

水面勾配を考慮した水位流量曲線による善福寺川改修未完了地点の治水安全度評価

首都大学東京	都市環境学部	学生員	○大塚 理人
東京都	建設局河川部	正会員	高崎 忠勝
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村 明
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口 英雄

1. はじめに

東京都の都市中小河川の高水流量観測調査では浮子を用いた観測が行われている¹⁾。中小河川の増水の原因となる短時間強雨の発生予測が難しいことや、水位上昇が極めて早いことから、計画高水流量に相当するような大きな流量については、その観測が極めて難しくほとんどデータがないのが実態である。水位から流量を推定する際に多く用いられている2次式の水位流量曲線は、観測値より大きな水位や流量に適用した場合に大きな誤差を生じる可能性があり、河川の断面積や水面勾配を考慮した水位流量曲線を用いることが好ましいとされている²⁾。治水安全度の評価に際しては観測流量より大きな水位や流量を取り扱うため、評価結果に対して水位流量曲線が及ぼす影響は大きいものと考えられる。

本研究では都市中小河川である善福寺川の50ミリ計画未完了地点を対象に、断面形状および水面勾配を考慮した水位流量曲線を用いて過去の洪水における最大流量を推定し、治水安全度を評価する。

2. 対象地点および対象イベント

対象地点は図-1に示すように善福寺川の松見橋水位観測所とした。善福寺川は東京都の代表的な都市中小河川である神田川の支川である。対象地点の流域面積は約12km²であり、流域範囲の多くは杉並区に位置する。対象地点では50ミリ計画の護岸改修が完了しているが、下流側が未整備であることから対象地点を含む上流側では、河床を下流の流下能力を超えない高さとしており³⁾、50ミリ計画の最終的な改修完了には至っていない。また、対象地点では2008年に高水流量観測を実施しており、更に、2014年には杉並区の河川ライブカメラ⁴⁾の本格運用が開始した。

対象イベントは、1999年から2014年の16年間の年最大水位を記録した洪水イベントとした。なお、雨量および河川水位については1分間隔で観測している東京都水防災総合情報システムのデータを用いた。雨量は1辺の長さが約1kmである3次メッシュの標高傾斜度⁵⁾を基に、図-1のように流域範囲を設定し、対象地点における流域平均雨量を計算した。なお、計算においては対象地点の上流域およびその周辺に位置する武蔵野、原寺分橋、久我山橋、杉並、池袋橋の計5雨量観測所のデータを用い、各メッシュの雨量を最も近くに位置する雨量観測所の値とした。

3. 非溢水イベントの流量の推定

2014年の最大水位イベント時(7月24日)のライブカメラ映像(5分間隔)を目視にて確認し、19時20分時点で溢水が発生していると判断した。この時刻の水位A.P.+41.41mを基準に、全イベントの溢水の有無を判定し、溢水イベントと非溢水イベントに分類した。表-1に全イベントの最高水位とその時刻、溢水の有無(溢水イベントに○を記す)を示す。16年間の内7年で溢水イベントが発生しており、水位から判定すると溢水頻度は2～3年に一度程度である。

非溢水イベントは水位流量曲線を基に最大流量を推定する。2008年の対象地点の流量観測より得られた2次式

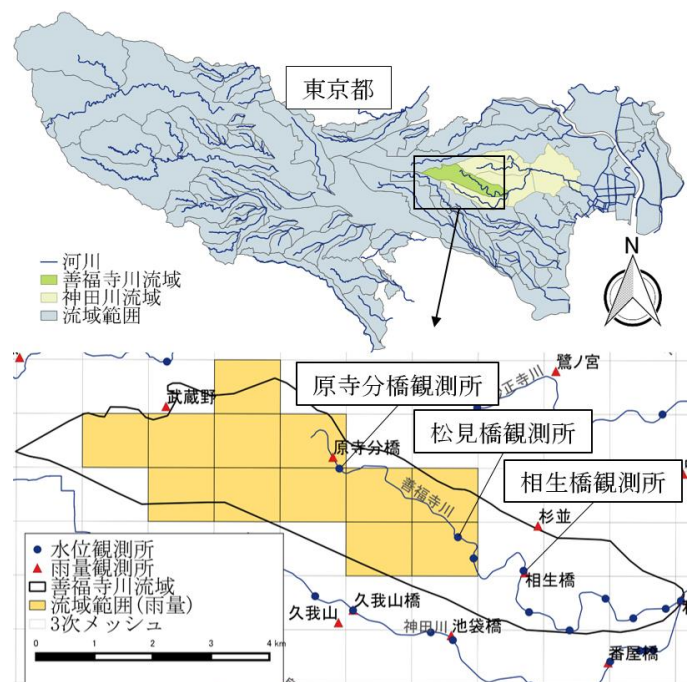


図-1 対象地点

キーワード 都市中小河川, 治水安全度, 水位流量曲線, 河川改修

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : otsuka-masato@ed.tmu.ac.jp

表-1 対象イベント

イベントNo.	年	最大水位時刻				最大水位 (A.P.m)	順位	溢水 有無
		月	日	時	分			
イベント1	1999	8	14	10	0	41.34	8	
イベント2	2000	8	7	19	41	40.98	10	
イベント3	2001	10	10	16	39	40.86	13	
イベント4	2002	8	2	16	13	40.92	11	
イベント5	2003	6	25	11	19	41.70	2	○
イベント6	2004	10	9	17	53	41.57	5	○
イベント7	2005	9	4	22	26	41.87	1	○
イベント8	2006	6	16	6	54	40.88	12	
イベント9	2007	7	29	14	54	41.57	5	○
イベント10	2008	5	20	7	33	40.79	14	
イベント11	2009	10	8	3	52	41.53	7	○
イベント12	2010	12	3	7	53	41.22	9	
イベント13	2011	9	21	13	3	40.68	15	
イベント14	2012	5	3	7	17	40.49	16	
イベント15	2013	9	15	7	24	41.62	4	○
イベント16	2014	7	24	19	40	41.70	2	○

による水位流量曲線式を式(1)に示す。本研究では河川断面形状および水面勾配を考慮し、式(2)に示すマンニングの平均流速公式より水位流量曲線を推定する。

$$Q = 11.092 \times (H - 38.551)^2 \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{n} A I^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

ここに、 Q ：流量(m^3/s)、 H ：水位(A.P.m)、 n ：マンニングの粗度係数($\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$)、 A ：断面積(m^2)、 I ：水面勾配、 R ：径深(m)。対象地点の河川断面形状および流量観測時の観測最大値を図-2に示す。径深 R および断面積 A は河川断面より、水位に対応する値を求められる。水面勾配 I は対象地点の上流に位置する原寺分橋水位観測所と、下流に位置する相生橋水位観測所との水位差を河道延長で除した値とした。図-3に流量観測と水位データを基に、式(2)右辺の $A I^{1/2} R^{2/3}$ を縦軸に、左辺の流量 Q を横軸にとった図を示す。図の回帰直線式の勾配より、式(2)の粗度係数 n は0.035と決定した。この値を用いて各非溢水イベントの水位変化を基に流量を計算し、最大流量を求める。

非溢水イベントのうち、最大水位の大きなイベント1およびイベント12の水位流量曲線を図-4に例示する。図中に式(1)の2次式による水位流量曲線を併記する。式(2)の水面勾配を考慮した水位流量曲線では、水位上昇・下降時のループが確認された。式(1)と式(2)の曲線を比較すると、流量観測時の最大値を超えた範囲で、式(1)では流量が過大評価される傾向にあることがわかる。また、溢水時の流量を推定するため、ライブカメラにより溢水の判定を行ったイベント16の水位流量曲線を図-5に示す。溢水時の水位を曲線により流量を推定すると、 $63\text{m}^3/\text{s}$ であった。この流量を対象地点における現況の流下能力とした。

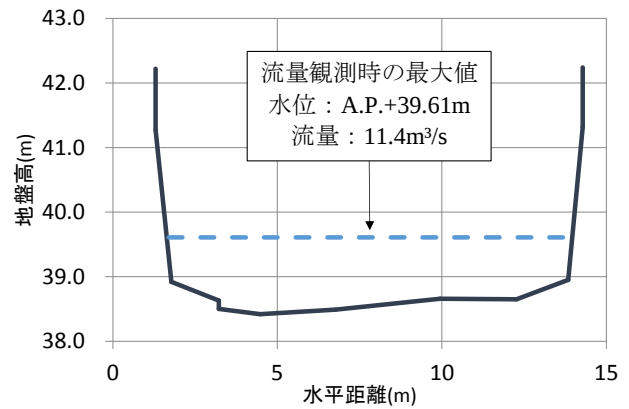


図-2 河川断面形状

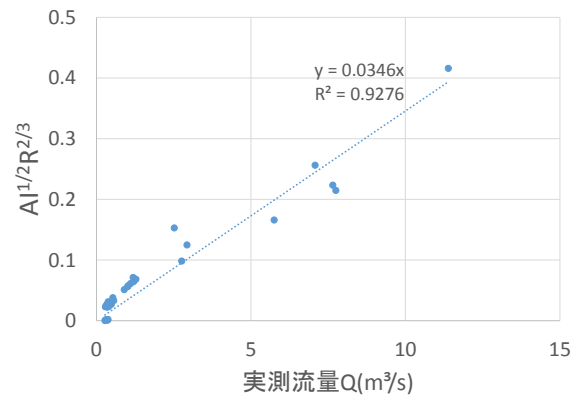


図-3 粗度係数

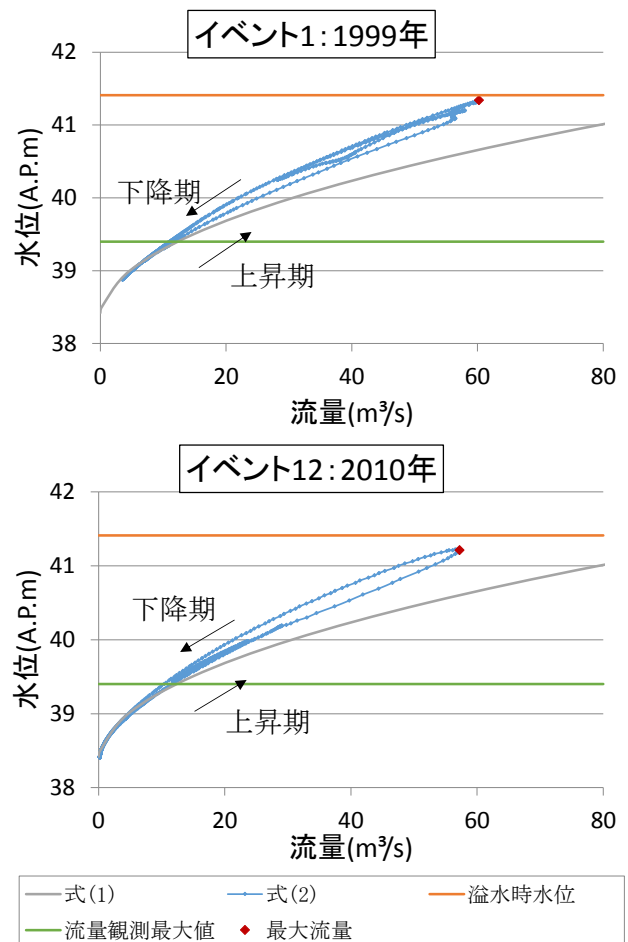


図-4 水位流量曲線の例

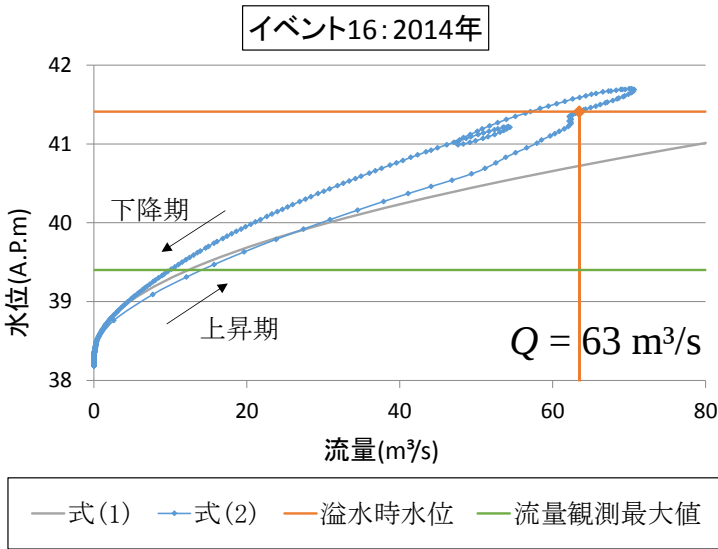


図-5 現況の流下能力

4. 溢水イベントの流量の推定

溢水イベントの流量は水位より推定することが困難なため、流域平均雨量から式(3)に示す合理式により推定した。表-2に各対象イベントにおける流域平均60分最大雨量およびその開始時刻を示す。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f r A \quad (3)$$

ここに、 Q_p ：最大流量(m^3/s)、 f ：流出係数、 r ：洪水到達時間内の降雨強度(mm/hr)、 A ：流域面積(km^2)。

洪水到達時間は善福寺川の過去洪水時の実績⁹⁾を参考に60分と設定し、流出係数は非溢水イベントの最大流量および流域平均雨量より求めた。

表-3に各非溢水イベントより推定した流出係数とその平均値を示す。表より、流出係数0.52と決定した。50ミリ計画で用いられている流出係数0.8⁷⁾と比較して大幅に小さな値であるが、これは河川改修未完了による雨水放流量規制⁹⁾により、下水道からの河川への流出量が制限されていることが大きな原因であると考えられる。

流出係数を0.52とし、流域平均雨量を用いて求めた溢水イベントの最大流量を、非溢水イベントの最大流量と共に表-4の「現況」欄に示す。イベント7(2005年)の最大流量147 m^3/s は50ミリ計画における対象地点の計画高水流量130 m^3/s ³⁾を上回っている。

5. 治水安全度の評価

16イベントの最大流量をGumbel分布に適用して確率流量を算出し、治水安全度の評価を行う。Gumbel分布の確率密度関数、分布関数、クオントイルを式(4)~(6)に示す⁹⁾。

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp \left[- \frac{x - c}{a} - \exp \left(- \frac{x - c}{a} \right) \right] \quad (4)$$

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - c}{a} \right) \right] \quad (5)$$

$$x_p = c - a \ln [- \ln (p)] \quad (6)$$

ここに、 p ：非超過確率、 a 、 c ：パラメータ。

表-4に示した16イベントの各最大流量とGumbel分布の適用結果(パラメータ： $a=19.78$ 、 $c=53.02$)を図-6に示す。図より、流量から判定される現況の溢水頻度は2~3年に一度程度であり、水位による判定結果と概ね一致した。

表-2 流域平均雨量

イベントNo.	最大雨量開始時刻				流域平均 60分最大雨量 (mm/60min)
	月	日	時	分	
イベント1	8	14	8	22	34.6
イベント2	8	7	18	52	34.8
イベント3	10	10	15	36	24.5
イベント4	8	2	15	16	33.1
イベント5	6	25	10	13	43.5
イベント6	10	9	16	59	35.8
イベント7	9	4	21	33	84.6
イベント8	6	16	5	54	24.3
イベント9	7	29	13	57	33.9
イベント10	5	20	6	11	24.4
イベント11	10	8	2	26	41.8
イベント12	12	3	6	41	34.3
イベント13	9	21	12	27	25.9
イベント14	5	3	5	53	20.7
イベント15	9	15	6	16	37.4
イベント16	7	24	18	21	63.3

表-3 平均流出係数

イベントNo.	流出係数
イベント1	0.52
イベント2	0.48
イベント3	0.57
イベント4	0.46
イベント8	0.58
イベント10	0.55
イベント12	0.50
イベント13	0.49
イベント14	0.53
平均	0.52

また、表-4の「改修完了後」欄に河川改修完了とそれに伴う放流量規制の緩和を想定し、流出係数を計画上の0.8として式(3)の合理式で推定した最大流量を示す。同様にGumbel分布に適用した結果を図-7に示す(パラメータ： $a=30.98$, $c=81.56$)。改修完了後は対象地点における計画高水流量を流下能力とすると溢水頻度は概ね5年に一度程度となった。時間50ミリ降雨の確率年3年¹⁰⁾と約2年の差が生じる結果となり、確率年3年に相当する流量は110m³/s程度となった。

6. むすび

本研究では断面形状および水面勾配を考慮した水位流量曲線を用い、善福寺川の松見橋水位観測所における過去16年間の年最大水位イベントを基に治水安全度評価を行った。現況および河川改修完了後の流下能力と確率流量から、河川改修とそれに伴う雨水放流量の規制緩和によって、外水氾濫に対する安全度が維持された上で内水被害が軽減されることが推察された。また、水面勾配を考慮したことにより、水位流量曲線のループが再現された。

改修完了後の治水安全度と計画上の確率年に差が生じた点について、本研究では溢水時の流量を合理式によって推定したが、降雨流出解析モデルを用いることで、より適切な推定が可能と考えられるため、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 増田信也, 高崎忠勝: 神田川流域におけるその係数の実態, 東京都土木技術研究所年報, 1988
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局: 国土交通省河川砂防技術基準調査編, 2014
- 3) 東京都: 荒川水系 神田川流域河川整備計画, 2010
- 4) 杉並区 気象情報, 河川カメラ映像:
<http://www.micosfit.jp/suginami-ku/>
- 5) 国土数値情報, 標高・傾斜度3次メッシュデータ:
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-a.html>
- 6) 和泉清, 井上正之: 浸水被害予測モデルの開発(その1), 東京都土木技術研究所年報, 1988
- 7) 東京都建設局: 東京の中小河川, 1985
- 8) 鈴木淳也: 区部河川における下水道からの雨水放流量の緩和について, 東京都下水道局 東京都技術調査年報 Vol.38, 2014
- 9) 星清: 水文統計解析, 開発土木研究所年報 No.540, 1998
- 10) 中小河川における今後の整備のあり方検討委員会: 東京都内の中小河川における今後の整備のあり方について, 2012

表-4 最大流量

イベントNo.	溢水有無	最大流量(m ³ /s)		
		現況		改修完了後
		水位流量 曲線式	合理式 $f=0.52$	合理式 $f=0.8$
イベント1		60		92
イベント2		56		93
イベント3		47		65
イベント4		50		88
イベント5	○		75	116
イベント6	○		62	95
イベント7	○		147	226
イベント8		47		65
イベント9	○		59	90
イベント10		45		65
イベント11	○		72	111
イベント12		57		92
イベント13		43		69
イベント14		36		55
イベント15	○		65	100
イベント16	○		110	169

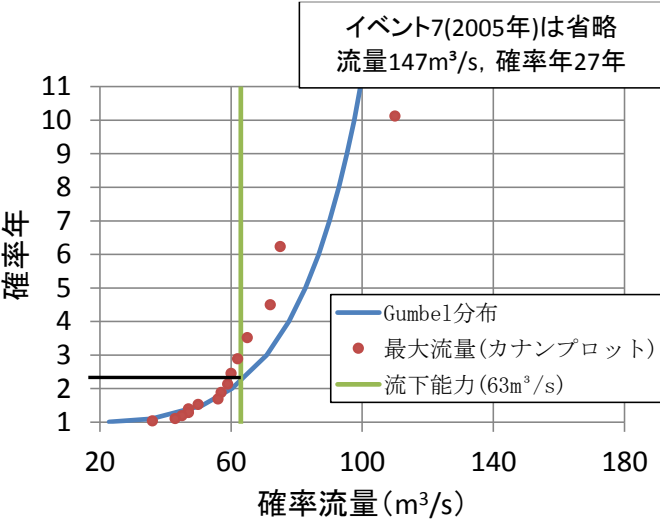


図-6 現況の治水安全度

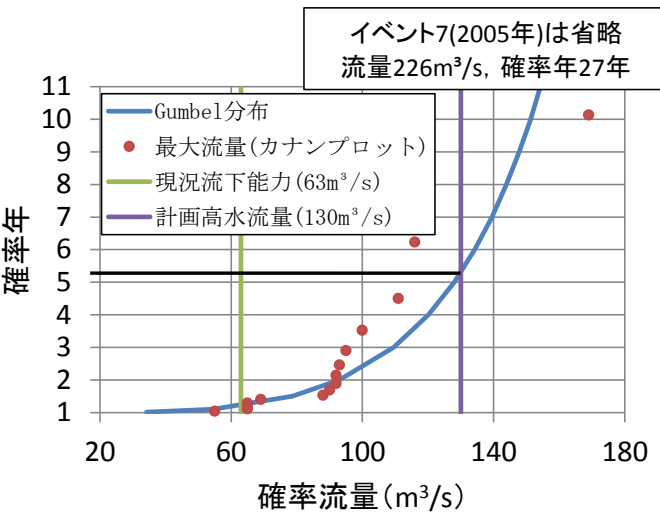


図-7 改修完了後の治水安全度