

### 3. 井の頭池から神田川への流出量の把握に向けた検討

#### Survey on the quantity of flow from the Inokashira Pond to the Kanda River

技術支援課 ○高崎忠勝、枝澤知樹

#### 1. はじめに

平成29年に開園100周年を迎えた井の頭恩賜公園に位置する井の頭池は地域の関心が高く、平成25年度、平成27年度、平成29年度には多くの人の協力を得て、池の水を抜くかいぼりが実施されている<sup>1)</sup>。

西部公園緑地事務所では地下水の導水量や池の流末にある堰の高さを変更することによって池の日常管理を行っている<sup>2)</sup>。このため、地下水導水量や堰高が井の頭池の水量や水質に及ぼす影響を把握することが求められている。

井の頭池への流入成分は降雨や地下水の導水であり、池からの流出成分は蒸発や神田川への流出である。さらに池の水位と地下水位に応じて池と地下水との間で水の移動がある。地下水位が高い場合には湧水として地下水から池に水が供給され、地下水位が低い場合には池から地下に浸透する。

池の水収支を把握したい場合、降雨は東京都水防災総合情報システムや気象庁の雨量データを参照でき、蒸発量は気象データ等から推定<sup>3)</sup>が可能である。また、地下水導水量は揚水ポンプの運転時間から求めることができる。井の頭池と地下水の水移動の実態を直接に計測することは困難なため、井の頭池の水収支を把握する上で、池から神田川への流出量を把握することは極めて重要である。

当センターでは技術支援として井の頭池から神田川への流出量の連続計測や井の頭池周辺の地下水位の計測を実施している。本報では池の流出量を連続して把握するために行っている計測および流出量の

算定方法について説明する。

#### 2. 水位計測および流出量観測

図-1に示すように井の頭池は、お茶の水池、弁天池、ボート池、ひょうたん池からなり、その水量は約6.7万 $m^3$ である。また、井の頭池は神田川の源流となっている。

ひょうたん池の東側には写真-1に示すように堰があり、堰の下流側が神田川となっている。よって堰の部分の流量が井の頭池から神田川への流出量となる。図-2に示すように堰板の枚数を変えることによって堰高を変更し、池から神田川への流出量を調整している。堰板は1枚10cmの高さがあり、設置される枚数は0~3枚の範囲である。時期によって左右の枚数が異なることがある。



図-1 井の頭池と調査箇所



写真-1 堰の状況



写真-2 水位計

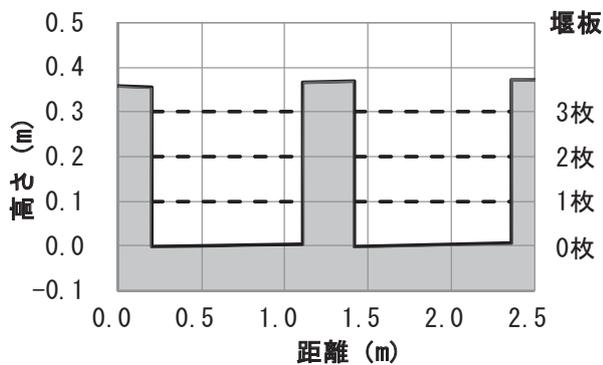


図-2 堰板枚数と堰高

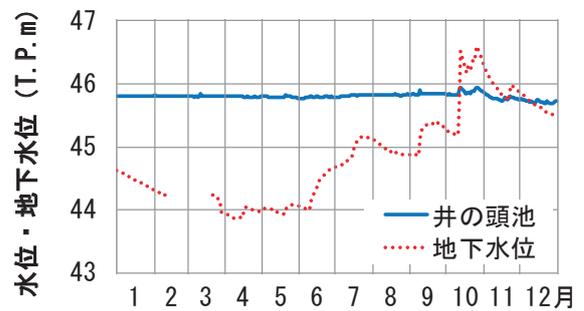


図-3 井の頭池の水位と地下水位 (2019年)

堰の上流側に位置するひょうたん池において写真-2に示す絶対圧式水位計による計測を10分間隔で行っており、別途計測している大気圧を差し引いて水位を求めている。浅層の地下水位は図-1に示したようにボート池の北側で計測しており、年間の地下水位についてセンター年報に浅層地下水の観測記録<sup>4)</sup>として示されている。

2019年のひょうたん池の日平均水位を地下水位と共に図-3に示す。池の水位には大きな変化がみられない一方で地下水位は一年を通じて大きく変化しており、特に10月12日は台風第19号による大雨によって地下水位が高くなっている。また、井の頭池の水位より地下水位が高い期間は1年間の内、2か月程度であったことが分かる。

写真-3のように流速計を用いた流量観測を堰付近で年数回実施している。観測された流量およびこの時の堰板の状況を表-1に示す。



写真-3 流量観測

### 3. 水理特性の検討

流速計を用いた流量の観測は年に数回の頻度であることから、流量の変化を連続的に把握するには、連続計測を行っている水位の情報を用いて流量を算定する必要がある。

水位と流量の関係を示す方法として表-1に示した流量と流量観測時の水位を用いて水位流量曲線

表－１ 観測流量

観測日	時刻	堰左 (枚)	堰右 (枚)	流出量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
2018/1/11	12:45 ~ 12:53	0	0	0.199
2018/2/14	10:20 ~ 10:40	0	0	0.108
2018/3/15	10:30 ~ 11:05	0	0	0.035
2019/12/3	10:20 ~ 10:40	0	0	0.157
2019/12/3	11:00 ~ 11:15	0	0	0.134
2019/12/20	11:10 ~ 11:35	0	0	0.082
2019/12/20	11:40 ~ 12:00	0	0	0.087
2019/10/16	13:18 ~ 13:38	1	1	0.356
2019/10/16	13:46 ~ 13:59	1	1	0.298
2019/10/16	14:24 ~ 14:36	1	1	0.334
2019/10/16	14:40 ~ 14:55	1	1	0.315
2016/9/26	14:10 ~ 14:30	2	2	0.346
2016/9/26	14:50 ~ 15:20	2	2	0.264
2017/11/13	14:00 ~ 14:20	2	2	0.263
2017/11/20	10:55 ~ 11:25	2	2	0.177
2018/8/27	10:45 ~ 11:00	2	2	0.033
2018/8/27	11:18 ~ 11:30	2	2	0.031
2018/9/13	11:00 ~ 11:10	2	2	0.053
2018/9/13	10:53 ~ 10:57	2	2	0.059
2018/10/2	15:30 ~ 15:48	2	2	0.120
2018/10/2	15:54 ~ 15:54	2	2	0.128
2019/7/26	13:25 ~ 13:55	2	2	0.054
2019/7/26	14:00 ~ 14:20	2	2	0.057
2019/9/12	13:30 ~ 13:50	2	2	0.068
2019/9/12	14:00 ~ 14:20	2	2	0.064
2019/9/12	15:00 ~ 15:25	2	2	0.075
2019/9/12	15:30 ~ 15:50	2	2	0.075
2016/10/21	11:15 ~ 11:35	2	3	0.065
2016/10/21	11:50 ~ 12:05	2	3	0.042
2016/11/2	10:05 ~ 10:25	3	2	0.027
2016/11/2	10:50 ~ 11:10	3	2	0.018
2016/11/7	10:05 ~ 10:25	3	2	0.008
2016/11/7	11:00 ~ 11:15	3	2	0.008
2018/7/31	10:10 ~ 10:35	3	2	0.019
2018/7/31	10:40 ~ 10:51	3	2	0.023
2018/11/28	11:35 ~ 11:55	3	2	0.040
2016/8/25	10:40 ~ 11:10	3	3	0.070
2016/8/25	13:20 ~ 13:40	3	3	0.057

(HQ式)を作成する方法が考えられる。しかし、堰板の枚数別に見たときに観測データの数が少ないことや観測値より大きな流量が発生した時にHQ式を外挿して適用する問題がある。このため、地形情報をもとに水理計算を行い水位と流量の関係を明らかに

した上で、この結果を用いてHQ式を作成することにより、水位データから流量を算定できるようにする。

### (1) 水理計算

井の頭池の水位や流量は時間によって変化しているが、仮想の状況として流量が一定の状態が継続する場合、水位も一定の状態となる。そこで、一定の流量が継続する時の水位を二次元不定流計算により求めることとした。二次元不定流計算にはiRIC3.0.18, Nays2DFlood v5.0を用いた。

計算に際して、まず、図－４のように堰上流付近の地形を模したデータを作成した。図において(a)は堰上流のひょうたん池の地形、(b)は計算に用いたモデル地形、(c)はモデル地形の縦断面を示している。堰の水路幅が左右それぞれ約90cmであることや堰板部分の再現性を考慮して地形データを10cm格子で作成し、計算格子についても10cmの矩形に設定した。堰板の枚数によって水位と流出量の関係が異なるため、想定される堰板の枚数に対応する地形データを作成した。

計算は、初期の水深をゼロとし、流水が堰板を超えるまで池に流入する水量を $0.5\text{m}^3/\text{s}$ とし、その後、設定した水量を池に流入させた。設定した水量は、 $0.001\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.01\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.05\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.3\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.4\text{m}^3/\text{s}$ の7ケースである。

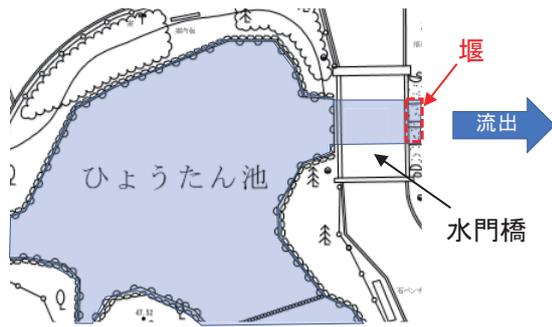
図－５は堰板が左1枚、右1枚の状態、 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ の流入量を与え続けて600秒経過した時点の流速の平面分布を示している。流速の大きさ及び流れの方向を矢印で表している。大きな流速が生じているのは堰下流の落差部分である。

図－６は水門橋西側中央(図－４(b)水位地点)における時間経過による水位変化を示している。水位は計算開始時から時間経過とともに大きくなっていくが300秒経過すると水位は概ね一定の値となっている。また、水位が一定になった時点で池に流入する水量と池から流出する水量が等しくなり、以降、これらを流量と記す。本検討では図－６の結果を踏まえ計算開始から600秒経過時の水位を用いた。

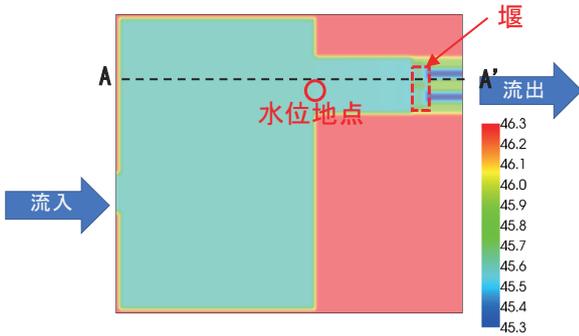
図－７に計算開始から600秒経過時における水門橋西側中央位置の水位を堰板枚数別に示す。

流量が $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 以下の範囲における流量変化に対す

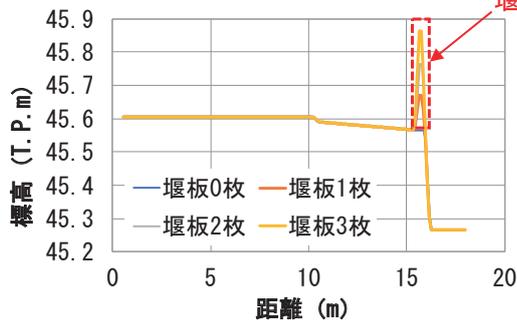
(a) 堰上流側の地形（平面）



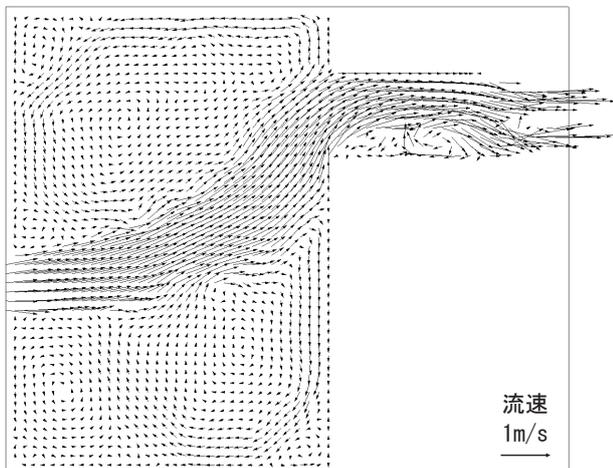
(b) 計算モデル地形（平面）



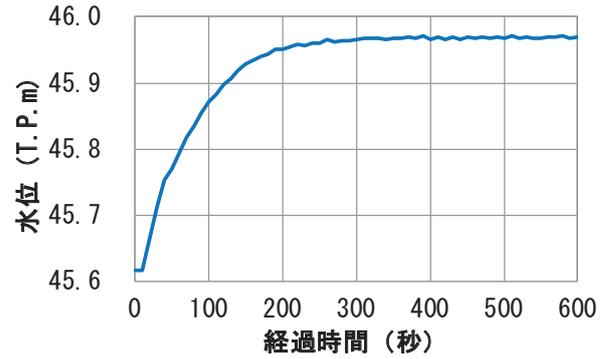
(c) 計算モデル地形（縦断面A-A'）



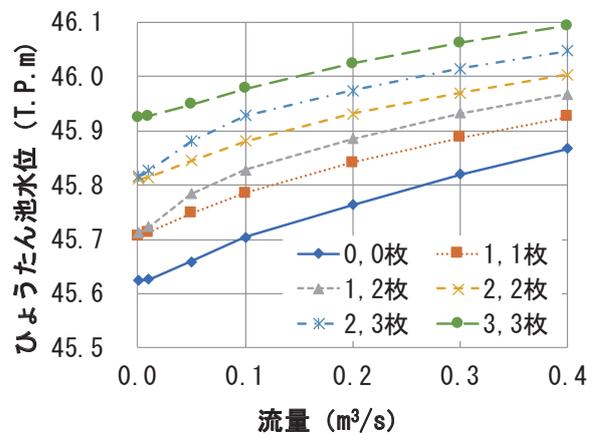
図－4 水理計算に用いた地形



図－5 600秒経過時の流速分布



図－6 時間経過と水位



図－7 600秒経過時の水位

る水位変化は、堰板の枚数が左右同じ場合と比べて左右で異なる場合の方が大きい。

(2) HQ式

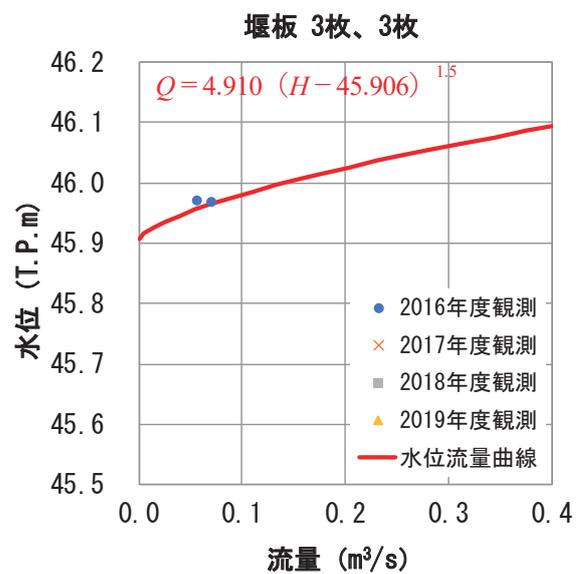
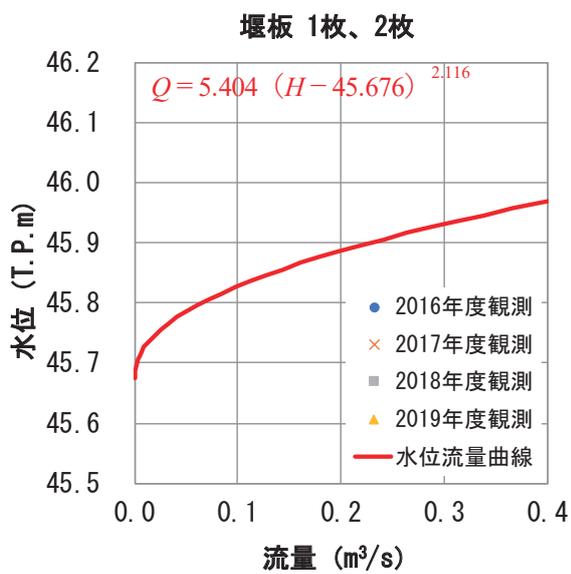
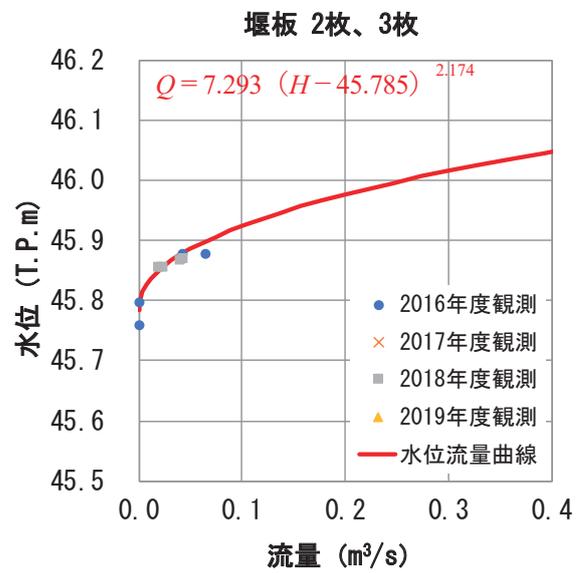
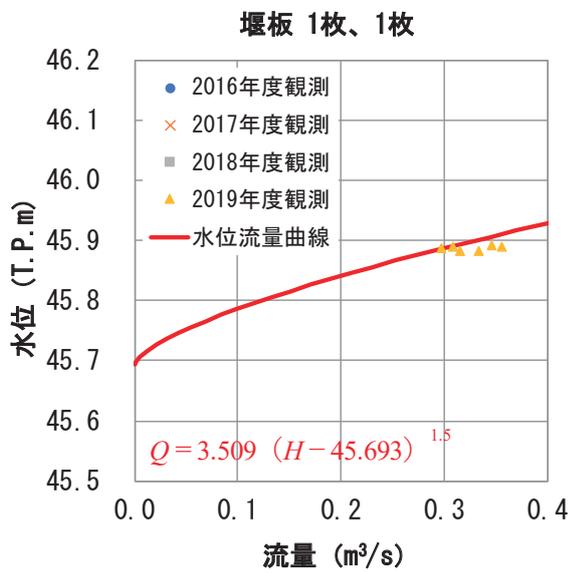
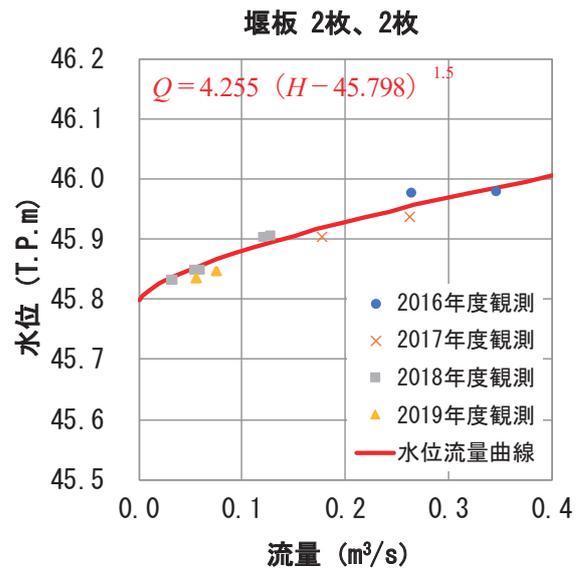
図－7に示した水理計算結果を用いて式(1)のようにHQ式を作成する。

$$Q = a (H - b)^n \quad (1)$$

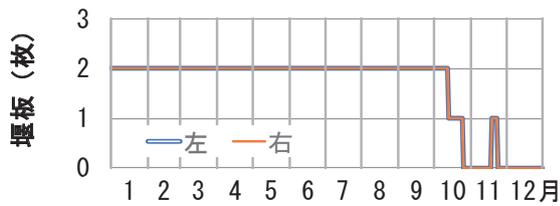
ここに、 $Q$ ：流量 ( $m^3/s$ )、 $H$ ：ひょうたん池水位 (T.P.m)、 $a$ 、 $b$ 、 $n$ ：パラメーター

パラメーターについては大域的探索法であるSCE-UA法<sup>9)</sup>により誤差評価関数をRMSEとして値を求めた。ただし、左と右の堰板枚数が同じ場合は矩形断面であることを考慮して $n=1.5$ として $a$ 、 $b$ の値を求めた。

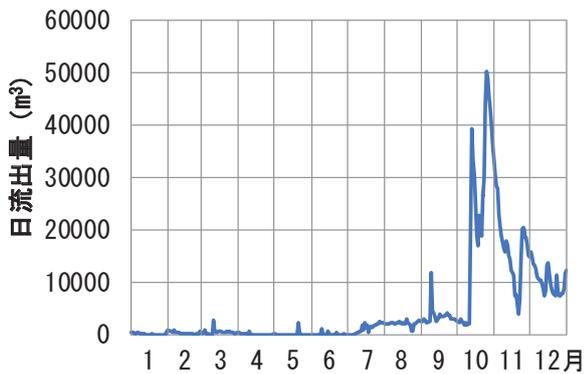
図－8に堰板枚数別のHQ式と流量観測結果を示す。かいぼりの影響があると考えられる2017年度を除くと堰板の枚数に拘わらず観測結果をHQ式は良好に再現している。このことから作成したHQ式は堰付近の水理特性を適切に表現しているものと判断した。



図一 8 水位流量曲線



図－9 堰板枚数 (2019年)



図－10 日流出量 (2019年)

#### 4. 日流出量の算定

図－8に示したHQ式は堰板の枚数によって用いる式が異なるため、流量の算定においては堰板枚数の情報が必要となる。図－9に2019年の堰板の状況を示す。2019年を通じて堰板は左右同じ枚数となっており、大雨をもたらした台風第19号以降、堰高が低く設定されている。

堰板枚数、ひょうたん池水位、HQ式を用いて

10分間隔で流量を算定する。10分間隔の流量から算定した2019年の日流出量を図－10に示す。

1月から6月の日流出量はゼロに近くなっている。日流出量の最大は10月26日の約5万m³であり、台風第19号の影響を受けた10月13日は約4万m³である。この日流出量の違いは、図－9に示したように堰板枚数が10月13日は左右各1枚であるのに対して10月26日は左右各0枚であることが大きな原因だと考えられる。

#### 5. まとめ

井の頭池から神田川への流出量を連続的に把握するために行っている現地調査および水理特性の検討方法を記した。

二次元不定流解析を用いて堰周辺の水位と流量の関係を明らかにした。このことにより連続データの取得が比較的容易な水位データを用いて流量の連続的な把握が可能となった。

井の頭池の流出量調査を通じて2019年の日最大流出量が約5万m³であったことや半年の間、日流出量がゼロに近い状況であったこと等が分かった。

今日では二次元不定流解析等の水理計算が容易にできるようになっている。連続的な流量の把握を目的として、水位の連続計測と流量観測および水理計算を組み合わせた方法は他の調査でも有用であると考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 井の頭恩賜公園100年実行委員会：第3回井の頭池かいぼり報告会資料集，2019.
- 2) 内山香：井の頭池の湧水出現と地下水位の変動～復活する“湧水の池”～，都市公園228号，pp.56-59，2020.
- 3) 三浦健志、奥野林太郎：ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細，農業土木学会論文集，1993巻，164号，pp.157-163，a3，1993.
- 4) 大澤健二、國分邦紀、川合将文：浅層地下水の観測記録（平成30年），令元.都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.151-162，2019.
- 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.