

流木と巨礫の堆積の影響に着目した, 水理模型実験による平成23年那智川災害での井関地区の氾濫メカニズムの検討

INVESTIGATION OF THE FLOODING MECHANISM OF ISEKI DISTRICT IN 2011
NACHIGAWA DISASTER USING THE FLUME EXPERIMENT, FOCUSED ON THE
IMPACT BY THE DRIFTWOOD AND THE BOULDER

木下篤彦¹・筒井和男²・西岡恒志²・福田和寿²・田中健貴³・島田徹⁴・
江川真史⁴・山田真悟⁴

Atsuhiko KINOSHITA, Kazuo TSUTSUI, Tsuneshi NISHIOKA, Kazuhisa FUKUDA,
Yasutaka TANAKA, Toru SHIMADA, Masafumi EKAWA and Shingo YAMADA

¹国土交通省国土技術政策総合研究所(近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター) (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

E-mail: kinoshita-a92wq@mlit.go.jp

²和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

³国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁴国際航業株式会社 (〒660-0805 兵庫県尼崎市西長洲町1-1-15)

Key Words: drift wood, boulder, debris flow, sedimentation, flood

1. はじめに

平成23年9月の台風12号では、紀伊半島で大規模な土砂災害が発生している¹⁾。特に、和歌山県の那智川流域では、複合的な表層崩壊や土石流が発生している²⁾。また、那智川の下流域である井関地区では、氾濫により、大きな被害が出ている^{3) 4)}。これらの氾濫のメカニズムについては、著者ら⁴⁾も氾濫シミュレーションなどを実施しているが、井関地区での氾濫水深が災害後の和歌山県の痕跡調査では約3mであったのに対し、計算では約2m程度となり、乖離が生じている。この理由として、災害が夜間であったため、土砂移動発生時刻が正確でない等が挙げられるが、より大きな点として、源道橋での

流木による閉塞や支川から土石流として流出してきた巨礫の影響が考慮されていない点が挙げられる。

著者ら⁵⁾はこれまで、那智川について災害後の航空写真から、巨礫や流木の分布を調査し、災害時のこれらの影響を調査してきた。また、流木について、黒岩ら⁶⁾が航空写真を基に、支川からの流出量を調査している。その他、那智川を対象としたものではないが、流木による橋の閉塞については、橋本ら⁷⁾、長谷川ら⁸⁾が水理模型実験により、流木の長さや量と橋の閉塞しやすさとの関係を明らかにしている。

一方で、流木の量や巨礫の有無が井関地区の氾濫にどの程度寄与しているかは既往研究からははっきり説明できない点が多い。そこで本研究では、水理模型実験によりこれらを明らかにする。実験では、



図-1 那智川の位置図。矢印は流向を示す。実線で囲ったエリアは、図-3 に示す範囲を表す。

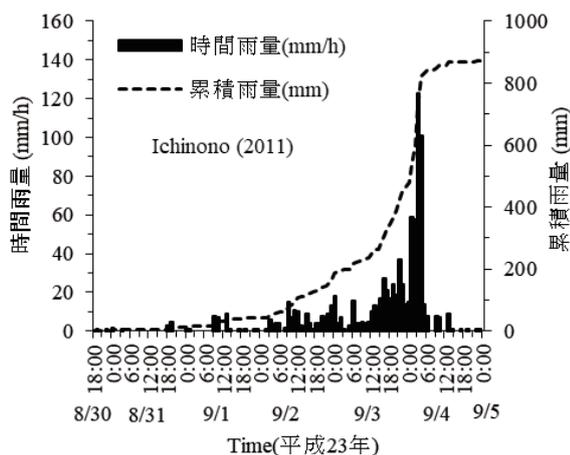


図-2 平成 23 年 9 月の那智川流域の雨量

井関地区を含む那智川のモデルを作成するとともに、巨礫の有無や供給する流木の量を様々に変えて実験を行い、これらが井関地区の氾濫にもたらした影響について検討する。

2. 平成 23 年那智川災害の概要

図-1 に那智川流域の位置図を示す。平成 23 年 9 月の台風第 12 号による災害は、源道橋上流の各支渓流から表層崩壊・土石流が同時多発的に発生するとともに、井関地区にて氾濫により大きな被害が発生している。累積雨量は 5 日間で約 870mm に達しているが、9 月 4 日の深夜に時間 120mm の雨量が観測されている。住民ヒアリングからも、9 月 4 日の深夜 2 時～4 時頃に土石流や那智川本川の水位の上昇



写真-1 井関地区の被害状況



写真-2 那智川本川に堆積した巨礫



写真-3 源道橋上流での流木の堆積。矢印は流向を示す。

が発生しており、急激な時間雨量の増加が災害の発生原因になったと考えられる。特に、井関地区では和歌山県の氾濫痕跡調査結果で、約 3m の水位となり、大きな浸水被害が発生している(写真-1)。その他、写真-2 に那智川本川に堆積した巨礫の様子、写真-3 に源道橋における流木の様子を示す。

3. 写真測量を基にした災害後の土砂・流木の堆積箇所の調査

那智川流域では平成 16 年 2 月 16・18 日に写真測量を実施している。また、平成 23 年 9 月 8 日の災害直後にも写真測量を実施している。これらを基にそれぞれ地形データを作成し、災害前後の差分図を作成した。図-3 に災害前後の航空写真を基にした差分図を示す。なお、空中写真測量については、いずれ



図-3 災害前後の空中写真測量を基にした地形データの差分図(那智川本川と金山谷の合流点を含む広域図). 矢印は流向を表す. 図中点線は背割堤の位置を表す.

も国土交通省公共測量作業規定に基づき地図情報レベル 2500 の地形データを作成している. なお, 河川敷内の水部については, 川底の形状を空中写真測量で計測できないため, 地形モデルは水面の形状で作成されている. しかし, 平成 16 年・23 年のそれぞれの写真において水部の幅は全河川幅の 20%程度を占める程度であり, 河道全体の地形は概ね表現できていると考えられる. また, 平成 23 年の災害時において井関地区周辺の河道では土砂の堆積が顕著であったため, 河床は比較的平坦であり, 水部の深さは 10cm 程度であったと考えられる. 源道橋の上流約 400m の区間及び源道橋下流の右岸側約 130m の区間で河床上昇が発生している. 源道橋は, 写真-3 に示す通り, 災害時は流木などにより閉塞していたと考えられる. また, 源道橋下流右岸側の河床上昇は約 3m にも及んでおり, 現地調査の結果, 金山谷からの土石流による巨礫の堆積によるものと考えられる. また, 源道橋下流では, 左岸側で河床低下が発生していること, 源道橋下流約 120m より下流の区間では河床低下が発生している.

なお, 本川と天女谷川の合流点付近には, 背割堤がある(図-3). 天女川出口付近は侵食が発生している. これは, 天女谷川では土石流等の顕著な土砂流出が発生しなかったこと, 背割堤で那智川本川の流出土砂の流入が抑制されたためと考えられる.

4. 流木や巨礫の堆積に着目した那智川の氾濫に関する水理模型実験

井関地区の氾濫メカニズムを流木と巨礫の点から

表-1 水理模型実験の実験ケース

Case	流量 (ℓ/s)	流木量 (cm ³)	給砂	マウンドの有無
0	4.0	0	平衡給砂	無
I	4.0	500	平衡給砂	無
II	4.0	1,000	平衡給砂	無
III	4.0	1,500	平衡給砂	無
IV	4.0	0	平衡給砂	有
V	4.0	1,500	平衡給砂	有

検証する目的で水理模型実験を行った. 模型は現地の 1/100 の模型である(写真-4). また, 勾配は現地に合わせ 1/50 とした. 粗度は和歌山県的那智川整備計画の粗度である $n=0.035$ を参考とした. 実験条件は表-1 の通りである. 流量は, 災害時のピーク流量である $404\text{m}^3/\text{s}$ から, フルードの相似則より $4.0\ell/\text{s}$ とし実験中一定とした. 流木は, 災害直後に現地に堆積していた流木の大きさを参考に, 長さ 5cm, 直径 5mm 程度のものを用い, 水路上端から一気に投入した(写真-5). また, 金山谷川から土石流により那智川本川に堆積した巨礫をイメージして, Case 4・5 では, 1cm 程度の礫を袋に詰めたマウンドを設置した(写真-6). マウンドの高さは, 災害後の現地調査の結果から, ほぼ堤防の天端と等しくなるようにした. その他, 実験中は水路の上流から平均粒径 1.5mm の砂を給砂し, 掃流力によって下流に砂が給砂されるようにした. 写真-4 では, Case 0 終了時のオルソフォトを示しているが, 屈曲の影響で源道橋下流では左岸側に土砂が堆積していることが分かる.

図-4~8 に Case I~V の最終河床形状のオルソフォト, Case 0 (掃流砂のみを平衡状態まで流した場合)の最終形状との差分を示す. なお, いずれの Case

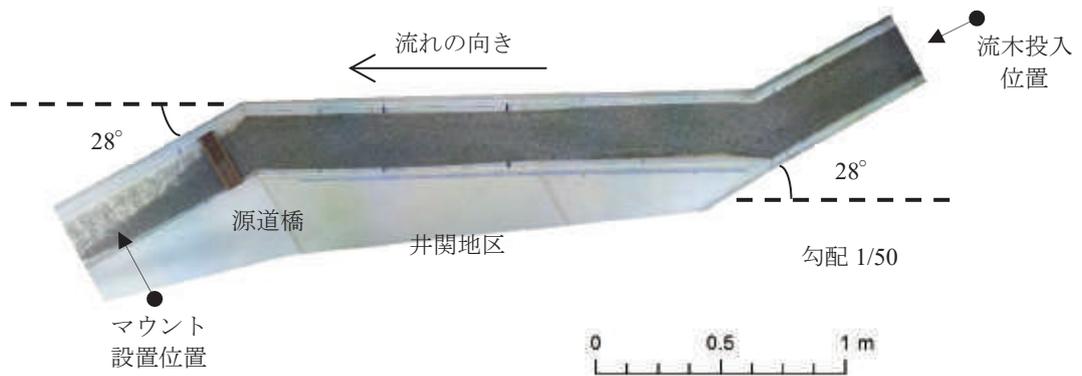
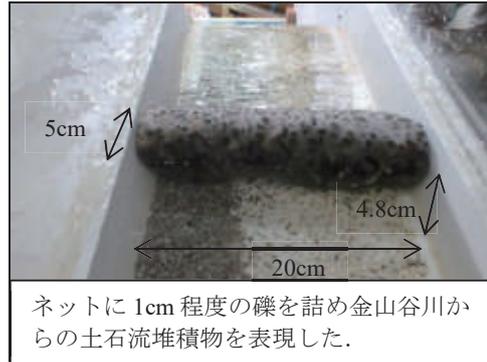


写真-4 水理模型のオルソフォト (Case 0 終了時)



写真-5 供給した流木の模型



ネットに 1cm 程度の礫を詰め金山谷川からの土石流堆積物を表現した。

写真-6 金山谷川と那智川本川の合流点に堆積した巨礫の塊の模型

も上流端から供給した掃流砂が水路末端からほぼ同量出て、水路内の河床形状に変化がないことを目視で確認して、最終形状としている。

Case I (図-4)では、流木により、一時的な源道橋の閉塞は見られたものの、数分後に下流に流れて元通りとなった。このため、流況にはほとんど影響はなかった。

Case II (図-5)では、流木により、源道橋の右岸側の一部に閉塞が見られた。流木が源道橋の右岸側で多く堆積した理由として、河道が源道橋直上流で屈曲していることが考えられる。これにより、源道橋直上流で流れが左岸側に偏り、源道橋直下流では、2~3cm 程度の侵食が生じている。これは、図-3でも源道橋の直下流左岸側で河床低下が起こっており、災害時にも源道橋直上流右岸側で多く流木が堆積したことが示唆される。

Case III (図-6)では、流木により、源道橋の全幅で閉塞が見られた。ただし、流木は源道橋の右岸側で多く堆積しており、Case II同様、源道橋の直下流では、左岸側で2~3cm 程度の侵食が生じている。また、源道橋上流 30cm の箇所では、2~3cm 程度の土砂堆積があり、護岸から土砂があふれ出し、井関地区に土砂が流入している。これは、源道橋の閉塞により、止水域が発生していること、水の流れが井関地区の方向に向かっていることを示唆している。

Case IV (図-7)では、マウンドから源道橋の間に

土砂堆積はほとんど見られない。また、源道橋の直上流数 cm の区間においても同様であった。それより上流では、2~4cm 程度の土砂堆積が見られ、土砂の井関地区への流入が見られる。源道橋直上流と源道橋の間はマウンドによって水の流れがせき止められ、止水域となっていたと考えられる。

Case V (図-8)では、流木による源道橋の閉塞、マウンドによる水の堰き止めが見られた。源道橋の下流については、マウンドとの間で、Case III (図-6)同様、2~3cm 程度の侵食が見られた。また、源道橋上流の土砂堆積については、Case IV (図-7)に比べ、土砂堆積の下流末端が源道橋から 30cm 程度上流に移動している。著者らの既往研究⁵⁾では、家屋の被災状況や巨礫、流木の堆積状況から、源道橋より 200m 程度上流で水や土砂が井関地区に流入したことが分かっており、これらは、源道橋に流木が堆積したためと考えられる。その他、土砂の堆積範囲は Case IV (図-7)と同様であり、マウンドにより流速が弱まったために源道橋上流域で土砂が堆積したと考えられる。

以上から、流木による源道橋の閉塞と金山谷出口での巨礫の堆積の影響として、源道橋上流に止水域を作り、広い範囲で多量の土砂を堆積させたことが挙げられる。これらにより、水の流れが井関地区に向かい被害を拡大させたと考えられる。

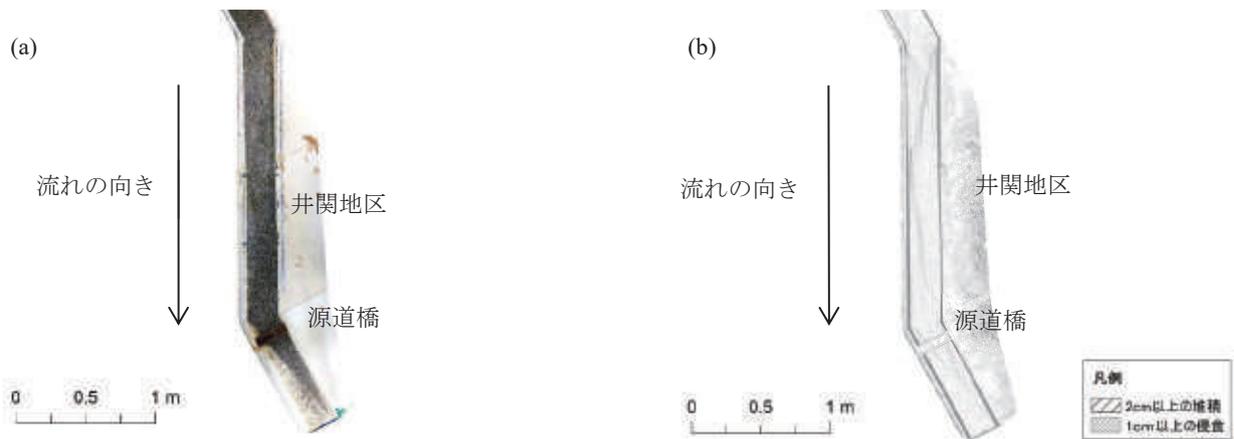


図-4 Case I (マウンド無し, 流木量 500cm³) の最終形状. (a) オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

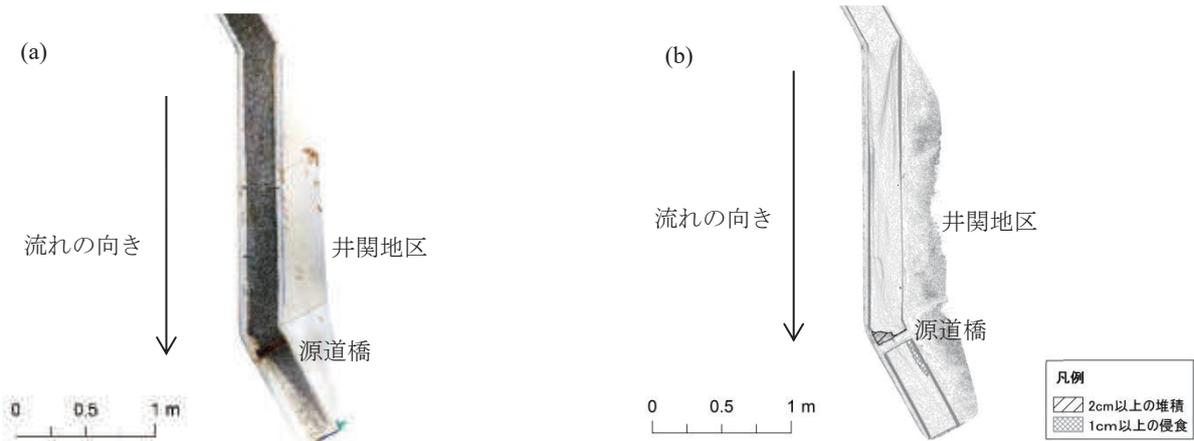


図-5 Case II (マウンド無し, 流木量 1000cm³) の最終形状. (a) オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

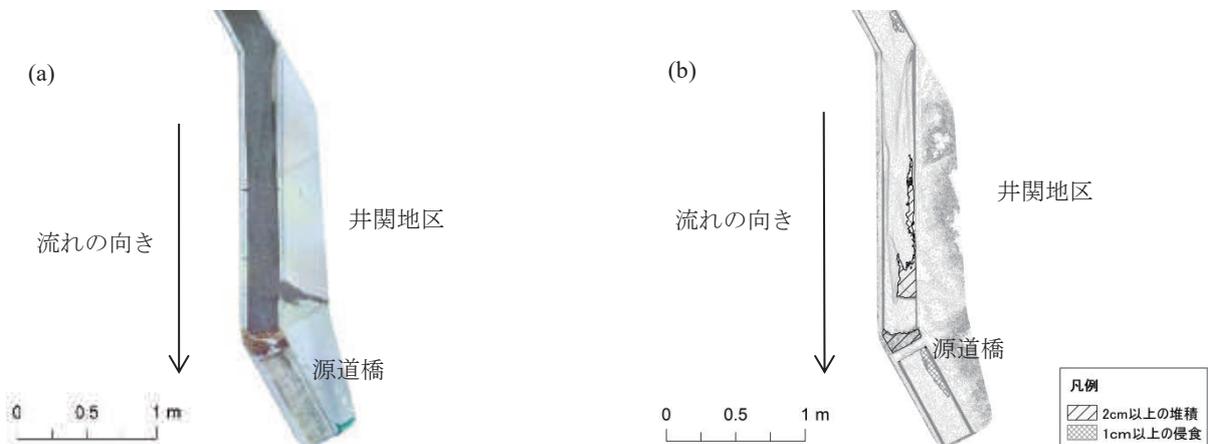


図-6 Case III (マウンド無し, 流木量 1500cm³) の最終形状. (a) オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

5. おわりに

本研究では、水理模型実験を通じて、平成 23 年の那智川水害における流木による橋の閉塞と支川からの土石流による那智川本川への巨礫の堆積による井関地区の氾濫への影響について検討した。得られた成果は以下の通りである。

1) 源道橋直上流で、那智川の河道は左に屈曲しており、この影響で源道橋上流では、右岸側に多く流

木が堆積し、水の流れは左岸側に偏流し、源道橋下流で河床低下が発生した。この点について、水理模型実験でも再現できた。

2) 金山谷からの土石流による巨礫の那智川への堆積と流木による源道橋の閉塞により、源道橋上流に止水域が発生し、源道橋上流で土砂が堆積したと考えられる。また、源道橋に流木が堆積したことで、土砂や水が源道橋より約 200m 上流で井関地区に流入したと考えられる。これらにより被害が大きくなったと考えられる。

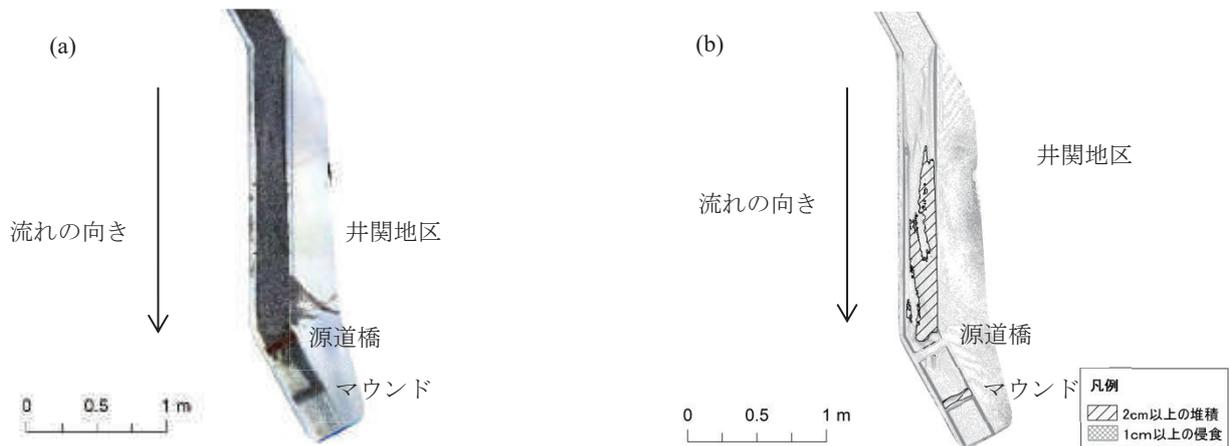


図-7 Case IV (マウンド有り, 流木量 0cm³) の最終形状. (a)オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

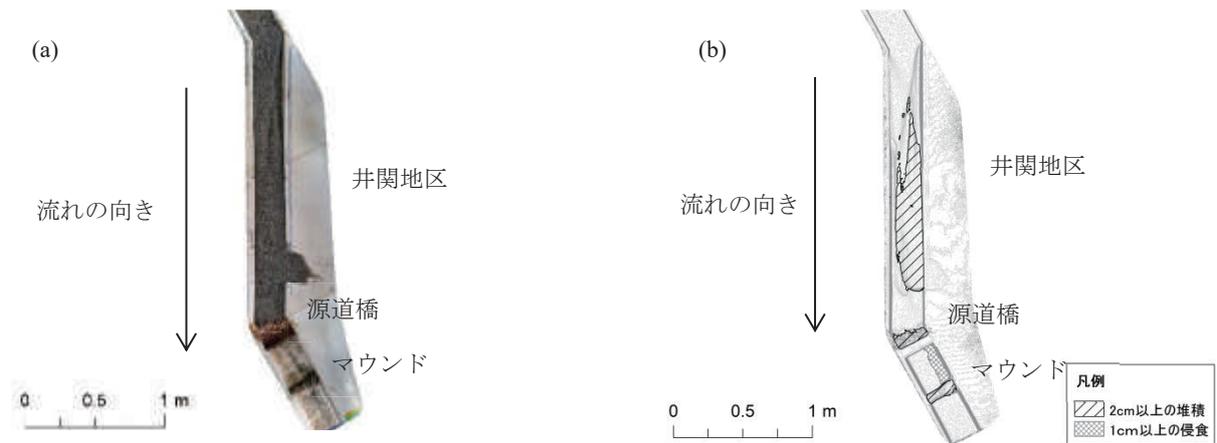


図-8 Case V (マウンド有り, 流木量 1500cm³) の最終形状. (a)オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

3) 本研究は、一様粒径で給砂したため、災害後の地形と水理模型実験後の形状で異なる点もあった。また、現地には背割堤もあるが、その効果については十分検証されていない。これらの点についても今後検討していきたい。

参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.43-53, 2012.
- 2) 筒井和男, 西岡恒志, 福田和寿, 坂口武弘, 木下篤彦, 今森直紀, 田中健貴, 島田徹: ヒアリング調査を基にした平成23年那智川災害の避難行動に関する研究, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.37-42, 2016.
- 3) 木下篤彦, 神野忠広, 久田昭文, 森川智, 大西誠, 吉川卓郎, 郡典宏, 島田徹, 西川友章: 平成23年台風12号による那智川流域における土石流災害実態, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp.96-97, 2012.
- 4) 木下篤彦, 北川眞一, 大山誠, 河部長志, 内田太郎,

- 里深好文, 久保毅, 島田徹, 郡典宏, 笠原拓造, 渡辺隆吉, 岩田幸泰, 清水幹輝: 平成23年台風12号時の那智川流域の土砂流出・堆積機構に関する研究, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-6-7, 2013.
- 5) 木下篤彦, 筒井和男, 西岡恒志, 福田和寿, 田中健貴, 島田徹, 江川真史, 山田真悟: 流木の挙動と巨礫による河床上昇に着目した, 平成23年台風第12号による那智川流域井関地区の氾濫メカニズムの検討, 河川技術論文集, 第24巻, pp.433-438, 2018.
- 6) 黒岩知恵, 藤村直樹, 木下篤彦, 水野秀明, 今森直紀, 福田和寿: 平成23年台風12号土砂災害における和歌山県那智川支流域の流木の発生と流出実態, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.127-132, 2016.
- 7) 橋本晴行, 楠窪正和, 喜多貢菜, ムハマドファリドマリカル: 洪水時における河道内障害物による流木群の集積過程に関する実験的研究, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.145-149, 2016.
- 8) 長谷川祐治, 中谷加奈, 里深好文, 藤田正治: 山地河川における流木の流下と橋梁集積に関する検討, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.133-138, 2016.

(2018.5.18 受付)