

河川合流点を含む氾濫計算

flood calculation in river confluence point

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 舩甚甲介 (Kosuke Masujin)

北海道大学大学院工学研究科 正員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

河川合流点では、流向や流速が複雑になるため、様々な現象が起きる。合流点付近には死水域ができやすく、その地点に流砂が堆積し、砂州が形成される。とくに、台風などの大雨により、流量が増加すると、氾濫がおりやすくなる。たとえば、韓国の洛東江では、2002年の9月の大雨と、12月の台風による流量の増加に伴い、新盤川との合流点で大規模な氾濫が報告されている(写真-1)。本川の支川出口部に土砂が堆積し、新盤川の流れがせき止められてしまい、そこから大規模な氾濫が起こったと考えられる。合流点における氾濫のメカニズムを理解し、その改善策を考えることは、河川工学上重要な課題である。

河川の合流点は至る所に存在する。そこで、本研究では河川合流点で流量が増加した場合、どのような流れが生ずるかを予測するモデルの構築を研究の目的とする。

そのために、本研究では、まず実際に起こった河川合流点での氾濫の様子を、数値解析を行い、再現することとする。

ここでは2003年8月9日から10日にかけて発生した台風10号の大雨によって大規模な氾濫を記録した、北海道日高地方の厚別川と比宇川の合流点(写真-2)を研究対象とし、氾濫した様子を再現する。

まず、現地調査を行い、被害状況を確認し、この結果を用いて、洪水時の状況を推測する。構造物や植生の傾きや、草木の傾きや浮遊物の状況から流向や水深を推測する。次に、実際の地形と同じスケールの計算格子を作成し、連続の式と運動方程式から、流れの計算を行う。その計算結果と、現地調査の結果を比較、検証し、実際に起こった洪水時の流れの状況を検討する。

この結果、本研究の計算方法を用いることにより、流向、水深などに関して、詳細な再現が可能となった。また、現地調査の結果は、計算された流況と類似する結果が得られた。

2. 現地調査

2003年9月3日に、厚別川の比宇川合流点付近の現地調査を行い、被害状況の確認をした。現地での痕跡調査や被害家屋住民への聞き取り調査からピーク時には4~5mの水深となり、民家が崩壊するなど、深刻な被害が確認された(写真-3, 写真-4)。とくに被害家屋では、単に浸水被害のみではなく、氾濫流が大量の土砂とともに民家を直撃した凄まじさを確認することが出来た。洪水時の流向は、構造物や植物の傾きや、流されてきた草木の引っかかっている方向などから推測した(図-1)。

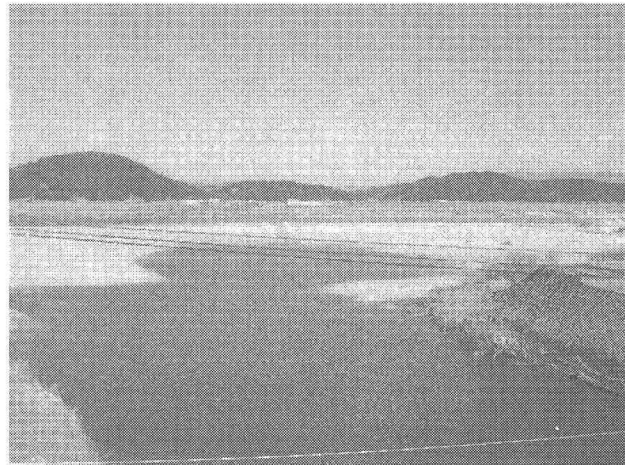


写真-1 韓国 洛東江
手前が支流の新盤川で、奥が本流の洛東江

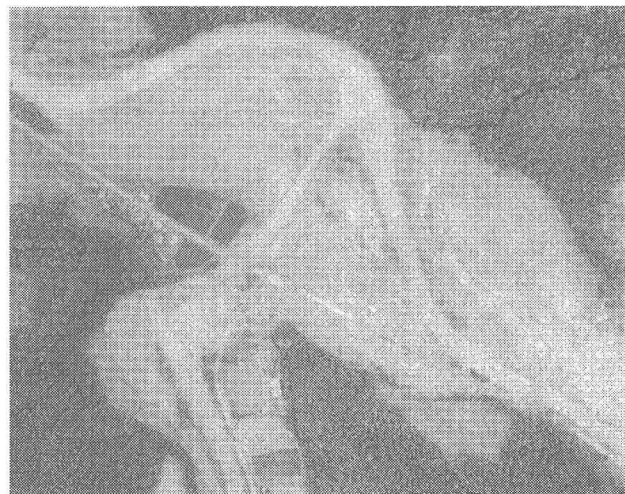


写真-2 厚別川と比宇川の合流点
(2003年8月 北海道庁撮影)

また、構造物や植生に残された洪水痕跡より、ピーク時の水深も推測した。

3. 流れの計算について

3-1. 計算式

流れの計算は、2次元非定常、非圧縮流れの運動方程式および連続の式をもとに行う。運動方程式は移流項とそれ以外の項に対して分離解法を用い、移流項にはCIP法、拡散項には中央差分法を用いる。

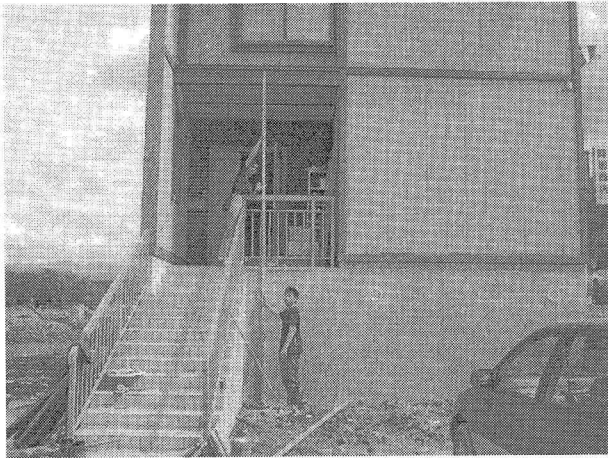


写真-3 地点Cの現場



写真4 崩壊した民家(地点D)

3-2. 計算格子

氾濫した様子を再現できるように、本来の河床の部分だけでなく、氾濫源も計算できるように格子を広範囲に配置した。平水時の河道部分を低水路、氾濫源を高水敷として扱うこととした。

平面の $x-y$ 座標は、航空写真から低水路、高水敷部分それぞれ細かく拾って、特に低水路部分を細かくした(図-2)。自分の目で拾った値だと、格子がゆがんでしまう場合があるので、滑らかにするために、図-3に示す記号を用いて次式(1)で平滑化をおこなった。

$$A(i,j) = \frac{A(i,j) + [A(i-1,j+1) + A(i-1,j) + A(i-1,j-1) + A(i,j+1) + A(i,j-1) + A(i+1,j+1) + A(i+1,j) + A(i+1,j-1)]}{16} \quad (1)$$

標高の z 座標は、計算格子上を通る横断面と縦断面の標高から大まかに拾い、平面図の等高線を利用して細かな標高を計算し、 z 座標(図-4)とする。図-4のコンター図は黒くなるに従い標高が低くなり、黒い部分は低水路を表している。普段はこの低水路部分にしか水は流れていないが、今回の洪水では、図中のすべての領域に水が流れたと思われる。

3-3. 境界条件

上流では流量、下流では水位を与える。



図-1 推測された流向
(図中の2つの黒い線A、Bは、堆積した土砂でせきとめられたと思われる橋)

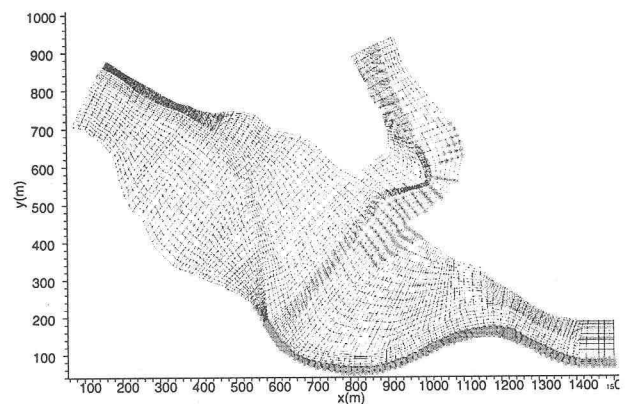


図-2 厚別川、比宇川合流点の $x-y$ 座標

3-4. 水理条件

流量は、本流 $863\text{m}^3/\text{s}$ 、支流 $726\text{m}^3/\text{s}$ で与える。この値は、サニット・ウォンサ¹⁾が計算で求めたピーク流量の値である。

下流端の水位は、北海道庁の調査結果²⁾から、 49.5m を与える。

また、マンニングの粗度係数は低水路で 0.03 、高水敷で 0.065 を与える。低水路は、 2cm 程度の河床材料から 0.030 程度と考えられ、流木の混入を考慮し、 0.035 する。また、高水敷は、一般に氾濫源の粗度係数として使われる $0.055 \sim 0.100$ の範囲の平均値をとり、 0.065 とした。

3-5. 計算条件

計算時間は 100 秒、時間刻みは $\Delta t = 0.01\text{s}$ で計算した。

4. 計算結果

平均流速のコンター図とベクトルを図-5に示す。低水路では流速が速く、高水敷では流速が遅くなっていることや、合流点付近の支流側は流れが悪くなっている点、流れの方向も現地調査で推測した図(図-1)と類似し

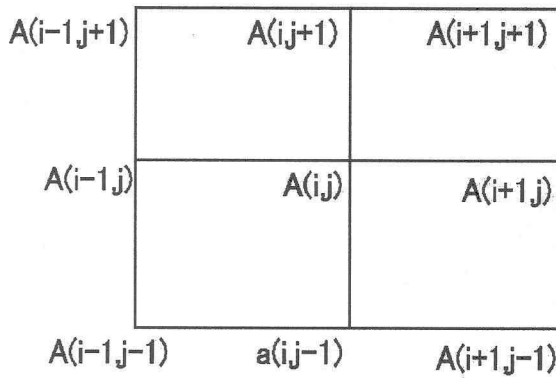


図-3 滑らかな格子の作成方法

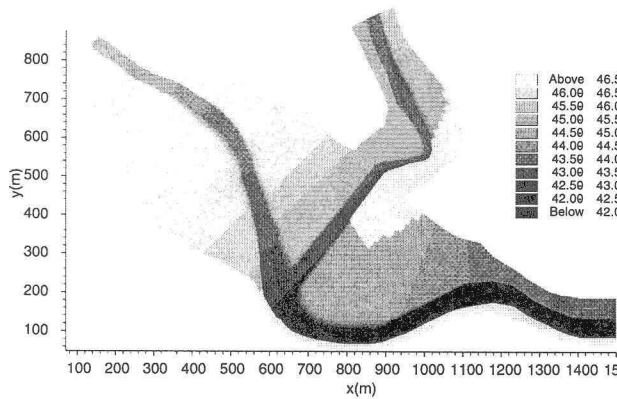


図-4 厚別川、比宇川合流点の標高

ていることがわかる。

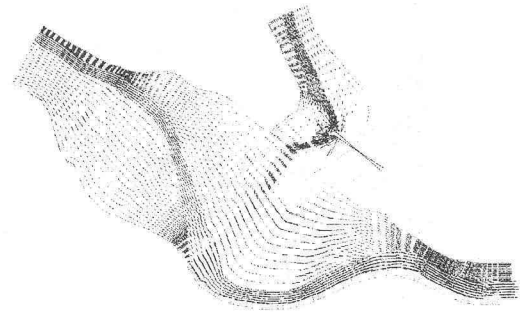
また、合流後の流速に比べて、合流点の流速は極端に遅くなっていることから、この地点で大規模な氾濫が起こったことも再現できている。

5. 検証

次に、求めた水位と、実際の洪水時の水位とを比較してみる。図-6は、厚別川本流の中心を通るような縦断面図で、上の線が水位、下の線が河床を表している。また、細線は、北海道庁の調査²⁾による痕跡水位を表したものであるが、ほとんど一致していることがわかる。図-7は厚別川付近の高水敷で、普段は水田や民家がかった場所であるが、洪水によって氾濫した場所である。

本流では水深が上流部で3メートル、合流点付近から5メートルまで増えているのは、先に述べた流速の変化と大きく関係している。

図-7の地点Cは民家がかった場所である。現地調査の結果、水深が3.5メートルくらいだと推測されたが(写真-3)、数値計算の結果もそれぐらいの値となっている。また、図-8では厚別川の横断面図(比宇川にとっては縦断面図にあたる)であるが、図中の地点Aには民家がかった。この民家は洪水によって崩壊したが(写真-4)、水深が5メートルにまで及んでいる。



流速 (m/s)

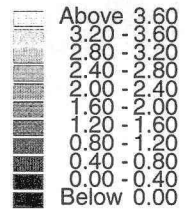
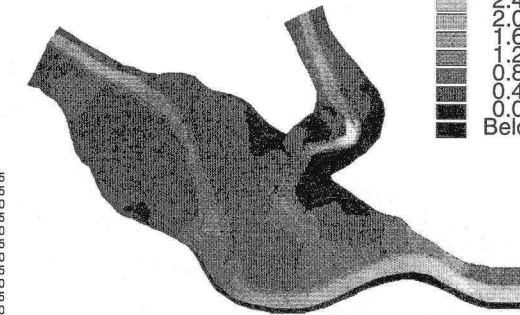


図-5 平均流速



標高 (m)

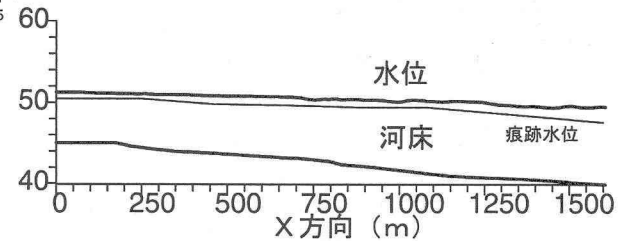


図-6 厚別川本流の水位と河床(縦断面図)

6. 流木による橋梁地点閉塞の再現計算

現地調査の結果、流木により、流れがせき止ってしまったと思われる2つの橋の閉塞の影響を検討した。この結果を図-9に示す。

図中の地点AとBにある二つの橋を、流下方向の流速を0としてせき止められたことを再現した。特に、A地点周辺の流向が現地調査の結果に近くなったと思われる。

そこで、橋Aがせき止った影響が大きく出るとと思われる先ほどの地点Dの民家付近の水深を求めてみる(図-10)。図からもわかるように、地点D付近での水深が大きくなっていることがわかる。計算結果によれば、このD地点では橋梁の閉塞が無ければ水深は4.5mであったのに対して、橋梁の閉塞に影響を考慮すると、水深は5mとなっている。

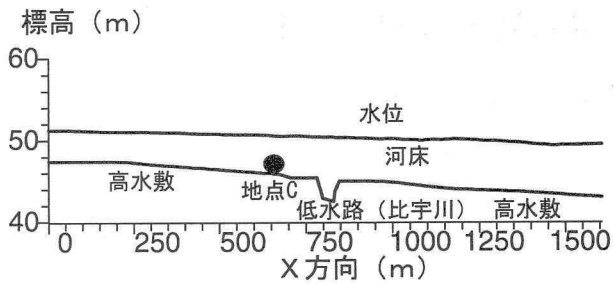


図-7 厚別川本流高水敷の水位と河床(縦断面図)

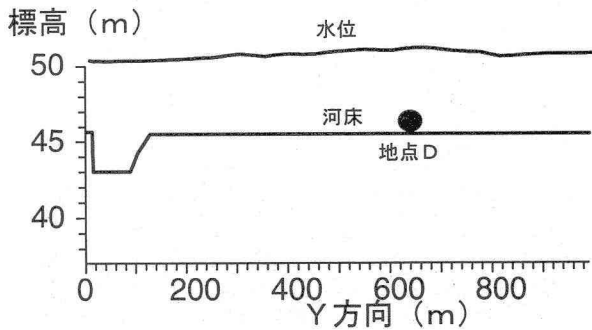


図-8 合流点手前の厚別川の水位と河床(横断面図)

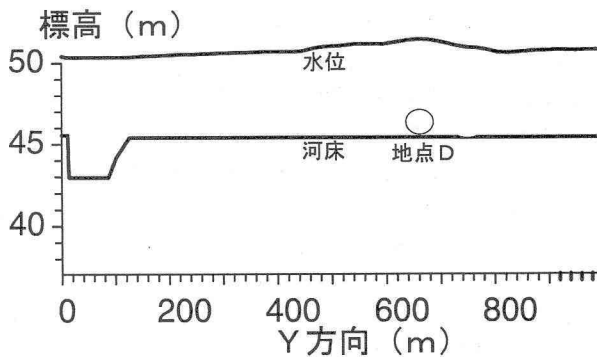


図-10 合流点手前の厚別川の水位と河床(横断面図)
(A点とB点の橋をせき止めた場合)

7. 考察

今回の研究によって、実際に起こった氾濫を定性的に良く再現することができた。特に、地点D付近の水深が、A点の橋がせきとめられる前と後で変わっていることは、実際の洪水時にもそうであったと推測できる。また、建物の構造物上の違いはあるのかもしれないが、地点Dの民家(写真-4)が崩壊しているのに対して、地点Cの民家(写真-3)が残っているのは、各地点の水深や流速が深く影響していることも示唆している(地点Cのほうが水深や流速が小さい)。現地調査の結果、推測した流向や水深と、実際に計算した流向や水深ともほとんど一致していることから、精度の高い再現が可能となった。

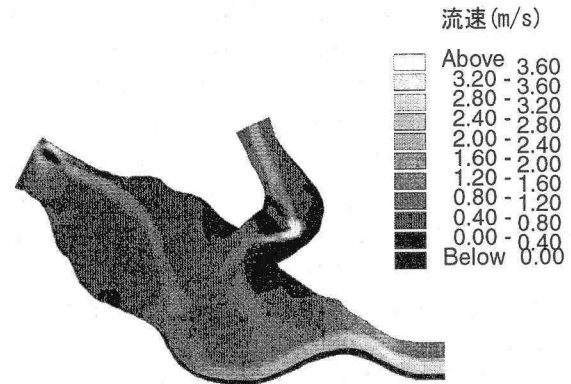
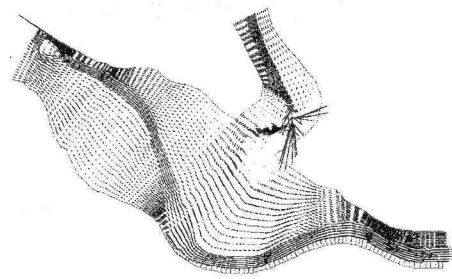


図-9 2つの橋をせき止めた時の流速

8. 今後の課題

今回計算した厚別川と比字川の合流点は、台風10号の大雨による流量の増加が影響したものである。現地調査によれば氾濫原に大量の土砂堆積も確認されている。本文の冒頭で紹介した例でも河川合流点における洪水災害は土砂堆積と密接に関連しており、今後は土砂の挙動を考慮した計算モデルの開発を行いたい。

さらに、今回の厚別川のような事態は今後も起こることが予想され、それはこの地域だけでなく、日本各地のいろいろなところで起こる可能性がある。今後は、北海道各地の河川合流点についても同じように計算を行い、その地域の安全性の検討を行っていききたい。

- 1) 北海道大学大学院工学研究科
- 2) 2003年11月