

大規模河道改修事業後の河道変化実態と 水理量縦断分布を用いた予測の可能性

ACTUAL CONDITIONS AND PREDICTION ON THE RIVER-CHANNEL
CHANGES AFTER LARGE-SCALE IMPROVEMENT IN THE KITA RIVER

武内慶了¹・福島雅紀²・金澤裕勝³

Yoshinori TAKEUCHI, Masaki FUKUSHIMA and Hirokatsu KANAZAWA

¹正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 (〒305-0804 つくば市旭1)

²正会員 工博 (独)土木研究所水工研究グループ河川・ダム水理チーム(〒305-8516 つくば市南原1-6)

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室

In the Kita River, several large-scale river improvement works including major bed excavation were enforced from 1998 to 2003. After the works, the rivers experienced several floods which involve river-channel changes. The authors investigated the actual conditions of river-channel changes using longitudinal distribution of mean river bed and cross sectional form of river bed. The inclinations of cross sectional form change after the works were different from before works, especially the section which reduce mean river bed and around the edge of improved section. And then, the authors calculated the longitudinal distributions of friction velocity with quasi-2D non-uniform flow computation. As a result, the linear relationships of actual conditions of river-channel changes before and after the works, and the the incline using friction velocity and river surface width were acquired.

Key Words : river improvement works, excavation, river channel change, quasi-2D non-uniform flow computation

1. はじめに

河道改修の多くは流下能力の増大を必須事項とし、その手段は河道掘削が實際上、最も有効であると言える¹⁾。近年、河道掘削など河道設計を実施するにあたり、その効果及び影響について、治水・環境の両面から検討する必要性が高まってきている(例えば福岡²⁾、藤田³⁾、大沼・藤田・佐藤・西本・松木・井上⁴⁾)。しかし、河道掘削後、出水を経験し時間とともに現れる河道の変化、つまり掘削の効果及び影響の持続性については、必ずしも十分に考慮できずに河道掘削形状を検討しているのが現状である。効果的かつ効率的な河道管理を実施するためにも、治水・環境機能の持続性を定量的に評価した上で、河道掘削形状を決定していくことが重要であるが、そのためには、評価するための予測技術の習得及び体系化が必要と考えられる。近年、河道の変化を予測するために、その河道の変化実態を把握し、支配的な現象を適切に組み込んだ技術が蓄積され始めている(例えば藤田・MOODY・宇多・藤井⁵⁾、藤田・李・渡辺・塚原・山本・望

月⁶⁾、服部・瀬崎・伊藤・末次⁷⁾、井上・大沼・藤田⁸⁾)。しかしながら、技術の体系化を考えるにあたり、河道変化のパターンとそれを予測する技術レベルの対応関係を明確にしていかなければならない。そこで本研究ではまず、過去に大規模な河道改修が実施された五ヶ瀬川水系北川を対象とし、1～数出水と比較的短期間で生じた現象について、流量規模及び改修の有無といった条件の違いによる河道変化の特徴を縦断的、横断的に調べた。次に、もう一度基本に立ち返り、得られた河道変化を平均河床高の変化として代表させ、河道計画検討時、一般に用いられる準2次元不等流計算から得た水面形や摩擦速度の縦断分布を用い、1次元的な手法による短期的な河道変化に関する予測可能性について調べ、河道管理への活用可能性について検討した。

2. 対象河川及び河道改修の概要

(1) 北川の平面形状と河道特性

五ヶ瀬川水系北川の下流部(河口より約16km区間)で

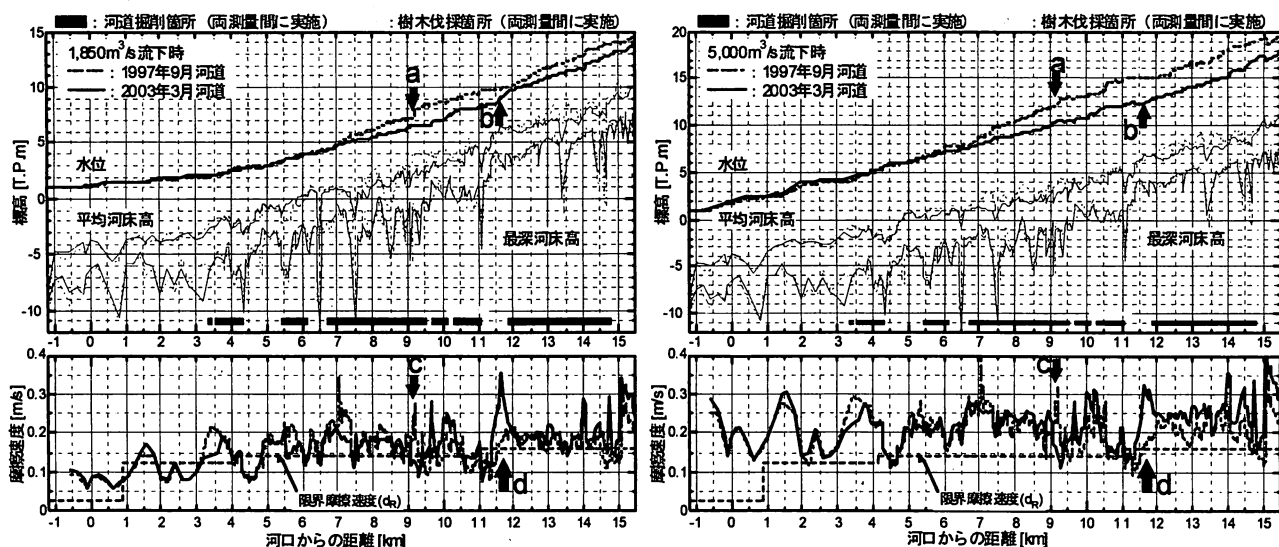


図-1 激特事業前後の洪水流下特性の変化

は、河道が山間部を縫うように存在し、谷底平野の幅が堤間距離の2～3倍と狭いため、数kmごとに曲率の大きな湾曲部が形成されている。また、水面幅は流下方向に2倍前後の大きな変動を繰り返す。河口から～16kmの間はセグメント2に区分され、そのうち河口～1km区間でセグメント2-2、1km～4.2km区間でセグメント2-2～2-1、4.2kmより上流でセグメント2-1に区分される。また、4.2kmより上流において、河床材料の代表粒径は25.8～35.4mm、河床勾配は1/1,500～1/1,000となっている。熊田水位流量観測所（14.8km地点）において、平均年最大流量は1,850m³/sである。

(2) 河道改修の概要

1997年9月、台風19号に伴う豪雨により、熊田観測所において、ピーク水位がT.P. 16.79 m、ピーク流量が約5,100m³/s（以下、有効数字2桁で表示）と既往最大の出水が生じ、堤防決壊や家屋倒壊・浸水、交通網の寸断等、広範囲に渡る甚大な被害が発生した。この災害を契機に河川激甚災害対策特別緊急事業（以下、激特事業と呼ぶ）が採択され、築堤や高水敷掘削、樹木伐採等の事業が実施された⁹⁾。本激特事業の特徴は、河口付近から上流約15kmまでの区間において、全川に渡り改修、特に高水敷掘削が実施されたことにある。

次に、激特事業による河道特性の変化を調べる。図-1に、河道改修前である1997年9月河道と、概ね改修が終了した2003年3月河道における準2次元不等流計算結果を示す。左図は平均年最大流量流下時（1,850m³/s）、右図は既往最大流量規模流下時（5,000m³/s）の結果である。河道改修により、河口から6～7kmより上流側で水位低下が認められる。改修前に9.2km付近（図中a）で水位のせき上げが生じていたが、改修によりこれが解消され、改修後には11.6km（図中b）付近に新たな水面勾配の変化点が生じた。摩擦速度の縦断分布は、河道を全体的に見た場合、河道特性を変化させ得るような違いは見受け

表-1 河道変化実態の分析対象河道

	出水規模	ピーク流量	対象河道	比較河道
改修前	中規模	2,200m³/s	1993	1990
	大規模	5,100m³/s	1997.9	1990
改修後	中規模	2,000m³/s	2003.9	2003.3
	大規模	4,900m³/s	2004.12	2003.3,9

られないものの、水位縦断分布の変化に対応するように、摩擦速度の縦断分布が局所的に変化している箇所がある（図中c,d）。このような局所的な変化は、河道掘削及び樹木伐採が実施された一連区間の端部に良く見られる。本論文では、水位や摩擦速度の縦断分布に影響を与える河道改修として、河道掘削と樹木伐採を対象に、河道変化の特徴が改修前後でどう変わったか調べる（以下、河道改修とは、河道掘削及び樹木伐採のことをいう）。

3. 流量規模、改修の有無による河道変化実態

横断測量データ及び過去の出水履歴から、流量規模及び河道改修の有無による河道変化の違いについて、平均河床高の変動量と横断形状の変化を対象に調べる。表-1に河道変化実態の分析対象河道を示す。

(1) 平均河床高から見た河道変化

出水前後の測量成果から平均河床高の変動量を算出し、その縦断分布の変化を調べる。平均河床高の算出は以下のように行った。横断測線の向きに若干のずれが生じていることがあったため、横断図が重なり合うように調整した。激特事業の契機となった1997年9月出水直後に実施された測量成果を基準とし、不等流計算を実施した。基準となる河道において、計算結果から流量規模別の水面幅及び位置を読み取った。他の測量成果を含め、基準

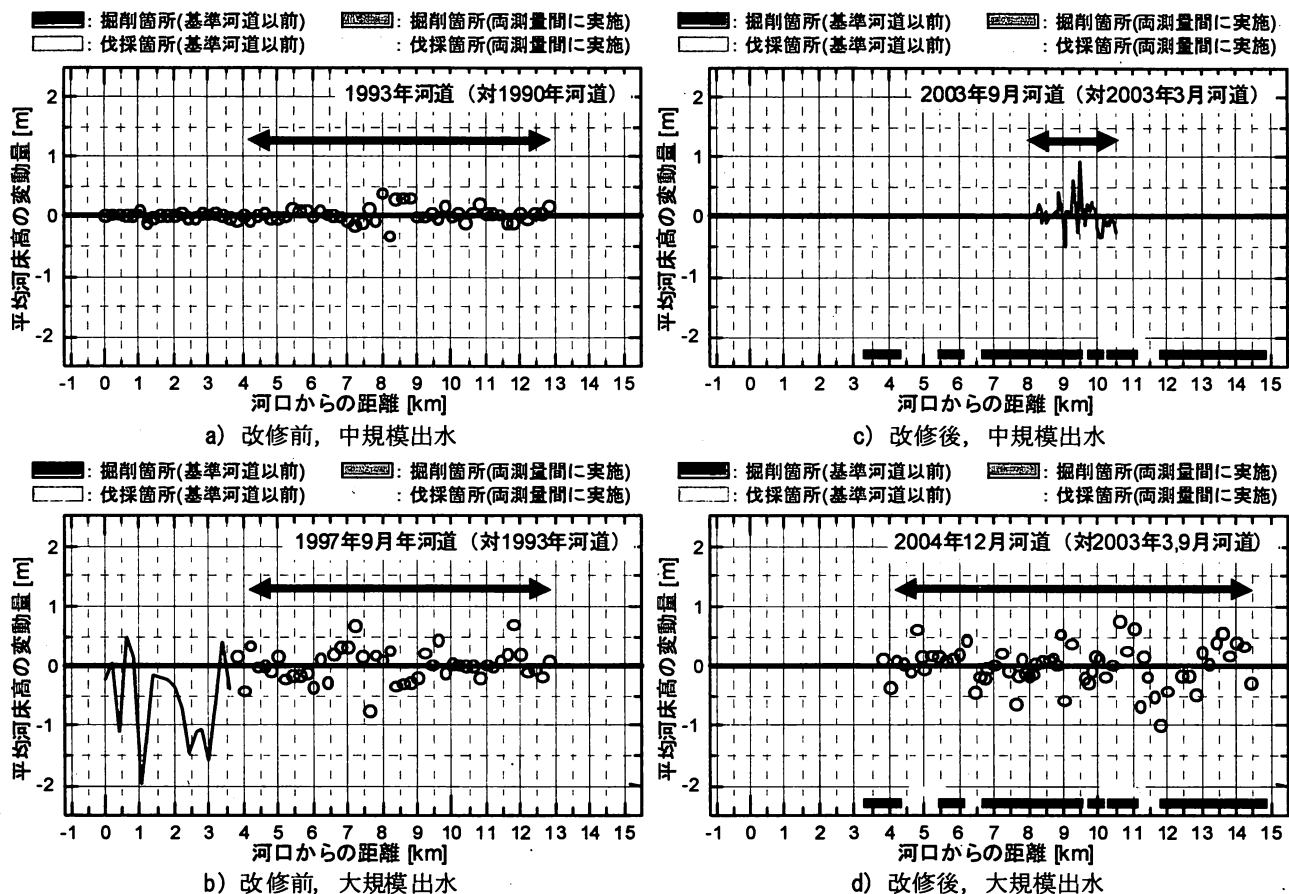


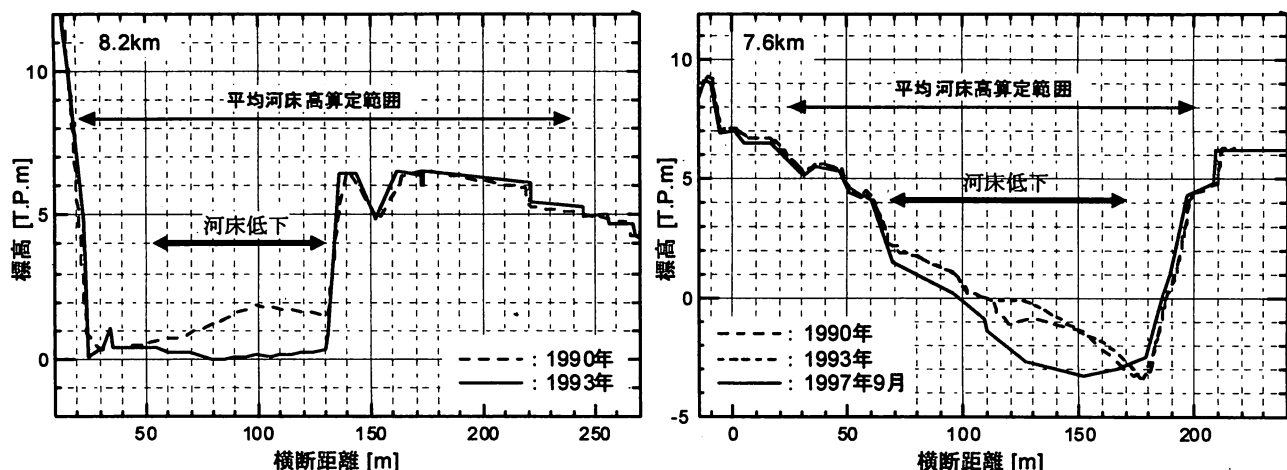
図-2 平均河床高の変動量縦断分布

河道より得られた水面域の範囲内における河床高の平均値を算出した。

図-2に、平均年最大流量流下時の水面域における平均河床高について、前回測量成果から得られる平均河床高の変動量の縦断分布を示す。これらは1~3出水と、短期間での平均河床高の変化量を示している。全ての河道に測量成果が得られているのはセグメント2-1区間 (4.2kmより上流側) であるため、本論文ではセグメント2-1区間に限定し、結果を述べることにする。まず改修前の平均河床高変動量の特徴を調べる。中規模出水時 (図中a)) では、平均河床高の変動量が最大0.4m程度であるが、変動が見られる区間は8km~9kmの範囲に限定されており、縦断的に見れば平均河床高は概ね安定傾向にある。一方、大規模出水時 (図中b)) では平均河床高の変動量が最大0.7~0.8m程度となっており、変動が見られる区間は広く分布している。次に改修後の平均河床高変動量の特徴を調べる。中規模出水時 (図中c)) では、対象区間が8km~10.5kmに限られているものの、この区間において平均河床高の変動量は最大0.5~0.9mとなっており、大きな変動が見られるのは河道改修が実施された一連区間の端部付近に良く見られる。一方、大規模出水時 (図中d)) では、平均河床高の変動量は最大0.8~1.0m程度となっており、この場合も河道改修が実施された一連区間の端部付近に大きな変動が見られる。

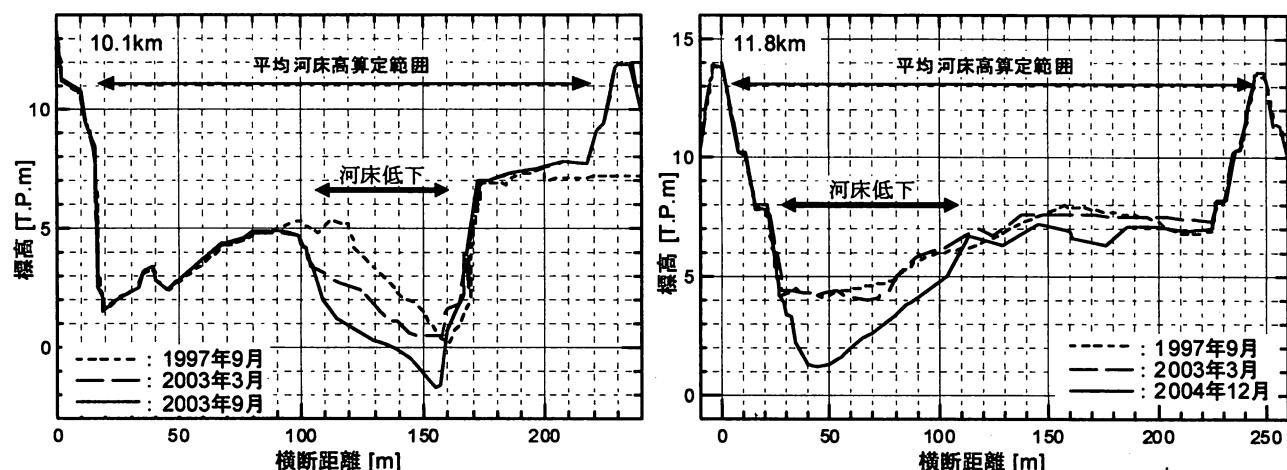
(2) 横断形状変化から見た河道変化

図-2a), b) から、平均河床高に大きな変動が見られた断面を抽出し、中規模及び大規模出水による横断形状の変化の特徴を調べた。まず、改修前の横断形状変化の特徴について述べる。平均河床高が減少した断面の特徴を図-3に示す。図-3a) 及びb) はそれぞれ改修前の中規模出水時、改修前の大規模出水時に見られた横断形状変化の特徴を示している。図-3a) に示す8.2km地点は直線部に位置しており、図-3b) に示す7.6km地点は湾曲部に位置している。最深河床高はあまり変化せず、内岸側の河床が低下した。横断形状を全体的に見れば、出水時、単位幅流量が相対的に大きい範囲が広がったように見える。平均河床高が増加した地点は湾曲部によく見られ、最深河床高があまり変化せず、内岸側に存在している砂州部に土砂堆積が見られ、砂州が発達したり、平水時の水面域内において、河床横断形状を概ね保ちながら河床が上昇する変化が見られた。なお、流量規模によらず、平均河床高が安定傾向であった断面は、横断形状について、前述にあるような明確な変化が見られなかったことを確認している。これらのことから、改修前における横断形状変化の特徴は、変化の量は異なるものの、流量規模によらず同様の変化パターンを示すことがわかった。特に平均河床高が減少する場合の横断形状は、まず流量を多く受け持つ範囲、つまり主流幅を増加させるように変化するようであった。



a) 中規模出水時の横断形状変化の特徴を示す一例(8.2km) b) 大規模出水時の横断形状変化の特徴を示す一例(7.6km)

図-3 平均河床高が減少した地点における横断形状変化の特徴 (改修前)



a) 中規模出水時の横断形状変化の特徴を示す一例(10.1km) b) 大規模出水時の横断形状変化の特徴を示す一例(11.8km)

図-4 平均河床高が減少した地点における横断形状変化の特徴 (改修後)

次に改修後の横断形状変化の特徴について述べる。平均河床高が減少した断面の特徴を図-4に示す。図-4a)及びb)はそれぞれ改修後の中規模出水時、改修後の大規模出水時に見られた横断形状変化の特徴を示している。図-4a)に示す10.1km地点は直線部に位置しており、図-3b)に示す11.8km地点は湾曲部に位置している。両断面ともに、改修の一連区間の端部に位置し、当該断面において改修が行われていないことが共通点として挙げられる。両断面ともに最深河床が2~3m程度低下し、出水時、単位幅流量が相対的に大きい範囲では、河床を鉛直方向に移動させる変化が見られた。これは、改修前の横断形状変化パターンと異なっており、その発生理由については流れ場の平面的な変化を含めなお詳細な分析を要する。平均河床高が安定傾向にあった断面の多くは、横断形状に顕著な変化は見られなかったが、直線区間に位置し、高水敷を掘削し平水時の水面域における河床との比高差が小さくなった断面については、掘削面が低下し、平水時の水面域における河床が上昇し、さらに比高差が小さくなり河床が平坦化した断面が見られた。なお、平均河床高が増加した断面では、河道改修が実施されていない場合、湾曲部内岸側砂州がさらに発達するなど、改修前

の分析結果と類似した変化が生じ、河道改修が実施されている場合、湾曲部内岸側の砂州であった範囲に土砂堆積が見られるなどの変化が生じていた。いずれの横断形状変化も、変化の量は異なるものの、流量規模によらず同様の変化パターンを示すことがわかった。

4. 摩擦速度及び水面幅から得られる水理量の縦断勾配と平均河床高変動量の関係

図-1からもわかるように、数十~数百mの範囲内で水理量が急激な変動を見せる北川を対象に、河道計画検討時、一般に用いられる準2次元不等流計算結果から得られる摩擦速度及び水面幅を用いた関数の縦断分布形と、前章で得られた河道変化との対応関係を調べる。河床変動は、対象区間の上流端から流れによって運ばれてくる流砂量と下流端から運び出される流砂量に差が生じたときに生じる²⁾。また、流砂量は摩擦速度の関数である無次元掃流力に支配されることが知られていることから、芦田・道上の掃流砂量式¹⁰⁾を参考に摩擦速度 u^* 及び水面幅 B から得られる水理量の縦断勾配 $(1/B) d(Bu^*)/dx$ と河道変化との対応関係について調べる。また、1次元的な

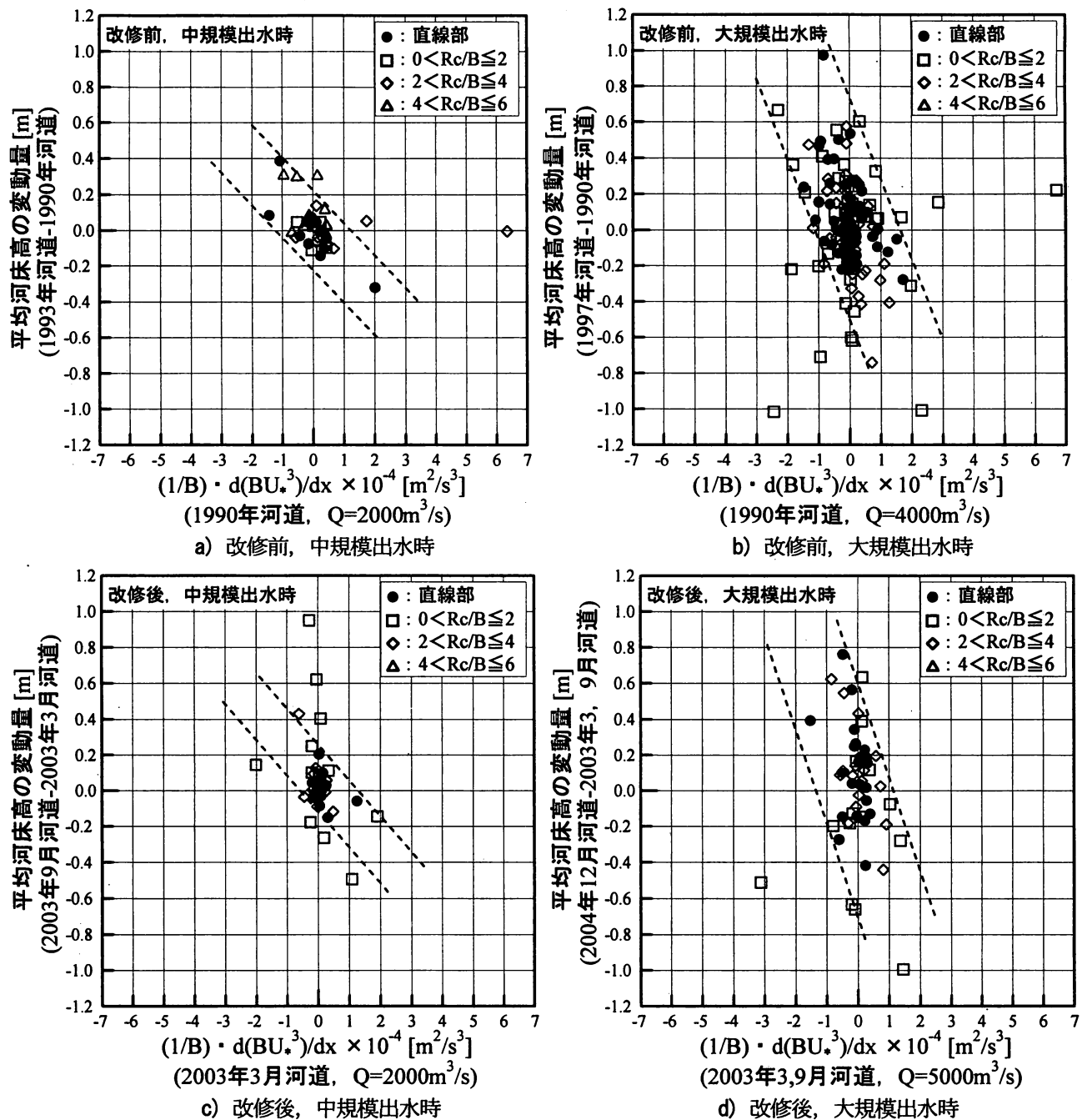


図-5 出水前の河道における $(1/B) d(BU^3)/dx$ と実際の平均河床高の変動量の関係

解析手法は、流れが一部に寄るような平面的な流れ場を想定しておらず、流下方向に1次元的な変化挙動を示すという仮定のもとに導かれた手法であるため、ここでは河道変化を平均河床高の変化として扱うこととする。出水前の河道から得られる $(1/B) d(BU^3)/dx$ については、流下方向を正とし、一つ上流側の断面と当該断面 ($\Delta x = 50\text{m}$) における水理量を用いて、風上差分により算出した。改修前かつ大規模出水時の分析にあたっては、前回測量河道である1993年河道が200m間隔で実施されており、 Δx の違いによる結果の影響を除外するため、前回測量河道を1990年とし、水位縦断分布から概ね河道内を流下する流量として $Q=4,000\text{m}^3/\text{s}$ とした。また、人為掘削の影響や合流する用水路部への土砂堆積など、出水によ

る河床変動と明確な関係が見られない断面、及び直線区間において低水護岸がせり出し、流向が強制的に変化していると考えられる断面については、分析対象から除外した。

図-5に結果を示す。曲率半径と水面幅の比 Rc/B により湾曲部と直線部を分け記した。なお、対象区間において $6 < Rc/B$ となる湾曲部は見られなかった。図中a)~d)のいずれにおいても、湾曲部に明確な傾向は得られなかった。一方、直線部については、多少のばらつきはあるものの、 $(1/B) d(BU^3)/dx$ と平均河床高変動量に線形的な関係が見られた。これは、1次元解析手法が、湾曲部において流れが外岸側に集中するような平面的な流れを十分に考慮していないためと考えられる。また、著者らは単に摩

擦速度の縦断勾配だけでは、分布形に明確な傾向が見られなかったことを確認している。次に、直線部におけるプロットの分布について調べる。中規模出水時（図中a）, c））では分布の傾きが緩やかであったのに対し、大規模出水時（図中b）, d））では急になる傾向が見られる。これは河床変動に寄与する流量の継続時間の違いにより、同じ $(1/B) d(Bu^3)/dx$ であっても、平均河床高の変動量が異なるものと考えられる。中規模出水時（図中a）, c））に比べ、大規模出水時（図中b）, d））におけるプロットのばらつきが大きいことがわかる。これは、大規模出水ほど河床変動に寄与する流量に幅があり、これに対応するよう流量規模ごとに $(1/B) d(Bu^3)/dx$ に変動が生じること、また、実態として大規模出水が発生する前に中規模出水が数回発生しており、この履歴を受けていることなどが考えられる。流量規模による分布形の違いは見られたが、改修の有無による分布形の違いは見られなかった。

以上のことから、直線部において、多少のばらつきはあるものの、 $(1/B) d(Bu^3)/dx$ と平均河床高の変動量の線形的な関係が見られた。他河川の事例も蓄積し、横軸の設定に関する妥当性について検討する必要があるものの、準2次元不等流計算結果から得られる摩擦速度及び水面幅の情報を用いた本指標は、河道管理上注目すべき地点の簡易判断に役立ち得ると考えられる。

5. おわりに

数kmごとに曲率の大きな湾曲部が形成され、水面幅も変動する北川のセグメント2-1区間を対象に、1～数出水と比較的短期間で生じた現象について、流量規模及び改修の有無といった条件の違いによる河道変化の特徴を縦断的、横断的に調べた。得られた知見を以下に示す。

- 1) 流量規模の違いにより、変化の量は異なるものの、横断形状変化のパターンに大きな違いは見られなかった。
- 2) 改修前、出水により平均河床高が低下した断面では、最深河床高はそれほど変化せず、まず単位幅流量が相対的に大きい横断範囲が増大する傾向にあった。
- 3) 改修後、出水により平均河床高が低下した断面では、最深河床が2～3m低下し、まず河床が鉛直方向に移動する変化の特徴が見られ、2)とは異なるものであった。
- 4) 3)に示す変化が生じた断面は、一連の改修区間の端部付近でよく見られた。
- 5) 直線部において、多少のばらつきはあるものの、 $(1/B) d(Bu^3)/dx$ と平均河床高の変動量の線形的な関係が見られた。準2次元不等流計算結果から得られる摩擦速度及び水面幅を用いた本指標は、河道管理上注目すべき地点の簡易判断に役立ち得る。

今後の課題として、準2次元河床変動計算結果と比較し、河床変動に寄与する流量の継続時間、流量の規模や非定常性が河床変動量に及ぼす影響を調べ、解析レベル

ごとに表現できる現象とできない現象を明確に分けた上で、実際の河道管理への活用方法について検討していく必要がある。

謝辞：本研究は、五ヶ瀬川水系北川における河川生態学術研究会の総合的な調査研究の一環として実施されたものである。測量成果、航空写真等のデータについては、宮崎県延岡土木事務所より提供いただいた。また、特に4)におけるデータの整理分析について国土技術政策総合研究所河川研究室佐藤慶太交流研究員に協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：

- 1) 藤田光一：河道セグメント2における川幅縮小のメカニズムと予測技術～掘削後の河道応答を「もっと読もうとする」河川技術のために～、2007年度(第43回)水工学に関する夏期研修会講義集Aコース, pp. A-7-1-A-7-20, 2007.
- 2) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法—治水と環境の調和した川づくり—、森北出版, pp. pp. 395-408, 2005.
- 3) 藤田光一：河道の応答を環境保全と治水の両面にきちんと織り込む技術の体系化に向けて、河川, No. 724, pp. 23-27, 2006.
- 4) 大沼克弘・藤田光一・佐藤泰夫・西本直史・松木洋忠・井上優：セグメント2河道を対象とした河道掘削後の河道変化予測に基づく治水・環境機能の一体的評価に向けた試み、河川技術論文集, 第13巻, pp. 375-380, 2007.
- 5) 藤田光一・John A. MOODY・宇多高明・藤井政人：ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小、土木学会論文集, No. 551/II-37, pp. 47-62, 1996.
- 6) 藤田光一・李参熙・渡辺敏・塚原隆夫・山本晃一・望月達也：扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション、土木学会論文集, No. 747/II-65, pp. 41-60, 2003.
- 7) 服部敦・瀬崎智之・伊藤政彦・末次忠司：河床変動の観点で捉えた河原を支える仕組みの復元—多摩川永田地区を事例として—、河川技術論文集, 第9巻, pp. 85-90, 2003.
- 8) 井上優・大沼克弘・藤田光一：流水と土砂の作用による立地条件変化に着目した植生消長の簡易計算手法の開発、河川技術論文集, 第12巻, pp. 31-36, 2006.
- 9) 河川生態学術研究会北川研究グループ：北川の総合研究—激特事業対象区間を中心として—, pp. 1.5.1-1.5.21, 2004.
- 10) 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文報告集, 第206号, pp. 59-69, 1972.

(2009. 4. 9受付)