

実河川水位データに基づく洪水流の伝播機構の検討

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

洪水流が河道を流下していく際の様々な水理特性の変化について、より深い理解を得ることは、河川管理上重要な意義を持つ。洪水伝播速度について、古くは Kleitz-Seddon によって十分幅の広い単断面流路では波速が流速の 5/3 倍となることが示されている。一方、複断面河道の洪水伝播についてはよく分かっていない。本研究は、利根川、江戸川の洪水伝播速度について昭和 57 年、平成 10 年の実測水位データに基づき検討するとともに、河道が複断面形状によるこの特性を考慮した洪水流の伝播速度の理論式の実河川に対する適用性を検討している。

2. 複断面河道における洪水流の伝播速度

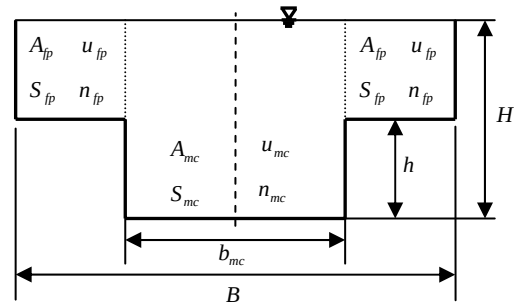
$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{dQ}{dA} \frac{\partial}{\partial x} \right) A = 0 \quad (1)$$

$$C = \frac{dQ}{dA} = \left(\frac{5b_{mc}}{3B} - \frac{4h}{3H} \frac{R_{mc}}{B} \right) \frac{1}{N_c} R_{mc}^{2/3} I_e^{1/2} + 2 \left\{ \frac{5(1-b_{mc}/B)(1-h/H)}{3} - \frac{2}{3} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \frac{R_{fp}}{B} \right\} \frac{1}{N_c} R_{fp}^{2/3} I_e^{1/2} \quad (2)$$

図-1 のように左右対称な複断面直線河道を考え、連続式と運動方程式から、式(2)に示す波形を変えずに伝播する最大水深の伝播速度 dQ/dA を算出した。断面分割法を用いることで、伝播速度に対する様々な複断面形状や、低水路・高水敷の粗度の影響、高水敷の遅い流れと低水路の速い流れが混合することの影響を考慮することが可能である。式(2)は洪水が形を変えずに伝播するときの式であり、堤防や低水路の線形、樹木群の存在については直接的には考慮していない。しかし、蛇行や樹木群等の伝播速度に及ぼす影響は式(2)の水深と合成粗度係数等に反映していることから、実測の最大水深と合成粗度係数等を用いることにより、間接的にこれらの影響を考慮した伝播速度を求めることが可能である。

3. 利根川、江戸川における洪水流の伝播特性

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 月洪水を対象としている。検討対象区間は、利根川は栗橋から須賀までの江戸川への分派区間を含む約 65km、江戸川は西関宿から野田までの約 20km である。図-2 に利根川、江戸川の昭和 57 年、平成 10 年洪水において、ピーク水位が栗橋から芽吹橋、西関宿から野田の区間を



記号の説明(A :河積, u :断面平均流速, B :全幅, b_{mc} :低水路幅, n :粗度係数, S :潤辺, h :低水路深さ, H :低水路底からの水深, 添字 fp は高水敷を, mc は低水路を表す.)

図-1 複断面河道の横断面形状

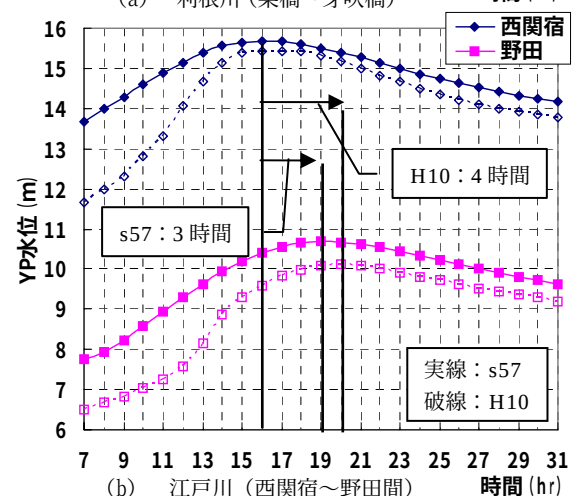
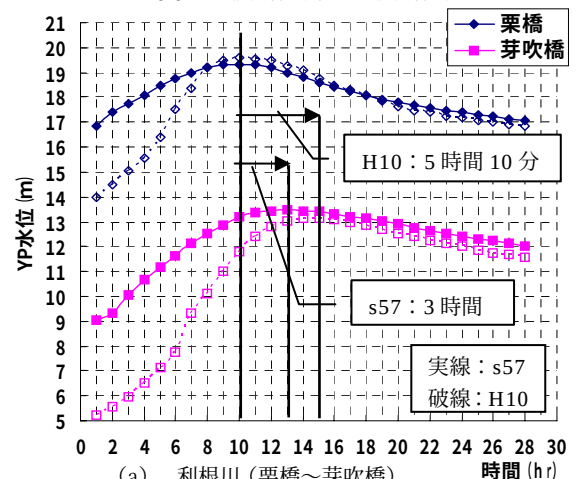


図-2 利根川・江戸川における昭和 57 年、平成 10 年ピーク水位の所要時間と波形比較

キーワード 洪水流, 伝播機構, 複断面河道, 横断面形状, 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 TEL03-3817-1615

流下する際に要した時間と波形の比較を示す。図-2は栗橋地点、西関宿地点での昭和57年、平成10年洪水のピーク発生時刻を一致させて描いたものである。同様に、各水位観測所間のピーク水位の伝播時間と伝播速度を表-1のように整理した。利根川について、栗橋から芽吹橋までの区間で伝播の遅れが顕著に現れている。芽吹橋から須賀の区間では、昭和57年、平成10年の間に伝播時間の差は無く、栗橋から芽吹橋間で生じた遅れがそのまま下流に伝わっていくことを示している。次に、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について述べる。利根川では、昭和57年から平成10年の間に対象としたほぼ全区間にわたって低水路河床高が低下し、河積が増大している。江戸川では、利根川に比してそれほど大きな河積の変化は見られない。また、利根川上流区間（栗橋～芽吹橋）と江戸川では、昭和57年から平成10年までの間の航空写真や地被情報等から、河道内の樹木群の繁茂範囲の拡大を確認することができる。このように、昭和57年から平成10年の間に利根川、江戸川ともに樹木範囲が拡大し、低水路流れと高水敷流れの混合の程度が増大したことが主要な原因となって洪水流の伝播速度が遅くなったと考えられる。

4. 計算と実測の伝播速度の比較検討

検討に用いた断面形状は、500m間隔に測量された定期横断形を各断面について矩形近似したものをを用いた。水深は基準点断面については実測水位から、基準点以外の断面については福岡らによる計算水位を、 I_e には、実測水面形にほぼ一致する計算水面形の水面勾配を用いている。その理由として、実河川の洪水水位ハイドログラフ観測値や水面形には縦横断的な断面形状の変化や樹木群など洪水流に影響する全ての情報が反映されており、水面勾配を用いることでそれらの影響を考慮に入れた解析が可能となると考えたためである。表-2, 3に利根川、江戸川における平均的な水面勾配と式(2)を用いて算出した洪水流の伝播速度の理論値を示す。利根川については分派点で、江戸川では水面形の変化点である47km地点で分けて示した。伝播速度に幅を持たせて示したのは、樹木が繁茂している区間では水面勾配が樹木群の繁茂状況によって変化し、伝播速度に差が見られるためである。表-1に示した実測による伝播速度と理論値を比較する。理論値では、断面形状の変化は考慮できているものの、蛇行や樹木群の影響については水面勾配を用いることで間接的に考慮している。利根川、江戸川の各区間ともに理論値との間に差が見られるが、河道内に樹木が少ない昭和57年洪水については平成10年洪水よりも対応が良い結果となっている。

5. 結論

複断面形状を有する河道を洪水波形が一定で伝わるという仮定を用いて洪水流の伝播速度を理論的に導いた。利根川、江戸川において、流量規模、ピーク水位が同程度である昭和57年9月、平成10年9月洪水の実測水位データを用い、平成10年洪水は昭和57年洪水に比べて水位の伝播に遅れが生じていることを示した。理論式から洪水流の伝播速度を算出し、実測による伝播速度と比較検討した。

参考文献 1) 水理公式集(平成11年度版), 土木学会, 1999. 2) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005. 3) 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.

表-1 利根川、江戸川の各区間における洪水流の伝播時間と伝播速度

(a) 利根川		
栗橋～芽吹橋		
	伝播時間	伝播速度 (m/s)
昭和57年	3時間	2.42
平成10年	5時間10分	1.40
芽吹橋～取手		
	伝播時間	伝播速度 (m/s)
昭和57年	4時間	1.30
平成10年	4時間	1.30
取手～布川		
	伝播時間	伝播速度 (m/s)
昭和57年	1時間	2.44
平成10年	2時間	1.22
布川～須賀		
	伝播時間	伝播速度 (m/s)
昭和57年	2時間	1.54
平成10年	1時間	3.08

(b) 江戸川		
西関宿～野田		
	伝播時間	伝播速度 (m/s)
昭和57年	3時間	1.79
平成10年	4時間10分	1.29

表-2 利根川分派点前後の平均的な水面勾配と計算伝播速度

栗橋～分派点		
	水面勾配	伝播速度 (m/s)
昭和57年	1/4800～1/5300	1.6～2.3
平成10年	1/4500～1/5600	1.4～2.2
分派点～芽吹橋		
	水面勾配	伝播速度 (m/s)
昭和57年	1/4000～1/5900	1.6～2.1
平成10年	1/4200～1/6000	1.8～2.5

表-3 江戸川47km地点前後の平均的な水面勾配と計算伝播速度

西関宿～47km地点		
	水面勾配	伝播速度 (m/s)
昭和57年	1/4500～1/5300	1.2～1.7
平成10年	1/5300～1/5400	1.2～1.8
47km地点～野田		
	水面勾配	伝播速度 (m/s)
昭和57年	1/3200～1/3400	1.6～2.1
平成10年	1/2300～1/3900	1.8～2.1