

深層崩壊後の土砂流出に伴う下流合流点での土砂堆積に関する現地観測と水理模型実験

木下篤彦・山越隆雄

1. はじめに

熊野川流域では、2011年台風第12号による豪雨で多数の深層崩壊が発生し、河道閉塞(天然ダム)が発生した。天然ダム発生箇所では災害後も台風等の豪雨により、天然ダムや斜面の侵食、河床堆積土砂の侵食により、下流河道に土砂を流出させている。このような深層崩壊や天然ダムが発生した流域にある河道が下流で合流した場合、その合流点では土砂が多量に堆積し、河床が数m以上上昇するとともに、滞筋が大きく偏流することが報告されている¹⁾。この状況が長く続くと、豪雨時には氾濫のおそれも出てくる。

本稿では、深層崩壊発生後にその下流河川との合流点で過剰な土砂が堆積した赤谷川流域とその下流の川原樋川との合流点を調査対象とし、土砂堆積のメカニズムを調査する。合流点での河床上昇に着目し、定期的な地形測量による河床変動調査を行った。また、合流点を模した水理模型実験により、合流点での土砂堆積のメカニズムを調査した。

2. 合流点周辺での河床変動調査

写真-1に災害2日後の赤谷地区の崩壊斜面を含む川原樋川と赤谷川の合流点の様子を示す。災害2日後には、流出した土砂が赤谷川と川原樋川の合流点付近(点線で囲まれたエリア)に堆積するとともに、川原樋川の合流点上下流でも土砂が堆積していることが分かる。

図-1に赤谷地区の深層崩壊斜面や赤谷川・川原樋川合流点を含む周辺の2時期の地形差分図を示す。(a)は災害1年後の2012年6月と災害前の2009年8月の差分を、(b)は災害6年後の2017年11月と災害1年後の2012年6月の差分を示す。なお、川原樋川は図-1の範囲では、赤谷川の他、池津川も



写真-1 災害2日後の2011年9月6日の赤谷地区(奈良県五條市)と赤谷川・川原樋川合流点の様子

合流している。ただし、池津川の上流域は2011年台風第12号では大きな崩壊が発生していない。一方で、川原樋川上流には図-1の範囲外ではあるが北股地区等複数の大規模崩壊地が存在している。(a)から、深層崩壊によって、赤谷川・川原樋川合流点に扇形に土砂が堆積していることが分かる。また、合流点上流は約6kmに渡って土砂が堆積していることが分かる。(b)から、赤谷地区崩壊斜面及び赤谷川の天然ダム位置から下流で侵食が発生しており、赤谷川・川原樋川合流点付近でも同様に侵食が発生していることが分かる。また、砂防堰堤上流では土砂が堆積している。一方で、赤谷川・川原樋川の上下流は2012年以降も土砂が堆積している状況にある。

図-2に災害前後の赤谷川・池津川との合流点を含む川原樋川の縦断図を示す。2009年・2012年・2017年はヘリコプターによる測量結果である。2020年はUAVによる測量結果である。災害1年後の2012年6月には、赤谷川合流点直上流付近で約5mの土砂堆積が見られるのと、その上流域の池津川合流点までの間で最大約4.2mの土砂堆積が約3kmに渡って見られる。赤谷川との合流点付近で土砂が堆積することによって、その上流で

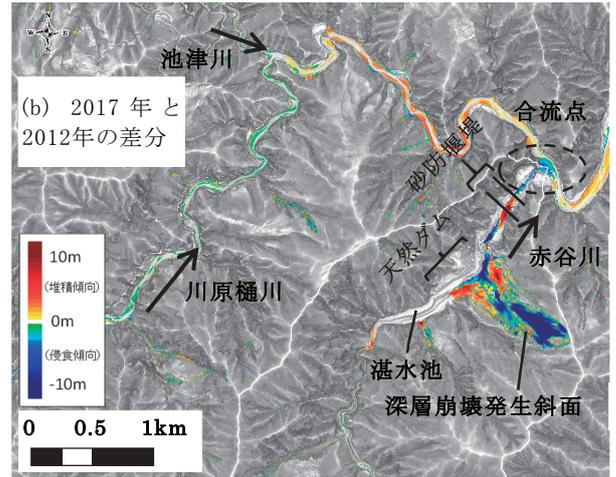
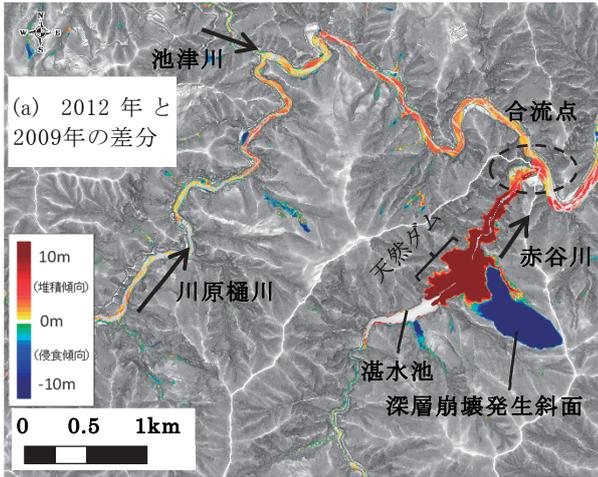


図-1 赤谷地区の深層崩壊地を含む赤谷川と川原樋川の2時期の差分図

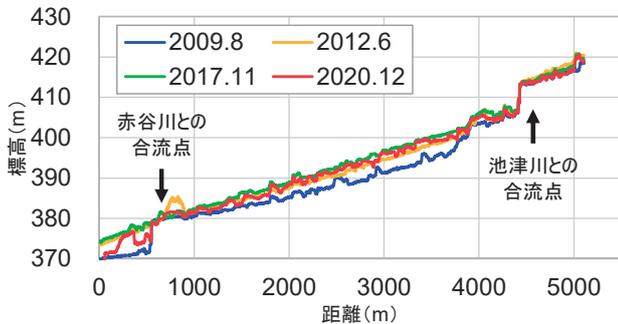


図-2 災害前後の赤谷川・池津川との合流点を含む川原樋川の縦断河床形状

土砂堆積が発生したと考えられる。災害から約9年経った2020年12月でも、赤谷川との合流点と池津川との合流点との間は災害前に比べて最大3m程度の土砂がほぼ一様に堆積している。

写真-2に災害6年後の2017年9月30日撮影の赤谷川・川原樋川合流点の様子を示す。合流点付近では支川からの土砂が扇形に堆積し、その影響で川原樋川の流水が左岸側に偏流している。



写真-2 赤谷川・川原樋川合流点の様子(2017年9月30日撮影)

3. 赤谷川・川原樋川合流点の水理模型実験

3.1 実験条件

赤谷川・川原樋川の合流点を模した水理模型実験を行った。図-3に実験装置の概要を示す。模型の縮尺は現地の1/100とした。実験に用いた水路は、本川の幅0.7m、勾配1/100とし、下流端から2.5mの位置に幅0.4m、勾配1/25の支川を90°で合流させた。本川水路は全長17mであるが、下流端から上流5.0m地点まで土砂を0.03m敷きつめ、上流端付近から土砂を供給した。支川水路は長さ3.0mで、合流点の上流2.5m地点まで河床に土砂を0.03m敷き、上流端付近から土砂を供給した。河床および供給土砂は、川原樋川と赤谷川の合流

点付近の河床材料の粒径が最大値で8~16cmであったことを参考に、縮尺に合わせて平均粒径1.5mmの砂を使用した。流入ハイドログラフは、2018年台風第20号時(総雨量471.5mm：気象庁所管風屋雨量観測所)の川原樋川と赤谷川の水位観測結果を参考とした。本川に対する支川ハイドログラフのピーク流量の比は、赤谷川と川原樋川の流域面積を参考に0.1とした。なお、赤谷川、川原樋川の合流点上流の流域面積はそれぞれ、14.1、136.6km²である。本支川のピーク流量時刻の差は、2018年台風第20号時の水位観測結果を参考に、現地スケールで3時間を想定し、Froudeの相似則を考慮し、実験スケールで18分とした。これらの条件を満たすケースをCase 1とし、基本条件とした。比較条件として、ハイドログラフの流量比を0.2とするケース、支川のピーク流量時刻差を9分および0分とするケースを設定し、基本ケースを含めた合計6ケースの実験を行った(表-1・図-4(a)・(b))。なお、本川・支川上流からの供給土砂は、平衡流砂量となるように供給した。

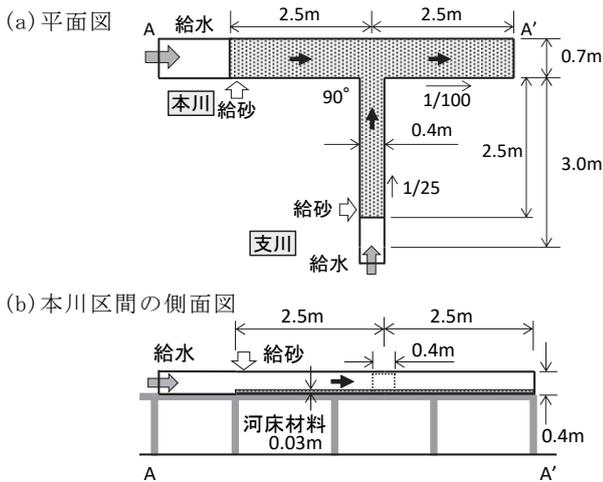


図-3 水理模型実験装置の(a)平面図、(b)本川区間の側面図

3.2 実験結果

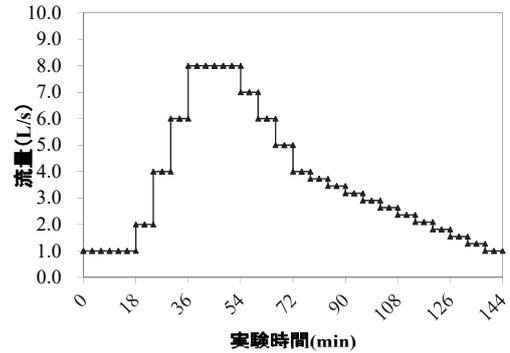
図-5にCase 1(流量比0.1、流量ピークは支川が本川より18分先行)の(a)支川ピーク時(36分後)、(b)本川ピーク時(54分後)、(c)通水終了後(144分後)の結果を示す。また、図-6にCase 4(流量比0.2、流量ピークは支川が本川より18分先行)の(a)支川ピーク時(36分後)、(b)本川ピーク時(54分後)、(c)通水終了後(144分後)の結果を示す。Case 4はCase 1と比べると、支川ピーク流量が2倍となっている。Case 4(図-6(a)~(c))の支川ピーク時・本川ピーク時・通水終了後のいずれにおいても、支川出口付近での土砂堆積範囲が広がっている。また、本支川の流下領域の境界が図6(a)・(b)ではいずれも図-5(a)・(b)より本川左岸側に向かってせり出している。これらのことから、流量比が大きいほど、すなわち支川からの流量が本川に比べて多いほど、支川からの土砂は合流点の広い範囲で堆積することが分かった。

次に、図-7に、Case 3(流量比0.1、流量ピークは支川と本川が同時)における(a)支川ピーク時(54分後)、(b)通水終了後(144分後)の河床変動高を示す。Case 1(図-5)とは本川と支川の流量ピークが同時、という点で異なっている。図-7(a)では、図-5(b)と比較すると、トレーサの軌跡から推定した本支川流下領域の境界が本川右岸側(支川出口)に寄っており、支川出口付近にほとんど土砂が堆積していない。図-7(b)についても、図-5(c)と比較すると支川出口付近にほとんど土砂が堆積していない。このことから、支川の流量ピークが本川の流量ピークに先行すれば合流点に土砂が

表-1 実験における本川・支川のピーク流量条件とピーク流量時刻の時間差様子

ケース	本川ピーク流量に対する支川ピーク流量の比	ピーク流量時刻差
case1	0.1	支川が18分先行
case2	0.1	支川が9分先行
case3	0.1	本支川同時
case4	0.2	支川が18分先行
case5	0.2	支川が9分先行
case6	0.2	本支川同時

(a) 本川ハイドログラフ



(b) 支川ハイドログラフ

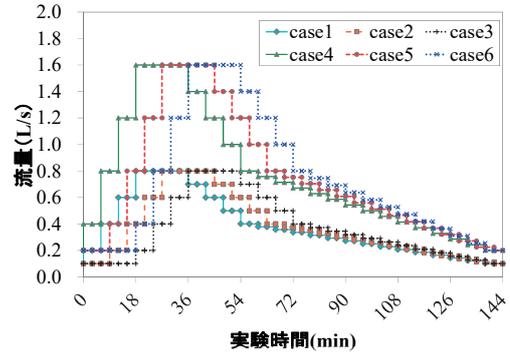


図-4 実験におけるハイドログラフ

堆積しやすく、ピークがほぼ同時であれば、土砂が堆積しにくいことが分かった。

4. まとめ

本稿では、地形測量データと水理模型実験によって深層崩壊後の下流河道合流点での土砂堆積について調査し、支川流量比が大きいほど、また、支川の流量ピークが先行する方が合流点で土砂が堆積しやすいことが分かった。今後は現地での観測データをさらに増やすとともに、土砂堆積に関するシミュレーションモデルの構築も目指したい。

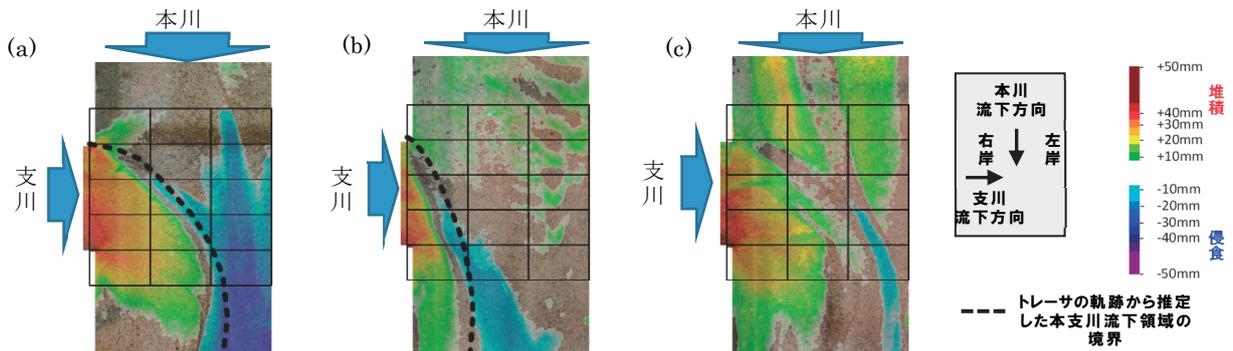


図-5 Case 1(流量比0.1、流量ピークは支川が本川より18分先行)における(a)支川ピーク時(36分後)、(b)本川ピーク時(54分後)、(c)通水終了後の河床変動高(144分後)

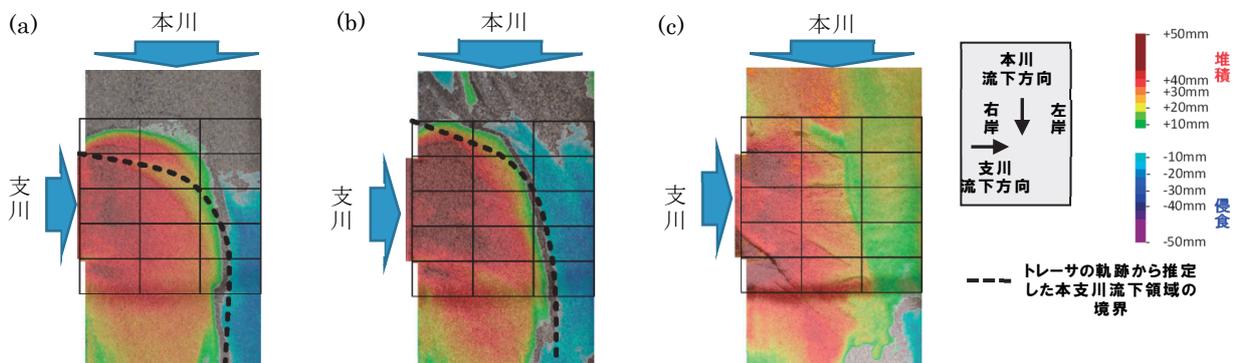


図-6 Case 4(流量比0.2、流量ピークは支川が本川より18分先行)における(a)支川ピーク時(36分後)、(b)本川ピーク時(54分後)、(c)通水終了後の河床変動高(144分後)

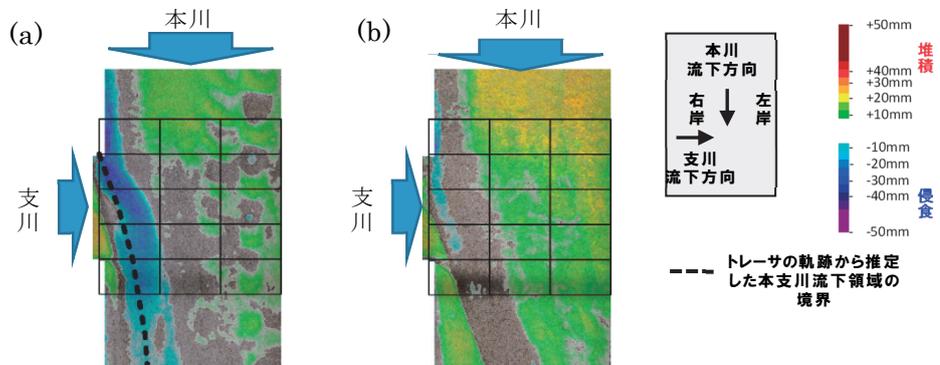


図-7 Case 3(流量比0.1、流量ピークは支川と本川が同時)における(a)本川ピーク時(54分後)、(b)通水終了後の河床変動高(144分後)

参考文献

- 岡野和行、木下篤彦、山田拓、柴田俊、井之本信、上杉温子、吉安征香、山越隆雄、里深好文：山地河川の合流点における河床変動に関する実験的研究、砂防学会誌、第74巻、第2号、pp.31～38、2021

木下篤彦



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室（近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター）主任研究官、博士（農学）
Dr. KINOSHITA Atsuhiko

山越隆雄



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室長、博士（農学）
Dr. YAMAKOSHI Takao