

2016年8月の台風10号による久慈川の洪水被害に流木が果たした影響

高崎 忠勝¹・土屋 十圀²

Damage attributed to floating trees during flooding of the Kuji River due to Typhoon No. 10 in August 2016

Tadakatsu TAKASAKI¹ and Mitsukuni TSUCHIYA²

Abstract

This study is based on our previous report in the Japanese Society for Natural Disasters (J.JSNDS, 36-4,2018) that described the extent of damage attributed to floating trees during flooding of the Kuji River due to Typhoon No. 10 in 2016. The motivation for this study was based on the hypothesis that the considerable damage attributed to flooding of the Kuji River may have been less extensive if the floating trees in the floodwaters of the river had not been caught by bridges. To clarify this hypothesis, we examined hydrological, photographic and satellite data of the river and bridges at the time of flooding and two years thereafter, which we obtained from the Iwate Prefectural government and Google Earth.

Furthermore, we used a tank model with flow data from the St. 1 water gage to estimate the run-off discharge in 2015. At the same time, tank model parameters were determined. The relation between water level and discharge was estimated based on discharge calculated using Manning's formula. The roughness coefficient was calculated by anti-analysis of Manning's formula in order to recreate on the discharge in 2016. As for St. 1, the relation between water level and discharge was also estimated for the St. 2 water gage, which was located close to where the river overflowed its banks. Using numerical run-off analysis, we also estimated whether or not the riverbanks overflowed. Our findings showed that if floating trees had not been caught by bridges, the riverbanks overflowed would had not occurred, or the damage associated with flooding of the Kuji River would have considerably been less extensive.

キーワード：洪水被害, 流木, 橋梁, 流出解析, 水位・流量関係式

Key words: flooding damage, floating trees, bridges, run-off analysis, relationship between water level and discharge

¹ 首都大学東京客員准教授
Tokyo Metropolitan University
Guest assistant professor

² 現・中央大学理工学研究所 前橋工科大学名誉教授
Institute of Science and Engineering, Chuo University
Professor Emeritus, Maebashi Institute of Technology

本論文に対する討議は2020年8月末日まで受け付ける。

1. はじめに

2016年8月の台風10号による岩手県北部水害の調査結果は本学会のVol.36, No.4, 2018に報告¹⁾を行っている。本研究は、この報告をもとに流木が果たした越水・氾濫への影響に関して検討したものである。現地調査から久慈川では流木が橋梁群に捕捉されていない場合、堤防からの越水氾濫はなかったのではないかとという疑問から河川水位データを収集し、その有無を検討した。検討内容は最初に、久慈川の河川氾濫と水害の特徴に関して述べ、氾濫直後の橋梁に捕捉された流木の状況と水害2年後の同一箇所の水害復旧後の河道の比較を行っている。更に、既往観測の河川水位データによる越水の有無をタンクモデルによる流出解析及び Manning 式によって流木の影響を数値的に検討し、明らかにした。

2. 久慈川の水害の特徴

岩手県内の2016年8月29日0時から同月31日12時までの降雨強度の大きい主要地点の総降雨量は、久慈川流域では久慈市下戸鎮278.5 mm、久慈139.5 mm、山形178.5 mmである。また、南側に隣接する小本川流域の岩泉町248.0 mm および刈屋226.5 mm を記録し、強雨域は三陸沿岸域に近い北上高地に集中している。図1は久慈川流域にある気象庁地上雨量計²⁾の久慈、山形、下戸鎮の3地点を使用し、降雨域を推定している。2016年8月28日0時から同年9月3日0時までの累積値である。最大値は久慈川支川の長内川上流、下

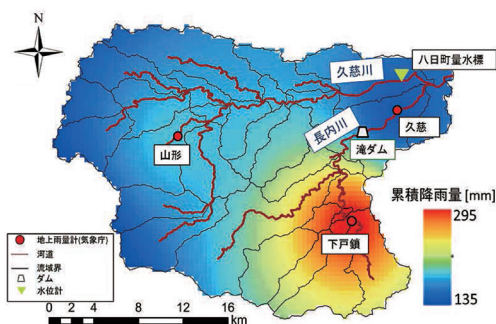


図1 台風10号による久慈川流域の累積降雨量分布

戸鎮観測所295 mm となっている。久慈川本川の上流域および下流域は150~200 mm 程度であり、山間部と久慈市街地の中心に集中していることがわかる。

その結果、浸水面積は久慈川では約0.63 km²であり、長内川上流右支川の小屋畑川では0.016 km²であった。最大浸水深は久慈市街地の223cmであった。久慈市の被害は死者1名、全壊31棟、大規模半壊194棟、一部破損7棟、床上浸水1,279棟、床下浸水747棟、合計2,258棟（うち住宅1,223棟）であり、2011年3月11日の東日本大震災の津波被害1,248棟（うち住宅568棟）を1,010棟上回った。久慈市災害対策本部³⁾によると公共施設、農林水産関係の被害額は169億4,917万円と推定されている。

3. 久慈川氾濫と流木の状況

(1) 越水氾濫状況

図2は2016年9月1日、久慈川上空右岸から久慈駅周辺を中心市街地に越水・氾濫した浸水の状況である。著者ら¹⁾は2016年11月20日、久慈市内の氾濫調査、浸水痕跡調査を行っている。調査は市街地の商店、事業所、住宅などの建物の浸水痕跡を目視により65地点の地盤からの浸水深をスタッフ、レーザー距離計等を使用して実測した。また、久慈市消防課の資料³⁾を参考に住民のヒアリングも行い堤防からの越水・氾濫状況を確認した。図3に越水、浸水深の計測箇所を青色で示し



図2 久慈市内の浸水状況（岩手県資料⁴⁾に加筆）

た。越水箇所は上流から下流に向かって、「上の橋」上流の右岸と次の「中の橋」の間の右岸から越水し、更に「中の橋」から鉄道橋までの左右岸から越水が発生している。また、久慈橋までの左岸の堤防から越水していることがわかる。黄色の矢印は堤防からの越水および氾濫流の方向を示している。氾濫流は JR 久慈駅の地下通路から南側下流の市役所方面まで流下している。鉄道アンダーパスでは滞留している。市内の浸水痕跡による最大浸水深は223 cm であり浸水マップを既報¹⁾で示している。

いずれの越水箇所も流木が橋梁の橋台、橋桁、欄干等に捕捉された橋の上流付近に集中している。「上の橋」では左岸に流木が捕捉され、右岸から越水している。流木による流水疎外によって河川水位の上昇をもたらし、越水・氾濫に繋がった直接的な要因と考えられる。住民のヒアリング等により「上の橋」より上流約100 m の地点及び久慈橋より下流では越水していないこともわかった。なお、「上の橋」と「中の橋」の右岸中間には八日町水位観測所 St.2 (図3の黄色の○印) があり、(3)「久慈川で観測されている河川水位」の項で越水に関して詳述する。

(2) 橋梁に捕捉された流木の状況

図4は、2016年9月1日～2日、洪水低減後の JR 鉄橋上流の左岸堤防から見た鉄道橋に捕捉された流木の状況である(久慈市³⁾提供による)。流木は全ての橋脚、橋台、橋桁に横断的に捕捉されている。流木の直径20～30 cm、長さ5～10 m の

小灌木から大木まであり、幹・枝葉が一体の樹木も見られる。また、河道高水敷のグラウンドに設置されたフェンスが流木や小灌木、雑草を捕捉して高水敷に倒伏している。

図5は、図4の JR 鉄橋に捕捉された流木の状況を Google によって上空から観察した同日の状況である。捕捉されている箇所は楕円で示している。ここでは JR 鉄橋が河道に対して上流に凸型の弧状に設置され、捕捉された流木は低水敷の流水部にも見られるが、主に両側の高水敷で捕捉されている。

また、図6は水害から約2年後、2018年6月の同一箇所の原状復旧状況である。鉄道の路床面と左岸の堤防天端とはほぼ同一面をなし、岩手県の資料⁴⁾によれば JR 鉄橋の左岸の橋座高 EL=5.56 m、同地点堤防高6.17 m であり、その差0.61 m である。しかし、高水敷のある区間は橋桁高の下端から高水敷面まで(黄色矢印) 近接した位置にあ



図4 久慈川 JR 鉄橋に捕捉された流木



図3 久慈市内の越水氾濫流と洪水痕跡調査箇所



図5 JR 鉄橋に捕捉された上空からの流木箇所



図6 JR鉄橋に流木が捕捉された水害2年後(2018年6月)の同一箇所の原状復旧状況



図7 上の橋上流左岸からみた流木の捕捉状態

る。JR鉄橋の高水敷区間のクリアランスは小さく、計画高水位を十分確保されていないことが推察される。また、高水敷のグラウンドに再設置されたネットフェンスは水害時とほぼ同じ高さ、位置で、鉄橋に近接して復旧されている。なお、右岸の橋座高EL=5.44m、同地点堤防高6.29mであり、その差0.85mである。これらの事後の復旧処理は、今後同規模の豪雨によって流木を伴う水害が発生すれば同様の越水現象を生むことが容易に推察される。

一方、上流の「上の橋」における洪水低減後の流木の捕捉の状況を図7、8、9に示した。図7は「上の橋」(道路橋)の上流左岸からみた流木の捕捉状態である(久慈市³⁾提供による)。流木の状態は小灌木の根のあるもの、枝葉のある小木、雑多な小枝が絡みついたものなどが見られる。JR鉄橋の場合の流木に見られた直径や長さが大きな流木は見られない。図8はGoogleによる上空から「上の橋」を観察した同日の捕捉の状況である。流木の捕捉された場所は橋梁上流側の円形で示した箇所に集中している。この「上の橋」地点は流水部が、主に河道の右岸側にあり、広い高水敷は左岸側にあるため捕捉された箇所は高水敷に集中している。したがって、高水敷のある左岸側は流木の捕捉によって流水疎外を起こし、洪水流は右岸側の流水部に集中したと考えられる。そのため右岸側の「上の橋」上流の堤防で越水が発生している。図9は水害から約2年後、2018年6月の同一箇所は流木を除去した原状復旧の状況である。

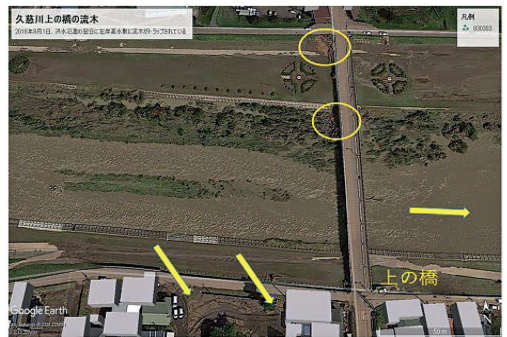


図8 上の橋に捕捉された上空からの流木箇所



図9 上の橋に流木が捕捉された水害2年後(2018年6月)の同一箇所の原状復旧状況

ここでも橋梁の橋面高と堤防天端高は同一面にあり、各スパンの鋼製桁下端から高水敷面までのクリアランスは所定の河川計画水位高が確保されていないことが懸念される。「上の橋」左岸の橋座高

EL=7.20 m, 同地点堤防高7.93 mであり, その差0.73 mである。右岸の橋座高 EL=6.97 m, 同地点堤防高7.61 mであり, その差0.70 mである。なお, 「中の橋」の左右岸の橋座高と堤防高の差は左岸1.50 m, 右岸1.54 mあった。「中の橋」上流では流木の捕捉は見られなかった。しかし, (3)の事項で述べるように右岸からの越水氾濫は確認されている。

(3) 久慈川で観測されている河川水位

久慈川の調査では岩手県の河川水位データおよび河川縦横断資料を入手し, 越水箇所の確認を行った。図10は生出町(St.1), 八日町(St.2)の2ヶ所で水位観測されており, その位置関係を示している。越水箇所の近傍に位置する「中の橋」右岸上流の八日町水位計(St.2)のハイドログラフおよび降雨データより1時間雨量のハイトグラフを作成し, 図11に示した。また, 河川縦横断図によると左岸天端高5.82 m, 右岸天端高5.40 mであり, 水位観測所付近の堤防天端高は, 右岸堤防は左岸堤防より42 cm 低いことがわかった。更に, 8月30日21時の洪水ピーク水位は右岸の堤防天端高より20~30 cm (平均26 cm) 高い値が記録されている。したがって, この右岸では堤防から越水していたことが水位記録からも確認することができる。



図10 生出町 St.1, 八日町 St.2の水位観測所

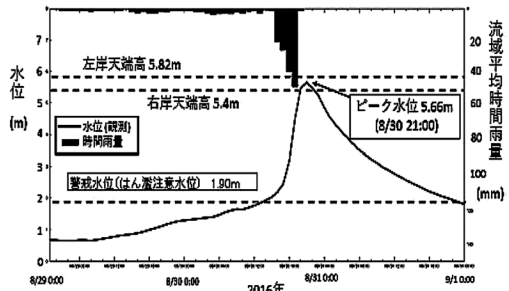


図11 八日町水位計(St.2)ハイト・ハイドログラフ

4. 流出解析による越水の有無の検討

(1) 解析の手順

3章までの調査によって久慈川の右岸などから溢水のあったことが明らかになっている。しかし, この越水が流木によることを説明する十分条件にはならない。越水の原因は橋梁群の流木の捕捉が河川水位の上昇をもたらし, かつ流木がない場合の河川水位と比較して, どの程度の水位増加をもたらしたのか検討する必要がある。ここでは, 図12に示した手順で, 流木のない場合の水位を検討し, 越水の原因が流木にあることを明らかにする。そのため, 生出町水位観測所(St.1), 八日町水位観測所(St.2)の2か所の河川水位データおよび水位(H)・流量(Q)関係式の存在を岩手県の既

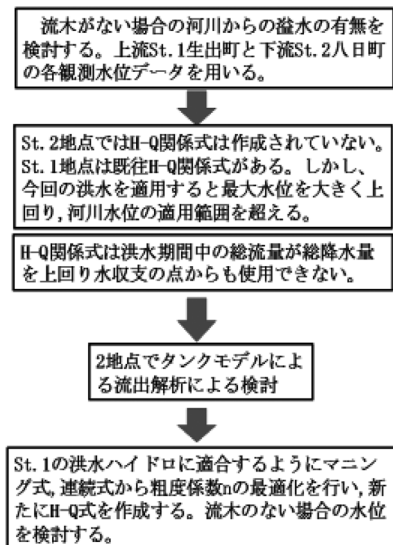


図12 流出解析による越水の有無の検討手順

往の資料⁴⁾から調査した。しかし、下流の St.2 地点では H-Q 関係式は作成されていないことがわかった。また、上流 St.1 地点には既往 H-Q 関係式がある。しかし、この関係式に今回の洪水水位データを適用すると最大水位を大きく上回り、河川水位の適用範囲を超えることがわかった。また、洪水期間中の総流量が総降水量を上回り、水収支の点からも使用できないことが明らかになった。したがって、生出町水位観測所 (St.1)、八日町水位観測所 (St.2) の 2 か所において、下記に示したようにタンクモデルによる流出解析による検討を行い、各箇所の H-Q 関係式を作成した。この検討では、下流 (St.2) から区間距離で 3.2 Km 上流にある St.1 の洪水ハイドロに適合するように Manning 式および連続式から粗度係数 n の最適化を行い、新たな H-Q 式を作成する検討を行った。

(2) 河川水位と水位・流量関係式

図13は台風10号で観測された生出町水位観測所 (St.1)、八日町水位観測所 (St.2) のハイドログラフを示した。図12で示した手順によって2015年洪水を含む2014~2016年の3か年間の流出解析を行い、水位・流量関係式を作成する方法を検討した。計算はタンクモデルを用いて久慈川流域の降雨流出解析を行い、生出町 (St.1) の観測ハイドログラフに適合するように Manning 式、連続式から粗度係数 n の最適化を行い、H-Q 式を作成した。

St.1 の水位流量曲線を下記の Manning 式 (1) により算定した流量をもとに作成する。

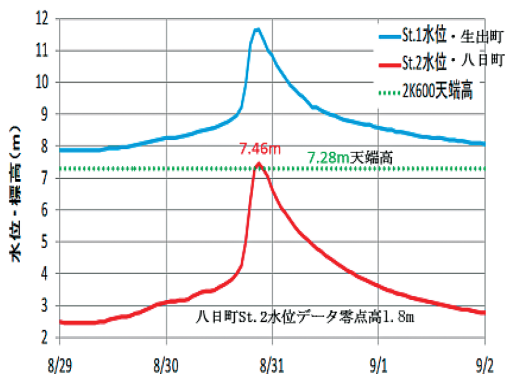


図13 生出町 St.1、八日町 St.2 のハイドログラフ

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \tag{1}$$

ここに、 v : 平均流速 (m/s), Q : 流量 (m³/s), n : 粗度係数, A : 流積 (m²), R : 径深 (m), I : 水面勾配

式中の A, R, I は岩手県の資料⁴⁾をもとに設定し、粗度係数 n は2016年の生出町 (St.1) の流量ハイドログラフを再現できるように設定した。得られた n の値は0.037であり河道の粗度係数として妥当な範囲にあると判断した。作成した St.1 の水位流量曲線を図14に示した。この水位流量曲線から水位データを適用して算定した St.1 の最大流量は 1,033 m³/s となった。

次に、上記4. (2) の St.1 と同様に St.2 の水位流量曲線を作成する。St.2 の水位データについては基準高と横断面の位置関係が不明なため、粗度係数 n および水位データの基準高を逆解析により算定した。得られた n の値0.038は St.1 に近い値であり、妥当な範囲の値であると判断した。St.2 の水位流量曲線を図14に示した。タンクモデルによる水収支の評価は次の (3) に示している。

(3) 生出町水位観測 (St.1) のタンクモデルの適用

検証地点における流出解析にあたり St.1, St.2 の各地点の断面形状、低水位、水面勾配および流域面積を調査し、図15, 16に示した。図16では河川縦断距離標の各地点の左右の堤防天端高、河床高を示した。流域面積は国土地理院基盤地図情報 (10mDEM) を用い、GIS ソフト Map Window

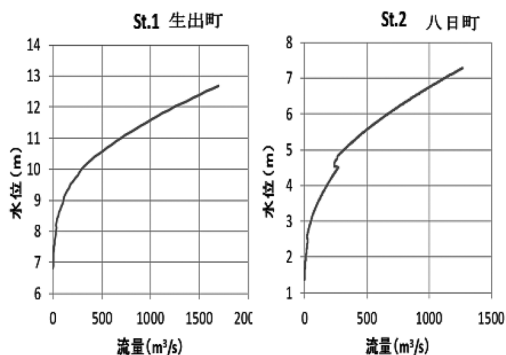
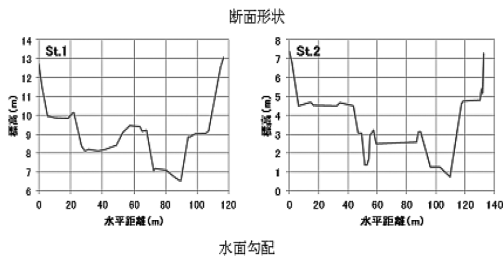


図14 St.1, St.2 の最適化による水位流量曲線

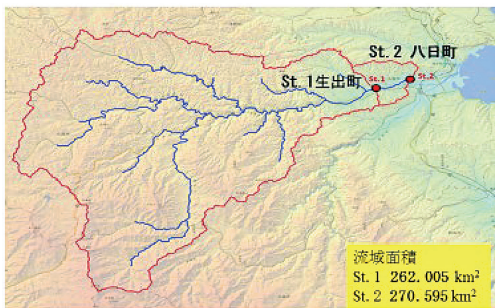
によって計測している。その結果、流域面積は St.1:262.00 km², St.2:270.59 km²となる。St.2は St.1の1.03倍の流域規模を有する。流出解析のタンクモデルは中間流出を考慮し、4段タンクを使用した。降雨量と流量は日単位のデータとした。

ここでは St.1の年間流量に流域規模を考慮して1.03倍したものを St.2の年間流量とした時、この流量となる水位の零点高は1.8 m、粗度係数 n = 0.038となり、St.1と St.2で概ね近い値が得られた。



St.1 (5K000)		St.2 (2K600)	
距離標	低水位	距離標	低水位
4K900	6.80	2K500	1.49
5K100	7.51	2K700	1.80
水面勾配	0.00355	水面勾配	0.00155

図15 生出町 (St.1), 八日町 (St.2) の河川断面形状及び低水位, 水面勾配



観測所	St.1: 生出町			St.2: 八日町		
距離標	5K000			2K600		
縦断面(現況TP)	左岸高	河床高	右岸高	左岸高	河床高	右岸高
		13.08	6.50	12.73	7.51	0.81
横断面から判読	13.06	6.55	13.05	7.56	0.75	7.28

図16 GISソフト Map Window によって計測した生出町 (St.1), 八日町 (St.2) の流域面積

図13に示したように、St.2の最大水位は7.46 mであり、堤防天端高7.28 mより0.18 m高い。また、図14に示すように、St.2の水位・流量曲線を見ると堤防天端高に対する流量は1,267 m³/sとなっている。

なお、モデルパラメータは、実数値・大域的探索法である SCE-UA 法による研究⁵⁾および事例⁶⁾と同様な手法によって同定し、誤差評価関数は Nash-Sutcliffe 指標を用い (NS) 0.57を得ている。なお、本研究ではタンクモデルによる計算の対象期間は2014~2016年の3か年間である。流量の観測値は、水位と H-Q 式の両データを入手できた2015年を対象とした。その結果、年間流量をみると、計算流出量は2014年928 mm, 2015年836 mm, 2016年889 mmであり、2015年の観測流量827 mmを概ね再現できている。

(4) 流木による水位上昇と流木の無い場合の水位

図17は上記の最適化によって算定した2地点の洪水ハイドログラフである。St.2 (流域規模)は流木の無い場合のハイドログラフであり、St.2 (HQ)は流木が捕捉されている洪水ハイドログラフである。算定した最大流量は St.1が1,033 m³/s, St.2 (HQ)が1,365 m³/sであり、St.2 (HQ)の流量は St.1の1.32倍になっている。St.1と St.2の間には大きな流入はなく、かつ流域面積の違いは1.03倍であり、2箇所の流量に平常時は大きな違いはないと考えられる。ここで特徴的なことは、図17は8月30日20時以降に St.1と St.2 (HQ)の流量の

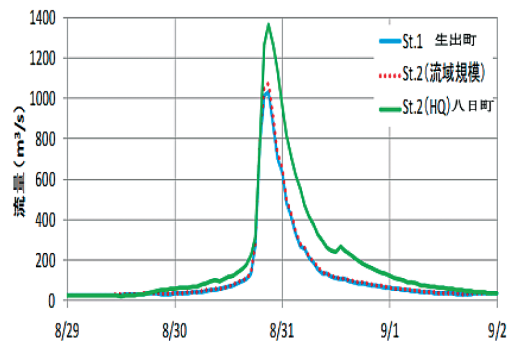


図17 St.1, St.2の最適化による各地点の洪水ハイドログラフ

違いが急激に大きくなっており、St.2 (HQ) 八日町水位は下流の橋梁の流木捕捉の影響によって水位が急上昇したものと推測される。また、図17の赤色点線 St.2 (流域規模) は、St.1の流量を1.03倍したハイドログラフであり、St.2の流木の捕捉のないときの流量を示している。この最大流量は1,073 m³/s であり、St.2 (HQ) の水位流量曲線による最大流量より293 m³/s 小さいことが分かる。この流木のない St.2 (流域規模) の最大流量に対する水位は6.90 m であり、同地点の天端高7.28 m より0.38 m 低いことになる。

即ち、流木の捕捉がなければ St.2 (HQ) の水位は堤防天端高を0.38 m 下回ることになる。したがって、以上の検討結果から流木の捕捉による水位上昇がない場合、越水・氾濫は発生しなかったか、あるいは被害は少なかったものと考えられる。

5. 結論

近年、全国各地の豪雨土砂災害では橋梁箇所での大量な流木の捕捉があり、これが洪水の氾濫被害を拡大させている。久慈川調査では流木がない場合、堤防からの越水氾濫はなかったのではないかとこの疑問から検討を行った。

- ①久慈川で流木が捕捉された箇所の特徴は、流域の下流部において広い高水敷をもつ中規模河川である。ここでは橋梁の橋脚部が高水敷にあり、クリアランスが小さい箇所では捕捉されていることが多いことが明らかになった。
- ②橋梁群において流木の捕捉があり、越水氾濫が発生したという事実に対して、流木がない場合の洪水位の検討を行った。H-Q 式が未完成の既存の水位観測データを活かして、本洪水ハイドログラフに適合するように粗度係数 n の最適化を行い、 Manning 式、連続式から水位観測

所の水位・流量関係式 H-Q 式の作成を試みた。更に、タンクモデル法と Manning 式を用いて年間の降雨流出解析を行い、流量の妥当性を検討した。

- ③モデルのパラメータの最適化により、2地点の水位流量曲線を作成し、この時の最大流量を水位に換算し、堤防天端高と比較し、越水の有無を検討した。
- ④この結果、流木が捕捉されなければ、洪水ピーク水位は今回の観測水位より0.56 m 低く、かつ堤防天端高を0.38 m 下回ることがわかった。したがって、久慈川の橋梁群では流木の捕捉がない場合、越水・氾濫はなかったか、被害は少なかったものと考えられる。

参考文献

- 1) 土屋十閔・小山直紀・大石裕泰・佐伯博人：2016年8月の台風10号による岩手県北部水害調査報告，自然災害科学，Vol.36，No.4，2018，pp.409-427.
- 2) 気象庁：台風第10号による大雨・暴風の状況，<http://www.jma.go.jp/>，2016年8月31日.
- 3) 岩手県久慈市災害対策本部および同消防課：台風第10号浸水状況図（久慈川），2016年11月18日.
- 4) 岩手県北広域振興局土木部：<http://www.pref.iwate.jp/kenpoku/>，2016年11月18日.
- 5) 田中丸治哉：タンクモデル定数の大域的探索，農業土木学会論文集，1995巻，178号，pp. 503-512，a2，1995.
- 6) 高崎忠勝・河村 明・天口英雄：合流式下水道の流出特性を考慮した都市洪水貯留関数モデルの構築，水文・水資源学会誌，Vol.21，No.3，2008，pp.228-241.

(投 稿 受 理：平成31年1月31日)

訂正稿受理：令和元年9月30日)

要 旨

本研究は、日本自然災害学会の著者らの報告 Vol.36.No.4 (2018) をもとに、2016年の台風10号による久慈川の洪水氾濫が流木による大きな被害であったことを述べている。この研究では、もしこの洪水において流木が橋梁に捕捉されていなければ被害は大規模にならなかったという

仮説に基づいている。著者らはこの仮説を明らかにするため水文学的な河川の観測施設の資料、洪水時とその2年後の河川や橋梁の写真資料を調査した。これらの資料を岩手県および Google Earth を使い収集した。

更に、タンクモデルによる流出解析により St.1観測地点の2015年の流量の算定を行い、同時に、タンクモデルのパラメータを決定した。また、マンニング式により算定した流量をもとに水位・流量関係を作成した。粗度係数は2016年の総流量を再現するためにマンニングの逆解析により算定した。同様な方法で、堤防で越水のあった St.2観測地点の水位・流量関係を算定している。著者らは流出解析を行い、堤防からの越水があったかどうか推察している。もし、流木が橋梁で捕捉されていなければ久慈川の洪水に伴う氾濫被害は発生しなかったか、被害は少なかったことを推測している。