

I S S N 0386 — 5878
土木研究所資料第3642号

土 木 研 究 所 資 料

河道計画における低水路
粗度係数の推定に関する資料

平成11年3月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright© (1999) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

河道計画における低水路粗度係数の推定に関する資料

河川研究室 室 長 藤田 光一

交流研究員 山形 宙¹⁾

要 旨

低水路の粗度係数を対象にして、それを洪水データからの逆算によらず河床材料や洪水時水理量から物理的に推定する方法の有効性を検討した。この結果を基に、河道計画における粗度係数の推定において、物理的推定法をどのように位置づけるかについて考察を行った。得られた成果は、これからの河道計画における粗度係数の実用的かつ合理的な取り扱い法を検討する上で有用である。

キーワード：粗度係数、低水路、河道計画、河床材料、河床波、小規模河床形態、疎通能力、洪水流

1) 交流研究員在職期間（平成9年4月～平成10年3月）

目 次

第1章 河道計画における粗度係数設定法の課題	1
1. 1 粗度係数設定にかかわる2つの考え方	1
1. 2 既往洪水データからの逆算粗度係数に基づく粗度係数設定がもたらしうる課題について	1
1. 3 粗度状況からの物理的な粗度係数推定に基づく粗度係数設定を検討することの重要性	4
1. 4 本資料の検討内容	6
第2章 本検討で取り上げた低水路粗度係数の水理的推定法について	8
2. 1 推定法の概要	8
2. 2 $\varphi \sim (\tau_*, H/d, d)$ 関係図と現地および実験データとの関係	10
2. 2. 1 精度の高い厳選されたデータとの比較	10
2. 2. 2 痕跡水位による逆算粗度係数との大局的比較	10
第3章 低水路粗度係数の水理的推定法の有効性と課題	18
3. 1 逆算粗度係数と推定粗度係数との比較	18
3. 1. 1 比較の方法	18
3. 1. 2 比較の結果	18
3. 2 水理的推定法の課題についての考察	24
3. 2. 1 水理的推定が明らかに無理な河道区間	24
3. 2. 2 セグメント3の河道区間についての取り扱い	24
3. 2. 3 遷移河床に該当する河道区間についての取り扱い	25
3. 2. 4 逆算nと推定nが大きく異なる場合の取り扱い	25
第4章 低水路粗度係数の設定法の提案	25
4. 1 基本的な考え方	25
4. 2 低水路粗度係数設定フローの具体的内容	25
4. 2. 1 『河床材料からの粗度係数の推定が明らかに無理な区間』の粗度係数設定 (フロー図中の①)	25
4. 2. 2 『セグメント3に該当する河道区間』の粗度係数設定(フロー図中の②)	28
4. 2. 3 『逆算nと推定nがよく一致している』かどうかの判断(フロー図中の③)	28
4. 2. 4 逆算nおよび推定nの算出データのチェック(フロー図中の④)	29
4. 2. 5 『逆算nが異常値を示し、修正しようがなく、推定n以外に信頼できるデータがない』 かどうかの判断(フロー図中の⑤)	30
4. 2. 6 『当該セグメントが計画対応条件で遷移河床に該当する』かどうかの判断方法とその際 の粗度係数設定方法(フロー図中の⑥)	31
4. 2. 7 『個別に粗度係数を設定する河道区間』の粗度係数設定フロー図中の⑦)	31
4. 2. 8 判断内容の整理について	33
おわりに	33
参考文献	34

第1章 河道計画における粗度係数設定法の課題

1.1 粗度係数設定にかかわる2つの考え方

粗度係数の設定には、河川砂防技術基準(案)⁹⁾によると大きく分けて以下の2つの考え方がある。

①粗度状況からの物理的な粗度係数推定に基づき設定する。

②既往洪水データからの逆算粗度係数に基づき設定する。

①の物理的な粗度係数推定に基づく設定は、原理的に任意の断面形状、洪水規模の適用が可能であり、将来の河道について現況と異なる河道形状、洪水規模を想定した粗度係数設定を行うことができる。しかしこの設定は、粗度係数の推定精度や推定法の適用範囲に限界があったり、設定における不確定要素が残る。一方、②の既往洪水データからの逆算粗度係数に基づく設定には、洪水発生時の様々な情報が洪水データに集約されており実績データという意味で説得力がある。設定対象とする粗度状況や河道形状および想定する洪水規模が粗度係数逆算対象の既往洪水時のそれらとあまり変わらない場合には、②は妥当な結果をもたらすが、逆にそうでない場合には、②の設定法が妥当でなくなる可能性も出てくる。また、この方法を用いる場合には、洪水データの質(精度)がよいことが前提となる。上記2つの設定法にはそれぞれ長所、短所があり、粗度係数設定においては、両者の特徴をよく理解した上で状況に合った設定法を選択することが肝要である。1つの方法に頼ることが適切で無い場合には、2つの設定法を用いて検討を行い、弱点を相互に補完して総合的に判断するという選択肢も考慮すべきである。

ところで従来は、上記①が前提にしている物理的な粗度係数の推定法が実用技術としては未成熟であったため、必要な洪水データが揃っている場合には、上記②の設定法が唯一の実用的手法として選択されることが一般的であった。しかし近年、上記①が前提にしている物理的な粗度係数推定法の技術的検討が進んでおり、一方で、以下に示すように、上記②の設定法についての課題も再認識されつつある。

1.2 既往洪水データからの逆算粗度係数に基づく粗度係数設定がもたらしうる課題について

前述のように、河道計画に用いる粗度係数については、必要な洪水データが手に入る場合には、既往洪水の再現解析により得られた粗度係数との関係を重視して決定することが従来主流であった。しかし、河川によっては、過去に計画高水流量規模相当の洪水が起こっていないところもあり、このような河川では、計画高水流量より小さい既往洪水の粗度係数が計画高水時にそのまま出現するか、という検討課題が浮かび上がる。河道や水理条件によっては、同一河道区間であっても流量規模の違いによって異なる粗度係数が現れうることを考慮しなければならない。図1.1は、全国河川の河道セグメント毎に計画高水流量に対する既往洪水流量の流量比を調べたものである。対象としたのは、表1.1に示す全国109水系123河川のうち幹川のデータである。ただし、利根川は小貝川、鬼怒川、江戸川、渡良瀬川を、淀川は宇治川、桂川、木津川、瀬田川、野洲川、猪名川を含む。また、対象とした既往洪水は、各河川の「代表洪水」(3つが標準)である(代表洪水の説明は1.4を参照)。図では、計画高水流量を Q_p とし、既往洪水流量を Q として、 Q/Q_p により流量比を求めている。この図によると、代表洪水が計画高水流量相当の場合もあるが、計画高水流量に対して3割から7割程度の場合が多いことがわかる。このことは、逆算粗度係数に基づく粗度係数設定がもたらす上述の課題を吟味すべき河川が少なくないことを示している。

○各河道セグメントの計画流量に対する検討対象洪水の流量比を求めた。(流量に幅がある場合は、大きい方の値を用いた)
 ○全国河川の本川データを対象とした。なお、利根川は小貝川、鬼怒川、江戸川、渡良瀬川を、荒川は宇治川、本澤川、桂川、瀬田川、野洲川、猪名川を含む。

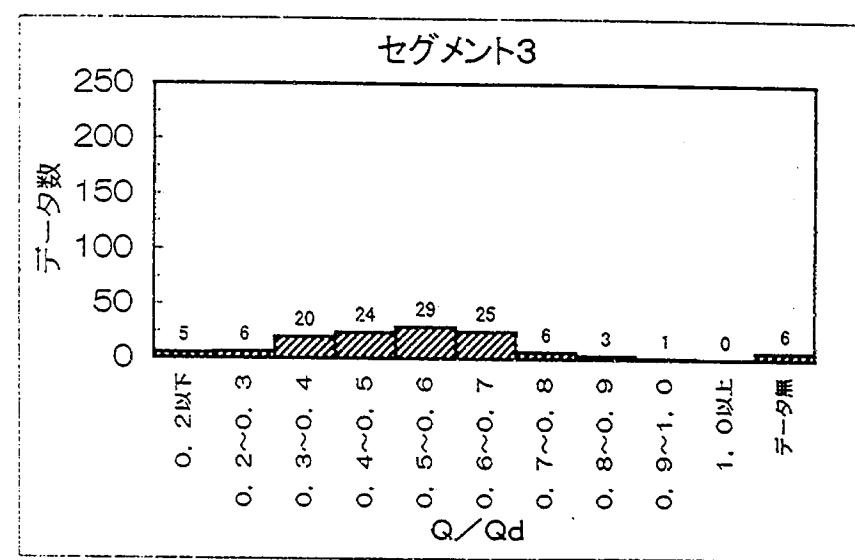
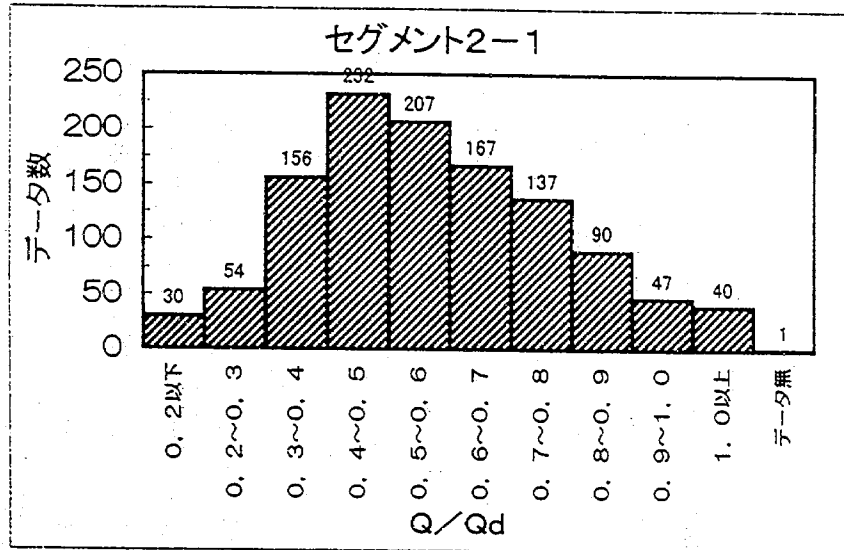
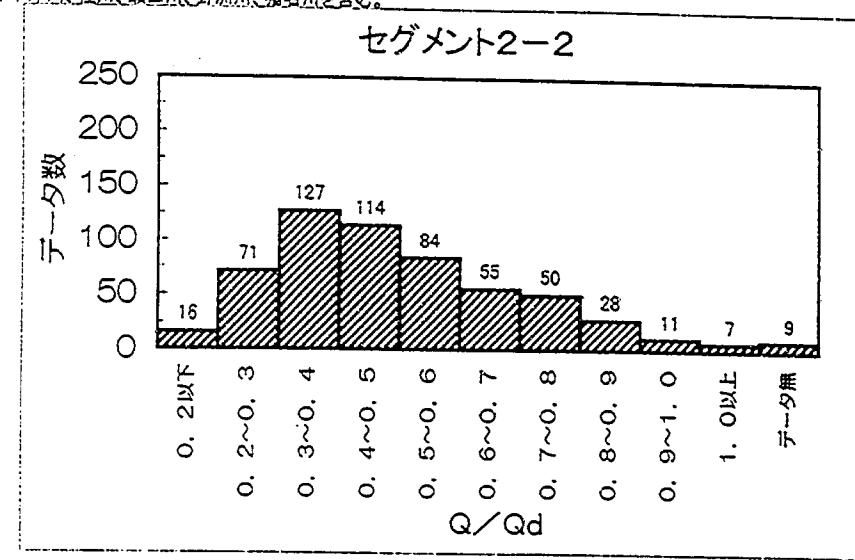
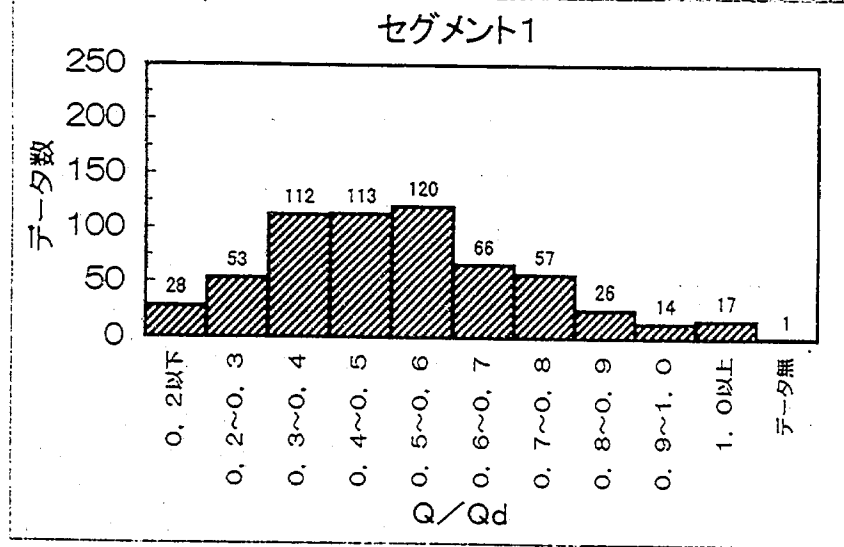


図-1.1 流量比 (Q/Q_d) のヒストグラム (河道セグメント分類毎)

表1.1 本資料で対象とした河川

地域	水系	河川名	地域	水系	河川名
北海道	天塩川	天塩川	近畿	新宮川	新宮川
	留萌川	留萌川		紀ノ川	紀ノ川
	石狩川	石狩川		大和川	大和川
					淀川, 宇治川, 桂川, 木津川, 瀬田川, 野洲川, 猪名川
	尻別川	尻別川		加古川	加古川
	後志利別川	後志利別川		揖保川	揖保川
	釧路川	釧路川		円山川	円山川
	沙流川	沙流川		由良川	由良川
	十勝川	十勝川		北川	北川
	釧路川	釧路川		九頭竜川	九頭竜川
	網走川	網走川	中国	千代川	千代川
	常呂川	常呂川		天神川	天神川
	湧別川	湧別川		日野川	日野川
	渚滑川	渚滑川		斐伊川	斐伊川
東北	岩木川	岩木川		江の川	江の川
	米代川	米代川		高津川	高津川
	雄物川	雄物川		佐波川	佐波川
	子吉川	子吉川		小瀬川	小瀬川
	最上川	最上川		太田川	太田川
	赤川	赤川		芦田川	芦田川
	高瀬川	高瀬川		高梁川	高梁川
	馬淵川	馬淵川		旭川	旭川
	北上川	北上川	四国	吉井川	吉井川
	鳴瀬川	鳴瀬川		吉野川	吉野川
	名取川	名取川		那賀川	那賀川
	阿武隈川	阿武隈川		物部川	物部川
北陸	荒川	荒川		仁淀川	仁淀川
	阿賀野川	阿賀野川, 阿賀川		渡川	渡川(四万十川)
	信濃川	信濃川, 千曲川		肱川	肱川
	関川	関川		重信川	重信川
	姫川	姫川		土器川	土器川
	黒部川	黒部川	九州	松浦川	松浦川
	常願寺川	常願寺川		遠賀川	遠賀川
	神通川	神通川		山国川	山国川
	庄川	庄川		大分川	大分川
	小矢部川	小矢部川		大野川	大野川
	手取川	手取川		番匠川	番匠川
	梯川	梯川		五ヶ瀬川	五ヶ瀬川
関東	久慈川	久慈川		小丸川	小丸川
	那珂川	那珂川			
		利根川, 小貝川, 鬼怒川, 江戸川, 渡良瀬川		大淀川	大淀川
	利根川			肝属川	肝属川
	荒川	荒川		本明川	本明川
	多摩川	多摩川		六角川	六角川
	鶴見川	鶴見川		嘉瀬川	嘉瀬川
	相模川	相模川		筑後川	筑後川
	富士川	富士川		矢部川	矢部川
中部	狩野川	狩野川		菊池川	菊池川
	安倍川	安倍川		白川	白川
	大井川	大井川		緑川	緑川
	菊川	菊川		球磨川	球磨川
	天竜川	天竜川		川内川	川内川
	矢作川	矢作川			
	豊川	豊川			
	庄内川	庄内川			
	木曽川	木曽川, 長良川, 揖斐川			
	鈴鹿川	鈴鹿川			
	柳田川	柳田川			
	雲出川	雲出川			
	宮川	宮川			

次に、低水路粗度係数に直接影響する小規模河床波の消長を支配する無次元掃流力について同様の整理を行った。無次元掃流力が有意に変われば小規模河床波の発生状況が変化し、その結果低水路粗度係数が変化する可能性を無視できなくなる。結果を図1.2に示す。ここで、計画高水流量流下時の無次元掃流力を τ_{*0} とし、代表洪水時の無次元掃流力を τ_{*} として、 τ_{*}/τ_{*0} により無次元掃流力比を求めた。なお、計画高水流量流下時の無次元掃流力 τ_{*0} の算定は現況河道を対象に行っている。図1.2によると、既往洪水（代表洪水）時の無次元掃流力が計画高水流量流下時の無次元掃流力を上回るデータもいくつか見られるが、ほとんどの場合、既往洪水（代表洪水）時の無次元掃流力が計画高水流量流下時の無次元掃流力より小さく、4割から8割程度のものが多いことがわかる。この結果も、やはり、逆算粗度係数に基づく粗度係数設定がもたらす上述の課題を無視できないことを示唆している。なお、既往洪水時の無次元掃流力が計画高水流量流下時の無次元掃流力を上回るデータについては、次のような理由が考えられる。1)既往洪水時河道と現況河道の河道形状が異なっている。2)既往洪水時河道と現況河道で河床材料粒径が異なっている。

さらに、計画高水流量規模の洪水が過去に発生し逆算粗度係数が得られているとしても、その時の河道状況が計画で対象とする河道状況（河道形状や植生繁茂状態、河床材料など）と異なる場合には、計画で対象とする河道に計画高水流量が発生した時の粗度係数が計画高水流量規模の既往洪水に対する逆算粗度係数と同じになるとは限らない。過去の河道状況と計画で対象にする河道の状況が大きく異なることは珍しくなく、また、近年河道状況が変化してきている河川も少なくないことから^{2),3)}、たとえ計画高水流量規模の逆算粗度係数が得られていても、その数値に基づき河道計画における粗度係数を設定することが妥当でない場合の方が多いと考えられる。

また、逆算粗度係数に基づき設定する方法を採用すると、粗度係数と河道状況との対応関係がブラックボックス的になり、設定した粗度係数がどのような河道状況を想定しているかが明示されない。このため、河道内植生など粗度の管理を行うための合理的根拠を作ることが難しくなる。粗度係数が河道状況から物理的に推定する方法に基づき設定されていれば、粗度係数設定の段階で想定した河道状況が明示されることになり、そこで想定した河道内植生の繁茂状況を根拠に粗度管理の方法を合理的に定めることができる。

1.3 粗度状況からの物理的な粗度係数推定に基づく粗度係数設定を検討することの重要性

既往洪水データからの逆算粗度係数に基づき粗度係数を設定する方法に、以上に示した課題がつきまとうことは、その原理から考えて当然であり、その課題自体は古くから認識されていたと考えられる。にもかかわらず、逆算粗度係数に基づく粗度係数設定法が主流となっていたのは（洪水データがある場合）、前述のように、粗度状況からの物理的な粗度係数推定法が技術的に未成熟であり、必要な洪水データがある場合には、他に比べずっとましな方法だったからであり、また、その背景には、流量規模や河道状況の違いが粗度係数に与える影響についての技術情報が不足していたこともあるであろう。

しかし、最近、粗度状況からの物理的な粗度係数推定法の技術検討が以前よりだいぶ進んできた。また、河道計画や河道管理に関してより高い精度あるいはより合理的な説明が求められるようになった。こうした中で、今日の技術水準を前提に1.1に示した2つの粗度係数設定法をどのように位置づけるかを吟味すること、このために特に最近進展が見られる①の設定法について有効性を調べることの重要は高まっている。

○各河道セグメントの計画流量時 τ_{*d} に対する検討対象洪水時 τ_{*} の比を求めた。

○全国河川の本川データを対象とした。なお、利根川は小貝川、鬼怒川、江戸川、渡良瀬川を、荒川は宇治川、木津川、桂川、瀬田川、野洲川、猪名川を含む。

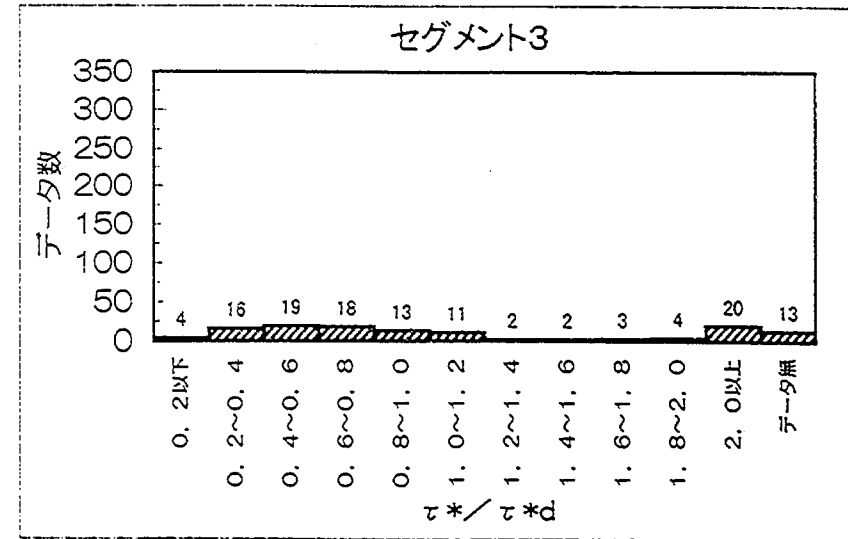
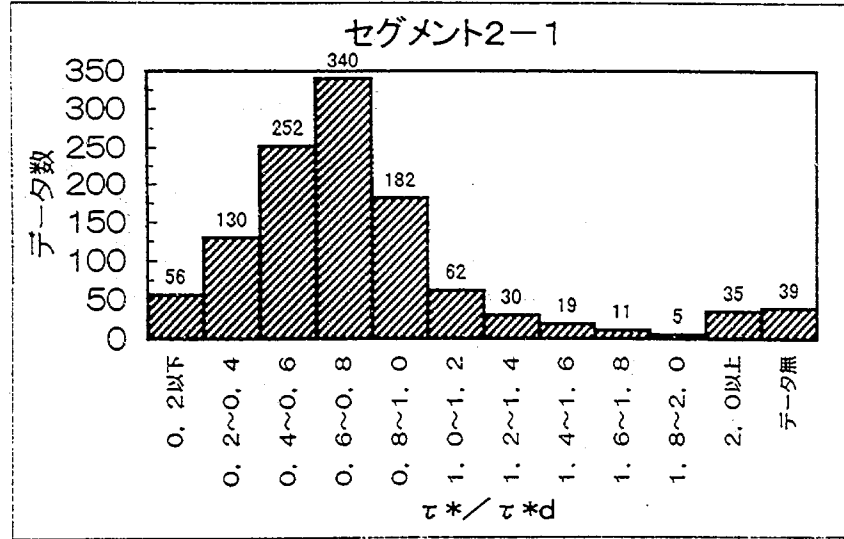
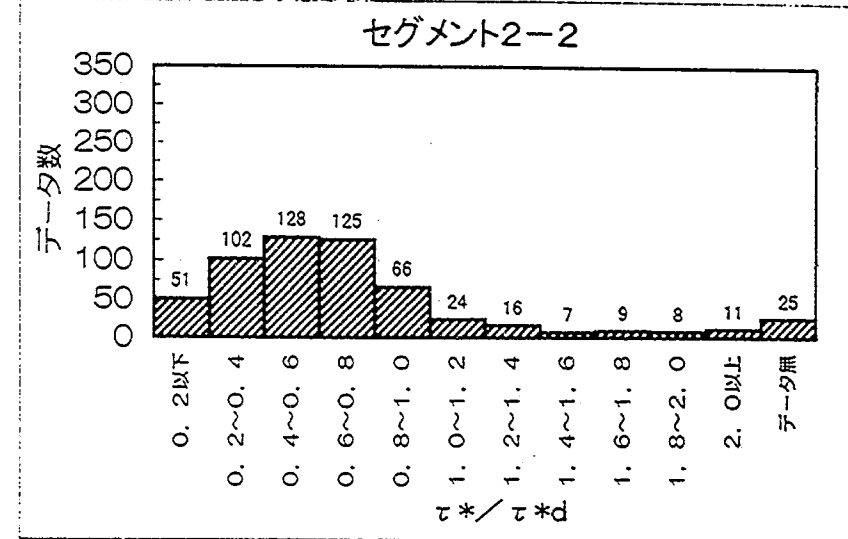
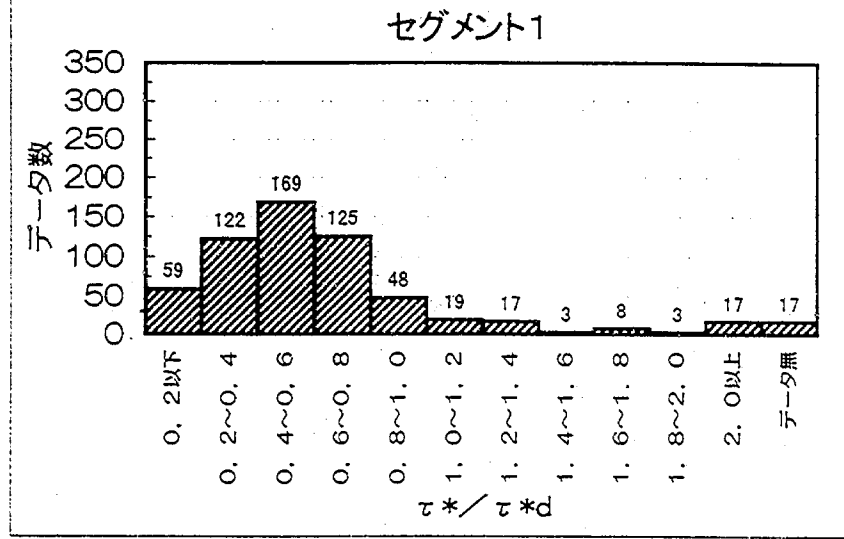


図-1.2 無次元掃流力比 (τ_{*}/τ_{*d}) のヒストグラム (河道セグメント分類毎)

1.4 本資料の検討内容

以上の課題認識を踏まえ、本資料では、物理的な粗度係数推定法が実用面でどこまで有効かを調べ、その結果を踏まえて、1.1に示した2つの粗度係数設定法の位置づけについて考察を行った。以後、本資料で取り上げた物理的な粗度係数推定法のことを「水理的（粗度係数）推定法」と呼ぶ。

ところで、粗度係数の水理的推定法に基づく洪水位計算においては、流れの抵抗が主に次の4つの要素が合成されたものとして表現される⁹⁾。1)河床材料と小規模河床波の形成状況から決まる低水路の粗度係数。2)高水敷の地被から決まる高水敷粗度係数。3)樹木群の存在による直接的影響。4)流速の異なる流れが横断方向に混合することによるエネルギー損失。（なお、ここでは、構造物などによる局所的な抵抗要因は取り上げず検討を行う）そして、1)の低水路粗度係数が与えられ、また、2)に関しては高水敷の植生繁茂高さの情報が、3)に関しては樹木の繁茂状況の情報が、4)に関しては河道形状の情報と1)～3)の情報があれば、洪水位を計算することができる状況にある⁹⁾。これらのうち2)～4)に関する情報は河道を平常時に調査すれば直接手に入るものであるが、1)の低水路粗度係数は平常時の現地調査から直接的に求まるものでなく、河床材料の特性や掃流力に応じて複雑に変化する小規模河床の消長を考慮して推定しなければならず、これは技術的にやさしくない。また一般に、低水路の河積は全河積に対して支配的であるので、低水路粗度係数が洪水位に与える影響は大きい。これらのことから、本資料では、低水路粗度係数の水理的推定法の有効性を調べるのが河道計画における粗度係数設定法を検討する上で重要と考え、低水路粗度係数だけを対象にする。以下では、特に断らない限り、粗度係数やその他の水理量（洪水流量は除く）、諸元は低水路についてのものを指す。なお、水理的推定法に基づく粗度係数を「推定粗度係数」または「推定n」と呼び、逆算による粗度係数は「逆算粗度係数」または「逆算n」と呼ぶことにする。

本資料の構成は以下の通りである。第2章では、取り上げた水理的粗度係数推定法を説明し、第3章では、その方法による推定粗度係数と逆算粗度係数とを比較し、取り上げた水理的推定法の有効性を調べた結果を述べる。この結果を踏まえ、第4章では、対象とする洪水および河道状況を現状の技術レベルで最大限忠実に反映できることを重視する立場から、同時に1.1に示した2つの設定法のどちらかだけに依存するのではなく両方の弱点を相互に補完して総合的に判断することを重視する立場から、粗度係数の設定法について新しい提案を行った。

本資料では、表1.1に示す全国109水系123河川に関する粗度係数および河道特性データをもとに以上の検討を行った。検討に用いたデータは全て、各地方建設局ならびに北海道開発局の作業から出てきたものである。データ内容は、次に示すものである。なお、この作業では、検討対象とする既往の洪水を「代表洪水」と呼び、その選定については、・流量規模が大きいこと、・検討に必要な良質のデータが揃っていること（この条件があるため、必ずしも最大3洪水とはならない）、・3つを標準とすること、としている。

○河川の基礎情報として

- | | |
|------------|---------------|
| ・水系名 | ・河川名 |
| ・河道セグメント区分 | ・各セグメント範囲の距離標 |
| ・主要洪水流量 | ・計画高水流量 |

○検討対象とした過去の代表洪水発生時について（洪水毎・セグメント毎）

- ・粗度係数（痕跡水位による逆算粗度係数、推定粗度係数、浮子流速に基づく流量観測地点における逆算粗度係数）
- ・流速係数（推定値：推定粗度係数を算出するためのもの）
- ・河床勾配 ・代表粒径(mm)
- ・検討流量(m^3/s) ・平均水深(m)
- ・摩擦速度 ・水深粒径比
- ・無次元掃流力

ここで、逆算粗度係数は上述のように低水路についてのものであり、それは次のように算出している。前述のように粗度係数の水理的推定法に基づく洪水水位計算においては1)～4)の4つの要素が考慮されるが、このうち2)～4)については平常時の河道調査から考慮に必要な情報が得られる。そこで、既往の河道調査から2)～4)の考慮に必要な情報を求め、それらは既知として洪水水位の計算を行い、それが実際の洪水痕跡水位と合うような低水路粗度係数を算出するという方法により、低水路粗度係数を逆算している。なお、浮子流速に基づく場合は、低水路を流下する浮子だけを対象にすることで、低水路粗度係数を直接算出している。このほか、河床勾配、代表粒径は、過去の各洪水発生時点に最も近い調査時点の河道および河床材料データによる値である。また、平均水深、摩擦速度、無次元掃流力、水深粒径比は、痕跡水位に合う洪水水位計算結果を用いて求めたものである。各セグメントの検討流量は、過去の代表洪水の流量観測地点での流量を計画高水流量配分などによりセグメント毎に振り分けた値である。

○計画高水流量発生時について（現況河道を対象とする）

- ・推定粗度係数
- ・流速係数（推定値：推定粗度係数を算出するためのもの）
- ・河床勾配
- ・代表粒径(mm)
- ・検討流量(m^3/s)
- ・平均水深(m)
- ・摩擦速度
- ・水深粒径比
- ・無次元掃流力
- ・川幅水深比

ここで、河床勾配、代表粒径は、最新の河道および河床材料データによる値である。平均水深、摩擦速度、無次元掃流力、水深粒径比、川幅水深比は、検討流量と推定粗度係数を与えて行った洪水位計算から求めた値である。検討流量は計画高水流量である。

なお、本資料における粗度係数の検討は、川幅／水深比の大きい沖積河川（いわゆる１級河川の直轄区間に多い）を適用対象とした技術に基づくものである。川幅／水深比の小さいいわゆる中小河川については、たとえば側壁の粗度係数を考慮するなど、一部別の取り扱いが必要になることに留意されたい。

第2章 本検討で取り上げた低水路粗度係数の水理的推定法について

2.1 推定法の概要

本検討で取り上げた水理的粗度係数推定法は、1.4に述べたように、流れの抵抗を主に次の4つの要素が合成されたものとして表現している⁹⁾。1)河床材料と小規模河床波の形成状況から決まる低水路の粗度係数。2)高水敷の地被から決まる高水敷粗度係数。3)樹木群の存在による直接的影響。4)流速の異なる流れが横断方向に混合することによるエネルギー損失。本資料は、このうち1)の低水路粗度係数の水理的推定法を対象にしている。その基本的な考え方を以下に説明しておく。

低水路の川底を構成する河床材料は洪水中に流送され、この過程で、条件によっては小規模河床波が発生し、この河床波は粗度係数に大きな影響を与える。河床波が発生せず河床が平坦な場合には、主に河床材料の粒径が粗度として働く。このように低水路は移動床としてとらえなければならない。移動床の流れと流砂の現象は、川幅水深比が大きい一方で砂州の影響が無視できる場合には、次元解析により次のように表すことができる。

$$\frac{H^{1/6}}{\sqrt{g \cdot n}} = \phi = f(R_{*}, \tau_{*}, H/d) \cdots (2.1)$$

ここに、 H ：低水路水深、 g ：重力加速度、 n ：マンニングの粗度係数、 ϕ ：流速係数で $\phi = U/U_{*} = \frac{H^{1/6}}{\sqrt{g \cdot n}}$ 、 U_{*} ：摩擦速度、 U ：平均流速、無次元掃流力 $\tau_{*} = U_{*}^2 / sg d = H I_b / s d$ 、 d ：河床材料粒径、 s ：河床材料の水中比重で通常1.65程度、 I_b ：河床勾配、である。 R_{*} は粒子レイノルズ数 ($U, d / \nu$ ： ν は動粘性係数)であり、実際上 d と τ_{*} ではぼ決まってしまう。このことから、流速係数 ϕ は τ_{*} と H/d 、 d の3つのパラメータにより決まると考えて差し支えない。また、 R_{*} が ϕ に影響を与える範囲から考えて、パラメータ d が実際上効くのは $d < 0.3\text{cm}$ である。

以上のように考えた山本⁹⁾は、上式の具体的な関係を求めるため、内外の移動床に関する実験資料および実際の河川の観測資料を集め、流速係数 $\phi \sim (\tau_{*}, H/d, d)$ の関係を、 $d = 0.02, 0.03, 0.05, 0.1\text{cm}$ について実際の河川で生じる水理量の範囲を概ねカバーするように図化した。この結果が文献6)にある。その一例を図2.1、図2.2に示す。流速係数の変化は河床形態の変化とも対応しているため、図中では河床形態区分も示されている。また、図中の実線の部分は実験資料を基に描かれており、点線の部分は実測資料が無い領域での推定線である。推定線は、実測資料があるところの $\phi \sim (\tau_{*}, H/d, d)$ 関係についての詳細な分析から得られた法則を資料の無い領域に適用して得ている。なお、河床材料が $d > 0.1\text{cm}$ の場合、一様粒径であれば $d = 0.1\text{cm}$ の図を準用することができる。

本資料が対象にしている低水路粗度係数についての水理的推定法は、上記の山本による推定法を土台として、実用的な低水路粗度係数推定法として拡張させたものになっている。山本の方法によれば、洪水流量の違いがもたらす小規模河床波の発生状況の違いを粗度係数予測に考慮でき、流量規模の増大に伴う低水路粗度係数の変化を再現することが原理的に可能となっている。

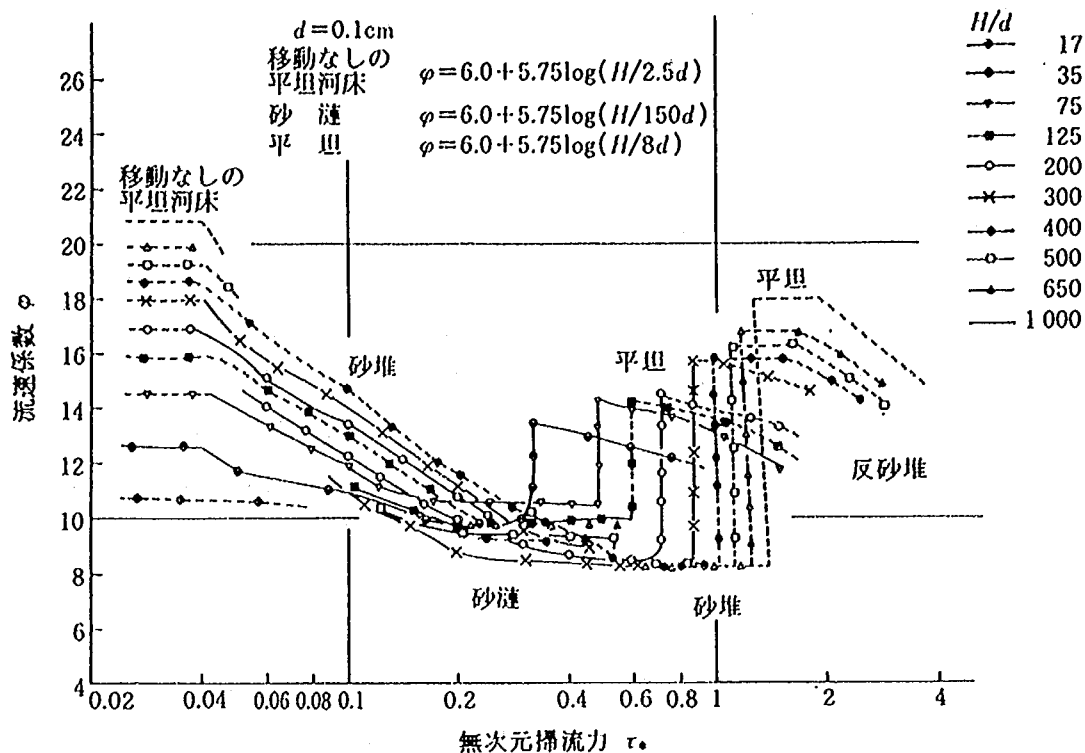


図-2.1 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
($d=0.1\text{cm}$, $H/d=15\sim1000$)

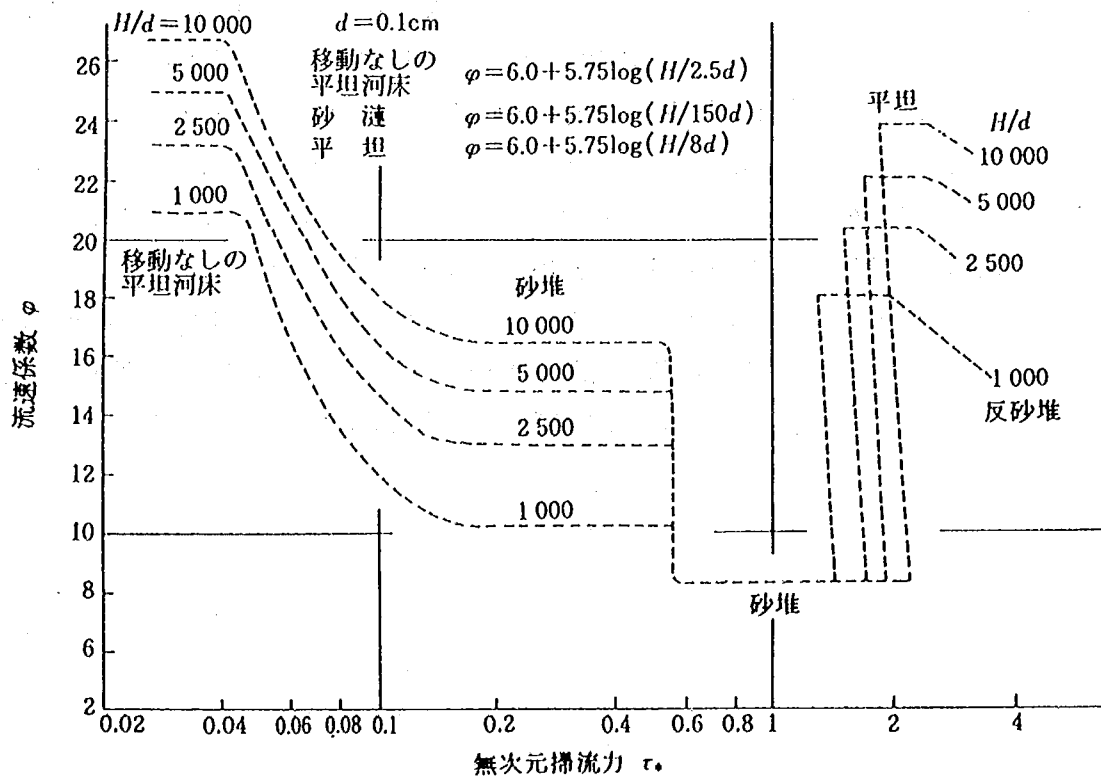


図-2.2 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
($d=0.1\text{cm}$, $H/d=1000\sim10000$)

2.2 $\phi \sim (\tau_*, H/d, d)$ 関係図と現地および実験データとの関係

水理的粗度係数推定法の核である山本による $\phi \sim (\tau_*, H/d, d)$ 関係図⁹⁾の精度、妥当性について、ここで改めて確認する。

2.2.1 精度の高い厳選されたデータとの比較

土木研究所において検討された既往資料（文献7)8)9)10)）から選択した図2.3(1)～(5)は、現地実測データおよび実験計測データをプロットしたものであり、現地実測データは、四国の渡川具同地点(9km)におけるS38.8.10～S40.9.10およびS40.9.16～S45.6.15の期間のものであり、海外はElkhorn River near Waterloo, NebraskaおよびRio Grande near Bernallioのものである。また実験計測データは、Gilbert、土研、W. E.S、U.S.G.Sによって行われた実験のものである。 $\phi - \tau_*, H/d$ の関係図は、このような厳選された精度の高い多くの実験データおよび現地観測データをもとに分析が行われ作成されたものである。

図2.3から、水深粒径比毎の流速係数と無次元掃流力の関係を示す推定線とデータの間には良い対応関係があることがわかる。特に、無次元掃流力の変化に伴う流速係数（したがって粗度係数）の変化傾向を推定線がよく説明していることは、粗度係数設定にとって重要である。以上から $\phi - \tau_*, H/d$ の関係図は、砂河川および砂利河川について、その傾向を概ね的確に表しているものと判断できる。

2.2.2 痕跡水位による逆算粗度係数との大局的比較

1.4に示した痕跡水位による逆算粗度係数と $\phi - \tau_*, H/d$ 関係図を比較してみる。逆算粗度係数は表1.1に示された河川で河道セグメント毎に行われており、その数は膨大である。しかし、2.2.1で取り上げたような厳選されたデータではなく、1つ1つにはある程度の誤差を含んでいる可能性もある。そこでここでは、1つ1つの逆算値と関係図との対応関係を細かく検証するのではなく、全データを $\phi - \tau_*, H/d$ 関係図にプロットした時、大局的に両者が食い違っていることがないか、という視点で検討を行う。結果を、図2.4(1)(2)に示す。逆算粗度係数のプロットは全国河川の幹川（ただし利根川は小貝川、鬼怒川、江戸川、渡良瀬川を、淀川は宇治川、木津川、桂川、瀬田川、野洲川、猪名川を含む）について行った。

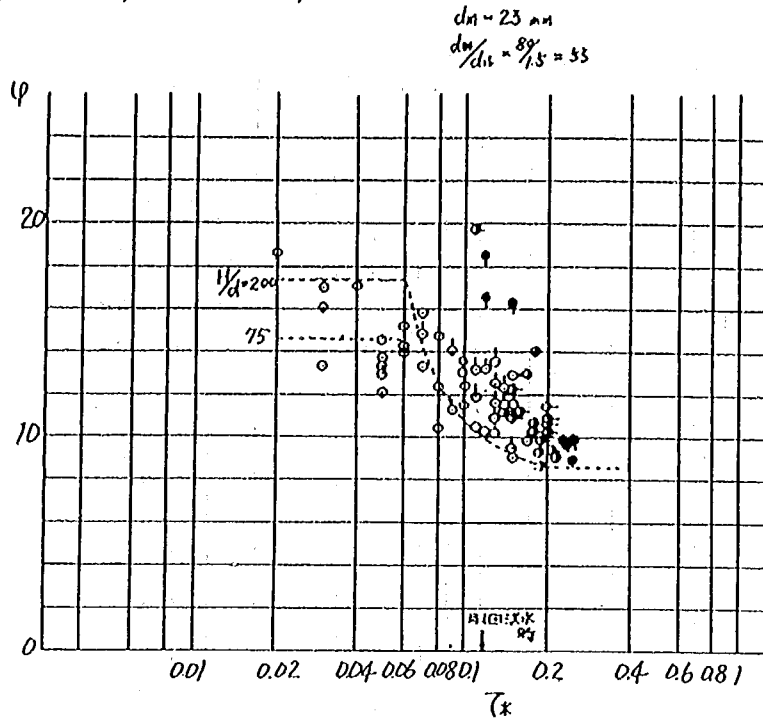
これらの図を見ると、データにかなりのばらつきがみられる。しかしセグメント毎に見ると大局的ではあるが、図中に示す推定線の $\phi \sim \tau_*, H/d$ 関係と同様の傾向を示している。したがって、洪水時の実績の $\phi - \tau_*, H/d$ 関係は、 $\phi - \tau_*, H/d$ 関係図に示される推定線の傾向と大局的には異ならないと言える。

<現地実測データ>(国内)

渡川(具同地点:9km)

河床勾配: 1/1400, 平均粒径: $d_m = 23\text{mm}$

期間: S38.8.10,3:25 ~ S40.9.10,18:30

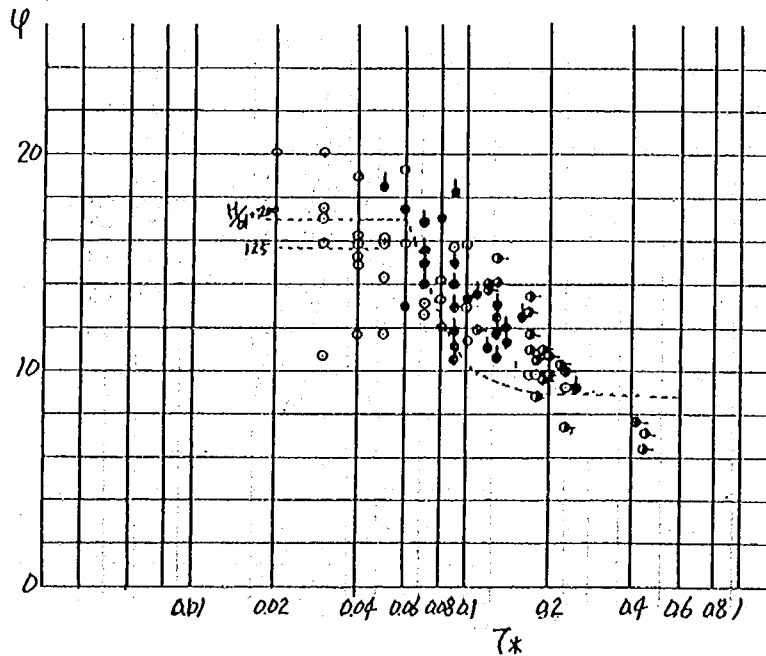


H/d_m
 $50 < \phi \leq 100$
 $100 < \phi \leq 200$
 $200 < \phi \leq 300$
 $300 < \phi \leq 400$
 $400 < \phi \leq 500$
 mean annual flood
 discharge
 $1735\text{ m}^3/\text{s}$

渡川(具同地点:9km)

河床勾配: 1/1400, 平均粒径: $d_m = 23\text{mm}$

期間: S40.9.16,21:20 ~ S45.6.15,16:30



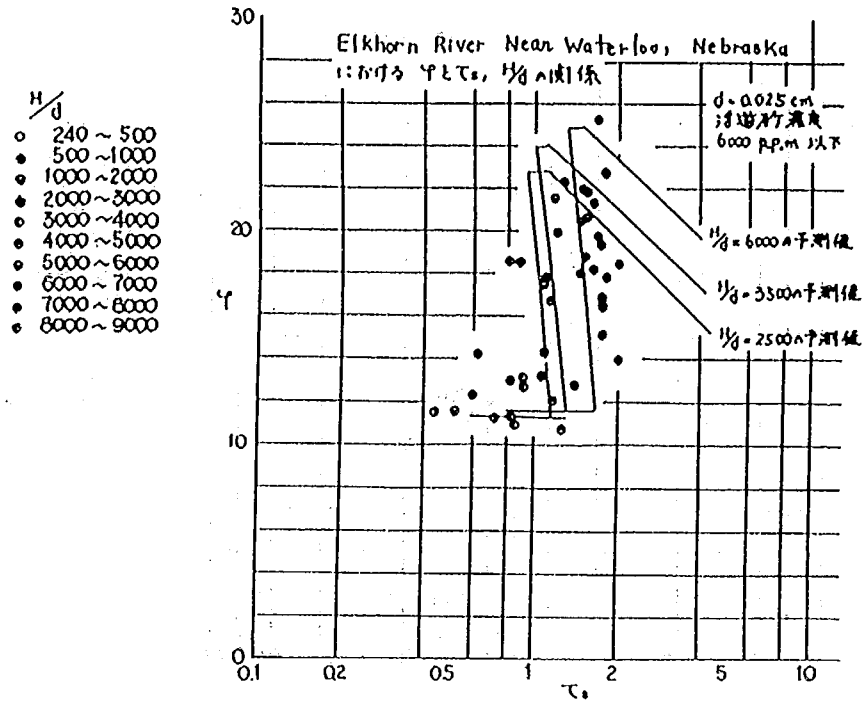
H/d_m
 $50 < \phi \leq 100$
 $100 < \phi \leq 200$
 $200 < \phi \leq 300$
 $300 < \phi \leq 400$
 $400 < \phi \leq 500$

図-2.3(1) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
 -実測値(プロット)と推定値(線)との比較-

<現地実測データ> (海外)

Elkorn River near Waterloo

平均粒径: $d_m = 0.25\text{mm}$, 川幅: 約 80 ~ 85m (ほぼ直線河道)



Rio Grande near Bernallio

中央粒径: $d_m = 0.29\text{mm}$

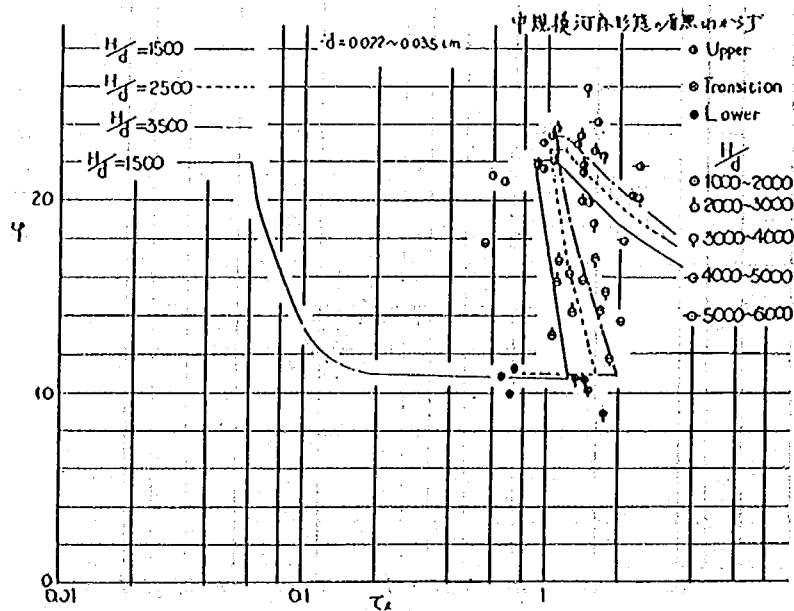


図-2.3(2) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
 — 実測値 (プロット) と推定値 (線) との比較 —

<実験データ>(その1)

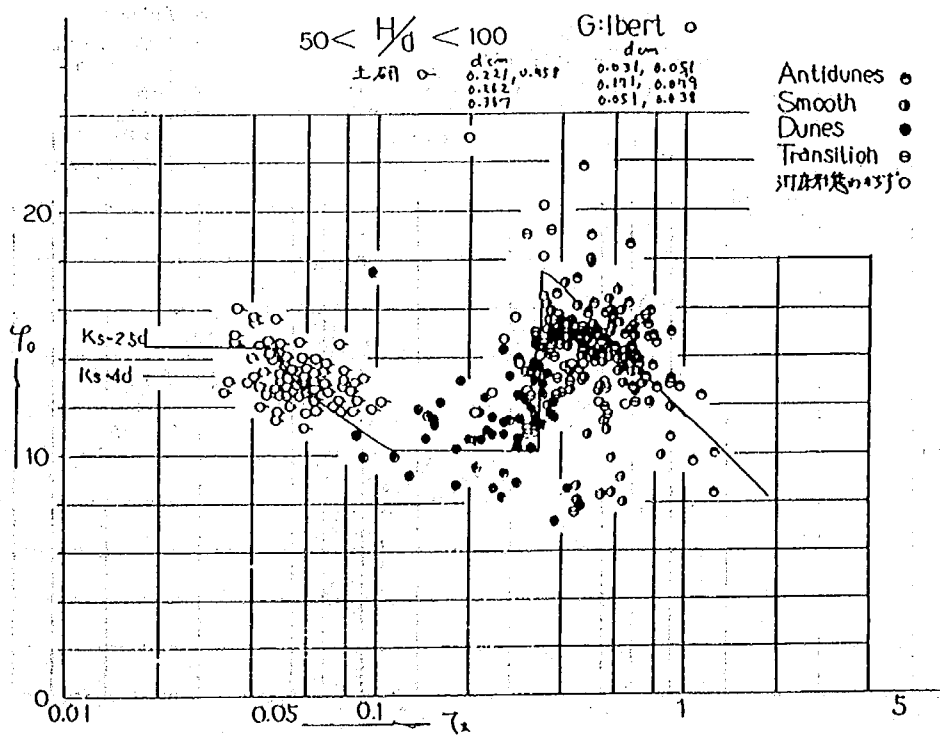
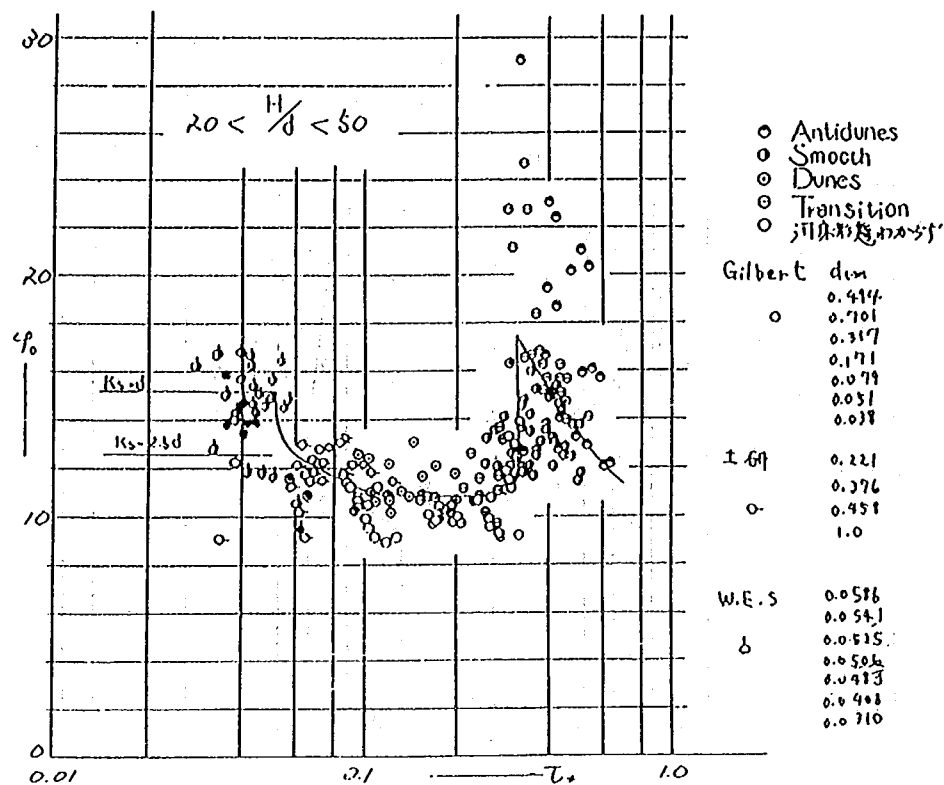


図-2.3(3) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
 — 実測値 (プロット) と推定値 (線) との比較 —

<実験データ>(その2)

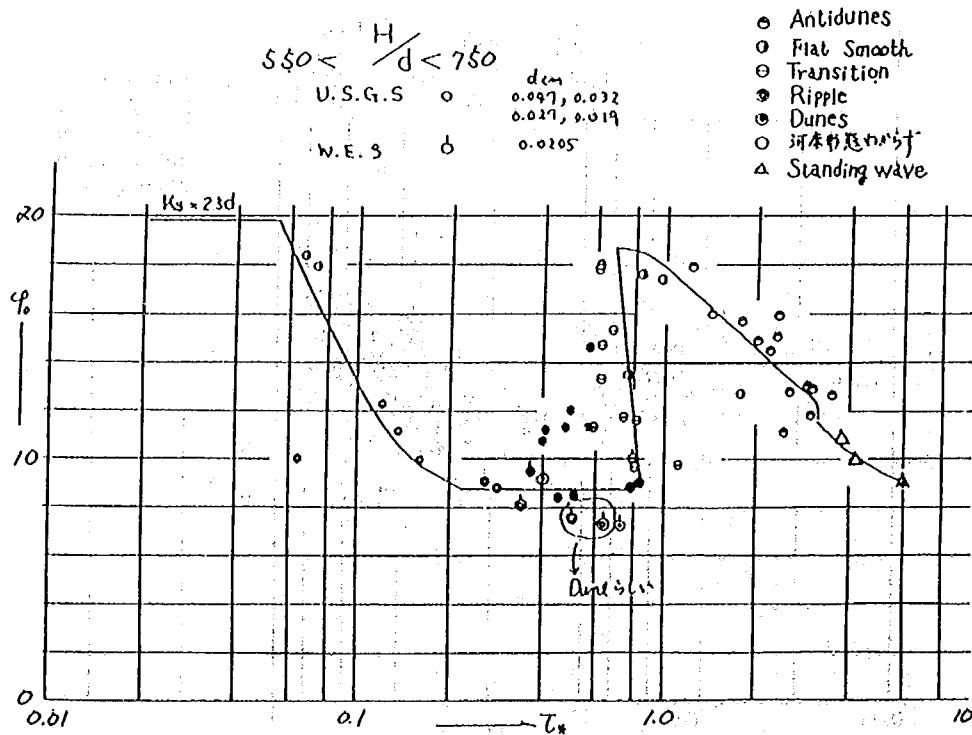
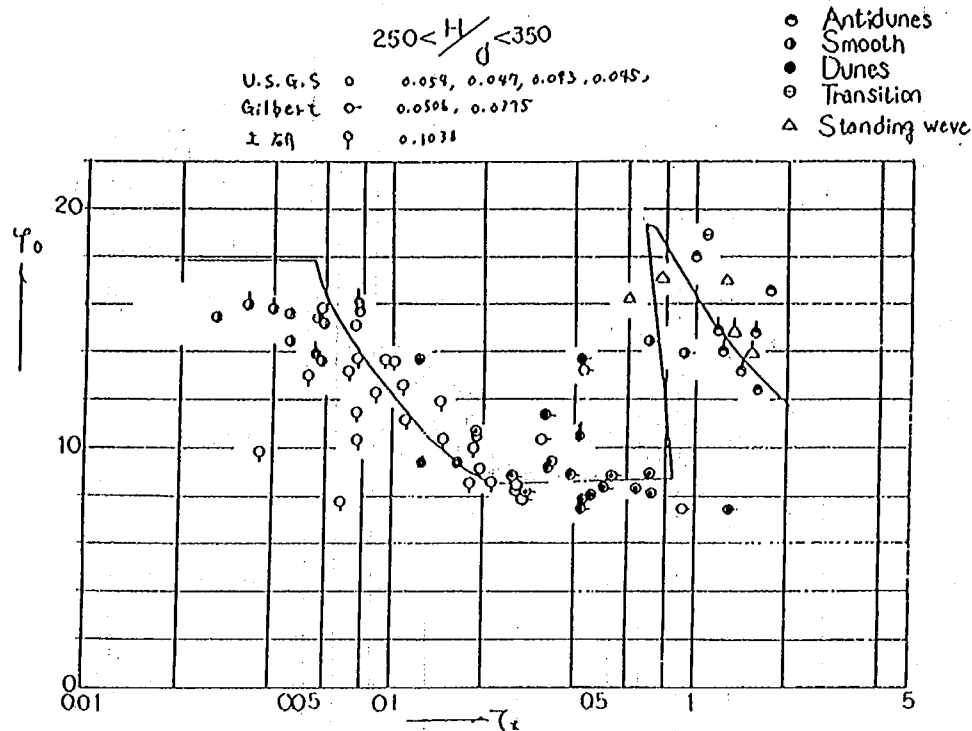


図-2.3(4) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
 —実測値(プロット)と推定値(線)との比較—

<実験データ>(その3)

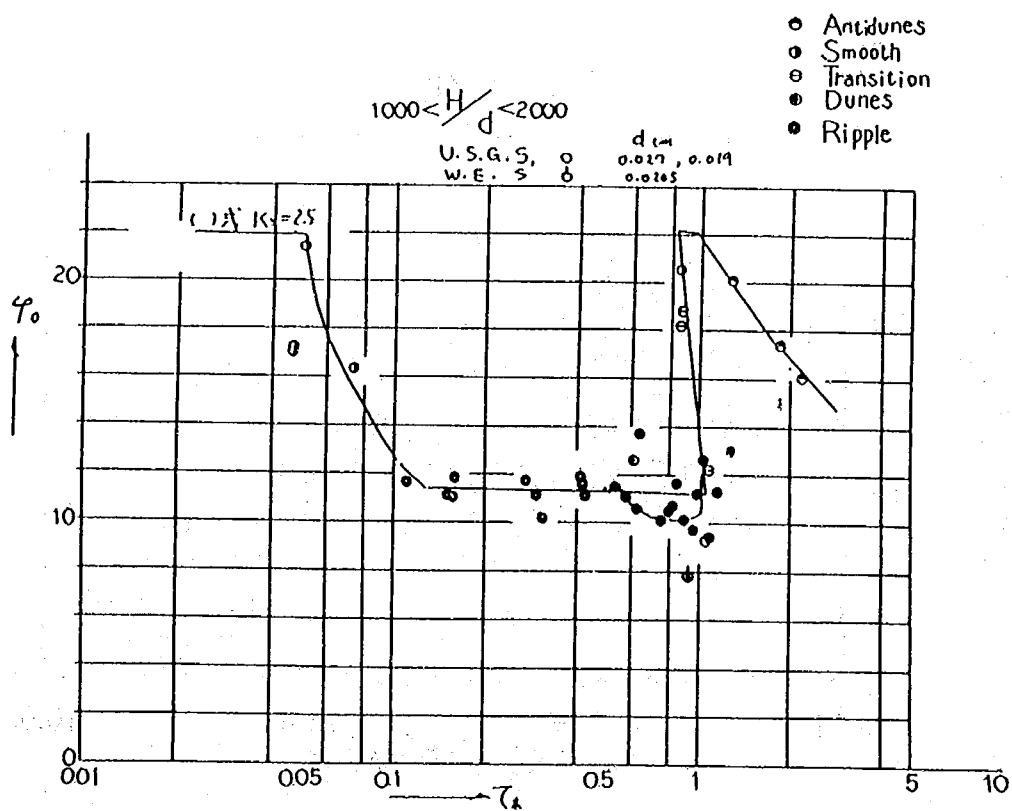
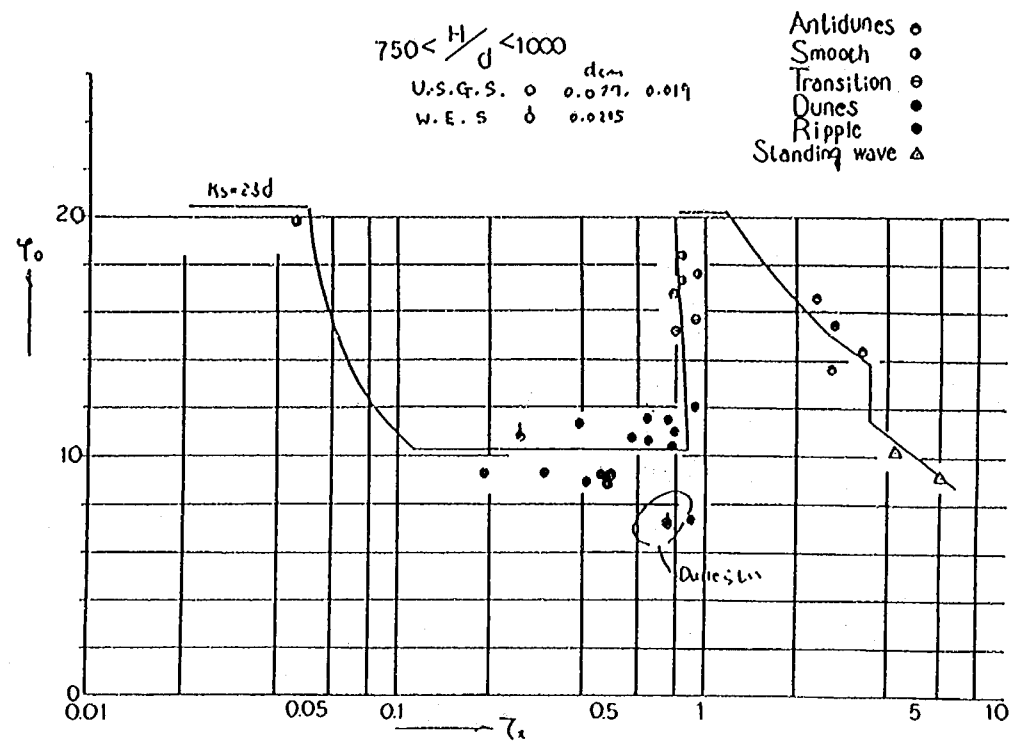


図-2.3(5) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
—実測値(プロット)と推定値(線)との比較—

○全国河川(本川)の逆算 n と無次元掃流力を用いた。なお、利根川は小貝川、鬼怒川、江戸川、渡良瀬川を、淀川は宇治川、桂川、木津川、瀬田川、野洲川、猪名川を含む。

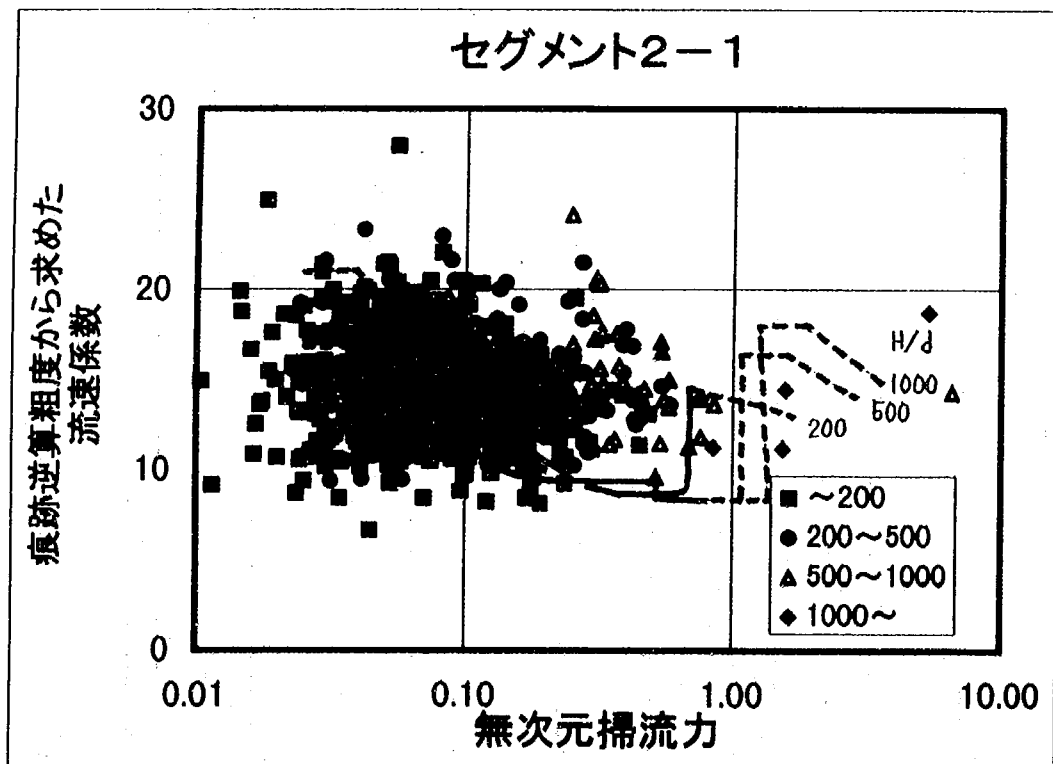
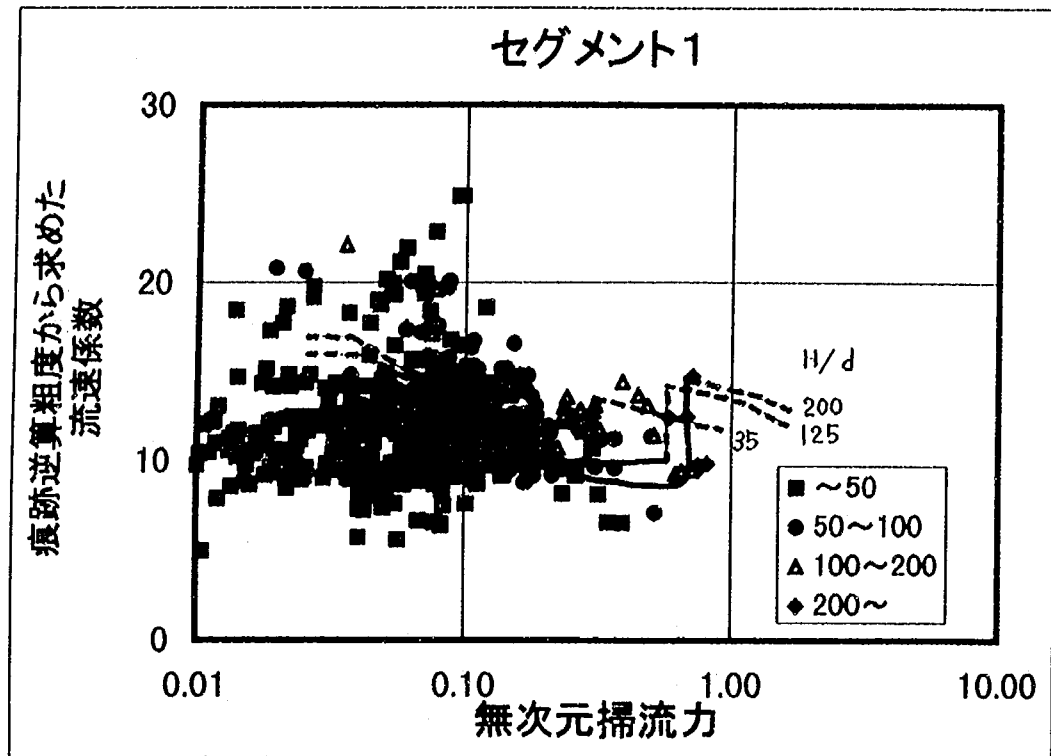


図-2.4(1) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
 〈逆算値：プロット〉 〈推定値：線〉

○全国河川(本川)の逆算 n と無次元掃流力を用いた。なお、利根川は小貝川、鬼怒川、江戸川、渡良瀬川を、淀川は宇治川、桂川、木津川、瀬田川、野洲川、猪名川を含む。

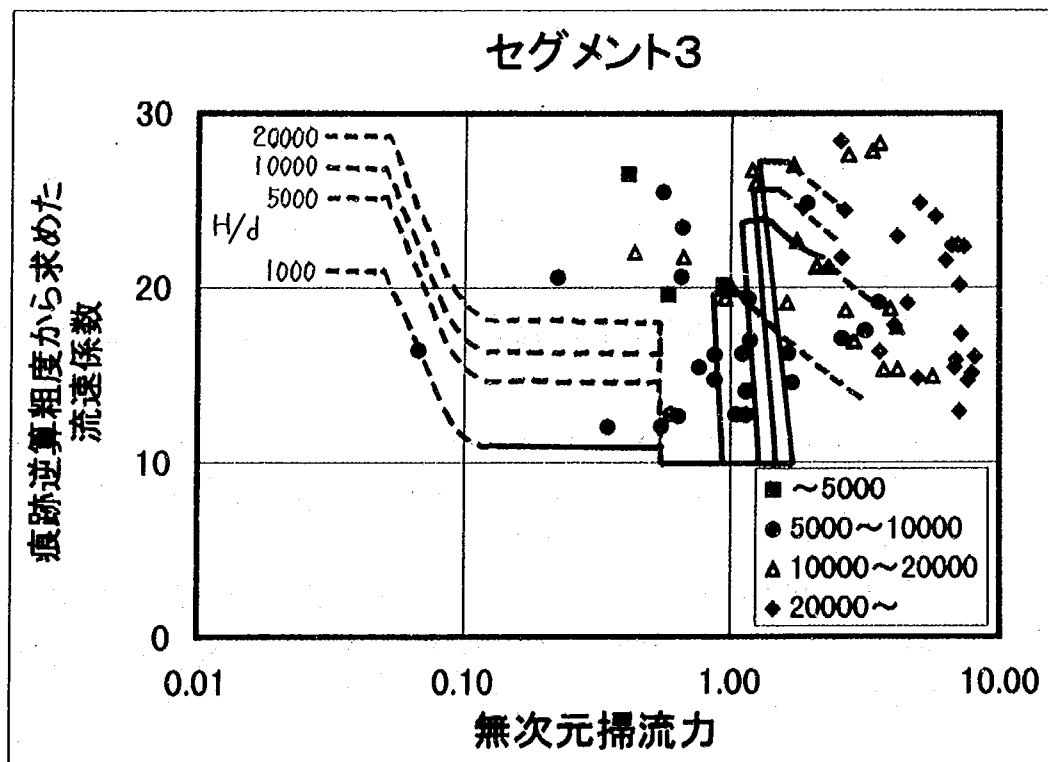
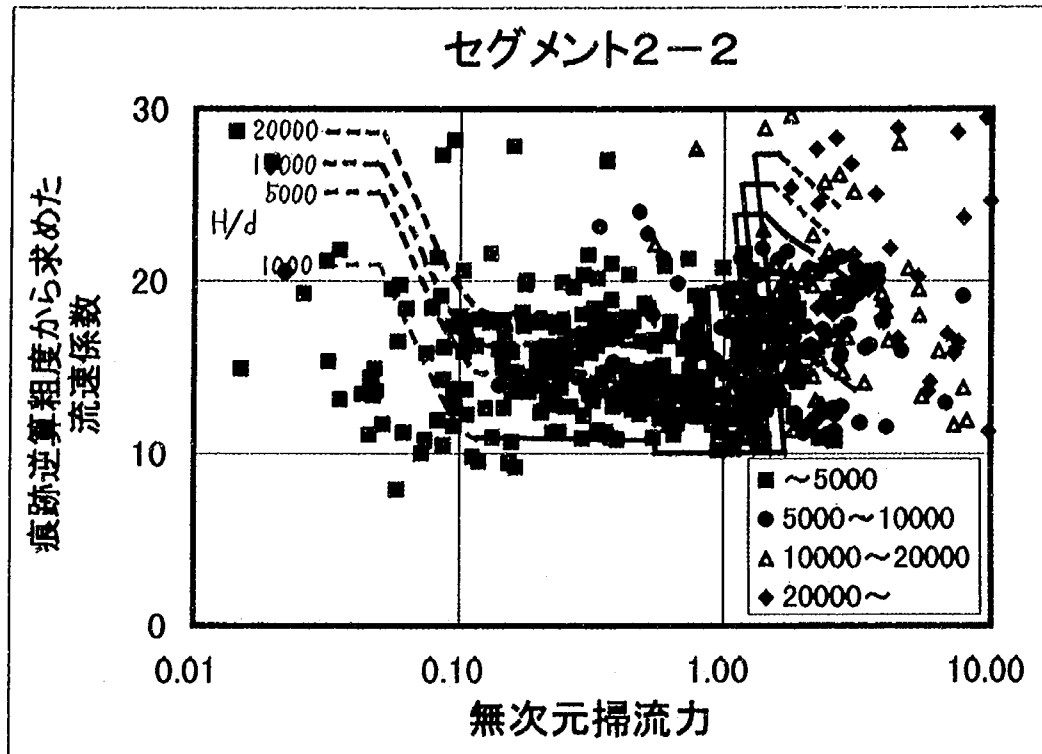


図-2.4(2) 流速係数と無次元掃流力、相対水深の関係図
 〈逆算値：プロット〉 〈推定値：線〉

第3章 低水路粗度係数の水理的推定法の有効性と課題

3.1 逆算粗度係数と推定粗度係数との比較

3.1.1 比較の方法

2.2.2では、逆算粗度係数と推定粗度係数との関係を大局的に把握した。ここでは、両者の関係を1つずつ見ていき、粗度係数設定に用いる道具として低水路粗度係数の水理的推定法がどこまで有効かを吟味する。なお、逆算 n と推定 n を各セグメントについて比較する前に、次に該当する河道区間のデータは除外した。

①山地河道区間

②岩河床区間

③岩露出区間

④低水路強蛇行区間(堤防法線に対して低水路河道が大きく蛇行しており、低水路から高水敷へのり上げるような流れや高水敷から低水路へ落ち込むような流れが顕著に生じる区間)

⑤連続的横断構造物区間

これらの河道条件に該当する区間については、推定 n が実際の河道内の粗度状況を再現し得ず、河床材料による合理的な粗度係数推定が無理な区間である。さらに河床材料が砂分であるセグメント2-2に該当する河道区間は、洪水などで河床形態が砂堆河床から平坦河床に遷移することがある。この遷移河床における推定粗度係数は砂堆相当～平坦河床相当の粗度係数の幅を持ちうることから、逆算値との単純な比較にならない。そこで、水理的推定法に基づいたとき対象データを遷移河床と判断できるかどうかを調べ、水理的推定法から見て遷移河床に該当すると判断できるデータについては、逆算 n と推定 n の比較について別の判断基準を設けた。具体的な内容を以下に示す。

<遷移河床に該当する河道区間の取り扱い>

- 1) 対象洪水の逆算 n より流速係数 φ を算出する。
- 2) $\varphi - \tau$, H/d 図において、対象洪水の H/d (水深粒径比)に近い H/d に対応する線上の、遷移領域にあたる部分の τ の値を読み取る。
- 3) 読み取った τ に対して $\pm a\%$ の遷移領域許容範囲を設定する。ここでは、 a の値として30%を設定する。
- 4) 逆算データの τ がこの許容範囲内にあり、かつ逆算 $n(\varphi)$ が遷移領域の $n(\varphi)$ の範囲内(砂堆河床と平坦河床の間)にある場合、逆算値は遷移河床領域に対応した推定値の許容範囲内にあると判断する($d=0.1\text{cm}$ 、 $H/d=1000$ であれば、図3.1の太線内の斜線部分が該当)。
- 5) このようにして、逆算値が遷移河床領域に対応した推定値の範囲内にあると判断された場合、逆算 n と逆算対象洪水対応の推定 n が「よく一致する」ものとする。そうでない場合は、逆算 n と推定 n について通常の単純な値の比較を行う。

3.1.2 比較の結果

粗度係数の比較は、逆算 n と推定 n の差を推定 n で割った値を「ズレ率」として、そのズレ率をセグメン

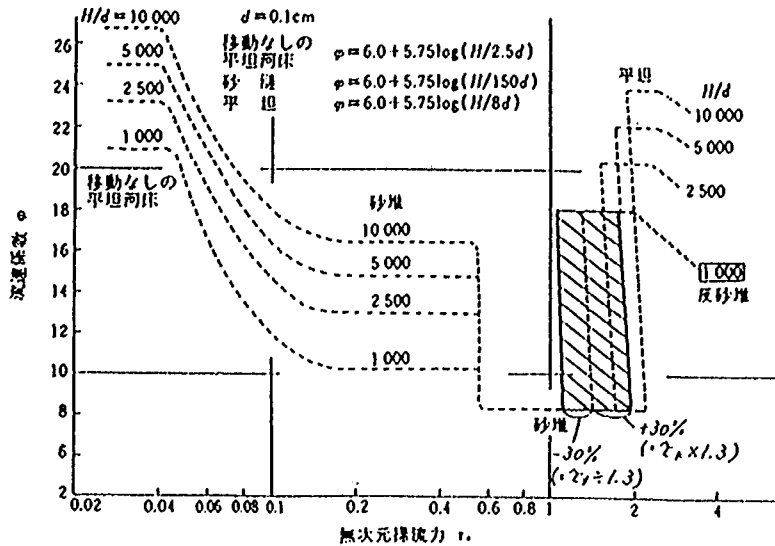


図-3.1 遷移河床に対応した推定値の許容範囲設定図
(例えば $d=0.1\text{cm}$, $H/d=1000$ の場合)

ト区分毎に整理することにより行った。図3.2にセグメント区分毎のズレ率の分布を示す。図の横軸は、データの全数を1とした場合の累計値である。図3.3は、同じ内容をズレ率の頻度分布で示したものである。

図3.2によると、セグメント3を除くセグメント1、2-1、2-2のズレ率は3次曲線を歪ませたような分布を描き、やや負のズレ率の割合が多いことが分かる。また図3.3のヒストグラムによると、セグメント1および2-1のヒストグラムは正規分布に似た形を示し、セグメント2-2のヒストグラムは正規分布がやや歪んだような形を示している。一方、セグメント3は、ズレ率の累計曲線分布が直線的な傾向を示しており、ヒストグラムでも明確な正規分布状の傾向が見られず、むしろ矩形に近い形になっている。このことは、図3.4に示すセグメント3区間の逆算 n と推定 n の差分値の分布をみても同じである。

ここでセグメント3の逆算 n と推定 n の差分値のヒストグラムがなぜ横に広がった矩形状の分布になったのか考えてみる。図3.5は、セグメント3区間における逆算 n そのものの分布を示す。これによると、セグメント3区間における逆算 n は、0.015と0.020付近にやや集中しているものの、全体的に見るとやはり0.010～0.036の間に広く一様に分布しているといえる。このことから、図3.3に示したようにセグメント3のズレ率ヒストグラムが矩形状になったのは、逆算 n 値自体が矩形的分布を持っているためと考えられる。この原因として、セグメント3の洪水水位が潮汐の影響を受けやすいこと、多くの場合粗度係数逆算がピーク流量についての不等流計算と痕跡水位を用いて行われることが挙げられる。流量と水位が一意的な関係を持ちループを描かない場合には、最高水位である痕跡水位発生時にピーク流量が発生すると近似しても大きな問題はないが、感潮区間の場合、流量と水位との関係が複雑になり、潮位変化と洪水ハイドロのタイミングによっては、痕跡水位発生時とピーク流量発生時が大きくずれることも珍しくない。このような状況で、痕跡水位に基づく逆算を行うと、ピーク流量を想定している分逆算値に誤差が生じることになる(逆算粗度係数の過小評価)。この課題に対処するため、河口部付近の感潮区間では潮汐の影響を受け流量と水位とが一意的な関係にならない場合があるとして、この場合には、河口付近でピーク流量が発生する時刻を推定し、この時刻の

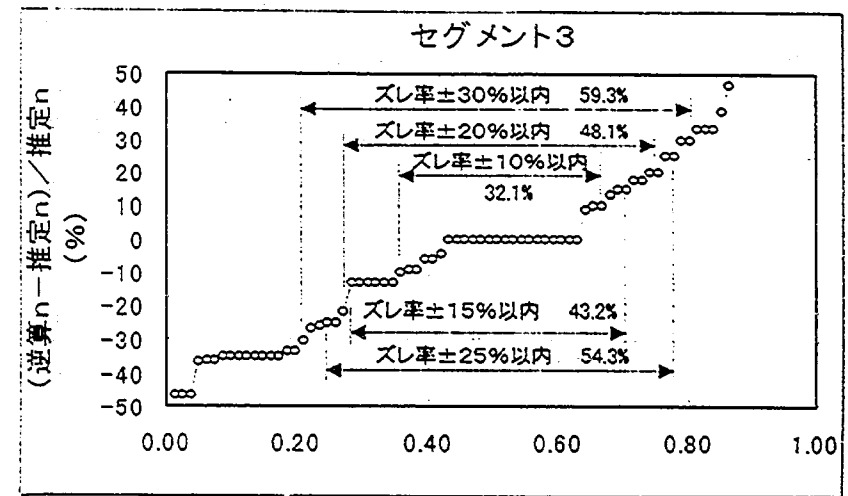
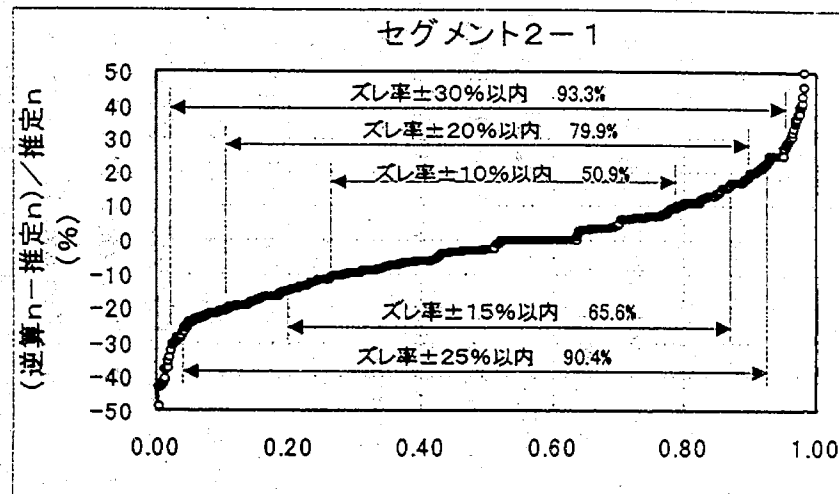
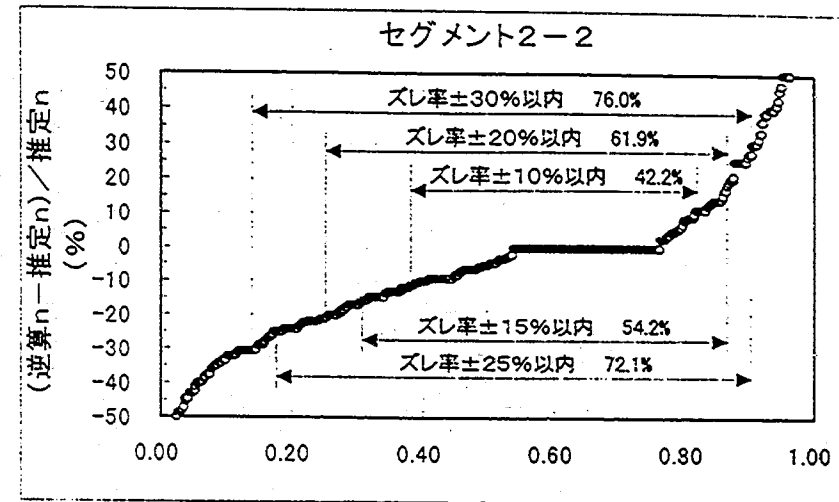
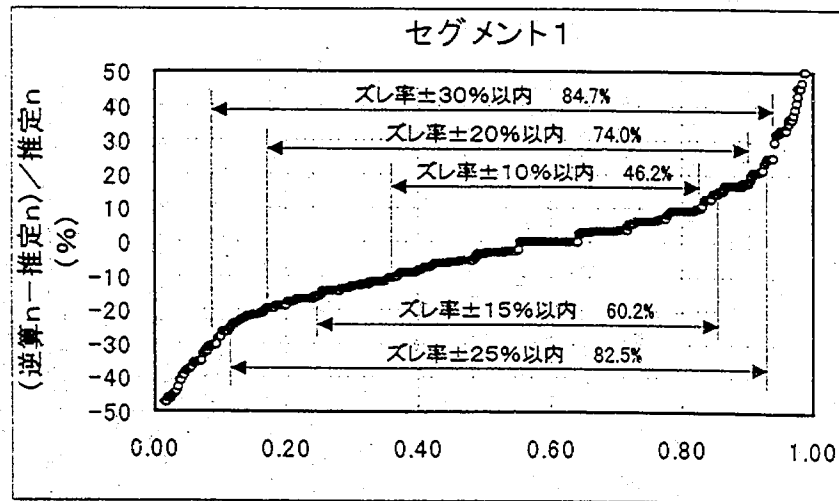


図-3.2 ズレ率の分布 (河道セグメント分類毎)

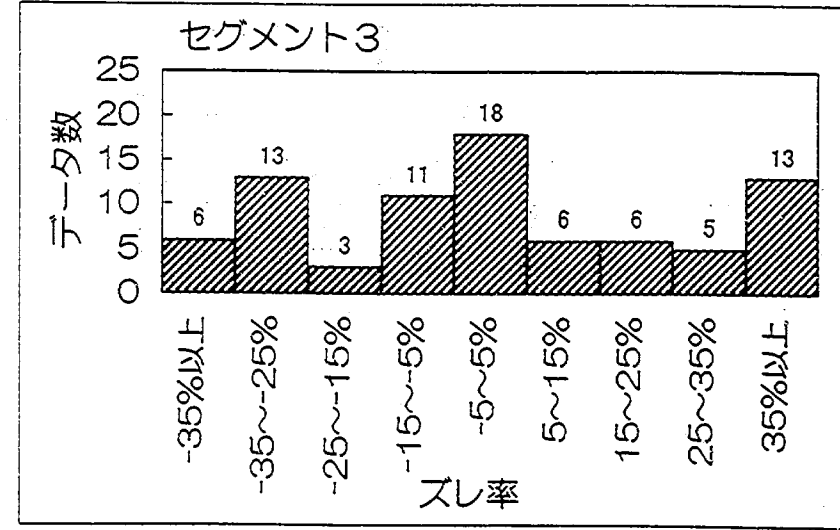
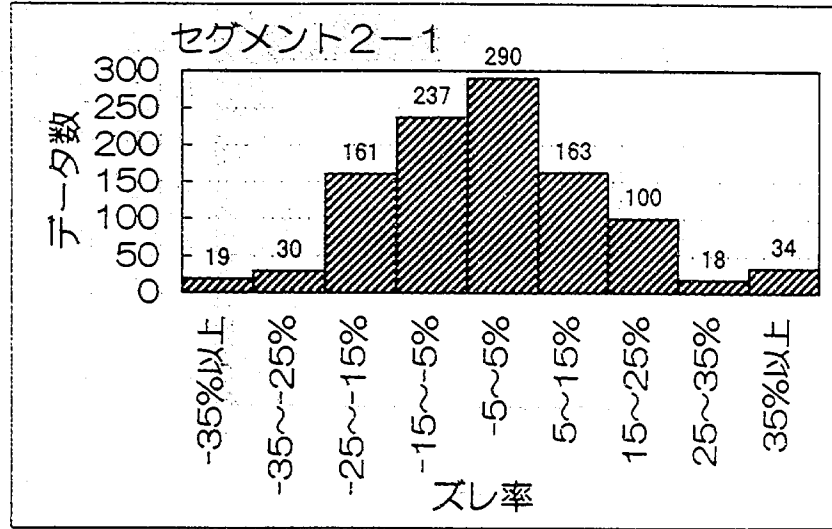
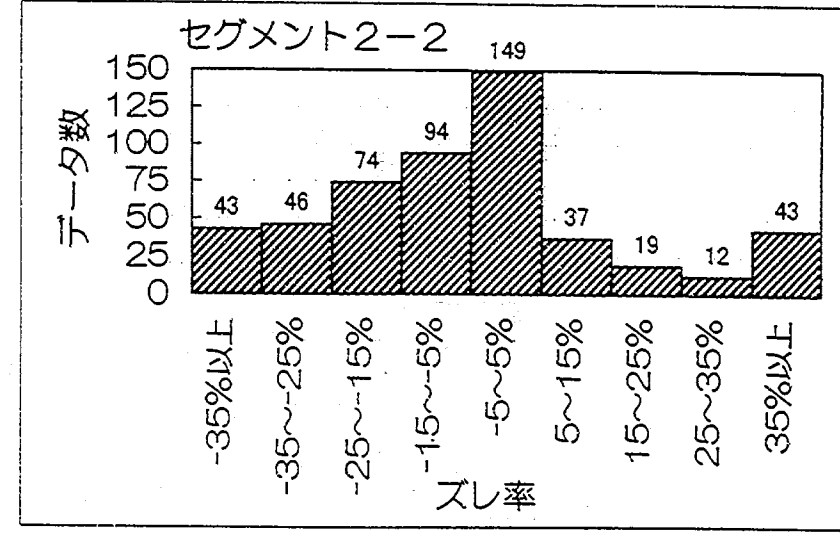
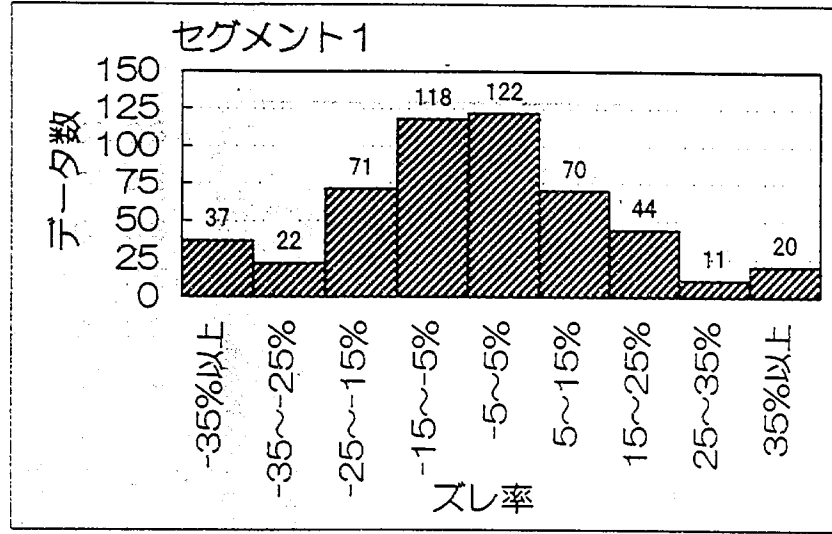


図-3.3 ズレ率のヒストグラム (河道セグメント分類毎)

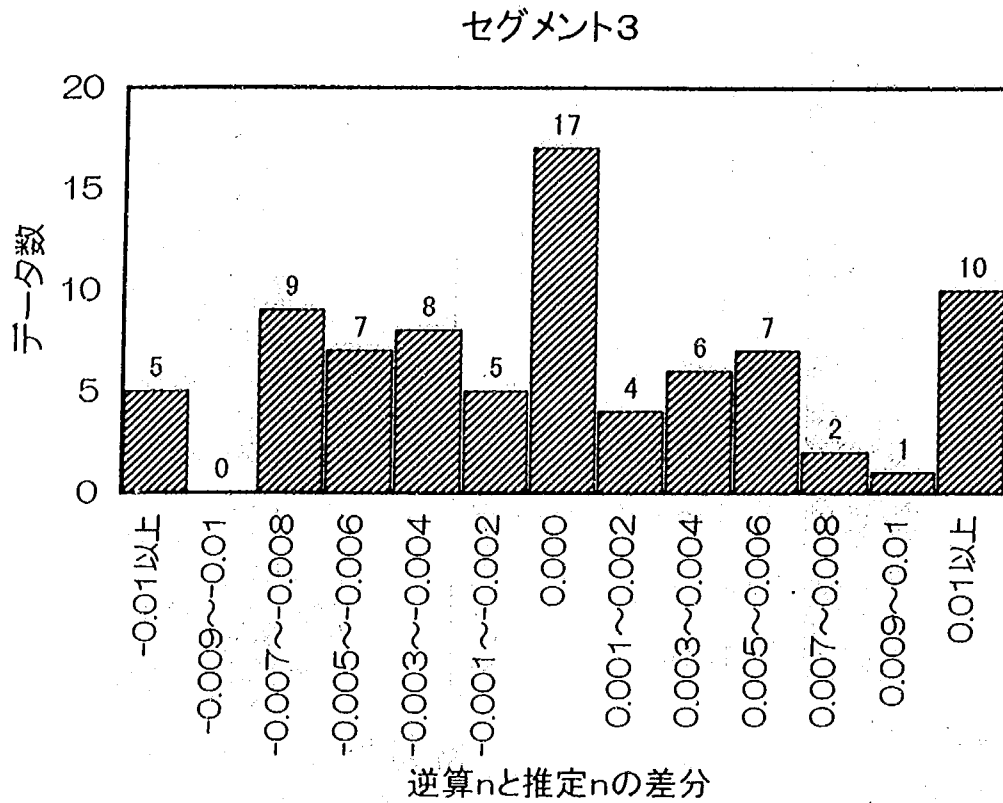


図-3.4 セグメント3区間の逆算nと推定nの差分値

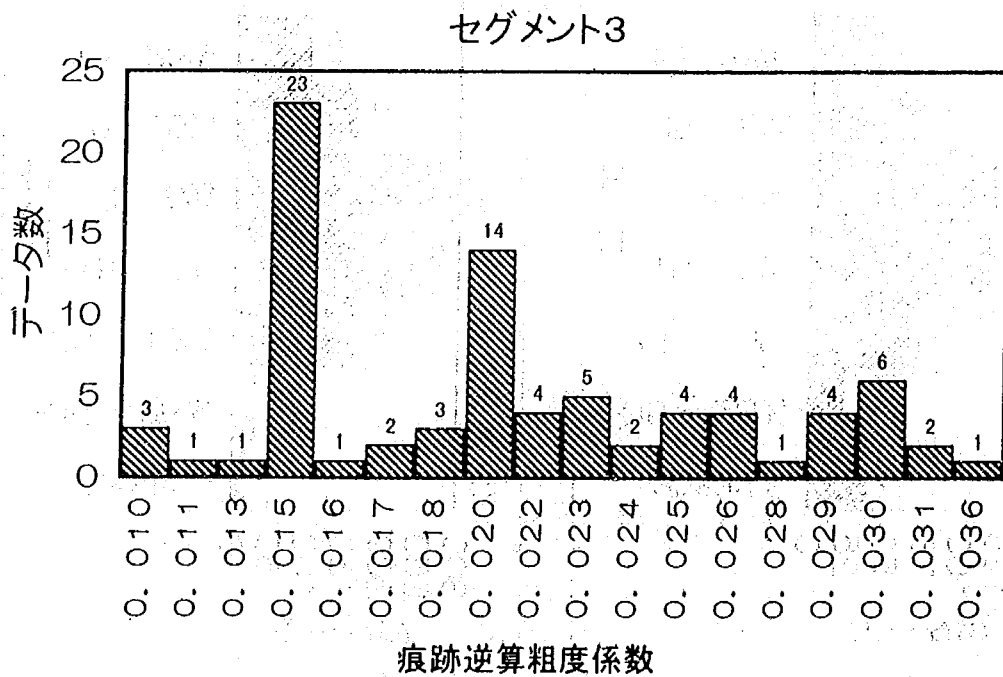


図-3.5 セグメント3区間の逆算n

潮位を出発水位とするなど、必要に応じ潮位変化の影響を考慮することが考えられる。しかし、こうした考慮が適切になされても、痕跡水位を逆算のよりどころにしている限り、同様の問題が形を変えて起こりうる（逆算粗度係数の過大評価）。ズレ率ヒストグラムが矩形状であり、潮位のヒストグラムも矩形状であることは、両者の密接な関係を示唆している。以上のことから、洪水時にも潮位変化を受けやすいセグメント3について、粗度係数逆算をピーク流量についての不等流計算と痕跡水位を用いて行う場合には、粗度係数の過小あるいは過大評価につながる可能性を考慮する必要があると言える。

図3.6には、各セグメント毎の逆算 n と推定 n のズレ率のデータ割合の傾向を示す。ズレ率 $\pm 15\%$ 以内のデータ割合をみると、セグメント1および2-1は60%を越え、セグメント2-2についても50%以上となっている。セグメント3についてはズレ率 $\pm 15\%$ 以内のデータ割合が50%弱でズレ率の大きいデータ割合が多い。またズレ率 $\pm 30\%$ 以内のデータ割合をみると、セグメント2-1が約90%、セグメント1お

○河道セグメント分類毎の逆算 n と推定 n の差を推定 n で割った値(ズレ率)のデータ数の割合

	データ数	$\pm 10\%$ 以内	$\pm 15\%$ 以内	$\pm 20\%$ 以内	$\pm 25\%$ 以内	$\pm 30\%$ 以内
セグメント1	515	46.2%	60.2%	74.0%	82.5%	84.7%
セグメント2-1	1052	50.9%	65.6%	79.9%	90.4%	93.3%
セグメント2-2	517	42.2%	54.2%	61.9%	72.1%	76.0%
セグメント3	81	32.1%	43.2%	48.1%	54.3%	59.3%

※データ数とは、全国河川の河道セグメント数×代表洪水数である。但し、河床材料による粗度係数の推定が明らかに無理な河道条件をもつ河道セグメントは除いている。
(山地河道区間、岩河床、岩露出、低水路強蛇行、連続的横断構造物区間)

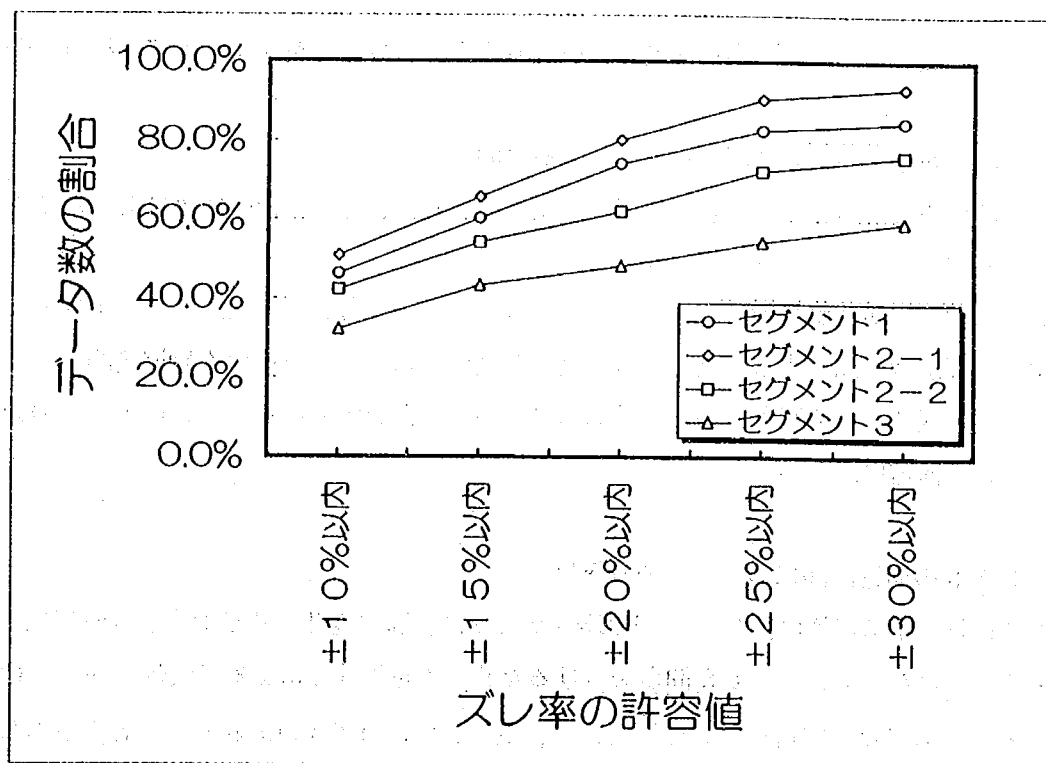


図-3.6 ズレ率とデータ割合（河道セグメント分類毎）

よび2-2が約80%、そしてセグメント3が約60%となっている。ここでズレ率に対する逆算 n と推定 n の差がどの程度のものか見ると、基準とする推定 n によって若干値が変わるが、ズレ率 $\pm 15\%$ は推定 n と逆算 n の差が約 $\pm 0.003 \sim \pm 0.005$ であり、ズレ率 $\pm 30\%$ では約 $\pm 0.006 \sim \pm 0.01$ である。

以上の結果をまとめると次のようである。礫床河川であるセグメント1、2-1で水理的推定法の適合度が高く、逆算 n と推定 n のズレ率 $\pm 15\%$ 以内のデータが6割以上に達している。一方、砂床河川となるセグメント2-2、3では、適合度の割合が5割程度となる。ただし、セグメント3については、潮位の影響に起因する逆算値が含みうる誤差も無視できないと考えられる。いずれのセグメントにおいても、逆算 n と推定 n が大きくズレる河道区間が一定割合で存在するが、低水路粗度係数に関わる現象の複雑さ、変化の幅の広さを考慮しながら全体的に見れば、ここで取り上げた低水路粗度係数についての水理的推定法は、粗度係数の設定において充分役立つ手法と判断できる。

3.2 水理的推定法の課題についての考察

前節において河床材料を用いた低水路粗度係数の水理的推定法について、逆算 n と推定 n を比較し、その有効性について考察した。比較検討の結果を踏まえ、水理的推定法の適用を考えていく上で、その推定法が適用できない区間または推定法だけでは設定できない区間について、その具体的内容を以下に整理する。

3.2.1 水理的推定が明らかに無理な河道区間

以下に該当する河道区間については、原則として規模の大きな洪水による逆算 n を用いることを考え、それで課題が残る場合には、状況に見合ったより高度な水理的推定法の適用の可能性を個別に検討することになろう。

- ①山地河道区間：沖積地より上流の山地河道で、川底や側岸に岩や巨石が存在し、河床材料の動きが沖積河道のものと異なる河道区間。
- ②岩河床区間：河床が全面的に岩で覆われている河道区間。
- ③岩露出区間：河床のところどころに岩や土丹が露出していたり、砂礫、砂の堆積はあるがその堆積厚が薄く、出水時に基底層が現れるような河道区間。
- ④低水路強蛇行区間：堤防法線に対して低水路河道法線が大きく蛇行し、高水敷にのり上げるような流れが発生し、低水路と高水敷の間に生じる流れが低水路の粗度係数に大きく影響する河道区間。
- ⑤連続的横断構造物区間：河道縦断方向へ連続的に横断構造物が設置されて、それによって河床材料も大きく影響を受けている河道区間。

3.2.2 セグメント3の河道区間についての取り扱い

セグメント3に該当する河道区間は、3.1.2で述べたように、潮位変化の影響により逆算値にも問題が生じる場合がある。したがって、こうした問題を避けるため、不定流計算による粗度係数逆算を行うことを考える必要がある。この逆算の実行が難しい場合には、誤差を含む可能性のある不等流計算からの痕跡水位を用いた逆算値を重視するよりも、水理的推定値を重視した方が望ましいと考えられる。

3.2.3 遷移河床に該当する河道区間についての取り扱い

河床材料が主に砂であるセグメント 2-2 に該当する区間は、洪水流量の増加とともに河床形態が砂堆河床から平坦河床に遷移することがあり、比較検討した洪水データの中にも遷移河床に該当したデータがあった。計画高水流量対応の粗度係数を推定しようとする際に、計画高水流量相当流下時の河床形態が遷移河床に該当する場合、流速係数(ϕ)が砂堆相当～平坦河床相当の広い幅を取る可能性があり、遷移領域における流速係数 ϕ あるいは粗度係数の予測は難しい。この課題を踏まえて、遷移河床についての実用的な粗度係数設定法を検討する必要がある。

3.2.4 逆算 n と推定 n が大きく異なる場合の取り扱い

どのセグメントにおいても、逆算 n と推定 n が大きくずれるデータが一定割合で見られる。このような場合に、機械的にどちらかの手法を棄却するのは好ましくなく、ズレが生じた理由の検討を行い、種々の状況を踏まえて、個別に粗度係数の設定を検討する必要がある。

第 4 章 低水路粗度係数の設定法の提案

4.1 基本的な考え方

本提案では次のことを重視する。

- ① 河川毎の粗度係数設定手法の不必要なばらつきをさける。
- ② 逆算対象洪水時の水理量と計画検討対象の水理量との差による粗度係数の違いを考慮できるようにする。
- ③ 逆算対象洪水時の河道状況と計画検討対象の河道状況との差による粗度係数の違いを考慮できるようにする。
- ④ 上記②,③に対応でき、かつ信頼性を持つ手法を適正に用いることをまず目指し、そうした手法が適用できない場合には、その状況に応じた現実的でより妥当な手法を用いる。
- ⑤ 粗度係数の設定根拠が極力明らかにされ、客観的に説明できるようにする。

提案する粗度係数設定手順のフロー(以下、設定フローとする)を図4.1に示す。粗度係数の設定は、従来の逆算による方法と水理的推定法の2つを基本とし、既往洪水における粗度係数を逆算し、当該河道セグメントにおける河道条件および推定した粗度係数との比較などから妥当な設定法を判断して、その方法に基づき計画高水流量時の粗度係数を設定しようとするものである。次節以降に設定フローの各判断項目における具体的な手順について述べる。

4.2 低水路粗度係数設定フローの具体的内容

4.2.1 『河床材料からの粗度係数の推定が明らかに無理な区間』の粗度係数設定(フロー図中の①)

低水路河道の粗度係数設定において、河床材料による粗度係数の推定(水理的推定)が無理な河道区間について整理すると、次の①～⑤の河道区間があげられる。現況・計画河道の両方が、これらのいずれかに該当する区間については、原則として規模の大きな洪水の逆算粗度係数(以下、逆算 n とする)を用いる。また、

注1) 本フローの粗度係数は特に断らない限りすべて低水路粗度係数のことである。
2) 逆算nは特に断らない場合は、不等流計算による逆算粗度係数のことである。



場合によっては、個別に粗度係数の設定を検討する。

- ① 山地河道区間(セグメントM)
- ② 岩河床
- ③ 岩露出
- ④ 低水路強蛇行
- ⑤ 連続的横断構造物区間

これらの区間で、逆算nによる方法以外に個別に計画対応粗度係数の設定を行った場合には、その理由と方法を明確にする。また、現況河道と計画河道のどちらか一方が①～⑤のいずれかの河道条件に該当する場合、後述する4.2.7「個別に粗度係数を設定する河道区間」の項目へとび、個別に計画対応粗度係数の設定をするものとする。現況・計画河道ともにこれらの河道条件に該当しない場合は、4.2.2「セグメント3に該当する河道区間」の項目へ進む。

なお、①～⑤の河道区間の主な特徴はつぎのとおりである。

①「山地河道区間 (セグメントM)」

沖積地より上流の山間部に該当する。この区間は、側岸が粗度係数に与える影響が大きく、河道内には岩や巨石などが存在し、河床材料の動きが沖積河川のそれと異なる。山地河川は、溪谷部、狹窄部などのセグメントMに区分される河道区間のいずれかあるいはすべてに該当し、河床材料からの粗度係数の水理的推定が困難な河道区間である。

②「岩河床」

河床が全面的に岩で覆われた河道である。岩河床または岩河道と呼ばれ河床材料による粗度係数の推定ができない河道区間である。

③「岩露出」

砂、砂礫河道であるが河床の至るところに岩(基岩、砂泥岩、軟岩を含む)や土丹などが見られ、河床材料から粗度係数を推定するには岩や土丹の影響が大きく、粗度係数の推定ができない河道区間である。また砂礫、砂の堆積があって一見移動床のようではあるが、堆積厚が薄く洪水時などにはその下の基底層が現れるような区間もこれに該当するものとする。

④「低水路強蛇行」

堤防法線に対して低水路河道が大きく蛇行しており、洪水時に低水路河道から高水敷に大きくのり上げるような、また逆に高水敷から低水路河道に落ち込むような流れが生じる可能性があり、粗度係数の推定において低水路蛇行の影響を考慮する必要がある河道区間である。強蛇行の判断の目安は、堤防法線に対する低水路法線の傾き角度を θ とした場合、 $\tan \theta > 0.2$ とする。

⑤「連続的横断構造物区間」

床止め、堰などの河道横断構造物が縦断方向に連続的に設置されている河道区間である。その影響により流況が変化して河床材料が大きくばらついていたり、局所的に非常に粗い粒徑に変化していたりして、通常の移動床と大きく異なる特性を示す河道区間である。

4.2.2 『セグメント3に該当する河道区間』の粗度係数設定（フロー図中の②）

河床材料による粗度係数の推定が明らかに無理な河道区間を除外したのち、セグメント3に該当する河道区間については、他のセグメントと比べて洪水の流下特性が異なることから粗度係数設定を以下のように行う。

セグメント3は一般に河口部の感潮区間である。感潮区間においては洪水時の流量と水位が潮汐などの影響を受けて一意の関係とならないため、最高水位発生時の洪水流量が洪水ピーク流量と同じになるとは限らない。このような区間で不等流計算により粗度係数を逆算しようとする場合、用いる水位縦断データが発生した時の流量データが必要となる。通常そのようなデータは入手しにくく、不等流計算から逆算 n を精度よく求めるのは簡単ではない。このセグメント3の感潮区間などで逆算 n を精度よく求めるためには、流量および水位の時間変化を考慮できる不定流計算を用いるのが望ましい。このことを踏まえて、セグメント3では次のように粗度係数の設定を行う。

(1) 「不定流計算による粗度係数逆算が可能」な場合

a) 「不定流計算による逆算 n が異常値を示さない」場合

既往対象洪水について不定流計算による粗度係数の逆算が可能であり、かつその逆算 n が異常値を示さない場合には、不定流計算による逆算 n を採用する。逆算 n を異常値と判断する目安として下限値0.015があるが、上限値については河床形態の影響によるところが大きいことから、ここでは該当するセグメントの代表粒径、河床勾配、流量規模を考慮して十分検討した上で、明らかに過大な粗度係数を異常値と判断する。

b) 「不定流計算による逆算 n が異常値を示す」場合

不定流計算による逆算 n が異常値を示す場合には、河床材料による計画対応の推定粗度係数（以下、推定 n とする）を採用する。

(2) 「不定流計算による粗度係数逆算ができない」場合

a) 「不等流計算による逆算過程に大きな問題がないという検討がなされ、かつ逆算粗度係数も異常値を示さない」場合

不等流計算による粗度係数の逆算過程に大きな問題がなく（特に流量、水位の設定）、その逆算 n が異常値を示さない場合には、不等流計算による逆算 n を採用する。逆算 n を異常値と判断する目安として、上記（1）a）と同様に下限値は0.015があるが、上限値については河床形態の影響によるところが大きいことから、ここでは該当するセグメントの代表粒径、河床勾配、流量規模を考慮して十分検討した上で、明らかに過大な粗度係数を異常値と判断する。

b) 「不等流計算による逆算過程に問題がある、もしくは逆算過程には問題はないが逆算 n が異常値を示す」場合

不等流計算による粗度係数逆算過程に問題がある場合、もしくは逆算過程に問題はないものの逆算 n が異常値を示す場合には、河床材料による計画対応の推定 n を採用する。

4.2.3 『逆算 n と推定 n がよく一致している』かどうかの判断（フロー図中の③）

逆算法によって求めた粗度係数と河床材料を用いて推定した粗度係数を比較して、一致しているかどうか

チェックを行う。

(1)「逆算対象洪水時に遷移河床に該当する」かどうかの判断（セグメント 2-2 以外は、本項を行わず(2)に飛ぶ）

ここでセグメント 2-2 に該当する区間については、逆算 n と逆算対象洪水に関する推定 n との直接比較を行う前に、遷移領域に該当するかどうかのチェックを以下のように行う。

1) 対象洪水の逆算 n より流速係数 ϕ を算出する。

2) $\phi - \tau$, H/d 図において、対象洪水の H/d (水深粒径比) に近い H/d に対応する線上の、遷移領域にあたる部分の τ の値を読み取る。

3) 読み取った τ に対して $\pm a\%$ の遷移領域許容範囲を設定する。 a の目安としては 30% がある。

4) 逆算データの τ がこの許容範囲内にあり、かつ逆算 $n(\phi)$ が遷移領域の $n(\phi)$ の範囲内（砂堆河床と平坦河床の間）にある場合、逆算値は遷移河床領域に対応した推定値の許容範囲内にあると判断する。

5) このようにして、逆算値が遷移河床領域に対応した推定値の範囲内にあると判断された場合、逆算 n と逆算対象洪水対応の推定 n が「よく一致する」ものとし、次の(2)は行わない。そうでない場合は、(2)に進んで逆算 n と推定 n について通常の単純な値の比較を行う。

(2)逆算 n と推定 n の単純比較

逆算 n と逆算対象洪水の推定 n が「よく一致している」、「一致していない」の判断基準として、逆算対象洪水の推定 n と逆算 n の差分を逆算対象洪水の推定 n で割った値『ズレ率(%)』を用いる。ここでは、このズレ率がある許容値以下の場合、「よく一致している」と判断する。許容値の目安としては「 $\pm 15\%$ 」がある。この許容値は 15% 以外に設定してもよいが、その数値は判断条件として明らかにしておく必要がある。実際には同じ河道区間について、複数の代表洪水によって複数のズレ率が算出されるため、「よく一致している」かどうかの最終判断は次のように行うこととなる。

■多くの代表洪水について、ズレ率が許容値以下となる場合

→ 当該河道区間は『よく一致している』と判断する

■多くの代表洪水について、ズレ率が許容値以上となる場合

→ 当該河道区間は『一致がよくない』と判断する

4.2.4 逆算 n および推定 n の算出データのチェック（フロー図中の④）

逆算 n と逆算対象洪水の推定 n の単純比較において「一致がよくない」と判断された区間については、次の判断に進む前に逆算 n 、逆算対象洪水の推定 n に関する再チェックを行うことが望ましい。チェック後はセグメント 3 に該当する区間の判断へ戻り、再び設定フローに従って逆算 n と逆算対象洪水の推定 n の比較を行い、一致しているかどうかのチェックを行う。逆算 n 、推定 n に関するチェックは以下の各項目について行う。

1) 河道特性諸量のデータチェック

検討対象河川の河道特性、特に代表粒径、河床勾配に関するデータをチェックする。代表粒径は河床材料

データを再度見直して、代表粒径設定に用いる粒径データの選定や粒径値の決定が正しいかチェックする。河床勾配は河道縦断面図からセグメント区分された区間の平均河床勾配の取り方が正しいかチェックする。代表粒径、河床勾配の設定において不具合な部分があった場合には、データを修正する。

2) セグメント区分のチェック

上記1)でチェックした代表粒径、河床勾配から再度セグメント区分が正しいかチェックする。セグメント1、2-1、2-2は河床材料および河床勾配の両方を勘案してチェックする。なお、どちらか一方が区分の範囲から外れて区分しかねる場合は、当該河川の地形、地質などの地域特性を考慮して個別に区分するものとする。またセグメント3は、河床材料を重視してセグメント区分をチェックする。

3) 逆算時の高水敷 n 値のチェック

不等流計算における逆算 n (低水路)の算出において、高水敷の粗度係数を過大あるいは過小に評価し設定していないかチェックする。例えば、比較的大きな洪水で高水敷上に流れが生じるような場合に、高水敷粗度係数を過大に設定すると低水路粗度係数が過小になり、逆に高水敷粗度係数を過小に設定すると低水路粗度係数が過大になってしまう。

4) 逆算時に行った不等流計算結果のチェック

上記1)～3)を確認した上で、不等流計算結果の摩擦速度(U_*)やエネルギー勾配(I_e)等の値が異常値を示していないか、計算ミスなどないかなどをチェックする。

5) 感潮区間などの不定流計算による逆算 n チェック

セグメント2-2で感潮区間に該当し潮汐の影響が大きいと判断される区間および対象洪水の非定常性の影響が大きいと判断される区間については、不定流計算により不等流計算による逆算 n をチェックすることが望ましい。不等流計算による逆算 n が不定流計算による逆算 n と異なる場合には、不定流計算による逆算の精度がより高いことを踏まえて、不定流計算による逆算 n を採用して修正するものとする。

4.2.5 「逆算 n が異常値を示し、修正しようがなく、推定 n 以外に信頼できるデータがない」かどうかの判断(フロー図中の⑥)

(1) 逆算 n が異常値を示し、修正しようがなく、推定 n による方法以外に信頼できるデータがない場合

逆算 n を異常値と判断する1つの目安として、セグメント1については下限値0.024程度、セグメント2-1については下限値0.023程度、セグメント2-2については下限値0.016程度があげられる。上限値については河床形態の影響によるところが大きいことから、ここでは該当するセグメントの代表粒径、河床勾配、流量規模を考慮して十分検討した上で、明らかに過大な粗度係数を異常値と判断する。

(2) 逆算 n が異常値とは言い難く、粗度を個別に設定する必要がある区間

河床材料による逆算対象洪水の推定 n と逆算 n の一致がよくないが、逆算 n が異常値と判断できず、推定 n による方法だけで一方的に粗度係数を設定できない河道区間については、個別に検討を行い粗度係数を設定する。なお、個別検討を行う河道区間に関する設定は、4.2.7「個別に粗度係数を設定する河道区間」に示した。

4.2.6 『当該セグメントが計画対応条件で遷移河床に該当する』かどうかの判断方法とその際の粗度係数設定方法（フロー図中の㊸）

(1)セグメント1、2-1に該当する区間

河床材料などの河道特性から判断して、遷移河床に該当しないと考えられることから、設定フローによる判断は「N O」として以下の検討は行わないものとする。

(2)セグメント2-2に該当する区間

粗度係数を推定しようとする河道区間について、 $\phi - \tau$ 、 H/d 関係図を用い、計画流量相当流下時の τ （この計算に用いる粗度係数は、代表洪水のうち流量最大の洪水による逆算 n とする）が計画流量時の H/d に近い H/d に対応する線上のDune(砂堆)河床範囲における最大 τ より大きくなる場合に、河床形態が「遷移河床」と判断する。この区間については遷移河床として粗度係数を推定する。ただし、(3)に示すように、結果として平坦河床(Upper Regime)と判断される場合もある。

(3)遷移河床における粗度係数の推定方法

遷移河床における粗度係数の推定方法の一つとして次のような方法が考えられる（図4.2の例図参照）。

1) $\phi - \tau$ 、 H/d 関係図を用いて、計画流量相当流下時の H/d に近い H/d に対応する推定線上の遷移領域部分の右側に、コ形の範囲(図中の太い実線)を設定する。囲まれた範囲は、粗度係数推定において遷移領域とみなす範囲である。これは、遷移領域に当たる $\phi - \tau$ 推定線を右側に張り出させ太らせたことを意味する。

推定線を太らせたのは、粗度係数を過小評価する危険を避けるためである。以後これを粗度係数設定のための遷移領域と呼ぶ。

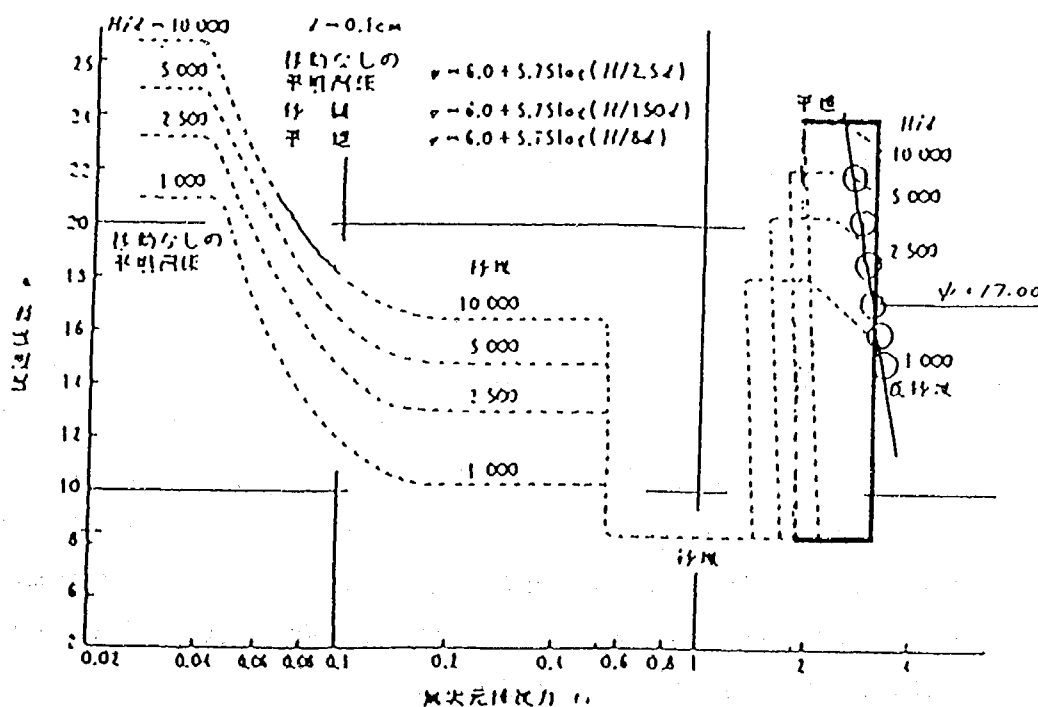


図-4.2 遷移領域における粗度係数の推定方法の説明

2) このようにして設定された粗度係数設定のための遷移領域の τ に関する上限は、既往洪水データの $\phi - \tau$ 関係図上での位置・ばらつきおよび計画上見込みたい安全度などを十分検討した上で設定する。なお、この方法によれば、粗度係数設定のための遷移領域の τ 値に関する上限値を大きくするほど（元々の推定線の右側への張り出しを大きくするほど）、一般に粗度係数の推定値は大きくなる。

3) 計画流量時の不等流計算において、既往実績洪水による粗度係数を参考に粗度係数を6ケース程度仮定して計算を行う。

4) 不等流計算でそれぞれ計算結果として得られた τ 値と仮定した粗度係数に対応する ϕ 値を $\phi - \tau$ 図上にプロットする(図中の○印)。

5) 4)でプロットした ϕ 値と τ 値の点(○印)を線で結び、その線と粗度係数設定のための遷移領域との交点（遷移領域の右側境界での）の ϕ 値を読みとり、その ϕ 値により粗度係数を算出する。ただし、コ形の縦線と交わらない場合には、以下のように粗度係数を設定する。

- ・ 粗度係数設定のための遷移領域の下側の境界線と交わった場合：砂堆（Lower Regime）と判断して、それに対応した粗度係数を算出する。

- ・ 粗度係数設定のための遷移領域を囲む境界線のどことも交わらず、その領域の上を通り過ぎた場合：Upper Regimeの ϕ 値により粗度係数を算出する。

4.2.7 『個別に粗度係数を設定する河道区間』の粗度係数設定（フロー図中の⑦）

粗度係数を個別に検討する必要がある河道区間の設定方法としては、一般的に以下のような方法が考えられる。なお、ここで個別に粗度係数を設定する必要があるセグメントについては、採用した設定方法と根拠を明示することを原則とする。

①計画対応の推定 n 値を採用する。

②逆算 n 値を採用する。

③計画対応の推定 n 値を修正する。

④逆算 n 値、計画対応の推定 n 値の両方を加味した値とする。

⑤その他

<参 考>

個別の設定の検討については、例えば表4.1に示したような方法が考えられる。これは、過去に起こった洪水流量の計画流量に対する比と、既往洪水時と計画対応の河道形状との違いを踏まえて、粗度係数の設定を行うという考えに基づくものである。なお流量規模の区分に用いている流量比85%は目安の1つに過ぎず、その主旨にかなっていれば表中に示す85%以外の値を設定しても構わない。ただし、数値は設定方法の判断条件として明らかにしておく必要がある。表中の<方法1>、<方法2>は個別検討を行う際の設定方法の一例であり、これ以外にも適切な設定方法があれば、それを適用して粗度係数を設定しても構わない。ただし、粗度係数設定方法および根拠を明らかにしておくことは大事である。

表4.1 (E)「個別に粗度を設定する」河道区間の粗度設定の考え方の例

<方法1> どちらかというも推定n値を重視

流量規模	n値推定法の再吟味による修正推定法(注)	粗度係数の設定方法	
		河道形状が洪水時と計画流量検討時で大きく異なる。	河道形状が洪水時と計画流量検討時で大きく異なる。
過去に起こった洪水の流量が計画流量に対して流量比 85%以上である。	有	逆算n値を採用(修正法による推定n値を採用)	修正法による推定n値を採用
	無	逆算n値を採用	推定n値を採用
過去に起こった洪水の流量が計画流量に対して流量比 85%以下である。	有	修正法による推定n値を採用	修正法による推定n値を採用
	無	推定n値を採用	推定n値を採用

注) n値推定法の修正すべき点が明らかであり、その修正点を考慮した修正n値推定法が使用可能。

<方法2> 逆算n値と推定n値を均等に重視

流量規模	n値推定法の再吟味による修正推定法(注)	粗度係数の設定方法	
		河道形状が洪水時と計画流量検討時で大きく異なる。	河道形状が洪水時と計画流量検討時で大きく異なる。
過去に起こった洪水の流量が計画流量に対して流量比 85%以上である。	有	逆算n値を採用(修正法による推定n値を採用)	修正法による推定n値を採用
	無	逆算n値を採用	推定n値と逆算n値の大きい方を採用
過去に起こった洪水の流量が計画流量に対して流量比 85%以下である。	有	修正法による推定n値を採用	修正法による推定n値を採用
	無	推定n値と逆算n値の大きい方を採用	推定n値を採用

注) n値推定法の修正すべき点が明らかであり、その修正点を考慮した修正n値推定法が使用可能。

4.2.8 判断内容の整理について

図4.1からわかるように、ここで提案している設定フローは、粗度係数の設定について単一の方法を提示しているのではなく、状況に応じて適切な方法を選択することを指向している(方法の提示だけでなく検討の道筋の提示も重視)。これは、万能で機械的に設定できるような方法はなく、複数の方法の中から適切なものを選び出す(時には複数の組み合わせ)ことが現実的であるとの判断に基づく。この場合、選択した粗度係数設定法とそれが適切と判断した根拠を整理しておくことが重要である。このことが、設定フローの右下隅の枠書きに示されている。

おわりに

河川の粗度係数の決定機構は複雑であり、また、洪水流観測も室内実験のように簡単に精度良く実施することはできない。さらに、河道の状況も刻々と変化する。したがって、粗度係数の設定法について精度の高い一般的、統一的な手法を提示することが技術的に容易でないことは言うまでもない。しかし、こうした難しさを言い訳に粗度係数設定法を合理化する努力を怠るのは本末転倒であろう。その難しさを充分理解しな

がら手に入る技術的知見を総動員して、その時点でベストと判断できる、あるいは“よりましな”設定手法を組み立てること、ただし、その組立は各手法の技術的限界を考慮したものであること（できることとできないことの明確化、それに応じた手法選択）、それを運用しながら問題点を継続的に把握すること、技術的發展を常に待ちながら次の改良につなげる姿勢をとることが、平凡ではあるが、粗度係数設定法に関する技術的取り組みのあるべき姿であろう。第4章で提案した方法は、完成されたものとは言えず、相当の割り切りが入っているが、このようにまとめていくことで、現在の技術レベルについての見通しがよくなり、次の改良に向けての足場ができることを期待して、本資料を作成した。本資料の活用にあたっては、このような主旨を充分理解していただければ幸いである。

参考文献

- 1) 改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説(調査編)、山海堂、pp.130~131、1997。
- 2) 建設省河川局治水課、土木研究所：河道特性に関する研究—その3—、～河床変動と河道計画に関する研究～、第45回建設省技術研究会報告、pp.696-737、1991。
- 3) 建設省河川局治水課、土木研究所：河道特性に関する研究—その3—、～河床変動と河道計画に関する研究～、第46回建設省技術研究会報告、pp.600-651、1992。
- 4) 建設省河川局治水課監修・(財)リバーフロント整備センター編集：河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案)、山海堂、1994。
- 5) 山本晃一：沖積河川学、山海堂、第4章、補章1、1994。
- 6) 改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説(調査編)、山海堂、pp.134~136、1997。
- 7) 山本晃一：相似律の観点から見た移動床の水理—Sedimentationに関する基本資料集—、土木研究所資料第1059号、1975。
- 8) 山本晃一：相似律の観点から見た移動床の水理(Ⅱ)—ほぼ均一粒径河床材料を持つ実河川の場合—、土木研究所資料第1074号、1976。
- 9) 山本晃一：相似律の観点から見た移動床の水理(Ⅲ)—実河川の移動床の水理に関する基本資料集—、土木研究所資料第1154号、1976。
- 10) 山本晃一、深見親雄：河川における土砂の移動機構に関する研究ノート—混合粒径河床材料の移動特性、中規模河床波と小規模河床波の共存—、土木研究所資料第1416号、1978。