

2010 年インドネシア国メラピ火山噴火における砂防施設の状況

八千代エンジニアリング (株)

下田 義文 ○佐藤 敏明 目 晋一 福島 淳一 溝口 昌晴

1. はじめに

インドネシアは、130 の活火山（世界の 16%相当）をもつ世界でも有数の火山国である。そのなかでもインドネシア国の中心地であるジャワ島には 20 を超える活火山があり、メラピ山はその一つで、非常に活発な火山として知られている。

メラピ山における噴火災害、土砂災害対策は、1969 年 1 月に発生した噴火を契機に、インドネシア国政府がメラピ火山砂防工事事務所を設立し、その後、一連のプロジェクトが開始された。JICA による開発調査及び 3 期にわたる技術協力プロジェクト、さらに現在進行中のプロジェクトも含め、3 期にわたって国際協力銀行（JBIC）による円借款事業として砂防事業が進められてきた。現在、「プロゴ川流域メラピ火山緊急防災事業 フェーズ III」が実施中である。2010 年 12 月末で、実施されていた砂防施設 250 基の整備が完了予定であったが、完了目前にして今回の大噴火が発生した。噴火活動は 2010 年 10 月 26 日に発生し、以後約 1.5 ヶ月に渡り活発な活動が継続した。従来の「メラピ型」と言われる噴火形式と異なり、噴煙柱を伴う爆発的噴火であり、その火山噴出物の量は 1.4 億 m³ともいわれ、膨大な土砂が源頭域に堆積した。



写真-1 火砕流が流下するメラピ火山

2. 洪水・土石流の発生状況と砂防施設の効果

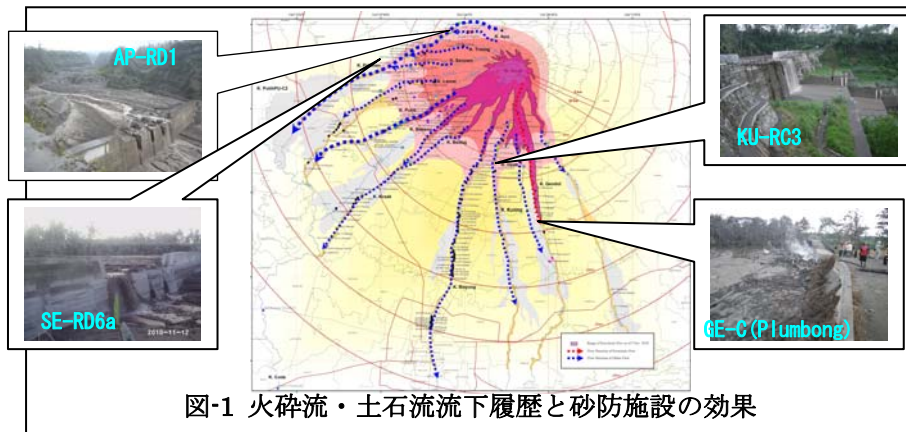


図-1 火砕流・土石流流下履歴と砂防施設の効果

噴火直後から、各河川で土石流が観測された。泥流型の土石流は山頂から 20km 下流付近（河床勾配 1/40～1/50 程度）まで到達している。

これに対し、メラピエリアに配置されている砂防施設は、噴火直後に大きな効果を発揮し、多くの土石流を捕捉した（図-1）。しかし、土砂発生源となる今回の火山噴出物は、膨大な量であり、さらに雨季と重なったこともあって、土石流は想定以上の規模となっている。

3. 砂防施設の現状

噴火活動発生後約 5 ヶ月が経過した 2011 年 3 月時点の施設の状況を報告する。頻発する土石流によって、損傷を受けた砂防施設は非常に多く、その中で砂防施設としての機能を著しく低下、あるいは低下する可能性が高い重大な損傷を受けた施設は、250 基中、約 50 基程度存在する。特に上流域（山頂より 10km 圏内）に集中しており、その後も損傷規模は拡大しつつある。砂防施設以外でも、橋梁、灌漑用施設などは倒壊、閉塞し、供用不可能な状態となった施設も多い。

ここで、メラピエリアの砂防施設の損壊の特徴は大きく以下に分類される。

(1) 施設下流の河床変動による損壊（写真-2）

施設下流で局所洗掘が生じている。その洗掘深さは 10m 以上となる場合もあり、副堰堤、水叩きなどの前庭保護工基礎が洗掘され、破損、倒壊を引き起こしている。

(2) 著しい摩耗による損壊（写真-3）

頻発する土石流の流下で、堰堤天端の摩耗が著しく、内部材料まで達し、施設の倒壊を誘発させる。特に石積み構造やダブルウォール形式の構造を採用している施設は、損傷が著しい。

(3) 袖部における土石流越流による損壊（写真-4）

主堰堤の袖部を土石流が越流し、主堰堤のバッファフィル、前庭保護工を破損させている。土石流の発生頻度が非常に高く、土石流の捕捉機能が回復する前に新たな土石流が流下する場合や、土石流の偏流が生じているなどの原因が考えられる。



写真-2 河床変動による損壊事例



写真-3 摩耗による損壊事例

(4) 想定を越える土石流、巨礫の衝突による施設の破損(写真-5, 6)

想定を越える巨礫の衝突による施設の破損が生じている。メラピエリアでは土石流で流下する巨礫径 ($D_{\max 95}$) を $\phi 2\text{m}$ としていることが多いが、今回の噴火後の土石流では、 $\phi 3\text{m}$ 以上の巨礫が流下している。これらの衝突によって堰堤袖、副堰堤の破損、摩耗が生じ、施設を破損させている。また、副堰堤の破損によって、主堰堤下流の水辱池効果が消失し、巨礫が直接水叩きを破損させている状況も散見され、施設全体の倒壊を引き起こしている。



写真-4 袖部土石流越流による損壊

写真-5 巨礫衝突による破損(1)

写真-6 巨礫衝突による破損(2)

表-1 施設下流の洗掘深さと堰堤高・河床勾配の関係

No.	River	Facility	Scouring Depth (m)	Main Dam Height (m)	Original Riverbed Slope (1/n)
1	Pabelan	PA-C2	10.00	7.0	1/29.6
2	Apu	AP-RD2	7.50	14.5	1/14.4
3	Trising	TR-RD1	8.70	14.5	1/14.6
4	Senowo	SE-C2	8.80	5.0	1/23.6
5	Senowo	PU-D2	10.50	8.9	1/17.0
6	Senowo	PU-RD5	5.00	5.0	1/25.2
7	Bebeng	BE-C9	6.00	7.5	1/22.0
8	Bebeng	BE-C4	12.80	7.0	1/22.3
9	Boyong	BO-C1A	10.00	6.5	1/19.6
10	Kuning	KU-C1A	6.00	7.0	1/14.3
11	Kuning	KU-C1	10.00	7.0	1/14.3
12	Kuning	KU-D2	8.00	15.0	1/17.3
13	Kuning	KU-RC3	6.50	15.0	1/22.2
14	Kuning	KU-D3	8.00	14.5	1/21.0
15	Woro	WO-RD1	5.00	14.5	1/16.0
Correlation Coefficient between Scouring Depth				-0.2638	0.0971

表-1 に施設下流で生じた洗掘深と、主堰堤の高さ、及び現河床勾配をまとめたものを示す。噴火後に観測された施設下流における最大の洗掘深さは約 13m である。また、これら洗掘深さと堰堤の高さ、現況河床勾配との相関は認められず、土石流の流量、河床材料・地質、河道形状、上下流の施設の位置など多種多様な要素が混在しているものと推測される。

メラピエリアでは一般に最下流の前庭保護工施設の根入れを 6m とすることが多いが、これ以上の洗掘が生じており、施設の破損につながっている。

一方、土石流で流下した巨礫計測結果を図-2 に示す。一般に土石流堆積区間とされる河床勾配 1/40～50 の下流域まで到達しており、巨礫は $\phi 2\text{m}$ を越えている。また、最大 $\phi 5\text{m}$ の巨礫も観測されており、計画に想定していた 2m を遙かに越えていることが分かる。この様な巨礫が流下することによって、多くの施設を損壊させたと考えられる。

摩耗については、土石流発生頻度が非常に高いため、摩耗速度も非常に速い。写真-7 に示すように、約 2 ヶ月程度で天端コンクリート 1.0m が完全に摩耗されている施設もある。写真に示す施設では、クレスト天端コンクリートは配筋されており、コンクリートの強度は K-225 (日本国内の鉄筋コンクリート 24N に相当) が使用されている。

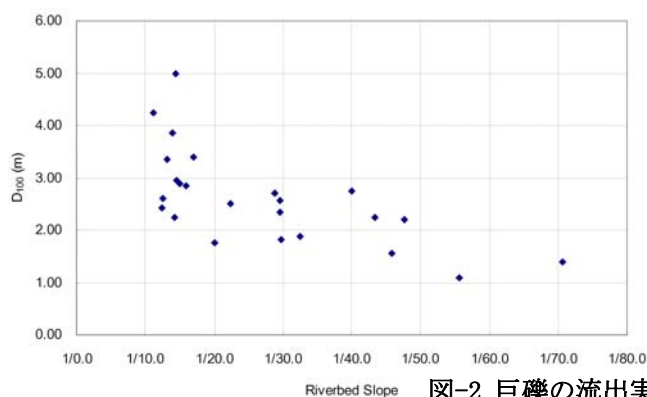


図-2 巨礫の流出実績



写真-7 堰堤損傷の変化 (PU-RD5)

4. 今後の対策

メラピエリアでは、現在も被害が拡大しつつあり、早急な施設の補修・復旧が必要である。今後の補修、復旧対策については、以下の点について着目し、補修計画を立案していく予定である。

- (1) 河床変動に対応可能な前庭保護工の見直し
- (2) 摩耗対策
- (3) 袖部越流に対する、前庭保護工等の補強
- (4) 土石流、巨礫の衝突力の見直し