

超過洪水時における多摩川流域の地先浸水ハザードの評価と 上流利水ダムの放流調整による下流河川水位の低減効果に関する基礎的検討

Assessment on Flood Inundation Hazards and Potential Effectiveness of Flow Regulation by Upstream Reservoir in Tama River Basin in Large Floods

新保裕美 野中沙樹 鈴木一輝
田中昌宏 二瓶泰雄¹⁾

要 約

近年、豪雨に伴う水害が頻発化・激甚化しており、各地で河川堤防の決壊や越水等による浸水被害が発生している。一般に、氾濫原での浸水形態は、破堤条件だけでなく、外力となる降雨の確率規模や時空間パターンによって変わり得ることから、こうした大規模な水害への地先レベルの対策を検討するためには、上述の降雨条件を様々に変えながら浸水範囲や浸水深を注意深く評価することが重要である。一方、河川計画の基準となる確率規模を超えるような洪水（超過洪水）時には、従来の洪水対策のみでは地先の浸水軽減が図れない可能性がある。2020年4月に国土交通省によってガイドラインが策定され、近年実施が相次いでいるダム事前放流は、従来の治水計画に位置付けられていなかった利水ダムを洪水調節に活用することも目的としており、超過洪水時における河川氾濫を防止・軽減するための有効な対策として期待されるが、その氾濫軽減効果をどこまで見込んでよいのかについては、いまだ明らかになっていない。こうした課題の解決に資するため、筆者らは、様々な外力規模と時空間分布を有する多数の降雨イベントを模擬的に作成した上で、多摩川流域を対象に降雨流出・氾濫解析を実施し、任意の確率規模の降雨に対する流域の洪水氾濫ハザードの評価を行うとともに、降雨の確率規模や波形が氾濫規模に及ぼす影響を分析した。また、超過洪水時における上流利水ダムの治水協力が下流域の洪水氾濫を抑制する効果を評価するための基礎的検討として、2019年台風第19号に伴う大規模な出水時における多摩川上流小河内ダムの放流調整による下流河川の水位低減効果について、前述の降雨流出・氾濫解析モデルを利用して分析を行った。

目 次

- I. はじめに
- II. 降雨流出・河道流・氾濫解析の方法
- III. 降雨波形が氾濫規模に及ぼす影響の検討
- IV. 洪水時の利水ダム（小河内ダム）での流量調整が多摩川の水位に及ぼす影響の検討
- V. おわりに

I. はじめに

近年、豪雨に伴う水害が頻発化・激甚化しており、各地で河川堤防の決壊や越水等による浸水被害が発生している。中には河川計画の基準となる規模（以下、計画規模と呼ぶ）を上回る規模の洪水が発生している事例もある。このような大

規模な洪水時において流域で想定される浸水状況を周知するために、多くの河川において洪水浸水想定区域図の作成・公表が行われている。平成27年5月に水防法が改正されてからは、従来から整備されている計画規模の降雨の際の浸水想定区域図に加えて、想定しうる最大規模の降雨（想定最大降雨）に対する浸水想定区域図が整備されているところである。これらにより、想定される浸水範囲や任意地点の最大浸水深等を調べることができ、氾濫発生時の危険箇所等の情報を得ることが可能である。

しかし、河川によっても異なるが、計画規模の降雨は概ね100年～200年に一度起こる確率の降雨が用いられるのに対し、想定最大規模の降雨は、概ね1000年に一度起こる確率の降雨が用いられており、その中間にあたる規模の洪水時の

1) 東京理科大学 Tokyo University of Science

キーワード：多摩川，氾濫解析，降雨波形，洪水浸水想定区域図，超過洪水，小河内ダム

Keywords：Tama River, flood analysis, rainfall pattern, flood inundation area map, large floods, Ogouchi Dam

浸水想定は公表されていない。これら二つの規模の洪水の想定水深は、地点によっては数m異なることもあり、地点によっては想定最大降雨時の浸水想定が、物理的対策が実行可能なレベルを大きく上回るケースもしばしばある。大規模水害時の企業 BCP を考える上では、実際に現実的な対策が実行可能であり想定最大規模洪水より高頻度で発生する両者の間の規模の洪水時における浸水想定も把握することが重要であり、こうした情報を流域の各地先について作成・整備することが求められている。

一方で、河川計画の基準を超えるような規模の洪水（超過洪水）時には、従来の洪水対策のみでは地先の浸水軽減が図れない可能性がある。2020 年 4 月に国土交通省によってガイドラインが策定され、近年実施が相次いでいる利水ダムの事前放流は、従来の治水計画に位置付けられていなかった利水ダムを洪水調節目的で活用することも目的としており、超過洪水時における河川氾濫を防止・軽減するための有効な対策として期待される。しかし、その氾濫軽減効果をどこまで見込んでよいのかについては、いまだ明らかになっていないのが現状である。

こうした課題の解決に資するため、筆者らは、多摩川流域を対象として様々な外力規模と時空間分布を有する多数の降雨イベントを模擬的に作成した上で、これらを入力とした降雨流出、河道流・氾濫解析を実施し、降雨の確率規模や波形が氾濫規模と地先の浸水深に及ぼす影響を定量的に分析した。また、超過洪水時における上流利水ダムの治水協力が下流域における洪水氾濫を抑制する効果を評価するための基礎的検討として、2019 年台風第 19 号に伴う大規模な出水時における多摩川上流小河内ダムによる放流調整による下流河川の水位低減効果について、降雨流出、河道流・氾濫解析を実施して分析を行った。

II. 降雨流出・河道流・氾濫解析の方法

Fig.1 に、本検討で用いた解析モデルを示す。この解析モデルは、降雨流出モデル及び河道流・氾濫流一体モデルで構成されている。降雨流出モデルには、貯留関数法を用いた。河道流・氾濫流一体モデルは、河道内の流れを解く 1 次元不定流モデルと氾濫原の氾濫流を解く平面 2 次元不定流モデルから構成され、河道内と氾濫原間は、越流公式に基づき双方向接続を行っている。なお、排水機場や樋門等の排水施設による氾濫原から河道や流域外への排水も考慮している。

本検討では、氾濫原に都市域が位置する多摩川の中・下流域における氾濫浸水深を把握することを念頭に、Fig.2 に示す範囲について、降雨流出解析及び河道流・氾濫流解析を実施した。降雨流出モデルでは、田園調布（下）地点を最下流域端として、多摩川流域全体を 8 個のサブ流域に分割し、河道流モデルの上流境界及び横流入境界条件として流入流量を

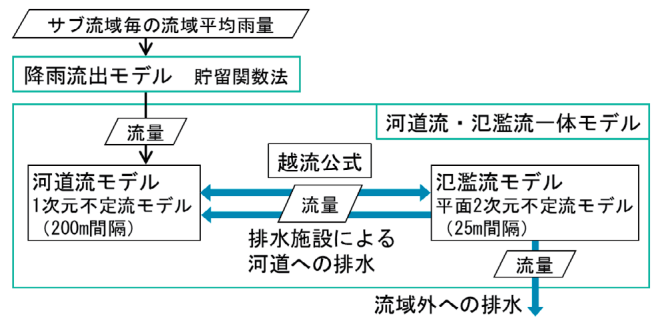


Fig.1 解析モデル (Analysis Model)

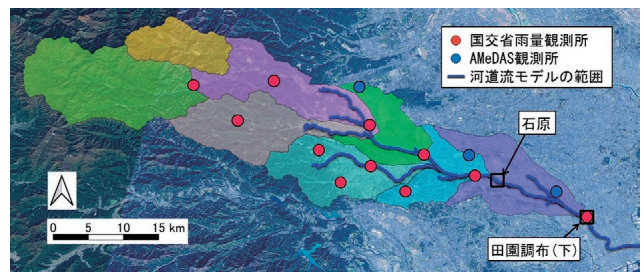


Fig.2 解析対象範囲と降雨流出解析の単位となるサブ流域 (Target Area and Sub River Basins)

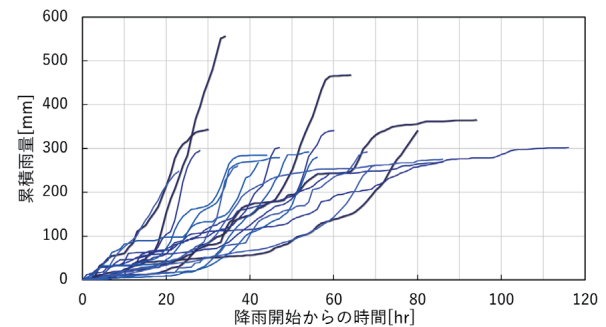


Fig.3 抽出した降雨イベント (Extracted Rainfall Event)

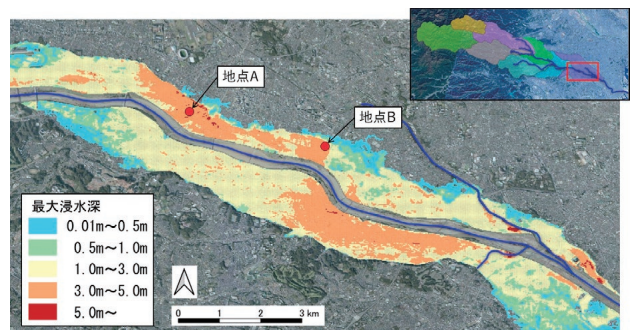


Fig.4 最大浸水深分布の計算例 (範囲は右上図の赤枠内)

(Estimated Distribution of Maximum Inundation Depth)

算出した。河道流・氾濫流一体モデルでは、多摩川本川の河口から 61.8km 地点および支川の一部を対象とした。河道流モデルの計算格子は上下流を 200m 間隔、氾濫流モデルの計算格子は 25m 間隔とした。粗度係数等の各パラメータは多摩川の計画値を参考に設定した。なお、本研究では堤防決壊

は考慮せず、越流による氾濫のみを考慮した。

本検討で用いた解析モデルは、多摩川において、国土交通省から既公表の浸水想定区域図の作成等に使われた実績があり、本モデルによる他の確率規模の降雨での浸水想定解析精度は、浸水想定区域図に準ずるものと考えている。

Ⅲ. 降雨波形が氾濫規模に及ぼす影響の検討

1. 解析条件

(1) 解析ケース

田中ら¹⁾は、年最大総降雨量の確率分布と水害被害額との関係を示すリスクカーブを作成しているが、流域の各地先や事業所の水害リスク情報をより詳細に把握するためには、降雨波形や地形による氾濫形態への影響を把握することが重要である。こうした観点から、降雨波形による氾濫規模への影響を検討するため、300 ケースの降雨波形を作成し、降雨流出解析及び河道流・氾濫流解析を行った。

(2) 降雨波形の作成方法

降雨波形の作成には、国土交通省水文水質データベース²⁾に収録されている雨量観測所 11 地点、および気象庁の地域気象観測所 (AMeDAS 観測所)³⁾の 3 地点の計 14 地点 (Fig.2) の毎時雨量データを用いた。データを用いた期間は、1958 年～2019 年の 62 年間である。このデータを用いて、ティーンセン法によって多摩川の河川計画の基準である石原上流域平均雨量を 1 時間毎に求めた。そして、各降雨イベントの総雨量を求め、上位 20 位までの降雨イベントを抽出した (Fig.3)。これらの降雨イベントは、様々な降雨強度や降雨継続時間をもっている。

一方、多摩川の計画規模、想定最大規模の 48 時間雨量は、それぞれ 457mm, 588mm とされている⁴⁾。一方で、両者の中間の規模の降雨発生時の浸水想定は公表されておらず、超過洪水のうち発生頻度が相対的に高い洪水時の想定浸水状況は不明である。そこで、本検討では、こうした発生頻度が比較的高い超過洪水時の降雨も再現できるよう、抽出した降雨イベントを、それぞれ 48 時間雨量が 457mm, 588mm, 460mm～580mm の範囲 (10mm 間隔) となるよう引き伸ばし、全 300 ケース (降雨イベント 20 種類×総雨量 15 種類) の降雨波形を作成した。

2. 解析結果及び考察

氾濫解析結果の一例として、1958 年 9 月 17 日の降雨イベントを、48 時間雨量が 588mm になるように引き伸ばした降雨波形のケースについて、最大浸水深の空間分布を Fig.4 に示す。兩岸の複数箇所でも越流し、広範囲で氾濫が生じている。

全解析ケース (300 ケース) について、本川下流の田園調布 (下) 水位・流量観測地点 (Fig.2 参照) における河川のピーク流量と、浸水面積との関係を Fig.5 に示す。ここで用いたピーク流量は、氾濫を考慮しない流量である。この図よ

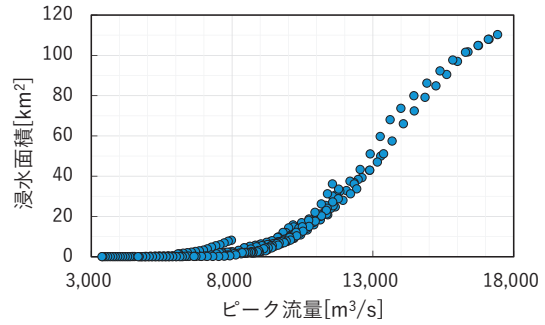


Fig.5 ピーク流量と浸水面積の関係

(Relationship Between Peak Discharge and Inundation Area)

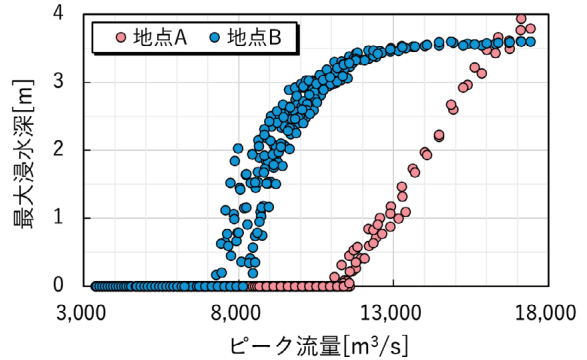


Fig.6 ピーク流量と地点 A, B (Fig.4) の最大浸水深の関係

(Relationship Between Peak Discharge with Maximum Inundation Depth at Points A and B (Fig. 4))

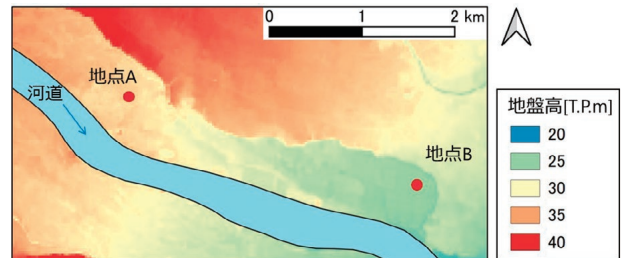


Fig.7 地点 A, B (Fig.4) 周辺の地盤高
(Elevation Around Points A and B (Fig. 4))

り、ピーク流量が増加すると、浸水面積も増加する傾向にあり、さらに、降雨波形によらず、ピーク流量と浸水面積の間に一定の相関があることがわかる。

次に、ピーク流量と最大浸水深との関係の変化に着目するため、Fig.4 の解析ケースで最大浸水深が同程度であった地点 A と地点 B の 2 地点におけるピーク流量と最大浸水深の関係を Fig.6 に示す。地点 A (Fig.7 参照) は上流側から下流側に向けて緩やかに標高が低くなる地形に位置し、地点 B (Fig.7 参照) は窪地に位置している。Fig.6 より、地点によって最大浸水深の増加傾向に違いがみられ、地点 A では、ピーク流量が 11,000m³/s 以降は最大浸水深がピーク流量に比例することが分かる。一方、地点 B では、ピーク流量が 7,000m³/s 以降に最大浸水深が急激に増加し、その後は一定値に漸近している。この最大浸水深の増加傾向の違いは地形

に起因しており、地点 A では水が上流側から標高の低い下流側にスムーズに流れるため、最大浸水深はピーク流量に比例して緩やかに大きくなっているものと考えられる。一方、地点 B は窪地であるために水がたまりやすく、ピーク流量の増加に伴い最大浸水深が急激に深くなるものと考えられる。

以上から、同じピーク流量でも氾濫原の各地点での最大浸水深の増え方が大きく異なることが分かる。そのため、事業所や地先の浸水脆弱性やリスクを評価するためには、本検討のように様々な確率規模や波形の降雨想定の下で実際に氾濫解析を実施することが重要であると考えられる。また、ピーク流量がある水準を上回ると急激に浸水深が増加しやすい場所にある事業所と、ピーク流量の増加に応じて浸水深が線形に増大していく事業所とでは、とるべき対策が自ずと異なってくる。ここで示したような検討方法を用いることで、そうした浸水に対する個別の事業所立地の脆弱性の評価を流域全体で実施することが可能となると考えられる。

IV. 洪水時の利水ダム（小河内ダム）での流量調整が多摩川の水位に及ぼす影響の検討

超過洪水時における上流利水ダムの治水協力が下流域における洪水氾濫を抑制する効果を評価するための基礎的検討として、2019 年台風第 19 号に伴う大規模な出水時における多摩川上流小河内ダムの放流調整による下流河川の水位低減効果について分析した。

1. 解析目的

小河内ダムは東京都が管理する利水ダムであるが、これまで、大雨が予想される 1~2 日前から放流が行われており⁵⁾、2019 年台風第 19 号襲来時にも放流が実施され、空き容量を用いた流量調整（流入量に対する放流量の低減）が行われた。2019 年の台風第 19 号によって東日本を中心に発生した大規模な水害を踏まえ、「既存ダム洪水調整機能強化に向けた基本方針」が国から示され、多目的ダムや利水ダムを対象に事前放流を行うための治水協定の締結が各地で進められており、小河内ダムでも 2020 年に同協定が締結された。この治水協定により小河内ダムでも超過洪水時に最大 3 日前から事前放流が行われることになった。しかし、その氾濫軽減効果をどこまで見込んでよいのかについては、超過洪水時に流域各地の事業所等での水害対策にも大きく関わる情報であるにも係らず、いまだ明らかになっていない。そこで、ここではまず基礎的な検討として、2019 年の台風第 19 号出水時に小河内ダムで実施された流量調整が、多摩川の水位低減に及ぼした効果を検討するため、降雨流出解析及び河道流・氾濫流解析を行った。

2. 解析条件

(1) 解析ケース及び解析条件

台風 19 号時に小河内ダムにおいて実施された放流量調整

が、多摩川の水位に及ぼした効果を検討するため、ダム放流量として以下の 2 ケースを設定した上で、上述のモデルを用いたダム下流域の河道流解析を行い、河道水位を比較した。

ケース 1：ダム放流量の実績値（流量調整があった場合）

ケース 2：ダム流入量の実績値⁶⁾（流量調整がなかった場合（ダムに流入した水がダムで貯留されずに放流と仮定））

Fig.8 に国土交通省の水位観測点を示す。下流の境界条件については多摩川河口の観測水位を与えた。

Fig.9 にケース 1 とケース 2 で解析の入力条件として与えたダム地点の流量の時系列を示す。12 日 6 時以前と 13 日 7 時以降のダム流入量データは得られておらず、これらの時間帯の流入量は実測の放流量と同じとした。ピーク放流量は、ケース 2 がケース 1 より約 300m³/s 多い。小河内ダム以外の多摩川流域からの河道への流入量は、貯留関数法で算出し、河道流モデルの境界条件として与えた。粗度係数は多摩川の計画値を参考に設定の上、ケース 1 における水位観測点でのピーク水位が実測値と整合するように調整し、ケース 2 でも同じ粗度係数を用いた。



Fig.8 多摩川の国土交通省水位観測点
(Water Level Observation Point of Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism in the Tama River)

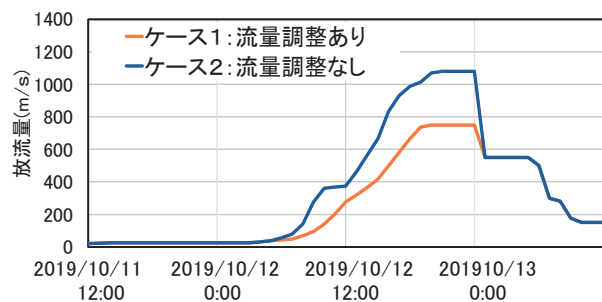


Fig.9 小河内ダムからの放流量（流量条件）
(Discharge from Ogouchi Dam)

(2) 2019 年台風 19 号時の降雨波形

解析には、2019 年台風 19 号の降雨波形を用いた。降雨波形の一例として、国土交通省の雨量観測所「小河内」(小河内ダムの地点、Fig.8 参照)の降雨波形を Fig.10 に示す。「小河内」では 10 月 11 日 13 時から雨が降り始め、この降雨イベントでの総雨量は 639mm であった。気象庁の統計⁵⁾によ

ると、「小河内」における30年間（1991年～2020年）の10月の平均降水量は215mmである。したがって、この1.5日間で1カ月分の降水量の約3倍の量の雨が降ったことになる。

前述の14観測地点のデータを用いてティーセン法により算出したこのときの石原上流域（多摩川の河川計画の基準）における48時間最大雨量は561.6mmであり、前述した計画規模の457mmを超える超過洪水であった。

3. 解析結果及び考察

Fig.11の上段に各水位観測点（調布橋、石原、田園調布（上））における観測水位及び解析水位（ケース1：流量調整あり、ケース2：流量調整なし）を示し、下段に解析流量を示す。各観測点とも、放流量の実績値を小河内ダムからの放流量としたケース1では、解析のピーク水位が観測水位と概ね一致している。一方、ダムへの流入量の実績値を小河内ダムからの放流量としたケース2では水位が高く、ケース1と2のピーク水位時の水位差は、最上流の調布橋では約0.2m、石原では約0.1m、田園調布（上）では約0.1mであった。各観測点の計画高水位は、調布橋はA.P. 154.8m、石原はA.P. 33.36m、田園調布（上）はA.P. 10.35mであるが、石原と田園調布（上）のピーク水位は計画高水位を超えていた。0.1mの水位差が堤防の決壊や越水の有無を左右する可能性もある事を考えると有効な水位低減効果であると考えられる。

水位観測点の中で、最も上流に位置する調布橋におけるケース1のピーク流量が約2,700m³/sであるのに対し、その下流の石原では約7,200m³/s、さらに下流の田園調布（上）では約7,900m³/sであり、下流ほど、雨水の流入に伴い流量が増加している。その結果、ケース1とケース2のダムからの放

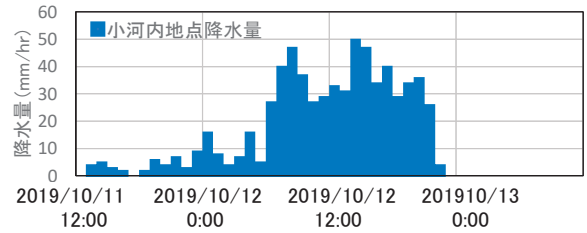


Fig.10 国交省雨量観測所「小河内」における雨量 (Rainfall Observed at "Ogouchi" Station of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)

流量の差である約300m³/sが河川流量に占める割合が上流域の方が高く、河川水位上昇量の低減効果も大きくなっている。

以上の結果から、上流利水ダムの流量調整による河川水位の低減効果は上流ほど大きい傾向にあり、特にこうした地域にある事業所の超過洪水時の水害リスク評価を行う際には、利水ダムによる流量調整の効果を見込むかどうかで評価結果が変わる可能性があるため、注意が必要である。また、下流に行くほど利水ダムの流量調整の効果は相対的に小さくなるものの、超過洪水時には河川水位が計画高水位を超えている可能性が大きいことを勘案すると、越水や破堤の可能性を低減する効果が見込まれることから、氾濫原での浸水リスクを大きく低減できる可能性がある。特に、Fig.6の地点Bのように、ピーク流量がある値を超えると浸水深が急激に増大するような地点においては、外力規模によっては利水ダムによる流量調整の効果を見込むかどうかで浸水リスクが大きく変わる可能性があり、注意が必要である。

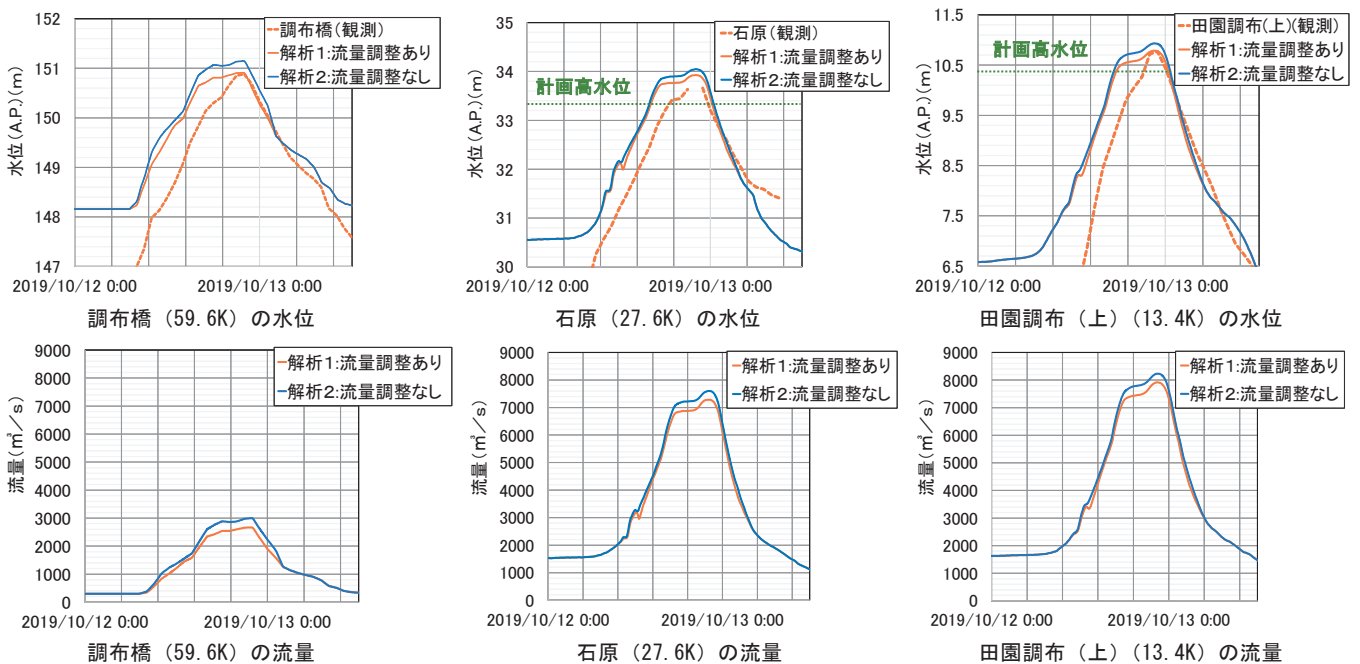


Fig.11 水位観測点における水位（観測値と解析値）と流量（解析値） (Water Levels and Discharge Rates at Three Stations)

V. おわりに

超過洪水時における流域各地点における水害リスク評価に資するため、多摩川流域を対象として様々な規模と波形の降雨イベント時の浸水ハザードの変化に関する分析と、利水ダムの流量調整の下流河川水位低減効果の基礎的分析を行った。過去の観測雨量をもとに作成した多数の波形の降雨を入力とした降雨流出解析及び洪水氾濫解析に基づく浸水面積や各地点での最大浸水深の変化を調べた結果、ピーク流量が増加すると浸水面積も増加する関係がみられた。さらに、ピーク流量による最大浸水深の変化傾向は、降雨の時空間分布や周囲の地形の影響を受けるため、地点により大きく異なることがわかった。以上より、様々な降雨パターンを踏まえた多数の氾濫解析を行うことで、地点ごとに異なる水害リスクを詳細に評価することができ、同情報は水害対策検討の際の有益な情報となると考えられる。また、窪地ではピーク流量の増加に伴い急激に水位上昇することから、BCPの前提条件となるハード対策や避難計画等の決定の際に留意する必要があることがわかった。

一方、超過洪水時における上流利水ダムの治水協力が下流域における洪水氾濫を抑制する効果を評価するための基礎的検討として、2019年台風第19号に伴う大規模な出水時における多摩川上流小河内ダムの放流調整による下流河川の水位低減効果について解析により分析した結果、有意な水位低減効果があったと考えられた。今後、超過洪水時に3日前から事前放流が行われることにより、より大きな河川水位低減効果が期待できると考えられる。こうした効果を地先の浸水リスク評価にどのように反映させるかを検討することが今後の課題である。一方で、利水ダムで3日前から放流を行うためには、回復可能な事前放流量を精度よく推定する必要があり、そのためには、降水量の予測精度を高めることが、重要な課題である。また、利水ダムも含めた、ダムなどの貯

留施設の洪水調整を流域全体で連携して実施することで下流の河川水位のさらなる低減が期待でき、この低減効果の分、外力規模が大きくなっても、氾濫原に立地する事業所での現実的な水害対策が有効となることが期待される。

謝 辞

東京都水道局小河内貯水池管理事務所より、2019年の台風19号時の小河内ダム放流量データを提供いただいた。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中ら：降雨の時空間分布を考慮した浸水・氾濫に対する水害リスクカーブの作成，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.71, No.4, I_1483- I_1488, 2015.
- 2) 国土交通省；水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>
- 3) 気象庁；過去の気象データ検索，
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 京浜河川事務所；多摩川水系洪水氾濫シミュレーション，
https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/water_flood_sim/tamagawa/
- 5) 東京都：
http://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/shinsai/ko_uzui_taisaku.html
- 6) 世田谷区；2019年台風第19号に伴う上野毛・野毛地区、玉堤地区における浸水被害の検証について（最終報告），2020，pp.61.
- 7) 野中ら；降雨波形が氾濫規模に及ぼす影響に関する一検討，土木学会年次学術講演概要集，2021.9，投稿中.
- 8) 新保ら；洪水時における小河内ダムからの事前放流が多摩川の水位に及ぼす影響に関する検討，土木学会年次学術講演概要集，2021.9，投稿中.

Assessment on Flood Inundation Hazards and Potential Effectiveness of Flow Regulation by Upstream Reservoir in Tama River Basin in Large Floods

Yumi Shimbo, Saki Nonaka, Kazuki Suzuki, Masahiro Tanaka and Yasuo Nihei¹⁾

In recent years, large-scale floods caused by heavy rains have become more frequent and severe, and inundation damage has occurred in various places. To identify countermeasures against such large-scale floods in flood plain areas, the authors conducted a rainfall runoff and flood analysis for the Tama River basin, evaluating large-scale flood hazards in the basin for rainfall with varied return periods. We analyzed the effects of the rainfall scale and spatio-temporal pattern on peak river discharge and inundation. In addition, as a basic study to evaluate the effect of the flood control of an upstream reservoir in suppressing flood inundation in the downstream area in the event of excessive floods, we examined the effects of flow regulation by the Ogouchi Dam in reducing the water level of lower Tama River during a large-scale flood event caused by Typhoon Hagibis in 2019.