

# 多時期衛星画像解析および数値計算による 2004年スラウェシ島バワカラエン山で発生した巨大崩壊の土塊の侵食過程

(独) 土木研究所 ○清水武志、山越隆雄、田村圭司、清水孝一  
国土交通省国土技術政策総合研究所 小山内信智  
高知大学 笹原克夫、(独) 防災科学技術研究所 土志田正二  
(株)NTTデータ 筒井健、日本工営(株) 田方智、一言正之

## 1. はじめに

2004年3月26日に、インドネシアのスラウェシ島のバワカラエン山のカルデラで巨大崩壊が発生した(図-1)。幅500~800mにわたってカルデラ壁の一部が崩落し、崩土は7km下流まで到達した<sup>1)</sup>。一方、崩壊堆積土砂は、数億m<sup>3</sup>に及ぶと推定されるが、この土砂はその後急速に侵食を受けていることから、下流域に建設された多目的ダムや、河川沿いの集落にとって大きな脅威となっている。また、バワカラエン山の崩壊は、まれにしか起きない巨大崩壊であるため、日本で通常用いられている手法が巨大崩壊後の土砂移動をどの程度予測できるか検証することは有用であると考えられる。

そこで、バワカラエン山の巨大崩壊の堆積物の侵食過程を、多時期に取得した衛星画像から得られる数値標高モデル(DEM)から明らかにするとともに、土砂輸送に関する数値計算を実施しその侵食過程の再現を試みた。

## 2. 多時期衛星画像解析による巨大崩壊土塊の侵食過程

崩壊地直下からカルデラ出口までの土砂移動を解析の対象とした(図-2)。2009年のカルデラ内の状況を写真-1に示す。多時期の衛星画像を分析してガリー侵食および土砂生産の時系列的な変化を定量的に示した。解析に用いた地形はSPOT画像の2004年から2008年までのステレオペアから作成したものである<sup>2),3),4)</sup>。

DEMの侵食量を時系列的に求めた結果を図-3に示す。図-3をみると、発生の翌年の2004から2005年の間(A)に崩壊堆積物の侵食が全域に及び、特に本川では下方・側方侵食が著しく進んでいることが分かる。崩壊や天然ダムの欠壊等が発生も見られた。また、2005~2006年(B)は河床上昇している箇所もみられる。その後の2年間はガリー内で侵食が進んでいるものの全体的に侵食量は少ない。A~Dまでのそれぞれの期間の年間総流出土砂量は既報<sup>2)</sup>によると、2004年から1年間の総流出土砂量は約463万m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>、2年目の流出土砂量は劇的に減少しおよそ107万m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>、その後2年間は、流出土砂量はさらに減少した64万m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>程度である。

## 3. 数値計算モデルについて

対象エリアは、年間降水量3,000mmを超える多雨地域であるが、上述のように、日本の通常の土砂流出量と比較して極めて大きな値である。特に2004年から2006年までの2年間は崩壊や天然ダムの欠壊等が発生しているため、通常の土石流等の数値計算でそのような現象による河床変動状況や土砂流出量が再現できるかどうか疑わしい。そこで、今回は2006年以降の土砂移動を計算の対象として、実務でよく用いられる計算方法、すなわち、以下に示すような流出解析と土石流等の数値計算を実施し、その再現性を確認することとした(図-4)。

流域モデルとして、2006年秋時点のDEMと、その時点の主たるガリーの分布を元に、計算を実施する流域の斜面、河道網モデルを構築した。流域を斜面部と河道部にわけて、それぞれの物理現象をモデル化した。斜面部は、有効降雨を与えて発生した表面流の流下過程をKinematicWave法で追跡した。Dahnioほか<sup>5)</sup>によると、下流ダムへの日流入流量と日雨量の比が平均して0.45程度であることから、雨量にこの比を乗じたものを有効降雨と見なして与えることとする。河道部については、1次元で土石流計算および掃流砂・浮遊砂計算を行う。

## 4. おわりに

3. で示した計算モデルに、現地で得られた雨量データ等を入力することによって、2006年以降の巨大崩壊による崩壊土砂堆積地の侵食過程を計算で再現を試みる。計算結果は、土石流計算および掃流砂・浮遊砂計算のそれぞれの計算手法で得られた河床変動状況や土砂流出量を、多時期衛星画像解析より求めた実態と比較し、その妥当性を検討する。

謝辞：本検討を行うに当たり、八千代エンジニアリング(株)の水野氏、松永氏、渡辺氏およびEddy氏には現地調査および雨量データの提供等の多大な協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献：1) S.Tsuchiya, Landslides, 6:83-88, DOI 10.1007/s10346-009-0143-x2, 2009; 2) K. Sasahara et al., International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, Yogyakarta, INDONESIA, March 8-9, 2010; 3) 清水孝一ほか、地すべり, Vol.45, No.2, 2008; 4) K.Tsutsui, IEEE Trans Geoscience and remote sensing, Vol. 45, No. 6, 2007; 5) Dahnioほか、砂防学会誌, Vol.61, No4, 2008

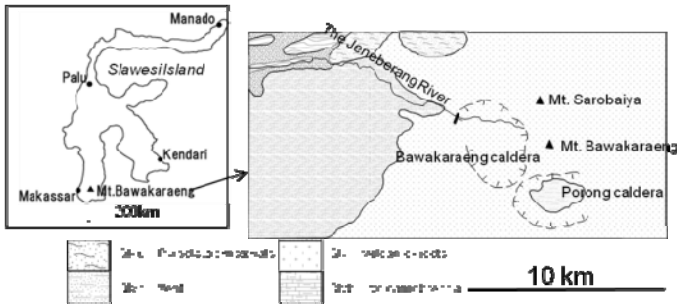


図-1 バワカラエン山位置および周辺地質図 2)

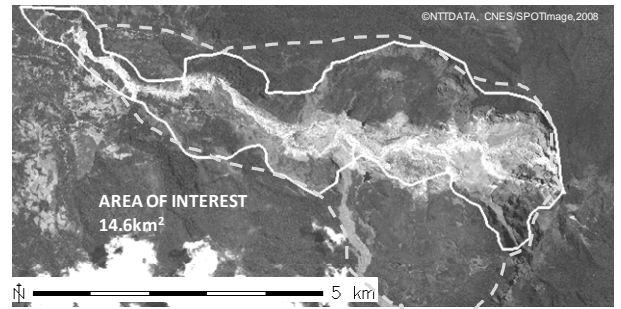


図-2 衛星画像の解析対象域：実線が衛星画像による DEM を解析した領域 (14.6km<sup>2</sup>)、破線が土砂輸送に関する計算対象領域、背景は 2008 年に撮影された SPOT オルソ画像

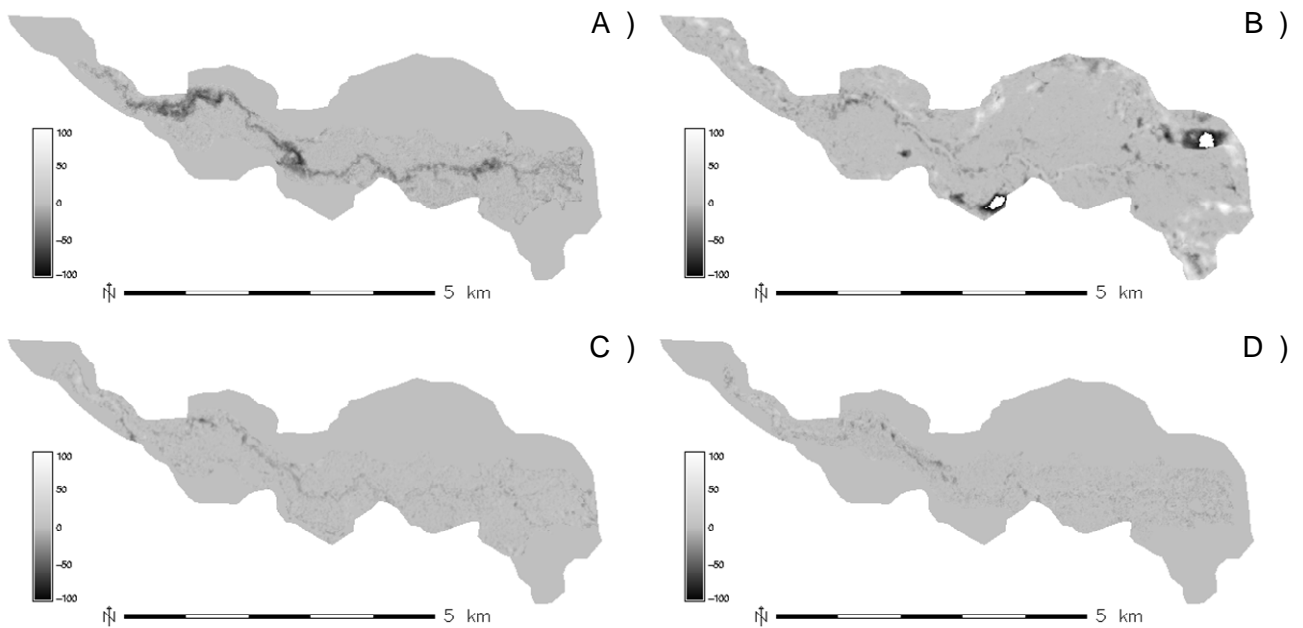


図-3 DEM の差分による標高の変化：A) 2005-2004、B)2006-2005、C) 2007-2006、D)2008-2007



写真-1 崩壊地源頭部より下流を望む (2009年8月19日撮影)

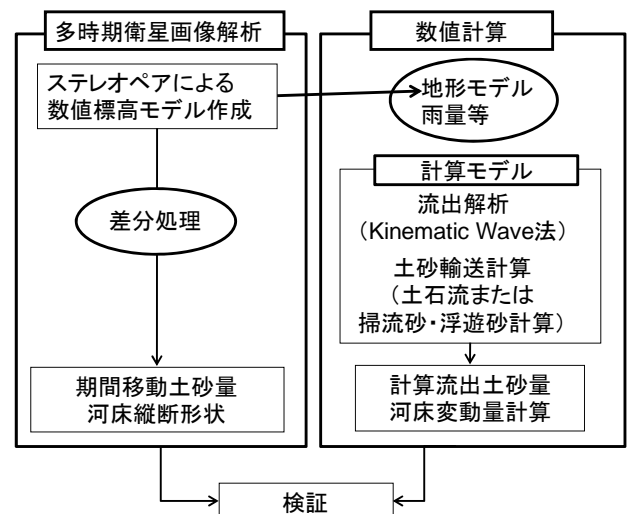


図-4 本検討で実施する検討方法のフロー