

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

大雪時におけ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

藤本 明宏¹⁾
河島 克久²⁾

1) 福井大学 2) 新潟大学

研究要旨

本研究は、スタック車両発生メカニズムを理解するために、スタック初期に起こるタイヤの空転が圧雪路面に及ぼす影響の解明と圧雪路面での車両通過に伴う轍掘れの発生条件の解明を研究目的とし、実車を用いたタイヤ空転試験と轍掘れ走行試験を実施した。

タイヤ空転試験の結果から、タイヤの空転によってタイヤと圧雪面との間に摩擦熱と融雪が生じ、圧雪厚さの低下および重量含水率と湿潤密度の増大が生じることが分かった。こうした圧雪面の融解にタイヤ空転による研磨作用が加わり、すべり摩擦係数が低下すると推察される。

轍掘れ走行試験の結果より、タイヤの通過によって轍掘れが起こった圧雪層では鉛直方向の圧縮だけでなく、飽和状態の硬度の弱い圧雪が水平方向に押し退けられるような移動が生じていることが確認できた。

A. 研究目的

大雪による大規模な立ち往生は近年の雪氷災害の特徴の一つであり、2018年冬期における福井県の国道8号線や新潟県のJR信越本線での立ち往生を受けて、大雪時にタイヤチェーン装着を義務付けるチェーン規制省令が施行された。しかしながら、車両の発進不能（スタック）が発生するメカニズムやチェーンのスタック防止効果については十分に理解できていない。

本課題は、2018年度から研究を開始しており、昨冬には実車両によるスタック実験を行い、スタック車両発生条件やタイヤチェーンのスタック防止効果について一定の成果を得ることができた。2019年度は、スタック車両発生メカニズムの理解をより深めるために、スタック初期に起こるタイヤの空転が雪氷路面の温度、物理性状、含水率およびすべり摩擦係数に及ぼす影響の解明、と圧雪路面での車両通過に伴う轍掘れの発生条件の解明、を研究目的とした。なお、当初は新雪で

のスタック実験を計画したが、2019年度の冬は全国的に異例の少雪であったため、一部実験内容を変更した。

B. 研究方法

本報告書では、タイヤの空転が雪氷路面に及ぼす影響を解明するための試験をタイヤ空転試験と、轍掘れの発生条件を解明するための試験を轍掘れ走行試験と、それぞれ呼ぶ。両試験は2020年1月7日から9日に亘り新潟県魚沼市大白川地先の県道385号で実施された。

(1) タイヤ空転試験

写真-1はタイヤ空転試験の状況であり、本試験では駆動する後輪の前に雪でタイヤ止めを設けて、圧雪路面上でタイヤを空転させた。タイヤを規定回数だけ空転させた後、路面状態として圧雪面のすべり摩擦係数、圧雪の温度、雪質、硬度、密度、重量含水率および厚さを測定した。また、サーモグラフィーを用いて空転時のタイヤや圧

雪面の熱画像を撮影した。

試験車両にはフロントエンジン・リアドライブの2トントラックを用いた。その車体重量は2730 kg、後輪はダブルタイヤである。前後輪ともにスタッドレスタイヤを装着した。

タイヤの空転回数は、0、5、10、30 および 80 回の5 ケースとした。1 分間当たりタイヤの空転回転数は結果的に約 60 rpm であった。

(2) 轍掘れ走行試験

轍掘れ走行試験の前夜は降雨があり、最低気温が 0°C 付近にあったことから、路面の圧雪は緩んだ状態で試験を実施した。また、試験を開始してからも降雨と気温の上昇によって、さらに圧雪は軟化した。

写真-2 は轍掘れ走行試験の状況である。試験では、走行後にタイヤ通過部と非通過部における圧雪層の表面温度、硬度、密度、重量含水率および厚さを測定した。

試験車両には 4 輪駆動の SUV タイプの普通乗用車を用いた。その車体重量は 2.23 ton であり、前後輪ともにスタッドレスタイヤである。

C. 研究結果

(1) タイヤ空転試験

写真 3 はタイヤ空転後の圧雪面の状態である。圧雪面にはタイヤトレッド痕が観られ、その間が平坦になっている。また、タイヤとの接触部分は濡れた状態にある。

図 1 にタイヤ空転数と圧雪状態の関係を示す。圧雪高さは、タイヤ空転数の増大につれて低下した。重量含水率は、タイヤ空転数とともに増大した。圧雪密度について、湿潤密度はタイヤ回数とともに増大する傾向にあった。乾燥密度は 419～530 kg/m³ の範囲にあった。圧雪硬度は、タイヤ空転数とともに増大する傾向にあった。すべり摩擦係数はタイヤ空転数とともに低下した。本試験の圧雪の雪質はしまり雪が少しざらめ化した状態であり、その粒径は 0.2～1.0 mm であった。

(2) 轍掘れ走行試験

写真 4 は轍掘れ走行試験のタイヤ通過部と非通過部の圧雪断面を示す。図 2 は圧雪硬度の測定結果であり、タイヤ非通過部とタイヤ通過部をそれ

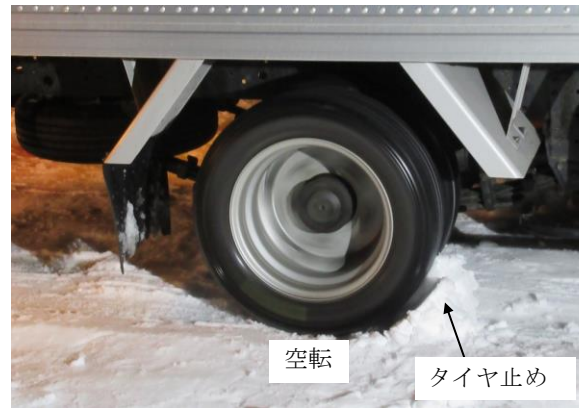


写真1 タイヤ空転試験の状況



写真2 轍掘れ走行試験の状況

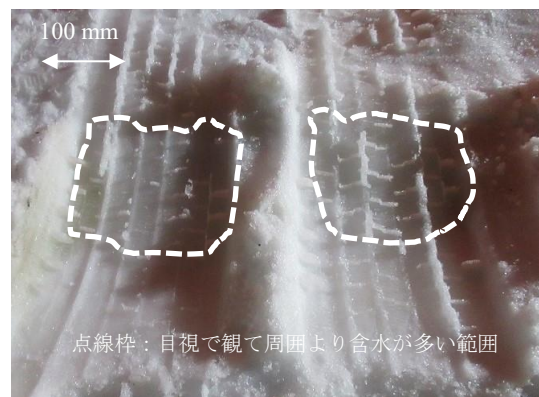


写真3 タイヤ空転後の圧雪面の状態
(タイヤ空転数：80回)

ぞれ示す。写真 4 の上段に示す圧雪層はタイヤ通過によって 0.15 m から 0.09 m に低下した。今回の圧雪層は路面上に飽和域の存在が確認できた。タイヤ非通過部では飽和域の厚さはおよそ 0.05 m であった。タイヤ通過によって飽和域の厚さは 0.01 m 程度に薄くなった。図 2 のタイヤ非通過部の圧雪硬度を見ると、飽和式は硬度が 300 kN/m² と小さく、圧雪層中で強度の弱い層である事が知

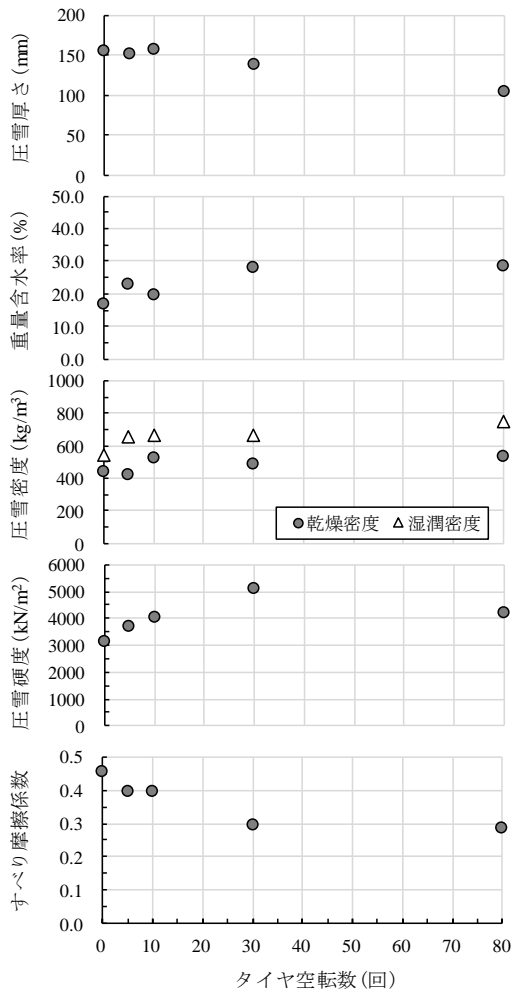


図1 タイヤ空転数に伴う圧雪状態の変化

れる。タイヤ通過部の硬度は、同じ高さで比較するとタイヤ非通過部より大きい。湿潤密度および乾き密度は、タイヤ非通過部では 500 および 385 kg/m^3 であり、タイヤ通過部では 588 および 419 kg/m^3 であり、タイヤ通過に伴う乾き密度の増大はわずか 34 kg/m^3 であった。なお、重量含水率は飽和部で 40.5%、非飽和部で 20.1% であった。

D. 考察

(1) タイヤ空転試験

タイヤ空転試験の結果から、タイヤの空転によってタイヤと圧雪面との間に摩擦熱が発生し融解が生じ、圧雪厚さの低下および重量含水率と湿潤密度の増大が生じることが分かった。こうした圧雪面の融解にタイヤ空転による研磨作用が加わり、すべり摩擦係数は低下すると推察される。

(2) 轍掘れ走行試験

轍掘れ試験の結果より、タイヤ通過による圧雪

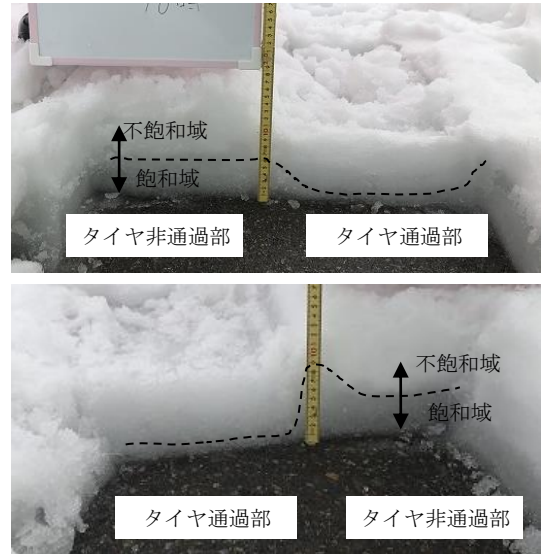


写真4 轍掘れ走行試験の圧雪状態

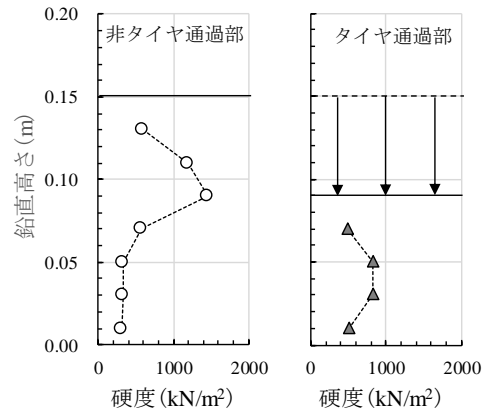


図2 轍掘れ走行試験の圧雪硬度

層厚さの低下が 0.06 m に対して、乾き密度の増加はわずかであったことから、圧雪層はタイヤの通過によって鉛直方向の圧縮だけでなく、飽和状態の硬度の弱い圧雪が水平方向に押し退けられるような移動が生じたと推察できる。写真4の下段に示す圧雪断面を見ると、飽和域と不飽和域の境界がタイヤ通過部と非通過部の間で盛り上がり、タイヤ通過部によって飽和域の圧雪が移動したことが確認できる。

E. 結論

タイヤと圧雪面のすべり摩擦係数の低下はスタックの発生の一要因と考えられ、今回のタイヤ空転試験によりタイヤの空転が圧雪の含水率や密度を増大させ、タイヤの空転数が 10 から 30 回の際にすべり摩擦係数が著しく低下することが

分かった。

タイヤ通過に伴う轍掘れ発生については、上述のとおり、そのメカニズムの解明に近づく結果を得ることができた。ただし、車両が圧雪にタイヤを取られ、蛇行しながら前進する場合は轍掘れ深さに大きなばらつきが観られた。この要因は、車体が傾くことによる輪荷重の変化やトラクションコントロールによる一部のタイヤだけの回転などが考えられ、車両の動的作用が轍掘れに大きく影響を与える可能性が示唆された。

今後は、新雪でのスタック実験を行い、タイヤ空転試験の成果を踏まえて、スタック発生条件の定量的評価を目指す。また、轍掘れ発生条件について、さらに実験を重ね、メカニズム解明とどのような圧雪と車両条件で轍掘れが発生するかについて定量的な評価を行う。

F. 研究発表

1. 論文発表

藤本明宏，河島克久：実車試験による大雪時のスタック発生メカニズム及びタイヤチェーン装着効果の解明，寒地技術論文・報告集，Vol. 35，pp. 36-41，2019.

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

藤本明宏，河島克久：スタック車両発生メカニズムに関する実験的考察，雪氷研究大会 (2019・山形)，2019年09月，山形市.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし