

広島大学総合科学部 〇海堀正博  
 広島大学大学院 梅木健一

はじめに 平成11年は広島県では6月29日の広島市・呉市周辺での集中豪雨に続いて、9月15日には台風16号による集中豪雨で東広島市西条町周辺が、また、9月24日にも台風18号による集中豪雨で戸河内町西部が土石流や崩壊による被害を受けた。あとの2ケースでは幸い人的な被害の発生はなかったが、東広島の土石流では居住エリアまで土砂が来ており、住民の警戒や避難などの対応が適切であった結果だと思われる。ここでは、6月末と9月15日の土石流の移動と氾濫・堆積の場についての調査結果をもとに広島市周辺と東広島市周辺の場合の被害程度の差を考察し今後の防災に役立てたい。

1. 災害の状況 平成11年9月15日の東広島市西条町周辺での雨量分布と土砂移動発生地点についても、平成11年6月29日の豪雨による土砂移動発生(海堀ほか、1999)と同様、強雨の分布域と土砂移動の集中した場所とは重なっていた。広島県には素因としての地質・地形・植生等の条件はすでに存在しているところが多いことから、誘因となる降雨条件が与えられると土砂移動につながりやすい。6月末の場合には人口密度の高い広島市や呉市周辺でこの条件が成立したため、32名の(うち24名が土砂災害による)死者・行方不明者を出す大災害となった。東広島では家屋の一部損壊や浸水、田畑や道路の被害等が出たものの人的な被害の発生はなかった。

2. 現地調査 発生した土石流のいくつかについてその移動開始場から氾濫・堆積場までを踏査し運動に関する特徴をおさえることにした。特に、流路屈曲部における侵食痕跡から簡易的にGrashof式を用いて最大流速を推定し、土砂移動開始地点の位置エネルギーがどのような損失を踏んで停止に至ったかを考察した。

3. 調査結果およびその解釈 図1に一例として東広島市西条町助実Aの流路縦断面図と流速推定値等を示す。それぞれのポイントの持つ位置エネルギーと流速から得られる運動エネルギーの合計を連ねた線をエネルギー線と呼ぶことにすると、その勾配の正接は流路の水平距離に応じた損失の比例定数を表している。損失の中身には、移動土塊の内部での損失である粒子の摩擦・回転・衝突・分散ほかと移動土塊とその外部環境との間で生じる損失である流路面との摩擦・空気や水などの流体抵抗・樹木群などの衝突による抵抗・ダムや家屋など構造物との衝突による抵抗ほかが含まれている。厳密には損失を発生させる要因はひとつの土石流運動内でも同一ではないことから変動的であるが、流速の推定地点間で一律に摩擦損失として扱えるものとして簡易化することにする。この図から、流路長や標高差とともに土砂移動の発生から停止までのおおよその時間、平均流速、最下流部の流速測定点から停止地点にかけてのエネルギー線とその勾配の正接(見かけの摩擦係数にあたる)などが求められる。助実Aの場合は、流路長713mを170秒かけて流れたこと(平均流速4.2m/s)、全体の等価摩擦係数摩擦係数が0.225に対し、最下流部の流速測定点から停止地点にかけての見かけの摩擦係数は0.116であったことなどが計算できる。

図2に1999年6月末の豪雨によって広島市と呉市の周辺で発生した土石流のいくつかの縦断面形をあげた。なお、それぞれの縦断面図左端の最初のプロットは崩壊地より上部にある集水域境界の標高を表し、崩壊頭部のプロットは第2点目とした。ここにあげたものは現地調査によって発生開始位置と土石流的な流動の停止位置(一部不明瞭なものもある)の確認ができたものから選んでいる。なお、この縦断面図の最下流の点は土石流的な流れの終点、または、最初の民家のある位置、あるいは、八幡川本川との合流点などであり、いずれの場合も、土石流的な流れはさらに下流まで続いていた。しかし、決定することが容易でないものもあったの

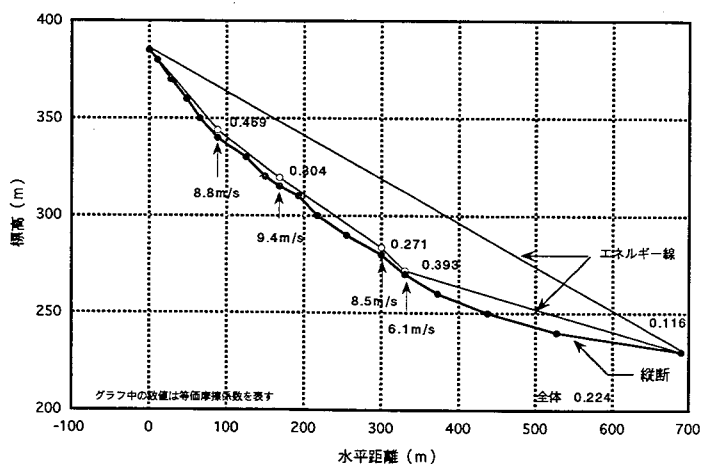


図1 助実Aの流路断面図

で図の中のところどころに補足的に説明を記載している。また、図の範囲での見上げ角の正接(いわゆる等価摩擦係数の考え方に相当する)を合わせて示している。流下距離の短いものでは安川の場合を除いて、最初の民家のある位置でのいわゆる等価摩擦係数にあたる数値が0.37以上と高く、まだ土石流の流動性は衰えていない領域であることから、この位置で土石流に遭遇した民家の被害が大きかったことが理解できる。一方、東広島周辺の場合には発生した土石流の流動性に関しては同様に、等価摩擦係数の値は0.18~0.40の範囲であるが、0.40および0.31のものはこの付近の下流を覆っていた林内に土石流が流れ込んで停止に至ったため比較的大きな値となっているものと考えられるが、その他のものは0.28程度以下の値であり流動性が高かったことを示している。しかし、居住エリアが0.28以下のところに展開されていたことが被害の程度が小さく済んだ要因のひとつであろう。

これに対し、図3に示したものは下流端が池などの滞水が見られるエリアに入り込んで完全に停止したものの縦断形である。停止位置での等価摩擦係数では0.25~0.40の範囲になったが、図2と比べて値が全体的に大きくなっていることから、池があったためかなり早い段階で停止に至ったことがわかる。なお、池の大きさとの関係については、発生した土石流の土砂量とその広がりの方が大きかった事例が一例あった(助実G)が、その場合にも池に突入した土砂については池の範囲内で停止しており、最初から池に入らず周囲を流下したものはさらに下流まで到達していた。

表1に移動の開始地点と停止位置の明確ないくつかの土石流について、標高差、水平移動距離、流路長、移動に要した時間、平均流速、全体の等価摩擦係数、最下流部のみかけの摩擦係数等をあげておく。

4. まとめ (1) 土石流の土砂量が池の大きさや水量に比べて小規模であるとき、池の水は土石流の流動性を奪う効果を持つといえそうだ。逆に、土石流の土砂量の方が池の規模よりも大きい場合には、1997年7月の鹿児島県出水市針原川での土石流の場合に見られたように、池の水が土石流の流動性を増大させることにつながることもある。今後、発生する土石流の規模と池の規模とを比較することで、既存の池が防災に役立つのか、逆に、危険性の増大につながるのかが検討できる可能性はある。(2) 大きな災害になった広島市や呉市の被災地の民家は発生した土石流の勢いや流動性のまだ衰えていない段階で遭遇するような位置にあった。(3) 流路途中の状態が土石流の流動性に影響するが、岩盤が露出しているところを流れたり、特に水の集まりやすいところを流れたりというような流動性を高める要因、もともと樹木が覆っていたところを流れたり、池や構造物の存在の有無などの流動性を抑制する要因などについては防災上の観点からも非常に重要であるので、今後さらに定量的な検討を進めていきたい。

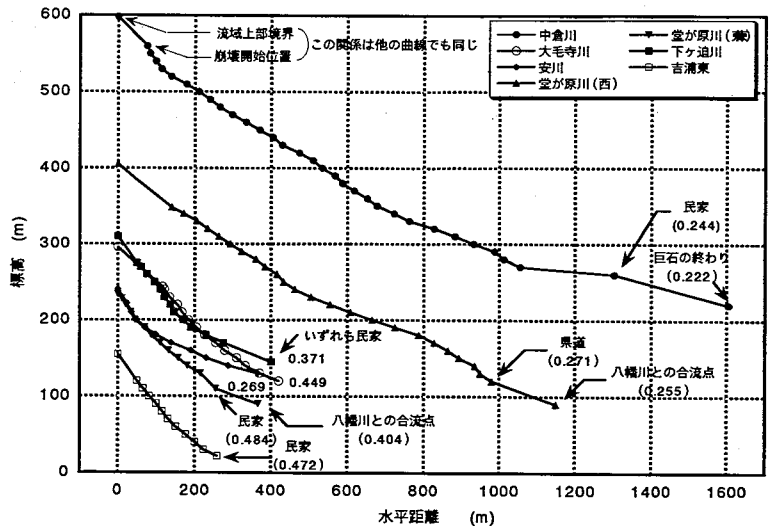


図2 土砂移動の縦断形(広島市周辺と呉市の土石流)

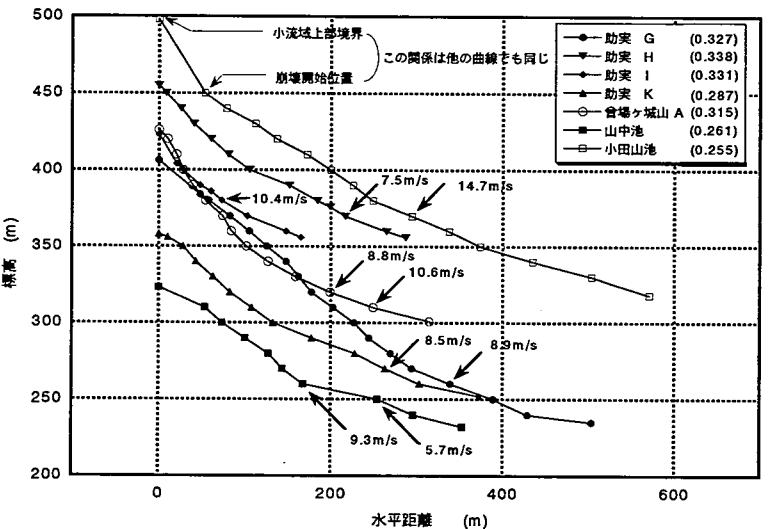


図3 土砂移動の縦断形(東広島周辺の土石流 池に入り停止したもの)

表1 土石流流動に関する諸計算値

|       | 標高差 (m) | 水平距離 (m) | 流路長 (m) | 所要時間 (s) | 平均流速 (m/s) | 等価摩擦係数 | 最下流部のみかけの摩擦係数 | 備考    |
|-------|---------|----------|---------|----------|------------|--------|---------------|-------|
| 助実A   | 155     | 690      | 713     | 170.0    | 4.2        | 0.225  | 0.111         | 田畑に泥濘 |
| 助実C   | 230     | 1224     | 1245    | -        | -          | 0.188  | -             | 田畑に泥濘 |
| 助実F   | 146     | 510      | 530     | -        | -          | 0.286  | -             | 林内で停止 |
| 助実G   | 149     | 456      | 480     | 108.6    | 4.4        | 0.327  | 0.176         | 池で停止  |
| 助実H   | 94      | 278      | 294     | 78.4     | 3.8        | 0.338  | 0.264         | 池で停止  |
| 助実I   | 48      | 145      | 153     | 29.4     | 5.2        | 0.331  | 0.333         | 池で停止  |
| 助実K   | 104     | 362      | 377     | 88.9     | 4.2        | 0.287  | 0.197         | 池で停止  |
| 助実L   | 157     | 674      | 692     | 396.3    | 1.7        | 0.233  | 0.121         | 田畑に泥濘 |
| 助実M   | 120     | 318      | 343     | 100.5    | 3.4        | 0.377  | 0.221         | 林内で停止 |
| 小田山   | 132     | 518      | 535     | 72.9     | 7.3        | 0.255  | 0.227         | 池で停止  |
| 曾場が城A | 119     | 378      | 402     | 79.8     | 5.0        | 0.315  | 0.131         | 池で停止  |
| 山中池   | 78      | 299      | 312     | 73.4     | 4.3        | 0.261  | 0.201         | 池で停止  |