平17. 都土木技研年報 ISSN 0387-2416

Annual Report

I.C.E. of TMG 2005

10. 神田川流域の豪雨出水時の地下調節池洪水制御効果

Study on Flood Control Using Underground Regulation Pond in Kanda-Gawa Basin

技術部 增田信也、高崎忠勝

1. はじめに

東京都では、1時間当たり50ミリメートルの降雨 を対象に河道計画や調節池などの治水施設計画を策 定し、治水事業を実施している。

一方、1時間あたり最大雨量で100ミリメートルを 越えるような集中豪雨が都内で発生している。

特に平成11年7月には1時間に131ミリメートルという局地的な集中豪雨があり、神田川流域内で地下室への浸水による死亡事故¹⁾という新たな形態での水害が発生している。こうした中で、都市域における1時間あたり100ミリメートルを越える局地的な集中豪雨に対する洪水制御手法が求められている。

この局地的集中豪雨対策の検討には、河川の粗度 係数や水位と流量の関係式などの河道特性、洪水の ピーク流量、洪水波形、洪水到達時間などの流出特 性、蒸発散、表面貯留、地下浸透による損出降雨な どの河川流域特性のそれぞれからの検討が必要であ る。

また、神田川流域の各河川には分水路や調節池が設置され、洪水流を分水または流量カットを行い、洪水被害の軽減を行っている。特に、平成16年10月8日~同9日の台風22号では、環状七号線下に建設された神田川地下調節池(第一期)が洪水を制御したことにより下流の未改修区間の洪水被害を大幅に低減させている。

そこで、これら地下調節池等の洪水カット流量や 下流での洪水制御効果を検証する必要がある。

このことから、河川部からの依頼で実施した神田 川流域における高水流量観測結果²⁾をもとに降雨量 と洪水流量、洪水カット流量と地下調節池の貯留量 に係わる事項を中心に解析し、水理的な地下調節池 の洪水制御効果について検討したものである。

2. 神田川流域の概要

(1) 神田川の改修状況

神田川は、三鷹市の井の頭池に源を発し、善福寺川、妙正寺川を合流し、JR水道橋駅付近で日本橋川を分派し、台東区柳橋地先で隅田川に注ぐ流域面積105.0km²、延長24.6kmの都内中小河川としては、最大規模をもつ河川である。

神田川流域には本川神田川の外、支川として妙正 寺川、善福寺川、江古田川、日本橋川、亀島川を有 し、流域全体が市街化されており、下水道の整備率 は100%となっている。

神田川の計画的な治水事業は、大正14年の台風水 害を契機に昭和5年度から始められ、当時の市郡界で あった善福寺川合流点まで約7.6kmの護岸、橋梁工事 が完了したが、同14年に戦争のため中止した。戦後 は昭和33年の狩野川台風による大水害を受けた為、 昭和34年度から再開され、同52年に1時間あたり30ミ リメートルの整備が完了した。

1時間50ミリメートルの降雨規模の50ミリ整備については、昭和43年度から分水路工事を先行させ、水道橋、江戸川橋および高田馬場分水路が完成している。

また、護岸改修は江戸川橋から神高橋、新堀橋から新橋までの区間が完了している。

神田川・環状七号線地下調節池(以下神田川地下調

節池とする)は、神田川の水害を早期に軽減させるために、将来の環七地下河川の一部を先行的に調節池として事業化したものである。この調節池の第一期事業は、青梅街道から甲州街道までの約2.0kmについて、路面下約40m、内径12.5m、最大貯留量24万立方メートルの洪水を貯留するもので、昭和63年度から着手し平成9年3月に供用開始している。

(2) 妙正寺川・善福寺川の改修状況

妙正寺川は、河道改修に先立ち調節池群を整備することとしており、これまでに北江古田調節池(貯留量約1.7万m³)、第一調節池(同3万m³)、第二調節池(同10万m³)、落合調節池(同5万m³)、上高田調節池(同16万m³)が完成している。河道整備はこれら調節池群と組み合わせて平成7年度から護岸整備に着手している。

善福寺川は、合流先の神田川本川や地下調節地の 進捗状況に合わせて実施していく予定となっている。 中流域の和田堀公園内には水害軽減対策として掘込 み式調節池を3箇所、合計貯留量約3.1万m³を設置し ている。

神田川の流域図を図-1に示す。

3. 地下調節池上流域の降雨量と洪水流量

(1) 環状七号線地下調節池の取水実績

神田川・環状七号線地下調節池は、平成9年3月の 供用開始以来平成16年12月までの取水実績は小規模 な自然流入のものを含めて17回にも及んでいる。

これらの洪水の降雨ついて日時、原因、地下調節 池上流域の降雨量、流入量について整理したものを 表-1に示した。

(2) 神田川地下調節池上流域の降雨量

神田川地下調節池の水理特性を解析するために、表-1に示す流入実績のある降雨に平成9年から同16年までの主な降雨を加えて地下調節池上流域の降雨量について検討を行った。神田川地下調節池の上流域には、雨量計が設置されている。その中から上流域に3等分して設置されている和泉、高井戸、久我山橋の各雨量観測所の降雨記録を使用した。これらの設置位置は図-1の神田川流域図に表示した。各雨量観測所の降雨特性を調べる為に、降雨を集中豪雨と台風・前線別に分け、1時間最大雨量と2時間最大雨量および3時間最大雨量を比較したものが図-2から図-7である。

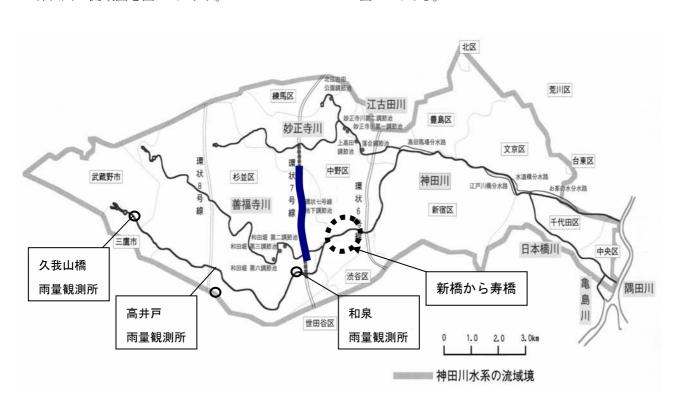


図-1 神田川流域図

表-1 神田川・環状七号線地下調節池の流入実績

											流 入 量 (単位:m³)								
No			年	月	日			原因	和泉			高井戸			久我山橋			神田川	
140			т,	,	Н			<i>I</i>	1h最大	2h最大	3h最大	1h最大	2h最大	3h最大	1h最大	2h最大	3h最大	ゲート 操作	環七地下 調節池
									mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	有無	貯留量
1	平成	9	年	6	月	20	日	台風7号	22	29	35	15	23	34	18	32	39	無	14,490
								台風7号	17	30	38	18	31	43	17	29	41	無	26,260
2	平成	9	年	8	月	23	日	集中豪雨	55	58	67	39	42	48	29	32	42	無	37,000
3	平成	9	年	9	月	3	日	集中豪雨	27	29	30	39	42	43	40	42	43	無	20,000
4	平成	9	年	9	月	8	日	集中豪雨	33	38	41	30	35	37	35	39	42	無	8,000
5	平成	10	年	8	月	6	日	集中豪雨	18	23	27	45	48	51	7	9	12	無	14,000
6	平成	10	年	9	月	15	日	台風5号	18	26	33	21	28	34	19	26	33	無	4,500
								台風5号	33	56	63	31	54	62	29	51	66	無	147,200
7	平成	11	年	7	月	21	田	集中豪雨	38	42	43	65	68	69	20	23	24	無	70,000
8	平成	11	年	8	月	14	П	熱帯低気圧	35	51	63	35	48	71	35	60	69	無	52,000
9	平成	11	年	9	月	29	H	集中豪雨	欠	欠	欠	欠	欠	欠	欠	欠	欠	無	24,000
10	平成	11	年	9	月	4	Ш	集中豪雨	58	76	80	20	21	22	19	20	20	無	9,500
11	平成	12	年	7	月	8	Ш	台風3号	29	48	66	28	48	65	27	41	59	有	214,000
12	平成	12	年	9	月	12	田	秋雨前線	16	21	32	23	30	34	15	15	15	無	5,000
								秋雨前線	46	46	46	51	51	51	21	21	21	有	61,000
13	平成	13	年	9	月	11	田	台風15号	31	39	50	29	37	47	22	29	38	有	28,000
								台風15号	37	54	68	38	55	68	29	41	55	有	59,000
14	平成	15	年	6	月	25	日	集中豪雨	24	26	27	42	45	46	44	47	47	有	38,000
15	平成	15	年	10	月	13	日	集中豪雨	60	61	61	62	63	63	55	57	58	有	148,000
16	平成	16	年	10	月	9	B	台風22号	52	67	78	50	67	86	39	53	69	有	215,270
17	平成	16	年	10	月	20	B	台風23号	31	48	58	25	41	55	23	39	53	有	24,000
	※ 降雨記録は降雨ピークが複数ある場合は複数記載してある																		

100

集中豪雨時の1時間最大雨量と2時間・3時間最大雨量

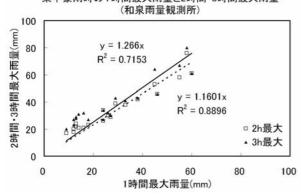
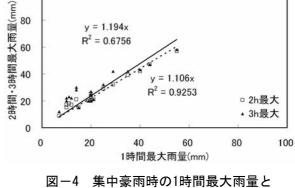
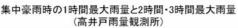


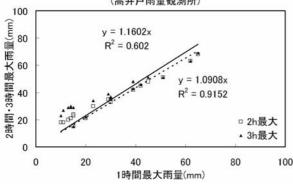
図-2 集中豪雨時の1時間最大雨量と 2時間·3時間最大雨量(和泉雨量観測所)



集中豪雨時の1時間最大雨量と2時間・3時間最大雨量 (久我山橋雨量観測所)

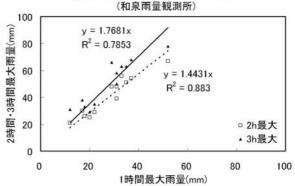
2時間・3時間最大雨量(久我山橋雨量観測所)





集中豪雨時の1時間最大雨量と 2時間・3時間最大雨量(高井戸雨量観測所)

台風時の1時間最大雨量と2時間・3時間雨量 (和泉雨量観測所)



台風時の1時間最大雨量と 2時間·3時間最大雨量(和泉雨量観測所)

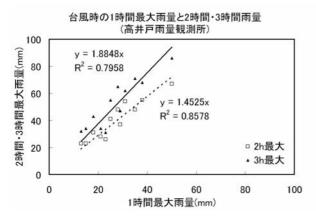


図-6 台風時の1時間最大雨量と 2時間・3時間最大雨量(高井戸雨量観測所)

これらから、集中豪雨においては各観測所における1時間最大雨量に対する2時間最大雨量の相関は1.0908~1.1601倍、3時間最大雨量は1.1602~1.266倍であり、決定係数(相関関数の自乗)はそれぞれ0.8896~0.9253、0.6020~0.7153である。

台風においては各観測所における1時間最大雨量に対する2時間最大雨量の相関は1.4431~1.5359倍、3時間最大雨量は1.7681~1.9762倍であり、決定係数(相関関数の自乗)はそれぞれ0.8211~0.8830、0.7674~0.7958である。

したがって、集中豪雨は1時間最大雨量が大半をしめ、その前後の時間はほとんど降雨がないものであった。また、台風は1時間最大雨量に対して2時間最大雨量は約1.5倍、3時間最大雨量は約2倍近くの雨量であった。

このことは、洪水流出における集中豪雨は任意の 観測地点において洪水到達時間が1時間以上であれ は1時間までの洪水より大きくならないことを示し ている。また、台風は降雨の継続時間が長いことか ら洪水流出は到達時間が長くても洪水流量は大きく なることを示している。

さらに、降雨の面的な特性をみるために各雨量観測所の平均雨量と箇所別の降雨状況の相関を調べてみたものが図-8から図-9である。

これから、集中豪雨は降雨規模の変動が0.82~1.10倍と大きく、かつその相関は決定係数が0.63~0.76と低くなっている。一方、台風は降雨規模の変動が0.90~1.07倍と小さく、かつその相関は決定係

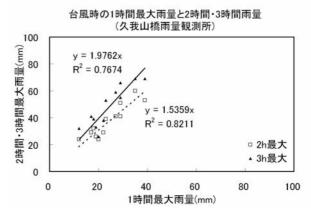


図-7 台風時の1時間最大雨量と 2時間・3時間最大雨量(久我山橋雨量観測所)

数が全て0.9以上となっている。

ここで、ある雨量観測所と隣接または遠隔の雨量 観測所との降雨量の相関を調べたものが図-10であ る。ここでも集中豪雨は隣接する雨量観測所であっ ても降雨規模の差が大きく、かつその相関は非常に 低いことわかる。

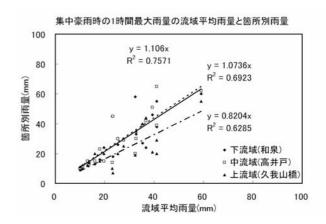


図-8 集中豪雨時の平均雨量と箇所別雨量

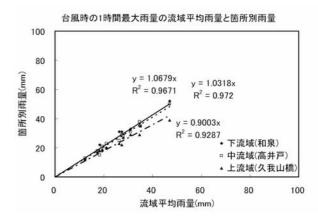


図-9 台風時の平均雨量と箇所別雨量

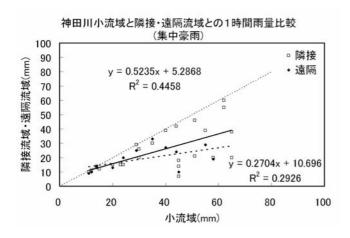


図-10 雨量観測所と隣接・遠隔観測所との比較

(3) 神田川地下調節池上流域の降雨生起発生確率

これまで述べたように、神田川地下調節池上流域 の集中豪雨と台風・前線による降雨と降雨特性に違 いがあることがわかった。これらの違いを把握する ため降雨生起発生確率を比較することを行った。生 起発生確率の計算はガンベル法で行った。

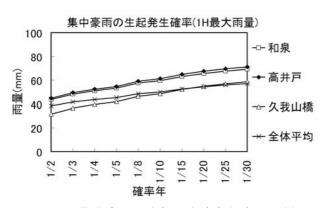


図-11 集中豪雨の生起発生確率(1時間最大)

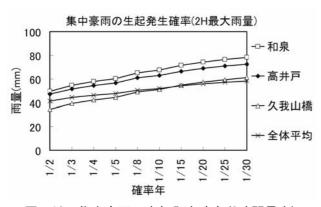


図-12 集中豪雨の生起発生確率(2時間最大)

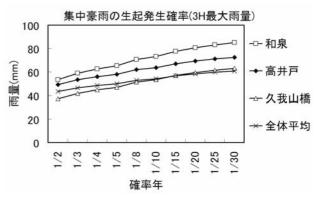


図-13 集中豪雨の生起発生確率(3時間最大)

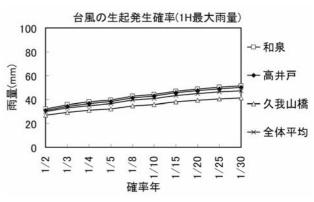


図-14 台風の生起発生確率(1時間最大)

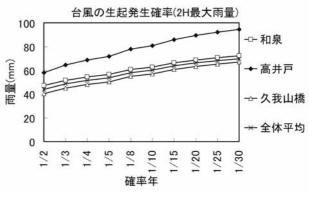


図-15 台風の生起発生確率(2時間最大)

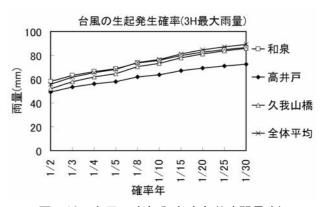


図-16 台風の生起発生確率(3時間最大)

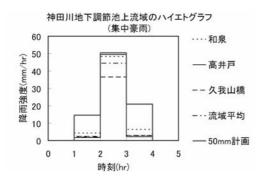


図-17 集中豪雨のハイエトグラフ

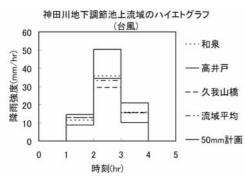


図-18 台風のハイエトグラフ

これらの解析から、神田川地下調節池の上流域の 降雨生起発生確率は現計画規模である3年に1度の 1時間あたりの降雨は、集中豪雨が50mm程度、台風が 35mm程度であった。さらに、この結果を現計画の降 雨強度式から算出した1時間単位のハイエトグラフ と比較したものが図-17である。

この2つのグラフから現計画である50mm計画のハイエトグラフと比較すると、神田川地下調節池上流域のハイエトグラフの集中豪雨と台風・前線による降雨を合成したものが現計画の50mm計画のハイエトグラフになる。言いかえると現計画に適合している降雨特性であるといえる。

これまでの降雨量の解析から集中豪雨は降雨面積 規模が小さく、ほとんど1時間程度の降雨継続時間 であり、生起発生確率計算からみると1時間あたり の降雨量の期待値が大きい。

一方、台風は降雨面積規模が大きく、流域一様に 同規模の降雨量となり、かつ降雨継続時間が長い。

(4) 神田川地下調節池上流の洪水流量

降雨量の解析において、集中豪雨と台風はその降 雨特性が違うことから、後述する神田川地下調節池 の上流に設置された和泉水位観測所の水位と流量観 測結果を用いて地下調節池に流入したときの洪水ピーク流量を算出し、そのときの降雨量と比較を行った。降雨特性が違うことから集中豪雨と台風に分けて整理している。ここで、流域平均雨量とは地下調節池上流域にある和泉、高井戸、久我山橋の各雨量観測所における観測値の算術平均である。

図-19~図-21から和泉水位観測所において降雨量と洪水ピーク流量の相関が高いものは、集中豪雨では流域平均1時間最大雨量で決定係数は0.9749である。

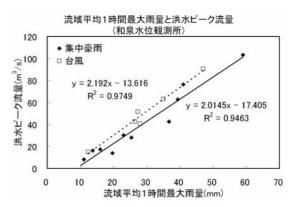


図-19 流域平均1時間最大雨量と洪水ピーク流量

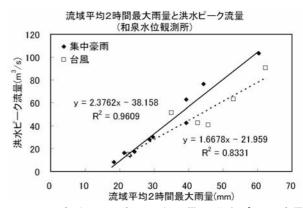


図-20 流域平均2時間最大雨量と洪水ピーク流量

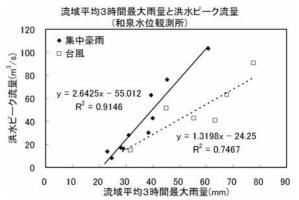


図-21 流域平均3時間最大雨量と洪水ピーク流量

また、台風では流域平均2時間雨量で決定係数は 0.9609である。求められた式を次に示す。

(集中豪雨の洪水ピーク流量)

=2.192×(流域平均1時間最大雨量)-13.616 式1 (台風の洪水ピーク流量)

=2.3782×(流域平均2時間最大雨量)-38.158 式2

このことから、集中豪雨の降雨継続時間が1時間程度であることから洪水ピーク流量も1時間最大雨量によって決定されている。台風は降雨継続時間が長くなることから解るように洪水ピーク流量は2時間最大雨量によって決定されている。

4. 地下調節池取水時の洪水流量と貯留量

(1) 洪水流量と貯留量の算定

神田川地下調節池の流入量は、調節池内に設置された水位計で水位を計測することで貯留量が計算されており、その結果は表-1に示すとおりである。

しかしながら、この方法では貯留量が計算されるが、地下調節池による洪水カット流量を求めることができない。このため、一つの試みとして地下調節池の上下流に設置された水位観測所の観測値と当研究所が実施した流量観測結果²⁾からカット流量と貯留量を算定する方法を検討した。

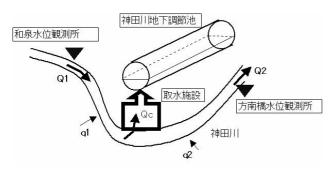


図-22 神田川地下調節池の模式図

この図-22において、神田川地下調節池上下流の 洪水流量は次式で表される。

Q1+q1+q2+Qc=Q2 式3

ここに、Q1; 和泉水位観測所の流量

q1; 取水口までの小流域の流量

Qc; 地下調節池カット流量

q2; 取水口から下流の小流域の流量

Q2; 方南橋水位観測所の流量

ここで、Q1、Q2の流量は流量観測結果と水位観測データにより求められる。さらに、q1、q2の小流域からの河川への流量増加はq1、q2がQ1、Q2に対して微少であると仮定するとQ1+Qc=Q2から神田川地下調節池の取水流量またはカット流量は次式のとおりとなる。

$$Q_{c} = Q_{2} - Q_{1}$$
 34

神田川には昭和50年代後半から水位観測所が設置 されているが、小流域からの流量が等しい位置に設 置されていないこと、降雨分布が等しくないことか ら当然のことながら式4で求めた取水流量またはカ ット流量は誤差を含んでいるものとなっている。

(2) 洪水の伝播速度と洪水波形(ハイドログラフ)

図ー22において和泉水位観測所の洪水Q1が下流の 方南橋まで取水されずに到達する流量をQ2'とする と、洪水伝播速度³⁾または洪水移動速度⁴⁾を把握する 必要がある。一般に洪水伝播速度³⁾は、Kleitz・ Seddon(クライン・セドン)によって広幅長方形断面 の流路における平均流速に対して次式で与えられる。

$$C=5/3 \times v$$
 式5

ここに、C; 洪水伝播速度、v; Manningの平均流速である。この検討ではManningの平均流速の替わりに流量観測結果から得られた流量-平均流速(Q-V)関係式を用いている。

神田川地下調節池の洪水流量カット量の算定にあたって使用した水位-流量曲線式および流量-平均流速関係式は、次のとおりである。

(和泉水位観測所)

 $Q_1 = 7.824 \cdot (H_1 - 3.945)^2$ 式6 $V_1 = \sqrt{(Q_1)/2.804 - 0.081}$ 式7

(方南橋水位観測所)

 $Q_2 = 9.360 \cdot (H_2 - 4.428)^2$ 式8 $V_2 = \sqrt{(Q_2)/1.916} + 0.270$ 式9

ここで、 $H_{1,2}$; 東京都水防災システム水位(cm)、 $Q_{1,2}$; 流量(m^3/s)、 $V_{1,2}$; 流速(m/s)である。

図-23~図-26に示すハイドログラフは、表-1 の取水事例のうち取水量が10,000m³以上の事例について解析を行ったものの代表事例である。ここに、降雨パターンである豪雨と台風について、神田川地下調節池取水ゲート操作の有無2パターンの計4事例を示した。なお、一つの洪水において複数回の取水がある場合は別々の取水事例として取り扱っている。

水位観測所の観測データは、平成9年度~同11年度 までは10分間データ、平成12年度以降は1分間データ であるが、後述する到達時間が数分間程度であるこ とから全て1分間データとし1分間毎に計算して解析 を行っている。

このハイエトグラフは和泉水位観測所の流量が地 下調節池で流量カットされずに下流の方南橋水位観 測所に洪水伝播したものとして表示している。

なお、和泉水位観測所の流量が方南橋水位観測所 に到達するまでの到達時間は水位観測所間の距離 L を式7で求めた平均流速を式5で求めた洪水伝播速度 で除して求めたものである。

図-23は集中豪雨による洪水を取水施設のゲート 操作なしで取水した事例である。

図-24は集中豪雨による洪水を取水施設のゲート 操作ありで取水した事例である。

図-25は台風による洪水を取水施設のゲート操作なしで取水した事例である。

図-26は台風による洪水を取水施設のゲート操作ありで取水した事例である。

取水施設のゲート操作がないときは取水前後の洪水波形が滑らかであるのに対して、ゲート操作を行ったときは取水直後の洪水波形が山を垂直に切り崩したような形をしていることが特徴である。

(3) 地下調節池取水量の算出

先に述べた洪水波形(ハイドログラフ)から各事例について、地下調節池への取水量を上流和泉水位観測所の流量から下流方南橋水位観測所の流量を引いたものを1分間あたりのカット流量(流入量)として積分して求めた。カット流量から求めた計算貯留量と地下調節池に設置された水位計から求められた実際の貯留量を比較したものが図-27である。

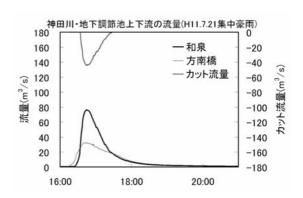


図-23 神田川地下調節池上下流の流量(H11.7.21)

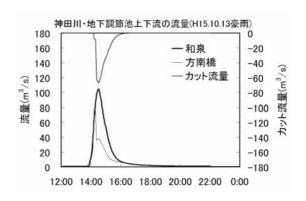


図-24 神田川地下調節池上下流の流量(H15.10.13)

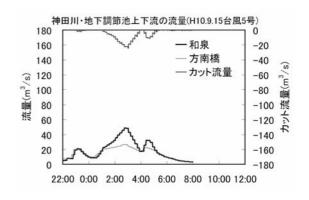


図-25 神田川地下調節池上下流の流量(H10.9.15)

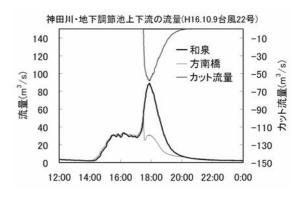


図-26 神田川地下調節池上下流の流量(H16.10.9)

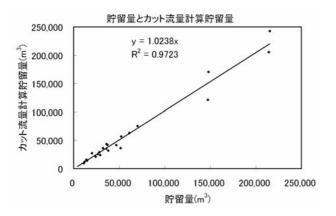


図-27 神田川地下調節池の貯留量比較

この図からカット流量から求めた計算貯留量が実際の貯留量に対して2.38%増であり、相関が非常に高いことがわかる。以下の検討はカット流量から求めた貯留量で検討を進めることとする。

(4) 地下調節池取水施設の水理特性

神田川地下調節池の取水施設には、河道に接して 固定横越流堰と地下への導水部に可動ゲートが設置 されている。このことから、取水時において可動ゲ ートの操作の有無による取水量(貯留量)の変化につ いて検討を行った。



写真-1 神田川環状七号線地下調節池取水施設

取水施設可動ゲートの操作有無によるカット流量 の変化を示す図-28から、ゲート操作ありの場合の 方がない場合に比較して1割以上高いカット流量を 示している。

このことは、河道水位が高いときにゲートを操作 して取水するため、河道の水位と取水施設導水部の 水位の差が大きくなることから水面勾配が大きくな りカット流量が大きくなったものと考えられる。

よって、洪水のピーク流量を効率的にカットする ためには可動ゲート操作による強制的な取水が下流 の洪水流量の低減には有効であることを示している。

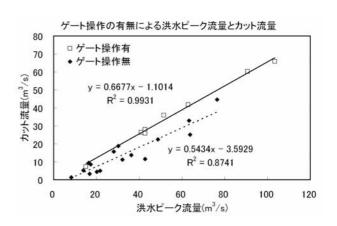


図-28 ゲート操作の有無によるカット流量の変化

図-29に示すように集中豪雨と台風の降雨種別に よるカット流量の変化をみると双方の差がないこと から洪水の最大カット流量は降雨種別による違いは ないといえる。

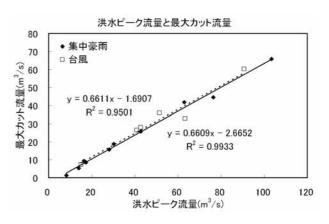


図-29 降雨種別によるカット流量の変化

次に流域の降雨特性と地下調節池の貯留量の関係をみるために、集中豪雨は流域平均1時間最大雨量と計算貯留量を比較したものが図-30である。また、台風はその降雨継続時間から流域平均2時間最大雨量と比較したものが図-31である。

この2つのグラフからはデータ数が少ない為、明確ではないが集中豪雨は流域平均1時間最大雨量が40mmまでは貯留量が65,000m3以内である。雨量が

50mmを超えると貯留量が増大する。

一方、台風は流域平均2時間最大雨量が20mm前後から貯留量がゲート操作の有無を問わず飛躍的に貯留量が増大する。

したがって、地下調節池の貯留量に限界があることを考慮すると、集中豪雨よりも降雨の継続時間が長く、取水量が大きくなる台風の方が水害に対する 危険性が高いといえる。

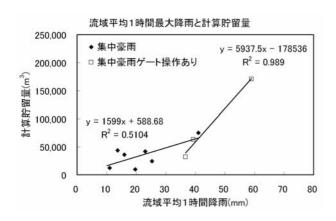


図-30 集中豪雨の流域1時間最大雨量と計算貯留量

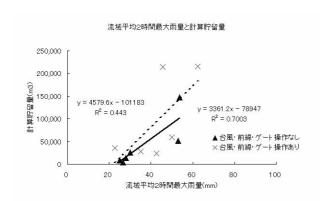


図-31 台風の流域2時間最大雨量と計算貯留量

5. 地下調節池の洪水制御効果の推定

(1) 対象洪水の選定

神田川地下調節池の下流には図-1神田川流域図に示すように善福寺川合流点下流の寿橋から新橋まで50ミリ改修未着手の区間がある。

写真-2は新橋上流の未改修区間で、両側に家が張り付いており、河床は流下能力を上げるためコンクリート張りとなっている。

これまでの検討において、台風のように降雨が流域に一様に降り、降雨の継続時間が長い程洪水流量

が大きくなること、台風の時は地下調節池の取水量が大きくなることこと、当研究所で流量観測⁶⁾を実施していることなどの理由から、平成16年10月9日の台風22号について洪水制御効果の検討を行った。



写真-2 神田川の未改修箇所(新橋上流)

写真-3は平成16年10月の台風22号において写真-2の新橋を下流側から見た洪水状況である。

奥の高欄が新橋であり、手前側は改修が完了した 区間となっているが、未改修の新橋付近では改修区 間に比べて水位が高くなっていることがわかる。



写真-3 神田川の洪水状況(新橋下流)

(2) 善福寺川調節池群の洪水流量のカット流量

この写真の新橋付近を含む寿橋までの箇所は、2 河川の合流点下流、曲率半径が100m未満の湾曲部、 写真-2のように護岸の嵩上げが行われているが橋 梁の掛け替えが行われていないため橋梁部の流下能 力が劣るなどの治水上の問題を抱えている。

また、神田川と善福寺川の合流点下流であること から、善福寺川の洪水流量や堀込み式調節池群の流 量カット効果を考慮して検討する必要がある。

そこで、善福寺川の調節池群の効果をみるために 池群上流の成田東水位観測所と下流の武蔵野橋水位 観測所の水位データと流量観測結果を用いて、池群 の上下流の流量変化を調べたものが図-32である。

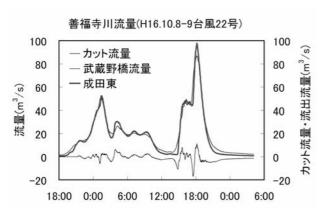


図-32 善福寺川調節池群の上下流の流量

この図でカット流量のプラス側は池群への流入、マイナス側は池群から河道への流出である。

したがって、堀込み式調節池は河川水位が高くなると河道から池へ自然流入し、池の貯留水位より河川水位が低くなると河川へ流出している。このときの池群の最大カット流量は11.5 m³/sであった。

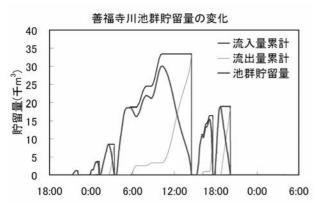


図-33 善福寺川調節池群貯留量の変化

この図-33は、池の貯留量を算出するため流入量 累計と流出量累計から池群の貯留量を求めたもので ある。台風22号において、最大貯留量は30,000m³で、 累計貯留量は77,600m³であった。堀込み式調節池群 の計画貯留量は3.1万m³であることからほぼ満杯ま で流入した計算結果になった。

(3) 神田川と善福寺川の洪水流量合成

神田川と善福寺川の合流点下流では、神田川の洪水流量と善福寺川の洪水流量が混じり合うため、図 -26の神田川地下調節池下流の方南橋流量と図-32 善福寺川池群下流の武蔵野橋流量をクライン・セドンの洪水伝播速度を用いて合流点までの到達時間を求め到達時刻を補正したものが図-34、図-35の合流点直前のハイドログラフである。

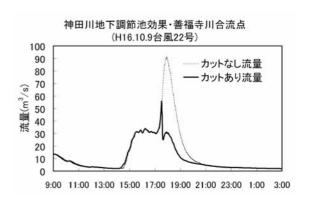


図-34 神田川調節池効果・善福寺川合流点

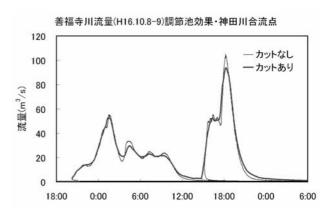


図-35 善福寺川調節池群効果・神田川合流点

この2つの図は、調節池直後の図-26、図-32の ハイドログラフより洪水波形の先端が先鋭化してい ることがわかる。

この2つのグラフのうち調節池カットを行った洪水流量を同様に洪水伝播速度により寿橋水位観測所におけるハイドログラフにしたものが図-36の寿橋

の合成流量である。なお、後述する実測流量を同時 に表示している。

洪水立ち上がり部分に○印をつけた箇所は神田川 と善福寺川の流量が混じり合うために実測流量は合 成流量より立ち上がりが緩くなっている。

一方、洪水の降下部に〇印をつけた箇所は神田川 の流量がカットされ善福寺川の洪水流量が大半を占 めることから、混じり合いによる流れの阻害が小さ いため流速が早くなり合成流量よりも早く実測流量 が到達している。

ここで、寿橋の実測ピーク流量が121.7m³/sに対して合成流量は121.4m³/sであり、到達時刻を除けばピーク流量は再現されている。

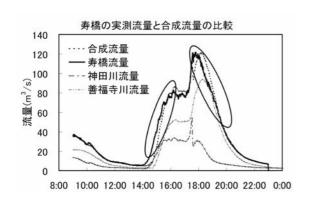


図-36 寿橋の実測流量と合成流量の比較

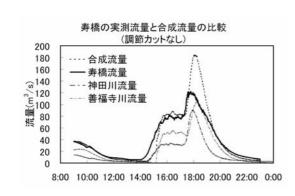


図-37 寿橋の実測流量と合成流量の比較

図-37は神田川地下調節池と善福寺川調節池群の 洪水流量カットを考慮しない場合の合成流量のハイ ドログラフである。これから、寿橋の実測最大流量 が121.7m³/sに対して、調節池の効果を考慮しない 場合の洪水最大流量は184.6m³/sである。調節池カ ットを考慮した場合に比べて流量が62.9m³/sが増 加し、比率も1.52倍となると推定される。

(4) 神田川寿橋付近の洪水制御効果の検討

神田川の寿橋では、平成16年度に流量観測が実施されており、平成16年10月8日~同9日台風22号のときにも観測が実施されている。

その観測結果をまとめたものが図-38および式10 ~式13である。これから、前項で計算した地下調節池の流量カットがない場合の最大流量184.6m³/sを代入してシステム水位を求めるとH=5.776mとなる。

この調節池のカットのない水位と寿橋水位観測所付近の断面図と重ね合わせたものが図-39である。

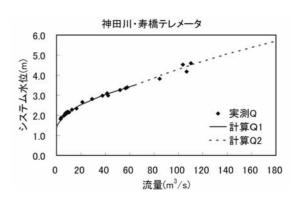


図-38 寿橋の水位-流量曲線式

(寿橋水位観測所)

$$\mathbf{Q}_1 = 13.476 \cdot (\mathbf{H} - 1.322)^2$$
 式10 ただし $\mathbf{H} < 3.530 \mathbf{m}$ $\mathbf{Q}_2 = 5.954 \cdot (\mathbf{H} - 0.208)^2$ 式11 ただし $\mathbf{H} > 3.530 \mathbf{m}$ $\mathbf{V}_1 = \sqrt{(\mathbf{Q})/3.155} + 0.631$ 式12 ただし $\mathbf{Q} < 49.102 \mathbf{m}^3/\mathbf{s}$ $\mathbf{V}_2 = \sqrt{(\mathbf{Q})/4.093} + 1.140$ 式13 ただし $\mathbf{Q} > 42.102 \mathbf{m}^3/\mathbf{s}$

ここで、H:システム水位である。

次の図-39に示す調節池カットなしの想定ピーク 水位は護岸を越えていないが、これは洪水被害軽減 策の一つとして両岸を約1m程度嵩上げしているた めである。

一方、神田川の善福寺川合流点下流の寿橋から新橋の間は写真-2に見られるように河道幅が10m程度と狭く、かつ河道曲線の曲率半径が90m程度の箇所が

約1.1kmの中に4箇所存在する。一般には曲率半径を 河道幅で除した値が10以下の場合、わん曲による水 位上昇⁷⁾を考慮する必要がある。

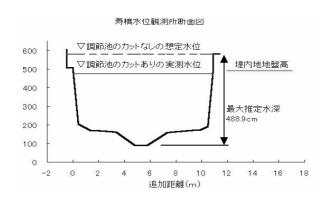


図-39 寿橋水位観測所断面図

そこで、式12、式13の断面平均流速を用いて、わ ん曲による水位上昇を次式で推定する。

$$\angle h = BV^2/grc$$
 式14
 $h = \angle h/2$ 式15

ここにB; わん曲部の水面幅(平均幅10.9m)、

V; 断面平均流速(m/s) g; 重力加速度(9.8)

rc ; 水路中央部の曲率半径(m)

である。調節池のカットなしの想定最大流量は184.6 ${\rm m}^3/{\rm s}$ であるから式13から断面平均流速は4.45 ${\rm m}/{\rm s}$ となり、わん曲外側の水位上昇 ${\rm h}$ は式14、式15から0.123 ${\rm m}$ となる。なお、内側は0.123 ${\rm m}$ 水位低下する。

ここで、わん曲部外側の水深は、システム水位 4.889mに0.123mを加えた5.012cmとなる。このときの 水深は4.89mとなる。このことは、写真-3において、 わん曲外側の水位が上昇していることでもわかる。

これらの結果から想定洪水水深に対して嵩上げ護 岸高および桁下高を比較したものが表-2である。

表-2 調節池カットなしの想定洪水水深との比較

橋名	河床から桁下 までの高さ(m)	判定	河床から護岸 までの高さ(m)	判定	
新橋	4.22	< 4.89m	4.86	< 4.89m	
氷川橋	4.33	< 4.89m	4.79	< 4.89m	
千代田橋	4.32	< 4.89m	4.77	< 4.89m	
柳橋	4.28	< 4.89m	4.81	< 4.89m	
本郷橋	4.32	< 4.89m	4.91	< 4.89m	
寿橋	4.21	< 4.89m	5.02	> 4.89m	

この表-2から本郷橋と寿橋の護岸を除く護岸部は全て調節池カットなしの想定洪水水位より低いことから洪水が溢水した可能性が高く、また全ての橋桁高よりも想定洪水水位が高いことから橋桁に流水が作用する場合の水位上昇を考えるとさらに洪水水位が高くなったものと考えられる。

また、堤内地の地盤高よりも想定洪水水位が高い ことから考えても、溢水に加えて内水被害が大きい ことが想定される。

一方、調節池でカットした実際の洪水ピーク水深は3.84mと推定され、表-2の河床から桁下高および護岸高までの高さと比較してみると、洪水ピーク水深より桁下高および護岸高までの高さが高いことから溢水による水害被害が発生しなかったものと考えられる。さらに、堤内地の地盤高よりも洪水水位が低かったことから内水の被害も低かったものと考えられる。

6. まとめ

神田川流域の豪雨出水における地下調節池の洪水 制御効果検討で得られた知見をまとめると次のとお りである。

- ① 神田川地下調節池上流域の降雨については、集中豪雨は1時間最大雨量が大半を占め、その前後の時間はほとんど降雨がないものであった。一方、台風は1時間最大雨量に対して2時間最大雨量は1.5倍、3時間雨量は約2倍の雨量であった。
- ② 集中豪雨と台風に区分けして、生起発生確率を 計算した結果、3年に1度の確率の1時間あたり降雨量 は集中豪雨が50mm程度、台風が35mm程度であった。
- ③ 地下調節池上流の洪水流量は、集中豪雨では流域平均1時間最大雨量、台風は流域平均2時間最大雨量大雨量と相関が高い。
- ④ 地下調節池の効果を算定するための洪水到達時間は、クライン・セドンの洪水伝播速度によることが適切である。洪水伝播速度は断面平均流速の5/3倍とすると上下流のハイドログラフの適合がよい。
- ⑤ 地下調節池の取水量(貯留量)の計算を和泉水位 観測所と方南橋水位観測所の流量観測結果を用いて 計算を行ったところ、地下調節池内の水位計から計

算される取水量に対して2%程度の相関誤差であった。

- ⑥ 地下調節池取水施設の洪水ピーク流量に対する カット流量の割合は、ゲート操作ありの場合がゲー ト操作なしの場合に比較して1割程度大きくなった。
- ⑦ 流域平均降雨量に対する取水量は、集中豪雨ではゲート操作なしの場合1時間あたりの降雨が40mmまでは65,000m³程度までであるが、雨量が50mmを越えると取水量が増大する。台風では、流域平均2時間雨量が20mm前後から急激に増大する。
- ⑧ 平成16年10月8日~同9日の台風22号の場合、神田川と善福寺川別々の洪水流量を合成する方法で合流後の実洪水流量を概ね再現することができた。
- ⑨ 台風22号において、神田川地下調節池および善福寺川調節池群の洪水流量カットがないものとする 想定洪水流量は実洪水流量の約1.5倍であった。
- ⑩ この想定流量が神田川と善福寺川合流点下流の 寿橋から新橋間を流下すると護岸や橋梁からの溢水 が想定される。
- ① 同上区間において地下調節池や調節池群による 洪水流量カットにより、実洪水ピーク水位が堤内地 の地盤高より低くすることができたことから内水被 害も軽微となった。

以上の知見が得られたが、神田川と善福寺川の洪

水流量を合成する際の流量増加や減少における流量 の勾配が適合しなかったことから、今後は支川合流 部における流量増減の水理特性の把握が必要である。

7. あとがき

この検討は、流量観測結果と水位観測所の水位データの活用方策、神田川流域における流量観測結果整理²⁾と実態的な粗度係数の把握⁷⁾の検討を経て、神田川流域の豪雨出水における地下調節池の洪水制御効果の検討を行ったものである。

この検討は、局地的集中豪雨対策検討の一つとして、河道特性や大規模調節池取水施設の水理特性を 考慮した治水安全度の向上のための検討の第一歩と 考えている。

今後検討は、支川合流部の水理特性、取水施設の 横越流堰の水理特性、内水被害軽減のため洪水ピー ク水位と堤内地地盤高との水理現象などの把握を行っていく必要があると考える。

謝辞

本検討の実施にあたり、河川部、第三建設事務所 工事第二課の方々に多大な協力と助言をいただきま した。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 黒羽公明他:平成11年7月21日の集中豪雨による水害調査、平成12年東京都土木技術研究所年報、317-322、平成12年
- 2) 増田信也他:神田川流域の高水流量観測結果、平成16年東京都土木技術研究所年報、187-198、平成16年9月
- 3) 日野幹雄:明解水理学、丸善(昭和58年7月)、207
- 4) 土木学会(1985):水理公式集、丸善㈱、昭和56年6月、181-182
- 5) 東京都土木技術研究所(2004):神田川流量観測調査委託報告書、平成17年3月
- 6) 財団法人国土技術研究センター編:河道計画検討の手引き、山海堂、91-92
- 7) 増田信也他:神田川流域における粗度係数の実態、平成16年東京都土木技術研究所年報、171-198、平成16年9月