

「なぜ、大雪で大規模な立ち往生が発生するのか？」スタック車両の発生メカニズムを解明

1. 発表者

藤本明宏（福井大学学術研究院工学系部門 建築建設工学講座 准教授）

河島克久（新潟大学災害・復興科学研究所 教授）

2. 研究成果のポイント

- 本研究では、令和3年1月11日の大雪による立ち往生最中の現地踏査（福井市～あわら市の国道8号）および3冬期（2018、2019、2020年度の12月～2月）に亘り実車を用いて圧雪路面で実施してきた停車試験※1、タイヤ空転試験※2 および車両発進試験※3 から、凹凸の激しい圧雪路面の形成メカニズムとスタック（発進不能）車両の発生メカニズムを明らかにした。
- 圧雪路面上での停車や発進時のタイヤの空転は、圧雪路面に窪みを発生させる。この窪みに後続車両のタイヤがはまり、タイヤを空転させてさらに窪みを深める“負の循環”が生じる。その後、1つの窪みから連鎖的に窪みが増え、10～15cmに及ぶ凹凸の激しい圧雪路面が形成される。
- タイヤの輪荷重や熱は圧雪を圧縮・融解させ、タイヤを圧雪内に沈降させる。同時にタイヤと圧雪の間のすべり摩擦係数が低下する。これらはタイヤと圧雪の間の摩擦力を低下させ、タイヤを空転させ易くする。タイヤの空転は沈降によって生じた窪みを深めるとともに、更なるすべり摩擦係数の低下を引き起こす。このような“負の循環”によってスタック車両の発生に至る。

3. 研究成果の概要

1. 大雪時の現地踏査では、立ち往生区間内に凹凸の激しい圧雪路面の点在が確認された。また、車両発進試験を実施したところ、こうした圧雪路面の凹凸がスタック車両の発生を誘発させることが明らかになった。
2. 停車試験より、停車時にタイヤが圧雪内に沈み（今回の実験では20分で4cm、1時間で7cm程度）、スタックが起り得ることが分かった。また、タイヤ空転試験より、タイヤが空転すると、圧雪の窪みが著しく深まり、益々スタックに陥り易いことが分かった。
3. 停車試験とタイヤ空転試験からスタック車両の発生メカニズムは次のように説明できる。アクセルを踏むと駆動力が発生し、タイヤと路面間の摩擦力※4 < 駆動力であればタイヤが空転するが、摩擦力 > 駆動力の場合、駆動力が登坂抵抗力※5を上回れば車両は前進する。停車やタイヤの空転は融解や圧密によってタイヤ直下の圧雪を窪ませ、タイヤ前方の圧雪表面の傾斜角を増大させると同時に、圧雪路面を平滑化させ、そのすべり摩擦係数を

低下させる。これらの圧雪の変化により、摩擦力が減少し、 $\text{摩擦力} > \text{駆動力}$ が満たされずタイヤが空転して、スタックに陥る。勾配の大きい坂道では、勾配の効果でタイヤ前方の圧雪表面の傾斜角が大きくなるため、圧雪の凹凸が小さくてもスタックのリスクが高まる。

4. 大雪時には、吹雪による視界不良、堆雪による道路有効幅員の低下、路面状態の悪化などによって車両が滞留し始める。長時間の停車や発進時にアクセルを強く踏み込んでタイヤを空転させると、圧雪に窪みが生じる。この時、たとえスタックを回避できたとしても、この窪みに後続車両のタイヤがはまり、窪みを乗り越えるようとしてタイヤが空転すると、圧雪の窪みが深くなるとともに、よりすべり易くなる。車両が通過する度にこの“負の循環”が繰り返され、ついには窪みを乗り越えられずスタックする車両が発生する。
5. ひとたびスタック車両が発生すると、後続車両も停車を余儀なくされ車両滞留となる。大雪時にはこうした車両滞留が点在し、「迂回路がない」、「除雪が機能しない」、「交通量が抑制されない」などの悪条件が重なると大規模な立ち往生に至る。
6. 大雪時には10~15cmにも達する厚い圧雪路面が形成されるため、タイヤの空転等によって発生する凹凸が深くなり、スタックのリスクが高まる。これを回避するには、「早期通行止めと予防的集中除雪」が有効である。また、圧雪路面上での停車や発進はスタックにつながる要因となるため、圧雪路面上での渋滞が生じないように大雪区間に立ち入らせない「広域迂回」が有効と考えられる。

4. 本研究の成果

(研究の背景)

2018年2月4日から7日にかけて福井県嶺北地方を襲った大雪は、国道8号や北陸道で大規模な車両滞留（立ち往生）を引き起こし、生活・医療物資の不足や製造現場の休業など地域社会に甚大な影響を与えた。近畿地方整備局によれば、立ち往生の発端となったスタック車両は、大型車あるいはトレーラーが殆どであり、この大雪の間に9か所で発生した。このような大雪による立ち往生は、2010年~2021年の期間に少なくとも31件発生しており、その長期化・大規模化への対策は冬期道路管理における喫緊の課題となっている。

積雪地域において平時の降雪であれば、路面圧雪による走行速度の低下こそあってもスタックに至ることは珍しい。しかし、大雪時には、スタック車両が発生し、大規模な立ち往生を誘発する。なぜ大雪時にはスタック車両が発生するのであろうか？この疑問の解決、すなわちスタック車両の発生メカニズムの解明は、大雪による立ち往生の対策を行う上で極めて重要であるが、十分に理解できていない。

(研究の内容)

本研究では、大雪時のスタック発生メカニズムの解明を目的に、大雪による車両滞留時の現地踏査および圧雪路面での停車試験※1、タイヤ空転試験※2 および車両発進試験※3 を実施した。

現地踏査では、大雪による車両滞留時の圧雪路面に凹凸の発生を確認した。停車試験およびタイヤ空転試験より、タイヤの輪荷重、熱および空転が圧雪を融解や圧密させ、タイヤを圧雪に沈ませると同時に、タイヤ直下のすべり摩擦係数を低下させることが分かった。また、車両発進試験より、圧雪路面の窪みが深いほどスタックし易いことと、輪荷重が大きいほどスタックは発生し難いことが分かった。

本研究から、車両のスタックは以下のメカニズムで発生することを明らかにした。大雪時には車両の走行性が低下し、停車時間や発進回数が増える。停車時間や発進回数の増大は、圧雪路面の窪みの発生やすべり摩擦係数の低下を誘発する。これらがタイヤの空転を助長し、それが圧雪路面の窪みの拡大やすべり摩擦係数のさらなる低下を引き起こす負の循環を生じさせ、スタック車両の発生に至る。本研究では、このメカニズムを踏まえて、タイヤが圧雪路面の窪みにはまった状態からスタックに陥る場合とスタックを回避する場合のフローチャート（図 1）を示した。図 2 には圧雪路面の窪みでタイヤを回転させた時の力の状態図を示す。

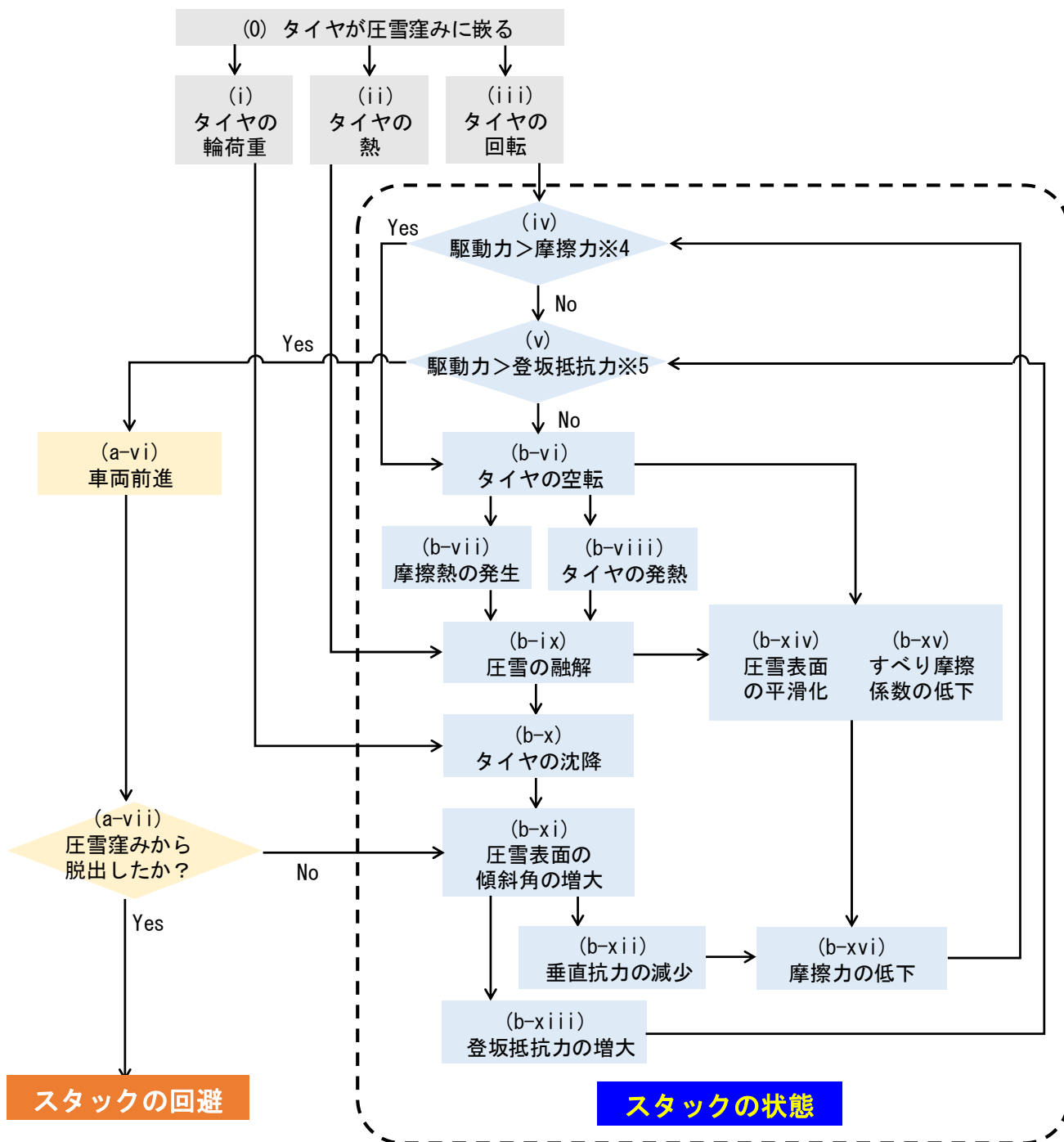


図 1 タイヤが圧雪路面の窪みに嵌った状態からスタック状態に陥る場合とスタックを回避する場合のフロー。

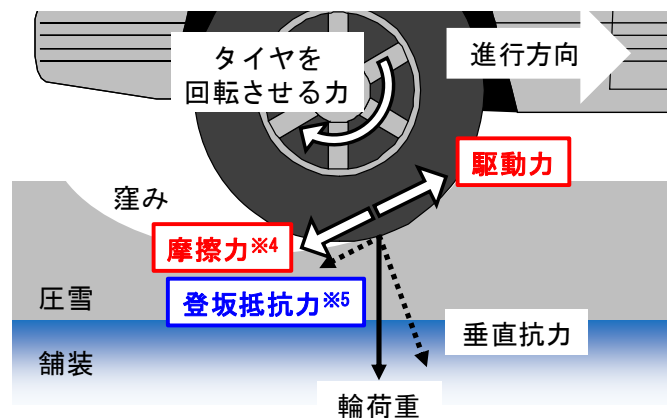


図 2 圧雪路面の窪みでタイヤを回転させた時の力の状態図（アクセルを踏みタイヤが回転すると、タイヤと路面の間に進行方向の駆動力が発生し、車両はタイヤと路面の間に働く進行方向と逆向きの摩擦力※4 を反力として前進しようとする。駆動力＞摩擦力であればタイヤが空転するが、駆動力＜摩擦力の場合、駆動力が登坂抵抗力※5 を上回れば車両は前進する。）

（今後の展開）

これまでに 2 軸車（車両を横から見た時、タイヤの数が 2 つの車両）のスタック発生メカニズムを解明したが、大型車やチェーン装着車のスタック発生メカニズムは依然として不明な点が多いことから、今後も実車試験を継続する。また、大雪による立ち往生を未然に防ぐために、大雪時の立ち往生危険度予測モデルを開発中である。

（解説）

※1 渋滞や立ち往生を想定して、車両を圧雪路面上に停車させた時の圧雪状態の変化を調べる試験。新潟県道 385 号（新潟県魚沼市大白川地先）で実施。

※2 タイヤの空転が圧雪状態に及ぼす影響を調べる試験。新潟県道 385 号（新潟県魚沼市大白川地先）で実施。

※3 圧雪路面の窪みにタイヤが嵌った状態から車両を発進させ、スタック発生の有無やその時の圧雪状態の変化を調べる試験。中部縦貫自動車道勝山除雪基地（福井県勝山市鹿谷町地先）で実施。

※4 摩擦力は垂直抗力（輪荷重の圧雪面に垂直な方向の成分）×すべり摩擦係数。

※5 登坂抵抗力は傾斜と平行な輪荷重の成分。

(謝辞)

本研究は、科学研究費補助金(20K05043)、2018年度近畿建設協会研究助成および新潟大学災害・復興科学研究所共同研究費の助成によって行われた。

(参考文献)

藤本明宏、河島克久、渡部俊、村田晴彦：大雪時のスタック車両発生メカニズムの解明、日本雪氷学会誌「雪氷」、83(5)、507-522、2021

【本研究に関する問合せ先】

福井大学 工学部 建築・都市環境工学科
准教授 藤本 明宏 (ふじもと あきひろ)
E-mail: fjmt@u-fukui.ac.jp

新潟大学 災害・復興科学研究所
教授 河島 克久 (かわしま かつひさ)
E-mail: kawasima@cc.niigata-u.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

福井大学 広報センター
E-mail: sskoho-k@ad.u-fukui.ac.jp

新潟大学広報室
E-mail: pr-office@adm.niigata-u.ac.jp