

インドネシア国メラピ火山における 緊急防災事業

溝口 昌晴

MIZOGUCHI Masaharu
八千代エンジニアリング株式会社
事業統括本部
海外事業部
ゼネラルマネージャー



はじめに

インドネシアは、赤道付近にある約18,000もの島々から成る世界有数の島嶼国家です。国土総面積は約189万km²（日本の約5倍）、東西の距離は米国の東西両岸とほぼ同じ約5,000kmに及びます¹⁾。日本と同様に国土の大部分が環太平洋火山帯に含まれるので、活火山が多く地震の多発地帯であるという特徴があります。インドネシアの活火山のうち最も活動的なもののひとつが、首都ジャカルタがあるジャワ島の中央部に位置するメラピ火山（標高2,910m²⁾）です（図1、写真1）。メラピ火山は富士山のような美しい円錐形の成層火山で、伏流水や肥沃な土壌に恵まれていることから山麓

には320万人を超える人々³⁾が生活し、集落や畑は標高1,500m付近にまで達しています。さらに、山麓にはインドネシアの独立にも大きな役割を果たした古都ジョグジャカルタ市や世界遺産のプランバナン寺院遺跡群などが分布しており、行政・経済・文化・歴史の観点から重要な地域にもなっています。

一方で、メラピ火山が噴火する頻度は3～5年に1回と高く、山麓の地域はそのたびに噴火に起因する自然災害の脅威にさらされてきました。災害の要因となる現象は、噴火によって直接的に発生する火砕流と、火山灰が堆積した山体に大雨が降ると発生する土石流（写真2）の2つに大別されます。これらのう

ち、高速で流下し高温の熱風部を伴う火砕流には避難で対応するしかありませんが、土石流に対しては砂防堰堤などの構造物で対処することができます。

日本の技術協力の歴史

メラピ火山の噴火に伴う自然災害に対処するため、インドネシア政府は1969年の噴火を契機としてメラピ火山周辺地域を国家災害管理プログラムの最重点地域に指定し、メラピ火山砂防工事事務所を設置して土石流災害を軽減するための対策に着手しました。日本政府は、インドネシア政府からの砂防技術者の派遣要請に応え、1970年に初代の砂防分野の専門家を長期派遣し、メラピ火山における第一号の砂防堰堤の建設に貢献しました。以来今日に至るまで、国土交通省（旧建設省）、JICA・JBICなどの関係法人、日本とインドネシア両国の大学関係者および民間（コンサルタント・建設会社など）の協力のもとで、様々な技術協力が行われてきました。

メラピ火山では、1977年から開始されたJICA開発調査で火山防災基本計画が策定された後、土石流対策のための円借款事業が4期にわたって実施されました（写真3）。



図1 メラピ火山の位置



写真1 砂防施設とメラピ火山



写真2 噴火後の降雨で発生した土石流⁴⁾



写真3 1980年代に円借款事業で建設された砂防施設⁴⁾

当社はこの円借款事業全てに参画し、開発コンサルタントとして砂防設備の計画・設計、施工監理、火山砂防基本計画のレビュー、さらには警戒避難対策に代表される非構造物対策に携わってきました。また、噴火後の降雨によって発生する土石流の現象を解明し、防災対策のノウハウを普及させるため、JICAの支援によってジョグジャカルタ特別州には砂防技術センター（STC）が、また当地のガジャマダ大学には砂防を含む災害管理の修士課程が設置されました。このような産官学の

各セクターの相互連携による技術協力は、メラピ火山の山麓に住む人々の安全を向上させ、インドネシアの砂防の発展に寄与するだけでなく、活発な火山地域における土石流とその防御に関する新たな知見を日本にもたらし、火山砂防技術の体系化にフィードバックされました。このように、インドネシアに対する技術協力は、結果的に相互の火山防災技術の発展につながっています。

プロジェクトの位置づけと概要

2010年10月26日、メラピ火山は4

年ぶりに噴火を始めました。山頂の火口からせり出した溶岩ドームが崩壊して火砕流が発生する、「メラピ型」と呼ばれるそれまでの噴火とは異なり、この2010年の噴火は過去100年間で最大規模といわれる噴火で、噴出した火山砕屑物などの総量は1.4億m³に達しました。これは、既存の火山砂防基本計画で対象としていた10年に1回の発生頻度の火砕流量（500万m³）の28倍に相当する膨大な量でした。2010年11月5日に発生した最大規模の火砕流は、山頂から南東斜面のゲンドール川に沿って15kmの距離を流れ下り、その過程で200人以上の犠牲者⁵⁾を出しました。さらにこの噴火によって、山麓のいくつかの河川では土石流が頻発したり、また流域の地形が変化してこれまで予想されていなかった方向に土石流が流下したりするなどの問題が生じました。このような2010年の噴火に起因して発生する土石流に対処し、また将来の噴火に備えて土石流災害に対する安全性を高めるため、インドネシア政府の要請により、砂防施設の建設や既存の火山砂防基本計画の改定を主なコンポーネントとする新たな円借款プロジェクトが2015年11月に開始されました（表1）。

表1 プロジェクトの主な事業内容

プロジェクト名	Urgent Disaster Reduction Project for Mount Merapi and Lower Progo River Area II	
実施期間	2015年11月～2021年1月	
総事業費	50.0億円	
主な事業内容	土木工事	<ul style="list-style-type: none"> ・プティ川の河道改修(延長2.7km、床固工5基、帯工24基、護岸工5.2km) ・ゲンドール川のサンドポケット改修(砂防堰堤および床固工計5基、導流堤2.2km) ・その他主要河川における砂防堰堤の建設・改修(11基)
	コンサルティングサービス	<ul style="list-style-type: none"> ・上記土木工事の施工監理 ・火山砂防基本計画の改定、優先施設の予備・詳細設計 ・河道や砂防施設に堆積した土砂の採掘管理検討

土石流を氾濫させずに流すことを目的とした河道改修

2010年の噴火で大量の火山灰が流域に降り注いだプティ川では2010年12月5日以降、降雨のたびに発生する土石流によってジョグジャカルタ市とジャワ島北部の港湾都市であるスマラン市とを結ぶ国道が寸断され、深刻な経済的損失が発生するようになりました(写真4)。土石流の氾濫原因は狭く屈曲した河道にあったため、本プロジェクトでは国道の機能維持を目的として、土石流を氾濫させずに下流へと流すためのインドネシアで初となる土石流対応の河道改修工事(延長2.7kmにわたる河道の拡幅と直線化)を実施しました(図2、写真5)。設計に当たっては、既存のかんがい用水を維持するために直線化した河道から旧河道への分水堰を設けたり、大量の掘削残土を導流堤(土

石流に耐えられる構造の堤防)の材料として有効活用したり、河道内に堆積した土砂を除去するための維持管理用アクセス道路を設けたりするなど、社会、環境および維持管理面にも配慮しました。

サンドポケットの改修

土石流を捕捉するには、通常、想定される土石流の量に見合った規模の砂防堰堤を谷筋に設置して対応しますが、地形に起伏があまりなく、砂防堰堤を取りつける尾根が両

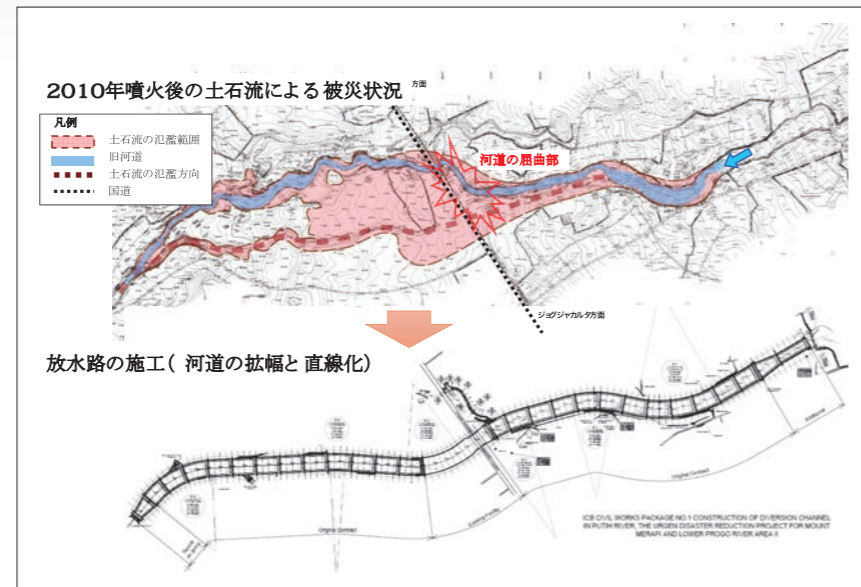


図2 プティ川の河道改修部分の平面図⁴⁾



写真4 国道を埋め尽くした土石流堆積物⁴⁾



写真5 完成したプティ川の河道改修部分

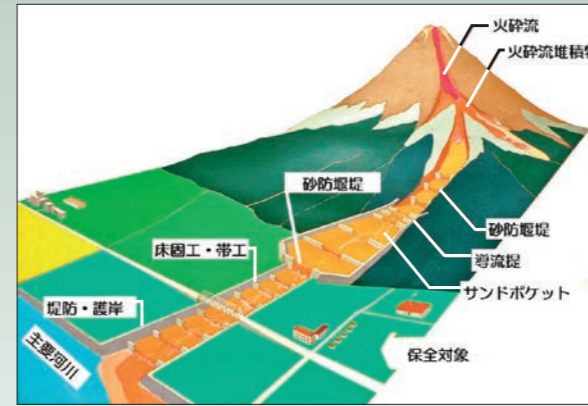


図3 サンドポケットの概念図⁴⁾



写真6 砂防堰堤と導流堤からなるゲンドール川のサンドポケット

岸に存在しない火山の山麓部では、人工的な尾根となる導流堤と砂防堰堤とを組み合わせたサンドポケットを設置する場合があります(図3)。ゲンドール川では、1970年代からサンドポケットの建設が進められてきましたが、1970年代から80年代にかけて建設された導流堤は土堰堤に石を張っただけのもので破損しやすく、また砂防堰堤も2010年の噴火後の度重なる土石流によって摩耗し老朽化していました。ゲンドール川の下流域には多くの人が暮らす集落が分布し、また文化・歴史的な重要度が高く多くの観光客が集まる世界遺産のプランバナン寺院遺跡群も存在するため、本プロジェクトでは既存のサンドポケットを強化するための改修工事を行い、発生した土石流を確実に捕捉し貯留することとしました。メラピ火山の砂防事業では、インフラが絶対的に不足している地域への投資効果を高めるため、平常時には取水施設や橋としても機能する多目的砂防堰堤が積極的に採用されており、本プロジェクトでもその方針を踏襲しました。竣工後に砂防施設が地域の人々に活用される光景を目にすることは、大きなやりがいにつながりました。

安全対策

本プロジェクトで実施した土木工事は、土石流や鉄砲水が発生する可能性がある河道内で行うものであったため、工事従事者の安全対策には一般的な建設災害だけでなく、土石流や鉄砲水に対する備えが求められました。工事を行った各河川では、自治体を中心に組織された防災コミュニティによって河川の状況がリアルタイムで監視されていたので、以下のような連絡体制と避難体制を構築し安全対策を進めました。その結果、多くの方々の協力によって無事故で全ての工事を終えることができました。

- (a) 連絡体制: 防災コミュニティは砂防工事の現場から2km以上上流で河川の監視を行っていたため、土石流や鉄砲水が発生した場合には防災コミュニティから無線で施工業者に情報が共有されるように連絡体制を構築した。
- (b) 避難体制: 施工業者は、防災コミュニティからの土石流などの発生連絡があれば直ちに建設作業員や建設機械を安全な高所へ避難させられるよう、各工事現場に避難路と避難場所を設定した。

おわりに

海外プロジェクトは、日本では考えられないようなトラブルが頻繁に発生し、その対応が求められます。目先の利益だけを考えるなら、日本国内の仕事だけをしていた方がいいでしょう。しかしながら、今後人口減少が続く日本の公共事業だけを追いかけることのリスクや、社会インフラが絶対的に不足している地域の社会安定に貢献していることを実感できたり、様々なマスタープランをゼロから策定する機会に恵まれたりするといった海外プロジェクトならではのやりがいの大きさを考えると、特に若手の技術者の皆さんには積極的に挑戦してもらいたいと思います。

<引用文献>

- 1) 外務省ホームページ (<https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol76/index.html>)
- 2) Global Volcanism Program (<https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=263250>)
- 3) 各自治体の統計局 (Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi D.I. Yogyakarta, BPS Kabupaten Magelang, BPS Kabupaten Boyolali and BPS Kabupaten Klaten) による2016年の統計データ
- 4) インドネシア国公共事業・国民住宅省スラユ・オパック流域管理事務所提供
- 5) インドネシア国国家防災庁発表資料

60周年記念動画「メラピ山編」

