

◆ 試験方法

試験車両はボディタイプの異なる9台の市販車両を用いました。車両重量は880kg～1600kg、駆動方式は二輪駆動（前輪駆動・後輪駆動）と全輪駆動です（図1）。試験路は直線・平坦路、曲線路、勾配路、過酷路の4つで、いずれも舗装路面の上に粗粒・中粒・細粒のいずれかの火山灰が敷き詰められています。走破性能試験では、①発進・急発進試験、②通過試験、によって降灰路面における車両の走破能力を評価しました。①は停車状態から発進と急発進を繰り返します。②は時速5 kmで舗装路面から試験路に進入し速度を維持したまま通過します。車両が途中でスタックした場合は、入口から車両の前輪軸までの距離（走破距離）とその地点の火山灰の厚さを計測しました。試験①は直線・平坦路と勾配路で、試験②は過酷路と勾配路でそれぞれ行いました。直線・平坦路は全部で4つあり、それぞれ粗粒・中粒・細粒・濡れた細粒火山灰が敷いてあり、全長は45 mで15 mごとに火山灰の厚さが1 cm、5 cm、10 cmと変化します。勾配路は4つあり、全長は30 mで勾配は5%、粗粒と細粒の火山灰が厚さ1 cmまたは～12 cm敷いてあります。過酷路は全長20 mの平坦な直線路で粗粒火山灰が厚さ20 cm以上で敷いてあります（図2）。

◆ 試験結果

①発進・急発進試験

全輪駆動車は層厚やアクセル開度によらずスリップすることなく安定して発進することができました。一方、二輪駆動車は層厚が厚くなるにつれて駆動輪がスリップする割合が大きくなりました。特に後輪駆動車は急発進時に後輪がスリップし車体の後方が横ずれするため、真っすぐ走るためには修正舵をあてる必要がありました。

②通過試験

全輪駆動車はいずれの試験路においても安定して走行することができました。一方、二輪駆動車は全輪駆動車に比べ走破性能が明らかに劣り、火山灰の厚さが約10 cmを超えると火山灰の種類や路面の勾配の有無に関わらず車両はスタックしました。次に前輪駆動車の駆動輪に樹脂製または金属製のタイヤチェーンを装着し走行したところ、同じようにスタックしました（表1）。

◆ 議論・考察：降灰路面で車両がスタックしてしまう要因は？

2021年の富士山ハザードマップ改定に伴い、同年11月に山梨県は“火山灰堆積時における車両走行等の体験事業”を開催しました。その結果、火山灰の厚さが約10 cmを超えると二輪駆動車はスタックしてしまうことが指摘されていました。今回、我々は実験に基づき、降灰路面における車両の走破性能を定量的に評価すると共に、スタックするメカニズムについて次の通り解明しました。二輪駆動車がスタックした際、駆動輪のタイヤはその高さの半分以上が降灰路面に沈み込んでいる状態でした（図3）。降灰路面の火山灰粒子は降り積もっただけなので自由に動くことができ、加えて火山灰粒子は空隙が多く密度が軽いので、駆動輪の回転によって容易に掻き出されてしまいます。すると駆動輪が降灰路面に徐々に沈み込んでしまい、走行抵抗が増加し最終的に車両がスタックすることが判明しました（図4）。降灰路面の性質は砂利道、あるいは雪道や凍結路面と異なります。砂利道に敷かれている碎石も自由に動くことができますが、火山灰に比べ密度が高く、粒径が大きく、扁平率が高い形状をしているため、タイヤから駆動力が働いても容易に動きません。雪道や凍結路面でも車両はスリップやスタックする場合があります、これはタイヤと雪や氷の摩擦係数が著しく低いことが主な原因です。タイヤチェーン（冬用タイヤを含む）は、エッジ効果（注釈1）によりタイヤと路面の摩擦力を向上させるので、雪道・凍結路面における走破性や安全性の向上には有効です。一方、火山灰粒子はタイヤとの摩擦係数が氷や雪ほど低くなく、エッジ効果は火山灰粒子を掻き出してしまいう働きを高めてしまうので、タイヤチェーンの装着は降灰路面の走破性の向上には寄与しないことが判明しました（図5）。

（注釈1）チェーンや冬用タイヤのブロックの角が雪や氷をひっかくことで生じる抵抗。

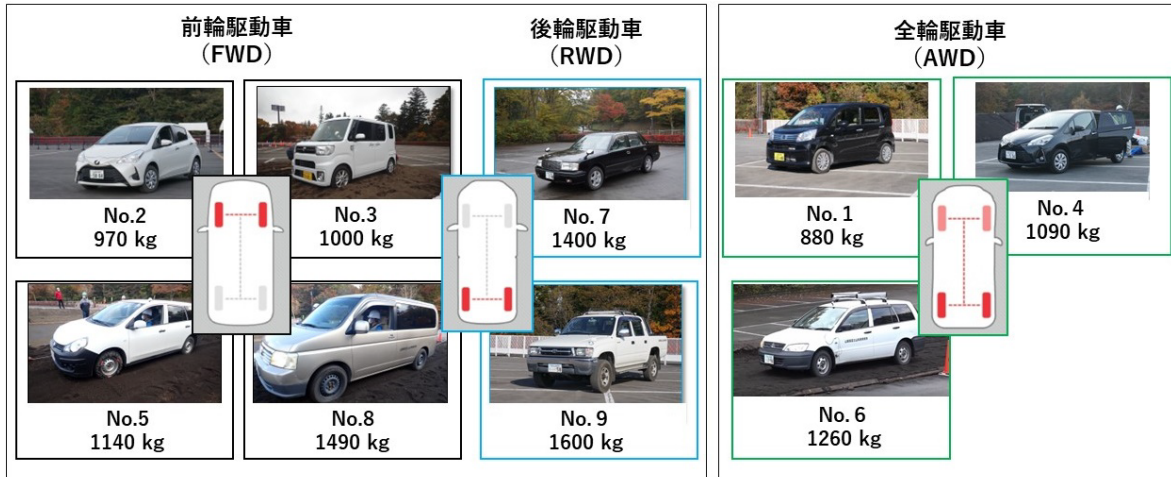


図 1. 試験車両一覧。前輪駆動車 4 台、後輪駆動車 2 台、全輪駆動車 3 台。

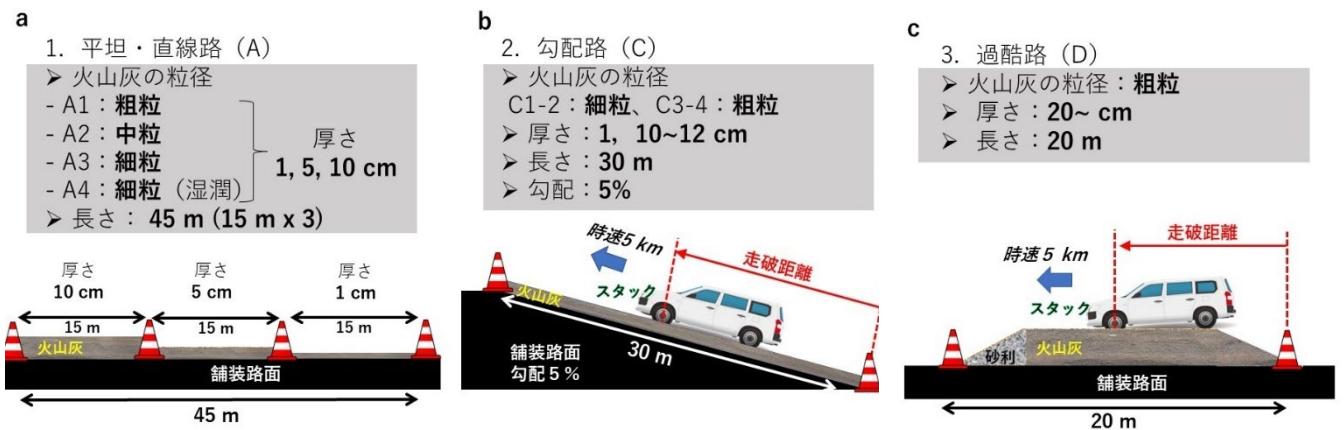


図 2. 試験路と試験方法。a) 平坦・直線路、b) 勾配路、c) 過酷路。図は縮尺無し。

表 1. 通過試験結果のまとめ

試験路	5%勾配路			
	平坦路	過酷路	粗粒・細粒	粗粒
火山灰の粒径	粗粒・中粒・細粒	粗粒	粗粒・細粒	粗粒
火山灰の厚さ (cm)	1、5、10	20~	~10	12~
前輪駆動車	通過	スタック	通過	スタック
前輪駆動車 (タイヤチェーン装着時)		スタック※ ¹		スタック※ ²
後輪駆動車	通過	スタック	通過	スタック
全輪駆動車	通過	通過	通過	通過

※¹ 走破距離はタイヤチェーン非装着時とほぼ同じ結果になりました。

※² 走破距離はタイヤチェーン非装着時に比べ 20~40%短くなりました。



図 3. 降灰路面を走行しスタックした車両の駆動輪。タイヤの高さの半分以上が火山灰層に沈み込んでいる。火山灰の厚さ約 20 cm、試験車両は No. 8、夏用タイヤを装着。矢印は車両の進行方向。

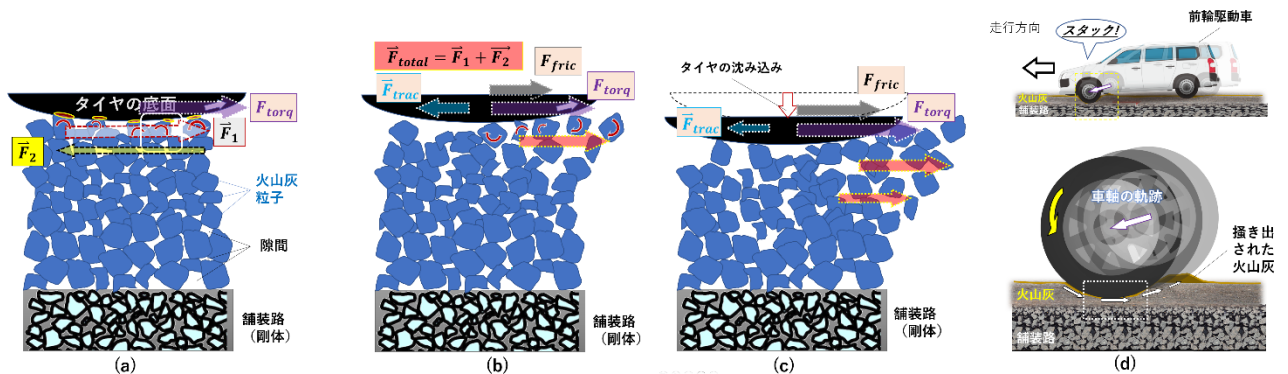


図 4. 車両（二輪駆動車）が降灰路面でスタックするメカニズム。図は縮尺無し。

- (a) 駆動輪のタイヤ底面と降灰路面の拡大図。降灰路面は、舗装路（剛体として振る舞う）の上に火山灰粒子（青色）が降り積もった状態。駆動輪を回転（反時計周り）させる力 (F_{torq}) は、タイヤの底面（トレッド面）と接している火山灰粒子に伝達される。個々の粒子に着目すると、駆動力は粒子を回転させる力（時計回り）を発生させる。一方、その粒子と周囲の粒子との接点では、その回転を止めようとする力が働く。前者の力の合力を F_1 とすると、後者の力の合力 (F_2) は、 F_1 に対し逆向きに発生するせん断応力として解釈される。
- (b) F_1 と F_2 を合わせた力 (F_{total}) は、 F_1 の大きさに対し F_2 が小さいので、タイヤの底面にある火山灰粒子を掻き出す力（赤矢印）として働く。
- (c) 火山灰粒子を掻き出す力は下方向へと伝播され、それに伴いタイヤの下にある火山灰が次々と取り除かれて、タイヤは徐々に降灰路面へと沈み込む。
- (d) 駆動輪を回転させる力は、その大半が火山灰粒子を掻き出すエネルギーとして消費され、駆動輪のタイヤが降灰路面に沈み込むことで走行抵抗が大きくなり、車両はスタックする。



図 5. 樹脂製タイヤチェーンを装着して降灰路面を走行しスタックした車両の駆動輪。非装着時と同様にタイヤが降灰路面に沈み込んでいる。走破距離はタイヤチェーン非装着時と比べほぼ同じになった。試験車両と試験路は図 3 と同じ。