

河道の洪水貯留量が流量ハイドログラフの伝播に及ぼす影響の評価

中央大学大学院 学生会員 ○竹村 吉晴
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 背景・目的

洪水流の伝播に及ぼす河道の平面形状や縦横断面形状の影響の理解は、適切な河道改修や河川管理を行う上で重要である。そのためには、河道の洪水貯留量と流量ハイドログラフの伝播との関係を検討し、それを評価する必要がある。本研究では、洪水貯留量と流量ハイドログラフのピーク部分の伝播の関係を評価することを目的とする。

2. 流量ハイドログラフの伝播と洪水貯留量・洪水遊水量の関係

流量 Q の全微分 dQ は式(1)で表される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} dt + \frac{\partial Q}{\partial x} dx = U \left(\frac{\partial A}{\partial t} dt + \frac{\partial A}{\partial x} dx \right) + A \left(\frac{\partial U}{\partial t} dt + \frac{\partial U}{\partial x} dx \right) \quad (1)$$

ここに、 A : 流水断面積、 U : 断面平均流速である。式(1)に $dx = U dt$ の関係を代入し、連続式を式(2)のように変形後、式(1)の右辺に代入し整理することで、式(3)に示す流量の伝播の基礎式が得られる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + U \frac{\partial A}{\partial x} = -A \frac{\partial U}{\partial x} \quad (2) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + U \frac{\partial Q}{\partial x} = A \frac{\partial U}{\partial t} \quad (3)$$

図-1(a), (b)は、流れが加速する場合と減速する場合での断面平均の水頭変化の模式図あり、 X_0 断面と X_0+dx 断面間の全水頭の差は式(4)で表される¹⁾。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(H + \frac{U^2}{2g} \right) dx = -I_f dx - \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx \quad (4)$$

ここに、 H : 水位、 B : 水面幅、 U : 断面平均流速、 g : 重力加速度、 I_f : エネ

ルギー勾配である。単純な断面形からなる河道区間では、一般に、洪水貯留量の増大により、図-1(a)のように断面平均流速が時間的に大きくなり、この場合、式(3)から、流量は流下により増大する。それに対し、複雑な河道形状の実河川では、図-2に示す狭窄部上流区間等では、洪水貯留量の増大により、図-1(b)のように断面平均流速が時間的に小さくなる場合も起こりうる。この場合、式(3)から、流量は流下により低減することになる。このように、洪水貯留量を流量ハイドログラフの伝播から考えた場合、その意味は貯留により断面平均流速が大きくなる場合と小さくなる場合とで異なる。そこで、本論文では、増水期における洪水貯留量 S のうち断面平均流速の増大にならない時間帯の部分に洪水遊水量 R_v と呼ぶこととし、次式で定義し、流量ハイドログラフのピーク部分の伝播と洪水遊水量の関係について検討する。

$$S = \int_D \frac{dS}{dt} dt \quad (5a) \quad R_v = \int_D \delta_1 \delta_2 \frac{dS}{dt} dt \quad (5b) \quad \delta_1 = \begin{cases} 0 & (dS/dt \leq 0) \\ 1 & (dS/dt > 0) \end{cases} \quad \delta_2 = \begin{cases} 0 & (\partial U/\partial t > 0) \\ 1 & (\partial U/\partial t \leq 0) \end{cases} \quad (5c)$$

ここに、 S, R_v : 任意断面における時間帯 D での単位距離当たりの洪水貯留量と洪水遊水量、 δ_1, δ_2 : 応答関数である。

3. 北上川山間狭隘河道における洪水貯留量・洪水遊水量と流量ハイドログラフのピーク部分の伝播の関係

著者らは、既に、図-3に示す北上川山間狭隘河道において、平成19年9月洪水を対象とした非定常平面二次元解析を行っており²⁾、観測水位、痕跡水位を概ね説明する流量ハイドログラフを図-4のように得ている。図-3に示すように、平成19年洪水において、主に単断面からなる砂鉄川合流点より上流区間では、最大流量時においても水面幅は低水路満杯流量時と大きく変わらないが、砂鉄川合流点より下流区間では、最大流量時には高水敷に洪水流が乗ることで、水面幅が低水路満杯流量時に比べ大きくなっている。本論文では、この解析結果から、北上川山間狭隘

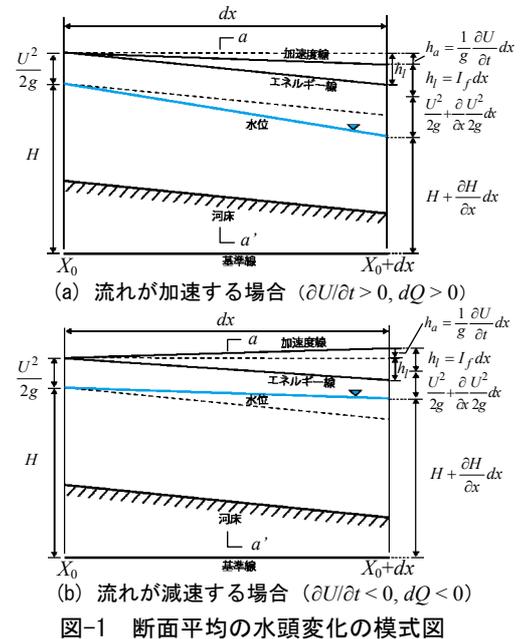


図-1 断面平均の水頭変化の模式図

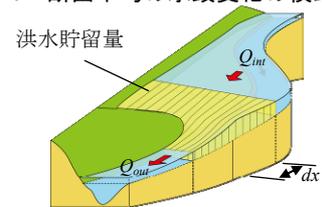


図-2 狭窄部の洪水貯留量模式図

キーワード 洪水流, 洪水貯留量, 洪水遊水量, 流量ハイドログラフ, 山間狭隘河道

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

河道における流量ハイドログラフのピーク部分の伝播速度と洪水貯留量, 洪水遊水量の関係について検討する. ここで, 流量ハイドログラフのピーク部分とは, 図-5(b)右のように流量が平水時からの最大増加流量 δQ_{max} の9割より大きい部分とした.

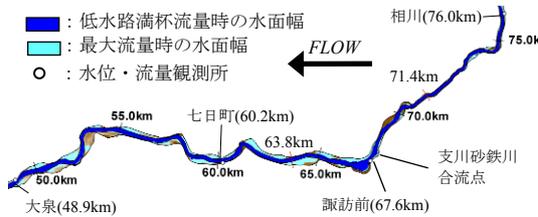


図-3 平面二次元解析による北上川平成19年9月洪水の低水路満杯流量時と最大流量時の水面幅分布

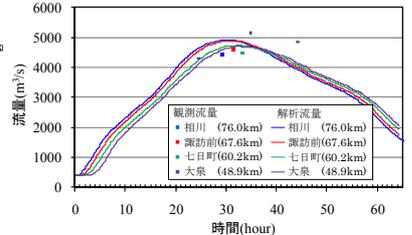


図-4 平成19年9月洪水の観測と解析流量ハイドログラフの比較

図-6の青線は, 76.0~48.9km区間での流量ハイドログラフのピーク部分の各断面での到達時間 T_p を示す. 各断面での到達時間 T_p は, 図心で評価し, 図-5(b)右において, 次式で定義する.

$$T_p(i) = \int_{t_2(i)}^{t_1(i)} Q \cdot (t - t_1(i)) dt / \int_{t_2(i)}^{t_1(i)} Q dt \quad (6)$$

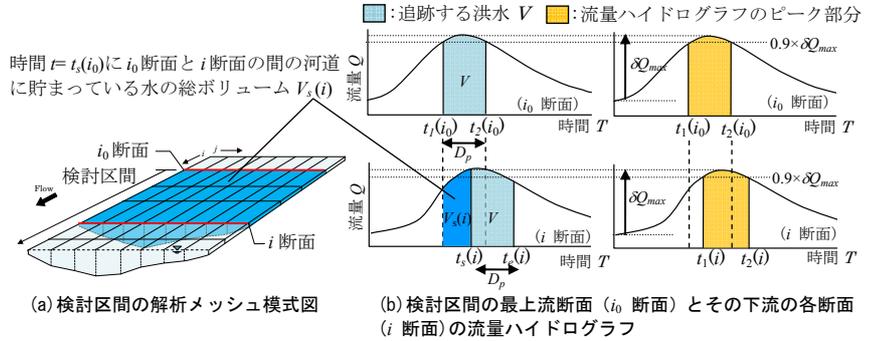


図-5 流量ハイドログラフのピーク部分と洪水の追跡方法模式図

図-6の赤線は, 図-3の76.0km断面と67.0km断面において流量ハイドログラフのピーク部分を構成する洪水をそれぞれ76.0~69.0km区間と67.0~48.9km区間で追跡し, 各断面での到達時間 T_V を示したものである. 追跡方法を以下に示す. まず, 76.0km断面と67.0km断面において, 図-5(b)左の i_0 断面のように, 流量ハイドログラフのピーク部分となる $t_1(i_0)$ から $t_2(i_0)$ の範囲を追跡する洪水と定める. i_0 断面から下流の各断面(i 断面)において, 時間 $t = t_1(i_0)$ に i_0 断面から i 断面間の河道に貯まっている水の総ボリュームを $V_s(i)$ (図-5(a)), 追跡する洪水の総ボリュームを V (図-5(b)左)として, 追跡する洪水が i 断面を通過し始める時間 $t_s(i)$ と通過し終わる時間 $t_e(i)$ を, それぞれ式(7), 式(8)を満たすように求める. 追跡する洪水の各断面での到達時間 T_V は, 図心で評価し, 図-5(b)において式(9)で定義する.

$$V_s(i) = \int_{t_1(i_0)}^{t_s(i)} Q dt \quad (7) \quad V = \int_{t_1(i_0)}^{t_2(i_0)} Q dt \quad (8) \quad T_V = \int_{t_e(i)}^{t_s(i)} Q \cdot (t - t_s) dt / \int_{t_e(i)}^{t_s(i)} Q dt \quad (9)$$

図-6の表は, 各区間での流量ハイドログラフのピーク部分の伝播速度 C_p と追跡する洪水の伝播速度 U_{pave} を示す. 各区間の C_p, U_{pave} は, 図-6において, 最小二乗法より各区間での T_p, T_V の傾きを求め, この逆数とした. 図-7は, 76.0~48.9km区間の各断面において, 図-5(b)に示す時間帯 $D_p (= t_s(i) \sim t_e(i))$ での単位距離当たりの洪水貯留量と洪水遊水量を式(5)から求め, これを単断面河道である71.4km断面の単位距離当たりの洪水貯留量で除した相対値を示したものである. 図-6の表と図-7から, 主に単断面からなる76.0~69.0km区間では, 相対貯留量に占める相対遊水量の割合は0.5程度であり, C_p/U_{pave} は1.24となる. それに対し, 複断面河道の点在する67.0~48.9km区間では, 相対貯留量のほとんどを相対遊水量が占め, C_p/U_{pave} は0.85~1.02となった. また, 67.0~58.0km区間では流量ハイドログラフのピーク部分の伝播速度 C_p が追跡する洪水の伝播速度 U_{pave} より小さくなる.

4. 結論

洪水流の一次元基礎式に基づき, 流量ハイドログラフの伝播と洪水貯留量の関係を論じ, 増水期における洪水貯留量のうち断面平均流速の増大にならない部分を洪水遊水量と定義した. 北上川山間狭隘河道の平成19年9月洪水において, 流量ハイドログラフのピーク部分の伝播速度を洪水貯留量と洪水遊水量の関係から考察し, 洪水貯留量に占める洪水遊水量の割合が大きい程, 流量ハイドログラフと洪水の伝播速度の比が小さくなることを示した.

参考文献 1) Ven Te Chow: Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, 526-528, 1959.

2) 竹村 吉晴, 福岡 捷二, 若公 崇敏, 大賀 祥一: 河道構造の異なる江の川と北上川山間狭隘区間における洪水流の伝播機構, 河川技術論文集, 第16回, pp. 425-430, 2010.

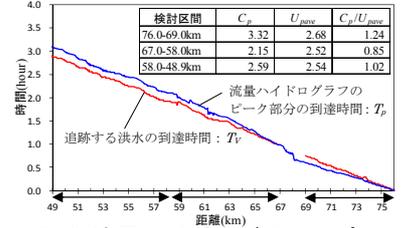


図-6 流量ハイドログラフのピーク部分の各断面への到達時間の縦断図

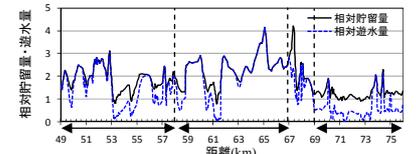


図-7 時間帯 D_p での単位距離当たりの洪水貯留量と洪水遊水量の縦断分布