

高速道路における凍結抑制舗装の効果検証手法及び評価

岩橋 拓海*1・安部 和夫*2・齊藤 諒*3・酢谷 浩*1・徳永 透*1・山田 健雄*1

1. はじめに

積雪寒冷期における事故対策として、勾配の大きな箇所やトンネル坑口等に凍結抑制舗装が用いられる事がある。

凍結抑制舗装には、塩化ナトリウムや塩化カルシウムなどの凍結抑制材を含有した材料をアスファルト混合物中に添加・混入する事で凍結抑制機能を付与する化学系凍結抑制舗装や、舗装表面及び舗装体内に添加された弾性材料が通行する車両の荷重によりたわみ、舗装表面の雪氷の剥離や破碎を促進させる物理系凍結抑制舗装、さらに化学系や物理系を組み合わせたものなど様々な種類がある。¹⁾

一方で凍結抑制舗装の効果について、実際の道路にて定量的に検証した事例は少ない。そこで、撮影した路面画像から路面積雪率を算出できるアプリを開発し、それを用いた凍結抑制舗装の効果検証手法を令和4年度~5年度の雪氷期2シーズンに渡り、東日本高速道路東北支社管内の高速道路で行ったので、その取組みについて紹介する。



図1 西会津PAの検証箇所^{2) 3)}

2. 検証箇所

磐越自動車道上り西会津PA付近の走行車線 (図1、以下西会津PA) と東北中央自動車道下りにしごうトンネル北坑口 (図2、以下にしごうTN) の走行車線に施工されている2種類の凍結抑制舗装について検証を行った。なお、西会津PAはアイストッパー、にしごうTNはグルーピングウレタン工法+PRMS多機能工法という凍結抑制舗装でどちらも物理系凍結抑制舗装である。



図2 にしごうTNの検証箇所^{2) 3)}

3. 検証方法

3.1 定点カメラの設置

降雪時の凍結抑制舗装区間と通常舗装区間の路面への積雪状況を比較するため、1箇所につきWEBカメラを2基設置した (写真1)。1基は凍結抑制舗装面の画像、もう1基については、通常舗装面の画像を取得 (5分毎) する事とし、画像データは通信盤内にある通信装置を介し、携帯電話の回線を用いて、指定サーバーへ送信を行った。

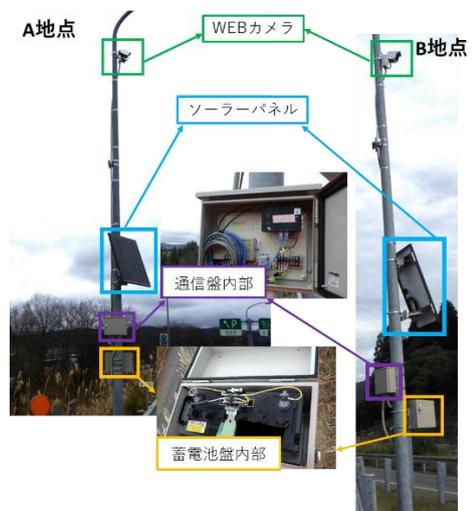


写真1 西会津PAでのWEBカメラ一式取付

*1 山田技研株式会社 *2 東日本高速道路株式会社 東北支社 *3 株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北

3.2 積雪状況の定量化

凍結抑制舗装の効果を検証するにあたり降雪時の「路面積雪率」を通常舗装と比較する事で、効果検証を出来ると考えた。そこで、検証現場で両舗装の路面画像を撮影しサーバーに送信を行い、「凍結抑制舗装判定ソフトウェア」(※1、ソフトウェア画像は図3参照)を用いて路面積雪率を算出及び表示する事とした。なお路面積雪率とは、図3のような黄色枠内で雪と判定された部分の割合である。また、このソフトウェアはマイクロソフトエッジ上にて表示させ、気温計も設置し気温データ等も表示させた。

※1 「路面積雪検出装置及び路面積雪検出方法(福井県 特許 5190204)」をプログラム化したアプリケーション



図3 凍結抑制舗装判定ソフトウェア

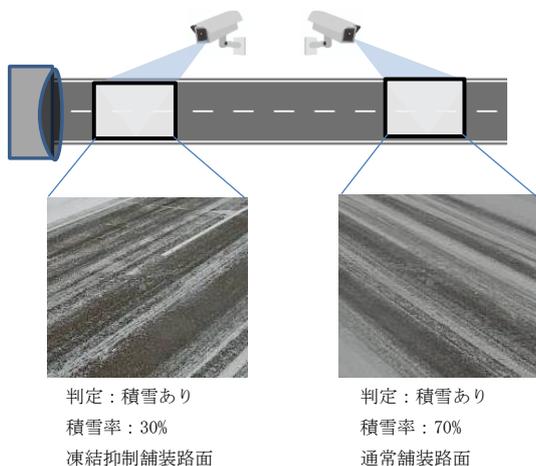


図4 路面比較概略図

さらに算出された路面積雪率を用いて相対評価を行いやすくするため、路面積雪率は21分割した点数化をし(例:1~5%=0.5点・46~50%=5.0点・96~100%=10.0点)、各舗装の比較を定量化できるようにした。

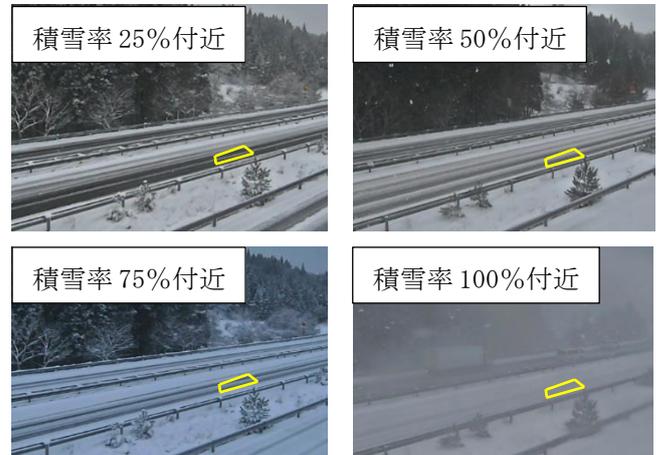


図5 路面積雪率と路面状況イメージ図

4. 検証対象期間

4.1 令和4年度

西会津PAは令和4年12月5日~令和5年2月28日、にしごうTNは令和4年12月22日~令和5年2月28日とした。なお、にしごうTNにおいては、暗くて路面を確認できない時間を、検証対象から除外した。

4.2 令和5年度

西会津PA・にしごうTNとも令和5年12月1日~令和6年2月29日とした。なお、にしごうTNにおいては、令和4年度同様の時間帯は、検証対象から除外した。

5. 累積点数による評価

路面積雪率を点数化したものを、上記の対象期間において累積させ、得られた合計点数から凍結抑制舗装の効果検証をする事とした。

このような手法を採用した理由は、単発路面積雪率(棒グラフ)では各舗装の路面積雪率の比較評価が把握しづらいが、累積することにより路面積雪率の発生から消失までの比較(積雪の継続状況、消失時間など)が直感的に出来ると考えたためである。

6. 令和4年度の比較

6.1 全期間の累積点数比較

西会津PAでは（図6）、12月は通常舗装・凍結抑制舗装共にほぼ同じ点数で経過した。しかし、1月に入ると通常舗装の点数が凍結抑制舗装を上回り、最大で495点の差があった（令和5年1月30日03:50～14:35）。2月

も、1月同様に通常舗装の方が凍結抑制舗装よりも点数が高く推移した。最終的な累積点数は通常舗装で11,202点、凍結抑制舗装で10,594.5点となりその差は607.5点であった。

この結果から、凍結抑制舗装のほうが、積雪もしくは融解に対して効果があったと推察される。

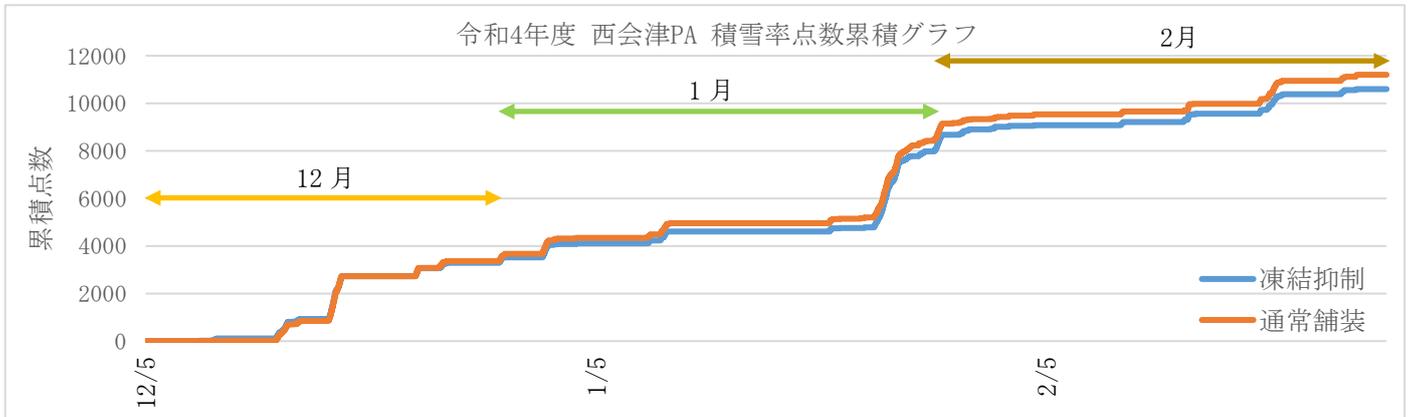


図6 令和4年度全期間の通常舗装・凍結抑制舗装の累積点数（西会津PA）

にしごうTNでは（図7）、12月は通常舗装・凍結抑制舗装共にほぼ同じ点数で経過した。しかし、1月に入ると通常舗装の点数が凍結抑制舗装を上回り、最大で104.5点の差があった（令和5年1月29日06:35～31日23:55）。2月も、1月同様に通常舗装の方が凍結抑制舗

装よりも点数が高く推移していき、最終的な累積点数は通常舗装で1,170.5点、凍結抑制舗装で1,044.5点となりその差は126点であった。

この結果から、凍結抑制舗装のほうが、積雪もしくは融解に対して効果があったと推察される。

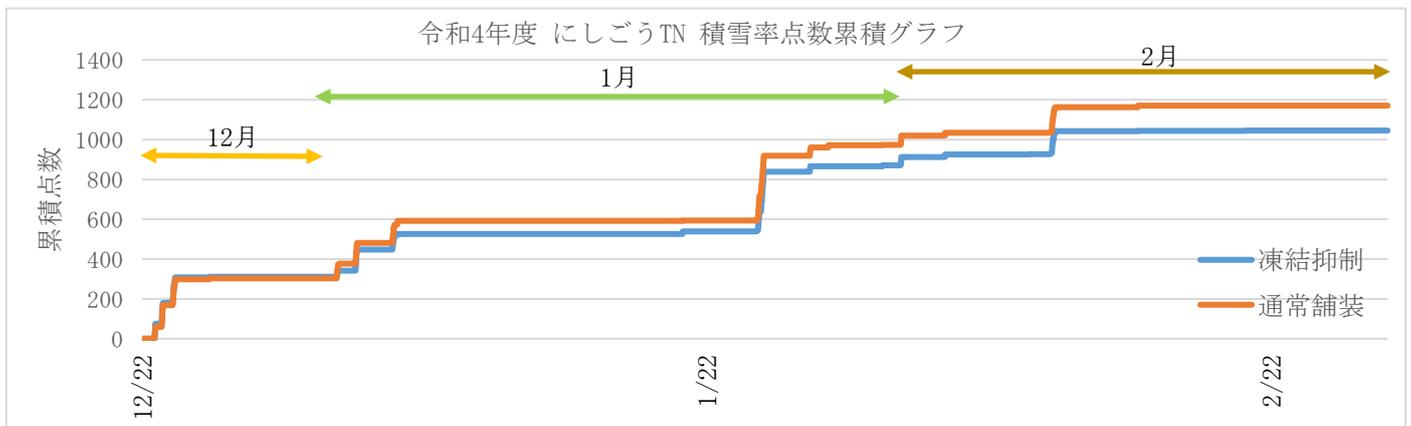


図7 令和4年度全期間の通常舗装・凍結抑制舗装の累積点数（にしごうTN）

6.2 短期間での累積点数及び路面積雪率比較

期間中の降雪事例毎に累積点数（折れ線グラフ）と路面積雪率（棒グラフ）を表すグラフ（全て融けた時点から<路面積雪率が0%>4時間経過した場合、累積点数を一旦0としている）を作成し、積雪開始から融解終了までに通常舗装と凍結抑制舗装で違いがあるのか比較を行った（各地点、代表的な1事例を紹介）。

路面が積雪状態となり累積点数は、ほぼ等しい値で、両舗装共に右肩上がりで上昇している。次に、01:20頃からの融解していく過程を見ると、凍結抑制舗装は02:20頃に路面積雪率が0%になっているが、通常舗装は03:20頃に路面積雪率が0%となっている。

このことから、凍結抑制舗装の方が通常舗装に比べ1時間程早く融解した事になる。

西会津PAでは（図8）、令和4年12月16日00:00頃から

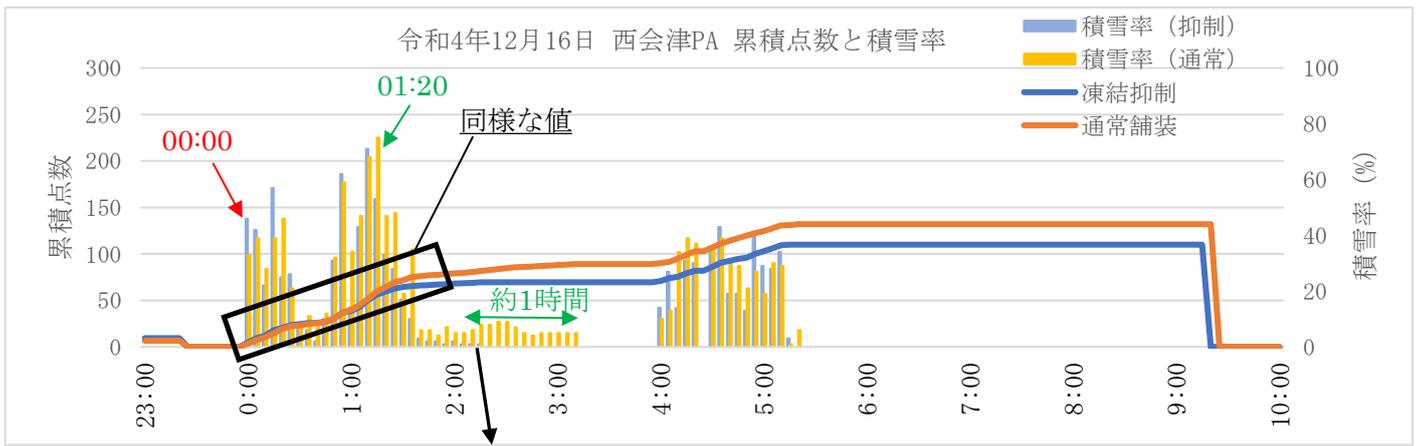


図8 累積点数と路面積雪率の推移（令和4年12月16日 西会津PA）

にしごうTNでは（図9）、令和5年1月5日07:50頃から路面が積雪状態となり、10:30頃にかけて時間の経過とともに通常舗装の累積点数が凍結抑制舗装を上回るグラフとなっている。また、14:10頃からの積雪状態でも

通常舗装の累積点数が凍結抑制舗装を上回っている。このことから、路面に雪が付着していく過程において、凍結抑制舗装は通常舗装よりも堆雪が少ないように見受けられる。

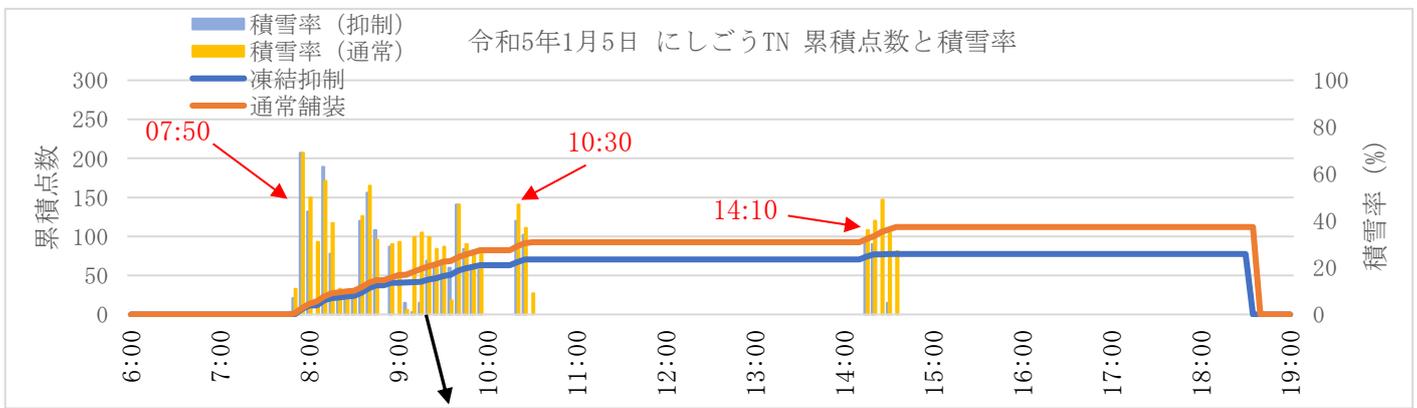


図9 累積点数と路面積雪率の推移（令和5年1月5日 にしごうTN）

7. 令和5年度の比較

7.1 全期間の累積点数比較

西会津PAでは（グラフ省略）、12月18日6時00分前後の降雪で通常舗装が凍結抑制舗装を上回る点数となり、12

月下旬から1月上旬にかけてその傾向が続いた。

1月中旬に入ると、16日の降雪で凍結抑制舗装が通常舗装を逆転し、凍結抑制舗装の方が通常舗装よりも40点高くなり、2月に入っても同様の点差で推移した。

最終的な累積点数は凍結抑制舗装が835点、通常舗装が807.5点となりその差は27.5点であった。この結果から凍結抑制舗装のほうが、積雪もしくは融解に対して効果が見られる事例も見受けられたが、最終的には凍結抑制舗装の累積点数が通常舗装よりも上回った。

なお、令和4年度の検証では凍結抑制舗装で10,594.5点、通常舗装で11,202点だったため、令和5年度は令和4年度に比べ両舗装とも1/10以下の累積点数となった。累積点数が大きく下がった原因は、暖冬による降雪の少なさが一因と考える。

にしごうTNでは（グラフ省略）、12月は評価対象時間（夜明け～日没）において路面が積雪状態となる事は無く、両舗装とも累積点数は0点であった。1月に入り、16日に評価対象期間で初めて路面が積雪状態となり、通常舗装の方が凍結抑制舗装よりも24.5点上回り2月上旬まで同様に推移した。2月では2回路面が積雪状態となり、両舗装とも累積点数が上昇した。最終的な累積点数は通常舗装が337点、凍結抑制舗装が314.5点となりその差は22.5点であった。この結果から、凍結抑制舗装のほうが、積雪もしくは融解に対して効果があったと推察される。

なお、令和4年度の検証では通常舗装で1,170.5点、凍結抑制舗装で1,044.5点だったため、令和5年度は令和4

年度に比べ両舗装とも半分以下の累積点数となった。累積点数が大きく下がった原因は、西会津PA同様に暖冬による降雪の少なさが一因と考える。

7.2 短期間での累積点数及び路面積雪率比較

前述と同様のグラフを作成し、通常舗装と凍結抑制舗装で違いがあるのか比較を行った（各地点、代表的な1事例を紹介）。

西会津PAでは（図10）、令和5年12月18日4時00分から路面が積雪状態となり累積点数は、凍結抑制舗装の方が、通常舗装をやや上回りながら右肩上がりでも上昇している。6時20分頃からの融解していく過程を見ると、凍結抑制舗装は7時10分頃には路面積雪率が0%になったが、通常舗装は完全に融解されず、7時40分近くまで10%ほどの路面積雪率となっている。また、8時00分から2回目の降雪があり、通常舗装では路面が積雪状態となったが、凍結抑制舗装では積雪状態になったのはごく一部の時間でほとんど積雪状態にならなかった。よってこれらの時間より、凍結抑制舗装の方が通常舗装よりも1時間程早く融解し、降雪時は凍結抑制舗装の方が通常舗装よりも路面に雪が積もりにくい事が分かる。

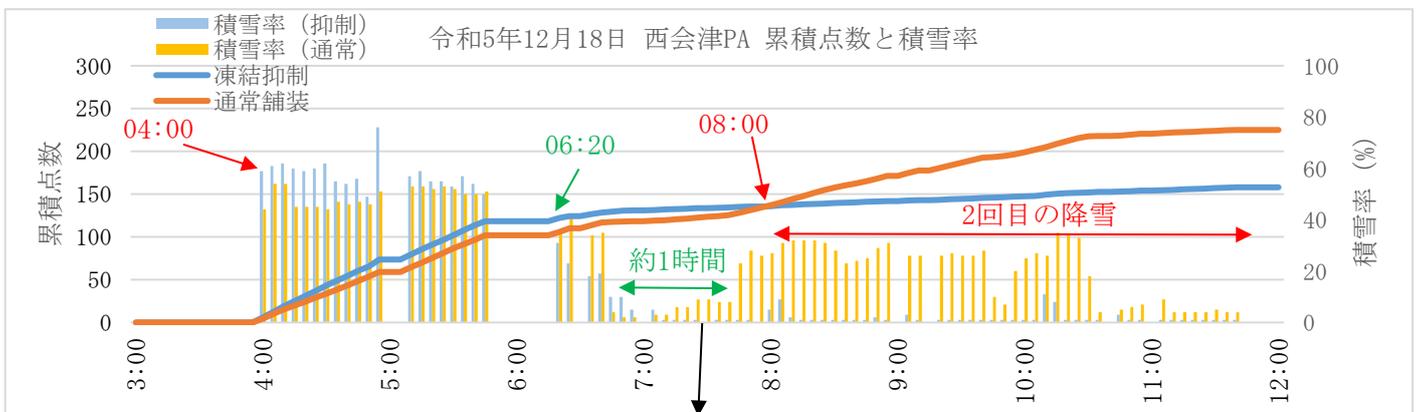


図10 累積点数と路面積雪率の推移（令和5年12月18日 西会津PA）

にしごうTNでは（図11）、令和6年1月16日6時25分から路面が積雪状態である事を確認。累積点数は通常舗装の方が凍結抑制舗装をやや上回りながら、両舗装とも右肩上がりに上昇している。7時00分に除雪が行われたため、路面積雪率は両舗装とも減少した。7時55分か

ら再び降雪があり、通常舗装の方が凍結抑制舗装よりも路面積雪率が上回る状況が続き、累積点数もそれに応じて通常舗装が凍結抑制舗装を上回りながら上昇し、9時40分頃からの融解過程でもその傾向は変わらず、通常舗装の累積点数が凍結抑制舗装を上回った。

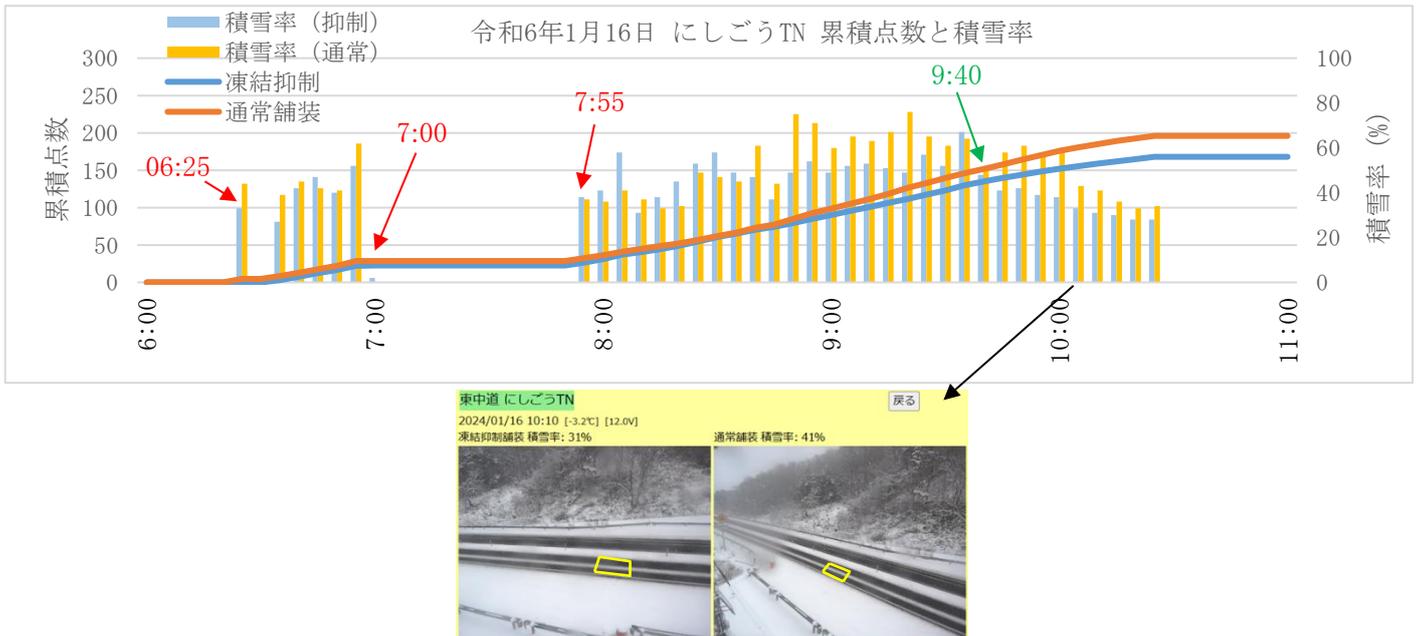


図11 累積点数と路面積雪率の推移（令和6年1月16日 にしごうTN）

8. 検証結果

8.1 西会津PA

融解していく過程において凍結抑制舗装の方が約1時間早く融雪するケースが多く見られた。

また、積雪していく過程において、一部通常舗装よりも堆雪が少ない事例も見られた。気温に着目すると-2℃未満の環境下では上記事例は見られず、通常舗装よりも路面に雪が多く存在する時間も見受けられた。

8.2 にしごうTN

積雪していく過程において凍結抑制舗装の方が、通常舗装よりも堆雪が積りにくい傾向にあるように推察された。路面積雪率の正確性に問題はあるが、その傾向は令和4年度で約11%、令和5年度で約18%（最終の累積点数の比較より）となり、気温が概ね-3℃以上の環境下で多く見られると推察された。また、一部融解していく過程において通常舗装よりも早いという事例もあった。

8.3 誤判定事例

目視確認で路面が積雪状態ではないにも関わらず、路面積雪率が算出されてしまう事や路面積雪時に路面積雪率が明らかに高いもしくは低い数値が算出されてしまう誤判定が両地点ともあった（本検証の誤判定は修正しデータベースに反映）。原因は、「太陽光の日射により路面が反射して白っぽくなってしまふ」や「路面積雪率判定枠内を車両が通過した」等が挙げられる。

9. まとめ

本検証を通して、凍結抑制舗装種別ごとに表1のような特徴があると推察される事が分かった。

今後なるべく路面とカメラが近くなる設置箇所の設定を行うことによって、より精度の高い路面積雪率検証を行えることも考えられる。

表1 舗装種別ごとの特徴

| 舗装種類 | 特徴 |
|-------------|--------------------------------|
| 西会津 PA の舗装 | ・路面積雪後の融解していく過程で通常舗装よりも早く融解する。 |
| にしごう TN の舗装 | ・降雪時に通常舗装よりも路面の堆雪が少ない。 |

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本道路建設業協会：凍結抑制舗装、一般社団法人 日本道路建設業協会HP、<http://www.dohkenkyo.net/pavement/meisyo/touketu.html>
- 2) Googleマップ標準地図を加工して作成
- 3) Googleマップ航空写真（令和4年撮影）を加工して作成