

II-33

洪水流出とハイドログラフ の基本的特性に関する研究

北海道大学工学部 正 員 山田 正

北海道大学大学院 学生員 豊田康嗣

1. はじめに：本研究は一般河川における洪水ハイドログラフの形成過程とその特性を調べたものである。ここでは石狩川を対象とし、昭和50年から63年までの流量データを用い、洪水の伝播速度等の諸々の特性を調べてみた。次に観測データである水位・流量データを用いる不定流近似式を提案し、この式の適用性を検討するとともに、様々な条件のもとで石狩川本川下流におけるハイドログラフの形成とその特性について検討している。

2. 基礎式：河川の流量計算にあたっては一般に連続式と運動の式の2式を基礎式とするが、ここでは物理性を保ちつつ簡略化を行い次式を得る¹⁾。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{dQ}{dA} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q}{2B_i} \left\{ \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right\} + \frac{dQ}{dA} q \quad (1)$$

これはKinematic wave式に拡散項を付け加えた不定流の近似式となっている。さらに(1)式は以下の式に変形される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2\sqrt{a}}{B} Q^{1/2} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q}{2B_i} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{2\sqrt{a}}{B} Q^{1/2} q \quad (2)$$

(2)式の特徴は、各観測所地点の水位・流量曲線を使うことと、Kinematic wave式とDynamic wave式の性質を共に備えていることである。なお(2)式を計算するにあたって、支川からの流入量 q の算出にあたっては、本川の0~200km間を20kmずつ分割し、区間流域面積（その間に入り込む支川からの流域面積の和）をだし、その大きさに横流入量が比例する（1洪水での各支川のピーク流量は流域面積に比例する）ものとする。

3. 洪水の伝播速度の特性：一般河川における洪水の伝播速度とその洪水のピーク流量の関係は、ある流量以下の場合両者の相関性はなく、ある流量以上になると流量が増すに従い伝播速度は増大する²⁾。図1は石狩川の河口より20km付近のピーク流量と河口より80~20km間における伝播速度の関係を示したものであり、計算値と観測値との比較を行ったものである。この結果から計算値は観測値とよくあっており、本研究で提唱した(2)式（以下K D式と称す）は洪水時本来の物理性をよく再現できることがわかった。また支川からの流入継続時間が長くなると、伝播速度の増大に大きく寄与することが分かった。

4. 支川からの流入パターンの違いによる本川ハイドログラフの特性の違い：ここでは支川から本川への流入ハイドログラフを二等辺三角形形で与えている。図2は継続時間を固定しピーク流量を変えた場合の、図3はピーク流量を固定し継続時間を変えた場合の本川下流部におけるハイドログラフを示している。ある1つの基準となる条件のもとで計算した場合の本川下流のピーク流量は6000m³/sであるが、支川のピーク流量だけを

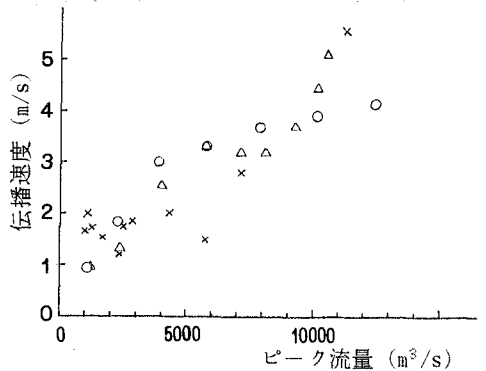


図1 石狩川下流部における伝播速度とピーク流量の関係(○、△：計算値 ×：実測値)

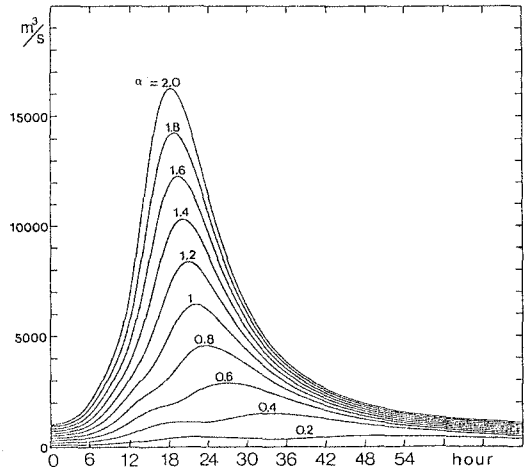


図2 横流入量のピーク値を変化させたときの
本川下流部のハイドログラフ

ある1つの基準となる条件のもとで計算した場合の本川下流のピーク流量は6000m³/sであるが、支川のピーク流量だけを

2 倍にすると本川下流のピーク流量は $16000\text{m}^3/\text{s}$ と2.7倍になり、一方継続時間だけを2 倍にした場合は $10000\text{m}^3/\text{s}$ と1.7倍になる。このことから支川の流量と本川下流の流量の関係はそれぞれ非線形性を示しつつも、本川下流におけるピーク流量の大きさは、支川からの洪水流入の継続時間よりもピーク流量の大きさに強く依存することが分かった。

5. モデル式の比較：(2)式の右边第1項を取り除くと

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2\sqrt{g}}{B} Q^{1/2} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{2\sqrt{g}}{B} Q^{1/2} q \quad (3)$$

となる。これはいわゆるKinematic wave式である。また(1)式において伝播速度Cを一定値とし、右边第1項を取り除いたいわゆる単純たし合わせの式は

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{5}{3} v \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{5}{3} v q \quad (4)$$

である。これら(3)、(4)式とKD式((2)式)を比較しそれぞれの式の適用条件について検討する。図4は単純たし合わせの式とKD式のハイドログラフの比較である。この図から上流における両者のハイドログラフはほとんど同形であるが下流にいくに従いピーク流量がその出現時刻のどちらかが合わないことが分かる。計算の結果流域面積が 3000km^2 程度以下なら単純たし合わせでもある程度の精度は得られるようである。図5はKinematic wave式とKD式で様々な支川からの流入条件で計算した流下方向のピーク流量について比較を行ったものである。この図から石狩川においては河口より100kmより上流では両者は同値であるがそれよりも下流では流量が大きくなり、下流にいくほどKinematic wave式の値のほうが大きくなり、拡散項を考慮しなければならないことがわかる。ここで移流項と拡散項の比として $Re=2iL/h$ を定義する。ここに i =河床勾配、 L =ハイドログラフの空間スケール、 h =代表水深、このとき $Re<10$ ならば拡散項を考慮したKD式((2)式)を用いなければならないことがわかる²⁾。

謝辞：本研究は重点領域研究(1)「気象解析とレーダー雨量計を補完的に組み合わせた豪雨災害の予測手法に関する研究」(代表：山田正、北大)の補助のもとに行われている。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献：1) 椿東一郎：水理学Ⅱ、森北出版、1974。

2) 山田正・豊田康嗣：洪水流出の基本的特性とハイドログラフの形成過程に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、1990。

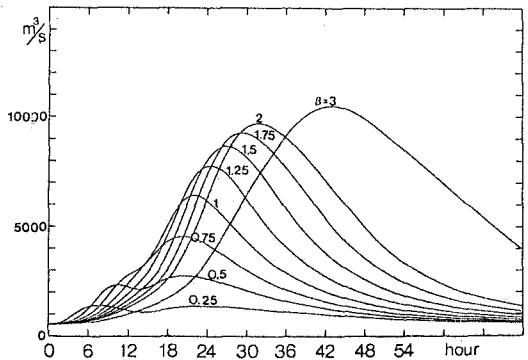


図3 横流入量の継続時間を変化させたときの
本川下流部のハイドログラフ

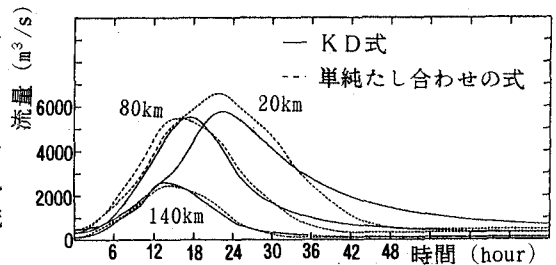


図4 KD式と単純たし合わせの式による
ハイドログラフの比較

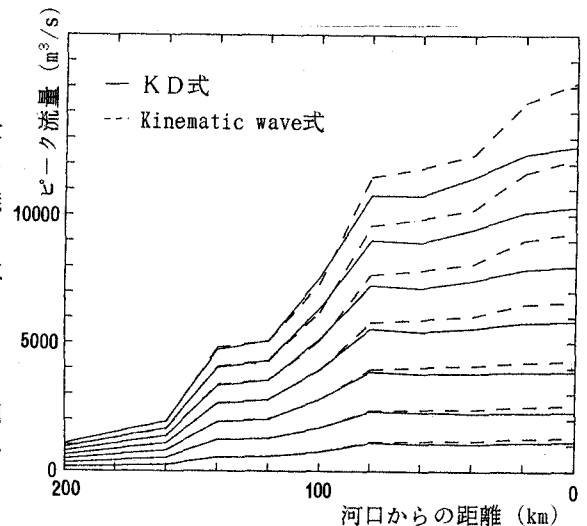


図5 KD式とKinematic wave式による
流下方向のピーク流量の比較