

1. 背景と目的

土石流・流木対策は、土石流・流木捕捉工や土石流導流工などの構造物による対策（ハード対策）と、土地利用規制や警戒避難といった構造物によらない対策（ソフト対策）を組み合わせる。その際、ハード対策が所定の土石流・流木制御効果を発揮することを前提にソフト対策は検討される。特に土石流導流工は住宅地付近に設置されることが多いので、その制御効果は構造物によらない対策に大きく影響を及ぼす。ところが国内の計画と設計の指針である「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）（国土技術政策総合研究所砂防研究室，2007）」、「土石流・流木対策設計技術指針（国土技術政策総合研究所砂防研究室，2007）」では、土石流導流工に対し土砂の堆積による氾濫が生じないようにするために検討すべき事項と方法を記していない。実際に、平成24年7月九州北部豪雨において熊本県阿蘇市の八反田川流域で発生した土石流では、流路内の巨礫の停止や、支川である豆札川との合流部での土砂の堆積によって氾濫し、土砂や流木混じりの流れが流路から溢れ出る事例があった。そこで本研究では、これらの事例に着目して氾濫を生じさせた流路内での巨礫の停止メカニズムと合流部での土砂の堆積のプロセスを明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法

本研究では、八反田川の流路を流下した掃流状集合運搬の水理量（流速，水深）を推定するために二次元浅水流方程式を用いた数値計算をおこなう。その際、数値計算の安定性を考慮してマニング型の摩擦係数を用いるため粗度係数を設定する必要がある。この粗度係数は流れのせん断応力，河床面との摩擦係数などを含んだものであるため、実際に発生した流れを対象に推定されるべきである。しかしながら、八反田川流域のうち八反田川砂防堰堤より上流側においては、明瞭な流下痕跡が確認できなかった。そこで、八反田川流域より北に約4kmと近接し、同じ降雨で土石流が発生し、明瞭な流下痕跡が残っていた土井川流域の流下痕跡において粗度係数の値を推定する。なお土井川では流下痕跡が湾曲部で残されていた。そこで、本研究では数値計算による湾曲部の流れの再現性を検証するために、既往の水理実験結果を数値計算により再現する。

研究にあたり、平成24年7月九州北部豪雨の災害の発生時刻と降雨の時間変化を整理するとともに、八反田川と土井川の流下痕跡から、数値計算に必要な水理量を推定する。次に、数値計算モデルで過去に実施された水理模型実験（水野，2004）を対象とした再現計算をおこない、湾曲部の流れを再現する際の誤差を把握する。次に、土井川で発生した土石流について数値計算と流下痕跡の湾曲部の水位の比較をおこない粗度係数の値を推定する。次に八反田川の流路を対象とした数値計算をおこない流路及び氾濫範囲の水理量（流速，水深）を推定する。最後に、数値計算結果から巨礫が流路内に停止した原因と、合流部付近の土砂の堆積過程について考察をおこなう。

3. 結果および考察

数値計算で水理模型実験の再現計算をおこなった結果、二次流の影響で湾曲部の流路中央で数値計算の結果と実際の水位には差が生じたが、兩岸の水位については概ね再現できることがわかった。次に、土井川流域で発生した土石流について数値計算と流下痕跡の比較をおこない、粗度係数を推定した結果、粗度係数は0.03から0.04の範囲であると推定できた。

八反田川の流路に堆積した礫の移動形態を、高橋（1982）の方法で推定した結果、粒径 1.63m の巨礫は各個運搬で流下し、粒径 0.01m, 0.10m~0.20m の礫は掃流状集合運搬の形態で流下すると推定された（図-1）. 流速と土砂濃度の推定については、礫が実際に堆積した区間の勾配（2.5 度）から、代表粒径 0.15m, 0.20m の礫が堆積を始める流速を、平衡状態の流速の式（高橋, 2004）から推定した. 水深は砂防堰堤の衝突痕から推定した. これらの水理量を掃流状集合運搬の平衡土砂濃度で砂防堰堤から供給するとともに、支川である豆札川からはピーク流量に相当する水深, 流速で清水を供給して計算をおこなった. 粗度係数は土井川で推定した値を用いた. その結果, 水深の分布（図-2）は実際の氾濫範囲の上流で氾濫するが合流部の再現性は良く, 堆積厚の分布（図-3）は八反田川橋付近より下流 240m 区間と, 合流部付近より上流 280m 区間の再現性が良い結果となった. 以上の数値計算で推定した導流工の水深, 流速から, 八反田川の流路内で巨礫が停止した原因について運動方程式に基づき考察した結果, 八反田川橋付近に巨礫が停止したのは, 橋より下流域において氾濫が生じて, 水深と流速が低下することで巨礫に作用する浮力と抗力が減少したためであることが明らかになった. また, 合流部付近の水深と流速の変化から, 合流点で土砂が堆積したのは八反田川の合流点が曲率半径の小さな湾曲部であり, そこに支川である豆札川の流れが急な角度で合流するために, 流れがせきあげられ流速が低下する. その結果, 流れの断面平均流速が掃流状集合運搬の平衡状態の流速を下回ったためであることが明らかになった.

