

建設省土木研究所 下東久巳
 建設省土木研究所 水山高久
 建設省土木研究所 阿部宗平

1. はじめに

土石流の氾濫区域を推定することは、構造物によらない土石流対策を検討するためにも、土石流対策施設の効果を評価するためにも必要である。土石流氾濫区域の推定方法は、多くの災害資料に基づく経験的な方法の他ランダムウォークモデル、数学モデルが提案されている。また、扇状地模型を製作してその上に土石流を流下させる方法もある。ここでは、数学モデルと模型実験をとりあげ、六甲山系の住吉川に発生した昭和13年の土石流災害の再現を試みる。また、砂防施設の効果にも言及する。

2. 土石流氾濫シミュレーション

2.1 昭和13年災害の再現計算

土砂濃度の算定に際しては、土砂流と土石流の境界となる勾配を高橋の提唱した式¹⁾により求め、高橋による土石流濃度の式²⁾と水山による土砂流濃度の式³⁾が境界で不連続とならないように定数を調整した。さらに、土砂濃度の非平衡性等を考慮したモデル⁴⁾を参考に、従来の式で求めた土砂濃度を2.0倍したものを各メッシュから出入する土砂濃度とした。土砂濃度の上限値は、堆積層の土砂の容積濃度 $C_s \times 0.8$ とした。土砂濃度の考え方を図-1に示す。

地形条件は、小橋らによって作成された50^m四方のメッシュデータベース⁵⁾から最低標高をピックアップして設定した。データベースにない地域は1/2500の地形図より地盤高を読み取った。

計算条件は次のとおりである。

CASE-1……昭和13年災害当時の資料より流出解析を行って求めた流量ハイドロ⁶⁾を基準として氾濫域に約100万 m^3 の土砂を供給するもので、土砂濃度は時間的に一定の20%とする。

CASE-2……流出解析で得られたピーク流量が土石流で

は大きくなると考え、ピーク時に土砂、水を多く与え、土砂は約100万 m^3 を供給する。

CASE-3……CASE-1と同じハイドログラフで土砂濃度は10%とし、流出土砂量を約40万 m^3 とする。

CASE-4……ピーク附近の流量を増加させ、後半の土砂濃度を0%として再浸食と2次堆積過程を追跡する。

計算条件と計算で得られた土砂の堆積深の時間的変化を図-2に示す。CASE-3における水および土砂の氾濫計算結果を図-3に示す。

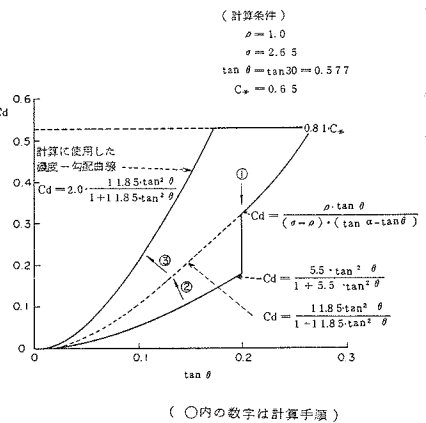


図-1 濃度と地盤勾配

シミュレーションの結果、CASE-1, 2, 4のように土砂濃度が20%で流出する土石流がある場合は、白鶴堰堤地点の堆積深が最大で27mを越え、約200m下流の野村邸地点でも10~13m程度となり当時の資料⁷⁾で示された値よりもかなり大きくなる。CASE-3では、白鶴堰堤地点、野村邸地点ともに7~8m程度で、被災時の状況によく似ている。平面的な氾濫範囲は、CASE-3以外の場合、災害資料に記録のない所へ土砂が氾濫し、土砂の到達距離は氾濫開始点から約1kmで実際の災害が海岸までの広い範囲に及んでいる状況とは異なる。CASE-3は図-3のようになり、昭和13年の災害状況を比較的良好に再現する結果が得られた。ここで、流出土砂量は災害記録⁷⁾によれば約100万m³程度とされているが、CASE-3では約40万m³を与えている。災害資料にも記述されている多量の細粒土砂の堆積を考慮し、土砂濃度を計算式の2倍に修正したことを水の密度 ρ に帰着させると、 $\rho = 1.45$ 程度となり細粒土砂濃度の約27%に相当する。土砂量に換算すると約60万m³となり、土石流としての給砂量と加えると災害時の土砂量(100万m³)とほぼ等しくなる。ただし、本シミュレーションでは細粒土砂(浮遊砂)の堆積過程はモデル化されておらず、その氾濫堆積状況は氾濫水の広がりから推定しているだけである。

2.2 砂防施設の効果評価の計算
住吉川本川の白鶴堰堤上流には五助堰堤をはじめとして10基以上の砂防ダムが設置されている。昭和13年の土石流を対象として現在の砂防施設の効果を評価してみる。上述の2次元氾濫計算をそのまま用いることも考えられるが、氾濫域と同じメッシュ間隔で山地部の河道を表す事は難しい。そこで、上流域では1次元河床変動計算を行い、氾濫域で2次元氾濫計算を行って砂防施設の効果を検討した。1次元河床変動計算モデルは谷ら⁸⁾のモデルを用いた。計算は、砂防施設無し、未堆砂、水平堆砂、元河床勾配の1/2の勾配まで堆砂の4ケースを行い、流量は前節のCASE-3と同じで、土砂は170万m³を与えた。白鶴堰堤地点の流出土砂量の変化を図-4に、氾濫計算の例を図-5,6に、また流出土砂量と氾濫面積および氾濫土砂量の変化を図-7に示す。未堆砂の場合は氾濫土砂量が10%以下、1/2勾配推

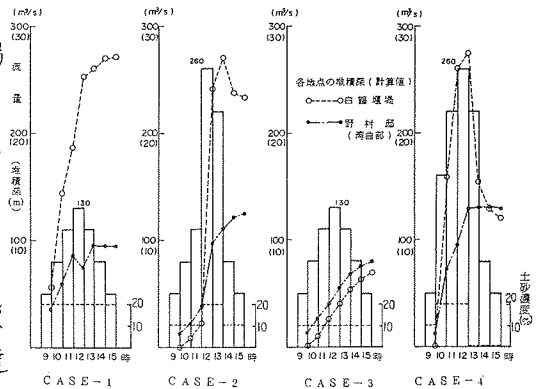


図-2 計算条件と堆積深の計算結果

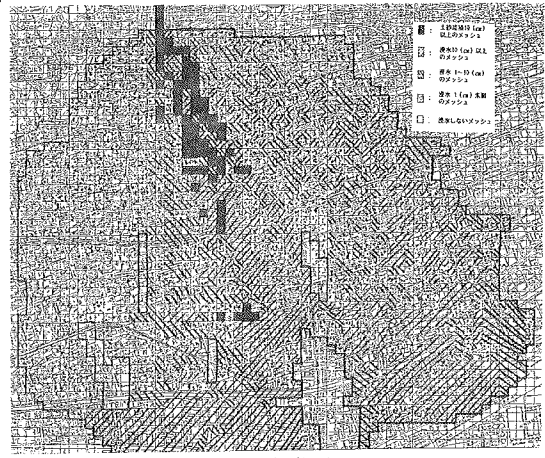


図-3 CASE-3の計算結果

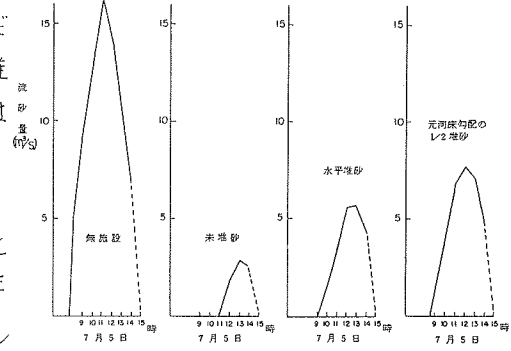


図-4 砂防施設状況による白鶴堰堤地点の流砂量の時間変化

砂防施設状況による白鶴堰堤地点の流砂量の時間変化
そこで、上流域では1次元河床変動計算を行い、氾濫域で2次元氾濫計算を行って砂防施設の効果を検討した。1次元河床変動計算モデルは谷ら⁸⁾のモデルを用いた。計算は、砂防施設無し、未堆砂、水平堆砂、元河床勾配の1/2の勾配まで堆砂の4ケースを行い、流量は前節のCASE-3と同じで、土砂は170万m³を与えた。白鶴堰堤地点の流出土砂量の変化を図-4に、氾濫計算の例を図-5,6に、また流出土砂量と氾濫面積および氾濫土砂量の変化を図-7に示す。未堆砂の場合は氾濫土砂量が10%以下、1/2勾配推

砂の場合でも40%程度軽減できることが明らかとなり、砂防施設の効果が顕著に現れた。

3. 土石流泥濘水理模型実験

3.1 模型および実験条件

水理模型実験では、土石流の土砂濃度、流量、給砂材料を変化させ、土砂の泥濘形態の変化傾向と支川の影響を調べ、その結果を参考に昭和13年災害の再現実験を行った。模型は、面積約6 km^2 の泥濘域と延長約1 km の山地河道部を取り入れ、縮尺 $1/100$ で製作した。

流量は、既往最大流量程度の $150 m^3/s$ と計画規模程度の $300 m^3/s$ を用いた。給砂材料は、図-8に示す実験砂Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの混合砂を使用した。実験砂ⅠとⅢには細粒土砂の堆積を考慮しフライアッシュを混合した。

実験ケースごとの目的は次のとおりである。

ケース1…水だけの泥濘実験。

ケース2.1~2.3…給砂濃度の影響を調べる実験。

ケース2.4~2.6…土砂量および流量の影響を調べる実験。

ケース3…支川を取り入れた実験。

ケース4…給砂材料の影響を調べる実験。

ケース5…昭和13年災害の再現実験。

3.2 実験結果

ケース1では $1200 m^3/s$ の水を流したが、泥濘範囲は昭和13年災害時よりかなり狭くなった。給砂濃度の影響を調べた結果を図-9に示す。給砂濃度が高いほど泥濘地点はより上流となり、谷出口の流向の影響で右岸側方向の泥濘範囲が広がる。河道が土砂で閉塞された状態(泥濘状態)になると泥濘地点で流向の首振り現象が生じる。本実験の範囲内において給砂濃度が高い場合でも泥濘開始点はほぼ同じで、時間の経過とともに土砂の堆積は上流へ遡上する。土砂量および流量条件の影響を調べた結果を図-10に示す。以降は図-9に示したケース2-2と比較して考察を加える。土砂濃度、流入土砂量が同じであっても、流量が小さいと土砂は堆積しやすい傾

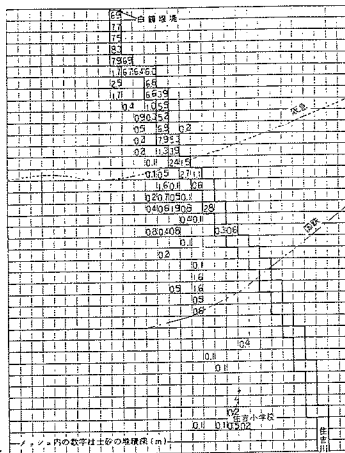


図-5 土石流泥濘シミュレーション結果 (柱石川に砂防施設がある場合の土砂泥濘状況)

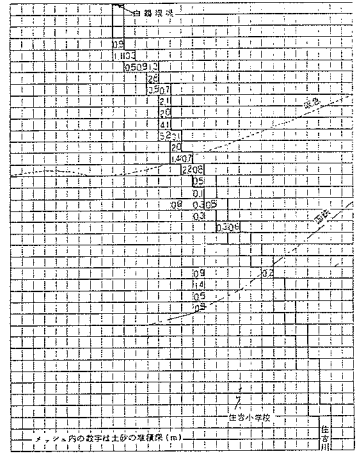


図-6 土石流泥濘シミュレーション結果 (小粒成分の砂防ダムが水平送砂の場合)

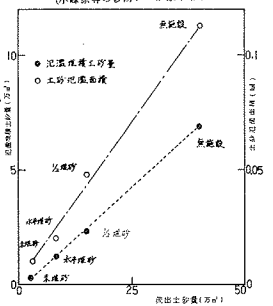


図-7 自然堤防からの流出土砂量と泥濘量、泥濘位置との関係

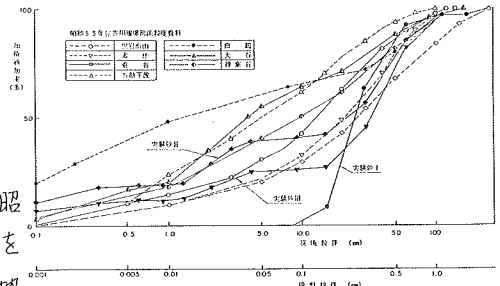


図-8 実験給砂成分分布

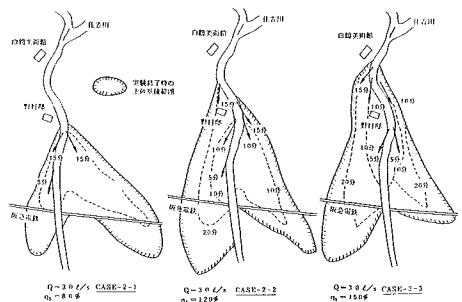


図-9 土砂濃度の変化による泥濘状況の推移図

向があり氾濫地点は若干上流となる。氾濫した工砂の到達位置は、工砂量および流量が多いほど下流側となる傾向がある。住吉川支川西谷川を取り入れた実験の結果、支川が土砂の氾濫形態に与える影響は小さいことが明らかとなった。細粒土砂を含んだ

砂を用いて給砂材料の影響を調べた結果を図-11に示す。工砂濃度（細粒工砂を含む）、流量が同じであっても細粒土砂を含んだ場合の方が氾濫地点は下流側となる。細粒土砂を含んだ場合でも工砂濃度の大きい方が氾濫地点はより上流側となる。細粒工砂を含んだ場合、工砂は河口部まで堆積する。以上より、工砂の氾濫状況は砂分の工砂濃度、流量に比較的大きく影響され、昭和13年災害を再現するには細粒土砂を考慮する必要があることが明らかとなった。昭和13年災害の再現実験結果を図-12に示す。昭和13年当時の地形と模型が必ずしも同じでないこと、扇状地面をモルタル製の固定床とした実験であることを考慮すると、ケース5は昭和13年災害の氾濫状況を比較的良好に再現していると言える。

参考文献

- 1) 高橋 保; 土石流の停止堆積機構に関する研究(3), 京大防災研究所年報第25号B-2, 1982
- 2) 高橋 保; 土石流の発生と流動に関する研究, 京大防災研究所年報第20号B-2, 1977
- 3) 水山高久; 土石流から掃流に変化する勾配での流砂量, 新砂防116, 昭和55年
- 4) 水山高久, 下東久巳; 土石流氾濫シミュレーション, 土木技術資料27-8, 1985
- 5) 小橋澄治, 平野昌繁, 妹尾俊夫; 都市周辺部土砂害対策のためのデータベースの構築とその利用法, 自然災害特別研究研究成果, 昭和60年
- 6) 福島義宏, 橋本 明, 後藤栄二; 六甲山系のhydrograph予測の手法, 砂防学会研究発表会講演集, 昭和57年
- 7) 災害科学研究所; 昭和13年7月5日阪神大水害調査報告, 昭和13年
- 8) 谷 誠, 小橋澄治, 武居有恒; 山岳溪流より流出する土砂量の予測手法, 新砂防122, 昭和57年

