

## メラピ火山山麓における砂防堰堤破壊現象の分析と対策

八千代エンジニアリング(株) ○福島淳一 溝口昌晴 池田 誠 下田義文

### 1 はじめに

インドネシア国の中部ジャワ州とジョグジャカルタ特別州に位置するメラピ火山は、2010年10月から11月にかけて噴火し、総量1.4億 $m^3$ に及ぶ火山噴出物をもたらした。噴火開始後すぐに始まった雨季には、山麓の全ての主要河川で火砕堆積物を起源とする土石流が頻発した。メラピ火山の山麓に配置されていた約250基の砂防施設は土石流を捕捉し、その氾濫災害を最小限に食い止めた。しかし一方、77基の砂防施設が損壊し、そのうち17基の砂防堰堤は本堤の破壊・流失に至った。砂防施設の被災形態を調査した結果、下流河床の低下・洗掘に起因するものが過半数を占めることがわかった。そこで、河床低下・洗掘に起因する砂防堰堤の損壊軽減に資するため、顕著な河床変動が見られたメラピ火山南西斜面に位置するPutih川及びSenowo川を対象に、2010年噴火後の河床変動と砂防堰堤の破損の関係について調査を行ったので報告する。

### 2 河床低下・洗掘による破損の要因

まず、砂防堰堤の直下流で河床低下・洗掘が発生する現象を把握するために、関係すると考えられる要因との相関を検討した。図-1、図-2に元河床勾配、堰堤高、堰堤の土砂調節量のグラフに河床低下・洗掘破壊した堰堤の分布を示した。同図からは、堰堤高に関係なく破壊して堰堤が存在することは堰堤からの落水エネルギーによる局所洗掘が主因でないことが読み取れる。土砂調節量の大小に関係なく河床低下で破壊した堰堤が存在する事から、砂防堰堤単独1基の土石流補足量に応じて下流洗掘が発生する様な単純現象ではない事が想像される。元河床勾配3度 ( $i=1/19$ ) 以下で河床低下による破壊が起きる可能性が低い理由としては、3度付近で土石流の土砂輸送能力が大きく低下し河床の再侵食が限定的になることが考えられる。

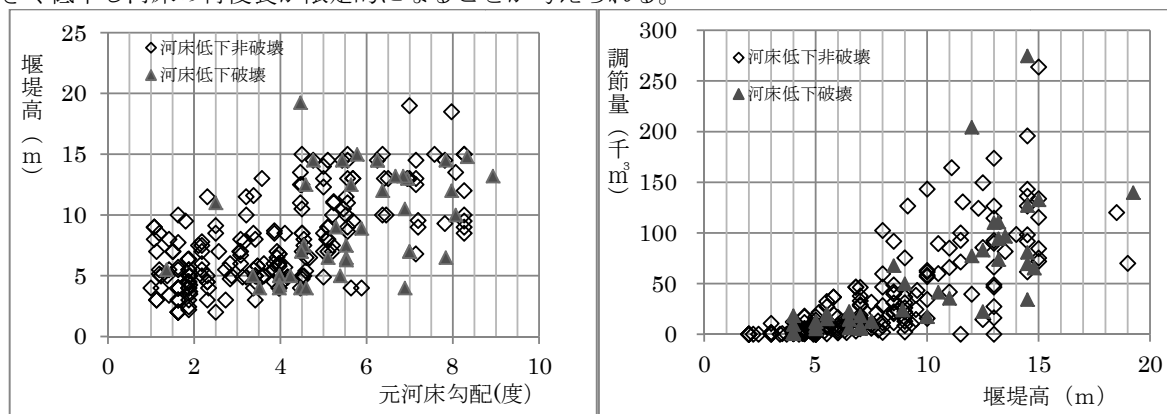


図-1 元河床勾配、堰堤高と河床低下・洗掘破壊

図-2 調節量、堰堤高と河床低下・洗掘破壊

Data Source: DGWR, Ministry of Public Works, Government of Indonesia

### 3 Putih川の事例：砂防堰堤の損壊と河床低下の連鎖

メラピ火山ではかつて南西斜面方向に火口が開いていたため、南西斜面に流域を持つPutih川では1980年代を中心に、河道の固定と堆積土砂の再移動防止を主目的とした砂防施設が建設された。2010年噴火後に頻発した土石流によって、勾配1/12~1/20の河道区間で砂防施設の倒壊とそれに起因する河床低下が連鎖的に発生した。なお、土石流は勾配1/40の区間まで流下した。

この河道区間の縦断図を図-3に示す。多くの砂防堰堤が建設された1980年代は、火口からの土砂供給が盛んであったため河床が高い状態であった(図中破線)。その後、インドネシア国の経済発展に伴う建設資材の需要増加を受けて、民間による河床での砂利採掘がさかに行われるようになり、砂防堰堤間の河床勾配は緩く不均一な状態となった(図中細線)。この過程で、多くの砂防堰堤に基礎洗掘防止のための副堰堤が追加さ

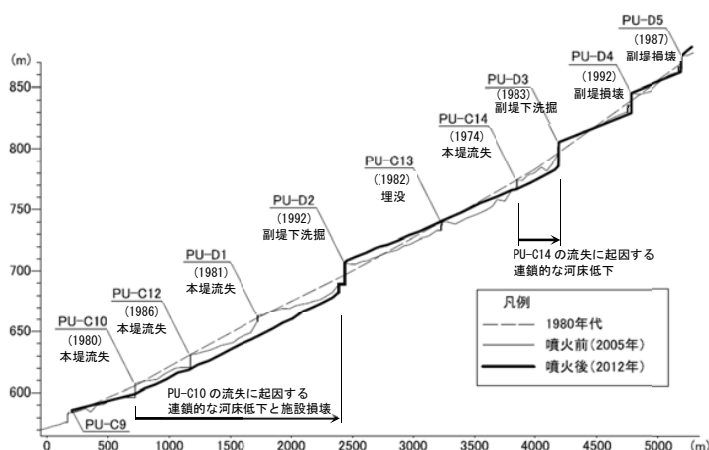


図-3 Putih川における河床変動と砂防堰堤の損壊

Data Source: DGWR, Ministry of Public Works, Government of Indonesia

れた。一連の砂防堰堤は、このような状況の下で2010年噴火後の土石流に見舞われた。頻発する土石流によって、蛇籠堰堤をコンクリートで被覆した床固工PU-C10と、練石積みの床固工PU-C14がまず破壊され流失した。PU-C10の流失によって、堆砂地の土砂の流失、河床低下区間の遡上、上流側の前提保護工の損壊が連鎖的に生じ、床固工PU-C12および砂防堰堤PU-D1が流失するに至った。同様に、PU-C14の流失に起因する河床低下は上流の砂防堰堤PU-D3まで達し、副堰堤を流失させた（図中太線）。なお、土石流が初めて発生してからの1ヶ月間に、Putih川で土石流が観測された日数は合計11日にのぼった。図中から外れるが、PU-C9から下流では、土石流発生毎に河床変動を繰り返しながら徐々に河床が上昇し、土石流の到達限界付近（河床勾配1/40程度）では、土石流氾濫が頻発した。

#### 4 Senowo川の事例：砂防堰堤による土石流の捕捉と河床低下

Senowo川と同河川と合流するPabelan川においては、砂防堰堤が土石流を捕捉する区間の下流側で著しい河床低下が発生し、砂防堰堤の流出につながる被害が生じた。噴火後の土石流が発生した当初（2011年1～2月）は図-4に示すように、SE-C1より下流の河床高（破線）が大きく低下している。SE-C1より上流区間は、航測写真、現地工事写真等から見て2011年初期から2012年7月の変化はあまり見られない。図中のSE-RD5および、SE-D2は頻発した土石流による本体袖の破損が著しいものの、SE-C1から上流区間は継続して土砂を捕捉している。これに対し、土石流が発生した直後の下流区間では、河床低下が生じて、著しい前庭保護工破損、本堤流出の被害が発生している。この下流区間はその後河床上昇に転じ、噴火前以上に河床が上昇している。図に示していない0kmから5km区間も河床低下傾向にあるが低下深さが小さく前庭部の被害にとどまっている状況であった。

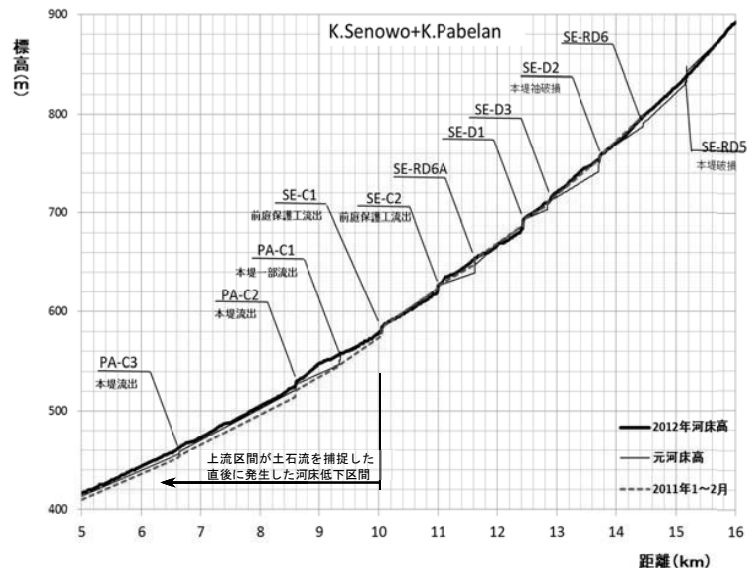


図-4 Senowo川の河床変動縦断面図

Data Source: DGWR, Ministry of Public Works, Government of Indonesia

火山噴火や大規模崩壊等により大量の土砂が生産された場合、これらの二次移動により溪流の河床は先ず逐次上昇するが、数年から数10年経過すると低下傾向になるのが通常である。しかし、本事例のように、大量の土石流が頻発し、上流区間の砂防堰堤が土砂を捕捉した直後には、その下流区間では河床が大きく変動し、砂防堰堤の破壊につながる事が明らかとなった。

### 5 河床低下対策

#### 5.1 基礎の根入れ

一般的に砂礫地盤上の砂防堰堤の河床低下対策としては、連続的な堰堤群で計画河床勾配を緩和する方法、根入による方法がとられている。メラピ火山地域に配置されている砂防堰堤は、後者の方法を取り、従来から6mを確保するよう設計されてきた。今回のメラピ火山噴火後に実施した施設復旧対策は、河床低下した実績を踏まえて、8mの根入れを確保することとした。しかし、今回の河床低下が13mに達するケースがあったことを考えると完全な対策ではなく、また、施工面やコストの面で工夫が必要と考えている。

#### 5.2 施設の配置

連続的な堰堤群で上流側の堰堤基礎を安定させる方法は、本報告の事例のような、火山噴火直後の大量の土石流頻発に対しては必ずしも安全ではない。局所的な洗掘や上流側で土砂を捕捉した直後の下流区間の河床低下など、土砂の流出・移動形態を十分に推定しておく必要がある。対策方法としては、上記の根入れ対策と合わせ、対象となる土砂の性状を調査した上で、数値解析を行うことが考えられる。解析結果は砂防施設のタイプ選定（堰堤のほか、遊砂池などの採用等）や施設配置検討に反映することが必要である。

### 6 その他の課題点

2010年のメラピ火山噴火後の土石流災害では、大きな河床変動の他、土石流の頻発による著しいコンクリート摩耗、袖の土石流越流など、対策を講じなければならない点が多く明らかとなった。これらは複合的に発生し、施設の破壊や新たな二次災害を引き起こしている。