

2010年インドネシア・メラピ火山噴火災害

藤田正治・宮本邦明⁽¹⁾・権田豊⁽²⁾・堀田紀文⁽¹⁾・竹林洋史・宮田秀介
Djoko LEGONO⁽³⁾・Muhammad SULAIMAN⁽³⁾・Faisal FATHANI⁽³⁾・Jazaul IKHSAN⁽⁴⁾

(1) 筑波大学大学院生命環境科学研究科

(2) 新潟大学農学部生産環境科学科

(3) Department of Civil and Environmental Engineering, Gadjah Mada University

(4) Department of Civil Engineering, University of Muhammadiyah Yogyakarta

要 旨

インドネシアのメラピ火山は、2010年10月26日に噴火し、その後11月まで大小の噴火が継続した。火砕流や土石流による死者は約400人にのぼる大災害であった。生産土砂量は1億4千万m³と推算されており、それらは火砕流または火山灰として南斜面と南西斜面に流出した。著者らは噴火後2010年11月、12月、2011年1月および2012年1月に調査を行い、とくに、火砕流が流出した南斜面流域と火山灰が流出した南西斜面流域での土砂災害の違いに着目して、その原因、特性、対策について検討した。その結果、南斜面では、火砕流の流下・堆積による河川の上流部での地形変化により、降雨流出特性が顕著に変化し、これまで洪水の少なかった河川で洪水による橋梁の流失が生じたことや、火山灰が堆積した南西斜面では、火山灰堆積物のクラスト化によって降雨流出率が増加したことが原因で大洪水が発生し、土砂災害が生じたと考えられる事例があることがわかった。

キーワード: メラピ火山、噴火、火砕流、土石流、土砂災害、インドネシア

1. はじめに

メラピ火山はインドネシア・ジャワ島中部のジョクジャカルタ市の北約30kmに位置する標高2968mの火山で、インドネシア語で「火の山」を意味するほど噴火活動が活発である。噴火時に発生する火砕流はメラピ型火砕流と呼ばれ、安山岩質の溶岩ドームが崩落することで発生する。

2010年の夏以降、メラピ山の火山活動が活発し、噴火の発生が懸念されていたが、同年10月26日に噴火し、その後11月まで大小の噴火や火砕流が継続した。今回の火砕流は溶岩ドームが崩落するタイプではなく、爆発的噴火による火砕流であり、大規模な土砂災害の発生が危惧された。死者は約400人、避難者も13万人に達し、1930年以来の大災害になった。日本外務省の推算によると総損害額は約7000億ルピア(約70億円)、メラピ火山があるスレーマン県の総損害額は約5400億ルピア(約54億円)と見積もられている。



Fig.1 Mt. Merapi region

著者らは10月26日の噴火後数回にわたり現地に入り、火砕流災害の状況調査、噴火後の降雨による土砂災害について調査を行った。調査メンバーは、宮本邦明、堀田紀文(以上、筑波大学)、権田豊(新潟大学)、竹林洋史、宮田秀介(以上、京都大学防災研究所)、Djoko Legono、Faisal Fathani、Muhammad Sulaiman(以上、ガジャマダ大学)、Jazaul Ikhsan(ジョクジャカルタ・ムハマディア大学)である。

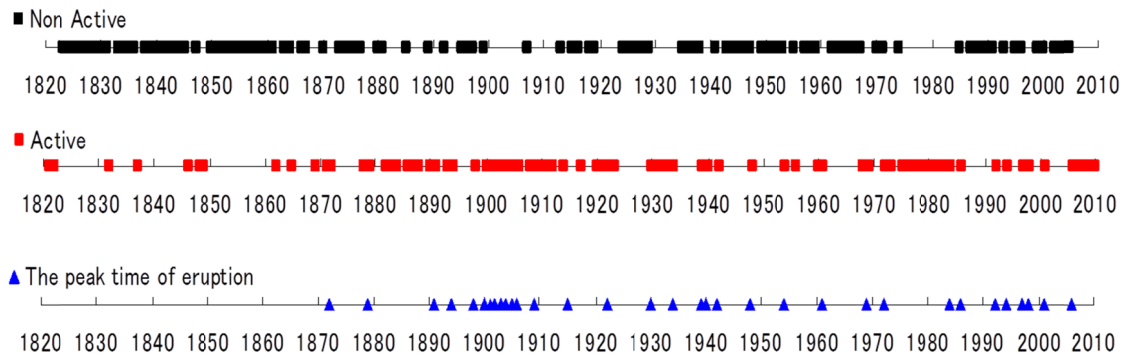


Fig.2 Active and non-active period of Mt. Merapi and occurrence year of the eruption

2. メラピ火山の概要

2.1 メラピ火山地域

Fig. 1はメラピ火山地域を示したものである。この図に示すように南斜面からは、オパ川、ゲンドル川、クニン川、ボヨン川などが流れる。オパ川は世界遺産のプランバナン寺院の方向に流れ、クニン川はジョクジャカルタ空港に向かって流れる重要な河川である。南西斜面からは、プチ川、パベラン川などが流れるが、これらの河川はジョクジャカルタとスマランを結ぶ国道を横切るため、交通網の防災上重要な河川である。また、ボヨン川下流のチョデ川は、ジョクジャカルタ市の中心部を流れる都市防災上重要な河川である。これまで、メラピ火山では主に南東斜面から時計回りに北西斜面まで火砕流が流出しており、これらの河川流域はかつて幾度となく火砕流の被害を受けている。

これらの流域の山地部では農業や果物の栽培が盛んで、山の中腹まで生活圏が広がっている。山地部ではその他に砂利採取が盛んで、副業としている住民も多く、雇用と地方政府への税収入の大事な事業となっている。この地域の住民は、火山噴火を災害としてだけでなく土砂資源の提供としても同様に見ており(Jazaul Ikhsan, 2010)、多量の土砂を供給する噴火後、砂利採取事業が活性化する傾向がある。以上のようにメラピ火山からの土砂流出は、ジョクジャカルタ市周辺の地域の社会・経済に大きな影響を与えている。

2.2 噴火活動

Fig. 2はメラピ火山の活動が活発な時期と主な噴火の発生年 (Jazaul Ikhsan, 2010) を示したものである。これからメラピ火山は数年に1回の割合で噴火していることがわかるが、1006年、1672年、1872年、1930年の噴火では千人を超える死者が発生し、最近では1966年に死者64人、1994年に60人を数えている。



Photo 1 Bunker buried by the pyroclastic flow 2006 where two people were dead

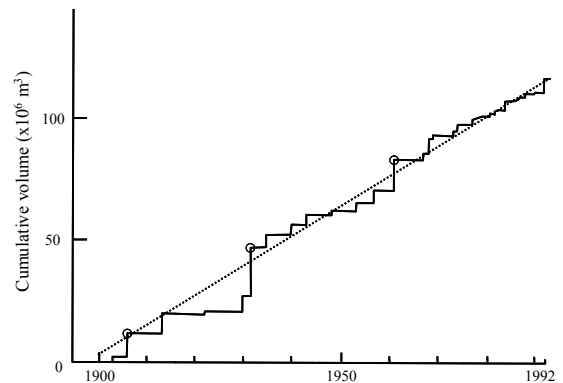


Fig.3 Cumulative volume of lavas from Merapi volcano since 1890 (Siswamidjono *et al.*, 1995)

Table 1 Events of Eruption 2010 at Mt. Merapi

年月日	出来事
2010/09/20	メラピ火山活動：注意
2010/10/21	メラピ火山活動：警戒、避難を開始する村も
2010/10/25	メラピ火山活動：避難（10km以内）
2010/10/26	噴火・火砕流（ゲンドル川の方向） 死者40人（キナレジョでは、マリジャン他17人）
2010/11/03	大規模な火砕流が1.5時間続く。ゲンドル川にそって山頂から9km地点まで、避難区域10kmから15kmに
2010/11/05	最大規模の火砕流により、死者222人 避難区域が15kmから20kmに
2010/11/06 ～11/09	噴火と火砕流が断続的に発生 火砕流はウォロ、ゲンドル、クニン、ボヨン、クラサク川に
2010/11/10 ～11/12	火砕流は1日に1,2回に
2010/11/19	避難区域地域毎に縮小
2010/12/03	メラピ火山活動：注意

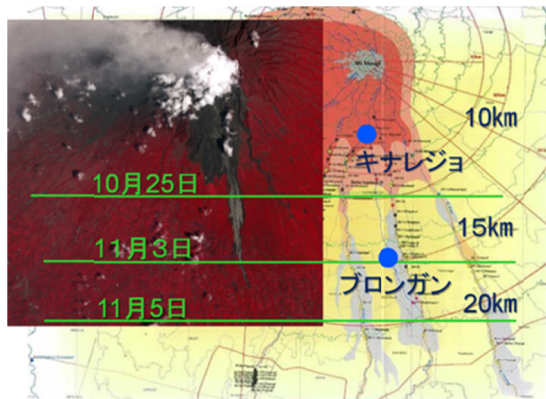


Fig.4 Evacuation zone

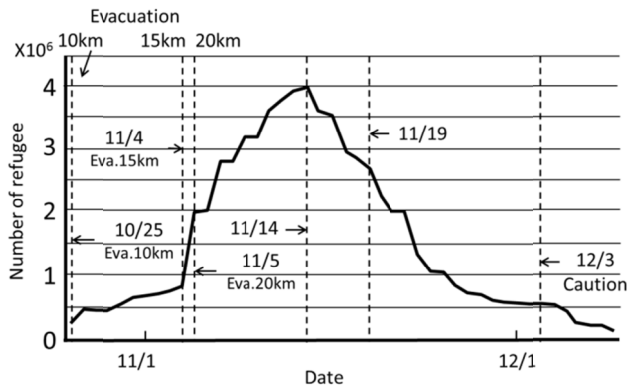


Fig.5 Number of refugee

2006年5月の大規模な火砕流では、避難壕(Bunker)の中で2人が死亡している。Photo 1は、その避難壕を掘り出した後の状況を撮影したものである。

2.3 土砂生産量

Fig. 3は1900年以降のメラピ火山の噴出土砂量の累積値を示したもの (Siswoidjoyo et al., 1995) で、土砂生産量の大きさを示すものである。この図から数年に一度噴火による土砂生産があり、その中で10年から20年に一度大噴火による多量の土砂生産があることがわかる。平均すると年間約12万 m^3 の土砂生産量であるが、1930年の噴火では約2000万 m^3 の土砂生産があったものと読み取れる。インドネシア国家防災庁 (BNPB) の推算では、2010年の噴火では土砂生産量は約1億4千万 m^3 である。

2.4 調査地域

調査は火山噴火の影響を受けた全地域で行われたが、主な流域はFig. 1に示す河川流域である。今回の土砂災害の特徴は、火砕流の影響を受けた南斜面と火山灰流出の影響を受けた南西斜面で異なる。そこで、南斜面から流れる河川の内、オパ川、ゲンドル川を調査対象にした。南西斜面から流れる川としては、プチ川、パペラム川、さらには、ジョクジャカルタ市内を流れる河川としてチョデ川を対象とした。

3. 2010年の火山活動と土砂災害

3.1 火山活動

Table 1は今回の噴火に関する主な出来事をまとめたものである。2010年9月20日、インドネシア政府はかねてから活動が活発になっていたメラピ火山に対して、警戒避難レベルを注意に上げた。10月21日にレベルが警戒にさらに上がると、自主避難する村も現れてきた。10月25日には、政府は活発な火山性地

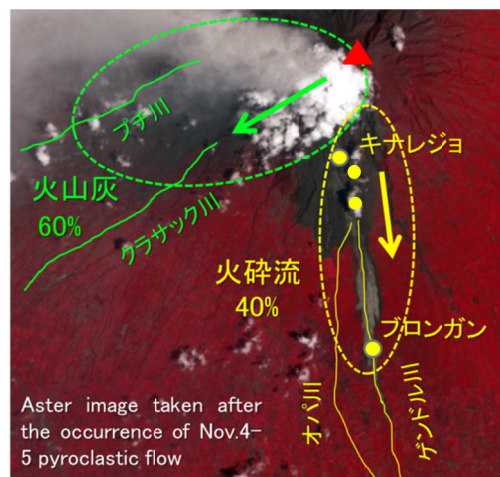


Fig.6 Direction of pyroclastic flows and volcanic ash fall area

震の状況を踏まえ、メラピ山に4段階のレベルを最高度に引き上げ、山頂から10km以内の村に避難勧告を出した。Fig. 4は山頂からの等距離円と避難エリアの発令日を示したものである。翌10月26日にメラピ火山が1回目の噴火を起こし、火砕流がゲンドル川の方向に流れた。メラピ火山南斜面中腹のキナレジョ村では火砕流が村を直撃し、メラピ火山の守人を務めるマリジャンをはじめ17人が死亡した。その多くはマリジャンに従って避難しなかった住民や取材記者であったとされている。11月3日には大規模な火砕流が1.5時間続き、山頂から9km地点まで到達した。そのため避難区域は10kmから15kmに拡大された。11月5日の噴火は今回の一連の噴火の中で最大規模のもので、山頂から18km離れた村などで222人が死亡した。そのため政府は避難区域を20kmまで広げた。11月6日から9日にかけては、噴火と火砕流が断続して起こり、火砕流はウォロ、ゲンドル、クニン、ボヨン、カラサック川の方向に流出した。12月3日に警戒避難レベルがようやく注意に下がった。

Fig. 5は、国家防災庁 (BNPB) が発表した10月26



(a) Near Kinarejo (b) Near Kaliadem just after the eruption 2006 (left) and 2010 (right)



(c) Community center in 2006 and consumption due to the pyroclastic flow 2010 (d) Headwater area of Opak River

Photo 2 Situation of upper Gendol River

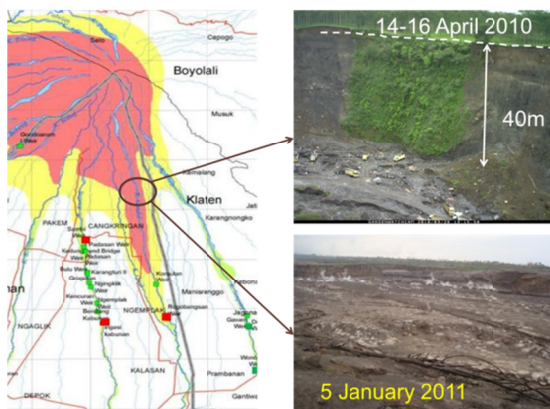


Photo 3 Sand mining activity before the eruption 2010 and sediment deposition of the pyroclastic flow

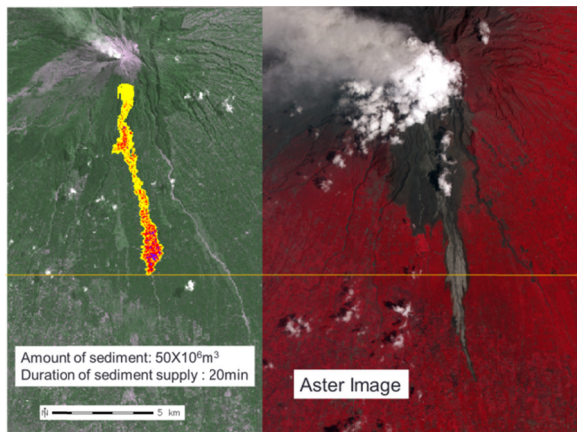


Fig.7 Simulation of the pyroclastic flow 2010

日以降の避難者数の推移と避難区域を示したものである。11月3日の噴火で急速に避難者数が増加し、ピーク時には40万人に達している。その後、部分的に避難解除が発令され、避難者数が減少し、12月までにかかなり減少している。

3.2 南斜面の土砂災害

Fig. 6は、11月5日の噴火後のメラピ火山地域のアスターによるイメージ画像である。メラピ火山からゲンドル川に沿って南側に細長く土砂が堆積し、南西斜面には広範囲に土砂が堆積していることがわかる。前者は主に火砕流による土砂であり、後者は火山灰によるものである。この土砂流出の違いは直接的な災害だけでなく、後述のように噴火後の降雨に

よる土砂災害の特徴にも差異をもたらした。一連の噴火による土砂生産量は約1億4千万m³であるが、Fig. 6に示すように、その40%は火砕流で残りが火山灰であると見積もられている。

Photo 2は、2010年の噴火後のゲンドル川上流域の被災状況を2006年の火砕流後の状況と比較しながら示したものである。まず、Photo 2(a)は2011年1月29日のキナレジョ村の様子である。この村にはメラピ火山の守人であるマリジャンが住んでいて、2006年の噴火の際にも火砕流がゲンドル川の方に流下したが、その際にも祈祷をしていた。結果的に、火砕流の規模が小さく被害はなかった。今回も村に留まっていたが、火砕流によりそれに従った村人や新聞記者などとともに失命した。災害後、写真に見られ

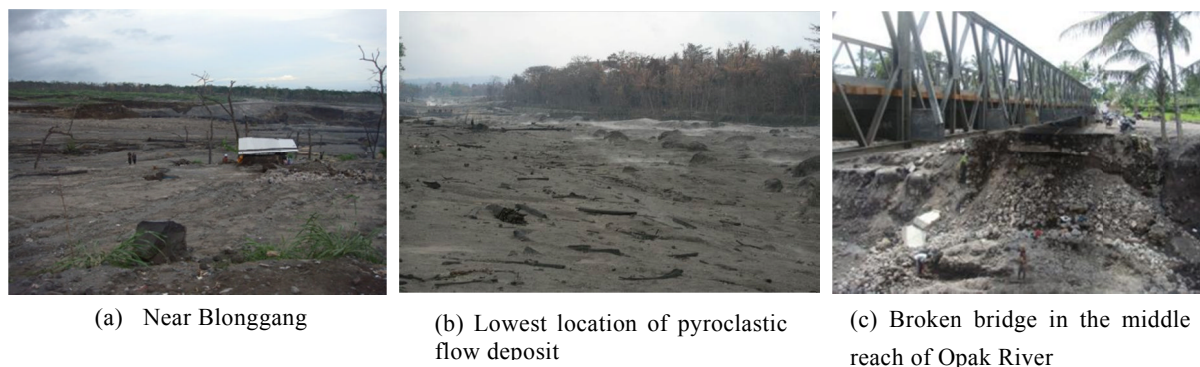


Photo 4 Situation of middle reaches of Gendol River and Opak River

るように、多くの方がこの村を訪れているようであった。

Photo 2(b)はゲンドル川上流のカリアダム村からメラピ火山の方向を見たものである。左の写真が2006年の火砕流の後の状況、右の写真が2010年1月29日の状況である。この位置は、ゲンドル川が山地から火砕流堆積物の台地への出口にあたる。写真を比べると、堆積土砂量は今回の方が圧倒的に多いことがわかる。2006年の災害では、出口付近の砂防ダムが埋没せずに機能している様子も見てとれる。しかし、今回の噴火ではこの砂防ダムは完全に埋没している。Photo 1の避難壕はPhoto 2(b)の少し下流に位置する。この辺りは有名なキャンプ場であり、ガジャマダ大学も野外学習のためによく利用していた。2006年の災害では、これらの施設は大破し土砂で埋没していたが、部分的に構造物は残っていた。しかし、今回の災害では残存するものは確認できなかった。

Photo 2(c)の左の写真はJICAの援助でカリアダム村につくられたコミュニティーハウスである。右の写真は多分この建物の鉄骨の一部と思われるもので、今回の火砕流の規模が2006年に比べて非常に大きいことがわかる。

Photo 2(d)は、カリアダム村付近のオパ川の源頭部の2010年の噴火後の状況を示したものである。ゲンドル川はこのすぐ東側を流れている。火砕流の流下と堆積により、この辺りの地形が大きく変化し、オパ川とゲンドル川の流域が変化した。噴火前はほとんど流水がなく洪水のなかったオパ川に度々洪水が発生するようになったが、原因はこの地形変化にあると思われる。

Photo 3はFig. 6のジャンプ村近くのゲンドル川の噴火前後の河道の状況を示したものである。40m位の深さの溪谷が噴火後土砂で満杯状態になっている。噴火後2ヶ月くらいたっているが、堆積土砂からはまだ蒸気が上がっている。噴火前の写真には、砂利採取のためのトラックが多数見える。噴火前ゲンドル

川で砂利採取が盛んに行われていたことがわかる。

Fig. 7の左図は、共著者の宮本らの計算モデルを用いて火砕流をシミュレーションした結果を示したものである。土砂量は前述した国家防災庁の見積もりを考慮して5000万 m^3 、内部摩擦角は0.5、粒径は0.1m、火砕流の流出時間は20分としている。右のアスターのイメージ画像と比べると計算では流下距離が過小評価されており、精度向上は今後の検討課題である。

Photo 4は、ゲンドル川およびオパ川の中流域の噴火後の状況を示したものである。Photo 4(a)は2011年1月29日のブロンガン付近のゲンドル川の状況で、11月3日、4日の火砕流は河川から溢れ集落に広がり、多くの人命が失われた。その結果、政府は避難区域を山頂から20kmまで広げた。Photo 4(b)は2010年11月29日のブロンガンの下流のゲンドル川の様子で、この辺りまで火砕流が到達したものと考えられる。

オパ川では噴火後の洪水により、Photo 4(c)に示すように橋梁が流失した。この写真の橋はその後取り付けた橋である。オパ川には火砕流はほとんど流入しておらず、土砂の供給は大きくないが流量だけが増加したため河床が低下し、橋梁が流失したものと考えられる。流量の増加は、前述したように、源頭部での地形変化による流域の変更と関係があると思われる。その後、オパ川の源頭部の地形が再変化し、オパ川の洪水は減少した。

このように南斜面の流域では、火砕流による直接的な災害と、火砕流による地形変化に伴う流域改変に伴う流量増加による河床低下に起因する河川災害が特徴的である。

3.3 南西斜面の土砂災害

Fig. 6に示すように、生産土砂の60%の8400万 m^3 は火山灰であり、それは南西斜面方向に流出した。Fig. 8は国家防災庁が調査した主な噴火時の火山灰の堆積分布を示したもので、黒がおよそ4cm程度の堆積深を表す。風向きの影響があるが、その多くは南西斜面方向に流出し、プチ川やパペラン川の源頭部

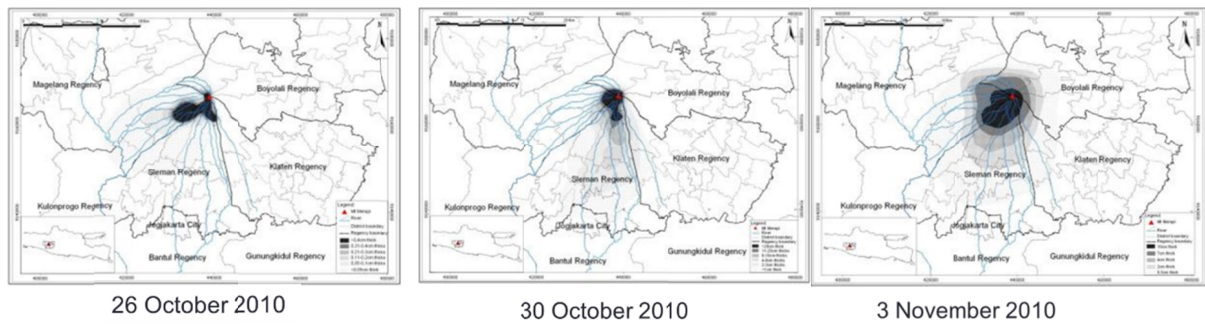


Fig.8 Distribution of volcanic ash deposit



Photo 5 Gully on south-west slope



Photo 6 Damaged palm trees and Salaks



(a) Hard and low permeable surface



(b) Collapsed crust



(c) Permeability test

Photo 7 Crust of volcanic ash deposit

に堆積している。Photo 5は2011年1月30日の南西斜面の状況を示したもので、斜面にガリが発達している様子がわかる。ただし、これらのガリが噴火前のものかどうかは定かではない。

火山灰は樹木や農産物へ被害をもたらした。Photo 6は火山灰の堆積で葉の部分折れ曲がったヤシとメラピ火山周辺栽培している果物のサラックの被害の様子を示したものである。

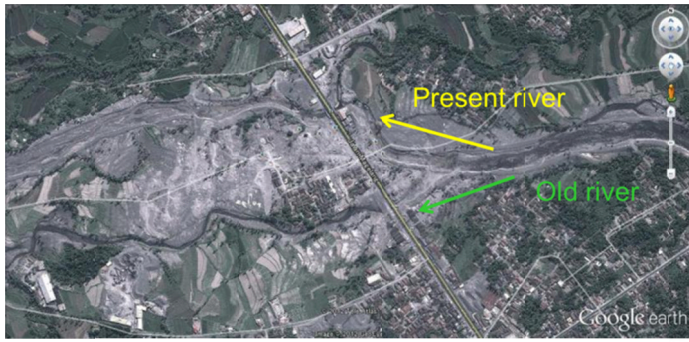
火山灰が堆積するとその表面にはクラストが形成されて硬くなることが知られている。Photo 7(a)は火山灰堆積物の表面がクラスト化した状況と(b)はその一部が破壊された状況を示したものである。このように堆積物の表面がクラスト化すると透水性が低下し、少しの雨でも洪水が発生することが知られている。そこで、Photo 7(c)に示すような方法で現場透水試験を行った。その結果、クラスト化した火山灰堆積物の表面で透水係数は $3.2 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、地表から5cm



Fig.9 Location of airports affected by the eruption 2010

下で $4.9 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、噴火前の地表面で $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ となり、クラスト化した部分と噴火前の土層で透水係数が1オーダー異なっていた。

以上のように、南西斜面では、火山灰による樹木や農産物への直接的な影響と、火山灰堆積物のクラスト化による透水性の低下とそれによる洪水の発生が特徴的である。洪水による土砂災害については4章で述べることにする。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Photo 8 Damaged areas where Putih River crosses the national road

3.4 航空被害

2010年の噴火では、火山灰の影響で多くの空港が閉鎖され、航空便の欠航が相次いだ。ジョクジャカルタ空港とソロ空港はFig. 9に示すようにメラピ火山の南側と東側に位置し、当初、火山灰の流出する方向を考慮して、どちらかで代用していたが、11月5日にジョクジャカルタ空港は閉鎖された。11月6日にはジャカルタ郊外にも降灰が及び、多くの航空会社はジャカルタへの定期便を休止した。11月20日ようやくジョクジャカルタ空港は再開された。

4. プチ川での土砂災害

4.1 プチ川

プチ川はFig. 1に示すようにメラピ火山の南西斜面から流れる河川で、これまで幾度となく火砕流が流出している。そのため河床には火砕流または土石流の土砂が厚く堆積していると考えられる。そのた

め床固め工や砂防ダムなどの施設が連続的に設置されているが、基礎はフローティングタイプのものである。また、土砂資源も豊富であるので、砂利採取事業も活発であるが、それによる河床低下も社会問題になっている。

2010年の噴火で南西斜面に火山灰が堆積し、その表面のクラスト化によって降雨流出率が増加した。洪水は11月10日の噴火後1週間から始まり、10個の土石流が2週間以内で発生した。そのため、プチ川の22個の砂防ダムなどの横断構造物は破損、破壊、埋没した。橋梁の流失も見られた。ここでは、プチ川の土砂災害について調査した結果を取りまとめる。

4.2 国道付近の土砂災害と対策

Photo8(a)は、プチ川が国道を横切る箇所の周辺を示したものである。Photo 8(b)は国道の様子を示したもので、災害復旧工事のため、2010年11月の調査時、交通渋滞が続いていた。この写真から国道の下

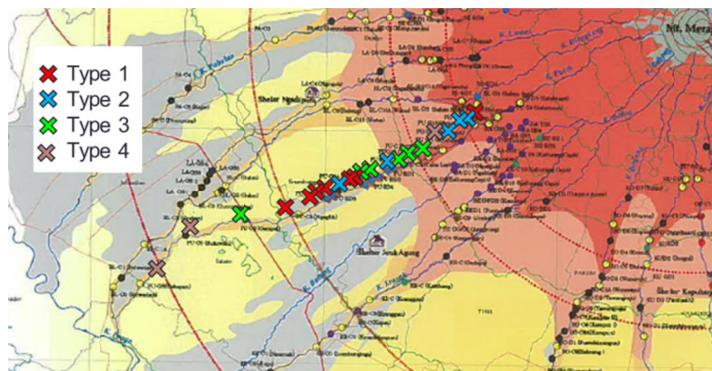


Fig.10 Distribution of damaged types



Photo 9(a) Collapse type 1



Photo 9(b) Collapse type 2



Photo 9(c) Collapse type 3



Photo 9(d) Collapse type 4



Photo 10 Sediment deposition in Code River



Photo 11 Community-based warning system in Code River



Photo 12 Monitoring tower by NGO in Gendol River

流側で土砂が氾濫している様子が伺える。写真には、現河道と旧河道が示されている。災害前は、旧河道はほとんど水枯れ状態の河川であったが、土砂の一部は旧河道にも流入している。現河道の線形は国道の手前で国道に沿って流れ、その後国道を横切る形となっており、平面形状的には氾濫しやすい形状であり、治水上の一つのウィークポイントであったと考えられる。

Photo 8(c)および(d)は氾濫した土砂で破壊された家屋の写真である。粒径1m以上の巨礫も流れてきたことがわかる。Photo 8(e)は国道の西側での土砂堆積の状況を示したもので、比較的小さい粒径の土砂が数度の勾配で平坦に下流方向に堆積していた。

Photo 8(f)は2011年1月29日の国道より上流の箇所の現河道の状況を示したもので、洪水対策のため河道掘削を行って、通水断面を確保していた。前述したようにこの箇所は洪水に対するウィークポイントであり、河道を旧河道に戻す事業が開始していた。

Photo 8(g) は現河道と旧河道の分岐点を示し、Photo 8(h)は旧河道の拡幅工事の様子を示したものである。

4.3 砂防ダム等の破壊・破損

(1) 砂防ダム等の破壊・破損のタイプ

砂防ダムや床固め工の破壊・破損のタイプを4つに分類した。

① タイプ1

堰堤の水通し部やクレストが摩耗または小規模の損傷をしているものである。Photo 9(a)はPU-RD7の被災状況である。堰堤本体は損傷しているが袖部はあまり壊れていない。本体下流のエプロンの部分と副堰堤の一部が土砂で埋まっている。いくつかの砂防ダムでは、副堰堤が破壊され、クレスト部が少し傷ついているものもあった。

② タイプ2

堰堤本体の下流の基礎の下が侵食されることで、大きなダメージを受けているタイプである。河床低下

が原因で副堰堤が破壊され、河床低下が上流に進み本体の基礎部も破壊されたものと考えられる。しかし、ダムが転倒するほどの破壊ではない。Photo 9(b)に示す床固め工PU-C14は典型的なタイプ2である。この床固め工は高さ4.0m、幅61.5mで、堰堤本体の基礎は壊れているが、本体はクレストがわずかに損傷した程度である。河床低下の深さは、堰堤下流でクレストから8.5m程度である。

③ タイプ3

副堰堤、堰堤本体ともに破壊されている。袖部のみが残っているものもある。Photo 9(c)に示す砂防ダムPU-D1は典型的なタイプ3である。高さは7.5m、幅は53.0mで、袖部のみが残っている。河床低下は5m以上に及んでいる。副堰堤と堰堤本体の間のエプロンは完全に破壊され、流されている。

④ タイプ4

いくつかのダムは土砂で埋没していた。このタイプをタイプ4と呼ぶ。このタイプは勾配の緩い最下流付近で見られた。Photo 9(d)に示すPU-C0はプチ川の最下流に位置する。堰堤本体は完全に埋没し、ダムクレストから2m程度土砂が堆積している。

(2) 各タイプの分布特性

Fig. 10は各タイプの流下方向の分布を示したものである。一概には言えないが全体的に見ると、上流からタイプ2、3、1、4の順に分布している。この図の背景は火砕流のハザードマップであるので、色の変化点は勾配変化点を表すと見なされる。黄色の部分の緩勾配であると考え、緩勾配区間でタイプ1と4、勾配が急な個所でタイプ2と3が見られる。また河床低下による砂防ダム等の破壊(タイプ3)が上流に向けて連続し、さらに堰堤本体の基礎部が洗掘されるタイプ2が上流に連続している。

(3) 砂防ダム群の破壊過程

これらのことから砂防ダム群の破壊過程の可能なシナリオとして、次のようなことが考察される。

プチ川の砂防ダムの基礎は浮き基礎タイプであるので、激しい河床低下に弱い構造である。床固め工を含めて連続する構造物がすべて健全であれば、群としても健全な状態を維持することができるが、たとえば一つの床固め工が破壊すると、河床低下が上流に広がり、浮き基礎であるがゆえに下流側から順に構造物が破壊されることが考えられる。今回の噴火後、火山灰堆積物表面のクラスト化により洪水流量が大きくなり、とくに勾配が急で流砂量の大きい箇所の構造物下流で河床低下が進行し、まず一つあるいは複数の構造物が破壊したと考える。そうすると、これがきっかけとなり、河床低下が上流に進行し、構造物が連続的に破壊される。しかし、時間的

な理由と山地からの土砂供給のために、最上流域の砂防ダムでは基礎部の侵食は進んだが、破壊にまでは至らなかった。勾配の緩い箇所では、土砂を高濃度に含む洪水によって水通し部が摩耗し、部分的に破損するタイプ1になり、さらに下流では勾配が緩いため土砂が堆積し、砂防ダムが埋没するタイプが発生した。以上のようなプロセスが実際に起こったかは、現地調査や数値計算などから詳細に検討する必要がある。

プチ川のように、浮き基礎の砂防ダム等が連続する場合、土砂供給量が少ない条件(砂防ダムへの堆積のため下流への土砂供給が少なくなる場合や砂利採取で河床低下が進み、その区間の下流での土砂供給が少なくなるような場合も含む)では、河床低下が著しくなる可能性があり、今回のような連続的な破壊過程が生じる可能性がある。もしも、連続する砂防ダムの中に河床低下に強いダムがあれば、連続的な破壊はそこで停止すると考えられるため、連続する砂防ダムのいくつかを河床低下に強いキー砂防ダムとすることが重要であろう。

5. その他の調査結果

5.1 チョデ川の調査結果

チョデ川はジョクジャカルタ市街地を流れ、氾濫すると都市機能に障害が生じる。上流のボヨン川には火砕流があまり流入していないので、チョデ川への土砂供給量があまり大きくなかった。しかし、Photo 10に示すように、2010年11月29日時点でチョデ川は土砂堆積で河床が上昇し、氾濫の危険性が高まっていた。地域のコミュニティは洪水に警戒して、Photo 11のように危険水位をペンキでマークして備えていた。

5.2 ゲンドル川のその後

ゲンドル川上流の区域は現在住宅等の建設を規制している。Photo 12はNGOがメラピ火山監視のために作ったタワーであり、2012年1月29日の時点で、基本的にこれより上流へは車両規制がなされていた。カリアダム周辺は以前キャンプ場であったが、再開発はされないようである。

5.3 砂利採取事業の役割と管理

メラピ火山地域では砂利採取が盛んであるが、火山噴火後、砂利採取は過剰な堆積土砂の除去と河道形成のための緊急対策として位置付けられる。すなわち、洪水の疎通能力を高めるための河道掘削と堤防の仮設のための砂利採取である。しかし、この地域のこれまでの状況を見ると、過剰な土砂堆積→緊

急的な除石（砂利採取）→砂利採取事業の活性化→過剰な砂利採取→地域の荒廃という構図があり、今後、防災と利用、環境面から長期的な土砂管理を適切に行うことが必要である。

6. おわりに

2010年のメラピ火山噴火は、1億4千万m³の土砂を生産する非常に大規模なものであり、その結果流域に直接的または間接的な被害をもたらした。直接的な被害としては、火砕流によるものであるが、最近発生した火砕流に比べて流出範囲が大きく、避難が後手に回ったことは否めない。火砕流の土砂量の予測ができれば、その流出範囲はシミュレーションである程度予測することができるが、的確な警戒避難のためには土砂量の予測が重要であると思われる。

火砕流による地形変化や火山灰の堆積による降雨流出率の増加は、洪水がこれまで少なかった河川に大洪水を引き起こし、また洪水流量の増加をもたらす。これらによる災害は、噴火の間接的な影響と考えることができる。2010年の噴火によって、同様のプロセスで土石流の発生と土砂氾濫、橋梁の流失などが発生したが、幸いにもこれらによる死者はほとんど無かった。土砂災害常襲地域であることから、地方政府や住民の土砂災害に対する防災意識が高いことがこの要因の一つであると思われる。

特徴的な土砂災害として、プチ川で発生した連続する砂防ダム等の連鎖的な破壊・破損が挙げられる。通常の洪水に対する土砂流出の制御には効果を発揮するが、極端な河床低下により床固め工が破壊すると河床低下が上流に広がり、連鎖的に砂防ダム等が破壊・破損するというプロセスが推測されたが、原因究明を詳細に行い、それを今後の防災対策に活かす必要がある。

謝 辞

本調査は、一部、防災研究所突発災害調査経費、防災フォーラム海外災害調査経費、砂防学会海外調査費を使用して行った。関係各位に心から感謝する。

参考文献

- Jazaul Ikhsan(2010): Study on Integrated Sediment Management in an Active Volcanic Basin, Doctor Thesis, Kyoto University.
- Siswowardjoyo, S., Suryo, I. and Yokoyama, I. (1995): Magma eruption rates of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia, during one century (1890-1992), Bulletin Volcanology, Vol.57, pp.111-116.

(論文受理日：2012年6月7日)

Sediment Disasters due to Mt. MERAPI Eruption 2010

Masaharu FUJITA, Kuniaki MIYAMOTO⁽¹⁾, Yutaka GONDA⁽²⁾, Norifumi HOTTA⁽¹⁾, Hiroshi TAKEBAYASHI, Shusuke MIYATA, Djoko LEGONO⁽³⁾, Muhammad SULAIMAN⁽³⁾, Faisal FATHANI⁽³⁾ and Jazaul IKHSAN⁽⁴⁾

(1) Graduate School of Life and Environmental Sciences, Tsukuba University

(2) Department of Production and Environmental Science, Niigata University

(3) Department of Civil and Environmental Engineering, Gadjah Mada University, Indonesia

(4) Department of Civil Engineering, University of Muhammadiyah Yogyakarta

Synopsis

Eruptions of Mt. Merapi, Yogyakarta, Indonesia produced a lot of pyroclastic flows in 2010. The pyroclastic flows directly killed more than three hundred people in south slope area and the topographical change due to the pyroclastic flows caused some severe floods in Opak River where little flood had occurred before the eruption. The widely deposited volcanic ash on south-west slope caused several large floods up to the end of rainy season in 2011. Particularly, the change in rainfall runoff process due to the deposition of volcanic ash seems to be one of the reasons why the large floods occurred frequently after the eruptions. As a result a lot of infrastructures such as roads, bridges and sabo structures were severely damaged in the tributaries of Progo River and Opak River.

Keywords: Merapi Volcano, eruption, pyroclastic flows, debris flows, sediment disasters, Indonesia