

建設省土木研究所 ○石川芳治

水山高久

福澤 誠

1. はじめに

扇状地における土石流の氾濫・堆積範囲を精度良く推定することは土石流対策施設の計画、土石流危険区域図の作成、土石流警戒避難体制の整備、土地利用計画の検討にとって極めて重要である。土石流氾濫・堆積範囲の推定手法に関してこれまでも多くの水理模型実験が¹⁾実施されてきており、また近年、数値シミュレーション手法²⁾も開発されてきている。しかしながら扇状地内に流路や微地形が存在する場合の氾濫・堆積範囲の変化に関する実験はこれまで行われておらず、これらを合理的にシミュレーション計算に取り入れる手法も確立されていない。そこでここでは水理模型実験により扇状地内の微地形、流路等が土石流氾濫・堆積範囲に与える影響について検討する。

2. 実験概要

扇状地および扇状地上流の水路は、全国約200箇所の土石流発生溪流における実態調査結果³⁾をもとに、縮尺1/50として図-1に示すような形状の模型を製作した。扇状地面は横断方向に水平でモルタルにより製作し固定床とした。また扇状地上流水路は幅20cm、深さ40cmの側面アクリル板の木製水路である。

扇状地内に流路がある場合を考慮して、図-1に示すように大小2つの断面の流路を平面的に直線及び曲線として、計4種類の流路模型を扇状地内に設置した。

模型では実物で流域面積1.0km²程度の溪流を想定して計画洪水流量は25m³/sec、計画流出土砂量は30,000m³とした。これらにフルードの相似則を適用して実験に用いる流量は1.5 l/sec、土砂量は240 lとした。実験には図-2に示す粒度分布を持った土砂を用いた。土砂中の細粒分（粒径0.1mm以下）としてはフライアッシュを用いた。給水時間は4分間とした。

実験はその主な目的により次の4つに分類される。

① 細粒分の濃度の違いによる氾濫・堆積範囲の変化に関する実験（実験A）：土砂の中に含まれる細粒分（粒径0.1mm以下）の割合を変化させて実験を行い、土石流の流下・堆積形態及び氾濫・堆積域の変化を比較検討する。

② 扇頂部の微地形による氾濫・堆積範囲の変化に関

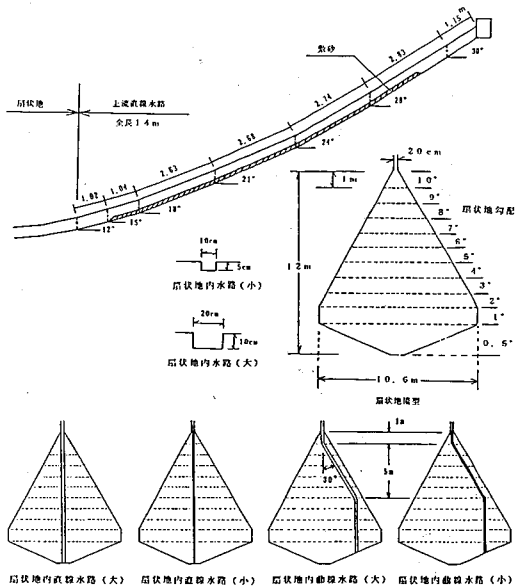


図-1 扇状地模型及び扇状地上流直線水路

する実験（実験B）：扇頂部に微地形（微高地）の模型を設置して実験を行い、土石流の流下・堆積形態及び氾濫・堆積域の変化を比較検討する。

- ③ 扇状地内の流路による氾濫・堆積範囲の変化に関する実験（実験C）：扇状地内に断面及び平面形状が異なる流路を設置して実験を行い、土石流の流下・堆積形態及び氾濫・堆積域の変化を比較検討する。

- ④ 扇状地内の盛土による氾濫・堆積範囲の変化に関する実験（実験D）：扇状地内を横断する形で鉄道や道路の盛土模型を設置して実験を行い、土石流の流下・堆積形状及び氾濫・堆積域の変化を比較検討する。

3. 細粒分の濃度の違いによる氾濫・堆積範囲の変化（実験A）

扇状地上流水路に敷砂した土砂に含まれる土砂の細粒分（粒径0.1mm以下）の全土砂中に占める割合（重量比）を0%、15%、30%と変化させて、扇状地上での土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲、縦断方向の土砂（粗粒分+細粒分）の堆積量

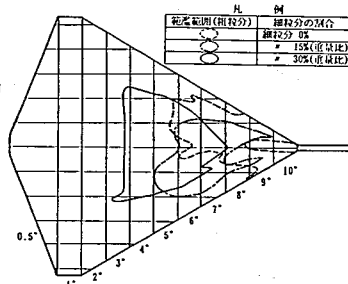


図-3 細粒分の濃度と土砂(粗粒分)堆積範囲

分布を整理した結果を図-3及び図-4に示す。細粒分の濃度が高くなると土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲は下流方向へ広がり、また堆積土砂量（粗粒分+細粒分）の分布も下流へ移動する。この原因としては細粒分の増加により細粒分を含む水の単位堆積重量が増加し細粒分に作用する浮力が增大することと、細粒分の増加により土石流の粗粒子間のせん断抵抗が減少することが考えられる。

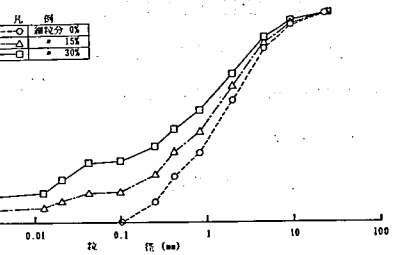


図-2 実験に用いた砂礫の粒径分布

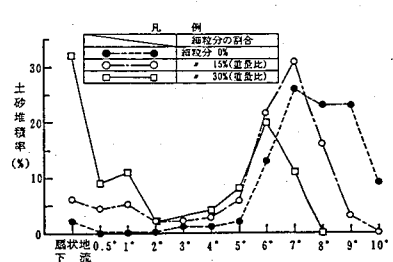


図-4 細粒分の濃度と土砂(粗粒分+細粒分)の縦断方向堆積分布

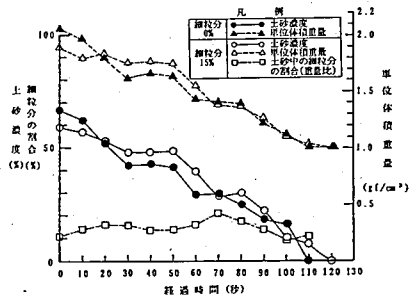


図-5 扇頂部に流入する土石流の土砂濃度の経時変化

扇状地上流水路の下流端で10秒毎に、流下する土石流の一部を採取して、土砂濃度および細粒分の割合を測定した。土砂濃度及び細粒分の割合および土石流の単位体積重量の経時変化を図-5に示す。土石流の土砂濃度及び単位体積重量は最初に大きく、徐々に減少して約120秒後には土砂を含まない清水のみの流れとなる。この間、土砂分の中での細粒分の占める割合は10~20%とほぼ同一の値を示している。

4. 扇頂部の微地形による氾濫・堆積範囲の変化（実験B）

微高地の模型として、長さ：1m、2m、高さ：1、2.6、10cm、方向：流路と平行、流路と斜めの計6種類の垂直な壁（段差）を扇頂部に設置して細粒分15%の土砂を用いて土石流を発生流下させた。なお扇頂部における土石流の最大波高は5.2cmであった。

上流流路と平行に長さ1mおよび2m、高さ10cmおよび2.6cmの微高地を設けた場合の粗粒土砂（粗粒分）

の氾濫・堆積範囲を図-6に示す。土砂（粗粒分+細粒分）の左右岸の縦断方向の堆積分布を図-7に示す。

上流流路と平行に右岸側に微高地がある場合、土砂の氾濫・堆積範囲は左右岸で大差ないが、堆積土砂量は右岸側の方が多くなる。これは微高地により右岸側での川幅の拡大が規制されることにより土石流の流動深、流速が大きくなり掃流力が増大して多量の土砂が流下するためと考えられる。また微高地の長さが長くなると粗粒分の氾濫・堆積範囲は下流へ移動する。

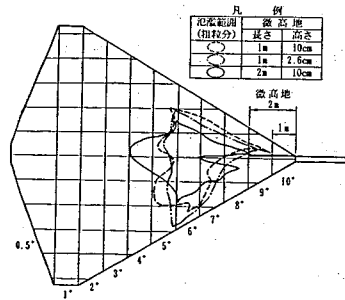


図-6 微高地の大きさと土砂(粗粒分)の堆積範囲

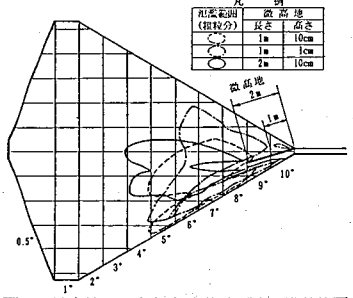


図-8 微高地の方向と土砂(粗粒分)の堆積範囲

上流流路と17°をなす角度で長さ1m、高さ10cmおよび1cmの微高地を右岸から流心方向に斜めに設置した場合の土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲を図-8に、また土砂（粗粒分+細粒分）の左右岸での縦断方向の堆積分布を図-9に示す。

土石流の平均流動深は扇頂部付近では約2.5cmであるので微高地の高さが1cmでは比較的多くの土石流がこの微高地を乗り越えて下流へ流下する。このとき土砂は左岸側に広くかつ多量に堆積しており微高地が土石流の氾濫・堆積範囲に与える影響は大きい。

5. 扇状地内の流路による氾濫・堆積範囲の変化 (実験C)

扇状地内に幅20cm、深さ10cm (大) および幅10cm、深さ5cm (小) の流路を直線および曲線状に設定して、細粒分15%の土砂を用いて土石流を発生、流下させた。

扇状地内に直線および曲線水路を設置した場合の土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲を図-10に示す。扇状地内の流路により土砂の約2割が扇状地より下流へ流下するとともに流路内にも土砂が堆積したため扇面上での土砂堆積量は少ない。直線水路の場合には、小断面の流路の方が土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲が下流側に現われる。これは幅10cmの流路では幅20cmの流路に比べて水深が大きくなり、掃流力も大きくなるため、より下流の流路内で土砂の堆積が始まり、河床上昇による土砂の氾濫もより下流で生ずるためと考えられる。一方曲線水路の場合も氾濫開始点は小断面の水路の方がより下流で生ずるが流路内での土砂の堆積適上が小断面の方が大きいため最終的な土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲は小断面の流路の方が上流側まで達する。

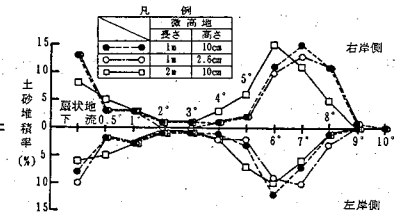


図-7 微高地の大きさと土砂(粗粒分+細粒分)の縦断方向堆積分布

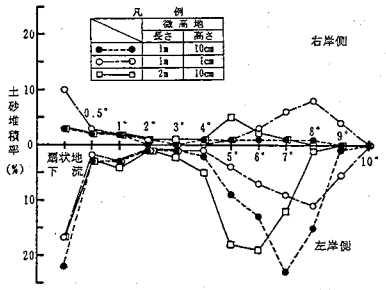


図-9 微高地の方向と土砂(粗粒分+細粒分)の縦断方向堆積分布

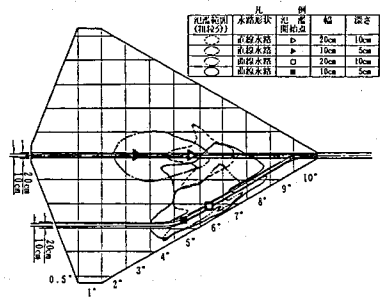


図-10 扇状地内の流路による土砂(粗粒分)の堆積範囲と氾濫開始点

6. 扇状地内の盛土による堆積範囲の変化 (実験D)

扇状地内に道路や鉄道等の盛土が存在する場合を想定して高さ20cm、のり勾配が45°の盛土斜面を扇頂部より下流へ2.0mと4.0mの位置に設置し、一部を水通し部として幅7.5cmあるいは15cmの開口部を設けた。細粒分15%の土砂を用いて土石流を発生、流下させた。これらの実験による土砂（粗粒分）の氾濫・堆積範囲を図-11に示す。また土砂（粗粒分+細粒分）の縦断方向の堆積分布を図-12に示す。扇状地上流部に盛土を設置した場合は盛土上流での土砂氾濫・堆積範囲、堆積土砂量は盛土がない場合と比較して増加する。また盛土より下流側での土砂の氾濫は開口部を起点として下流へ扇状に広がる。盛土下流での土砂（粗粒分）の氾濫・堆積は盛土がない場合よりも下流方向へ移動し氾濫面積は若干減少する。

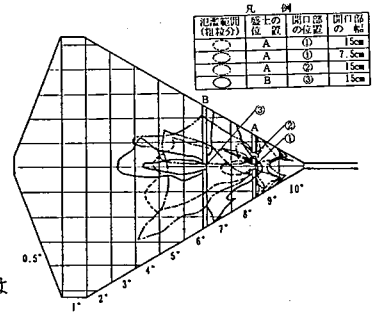


図-11 扇状地内の盛土と土砂(粗粒分)の堆積範囲

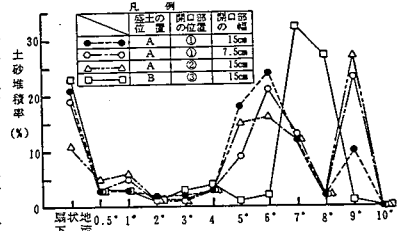


図-12 扇状地内の盛土と土砂(粗粒分+細粒分)の縦断方向堆積分布

扇状地中流部に盛土を設置すると盛土上流で大半の土砂が堆積して、盛土下流での土砂の氾濫・堆積範囲は盛土なしの場合に比べて減少する。

7. まとめと今後の検討課題

模型実験結果より扇状地における土石流の氾濫・堆積に関して次のような知見が得られた。

- ① 土石流中に含まれる細粒分の濃度は土石流（粗粒分）の氾濫・堆積範囲に大きな影響を与える。細粒分の濃度が大きい程土石流は下流で氾濫・堆積する。
- ② 扇頂部にある微高地の方向は土石流の氾濫・堆積範囲に大きな影響を与える。上流流路の流線方向と平行な場合には氾濫・堆積範囲の変化は少なく、斜め下流へ突き出す形では氾濫・堆積範囲は微高地の対岸側に広がる。なお微高地の高さが土石流の平均流動深の1/2程度でも氾濫・堆積範囲に与える影響は大きい。
- ③ 扇状地内にある流路は土石流の氾濫開始地点、氾濫・堆積範囲に大きな影響を与える。扇状地内に流路があると土石流はより下流側で氾濫・堆積する。
- ④ 扇状地内にある盛土は、盛土上流側への土石流の氾濫・堆積を促進するとともに、盛土下流での土石流の氾濫・堆積範囲を減少させる。盛土の開口部の位置は下流での土石流氾濫・堆積範囲を左右する。

以上、扇状地における土石流の氾濫・堆積に関していくつかの定性的な知見が得られた。今後はこれらの現象を精度良く土石流氾濫シミュレーションに取り入れる方法を検討する。

参考文献 1) たとえば 池谷 浩：土石流危険区域の設定に関する実験的研究、新砂防、Vol.34、No.3、pp.1~10、1982

2) たとえば 水山高久、下東久己：土石流扇状地の地形と土石流の堆積氾濫、新砂防、Vol.37、No.6、pp.11~19、1985

3) 建設省河川局砂防部砂防課、土木研究所：流域の危険度判定に関する研究、第32回建設省技術研究会、pp.525~547、1979