

12 1984年インドネシア・メラピ火山で発生した火砕流の運動特性

建設省土木研究所 ○山田 孝

水山 高久

1. 研究の目的

インドネシアには現在129の火山があり、噴火・爆発に伴って度々、火砕流(Pyroclastic flow)が発生し、有史以来、大規模な壊滅的災害をもたらしてきた。又、火砕流の発生によって大量の火山砕屑物が流域に供給されるため、河川の上流部においては河川争奪が生じ、不安定土砂の増大に伴う急激な土砂流出現象とともに、砂防対策上の重要な問題となっている。

しかしながら、世界的に火砕流の現象論的研究が多数なされつつあるにもかかわらず、実際の火砕流の流動状況を動的に観測できた事例が極めて少ないため、そのメカニズム、とくに運動特性については現段階で未知な、分野が非常に多い。幸い、1984年6月15日、インドネシアのメラピ火山の爆発にともなって発生した火砕流についてはVSTC職員(Volcanic Safety Technical Centre) Mr. マルハテによって、その動態の連続写真が撮影された。今回は、この連続写真をもとに火砕流の流下速度等を大まかな精度ではあるが判読して、火砕流の現象論的解析を行ない、効果的な避難対策のための基礎的情報を抽出することとした。

2. メラピ火山の概要

メラピ火山(標高2911m)はインドネシア・ジャワ島中部の古都ジョフジャカルタ市の北方約30kmに位置するコニデ型の活火山であり、標高2000m以上の上部斜面、2000m~500mの中部斜面、500m以下の下部斜面に区分される。上部斜面は勾配35°以上と極めて急峻であり、常時火山活動の影響を受けて裸地化し、火砕流の流下路となっている大崩壊地が南西斜面に形成されている。中部斜面では大規模な扇状河谷が形成されていて河川の争奪が起こりやすい。又、下部斜面は3°以下の勾配からなる平坦な山麓緩斜面である。メラピ火山の活動を歴史的にみると、1~7年の活動期間と1~6年の休止期間が繰り返され、又、比較的大きな噴火は9~16年の周期で生起している。最近の噴火で記録が正確に記載されているのは、1930年、1961年、1969年、1984年の計4回であり、いずれの噴火においても火砕流の発生が認められている。

3. メラピ火山で発生する火砕流の特徴

メラピ火山で発生する火砕流はその形態から爆発型火砕流と雪崩型火砕流の2タイプに大別できることが報告されている⁽¹⁾。爆発型火砕流は爆発、噴火に伴って火口から放出された多量の火山砕屑物が火山ガスと混合して瞬時に流動化し、斜面を侵食しながら流下規模を増大させていくのが特徴である。一方、雪崩型火砕流

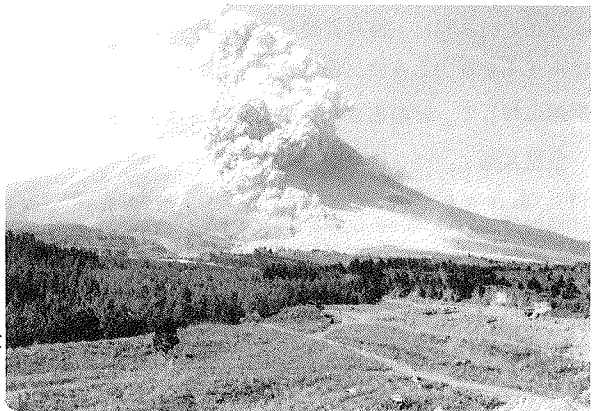


写真-1 火砕流の流下(1984.6.15)

は火山活動の活発化に伴うマグマの上昇、火口付近での溶岩円頂丘の形成、発達が大きくその発生に関与している。即ち、発達した溶岩円頂丘が崩壊したり、火口から流出した厚い舌状の溶岩末端部の崩壊が直接の発生原因であり、その形態は雪崩と非常に良く似ている。メラピ火山において一般的によく見られるのは雪崩型火砕流であり、メラピ型火砕流として火山学の分野で区分されている(図-1)。

4. 研究方法

火砕流の動態連続写真(撮影地点、プティ川上流JERANGJERO)を用いて、以下の方法により流下速度を算出した。

①火砕流の各々の流動過程におけるフロント部の位置(標高)の判読……標高の求め方については火口とJERANGJEROとの標高差をもとに写真の画像を100mピッチで区切ることによって判読した。

②各々の流動過程における水平距離、垂直距離、斜面長、斜面勾配の算出

③各々の流動過程における火砕流の流下速度

の算定……速度の算定方法は(斜面長)÷(撮影の時間間隔)によった。なお、今回用いた連続写真はモータドライブ方式のカメラによって撮影されたものではないため、各々の写真の撮影間隔が正確には同じでない。そのため、撮影者に当時の撮影状況を再現してもらうため、同機種のカメラを用いて10コマ連続撮影するのに要する時間をストップウォッチで測定し、これから1コマあたりの平均所要時間を算出して撮影の時間間隔とみなした(1.8 sec)。

又、流下速度以外に各々の流動過程における火砕流フロント部での流下幅、煙の高さの判読も実施し、次の事項について検討を試みた。

①流下速度と地盤勾配との関係

②流下速度と流下幅との関係

③流下速度とフロント部での煙の高さとの関係

5. 研究の結果・考察

表-1にメラピ火山における火砕流の流下速度の算出結果ならびに他の火山で観測された事例を示した。メラピ火山では最大流速230 m/sec, 最小流速41 m/sec, 平均流速114 m/sec となり、他の火山と比較してケタはふれに大きいといえる。

図-2は火砕流のフロント部の標高と地盤勾配、流下速度、流下幅、煙の高さの変化を示したものである。

地盤勾配は標高が下がるにつれて全体的に緩やかになり、いく傾向があるが、流下速度の変化につ

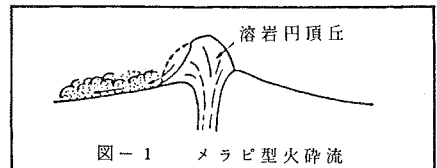


図-1 メラピ型火砕流

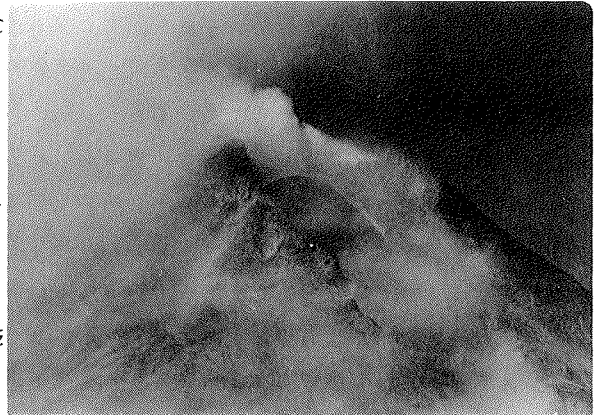


写真-2 発達しつつある溶岩円頂丘

表-1 火砕流の流下速度の比較

火山名	流下速度 m/sec	発生年
メラピ(インドネシア)	41~230	1984
桜島 (日本)	20~30	1984
浅間山 (日本)	35	1973
駒ヶ岳 (日本)	3.9~55	1929
セント・オーガスティン (アラスカ)	20~50	-
ペレー (マルチニク)	150	1902

いても火砕流が下方に流下していくにしたがって、減少していく傾向が認められる。図-3は流下速度と地盤勾配との関係を示したものである。今回の研究ではその相関関係は明瞭ではないが、地盤勾配が大きいほど、流下速度も大きいという定性的な傾向は認められる。ただし、地盤勾配が同一であるのに流下速度が著しく低減していることも認められるが、これについては火砕流が扇状地のような流路の拡幅部に流入しはじめた段階で勾配の急変による速度の減少とともに、流路幅の増大にともなう流れの分散による速度の低下も影響しているためと思われる。

一方、流下幅ならびにフロント部での煙の高さの変化については、両者とも火砕流が下方に流下していくにしたがって増大していく傾向が認められる。標高1750mから1700mにかけて流下幅、煙の高さとも急激に減少しているが、これは、火砕流が地形の影響をうけて流向が変化し、流れの一部分が急激に押し出されたような形態を呈したためである。

図-4は流下速度と流下幅、フロント部での煙の高さとの関係を表わしたものである。流下速度と流下幅については、流下幅が広くなるほど、流下速度が小さくなる傾向がある程度、認められる。

以上のことから、火砕流の流下速度に影響を与える要素として、地盤勾配と流下幅を考えることができる。

又、図-5は地盤勾配と流下幅との関係を示したものである。勾配が30%以上の区間では勾配の減少とともに流下幅が増大している傾向が認められる。勾配が30%以下の区間では、データのバラツキは大きいが生下幅は小さくなっている。現地での勾配30%の区域は、標高1700mより下流であり、動態写真によればこの点で上述のように流れが変化したと考えられる。なお、ここでは、流下幅は必ずしも地形的にみた場合の流路幅と一致していない。

一方、流下速度と火砕流のフロント部の煙の高さとの関係については流下速度が減少するにしたがって、煙の高さが増大する傾向が認められる。

又、一連の連続写真から、火砕流先端部よりわずかに後部の流れの部分において、煙の上昇現象が著しいことがあがられる。火砕流内部の状況については全くわからないが

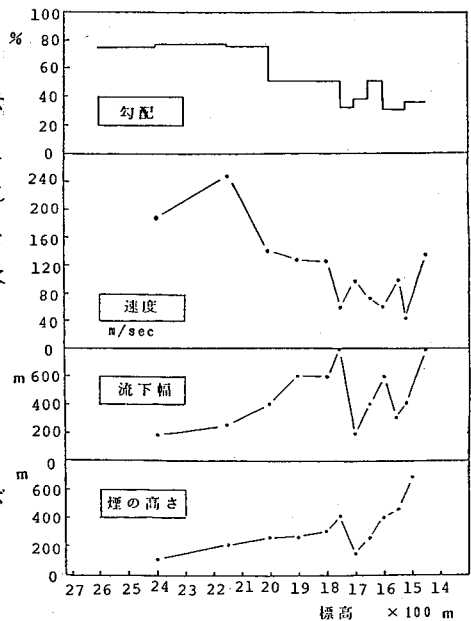


図-2 勾配、速度、流下幅、煙の高さの変化

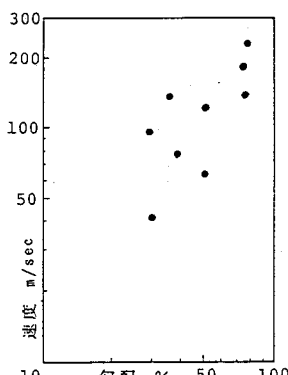


図-3 勾配と流速の関係

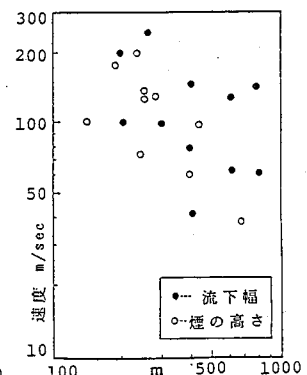


図-4 流下速度と流下幅、煙の高さとの関係

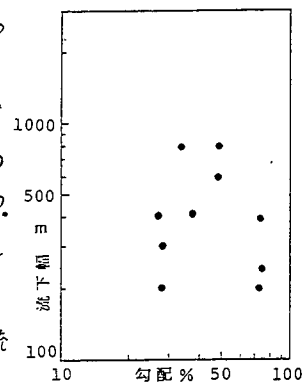


図-5 勾配と流下幅の関係

従来がらの研究成果をもとに考えると火砕流が流動する際、フッシュの役割をしていると思われる火山ガスが、地盤勾配等の変化の影響をうけて火砕流本体から急激に放出されるため、煙の著しい上昇現象が生じ、地盤との摩擦抵抗が大きくなり、その結果、流下速度が減少するものと推察される。

6. 今後の研究課題

火砕流の流動メカニズムに関する基礎的情報を得る目的でインドネシアのメラピ火山の事例を主に、流下速度、流下幅、フロント部での煙の高さを写真判読し、これらの関係について若干の考察を試みた。今回の研究では、撮影時間の間隔が正確に把握できなかったため流下速度の算出については大まかな精度で行った。又、流下幅、煙の高さの判読についても大まかな精度である。それでも、流下速度と地盤勾配、流下幅、煙の高さとの間にある程度の関係を見いだすことができた。

インドネシアの火山のような、その活動が非常に活発である火山では爆発に伴う火砕流の発生がしばしば見られ、人命、財産の損傷等に多大の影響を及ぼしていること、さらに流域の土砂収支に多大の影響を与えていることについては前にも述べた通りである。現にメラピ火山では 1984 年の火砕流による大量の土砂供給の影響をうけて、砂防計画に関する従来のマスタープランを一部、変更せざるを得なくなったのである。

今後、こうした活火山地域での砂防計画を検討し、効果的な対策工を実施していくうえでも、又、警戒避難体制の充実を図るうえでも、火砕流のより詳細な現象論的解析、火砕流による土砂供給現象の把握が重要な課題になるものと思われる。

今後の研究課題として次の問題を重点的に調査、解析していく必要がある。

①火砕流の発生条件（溶岩円頂丘の発達と崩壊、崩壊規模と火砕流の規模）

②火砕流の流動機構

③火砕流の動態に影響を及ぼす地形条件（地盤勾配、流路幅との関係）

④火砕流の堆積条件（火砕流が堆積するような地盤勾配）

⑤火砕流動態観測システムの開発

本論文をまとめるにあたり、インドネシア公共事業省火山砂防技術センターの Mr. ヌルハテ 氏ら火砕流の連続写真を提供していただいた。又、流下速度等の判読については JICA 専門家古賀省三氏に協力していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) SURYO : Nuée Ardente at Merapi Volcano and Precautionary Measures against Volcanic Phenomena JAPAN-INDONESIA SYMPOSIUM ON VOLCANIC DEBRIS FLOW TREATMENT MARCH 27, 28, 1978

2) 荒牧重雄他 火山噴火に伴う乾燥粉体流（火砕流等）の性質と災害 昭和61年（1986年）12月
自然災害特別研究研究成果