

# 冬期道路のすべり特性把握に関する研究 —トンネル坑口前後におけるすべり特性について—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○切石 亮  
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 徳永 ロベルト  
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 高橋 尚人

冬期路面状態は、気象条件、沿道環境、道路構造、交通状況等により複雑に変化する。効果的・効率的な冬期路面管理を行うためには、路線におけるすべりやすさ等の特性把握が重要である。

本研究では、トンネル坑口前後におけるすべり特性把握を目的として、トンネル坑口前後におけるすべり抵抗値の出現傾向、空間的な変動の特徴について、気象条件や時間帯等に注目して基礎的な分析を行った。

キーワード：すべり抵抗、冬期路面管理、トンネル

## 1. はじめに

積雪寒冷な地域の冬期道路管理においては、路面の凍結によって発生する非常にすべりやすい路面への対策として、凍結防止剤または防滑材の散布を行っている<sup>1)</sup>が、冬期路面状態は気象条件、沿道環境、道路構造、交通状況等により複雑に変化する。効果的・効率的な冬期道路管理を行うためには、路線における冬期路面状態（すべりやすさ）の出現傾向、要注意箇所・条件等の路線におけるすべり特性を把握することが重要である。

既往研究では、道路トンネルの坑口前後では路面温度が急変している場合がある<sup>2)</sup>とともに、路面のすべり抵抗値が急変している場合がある<sup>3)、4)</sup>ことが示されている。また、道路トンネルにおけるトンネル内事故は、坑口付近かつ路面が雪氷状態の時に多く発生している<sup>5)</sup>と報告されており、永田ら<sup>6)</sup>は一般国道12号の春志内トンネルにおいて100m毎の地点で冬期路面のすべり摩擦係数を調査したが、その地点間における路面のすべりやすさ（空間的な変動）については不明である。

本研究では、トンネル坑口前後におけるすべり特性把握を目的として、平成23年度冬期に連続路面すべり抵抗値測定装置を使用して北海道内の自動車専用道路にてのべ15日間で約90回のすべりモニタリングを実施したデータを用い、トンネルの坑口前後100mの区間におけるすべり抵抗値の出現傾向、空間的な変動の特徴について、気象条件や時間帯等に注目して基礎的な分析を行った。本報ではその結果について報告する。

路のL=19kmの区間で行った。調査期間は、初冬期（平成23年12月12日～16日）、厳冬期（平成24年1月30日～2月3日）、終冬期（2月27日～3月2日）のべ15日間に、24時間あたり6往復（基本出発時間：9:30、13:00、17:00、20:30、0:00、4:00）実施し、合計90回のモニタリング調査を行った。

### (1) 連続路面すべり抵抗値測定装置

連続路面すべり抵抗値測定装置（Continuous Friction Tester：CFT）を図-1に示す。測定輪は車両の進行方向に対し1～2度傾いており、車両走行により発生する横力を計測する。CFTで計測されるすべり抵抗値は、装置開発者の名前からHFN（Halliday Friction Number）と呼ばれ、測定輪が空転する横力無負荷状態を0、乾燥した舗装路面（路面温度-17.8℃）における横力負荷を100とし、その間を100等分した値である。

CFTでは、HFNの他、時刻、路面温度、外気温、速度、緯度・経度、目視による路面状態及び天候を0.1秒毎にCFT牽引車両搭載のPCに記録した。



図-1 連続路面すべり抵抗値測定装置  
(左：CFT全体、右：測定原理)

## 2. すべりモニタリング調査

すべりモニタリング調査は、北海道内の自動車専用道

表-1 調査日の気象データ<sup>7)</sup>

	日付	気温(°C)		降雪 (cm)
		最高	最低	
初冬期	12月12日	-3.0	-5.9	21
	12月13日	-4.3	-7.9	4
	12月14日	-0.2	-7.5	3
	12月15日	2.1	-6.8	7
	12月16日	-6.5	-10.7	3
厳冬期	1月30日	-5.2	-22.1	0
	1月31日	-6.1	-22.8	3
	2月1日	-8.0	-29.6	0
	2月2日	-7.7	-20.0	1
終冬期	2月3日	-8.0	-21.0	1
	2月27日	-5.1	-27.7	0
	2月28日	-3.7	-29.2	0
	2月29日	-0.2	-19.6	0
	3月1日	3.5	-10.8	1
3月2日	-0.7	-14.6	0	

### 3. トンネル坑口前後におけるモニタリング結果

前述のとおり、すべりモニタリングは、片道19km区間で行った。トンネル坑口前後におけるすべり特性を把握するため、坑口前100mから坑口 (TN外)、坑口から100mの区間 (TN内) の合計200mの区間におけるデータの抽出を行った。対象としたトンネルの延長は約3,800mである。表-1に調査日における近傍の気象データ<sup>7)</sup>を示す。

#### (1) 初冬期の結果

図-2に初冬期のモニタリング結果を示す。縦軸には、100m区間のHFNデータを箱ひげ図で示し、路面温度は100m区間の平均を示した。横軸には、調査区間、サン

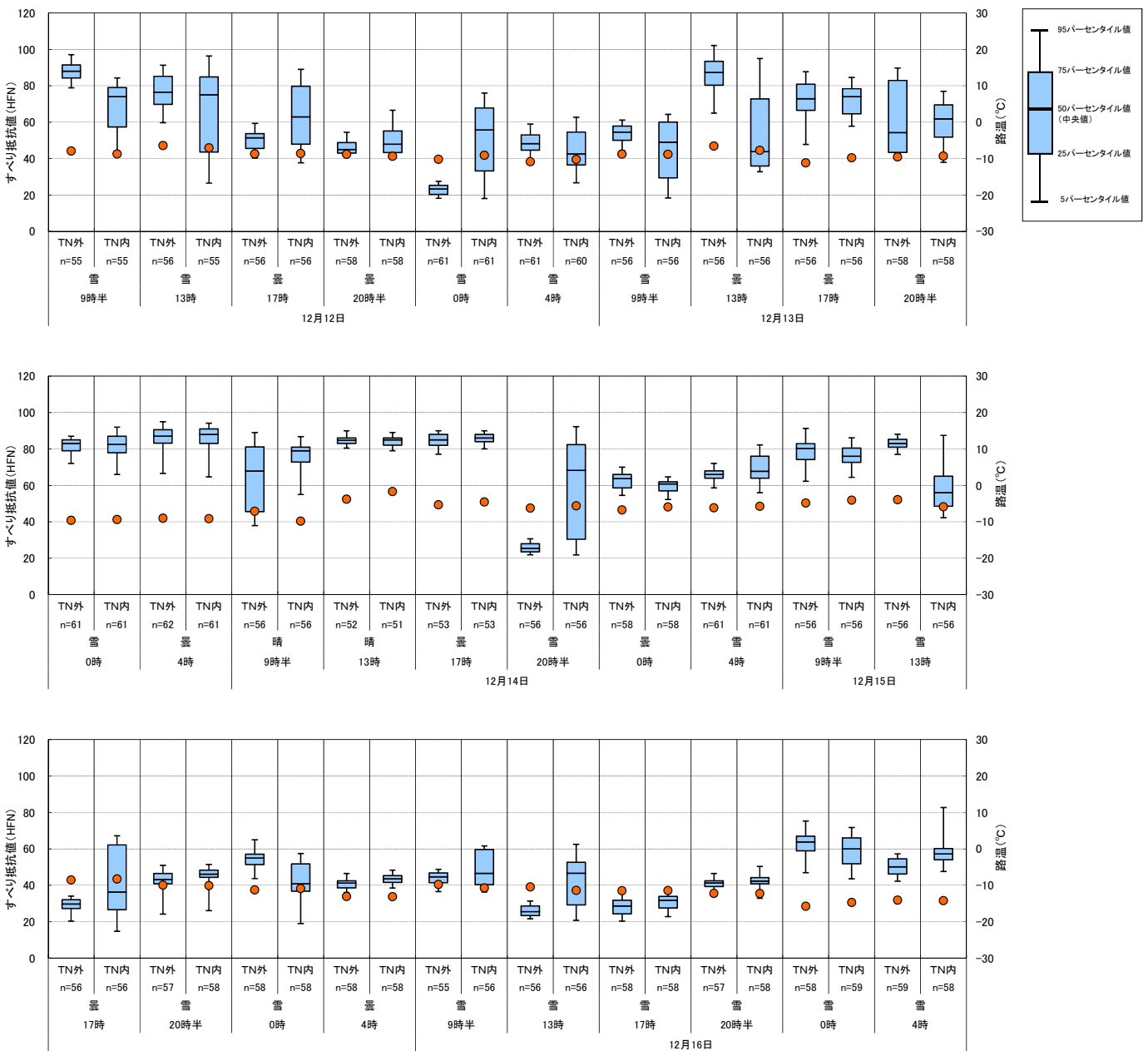


図-2 モニタリング結果 (初冬期)

ブル数、天候、計測時間帯を示す。天候は目視によるTN外の天候を示している。

当該調査期間は、表-1のとおり毎日降雪があり、CFTによる目視での天候も30回のうち、63%にあたる19回降雪が認められた。また、HFNの5パーセンタイル値がHFN=45未満のすべりやすい路面状況が発生したのは、

- ・ 12月12日 9時半 (TN内)、13時 (TN内)、17時 (TN外・内)、20時半 (TN外・内)、0時 (TN外・内)、4時 (TN外・内)
- ・ 12月13日 9時半 (TN外・内)、13時半 (TN内)、20時半 (TN外・内)
- ・ 12月14日 9時半 (TN外)、20時半 (TN外・内)
- ・ 12月15日 17時 (TN外・内)、20時半 (TN外・内)、

0時 (TN内)、4時 (TN外・内)

- ・ 12月16日 9時半 (TN外・内)、13時 (TN外・内)、17時 (TN外・内)、20時半 (TN外・内)、4時 (TN外)

の34件であった。平均路面温度は、TN外で最高-3.8℃、最低-15.8℃、TN内で最高-1.7℃、最低-14.7℃であった。

(2) 厳冬期の結果

図-3に厳冬期のモニタリング結果を示す。当該調査期間は、表-1のとおり1月31日に3cm、2月2日と3日に1cmの降雪があった。実際の調査結果においても30回のうち、30%にあたる9回降雪が認められた。また、HFNの5パーセンタイル値がHFN=45未満のすべりやすい路面状況が

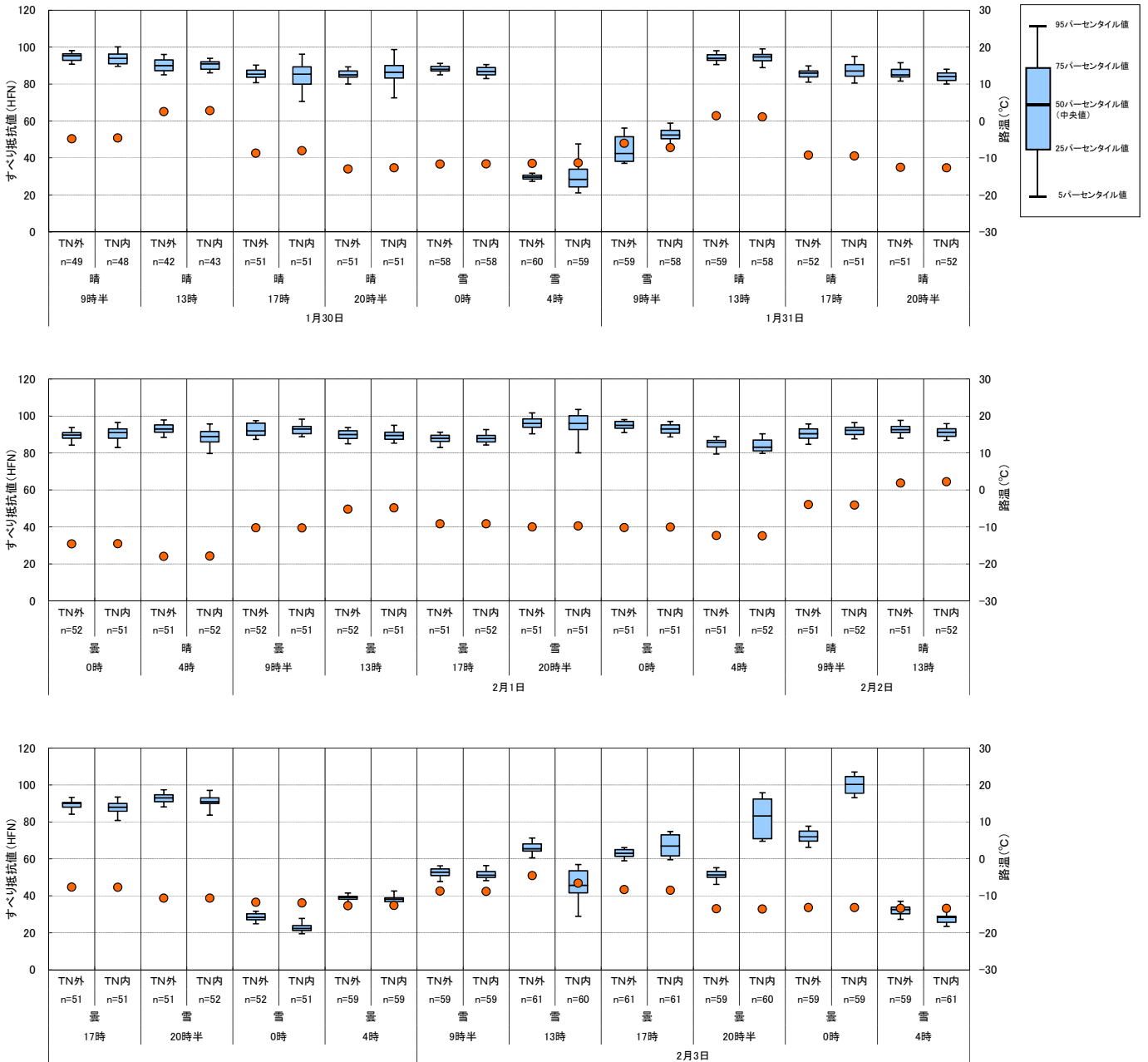


図-3 モニタリング結果 (厳冬期)

発生したのは、

- ・1月30日 4時 (TN外・内)
- ・1月31日 9時半 (TN外)
- ・2月2日 0時 (TN外・内)、4時 (TN外・内)
- ・2月3日 13時 (TN内)、4時 (TN外・内)

の10件であった。平均路面温度は、TN外で最高2.5℃、最低-18.0℃、TN内で最高2.8℃、最低-17.9℃であった。

たる4回降雪が認められた。また、HFNの5パーセンタイル値がHFN=45未満のすべりやすい路面状況が発生したのは、

- ・2月27日 9時半 (TN内)、4時 (TN外・内)

の3件であった。平均路面温度は、TN外で最高10.9℃、最低-22.6℃、TN内で最高11.1℃、最低-22.4℃であった。

### (3) 終冬期の結果

図-4に終冬期のモニタリング結果を示す。当該調査期間は、表-1のとおり3月1日に1cmの降雪があったのみである。実際の調査結果においても30回のうち、13%にあ

### 4. 考察

これらの調査結果を用い、トンネル坑口前後におけるすべり特性の把握を目的として、気象状況とすべり抵抗値の関係、すべり抵抗値のTN外からTN内にかけて空間的变化について、考察を行った。

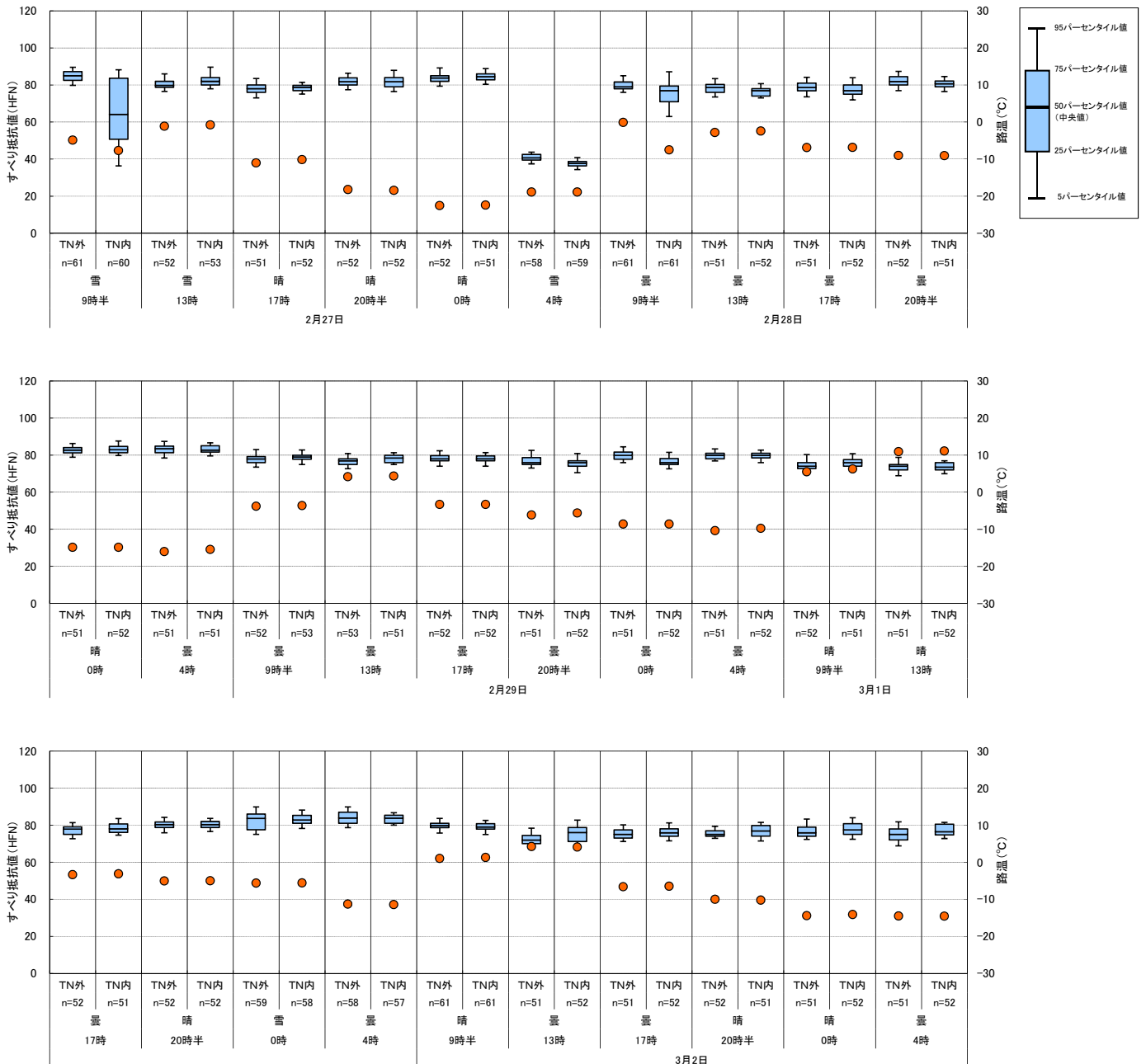


図-4 モニタリング結果 (終冬期)

## (1) 天候とすべり抵抗値の関係

初冬期は、毎日降雪があったため、すべりやすい路面の発生頻度は3回の内最も高かった。また、路面温度は変動幅が3回中で最も小さく14.1℃で、最も高い場合でも0℃以上にはならなかった。HFNは、高くばらつきが小さいものや低くばらつきの大きいものなど、多様な状況が見られたが、TN外に比べTN内はHFNのばらつきが大きい状況が多かった。このことは、TN内ですべりやすさが急変する場合があることを示している。

厳冬期は晴れの日が多く、昼間には路面温度が0℃以上になり、夜間には-20℃近くまで低下し、路面温度の変動が大きかった（変動幅20.8℃）。1月30日0時からの降雪より1月30日4時にTN外・内ともにHFNが低下したが、1月31日13時にはHFNは回復した。同様に2月2日20時半からの降雪により2月2日0時にTN外・内ともにHFNが低下し、2月3日0時にかけて徐々にHFNが上昇した。この結果から、降雪が継続した場合にHFNは低下するが、その後の降雪、路面温度によってHFNの上昇度合いが異なる。

終冬期は3回の内最も降雪が少なかったが、昼間には路面温度が10℃程度まで上昇する場合があり、夜間には-20℃を下回る場合があり、路面温度の変動が3回中最も大きかった（変動幅33.7℃）。すべりやすい路面の発生頻度も少なく、2月27日の9時半（TN内）と4時（TN外・内）のみであった。2月27日の4時にHFNがTN外・内で低下したのは降雪の影響と考えられるが、2月28日9時半の計測時には降雪が継続しておらず路面温度も10℃以上上昇し、HFNの低下は一時的なものであった。

3回の調査全てにおいて、降雪後にTN内ですべりやすい路面状況が発生していることは、TN内への水分（雪等）の移動（坑口からの雪の吹き込み、除雪車による雪の持ち込み、通行車両による雪の持ち込み）がTN内のHFNに影響を及ぼしていると考えられる。また、高橋らの研究結果<sup>2)</sup>とは異なり、TN外とTN内の路面温度差を確認することはできなかったことから、トンネル外からトンネル内の方向へ風が流入した可能性があり、坑口からの雪の吹き込みが大きく影響した可能性が考えられる。

## (2) すべり抵抗値の空間的变化

TN外からTN内にかけてのHFNの空間的变化に着目し、変化のパターンを分類した。分類は、HFNの5パーセンタイル値を用いて、

- (a) 値が45以上のまま推移
- (b) TN外で45以上TN内で45未満
- (c) TN外で45未満TN内で45以上
- (d) 45未満のまま推移

の4パターンに分類した。分類結果を表-2に示す。

このように、気象条件の異なる3回の調査により、すべりやすい路面状態の出現する度合いは変化することが判った。

TN内ですべりやすい路面状態が発生している(b)及び(d)のケースは、路面管理上特に注意が必要な状況であると考えられる。(b)をさらに詳細に見た場合、図-5に示すように、TN内ではHFNが高い部分と低い部分があることが判る。この図では、TN坑口から30m程度進んだ部分でHFNが急激に低下し、50m程度HFNの低い路面が続いたのち、徐々にHFNが上昇している。HFNが低下した区間は、路面温度も低下していることから、TN内に残っていた水分が凍結している状態であると考えられる。同様のケースは、9時半及び13時の計測時で5回発生し、0時の計測時に1回発生した。

一方、(d)のケースでは、図-6及び図-7に示す2つのパターンが確認された。図-7のようにTN坑口から100m以内でHFNが上昇する場合もあったが、図-7に示すようにTN坑口から100m以上すべりやすい路面状態が継続する場合もあった。(d)のケースは、(b)のケースとは対照的に夜間（17時～4時）の計測時に多く発生した。

表-2 HFNの変化パターン (件)

	(a)	(b)	(c)	(d)
初冬期	10	4	2	14
厳冬期	24	1	1	4
終冬期	28	1	0	1

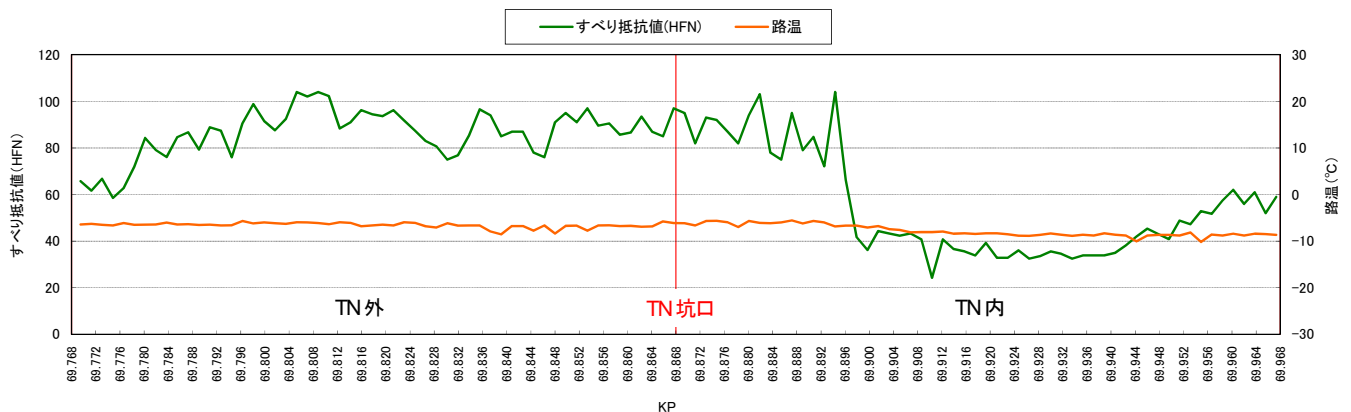


図-5 TN坑口前後におけるモニタリング結果 (12月13日, 13時)

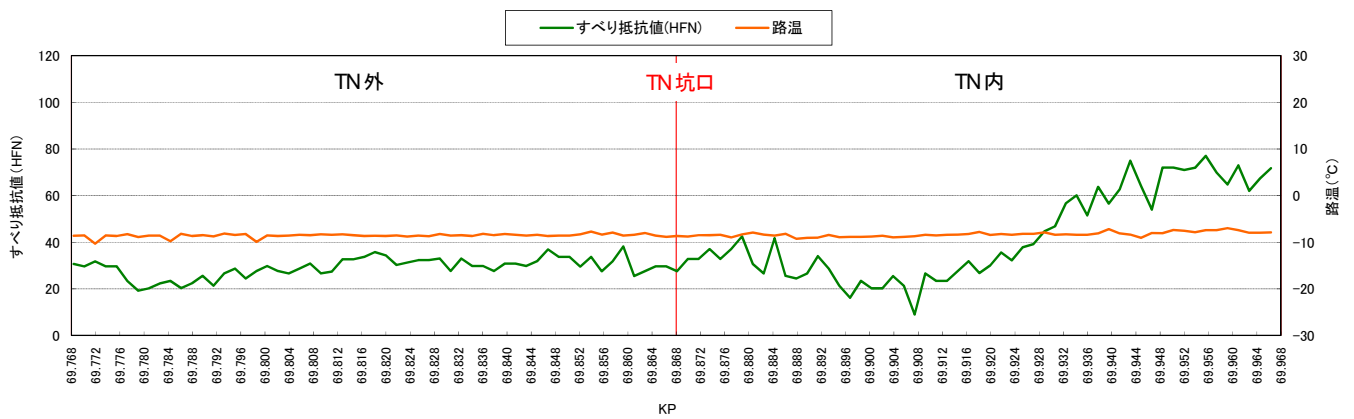


図-6 TN坑口前後におけるモニタリング結果 (12月15日, 17時)

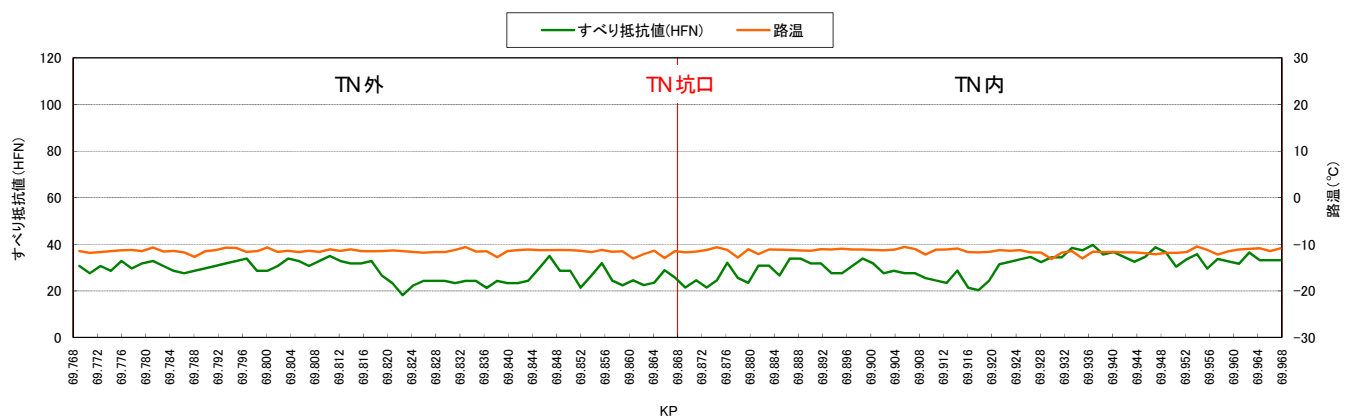


図-7 TN坑口前後におけるモニタリング結果 (12月16日, 17時)

## 5. まとめ

本研究では、時間的・空間的に詳細なすべりデータを用い、トンネル坑口前後におけるすべり特性を見出すことができた。その結果、トンネル坑口から内側100mの間では、トンネル外の降雪による水分の移動がトンネル内の路面状況に及ぼす影響が大きいと考えられる。更に、トンネル外ではすべりにくい路面状態の時でも、トンネル内に入ってからすべりやすい路面状態が発生する状況を定量的にとらえることができた。良好な路面状態の中、トンネル内で急激にすべりやすい路面が出現するため、路面管理上特に注意を要する路面状態であると考えられる。

また、すべりやすい路面状態がトンネル坑口から100m以上続く場合があることも確認した。このように、トンネル内における路面管理方法を見直す必要性がありうるトンネル坑口前後での路面状態の変化を抽出することができたが、本研究では、坑口の向きなどの坑口前後の地形条件、除雪作業、凍結防止剤散布作業等を考慮していないため、今後はそれらも考慮の上、路面管理上注意が必要な路面状態変化が出現する条件とその範囲をより明確にしていきたい。

更に、路線としてのすべり特性の把握を行うため、トンネル以外の道路構造におけるすべり特性に関する分析を行い、冬期路面管理の意思決定を行う際の判断支援に寄与できるように研究を進めていく所存である。

## 参考文献

- 1) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案），1997.11
- 2) 高橋尚人，徳永ロベルト，西山直樹：道路トンネルの路面温度分布特性把握と路面温度推定手法の基礎検討，土木学会第65回年次学術講演会，2010.9
- 3) 徳永ロベルト，高田哲哉，高橋尚人：連続路面すべり抵抗データを用いた冬期道路の性能評価の試行について，第55回（平成23年度）北海道開発技術研究発表会，2012.2
- 4) 藤本明宏，齋田光，福原輝幸：連続路面すべり抵抗測定車の暖地積雪路面への適用と一考察，第25回寒地技術シンポジウム，2009.11
- 5) 金子雅之，熊谷政行，丸山記美雄：高規格幹線道路のトンネル内舗装における骨材露出工法の適用に関する検討，第55回（平成23年度）北海道開発技術研究発表会，2012.2
- 6) 永田泰浩，竹内政夫，丹治和博，萩原亨：冬の春志内トンネルにおける路面状況と摩擦係数，北海道の雪氷，No.19，pp.29-32，2000
- 7) 気象庁HP，<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>