	-1,338
合計					-7,772	合計					-11,034
S18-2513	3,707	11	8,384	4,486	-3,898	S18-2516	3,195	11	5,301	2,603	-1,698
S17-2524	3,890	10	8,231	3,655	-4,576	S17-2530	3,129	10	5,387	3,223	-2,164
S16-2509	3,845	9	8,246	2,812	-5,434	S14-2516	4,579	7	2,448	2,283	-1,295
S16-2516	4,700	9	7,201	2,812	-4,489	S14-2517	5,414	7	3,082	2,775	-2,637
S14-2514	5,992	7	6,089	1,126	-4,972	S13-2525	2,965	6	4,082	1,703	-2,379
合計					-23,851	合計					-8,874
M22-0101	1,891	15	10,787	8,757	-2,030	S20-2521	3,195	13	5,301	5,415	114
S20-2520	2,285	13	10,193	7,287	-2,906	S21-2508	1,806	13	5,221	5,415	184
S19-2519	2,887	12	9,511	6,522	-2,989	K23-0105	1,489	12	6,997	3,983	-3,014
合計					-13,465	合計					-2,700
LCC総額											-51,917

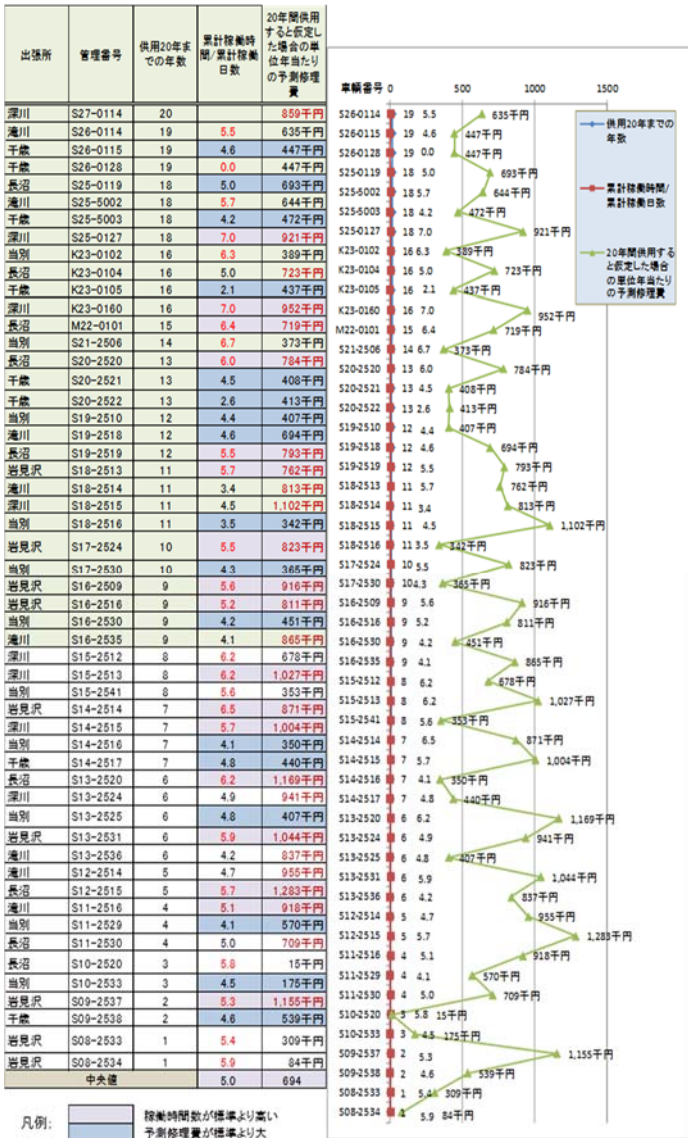


図 4 札幌建管所有除雪トラックの今後の修理費予測

6. まとめと今後の展望

本稿では、除雪機械の負荷量を供用年数によって、地域ごとの概略修理費を試算可能であることを推定できた。今後は、導かれた理論が正しいかを数年に亘ってモニタリングする必要がある。

効果が確認された後は、各種データから、他の建管においても故障や整備の傾向を分析することで、除雪機械の予防整備の可能性が広がることなる。

さらに、今後は密度の高い協議や検討のプロセスを経て、本格的な予防保全技術の確立を目指したい。

それには、故障部位の詳細データや路線情報や稼働データの蓄積が重要となる。十分なサンプルデータにより、除雪機械の劣化評価や予防整備マネジメントの確立が可能となる。

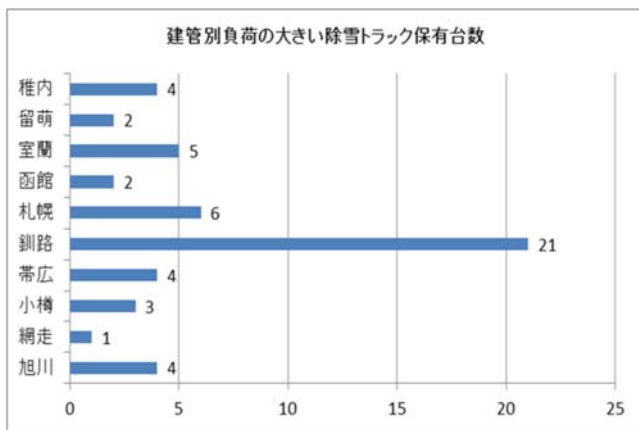


図5 建管別負荷の大きい除雪トラック保有台数

筆者らは、全建管データを対象に、一連の負荷量のシミュレーションを行った。その結果、釧路建管保有の除雪トラックが突出して負荷量が高いことが判明した。このことから、除雪機械へ与える負荷の大小は、決して降積雪量のファクターが負荷量に寄与しているものではないことを推察するものである。

おそらく、除雪そのものの稼働の仕組みに起因しているのではないかとと思われる。それらを確認するには稼働日報や稼働の追尾確認が必須となる。

7. 謝辞

本研究に際して、貴重なデータを提供下さいました北海道建設部建設政策局維持防災課、ならびに札幌建設管理部維持管理課の皆様へ深謝いたします。