

玉川上水における通水能力の評価に関する 基礎的研究

山田 真衣^{1*}・小石 一字¹・山田 正²

¹中央大学大学院 理工学部研究科 都市環境学専攻 (〒112-8551東京都文京区春日1-13-27)

²中央大学 理工学部 都市環境学科 (〒112-8551東京都文京区春日1-13-27)

* E-mail: maiy@civil.chuo-u.ac.jp

玉川上水は江戸市の成長を支えたという背景を持っていることから、国の史跡に登録されている。しかし、現在、上水の役目はほとんどなく、暗渠になっている部分が多い。親水空間の構築に向け、昨今かつてのように本水路・支川に河川水を流下させる運動が進んでいる。本研究では、現在は機能していない水路に水を流した場合の数値計算を行った結果を示す。まず開渠部分を計算対象に適切な流量の検討を行った。この結果、支川による水深と流量の関係を調べ、 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 増やすと全体的に水深が約 0.9 m 上昇することが分かった。

Key Words : 1-D unsteady flow, Tamagawa Jousui Channel, man-made channel

1. はじめに

人工水路は水が入手困難な地域に水の恩恵をもたらし、経済、工業、農業、交通という多岐にわたる分野において現代まで人間の生活を支え続けてきた。図-1 に示し

た玉川上水もまた、江戸時代、竣工当時から東京都市の発展に大きく貢献してきた日本における代表的な人工水路である。その歴史的背景が評価され 2003 年に国の史跡に登録され、これをきっかけとし現在、世界遺産への登録に向けた運動も起きている。2020 年に開催される



図-1 玉川上水の位置

(多摩川の水を羽村取水堰で取り入れ、その一部を玉川上水に流している。羽村から 12km 下流の小平監視所まで流れ、野火止用水に流れる。本水路には下水処理水が流れ、それも約 12 km 下流までしか流れておらず、以下暗渠となっている。)

東京オリンピックに向けて、東京都及び国は水辺環境の見直しを行っており、玉川上水も今後さらに注目されていくことが予想される。

しかし、本水路全長約 43 kmには現在河川水は流下しておらず、水路としての役割はその一部区間に留まっている。写真-1 のように堤防の管理がなされていない、植生が繁茂していることから歩道から水路を見ることが出来なく親水性に欠ける。また、高井戸付近から以東では暗渠になっており、水路を見ることができない。

これらのような多くの問題を抱えている玉川上水を河川水が全体に行き渡らせる取組が民・産・学・官でなされている。その1つに水循環都市東京シンポジウムがある。この目的は世界一の水循環システムを誇った「水都江戸」の遺産である玉川上水を現代に活かすことにより、2020 年オリンピックに向け世界一の歴史と品格のある「水都東京」にし、美しく安心安全な東京をつくることである。5 大学(中央大学、法政大学、日本大学、東京理科大学、東京大学)でリレー方式によりシンポジウムが行われ、これらの議論を踏まえて「水循環都市東京に関する要望書」を東京都知事と国土交通・水循環政策担当大臣に提出した。

他にも玉川上水・分水網を世界遺産・未来遺産へシンポジウムが行われた。この目的は羽村取水堰から江戸城までの玉川上水と分水網域の関係者が会し、世界遺産の登録、未来遺産の認定を目指すことである。

一方で、下流端の四谷大木戸まで水を流すためには流量計算を行い具体的な流量の提案を行う必要があるが、研究がなされていない。そこで本研究では、初期段階として現状の本水路の開渠部分を計算対象に適切な流量の検討を行った。本稿ではまず玉川上水の歴史的背景をまとめ、それを根拠とした数値計算を行った結果を示す。

2. 玉川上水の昔と今

江戸時代、2代将軍・徳川秀忠の1609年の江戸の人口は約15万人であったと言われている。1635年、3代将軍・徳川家光のときに参勤交代の制度が確立し、大名やその家族が江戸に移り住むようになった結果、人口が急激に増加し、江戸の人口は100万人にまで至ったと考えられている。当時のロンドンの人口は68万人、パリは50万人であるとされており²⁾、江戸の人口は世界の国と比較しても多かったことが分かる。急激に江戸の人口が増加したために、既存の上水だけでは当時の水需要量を賄うことができなくなった。そこで江戸の南西部を流れる多摩川の水を引き、江戸の町の上水として利用する計画が持ち上がり、これが玉川上水となった。昭和時代に入ると都市部の飲み水の確保が多摩川の水だけでは、賄え



写真-1 小金井橋付近の右岸

(この付近は桜並木で有名な場所であるが、堤防はひび割れており、川に草木が侵入している。撮影日：2015年7月)



写真-2 玉川上水第3公園

(写真中央にあるように小さな水路が作られているが、水は流れておらず植生の手入れもされていないことが確認できた。撮影日：2015年10月)

なくなった。そこで、代わりに利根川の水を引くようになり、玉川上水の役目はほぼなくなり、下流約30 kmには水が流れなくなったが、1986年、清流復活事業により玉川上水(上流12 kmの小平監視所から約18 km区間)、千川分水、野火止用水に24,800 m³/日は下水処理水が流下し、水の流れが一部区間のみ復活した。この下水処理水は多摩川上流水センターから流している。また、33カ所の分水は現在は16カ所に減少した。羽村取水堰での平成26年度平均取水量は13.59 m³/s、最大流量114.67 m³/s、最小流量6.53 m³/sであった³⁾。そこから玉川上水、山口貯水池、村山貯水池に送水されている。

2003 年には江戸、東京の発展を支えた歴史的価値を有する土木施設・遺構として国の史跡に指定された。このことをきっかけに、歩道の桜並木の保全や、法面の改修、草木の管理が議論され始めた。しかし今もなお、写真-1、写真-2 のように植物が生い茂っている箇所やフェンスがあることにより上水を身近に感じるものの妨げとなっている。

昨今、世界的に水が環境や人に与える影響が見直されてきている。例えば、ヒートアイランド現象や閉鎖水域に水を流下させることにより水質悪化といった環境問題の改善や、リラックス効果がある⁴⁾と言われている。一

方で、玉川上水は分水も含むと武蔵野台地全体にはりめぐらされている構造をしており、渋谷川や外濠など都市河川・水域と接続している箇所もある。仮に上水全体に水が流下すれば、これらの水域にも流入し、東京都全体の気温上昇を抑える効果や、河川の水源にもなることから東京都全域の環境改善に繋がると考えられている。この効果を見込んで、かつてのように多摩川の水を本水路・分水路に流下し、人々の憩いの場を取り戻そうという運動が起きている。過去に神戸大学の神吉和夫らが歴史や水路の構造、水質などを発表した⁵⁾。しかし、全域に水を流すためにはどの程度の水を流せばよいのか、さらにはどの程度の流量であれば溢れずに下流端まで流下するのかどうかを定量的に示していない。そこで、本稿では玉川上水復活に向けた第一段階として一次元不定流を用いて、流量及び水深の定量的評価を行う。計画では一定流量を流すが、一定流量でない場合も流せるように不定流で計算を行った。

3. 流量計算

(1) 計算方法

一般的に河川の流下能力を調べる手法としては、不等流計算が用いられる。対象とする河川の特性に応じて、1次元から準2次元で計算を行う。本研究で対象とする玉川上水は人工水路であり、河床材料が概ねコンクリートであり、河床変動の影響は考慮する必要はない。また水路内において死水域や樹木群となる場所は少ないことから、準2次元計算ほどの精度がなくても妥当な結果が得られると考え、本研究では1次元で計算することとした。

(2) 分合流がある場合の不定流の基礎方程式

図-2は横流出入がある場合の1次元不定流の概念図である。基礎式は下記に示す連続式と運動量方程式である⁶⁾。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} = -gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \right) - gAI_f + q_l(v - v_q) \quad (2)$$

ここに、 A : 断面積[m²]、 Q : 流量[m³s⁻¹]、 V : 流速[ms⁻¹]、 V_q : 分流通速[ms⁻¹]、 q : 単位幅流量[m²s⁻¹]、 q^* : 単位幅分流量[m²s⁻¹]、 q_l : 主流に交わる方向の単位幅分流入量[m²s⁻¹]、 I_f : 摩擦勾配[m]である。ここでは、矩形断面とし、摩擦勾配をマンニングの粗度係数を用いて表現すると(1)、(2)式は(3)、(4)式のように書き換えられる。計算手法は差分法を用いて時間的に前進差分、空間的には中心差分を用いた。

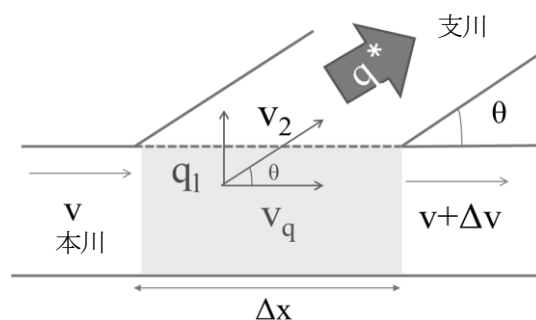


図-2 流出がある場合の平面図

(ここに、 V : 流速、 V_q : 分流通速、 q^* : 単位幅分流量、 q_l : 主流に交わる方向の単位幅分流入量、 θ : 本水路と支川の成す角、 Δx : 距離差分間隔とする。)

表-1 流量を変化させた時の水深

Q= 20m ³ /s			流出量(m ³ /s)		
			0	3	6
	上流端からの距離(km)	24	2.07	1.83	1.59
		22	1.95	1.74	1.52
		20	2.24	1.99	1.74

Q= 30m ³ /s			流出量(m ³ /s)		
			0	3	6
	上流端からの距離(km)	24	2.84	2.61	2.38
		22	2.62	2.42	2.22
		20	3	2.78	2.55

(上流端で与える流量を20m³/s、30m³/sとし、上流端から12 kmにある支川での流出量を0m³/s、3m³/s、6m³/sと変えた。)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{q}{B} \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_l}{B} \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial vq}{\partial x} = -gh \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \right) - \frac{gn^2 \left(\frac{q}{h} \right)^2}{h^{\frac{1}{3}}} + \frac{q_l}{B} (v - v_q) \quad (4)$$

(3) 計算条件

初期条件は等流水深を与える。境界条件は上流端では一定流量を与え、下流端では空間的に変化が無く、疑似的等流状態とおいたノイマン境界条件を与えた。

本稿で述べる越水とは水深が堤防高を超えることと定義する。堤防高さと川幅は渡辺一二による文献⁴⁾を参考にした。本計算は開渠区間のみを対象とし、河床勾配は

対象区間内平均値である 0.0021 で一様に与えて計算を行った。

(4) 計算結果

まず、支川を含まない数値計算を行った。本線の上流端で与える流量 Q を $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、支川の影響を考えないため、(1)、(2)式の単位幅分流量 q_l を $0 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。次に支川の効果を見る。単位幅流入量 q_l を $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 、分流する幅を 3 m 、分岐点は上流から 12 km と仮定して上流端から流す流量を $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ と変えて計算を行った。分岐点 12 km は小平監視所の位置に相当する。支川なし、単位幅流入量 q_l を $2 \text{ m}^3/\text{s}$ の結果を、表 - 1 に纏め、図-3 に示した。

結果を見ると、水深の変化は川幅の変化の逆位相であることが分かる。支川なしの場合、越水した区間は上流から $4 \sim 11 \text{ km}$ 、 $24 \sim 27 \text{ km}$ の区間であった。最も堤防高さが低い地点は上流から約 12 km 地点であり、計算区間の中で最も水深が堤防を越えた。支川よりも下流部の越水部分は堤防高と水深がほぼ一致する結果になった。また分流する量が $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 増えるごとに支川より下流の水深は $0.2 \sim 0.23 \text{ m}$ 減ることが分かり、流量 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 増やすと全体的に水深が約 0.9 m 上昇した。2015年7月28日、玉川上水調査時に三鷹駅から小金井橋付近での水深を確認したところ $20 \sim 40 \text{ cm}$ 程度であった。上流端で $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 流すと、水深 $20 \sim 50 \text{ cm}$ になったことから、この計算結果から下水処理水を玉川上水に $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 流していると推測される。

4. 結論

玉川上水全体に河川水を流下させた場合の流量や水深の定量的評価を行うための第一段階として、開渠部分を計算対象に数値計算を行った結果を纏めた。得られた知見を以下に示す。

1. 最も堤防高さが低い地点は上流から約 12 km 地点であり、計算区間の中で最も水深が堤防を越えた。
2. 分流する量が $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 増えるごとに支川より下流の水深は $0.2 \sim 0.23 \text{ m}$ 減ることが分かった。
3. 流量 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 増やすと全体的に水深が約 0.9 m 上昇した。

5. 謝辞

本研究は中央大学共同研究プロジェクト「横断的学術連携による水辺再生技術と総合的なランドデザインの融合手法の確立に関する研究～外堀通りを事例として～」(代表者、山田正)の支援を受けて、行われたものである。記して謝意を表す。

参考文献

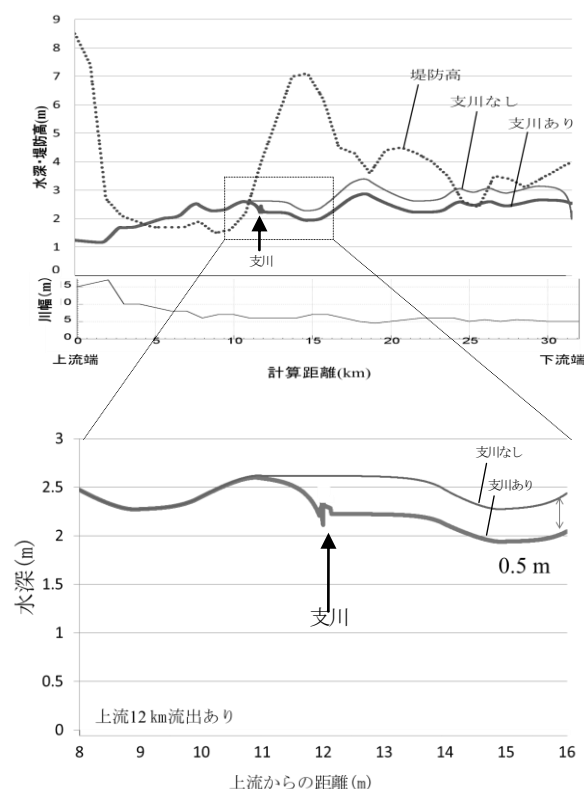


図-3 上流端から流す流量 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、支川なしとありの水深の比較

- 1) 日本水道新聞社：都内5大学連携 東京の水循環創造へ、2015年1月8日
http://www.suido-gesuido.co.jp/blog/suido/2015/01/5_25.html
- 2) 国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所：
<http://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/>
(2016年7月5日参照)
- 3) 東京都水道局：水道事業紹介 事業年報平成 26 年度、
<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/>
(2016年7月5日参照)
- 4) 細見寛：近代水循環形成物語、パシフィックコンサルタンツ株式会社、2014。
- 5) 神吉 和夫：玉川上水の江戸市中における構造と機能に関する基礎的研究、土木史研究第 Vol.13,1993。
- 6) 矢本貴俊、小石一字、山田正：支川合流部を持つ開水路流れの一次元計算手法の提案、第 23 回地球環境シンポジウム、2015。
- 7) 渡部一二：図解 武蔵野の水路
～玉川上水とその分水路の造形を明かす～、東海大学出版会、p.44,2004。