

土砂環境の変化に対応した洪水流と河床変動 予測技術—実務上の課題と調査・研究の方向性

FLOOD FLOW AND BED VARIATION ANALYSIS CONSIDERING THE CHANGE IN SEDIMENT ENVIRONMENT —PRACTICAL ISSUES AND PERSPECTIVES OF THE SEDIMENT RESEARCH—

福岡捷二¹
Shoji FUKUOKA

¹フェロー Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The proper management of river bed variation and bed materials is important for conducting the flood control and maintaining environment of the river. It becomes further important on the investigation of adaptation measures of the flood control due to the global climate change in the future. The present bed variation analysis is performed under the assumption that the river bed height measured after the large flood is almost the same as river bed heights occurring during the flood.

The bed variation analysis using unlikely bed height data brings many problems in the practical management of rivers. The present paper mainly focuses on bed variation analysis and bed material size distribution to discuss what the present issues in the sediment transport are and how the issues be solved from engineering point of views.

Key Words : *sediment environment issues, flood computation, bed material size distribution
bed variation analysis*

1. まえがき

わが国では、水害の少ない安全、安心な河川を目指して整備が進められてきた。しかし、あるレベルに達した河川の治水安全度が、河川の土砂環境の量的、質的劣化のために、河川管理上の安全度は、必ずしもそのレベルにない川が多い。

河川の洪水流と土砂輸送の問題は、気候変動に伴う今後の治水の適応策を考える上でも特に重要な課題¹⁾であり、今から、現状の河川整備レベルの有する課題を解決しておくことが不可欠である。大切なことは、実務上からみて、何が土砂輸送上の課題なのか、それをどのような方法で解決すべきかを明確にすることから始めなければならない。それには、土砂水理学分野の調査・研究の進展が伴っていなければならない。

一般的に言って、河川整備基本方針に用いられている洪水流や河床変動の計算は、計画にかかわるすべてを総合的に検討し適切な河道を決定する手段の一つとして使われている。一方、河川の維持管理を目的として洪水流計算や河床変動計算が行われる場合には、実際に起こっ

ている洪水流中の流れと河床変動を適切に説明でき管理に反映されることが求められる。しかし、現状はそのような段階に無いようである。計画レベルと管理レベルのそれぞれが求める洪水流や河床変動計算の意味を十分考慮した扱いが必要になる^{2), 3)}。

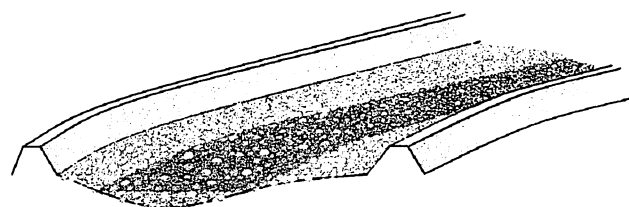
本文では、上述の基本的な考えを背景に、第一に、近年の土砂移動や河床材料の変化による河道の変質状況を示し、この状況に対する河床変動解析の問題点を明らかにする。第二に、洪水時の河床変動状況を反映している水面形の時間変化を考慮に入れた洪水流解析と河床変動解析を組み合わせることによって、実務上必要なレベルの河床変動解析が可能になることを述べる。ここでは、シンポジウムの主旨に沿う形で、著者らの調査・研究から見出された知見を中心に河床変動予測技術の課題と方向性について論点提示に重点を置きまとめており、狭い意味でのレビューペーパーではないことを付記する。

2. 近年の河道の変質

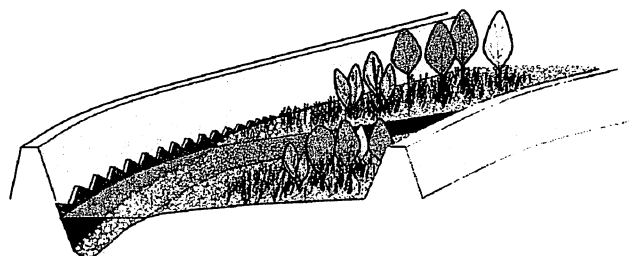
(1) 河床の低下、滞筋化、樹木の繁茂

流域における人間活動の活発化は、河川堤防を築き、川幅を広げ、河床を掘削し、また大掛かりな砂利採取やダムなどの河川構造物の建設を行うことによって、それまで変動しながらも自然にバランスしていた洪水流量、河床材料、河川勾配と川幅、水深等の河道断面形の間関係が成立し得なくなってきた。特に、礫や石を主要な河床材料とする河川では、洪水流量の増加のために流れの掃流力が増大し、河床に存在する粒径集団では、変動しながらも平衡状態に河床を維持することが困難な河川が多くなってきている。その結果、図-1(a)の平衡河道から図-1(b)に示すように河床が低下し、局所洗掘が原因となって河道の滞筋化と砂州が現れ、川幅全体を使って流れる洪水は大洪水時を除いては見られなくなってきた。これは、川幅を広げ、河床を掘る等の河道改修は行えるが、河床を構成する材料は、上流山地で生産される土砂の質と量で決まっており、大幅な河道改修に合わせて河床材料を決めることは不可能であることが大きな原因であると著者は考えている。本来、河道の改修断面は、洪水流量、河床勾配、河床材料の間関係によって決まる断面形から大きく外れるものであってはならないであろう。しかし、洪水流の流下能力という川の「器」の拡大は、河岸侵食防止のための護岸の設置による河岸沿いに集まる流れの発生、滞筋と砂州の形成を促進し、そのことが、河道内の樹木の繁茂という悪循環をもたらしている⁴⁾。樹木の繁茂は流れの抵抗を増大させるために、深く、抵抗の小さい滞筋部に一層流れを偏流させ、そこでの掃流力が増大する。滞筋を構成する河床材料が掃流力の増大に対し十分耐える量と質の粒径集団でなければ、滞筋の深掘れは進行する。滞筋が河岸や堤防に接して存在しているところでは、堤防や河岸の安定性が極端に低下することになる⁵⁾。

上述のような滞筋の発生による流路の固定化、樹木の繁茂による河道の著しい変化は、洪水流に対して、主要な河床材料の集団が安定的に応答し、河床変動の幅がそれほど大きくない河道づくりが必要であることを示している。それは、洪水時、川幅全体で流れる河道にすることである。しかし、一度、滞筋化し砂州が固定化した河道では、川幅全体で流れる河道に戻すことは極めて困難であり現実的な河道計画になり得ない。問題となっている図-1(b)のような河道において図-2のように滞筋幅を広げれば、流体力を緩和することができ、現状の河床材料でも安定的な河道を形成することが可能であると考えられる。検討しなければならぬことは、問題となっている区間における主要な河床材料集団が、大きな掃流力に安定的に対応できる滞筋幅はどの程度であるかを理解して河道を管理する技術を確認することである。現在の滞筋幅をどの程度まで大きくすれば現在の主要な河床材料集団でその川幅を維持可能か判断するための調査研究から始めなければならない。この課題に関して、福岡ら⁶⁾は、滞筋に流れが集中して発生した護岸災害箇所にお



(a) 平衡した安定した河道 (大きな河床材料で構成)



(b) 河道整備により平衡が破れ、滞筋の縮小・深掘れと樹木の繁茂が生じた河道 (掃流力に耐える河床材料が少ない)

図-1 河床材料の細粒化による河道の変質

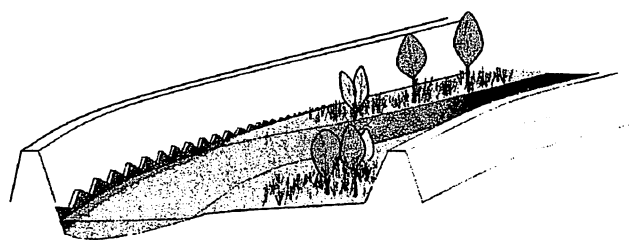


図-2 滞筋幅の拡大による河床の安定

いて、復旧工事の段階で流れを付け替えし滞筋をドライにすることにより、滞筋の深掘れ形状、河床の粒径を調べている。さらに、現在の主要な河床材料粒径から、断面変化が小さく保たれる滞筋断面形状はどのくらいの幅に決めればよいかを現地河川で検討している。

(2) 河床材料の粒度分布の変化

河床材料粒度分布は、洪水流と河道の特性、水中生物の生存を反映する重要な指標である。砂利採取により、また石礫等が砂防堰堤やダム貯水池で止められたり、河道から外に持ち出されたりすると、河床材料の粒度分布が変化する。河床材料の粒度分布が変化する、河道はどのように応答・変化するであろうか。まずは、流速の大きい場所など、河床の掘れ易いところに深掘れが現れる。深掘れが発達し滞筋化すると、滞筋及びその周辺の土砂移動量が変化し砂洲が現れやすくなる。その結果、流れが偏流し、水流が集中する滞筋で河床の洗掘、低下が進む。それ以上の滞筋洗掘が進むかどうかは、洗掘を抑制する粒径集団が河床にあるかどうかに関係する。河床材料は、砂河川では、石礫が多い河川に比して粒度分布の一様性が高い。例えば、河床材料の粒度分布に関する標準偏差 $(d_{84}/d_{16})^{1/2}$ は、石礫河川と砂河川では大きく異なる。このことは、掃流力の変化に対して砂河川の応答は早い、石礫河川は大きな粒径集団を主

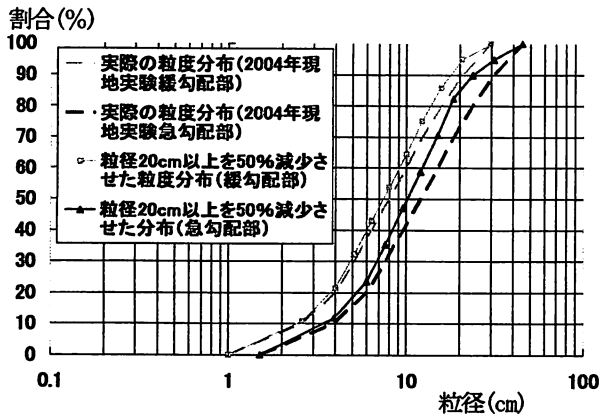


図-3 特定の粒径集団の取り出しによる粒度分布形状の変化 (2004年常願寺川現地実験⁹⁾の粒度分布を基に作成)

体として粒度分布が広いために応答は複雑であることが理由のひとつである^{3), 4)}。

石礫河川にあっては、洪水流の掃流力が大きいために、洪水規模に応じて、河床の安定に寄与する粒径集団が異なっており、河床の安定を支配する粒径集団が実際に河床に十分存在することが重要になる^{4), 7)}。図-3は、石礫河川で粒径20cm以上 (d_{70} 以上)のうちの50%の量が河道から外に取り出された時の粒度分布の変化を示す。取り除かれた粒径集団を境にそれより小さい方で、粒度分布は急になり存在割合が変わることがわかる。粒度分布の変化は、大きな掃流力に対抗する粒径集団の存在割合を変化させ、大きな河床変動につながる可能性があることを意味している。石礫河川では、粒径集団の存在割合の変化が、どのような河床変動を引き起こすかについては、7. で具体的に示す。

3. 河床材料の治水的・環境的役割と河床材料調査法

河川の洗掘、運搬、堆積といった洪水流による土砂輸送は、河岸や河床高といった河道断面形や河床材料粒度分布などの河道特性を決めている。河道のセグメントの形成には、流量、河床勾配と共に河床材料の代表粒径が重要な指標となる⁸⁾。川幅など河道断面形は、流量、勾配と共に、河床材料の代表粒径が関係している⁹⁾。流れの粗度の大きさにも代表粒径が密接に関係しており、計画粗度係数の算定のひとつの方法として河床材料の平均粒径が使われている⁸⁾。河床材料の限界掃流力の算定には、平均粒径からの考察が不可欠である¹⁰⁾。流れの抵抗に関係する砂漣 (ripple) の形成には、粒径が支配的な役割を有する¹⁰⁾。このように、土砂輸送と河床材料は、河道計画を立てる上での本質的な役割を果たしていることがわかる。

治水の重要性は、流域の人間活動が活発化するほど高まる。わが国の河川では、治水対策の中心は堤防建設であり、計画規模の洪水を流すために堤防と堤防の間隔が

確保されてきた。しかし、堤防と堤防の間の河道は、段階的に完成形に近づけていく改修方式がとられている。近年では、低水路の縦横断面形については、河川生態系などの河川環境も考慮しながら徐々に整備していく方針をとっている。

水中の生き物は、それぞれの群集に適した低水路の場所で生活している。しかし、そこに適切な場所がなくては、水中生物は生存できない。河川の生態系、すなわち生物とそれを取り巻く環境を考えると、水中の生物群集と河床材料 (底質) の関係を理解しておくことは、治水と環境の調和した川づくりの上から重要である。治水上望ましい河床材料は、水中の生物群集にとっても望ましいのであろうか。両者の接点はあるのであろうか。

河道の水中で生活する生物にとっては、河川形態の基本単位は瀬と淵であり、やや大きなスケール単位での蛇行であり、それらの組み合わせによって作られている上流から下流までの河道である。水中には、付着藻類や水生植物などの植物群集、底生動物群集、魚類群集など多くの生物群集が生息している。底質と生物群集の関係は、生物が生活している場所の視点で検討されることが多く、その中でマイクロ流れの視点も重要と考えられている¹¹⁾。底質が大礫の場合と砂泥の場合では、棲む生物の種類も生活様式も異なる。水中生物にとって、礫の下部が埋まっている沈み石やはまり石であるか、礫が動きやすい状態にある浮き石であるかで礫周囲の流速場や水中の酸素量が異なる。そのような場には、マイクロな流れの構造や変化に適応できる生理機能を持つ水生昆虫が住んでいる。よく知られているように、アユは、早瀬の礫面で増殖する付着藻類を食べている。このように、河川の底質は、生物の生活環境として極めて重要である。しかし、治水面から調査、研究されているような水量と河床材料の関係といった物理的視点だけでは、水中生物の生活を説明出来ず、底質だけでなく河川形態、水質、栄養塩濃度等を総合的に見ていかなければならない¹¹⁾。

生物の適切な生息・繁殖環境の保持のためには、土砂環境の変化が与える影響を理解する必要がある。これまで砂利採取、河道拡幅や掘削などの河川改修、ダムや砂防施設の建設等、河川に対する人間の働きかけが河川の土砂環境を変質させ、河道の状況を変えてきた。これは、治水上必要な行為ではあるが、水中に生きる生物群集にとっては望ましくないであろう。治水と環境にとって望ましいあり方について土砂環境の面から再考されなければならない。

上流から河道に適切な量と質の土砂が供給されていれば、治水上の要請で河道断面形が大幅に変更されない限り、河道の土砂環境はそれほど大きく変化しないと考えられる。しかし、土砂が十分供給されていない状況の中で、低水路幅が大きく変更されると、河川形態や底質が変化し、生物の生息、繁殖環境に影響することになる。土砂環境の変化によって流路の固定化が進み、河道内に

樹木が生えやすくなる。重要なことは、現在の土砂環境、河床材料で、河床の変動幅を大きくしないような改修のやり方を考えなければならない。そのひとつの方策は2.で述べた改修のやり方であろう。

現在行われている河床材料調査法（河川砂防技術基準調査編，2002）は、主に治水上の要請から作られたものである。しかし、後述するようにこの方法は、砂礫河川には適用できるものの石礫河川の河床材料調査法としては不十分であり改善を要する¹²⁾。今後、河川の理解にとって重要になるのは、河川の形態や生物の生息、繁殖場としてみたときの底質調査法の確立であろう。河道の水中生物群集は種類が多く、それらの生活史の相互の関わりは複雑である。私たち、水工研究者、技術者は、土砂環境と生物の生活型の調査技術を高め、理解を深めると共に、これまで以上に水中生物の研究者等との連携を密にしていくことが不可欠である

4. 洪水時の河床変動と流砂量調査の必要性

洪水時の流砂量や河床高は、河道で起こっている土砂移動現象を把握する上で基本的に求められるデータであり、また、河床変動解析モデルの検証や精度アップのために重要な情報である。上述のように、近年、全国の河川で河床の変動、濁筋化が顕著になり、その原因が土砂の移動量の減少、河床材料の粒度分布の変化、河道内の樹林化と関係が深い。このため、流砂量や河床変動状況を直接測定する試みが行われてはいるが、洪水流の持つエネルギーが大きいために信頼できるデータを得るには大変な労力が必要になる。河道の土砂環境の変化が大きく、土砂輸送の理解の重要性が高まっているにもかかわらず、近年、流砂量を測定し、それを計画、管理に用いる機会が少なくなっている。河川構造物等の安全性を判断する上で基本的なデータを有していないことになる。これは、河川計画における河床変動予測を河床変動解析で間に合わせようとする河川管理者の姿勢によるところが大きいと著者は考える。

しかし、河川の維持管理という実事象を対象としたときには、洪水時の流砂量や河床変動を直接測定する等して、対象河川の河道を十分理解することが必要である。適切な河川管理のために必要なもうひとつの点は、これまで用いられている河床変動解析法の問題点を見直し、より信頼性の高い解析方法、たとえば後述する洪水流の水面形の解析と河床変動解析から、洪水時の河床高を推定することを考えなければならない段階にきている。

5. 河床変動解析の現状と改善の方向

現在一般的に用いられている河床変動解析手法は、既

知のピーク流量（あるいは、流量ハイドログラフ）と洪水痕跡水位等を用いて、河床変動モデルから算定された河床高と洪水後に観測された河床高を比較し検証する。次に、検証された河床変動モデルを用いて、計画規模の洪水ピーク流量に対して河床高を推定し、河道計画に資することが行なわれている。しかし、洪水後に測られた河床高が、洪水時の河床高とどのような関係にあるのか、私たちは良くわかっていないのが実情である。このような河床変動計算の精度を考えると、洪水流の水利計算もそれほど高い精度を必要とするものでなく、通常、一次元解析や準二次元解析を用いることが多い¹³⁾。しかし、いつまでもこのレベルで解析するのがよいわけではない。

河床変動解析の信頼度を高めるには、それを引き起こす洪水流の解析精度も同様に高めなければならない。これまで、洪水流とは、水位、流速などの水理量が下流にゆっくり伝わる現象のために、水理量の時間的な変化が小さい準定常流と考えてよいとされてきた。特に、大きな流域では、ピーク流量発生時をばさんで、かなりの時間にわたってピーク流量が続く。したがって、ピーク流量を対象にした河川計画を立てる場合には、洪水流は近似的に定常流と見なすことが出来、洪水流を定常流とみなし痕跡水位を用いた不等流解析及び準二次元解析が用いられてきた。多くの洪水流の問題はこの解析法で良いが、対象とする洪水流問題によってはこれらの定常流の解析法では不十分である。洪水流現象は、その場の水理量で決まっているのではなく、河川の時間的、空間的な広がりを持った洪水水位が河道を伝わる非定常な水理現象である¹³⁾。水位データが時空間的に集められるようになった今日では、水面形の時間変化に、洪水流現象の本質が濃縮していることを理解し、河川管理上の重要な情報を水面形の時間変化から読み取ることが行われなければならない^{2), 14)}。

6. 河床変動計算の精度を高めるには

洪水現象は時間的には緩やかな変化をして伝播するものの、起こっている事象には、洪水の非定常性といわれる時間的な変化が大変重要な役割を果たしていることが明確になった^{2), 14)}。すなわち、洪水流を定常流と考えると、洪水時に起こっている多くの水理現象が十分には説明できず、非定常性を考慮すると無理なく現象を説明できることが明らかになってきた。河床変動解析の精度向上も洪水流の非定常性を考慮することから浮かび出てくる。解析の精度向上を図ることが必要な理由の一つは、洪水時の河床変動の時間変化を求めることが重要であるからである。洪水時の河床高や流砂量を測る試みが行われているが、時空間的な変化を知ることは現状では技術的に困難がある。点計測主体の河床高や流砂量測定では、

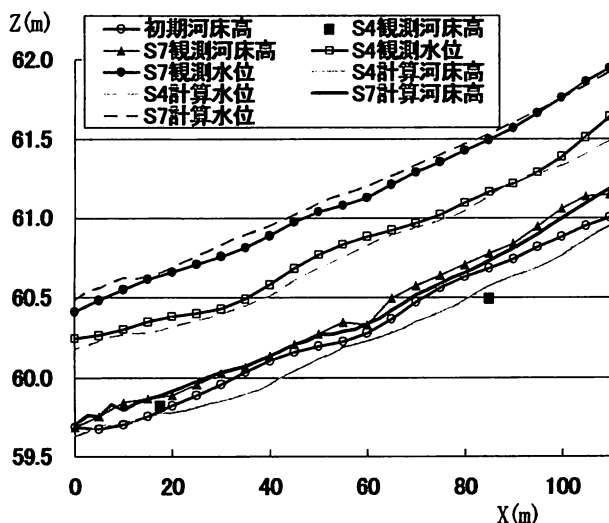


図-4 水面形の時間変化を解とした河床変動解析 (長田・福岡¹⁶⁾ の解析法を2005年常願寺川現地実験¹⁷⁾ に適用)

洪水時の河床の変動を刻々予測することは困難である。洪水時の河床変動を定量的に予測するキーは、洪水水面形の時間変化の観測値を適切に使うことにありと著者は考える。今日では、水位の観測データが容易に密に測られるようになり、洪水時の水面形の時間変化から、洪水で起こっているすべての時々刻々の水理現象が時々刻々の水面形に反映していることが明らかになってきている。この中には、河床変動の時々刻々の変化も含まれている。洪水時の水面形の時間変化を測ることは容易であり、また十分な観測精度が得られる。少なくとも、洪水時の水面形の時間変化を洪水流解析に反映されていないこれまでの河床変動計算であれば、求められた河床高は、実際の河床変動を適切に説明したものには成りえないであろう。精度の高い河床変動解析とは、洪水時の水面形の変化を時々刻々取り入れた河床変動計算を行うことであり、観測水面形を解とした洪水流の非定常二次元計算と二次元河床変動計算を組み合わせることで河床高を解析すればより実現象を説明する河床変動解析結果を与える^{15), 16)}。

図-4は、大規模な移動床直線水路において洪水流ハイドログラフを与えたときの河床変動を調べた現地実験結果¹⁷⁾ に対し、長田・福岡の解析法から得られた水面形、河床高縦断の解析結果を比較し示したものである。解析法は、時間的に変化する観測水面形を解とする洪水流の非定常一次元解析と一次元河床変動解析とから洪水時の河床高を求めるものである。流量が $9\text{m}^3/\text{s}$ (S4段階) では、初期平均河床高から全体的に平均河床高が低下し、さらに連続的に流量規模を大きくしていくと $16\text{m}^3/\text{s}$ のS7段階では、河岸侵食により河幅が拡大し、河岸からの土砂供給により平均河床高は上昇している。図-4を見ると、S4段階、S7段階ともに水面形、河床高とも解析値は実測値を概ね再現出来ている。S4段階では、測られた実測河床高と解析値の比較から、上流では初期河床高から大きく低下すること、逆に下流では若干の河床上昇が解

析においても捉えられている。流量が増大したS7段階では、縦断的に測られた河床高との比較から、全体的な河床上昇、そして縦断的な河床形状も実測値を概ね再現出来ている。このように、洪水時の水位の上昇時、ピーク時から減衰時までの各時間での水面形を洪水解析と河床変動解析に組み込むことで、河床変動の解析精度を高めることができ、これにより時間的な河床の変動を見積もることが可能となる。

7. 石礫河川における新しい河床変動解析法の必要性

これまでの河道計画では、多くの場合、緩流河川で開発された河床変動解析法が、そのまま急流河川でも使われている。緩流と急流で最も異なる点は、洪水ハイドログラフの波形と河床材料の大きさと粒度分布である。すなわち、外力とその河川の応答系である河床構成材料が大きく異なっていることは、河床の安定や土砂の輸送機構が根本的に異なる应考虑すべきで、石礫急流河川に対する土砂輸送の新しい論理を構築しなければならない⁹⁾。洪水流のハイドログラフの差異については、5., 6. で述べた非定常性解析によって考慮できるが、河床材料の粒度分布が重要な石礫河川の河床変動解析には、緩流河川とは異なる急流河川の土砂移動機構を考慮した解析法を用いる必要がある。

現在一般に用いられている河床変動解析では、土砂輸送の機構は河床材料が砂や砂礫の場合、または、砂を中心とする混合粒径材料からなる場合が想定されており、この場合洪水流の計算法を改善すれば、解析の信頼性は高まると考えられる。しかし、砂から大礫、石等広い粒度範囲からなる石礫河川に対しては、巨礫間にある砂礫など小粒径集団の移動機構が、緩流河川の流砂量式や河床変動式で考慮している機構と異なるため、従来の解析法の適用は無理があるようである。石礫河川にあつては、一般に用いられている限界掃流方式で移動できるような小さな粒径の河床材料であっても、石礫が大きく露出することで、それらの遮蔽効果により移動しづらい。このために石礫河川の河床変動の速さ及び大きさが実際現象と大きく異なる¹⁰⁾。急勾配や、小さい相対水深の流れ場での限界掃流方式や流砂量式が提案されているが¹⁰⁾、流砂の機構が異なるため現象を説明出来ない。重要なことは、動かない大きな石が、主に流れの作用に抵抗する役割を有し、さらにこれらの石礫間に、大きな空隙を作ることにより、小さな砂礫も保護され動かなくなることが考慮されねばならない。河床材料分布が異なるセグメント区間が河川の上流から下流まで連続しており、上流の石礫河道区間の河床変動の影響が下流河道にまで及ぶことを考慮すると、計画上、管理上石礫河道の河床変動解析の精度向上の持つ意味は大きい。

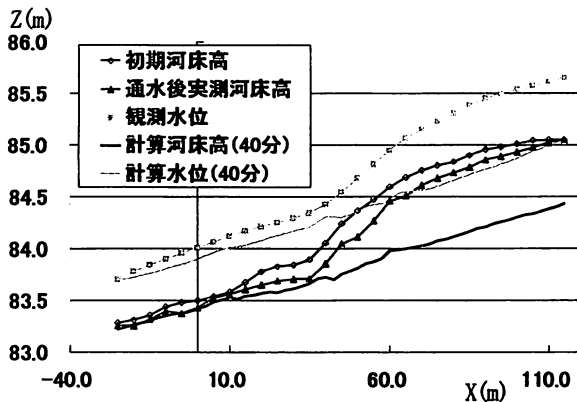


図-5 大きな材料を少なくした場合の河床変動解析結果
(2004年常願寺川現地実験を対象として)

著者らが構築した石礫河川の河床変動モデル¹⁶⁾を用いて、土砂輸送の変化に起因して治水上、環境上問題となる水理現象について定量的な説明が図-5で試みられている¹⁸⁾。具体的には、2. で述べたある粒径集団の河床材料が河道から除去されたとき、またダム建設により大きな河床材料の集団がダムによって流下を阻止されたときに、河床高の変化がどの程度生じ、その変化がどのように上下流に伝わっていくかについて検討を行っている。図-5は、2004年常願寺川現地実験の河床粒度分布から粒径20cm以上の粒径集団を重量で50%減らした場合(図-3の粒度分布に相当)の河床変動解析結果である。現地実験では、図に示す河床高で静的平衡状態となり、急勾配部分における d_{50} が25cm程度であった。しかし、20cm以上の粒径集団を減らした場合、掃流力に耐える河床材料の割合が少なくなることから、急勾配の河床形状を保つことが出来ず、この河床材料で安定できる緩やかな河床勾配になるまで、大きく河床が低下する。このような検討を行うことにより、河床材料の粒度分布の役割を理解でき、さらに、河床変動予測技術を用いて、大きな河床変動を生じさせない川づくりと河川管理を検討する段階に近づいて来ていると思う。

8. あとがき

河川流域の土砂環境の変化がもたらしてきた河道の変化は、治水上、環境上の課題を顕在化してきた。移動床問題は洪水流とともに河川問題の基本であり、実現象と密接に関係しての研究が必要な分野である。にもかかわらず、土砂流の研究集団が小さくなり、実現象から乖離した研究が多くなりつつあることを著者は心配する。土砂流の本質的な課題を、もっと河川現場から掘み取る努力がなされるべきであると思う。

気候変動による治水の適応策の検討が急がれる状況において、現在の治水施設の安全度がどの程度なのかを評価できるようにすること、特に、河床の変化による河川構造物の安全度の低下を正しく見積もり、その対策をど

うするのが喫緊の課題である。洪水流と土砂流が係わる課題は数多い。何をどのような方法で調査し、究明すべきか今こそ真剣に議論しなければならないの思いからこの稿を書いた。著者の力不足のために、不十分な記述が見られるとすれば、お許し願いたい。

参考文献

- 1) 水関連災害分野における地球温暖化に伴う気候変動への適応策のあり方について(中間とりまとめ)、社会資本整備審議会河川分科会、気候変動に適應した治水対策検討小委員会、平成20年1月。
- 2) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法、森北出版、2005。
- 3) 藤田光一：河道変化を治水・環境保全の接点においた川づくりの考え方、水工学シリーズ 06-A-8、土木学会、2006。
- 4) 福岡捷二、長田健吾、安部友則：石礫河川の河床安定に果たす石の役割、水工学論文集、第52巻、pp.643-648、2008。
- 5) 長田健吾、安部友則、福岡捷二：急流礫床河川における低水路護岸沿いの深掘れ流路形成とその特性、河川技術論文集、第13巻、pp. 321-326、2007。
- 6) 米沢拓繁、福岡捷二、鈴木重隆：水衝部の河床表層材料と河床洗掘の関係の調査研究、河川技術論文集、Vol.13、pp. 345-350、2007。
- 7) 山本晃一：沖積河川学、山海堂、1994。
- 8) 河道計画検討の手引き、国土技術研究センター、2002。
- 9) 福岡捷二、寺沢直樹、山崎憲人、塚本洋祐：巨石を有する礫床河川の水理、河川技術論文集、Vol.13、pp.339-344、2007。
- 10) 水理公式集(平成11年版)、土木学会、技報堂出版、1999。
- 11) 沖野外輝夫、河川の生態学、共立出版株式会社、2002。
- 12) 山崎憲人、寺沢直樹、福岡捷二、巨石を含む広い粒径分布を有する礫床河川における粒度分布調査手法、河川技術論文集、Vol.13、pp.141-146、2007。
- 13) 福岡捷二、渡邊明英、原 俊彦、秋山正人：水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算、土木学会論文集、No.761/II67、pp. 45-56、2004。
- 14) 福岡捷二：洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術、河川技術論文集、Vol.12、pp.1-6、2006。
- 15) 鈴木重隆、中村修也、川口広司、福岡捷二：大きな潮位変動を受ける河道の洪水流れと河床変動—利根川下流部を例に—、第35回土木学会関東支部技術発表会、II-088、2008。
- 16) 長田健吾、福岡捷二：石礫河川の土砂移動機構に着目した1次元河床変動解析法の開発、水工学論文集、第52巻、pp.625-630、2008。
- 17) 福岡捷二、山崎憲人、黒田勇一、井内拓馬、渡邊明英：急流河川の河床変動機構と破堤による氾濫流量算定法の調査研究、河川技術論文集、Vol.12、pp.55-60、2006。
- 18) 長田健吾：第24回河川・流域技術研究会発表資料、中央大学研究開発機構、国土交通省河川局、2007.8(部内資料)。(2008.4.3受付)