

2003年台風10号による北海道日高地方 厚別川の氾濫解析

FLOOD ANALYSIS OF THE ATSUBETSU RIVER
IN HIDAKA OF HOKKAIDO BY TYPHOON NO.10 IN 2003

安竹悠¹・清水康行²・長谷川善彦³・舩甚甲介⁴
Yu Yasutake, Yasuyuki Shimizu, Yoshihiko Hasegawa, Kosuke Masujin

¹正会員 修士 (株) ドーコン 河川部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)

²正会員 博士 北海道大学工学研究科助教授 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³学生会員 北海道大学工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁴学生会員 北海道大学工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

On August, 2003, a Typhoon no.10 struck Hidaka area by a record rainfall and river overflow. This time killing 10 persons, missing 1 person, injuring 3 persons, demolishing 16 homes, half-demolished and partially destroying 8 homes, flooded above-under floor 522 homes and refugee 7245 persons. By this flood, to consider about the flood countermeasure of Atsubetsu River basin is very important in river engineering, and it is quite important for this area. Then, the study of the structure of the complex flow in the meanderings section and the confluence section of the river will be important in flood countermeasure. It aims at appreciating an overflow mechanism in the meanderings section and the confluence section of the river as a first step by this research.

First, field investigations have done, check on damage conditions are confirmed, and estimate the flood conditions. Next, a two-dimensional calculation is performed to reproduce and find out the characteristics of the flood.

Key Words : Atsubetsu River, Flood, Field investigations, 2-D calculation

1. はじめに

平成15年8月9日から10日にかけて発生した台風10号の記録的な大雨は、日高地方の河川を氾濫させ死者10名、行方不明1名、全壊家屋16棟、半壊・一部損害家屋8棟、床上・床下浸水522棟と甚大な被害をもたらした。厚別川では溢水、破堤、氾濫、河岸侵食、流木の流下、大量の土砂が田畑・家屋に堆積するなどの被害が顕著となった。このような今までにない出水を契機に厚別川流域の洪水対策について考えることは、河川工学上、またこの地域にとって非常に重要なことである。洪水対策を考える上で重要なのが、蛇行区間や、支川合流点における複雑な流れの仕組みの究明である。本研究では第一歩として、厚別川下流の蛇行区間¹⁾と比宇川(支川)合流点付近²⁾の2地区における氾濫メカニズムを理解することを目的とする。

まず現地調査を行い、被害状況を確認し洪水時の状況を推測する。次に推測された洪水流れを2次元計算によ

り再現し、その特徴を見つけ出すことで、蛇行河道から堤内地への流出を伴う流れや、支川と合流する流れの仕組みを検討する。

2. 現地調査結果

2003年9月3日に厚別川の氾濫状況の現地調査を行った。対象は蛇行河川の氾濫例としての下流部と、合流点の氾濫例として比宇川合流点付近を中心に行われた。現地調査では氾濫・浸水状況の推定、流木の状況、侵食・堆積の状況、被害者への聞き取りなどが行われた。

(1) 厚別川下流

写真-1 は厚別川下流部の調査範囲であり、このうちの例として写真-1 のA, BおよびC地点の現地写真を写真-2, 3 および4 に示す。写真-1 の黒線は横断測量断面、白い矢印はその方向が写真の撮影方向と対応している。写真-2 では倉庫の外壁が破壊され、建物内のも

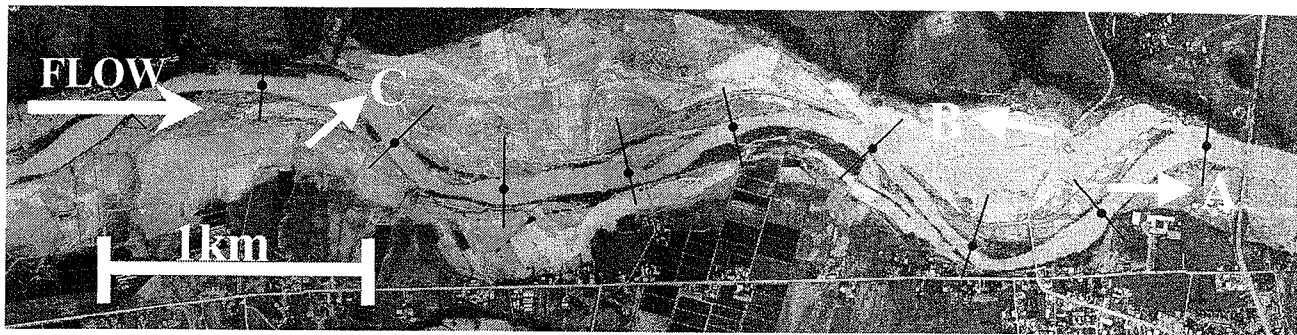


写真-1 厚別川下流地区調査範囲（航空写真は洪水から3日後の8月13日に撮影）

のはほとんど流出していた。氾濫流の凄まじさが感じられる。写真-3 の中心にある傾いた小屋は倒壊した馬小屋であるが、家主の話によれば約300m上流から流されてきたとのことであった。写真-4 はC地点の護岸の被災状況である。この地点で低水路から氾濫流が乗り上げ、接続ブロックもろとも河岸が大きく侵食されている。

調査の結果、厚別川下流では平水時に周期が1kmの蛇行流れであったのに対し、洪水時には左右の堤内地に大量の水が氾濫し、護岸や建物などを破壊しながら堤内地を直線的に流下したと推定される。

(2) 比宇川合流点

写真-5 は厚別川と比宇川の合流点付近の調査範囲である。写真の左上から右下に流れているのが厚別川であり、図の上方から合流しているのが支川の比宇川である。写真-5 のD、E、F地点の状況を以下の写真-6、7および8に示す。尚、写真-5 中の黒線は横断測量断面、白い矢印の方向は写真の撮影方向に対応している。写真-6 の民家の1階部分は壊滅的な被害を受けており、家の内部にも大量の土砂や流木が堆積している。また、周辺の地盤には大量のシルト分が堆積している。シルト分の堆積はこの地区の氾濫原ではほぼ全域に亘って確認された。写真-7 はE地点の厚別川右岸の樹木の状況である。このように樹木が残っている場所は稀であり、大部分の樹木が流出したようである。写真-8 は道路の歩道のアスファルトが氾濫流によって壊されている状況である。アスファルトは写真の左（比宇川側）から右（厚別川上流）に向かって亀裂が入り破壊されており、この方向から、比宇川の洪水流は厚別川の上流方向に向かったと推定される。この原因は、写真-9 中の比宇橋（H地点）にて大量の樹木が橋脚の間に詰まり、河道の流れが殆ど堰き止められた状態であったためと考えられる。またG地点の住人の話では厚別川の上流、合流点、山の3方向から水が押し寄せてきたようである。G地点のようによどみにあたるような箇所では、流れが渦を巻き死水域を形成していたと考えられる。

調査の結果、比宇川合流点での氾濫流の流況は非常に複雑であったことが推定される。流木や倒れた植生（写真-7）土砂堆積状況などから、推定された出水ピーク時

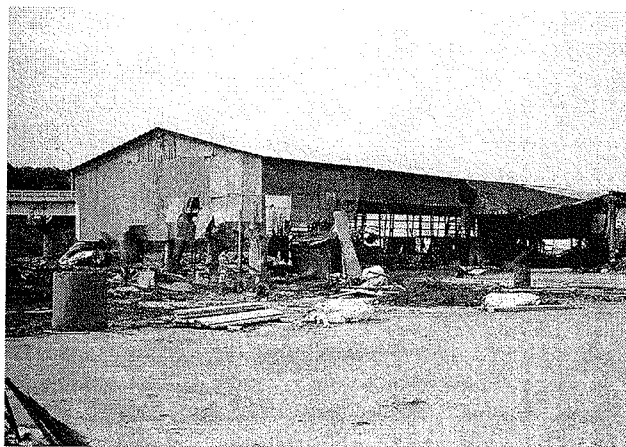


写真-2 厚別川下流A地点における倉庫の被害状況

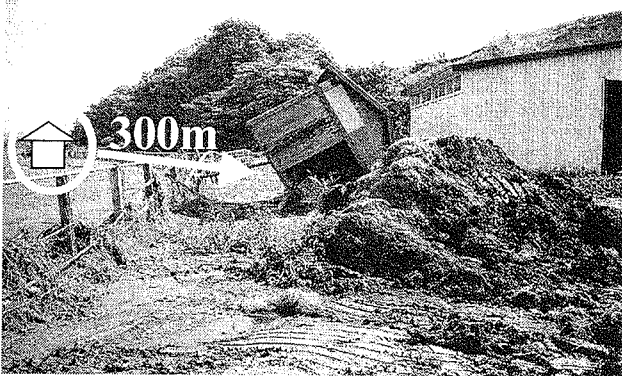


写真-3 厚別川下流B地点における馬小屋の被災状況



写真-4 厚別川下流C地点における護岸の被災状況

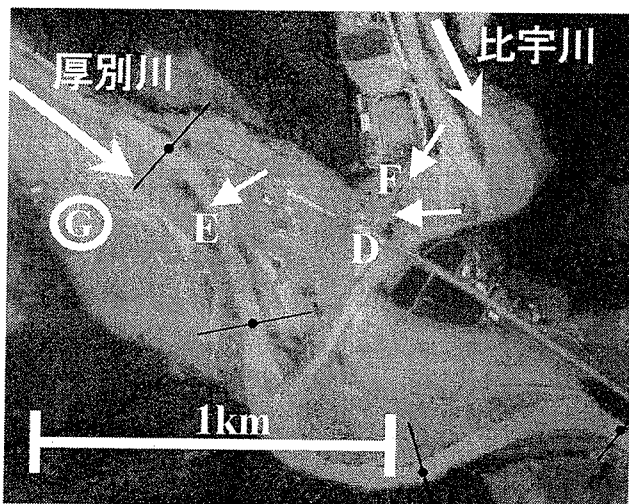


写真-5 比宇川合流点付近の調査範囲 (8. 13撮影)



写真-6 比宇川合流点付近D地点の民家の被災状況
の流向を写真-9に示す。

3. 2次元モデルによる氾濫計算

厚別川における氾濫状況を検討する目的で、対象とする2地区について2次元の氾濫流計算を実施した。

(1) 計算方法

解析は平面2次元一般座標系を用いた³⁾。一般座標系における運動方程式は式(1)、(2)、連続式は式(3)のように表される。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u^\xi}{\partial t} + u^\xi \frac{\partial u^\xi}{\partial \xi} + u^\eta \frac{\partial u^\xi}{\partial \eta} + \alpha_1 u^\xi u^\xi + \alpha_2 u^\xi u^\eta + \alpha_3 u^\eta u^\eta \\ & = -g \left[(\xi_x^2 + \xi_y^2) \frac{\partial H}{\partial \xi} + (\xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y) \frac{\partial H}{\partial \eta} \right] \\ & - \frac{C_f u^\xi}{Jh} \sqrt{(\eta_y u^\xi - \xi_y u^\eta)^2 + (-\eta_x u^\xi + \xi_x u^\eta)^2} + D^\xi \quad \dots (1) \end{aligned}$$



写真-7 厚別川右岸E地点の樹木の状況

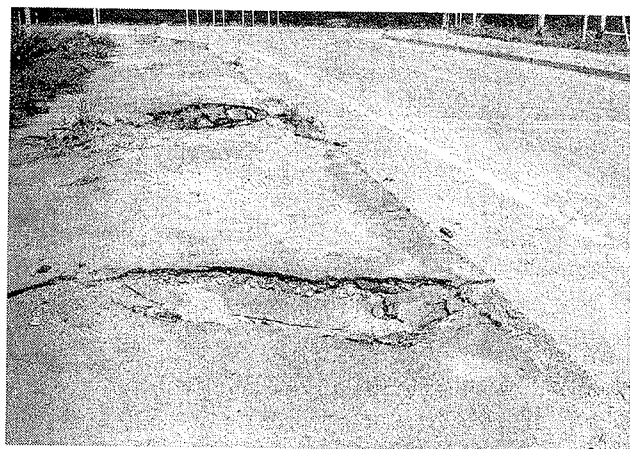


写真-8 比宇橋付近F地点の歩道の被災状況

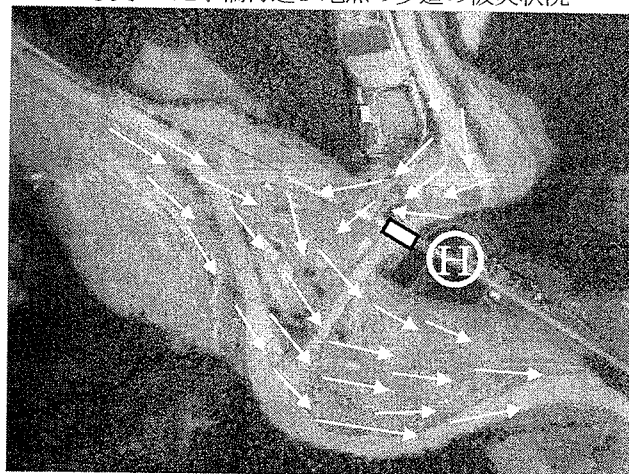


写真-9 比宇川合流点において推定された流向

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u^\eta}{\partial t} + u^\xi \frac{\partial u^\eta}{\partial \xi} + u^\eta \frac{\partial u^\eta}{\partial \eta} + \alpha_4 u^\xi u^\xi + \alpha_5 u^\xi u^\eta + \alpha_6 u^\eta u^\eta \\ & = -g \left[(\eta_x \xi_x + \eta_y \xi_y) \frac{\partial H}{\partial \xi} + (\xi_x^2 + \xi_y^2) \frac{\partial H}{\partial \eta} \right] \\ & - \frac{C_f u^\eta}{Jh} \sqrt{(\eta_y u^\xi - \xi_y u^\eta)^2 + (-\eta_x u^\xi + \xi_x u^\eta)^2} + D^\eta \quad \dots (2) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{hu^\xi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{hu^\eta}{J} \right) = 0 \quad \dots (3)$$

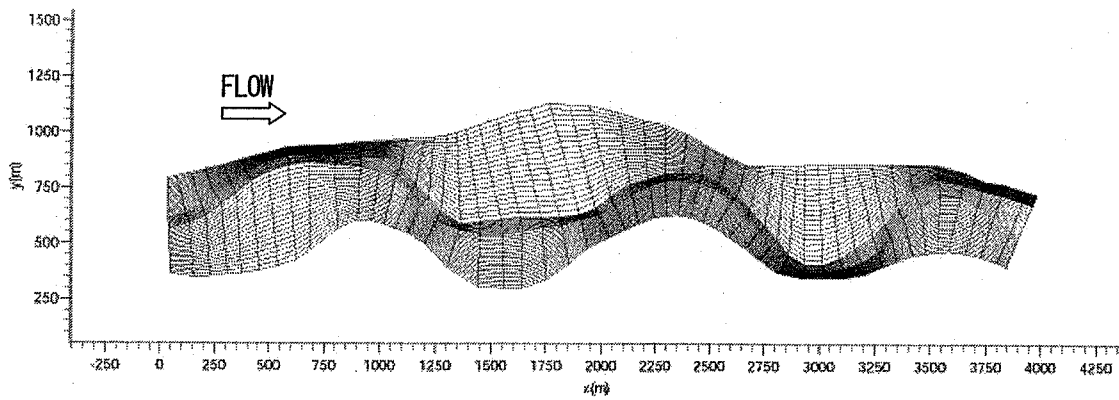


図-1 厚別川下流地区の計算格子

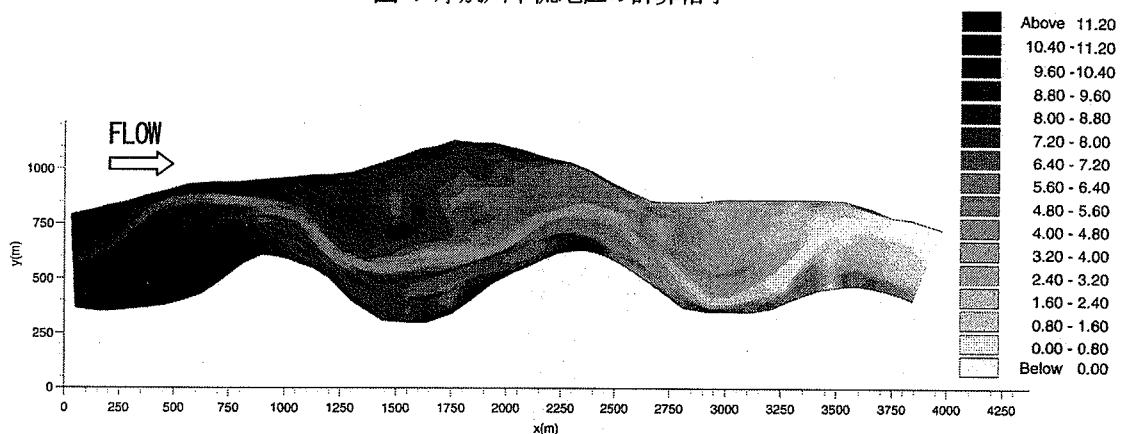


図-2 厚別川下流地区の標高データ

ここで座標に関する下付き文字は微分を，応力に関する下付き文字は成分を表す． J は平面座標変換のヤコビアン， C_f は抵抗係数 ($=gn^2/h^{1/3}$)， D^{ξ} ， D^{η} は拡散項を示す．

その他の諸量は，

$$\alpha_1 = \xi_x \frac{\partial^2 x}{\partial \xi^2} + \xi_y \frac{\partial^2 y}{\partial \xi^2}, \quad \alpha_2 = 2 \left(\xi_x \frac{\partial^2 x}{\partial \xi \partial \eta} + \xi_y \frac{\partial^2 y}{\partial \xi \partial \eta} \right)$$

$$\alpha_3 = \xi_x \frac{\partial^2 x}{\partial \eta^2} + \xi_y \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2}, \quad \alpha_4 = \eta_x \frac{\partial^2 x}{\partial \eta^2} + \eta_y \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2}$$

$$\alpha_5 = 2 \left(\eta_x \frac{\partial^2 x}{\partial \xi \partial \eta} + \eta_y \frac{\partial^2 y}{\partial \xi \partial \eta} \right), \quad \alpha_6 = \eta_x \frac{\partial^2 x}{\partial \eta^2} + \eta_y \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2}$$

本研究では分離解法を用い，移流項はCIP法，外力項は中心差分により求められている．

(2) 計算条件

境界条件は上流で流量，下流で水位を与えている．流量はサニットら⁴⁾が行った流出計算結果におけるピーク流量を用い，河口付近では $2,884 \text{ m}^3/\text{s}$ ，比宇川合流点においては厚別川の流量を $863 \text{ m}^3/\text{s}$ ，比宇川の流量を $726 \text{ m}^3/\text{s}$ として与えた．低水路の粗度係数は河床材料から $0.035 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ とする．堤内地の粗度係数は，流れの障害

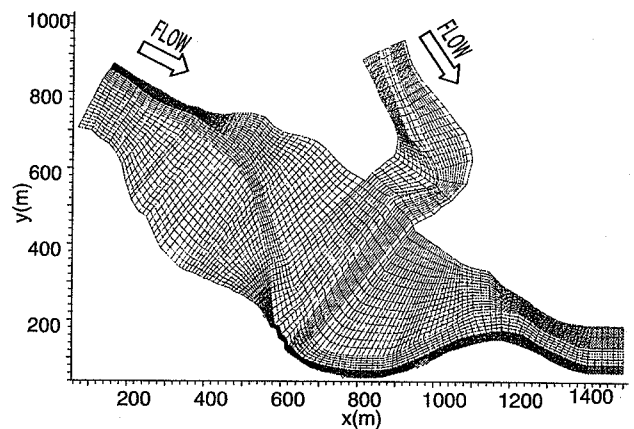


図-3 比宇川合流点の計算格子

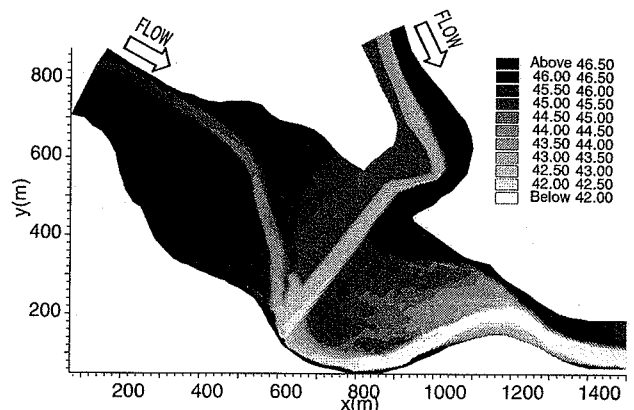


図-4 比宇川合流点の標高データ

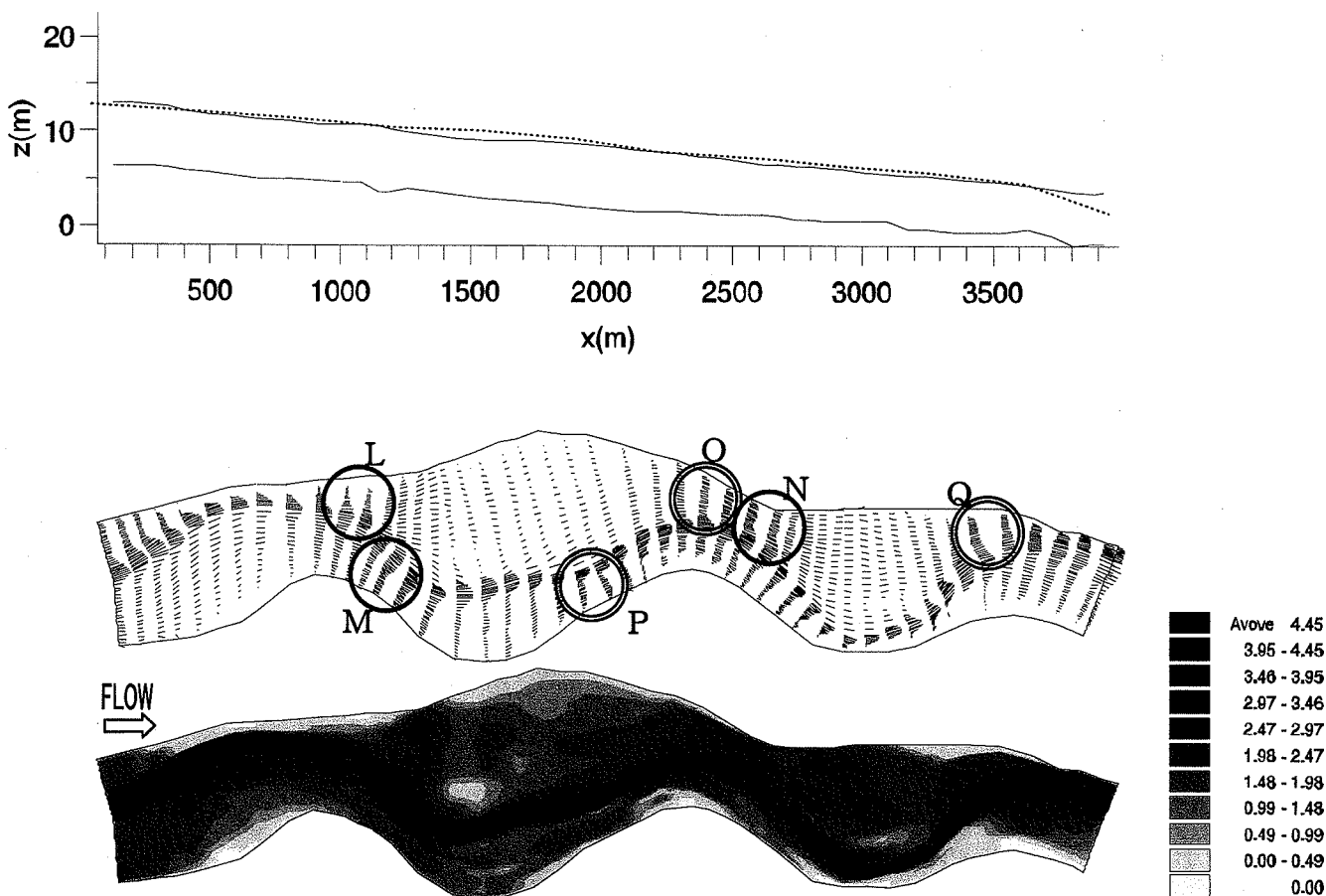


図-5 厚別川下流域の氾濫計算結果[水位縦断，流速ベクトル，流速コンター]

要因となる樹木や家屋等が散在しているため推定が難しい。これより計算水位が実績洪水の痕跡に合うように粗度係数を与えた。それぞれの高水敷粗度は，蛇行区間 $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ ，合流区間 $0.065 \text{ s/m}^{1/3}$ である。

(3) 計算格子

計算格子を図-1，3 に示す。氾濫した様子を再現できるように，平時の河道部分だけでなく氾濫域全体に格子を配置した。横断方向の格子は低水路を比較的細かく分割した。厚別川下流域（蛇行区間）の格子は流下方向に49分割，横断方向に50分割とした。合流区間の格子は厚別川の流下方向に128分割，横断方向に36分割，そして支川の流下方向に25分割，横断方向に23分割とした。

z 座標を図-2，4 に示す。標高の z 座標は，計算格子を通る横断図と縦断図の標高，平面図の等高線等から与えている。コンター図は白くなるに従い標高が低くなり，白い部分は主に河道を表している。普段はこの河道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。

(4) 計算結果（厚別川下流（蛇行区間））

図-5 は水位縦断図，流速ベクトル，流速コンター図である。ここで，水位の縦断図は河道の中心線上の計算格子に沿った縦断水位である。上の実線が水位，下の実

線が河床を表している。また，点線は横断測量断面にて計測された痕跡水位を表したものであるが，計算水位と概ね一致していることがわかる。流速ベクトル，コンター図を見てみると，L，MおよびN地点から河道の流れが堤内地に氾濫し，畑や水田を迂回しながらO，PおよびQ地点で流れが集中し，その一部が再び河道沿いの流れと合流する様子が現されている。平均流速の最大値は河道湾曲部の外岸から堤内地に乗り上げる箇所に沿って現れており，流速は 3m/s を超えている。現地調査の結果によれば，河岸の侵食はこのような地点に沿って確認されており，既設の連結ブロックなども著しく破損している（写真-4の護岸被災状況はL地点に相当）。

以上のことから，平時時は比較的単純な蛇行河川であるが，今回のような大出水時には，流れは河道に沿うものと，堤内地を真っ直ぐ流れるものの2つに分かれている。つまり水衝部となる河道の湾曲箇所にて水が堤内地に溢れ出し，堤内地を真っ直ぐ通過した後，折り返し蛇行した河道の流れに合流する「堤内地を真っ直ぐ過する流れ」と，「河道に沿った流れ」の2つの流れから成っており，これらの流れが分合流を繰り返して八の字形の複列河川特有の流れが形成されていたことが分かる。今回の出水で氾濫原となった兩岸の農耕地は過去にこのような氾濫が繰り返されたことで形成されたと考えられる。

(5) 計算結果（比宇川合流点（合流区間））

図-6，7 に比宇川合流点付近の流れの計算結果を示す。図-6 は厚別川の河道中心線上の計算格子に沿った水位縦断面図である。上の実線が水位，下の実線が河床を表している。また，点線は横断測量断面にて計測された痕跡水位を表したものであるが，計算水位と概ね一致していることがわかる。図-7 は流速ベクトルおよび流速の強度をコンター図で示したものである。ここで，写真-9 の地点Hにある比宇橋地点の閉塞の影響は，流下方向の流速を0とすることで考慮している。厚別川上流からの河道に沿った流れは，R地点にて河道が屈曲するため堤内地に溢れ出し，堤内地を通過する流れと，河道に沿った流れに分かれる。堤内地を通過する流れはその後，支川と合流しS地点にて約2m/sの高流速を示している。支川合流後，下流のT地点では狭窄の影響で流れが集中し，3 m/sを超える流速となっている。また，比宇川では橋の閉塞による影響で流れがU地点に集中し2m/s～3m/sの高流速を示している。この地点は写真-6 の民家が被災された場所であり，また写真-8 の歩道が被災を受けた場所でもある。

以上のことから，台風 10 号による厚別川の洪水氾濫は，本川の河道からの流出（分流），支川の合流による流れの集中（合流），さらには堤内地の氾濫水が河道に再び流入（合流）と，分合流を繰り返しながら氾濫していると考えられる。また，合流点より上流側のV地点において流速が遅くなっており，このような支川の合流によるよどみの形成や，橋における流木の閉塞が洪水を流下しにくくし，洪水氾濫を大規模なものにしたと推測される。

4. 終わりに

本研究は厚別川における①蛇行区間と②合流区間を対象にして，台風10号による出水時の氾濫流れについて検討を行った。その結果をまとめると以下のようなものである。

現地調査結果から以下のような氾濫状況が推測された。

- ① 蛇行区間：平水時は蛇行河川になっているのに対し，洪水時は氾濫域で直線的な流れが生じる。
- ② 支川合流点：流木による橋の閉塞があり，流向や流速が複雑である。

2次元流況計算モデルは推測された氾濫流を定性的に再現することができ，その特徴を良く表現している。

- ① 蛇行区間：蛇行に合わせて分合流が繰り返され，八の字型の流れを形成している。
- ② 支川合流点：合流点付近で高流速の発生やよどみを形成し，大規模な洪水氾濫を引き起こしている。

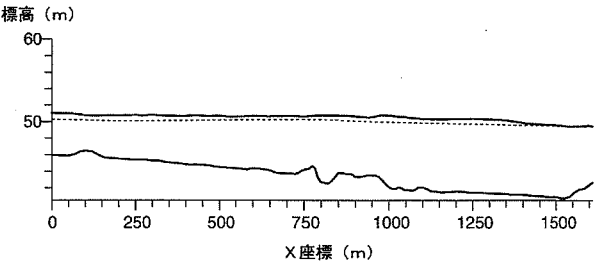


図-6 水位縦断面図(比宇川合流点の氾濫計算結果)

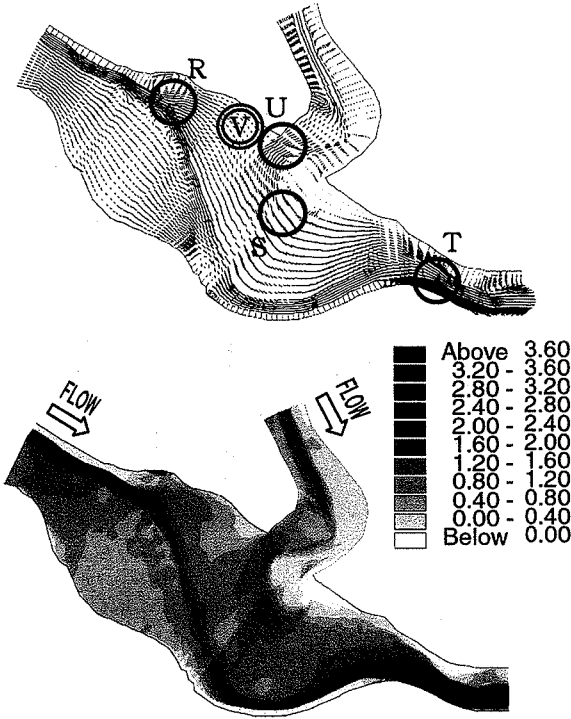


図-7 流速ベクトル・コンター

参考文献

1) 長谷川善彦，清水康行：2003年台風10号による北海道日高地方厚別川の氾濫流のモデル化について，土木学会北海道支部論文報告集，第58号，pp.340～343，2004。

2) 舩甚甲介，清水康行：河川合流点を含む氾濫計算，土木学会北海道支部論文報告集，第58号，pp.348～351，2004。

3) 伊藤祐一郎，清水康行：浮遊砂を含む平面2次元一般座標河床変動モデル，土木学会北海道支部論文報告集，第58号，pp.442～445，2002。

4) ウォンサ・サニット，清水康行，村上泰啓：北海道日高地方河川の洪水流出及び土砂動態特性について，水工学論文集，第48巻，pp.1099～1104，2004。

(2004. 4. 7受付)