

洪水時の砂床形態の変化
Changes in the Sand-bed Formation during Flood

自由学園 木下良作 Ryosaku KINOSHITA

Summary

The author dropped a sonar sensor, fastened to rope, from a bridge into the river, allowing it to drift a certain length on the flow. Repeating this operation, he accumulated a number of parallel path-line measurements. He used this method to observe the three-dimensional formations of the sand-bed along with their shifting process. It was thus verified at the flooding of R.Ishikari $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ that the sand-bed was flat while the water increased and that there was a remarkable growth of sand-waves during the period of the water's decrease.

1. はじめに

著者はさきに洪水流の増水期と減水期の間には、その乱流強度や構造性において、著しい相違が見出されることを指摘した。¹⁾そしてそのときの河床形態との関連性の検討を、今後の課題の一つとして提起した。この洪水時の河床形態の観測は、永らく問題にされながらもこれまで成果が得られなかったものであった。そしてそれは単に流れの構造や、浮遊物・流砂、あるいは流れの抵抗等の問題に関与するのみならず、河川構造物の根底に関係する重要な課題であると考えられる。著者は1985年この研究に着手した。²⁾

2. 調査の方法と経緯

洪水時の河床音探調査をこれまで阻んできたものに、その大流量、高流速、悪天候、突発性、作業の危険性等がある外に、その最大の理由として、流下する夥しい“ごみ”を挙げることが出来よう。巨大な流木や、北国の融雪時には流水がある。それらが当れば機器や施設は容易に破壊されるし、また水面や水中の多量の草根がまとわりつけば、それだけでも十分な障害になる。したがってそれらをクリアーできる機器、方法を創案しなければならない。著者は1985年と'86年、CTIS(株)と共同で利根川出水時に種々のテストを行い、'86、'87兩年、北海道開発局に協力して天塩川の融雪出水時の観測を実施した。その間、機器や手法上の数多くの改良を図り、ある方法に到達して、'88年、天塩川・石狩川の融雪出水・そして8月末、石狩川のピーク流量(暫定) $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水時の観測を、アジア航測(株)の協力を得て成功した。

観測法は簡便な超音波魚群探知機を用い、センサーをある浮体にとりつけ、橋上からロープをつけて、ケーブルとともに流下させる。記録は橋上で行う。一定距離自然に流下させ、所要時間とその流下方角を測定し、ロープで引戻す。すなわち流れに逆らわず、流れとともにその流跡下の水深変動を観測・記録し、それを適宜な

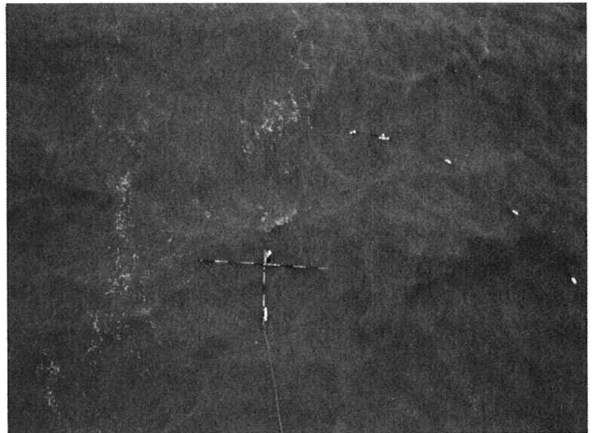


写真-1 使用されたセンサー付き浮体。風波に対しても揺れが少ない。(天塩川)



写真-2 水位上昇期③の湧き返りのはげしい水面。

ボイル面両側後背に強い渦も見られる。(石狩川)

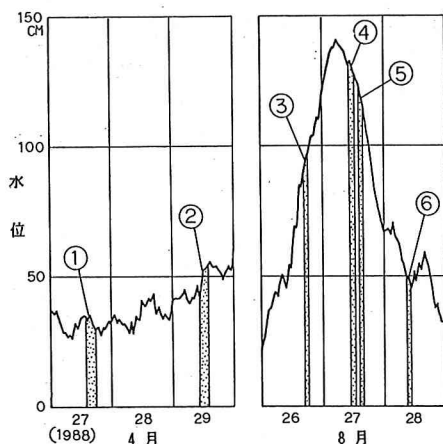


図-1 石狩町ハイドログラフと観測時点

間隔で並列することにより、面的な水深分布・河床形態図を得ようというものである。

観測対象は砂床の緩流河川であるので、急流のような水面の波立ちの恐れはないが、しかし強風時の風波は障害となる。使用された超音波は200KHZ、ビーム角 12° 、したがって浮体のピッチング、ローリングともにその揺れは 6° 以内であることが望ましく、また取扱いに便利のように軽量で、引き戻す際の抵抗も極力小さくしなければならない。多数の浮体の試作とテストの結果、写真-1にみられるような最も簡単なものが、最良の浮体として得られた。すなわち2本の竹竿を十字に重ねて四隅を鉄線で張ったものであるが、風波を受ける際は流下時のその波数を数えておけば、記録紙上から容易にその上下動を取り除くことができる。

この方法は流跡によるため、流下距離が長くなると、下流程その測線の並列間隔が乱れる。そのため現在は50m長にとどめているが、その幅の河道横断帯の詳細な河床コンター図が得られることになる。数名の要員で観測時間は一測線当り2～3分を要しており、もし厳密な同時性が求められる場合には、機体数を増加させれば良い。

3. 石狩川における観測

石狩川の観測は、河口より5.5 km上流の石狩河口橋で行われた。図-1は石狩町（4.4 km左岸）におけるハイドログラフと観測時点を示すものである。（観測番号を以下丸枠に数字で示す）①、②は4月の融雪出水期、低水位からの上昇過程、③、④、⑤、⑥は8月末、北海道中部の前線性豪雨による出水ピーク流量（暫定） $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ に達した際、その立ち上りの最ものはげしい時期③と、ピークを少し過ぎた④、さらに水位下降中の⑤、および平水に復した⑥に観測を行なったものである。

著者は先に洪水時の表面流況の変化とSS値の推移について記したが、¹⁾今回の石狩川における流況変化にも同様なことが観察された。写真-2は水位上昇期の、湧き返りの極めてはげしい時点③の、表面流況を示すものである。河底からまき上ると見られるボイルの表面は黒味を帯びるまでに濁り、またその拡がる斑紋の流下速度はその周辺より若干遅いために、その後背部には小さいが、水面がくぼむ程の強い渦を伴う場合が多い。今回は表面採水は行っていないが、過去の石狩川の例（56年8月24日台風15号出水）でもそのSSピークは水位上昇期に生じており、今回も③から水位ピークに至る途中時にそれが現われたとみて、ほぼ間違いないであろう。これに対し水位ピークを過ぎた④では、なお高水位ながら流れの乱れは穏やかになり、ボイル斑紋も消え、濁り色も明るい一色となった。⑤では一層それが進み、⑥で平常に復した。

図-2～7は観測された「50m幅横断帯の河床形状」の中、主流部分の11測線（横断距離40m）を鳥瞰図風に示したものである。大局的には左岸側は弯曲凹岸の深掘れ部へと傾斜し、右岸側は橋脚後流の洗掘およ

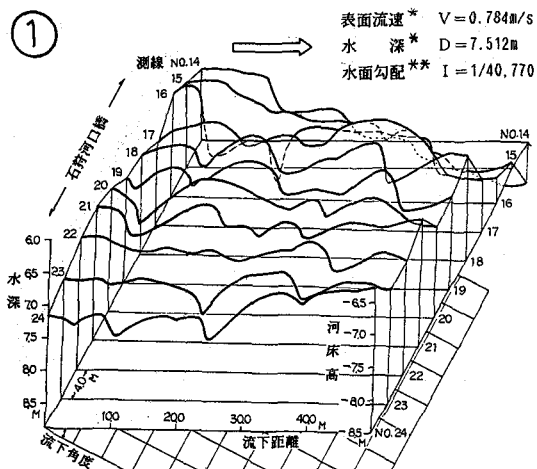


図-2 石狩川河床形態鳥瞰図

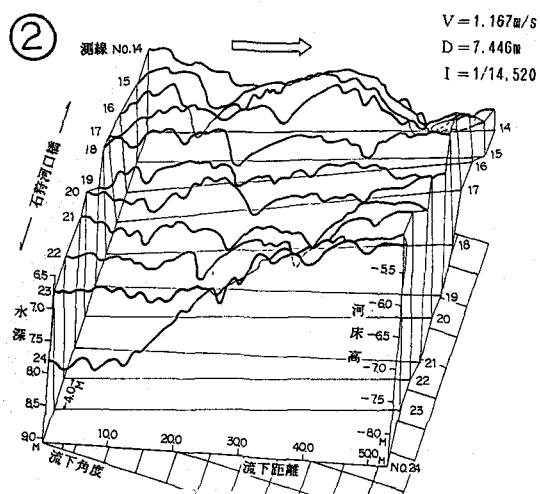


図-3

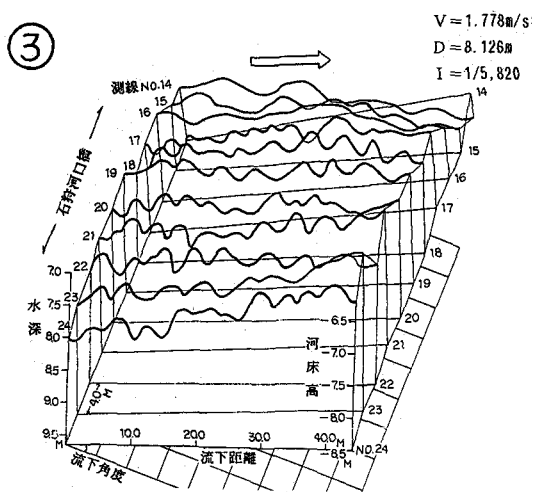


図-4

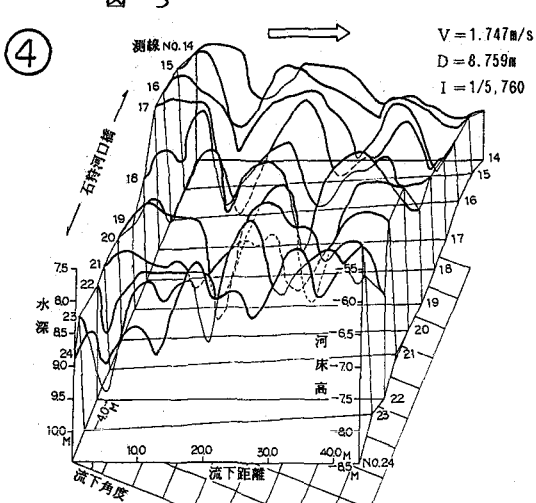


図-5

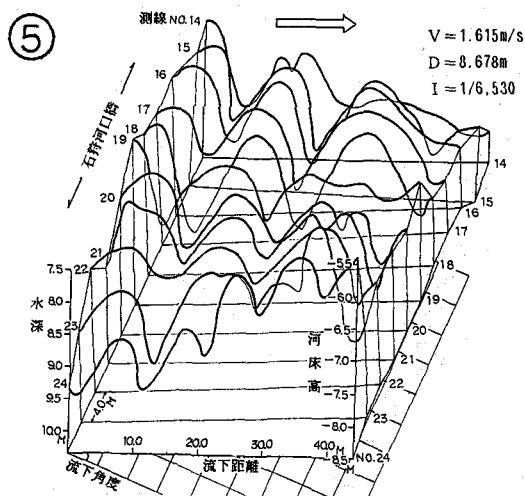


図-6

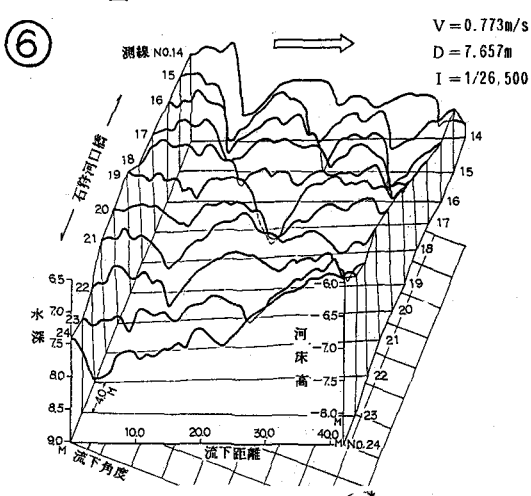


図-7

(** 11測線平均
 ** 釧路・石狩町間平均)

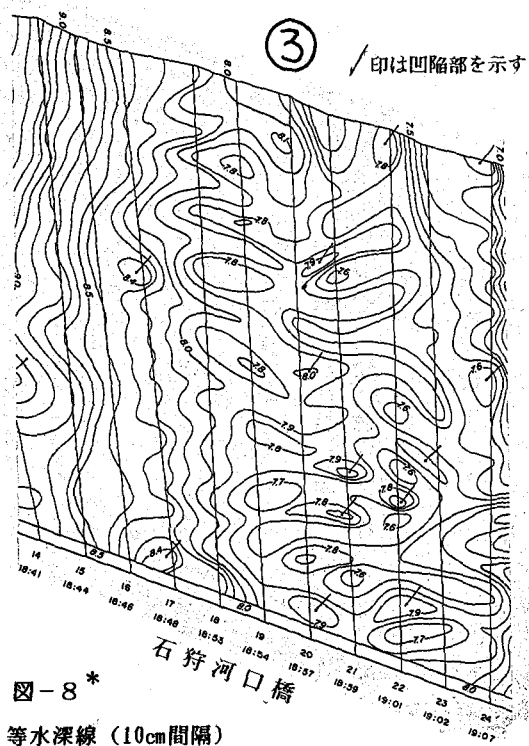


図-8*
等水深線 (10cm間隔)
による河床形態図

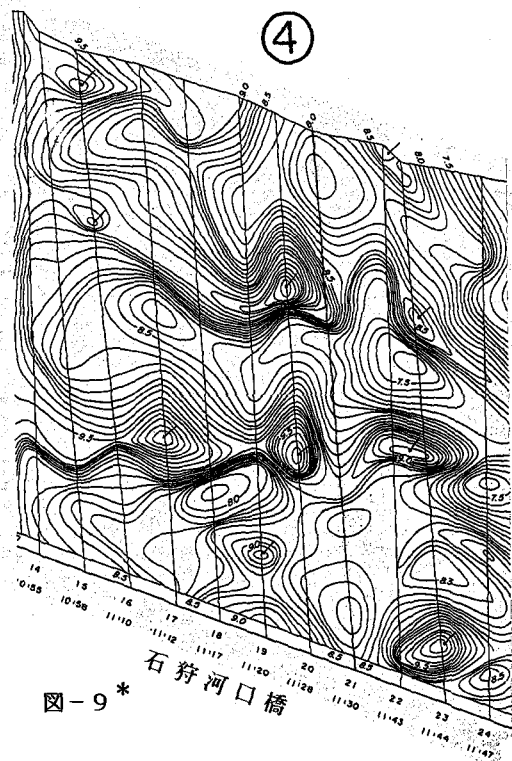


図-9*

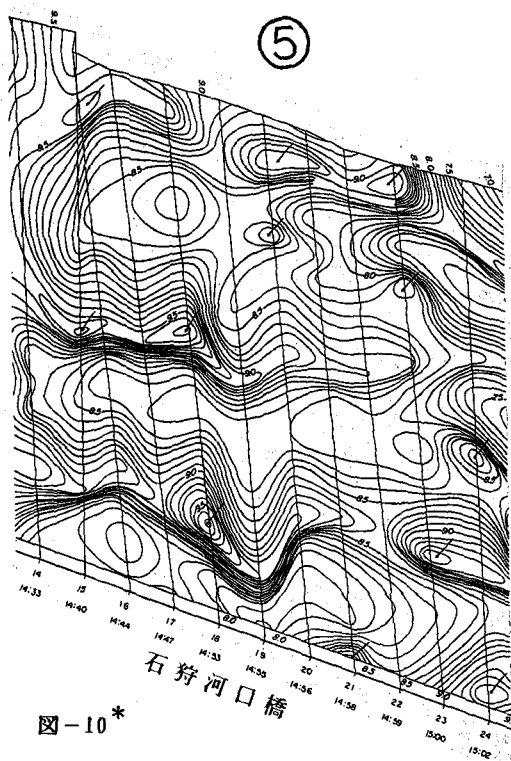


図-10*

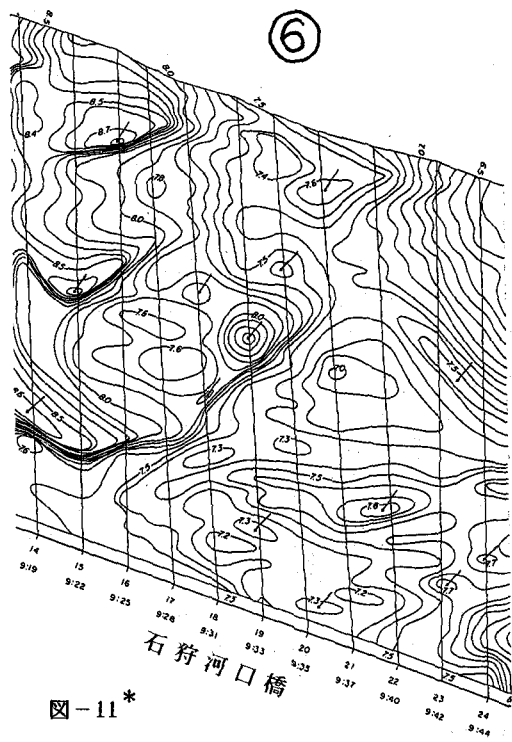


図-11*

(* 石狩川開発建設部資料より)

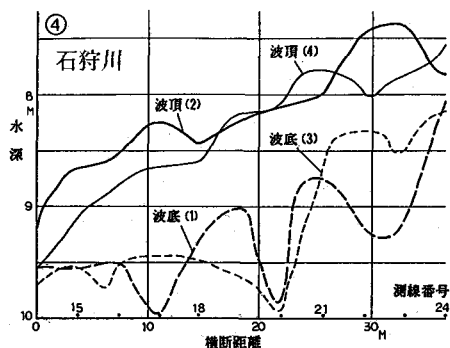


図-12 流向による横断形透視図④

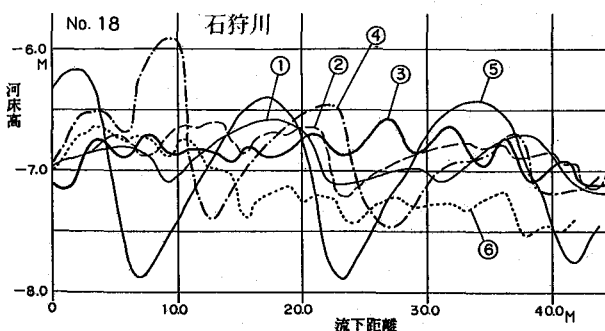


図-13 測線No.18の河床縦断面変化図

び堆積域にと接してゆく。先ず図-2、①をみると、測線No.18、19付近に代表されるような、前方に傾いた、波長約15m、波高約0.5 mの河床波形成が認められよう。(仮にA河床波と呼ぶ)②ではA河床波の他に波長・波高ともに小さい河床波が乗ってきていることを認めることがきよう。(仮にB河床波と呼ぶ)③のはげしい水位上昇期の河床形の第一の特徴は、押し並べて平坦性が増していることである。そしてA河床波の痕跡は殆ど認められず、B河床波が発達したかのような、小さい河床波が一面にこれを蔽っている。④の水位下降期になると一転、背の高い河床波が現れた。波長はA河床波と大差ない。波高のみ増大したかの如くである。そして⑤になると一層整然と波列が揃い、2次元性を増してきた。そして④、⑤共にB河床波は認められない。⑥に至り、A河床波は著しく波高を低め、またB河床波に覆われだした。そして同じ水位の②の状態と似通ってきた。(一夜にして⑤が⑥になり、また⑥が②に似るところから、①~⑥をこの洪水の1サイクルの河床変化と見なして、大差ないであろう)

ここで問題になることの一つは、湧き返るような乱れのはげしい水位上昇期の河床は平坦化；流れの表面を見るかぎり一転して穏やかさを増す水位下降期には最も高さを増した河床波が発達する、ということである。(ただしA河床波について、B河床波はよく分らない)いま③~⑥を等水深線による河床形態図として表現すると、図-8~11となる。鳥瞰図ではかなり2次元的に見えるA河床波も、コンター図ではその3次元性がうかがわれる。波頂、波底の連なる平面形のみならず、その横断形を透視すると図-12となり、特に波底にはある間隔にホール状の深まりを呈している特徴が見出される。またこれを縦断的に河床標高で重ね合わせると図-13となる。図-13は測線No.18の一例に過ぎないが、③の平坦化は他の諸測線の重合図にも一様にうかがわれ、また④、⑤の水位下降期の河床波発達、新たな洗掘と堆積を伴ったものであることが明白である。波底でホール状の深掘れを形成するような、流れの3次元的な構造はどのようなものであろうか。またその時すくなくとも表面流において(水位上昇期に較べて)著しく乱流強度が低下しているのは何故であらうか。

流れの構造を考える上で無視できないのは、洪水時、水深規模でよく発達が見かけられる“並列らせん流”の存在である。著者の洪水流航測に関する諸論文にしばしば指摘したが、表面流速の遅速の分布が、水深の2倍程度の間隔で縦縞模様を呈する現象、といってもよいであろう。それは水位上昇期の乱流強度増大時、ボイル斑紋の配列などと共に明瞭に現れる場合が多いが、今回の観測において、センサー付浮体の各測線の流下時間から、その流下距離平均の表面流速が求められている、その横断方向の配列には、ボイル斑紋のあらわれない穏やかな流れからも、似たような遅速分布が認められるようである。しかしこれに関しては今後さらに詳細な観測によりその検証を進め得る可能性があり、それと河床波観測と、そして流れの内部構造として差し当り濁度の鉛直分布の観測の可能性が考えられるので、その三者の同時的観測を進めることによって、上述の問題は一層明らかにされてゆくであろう。

4. 天塩川における観測

石狩川にみられた洪水時河床変動の特性は、出水規模は小さくとも前年度、天塩川融雪出水の観測で既に捉えられていた。³⁾一方、'88年春の天塩川観測では、'87年夏に進行した浚渫工事により別な新たな問題に遭遇した。橋の直下の浚渫の困難から、それが低い床固め堰のような形で残り、下流に広い洗掘域が生じた。それは融雪出水期間中に累積的に進行し、その洗掘域の河床変形の特徴は、全般的な平坦化であった。

著者は先に航空写真により、洪水時の砂洲形成とその挙動について調査した。¹⁾阿賀野川の例にみられるように、その形成は水位上昇中にも下降中にも継続し、その總和としての下流への移動が生じた。砂洲は水深の数十倍の河道幅の、そのまた数倍の波長で形成される大きな河床波である。それは一洪水の時間の水位、流量の変動程度では、消滅したり生成したりはしない。しかし河道に取水堰のような低い横断工が設けられた時など、その下流に継続的に進行する洗掘域では、砂洲形成は衰弱化あるいは消滅し、水流蛇行も弱まって直流化することは、しばしば目撃されるところである。また水路実験においても洗掘域には砂洲形成は起りにくく、平衡あるいは堆積域で発生しやすいことは良く経験されるところである。それは定常流の実験において然りである。

1986年、'87年の天塩川の観測で、河床一面に見られた水深規模に対応する小さな河床波は、'88年の洗掘域河床では殆ど消えていた。そして融雪期間中のある小出水の水位下降期に、我々の観測チャート上に僅かにその姿を見せたのであった。

5. むすび

水流中に運ばれる物質がその流水において過剰になり、過飽和で放出し堆積せざるを得なくなった段階で、河床波の発生が誘起されやすく、逆に、流送する力が物質の量に対して余裕があり、次第に流れの中に取りこんでゆく状態、すなわち洗掘傾向の河床・水流の状態で形成されにくいことは、いろいろな規模の河床波において共通のようである。そして変形速度のはやい水深規模の河床波(A)は、非定常流という強制的な洗掘、堆積の環境変動に対応して、その発生、消滅の振舞は鮮烈であった。石狩川の6回の観測の中、①、②、⑥はこの方法によらず、例えば舟を出しても我々の手にし得る河床波である。しかし③、④、⑤は洪水最中にのみ現れる河床であり、洪水時に測らない限り我々の眼にし得ないデータである。すなわち今回捉えた③、④、⑤は、いわば“幻の河床波”であったともいうことが出来よう。これからの課題は変化の時系列性をより詳細に観測することと、既述のように流れの内部構造との関連をより明らかにしてゆくことである。また観測水域の拡大や、観測対象河川を増加させることも重要であろう。さまざまな河床波の分類や名称の特定などは、それぞれの形態やその形成支配要因がより明らかになった段階で、新たに検討し直すべき事柄であるように考えられる。

謝 辞

本課題に関する著者の発意と工夫・経験をいち早く採用された北海道開発局、ならびに調査に参加・協力されたアジア航測(株)、CTIS(株)に対し、ここに心からの謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題、土木論文集 No.345、1984-5
- 2) 同：洪水流の河底境界面の可視化、流れの可視化 Vol.7 Suppl.1987-10
- 3) 同：洪水時の沖積作用調査と適正複断面河道に関する実験的研究、文部省科研費自然災害特別研究、No.A-62-1(研究代表者 岸 力)1988-3