

積雪が車両走行に影響を与える走行評価

覚道 由郎¹・上石 勲²・中村 一樹²・熊倉 俊郎¹

(1:長岡技術科学大学 大学院工学研究科 2:防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

1. はじめに

2020年12月14日から17日にかけて、上空約5500mに氷点下30℃以下の強い寒気が流れ込み、最大積雪深180cm、時間最大降雪量11cmを記録した。この大雪は、E17関越自動車道に集中降雪をもたらし、立ち往生が発生した。最大2100台の大規模な車両滞留の解消には3日を要した。この立ち往生により人命及び生活活動への障害が発生した。また物流が滞ったことによって、社会経済に甚大なる影響を及ぼした。立ち往生の起因となった大型車両は、12月16日の17時50分頃に関越自動車道 塩沢石打IC付近の上り車線にチェーン未装着により立ち往生が始まったとされ、同日22時頃に湯沢ICから関越トンネル間下り車線においても大型車両のスタックが原因で立ち往生が発生した。このように、道路上に積雪する雪はスタックの原因となり、車両走行に危険を及ぼすため、危険となる積雪深を検証することが必要となっている。

本研究では、どのくらいの積雪深において車両がスタックするかしないかを目的として、車種とタイヤ種別を区別し、積雪道路に車両を走行させスタックするかしないかの実験を実施した。

2. 走行試験の方法

2.1 積雪道路の作製

防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター前の坂に、小型ロータリー除雪機を使用して道路脇の積雪(ザラメ雪)を散布し、整地した(図-1)。散布範囲は、縦6m、横3.5mとしてそれを走行場所とした。散布した積雪深は傾斜2°と4°の坂に20cm程度を散布した後、4°の坂では20cmの試験後、10cmの積雪面を作成し、走行試験を行った。



図-1 小型除雪機を使用した積雪路面作成の様子

2.2 測定方法

2.2.1 積雪深

路面上に散布した雪の積雪深は、測量用のスタッフを用いて計測を行った。縦、横1mおきに積雪深の測定を行い、それを平均したものを積雪道路の積雪深とした。

2.2.2 積雪密度

積雪密度は、スノーサンプラーを用いて採取したサンプルの重量と体積から求めた。積雪密度は、車両走行前、車両走行後に測定を行った。

2.2.3 積雪硬度

積雪硬度は、プッシュプルゲージを用いた。プッシュプルゲージは、アタッチメント装着時の先端の直径は15mm、アタッチメントを外した際の先端の直径は5mmのものを使用した。硬度測定では、積雪面から2cmまで押し込んだ際の値とした。測定値をアタッチメント断面積で除したものを圧力として換算し、それを積雪硬度とした。

積雪道路の積雪は、車両走行前と車両走行後のワダチにおける積雪硬度を測定した。車両走行前は、アタッチメントを装着したものを使用し、車両走行後のワダチの積雪はアタッチメントを外したものを使用した。

2.2.4 積雪面の摩擦係数

積雪道路の摩擦係数の計測には、アメリカンスリップメーターを用いた。アメリカンスリップメーターを積雪面の上に接地させた後、水平の力を徐々に加えながら引っ張り、アメリカンスリップメーターが動いた瞬間の値を摩擦係数とした。摩擦係数は、車両走行前の積雪面と車両走行後の圧密された積雪面において計測を行った。

2.2.5 車両走行

使用した車両の概要を(表-1)に示す。使用した車両は、日産 モコ DBA-MG33S、トヨタ LAND CRUISER PRADO TX、日産 エクストレイル DBA-NT32を用いた。走行試験は、計28回行った。

表-1 実験に使用した車両の概要

車種	車両重量	駆動方式	タイヤ種別
モコ	820 kg	FF	ノーマル/スタッドレス
ランドクルーザー	2480 kg	4WD	スタッドレス
エクストレイル	1510 kg	FF/4WD	スタッドレス

車両の走行方法は、時速10km程度を速い走行、時速5km程度を遅い走行とした。積雪道路は、ワダチ上とワダチでない場所を走行した。評価方法は、積雪道路を通過する

か、スタックし走行不能時の停止状況を見て4段階の評価をした(表-2)。

表-2 走行評価方法

評価ランク	積雪道路の走行状況
1	前輪がスタックし、脱出不能
2	前輪でスタック
3	空転させながら通過
4	問題なく通過

3. 結果

表-3,表-4 に各傾斜の積雪測定結果を示す。表-3,表-4 では、車両走行試験を行った積雪道路の傾斜 2°における平均積雪深は 20cm、傾斜 4°における平均積雪深は 27cm、傾斜 4°の積雪深 10cm で行った。積雪の状態は、走行前の積雪の平均密度、平均硬度、摩擦係数と走行後の平均密度、平均硬度、摩擦係数を算出した。

表-3 傾斜 2° の積雪の測定結果

走行前	平均密度	568 kg/m ³
	平均硬度	14.1 kPa
	摩擦係数	0.65
走行後	平均密度	614 kg/m ³
	平均硬度	196.2 kPa
	摩擦係数	0.46

表-4 傾斜 4° の積雪の測定結果

走行前	平均密度	623 kg/m ³
	平均硬度	10.7 kPa
	平均摩擦係数	0.64
走行後	平均密度	693 kg/m ³
	平均硬度	175.7 kPa
	平均摩擦係数	0.44

次に、車両の走行評価の結果を示す。表-5 に走行条件と車両の走行回数を示す。表-5 では、3 パターンの積雪道路の試験を行った。

表-5 車両の走行回数

走行条件	走行回数
① 傾斜 2° 積雪深 20cm	8
② 傾斜 4° 積雪深 27cm	10
③ 傾斜 4° 積雪深 10cm	10
合計	28

積雪道路走行の試験結果を表-6、表-7、表-8 に示す。表-6、表-7、表-8 では、車種、駆動方式、タイヤの分類、走行速度、走行する際のワダチの有無、スタック時の停止状態、

停止時のタイヤの空転状況の結果を表にした。

表-6 条件①の走行結果では、ノーマルタイヤで速度を遅く走った際、積雪道路を走行中に停止後、スタックを起こし前進が不可能となった(図-2)。走行速度を速くした場合では、停止することなく積雪道路を通過した。また、スタッドレスを装着した2車種は、ワダチなしを通過した。そのうち1車両は、駆動方式を 2WD に設定し、ワダチなしを走行し通過することができた。

表-6 ①における走行結果

車種	駆動方式	タイヤ種別	速度	ワダチ	停止状態	停止状況	評価
モコ	4WD	ノーマル	遅い	なし	前輪スタック	後輪空転	2
			遅い	あり	前輪スタック	前後空転	2
			速い	あり	通過		4
			遅い	あり	前輪スタック	後輪空転	2
			遅い	あり	前輪スタック	前後空転	2
		スタッドレス	遅い	なし	通過		4
		スタッドレス	遅い	なし	通過		4
		スタッドレス	遅い	なし	通過		4



図-2 走行速度を遅くしたときのスタック状況

表-7 ②の走行結果において、ノーマルタイヤを装着した車両は、全ての走行においてスタックした。走行速度を速くしたとき前輪がスタックを起こし自力で脱出できなかった。スタッドレスタイヤを装着した車両は、ノーマルタイヤを装着車両と同様の挙動を示した。

表-7 ②における走行結果

車種	駆動方式	タイヤ種別	速度	ワダチ	停止状態	停止状況	評価
モコ	4WD	ノーマル	遅い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			遅い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			速い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			速い	あり	前輪スタック	前輪空転	2
			遅い	あり	前輪スタック	前後空転	2
			速い	あり	全輪はまる	後輪空転	1
		スタッドレス	遅い	なし	前輪スタック	前後空転	2
			遅い	あり	全輪はまる	前後空転	2
ランクル	4WD	スタッドレス	速い	なし	全輪はまる	前後空転	1
			遅い	あり	通過		4
			遅い	なし	通過		4
			遅い	あり	通過		4

表-8 ③の走行結果は、全車種スタッドレスタイヤを装着した。モコは、低速走行時車両が停止しついても通過し、ワダ

チの有無によらずスタックしなかった。次に、ランクルの走行結果として、ワダチが形成された場所は通過したが、ワダチなしを低速走行した際、タイヤを空転させながら通過した。そして、エクストレイルの走行試験では、駆動方式を2WDに設定し走行すると、前輪がスタックし走行できなかった。また、高速走行において走行することができたが、スリップを起こし車の制御が効かなくなったため停止した。その後、駆動方式を4WDに切り替え、ワダチを走行し通過した。

表-8 ③における走行結果

車種	駆動方式	タイヤ種別	速度	ワダチ	停止状態	停止状況	評価
ランクル	4WD	スタッドレス	遅い	なし	通過	前後空転	3
			遅い	あり	通過		4
			速い	あり	通過	前後空転	3
			速い	あり	通過		4
エクストレイル	2WD	スタッドレス	遅い	なし	前輪スタック	前輪空転	2
			速い	なし		スリップ	4
	4WD	スタッドレス	速い	あり	通過		4
			遅い	あり	通過		4
モコ	4WD	スタッドレス	遅い	あり	通過		3
			遅い	なし	通過		3
			遅い	あり	通過		3

4. 考察

表-3, 表-4 から、走行前後の結果を比較すると平均密度、平均硬度は大きくなり、摩擦係数は小さくなっていた（表-9）。車両走行後は、積雪が圧密され密度、硬度ともに大きくなったと考えられる。また、摩擦係数が小さくなった要因は、密度、硬度と同様に車両が走行することによって、積雪が圧密された後、タイヤにより圧雪路面を形成し、平滑化されたと考えられる。

表-9 走行前後における測定値の倍率

測定項目	①	②
密度	1.1 倍	1.1 倍
硬度	13.9 倍	16.5 倍
摩擦係数	0.7 倍	0.7 倍

ノーマルタイヤを装着した車両において、条件①と②の低速走行は全ての場合において通過することができなかった。また、②の高速走行についても通過できなかったが、①の条件のとき、高速走行では積雪道路を通過できた。このことから、ノーマルタイヤを装着した場合でも、高速走行を行えば通過できるが、積雪路面で車両が停止した際、再発進するためのグリップ力が無くなるためスタックが発生する。また、高速走行では、グリップ力が低下しているためスリップする。スタックの要因として、停止したタイヤ直下では、車両重量により積雪は圧密され硬質化し摩擦係数が小さくなると考えられる。一般的には、ノーマルタイヤの性質上、雪道や凍結路面を走行するための設計がされていないため、積雪道路では、グリップ力の減少によるスリップの発生、ブレーキ時にスタッドレスタイヤと比較すると制動距離が長くなることは明らかである。

かである。

スタッドレスタイヤを装着した車両試験の条件①と③において、駆動方式4WDは、ワダチの有無に関係なく通過することができた。また、条件①では2WDに設定し通過した。しかし、条件③の2WDでは、通過できなかった。条件③において、低速走行はスタックの発生、高速走行ではスリップを起こした。これらは、4WDと2WDの駆動力を比較すると2WDは駆動力が小さく、走行安定性が低かったと考えられる（図-3）。



図-3 2WDでのスリップの様子

条件②の試験において、ノーマルタイヤとスタッドレスタイヤを装着した車両がスタックした要因として、積雪深の深さが大きく関わっていることが考えられる。積雪深が車両のシャシーの高さより高いと、走行時に車両底部へ雪を抱え込み、車両底部の摩擦抵抗が大きくなる。同時に、タイヤの接触圧が弱くなりタイヤが空転する。このとき、タイヤが空転すると周辺の雪は摩擦熱により溶けることや、タイヤの回転時に雪が飛沫することにより、車体が積雪に乗り、支持された状態になる（図-4）。



図-4 スタック時の雪の飛沫の様子

条件②で通過できた理由として、何度も車両が走行し、ワダチが形成され、シャシーの高さまで車両底部に接触する積雪が削られたことで摩擦抵抗が小さくなり走行可能になったと考えられる（図-5, 図-6）



図-5 車両通過前の積雪状況



図-6 車両通過後の積雪状況

5. まとめ

本実験において、積雪道路を車両が通過すると、積雪密度と硬度は大きくなり、摩擦係数は小さくなる。走行後はワダチが形成されることで車両の走行性が向上する。ノーマルタイヤを装着した場合グリップ性能が低いため、雪上を走るとは困難となる。そのため、降雪時は、スタッドレスを装着することは必須であるといえる。また、駆動方式は2WDと4WD比較すると4WDの方が走行安定性に優れる。

積雪が多いとスタックの起因になり、また、勾配の大小やワダチの有無は、スタックやスリップを起こす大きな原因であり雪上走行において深く関わっている。そのため、積雪10cmの際に除雪を行うことは、スタックを発生させないためには妥当であるといえる。

6. 今後の展望

本実験では、ザラメ雪で走行試験を行ったので今後の実験では違う雪質での試験を行いたいと考えている。

レーダーを用いて降雪状況を把握し、スノーパックなどを使用して、道路上などにどのくらいの積雪があるか把握を行い、雪質変化でスタックする条件の調査を検討している。