

樹木群のある複断面河道における洪水流の伝播機構

中央大学大学院 学生会員 出口 桂輔
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡 捷二
 (財)河川情報センター 正会員 佐藤 宏明

1. 序論

近年、河川改修や河道内の樹木繁茂により、河道状況が変化してきている。河道特性の変化は洪水流の流下特性と密接な関係にあり、洪水流下に及ぼす河道状況の変化の影響を水理的視点から適切に評価し、河川整備や河道の維持管理に反映していくことが治水と環境の調和した川づくりを目指す上で重要である¹⁾。本研究では、河道が複断面形状によることの特性²⁾に加えて、河道内に樹木群が繁茂していることの特性を直接考慮した洪水流の伝播速度の理論式を導出し、その理論式の実河川に対する適応性を検討する。

2. 樹木群のある複断面河道における洪水流の伝播速度の理論式

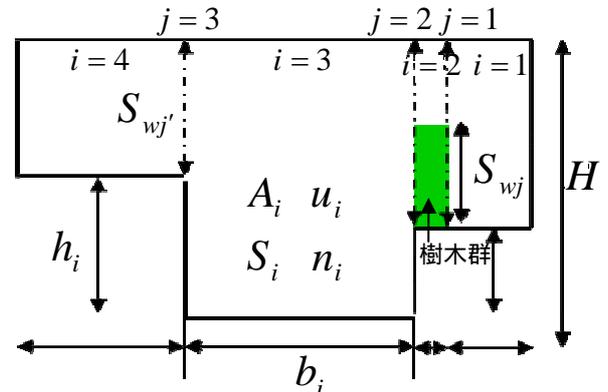
図-1 に示すような任意の複断面河道を考える。連続式から、以下の式(1)、(2)のように最大水深の伝播速度に相当する dQ/dA を導出した。基礎式を以下に示す。

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{dQ}{dA} \frac{\partial}{\partial x}\right) A = 0 \quad (1)$$

$$C = \frac{dQ}{dA} = \left\{ \frac{5b_{mc}}{3B} - \frac{2}{3} \left(\frac{h_{fpr} + h_{fpl}}{H} \right) \frac{R_{mc}}{B} \right\} \frac{n_{mc}}{N_c} \frac{1}{n_{mc}} R_{mc}^{2/3} I_b^{1/2} \\ + \left\{ \frac{5b_{fpr}}{3B} \left(1 - \frac{h_{fpr}}{H} \right) - \frac{2}{3} \left(1 - \frac{h_{fpr}}{H} \right) \frac{R_{fpr}}{B} \right\} \frac{n_{fpr}}{N_c} \frac{1}{n_{fpr}} R_{fpr}^{2/3} I_b^{1/2} \\ + \left\{ \frac{5b_{fpl}}{3B} \left(1 - \frac{h_{fpl}}{H} \right) - \frac{2}{3} \left(1 - \frac{h_{fpl}}{H} \right) \frac{R_{fpl}}{B} \right\} \frac{n_{fpl}}{N_c} \frac{1}{n_{fpl}} R_{fpl}^{2/3} I_b^{1/2} \quad (2)$$

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_i + \frac{\sum (\tau'_j S'_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum (\tau_j S_{wj})}{\rho g} = A_i I_b \quad (3)$$

$$\tau' = \rho f (\delta u)^2 \quad (4) \quad \tau = \rho f u_i^2 \quad (5)$$



記号の説明 (A :河積, u :断面平均流速, B :全幅, b :低水路幅, n :粗度係数, S :壁面せん断力が働く潤辺, S_{wj} : τ'_j が働く潤辺, S_{wj} : τ_j が働く潤辺, h :高水敷高さ, H :低水路底からの水深, 添字 i は各分割断面を, j は各境界面を表わす.)

図-1 任意の複断面河道の横断面形

ここに、式中の記号は、 Q :流量, C :伝播速度, I_b :河床勾配, ρ :水の密度, f :境界混合係数, 添字 mc は低水路を, fpr は右岸高水敷を, fpl は左岸高水敷を表す。

算出方法は、式(3)、(4)、(5)により従来の準二次元解析の方法³⁾と同様に各分割断面のつり合い式から各分割断面の平均流速を求める。樹木のある断面では、求められた流速をその断面で平均化し、代入することで伝播速度が求まる。断面分割法を用いることで、伝播速度に対する複断面形状や粗度、流れの混合、樹木群による影響を考慮することが可能である。式(2)は一次元的な河道で洪水が形を変えずに伝播するときの式であり、河道の線形変化については直接的には考慮できない。しかし、蛇行や樹木群等の平面形状の変化や混合による伝播速度に及ぼす影響は式(2)において、実測最大水深と合成粗度係数等を用いることで間接的に考慮した形で伝播速度を求めることが可能である。

3. 利根川における理論と実測の流速分布および洪水伝播速度との比較検討

検討に用いた洪水は、流量規模、ピーク水位がほぼ同じであった昭和57年9月、平成10年9月洪水を対象とした。検討対象とした利根川の栗橋から芽吹橋の区間は、既往の研究⁴⁾により昭和57年、平成10年洪水を対象として解析が行われている区間であり、任意の地点における水位、流量、流速分布を知ることが可能である。現地の洪水時における水位観測値および水面形には、洪水の規模、河川の縦横断面形の変化、樹木群の抵抗等が積分された形で表れている。水面形の時間変化を再現するように解析を行った既往の研究においても、それらの影響が含まれている。本研究では解析から得られた各地点での水位、流量、流速等は実測値を説明できていないとして扱っている。

キーワード 洪水流, 伝播機構, 複断面河道, 樹木群, 理論解析

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31207 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615

表-1 任意の複断面河道の横断面形

対象洪水	距離(km)	水深(m)	合成粗度係数	低水路平均流速(m/s)	右岸高水敷平均流速(m/s)	左岸高水敷平均流速(m/s)	断面平均流速(m/s)	伝播速度(m/s)	伝播速度/断面平均流速
s57 (樹木群が少ない)	106.5	9.60	0.027	2.42	1.31	1.71	2.09	2.31	1.11
	110.5	9.35	0.027	2.56	1.69	1.54	2.24	2.70	1.20
	116.5	8.64	0.028	2.45	1.66	1.63	2.08	2.70	1.30
	123.0	9.01	0.030	2.65	1.37	1.62	2.01	2.09	1.04
H10 (樹木群が多い)	112.5	9.31	0.039	1.83	0.95	0.94	1.57	1.54	0.98
	118.0	9.26	0.039	2.03	1.01	0.99	1.64	1.56	0.95
	122.5	9.93	0.037	2.19	1.21	1.13	1.73	1.59	0.92
	124.5	9.61	0.035	2.22	1.27	1.01	1.90	1.85	0.98

伝播機構に及ぼす昭和 57 年洪水時から平成 10 年洪水時の間の河道特性の変化の影響については、これまでの検討²⁾により、河道平面形、縦断面形には変化が見られないこと、河道横断面形については対象としたほぼ全区間にわたり低水路河床高が低下していること、わずかであった河道内樹木群が繁茂範囲を拡大していることが分かっている。

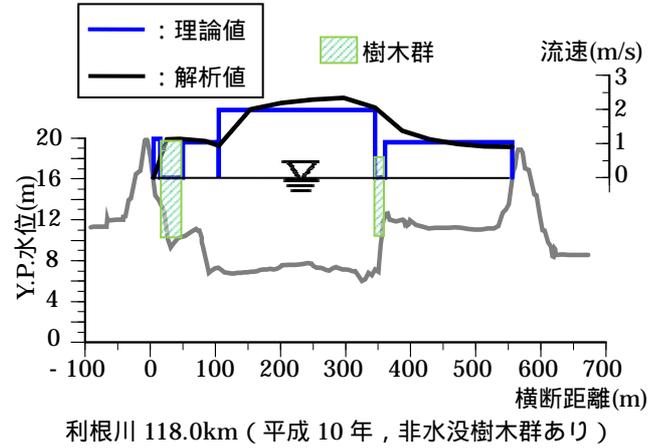
理論値と実測値の比較検討に用いた断面形状は、各洪水後に 500m 間隔で測量された横断面形状と樹木群の繁茂状況を各断面において断面分割し、矩形近似したものを、 I_b には河床勾配を用い、境界混合係数 f は既往の研究³⁾ から決定した。水深および低水路、高水敷の粗度係数は、福岡らによる⁴⁾ 解析値を用いた。利根川における河道特性を考慮し、昭和 57 年は樹木群の少ない区間を、平成 10 年は樹木群の多い区間を選んでいく。表-1、図-2 に対象とした地点の横断面形状と、理論式から算出した横断流速分布を示す。図-2 に示す流速分布の理論値と解析値を比較すると、任意の横断面形状に対して理論値は解析値とほぼ一致しており、精度良く表現できていることが分かる。次に、樹木群の多い、少ないによる流速分布および伝播速度の違いについて検討する。表-1 に示すように、樹木群の存在により断面平均流速、伝播速度、伝播速度/断面平均流速が小さくなっていることが分かる。これは、河道内に樹木群が繁茂することにより、洪水流にとって大きな抵抗要素となっていることを示している。表-2 に伝播速度の実測値と理論値の比較を示す。実測値は、図-3 に示すように昭和 57 年と平成 10 年洪水時の実測ハイドログラフ比較し、栗橋から芽吹橋までの区間距離を流下に要した時間で除して求めた²⁾。理論値は、表-1、図-2 に示す昭和 57 年、平成 10 年洪水時の断面形、水深、粗度係数を用いて求めた伝播速度の理論値の最大値と最小値を示している。実測値、理論値ともに、河道内に繁茂する樹木群の多少によって洪水流の伝播速度が小さくなることを示している。

4. 結論

河道内に樹木群を含む任意の横断面形状の利根川における洪水流の伝播速度を、洪水波形が変形せずに伝わるという仮定を用いて理論的に導いた。利根川の代表的な洪水流に理論式を適用し、実測による伝播速度と比較した。河道内に繁茂する樹木群の多少によって洪水流の伝播速度が小さくなることを解析的に示すことが出来た。

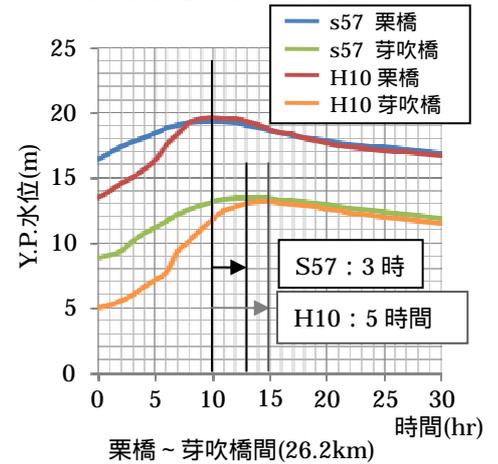
参考文献

- 1) 福岡捷二:洪水の水理と河道の設計法,森北出版,2005.
- 2) 福岡捷二,佐藤宏明,出口桂輔:複断面河道における洪水流の伝播機構,水工学論文集,第 51 巻,pp.661-666,2007.
- 3) 福岡捷二,藤田光一,新井田浩:樹木群を有する河道の洪水位予測,土木学会論文集,No.447/ -19,pp.17-24,1992.
- 4) 福岡捷二,渡邊明英,田端幸輔,風間聡,牛腸宏:利根川・江戸川分派点を含む区間における流量ハイドログラフと粗度係数・樹木群透過係数の評価,水工学論文集,第 50 巻,pp.1165-1170,2006.



利根川 118.0km (平成 10 年, 非水没樹木群あり)

図-2 任意の複断面河道の横断面形



栗橋～芽吹橋間(26.2km)

図-3 利根川における昭和 57 年, 平成 10 年ピーク水位の所要伝播時間と波形比較

表-2 伝播速度の理論値と実測値の比較

対象洪水	伝播速度(m/s)	
	実測値	理論値
昭和57年9月	2.42	2.09~2.70
平成10年9月	1.40	1.54~1.85