

8. 境川における高水流量観測結果

Flood Flux Observation Results of Sakai River in 2009-2014

技術支援課 高崎忠勝、小作好明

1. はじめに

東京都では中小河川の河道整備や調節池等の整備により水害対策の強化を進めている。また、水辺の環境づくりや水量・水質の改善による河川環境整備も進めている。こうした河川整備に際して、あるいは整備の効果を評価する場合、現況の水利特性や流出特性等の検討が必要となる。

東京都土木技術支援・人材育成センターでは、こうした検討に資する基礎的データを得ることを目的として流量観測を行っている。流量観測には河川増水時を対象とする高水流量観測と増水していない時を対象とする低水流量観測があり、高水流量観測は主に治水安全度に関わる検討において、低水流量観測は河川環境に関わる検討における基礎資料となる。

東京都水防災総合情報システム（以下、システム）は東京都および区が管理する水位観測所（以下、テレメータ）の水位情報を1分間隔で取り込んでおり¹⁾、流量観測は主にテレメータ付近で行っている。このことによりテレメータの水位データの特性を確認するとともに、水位と流量の関係をもとに流量を推定する等、蓄積した水位データの活用を図ることが可能になる。本報は、境川において実施した高水流量観測について報告する。

2. 高水流量観測の概要

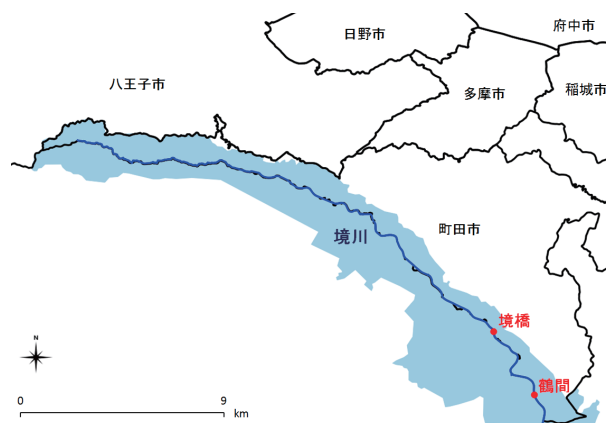
境川は、その源を神奈川県の上野原付近に発し、東京都と神奈川県の都県界を南に流下して相模湾に注ぐ、流路延長約52km、流域面積約211km²の二級河

川である。鶴瀬橋上流管理境から根岸橋までの東京都管理区間では、下流の神奈川県管理区間の整備状況にあわせ整備済み区間についても計画河床まで掘り下げず、下流への流下量を抑制している²⁾。

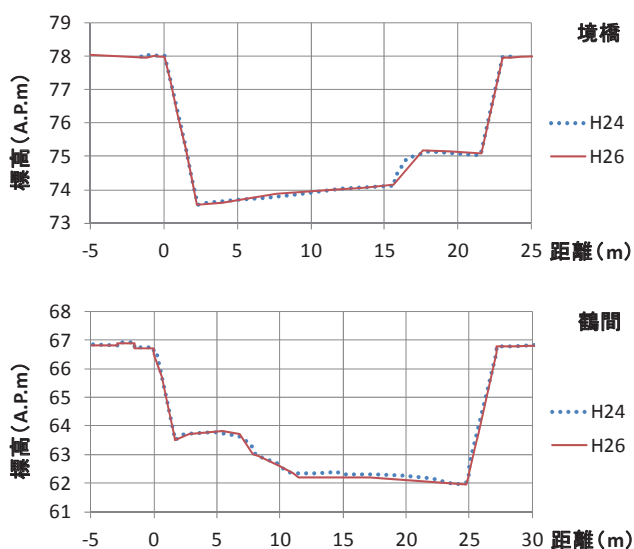
図－1に流量観測の対象とした2つの水位観測所（境橋、鶴間）の位置を示す。境橋の所在地は町田市原町田1-29、鶴間の所在地は町田市鶴間1-1である。境橋の高水流量観測は平成21～22年、平成24～26年に行っており、鶴間の高水流量観測は平成24～26年に行っている。観測は浮子または流速計を用いて行っている。浮子による観測では助走区間を除いて20m以上の直線距離を確保するようにした。

観測した最大流量は、境橋が138.1m³/s、鶴間が211.3m³/sであり、テレメータ水位の最大値は、境橋がA.P.76.81m、鶴間がA.P.65.45mである。

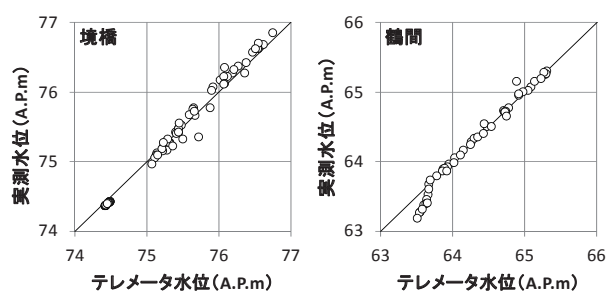
流量観測においては観測断面および観測所断面において横断測量を行っている。図－2に2地点の横断



図－1 対象箇所



図－2 横断面図



図－3 実測水位とテレメータ水位の関係

面を示す。境橋は右岸側に植生が繁茂し、鶴間は左岸側に植生が繁茂している。平成24年と平成26年で断面形状に大きな違いはみられない。

3. テレメータ水位の特性

テレメータの水位データは防災上の水位監視の他に水理計算や降雨流出計算等にも用いられている。

2箇所のテレメータの水位データの特性を確認する。中小河川は平水時の流量が極めて小さいため、平水時の水位を観測できる低い位置にセンサーを設置するとセンサー周辺に土砂が堆積しやすく、保守管理が不十分だと出力される水位が不正確になりやすい。システムの水位観測所は、防災の面から増水時の水位の把握が求められるため、観測所によっては平水時の水位より高い位置にセンサーが設置されている³⁾。この場合、ある程度増水しないと正確な水位は把握できない。

流量観測時に水位観測所に設置された量水標を見て判断した水位（実測水位）と同時刻におけるシステムの水位データ（テレメータ水位）を比較したものを図－3に示す。

境橋のテレメータ水位は、高い水位から低い水位まで実測水位と概ね一致しており、テレメータ水位の値をそのまま用いて問題ない。鶴間のテレメータ水位はA.P.63.7mより小さくなると実測水位との違いが大きくなる。テレメータ水位の利用に際してはA.P.63.7m以上のデータに限定することが望ましい。

本検討において水位については水位データの活用を考慮し、テレメータ水位を用いる。ただし、鶴間においてA.P.63.7mより小さい水位に対する検討が必要な場合は実測水位も用いる。

テレメータ水位と実測水位の値の違いは、システムの問題もあるが、大きく値がずれているものについては量水標の読みや観測時刻がずれている等の観測誤差が大きな原因だと考えられる。流量を精度良く観測する上で観測誤差を小さく抑えることが課題である。

4. 流量観測時の水位と流量の関係

水位と流量の関係を把握することで水位から流量の推定あるいはその逆が可能になる。

図－4に流量観測時の水位と流量の関係を示す。図において縦軸はテレメータ水位、横軸は観測流量 Q (m^3/s)の平方根を表している。流量の平方根と水位の間には概ね線形の関係がみられ、境橋では式(1)、鶴間では式(2)のように表される。

$$\text{境橋} \quad H = 0.2017\sqrt{Q} + 74.119 \quad (1)$$

$$\text{鶴間} \quad H = 0.2075\sqrt{Q} + 62.4 \quad (2)$$

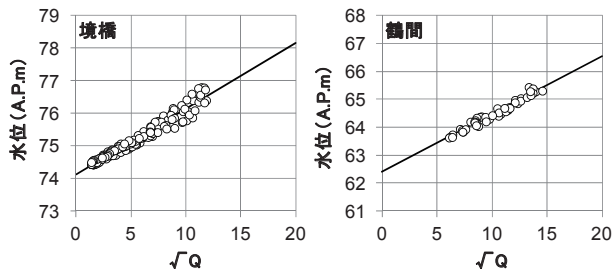
ここに、 Q ：流量 (m^3/s)、 H ：テレメータ水位 (A.P.m)であり、テレメータ水位は観測開始時と観測終了時の中間時刻における水位としている。

また、式(1)、(2)を式(3)、(4)のように変形すると図－5の水位流量曲線が得られる。

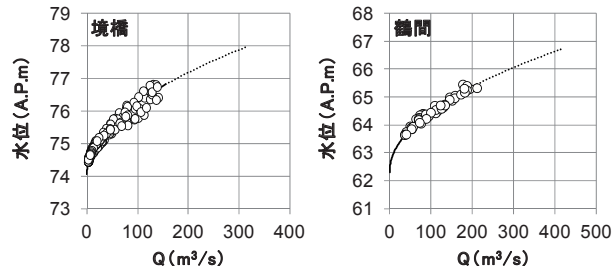
$$\text{境橋} \quad Q = 22.437(H - 74.071)^2 \quad (H \leq 76.81) \quad (3)$$

$$\text{鶴間} \quad Q = 21.425(H - 62.313)^2 \quad (H \leq 65.45) \quad (4)$$

この水位流量曲線の作成方法は計算が容易であり、流量観測時の水位と流量の関係を良好に表わすこと



図－４ 水位と観測流量の関係



図－５ 水位流量曲線

から一般的に用いられている⁴⁾。しかし、観測範囲を超える部分の断面形状を考慮していないため、観測範囲を超える水位を対象とする場合には大きな誤差を生じる可能性がある。このため、式(3)、(4)は適用範囲に注意して使用する必要がある。

5. 断面形状と水理特性の検討

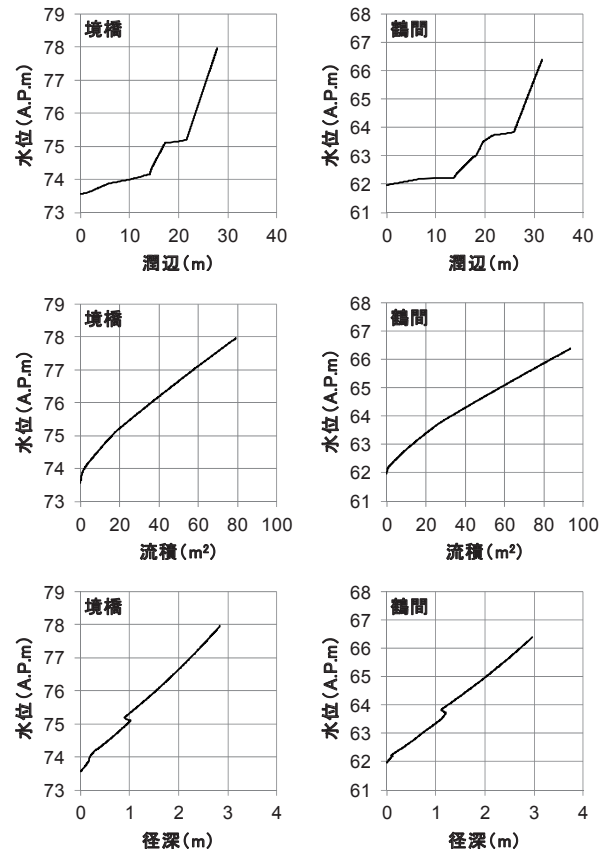
観測値を超える範囲の水位と流量の関係を検討する。等流における平均流速、流量の関係は式(5)のように表わされる。

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (5)$$

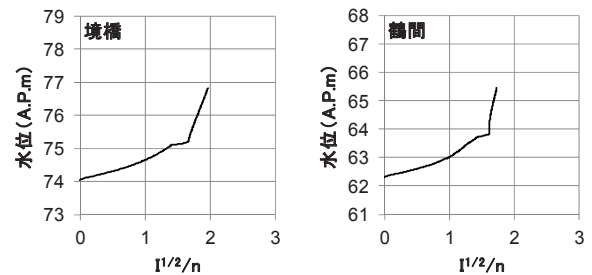
ここに、 v ：平均流速 (m/s)、 Q ：流量 (m³/s)、 n ：粗度係数、 A ：流積 (m²)、 R ：径深 (m)、 I ：水面勾配

水位と径深、流積の関係は図－６に示すように断面形状から計算できる。このため水面勾配や粗度係数が大きく変わらなければ、 $I^{1/2}/n$ の値を適切に設定することにより流量を計算できる。なお、図は平成26年の断面に対するものであるが以前の断面と大きな変化はないため、平成26年以外についてもこの断面を用いて検討を行う。

水面勾配や粗度係数が大きく変わる範囲を把握するために、式(3)、(4)による計算流量と図－６の径深・



図－６ 水位と潤辺・流積・径深



図－７ 水位と $I^{1/2}/n$

流積を用いて式(5)の $I^{1/2}/n$ の値を計算する。水位と $I^{1/2}/n$ の関係を図－７に示す。図をみると、境橋ではA.P.75.2m以下において水位が低くなると $I^{1/2}/n$ の値が小さくなる傾向がみられ、鶴間ではA.P.63.8m以下において水位が低くなると $I^{1/2}/n$ の値が小さくなる傾向がみられる。これは植生の影響で粗度係数が大きくなることが原因だと考えられる。また、境橋ではA.P.75.2m以上、鶴間ではA.P.63.8m以上になると、水位による $I^{1/2}/n$ の変化は小さくなる。

観測流量と図－５の径深・流積を用いて式(5)の $I^{1/2}/n$ の値を計算する。ただし、境橋では水位がA.P.75.2m以上のデータのみを使用し、鶴間ではA.P.63.8m以

上のデータのみを使用する。図－8に流量と $AR^{2/3}$ の関係を示す。図において近似直線の傾きが $I^{1/2}/n$ の値となる。

$$\text{境橋} \quad Q = 1.67 AR^{2/3} \quad (H \geq 75.20) \quad (6)$$

$$\text{鶴間} \quad Q = 1.68 AR^{2/3} \quad (H \geq 63.80) \quad (7)$$

式(6)は水位A.P.75.2m以上、式(7)は水位A.P.63.8m以上でのみ使用することができる。流積と径深の値は水位が決まれば計算により求められるので式(6)、(7)は図－9のように水位と流量の関係として表わすことができる。余裕高を0.8mとして計画高水位に対応する流量を計算すると境橋179.8 m^3/s 、鶴間261.2 m^3/s となる。

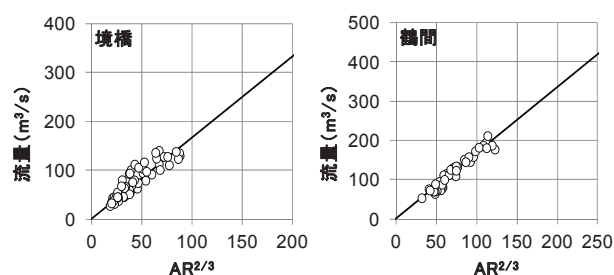
流量観測の範囲内（境橋：A.P.76.81m以下、鶴間：A.P.65.45m以下）では、式(3)、(4)と式(6)、(7)の違いは小さいが、観測値より大きな水位では流量の違いが大きくなる。例えば、式(3)、(4)により天端高に対応する流量を計算すると境橋313.5 m^3/s 、鶴間413.0 m^3/s となるが、式(6)、(7)により計算すると境橋264.7 m^3/s 、鶴間371.1 m^3/s となる。用いる式によって流量はそれぞれ48.8 m^3/s 、41.9 m^3/s 異なる。流量観測より大きな水位・流量を対象とする場合には式(6)、(7)を用いることが望ましい。

6. 非定常性の考慮

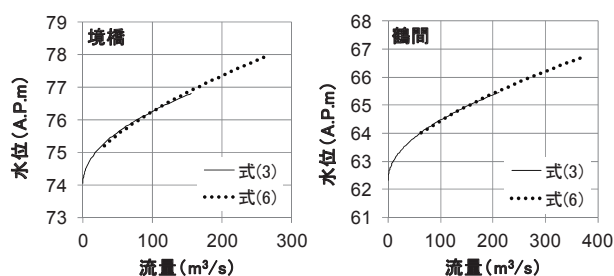
勾配が緩やかな河川では、洪水時に水面勾配の変化等の影響を受けて、水位流量曲線が時系列的に反時計回りのループを描く場合があり、緩流河川でなくとも、河積の急変等により、場合によっては同様の特性が出現する可能性がある⁴⁾。こうした現象は流れの非定常性が原因である⁵⁾。

図－5において鶴間は水位流量曲線の極近くにデータが分布しているのに対して、境橋ではデータのばらつきが大きくなっている。このため、流出計算等において水位から流量を推定する場合に大きな誤差が生じる。

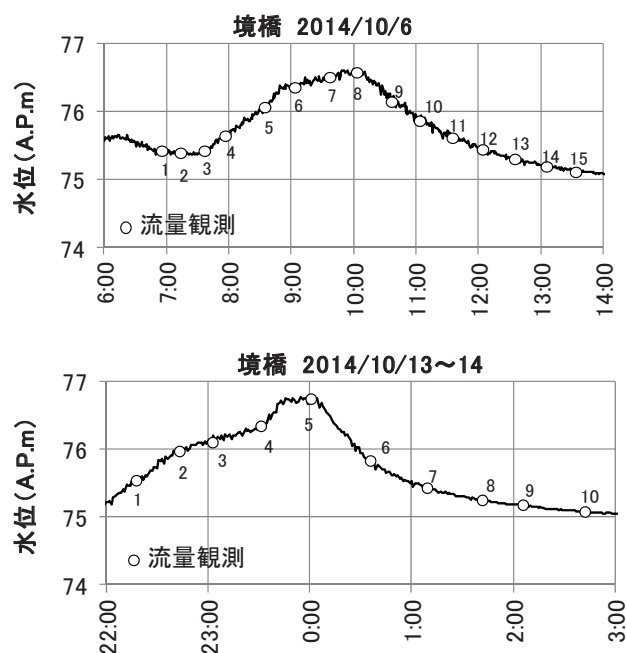
境橋における流量観測について水位ハイドログラフを図－10に、時系列の水位流量曲線を図－11に示す。2つの図に示した番号が同じ場合、同一の観測であることを示す。なお、図－11には式(3)の水位流量曲線も示した。



図－8 流量と断面特性



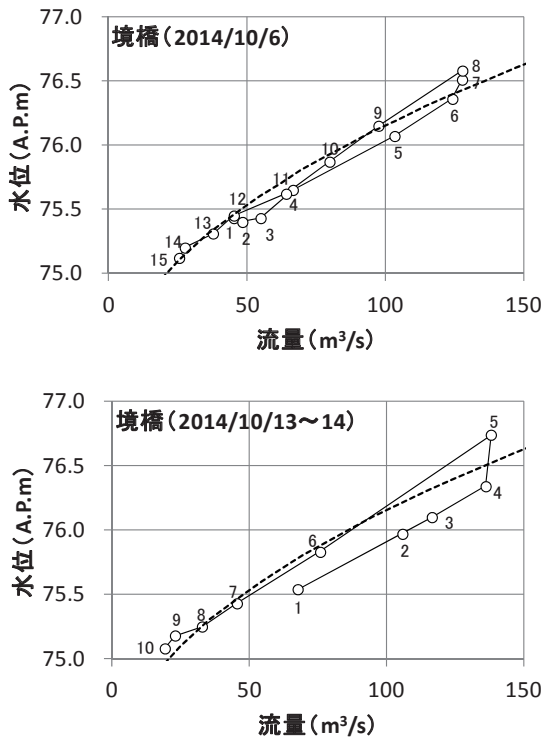
図－9 断面形状を考慮した水位流量曲線



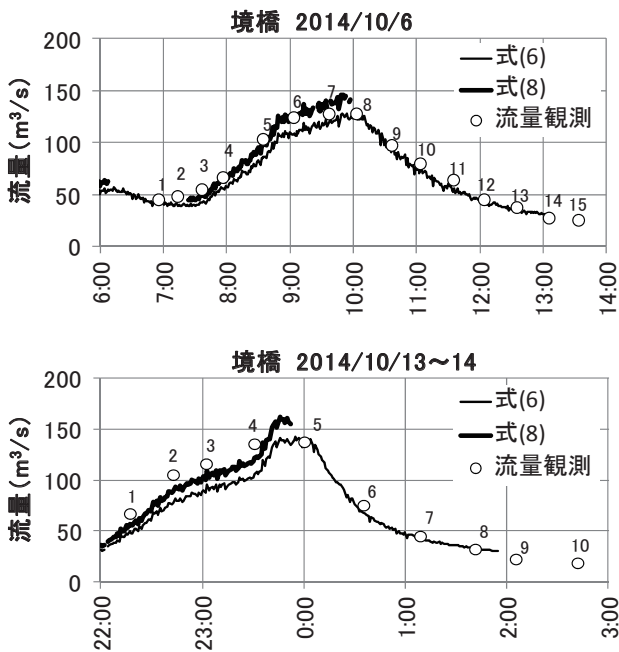
図－10 水位ハイドログラフ

図－11の水位流量曲線を見ると、時系列的に反時計回りのループを描いており、同じ水位であっても水位上昇時は水位下降時より流量が大きくなっている。また、水位下降時は式(3)の水位流量曲線との違いは小さいものの、水位上昇時には違いが大きくなっている。そこで、水位上昇時のデータのみを用いて水位流量曲線を作成する。

各観測における中間時刻の10分前と10分後の水位



図－１１ 時系列による水位流量曲線



図－１２ 流量ハイドログラフ

を比較し、10分後の水位が大きいデータのみを用いて図－８に示した $I^{1/2}/n$ の算定を行い、式(8)の水位上昇時の水位流量曲線を求めた。

$$\text{境橋（水位上昇時）} \quad Q = 1.91AR^{2/3} \quad (8)$$

図－１２に流量ハイドログラフを示す。水位上昇時の判断は各時刻において10分前と10分後の水位を

比較することによって行った。図をみると、式(6)によって算定した流量は水位上昇時を過小に評価しているが、式(8)による流量は水位上昇時の再現性が大幅に改善されている。2つの水位流量曲線を用いることで流量をより適切に算出することが可能である。

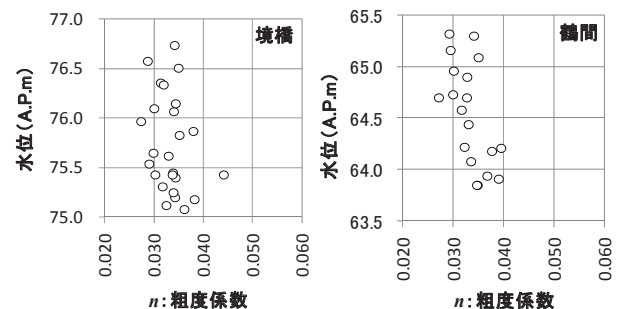
なお、神田川においても場所によって水位流量曲線がループを描くことが報告されており⁶⁾、他の河川でも場所によっては同様の現象がみられるものと思われる。調節池等の検討においては水位上昇時の流量が対象となるが、水位データのみから流れの非定常性を把握することは難しいので、高水流量観測によりこうした現象を確認することが重要だと思われる。また、水位流量曲線がループを描く場合には、水位上昇時に対応する水位流量曲線を作成することが有効だと考えられる。

6. 粗度係数

平成26年10月6日と13～14日の流量観測における水位と流量を用いて河道の粗度係数を推定する。区間は浮子観測の見通し断面とテレメータ間とし、境橋147m、鶴間は162mである。

区間全断面の粗度係数は一定として、粗度係数を変化させて不等流計算を行い、区間上流水位の計算値と観測値が一致する粗度係数を求めた。

図－１３にテレメータ水位と粗度係数 n の関係を示す。境橋ではA.P.76.0m以上、鶴間ではA.P.64.5m以上の水位になると n は0.03付近の値となっている。また、2地点共に水位が低くなると n の値が大きくなる傾向がみられる。断面の流下能力を検討する場合には $n=0.03$ とすることが妥当だと考えられるが、調節池や分水路等の検討では対象となる水位が低くなるので、



図－１３ 粗度係数

水位に応じて n を0.03より大きく設定することが望ましい。

7. まとめ

境川に位置する境橋、鶴間の2つのテレメータの周辺で高水流量観測を実施し、テレメータ水位の確認し、水位と流量の関係を検討した。また、テレメータ付近の区間における粗度係数 n の値を不等流計算によって推定した。

境橋の水位データは、そのまま用いて問題ない。鶴間ではA.P.63.7m以上の水位に限定してデータを使用することが望ましい。

2地点について流量観測範囲を超える水位にも対応できるよう断面形状を考慮した水位流量曲線を作成

した。計画高水位に対応する流量を水位流量曲線から推定すると境橋 $179.8\text{m}^3/\text{s}$ 、鶴間 $261.2\text{m}^3/\text{s}$ となった。

境橋では水位と流量の関係が時系列的に反時計回りのループを描いており、1つの水位流量曲線では全ての観測流量を良好に再現できなかった。水位上昇時に対応する水位流量曲線を作成し、2つの水位流量曲線を用いることで流量ハイドログラフを良好に再現することを確認した。

境橋ではA.P.76.0m以上、鶴間ではA.P.64.5m以上の水位において粗度係数 n の値は0.03付近となり、水位が低くなると n の値が大きくなる。

これらの成果をもとに降雨流出計算や河川施設の検討をより適切に行うことが期待される。

参 考 文 献

- 1) 東京都建設局河川部防災課（2016）：平成28年度東京都水防計画、資料編3
- 2) 神奈川県、東京都、横浜市（2015）：境川水系河川整備計画
- 3) 黒羽公明、服部憲一（2002）：平成13年度高水流量観測結果、平14. 都土木技術年報、pp. 343-350
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局（2014）：国土交通省河川砂防技術基準調査編、第2章、第4 節、29-31
- 5) 栗城稔、山本泰督（2013）：高水流量観測の非定常性を克服する試み、平成25年度 河川情報シンポジウム 講演集
- 6) 増田信也、高崎忠勝、服部憲一（2004）：神田川流域の高水流量観測結果、平16. 都土木技術年報、pp. 187-198