

火山灰堆積地での現地調査における自動車走行上の留意点 ～土砂災害防止法に基づく緊急調査の実施を想定した現地試験結果より～

坂井佑介・永吉修平・國友 優

1. はじめに

平成 26 年 9 月に御嶽山、平成 26 年 11 月以降に阿蘇山、平成 27 年 5 月に口永良部島で噴火が発生し、さらに桜島では平成 27 年 8 月に急激な地殻変動が観測されて噴火警戒レベルが 4 に一時引き上げられるなど、近年、全国で火山活動が活発な状況にある。火山噴火時には、火山灰等が厚く堆積することにより土石流が発生する危険性が高まることから、平成 23 年 5 月に施行された改正土砂災害防止法（以下「土砂法」という。）において、火山噴火に起因する土石流が想定される場合、国土交通省が緊急調査を実施することが定められている。この結果に基づき、土砂災害の被害の恐れのある区域・時期を市町村へ通知・一般へ周知することから、緊急調査を迅速に実施することは非常に重要である。

その一方で、火山灰が堆積した状況下では、走行車両にとって通常の乾いた路面に比べて滑りやすく、交通事故が発生するリスクが高くなることが知られている¹⁾。土砂法に基づく緊急調査では、特に火山灰が厚く堆積しかつ勾配の急な火山山麓部を自動車で行く必要がある。このような、厳しい環境における現地調査を迅速に実施するためには、交通上の安全を確保するための対策を実施するとともに留意点を把握し、交通事故のリスクを低減することが重要である。しかし、これまで火山灰堆積地における歩行者や二輪の安全走行に関する調査²⁾や、火山灰堆積地における自動車走行に関する試験としては新燃岳の平成 23 年噴火後に実施された事例³⁾等があるものの、火山山麓部における自動車の安全走行のための知見は十分に得られていないのが現状である。

そこで本取り組みは、土砂法に基づく緊急調査の現地調査実施環境を想定した自動車の走行性能（制動距離・登坂能力）及び火山灰巻き上げによる前方視認性に関する現地試験を実施し、火山灰が自動車



図-1 試験実施箇所位置図（桜島）

の走行に及ぼす影響を把握するとともに、現地調査を実施する際の自動車による調査地点への立ち入りの判断、調査中の交通事故防止のための留意点について報告することで、火山噴火時に土砂法に基づく緊急調査を実施する現場担当者のもとより、火山灰に係る様々な調査を実施する火山研究者一般が安全な調査の実施に寄与することを目的として実施した。

2. 現地試験の概要

近年噴火が頻発・継続しており、火山灰の調達が容易である鹿児島県の桜島島内において現地試験を実施した（図-1）。制動距離試験および登坂能力試験は桜島の西側に位置する野尻川流路工の河口に近い高水敷にて、視認性試験は桜島の東側に位置する黒神川の地獄ヶ原の脇の管理用道路にて実施した。試験に用いた車両は、現地調査時に多く用いられることが想定される前輪駆動の乗用車ワゴンタイプ（排気量1500cc、自動変速）とし、ノーマルタイヤを使用した。登坂能力試験においては、ゴム製のタイヤチェーンを装着したケースや四輪駆動車（車種は異なる）によるケースを併せて実施した。

なお、各試験の試験条件については、これまで自動車への火山灰の影響に関する知見が少なく、可能な限り統一した条件の下で試験を実施する必要があると判断したため、滑りやすい走行環境での自動車

の運転操作と異なる部分があることを予め付記する。

3. 制動距離試験

3.1 試験内容

延長100m以上の直線区間を有し、ほぼ水平（勾配0.7%）の区間（表面はコンクリート）に火山灰を敷設し、試験を実施した。火山灰の敷設区間は、延長20m、幅3mとし、敷設区間の外側に敷設高と同じ高さの型枠を設置し、重機および人力により火山灰を堆積させた後、レーキ等を用いて敷き均した。敷設した火山灰は桜島島内に堆積した火山灰を使用した。図-2に使用した火山灰の粒度分布を示す。また、試験手順は次のとおりである。

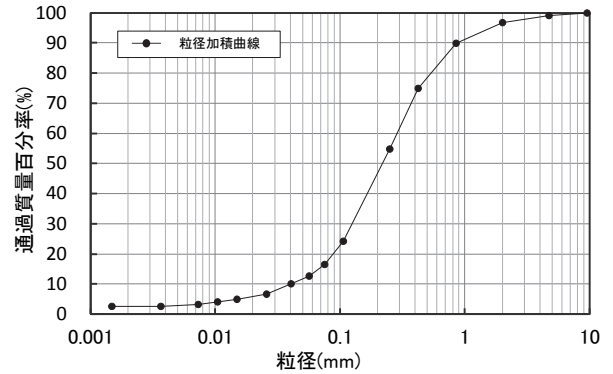


図-2 敷設した火山灰の粒度分布

- ①火山灰を敷設しない助走区間（25m程度）で加速し、一定速度を保った状態で火山灰敷設区間に進入する。
- ②火山灰敷設区間の開始点から5mに設定した制動開始ラインに車両の前輪が到達した時点でライン脇に立つ合図者が旗および声で運転者へ合図を行う（図-3上）。
- ③運転者は合図が聞こえたら、ブレーキを作動させ、全制動を行う。
- ④全制動により車両が停止した後にラインから前輪までの距離をメジャーで計測・記録する（図-3下）。

試験の実施ケースおよび実施回数を表-1に示す。自動車の走行速度は20km/h及び30km/hとした。試験で実施した火山灰の敷設厚の条件は、緊急調査の着手要件である1cm以上の火山灰が堆積した場所へ調査に行くことを想定して「敷設厚1cm」、「敷設厚3cm」、比較のための「敷設なし」とした。また、降雨後に現地調査を行う場合を想定して、降雨の影響を把握するため、火山灰の含水比を変化させたケースを設定した。含水比を変化させるため、火山灰を敷設した状態で散水車により、敷設区間全体で所々に水溜まりがみられる程の湿潤な状態となるまで散水した（図-4）。散水前は島内で火山灰を調達し乾燥した自然状態で含水比 $w=0.7\%$ 、散水後は $w=20\%$ であった。なお、散水前後の含水比は、それぞれ試験実施前に敷設区間からサンプルを採取して持ち帰り、含水比試験により把握している。



図-3 制動距離試験の実施状況

表-1 制動距離試験ケース一覧

試験ケース番号	火山灰の敷設厚	走行速度	含水比
Run 1 (3)	敷設なし	20 km/h	0.7 %
Run 2 (3)	1 cm		
Run 3 (3)	3 cm		
Run 4 (3)	敷設なし	30 km/h	20 %
Run 5 (3)	1 cm		
Run 6 (3)	3 cm		
Run 7 (3)	1 cm	20 km/h	20 %
Run 8 (1)	1 cm	30 km/h	

()内の数値は試験実施回数を表す

の試験結果を図-5(a)に示す。敷設なしの場合(Run 1)に制動距離が2.9mであった。これに対し、敷設厚1cm(Run 2)では4.5m、敷設厚3cm(Run 3)では5.4mと制動距離が約1.5～1.9倍に長くなる結果となった。走行速度を30km/hとしたケース(Run 4～Run 6)を



図-4 散水により含水比を大きくした敷設火山灰

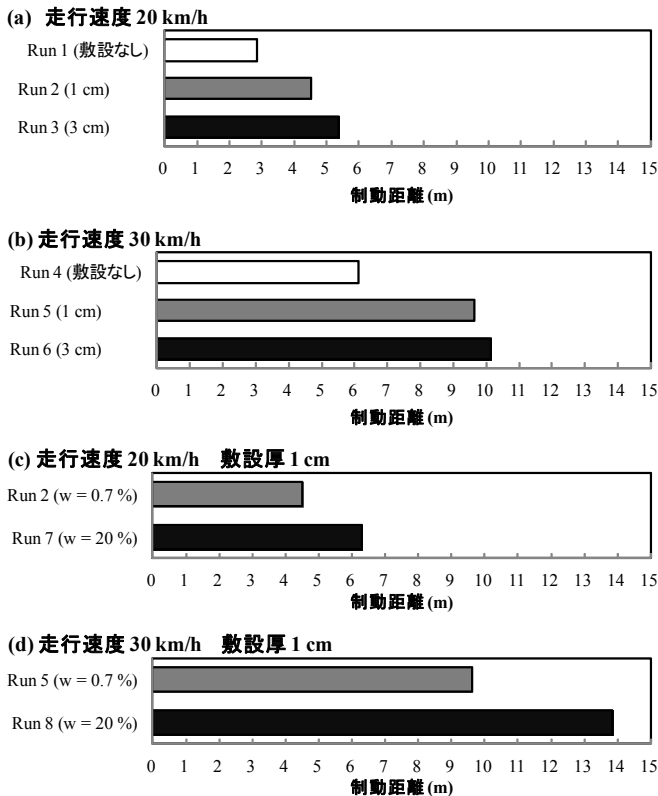


図-5 制動距離試験結果 (平均値)

みると (図-5(b))、敷設なし(Run 4)の場合で制動距離6.1mであった。これに対し、敷設厚1cm(Run 5)で9.6m、敷設厚3cmで10.2mと敷設なし(Run 4)に比べて1.5~1.7倍となる結果が得られた。

3.2.2 火山灰の含水比を変化させたケース

敷設厚を同じ条件 (敷設厚1cm) とし、火山灰の含水比を変えたケースにおける試験結果を図-5(c)および(d)に示す。走行速度20km/hにおいては、含水比 $w=0.7\%$ (Run 2)の制動距離4.5mに対し、含水比 $w=20\%$ (Run 7)では6.3mとなり、制動距離が1.4倍長くなる結果となった。走行速度30km/hのケースでは、含水比 $w=0.7\%$ (Run 5)の制動距離9.6mに対し、含水比 $w=20\%$ (Run 8)では13.8mとなり、走行速度20km/hのケースと同様に含水比が高い場合に制動距

離が1.4倍長くなる結果が得られた。なお、火山灰がない状態 (敷設なし (0cm)) と比べると、20km/hのケースで約2.2倍、30km/hのケースで2.3倍程度制動距離が長くなる。

3.3 現地調査時の留意点

制動距離試験結果をふまえ、現地調査時の制動に関する留意点を以下にまとめた。

- 1) 火山灰堆積地では火山灰が堆積していない状態より制動距離が長くなることに留意する。
- 2) 火山灰が厚く堆積する地域を走行する場合には、薄い地域に比べ制動距離が長くなる可能性があるため、特に層厚の厚い地域を走行する際には走行速度を抑えるよう努める (降灰なし・速度30km/hの際の制動距離を確保するためには、少なくとも20km/h以下まで速度を抑える)。
- 3) 火山灰が湿潤な状態では乾燥状態に比べ制動距離が長くなる可能性があるため、特に降雨時や降雨後に火山灰堆積地を走行する際には走行速度を抑えるように努める。

4. 登坂能力試験

4.1 試験内容

土砂法に基づく緊急調査における現地調査の対象箇所には火山山麓部が想定されることから、一定の勾配を有する斜路を対象に、敷設した火山灰上で停止した状態からの自動車の登坂能力の試験を実施した。

試験は制動距離試験と同様に野尻川河口で実施した。試験地は既設の斜路 (勾配10%) に火山灰を敷設して試験区間を設けた。火山灰の敷設区間は、延長15m、幅3mとし、試験に用いた火山灰は制動距離試験で用いたものと同様とした (図-2)。

登坂能力試験の手順は次の通りである。

- ①火山灰敷設区間の下流端に後輪を合わせて車両をセットする。
- ②アクセルを踏み、一定の回転数を保ったまま発進する。
- ③発進できた場合は、火山灰敷設区間 (15m) を走り抜けるために要した時間をストップウォッチで計測する。

試験ケースおよび試験実施回数を表-2に示す。試験で実施した火山灰敷設の条件は、火山山麓部のより火山灰が厚く堆積する厳しい条件を想定して「敷

設厚1cm]、「敷設厚5cm」、「敷設厚10cm」、比較のための「敷設なし」とした。また、前輪駆動車（ノーマルタイヤ）を用いて回転数1,500r/minとして敷設厚を変化させたケースを基本とし（Run A-1～

Run A-4）、敷設厚10cmとして回転数を大きくしたケース（Run B-1）、タイヤチェーン（図-6）を装着したケース（Run C-1、Run C-2、前輪駆動車と同排気量の四輪駆動車を用いたケース（Run D-1）を設定した。また、敷設厚1cmおよび5cmで敷設区間全体に散水し、湿潤状態（含水比w=18%）としたケース（Run E-1、Run E-2）を設定し、前輪駆動車（ノーマルタイヤ）、回転数1,500r/minで実施した。登坂能力試験の実施状況を図-7に示す。

表-2 登坂能力試験ケース一覧

試験ケース番号	火山灰の敷設厚	含水比	使用車両	エンジン回転数 (r/min)
Run A-1 (3)	敷設なし		前輪駆動車 (ノーマルタイヤ)	1,500
Run A-2 (3)	1 cm	0.3 %		
Run A-3 (3)	5 cm	4.2 %		
Run A-4 (-)	10 cm			
Run B-1 (-)	10 cm	5.8 %	前輪駆動車 (ノーマルタイヤ)	2,000
Run C-1 (-)	10 cm		前輪駆動車 タイヤチェーン装着	1,500
Run C-2 (1)	10 cm		前輪駆動車 タイヤチェーン装着	2,000
Run D-1 (2)	10 cm		四輪駆動車 (ノーマルタイヤ)	1,500
Run E-1 (3)	1cm (湿潤)	18 %	前輪駆動車 (ノーマルタイヤ)	1,500
Run E-2 (3)	5cm (湿潤)	18 %		

()内の数値は試験実施回数を表す (“-” は発進不可)



図-6 ゴム製タイヤチェーンの装着



図-7 登坂能力試験の実施状況

4.2 試験結果

登坂能力試験は前輪駆動車（Run A-1～4）の各ケースで3回ずつ実施した。各ケースにおける発進の可否および火山灰を敷設した15m 区間を通過するのに要した時間を表-3に示す。

敷設厚0cm、1cm、5cm、10cmと変化させた場合（Run A-1～Run A-4）、敷設厚1cm（Run A-2）では敷設厚0cm（Run A-1）とほぼ同じ時間で通過したが、敷設厚5cm（Run A-3）では発進時にタイヤの滑りが認められ、発進するものの通過に要する時間が大きくなった。一方、敷設厚10cm（Run A-4）ではタイヤが空転し、発進することができなかった。次に、敷設厚10cmとし、回転数を大きくしたケース（Run B-1）、タイヤチェーンを装着したケース（Run C-1、Run C-2）、四輪駆動車を用いたケース（Run D-1）をみる。ノーマルタイヤでは1,500回転(r/min)から2,000回転(r/min)に回転数を大きくしてもタイヤが空転してしまい、発進することができなかった。また、タイヤチェーンを装着しても1,500回転(r/min)では、タイヤチェーンを装着しない場合と同様にタイヤが空転し、発進できない結果となった。タイヤチェーンを装着した状態で2,000回転(r/min)に回転数を上げた場合（Run C-2）、発進時にタイヤが滑るものの

表-3 登坂能力試験結果

試験ケース番号	発進の可否	15m区間通過に要した時間(平均)	発進時および走行時の状況
Run A-1	可	6.6 sec.	3回とも発進時および走行時にタイヤが滑ることなく通過できた
Run A-2	可	6.7 sec.	3回とも発進時および走行時にタイヤが滑ることなく通過できた
Run A-3	可	10.8 sec.	3回とも発進時にタイヤが滑り、車両が進むのに時間を要した
Run A-4	不可	—	タイヤが空転し、発進しない
Run B-1	不可	—	タイヤが空転し、発進しない
Run C-1	不可	—	タイヤが空転し、発進しない
Run C-2	可	32.2 sec.	発進時にタイヤが滑りがあった。走行中もタイヤが空転しながら進み、時間を要した
Run D-1	可	8.1 sec.	発進時および走行時にタイヤが滑ることなく通過できた
Run E-1	可	7.1 sec.	発進時や登坂中にやや滑る場面もあったが通過できた
Run E-2	可	10.2 sec.	登坂中にやや滑る場面もあったが通過できた

発進することはでき、走行中もタイヤが空転しながらも登坂することは可能であった。一方、敷設厚10cmの状態では四輪駆動車を走らせたケース(Run D-1)ではタイヤが空転したり、滑ったりすることなく、発進・走行することが可能であった。

敷設火山灰を湿潤状態としたケース (Run E-1, Run E-2) では、発進時や登坂中にタイヤが滑る場面があったものの敷設区間を登坂することができ、同じ敷設厚のケース (Run A-2, Run A-3) と比較して通過に要した時間についても本試験では顕著な差異は認められなかった。

これらの試験結果から火山灰堆積地における登坂について得られた知見を次のとおりまとめる。

- 1) 火山灰が厚く堆積する登り坂ではタイヤが滑り、登坂ができなくなる場合がある。このときエンジンの回転数を上げて登坂できない可能性がある。
- 2) タイヤチェーンを装着することでノーマルタイヤでは登坂できない場所を登坂できる場合がある。
- 3) 四輪駆動車は前輪駆動車と比べて火山灰が厚く堆積する場合でも登坂しやすくなる効果がある。

4.3 現地調査時の留意点

登坂試験結果をふまえ、現地調査時の登坂に関する留意点を以下にまとめた。

- 1) 火山灰が厚く堆積する登り坂では登坂できない可能性があることに留意する。また、火山灰が堆積する急な勾配の下り坂も、現地調査後の帰途で登坂できなくなる可能性があるため留意する。
- 2) 急勾配の登り坂に数センチで火山灰が厚く堆積する場所の調査では、四輪駆動車を準備することが望ましい。準備できない場合は、自動車による立ち入りを控えるか、徒歩での移動に切り替える。
- 3) タイヤが滑る場合には、無理をせず引き返すことを検討する。

5. 火山灰の巻き上げによる視認性試験

5.1 試験内容

噴火により火山灰が一旦堆積すると、自動車の走行中に灰が巻き上がり、前方の視界が遮られ、視程が低下することが想定される。バイクドライバーを対象としたアンケートではあるが、桜島における降灰時の運転で困っていることに「信号が見えにくい」や「道路標識が見えにくい」といったことが挙げられている³⁾。そこで、火山灰が堆積した道路を走行した場合の灰の巻き上げによる視界遮断の程度を把握

する目的で試験を実施した。試験は、火山灰が長距離にわたって自然に堆積している黒神川流域内の管理用道路の直線区間で実施した。試験実施時の火山灰の堆積厚は5cm程度であった。

視認性試験の手順は次のとおりである。

- ① スタート地点 (0m地点) から10m間隔で三角コーンに距離を明示した指標を設置し、その区間を一定速度 (20km/h, 30km/h, 40km/h, 50km/h) で自動車を走行する。
- ② 灰の巻き上げが生じた後にスタート地点から各指標が視認できるまでの時間を記録する。
- ③ 自動車が通過したと推定される時刻から視認できた時刻を差し引くことで視界を遮断していた時間を求める。これにより、走行後の灰の巻き上がり



図-8 視認性試験における灰の巻き上げ (走行速度40km/hの例)

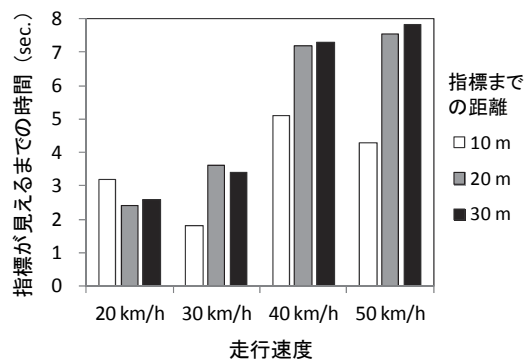


図-9 視認性試験結果

量が多い場合、より長く前方の視界が遮られ、指標の視認までに時間を要することを確認する。

5.2 試験結果

灰の巻き上げ状況の例として、走行速度40km/hに

おける5秒後の状況を図-8に示す。自動車が通過した後には灰の巻き上げにより前方の視界が極度に遮られる状況となる。試験結果を図-9に示す。図はスタート地点(0m)において、各指標(10m, 20m, 30m)を自動車が通過してから指標が視認できるまでの時間を示している。0m地点において、時速20km/hで走行する自動車の後方では3秒程度の間指標が見えないことを示している。走行速度が大きくなるほど、同じ距離において指標が視認できるまでの時間が長くなる結果となった。これらの試験結果から火山灰堆積地における視認性について得られた知見を次のとおりまとめる。

- 1) 40km/hまでは自動車の走行速度が大きいほど、火山灰の巻き上げによる後方からの視認性が悪い状態が長く続く。
- 2) 走行速度が40km/hの場合、30km/hの場合と比較して指標が見えるまでに2倍程度の時間を要する。

5.3 現地調査時の留意点

視認性について運転操作時に注意が必要な状況としては、例えば、後続車がある場合や、前に別の一般車が走行する場合が考えられる。後続車は、前を走る自動車の巻き上げる灰により視認性が悪い状態となるため、車間距離を十分に確保する必要がある。1台での調査でも、前方を走行する一般車とは車間を十分に保つ必要がある。なお、灰の巻き上げにより視程が短い場合には、車両制動試験でも明らかなように制動距離が長くなることも併せて留意する必要がある。上記のような視認性に注意が必要な状況も踏まえて、現地調査時の留意点をまとめた。

- 1) 火山灰堆積地では自動車の走行により火山灰の巻き上げにより視認性が悪くなることに留意する。特に、時速30km/hを超えると視認性が悪い状態が長く続くようになる。
- 2) 後続車など、他の車に配慮する必要がある場合には、時速30km/h以下に抑えることが望ましい。

また、後続車は、前を走行する自動車との車間距離を十分にとる。

- 3) 対向車両とすれ違う際は、近距離も視認できない可能性があるため、すれ違う際には自動車の走行速度を抑えるようにする。

6. おわりに

本取り組みでは、土砂法に基づく緊急調査に係る現地調査を実施する際の自動車による調査地点への立ち入りの判断、事故防止のための留意点を把握することを目的として、実際の火山灰を用いた各種の現地試験を実施した。火山灰による自動車走行への影響について概ねの傾向を把握でき、現地調査を実施する際の留意点を得る目的としては満足した結果が得られた一方、限られた条件で実施した試験であり、例えば火山灰の粒径分布や成分による違いなどが自動車の走行に及ぼす影響や、試験を実施した桜島とは異なる走行環境での影響については考慮できていない。特に、水蒸気噴火のようにシルト・粘土質の火山灰では異なった結果となることが想定されるため、より詳細な自動車への影響を把握するためには、今後も更なる検討が必要と考えられる。

謝 辞

本実験の実施にご協力頂いた国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所桜島出張所の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 須藤 茂：降下火山灰災害-新聞報道資料から得られる情報、地質ニュース604号、pp.41~65、2004
- 2) 平田登基男：桜島降灰が二輪車（バイク）及び歩行者の安全走行に及ぼす影響調査と対策、鹿児島工業高等専門学校研究報告27、pp.51~57、2002
- 3) 前田秀高：新燃岳降灰除去に係る道路災害復旧事業、九州技報、第50号、pp.68~70、2012

坂井佑介



研究当時 国土交通省九州地方整備局九州技術事務所火山防災減災課長、現 国土交通省九州地方整備局河川部河川計画課長
Yusuke SAKAI

永吉修平



国土交通省九州地方整備局企画部火山防災対策分析官
Syuhei NAGAYOSHI

國友 優



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室長、現 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課河川情報企画室長
Masaru KUNITOMO