

斜面崩壊プロセスが土砂流出に与える影響に関する研究

INFLUENCE OF SLOPE FAILURE PROCESS ON FLOOD AND
SEDIMENT RUNOFF IN A MOUNTAIN RIVER

里深好文¹
Yoshifumi SATOFUKA

¹正会員 工博 京都大学助教授 農学研究科森林科学専攻 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

A heavy rainfall often causes slope failures and landslides. The earth mass produced by a large scale slope failure buries a valley, and sometimes forms a landslide dam. Water and sediment runoff process in the river channel are strongly affected by the formation and deformation of landslide dams. In a report of the natural disaster 2004, the earth mass sometimes breaks into several blocks, and each block starts to move separately. Such slope failure process seems to influence on the landslide dam formation. I apply 2-D hybrid debris flow model to the landslide dam formation process, and investigate the influence through the calculations in different occurrence timing of slope failure. The model was proposed to explain the runoff process of the soil block including the fluidization phenomenon, which is composed of the usual two-dimensional debris flow model and a tracking model for soil block movement as solid. The deformation process of landslide dam and the water and sediment runoff process are calculated by a usual two-dimensional bed variation model.

Key Words : Slope failure, landslide dam formation, debris flow, sediment runoff

1. はじめに

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¹⁾。このような山腹崩壊は時として天然ダムを形成し、山地流域における水と土砂の流出過程に対して大きな影響を及ぼすと考えられている。一般には天然ダムの崩壊や急激な侵食に伴って、大規模な洪水が発生

する場合があるとされ、これまでもいくつかの災害事例²⁾が報告されている。2004年台風10号の際、徳島県木沢村阿津江地区においては地すべり型の大規模崩壊が発生した。図-1および写真-1に示すように、この崩壊は長さ1000m、幅100mにおよぶ巨大なものであり、斜面の下流端是那賀川支川の坂州木頭川に接続している。災害後、著者は現地調査¹⁾を行った。崩壊土は対岸の道路橋を破壊したものの、対岸への乗り上げ高さは30m程度



図-1 徳島県木沢村阿津江地区における斜面崩壊



写真-1 阿津江地区における斜面崩壊

にとどまっていた。また、大規模な天然ダムが形成された痕跡も認められなかった。この数km下流には川沿いに村役場があり、大規模な天然ダムの崩壊に伴う大洪水が発生していれば、さらに大きな被害が生まれる可能性があったであろう。著者は崩壊の発生が段階的に進んだことが大規模な天然ダムが形成されなかった理由ではないかと考えた。藤田・堤³⁾によると、斜面崩壊は必ずしも全体が一斉に動き出すとは限らず、崩壊する構成材料の特性および降雨条件によっては、下流側からいくつかのブロックに分かれて、順次動き出すことが示されている。

そこで本研究では、2次元ハイブリッド土石流モデル^{4),5)}を用いて、地すべり土塊が3つのブロックに分かれて崩壊する場合について、天然ダム形成過程に関する数値シミュレーションを行った。このモデルは有限差分法による土石流の2次元氾濫堆積モデルと、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る。この解析を通じて、崩壊発生のタイミングが天然ダムの形成過程に与える影響が明らかにされている。さらに、2次元河床変動モデル⁶⁾を用いて天然ダムの侵食過程に関する数値シミュレーションを行い、崩壊過程の違いが本川の洪水・土砂流出に与える影響を明らかにしている。

2. 2次元ハイブリッド土石流モデルによる木沢村阿津江地区における崩壊の再現計算

(1) 阿津江地区で発生した崩壊の概要¹⁾

図-1に示したように、台風10号に伴う2004年7月31日から8月2日の豪雨によって引き起こされた阿津江地区の崩壊は、長さ1000m、幅100m、深さ5m~15m、移動土量100万 m^3 におよぶ巨大なものであった。徳島県上那賀町の四国電力海川観測点では8月1日の日雨量が1317mmに達したという¹⁾。災害直後の調査によると、崩壊土砂は対岸の道路橋を完全に破壊し、対岸斜面を谷底から30mの高さまで乗り上げていることが分かった。崩壊箇所周辺に天然ダムの痕跡は認められず、数100m上流にある川沿いの民家も浸水被害を受けていないことから、崩壊土砂の大部分は大規模な天然ダムを形成することなく、下流へ流出したものと考えられる。なお、崩壊斜面上にはほとんど土砂は残されていなかった。崩壊は深夜に発生したと考えられ、目撃者はいなかった。

(2) ハイブリッド土石流モデル^{4),5)}

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次元氾濫堆積モデルと、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る。崩壊土塊は図-2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

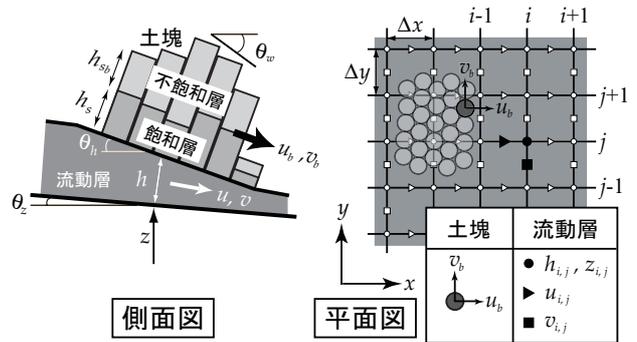


図-2 ハイブリッド土石流モデルにおける定義図

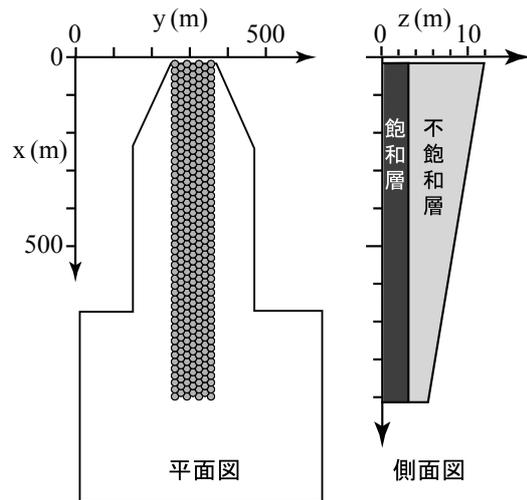


図-3 初期状態における土塊の形状

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（引力あるいは斥力および摩擦力）及び重力を考慮して解析している。流動層（土石流）の濃度は変化しないものとし、通常の土石流の解析で行われるような侵食・堆積速度を用いた侵食・堆積の計算は行っていない。ただし、円柱や流動層の速度が十分に遅くなった場合には、その地点に堆積するものとしている。

(3) 計算条件

観測結果¹⁾を基に崩壊土塊の初期形状を図-3のように設定した。現地の崩壊前の地形を基に、崩壊土塊の高さ分だけ地盤高を下げた斜面（基盤面）を作成した。初期状態においてはこの斜面上に崩壊土塊が静止状態で存在するものとし、後述するタイミングで崩壊が発生した後の土塊の運動と流動層の運動を追跡している。飽和層の厚さに関しては情報が得られないが、単純に総雨量1300mmの降雨が全て基岩面上に湛水し、土層の空隙率が0.5であるとする、飽和層の厚さは2.6mになる。実際には、降雨以前の地下水の状況や集水地形の影響、不飽和と浸透過程などを考える必要があり、飽和層がどのよう

な厚さであったかを予想することは容易ではない．そこで本論においては，前述の飽和層厚より若干厚い13mの飽和層を仮定した．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5cm，計算の時間ステップは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．なお，円柱ブロックのサイズや停止する速度については，計算を実行しやすい適当な値を設定しており，明確な根拠はない．

崩壊の発生プロセスが天然ダム形成過程に与える影響を明らかにするため，崩壊の発生パターンを変化させて計算を行った．各ケースの計算条件を表-1に示す．CASE 4では十分長い崩壊発生時間間隔であった場合を想定して，3度の崩壊発生時に河道内には土砂が堆積していない，すなわち初期河床状態であるとしている．なお，本計算においては簡単のため本川の水流は存在しないものとしている．

表-1 崩壊発生に関する計算条件

	崩壊の形態	崩壊発生間隔
CASE 1	全体が一度に移動開始	20秒 100秒 十分に長い
CASE 2	1/3ずつ順に移動開始	
CASE 3	1/3ずつ順に移動開始	
CASE 4	1/3ずつ順に移動開始	

(4) 計算結果と考察

図-4に各ケースの最終的な土砂堆積厚さの空間分布を，図-5に崩壊の中心軸に沿った最終堆積形状を，図-6に崩壊土塊の流動・堆積過程に関する平面図を示している．これらを見ると，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

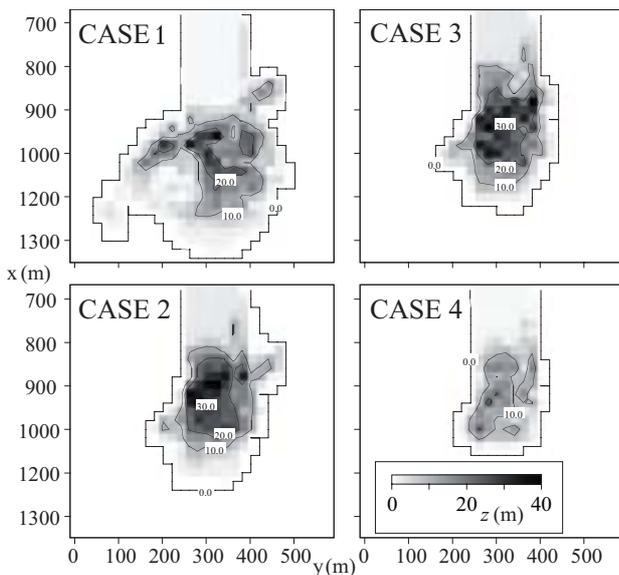


図-4 土砂堆積厚さの空間分布

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CASE3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っている．これらのことから，崩壊発生のタイミングを変えることによって，形成される天然ダムの形状に大きな変化が生じることが明らかになったといえよう．

前述のように，阿津江の崩壊においては，崩壊地点の上流の河道脇に立っている住居は浸水による被害を免れていた．また，崩壊土砂の対岸へのかけあがり高さは30m程度であった．これらのことから，崩壊土砂はいくつかのブロックに分かれて，十分な時間間隔をあげながら河道に到達したものと推測される．

3. 2次元河床変動モデルによる天然ダム侵食過程に関する数値計算

(1) 計算方法と計算条件

図-4に示された各ケースの天然ダムの最終形状を初期条件として，2次元河床変動モデル⁶⁾を用いて天然ダムの侵食過程に関する数値シミュレーションを行った．計算に用いたモデルは掃流砂を対象としており，流路の側岸侵食や局所勾配が安息角を越えることによる小規模な崩落は考慮しているが，天然ダムのすべりによる破壊は考慮していない．

上流端からは一定の供給流量(300m³/s)を与え，土砂の供給はしていない．粒径は5mm，計算グリッドは一辺20mの正方形，計算の時間ステップは0.2秒である．なお，計算領域の流入部と流出部には急勾配の直線水路を設定している．

(2) 計算結果と考察

2. のCASE 3の最終河床形状を初期条件とするCASE 3-Eにおける河床形状の時間的変化を図-7に示している．図-8には旧河道中心線に沿った天然ダム縦断形状の時間的変化を示している．これらを見ると，天然ダムの下流側斜面が侵食され，次第に天然ダムの高さが低くなっていく過程が表現できていることが分かる．

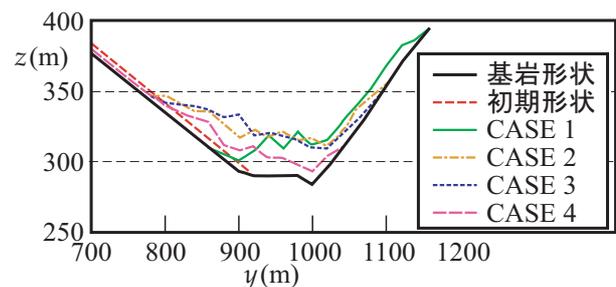


図-5 崩壊中心軸に沿った堆積形状

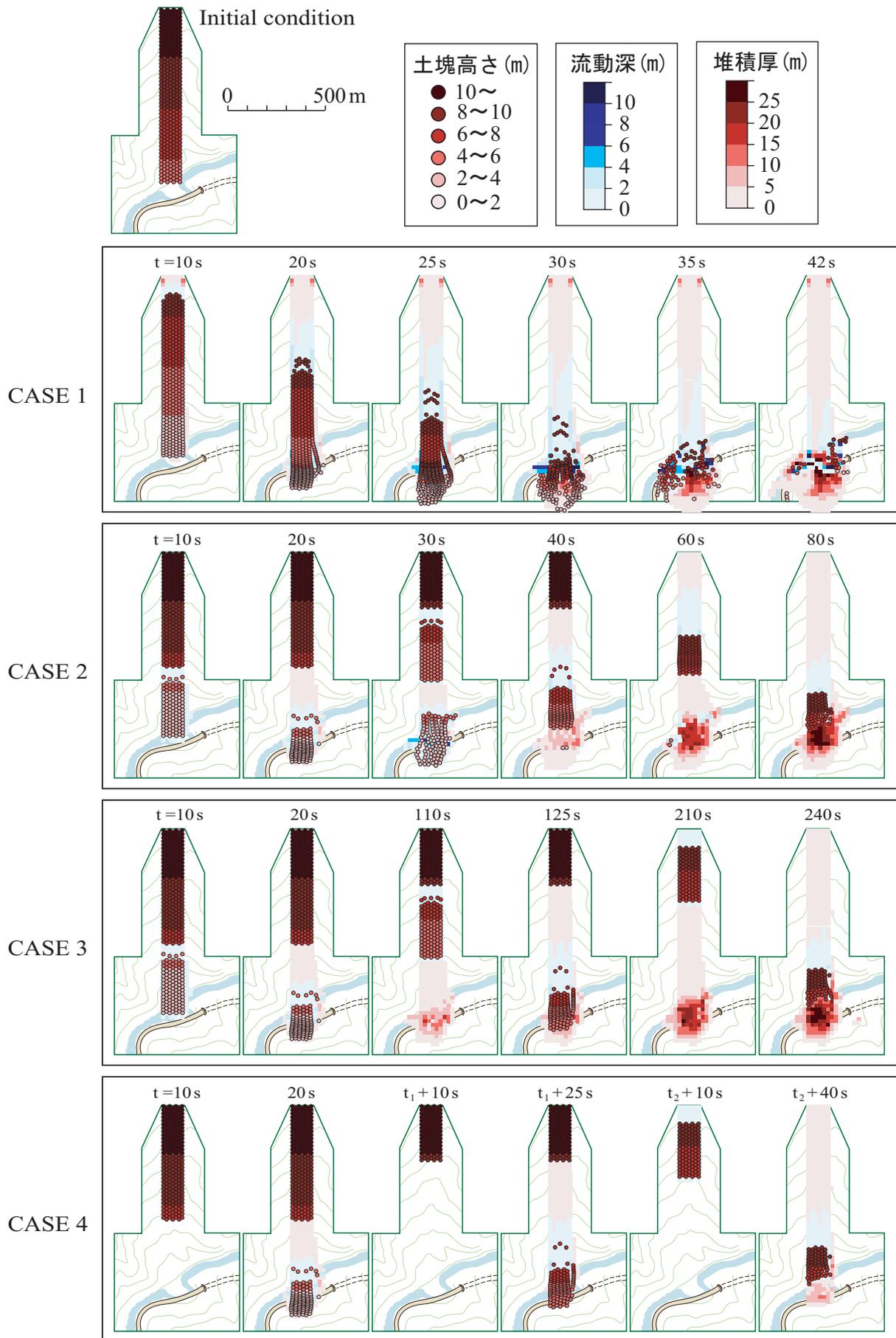


図 - 6 崩壊土砂の流動・堆積過程

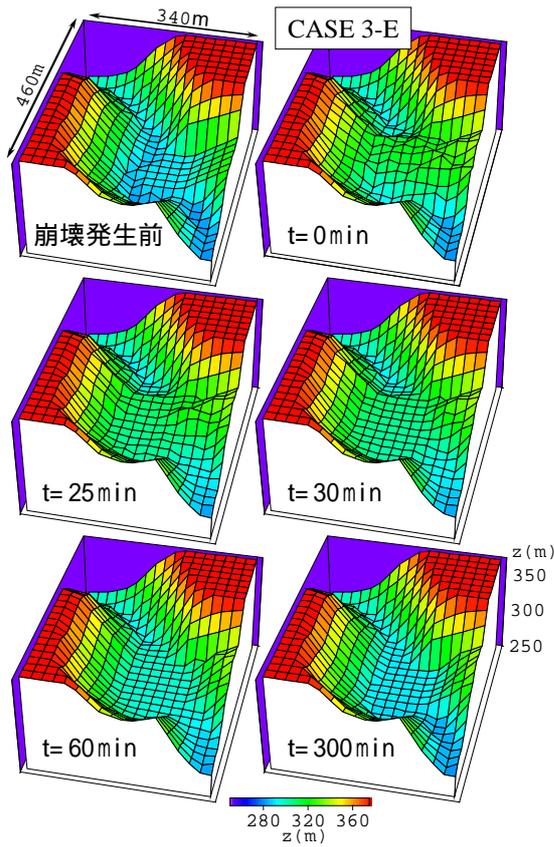


図 - 7 CASE 3-Eにおける河床形状の時間的変化

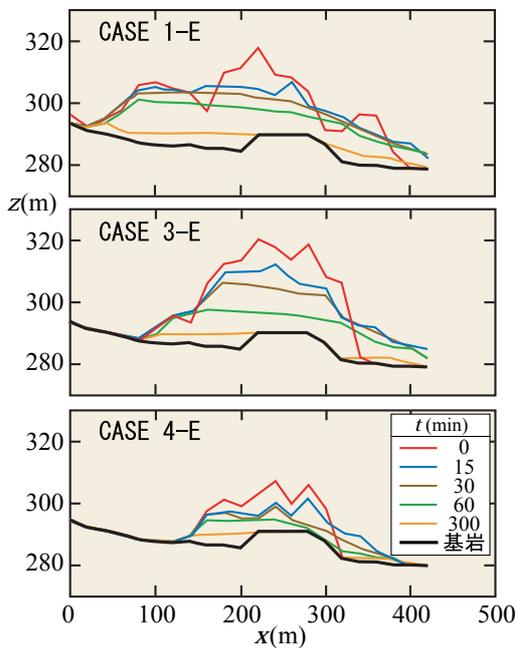


図 - 8 旧河道中心線に沿った天然ダム縦断形状の時間的変化

図 - 9には図 - 1に示されたA地点とB地点における水位の時間的変動に関する計算結果が示されている．図 - 10には計算領域の下流端における流出流量と流出土砂量に関する計算結果が示されている．CASE 2-EとCASE 3-Eはほぼ同様の計算結果であったので，CASE 2-Eの結果は省

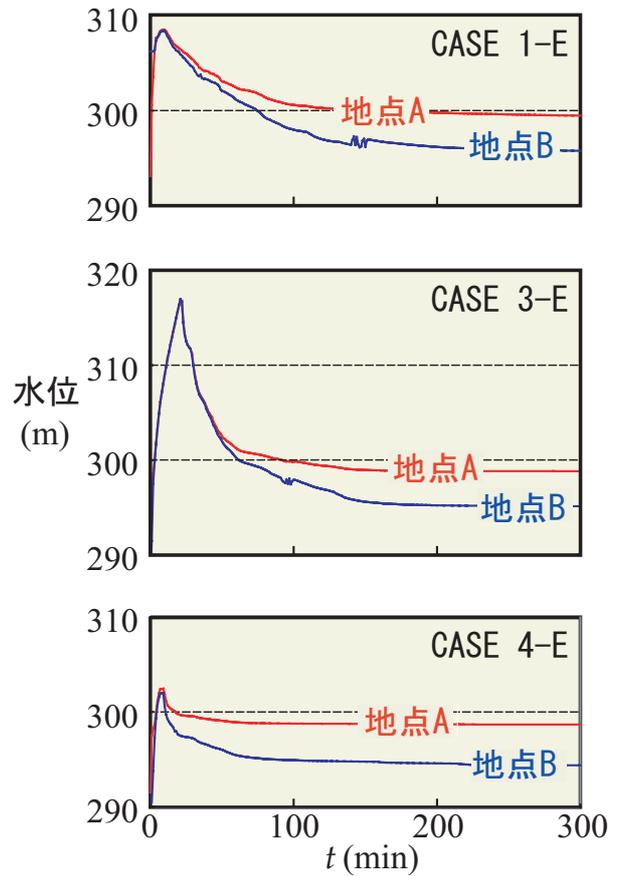


図 - 9 天然ダム上流域における水位の時間的変動

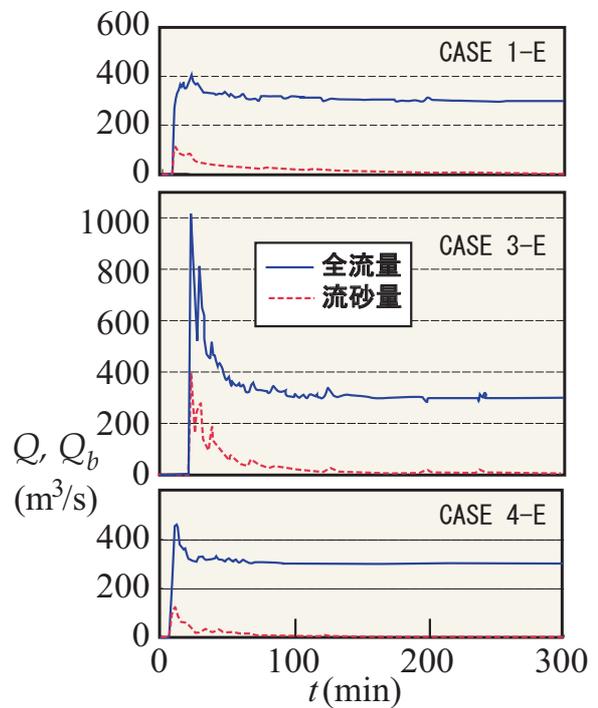


図 - 10 計算の下流端における流出流量と流砂量

略している．これらを見ると，天然ダムが高いほど，上流側の水位上昇は激しくなり，越流後の流量と流砂量も増大することが分かる．阿津江の崩壊においては，崩壊地点の下流で天然ダムの崩壊に伴うような急激な流量の

増加は報告されていないことから、やはり大規模な天然ダムの形成は起こらなかったと考えられる。

4. おわりに

ハイブリッド土石流モデルを用いて天然ダムの形成過程に関する計算を行った結果、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。崩壊土砂の対岸へのかけ上がり高さから判断すると、阿津江地区においては、地すべりによって発生した土塊はいくつかのブロックに分かれ、十分な時間間隔をおいて移動を開始したのと考えられる

また、2次元河床変動モデルによる天然ダムの侵食過程に関する計算から、天然ダムの高さが高いほど、下流への流出流量や流砂量のピークが大きくなることが分かった。下流河道沿いには村役場や人家が存在しているので、もしも大規模な天然ダムが形成されていたとすれば、大きな人的被害が発生した可能性も考えられる。

本研究により、天然ダムの規模を予測するためには、崩壊の発生規模だけでなく、崩壊発生プロセスを知る必要があることがわかった。今後、崩壊発生プロセスに関してさらに研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 日浦啓全・海堀正博・末峯章・里深好文・堤大三：2004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, 2004年.
- 2) 田畑茂清・水山高久・井上公夫：天然ダムと災害，古今書院，2002年．
- 3) 藤田正治，堤大三，多田泰之，里深好文，宮崎俊彦：三重県宮川村での崩壊プロセスの特性とシミュレーション，平成17年度砂防学会研究発表会概要集，pp.12 - 13, 2005年.
- 4) 里深好文：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, 2004年.
- 5) 里深好文・高橋 保：斜面崩壊を起因とする土石流に関する数値シミュレーション，水工学論文集，第47巻，pp.583-588, 2003年.
- 6) 高橋保・里深好文：貯水池逆流システムによるフラッシング排砂に関する研究，京都大学防災研究所年報，第45号B, pp.91-100, 2002年.

(2005.9.30受付)