

開発土木研究所河川研究室

○鳥谷部 寿 人

馬 場 仁 志

石狩川開発建設部計画課第1計画係

藤 田 隆 保

まえがき

平成9年8月9日夕刻より本格的に降り始めた前線と台風11号から変わった低気圧による降雨により石狩川流域中流部を中心に広範囲にわたる出水があり、美唄川においては計画高水位(美唄水位観測所地点HWL=19.19m)を超える出水となった。近傍の雨量記録および流量観測結果から推定すると、美唄水位観測所地点での流量は、河道計画によって想定された計画流量をかなり下回る流量であったと考えられる。また、計画高水位は石狩川本流の背水の影響を考慮して設定されたものである。こうした状況にもかかわらず、ピーク水位が計画高水位を超えたことは、計画河道断面の掘削が未完成とはいえ、河道内植生の影響など、出水時の河道状態を考慮しなければ説明できないと考えられた。

本研究は、水文記録、観測地点周辺の地形・植生データ等をもとに、今回の出水時の流況を再現し、水位上昇の原因を考察したものである。

1. 水文データ

表 - 1 美唄川の諸元

河川延長 L(Km)	2 1 . 8
流域面積 A (Km ²)	9 7 . 3
河床勾配 I(1.8kp-3.2kp)	1 / 1 1 5 9
(3.2kp-6.5kp)	1 / 7 0 0
計画降水量 R(mm/3day)	2 7 0
計画高水流量 Q(m ³ /s)	5 0 0

表 - 2 各水位観測所の流域面積とティーセン法による雨量観測所の支配面積(km²)

雨量観測所	水位観測所		
	美唄ダム	盤の沢	美唄
七の沢	20.55	20.55	20.55
美唄ダム	5.45	17.55	17.55
美唄山	-	26.00	37.55
美唄	-	-	17.00
合計	26.00	64.10	92.65

美唄川は石狩川の1次支川であり、表 - 1に主な諸元を示す。美唄川の位置、利用した雨量並びに水位観測所地点は、それぞれ4ヶ所、3ヶ所である。

次節で用いるための、各水位観測所における流域平均雨量を、計4ヶ所の雨量観測所(表 - 2)のデータから、ティーセン法により求めた。なお、流域平均雨量と各雨量観測所の雨量には、大きな差異がなく、降雨分布に局地的な特異性は認められない。

8月9日からの観測雨量は、3日間の合計が七の沢で112mm、美唄ダムで109mm、美唄山で111mm、美唄(アメダス)で97mmであり、最大時間雨量は美唄山で10日5時に18mm/hを観測している。石狩川の既往最大洪水である昭和56年の流域平均雨量で

Toshihito TOYABE, Hitoshi BABA, Takayasu FUJITA

ある282mm/3日間と比較すると、今回の降雨が特別に大きな値とはいえない。美唄水位観測所の観測水位は図 - 1のとおりであり、約5時間にわたり計画高水位を超過している。ピーク水位は、計画高水位より64cm高く、10日9時に発生している。

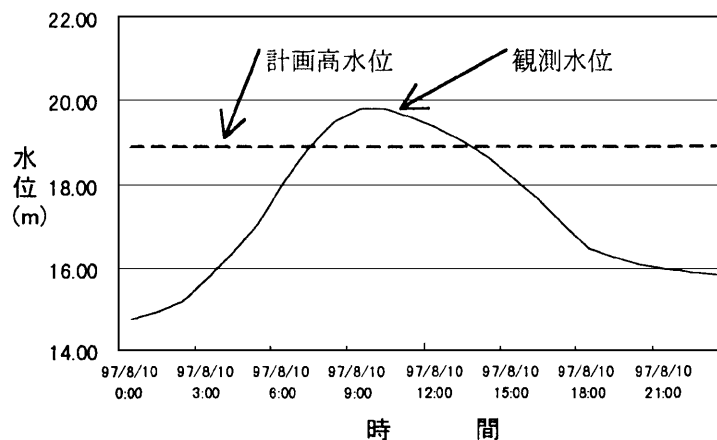


図 - 1 美唄水位観測所の観測水位

2. ピーク流量の推定

今回計画高水位を超えた美唄水位観測所地点では、流量が観測されていないため、ここでは筆者ら¹⁾が開発した流出解析手法を用いて流量を推定する。

貯留関数としては、(1)式に示すような損出を考慮した非線型二価の貯留関数モデルを用いた。ここに、 s :貯留高(mm)、 q :流出高(mm/h)、 r :実績雨量(mm)、 p :損出高(mm/h)、 $k_1, k_2, p_1, p_2, \alpha$ はモデルパラメータである。

$$s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt} (q^{p_2}), \quad \frac{ds}{dt} = r - q - p, \quad p = \alpha q \quad (1)$$

このモデルは流出高 q (mm/h)に線形な損出機構を取り入れたものであり、従来のモデルと比較すると貯留に対する調整を、インプット側からアウトプット側に変更したものと言える。またインプットとして実績雨量を用いるため、有効雨量の推定を必要としない。星ら²⁾の研究によれば、表面流にマニング則を想定する場合、 $p_1 = 0.6, p_2 = 0.465$ となる。 k_1 及び k_2 は、流域勾配及び平均雨量強度の関数で与えることができるが、これらの値は水文資料によって変動が大きいことから、 k_1, k_2, α の3個を未知パラメータとして同定することとした。

今回の出水時には美唄ダム及び、盤の沢において流量が観測されており、このハイドログラフを基に美唄川流域のパラメータの同定を行った。

この結果、美唄ダムで $k_1=18.409$ 、 $k_2=9.463$ 、 $\alpha=-0.021$ 、盤の沢で $k_1=13.650$ 、 $k_2=7.773$ 、 $\alpha=-0.018$ となっており、 α については、両地点ともマイナスの値となっている。すなわち流入を上回る流出を計算していることになる。この原因は観測誤差にもよるが、ハイドロ前半の計算値が実績値を上回っているためでもある。ハイドロ前半のみで解析を行うと、 $\alpha=+0 \sim +0.5$ 程度になり、理論的に正しくなると考えられるが、今回の解析目的がピーク流量を求めることにあるため、 α がマイナスとなる矛盾点を無視し、ピーク付近の適合性のみに注目して、パラメータ最適化を行った。最適化の手法

は、ニュートン法による。

美唄観測所のパラメータは、最も近傍の水位観測所である盤の沢の値から、流域面積による補正を行って求めた。平澤ら³⁾の研究によれば石狩川流域において k_1 、 k_2 の関係は図 - 2および図 - 3に示す通りであり、(2)式のように表される。ここで図 - 2、の白三角形は美唄ダム、白菱形は盤の沢の値である。図 - 4は $k_1 \sim k_2$ の関係と美唄観測所の流域面積から(2)式を用いて求めたパラメータによる美唄観測所地点推定ハイドログラフである。ピーク流出高で $q=8.07\text{mm/h}$ (流量に換算すると約 $220\text{m}^3/\text{s}$)が算出された。

$$k_1 = c \cdot A^{0.189}, \quad c = 10 \sim 20, \quad k_2 = 0.1292k_1^{1.709} \quad (2)$$

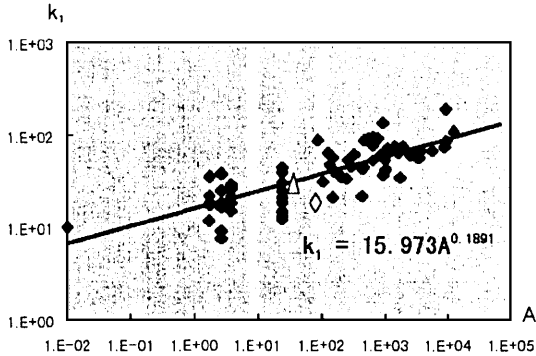


図 - 2 $k_1 \sim$ 流域面積の関係 (石狩川)

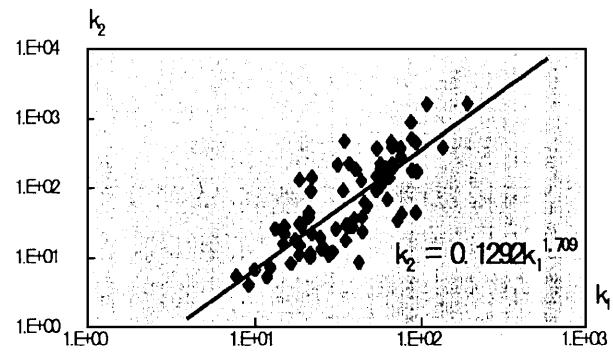


図 - 3 $k_1 \sim k_2$ の関係 (石狩川)

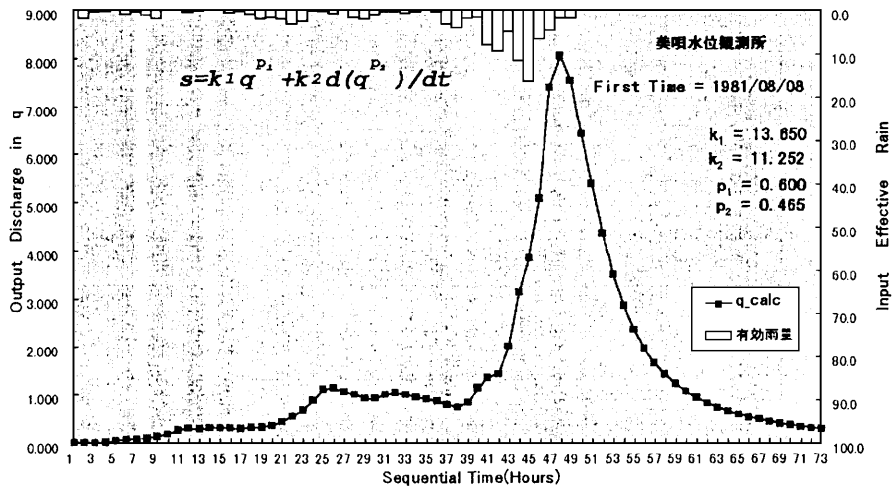


図 - 4 美唄観測所地点の推定ハイドログラフ

3. 河道モデル

推定したピーク流量をもとに、計画高水位を越えた地点前後の流況を再現するための、河道モデルを検討した。

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} = A_i I_b$$

$$Q = \sum_i (u_i A_i)$$

$$\left(H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right)_2 - \left(H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right)_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right)_1 + \left(\frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right)_2 + \left(\frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right)_1 + \left(\frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right)_2 \right\} \Delta x$$

$$\tau_j = \rho f u_j^2, \quad \tau_j = \rho f (\Delta u)^2 \sin(\Delta u) \quad (3)$$

モデルは、(3)式に示した福岡ら⁴⁾の植生の影響を考慮した不等流計算により作成した。ここで、 u_i :流速、 n_i :マンニングの粗度係数、 R_i :径深、 A_i :死水域を除いた河積、 S_{bi} :潤辺、 τ_j :死水域とした樹木群境界に作用するせん断力、 S_{wj} : τ_j が作用する潤辺長、 τ_j' :分割断面境界に作用するせん断力(樹木群境界を除く)、 S_{wj}' : τ_j' が作用する潤辺長、 I_b :河床勾配、 Q :流量である。なお、添え字*i*は分割された断面の諸量を表し、*j*は樹木群と樹木群以外との境界面における諸量、*j'*は樹木群以外と樹木群以外との境界面における諸量を表す。 ρ は水の密度、 Δu は τ_j' が作用する境界に接する隣の断面との流速差である。 f は境界混合係数と呼ばれ、境界部での流体混合の大きさを表すパラメータである。さらに、 H :水位、 $A = \sum_i A_i$ であり、添え字1,2はそれぞれ下流側断面および上流側断面の諸量を表す。

モデルを作成する上での河床粗度および植生密度の初期値は、改修計画で与えられた粗度と現地調査で得られた植生分布結果を用いた。また、境界混合係数 f の初期値については、石狩川での解析事例⁵⁾($f=0.03\sim 0.17$)などを参考に設定した。次に、計算水位と、洪水後に観測されたピーク痕跡水位とを比較して、最も適合性が高くなるように f の値を調節したところ、 $f=0.02$ となった。さらに、航空写真から判読した植生密度の違いにより、樹木の障害率を、100%,70%,および50%の3段階に区分したうえ、河床粗度の調節を行い、最終的に痕跡水位を再現できるモデルを完成した。

表 - 3 再現計算モデルの水理条件

流量(m ³ /s)	220	樹木	平成8年度調査 ⁶⁾
断面	平成8年度 横断測量成果 ⁶⁾		密(障害率100%)
粗度係数	低水路(0.03)		中(障害率70%)
	高水敷(0.04)		粗(障害率50%)
河床勾配	1/1159(1.8~3.2KP)	下流端水位(m)	痕跡水位H=11.58
	1/700(3.2~6.5KP)	境界混合係数 f	0.02

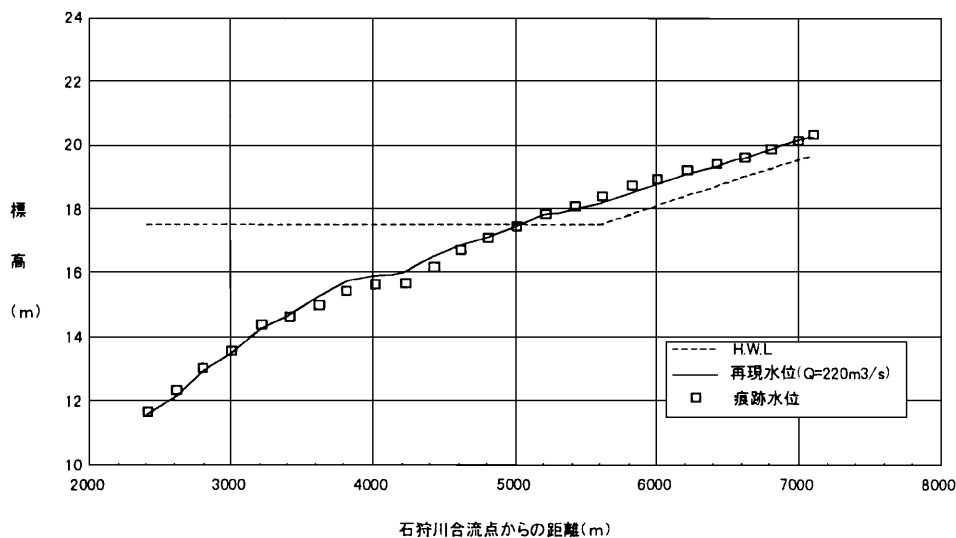


図 - 5 現況再現計算結果

再現計算モデルの粗度と植生密度の設定値などを表 - 3に、これによる再現水位の計算結果と痕跡水位の比較を図 - 5に示す。

4. 水位上昇と植生の影響

前節で作成した河道モデルを用い、植生の影響を考察した。美唄地点では、ピーク流量時の観測水位が19.83mであったが、仮に全ての河道内植生を「粗」、および「無し」とした場合の推定水位(流量=220m³/s)を図 - 6に示す。それぞれの水位は19.39m、18.52mと推定される。樹木無しの場合は、今回のピーク水位より1m以上も低く、計画高水位を下回っていたと考えられる。

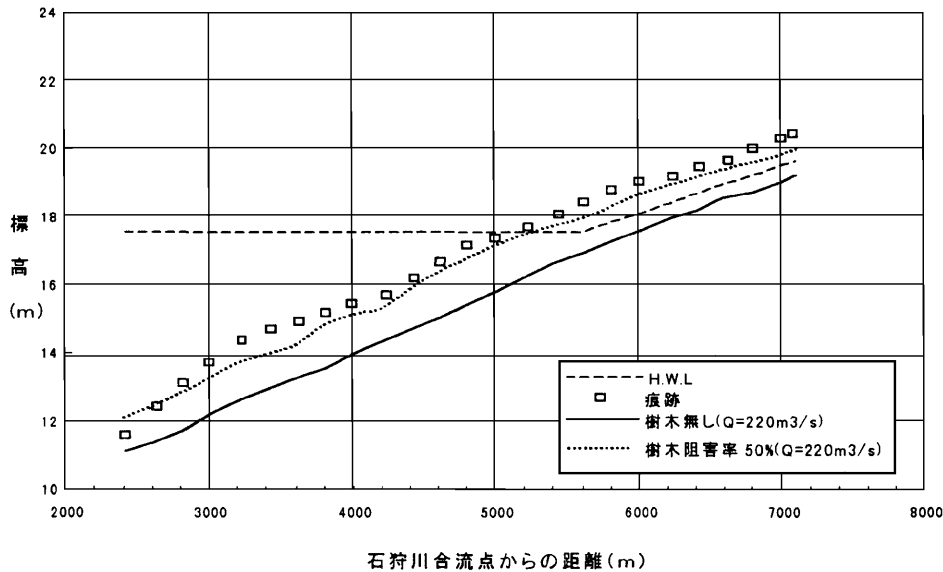


図 - 6 樹木の有無と水位の関係 (Q=220m³/s)

次に、図 - 7は計画高水流量 (500m³/s) が、今回の観測地点で発生したと仮定した場合を計算したものである。石狩川本流の背水の影響を無しとしても、4.6kp(合流点より5214m)から上流では完全に築堤高を超えることとなった。

また、堤防間隔は現況のままとして、最大限低水路幅を広げた場合(黒木・岸⁷⁾による中規模河床形態の領域区分を考慮し、単列交互砂州の発生しない領域区分の範囲内の計算を試みた。仮に植生密度を全て「粗」として維持管理できた場合の計算(本流の起算水位も計画高水位17.52mとして)でも、5.2kp(合流点より5815m)から上流では完全に築堤高を超える結果となった。さらに、樹木を残したままでは、低水路幅を変えずに堤防間隔を広げて計画高水流量を計画高水位以下に押さえるには、現在の堤防間を5.6倍に拡大しなければならないことがわかった。

美唄川の現況河道は、堤防間隔約80m、低水路幅20mの比較的小規模な断面であり、この中に樹木が成育すると、相対的に非常に大きな断面阻害となり、今回のような水位上昇を招くことになった。特に、合流河川の背水区間、河床勾配が緩くなる区間では、河道内樹木が繁茂しやすく、低水路断面を覆うほどに生育している場合が多い。このような河道を有する河川では、河道内樹木の管理に十分な注意が必要である。

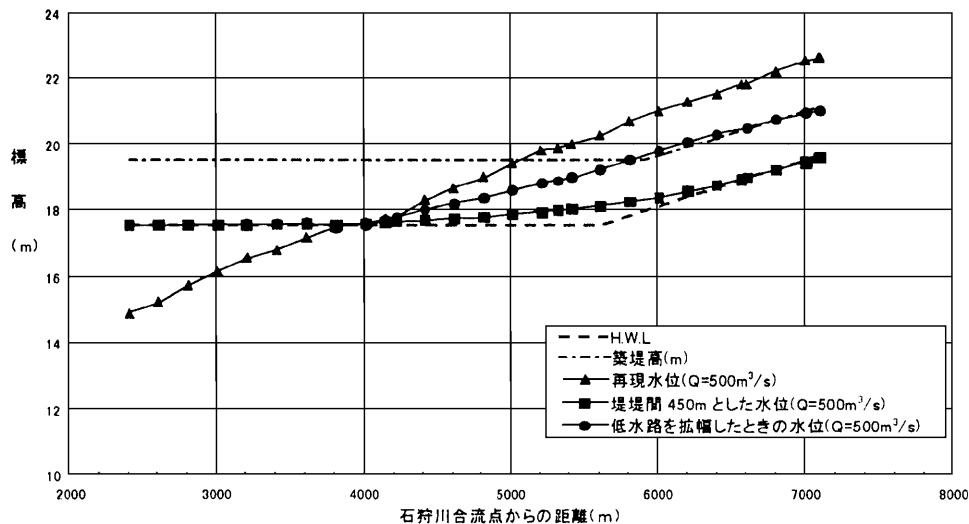


図 - 7 河道断面形状と水位の関係 ($Q=500\text{m}^3/\text{s}$, 植生：全て粗)

あとがき

洪水時に河道内の樹木などに残されたピーク水位の痕跡は、河道の粗度や樹木などによる流水障害の水理的解析を行う上で貴重なデータである。今回、美唄川で観測された洪水は、近年、各地の河川において問題となっている河道内樹木の繁茂が、洪水時の水理にどの程度影響するかを、具体的に明らかにする結果となった。

河道内樹木の影響を考慮した不等流計算による河道モデルを作成し、実測水位および痕跡水位で検証できたことは、今後の河道計画を作成するための基礎的水理条件を与える意味で、極めて有意義であったと思われる。

検討の結果、樹木の与える影響が水位上昇に大きく関与していることが分かったが、防災対策としての適切な河道計画を推進しながら、水辺の自然環境の保全も同時に実現するためには、どのような河道環境が望ましいかを、水辺の生態系も含めて総合的に検討していく必要がある。

謝辞

本研究を進めるに当たり多大な協力を頂いた北海道開発コンサルタント株式会社水工部吉田隆年氏、向井直樹氏にはここに記して謝辞にかえる次第である。

参考文献

- 1) 馬場仁志、星 清：損出機構を取り入れた総合貯留関数法の試み、第52回年次学術講演会講演概要集第2部, pp. 316~317, 1997
- 2) 星 清、山岡勲：雨水流と貯留関数法との相互関係、第26回水理講演会論文集, pp. 273~278, 1982
- 3) 平澤陽一、馬場仁志、星 清：損失を考慮した貯留関数のパラメータ総合化, 土木学会北海道支部論文報告集 第54号, 1998. (投降中)
- 4) 福岡捷二、藤田光一、新井田浩、樹木群を有する河道の洪水位予測, 土木学会論文集 No. 447/II-19, 1992
- 5) 建設省河川局治水課：河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン (案), 1994
- 6) 石狩川開発建設部：石狩川下流旧美唄川外縦横断測量業務報告書, 1996
- 7) 黒木幹男、岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究. 土木学会論文集, 第342号, 1984