

富士山の大規模斜面における落石調査例

静岡県交通基盤部	佐野 貴洋(非会員)
静岡県交通基盤部	飯田 温(非会員)
富士設計株式会社	本多 美仁(非会員)
応用地質株式会社	○岡野 肇(非会員)
応用地質株式会社	本多 豊(正会員)

1. はじめに

平成 21(2009 年)年 7 月 13 日午後 8 時頃、直径約 1.2m、体積約 0.4m³の落石が発生し、富士山富士宮口 5 合目県道の落石防護柵を突き破り、登山口の駐車場に到達した。落石が発生した時期は、夏山登山のシーズン中であり、多くの登山客が訪れていた。落石発生後、この駐車場は閉鎖されたが、再度の落石災害の可能性を把握することを主目的とし、落石発生源とその周辺の崖の状況を調査（一次調査）した。この調査により、落石被害箇所の斜面上方では、不安定岩盤の分布する急崖が広い範囲で分布することが明らかとなった。ただし、今すぐに再度の落石に結びつくような不安定岩盤や転石は認められなかった。

その後、二次調査として、より詳細に転石や崖の状況を調査した。その結果、発生源周辺には不安定な浮石や転石が多数存在することが確認されたが、殆どの転石は斜面上方に留まっており、当該斜面では、落石が被災箇所まで到達するのは極めて稀な現象であることが明らかとなった。また、これらの調査に基づき、落石防護工の設計に資するための落石の規模と速度を設定した。

以下にこの大規模斜面における落石調査の事例を紹介する。

2. 当地の地形・地質

当地は、第四紀成層火山からなり、道路からの比高 1000m 以上を有する大規模斜面である。図-2 に示すように、落石の発生した斜面は、この第四紀成層火山の南向き斜面に位置し、落石被害箇所の駐車場の標高は 2,378m である。斜面の傾斜は 20° ～30° であり、駐車場から山頂へ向かう方向に細長い沢地形が分布する。この沢地形の幅は下方斜面では 100m 程度であり、上方斜面では 50m 程度となっている。また、沢地形の上方斜面は細長い馬蹄形の崖に取り囲まれている。

表-1 に落石発生源周辺の地質構成を示す。落石発生源付近の地質は、第四紀完新世の成層火山の噴出物からなり、スコリア堆積物と玄武岩質の溶岩から構成される。玄武岩質の溶岩は馬蹄形の形状を示す崖地形に露出しており、表中に示すように岩相から、割れ目が少なく塊状を呈する堅硬で緻密な灰色塊状溶岩と角礫状のクリンカーに区分される。スコリア堆積物は、調査地周辺の斜面全域の表層を覆っている。

表-1 落石発生源周辺の地質構成

地質時代	地質名		岩 相
第四紀・完新世	スコリア堆積物		赤褐色のスコリアを主体とした堆積物。スコリアの長径は 2～5cm 程度。調査地周辺斜面の全域に認められる。
	玄武岩溶岩	クリンカー	溶岩流ユニットの上下に厚さ約 20～30cm で認められる。赤褐色を呈し、空隙が多い。見掛け比重は自然状態で約 1.9、馬蹄形の急崖部に露出する。
		灰色塊状溶岩	溶岩流ユニットの主体部で厚さは約 1m。一枚の溶岩ユニットの中央部にあり、灰色の塊状の組織を示す。見掛け比重は自然状態で 2.5～2.8、馬蹄形の急崖部に露出する。

3. 一次調査(再度の落石災害の可能性を把握するための概査)

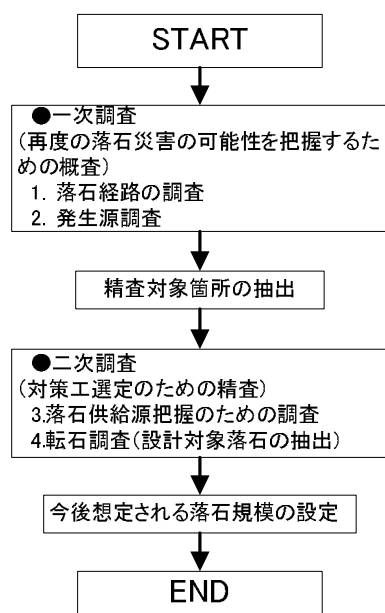


図-1 落石調査フロー

図-1に今回実施した落石調査のフロー図を示す。今回の落石調査では、先ず、発生源特定および再度の落石災害の可能性を把握することを主目的の一次調査として、落石到達箇所の斜面上方における地表踏査および、今回災害を起こした落石の大きさ・形状等の調査を実施した。

調査結果の内容を以下に述べる。

(1) 今回の落石の状況

今回の落石の状況を写真-1に、観察結果に基づく転石の模式展開図を図-3に示す。この転石は、玄武岩質な塊状溶岩の一部からなり、硬質な塊状溶岩をクリンカーがサンドイッチ状に挟んだ構造をなす。これらのことから、この岩石は、溶岩流の露岩から剥落したと推定した。

岩石の面を詳細に観察すると、常に風雪等にさらされ岩石表面の凹凸が丸みを帯びた面と、コケ類が付着した個所が認められた。これらの状況と後述する落石発生源の位置関係から、図-3のように、岩石落下前の向きを特定することができた。

- ・岩石の質量 約 1,030 kg(静岡県資料)
- ・岩石の最大寸法 長さ 1.24m, 幅 1.08m, 厚さ 0.60m
- ・岩石の体積 0.418 m³

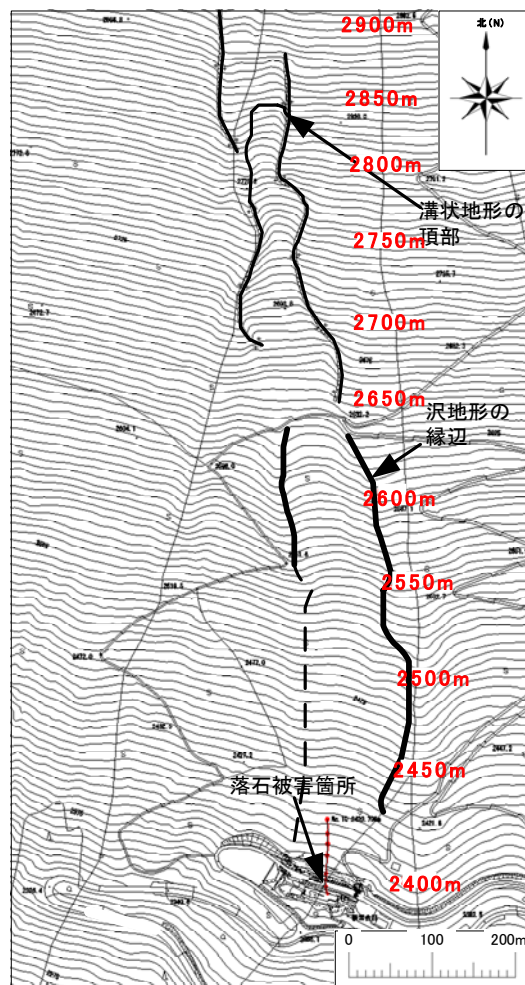


図-2 落石発生源情報斜面の地形

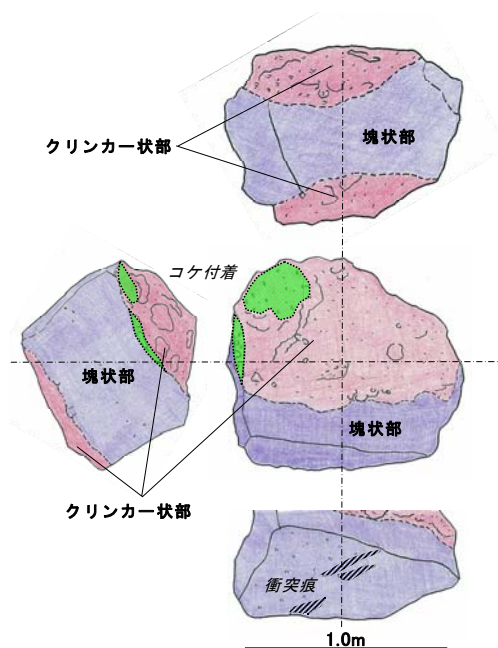


図-3 転石の模式展開図



写真-1 落石の写真

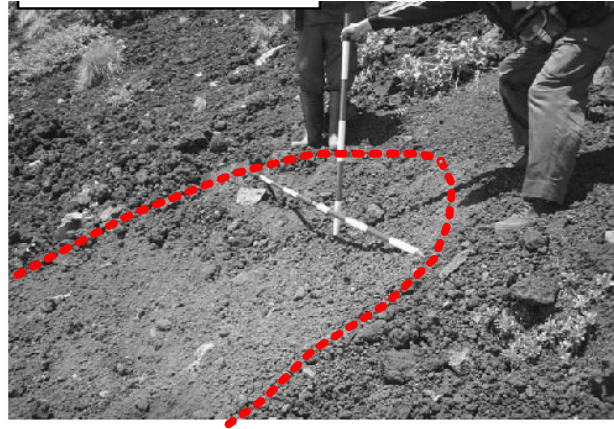


写真-2 落石痕

(2) 落石経路の調査

落石経路を確認するための現地調査は、落石到達箇所の駐車場から上方に、斜面に生じている落石痕を追跡する形で実施した。

調査の結果、落石痕は、標高 2,378m の駐車場から、馬蹄形の崖に取り囲まれた沢地形の標高 2,790m まで追跡することができた。

落石痕の多くは、写真-2 に示すように、斜面上方に扇の要のある扇形の平面形状を示し、長さ 2m×幅 2m×深さ 0.3m の大きさであることが明らかとなった。

落石痕は周辺よりも若干低くなった沢地形沿いに跳躍（一部は転動に近い）しながら、落石到達箇所の駐車場に到達していた。

落石痕の間隔は、標高 2,600m より下で 20m 前後、標高 2,600m より上では 20m～50m であった。

落石の跳躍高さについては、標高 2,400m 付近における立ち木の損傷跡の高さが約 2m であったため、2m 程度と推定した。

落石速度については、落石防護柵を突き破る直前の落石痕の間隔から計算した結果、約 20m/sec と推定した。

(3) 発生源の特定結果

落石痕を追跡した結果、標高 2,790m の沢地形左岸側の崖に、割れ目面に囲まれた岩塊が抜け落ちた跡が見られた。この割れ目面の大きさと方向を計測した結果、先に調査した落石の形状と一致することが判明した。

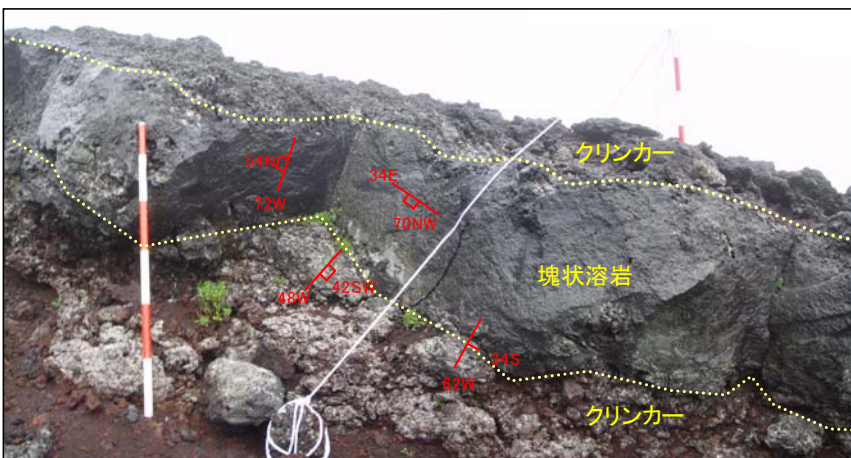


写真-3 落石発生源の状況

また、これより上には衝突痕が見られないことから、ここを落石の発生源と特定した(写真-3)。したがって、落石被害を受けた駐車場の標高が 2,378m であるので、発生源と落石被害箇所との比高は約 400m であることが判明した。

比高 100m 以上の落石の事例は、伊豆大島近海地震で発生した国道 135 号の落石が比高 150m(鮫島, 1978), 岩手県新里

村の山田線腹帯の落石が比高 134m である(及川他, 1991)。今回の落石はこれらの事例と比較しても、比高が大きいことがわかる。

発生源は、沢中心からの比高 15m にある高さ約 2m の崖地形上端部に位置し、厚さ約 1m の玄武岩溶岩流の岩石露頭からなる。露頭は厚さ 60cm の灰色塊状溶岩の上下に厚さ 20cm 程度の赤褐色のクリンカーが発達する溶岩流のユニットからなり、層理面（灰色溶岩とクリンカーの境界面）は斜面の傾斜と平行に下方へ 20°～30° で傾斜している。また、溶岩の層理面と直交する方向に約 1m の間隔で節理面が発達している。節理面は所々開口しており、多数の岩塊が露頭から剥落して、崖下に堆積していた。

今回は落石発生から 2 日後に一次調査を実施し、確実に落石発生源を特定することができた。

調査地は表層土壌や植生が少なく、スコリアと岩塊の火山噴出物に覆われており、気象条件も過酷なため、時間の経過とともに落石経路の追跡が困難な状況になることが予想された。実際の地表踏査時にも強風が吹いてスコリアが巻き上がり、しばしば作業を中断せざるを得ない状況であった。このため、落石発生から時間を置かずに早期に現地調査を実施したことが功を奏して発生源の特定に結びついたものと考ええる。

また、落石発生源周辺では、広範囲に露岩からなる崖が露出しているのが確認された。その中には多くの不安定岩盤が認められた。崖下にも多量の転石群が認められたが、下半分がスコリア堆積物に埋もれた形で静止していた。そのため、落石が発生するとしても、今回のように駐車場まで到達する可能性は小さいと考えられた。

4. 二次調査（対策工選定のための精査）

落石対策工の検討に資することを目的として、転石と崖の詳細な観察による二次調査を実施した。

4.1 落石供給源把握のための調査

落石発生の素因となりうる崖の状況を観察し、対策工検討に資することを目的に発生源周辺における不安定岩盤斜面の調査を実施した。

(1) 調査範囲の決定

落石到達箇所の上方斜面は、細長い馬蹄形の崖に取り囲まれた沢地形となっており、落石は、この馬蹄形の崖の上端から落石到達箇所の駐車場までの間で発生することが想定された。このため、現地踏査の範囲はこの沢地形を対象とした。

(2) 急崖の分布状況

露岩の分布状況を図-4 に示した。同図に示すように、標高 2630m 以上では、弧状に崩壊した崖が左岸側で 3 箇所、右岸側で 1 箇所認められた。これらの崖は、高さ 5～15m の塊状溶岩とクリンカーの互層からなり、落石の発生源となる可能性が高いと考えられた。表-2 にこれらの崖の特徴を示す。

表-2 谷地形に面した崖一覧

番号	位 置		高さ	平面形	備 考
①	左岸側	標高 2640～2690m	10～15m	弧状	下端で急激に高さを増し、上方の崖と連続する。
②	左岸側	標高 2740～2775m	5～10m	弧状	上下の崖と連続する。
③	左岸側	標高 2780～2825m	5m 前後	弧状	オーバーハング部が多い。上端で高さを減じる。崖背後にも亀裂が入り、岩すべりの崩壊が発生しつつある。
④	右岸側	標高 2675～2735m	5～15m	弧状	両端で急激に高さを減じる

(3) 崖に露出する岩石の性質

崖に露出する岩石は、発生源周辺では、1 ユニットの溶岩の厚さが 1m 前後の溶岩流である。溶岩の上・下にはクリンカーを伴い、クリンカーに挟まれた部分は塊状・硬質であるが、発泡しており空隙が多い。割れ目は、溶岩が層理面に直交する方向のものがおおむね 1m 間隔に見られる。また、崖面にほぼ平行な割れ目も見られた。このような割れ目により、1m 角程度の大きさで分離した岩塊が崖下に多量に堆積していた。これらの観察結果から、急崖に発達する溶岩の層理面、層理面に直行する割れ目、崖面に平行な割れ目が落石発生の素因となっていると考えられる。

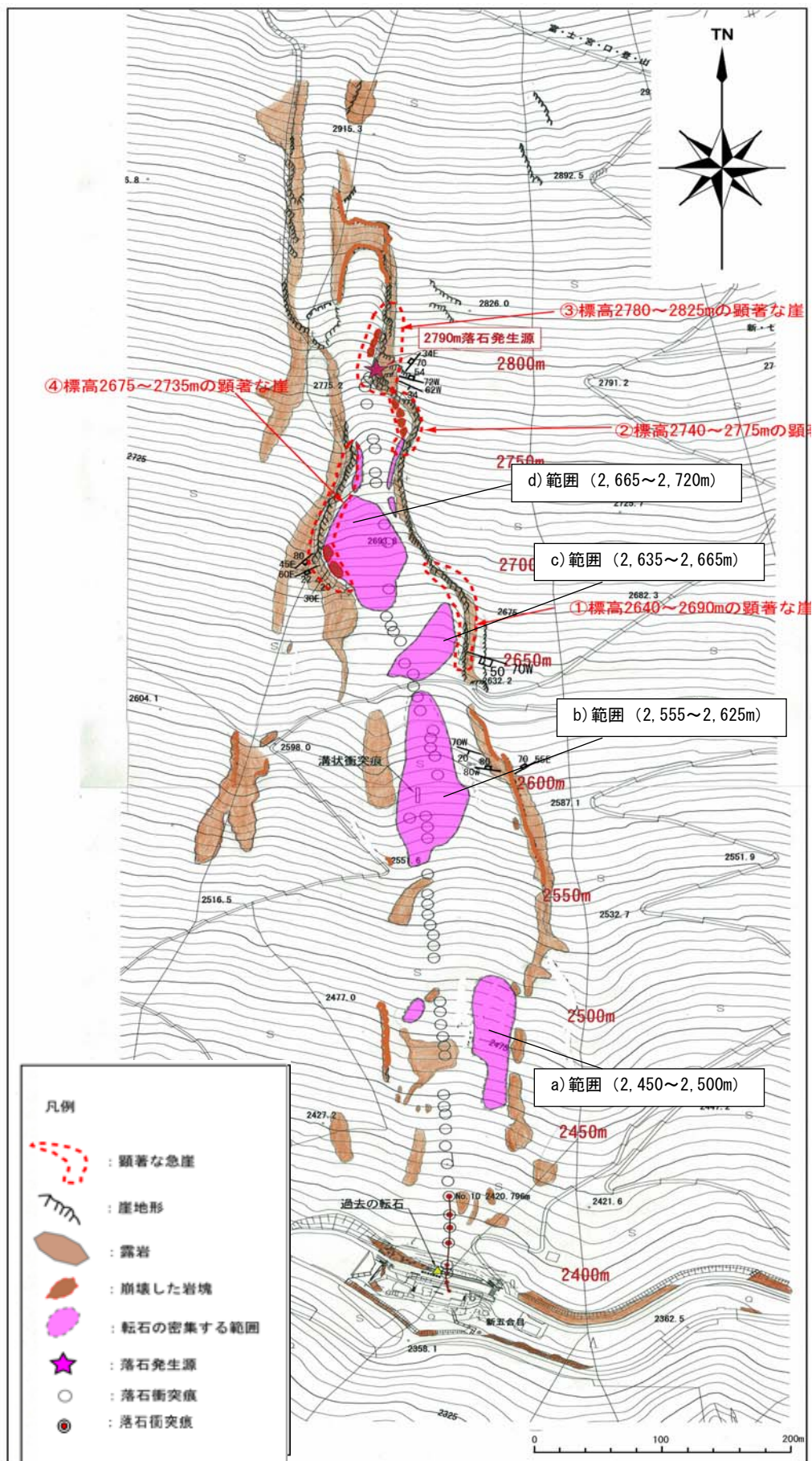


図-4 現地踏査結果図

4.2 転石調査

斜面に分布する転石から、設計対象とする落石を決定することを目的とし、転石の分布状況、転石の形状、転石の大きさを調査した。

(1) 調査方法

標高を 25m 毎に区切り、その範囲に存在する長径 50cm 以上のすべての転石について、長辺、中間辺、短辺の長さを調査した。また、駐車場に直接面する、標高 2425m 以下については、今回の落石経路の位置する沢地形の外側であっても調査し、駐車場の位置する標高付近に、どの程度落石が到達しているか調査した。

(2) 転石の分布状況

図-4 に地表踏査による斜面における転石の分布状況を示す。調査範囲内で最も転石が密集しているのは第 4.1 節で述べた 4 箇所の崖下であり、移動距離が非常に短い大小の転石(大きいものでは 3m 角の大きさ)が滞留している。これらの崖直下に滞留する転石群のほか、斜面上方から沢地形を下ってきた転石が相対的に密集する次のゾーンが見られた。

a : 標高 2,450～2,500m, b : 標高 2,555～2,625m,

c : 標高 2,635～2,665m, d : 標高 2,665～2,720m

なかでも、b の区間は、転石が密集しており、多くの転石がこの位置で滞留していることがわかった。

調査範囲における長径 50cm 以上の転石の全個数は 2081 個であり、第 4.1 節で述べた崖の直下にあるものを除くと 1619 個である。図-5、図-6 に転石調査の結果を示す。標高 2,550m より高い部分では転石が密集していることがわかる。

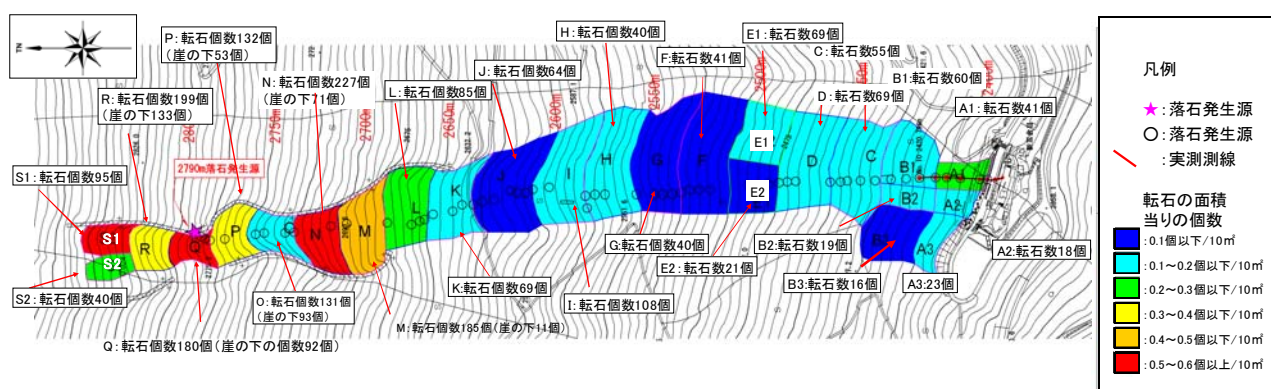


図-5 標高毎の転石の分布状況（崖下の転石を含む）

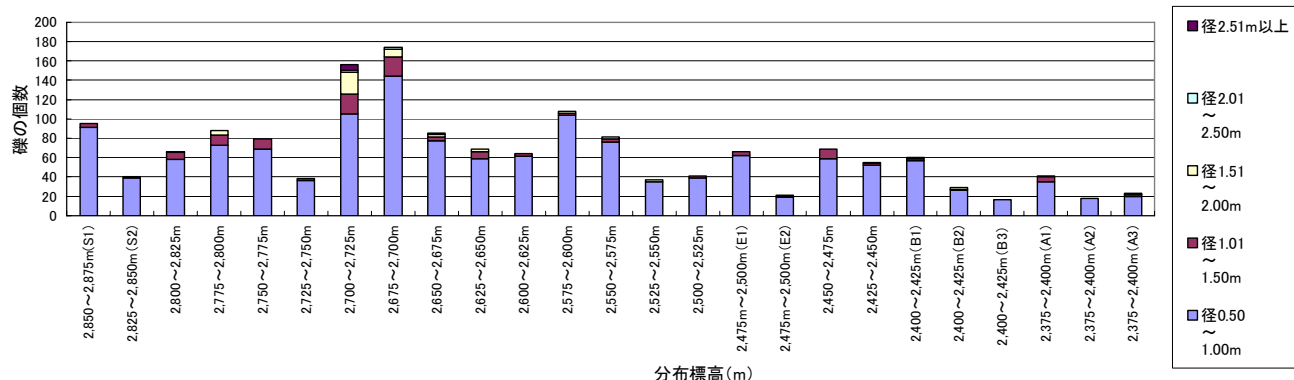


図-6 標高毎の転石の長径の大きさの分布状況（転石数 1619 個）

(3) 転石の形状

設計対象落石の形状を求めるための参考とするため、転石の、長辺、中間辺、短辺を現地において計測し

整理した。図-7に 転石の長辺/中間辺の比率および 転石の長辺/短辺の比率を示す。

①長辺/中間辺の比率 D_{max} / D_{mid}

②長辺/短辺の比率 D_{max} / D_{min} (D_{max} :長辺の長さ, D_{mid} :中間辺の長さ, D_{min} :短辺の長さ)

調査対象の試料は崖下直下の転石を除く 1619 個を対象とした。転石は、殆どすべてが直方体の形状に近く、極稀に三角柱や球に近いものがある。

概括的に見ると、転石の長辺は、中間径の 1.5 倍程度、短径の 1.6～3 倍程度である。

なお、これまでに飛翔・落下したことが確認されている落石は、昭和 57 年と今回の落石であり、いずれも長辺/中間辺の比が 1.2 未満であった。調査を行った転石のうち、長辺/中間辺が 1.2 未満のものは全体の 16%であり、長辺/短辺が 1.2 未満のものは 1.6%であった。

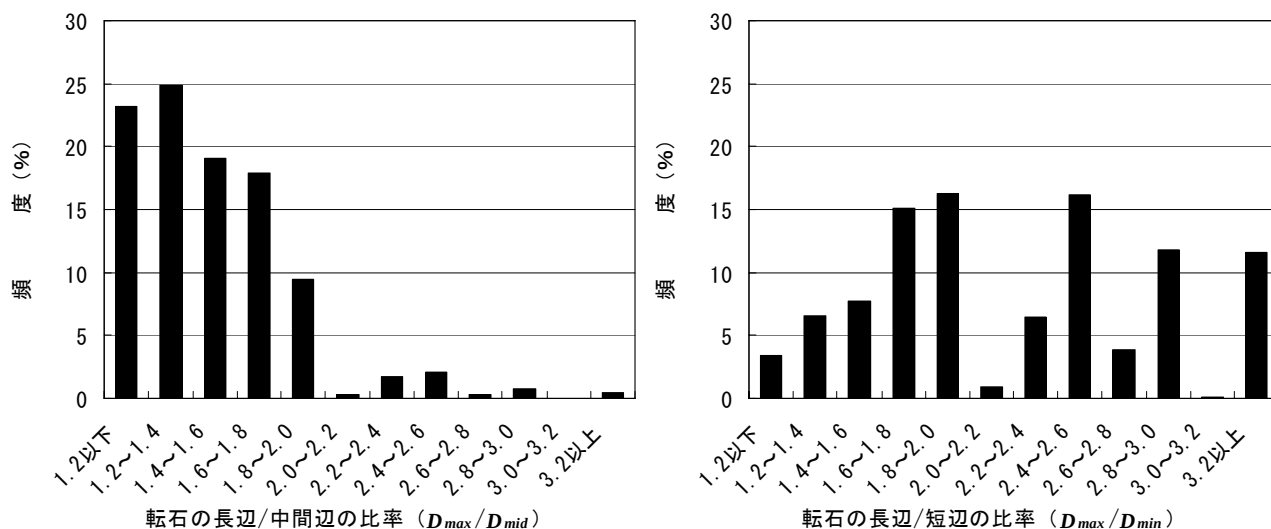
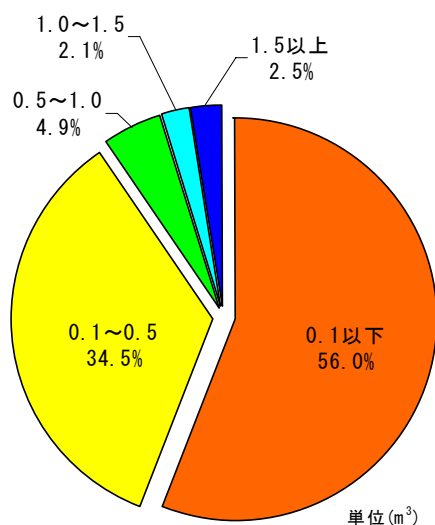


図-7 転石の中間辺/長辺, 短辺/長辺の比率

(4) 転石の大きさ

崖下に分布する転石を除いた 1619 個の転石の内、扁平な形状のクリンカーのみからなる部分を除くと 1553 個である。これを今後落下する可能性のある石とみなし、転石の見掛け体積を求めた。転石の見掛け体積は転石の長辺、中間辺、短辺の乗数として算定した。図-8に転石の体積（見掛け）の頻度分布を示す。斜面



(崖下の転石およびクリンカーを除く 全1,553個対象)

図-8 転石の(見掛け)体積頻度分布

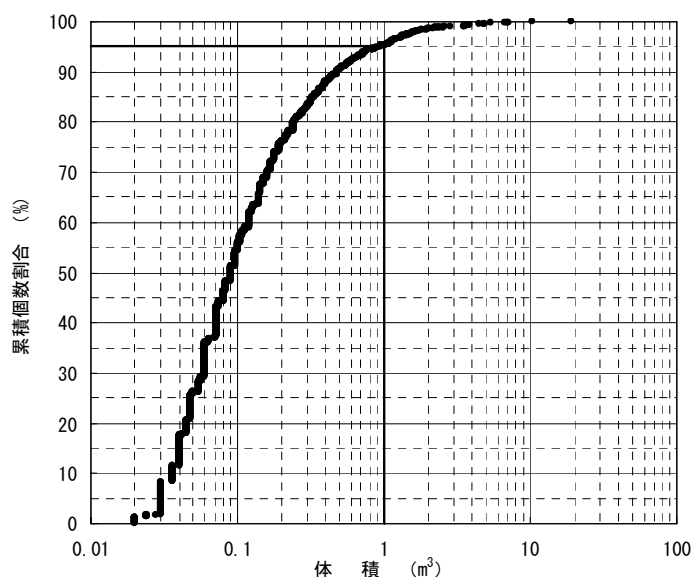


図-9 転石の(見掛け)体積の累積個数割合

全体では、約 9 割の転石の体積（見掛け）が 0.5m^3 以下である。今後設計対象とする転石の大きさを決めるに当り、過剰な設計とならないように現実性を考慮し、過去の設計事例を参考として転石の体積（見掛け）の累積比率 95%値を採用した。転石の体積（見掛け）の累積比率 95%値は、転石の体積（見掛け）を小さいほうから大きいほうへ並べ、その累積比率の 95%の値として求めた。その結果、転石の体積（見掛け）の累積比率 95%値は約 m^3 の 0.96m^3 であった(図-9)。

(5) 落石が駐車場まで到達する可能性

落石発生源周辺の崖では割れ目面が緩んでおり、崖下に割れ目面から分離した岩塊が多量に堆積していることが確認された。しかし、殆どの転石が崖直下に留まっており、スコリアに下部が埋もれて安定している状態であったため、斜面上部の崖部で落石が発生する可能性はあるが、その多くは崖直下に留まると考えられ、今回のように駐車場まで到達する可能性は非常に小さいと考えられた。実際、駐車場まで落石が到達したのは昭和 57(1982) 年と今回の 2 回のみであり、全落石が 2081 個であることを勘案すると、今回の落石は非常に稀な現象であったと言える。

5. 今後想定される落石規模の設定

崖を形成する溶岩の 1 ユニットの厚さは殆どが 1m 前後であり、層理面に直交する方向の割れ目間隔も 1m 程度であるため、崖に残存する不安定岩盤は 1m 角程度の大きさで崖から分離することが多いと考えられる。

一方、斜面に分布する転石は、約 9 割が 0.5m^3 以下であり、斜面下部ほど転石の大きさは小さくなる傾向が見られる。

今回、駐車場に到達した転石の体積は約 0.4m^3 であり、昭和 57(1982)年に駐車場まで到達した落石はこの半分程度と推定されている。

以上の状況から、ある程度大きな落石は、崖下と斜面に留まる可能性が大きいと判断される。この点を踏まえ、対策の現実性を考慮し、過去の設計事例を参考にして、転石の体積（見掛け）の累積比率 95%値の約 1m^3 (質量 2,560kg) を今後、駐車場まで到達する可能性のある大きさとみなし落石対策工の設計に用いる落石と設定した。

6. おわりに

今回は、落石被災箇所と落石発生源の比高差が約 400m の第四紀成層火山富士山の調査事例を紹介した。調査の気象条件等から、落石の痕跡が早期に消失してしまう可能性が高かったため、発生源を特定するには緊急に調査を実施する必要があった。一次調査は、落石被害の発生した 2 日後に実施することより、裸地斜面に残された落石痕を追跡し、発生源を特定することができた。

落石対策工の検討に資することを目的とした二次調査では、落石発生源以外にも駐車場からの比高 200m ～500m の斜面上に浮石のある広範囲に分布する急崖の存在が認められ、根固め工等の落石予防工で対応するのは難しいことが明らかになった。また、当地は富士箱根伊豆国立公園（富士山）および、特別名勝富士山であり、発生源対策を計画する場合、法的な制約を考慮する必要があった。調査の結果、現況の斜面においては、標高 2640～2825m 間に落石供給源の崖が存在し、ここから落下する岩塊の大部分は崖下に留まっており、今回の落石到達箇所まで到達する落石は少ないと考えられる。また、今後想定される落石の規模は 1m^3 程度であり、落石防護工で十分対処できることが確認できた。

《参考文献》

- 1) 鮫島利隆：東伊豆道路の災害復旧，道路 1978-9，pp.31，1978.
- 2) 及川芳範・太田勇二・柳谷正勝：山田線の落石災害とその対策，日本鉄道施設協会誌，pp.970～973，1991.12.