

レイテ島地すべり災害の地形的特徴 Geomorphological Study of Leyte Landslide

地理地殻活動研究センター 小荒井 衛・佐藤 浩・神谷 泉

Geography and Crustal Dynamic Research Center

Mamoru KOARAI, Hiroshi P. SATO and Izumi KAMIYA

消防研究センター 新井場公德

National Research Institute of Fire and Disaster Kiminori ARAIBA

国土技術政策総合研究所 小山内信智・伊藤英之

National Institute for Land and Infrastructure Management

Nobutomo OSANAI and Hideyuki ITOH

要 旨

平成 18 年 2 月 17 日にフィリピン・レイテ島で発生した大規模地すべり災害に関連して、平成 19 年 1 月～2 月に、消防庁消防大学校消防研究センター、国土交通省国土技術政策総合研究所、国土地理院の 3 機関共同で現地調査を行った。国土地理院では、災害後の人工衛星リモートセンシングデータを使って地形計測等を行ったほか、災害前の地形を空中写真や地形図等を活用して把握して、今回の地すべり災害の地形的特徴を把握した。その結果、この土砂災害は地すべりではなく大規模山体崩壊による岩屑なだれと判断された。過去に何回か大規模な山体崩壊を繰り返していた可能性や、断層破碎帯の存在が素因として影響を与えた可能性が指摘できた。また、ALOS PRISM ステレオ画像を使って流れ山に着目して地形計測と地形解析を行い、各エリア毎の流れ山地形の大きさや長径卓越方向等に特徴があることが明らかになった。

1. はじめに

2006 年 2 月 17 日にフィリピン・レイテ島南部のサンベルナルド町で発生した大規模地すべり災害に関連して、各種衛星画像を使った地形的な特徴の把握と現地調査を行った。現地調査は、内閣府災害対策総合推進調整費「レイテ島地すべり災害における救援活動の実態と応援技術の性能調査」の予算を使い、平成 19 年 1 月 29 日～2 月 3 日に、消防庁消防大学校消防研究センター、国土交通省国土技術政策総合研究所、国土地理院の 3 機関共同で行った。

国土地理院は災害後の高分解能衛星画像を使って画像判読や地形計測を行い、今回の地すべり災害の地形的特徴を把握した。また、災害前の地形を空中写真や地形図等を活用して把握し、災害発生の地形的条件を検討した。現地調査では、衛星画像をジオコーディングするために、災害域周辺の道路交差点・橋梁等を GCP として GPS 測量を行った。また、土砂堆積域において現地地形計測と地形地質踏査を

行った。

一方、消防研究センターは、地上型レーザ測量による地形計測を行い、崩壊後の詳細な地形データを取得した。国土技術政策総合研究所は、崩壊土砂の挙動に関する検討として、二次的崩落発生時の土石流の数値シミュレーションに必要な地形情報の取得を行った。

2. 災害の概要

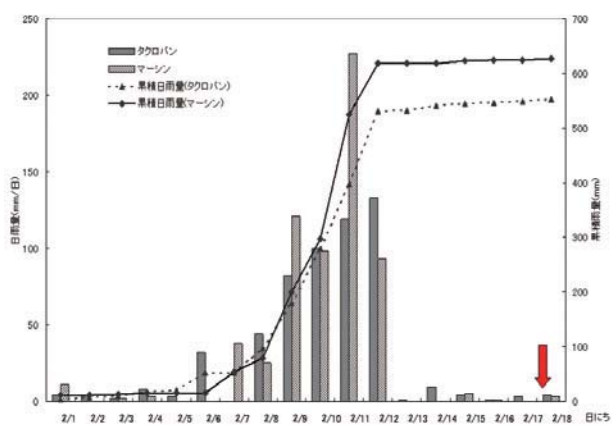
2006 年 2 月 17 日（金）10 時 36 分頃、南レイテ島サンベルナルド町ギンサウゴン・バランガイ（村）で、村の西側にある比高 800m に近い急崖が崩壊し、大規模な土砂災害が発生した。この土砂災害により村は完全に埋没し、死者 154 人、行方不明 990 人、救助された人 53 人（21 名は病院に搬送され、うち 2 名は搬送後死亡）という大惨事になり、住民のうち生存者は約 580 人であった（2006 年 3 月 20 日国家災害調整会議長のプレゼン資料による）。山体崩壊発生地の遠景を写した写真を図－1 に示す。



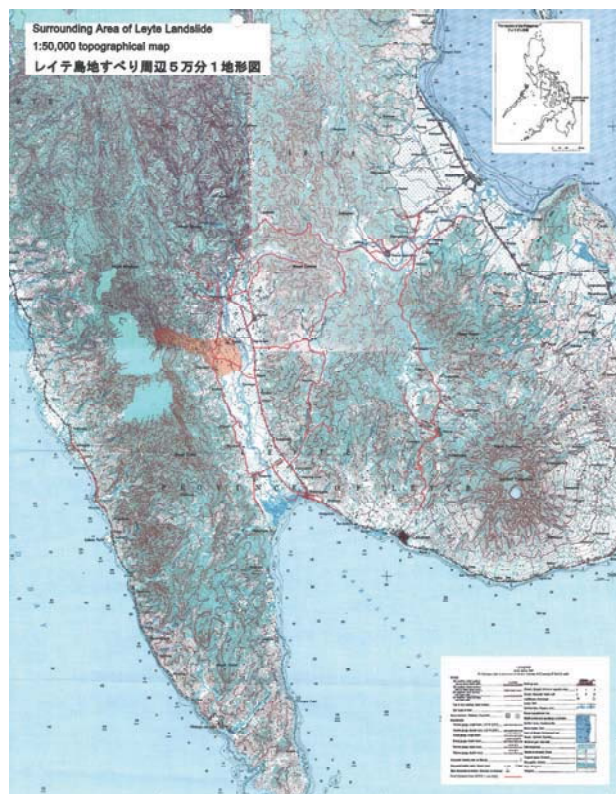
図－1 レイテ島山体崩壊の遠景

災害発生原因は、災害前に降った大量の降雨が誘因と考えられている。図－2 に災害発生前のレイテ

島都タクロバン及び被災地に近いマーシンにおける日雨量を示す。レイテ島では2006年2月1日より断続的な降雨が観測され、マーシンでは2月11日に最大日雨量227mmを記録している。また、災害が発生した2月17日までのマーシンにおける累積雨量は627mmに達している。また、タクロバンにおける最大日雨量は2月12日に133mmを記録している。なお、災害発生的前後に地震が観測されているが、災害との関連性については現時点では不明である（諏訪，2006）。



図－2 被災地付近における日別降雨量



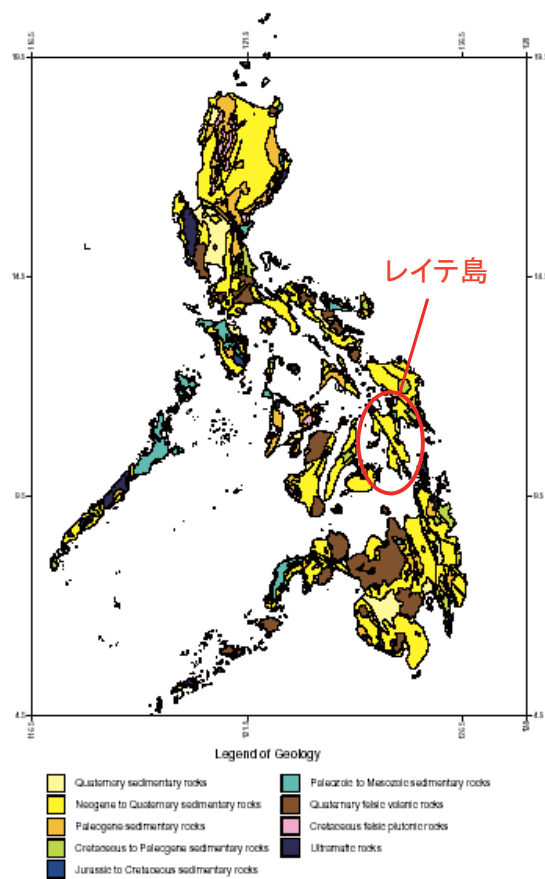
図－3 レイテ島地すべり周辺5万分1地形図

3. 現地の地形地質的な特徴

被災地の地形を把握できる情報として、「レイテ島地すべり周辺5万分1地形図」（図－3）がある。これはフィリピン測量局（National Mapping and Resource Information Agency : NAMRIA）が作成した5万分1地形図を基に、国土地理院が編集して作成したものである。一部等高線が白部となっていて記入されていないが、図化に使用した空中写真で山岳部に雲がかかっていたためと推測される。道路網等のデータは直近のものに修正してある。地すべりの位置については、米国太平洋軍司令部のwebサイト掲載写真から推定して記入してある。

調査地域の山地は全体として西に傾動する地塊を形成しており、分水嶺が東側に局在し東斜面は急崖を形成している。今回の大規模山体崩壊はその急崖で発生した。その急崖の基部に南北に延びる断層地形が明瞭に判読でき、フィリピン中央断層の延長部にあたる。

図－4にフィリピン地質図を示す（<http://tvipacific.com/main>）。この図によると、当該地域は新生代第三系～第四系の堆積岩と記載されている。被災地の地質については、上野・地下（2006）、佐々ほか（2006）など既存の報告があるが、上野・地下（2006）によると、崩壊源頭部は火



図－4 フィリピンの地質図

山角礫岩、デイサイト質凝灰岩、角閃石デイサイトなどの火山岩及び火山砕屑岩類から構成されている。現地調査では崩壊源頭部には行っていないが、堆積域並びにその周辺で行った地質観察によれば、ほぼ同様の地質となっている。

4. 今回の調査で収集した地形資料

今回の調査で収集した地形情報は以下の通りである。

4. 1 災害前の地形データ

・SRTM の DEM (90m解像度)

SRTM はスペースシャトル「エンデバー号」に搭載されたレーダにより、全世界の詳細な立体地形データを作成することを目的として 2000 年 2 月の 11 日間に渡って行われたミッションである。SRTM による 3 秒 (約 90m) 解像度の DEM が NASA の HP からダウンロード可能であり、そのデータを用いた。

・NAMRIA 地形図から作成した DEM (20m解像度)

NAMRIA が作成した 5 万分 1 地形図には 20m 間隔の等高線が描画されているので、これを数値化し 20m 解像度の DEM を生成した。数値化した等高線には欠測箇所があったため、その箇所については、90m 解像度の SRTM-DEM から共一次内挿法で 20m 解像度に標高値を内挿した。

・1950 年代の米軍空中写真 (2 コース)

コース 344 1952 年 7 月 16 日撮影 縮尺 1/34, 100

コース 345 1952 年 9 月 26 日撮影 縮尺 1/35, 900

NAMRIA で所有している米軍撮影の空中写真を使用した。NAMRIA には写真のフィルムはなく、画像データ (写真をスキャンしたもの) のみ保管していた。山地部は雲に覆われており、NAMRIA 5 万分 1 地形図の基になった空中写真と考えられる。

4. 2 災害発生後の人工衛星画像

・QuickBird 単画像パンシャープン

2006 年 4 月 16 日, 18 日撮影

地すべり発生後に撮影された QuickBird 画像の内、雲の少ない画像を 2 画像購入した。2 画像の雲の無い部分を組み合わせることにより、地すべり域全域とその周辺の集落の領域がカバーされる。直下視の解像度は 0.7m であるが、オフナディア角が 40° 以上と大きいので、実際の地上分解能は 1.5~2m 程度と考えられる。購入した 2 つの QuickBird 画像のうち、崩壊域と土砂堆積域がほとんど雲無く撮影されている 4 月 16 日の画像を図-5 に示す。

・ALOS PRISM 画像 (前方視, 直下視, 後方視)

2006 年 10 月 10 日撮影

国土地理院と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との共同研究協定に基づき、DEM 及びオルソ画像作成とその精度検証研究を目的として、JAXA から ALOS PRISM 画像を入手した。前方視, 直下視, 後方視のステレオ視可能な 3 画像からなる。

堆積域は判読可能であるが、崩壊部は雲下で判読不可能である。従って、PRISM ステレオ画像で DEM を作成して崩壊前の地形の DEM と差分をとっても、ALOS PRISM 画像のみで災害後の地形データが全てとれるわけではなく、崩壊量の算定は出来ない。堆積量の算定のみ可能である。



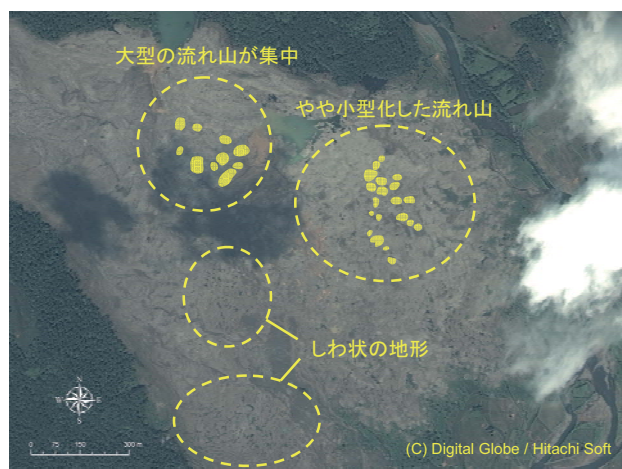
図-5 レイテ島地すべりの QuickBird 画像
(2006 年 4 月 16 日撮影)

5. 衛星画像判読と地形調査の結果

QuickBird 画像はカラー画像であるため各堆積域の色調の違いが明瞭である。大きく崩壊域・流送域・堆積域に 3 区分でき、単画像であるため高低感がつかみにくい。流れ山地形の存在も確認できる。また、崩壊域や流送域に巨礫が残っている様子も確認できる。流れ山地形は、概ね下流に行くほど大きさ (長径・短径) が小さくなってきており、流れ山堆積域の上流側では大型の流れ山が集中しているのに対し、下流側ではやや小型の流れ山が集中している (図-6, 7)。土砂堆積物の末端ではしわ状の地形が QuickBird 画像で確認できるが、これは流れ山がまとまって一連の帯状に配列したもので、凹部は冠水している (図-8)。一方、ALOS PRISM 画像は、分解能が 2.5m とやや粗く細かい地形の判読は困難であるが、実体視が可能であるため、流れ山地形等の高低感が決め手になる地形の判読は容易である。

また、土砂に埋もれて倒壊した建物等が現地で確認できたが、QuickBird 画像でもその存在は確認できる (図-9)。ただし単画像であるために、倒壊状況については画像だけでは判断困難である。一方、

ALOS PRISM 画像は、何らかの地物が存在することは判読できるが、それが倒壊した建物であることは判読不可能である。



図－6 QuickBird 画像の判読結果



図－7 小型の流れ山が集中



図－8 しわ状地形の現地写真



図－9 QuickBird 画像で確認できる建物被害

現地地形地質調査では、悪天候のため崩壊部については調査できず、流れ山堆積域について調査を行った。崩壊部の下部には三角末端面が連続することから、崩壊基部には活断層が存在することが確認できる。

いくつかの流れ山において、断面の地質構造を観察することが出来た。火山砕屑岩や火山岩塊等の元の火山体構造が確認でき、火山岩塊にはジグソークラックが認められる（図－10）。このような堆積物の特徴は、大規模山体崩壊による岩屑なだれ堆積物に見られるものである。従って、今回の土砂災害は地すべりではなく、大規模山体崩壊に伴う岩屑なだれと判断される。



図－10 流れ山の断面

6. 崩壊前の地形についての判読と考察

米軍空中写真の判読では、斜面崩壊が発生した急崖の基部に南北に延びる断層地形が明瞭に判読でき、フィリピン中央断層の延長部にあたる（図－11）。最も東側にある一番明瞭な直線上の構造は西側（山地側）落ちの断層形状を示し、最も西側の直線上の

構造は三角末端面が確認でき東側（平野側）落ちの断層形状を示している．従って，この断層帯自体，周りと比べて凹地状に落ち込んだ地形が直線上に連なっている．この断層の南方延長部にあたる国道で，2006 年 2 月 9～12 日の大雨で地すべりが発生し国道ごと崩落させている．この箇所の地質を観察すると，断層運動により断層角礫化や断層粘土化が進み，かなり脆弱な断層破碎帯となっている（図-12）．今回の大規模山体崩壊に対し，素因的に断層破碎帯の存在が影響を与えた可能性が高いものと考えられる．

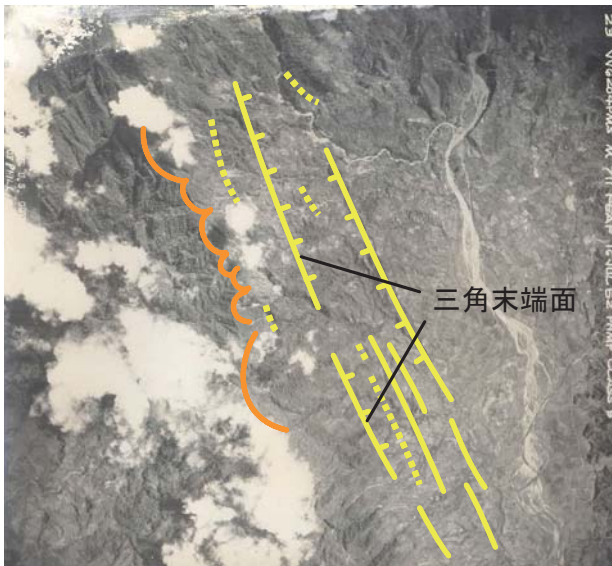


図-11 米軍空中写真の判読結果
オレンジ：旧崩壊地形
黄色：断層線（破線はリニアメント）

今回の大規模山体崩壊は崩壊壁の形状が「くの字」になっている．また，滑落崖付近には周囲の尾根と比較すると，比較的矩形に湾入した箇所が認められる．これらの形状は，既往の断層破碎帯が崩壊に影響を与えていた可能性を示す．また，空中写真の判読では，古い崩壊跡の滑落崖と思われる地形が，稜線上に連続して認められる（図-11）．

一方，国土技術政策総合研究所が地球観測衛星 Terra に搭載されたセンサー ASTER のステレオ画像から 15m メッシュの DEM を作成しているが，この DEM から発生させた等高線を見ると，今回被災しなかった平野部にいくつか円状に閉じた等高線が散見され，古い流れ山地形と判断される（図-13）．この地形は，NAMRIA の 5 万分 1 地形図の等高線では表現されていない．頻度等は明らかではないが，この地域が過去に何回か大規模な山体崩壊を繰り返していた可能性が示唆される．今後この地域の土砂防災を考える上では，この点も考慮する必要があると考えられる．



図-12 断層破碎帯の露頭

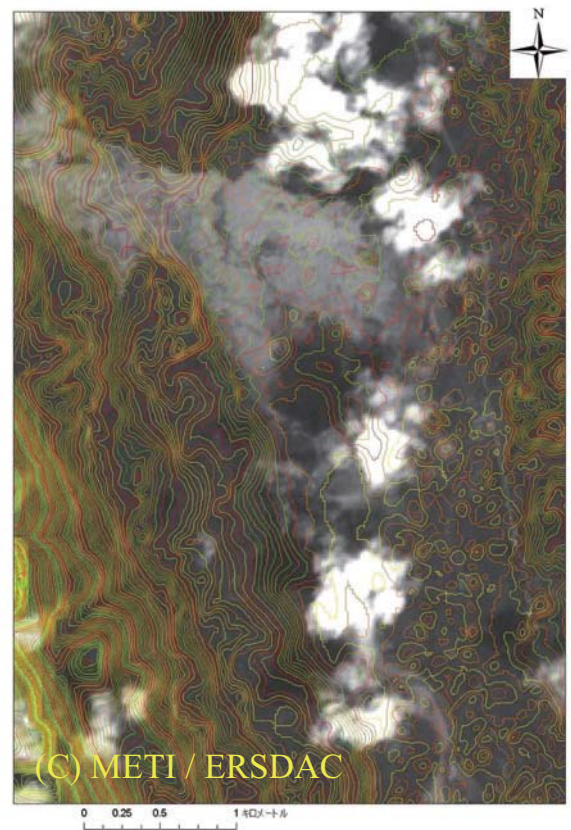


図-13 ASTER から作成した DEM による等高線図

7. 地上型レーザ測量による地形計測

消防研究センターで，地上型レーザスキャナ（Rieggle 社 LPM-2K）を用いて，崩壊後の地形計測を行った．図-14 は，国土技術政策総合研究所が SPOT5 と SRTM データを基に作成した崩壊前地形データの標高値から測量結果の標高を引いたものを示す．背景は崩壊前の等高線である．15m メッシュの DEM を作成し，両者の差を求めている．標高が低下した（浸食された）領域を青で，増加した（堆積した）領域を赤で示す．概ね標高 150m より上部で浸食域，