

バワカラエン山巨大崩壊調査報告

JICAバワカラエン山巨大崩壊砂防緊急調査団

1 はじめに

ジェネベラン川下流域に位置するマカッサル市（旧名：ウジュン・パンダン市）は、人口約120万人を擁する大都市であり、スラウェシ島の玄関口として栄えている。

ジェネベラン川中流域（マカッサル市上流約35km）には、洪水調節・灌漑・上水道を目的としたビリビリダム（総貯水量約3.8億 m^3 、本体は1999年完成）が建設されており、下流のマカッサル市に多大な恵みを与えている。今回のバワカラエン山の巨大崩壊はそのビリビリダムの上流約40km、ジェネベラン川の最上流地点で発生したものである。この巨大崩壊は、ジェネベラン川沿いの渓谷を崩壊土砂で埋め尽くし、地元レンケセ集落に壊滅的な被害をもたらし（死者10名、行方不明者22名、家屋被害10件、学校1棟、家畜（牛）635頭、農地被害1,500ha、避難：最大6,335人）、今後は重要公共施設

であるビリビリダムへの影響も懸念される。

このような巨大崩壊はインドネシア当局にとって初めての経験であり、今後のビリビリダムへの影響や二次災害が懸念されることから、早急な対策を実施すべく、日本政府に下記の事項に関する技術支援要請書（2004年4月13日付）を提出した。

- ①土砂の挙動を調査するためのJICA砂防専門家の派遣
- ②ISDM*プロジェクトのサポート（次期雨季までの緊急調査、技術アドバイス、組織強化）
（*ISDM Integrated Sediment-related Disaster Management = 火山地域総合防災プロジェクト）
- ③緊急かつ恒久対策に関する実施も含めた支援

本報告は上記の要請に基づき、5人の短期砂防専門家が調査団として2004年6月20～29日まで派遣され、ISDMプロジェクト長期専門家と合同で行った現地調査結果の概要を報告するものである。

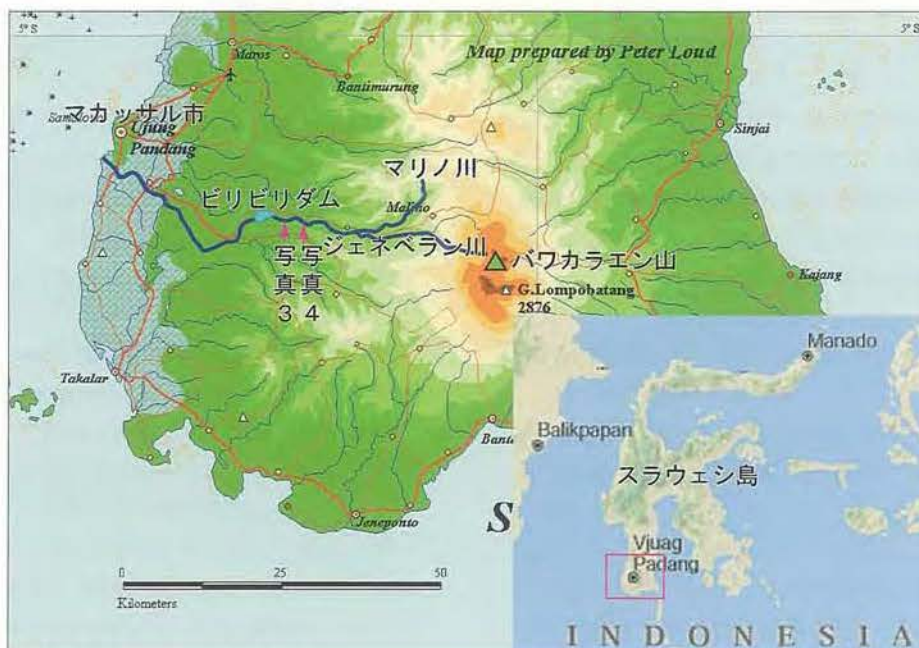


図1 インドネシア国バワカラエン山

【調査団構成】

- 総合防災管理 古賀省三 (国土交通省砂防部火山・土石流対策官)
- 土砂災害調査 土屋 智 (静岡大学教授)
- 防災対策施設計画 松井宗広 (砂防・地すべり技術センター総合防災部長)
- 緊急避難システム計画 笹原克夫 (土木研究所土砂管理研究グループ上席研究員)
- ダム堆砂対策 中廣三男 ((株)帝国建設コンサルタント名古屋支社常務理事)

2 バワカラエン山巨大崩壊

2004年3月26日13:30頃にインドネシア国スラウェシ島南スラウェシ州にあるバワカラエン山(標高2830m)のカルデラ壁の内側が大規模に崩壊し、崩壊地点から下流約7kmにわたって膨大な量の土砂が流出・堆積した。崩壊源頭部には2つの崩壊地が認められ、その一つはバワカラエン山寄りの崩壊で、幅約500mの規模を有する崩壊(崩壊A)であり、もう一つはサロンガー山稜を水平約1300mにわたり馬蹄形に巻き込んだ大崩壊(崩壊B)である。両者とも、崩壊斜面の比高は約700mを有する。

前者の崩壊Aは、目視等から崩壊岩盤の厚さは約150m程度、後者の崩壊Bは崩壊前のサロンガー山頂の位置が水平約400mカルデラの内側にあったことを判断すると、崩壊岩盤厚さは最大約400m、平均200m程度(崩壊Aと同程度以上)と推定される。このことから、崩壊規模は地山量として、崩壊Aで約5,300万 m^3 、崩壊Bで18,200万 m^3 、合計約23,500万 m^3 と推定される。

崩壊Bの斜面中央部には、源頭部から落下した推定約500万 m^3 の土塊が上部に植生を付けたまま残存している様子が見られ、今後斜面末端部が侵食を受けて、不安定化が進行すると2次崩落に至る可能性



写真1 東側カルデラ山稜から見た崩壊地形



図2 バワカラエン山巨大崩壊と不安定土砂堆積地

がある。なお、本報告は短期間の緊急な調査によるものであり、今後詳細な調査が必要である。

3 崩壊の機構と拡大崩壊の可能性

崩壊の直接原因は現時点で特定できていない。地震の発生は確認されていないが、崩壊現場に最も近いティンギモンチョン観測地での2004年3月1日～崩壊前日までの累積降雨量は786mmであり、同月の20年平均値508mmの1.5倍ほど大きな降雨量を示している。

崩壊の素因には、カルデラ側壁の比高の大きさ、側壁岩盤の脆弱性、カルデラ内堆積物の侵食されやすさがあげられる。侵食に対する抵抗力の弱さは、カルデラ内を流下するジェネベラン川の河床低下をまねき、カルデラ側壁の比高を大きくするとともに山脚部にある崖錐堆積物を除去する。このため、側壁脚部に作用するせん断力は次第に大きくなり、長期的なすべり面の発達を促し、崩壊発生に大きく影響したと判断される。また、崩壊様式は、崩壊土砂がカルデラ内に位置する比高200mほどの尾根を乗り越えていることから判断して、頭部が大きく転倒するトップリングではなく、斜面下端で岩盤破壊が生じ、座屈するように回転を伴い滑落したと考えられる。

崩壊土砂は、流動化して発生地点から下流約7kmにわたり、幅500mから800mの規模で堆積した。カルデラ内ではジェネベラン川に沿ってほぼ直線状に流下堆積し、カルデラ下流でも川沿いにパナイカン集落の南側直下の段丘面に一部乗り上げ流下した。崩壊時の大音響を聞いた住民の一人は、崩壊発生時刻とこの段丘面付近まで土砂が押し寄せた時刻を記憶しており、その時間は3分間であったという。この段丘面と崩壊地からの距離は地形図上で約6kmであるから、流下速度は33m/s（約120km/hr）となる。山腹に衝突した地点で、堆積面上方山腹に土砂が付着したことや堆積直後には堆積物表面はかなり高温であったこと（住民聞き取り）から、岩屑流^{がんせつりゅう}として空気を巻き込み流下した様子がうかがえる。

なお、カルデラ内や堆積地の両端部には幾つかの湛水池が所々に形成されている。このうち、最大のものはカルデラ内に存在するもので、幅200m程度、長さ300m程度の規模のものがある。

巨大崩落した岩盤斜面は、剥離が生じ安定しておらず日常的に小岩塊が落下し、脚部周辺ではこれらが崖錐を形成しつつあると判断される。また斜面上には、落下しなかった不安定岩塊や山稜から落下したもののそこに留まっているものもあり、脚部周辺に近づくことは危険な状態である。また、住民によれば今回の崩壊が発生する以前から山稜付近には大きく開口した段差があり、崩壊後も背部には数メートルの幅をもった開口亀裂があるということである。この様な現地状況から判断して、今後の拡大崩壊の可能性は否定できない。

4 土砂流出状況

インドネシアの年間降雨量は4,000mm程度であり、11月～3月の雨季と4月～10月の乾季に分かれている。今年3月26日に発生して以来、約3ヶ月が経過した。崩壊現場に最も近いマリノ地点におけるこの間の総雨量は、388mmであり、日雨量30mmを越す降雨も3回のみで、大きな降雨は発生していない。しかし、ジェネベラン川上流に堆積した崩壊土砂は既に幅50mから150m、深さ30mから80mの規模で侵食され谷地形を形成し（写真2）、さらに拡大すると考えられる。また、この侵食谷地形は、平面的



写真2 崩壊土砂堆積地の侵食地形（写真後方の台地（パナイカン）に土砂が乗り上げて堆積）矢印の方向は下流を示す。

にジグザグの形状を呈しており、出水規模が大きい場合には、土石流の流下とともに強侵食されるので、11月頃から始まる雨季には多量の土砂流出を伴うことは必至と判断される。

2004年6月中旬までの堆積土砂の侵食土砂量は、侵食谷地形の目視と地形図から約1,400万 m^3 と推測される。今回のような大規模な崩壊により生じた土砂移動については、時間的な経過とともに、流出土砂量は指数関数的に減少していくと考えられるが、今後の継続的な調査が必要である。



写真3 ビリビリダム上流にある砂防施設のうち、下流から数えて2番目の砂防施設（SP2）上流の土砂堆積状況



写真4 洪水によって破損している砂防施設（今回の巨大崩壊以前に破損していたもの）

5 下流河道区間の状況

崩壊地からビリビリダムまでのジェネベラン川の河道区間には6基の砂防施設があり、その施設は全て満砂状態である。特に、マリノ川との合流地点の下流にある幅400mの砂防施設やその上流の河道区間には一時的に多量の土砂が堆積しており、砂防施設及び河道調節機能が発揮されていると考えられる。一時的に過剰に堆積した堆砂地（写真3）及び河道区間内の土砂は、現在侵食されつつあるが、ビリビリダム湛水池末端においては現在のところ顕著な堆積は現れていない。なお、巨大崩壊が発生するまでは、青く澄んでいたビリビリダムは、現在浮遊砂で濁っている状況である。

6 緊急対策計画について

パワカラエン山体崩壊による崩壊土砂量の1/3が、今後5年間程度で流出すると予想され、人家、田畑、公共施設等、特に南スラウエシ州地域の発展に不可欠なビリビリダムの大きな機能低下等著しい影響が懸念される。このため、当面、2004年から2008年の5年を対象に緊急に必要な対策計画（緊急対策計画）を提案した。

雨季（11月）までには期間が短く、この間に実施可能なハード対策は、崩壊地からビリビリダムまでの区間の砂防施設上流に貯まっている土砂の除石であると考えられる。中長期的な対策としては、破損している砂防施設の修復（写真4）、砂防えん堤の嵩上げおよび砂防えん堤の新設等が考えられる（写真5）。また、カルデラ内の湛水池の決壊を防止するための対策も必要であると考えられるが、カルデラ壁の拡大崩壊の可能性があるため、工事の安全性を十分検討した上で対策を実施する必要がある（写真6）。

緊急ソフト対策としては、維持管理費用を考慮すると、高度な情報機器の導入よりも人材を活用した目視による観測体制、現在パナイカンに設置されている雨量計のテレメータ化とその情報を州・県等を通して住民やNGOに伝達する体制等の整備が必要であると考えられる。

中長期的には、パナイカンだけではなく雨量計をカルデラ周辺に配置し、警戒避難体制を強化していくこと、ジェネベラン川下流の河床と比高差の少ない集落、人家などの精査が必要であると考えられる。

7 おわりに

今回のバワカラエン巨大崩壊に対する緊急調査にあたって、地元南スラウェシ州副知事、ゴア県知事やジェネベラン砂防コミュニティ（KOMUNITAS SABO JENEBERANG）の関係者に面会する機会を得た（写真7）。この機会を通じて、地元行政責任者は今回の災害がピリピリダムに大きな影響を与えることを懸念していること、また、地元住民は、



写真5 新設砂防えん堤の建設候補地点（崩壊土砂の堆積末端）



写真6 上空から見た湛水池の状況

災害からの一日も早い復旧、復興を熱望しているとともに、日本の砂防技術に関する協力を大きな期待を寄せていることを実感した。

さらに、報告書にもとづく公共事業本省におけるインドネシア側への調査結果説明のための会議においては、バスキ水資源総局長が会議を統括し、熱のこもった討議がなされた。この際のインドネシア側からの質問はピリピリダムの堆砂対策としてのパイパストネルの有効性、および、崩壊地点からダム地点までの約40kmの河道区間における土砂の自然調節機能の評価についてであった。前者についてはダム下流の河道区間への影響（河床上昇）、コスト面から有効ではないこと、後者についてはダム堆砂の将来予測において考慮されており、今後、モニタリングが必要であることが日本側から回答された。

バスキ水資源総局長は、今後の日本からの本格的技術協力、経済協力の実現に向けて調査団に対して、帰国後においてもさらなる協力・支援を要請し、会議は終了した。

今回の調査にあたって、南スラウェシ州政府、ゴア県、ジェネベラン川流域開発事務所、インドネシアSTC、ハサヌディン大学アグネス博士等関係者の皆様に大変お世話になったことに心から感謝するとともに、今回提案された緊急対策計画が早急に実施され、地域の活性化並びに安全確保が早期に図られることを心から祈念する。



写真7 地域住民によるジェネベラン砂防コミュニティ（KOMUNITAS SABO JENEBERANG）の設立式（6月23日）（左から5人目までがJICA砂防調査団）