

2004 年三重県宮川村および徳島県木沢村の斜面崩壊プロセス

藤田正治・里深好文*・堤大三・多田泰之

* 京都大学大学院農学研究科

要 旨

2004 年は多くの台風が日本に上陸し、各地に甚大な土砂災害を引き起こした。ここでは、その中から台風 10 号による徳島県木沢村および台風 21 号による三重県宮川村（現大台町）での斜面崩壊等の土砂移動現象に着目して、それらの発生メカニズム、土砂移動現象の特性などについての調査結果と解析結果について述べる。とくに、現地で観測された段階的崩壊プロセス、地下の集水構造と土砂移動の関係、崩壊過程の違いによる天然ダムの規模の違いについて焦点を当てて報告する。

キーワード：土砂災害，斜面崩壊，地すべりダム，土砂流出，侵食

1. はじめに

徳島県は2004年7月末から8月2日にかけて、台風10号による豪雨に見舞われ、徳島県木沢村付近では8月1日0時時点の72時間半減実効雨量値が350mm～500mmになり、このような豪雨で那賀川上流域に大規模な斜面崩壊が発生した。これらについては日浦ら(2004)の調査報告に詳しく述べられている。一方、三重県宮川村（現大台町）の宮川流域では、2004年9月29日に台風21号による豪雨が発生し、宮川村明豆では5時から11時までの連続降雨量が318mmに達した。このため宮川本川および支川流域に、多くの崩壊、土石流などが発生して多大な被害が生じ、死者行方不明者は7名に達した。これについては林ら（2004）が詳細に述べている。

このような崩壊などの土砂移動現象に対するハザードマップを作成するための研究や技術はある程度のレベルに達していると考えられるが、個々の斜面の崩壊危険性、崩壊条件、崩壊プロセスなどに対しては、まだ十分に答えられるレベルでは

ないと思われる。したがって、今後、そのような情報も提供できるようにハザードマップを高度化する必要がある。

本研究は、このような観点から、三重県宮川村および徳島県木沢村での特徴的な崩壊・土砂移動現象を題材にして、崩壊プロセス、土砂移動プロセス、地すべりダムの形成プロセス、地下水の集水構造などに関する現地調査を行い、解析した結果について報告するものである。

2. 三重県宮川流域の土砂災害

2.1 概要

宮川流域では多くの崩壊や土砂移動現象が起こったが、その特徴の一つは、平衡または凸型斜面に崩壊が多く見られることである。これは降雨がいかに強かったかということ物語っているとも言える。また、崩積土層が影響していると思われる土砂移動現象や基岩構造の形状が影響していると思われる崩壊現象があった。そこで、その中から、小滝、雲母谷支川、宮川ダム下流の崩壊や土砂移

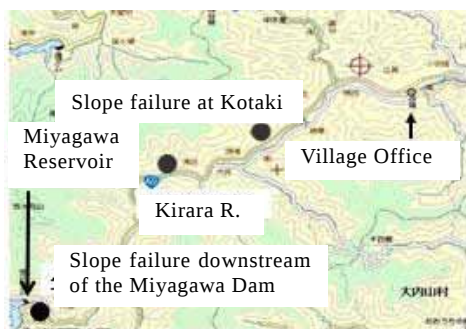


Fig.1 Miyagawa River Basin and the location of slope failures

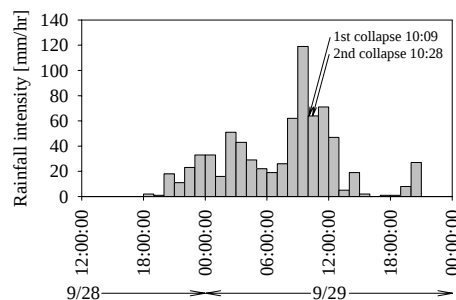


Fig.2 Rainfall intensity

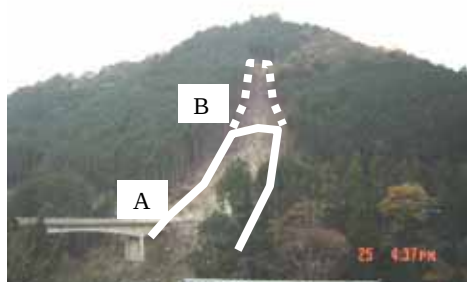


Photo 1 Slope failure at Kotaki

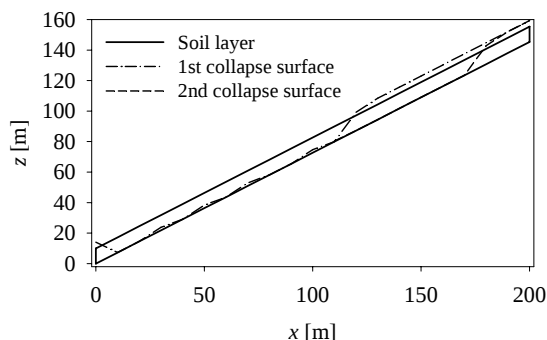


Fig.3 Simulation results of slope failure process



(a) Collapsed area



(b) Soil structure



(c) Colluvium layer

Photo 2 A tributary of the Kirara River

動現象を取り上げて、それらの特性について検討する。各崩壊地点の位置を Fig.1 に、時間降雨量の変化を Fig.2 に示す。

2.2 小滝の崩壊

Photo 1 は小滝における崩壊の様子を示したものである。この崩壊の発生の様子は宮川対岸の住民の一人が目撃しており、それによると、降雨ピーク時の 10 時頃に写真の A のあたりの木が急に揺れだしその部分が崩壊し、左下に見える橋梁の中ほどまで崩壊土砂が堆積した。その後暫くして気がつくと B の部分が崩壊していたとのことである。このような段階的崩壊がこの特徴の一つである。また、この斜面はわずかに凹型地形であるが、ほぼ平衡斜面である。崩壊の規模と地盤構造については、林ら(2004)が詳細に調査している。それ

によると、崩壊規模は平均幅約 20m、水平長さ約 170m、最大深さ約 2m で、斜面勾配は $35^{\circ} \sim 38^{\circ}$ である。また、彼らは崩壊源頭部の基岩上部に湧水があると報告している。

さて、ここでは、このような集水面積の小さい平衡斜面が今回の降雨条件で崩壊するのか、また、目撃された段階的な崩壊が再現できるのかということに焦点を当てて、この斜面の模擬斜面に対して崩壊の再現計算を行う。崩壊プロセスには地質条件や基岩形状が影響していると考えられる。一回目の崩壊と二回目の崩壊の境界部分に地盤条件の遷移点があるとも考えられる。しかし、ここでは、これらの条件を一様とした場合でも段階的崩壊が生じるか生じないかについて検討する。シミュレーションは飽和不飽和浸透流解析とヤンプ法による斜面の安定解析に基づくものであり、すべ

り面の探索は最小安全率の位置を動的計画法を用いて求めることにより行う。

計算条件は、斜面勾配 36° 、水平斜面長 200m、土層厚 2mとし、透水係数、内部摩擦角および粘着力は一般的な値としてそれぞれ 0.01cm/s 、 27.5° 、 1.0tf/m^2 とした。また、土壌水分特性曲線は一般的な森林土壌に対するものを用いた。Fig.3 はシミュレーション結果を示したものである。この図に示すように、斜面の中間より少し上側で降雨のピーク時付近に最初の崩壊が起こり、その後すぐに 2 回目の崩壊が起きている。このように、地盤特性が一般的な条件でも、段階的な崩壊過程が再現されており、崩壊発生時刻や発生場所もほぼ実際と一致している。しかし、調査によると基岩形状は一般的なものではなく、これが段階的崩壊に影響していることも十分考えられるので、この点については今後検討する必要がある。

2.3 雲母谷支川

Photo 2(a)は雲母谷の支川において発生した土砂移動の上流端の様子を示したものである。この崩壊面上流側にはほぼ平衡形状の斜面が続いている。(b)は侵食面の土層構造、(c)はそこに見られた透水性の高い崩積土層を示したものである。Fig.4 は土砂移動の上端の侵食部付近の縦断形状と土層の構造、図中の断面 2 の崩壊前後の横断形状、それより下流の河道断面 1 の崩壊前後の横断形状を示したものである。崩壊面付近の縦断図は河道方向に引き伸ばした図になっているので、実際にはもっと切り立った崖になっている。

谷の出口では多量の土砂堆積が見られたので、最初は上流に大きな崩壊が発生したものだと思われたが、上流端まで調査すると、むしろ、流水による侵食による土砂流出が顕著に起こったのではないと思われる。2004 年の災害前、この支川は出

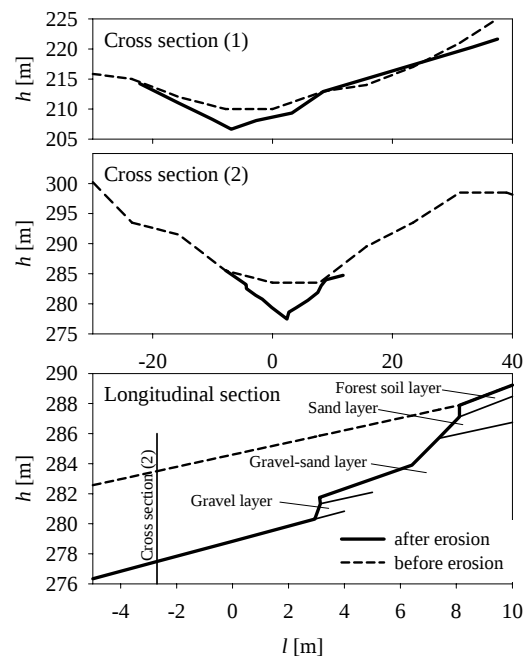


Fig.4 Longitudinal bed profile at collapsed area and lateral bed profiles before and after the sediment /mass movement in 2004

口付近でもそれほど深い渓谷ではなく、上流に行くにしたがって浅い谷地形となっていた。今回の土砂移動は、この谷が上流に遡上しながら谷を深くするような河道侵食が起こったものと考えられる。Fig.4 によると侵食深は上流端で 5m 程度、その他で 2, 3m である。

このような侵食現象には、写真に示したような崩積土層が重要な役割を發揮したものと推測される。Fig.4 によると土層構造は、50cm 程度の森林土壌の下に 1.5m 程度の細粒成分からなる土壌があり、その下に 2m 程度の礫と砂の混ざった層がある。さらにその下 1m 程度の厚さで礫からなる層がある。Photo2(c)はその礫層を示したものである。すなわち、崩積土は粒径 5cm 程度の礫と砂、

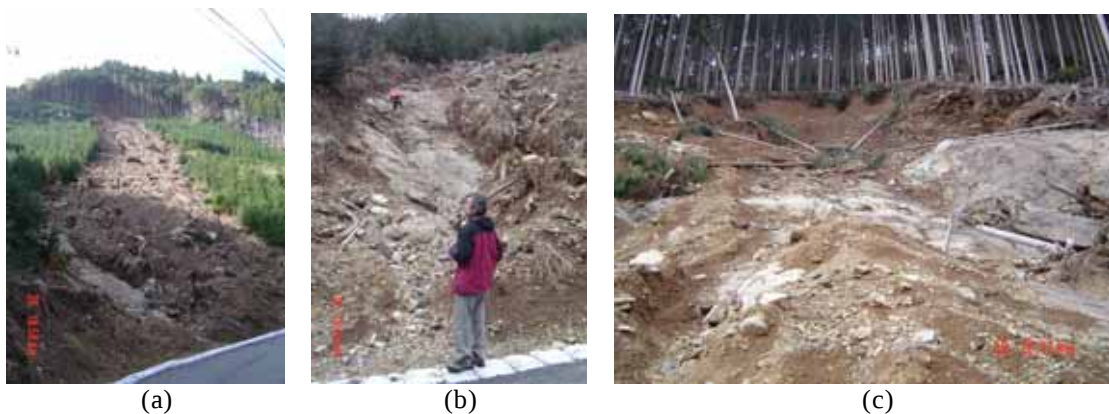


Photo 3 A slope failure near Miyagawa Reservoir

粘土で構成されているが、崩壊面の河床から 1m 程度までの層には砂成分がほとんど含まれていなかった。これは、飽和水帯がこの高さまで形成され、ここから多量の水が河道に供給され、この層の細粒成分が流出したものと考えられる。また、この水の供給がこの谷の土砂流出を引き起こした大きな要因であると考えられる。

2.4 宮川貯水池下流

宮川貯水池下流の崩壊は Photo 3(a)に示すような平衡型斜面で起った。(b)は斜面の下端の様子、(c) は崩壊部の様子を示したものである。Fig.5 は斜面の縦断形状と基岩の推定位置、断面(1)～(3)における横断形状を示したものである。下端から断面 2 までは基岩が凹状を呈しており、断面 2 から崩壊地点の断面 3 までは基岩が露出し、表土がほとんどない。

崩壊が起こったのは斜面上端の Photo 3(c)の部分だけである。この写真によると、崩壊面の下端には露出した基岩があり、この上部の基岩形状は凹型となっている。露出した基岩の下側の基岩の勾配は大きくなっている。このような基岩形状による集水特性がこの崩壊の発生要因の一つであると考えられる。Fig.5 の横断図によると崩壊深は 7,8m 程度である。

Photo 3(a), (b)に示すように、侵食を受けた斜面の部分は基岩が露出している。Photo 4 は斜面にできたガリを下流に向かって写したものである。ガリの底面はほぼ基岩まで達しており、ガリの上部部を見ると、雲母谷の場合と同じような崩積土層からの湧水があったと思われる痕跡があった。Photo 3(b)を見ると、基岩が横断方向にすり鉢状になっていることがわかる。地表面は平衡型であるがこのような基岩形状のため地下水が基岩の最深部に集中し、このため、地下水が集中し、これによりガリが発達したのではないかと推測される。Fig.5 の縦断図によると、基岩は縦断的にも凹型であり、断面 1 では厚い崩積土が深く侵食され、断面 2 や下端では浅い表土層が浅く侵食されている。

3. 徳島県木沢村の土砂災害

3.1 概要

2004 年 7 月末に徳島県那賀川流域を襲った台風 10 号は、1300mm を越える雨量をもたらし、数多くの山腹崩壊を引き起こした。このような山腹崩壊は時として地すべりダムを形成する。そこで、



Photo 4 A gully on the slope near Miyagawa Reservoir

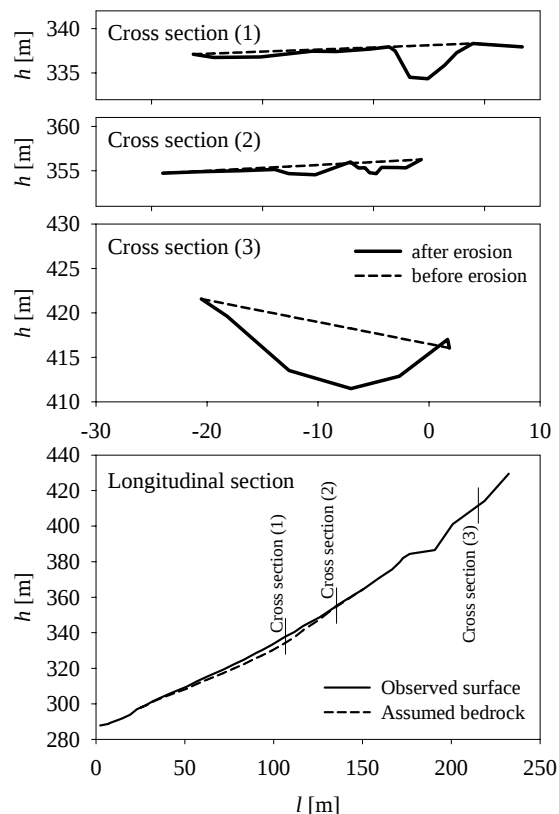


Fig.5 Longitudinal and lateral profile of the slope near Miyagawa Reservoir

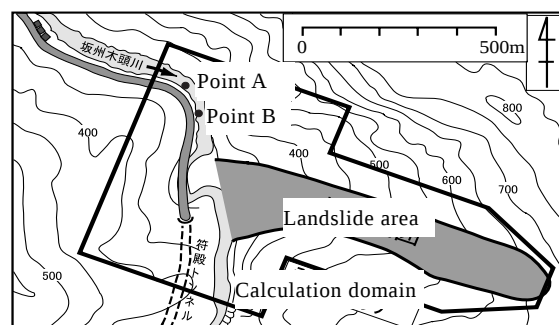


Fig.6 Landslide at Azue

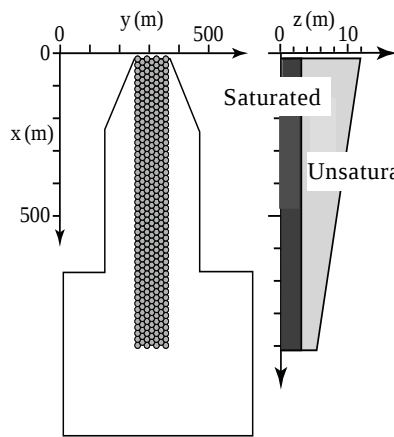


Fig.7 Initial slope condition

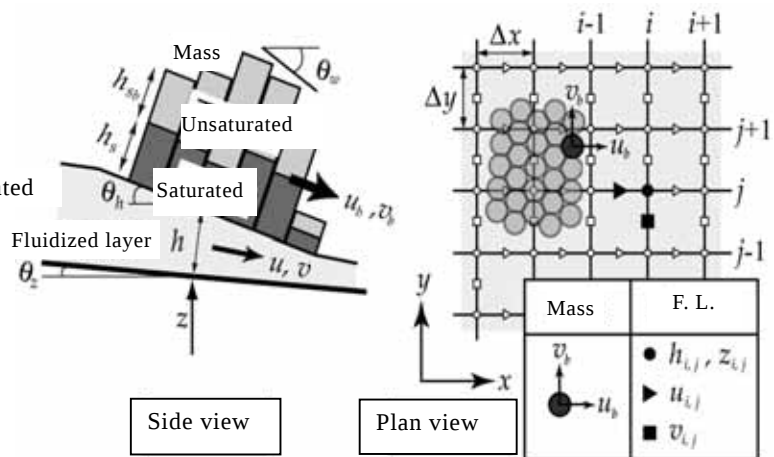


Fig.8 A debris flow model

台風 10 号の際に木沢村阿津江地区において発生した地すべり型の大規模崩壊を対象として、地すべりダムの形成過程に関する数値シミュレーションを行うとともに、斜面崩壊過程の違いが地すべりダムの形成に与える影響を明らかにする。

3.2 数値シミュレーション

Fig.6 に示すように、阿津江地区の崩壊は長さ 1000m、幅 100m を越える巨大なものであった。ここでは、この崩壊によって生じた土塊が斜面を流れ下り、河道上に堆積する過程をハイブリッド土石流モデル（里深，2005）によって解析する。

ハイブリッド土石流モデルは有限差分法による土石流の 2 次元汜濫堆積モデルと、土塊の運動をラグランジュ的に解析する手法とを組み合わせたものであり、平成 15 年に水俣市で発生した土石流の再現計算にも用いられている。崩壊土塊は Fig.8 に示すように複数の円柱ブロックの集合体として表されるものと考え、各円柱の下部は侵食可能な飽和土、上部は侵食されない不飽和土で構成されるものとしている。円柱底面に作用するせん断力により、土塊の飽和土は侵食されて流動層を形成する。この流動層の運動に関しては一般的な土石流と同様の 2 次元解析を行い、土塊の運動に関しては底面のせん断力と円柱間の相互作用及び重力を考慮して解析している。

観測結果（日浦ら，2004）を基に崩壊土塊の初期形状を Fig.7 のように設定した。飽和層の厚さに関しては、総雨量が 1300mm を越えていたことと、降雨の末期に崩壊が生じたことなどを考慮して 3m とした。土石流の計算グリッドは一辺 20m の正方形で、円柱ブロックの直径は 19.4m、土塊の容積濃度は 0.5、粒径は 5mm、計算の時間ステップ

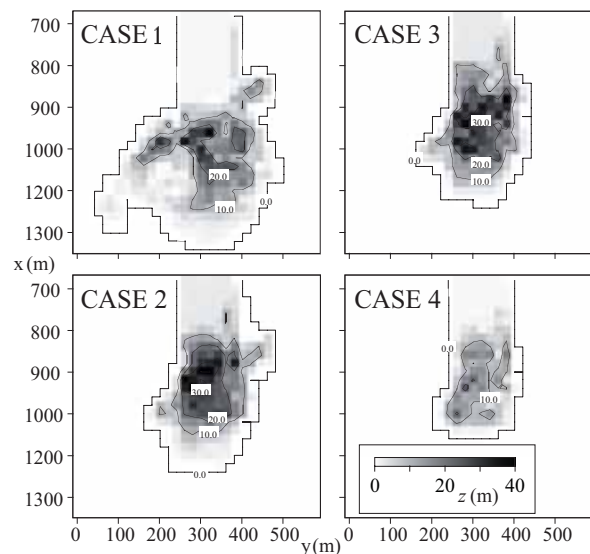


Fig.9 Final sediment deposition depth

は 0.02 秒とし、土塊の移動速度が 2m/s 以下になれば停止・堆積するものとしている。

計算は崩壊の発生パターンを変化させて 4 ケース行った。CASE 1 では土塊が一斉に滑動を始めるものとし、CASE 2～4 では縦断方向に 1/3 ずつ分かれて崩壊が発生するものとした。崩壊発生インターバルは CASE 2 では 20 秒、CASE 3 では 100 秒である。CASE 4 では十分な間隔をあけて崩壊が発生した場合を想定して、全ての崩壊発生時に初期河床形状を与えている。

Fig.9 に各ケースの最終的な土砂堆積厚さの空間分布を示している。CASE 1 では他のケースに比べ崩壊土砂が広い範囲に到達していることが分かる。崩壊土砂は対岸を 100m 以上かけあがり、幅 400m 以上にわたって谷を埋めている。CASE 2 と CASE 3 は似通った結果となり、土砂が広がる範囲は CASE 1 に比べて小さくなるものの、天然

ダムの高さは CASE 1 よりも高くなっている。
CASE 4 では上部 1/3 の土塊のみが堆積するため、
天然ダムの規模は小さなものとなる。

4．おわりに

最後に、得られた結果と今後の検討事項について整理する。

- (1) 2004 年の宮川村の土砂災害では、平衡斜面や凸斜面に多くの崩壊が見られた。この要因には凹型の基岩形状や水みちの存在が挙げられる。
- (2) 段階的崩壊が起ったことが現地で確認されたが、シミュレーションの結果、一様な場を想定してもそのようなプロセスが起こりうることがわかった。さらに、地形的要因も加えた解析は今後行う予定である。
- (3) 一口に斜面崩壊といっても、崩壊、地下水の集中による湧水の発生、斜面の侵食または崩土の土石流化といった素過程がそこに含まれているので、これらのことが一つのプロセスとして解析できるようなモデルの開発が必要である。
- (4) ハイブリッド土石流モデルによる天然ダムの

形成過程に関する計算から、崩壊の発生プロセスが天然ダムのサイズに大きな影響を与えることが判明した。

- (5) 崩積土層や基岩形状による地下水の集水特性が崩壊の発生や侵食に影響していることを推察したが、今後シミュレーションを通してこれらのことを実証する予定である。

参考文献

- 里深好文(2004)：ハイブリッド土石流モデルによる平成 15 年水俣市集川の土石流に関する再現計算，水工学論文集，第 48 巻，pp.925-930.
- 林拙郎・土屋智・近藤観慈・芝野博文・沼本晋也・小杉賢一朗・山越隆雄・池田暁彦(2004)：2004 年 9 月 29 日，台風 21 号に伴って発生した三重県宮川村の土砂災害(速報)，砂防学会誌，Vol.57 No.4，pp.48-55.
- 日浦啓全・海堀正博・末峯章・里深好文・堤大三(2004)：2004 年台風 10 号豪雨による徳島県木沢村と上那賀町における土砂災害緊急報告(速報)，砂防学会誌，Vol.57 No.4，pp.39-47.

Slope Failure Process in Miyagawa Village and Kisawa Village in 2004

Masaharu FUJITA, Yoshifumi SATOFUKA*, Daizo TSUTSUMI, Yasuyuki TADA

*Graduate School of Agriculture, Kyoto University

Synopsis

In 2004 a lot of typhoons attacked the Japanese Islands and they caused a lot of sediment related disasters. Among them, we have investigated the sediment disasters in Miyagawa Village by Typhoon 21 and in Kisawa Village by Typhoon 10 and collected the information on the process of some slope failures and the characteristics of bedrock feature. In this paper, we analyzed the water movement in the slopes and its role on the slope failure, the phased failure process observed in Kotaki, the influence of the phased failure on the formation of landslide dam. As a result, a numerical simulation could explain the phased slope failure in Kotaki, and a hybrid-debris flow model could show such a slope failure process produce the difference of height, width and length of landslide dam.

Keywords: Sediment disaster; Slope failure; Landslide dam; Sediment runoff, Erosion

