

II—23 昭和56年8月洪水における道内河川の抵抗特性について

北海道開発局旭川開発 正会員 ○清水康行
同 堀内 宏
同 郡 義和

1. 緒言

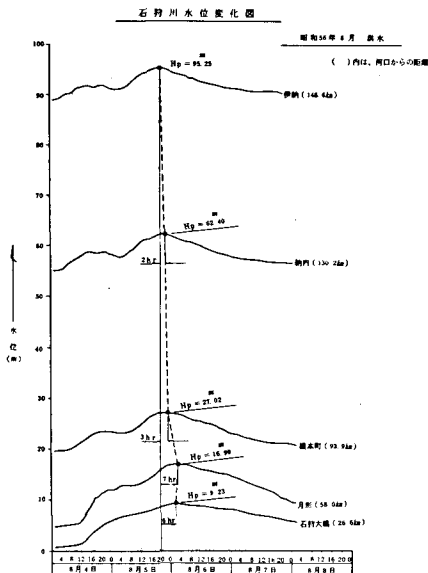
昭和56年8月3日、樺太中部に発達した低気圧から南に伸びる前線が8月4日には北海道中部に停滞し、これに北上した台風12号の影響が加わって強い雨になり3日から6日の朝夕で続いた。

降りはじめからの雨量は、岩見沢で 410mm となったほか、札幌・旭川市など各地で $200\sim 300\text{mm}$ 台を記録し、気象観測史上最大の豪雨となり、石狩川流域をはじめ、全道各地に大きな被害を与えた。

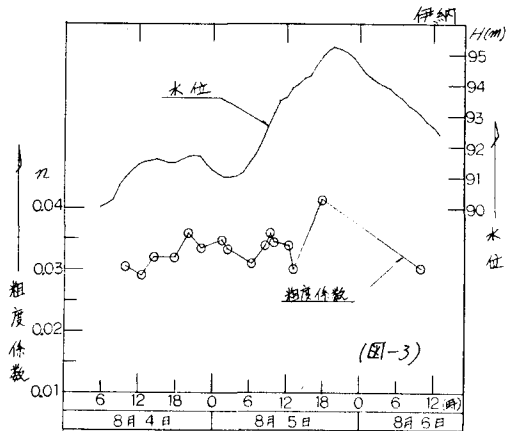
石狩川における時間～水位の関係を(図-2)に示す。



(図-1)



(図-2)



(図-3)

洪水の期間中、各流量観測所ではそれぞれ、数回から10数回の高水流量観測が実施されており、この観測資料を基に石狩川伊納地区の水位とManningの粗度係数の時間的変化を示したのが(図-3)である。(図-3)中の n 値は等流計算による逆算値の断面平均値である。

(図-3)によると粗度係数は時間的、場所的に変化していることがわかる。また伊納以外の流観資料も洪水期間中の粗度係数の変動が観測されている。

この粗度係数の変動、即ち抵抗の変化の原因の一つとして、洪水期間中の河床形態の変化が考えられる。

本報において著者らは、小規模河床形態と流体抵抗の関係を示した、^①岸、黒木の理論を用いて、昭和56年8月洪水中の石狩川における粗度係数の変化のメカニズムの究明を試みるものである。

2. 移動床における流体抵抗の理論

2.1 河床形態と流体抵抗

床砂を伴う流れの河床せん断力(掃流力) $\tau_0 = \rho_0 g I$ を
砂粒せん断力 τ_0' と河床面の形状抵抗のせん断力 τ_0'' に分け(1)式
で表わす。

$$\tau_0 = \tau_0' + \tau_0'' \quad (1)$$

まず河床せん断力と砂粒せん断力を無次元化して τ_* と τ_*'
で表し(2)、(3)式に示す。

$$\tau_* = RI / s d \quad (2)$$

$$\tau_*' = R' I / s d \quad (3)$$

(ニに R: 径深 I: エネルギー勾配 d: 河床砂の
平均粒径 $s = (\rho_s - \rho_0) / \rho_0$ ρ_s : 河床砂の密度
 ρ_0 : 流体の密度 R: τ_*' に対する径深)

(3)式中の R' は、流れが対数則に従うとすると(4)式で与えられる。

$$u = \sqrt{g R I} (6.0 + 5.75 \log (R' / 2d)) \quad (4)$$

(Eでし u: 平均流速)

岸、黒木によると同一の河床形態をもつ流れにおいては粒子
せん断力 τ_*' は河床せん断力 τ_* と R/d の関数になるとし、河床形
態別に(5)~(10)式を提案している。

$$(A) \text{ 砂堆河床 I (DUNE I): } \tau_*' = 0.21 \tau_*^{1/2} \quad (5)$$

$$(B) \text{ 砂堆河床 II (DUNE II): } \tau_*' = 1.49 (R/d)^{-1/4} \tau_* \quad (6)$$

$$(C) \text{ 平坦河床 (FLAT): } \tau_*' = \tau_* \quad (7)$$

$$(D) \text{ 遷移河床 I (TRANSITION I): } \tau_*' = 6.5 \times 10^7 (R/d)^{-5/2} \tau_*^{1/2} \quad (8)$$

$$(E) \text{ 遷移河床 II (TRANSITION II): } \tau_*' \text{ は } \tau_* \text{ に依存して変化する} \quad (9)$$

$$(F) \text{ 反砂堆河床 (ANTI DUNE): } \tau_*' = 0.264 (R/d)^{1/5} \tau_*^{1/2} \quad (10)$$

(図-4) は実験結果と理論式の比較、(図-5) は若原らが、昭和40年~54年の石狩川伊納地実における
高水流量観測データから実験値と理論式の比較を試みたものである。

2.2 移動床流れにおける平均流速公式

(4)式を指数近似すると(11)式が得られ、(11)式に(5)~(10)式を代入すると各河床形態における平均
流速公式が得られ、これから Manning の粗度係数が逆算される。

$$\frac{u}{u_*} = \varphi_0 = 7.66 \left(\frac{R}{2d} \right)^{1/6} \left(\frac{\tau_*'}{\tau_*} \right)^{1/3} \quad (11)$$

(Eでし $u_* = \sqrt{g R I}$: 摩擦速度 φ_0 : 流速係数)

① DUNE I

$$u = (2.4 \sqrt{g} s^{1/3} d^{1/6}) R^{1/3} I^{1/6} \quad (12)$$

$$n = \frac{(R I)^{1/3}}{2.4 \sqrt{g} s^{1/3} d^{1/6}} \quad (13)$$

② DUNE II

$$u = 8.9 \sqrt{g} \sqrt{R I} \quad (14)$$

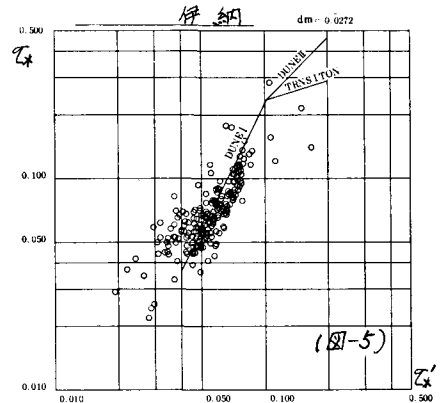
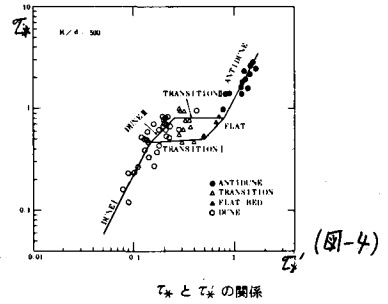
$$n = R^{1/6} / 28 \quad (15)$$

③ TRANSITION I

$$u = 7.67 \times 10^5 (R/d)^{3/2} I^{1/2} R^{1/2} \quad (16)$$

$$n = 1.305 \times 10^{-6} (R/d)^{-3/2} I^{-1/2} R^{1/2} \quad (17)$$

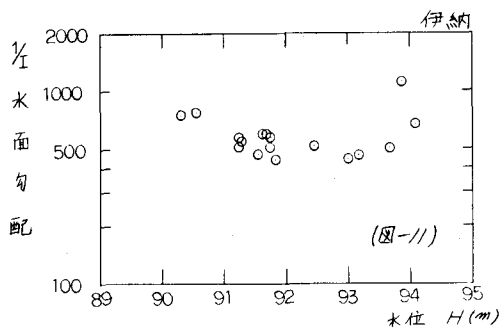
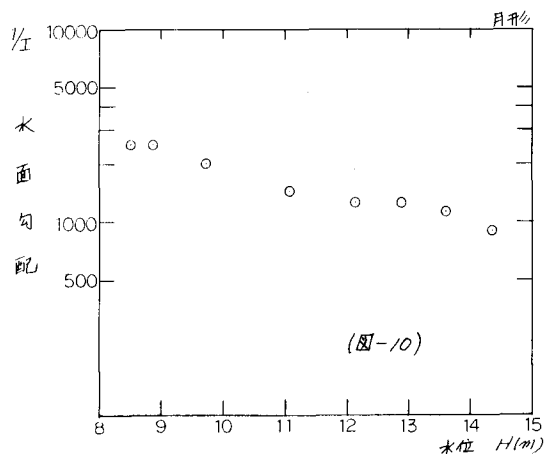
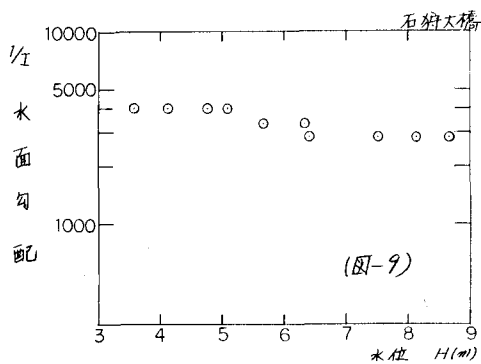
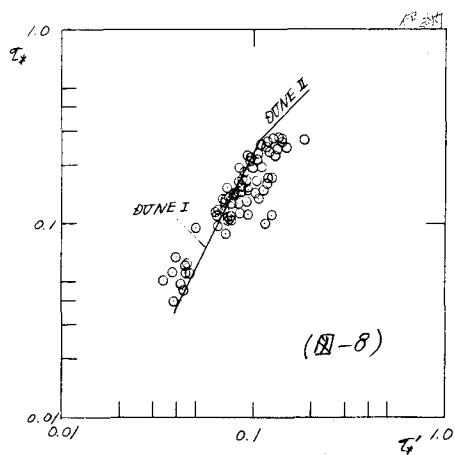
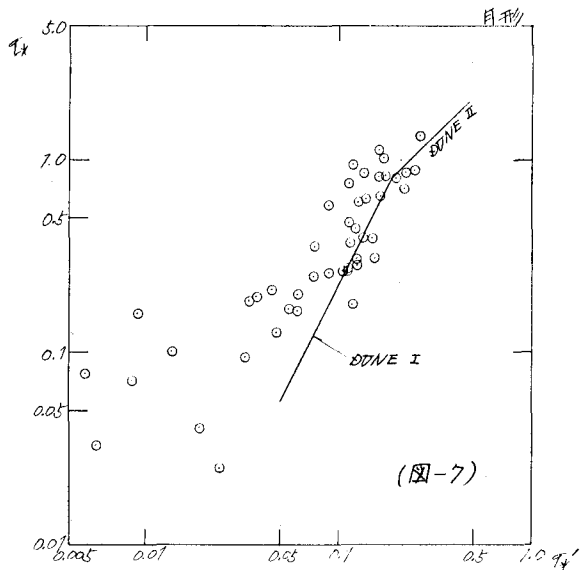
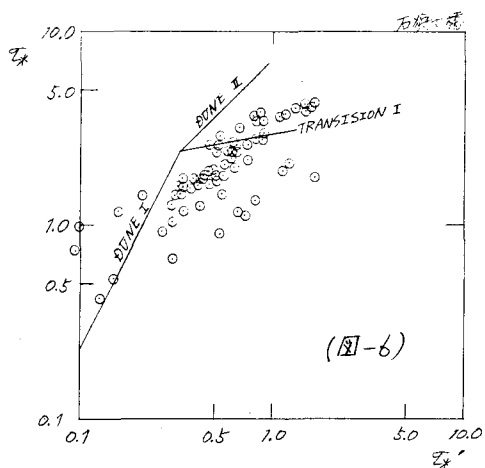
その他にも (ANTI DUNE), (FLAT) についても平均流
速公式が得られるが、本報では用いたないので省略す
る。



3. 石狩川における抵抗特性

3. 1 石狩川における高水流量観測結果

石狩川におけるデータのうち、本報では下流から石狩大橋、月形、伊納の観測データを示す。(図-6)~(図-8)は $\tau_* \sim \tau_{*c}$ の関係、(図-9)~(図-11)は水位 H と水面勾配 I_w の関係である。

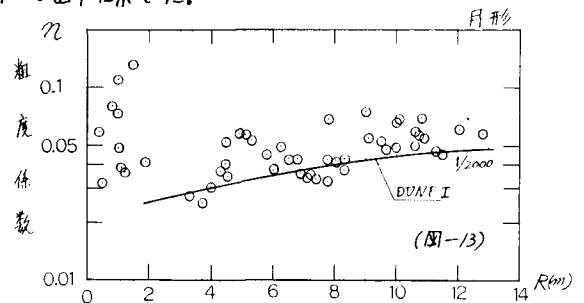
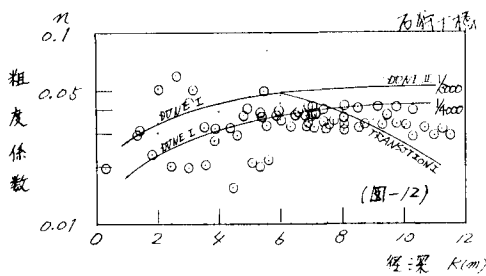


流量観測の方法は、観測地帯において上下流に2断面を設定し(普通間隔は100m)この2断面間で数本の棒子を流下させ、2断面間の流速を測定する。これと同時に2断面の水位を測定し、出水後の断面から2断面の断面積を求め、測線ごとの区分断面積と前述の方法で求めた流速から測線ごとの区分流量を求め、合計をして全流量を求める。

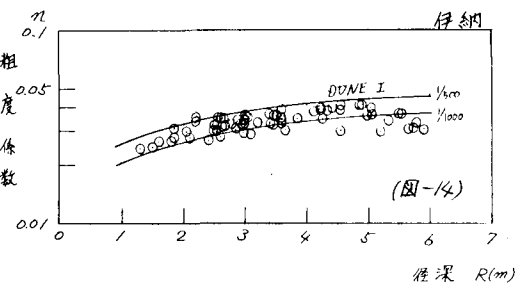
(図-6)~(図-8)の $\tau_b \sim \tau_b'$ の関係は、洪水期間中の全測線の流速 u に対して、その時の実測水面勾配 I_w を用いて(2)~(4)式により求めたものである。尚(4)式中の d は河床材料の平均粒径を使用し、石狩大橋では0.56mm、月形では0.35mm、伊納では27.2mmを使用している。 $\tau_b \sim \tau_b'$ の関係図には(5)~(7)式の理論式も併せて記入してあるが、石狩大橋(図-6)では実測値が理論式より若干早めにTRANSITIONの領域に入る傾向を示している。これは以前より岸上によっても指摘されている。月形橋では τ_b' が0.05以下の小さい値にfallingが目立つが、これは R が小さい高水敷の値で土砂が移動状態に達していないものである。 τ_b' が0.05以上で土砂が移動状態になるとDUNE Iの理論線に良く一致した抵抗特性が見られる。伊納でも月形橋と同様に、 $\tau_b \sim \tau_b'$ の関係はDUNE Iの理論線にほぼ一致している。

3. 2 粗度係数の変化

Hanningの粗度係数は、各測線ごとに実測の流速 u 、水面勾配 I_w 、径深 R を用いて、 $n = 1/4 R^{3/2} I_w^{1/2}$ で得られるが、これを(図-12)~(図-14)に示す。また(13)(15)(17)の理論式は n の関数になっているが、この n として実測の水面勾配(図-9)~(図-11)の範囲を用いて図中に示した。



(図-9)によると石狩大橋の水面勾配は $1/3000 \sim 1/4000$ であるが(図-12)では粗度係数の実測値は理論線を下回る傾向を示している。これは前述のように理論よりも若干早めにTRANSITIONに入る為と考えられる。月形橋(図-13)で R が2m以下では n の実測値が小さくなっているが、これは高水敷の値である。2m以上では勾配 $1/2000$ を用いたDUNE Iの理論式よりも若干下まればあがるが、ほぼ実測値に一致した傾向がみられる。伊納の n の実測値も実測の水面勾配の範囲を用いたDUNE Iの理論式と良く一致している。



4. 天塩川における抵抗特性

4. 1 名寄大橋における高水流量観測結果

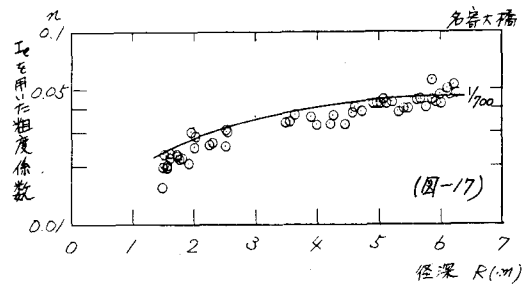
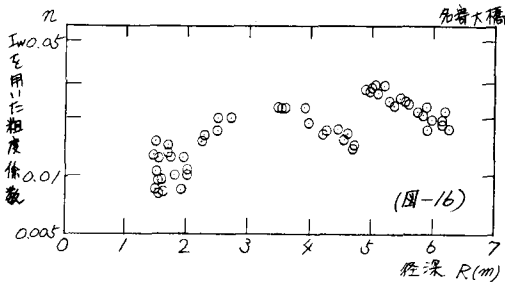
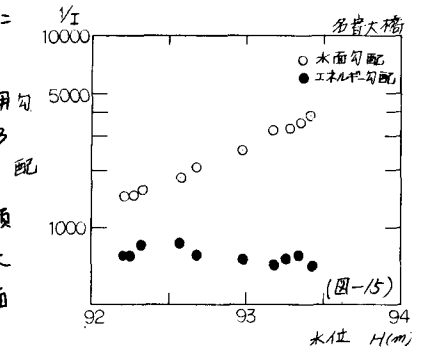
(図-15)は名寄大橋における水位と水面勾配(図中白丸)であるが、ここでも水位上昇に対して勾配は減少する傾向が見られる。この傾向は、石狩大橋・月形橋と逆である。この水面勾配をそのまま用いて粗度係数を計算すると(図-16)のようになり非常にばらつく。そこで(19)式を用いてエネルギー勾配を計算すると(図-15)中の黒丸になる。

$$I_e = I_w + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_1^3} - \frac{1}{A_2^3} \right) \frac{1}{L}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{ただし } I_w: \text{実測の水面勾配} \quad Q: \text{実測の流量} \\ A_1: \text{上流側断面面積} \quad A_2: \text{下流側断面面積} \\ L: \text{断面間距離} \end{array} \right) \quad (19)$$

この場合のエネルギー勾配は、水面勾配が $1/1500 \sim 1/4000$ と変化するのに対してほぼ $1/700$ 程度の一定値になる。このエネルギー勾配を用いて Manning の粗度係数を求めると (図-17) のようになり、 $I = 1/700$ を用いた D'ONE の理論式にもよく一致する。尚、名寄大橋では $d = 14.23 \text{ mm}$ を用いている。

名寄大橋のように水位の上昇に対して水面勾配が一価的に減少する傾向は、菅平、美瑛橋でも今回の洪水中に観察されている。しかし石狩大橋、月形、伊納の場合 (19) 式でエネルギー勾配を計算しても、水面勾配と明らかな相見は見られなかった。



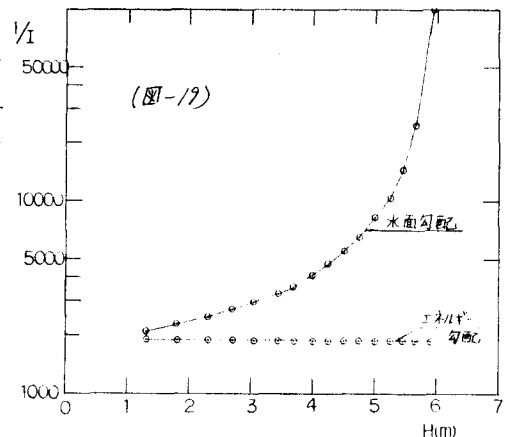
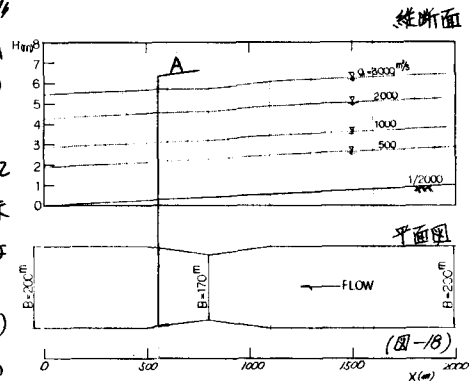
4. 2 水面勾配とエネルギー勾配に関する考察

(図-18) のような、一定勾配で中央部で幅の変化する矩形断面において流量を変化させながら不等流計算を試みると、A 断面での水面勾配、エネルギー勾配と水位の関係は (図-19) のようになり、名寄大橋とよく似た結果が得られる。

水面勾配は水位の上昇とともに減少するが、エネルギー勾配はほぼ $1/2000$ 程度で一定である。実際の河川の断面は、幅・河床高ともに縦断方向に変化がはげしく (図-18) のような単純な形とは比較できないかもしれないが、実際の河川でも場所によれば (図-19) のようなことが考えられる。また (図-18)-(図-19) では Manning の粗度係数は $n = 0.025$ で一定としているが、前述のように実際の河川では流量・水位の変化に伴ってこれも変化しているのどエネルギー勾配と粗度係数の関係も不明である。

しかし、名寄大橋の例のように水面勾配とエネルギー勾配の大きく異なる現象は (図-18)(図-19) のような不等流効果が考えられるので (19) 式のような形で不等流効果を考慮したエネルギー勾配を見積る必要があると考えられる。

名寄大橋の場合、エネルギー勾配を $1/700$ と一定にしても (図-17) のように粗度係数の変化を説明できることがわかったが、このようなことは菅平、美瑛橋でも同様の結果が得られている。この名寄大橋における $1/700$ という勾配がどのような物理的意味を持つのか現在のところ不明であるが、天塩川の平均河床高を縦断的にプロットしてみると、名寄大橋の河床勾配に近い値になっているようである。



5. 結論

現在、開水路の粗面流れに対しては、Manningの平均流速公式が広く用いられているが、Manningの平均流速公式の物理学的根拠はあくまでも定性的な考えに基づいており、実際河川のように河床が移動状態にある場合、Manningの n 値も変化する。

今回の洪水中の観測資料中에서도 Manningの n 値は水位の変化即ち掃流力の変化に伴って変化しており、これは河床に何らかの河床形態の変化が起きていることが原因の一つとして考えられる。

掃流力と河床形態の關係に着目した、岸・黒木の理論の基礎となる実験データは、 R/d が10～2000程度、また河床材料の粒径はせいぜい数mmである。これに対して石狩大橋では R/d は最高で2000程度に達しており、伊納での河床材料の平均粒径は27.2mmでむしろレキに近い状態である。また流量観測資料中の流速のデータは、浮子を用いて測定されたものであり、河道形状や二次流の影響も受けやすく、精度的にも問題はある。しかしながら、観測値は全般的にはDUNE IまたはDUNE IIの理論との適合度は良好であり、洪水期間中の抵抗の変化をある程度説明できようである。

(図-12)～(図-14)および(図-17)から洪水中のManningの粗度係数は、水位の変化とともに変化するが、これはエネルギー勾配が的確に与えられれば理論的予測が可能であることがわかった。

昭和56年8月洪水は、治水史上まれにみる大洪水で、その被害は甚大であったが同時に我々にとって無いくの貴重な流量観測データを与えてくれた。本報ではまだ、解析が十分であり、なおごく一部の紹介に終ったが、今後さらに解析をすすめることにより、治水計画にさらなる効果は与えらるう。

6. 謝辞

今回の資料の収集に協力していただいた各南興建設部の方々、またいろいろ御助言いただいた北海道大学工学部助手 黒木先生・森先生 並びに北海道南興局河川計画課 恒松係長に心から感謝の意を表します。

参考文献

- ① 土木学会北海道支部 研究発表論文集 昭和47年度

「沖積地河川における 水深-流量の予測」

岸力・黒木幹男

北大工学部研究報告第67号

昭和48年6月

「移動河床における河床形状と流体抵抗」

岸力・黒木幹男

- ② 北海道南興局技術研究発表会論文集 昭和55年度

「急流河川における流体抵抗について」

清水康行・堀内宏

柏木才助・中田源洋

- ③ 昭和50年度文部省科学研究〈昭和50年8月風水害に関する調査研究〉

「Ⅱ-1. 石狩川における昭和50年8月洪水について」

岸力・板倉忠興

森明臣・黒木幹男

- ④ 石狩川昭和56年8月洪水速報

石狩川南興建設部