

日本工営（株）中央研究所 正会員 野原 昭雄

日本工営（株）中央研究所 正会員 石橋 晃睦

日本工営（株）中央研究所 馬 渕 泰

1. はじめに

近年、安全や防災に対する国民的関心が高まるなか、災害の状況を精度よく効率的に把握し、建設計画への影響を調査する手法の確立が求められている。

本研究では、海外の熱帯雨林地域での建設計画を対象に、衛星リモートセンシング技術と地理情報システム（以下 GIS）により、流域の土砂氾濫状態を把握する手法を検討し、流砂・堆砂特性および植生回復状況の調査を行い、建設計画を策定する際の基礎資料を作成したので、その結果を報告する。

2. 解析対象地の概要と解析データ

対象地域は、熱帯雨林気候に属し、山間部を除くと一年を通じて高温多湿である。陸域には広大な標高 4,500m 級の山脈が連なり、深い熱帯雨林（国土の約 80%が森林）、噴煙を上げる火山が分布している。

対象流域では、1993 年 10 月 13 日発生地震により山地斜面の崩壊を招き荒廃しているため、種々の建設計画に際しては、通常考慮する洪水位のみならず将来堆砂余裕を見込み、計画する必要がある。

本検討に使用したデータは、以下のとおりである。

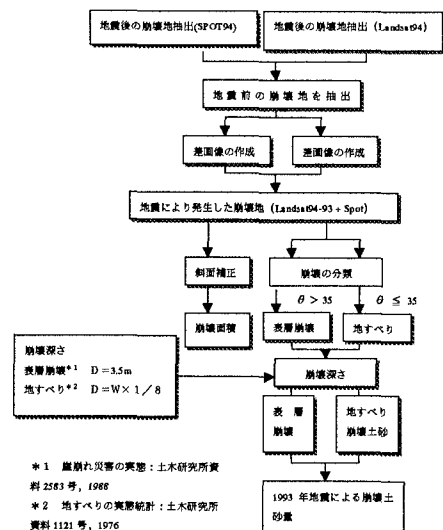
- ① ランドサットデータ（地上分解能 30m）： 1993, 19th, September (93'発生地震の前), 1994, 20th, July (93'発
生地震の9ヶ月後), 1996, 20th, April (93'発生地震の30ヶ月後) の3時期
- ② スポットデータ（地上分解能 10m）： 1994, 4th, April (93'発生地震の5ヶ月後)
- ③ 1/250,000 地形図： 地形モデルデータとして GIS 入力し、解析に使用
- ④ 現地踏査収集データ： 地震直後のヘリコプター写真、河床状況と山腹斜面の現地写真、気象条件資料等

3. 衛星リモートセンシングとGISによる崩壊面積と崩壊土砂量の算定

3.1 1993 年の地震による崩壊面積の算定

崩壊面積および崩壊土砂量の算定は、図1に示す手順により実施した。

本手法では、ランドサット画像のみで求めた崩壊地に加えて、より高分解能なスポット画像とランドサット画像を重ね合せ、GIS 上で統合することにより崩壊地を再抽出し、抽出精度を高めている。さらに、抽出した崩壊地について、斜面補正を加え、崩壊地面積（地表面の面積）を算出した。なお、画像で雲により被覆されている地区については、非被覆箇所の斜面勾配と崩壊地面積の比率を被覆地域に乘じ、崩壊地面積を算出した。計算結果より、全体の崩壊面積は約 21.5km² となり、流域の約 3% に及ぶことが判明した。



3.2 1993 年の地震による崩壊土砂量の算定

現地踏査収集資料より、1993 年の崩壊は明らかに表層崩壊と地すべりの 2 タイプの崩壊に区分できた。

図1 解析の手順

これらの2タイプは、その運動、崩壊深さ、崩壊が発生する斜面勾配も異なる。そこで、解析した衛星画像データを GIS に入力し、勾配が 35 度以下の緩い斜面で発生している崩壊を地すべり、勾配が 35 度より急な斜面で発生している崩壊を表層崩壊と区分し、分類した。この分類をもとに、画像データに斜面補正を加え、崩壊深を考慮し、崩壊土砂量を算出した。崩壊深は、表層崩壊の場合は深さ 3.5m と定義し、地すべりの場合はリモートセンシング画像から得られた崩壊のポリゴンの正方形（隣接する場合は、隣接するポリゴンの総面積の和の平方根をもつ正方形）の辺を地すべりの幅と定義し、深さを地すべり幅の 1/8 とし、球面状にすべり面が分布すると仮定し、算出した。

その結果、表層崩壊の崩壊土砂量は 59,230,000m³、地すべりの崩壊土砂量は 65,160,000m³ と計算され、1993 年の地震による崩壊土砂量は 124,390,000m³ と算出された。

4. 年間の流域からの流出土砂量の算定

崩壊した土砂は、その一部が崖すい性堆積物や崩積土類などの 2 次堆積物として、新たな緩勾配の地形を形成し、その一部は流域に長い時間をかけて流出することになる。そのため、前項で算出した 1993 年の地震により発生した崩壊土砂量のすべてが 1 年間で流域に流出するわけではない。本検討では、溪流における年間の土砂流出量について、土砂は定常的に流域に流入し、流水の力により流出するという考え方に基づき、流出土砂量 (E) を式(1)のように定義し、算定した。その結果、対象流域の 1994 年での年間流出土砂量は、1,969,000 m³ と計算された。

$$E = E_s + E_f + E_{se} \quad \text{式 (1)}$$

このとき、E:年間流出土砂量
E_s:年間表面浸食量
E_f:年間崩壊土砂量
E_{se}:年間溪岸浸食量で表すことができる。

5. 植生回復状況

熱帯雨林地域での表層崩壊の場合、植生回復の速度は非常に速い。このことは、この地域が過去から定常的に地震に見舞われているにもかかわらず、地震直前の 1993 年の衛星画像で崩壊地が少なく流域のほとんどが森林で被覆されていることから推察される。

ここでは、地震後 2 時期のランドサット画像の大気補正を行い、同条件で 2 時期間の比較を行うことのできる画像に変換し、NDVI（正規化植生指標）を算出した。さらに、崩壊後の NDVI の回復過程の予測を式(2)のミツチャーリッヒによる植生回復予測式を用いて行った。

$$\Delta NDVI = M (1 - e^{-kt}) + NDVI_0 \quad \text{式 (2)}$$

t: 植生回復開始後の経過時間
M: NDVI の最大変動幅
k: 回復速度に関する定数
NDVI₀: 崩壊直後の NDVI 値

本計算により、1993 年の地震により発生した崩壊地は、20 年後に NDVI 値が元の森林と同じような状態に戻るという結果が得られた。このため、崩壊地からの流出土砂は 10 年程度まで漸時低下し、20 年で地震前の状態に戻ると考察される。

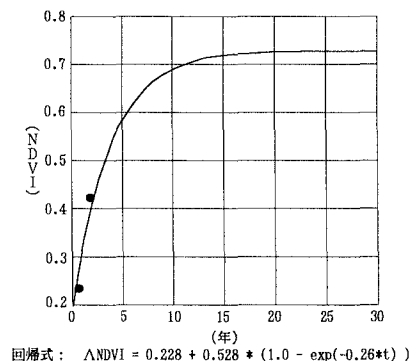


図 2 NDVI 回復曲線

6. まとめ

衛星リモートセンシング・GIS の統合化により、流域からの流出土砂量の定量把握および植生回復状況調査を効率的、効果的に実施することが可能となった。建設計画において、得られた土砂氾濫状況を基に、将来の土砂堆積深を考慮したプロジェクトの推進を可能とした。

参考文献

- 1) 本多潔, 村井俊治, 柴崎亮介: リモートセンシングを用いた足尾銅山の治山事業の効果予測, 日本写真測量学会秋季学会予稿集, 1993
- 2) 秋谷孝一: 生産土砂量について, 新砂防 107 号, 1978
- 3) 住宅・都市整備公団南多摩開発局, (財) 日本緑化センター: 多摩ニュータウンにおける緑化と大気熱環境, 1995
- 4) (社) 日本測量協会: 図解リモートセンシング, 1992
- 5) 水理公式集