

1. はじめに

1999年6月29日、連続雨量255mm、最大時間雨量63mm/h（魚切ダム観測所）という梅雨前線豪雨により、広島市北部から北西部にかけて斜面崩壊及び土石流が多発し、県内で死者31名（うち、広島市17名）、全壊家屋153棟（うち、広島市46棟）等（広島県発表）の甚大な被害をもたらされた。

今回の土砂災害で人的被害を伴ったものは、広島市内で11箇所及び及ぶが、その内がけ崩れ4箇所、土石流7箇所と土石流の割合が多く、また災害規模をみても、がけ崩れによる被災家屋8棟、土石流による被災家屋98棟（以上、広島県発表）と、土石流による被害が極端に大きい。土石流は源頭部におけるマサ土斜面の表層崩壊に起因して発生しているが、流動化した土砂は、多数の流木とともに浸食・堆積を繰り返しながら渓流部を流下した後、扇状地の住宅地で氾濫し、被害を増大しているケースが多く見られる。広島県では近年の著しい住宅地開発により、山地部まで宅地化が進んでおり、土砂災害に対して危険な住宅区域が多く（土石流危険渓流4,930渓流、急傾斜地崩壊危険5,960箇所といずれも全国一位）、このような背景を踏まえれば、今回の災害は都市型災害に位置付けられる。

そこで筆者らは、都市型災害という視点から、広島市佐伯区の屋代川で発生した土石流が下流域の住宅地にもたらした被害に着目し、住宅密集地における土砂・流木の氾濫特性を調査した。ここでは、特に人工構造物が土砂移動現象及び災害に与えた影響について報告するものである。

2. 土石流の氾濫特性

屋代川は二級河川岡の下川の一次支川であり、河川長約4kmの渓流である。土石流の発生は、極楽寺山の山頂部直下における長さ140m、幅18m、深さ1.0～2.5m程度の表層崩壊に起因している。発生した土石流は、上～中流域で溪床堆積物の浸食を伴い流下し、中～下流域では治山ダム及び砂防ダム（計7基）の効果もあり、多くの巨レキ及び流木が堆積したが、砂防施設で全ての土砂は捕捉できず、4,300m³程度の土砂が最下流砂防ダムを越流し、扇状地に流出した。なお扇状地に流出した土砂は、粒径数mm程度の細粒土を主体とする。

扇状地上流域は、勾配6度前後で主に田畑に利用されている。最下流砂防ダム直下の狭隘部における流動深は、痕跡から判断して $h=2\text{m}$ であり、これより流速 $U=8\text{m/sec}$ 、ピーク流量 $Q=470\text{m}^3/\text{sec}$ 程度で

流下したと推定される。その後、谷幅の広がりに伴い流動深及び流速を低下させながら流下し、最上流及び右岸下流側の家屋に直撃した。その際の流動深及び流速は $h=1.5\text{m}$ 、 $U=6\text{m/sec}$ 前後と推定され、これにより家屋は半壊状態となっているが、最上流家屋の被災は流木の直撃によるところが大きい。

次に、土石流は国道2号のボックスカルバート（高さ5m、幅7.3m）に飲み込まれる。同ボックス付近で勾配は4度程度と緩くなるが、流路幅の減少に伴い流動深・流速が極端に増大した。ボックス内には下流側に傾斜した流下痕跡が残っており、平均的には流動深 $h=2.5\text{m}$ 程度、またボックス内の水理条件が不明瞭でその流速は確定できないが、等流と仮定すれば流速 $U=20\text{m/sec}$ 程度となる。このようにボックスカルバートによりエネルギーを増大した土石流はその直下の家屋に直撃し、7棟の家屋に全壊・半壊の被害（内2棟流出、死者1名）を与えた。なお被災跡を見ると、土砂及び流木の堆積がこのあたりに集中している（最高土砂堆積深1m程度）。

その後土砂流は左右岸に分流し、住宅地を通過した後、700m下流で再度合流するが、家屋等の被災状況から判断して、右岸側の土砂流が主流であったと考えられる。右岸側に分流した土砂流は、部分的な氾濫及び分流はあるものの、

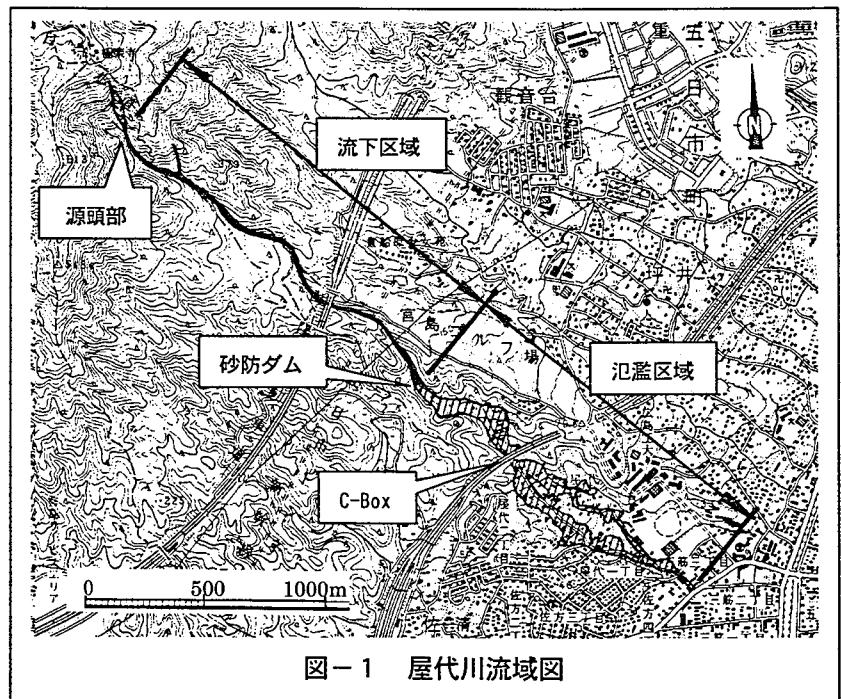


図-1 屋代川流域図

主に勾配5～2度の道路上（道路）を流下している。道路上の流動深は痕跡から判断して $h = 1 \sim 0.5\text{m}$ 、これより流速は、泥流を仮定して $10 \sim 5\text{m/sec}$ 程度と推定される。なお家屋の被災程度は床上～床下浸水を主体とするが、その中でも半壊等の大きな被害を受けた家屋が局所的に分布する。詳細は3章に示すが、マクロ的には地形の影響が、スポット的には、道路勾配変化による跳水現象、道路・河川の閉塞、土砂流に含まれるレキの影響等が考えられる。

また左岸側に分流した土砂流は、ボックスカルバート直下の耕作地で大きく氾濫・堆積し（堆積深 $10\text{cm} \sim$ 数 cm ）、その下流では道路上を流下している。道路上の流動深は痕跡から判断して $h = 0.5\text{m}$ 前後、家屋の被災程度は床上～床下浸水が主体であるが、谷底部に位置する家屋周辺では泥流が集中し、水路断面の不足による泥水の滞留が見られた。

なお合流点より下流では、流動深 0.5m 前後で道路上を流下する。この付近の道路勾配は1度以下と非常に緩く（一部逆勾配）、また合流に伴い流量が増加するにもかかわらず、それに見合った河川断面が確保されていないことから、泥水の滞留現象が起こっている。

3. トラブルスポットとしての人工構造物

屋代川における住宅密集地での土石流氾濫特性から、次のようなトラブルスポットが挙げられる。

- ①谷底低地を流下してきた土砂流がボックスカルバート内に集中したことにより、流動深が1.5倍、流速が3倍（等流と仮定した場合の推定値）程度まで増大した。ボックス上流の家屋が半壊程度の被災であるのに対して、下流の家屋は全壊（一部流出）となっており、ボックスにより土石流のエネルギーが極端に増大したことがうかがえる。なお土石流による大きな被害（例えば死者を出すような人的被害）が出ているのはこの箇所のみであり、またこの付近に土砂及び流木の堆積が集中していることから、土石流の大きなエネルギーは家屋に直撃したことで概ね収束したと考えられる（図-2参照）。

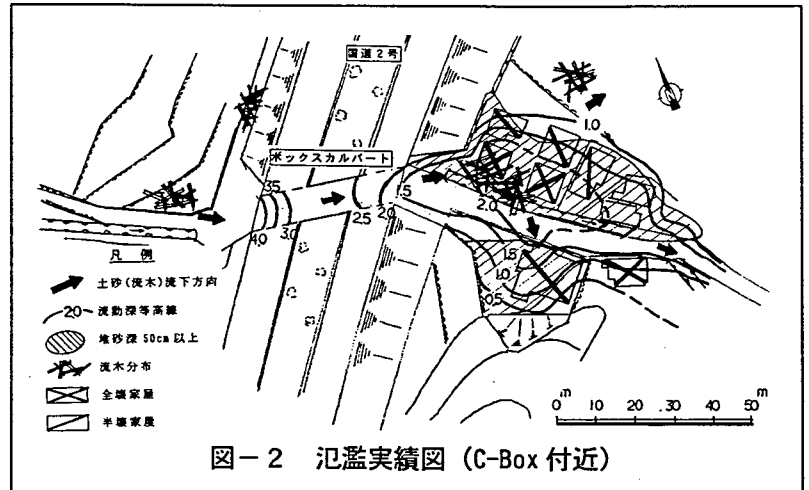


図-2 氾濫実績図（C-Box 付近）

- ②ボックスカルバート下流域における家屋の被害は床上～床下浸水を主体とするが、局所的に半壊等の大きな被害を受けている家屋が見られる（2箇所）。マクロ的に見れば集水地形に位置していたことが大きな要因であるが、特徴的に道路勾配の変化点にあたるため、跳水的な現象により波高が極端に増大したことが推定される。跳水現象として試算した場合、流動深 0.5m 程度の土砂流（泥流）が 3m 近くまで波高を増大することとなり、これは家屋の波高痕跡に概ね一致する。ただし波高の増大に伴い流速・流体力は大きく低減するため、これが家屋の流失・全壊といった大きな被害に至らなかった要因であると考えられる。
- ③流木等による道路閉塞に伴い土砂流の経路が急激に変化し、その右岸側直下流にある家屋が半壊状態となっている（1箇所、波高等は不明）。また被災程度は小さいものの、河川もしくは橋梁の閉塞により $h = 2\text{m}$ 程度の堰上げを受けた家屋が2箇所（被災規模は壁面の汚れ程度）、土砂流に含まれる ϕ 数 10cm のレキの直撃を受け、上流側壁面が破損している家屋が1箇所見られる。
- ④下流域（合流地点）及び局所的な谷底部等、泥流が集中する箇所では、道路が緩勾配（一部逆勾配）となるとともに、水量に対する河川（水路）断面が不足していたために滞留現象が起こっている（合流地点における滞留時間は数時間に及ぶ）。今回の災害では、水深 0.5m 前後で大きな被害には至らなかったが、仮に水深が増大し、また災害弱者が居住しているようなケースでは人的被害に至ることも考えられる。

これらはいずれも人工構造物が土砂移動に影響を与え、家屋への被害を増大させたケースである。中でも国道2号ボックスカルバートの影響は顕著であるが、それ以外にも住宅の立地条件・道路勾配・河川及び橋梁等、着目すべきトラブルスポットが多く見られることから、住宅地等の宅地開発や土地利用のあり方を含めた総合的な土砂対策を検討するうえで、重要な情報を含んでいると考えられる。

4. まとめ

1999年6月29日の梅雨前線豪雨により発生した広島土砂災害の内、土石流が住宅密集地にもたらした被害に着目し、屋代川下流域における災害状況の詳細調査を実施した結果、ボックスカルバート・道路勾配変化・道路及び河川の閉塞・住宅の立地条件等、主に人工構造物に起因するトラブルスポットが数多く抽出された。今回の災害を機に、建設省では「総合的な土砂災害対策に関するプロジェクトチーム」を設置し、土砂災害のおそれのある地域における住宅等の立地抑制方策及び、防災向上方策等を検討しているところであるが、今回得られた情報が、住宅密集地における土砂災害対策を講じるうえで有効に活用されれば幸いである。