

除雪機械の劣化度評価手法に関する検討

伊藤義和*¹ 植野英睦*¹ 幸田勝*¹

1. はじめに

近年の予算縮減により、除雪機械の更新が先送りされ老朽化した機械が増加している。重大故障の発生に伴う除雪作業停止日数は年々増加しており、道路除雪体制への影響が懸念される。

重大故障に伴う除雪作業停止日数の削減には、限られた予算の中で、効果的かつ効率的な除雪機械の維持管理を行うことが重要となる。

その維持管理の指標となる除雪機械の劣化度を定量的に評価する手法の提案に向けて、道路管理者所有の除雪機械の稼働、故障データを収集して故障の傾向を把握するとともに、信頼性評価手法であるFTA (Fault Tree Analysis : 故障の木解析) の適応性を検討したので報告する。

2. 検討概要

国道の道路管理者である国土交通省北海道開発局より平成19～27年度分、東北地方整備局より平成24～27年度分、及び北陸地方整備局より平成23～27年度分の除雪機械の稼働、故障データを収集した。図-1に除雪機械別の故障データ数を示す。

これらのデータの中で、稼働時間、走行距離及び故障箇所について次のように整理した。故障発生時の稼働時間、走行距離が不明な故障データのうち、発生日時の記載があり、かつ月間毎の稼働時間、走行距離がわかるものについては、その発生月末までの累計の稼働時間、走行距離とした。また、発生日時の不明な故障データについては、故障

が発生した年度末における稼働時間、走行距離に統一した。

故障箇所については、建設機械整備標準作業工数表(除雪機械編)¹⁾の作業項目区分を参考に、表-1のように分類した。

整理したデータについて、沿道環境毎の故障発生件数と故障発生率(機械1台あたりの故障発生件数)をグラフ化した。また、除雪作業停止日数2日以上を除雪機械別の故障発生件数及び故障発生率をグラフ化した。

沿道環境毎の故障発生件数及び故障発生率を図-2に、除雪作業停止日数2日以上を除雪機械別の故障発生件数及び故障発生率を図-3に示す。

沿道環境毎の故障発生件数は、平地部、山間部が突出して多く、故障発生率では山間部、平地部、市街部の順に高い傾向となっている。

表-1 故障箇所の分類例(除雪トラック、抜粋)

No.	大項目	中項目	小項目
1	車両	エンジン	エアクリーナ, エキゾーストパイプ, etc
2	車両	冷却装置	ラジエータ, ウォータポンプ, etc
3	車両	燃料装置	インジェクション, アクセルワイヤー, etc
4	車両	電気装置	オルタネータ, スタータモータ, etc
}
19	作業装置	G装置	シャープペンレス装置, 昇降装置, etc
20	作業装置	S装置	油圧調整管, ウィングホルダ, etc
}
28	不明		

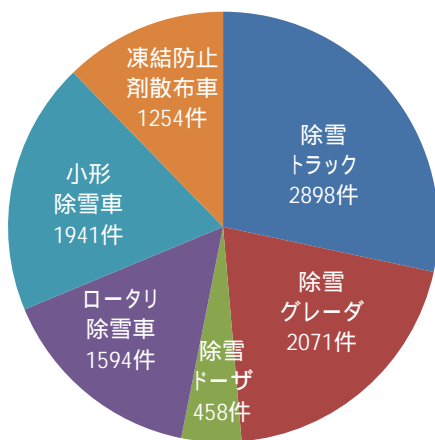


図-1 除雪機械別の故障データ数

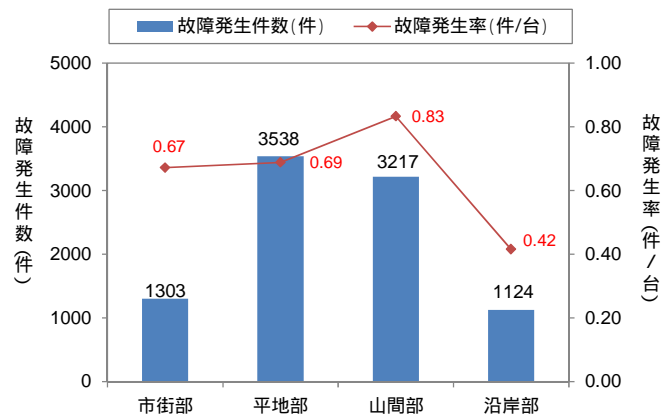


図-2 沿道環境毎の故障発生件数及び故障発生率

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

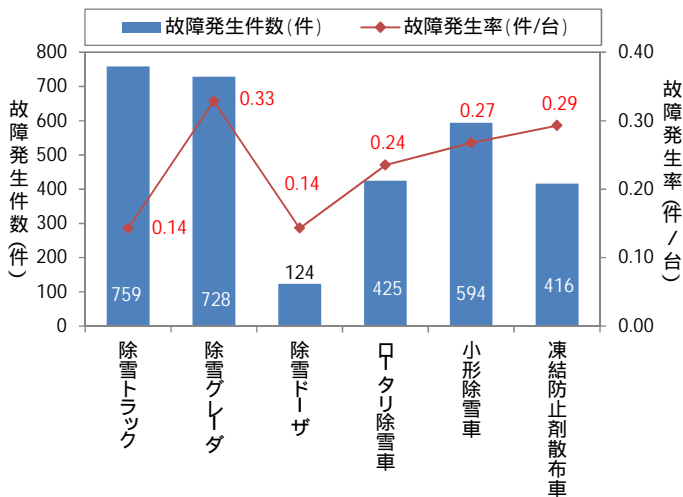


図 - 3 除雪作業停止日数 2 日以上の除雪機械別の故障発生件数及び故障発生率

除雪作業停止日数 2 日以上の除雪機械別の故障発生件数は除雪トラック、除雪グレーダ、小形除雪車の順に多く、故障発生率では除雪グレーダ、凍結防止剤散布車、小形除雪車の順で高くなっている。

3. 劣化度の定量的評価手法の検討

除雪機械の劣化度を定量的に評価する手法として、収集した故障データを用いて、信頼性評価手法の一つである FTA の適応性を検討した。

FTA は、その発生が好ましくない事象(トップ事象)について、発生経路、発生原因および発生確率を論理記号を用いて樹形図 (FT 図) に展開し解析する手法である。ここでは、次に示す手順 1~4 で、トップ事象が発生する確率の算

定に必要な「最終的な基本事象(故障要因)」の抽出とその故障発生確率の近似式の導出を行った。

- 〔手順 1〕「2 日以上にわたって除雪作業停止となる故障」を重大な故障として、トップ事象に設定する。
- 〔手順 2〕トップ事象に至る発生原因を 1 次事象(表 - 1 に示す故障箇所の「中項目」単位)に設定する。
- 〔手順 3〕さらに、故障箇所や故障内容を掘り下げて、1 次事象に至る 2 次事象(表 - 1 に示す故障箇所の「小項目」単位)や「最終的な基本事象(故障要因)」に至る FT 図を作成する。
- 〔手順 4〕「最終的な基本事象(故障要因)」の内、5 件以上のものを抽出し、使用年数、稼働時間及び走行距離を説明変数とする単回帰分析で、その故障要因の故障発生確率を算定する近似式を導出する。

以上の手順で除雪トラック、除雪グレーダ、ロータリ除雪車及び小形除雪車の FT 図を作成した。その FT 図から抽出した「最終的な基本事象(故障要因)」について、除雪トラックで 16 事象、除雪グレーダで 16 事象、ロータリ除雪車で 7 事象、小形除雪車で 9 事象の故障発生確率の近似式を導出した。

除雪グレーダを例に、FT 図を図 - 4 に、故障発生確率の近似式を表 - 2 に示す。また、表 - 2 の「シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等」、「油圧ホースの劣化、破裂」、「サークルのギヤ等の劣化、破損」及び「オルタネータの経年劣化」の累積故障発生件数と故障発生確率について、図 - 5~図 - 8 に示す。

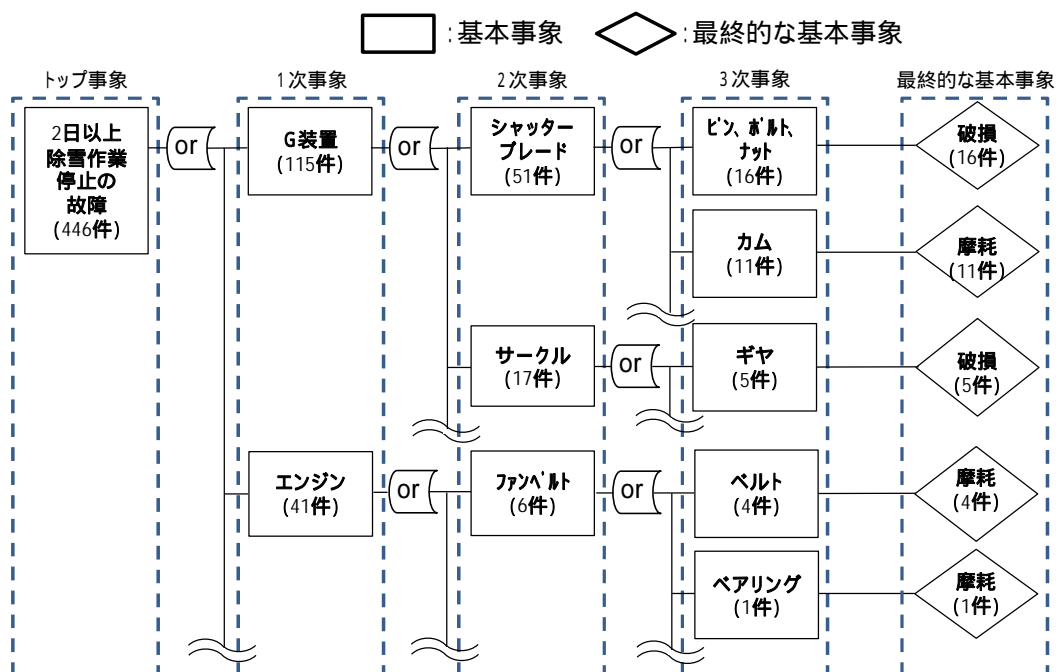


図 - 4 除雪グレーダの FT 図(抜粋)

表 - 2 故障発生確率の近似式 (除雪グレーダ)

基本事象	説明変数	故障発生確率の近似式	重相関決定係数 (R ²)
シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等	使用年数	$y = -0.000003736x^3 + 0.000141699x^2 - 0.000971316x + 0.001356242$	0.9666
シャッターブレードのカム部の摩耗、破損	使用年数	$y = 0.000027606x^2 - 0.000181154x + 0.000211694$	0.9526
シャッターブレードのシャッタ等の損傷、変形	使用年数	$y = 0.000003007x^3 - 0.000054196x^2 + 0.000276606x - 0.000342250$	0.9687
シャッターブレードのドロップシートの摩耗	走行距離	$y = 0.000000498x^3 - 0.000021312x^2 + 0.000411051x - 0.000689981$	0.9023
ブレードの変形、損傷	使用年数	$y = -0.000005834x^2 + 0.000356106x - 0.001130220$	0.7590
ブレードのピン、ボルト等の破損等	使用年数	$y = 0.000000882x^3 - 0.000046617x^2 + 0.000745393x - 0.001334619$	0.6204
油圧ホースの劣化、破裂	使用年数	$y = -0.000000725x^3 + 0.000057414x^2 - 0.000446993x + 0.000654396$	0.9639
サークルのギヤ等の劣化、破損	走行距離	$y = -0.000000344x^3 + 0.000004213x^2 + 0.000181752x - 0.000067969$	0.9211
昇降装置のスプリングの劣化、破損	稼働時間	$y = -0.000026018x^3 + 0.000394149x^2 - 0.000640903x + 0.000166267$	0.9693
オルタネータの経年劣化	使用年数	$y = 0.000001207x^3 - 0.000062944x^2 + 0.001169398x - 0.002051316$	0.6619
ワイパーモータの劣化、故障	走行距離	$y = -0.000000250x^3 + 0.000003280x^2 + 0.000064461x + 0.003324400$	0.2717
タンデムドライブのオイルシール等の劣化	使用年数	$y = -0.000003682x^3 + 0.000112769x^2 - 0.000717485x + 0.000955315$	0.9128
作業灯の腐食、劣化	使用年数	$y = -0.000000420x^3 + 0.000035071x^2 - 0.000318564x + 0.000536053$	0.9417
作業灯の取付部の腐食、劣化	使用年数	$y = 0.000015466x^2 - 0.000039996x - 0.000154528$	0.8707
作業灯の配線等の腐食、劣化	使用年数	$y = -0.000008217x^2 + 0.000368359x - 0.001027032$	0.8103
フロントガラスの損傷 (亀裂、破損)	稼働時間	$y = -0.000012831x^3 + 0.000177296x^2 - 0.000173147x - 0.000207467$	0.9293

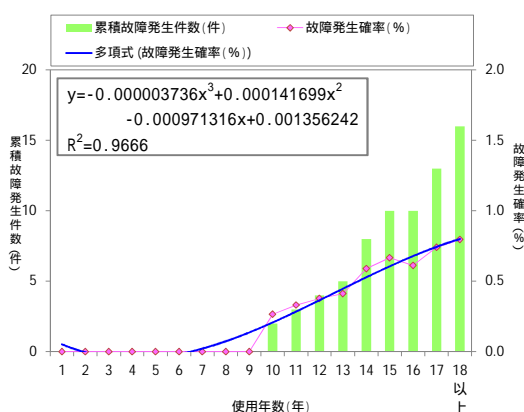


図 - 5 シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等の累積故障発生件数と故障発生確率 (除雪グレーダ)

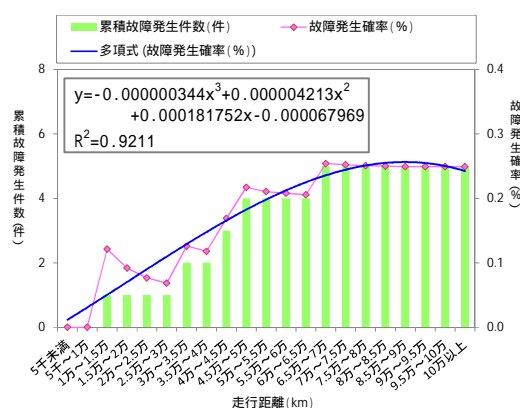


図 - 7 サークルのギヤ等の劣化、破損の累積故障発生件数と故障発生確率 (除雪グレーダ)

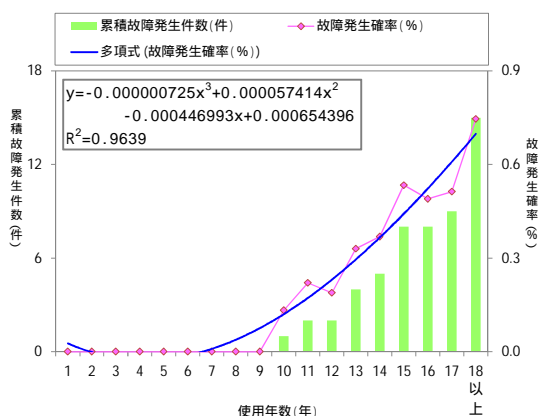


図 - 6 油圧ホースの劣化、破裂の累積故障発生件数と故障発生確率 (除雪グレーダ)

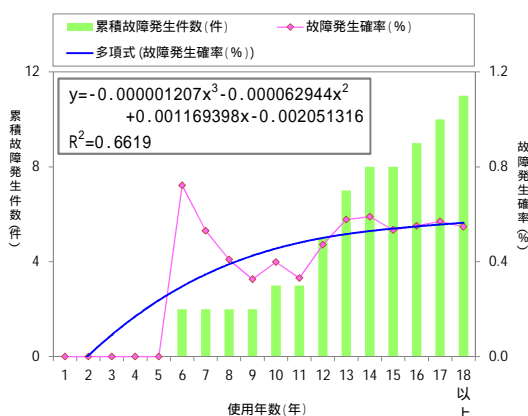


図 - 8 オルタネータの経年劣化の累積故障発生件数と故障発生確率 (除雪グレーダ)

「シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等」
「油圧ホースの劣化、亀裂」の故障発生状況は、使用年数
10年目から故障が発生し始め、徐々に増加する傾向となっ
た。

「サークルのギヤ等の劣化、破損」の故障発生状況は、
走行距離 1.0 万～1.5 万 km から故障が発生し、6.5 万～7.0
万 km まで増加するが、その後の区間においては故障が発生
していないため、6.5 万～7.0 万 km がピークとなる傾向と
なった。

「オルタネータの経年劣化」の故障発生状況は、6 年目に
故障が発生し始めるが、11 年目までほとんど増えずに、12
年目以降に増加していく傾向となった。

表 - 2 に示す故障発生確率の近似式は、使用年数、稼働時
間及び走行距離のうち、重相関決定係数の値の高いものを
採用した結果、使用年数を説明変数とする単回帰式が多ク
なった。しかし、「ワイパーモータの劣化、故障」について
は、走行距離を説明変数とする近似式となり、重相関決定
係数は著しく低いものとなった。

一方、故障発生確率の精度向上の試みとして、使用年数、
稼働時間及び走行距離の全てを説明変数とする重回帰式で
故障発生確率の近似式の導出を行い、表 - 2 に示す単回帰式
と比較した。しかし、どの「最終的な基本事象(故障要因)」
においても、重回帰式は単回帰式より重相関決定係数が低
い結果となった。

除雪機械劣化度の定量的評価に向けて、FTA で解析を行っ
た結果、重大な故障に至る「最終的な基本事象(故障要因)」
を抽出することができた。故障発生確率の精度向上に課題
はあるが、個々の「最終的な基本事象(故障要因)」の故障
発生確率を加算または乗算することにより、除雪機械劣化
度の定量的な評価が可能なることから、FTA の適応性は高いと
いえる。

4. まとめ

除雪機械の稼働、故障データを収集し整理した結果、沿
道環境毎の故障発生件数は、平地部、山間部が多く、故障
発生率でも同様の傾向であった。除雪作業停止日数 2 日以
上の除雪機械別の故障発生件数及び発生率は除雪グレーダ、
小形除雪車が高い傾向となっている。

除雪機械劣化度の定量的評価に向けて、除雪トラック、
除雪グレーダ、ロータリ除雪車及び小形除雪車について、
FTA の適応性を検討した。その結果、故障データから重大な
故障に至る「最終的な基本事象(故障要因)」を抽出でき、
各故障要因の発生確率を加算または乗算することで、除雪
機械劣化度の定量的な評価が可能なることから、FTA は評価手
法として適応性が高いことを確認した。

今後、FTA 以外の適応性も含め、引き続き、除雪機械劣化

度の定量的評価手法の提案に向けて検討していきたい。

参考文献

- 1) 建設機械整備技術委員会：建設機械整備標準作業工数
表(除雪機械編)(平成 22 年度版)、社団法人日本建設機械
化協会北陸支部、2010