

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

大雪による大規模交通障害の発生メカニズムの解明と危険度予測

藤本 明宏¹⁾
河島 克久²⁾
伊豫部 勉³⁾
松元 高峰²⁾
本田 明治²⁾

1) 福井大学 2) 新潟大学 3) 京都大学

研究要旨

本研究は、極端な大雪において大規模交通障害の発端となるスタック車両の発生メカニズムとタイヤチェーン装着効果の解明を目的とし、実車両を用いたスタック実験を実施した。スタック発生メカニズムについては、(1)タイヤが窪みに落ちた際に、タイヤの空転はタイヤと路面との間の摩擦熱により路面すべり摩擦係数 μ を低下させて前進力を減少させること、(2)進行方向の路面傾斜角の増大は後退力を増大させること、(3)輪荷重の増大はタイヤと路面との抵抗力を大きくさせ、前進力を増大させることが分かった。これらの結果、スタック車両は後退力が前進力を上回った時に発生すると考えられる。タイヤチェーン装着効果については、(4)チェーン装着はタイヤ直下の圧雪破壊を生じさせてタイヤ空転時の μ の低下および前進力の減少を抑制させること、(5)タイヤ前方の圧雪破壊を生じさせて緩やかな路面傾斜角を形成し後退力を減少させることが分かった。このように、タイヤチェーン装着は前進力減少の抑制と後退力減少に寄与し、スタック回避につながると考えられる。

A. 研究目的

極端な大雪時において、路面積雪の増加や氷化に伴う車両の発進不能（スタック）は大規模車両滞留（立ち往生）の原因になり、雪国の生活や経済に甚大な影響を及ぼす。スタック車両発生は車体の重量・駆動方式、タイヤのトレッド形状・材質・チェーン装着の有無などの車両条件、道路の縦断勾配、路面の凹凸・すべり摩擦係数などの道路雪氷条件が関係すると考えられる。スタック車両発生の条件やメカニズムの解明は、スタック車両発生を未然に防ぐための交通規制や予防的通行止めの実施を検討する上で極めて重要である。一方で、道路や鉄道の立ち往生には、それが発生しやすい気象条件が存在するものと考えられ、大規模交通障害の防止には気象学的見地から危険度予測を研究する必要がある。

そこで本研究の目的は、極端な大雪による大規模交通障害の発生メカニズムを解明することであり、この目的を達成するため車両のスタック実験を実施した。

B. 研究方法

車両のスタック実験は福井河川国道事務所の協力のもと、中部縦貫自動車道の勝山除雪基地において、平成31年1月30日～2月1日の3日間に亘って実施された。

実験方法は、図1に示すように、圧雪路面上に作製した四角形状の窪みに駆動輪を落として発進させ、スタックの有無を観測するとともに、路面状態（窪みの最大深さ、窪み表面から圧雪路面までの間の傾斜角および摩擦係数 μ ）を計測した。

試験車両にはフロントエンジン・リアドライブ



の2トンアルミトラックを用いた。その車体重量は2630 kg（後輪重量は1140 kg）、後輪はダブルタイヤであり、前後輪ともにスタッドレスタイヤ（195/75R15S）である。試験条件として、輪荷重は570 kg、820 kgおよび1070 kg、窪みの深さは0~100 mmの範囲、チェーン装着の有無、とした。タイヤチェーンは輪荷重との適合により金属製を採用した。なお、試験では、外気温、圧雪の密度および質量含水率を測定した。圧雪層の厚さは0.5 m程度であり、試験時にタイヤが舗装に接触することはない。輪荷重は、トラックの荷台に大型タンクを2個載せ、その中の水容量によって変化させた。

C. 研究結果

(1) 車両のスタック実験

図2は輪荷重570 kg・窪み深さ6 cmの実験結果としてタイヤ移動後の窪み断面形状を示す。上図(a)はチェーン未装着でスタックが発生した実験結果であり、下図(b)はチェーン装着でスタックしなかった実験結果である。図中の白抜きシンボルは左外輪を、塗りつぶしのシンボルは右外輪を、それぞれ意味する。なお、スタックした場合は試験車両を4WD車両か除雪ドーザによって牽引して窪みから移動させた。上図と下図の最大傾斜角は22.8°と22.3°であり大差ないが、チェーン装着した場合にはスタックしていない。図3は実験前後の窪みの状況を示す。まず、チェーン未装着の上図(a)を見ると、実験後の路面は平坦になっていることが分かる。この時の路面すべり摩擦係数 μ は0.1~0.2程度であり、氷膜路面と同程度の滑り易い状態に変状していた。この

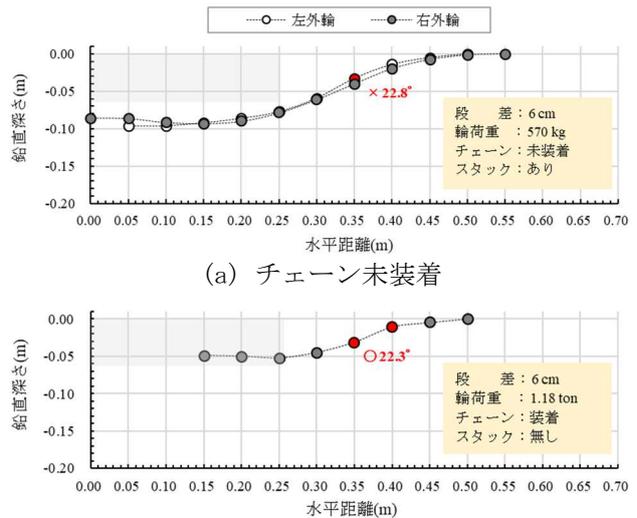


図2 タイヤ移動後の窪み断面形状
(輪荷重570kg・窪み深さ6cm)

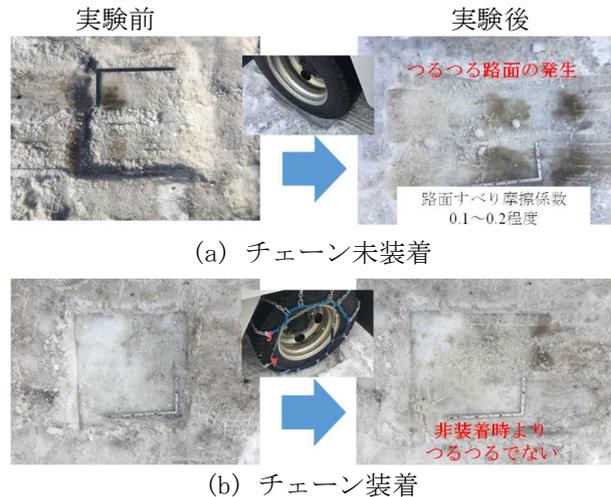


図3 タイヤ移動後の窪み状況
(輪荷重570kg・窪み深さ6cm)

理由はタイヤがスリップして空転する際に摩擦熱によってタイヤ温度が上昇し、その熱で圧雪が融解したものと推察する。また、融解水は圧雪表面から10 cm程度まで及んでおり、かなりの量の融解水が発生したと推察される。一方、チェーンを装着した実験後の圧雪表面は、写真では分かり難いがチェーン非装着時ほどつつるではなかった。

以上より、チェーン装着によってタイヤ空転に起因した路面すべり摩擦係数 μ 低下が抑制されたことにより、同じ傾斜角でもチェーンを装着した場合のみスタックしなかったと考えられる。

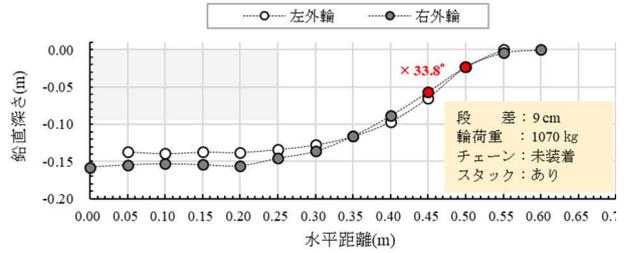
図4は輪荷重1070 kg・窪み深さ9 cmの実験結果である。図2と同様に、上図(a)はチェーン未装

着でスタックが発生した実験結果であり、下図(b)はチェーン装着でスタックしなかった実験結果である。上図(a)での最大傾斜角は 33.8° であった。同図からタイヤ移動後の窪みは約 15 cm まで深くなっていることが分かる。このようにタイヤがスリップ・空転すると、先述のようにタイヤの摩擦熱によってタイヤ下の圧雪が融解し、タイヤは空転とともに沈んでいき、益々スタック状態から脱出し難い状況に陥る。下図(b)の最大傾斜角は 21.7° である。図2と比較して、実験開始時の窪みが深いにもかかわらず、最大傾斜角は同程度である。これはチェーン装着したタイヤが段差の圧雪を破壊しながら前進したためであり、チェーン装着タイヤの圧雪破壊による傾斜角の低下が、深い窪みでもスタックしなかった理由と考えられる。

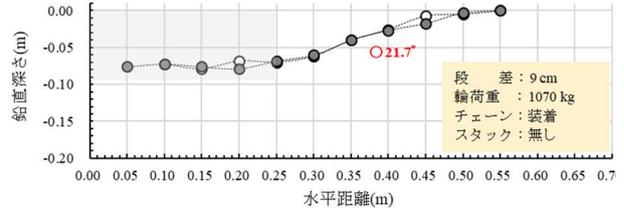
表1はスタック実験結果の一覧であり、表中の○はスタックなしを、×はスタックありをそれぞれ意味し、数値は最大傾斜角である。同表をみると、窪み深さ 4 cm では輪荷重やチェーン装着の有無に関係なく、スタックすることはなかった。スタックを回避した窪み深さは、同じ輪荷重の場合はチェーン装着が未装着を上回る。また、輪荷重が大きいくほどスタックを回避できる窪み深さは深くなる事が分かる。これらの特徴を図5および図6に図示する。図5は輪荷重とスタックを回避した窪み深さの関係であり、図6は輪荷重と最大傾斜角の関係である。図6縦軸の最大傾斜角は表1に示す太字の数値をとり、同じ輪荷重でのスタックを回避した実験(上記の理由より窪み深さ 4cmの実験を除外)の最大傾斜角の最大値を意味する。

D. 考察

図7はスタック発生メカニズムの概念図であり、以下の順でスタックが発生すると考える。凸凹のある雪氷路面においてタイヤが窪みに落ちた際に、タイヤが空転するとタイヤと路面との間の摩擦熱により μ が低下し、窪みを乗り越えようとする前進力が減少する。一方、輪荷重の増大はタイヤと路面との抵抗力を大きくさせ、前進力を増大させる。対して、タイヤ前方の路面傾斜角の増大は輪荷重に依存する後退力を増大させる。この前進力と後退力のバランスによって後退力が前進力を上回るとスタックが発生する。



(a) チェーン未装着



(b) チェーン装着

図4 タイヤ移動後の窪み断面形状 (輪荷重 1070kg・窪み深さ 9cm)

表1 スタック実験結果の一覧 (上段×○はスタック有無, 下段の数値は最大傾斜角)

軸荷重	チェーン	窪み深さ						
		4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm
1.18	未装着	○ 29.9°		× 22.8°				
	装着			○ 22.3°		× 29.8°		
1.43	未装着	○ 13.5°		× 26.5°		× 33.9°		
	装着			○ 23.2°		× 36.2°		× 31.2°
1.68	未装着	○ 19.2°		○ 16.8°		× 30.7°	× 33.8°	
	装着	○ 34.0°	○ 21.0°		○ 25.6°		○ 21.7°	

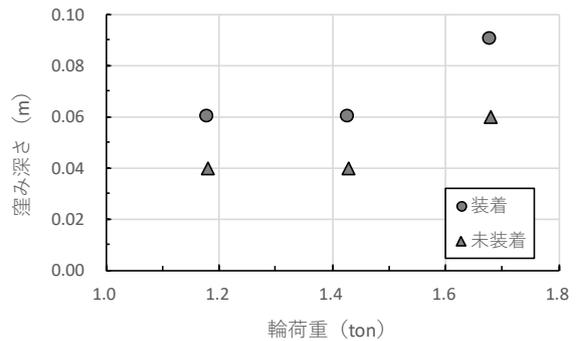


図5 輪荷重と窪み深さの関係

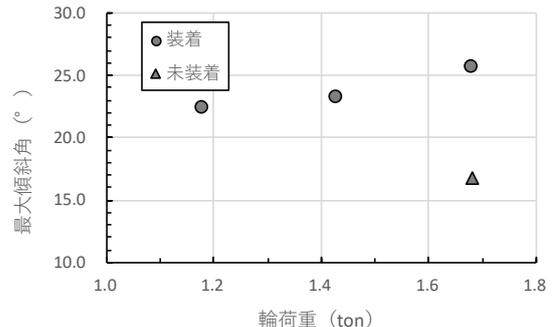


図6 輪荷重と最大傾斜角の関係

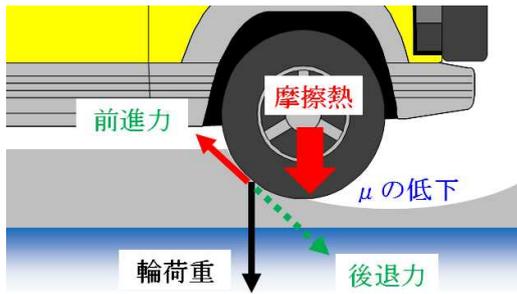


図7 スタック発生メカニズムの概念図

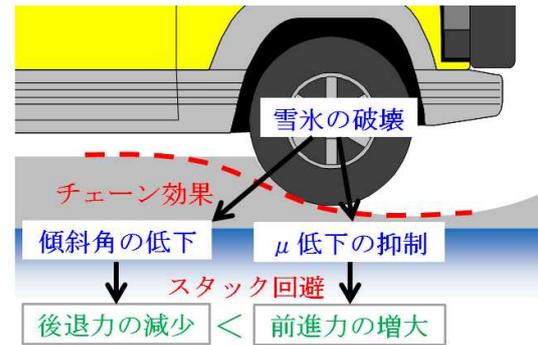


図8 チェーン効果の概念図

図8はチェーン効果の概念図である。本実験からチェーン効果は2つ挙げられる。いずれもチェーン装着による圧雪の破壊力向上によって発現されると考える。一つはタイヤ直下の圧雪破壊であり、タイヤ空転時の路面すべり摩擦係数 μ 低下が抑制される。これにより前進力が維持される。もう一つはタイヤ前方の圧雪破壊であり、タイヤ通過後には緩やかな傾斜角になる。これにより後退力が減少する。この2つの効果によって、チェーン未装着と比較して装着することで深い窪みであってもスタックせず前進することができる。ただし、表1に示したようにその差は窪み深さで数 cm 程度であり、チェーン装着が劇的にスタック回避能力を改善するものではないことには注意が必要である。また、これらの結果は圧雪の硬度によって異なると推察される。硬い圧雪層であればタイヤ前面の圧雪破壊は起こらず、緩やかな傾斜角の形成や後退力の減少も起こらない。また、チェーン装着タイヤでスタックした場合に、タイヤを空転させるとチェーンの圧雪破壊力の向上効果によってタイヤは深みにはまり易くなることにも注意を払う必要がある。スタックするか否かについては、車両条件や雪氷条件の他に運転技術にも左右される。同じ個所で空転を続ければたとえチェーンを装着していても深みにはまり易く、スタック回避は困難となる。雪道に慣れた多くのドライバーが試みているように、同じ場所で空転しないように車体を前後させ、慣性力を利用して前進あるいは後進するとスタック状態から脱出しやすい。今回の実験ではこのように運転した結果である。

E. 結論

本研究はスタック車両発生メカニズムの解明を目的とし、実車両を用いたスタック実験を実施した。その結果、スタック発生メカニズムおよびチェーン効果について工学的視点から考察を深めることができた。また、スタック回避性能やチェーン効果を輪荷重や最大傾斜角を用いて評価できることが示唆された。本実験は研究成果を取りまとめるためのデータが十分でないため、今後も実験を繰り返し、データ蓄積に努める予定である。特に、立ち往生が問題になる路面雪氷状態は新雪であると考えられるため、新雪でのスタック実験の実施を目指す。

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

なし