

16. 呑川における護岸ツタ類の河川流下への影響検討(その2)

Influence of Ivy on Discharge Capacity of Nomi River (Part.2)

技術支援課 杉原大介、高崎忠勝、藤崎哲朗

1. はじめに

東京都の河川事業では、水害に対する備えを充実させるとともに、都市景観、親水性、生態系の保全・再生などに配慮し、都市や自然と調和した水辺空間を創出することが求められている。隅田川など河川背後地に余裕がある場所では、スーパー堤防等により整備することで、緑豊かな景観を創出している。しかし、区部の中小河川の多くは、河川背後地が住宅で密集していることから掘り込み形式で整備され、環境に配慮した整備が難しい状況にある。一方、本報告の調査対象とした呑川には、両岸がツタで被覆される場所があり、良好な景観を構築している。そこで平成 20 年 12 月から、洪水時のツタ類の河川流下への影響を把握するために、現地で水位・流量・流速等の観測を開始した。本報告では、2 ヶ年分の成果について整理及び考察した。



図-1 対象流域

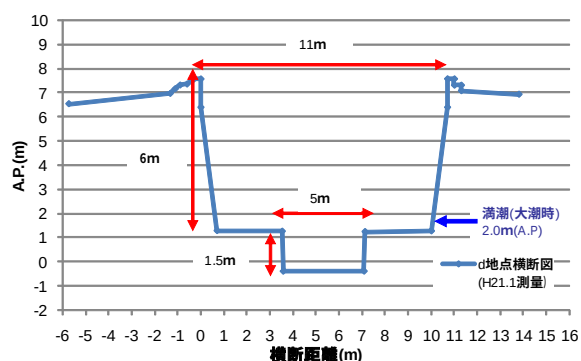


図-2 調査断面図

2. 観測場所及び観測方法

(1) 調査場所の概要

a) 呑川流域

調査の対象とした呑川は、東京の南東部に位置し、世田谷区用賀地先を源と発し、途中で支川九品仏川を合わせ東京湾に注ぐ、流域面積 17.5km²、延長 14.4km の二級河川である。(図-1 参照)

潮の影響を受ける区域は、河口から約 10km 付近

までである。河道の大部分は、コンクリートによる掘り込み形式で整備されているが、一部の箇所では、護岸がツタ類(キツタ、ウコギ科キツタ属)で被覆されている。本調査は、護岸がツタ類で被覆されている大田区池上地区(河口から約 5km 付近)で実施した。

b) 河道状況

調査箇所の河道は、図-2 のとおり低水路と高水敷からなる。高水敷から天端までは、約 6m あり、

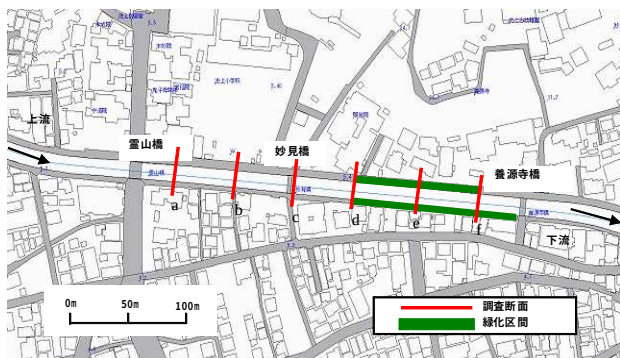


図-3 調査平面図



図-4 調査施設設置位置

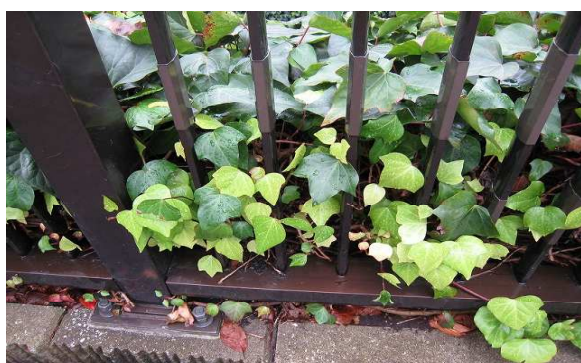


図-5 現地のツタ（キツタ）

コンクリート護岸となっている。調査箇所では、コンクリート護岸の両岸がツタ類で被覆されている。低水路は、幅が約 5m、深さが約 1.5m あり、平常時は潮の影響により水位が変動する。平常時に最も水位が上昇するのは、大潮の満潮時で、高水敷より約 0.8m 上部まで達する。

(2)調査概要

a) 調査区間の設定

図-3 は、調査箇所の平面図である。調査地点として約 40m 間隔で 6 箇所の地点(a 地点から f 地点)を設定した。a 地点から d 地点までの区間(約

135m)は、ツタ類が全くないコンクリート護岸となっている。一方、d 地点から f 地点までの区間(約 95m)は、両岸がツタ類で被覆されている。このため、本調査では、ツタ類の有る区間とツタ類の無い区間の流況を把握することを目的に、a 地点から f 地点の 6 箇所に、水位計を設置した。

b) 調査機器

図-4 は、調査箇所における量水標、水位計、ケーブル、水位データ回収 BOX の設置場所について示したものである。現地の護岸法面は、測量結果から 1:0.19~1:0.24 の勾配があることが分かったため 2 分勾配の量水標を設置した。天端の両岸は、交通量が多く、管理用通路等のスペースがないため、小スペースで設置が可能な観測機器を選定した。水位計は、単 3 アルカリ電池 2 本で稼働が可能なロガー一体型の半導体圧力式水位計(KPSI550、(株)環境モニタリング研究所)を採用した。平常時の水位についても水位の観測が可能になるように、高水敷より約 1.0m 下の位置に水位計センサーを固定した。呑川では、洪水のピーク継続時間が数分から数十分と短いため、水位の計測間隔は、1 分とした。

c) 流量観測

粗度係数を求める時に必要となる水位、流量等の水理量を把握するために、雲山橋と妙見橋において、流量観測を実施した。流速の測定は、流速計又は浮子法により行った。

3. 観測結果

(1)晴天時流量観測結果

晴天時流量観測は、雲山橋において月 2 回程度の頻度で実施した。通常、流量観測における流速の計測には、プロベラ式流速計や電磁流速計を用いる。この観測手法は、簡易かつ安価に流速を計測できるが、複数箇所の流速を計測する場合、時間を要するという欠点がある。そこで今回は、流速の計測に ADCP を用いた。ADCP は、超音波によるドップラー効果を活用して鉛直方向の流速を瞬時かつ正確に計測できる長所をもつ。観測方法は、

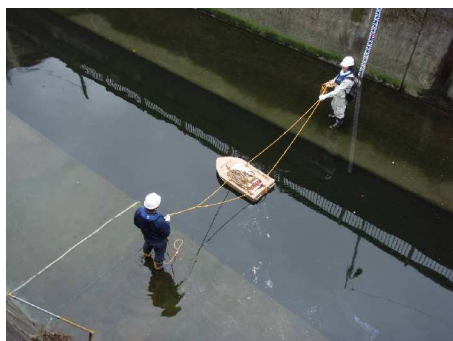


図-6 ADCP による観測



図-7 船の下に設置してある ADCP センサー

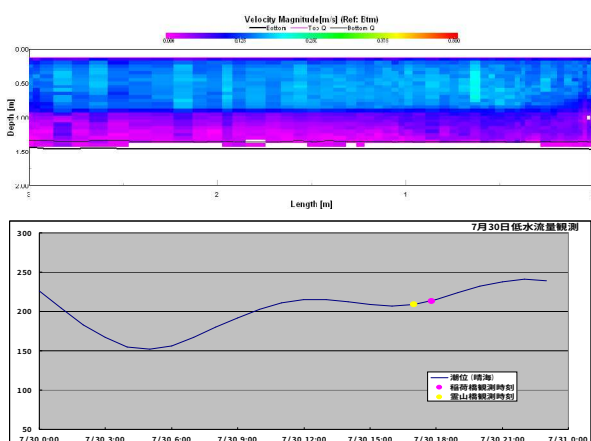


図-8 ADCP による流速分布、潮位
(2009 年 7 月 30 日小潮時)

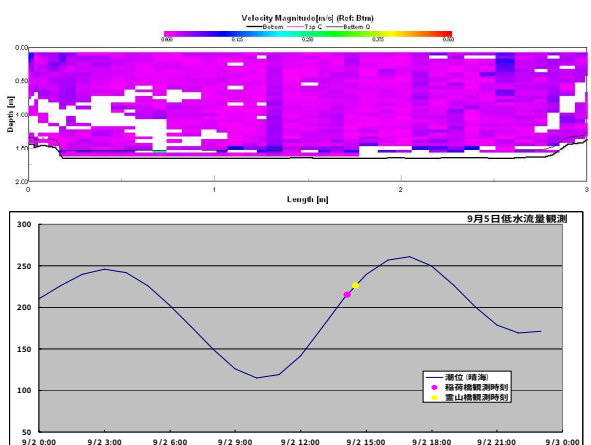


図-9 ADCP による流速分布、潮位
(2009 年 9 月 2 日中潮時)

小型の船の下にセンサーを設置し、ロープを使って川の横方向に船を動かす。1～2 分程度船を動かしている間に河川の鉛直方向の流速を計測することができる。(図-6, 7 参照)

図-8 は、2009 年 7 月 30 日小潮時の低水路内の流速の分布である。上の図が ADCP による流速の結果、下の図が潮位の変化を示す。水路の上層の流速は、ほとんど無く、水路の下層の流速は、0.1m/s 程度であった。現地は、感潮域であるため、塩水と淡水の密度成層ができ、低水路の上層と下層で流速の違いが発生していると考えられる。

図-9 は、2009 年 9 月 2 日中潮時の流速、潮位である。この時は、低水路の上層から下層まで流速がほとんど無い結果であった。

(2)連続流速観測結果

晴天時流量観測結果から、小潮、中潮などの潮位により、流速の分布が変化することが分かった。こうした潮位による流速の変化を捉えるために、a 地点に固定式の流速計を設置し、流速の連続観測を実施した。現地の流速は、上げ潮、下げ潮などの潮位変化により順流又は逆流となる。このため流速の向きを捉えることができる指向性のある流速計((株)KENEK、FP2300)を採用した。また、流速計の電力の供給源として、現地に太陽光パネルを設置した。(図-10 参照)

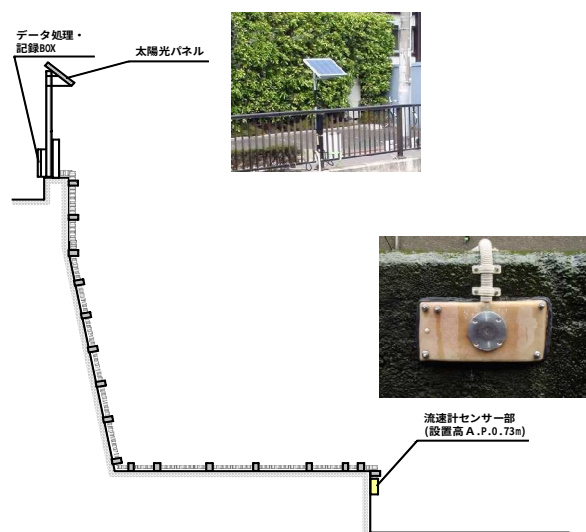


図-10 流速計設置状況

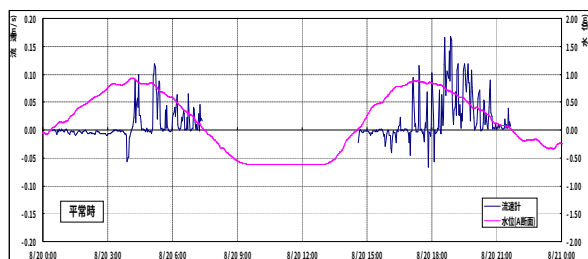


図-11 流速計による流速及び潮位の変化
(2009年8月20日大潮時)

図-11は、2009年8月20日大潮時の流速と潮位の変化である。干潮から満潮に向かうときに0.05m/s程度の逆流の流速、満潮から干潮に向かうときに0.15m/s程度の順流の流速となる結果であった。

(3)連続水位観測結果

a地点からf地点の6箇所に設置した水位計による水観測は、2008年12月1日から開始した。当該地は、潮位の影響を受けるため、呑川河口付近に位置する旭橋(河口から約0.5km)の水位を比較の対象とした。図-12、図-13は、2009年7月1日から4日までの旭橋の水位、a地点の水位の変化を示したものである。旭橋の水位は、潮位とほぼ同じ挙動で約24時間周期の水位変動を示していた。一方、a地点の水位は、約24時間周期の水位変動の他に60分間隔の周期の変動が見られた。この現象は、a地点からf地点の6箇所の水位計で共通して見られる現象であった。この微小な振幅に固有の特徴があるかについて検証するため、フーリエ解析による波形解析を行った。

図-14、図-15は、2009年7月1日から4日までの旭橋とa地点の水位の変化をフーリエ解析により振幅スペクトル毎に並べたものである。旭橋の振幅スペクトルには、潮位以外の強い振幅スペクトルは見受けられなかった。一方、a地点の振幅スペクトルには、周波数0.015625Hzに強い振幅スペクトルが見られ、特有の周期成分が存在することが分かった。周波数0.015625Hzは、周期に変換すると64分になり、現地の水位変化と一致する結果であった。

このような微周期の水位の変動の原因として、セイシュの発生が考えられる。セイシュとは、港湾・陸棚や湖沼で、気圧振動や風等を原因として発生する固有振動を指す。利根川では、30分から1時間程度の周期の水位変動があり、河道方向に発生するセイシュが主要因という報告がされている。また、その中でセイシュが、河川底質の巻き上げに影響を与えていると考察されている¹⁾。

図-16で示す箇所でも同様な現象が起きていた。

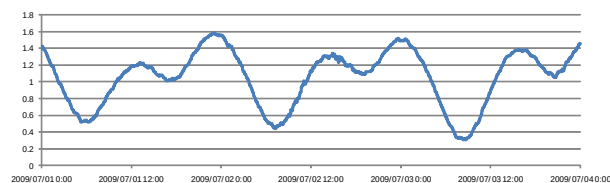


図-12 旭橋の水位(2009年7月1~4日)

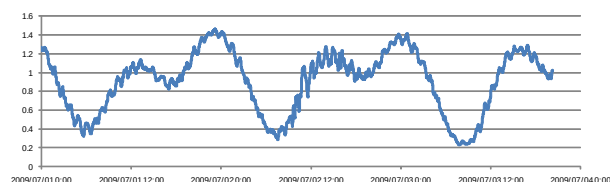


図-13 a地点の水位(2009年7月1~4日)

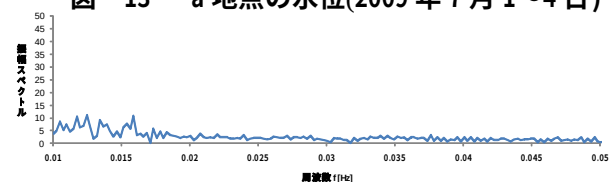


図-14 旭橋の振幅スペクトル

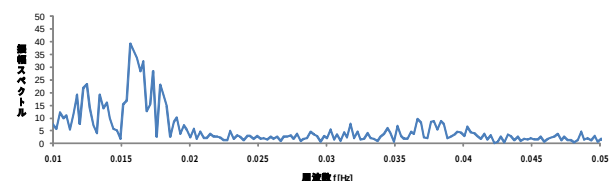


図-15 a地点の振幅スペクトル

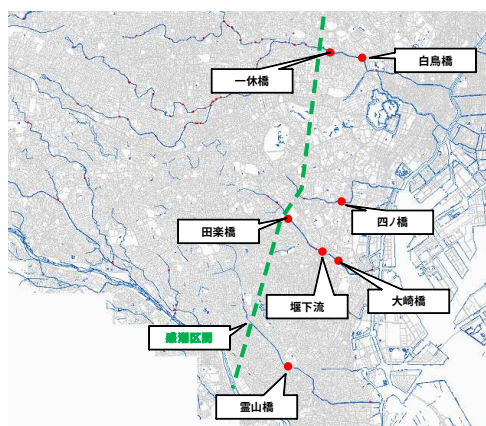


図-16 微周期の水位変動が観測される河川

(4)雨天時流量観測結果

雨天時の観測は、第1回（2009年1月30日～31日）と第2回（2009年10月7日～8日）に実施した。呑川流域の雨量観測所工大橋（目黒区緑が丘）の総雨量、時間最大雨量、d地点における最大観測水位及び最大流量を表-1に、水位と流量の関係を図-17に示す。流量が約 $20\text{m}^3/\text{s}$ 以下の時に水位は、 $0.5\sim 2.6\text{m(A.P.)}$ の範囲内にあり、流量が約 $20\text{m}^3/\text{s}$ 以上の時に水位は、ツタ類の下端である 2.0m(A.P.) 以上となる結果であった。

図-18は、第2回（2009年10月7日～8日）の観測における雨量、東京湾晴海の潮位、d地点の水位、霊山橋と妙見橋の流量である。

水位及び流量のピークは干潮から満潮時に出現し、流量は $103.4\text{m}^3/\text{s}$ 、水位は 4.38m(A.P.) を記録した。観測中に、ツタ類の下端である 2.0m(A.P.) 以上まで水位が上昇したのは約3時間で、その間に7回の観測を実施した。降雨の影響を受けていない直近の満潮時水位は、約 2.0m(A.P.) であったことから、降雨の影響により約 2.4m の水位上昇を確認した。

表-1 雨天時流量観測実施日

回数	観測実施日	総雨量 (mm)	時間最大 雨量 (mm/hour)	最大観測 水位 (A.P.+m)	最大観測 流量 (m^3/s)
第1回	平成21年1月30～31日	88	16	2.53	24.1
第2回	平成21年10月7～8日	162	46	4.38	103.4

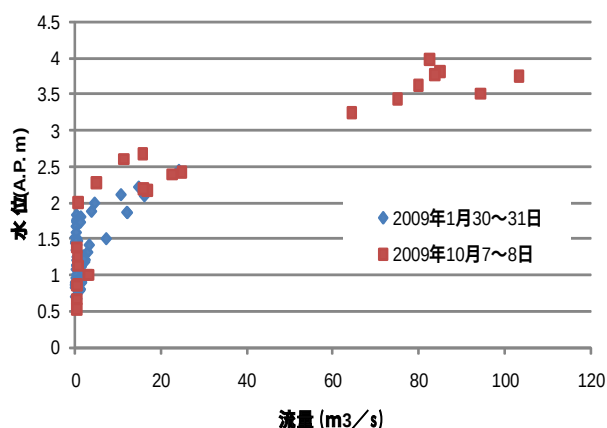


図-17 流量と水位の関係

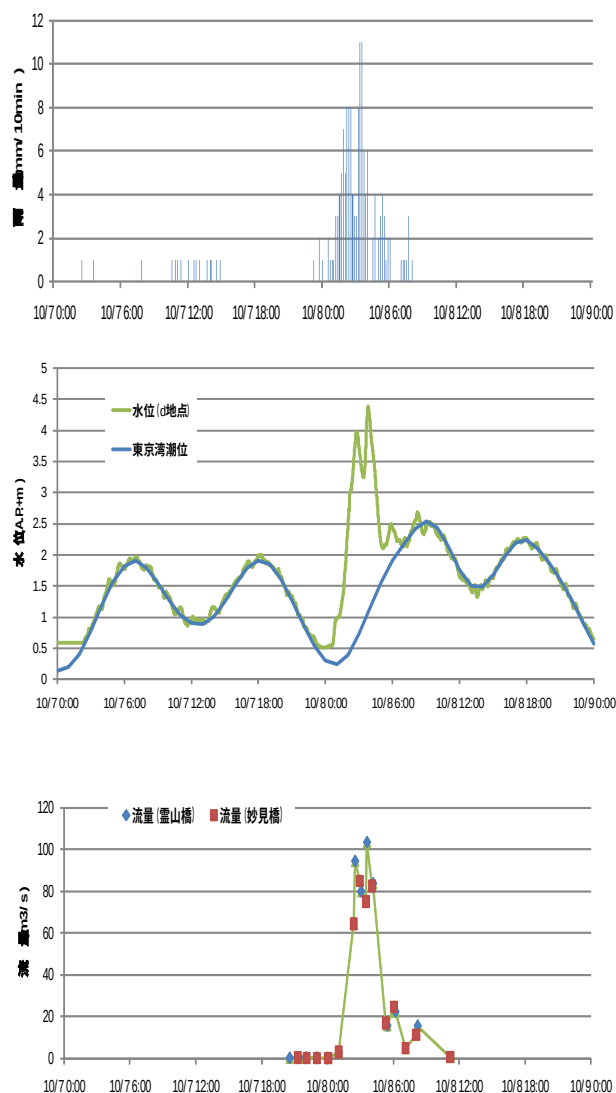


図-18 雨量、水位、潮位、流量
(2009年10月7～8日)

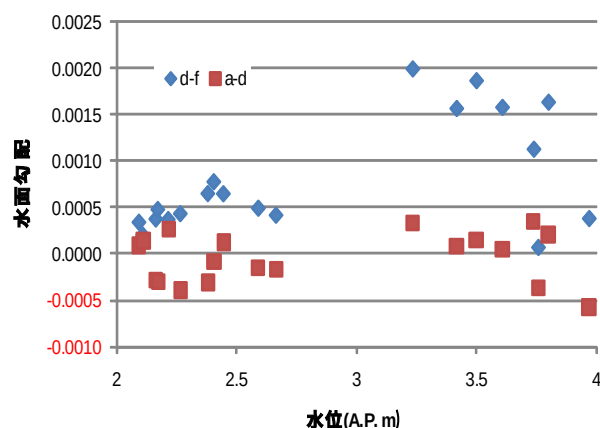


図-19 水位(2.0m A.P.以上)と水面勾配

表-2 水面勾配と河床勾配

	距離(m)	河床勾配	水面勾配	
a-d	135.4	0.0013 (1/530)	-0.0006 (-1/1,739)	~ 0.0004 (1/2,893)
d-f	95.9	0.0019 (1/743)	0.0001 (1/13,489)	~ 0.0020 (1/503)

(5) ツタ類の有無による水面勾配

図-19 は、2.0m(A.P.)以上水位が上昇した時の d 地点の水位とツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)及びツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)の水面勾配について比較したものである。また、その結果と河床勾配を比較したのが表-2 である。

ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)の水面勾配は、1/13,489~1/503、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)の水面勾配は、-1/1,739~1/2,893 であり、ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)は、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)よりも水面勾配が大きい傾向であった。また、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)の水面勾配は、19 回の観測のうち 9 回が逆勾配であった。これは、現地が感潮域であり水面が常に振幅していることが原因と考えられるが、今後観測回数を増やすことで検証したい。

(6) 不等流計算による粗度係数の算定

粗度係数の算定には、種々の方法が比較及び検討されている²⁾。呑川と位置が近く、同じ感潮河川である目黒川では、等流、不等流、不定流計算により粗度係数を算出し、不等流計算の標準偏差が最も小さい結果であった³⁾。このことから式(1)の不等流計算式により粗度係数を求めた。

$$n^2 = \frac{2 \left[\left\{ H_U + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_U}{A_U} \right)^2 \right\} - \left\{ H_L + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_L}{A_L} \right)^2 \right\} \right]}{\left(\frac{Q_L^2}{A_L^2 \cdot R_L^{4/3}} + \frac{Q_U^2}{A_U^2 \cdot R_U^{4/3}} \right) \cdot \Delta x} \quad (1)$$

H : 水位(m)、 Q : 流量(m^3/s)、 R : 径深(m)、 A : 断面積(m^2)、 x : 距離(m)、 U : 上流水理量、 L : 下流水理量、 n : マニングの粗度係数

不等流計算は、順勾配の観測結果を対象とした。

図-20 は、2.0m(A.P.)以上水位が上昇した時の d 地点の水位と不等流計算により算定したツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)及びツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)の粗度係数について比較したものである。また、その結果の一覧を表-3 に示す。ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)は、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)よりも粗度係数が大きい傾向であった。計算結果は、概ね現地の計画粗度 0.0225 以下であった。

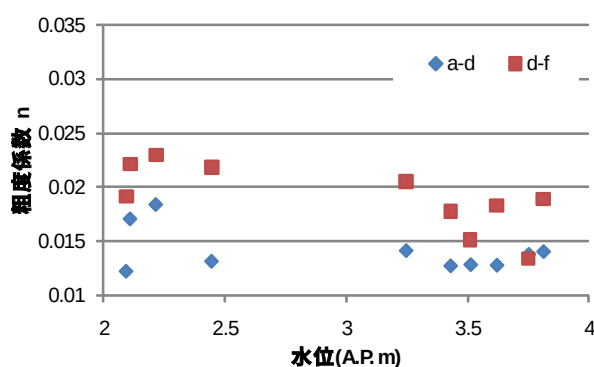


図-20 水位(d 地点)と粗度係数の関係

表-3 粗度係数の範囲

	平均	標準偏差	粗度係数 n	
a-d	0.01412	0.00191	0.0122	~ 0.0184
d-f	0.01901	0.00291	0.0134	~ 0.0230
参考	計画粗度		0.0225	

(7) ツタ類の粗度係数の推定

ツタ類の粗度係数を式(2)の合成粗度の式⁴⁾により推定した。計算は、ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)の同定値を合成粗度、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)の同定値をコンクリートの粗度とした。

$$N = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (n_i^{3/2} \cdot S_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} \right)^{2/3} \quad (2)$$

N : 合成粗度係数、 n_i : 各部位の粗度係数、 S_i : 各部位の潤辺

図-21 は、d 地点の水位と推定したツタ類の粗度係数について比較したものである。また、その結果の一覧を表-4 に示す。ツタ類の粗度係数は、0.0130～0.0330 の範囲で建設省河川砂防技術基準（案）におけるコンクリート人工水路の粗度、平野の小水路、雑草なし又は、雑草、灌木ありの粗度に相当する結果となった。

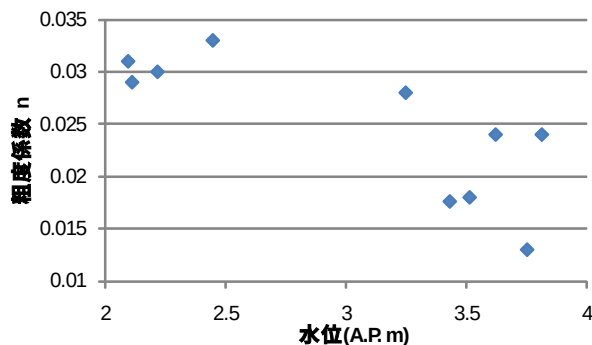


図-21 水位(d 地点)とツタ類の粗度係数

表-4 ツタ類の粗度係数の範囲

	平均	標準偏差	粗度係数 n
ツタ類	0.02476	0.00632	0.0130 ～ 0.0330
参考(砂防基準)	コンクリートの人工水路		0.0140 ～ 0.0200
	平野の小水路、雑草なし		0.0250 ～ 0.0330
	平野の小水路、雑草、灌木あり		0.0300 ～ 0.0390

(8)計画高における流量の推定

(7)で求めた粗度係数を用いて、d 地点における計画高 6.2m(A.P.)の流量を推定した。

a) 観測結果からの推定

雨天時流量観測の水位と流量の結果から、2 次式により H-Q 式を作成し、計画高における流量を推定した。図-22 は、その結果について示したものである。

計画高 6.2m(A.P.)における流量は、228 m³/s と計画流量 180 m³/s の約 1.26 倍という結果であった。

b) 等流計算による推定

式(3)のマニングの平均流速公式を用いて計画高における流量を推定した。

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

Q: 流量、A: 断面積、n: マニングの粗度係数、R: 径深、I: 河床勾配

粗度係数は、ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)の粗度のうち、最も大きい値であった 0.023 を採用した。河床勾配は、ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)の河床勾配 0.0019(1/743)を用いた。図-23 は、その結果について示したものである。計画高 6.2m(A.P.)における流量は、180 m³/s と計画流量 180 m³/s とほぼ同じ結果であった。

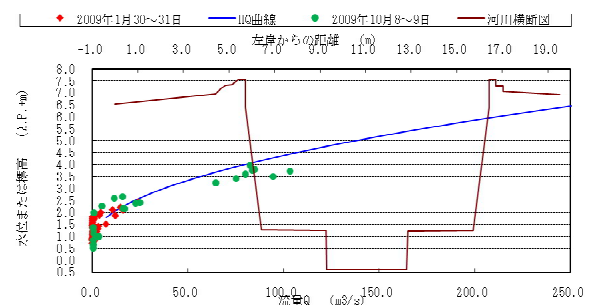


図-22 2 次式による H-Q 式

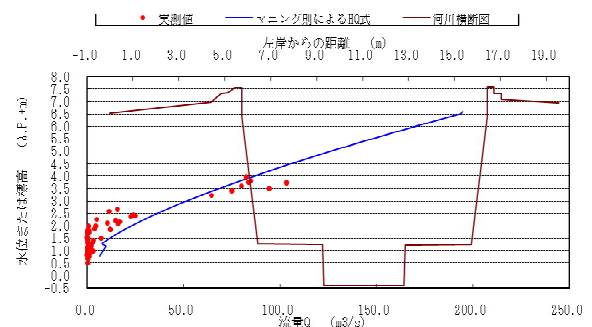


図-23 マニング則による H-Q 式

4. おわりに

本報告で得られた成果についてまとめると以下のとおりである。

- ① 2.0m(A.P.)以上の水位のうち、ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点)は、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)よりも水面勾配が大きい

傾向であった。

- ② 不等流計算により粗度係数を求めたところ、ツタ類の無い区間(a 地点から d 地点)の粗度係数は、0.0122~0.0184、ツタ類の有る区間(d 地点から f 地点) の粗度係数は、0.0134~0.230 であった。概ね現地の計画粗度 0.0225 以下であった。
- ③ 合成粗度の式により推定したツタ類の粗度は、0.0130~0.0330 の範囲であった。
- ④ d 地点における計画高 6.2m(A.P.)の流量を推定したところ、観測結果から $H-Q$ 式を作成して外挿する方法では $228 \text{ m}^3/\text{s}$ 、等流計算では $180 \text{ m}^3/\text{s}$ という結果であった。いずれも計画流量 $180 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上であった。
- ⑤ 本調査では、ツタ類の下端から上端までの約 5m に対して約 2.4m までの観測をもとに結果の整理を行った。今後はより大きい規模の出水を観測し、ツタ類の流下への影響を検証する。

参 考 文 献

- 1) 清水健司、石原忠晴 (2005) : 利根川感潮域に発生するセイシュについて、水工学論文集、第49巻、pp.643-648
- 2) 福岡捷二、藤田光一、野口均 (1987) : 種々の粗度係数逆算法の比較と適用条件、第31回水理講演会論文集、pp.323-328
- 3) 土屋十圀 (1987) : 急変河道における横越流とその近傍での粗度係数、東京都土木技術研究所年報、pp.155-166
- 4) 国土交通省 (2006) : 美しい山河を守る災害復旧基本方針(ガイドライン)、参考資料 I pp.参考 I -2
- 5) 福岡捷二、島谷幸宏、田村弘敏、泊耕一、中山雅文、高瀬智、井内拓馬 (2003) : 水流による高水敷上のヨシ原の倒伏・変形と粗度係数に関する現地実験、河川技術論文集、pp.49-54
- 6) 須賀堯三 (1968) : 河川の粗度に関する雑考、土木技術資料 7-6 pp.21-30
- 7) 増田信也、高崎忠勝 (2003) : 神田川流域における粗度係数の実態、東京都土木技術研究所年報、pp.171-186
- 8) 柳澤満、和泉清 (1987) : 都内中小河川における粗度係数の実態 (その1)、東京都土木技術研究所年報、pp.79-85
- 9) 日本河川協会編 (1997) : 建設省河川砂防技術基準(案)同解説、調査編、山海堂、p.107-144