

# 降雨強度の増大に適応した既存調整池の 放流能力拡大による治水機能向上効果の分析

ANALYSIS OF THE IMPROVEMENT EFFECT OF THE FLOOD CONTROL FUNCTION  
BY EXPANDING THE DISCHARGE CAPACITY OF EXISTING REGULATING  
RESERVOIRS ADAPTED TO THE INCREASE OF RAINFALL INTENSITY

中嶋一貴<sup>1</sup>・池内幸司<sup>2</sup>・渡部哲史<sup>3</sup>

Kazuki NAKASHIMA, Koji IKEUCHI and Satoshi WATABNABE

<sup>1</sup>非会員 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

<sup>2</sup>正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

<sup>3</sup>正会員 東京大学大学院特任講師 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

It is adaptable to heavy rainfall that increases with climate change by improving the flood control capacity of the regulating reservoirs in Tsurumi River basin. The purpose of this study is to analyze the effect of reducing the storage volume at the initial stage of flood and securing the storage capacity at the peak of flood by increasing the orifice diameter of the regulating reservoirs. Analysis of the effectiveness of the countermeasure by the unique model that individually reproduces the large scale regulating reservoirs showed that the peak cut rate of flood discharge was improved about 12 times (0.8% → 9.3%) against the planned scale rainfall under climate change in the Takadabashi upstream area.

**Key Words :** *regulating reservoir, expansion of orifice diameter, planned scale rain after climate change*

## 1. はじめに

鶴見川流域は昭和 30 年代の市街化率が約 10%だったが、昭和 40 年代以降市街化が進行し、現在は市街化率約 90%に達している<sup>1)</sup>。市街化に伴う河川流出量の増加を抑制するために調整池の設置が行われ、鶴見川流域内の調整池は現在 4800 基に及ぶ<sup>2)</sup>。

一方、今後気候変動に伴って降雨強度が増加し、現況の施設を維持するだけでは治水安全度が低下していくため、治水施設の能力を向上させる必要がある。既存調整池は年超過確率 1/10 の降雨をもとに設計されている<sup>3)</sup>が、現在は下流の河川改修の進展<sup>4)</sup>等により小規模な洪水に対しては十分な流下能力があるため、調整池の最大放流量を増加させる余地がある。調整池の一般的な形状は、底部のオリフィスと満水時に放流する余水吐を有している<sup>5)</sup>。降雨強度の大きな降雨に対して、オリフィスからの最大放流量を増加させることで洪水初期の貯水量を減少させ、洪水ピーク時の洪水調節容量を確保し、ピーク流量を低減させることができると考えられる。

北川ら<sup>6)</sup>は調整池を規模別に分類して年超過確率 1/10

(以下、単に「1/10」という。)程度の降雨に対するピークカット効果を分析することで、大規模な調整池ほどピークカット効果が大きいことを明らかにした。吉村ら<sup>8)</sup>は鶴見川流域の都市化を再現できるように改良した分布型流出モデルを用いて、鶴見川流域内の調整池の 1/10 程度の降雨に対するピークカット効果を分析している。これらの研究では 1/10 程度の既往洪水や 1/10 モデル降雨を対象として既存調整池のピークカット効果を分析しているが、調節池の改造による治水機能の向上効果は分析されていない。

また、現行の治水計画において調整池は市街化に伴う流出量増加を抑制するための施設であり、治水安全度を向上させる機能は期待されていない。治水安全度を向上させる対策としては、堤防整備や河道掘削等が行われているところである<sup>9)</sup>。また現在、調整池の老朽化対策として調整池の統廃合が計画されている<sup>9)</sup>が、既往の治水能力を維持しながら基数を減少させるという考え方であり、洪水調節能力の向上は目指してはいない。

本研究ではこのような背景を踏まえ、既存調整池のオリフィス口径を拡大し、最大放流量を増加させる対策による治水機能向上効果を分析し、気候変動適応策としての既存

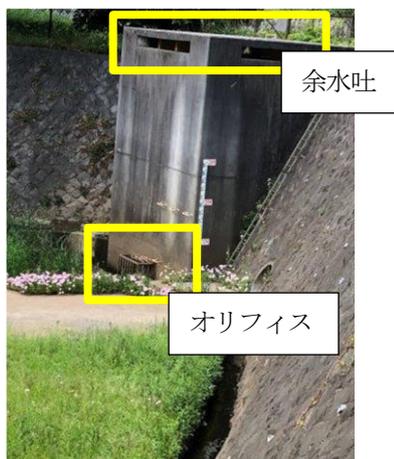


図-1 調整池放流部の写真

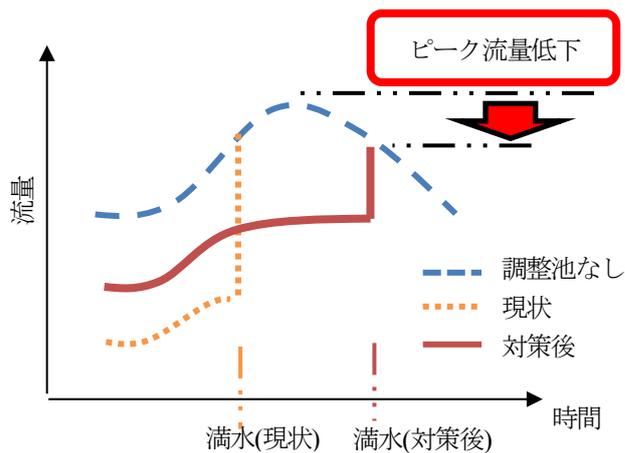


図-2 対策前後の調整池からの放流量のイメージ

調整池の活用を提案する。

## 2. 流域の概要

### (1) 鶴見川流域の概要

鶴見川は流路延長 42.5km、流域面積 235km<sup>2</sup>を有する一級河川である<sup>10)</sup>。鶴見川流域では昭和 40 年代以降急速に市街化が進行し、現在の市街化率は約 90%である<sup>1)</sup>。開発に伴う流出量増加を抑制するために設置された調整池は、現在 4800 基に及ぶ<sup>2)</sup>。

### (2) 流域内調整池の基数、容量、構造

現況を把握するために、鶴見川流域内の既存調整池の諸元の分析を行った。国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所から提供して頂いた調整池の諸元データ 4800 基について、容量ごとに基数と、合計容量を分析したところ、全基数のうち半数以上を容量 100m<sup>3</sup>未満の調整池が占めているものの、その合計容量は全体の約 4.4%に過ぎないことが確認された。一方、容量 1000m<sup>3</sup>以上の大規模調整池についてみると、基数は全体の約 8.3%だが、合計容量は全体の約 78.3%を占める。従って、本研究では容量 1000 m<sup>3</sup>以上の大規模調整池を対策対象とすることを考えた。

また、鶴見川流域内に存在する 4800 基の調整池のうち 224 基を調査対象として調整池の構造を観察する現地調査を行った。オープン式は直接目で見て、地下式は看板から構造の把握を行った。調査対象 224 基のうち 191 基を特定し、その内訳は、オープン式が 39 基、地下式が 115 基、表面貯留等が 37 基である。

現地調査の結果、図-1 のように、オープン式はオリフィス放流口と余水吐の 2 つの放流量を有していることが確認された。地下式も同様に 2 つの放流口を有しており、天井部が閉じている点だけが異なっていた。このことから、モデルでは調整池の形式によらず同じ構造としてモデル化した。

## 3. シミュレーションモデル解析

### (1) 調整池の治水機能向上策

調整池は底部のオリフィスと、容量を越える水が越流する余水吐の計 2 つの放流口を有する。余水吐からの越流が発生していない内は、オリフィスから放流される。貯水量が貯水容量に達したときに最大放流量に達する。調整池の水位が余水吐の越流部の高さを越えると余水吐からの越流が開始し、調整池からの放流量は調整池への流入量と等しくなる。

オリフィス口径が小さく初期のオリフィス放流量が小さい場合、初期の貯水量が大きくなるため余水吐からの越流が早期に発生する。そこで、オリフィス口径を拡大することで初期放流量を増加させ、初期貯水量を減少させて越流発生時間を遅らせることを考えた。図-2 は対策前後の流量変化イメージを表したグラフである。調整池が存在しない場合に破線の流量波形を示す大規模洪水が発生した場合を考える。既存調整池は 1/10 程度の降雨に対して設計されているため、点線のように洪水初期の貯水量が多く、大規模洪水に対してはピークを迎える前に満水になってしまう。一方、対策を行うと実線の波形となり、オリフィス口径の拡大により洪水初期の貯水量を減少させ、満水になる時刻を遅らせてピーク時の貯水容量を確保し、ピーク流量を低減させることが可能となる。

### (2) モデル概要

鶴見川流域内の調整池の効果を分析した既往研究のモデルでは、鶴見川流域内の調整池を仮想的に 1 調整池とみなしており、調整池ひとつひとつのオリフィス口径を拡大する対策を再現できない。そこで本研究では大規模調整池を個別に再現した独自のモデルを構築し、既往降雨と現行の計画規模降雨、気候変動後の計画規模降雨を対象として対策効果を分析した。

本モデルでは、対象エリアをさらに細かく区分した小流

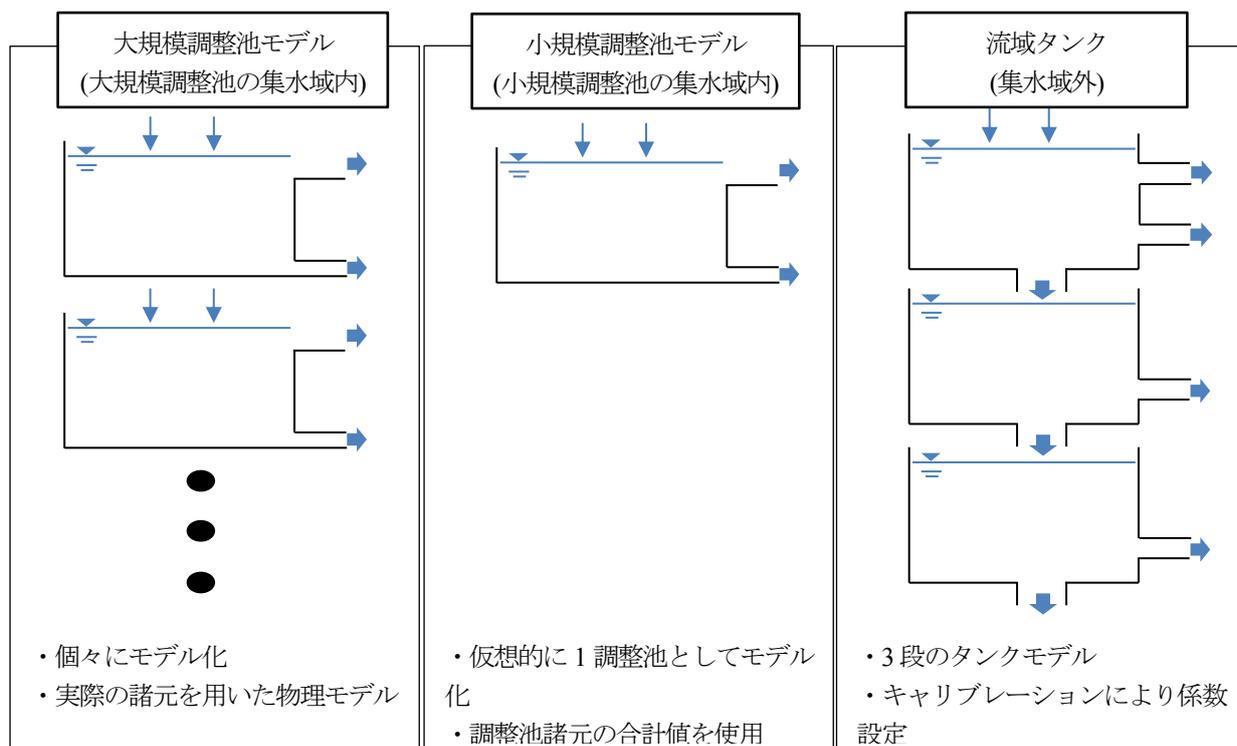


図-4 モデルイメージ

域ごとに流出計算を行い、各小流域からの洪水到達時間を考慮して合計することで対象流域下端の流量を算出した。

図-3 は、高田橋上流エリアの小流域区分を示したものである。

各小流域における流出計算では、図-4 のように、流域を大規模調整池の集水域と小規模調整池の集水域、集水域外の3つに分け、各流域の降雨に対して計算を行い、各流出量を合計することで対象流域下端の流量を算出した。大規模調整池はすべての調整池を個別に再現し、小規模調整池は複数の調整池を仮想的に1調整池としてモデル化し、集水域外の流域は3段のタンクモデルを使用した。調整池モデルは大規模、小規模ともにオリフィス式による放流計算と余水吐の越流計算を行った。ここで、タンクモデルの諸元はキャリブレーションにより求めているが、調整池モデルは実際の諸元を使用した物理モデルとしている。また、吉村<sup>8)</sup>は鶴見川流域内の既存調整池の容量と集水面積、最大放流量が線形に比例していることから、複数調整池を仮想的に1調整池としてモデル化する場合にはその諸元は複数調整池の諸元の合計値を使用することが可能としている。そこで、本モデルにおける小規模調整池モデルの諸元は、小規模調整池の合計の諸元を使用した。

### (3) 流出解析手法

大規模調整池、小規模調整池のオリフィスからの放流量計算では、次式のオリフィス式に従って計算した。

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (1)$$

$$= \lambda\sqrt{H} \quad (2)$$

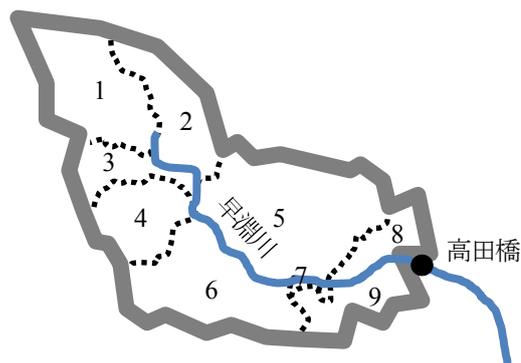


図-3 高田橋上流エリアの小流域区分

ここで、 $Q$ ：放流量 ( $m^3/s$ )、 $C$ ：流量係数、 $A$ ：放流口の断面積 ( $m^2$ )、 $g$ ：重力加速度 ( $m/s^2$ )、 $H$ ：放流口中心から水面までの高さ ( $\approx$ 調整池の水深) ( $m$ )、 $\lambda$ ：係数である。

ここで、 $\lambda$ は式(2)を変形して、

$$\lambda = \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad (3)$$

式(3)に従い、満水時の放流量(最大放流量)と満水時の水深から $\lambda$ を決定した。満水時の水深は調整池の容量 $V$  ( $m^3$ )と湛水面積 $A$  ( $m^2$ )から、

$$H = \frac{V}{A} \quad (4)$$

よって $\lambda$ は次式で求めることができる。

$$\lambda = \frac{Q_{max}}{\sqrt{\frac{V}{A}}} \quad (5)$$

ここで、 $Q_{max}$ ：調整池の最大放流量 ( $m^3/s$ )、 $V$ ：調整池

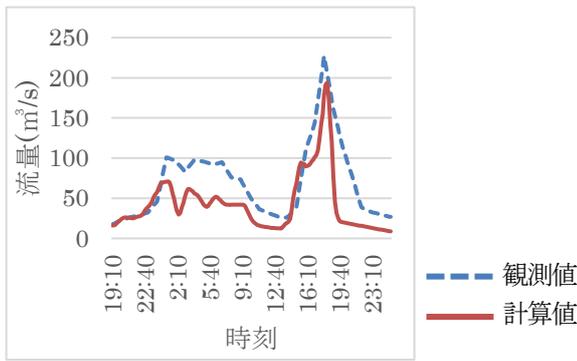


図-5 観測値と計算値の比較（ピーク流量第1位洪水）

の容量（ $m^3$ ）， $A$ ：調整池の湛水面積（ $m^2$ ）である。

最大放流量に達した後は余水吐からの越流が発生するため、調整池への流入量が流出量と等しくなるものとして計算した。

ただし、大規模調整池は個別にモデル化しているが、小規模調整池は仮想的に一調整池とみなしており、小規模調整池の係数算出に当たっては合計容量と合計の最大放流量を使用している。

一方、流域タンクの放流量はタンクモデル<sup>12)</sup>により計算した。

#### (4) 解析条件と対象地

鶴見川流域中流部の高田橋上流エリアと上流部の落合橋上流エリアを解析対象とした。高田橋上流エリアは鶴見川支川の早淵川流域で、流域面積 24.89 $km^2$  のエリアである。高田橋観測所における計画高水流量は360 $m^3/s$ である。流域内の調整池は全 563 基（うち容量 1000 $m^3$  以上の大規模調整池は 56 基）である。また、全調整池の合計容量は約 57 万 455 $m^3$  である。落合橋上流エリアは、流域面積 111.69 $km^2$  を有しており、流域内の調整池は全 1420 基（うち大規模調整池は 227 基）である。全調整池の合計容量は 178 万 2820 $m^3$  である。

対象降雨は、2004 年 1 月～2016 年 12 月の降雨を使用した。対象期間に発生した降雨イベントのうち、ピーク流量が最大のものは高田橋上流エリア、落合橋上流エリアともに 2004 年 10 月 9 日に発生した 1/10 程度の降雨イベントで、そのときの高田橋地点におけるピーク流量は約 227 $m^3/s$ 、落合橋地点におけるピーク流量は約 685 $m^3/s$  である。

#### (5) モデル精度の検証

図-5 は、高田橋におけるピーク流量でランク付けした場合の第 1 位洪水（2004 年 10 月 9 日 18:00）の流量グラフである。モデル計算流量として、観測値とおよそ同様の波形が得られた。同様の流量比較をピーク流量上位 10 洪水に対して行い、観測値との大きな差が無いことを確認した。また、2004 年～2016 年のうち、高田橋地点流量が 36

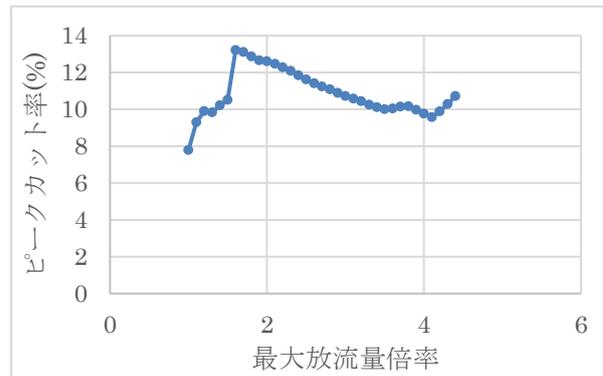


図-6 高田橋上流エリアにおける既往洪水のうち、ピーク流量第 1 位の洪水に対する対策効果

$m^3/s$  以上の期間についての Nash 係数は 0.78 であった。

## 4. 解析結果と考察

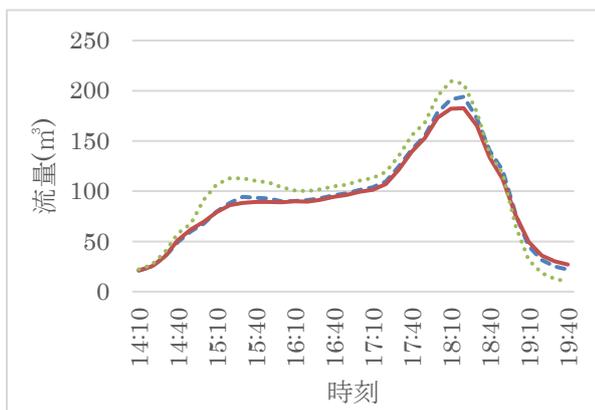
### (1) 既往洪水（1/10 程度の降雨）に対する対策効果解析

高田橋上流エリアにおいて期間内に発生した洪水のうち、ピーク流量第 1 位の洪水に対して、大規模調整池の最大放流量を 1 倍から 4.4 倍まで変化させてピークカット率（ $Q_{p0} - Q_{pr}$ ）/ $Q_{p0}$ （ $Q_{p0}$ ：調整池がない場合のピーク流量， $Q_{pr}$ ：調整池がある場合のピーク流量）の変化を調べた結果が図-6 である。

最大放流量倍率（現状の最大放流量に対する各ケースの最大放流量）1 倍のケースが現状を示しており、ピーク流量第 1 位洪水に対する現状のピークカット率は 7.8%だが、最大放流量倍率を 1.6 倍に増加させた場合にはピークカット率が 13.2%に増加する結果が得られた。また、1.6 倍までは最大放流量増加に伴うピークカット率向上が見られるが、それよりも大きくするとピークカット率が低下した。これは、最大放流量が過剰になると、単に放流量が増加することで調整池の貯水効果が発揮できず河川流量が増加してしまうためである。

図-7 は、調整池無しのケース、最大放流量倍率 1 倍（現状）のケース、ピークカット率を最大にする最大放流量倍率（1.6 倍）のケースの流量のグラフである。最大放流量倍率を 1.6 倍にすることでピーク流量を大きく低減させることができる。

次に落合橋上流エリアにおける既往ピーク流量第 1 位洪水に対する対策効果の分析結果が図-8 である。落合橋上流エリアではオリフィス口径の拡大に伴うピークカット率の向上があまり見られなかった。これは、対象降雨の規模が小さかったためだと考えられる。落合橋上流エリアでは対象降雨に対して、現状でもピーク時の貯水容量を十分に確保できており越流量が少ないため、対策効果が表れにくいためである。



.....調整池なし    - - - 1倍(現状)    — 1.6倍

図-7 オリフィス口径の変化と流量変化 (既往のピーク流量第1位洪水)

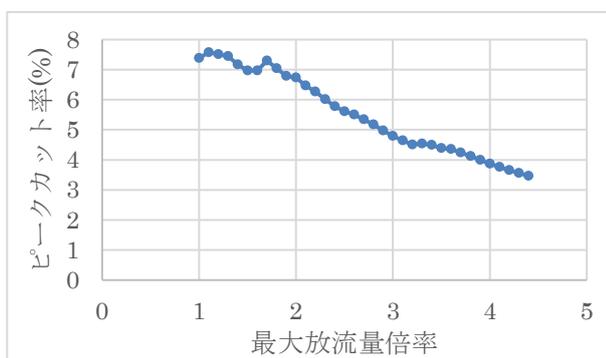


図-8 落合橋上流エリアにおける既往洪水のうち、ピーク流量第1位の洪水に対する対策効果

### (2) 現行の計画規模 1/150 降雨に対する対策効果解析

次に、現行の計画規模降雨に対する対策効果を解析した。既往ピーク流量第1位洪水の2日間雨量を鶴見川の計画規模 1/150 に引き延ばした降雨を使用した。図-9、図-10は、それぞれ高田橋上流エリア、落合橋上流エリアの解析結果である。高田橋上流エリアでは、現状のオリフィス口径だと 0.7%のピークカット率だが、最大放流量を 2.1 倍に増加させることで 10.0%に向上させる結果が得られた。落合橋上流エリアでは、現状だと 2.2%のピークカット率だが、最大放流量を 1.9 倍に増加させることで 5.5%に向上した。

### (3) 気候変動後の計画規模降雨に対する対策効果解析

気候変動後の計画規模降雨に対する対策効果を解析した。気候変動後の計画規模降雨としては、既往のピーク流量第1位洪水について、2日間雨量を計画規模 1/150 に引き延ばした後、国土交通省が提示している関東地域の将来降雨倍率 1.11 倍<sup>1)</sup>を掛けたものを使用した。

図-11 は高田橋上流エリアにおける気候変動後の計画規模降雨に対して、オリフィス口径を拡大した場合のピークカット率変化を解析した結果である。現状のオリフィス口径 (1 倍) だと、ピークカット率はわずか 0.8%だが、最

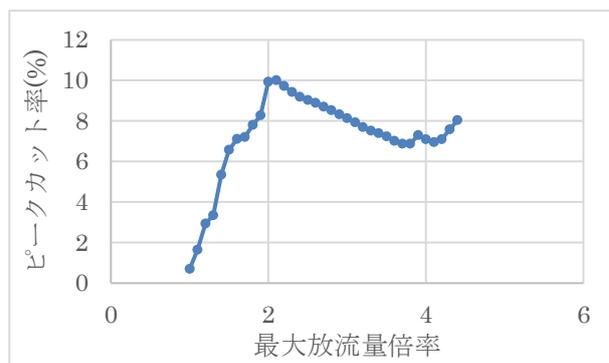


図-9 高田橋上流エリアにおける現行の計画規模降雨に対する対策効果

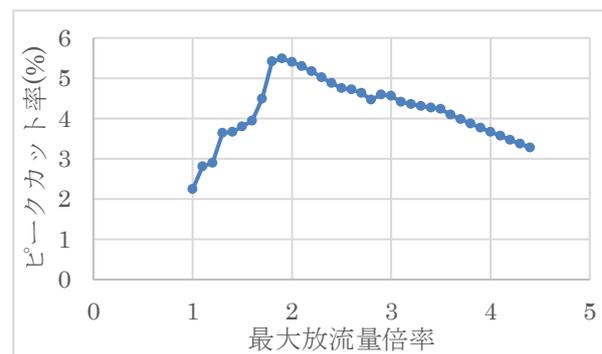


図-10 落合橋上流エリアにおける現行の計画規模降雨に対する対策効果

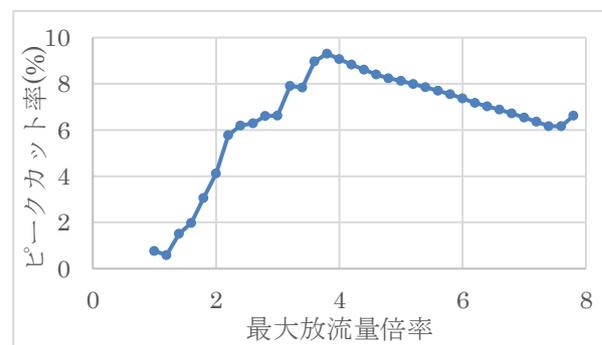


図-11 高田橋上流エリアにおける気候変動後の計画規模降雨 (現行の計画規模降雨×将来降雨倍率(1.11)) に対する対策効果

大放流量を 3.8 倍に増加させることでピークカット率 9.3%に向上した。

また、落合橋上流エリアにおいて気候変動後の計画規模降雨に対する対策効果を解析した結果が図-12である。現状 1.0%のピークカット率に対し、最大放流量を 2.3 倍に増加させることで 4.6%に向上した。

気候変動後の計画規模降雨に対して、高田橋上流エリア及び落合橋上流エリアの現状の最大放流量のままだと、ピークカット率はわずか 1.0%以下であり、調整池のピークカット効果をほとんど期待できないが、最大放流量を増加させることでピークカット率が大きく増加する。既往降雨

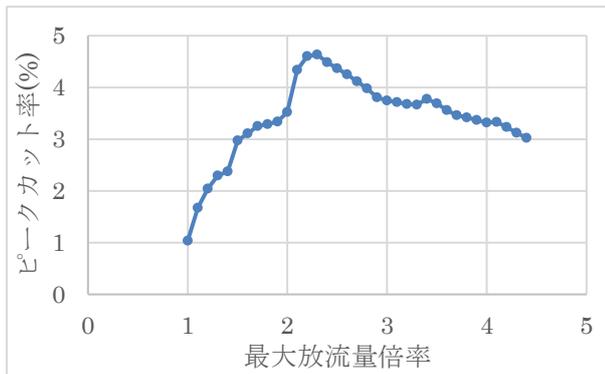


図-12 落合橋上流エリアにおける気候変動後の計画規模降雨（現行の計画規模降雨×将来降雨倍率(1.11)）に対する対策効果

に対する対策効果よりもピークカット率の向上が顕著であり、対策は将来降雨に対してより有用である。

## 5. 結論

本研究では、鶴見川流域内の4800基の調整池資料を収集し、資料分析結果と現地調査の結果を踏まえた上で、大規模調整池を個別に再現した独自の流出解析モデルを構築し、大規模調整池のオリフィス口径拡大による洪水ピークカット率向上効果を明らかにすることを試みた。

高田橋上流エリアにおける既往洪水のうち、ピーク流量第1位洪水に対して、最大放流量を1.6倍に増加させることで、ピークカット率を約1.7倍（7.8%→13.2%）に向上した。また、第1位洪水を現行の計画規模まで引き伸ばした降雨に対しては、最大放流量を2.1倍に増加させることでピークカット率を約14倍（0.7%→10.0%）に、気候変動後の計画規模まで引き伸ばした降雨に対しては、最大放流量を3.8倍に増加させることでピークカット率を約12倍（0.8%→9.3%）に向上した。

落合橋上流エリアでは、既往洪水のうちピーク流量第1位洪水に対しては対策効果があまり見られなかったものの、計画規模まで引き伸ばした降雨に対しては最大放流量を1.9倍に増加させることでピークカット率を約2.5倍（2.2%→5.5%）に向上した。また、気候変動後の計画規模に引き伸ばした降雨に対しては、最大放流量を2.3倍に増加させることでピークカット率を約4.6倍（1.0%→4.6%）に向上した。

以上の解析結果から、オリフィス口径を拡大することによって最大放流量を増加させる対策により、計画規模以上の規模の降雨に対しては調整池のピークカット率を大幅に向上できることが確認された。

将来、気候変動に伴い降雨強度が増大することが予測されており、降雨強度の大きい降雨に対して対策効果がより

顕著に表れる調整池のオリフィス口径を拡大させる対策は有用と考えられる。対策にはオリフィス口径を拡大する工事が必要となるが、現在鶴見川流域内で計画されている統廃合と同時に工事を行うことで対策費用の軽減を図ることができる。

本研究では、高田橋上流エリアと落合橋上流エリアにおいて対策効果を分析したが、他のエリアでも対策効果を検証することが必要である。また、大規模調整池の最大放流量を一律に一定の倍率で拡大したが、個別に倍率設定した場合の対策効果の検証が必要である。

謝辞：本研究で使用した調整池資料は、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所より提供して頂いた。ここに記して謝意を示す。

本研究は、文部科学省「地球環境情報プラットフォーム構築推進プログラム（水課題アプリケーション開発）」、東京大学大学院工学系研究科「水循環データ統融合の展開学」社会連携講座、及びJSPS 科研費 JP18H03823, 18K13834, 18H01543 の支援を受けて実施した。

## 参考文献

- 1) 鶴見川流域水協議会：鶴見川流域水マスタープラン改定，2015.
- 2) 京浜河川事務所：調整池一覧，2017.
- 3) 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所：雨水浸透阻害行為について（要約版），2005.
- 4) 関東地方整備局：鶴見川直轄河川改修事業，2010.
- 5) 川崎市建設緑政局：雨水流出抑制施設技術指針，2017.
- 6) 北川善廣，鮭川登，野中樹夫：流出解析に基づく雨水貯留施設の流出抑制効果の検討，土木学会論文集，No.497/II-28，pp.21-29，1994.
- 7) 北川善廣，久保田康司，植野公博，鮭川登：雨水貯留施設の規模の違いが洪水調節効果に及ぼす影響の評価，水工学論文集，第49巻，pp.193-198，2005.
- 8) 吉村耕平，田島芳満，佐貫宏，渋谷欣弘，佐藤慎司，小池俊雄：低平地都市河川におけるリアルタイム洪水シミュレーションモデルの開発，土木学会論文集B1(水工学)Vol170，No.4，I\_403-I\_408，2014.
- 9) 幸加木智博：鶴見川流域水マスタープラン改定の取り組み，平成28年度スキルアップセミナー関東，2016.
- 10) 国土交通省関東地方整備局HP：鶴見川の概要。  
[http://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin\\_index018.html](http://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin_index018.html)
- 11) 社会資本整備審議会：平成20年水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申），2008.
- 12) 菅原正巳：流出解析法，共立出版，1972.

(2019. 4. 2 受付)