

2011年9月紀伊半島豪雨災害調査速報

竹林 洋史*・藤田 正治*・宮田 秀介*・堤 大三*

1. はじめに

非常にゆっくりとした速度で北上した台風12号により、2011年9月2日頃から発生した豪雨に伴う河川氾濫および土砂災害は、9月12日午後1時現在の読売新聞のまとめで、全国で63名の死者と39名の行方不明者という大きな被害をもたらした。河川氾濫や土砂災害は、新宮川水系や那智川など多くの場所で発生した。さらに、十津川上流域では、天然ダムが複数形成され、今なお危険な状態が継続している。本調査は、自然災害研究協議会災害調査団及び京都大学防災研究所流域災害研究センター災害調査団として、2011年9月14日～16日に現地調査を実施し、その調査結果の概要を示すものである。

主な調査地を図1に示す。十津川村長殿・野尻と新宮市相筋では崩壊や天然ダムの形成、新宮市相筋と紀宝町では内水及び外水氾濫、十津川村折立、熊野市五郷町、那智川では橋梁に関連した災害が発生していた。

2. 気象条件¹⁾

図2に台風12号の移動経路を示す²⁾。8月25日9時にマリアナ諸島の西の海上で発生した台風12号は、発達しながらゆっくりとした速さで北上し、28日には強風半径が500キロメートルを超えて大型の台風となり、30日には中心気圧が965ヘクトパスカル、最大風速が35メートルの大型で強



図1 主な調査地点

い台風となった。9月2日には暴風域を伴ったまま北上して四国地方に接近し、3日10時前に高知県東部に上陸した。その後、台風はゆっくりと北上して四国地方、中国地方を縦断し、4日未明に日本海に進んだ。台風が大型で、さらに台風の動きが遅かったため、台風周辺の非常に湿った空気が長時間日本列島に流れ込み、紀伊半島では山沿いを中心に記録的な大雨となった。8月30日17時から

* 京都大学防災研究所流域災害研究センター流域災害研究領域・流域圏観測領域
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本速報に対する討論は平成24年5月末日まで受け付ける。



図2 台風12号の移動経路

の総降水量は、紀伊半島の広い範囲で1,000 mm を超え、奈良県上北山村にある国土交通省の雨量計では、降り始めの8月30日から9月5日までの総雨量が2,439mmとなっており、記録的な大雨となった。

3. 崩壊及び天然ダムの形成

3.1 十津川村野尻

図3に十津川村野尻における被災状況の写真及び発生したと思われる現象について示す。崩壊は、9月3日の午後6時30分頃、左岸側で発生している。崩壊地のすぐ下流右岸側では、河岸沿いに建っていた2軒の家屋が流失した。本災害の主要因としては、天然ダムの形成・決壊による鉄砲水^{3),4)}や河川水位の上昇による洪水流³⁾等が新聞等



図3 十津川村野尻における被災状況

で報道されたが、崩壊した土砂の堆積形状を見る限り、天然ダムの形成・決壊は確認できなかった。これは、以下のような理由からである。まず、河道横断線に沿った形で土砂の堆積地形を見た場合、天然ダムが形成されたとすると川に近い部分で急角度となることが多い(例えば、後述する図7(a),(c))。これは、天然ダムが決壊するときに、貯まった水による浸食によって、堆積した土砂が削り取られて、横断勾配が急になるためである。しかし、野尻の堆積地形の横断形状は、図4に示すように直線的であり、貯まった水による堆積土砂の浸食現象は確認できなかった。また、天然ダムが形成・破壊が発生した場合、崩壊土砂の堆積範囲より上流域では、下流域よりも高いところまで水際の植生が剥ぎ取られることが多い(例えば、後述する図7(a))。これは、天然ダムにより堰上げされた水が、天然ダム決壊時に大きな掃流力で水が流出するためである。しかし、野尻地区の崩壊地では、図3(a)に示すように、崩壊土砂の堆積範囲の上流では低いところまでしか水際の植生が削り取られていない。これらの事より、野尻においては、2件の家屋を流失させるような規模の天然ダムは形成されていなかったと考えられる。また、河川水位上昇による洪水流も家屋の流失の原因としては考えにくい。これは、流出した家屋が2軒のみであり、流出した家屋から約30m下流で地盤高さも低い所に位置する祠(図3(c))や流出した家屋から約80m下流の家屋(図3(d))に外的損傷がほとんど無いため、全体的に水位が



図4 十津川町野尻における被災状況

高くなる洪水流による流失は、被災の主要因とは考えにくい。

現地調査の結果、今回の2軒の家屋の流失は、崩壊によって川に土砂が流れ込んだときに、河川に流れ込んできた土砂の勢いによって、土砂混じりの河川水の一部が対岸の国道168号に乗り上げ、その水が河道に戻るときに、急勾配の河岸を速い流速で流れ落ちて家屋を流失させたと考えられる。これは、被災者の一人が「すごい音がして雷か地震かと思ったら濁流に流されていた」と証言しており、崩壊の発生直後に被災していること、家屋周辺の柵が国道から河川に向かって倒れていること(図3(f))、柵に引っかかっている植生が国道側に引っかかっている事(図3(g))、水が右岸に当たり一部が上流に流れたため、右岸側の堤防の植生の一部が上流に向かって倒れていること(図3(h))、流出した家屋の下流側に、国道から河道に流れ込んだ水による低水護岸の浸食(図3(e))が見られること等から想像される。

3.2 天然ダム

今回の調査では、十津川村長殿の長殿谷に形成された天然ダムと十津川村宇宮原で形成・決壊したと思われる天然ダムの痕跡を調査した。図5に示すように、長殿谷は十津川右岸側の流域であ



図5 天然ダムが形成された十津川村長殿谷の位置

る。谷の平面形状は直線的であり、ほぼ直角に十津川に流入している。天然ダムが形成されている流域は、長殿谷の南側の流域であり、北側の谷の流域と合流する直上流の右岸側で発生した崩壊により、谷が堰止められている。長殿谷の流域面積は約3 km²であり、谷の長さは約2.5 kmである。図6に十津川の左岸側から長殿谷の天然ダムを撮

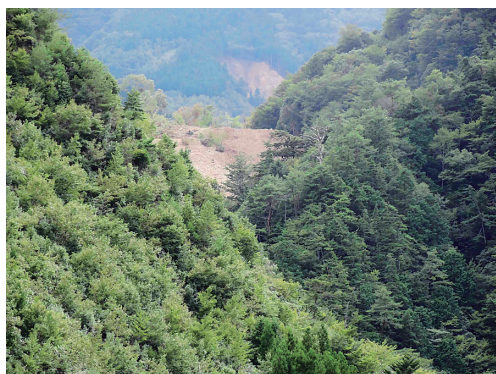


図6 天然ダムが形成された十津川村長殿谷

影した写真を示す。見える範囲の天端の形状は平坦であり、比較的流動性が高い状態で谷に土砂が流れ込んだことが予想される。長殿谷は流域が狭く、天然ダム天端と水面の差も比較的余裕があり決壊の危険度は比較的低いが、天然ダムの位置が流量の多い十津川本川まで近く、さらに、本川に直角に流れ込むため、天然ダムの決壊によって一気に土砂が流出した場合は、十津川本川に土砂が堆積し、流水に大きな支障が発生すると考えられ、注意が必要である。

十津川村宇宮原では、200m程度しか離れていない2カ所で天然ダムの形成・破壊が確認された。図7(a)と(e)に上流側の崩壊地及び天然ダムの形成・破壊痕、図7(c)と(d)に下流側の地すべり崩壊地及び天然ダムの形成・破壊痕を示す。形成されたと予想される天然ダムの高さは、天然ダム形成時の土砂の堆積痕(図7(a)と(c))や河岸の植生の浸食高さ(図7(a))から、上流側の方が高かったようである。このように、天然ダム



図7 十津川村宇宮原における天然ダムの形成・破壊痕

が連続して2カ所形成された場合、両者がほぼ満水状態にあり、上流側の天然ダムの決壊によって下流の天然ダムに水が流れ込んで決壊した場合、下流が先に決壊してその水位低下で上流側の堆積土砂が不安定になって上流側が決壊した場合に比べて、一度に下流に流れ込む水と土砂の量が多くなるため危険となる。両崩壊の関係や天然ダムの形成・破壊時刻などは現時点では不明だが、約10km下流に位置する風屋ダムの水位記録などにより、これらが明らかになるかもしれない。また、上流側の崩壊では多くの砂礫が約200m離れた上流の橋に衝突し、橋が損傷していた(図7(b))。これにより、崩壊土砂の移動速度が非常に速かったと想像される。

熊野川河口から約2.5kmの新宮市相筋地区においても、家屋を破壊した崩壊が2カ所発生した(図8)。どちらの崩壊も9月4日の午前3時~4時に発生している。下流側の崩壊(図8(c))では、土砂によって3階建ての家屋の2階が潰れていた(図8(b))。崩壊発生時点では、4人の住民のうち2人は、山から流れてくる水が道路の方に流れるような対策を屋外で行っていた。1人は3階

で、残りの1人は2階で就寝中であった。幸いにも潰れた2階で就寝中だった1人も含めて大きなケガは無かったとのことである。崩壊が発生した斜面は窪んだ形状をしており、雨が集まりやすい状態にあったと推察される。また、斜面の下部には、斜面の水みちであったと思われる直径15cm程度の穴が確認された(図8(d))。なお、9月16日午前の調査時には、穴から水は流れていなかった。上流側の崩壊も、家屋の一部を破壊した(図8(a))。斜面には植生も残っており、表層の土砂が薄く滑り落ちたようである。新宮市相筋地区は、川に近い地盤の低い所では、9月3日の時点で既に1m以上の浸水があり、住民の多くが近くの小学校に避難していたが、山沿いの地盤の高い所の住民は、崩壊が発生するまで避難せずにそのまま残っていたとのことである。

4. 内水・外水氾濫

4.1 新宮市相筋地区

熊野川河口から約2.5kmの右岸側に位置する新宮市相筋地区では、内水及び外水による氾濫が発生した。9月3日の夕方の時点で既に50cm以



図8 新宮市相筋地区における崩壊

上の浸水が発生していたようである。新宮市相筋地区には3つの樋門があり、上流から第1、第2、第3樋門と呼ばれている。これらの樋門の内、第2、第3樋門は熊野川からの堤内地への水の流入を防ぐために、9月3日の時点では閉じられていた。しかし、第1樋門は、異物が挟まってしまい、完全に閉じることはできなかったとのことである。一方、雨による内水氾濫を防ぐためにポンプ車が排水作業を行っていたが、排水能力以上の雨と第一樋門から熊野川の水が流入したため、浸水深が深くなったようである。また、夕方以降、ポンプ作業の継続が危険との判断となり、ポンプによる排水作業を中止したため、氾濫水位はさらに高くなったようである。図9(b)に示すように、家屋に残った痕跡より、浸水深は2m程度となっている。新宮市相筋地区の住民の一部は9月3日の23時以降に避難をしている。避難を

先導していた住民によると、第一樋門の約150m上流の堤防からは水が噴出していたとのことである。幸い、9月3日23時30分の時点では、街灯が消えておらず、地盤の低い所にいた住民は全員避難でき、死者・行方不明者は発生していない。堤防からの溢水は、住民が避難した後に発生したようであり、図9に示すように、第一樋門から上流に約150mの区間で発生したようである。この区間では、図9(a)、(c)、(e)に示すように、堤外地側だけでなく、堤内地側の堤防も浸食を受けており、堤防に上るための道の一部は流失していた(図9(e))。図10に熊野川河口の海側(あけぼの(外))と川側(あけぼの(内))、河口から約2kmに位置する成川、河口から約8kmに位置する相賀の観測所における水位の時間変化(速報値)を示す⁵⁾。データが示されていない点は、欠測等である。熊野川河口の外側と内側の水位を比較する



図9 新宮市相筋地区における被災状況

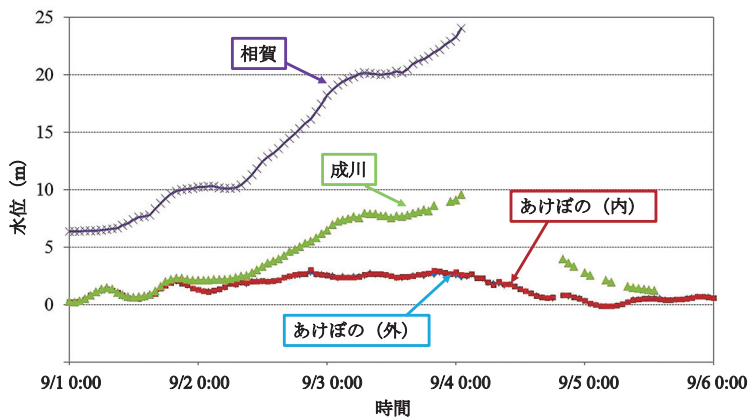


図10 熊野川下流域の水位の時間変化



図11 熊野川下流域の道路橋

とその差は全くないことがわかる。河口砂州が良く発達することで有名な熊野川であるが、本データより、豪雨発生時には、河道内の河川水位を上昇させるような河口砂州は発生していなかったことがわかる。紀宝町総務課防災対策室によると、豪雨が発生する前の時点で、河口では、既に右岸側と左岸側に流路が形成されており、砂州は河道中央に残っているだけだったとのことである。もし、砂州が十分に発達していた場合、今回の台風のように進行速度が遅く、流量の増加率が小さい場合は、河口砂州のフラッシュが開始される流量が大きくなり、水位の高い状態が長く続くこととなる。しかし、フラッシュ開始後は、大規模に河口砂州を浸食するので、フラッシュ後の水位は非常に低くなる傾向がある。一方、平成9年7月洪水のように、比較的早く河川の流量が増加した場合は、河口砂州のフラッシュが開始される流量が小さくなるが、フラッシュ後の水位は比較的高い状態で保たれることとなる。また、新宮市相筋地

区の住民によると、熊野川河口から約2 kmの所に位置する2つの橋梁の内、高さの低い下流側の橋（図11の緑色の橋）では、上部工の一部が浸水していたとのことである。橋梁の浸水は、道路の上を常時水が流れるような状態ではなく、橋の上に波が間欠的に乗っていたようである。

被災後、新宮市の広い範囲で断水した。しかし、新宮市相筋地区では、水道水だけでなく山からの伏流水を引いている家庭もあった（図9 (d)）。これらの水は、被災後に枯れることもなかったため、相筋地区だけでなく、他の地区の被災者も水を求めて訪れたとのことである。さらに、水や土砂が氾濫した地域では、被災後の掃除のために水は欠か

せないが、この山からの水が非常に役立つとのことであった。また、新宮市相筋地区の地盤が低い所に位置する全ての家屋は浸水被害を被ったが、大きな被災をしなかった家屋もあった。新宮市相筋地区は、築数十年経過した1階及び2階建ての木造家屋が多い中、その家屋は3階建てであり、1階を駐車場及び玄関として利用していた。当然、玄関が完全に浸水したため浸水被害は受けているが、他の家屋に比べて被害は非常に小さかったようである。徳島県・那賀川流域でも1階を教室としては使用していない学校が存在するが、河川氾濫域に住居を構える場合、1階のスペースの利用方法によっては、このように、被災を最小限に食い止められると考えられる。水害に強い町づくりを推進する場合、このような、多様なライフラインの保全や耐浸水構造の家屋の建築に対する行政からの援助も期待される。

4.2 紀宝町

新宮川河口から約1.5km上流左岸側では、溢水により外水氾濫が発生した。住民によると、JR紀勢本線付近を撮影していたビデオカメラにより、9月4日午前2時頃に溢水したことを確認したとのことである。図12に示すように、浸水深は約2mであり、住民によると伊勢湾台風の時の浸水深よりも1m以上高かったとのことである。



図12 紀宝町で浸水した家屋

5. 橋梁に関連した災害

5.1 十津川村折立地区

図13に落橋した折立橋を示す。折立橋は自動車用の橋と歩行者用の橋が併設されており、落橋したのは下流側に位置する自動車用の橋の右岸側である。自動車用の橋は上部工がトラス構造の橋であり、奈良県によると、トラスの部分に流木や植生などのゴミが引っかかり、落橋したとのことである。流失したトラス部分は、約200m下流まで



図13 落橋した折立橋

流されていた(図14)。なお、橋脚については局所洗掘等の河床変動により、移動・傾斜した様子は見られなかった。また、奈良県によると、橋の修復は落橋した部分のみであり、落橋しなかった左岸側の部分はそのままだと使用できるとのことである。

5.2 那智勝浦町

図15に那智川下流に架かる JR 紀勢本線の橋が落橋した様子を示す。落橋したのは、右岸側の半分であり、水位上昇によって橋を押し流すとともに、右岸側の橋脚周辺の河岸浸食による橋脚の不安定化(図15(b))によって落橋に至ったことが推察される。河岸浸食範囲は、湾曲外岸の水衝部となる右岸側(図15(e))、橋の上流左岸側、右岸側の橋脚周辺(図15(a))と左右岸交互に発生していた。これは上流部の湾曲に起因して交互流れが発生し、交互に河岸を浸食したものと推察される。

5.3 熊野市五郷町

図16に示すように、熊野市五郷町では橋梁の左岸側を迂回する迂回流及び氾濫原からの水の流れ

による河岸・道路・農地の浸食が発生していた。橋梁は、北山川の支川の大又川に架かっており、七色ダムの上流に位置している。橋に続く浸食された道路の東の家屋の住民によると、9月4日の午前5時頃、急激に浸食が発達したとのことである。また、午前5時の時点では、一面水浸しで避難は不可能な状態だったとのことである。広域図を見るとわかるように、被災地は、少し広い谷に形成された沖積平野の下流に位置し、谷が細くなっており、水が集中して流れにくくなる所である。橋梁の上部工には多くの植生が引っかけっており、増水した水が橋の上を流れていたと考えられる。

浸食のプロセスは、以下のように考えられる。つまり、(1)谷が狭い場所の橋に多くの植生が引っかけり、水が上流の氾濫原に広く貯留された、(2)橋によって堰上げされた水が橋を迂回して橋の下流に流れ込んだ、(3)迂回して下流河道に流れ込む流れが急勾配で河道に流れ込み、橋梁下流の左岸側の護岸(河岸)を崩壊させた、(4)橋梁下流の左岸側の護岸の崩壊により、氾濫原に広く貯留されていた水が崩壊した護岸の方向に流れ込んだ、(5)その結果、橋に続く道路が浸食さ



図14 流失した折立橋のトラス部分



図15 那智川下流に架かる JR 紀勢本線の橋周辺の被災状況



図16 熊野市五郷町における迂回流及び氾濫原からの水の流れによる河岸・道路・農地の浸食

れ、水位が下がり、橋と家屋の間の農地に水が集中して農地を浸食した、(6)堤内地の農地の浸食と川からの迂回流により、橋上流左岸側の護岸(河岸)が浸食された。

この度の水害では、橋梁に関連した災害を多く見かけた。一般に、橋梁の上部工は計画高水位よりも高い所に位置しており、上部工による流水の阻害を考慮した河川流の解析は一般には実施しない。また、橋脚による堰上げについても、流水を阻害する断面が規定以下であると、河川流の解析では考慮しないことが多い。しかし、今回の出水のように、計画高水位を越える流れが発生すると、橋梁には流木や植生が引っかかり、河川の流れを大きく阻害するものとなり、洪水氾濫を助長してしまう。また、橋梁そのものも大きなダメージを受けてしまう。そのため、特に流下能力が小さい断面に位置する橋梁については、計画高水位を上回る場合の河川流の阻害の程度を事前に把握し、洪水氾濫の予測に役立てることが重要と考えられる。また、落橋が発生すると災害復旧が大幅に遅れてしまうため、橋梁の設計サイドからも治水弱点部の橋梁や交通の要となっている橋梁については、河川の流れや地形特性を考慮した落橋対策を検討することが重要と考えられる。

6. おわりに

2011年9月に発生した台風12号による紀伊半島豪雨災害に対する災害調査の結果を報告した。本調査により、崩壊による天然ダムの形成・決壊等に起因した多様な土砂災害プロセスが発生していたことが明らかとなった。また、河口砂州発達河川における洪水氾濫の危険性、ライフラインの多様化の重要性、耐浸水構造の家屋の重要性も再認識することとなった。さらに、超過洪水時には、橋梁は河川流を大きく阻害するため、洪水氾濫を助長すると共に落橋の危険性が高まるため、治水弱点部の橋梁や交通の要となっている橋梁については、河川の流れや地形特性を考慮した落橋対策の必要性が明らかとなった。本報告は速報版であり、ここに記載されたものの一部は、現時点では十分に検討できていない。これらについては、今

後、1次元及び平面2次元の河床変動解析や流域土砂動態解析を主として用い、詳しく検討が行われる予定である。

謝 辞

本調査では、新宮市相筋地区、熊野市五郷町、紀宝町の皆様には、被災からの復興にお忙しい中、親切にご対応頂き、被災時の詳細な情報をご提供頂いた。また、国土交通省淀川河川事務所、紀宝町総務課防災対策室、新宮市防災対策課からは、調査の前に現地の状況について情報をご提供頂いた。なお、本報告は自然災害研究協議会から先遣調査(団長:京都大学防災研究所・松浦純生)として研究費をサポート頂いている。ここに記して、関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省気象庁:平成23年台風第12号関連ポータルサイト, 2011.
- 2) 国土交通省気象庁:台風経路図2011, 2011.
- 3) 読売新聞社:読売新聞朝刊(9月4日), 2011.
- 4) 朝日新聞社:朝日新聞朝刊(9月4日), 2011.
- 5) 国土交通省:川の防災情報(<http://www.river.go.jp/>).

(投稿受理:平成23年10月25日)