

土 木 研 究 所 資 料

粗砂・細礫を河床材料に持つ
河川の河床波・粗度・流砂量

平成3年3月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright © (1991) 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。

粗砂・細礫を河床材料に持つ 河川の河床波・粗度・流砂量

河川研究室 室長 山本 晃一
西尾 正博

要 旨

本報告書は、既往の実験室での実験成果、粗砂を用いた大規模な二次元実験および実河川の観測データを解析することにより、粗砂・細礫を河床材料に持つ河川の洪水時の河床形態の変化過程を予測し得るようにし、河道計画に役立てようとするものである。

キーワード：小規模河床波，粗度，河床抵抗，流速係数，水位予測

はじめに

河川工学は元来経験工学であって、既往の観測データを用いて河道計画を立てるのが普通である。すなわち従来の計画は、実績洪水に合うように洪水計算モデルを構築した後に、計画洪水に対して外挿による検討を加える方法であった。しかしながら、近年多くの遊水地計画、分流計画を始めとする、より精度の高い河道計画を立案することが求められている。そのためには基礎的な実験資料や理論を取り入れて、より合理的に河道内粗度を評価する必要がある。合理的に河道内粗度を評価するためには、高水敷、低水路の粗度を個別に評価できる手法を確立することが重要である。

近年、流域の開発等の影響から各河川において計画流量が増大する傾向にある。建設省土木研究所においても、三次元模型を用いて多くの河道計画策定に寄与してきた。これら既存の多くの三次元模型実験および河床波に関する基礎実験の結果から、中砂・粗砂・細礫を河床材料に持つ河川では、計画規模の流量時に河床形態が変化する場合があることが認識されている。河床形態の変化は河道内粗度を大幅に変化させ、流量の増加にもかかわらず河道内水位が上昇せず、そのため河岸付近に高流速を生じる危険がある。また分流計画は、その計画自体が機能しなくなる可能性をもつ。

河道計画を立案するうえで、洪水時に河道内で起こる諸現象を考慮することは当然かつ最も重要なことと考えられる。しかしながら、既往の河道計画において河床形態の変化を考慮して計画を立案された事例はほとんどない。この理由として洪水時の河床の状況が十分に把握されていなかったことが原因の一つであるといえる。

本研究成果は、特に粗砂・細礫を河床材料に持つ河川の小規模河床形態の洪水時の変化過程について検討したものであり、今後の河道計画策定に対して、活用されることを期待するものである。

目 次

は じ め に

第1章 研究の目的と方法	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究の方法	2
第2章 既往の実験室資料から見た移動床の水理 ～ほぼ均一砂からなる開水路移動床流れの抵抗と流砂量～	4
2.1 移動床流れを規定する物理量とその無次元化	4
2.2 河床波の分類とその特徴	5
2.3 流れの抵抗と河床形態	7
2.4 流砂量と河床形態	12
2.5 粒子レイノルズ数の効果（水温の効果）	18
第3章 粗砂を用いた移動床の水理実験とその結果	23
3.1 実験の目的	23
3.2 実験方法と実験ケース	23
3.3 底質材料の特性	26
3.4 実験の結果	27
3.5 粗砂を用いた実験結果から見た既往成果の位置付け	67
第4章 粗砂・細礫を河床材料に持つ各河川の移動床の水理	70
4.1 米国，ワイオミング州，イーストフォーク川	70
4.2 斐伊川	80
4.3 実河川資料から見た既往成果の位置付け	84
第5章 中規模河床波の特性	87
5.1 砂州の発生領域	87
5.2 砂州のスケール	99
5.3 砂州が流れの抵抗および流砂量に及ぼす影響	102
第6章 全体のまとめ	105
6.1 実河川への通用性と利用法	105
6.2 中規模河床波の変化特性	106
お わ り に	107

記 号 一 覧 表

B	；水路幅
B_s	；砂州幅
C	；Chezy 係数 $= V_m / \sqrt{H \cdot I_e}$
d	；粒径
d_m	；平均粒径
d_x	；x %通過粒径（例えば， $d_{60} = 60\%$ 通過粒径）
Fr	；フルード数 $= V_m / \sqrt{g \cdot H}$
f_F	；砂州による形状損失係数
f_s	；表面摩擦損失係数
g	；重力加速度
H	；水深
H_m	；平均水深
H_s	；河床波の波高，河床波のクレストの高さと底の高さの差
I	；水路の勾配
I_b	；河床勾配
I_e	；エネルギー勾配
k_s	；相当粗度
L_s	；河床波の波長
n	；マンニングの粗度係数
Q	；流量
Q_b	；低水路満杯流量
q_s	；単位幅単位時間当り流砂量
R	；径深
Re_x	；粒子レイノルズ数 $= u_* \cdot d / \nu$
s	；粒子の水中比重 $= (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$
u_*	；摩擦速度 $= \sqrt{g \cdot H \cdot I_e}$
V_m	；平均流速
V_s	；河床波の進行速度
w_o	；沈降速度
ν	；動粘性係数
ρ_s	；粒子の密度
ρ_w	；水の密度
τ_*	；無次元掃流力 $= u_*^2 / s \cdot g \cdot d_m$

τ_{*c} ; 無次元移動限界掃流力

τ_{*f} ; 無次元遷移限界掃流力

ψ ; 流速係数 = V_m / u_*

第1章 研究の目的と方法

1.1 研究の目的

洪水防御を目的とした河道計画において、洪水時の水位、水面形を予測することは、洪水流を安全に流下させるためにも、より精度の高い河道計画を立案するためにも非常に重要なことである。一般に、洪水時の水位は一次元の不等流、不定流計算により検討されることが多い。この際、精度の高い計算水位を得るためには、特に河道内の粗度係数を正確に与える必要がある。計算に用いられる粗度係数の多くは、既存の洪水データから逆算して得られた粗度係数に多少の安全度を加味した計画粗度である。もちろん、この計画粗度が工学的に間違っているものとは思わない。しかしながら、河道の改修方法によっては、計画粗度を用いることが必ずしも安全側の評価になるとはいえない。例えば、近年多くの遊水地計画、分流計画が立案されている。この場合、実際より大きめの粗度係数を与えることは本川水位を高め評価し、その結果越、分流量を過大に評価することとなり、逆に分流後の本川流量を誤って少なく評価してしまう恐れがあるからである。分流を伴うような河道計画の場合には、特に実状にあった粗度係数を与えてやることが重要であり、改修工事の進捗に伴う断面形状の変化や、河道内植生の伐採等による、河道状況の変化を考慮した河道計画を立案することも、場合によっては必要となると考えられる。こうした状況から、基礎的な実験資料や理論を取り入れて、より合理的に河道内粗度を評価する時期にきていると考える。

最近、断面形を考慮した計算手法、河道内樹木群を死水域として扱う手法、高水敷上の地被状態（植生の繁茂状況等）から高水敷粗度を評価する方法等、現地の実態に合わせた計算手法への改良が徐々に行われている^{1) 2) 3) 4)}。もちろん、低水路粗度の評価手法についても検討は行われている。しかしながら、現状では河床材料の粒径からStrickler公式等を用いて粗度係数を評価している程度にすぎない。実河川の低水路には、小規模および中規模の河床波が存在している場合が多く、このような場合、低水路の粗度係数は主に河床波の形状によって規定されていると考えられる。このことから低水路の粗度を評価するためには、河床波の形状を予測することが重要である。

中砂・粗砂・細礫（表-1.1参照）を河床材料に持つ砂河川では、洪水規模により小規模河床形態が変化する可能性がある。河床形態の変化が粗度係数に与える影響は極めて大きいため、洪水規模と河床形態の関係を考慮した低水路粗度を水位計算に用いる必要がある。ところが、粗砂・細礫を河床材料に持つ河川の河床形態の変化を直接的に予測できるような実験・実測資料はほとんどなく、Lower regimeからUpper regimeへの無次元遷移限界掃流力 τ_{*f} を実データを用いて評価し得るところまでにいたっていない。そこで本研究では、計画規模の洪水でLower regimeからUpper regimeへと遷移する可能性のある粗砂・細礫を河床材料に持つ河川を想定し、既往の実験室での実験成果、粗砂を用いた大規模な二次元実験、実河川の観測データの解析等を通して、より精度良く無次元遷移限界掃流力 τ_{*f} を規定しようとするものである。

さらに、実河川では中規模河床波の存在もある。中規模河床波は小規模河床波との共存の可能性をもち、これにより河床抵抗を変化させることが予想される。このため、中規模河床波の発生機構や河床抵抗の評価手法について、若干の説明を加えておく。

表-1.1 粒径の分類基準

日本で使用されている名称*		A G U の分類		粒径範囲 (mm)	φ 尺度
巨 礫	巨 礫	boulders	very large boulders	4,096 ~ 2,048	— 11
			large boulders	2,048 ~ 1,024	— 10
			medium boulders	1,024 ~ 512	— 9
			small boulders	512 ~ 256	— 8
玉 石	大 礫	cobbles	large cobbles	256 ~ 128	— 7
			small cobbles	128 ~ 64	— 6
砂 利	中 礫 (pebbles)	gravel	very coarse gravel	64 ~ 32	— 5
			coarse gravel	32 ~ 16	— 4
			medium gravel	16 ~ 8	— 3
			fine gravel	8 ~ 4	— 2
	細 礫		very fine gravel	4 ~ 2	— 1
砂	極 粗 砂	sand	very coarse sand	2 ~ 1	— 0
	粗 砂		coarse sand	1 ~ 0.5	— 1
	中 砂		medium sand	0.5 ~ 0.25	— 2
	細 砂		fine sand	0.25 ~ 0.125	— 3
	微 細 砂		very fine sand	0.125 ~ 0.062	— 4
シ ル ト	粗 粒 シ ル ト	silt	coarse silt	0.062 ~ 0.031	— 5
	中 粒 シ ル ト		medium silt	0.031 ~ 0.016	— 6
	細 粒 シ ル ト		fine silt	0.016 ~ 0.008	— 7
	微 細 粒 シ ル ト		very fine silt	0.008 ~ 0.004	— 8
粘 土	粗 粒 粘 土	clay	coarse clay	0.004 ~ 0.002	— 9
	中 粒 粘 土		medium clay	0.002 ~ 0.001	— 10
	細 粒 粘 土		fine clay	0.001 ~ 0.0005	— 11
	微 細 粒 粘 土		very fine clay	0.0005 ~ 0.00024	

* 主として河川工学の分野で使用されている。土質工学の分野では、礫 (2.0mm以上), 粗砂 (2.0~0.42mm), 細粒 (0.42~0.074mm), シルト (0.074~0.005mm), 粘土 (0.005~0.001mm), コロイド (0.001mm以下) として分類している。

1.2 研究の方法

小規模および中規模河床波に関する実験は、粒径 $d = 0.5\text{mm}$ 以下の底質材料について、多くの実験が行われている。これらの実験成果について、各種水理量（特に掃流力）と河床形態の関係をとりまとめることにより、実河川の洪水時の河床形態をほぼ推測することができると考えられる。しかしながら、既往の実験室による実験では底質材料の粒径が小さく、水の粘性に関する量（粒子レイノルズ数 Re_x ）の影響を受けている。 Re_x の影響のある場合には、限界掃流力 τ_{*c} 、遷移限界掃流力 τ_{*f} 、流砂量にいくらかの差異が生じると考えられている⁵⁾。このため、粗砂・細礫を河床材料に持つ河川の河床形態の正確な変化

時期を予測するには、細砂・中砂を河床材料に持つ河川に比べて正確さに欠けるところがある。そこで、 Re_* の影響を受けない粗砂を用いた実験を行うことにより、 Re_* の影響を受ける範囲の実験データとどのような差異があるのかを調べ、 Re_* の影響程度を把握する。

いっぽう、実河川において直接河床形態の観測を行った例がいくつか存在している。これらのデータは非常に貴重なデータであるため、これらの資料を解析する。ただし、現地で観測されたデータについても、測定精度の問題や中規模河床波の存在、河道平面形状などの影響のため、 Re_* の影響がどの程度あるか正確に見いだすには問題が残る。

そこで、既往の実験室の実験データ、粗砂を用いた新たな二次元実験データ、現地河川の実測データを用いて、既往研究成果が適用し得るか検討を行う。そのうえで、これらの検討結果を踏まえて、実河川の河床形態についての予測手法を提案する。

なお、河道計画においては河床の抵抗を表わす指標として、一般にマンニングの粗度係数 n が用いられているが、ここでは物理的意味が明確であり、抵抗の表現法が簡単な流速係数 ψ を使うものとする。 n と ψ の関係は $n = H_m^{1/6} / (g^{1/2} \cdot \psi)$ で表わせる。

また、本研究では粗砂を河床材料に用いた大規模な実験を行うことから、 Re_* が 20 以上で相対水深 H/d_m が大きい (1,000 以上) 時に発生する河床形態について観測し、Ripple (砂漣) が発生するかどうか確かめる。

<参考文献>

- 1) 建設省河川局治水課，土木研究所：河道特性に関する研究，第42回建設省技術研究会報告（昭和63年度），pp.761～791, 1989.
- 2) 福岡捷二，藤田光一：洪水追跡法（その4）—一次元解析法の有効性とその適用限界—，土木技術資料第28巻11号，pp.46～51, 1986.
- 3) 福岡捷二，藤田光一：複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用，土木学会論文集第411号／II-12，pp.63～72, 1989.
- 4) 福岡捷二，藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告第180号，pp.129～192, 1990.
- 5) 山本晃一：河道特性論，土木研究所資料第2662号，pp.197～199, 1988.

第2章 既往の実験室資料から見た移動床の水理

～ ほぼ均一砂からなる開水路移動床流れの抵抗と流砂量 ～

種々の河道特性を水理学的視点から検討するためには、洪水時の各種水理量を求めなければならない。このためには洪水時の流れの抵抗、流砂量および流砂形態が的確に評価される必要がある。本章においては、ほぼ均一砂を持つ流れの抵抗・流砂量と小規模河床波の関係を明確化し、実河川の洪水時の流れの抵抗・流砂量を評価し得るようにするものである。ここでは、文献¹⁾において報告していることを抜粋し、記述することとする。

2.1 移動床流れを規定する物理量とその無次元化

移動床を持つ流れにおいては、流水の運動、土砂粒子の運動は河床面に生じる河床波に大きく影響され、逆に河床波は流水と土砂の運動によって形成され、河床波、流水の運動、土砂の運動は相互に作用を及ぼし合う。このような流れの場の状態量である河床波、流れの抵抗係数、流砂量を規定する物理量は、直線水路、長方形断面で側壁によって流れが拘束されている水路で底質材料がほぼ均一粒径で極端に偏平でなく、また流れの状態が定常流れであれば、次のような物理量によって規定されと考えられる。

水路の特性	水路幅 B ，勾配 I
流れの特性	水深 H
流体の特性	水の密度 ρ_w ，水の動粘性係数 ν
底質の特性	粒径 d ，密度 ρ_s
場 の特性	重力加速度 g

従って移動床流れの状態量 λ は

$$\lambda = f(B, I, H, \rho_w, \nu, d, \rho, g) \quad (2-1)$$

となる。基本量として ρ_w ， g ， d を取り， $u_* = \sqrt{g H I}$ の関係を使うと流れの場の状態流量 λ の無次元量 π_λ は、次元解析の手法より

$$\pi_\lambda = f(\sqrt{g d} \cdot d / \nu, u_*^2 / s g d, H / d, B / d, s) \quad (2-2)$$

となる。ここで， $s = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ である。

各項の無次元量を乗じたり，あるいは除したりすることによって上式は良く知られた無次元量の形に表現することができる。たとえば， λ として流砂量 q_s ，あるいは流速係数 ψ (平均流速 V を u で除した値) をとると，

$$q_s / u_* d \text{ or } \psi = f(Re_*, \tau_*, H / d, B / H, s) \quad (2-3)$$

となる。ここで、 $Re_* = u_* d / \nu$ (粒子レイノルズ数) , $\tau_* = u_*^2 / s g d$ (無次元掃流力) である。

もし、底質材料として通常の河川で見られる砂や砂利 (人工的に砕かれたものでない砂、および極端に扁平でない砂) を底質材料とし、水路の側面が滑面であり、水路幅水深比 B/H が 3 以上、かつ砂州が生じるほど大きくなければ (2-3) 式における s , B/H を除くことができる。なぜならば、 s はほぼ一定 (1.6 ~ 1.7) であり、また側壁の影響も Williams, G.P.²⁾ の水路側壁が流砂量に及ぼす影響に関する実験的研究より、 B/H が 3 以上あれば、側壁の影響はほとんど考慮しなくて良いことがわかっているからである。

この場合 (2-3) 式は次のようになる。

$$q_s / u_* d \text{ or } \psi = f (Re_* , \tau_* , H/d) \quad (2-4)$$

ただし、河床の 3 次元的形態 (砂州等) および、それが流砂量、流れの抵抗に及ぼす影響を知るためには、 B/H を除くことができない。

なお、(2-4) 式の三量のうち、一般に認められているように、 $q_s / u_* d$ および ψ に影響を与える効果としては τ_* , H/d が第一義的であり、 Re_* はそれを多少変形する第二義的な量であるという基本的な立場を本論では採ることにする。

2.2 河床波の分類とその特徴

移動床水路では、水理条件と粒径に応じて河床面に各種の河床波が発生し、これが流れの抵抗係数や流砂量に大きな影響を与える。それゆえ初めに河床形態の分類と、各種の河床波の形態の特徴について述べる。

ところで河床波の形態区分の方法は、本来河床波を発生させる要因の違いから区分されるべきであるが、現在種々の河床波の成因が明確になっておらず、各種の河床波をそのスケールと形態の差によって区分せざるを得ない状態である。

ここでは、基本的には土木学会移動床流れと河床形状委員会の定義³⁾した河床波の分類と名称を使用するが砂漣と砂堆の区分だけは別の方法によった。水理委員会の定義に多少の修正を加えた河床波の形態と名称は以下のごとくである。

(1) 砂漣 (Ripple)

砂漣は河床面近傍の物理量によって支配される最も小規模な河床形態であって、その波長・波高は粒径と密接な関係があり、水深が砂漣のスケールより十分に大きい場合は平均水深のような物理量にはほとんど影響を受けない。砂漣の平面形状には、三次元的に不規則なものから頂と谷が流れと直角方向に一直線に並んだ比較的規則的なものまで各種ある。また縦断形状には、上流側斜面勾配が緩やかで下流側斜面勾配がほぼ水中安息角をなす三角形形状から比較的対称的な形状まで各種ある。砂漣は平均流速に比して遅い速度で下流に伝播する。なお砂漣はその特性からして閉管路でも発生する。

〔2〕砂堆 (Dune)

砂堆は砂澁よりも規模が大きく、その波長・波高が水深と密接な関係があり、河床波と逆位相の水面波を伴う河床形態である。砂堆は、砂澁に比べて一般に不規則であり、その縦断形状は、上流側斜面勾配が緩やかで、下流側斜面勾配が砂澁の水中安息角にほぼ等しい三角形状をなす。砂堆は平均流速に比して遅い速度で下流に伝播する。なお砂堆は閉管路でも発生する^{4) 5)}。

〔3〕反砂堆 (Antidune)

反砂堆は、水面波（重力波）と強い相互干渉作用を持って形成され、河床波と同位相の水面波を伴う河床状態である。反砂堆には水流と砂澁の特性に応じて上流へ移動、下流へ移動、移動しないの三通りの場合がある。反砂堆は一般に非定常性が強く、河床波の発達と衰退を繰り返す。反砂堆の縦断形状には三角形状から正弦波形状までいろいろあり、後者は前者に比し大きなフルード数のときに形成される。シャープな頂を持った三角形状の反砂堆は実験水路において観測されており、常に下流に移動する⁶⁾。反砂堆は、フルード数が大きくなると射流であるシュートと射流あるいは常流であるプールとを連結したような河床状態になるが、これを特にシュート・プールと呼んでいる。反砂堆は閉管路では発生しないといわれている⁷⁾。

〔4〕平坦河床 (Flat bed)

砂澁、砂堆、反砂堆および砂州を伴わない平坦な河床形態である。

〔5〕遷移河床 (Transition)

砂澁や砂堆と平坦河床との遷移領域における河床形態であって、砂澁や砂堆の部分と平坦河床の部分からなる。

〔6〕砂州 (Bars)

砂州は、最も規模の大きい河床形態であって、その波長は水路幅あるいは水深と密接な関係がある。

砂州には湾曲部の凸岸などに見られる固定砂州 (Point bar) や左右交互に周期的に見られる交互砂州 (Alternate bar) , 川幅水深比の大きなときに表れるうろこ状砂州 (Maltple bar) などがある。

以上の河床の起伏を総称して河床波 (sand wave) と呼ぶ。また砂澁、砂堆、反砂堆の規模は砂州に比べて小さいので、前者を小規模河床形態、後者を中規模河床形態という。なお、小規模河床形態と中規模河床形態は、ある水理量の範囲では共存可能である。これをまとめると図-2.1のごとくなる。

ところで砂澁と砂堆の河床形態はかなり似ており、前述の形態の特徴から区分しようとするとうまくいくことが多い^{8) 9)}。しかしながら砂澁と砂堆では、2.3, 2.4で詳しく示すが、流砂量および流れの抵抗と水理量の関係がかなり違うので、本論では流砂量と流れの抵抗に関する資料より、その資料が砂澁的特性を持つか、砂堆的特性を持つかによってその河床波を区分することにした。この方法によると Re_* が20以

上であり、また波長も長いので従来なら砂堆と見なされるものが砂漣と定義されることがある。

河床形態			形状・流れのパターン		移動方向	河床波の特性
			縦断図	平面図		
小規模河床形態	低水流領域	砂漣		直線状 	下流	河床波の移動速度は、流水の速度よりも小さい。砂漣の波長は河床材料の粒径の約500～1,500倍である。
		砂堆		曲線状 	下流	河床波の上流側斜面は、通常勾配の急な下流側斜面に比べると緩やかに傾斜している。砂堆の波長は水深の約4～10倍である。
		遷移河床				発達初期段階にある小さな砂漣と砂堆が平坦河床の間に広がっている。
	高水流領域	平坦河床				多量の流砂が平坦な河床上を流れている。
		反砂堆			上流 停止 下流	河床波と同位相の水面波と強い相互干渉をもつ河床波。
中規模河床形態		交互砂州			停止 下流	水流は水路内を曲がりくねって流れる。交互砂州の波長は水路幅の約5～16倍である。
		複列砂州			下流	—
		うろこ状砂州			下流	うろこ状砂州はB/Hが非常に大きい領域で発生する。それは魚のうろこのように見える。

図－2.1 河床波の特徴と定義

2.3 流れの抵抗と河床形態

自由水面を持った移動床上には、流れの水理量変化に応じて種々の河床波が発生する。この河床波の形および大きさは、流れの抵抗と密接な関係がある。本節においては中規模河床波形態が生じない場合での小規模河床波と流れの抵抗との関係を記す。

ところで流れの抵抗、流砂量、河床形態は、移動床流れの三つの側面であり、流速係数 ψ を予測するということは、同時に河床形態も予測することであり、 ψ に関する(2-4)式の関係図が得られれば、その関係図は、河床形態をも示す図となる。このような関係を調べたものとして岸・黒木¹⁰⁾の研究がある。本節では、これをより詳細に分析し、精度良く流れの抵抗を評価し得るようにする。図－2.2～図－2.8は、粒径0.02, 0.03, 0.05, 0.1cmの移動床材料に対して流速係数 ψ が τ_* , H/d の変化に対してどう変わるかを河床形態がわかるように示したものである。ここで図中の実線の部分は実測資料を基にして描いたものであり、点線の部分は、実測資料がな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河床形状と ψ の関係、および各河床波ごとの ψ と τ_* , H/d の関係を詳細に分析し、そこでわかった経験的法則性を資料のないところにまで、適用して描いたものである。これより流れの抵抗と水理量の関係について、流速係数 ψ を水深 H 、勾配 I 、粒径 d の三量で評価し得るようにした。

図の同一のシンボルが付けられた線および数字が付けられた線は、相対水深 H/d がある値に固定されたとき、 τ_* の変化によって ψ がどう変わるかを示したものである。また、図中No Motion, Ripple, Dune, Flat, Antiduneと記されているのは、その付近の曲線群の河床形態を示すものである。

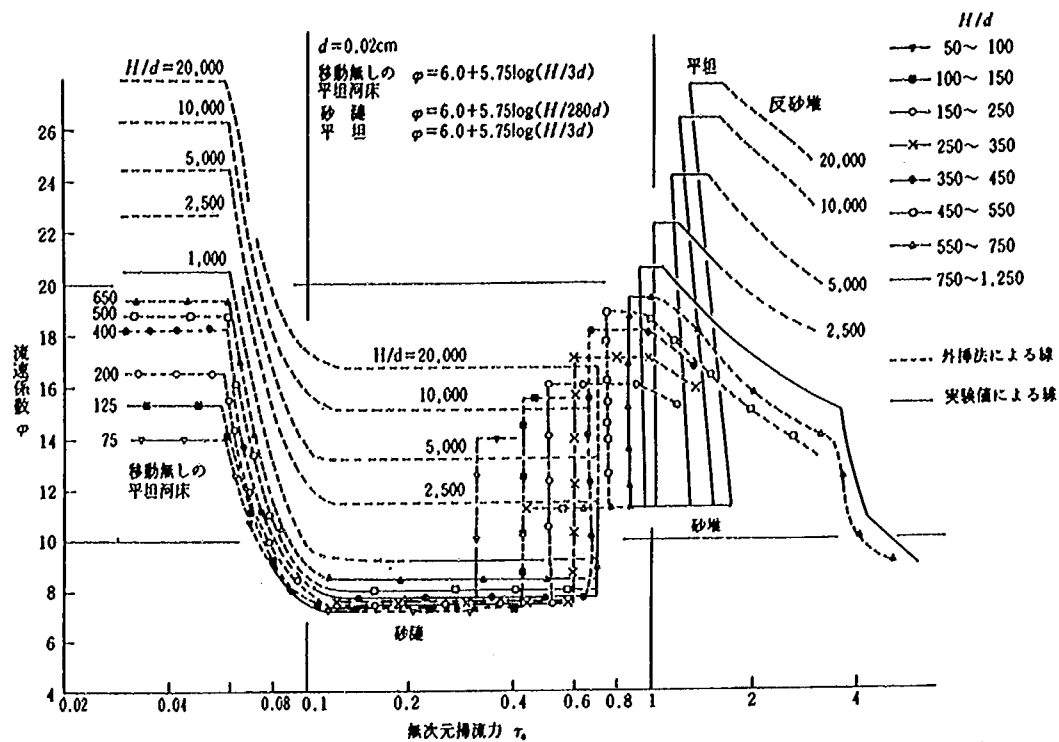


図-2.2 ψ と τ_* の関係 ($d=0.02\text{cm}$)

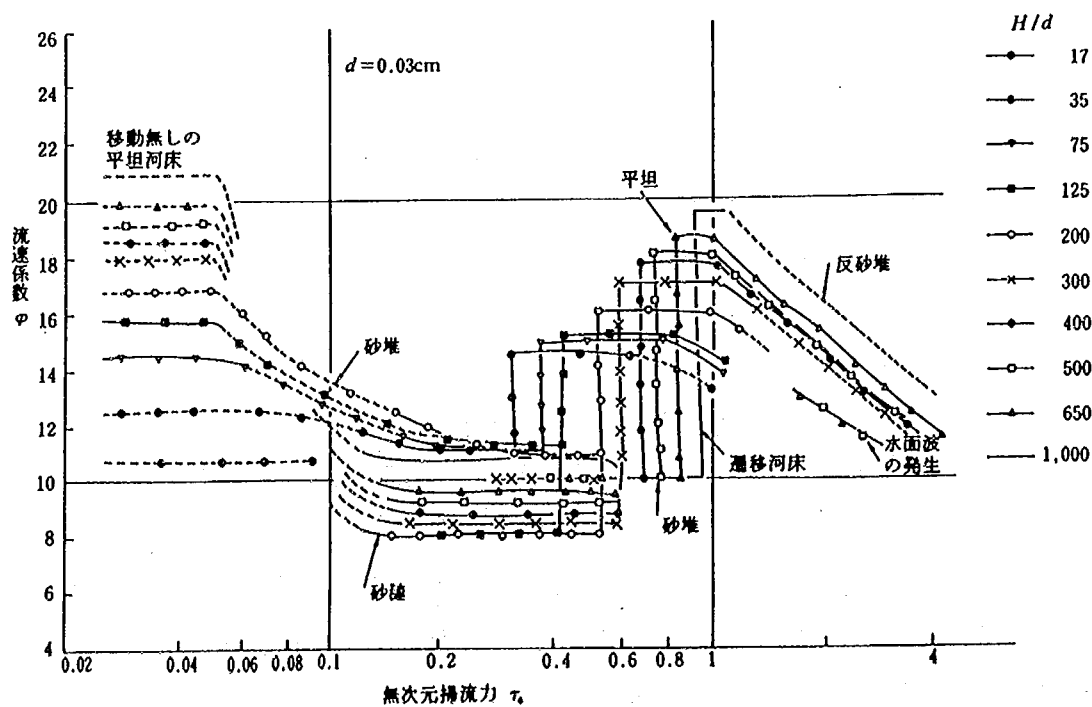


図-2.3 ψ と τ_* の関係 ($d=0.03\text{cm}$, $H/d=10\sim1000$ の場合)

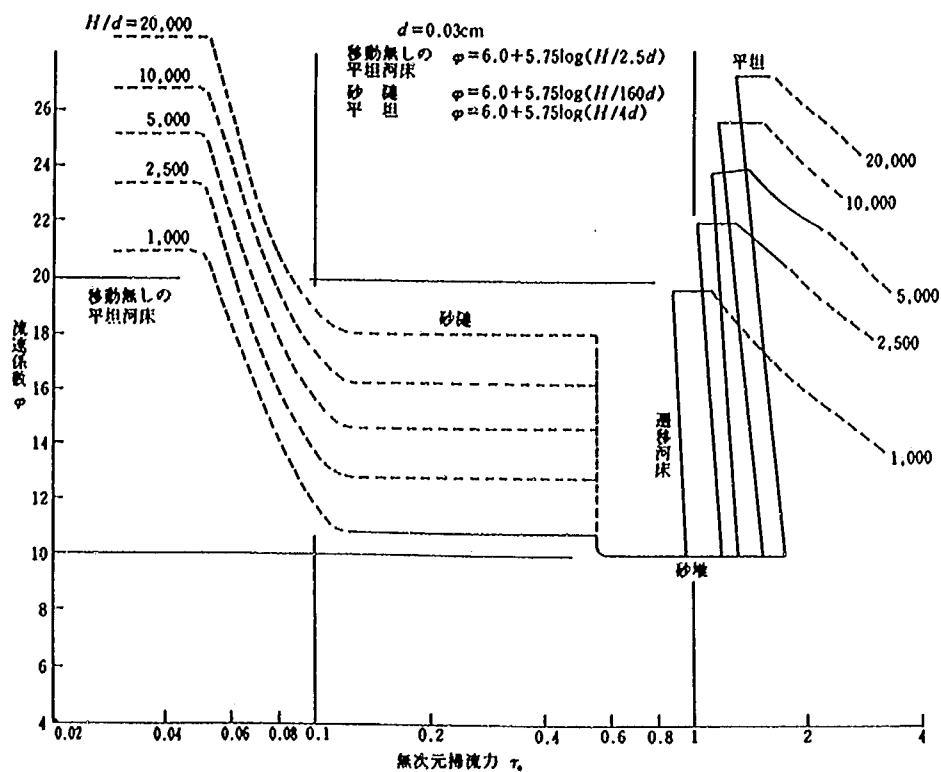


図-2.4 ψ と τ_* の関係 ($d = 0.03 \text{ cm}$, $H/d = 1000 \sim 20,000$ の場合)

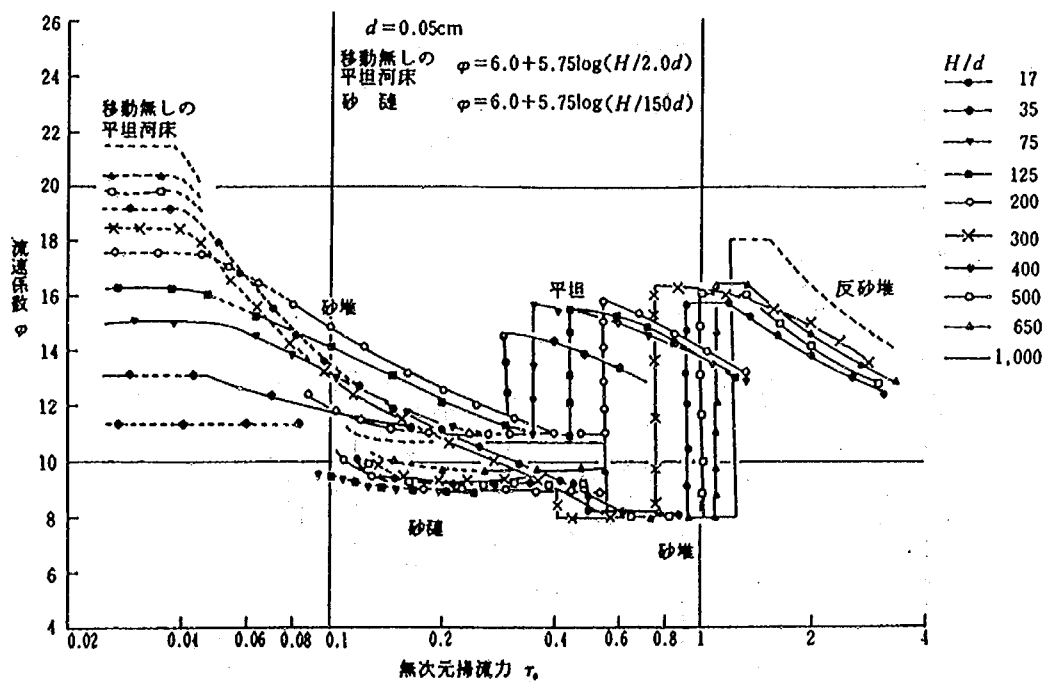


図-2.5 ψ と τ_* の関係 ($d = 0.05 \text{ cm}$, $H/d = 5 \sim 1250$ の場合)

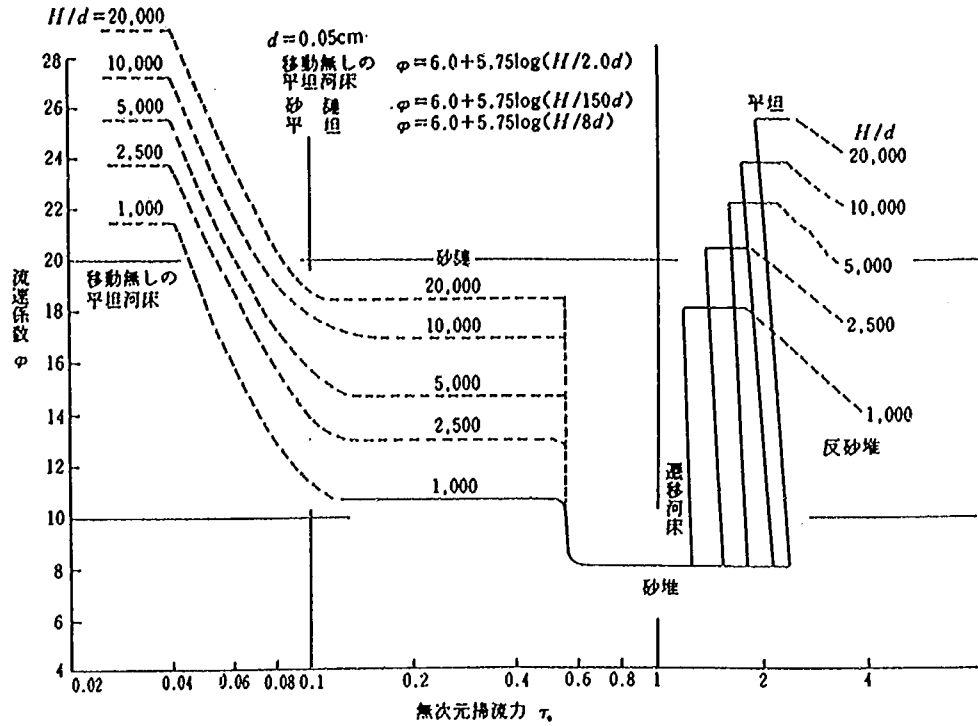


図-2.6 ψ と τ_* の関係 ($d=0.05\text{cm}$, $H/d=1000\sim2000$ の場合)

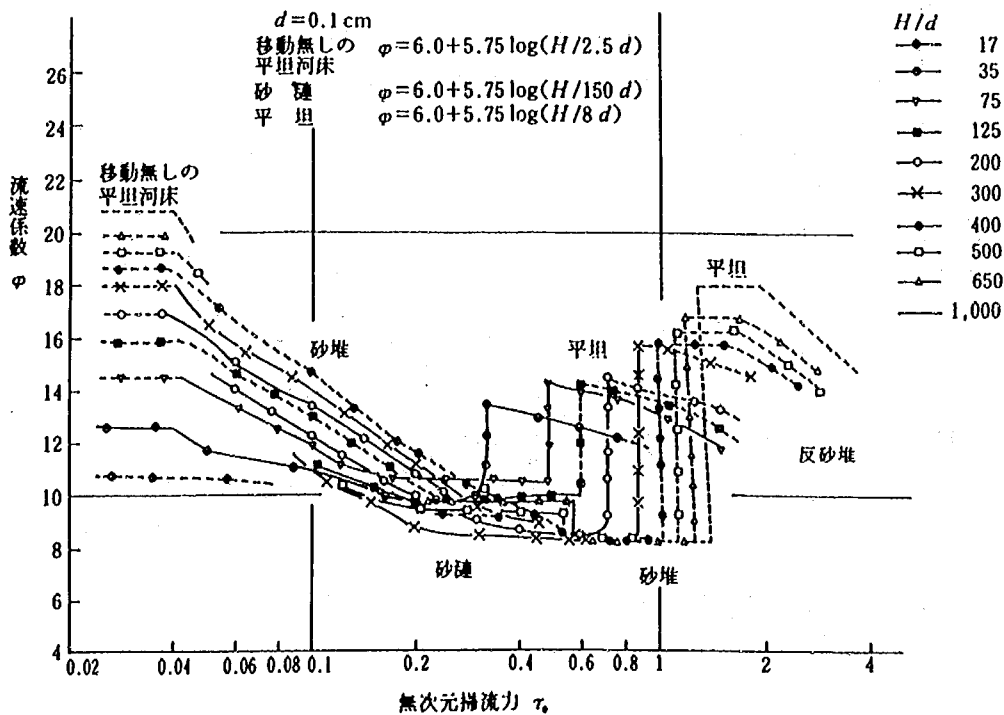


図-2.7 ψ と τ_* の関係 ($d=0.1\text{cm}$, $H/d=15\sim1000$ の場合)

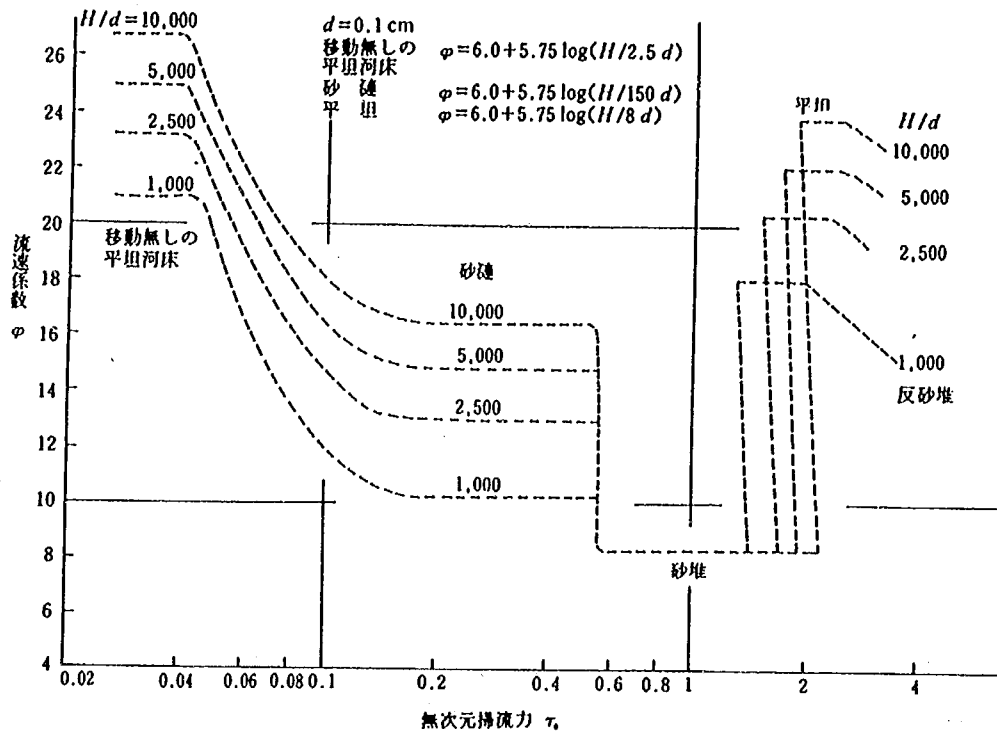
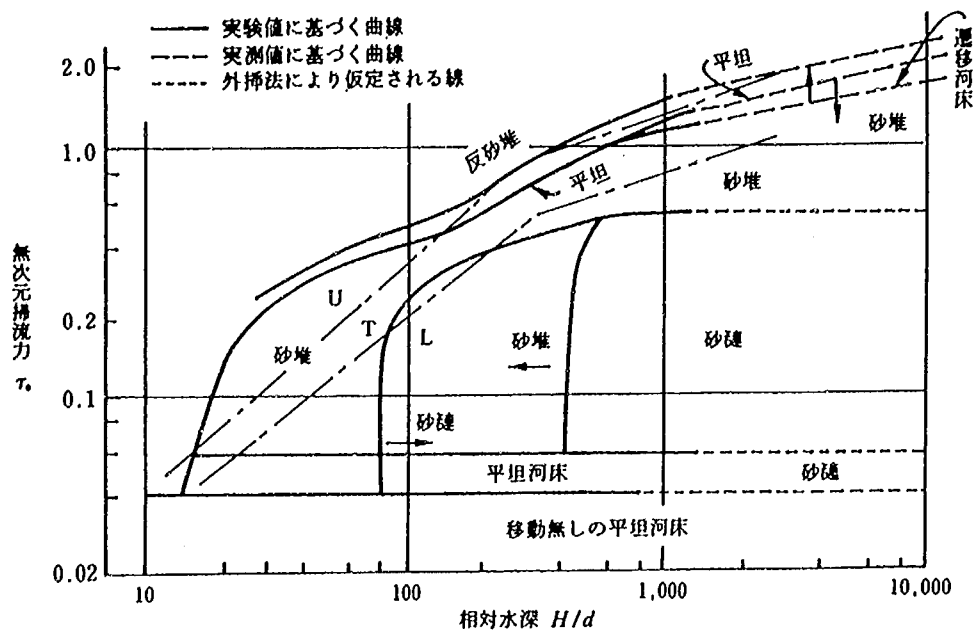


図-2.8 ψ と τ_* の関係 ($d=0.1\text{cm}$, $H/d=1000\sim10000$ の場合)

各河床形態の発生領域をより明確にわかるように、 $d=0.05\text{cm}$ の場合の領域区分図を τ_* - H/d 平面上に示せば、図-2.9のごとくである。 H/d が80~500で τ_* が0.04~0.4の範囲では、砂堆と砂澁のどちらの河床波も生じる可能性があることが良く示されている。この領域区分図は、粒径が異なると、各河床波の発生領域が多少変化するので多少違ったものとなるが、基本的には、同様の区分図となる。

ところで河床形態の発生領域区分図には、 Fr - H/d 平面で表わしたもの、 I/s - H/d 平面で表わしたもの等多数あるが、 ψ と τ_* 、 H/d の関係がわかれば、図-2.9は他の平面に変換し得る。図-2.9は、Garde, R. J.¹¹⁾ (I/s - H/d 平面)、芦田・道上¹²⁾ (τ_* - H/d 平面)、Cooper, R. H. 等¹³⁾ (Fr - H/d 平面)による領域区分と大略的には同様な結果を与えるが、これらには粒径の違いの効果が入っていない。また H/d が1,000以上の領域区分が明確になっていないこと、砂堆と砂澁の区分がなされていない等の欠点を持っている。なお Fr はフルード数で、 $Fr = V_m / \sqrt{gH}$ である。

参考のため図-2.9には、芦田・道上による τ_* - H/d 平面での領域区分図を一点鎖線で示した。 U はUpper regime, T は遷移河床 (Transition), L はLower regimeである。ただし Fr が0.8以上をUpper regimeとしている。



図－2.9 小規模河床波の領域区分, $d = 0.05\text{cm}$ の場合

2.4 流砂量と河床形態

河床形態は流れの抵抗と密接な関係にあるのみならず流砂量とも強い関係がある。本節においては、この関係について述べる。

図－2.10～図－2.14は、粒径0.02, 0.03, 0.05, 0.1, 1.0cmの移動床の無次元流砂量 q_s/u_*d が τ_* , H/d の変化に対してどう変わるかを、河床形態がわかるように図示したものである。ここで、図中の実線の部分は、実験室資料を基にして描いたものであり、点線の部分は、実験室資料のない領域での推定線である。推定線は、実験室資料があるところの河床波形態と q_s/u_*d の関係を分析し、そこでわかった経験的事実を資料のないところまで広げ、また粒径が異なっても同一の τ_* , H/d で河床形態が同じものであれば、 q_s/u_*d と τ_* , H/d の関係がほぼ類似のものになるだろうとして描いたものである。ただし、 H/d が1,500以上の場合の推定線はEinsteinの流砂量理論¹⁴⁾を援用して描いた。

図中の同一シンボルを付した線は、相対水深をある値に固定した時、 τ_* の変化によって、 q_s/u_*d がどう変わるかを示したものである。河床形態が異なると土砂の運動形態が異なり、 q_s/u_*d と τ_* , H/d の関係が変わるため、明確に曲線群が識別しえ、曲線の勾配がほぼ同じである曲線群は、同じ河床形態となっている。

各河床形態と流砂量の関係は次のごとくである。

なお図－2.12に見るごとく H/d が300以下では、同一 τ_* に対して H/d が大きくなるほど q_s/u_*d が小さくなるが、これ以上は H/d が大きくなるほど逆に q_s/u_*d が大きくなる。 H/d が小さい場合には、浮遊砂濃度が高く、これによって流速分布形の変化や土砂含みの流体の密度の増加等によって流砂量が多くなるものと思われる。

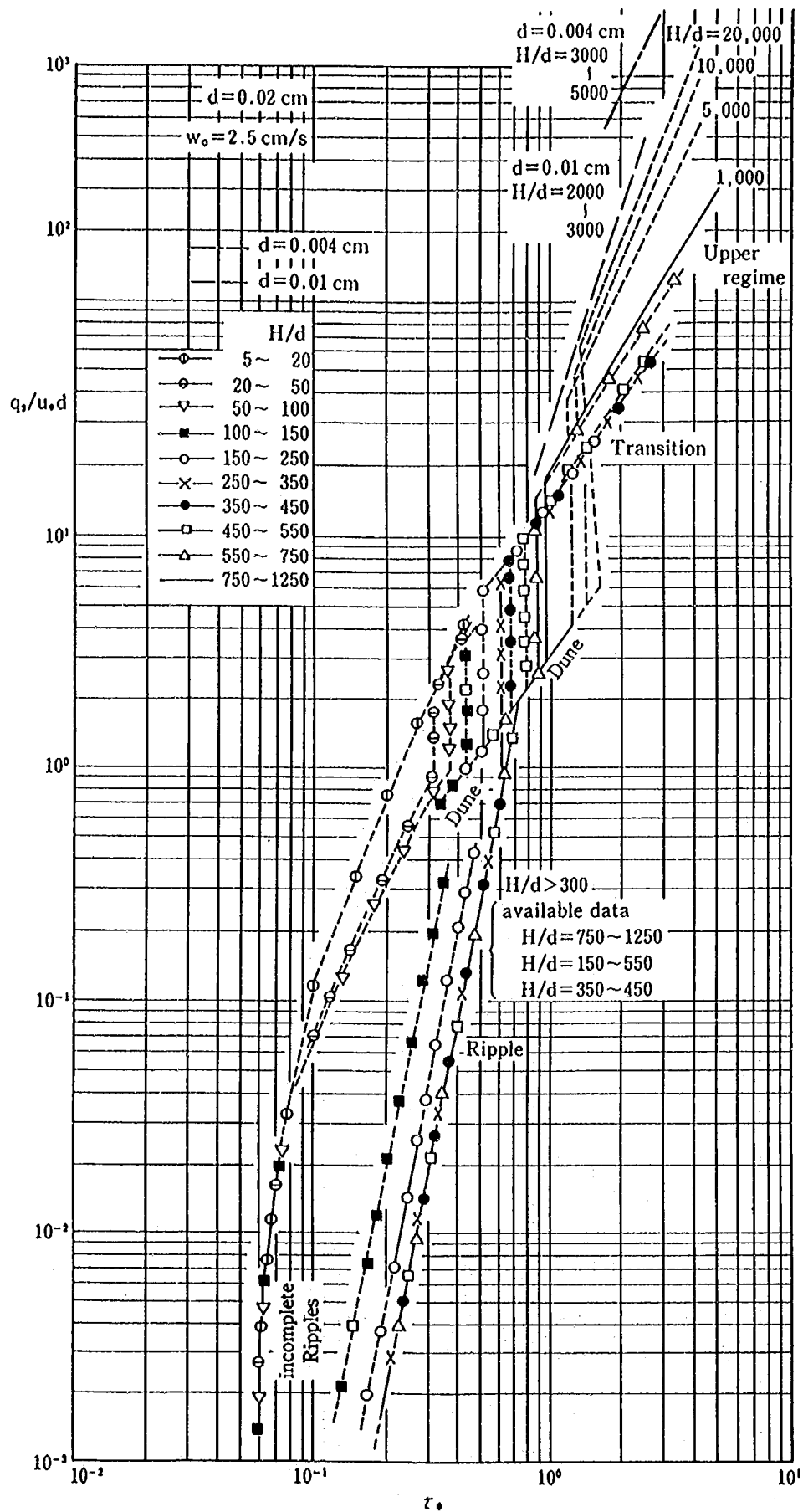


図-2.10 $q_s / u_* d$ v.s. τ_* , $d = 0.02 \text{ cm}$ の場合

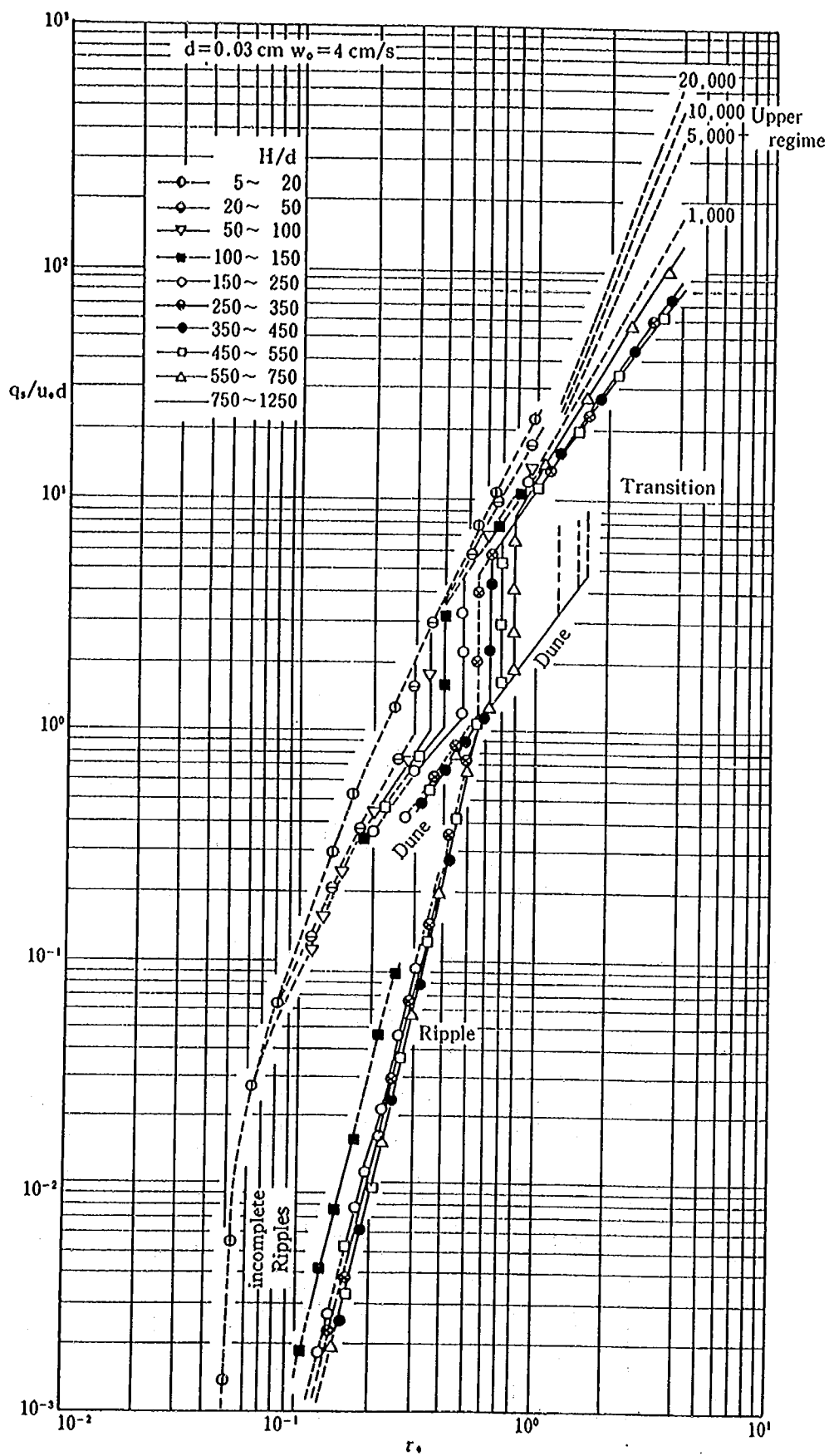


図-2.11 $q_s / u_* d$ v.s. τ_* , $d = 0.03 \text{ cm}$ の場合

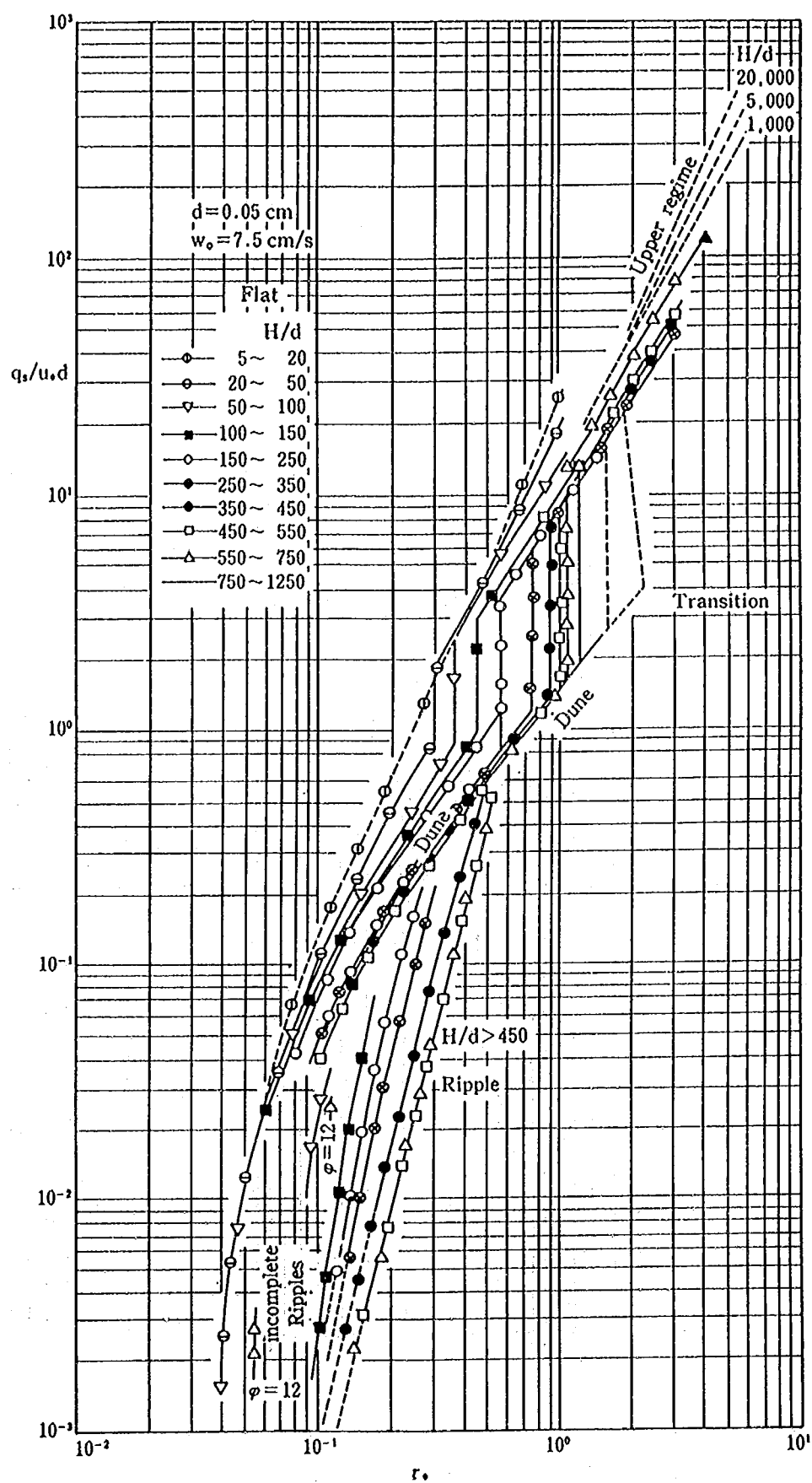


図-2.12 $q_s / u_* d$ v.s. r_* , $d = 0.05 \text{ cm}$ の場合

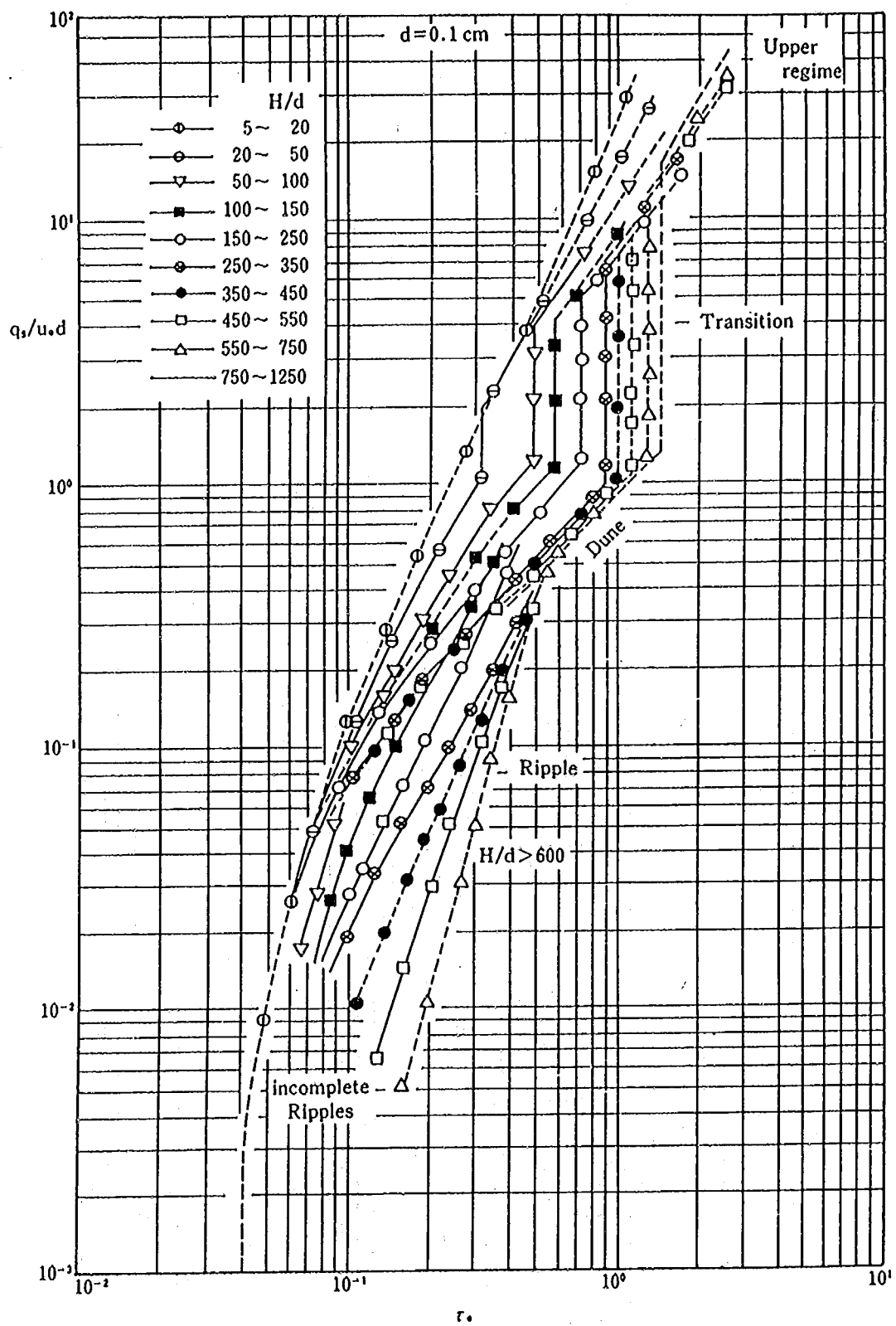


図-2.13 $q_s / u_* d$ v.s. r_* , $d = 0.1 \text{ cm}$ の場合

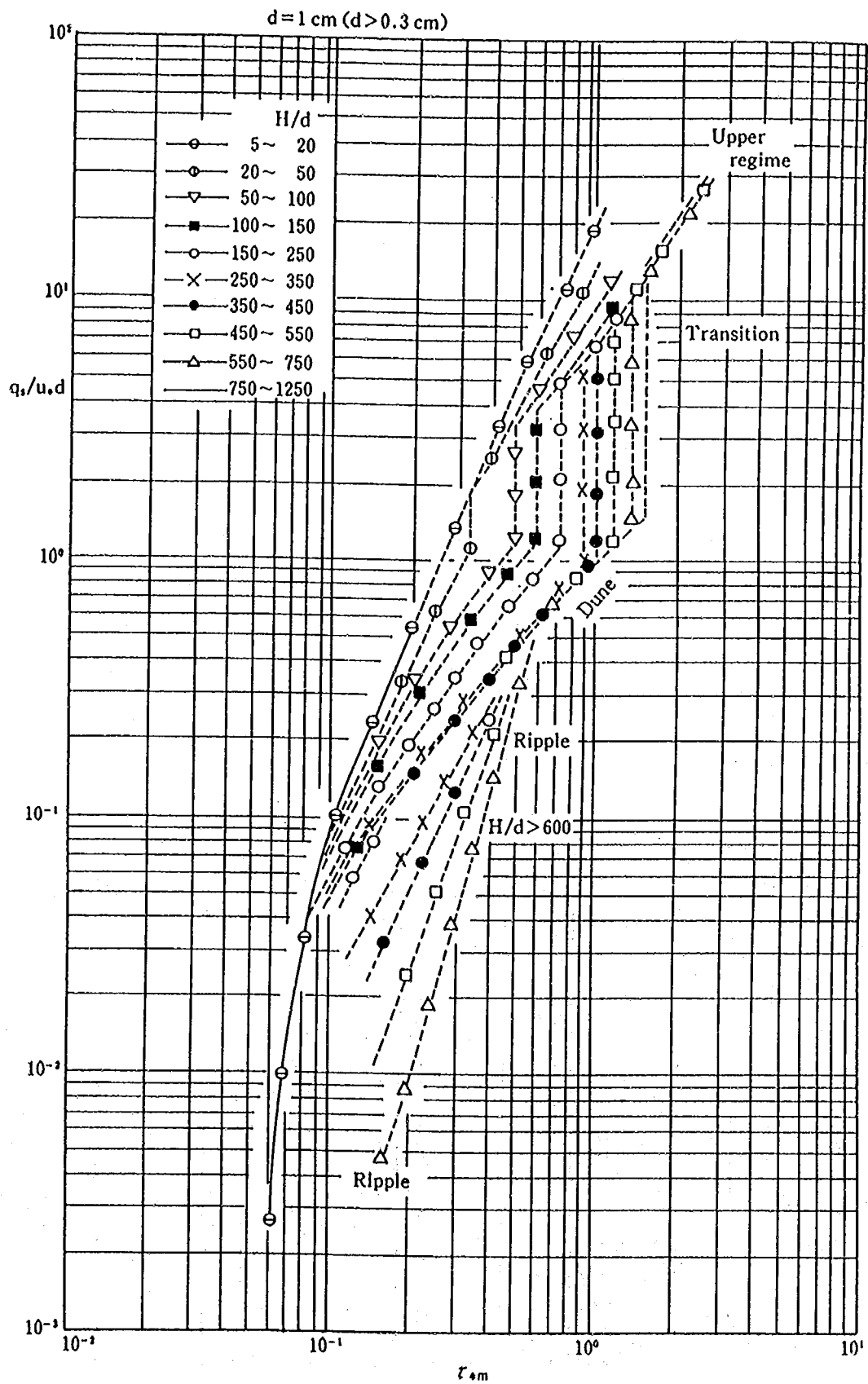


図-2.14 $q_s / u_* d$ v.s. τ_* , $d = 1 \text{ cm } (d > 0.3 \text{ cm})$ の場合

2.5 粒子レイノルズ数の効果 (水温の効果)

前節までにおいて、粒径の違いが、流砂量、流れの抵抗に及ぼす効果について述べたが、粒子レイノルズ数 Re_* が及ぼす効果については直接述べなかった。本節においては Re_* が移動床の水理に及ぼす影響について述べる。

粒子レイノルズ数 Re_* は、

$$Re_* = \nu^{-1} (s g)^{1/2} \tau_*^{1/2} d^{3/2} \quad (2-5)$$

である。上式によると、 τ_* と d が定まっている場合、 Re_* は ν に反比例する。

なお図-2.15には $\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ (水温 20°C)、 $s = 1.65$ とした場合の Re_* と d 、 τ_* の関係を示しておいた。同図左上には、水温が異なる場合、図中の各粒径ごとの Re_* と τ_* の関係線が、どれだけ横方向に位置がずれるかがわかるスケールを示しておいた。このスケールによって、水温が 20°C から 40°C に上昇すると Re_* が約50%増加、逆に 20°C から 0°C に下ると50%減少する。

ところで(2-4)式の Re_* の q_s/u_*d および ψ に対する影響は、底質が動くような水理量の場合であり、かつ Re_* が150程度以上 ($d > 0.3 \text{ cm}$) であれば、図-2.15に示すように無次元掃流力が0.06とほぼ一定となり、粒子の抗力係数、揚力係数が Re_* の影響を受けなくなること、また沈降速度 w_o も図-2.16に示すように $\sqrt{d}$ に比例し抗力係数が一定値となること、また底面の境界層も粗面乱流となること¹⁵⁾等によって Re_* の影響はほとんど受けないものと思われる。これ以下の Re_* ($d < 0.3 \text{ cm}$) であれば、(2-4)式の Re_* を無視し得ないと考えられる。

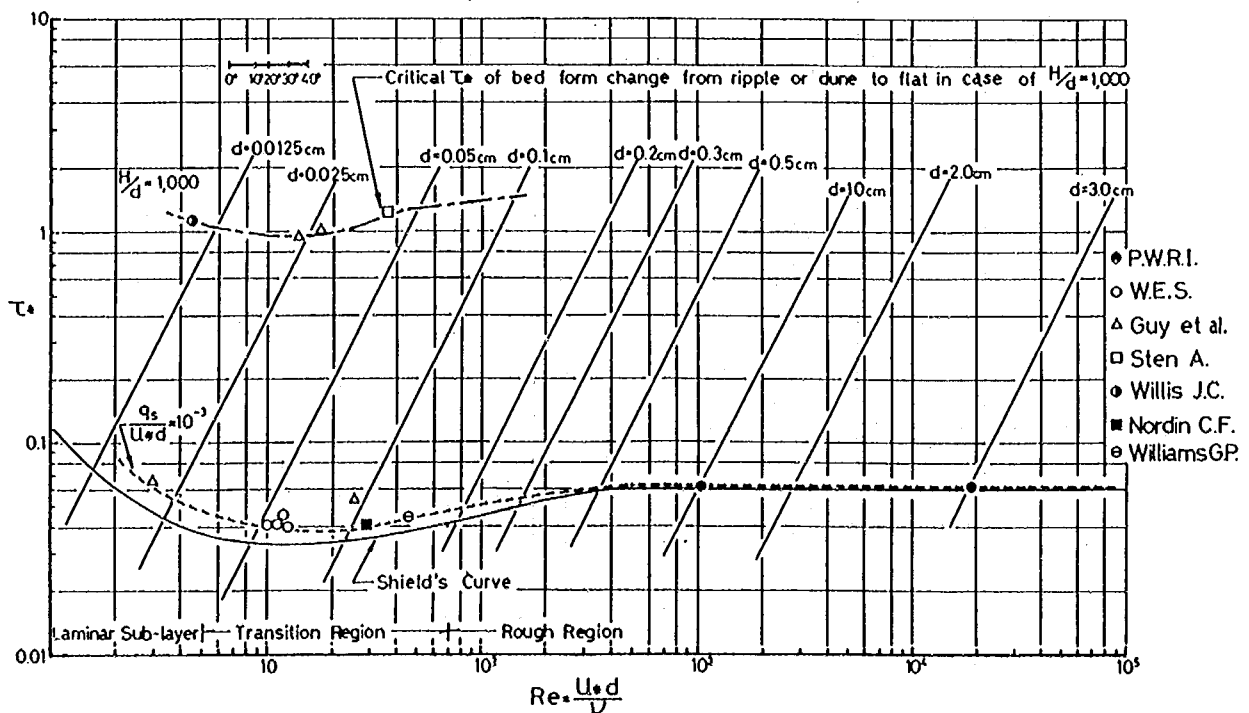


図-2.15 Re_* 、 d 、 τ_* の関係

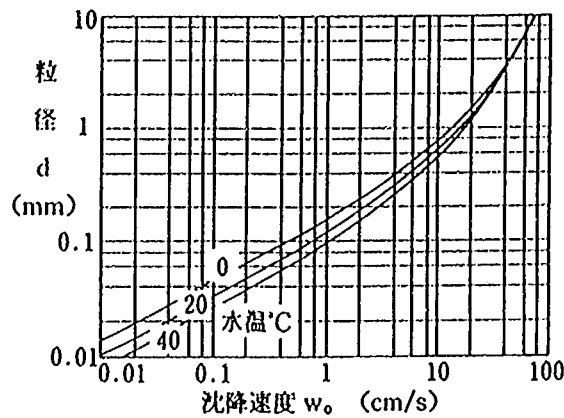


図-2.16 砂粒の沈降速度と粒径の関係

良く知られているように、 Re_* は河床面近くの流速分布および乱れ特性、境界層の厚さに影響を与える。また河床に存在する粒子の抗力係数、揚力係数および粒子の相対沈降速度 w_s / u_* にも影響を与える。上述した要因が、移動床流れの水理にどんな影響を与えるか簡単に述べる。

〔1〕限界掃流力

上述のごとく、 d が 0.3cm 以下であれば、河床面近くの流速分布形、粒子の抗力および揚力係数等は Re_* によって変化する。それゆえ無次元移動限界掃流力は Re_* によって変化する。本報告で使われた資料を使って無次元流砂量 $q_s / u_* d = 10^{-3}$ に相当する τ_* の値（ほぼ τ_{*c} に近い値である。）を定めたものが、図-2.16 に点線で示されている。これは各粒径ごとに、 $q_s / u_* d$ が 10^{-3} 付近の $q_s / u_* d$ と τ_* の関係を図示したものより、eye fitness によって $q_s / u_* d = 10^{-3}$ に相当する τ_* を求め、これを基にし、Shield の移動限界曲線¹⁶⁾ 等も考慮して求めたものである。

同図より、Taylor, B.D.¹⁷⁾ が述べたように、同一水深、勾配、また河床が平坦で土砂移動量が多くない、つまり限界掃流力より多少 τ_* が大きいところでは、無次元限界掃流力の Re_* による変化同様、水温の低下は Re_* が 13 より小さければ q_s の減少、 Re_* が 13 から 300 までは q_s の増加、300 より大きければ影響がないことが良く理解し得る。

〔2〕平坦河床上の抵抗係数

粗面管の抵抗係数に関する実験結果によれば、 Re_* が 70 以下で主流が乱れていれば、ある特定の H/d に対する ψ の値は、 Re_* によって変化する。 Re_* が 5 から 20 では、 ψ の値は Re_* が 70 より大きい場合より、1.0~1.3 程度大きくなり、5 以下では Re_* が小さくなるほど ψ は小さくなる。

本章で用いた資料によると、平坦河床で土砂の多い場合（ただし $\tau_* = 0.8 \sim 1.5$ ）、特定の H/d に対しての ψ の値は粒径の小さいほど、つまり Re_* が小さいほど（ただし Re_* は 10~100 の範囲）大きく、前述の傾向と一致するが、土砂移動のない平坦河床では、 ψ の値と粒径の間に明確な関係を見つけることができない。これは河床の整形条件が異なり砂粒の河床面での存在状態が違っていたためと思われる。

〔3〕砂澁における流れの抵抗と流砂量

砂澁河床における無次元流砂量 q_s/u_*d は、以下に述べる H/d 以上では H/d に影響を受けない。

粒径0.02cmおよび0.03cmに対して $H/d = 300$

粒径0.05cm に対して $H/d = 450$

粒径0.1 cm に対して $H/d = 600$

また粒径が小さいほど、同一の τ_* , H/d という条件で q_s/u_*d および ψ が小さい。このことは Re_* が小さい方が同一の τ_* , H/d という条件の下で ψ , q_s/u_*d が小さくなることを示す。これは Franco, J. J.¹⁸⁾ による実験結果 ($d = 0.023\text{cm}$, $s = 1.65$ の底質材料を使った砂澁河床の流砂量は、同一 τ_* , H/d の条件下では水温の低下は ψ と q_s/u_*d を減少させる。) と一致する。なぜこのようなことが起こるのか原因は良くわかっていない。

H/d が500以上の場合、砂澁から砂堆に移行する掃流力 τ_* は0.6~0.7であるが、粒径0.01cmの場合、($Re_* < 5$) は、砂澁から直接平坦河床に移行し、砂堆は生じない¹⁹⁾ (筆者が行った粒径 $d = 0.021\text{cm}$, $s = 0.5$, $w = 1\text{ cm/s}$ の石炭粉の実験 ($Re_* < 7$) においても河床形態は砂澁から平坦河床に直接移行し、砂堆は生じなかった²⁰⁾)。土砂の移動形態を見ると砂澁河床においても浮遊砂が多く、土砂の移動形態が0.2mm以上の場合と異なっている。砂澁から平坦河床に砂堆を通さずに直接移行する原因は、このような土砂の移動形態の差によるものと思われるが、力学的な説明がついていない。

流砂量が小さい平坦河床 (限界掃流力より多少大きい掃流力) の状態から砂澁が発生する限界の掃流力に及ぼす Re_* の影響は資料が少ないのでほとんどわかっていないが、粒径が0.3mm以下であれば、 Re_* の変化 (水温の変化) によってこの限界の掃流力は変化するものと思われる。

〔4〕Lower regimeからUpper regimeへの遷移限界掃流力 τ_{*f}

砂澁あるいは砂堆から平坦河床に変化する時の遷移限界掃流力は、 H/d のみならず Re_* によっても変化する。 $H/d = 1,000$ の場合の τ_{*f} を本報告に使われた資料より求めたものが図-2.15に一点鎖線で示されている。これより τ_{*f} は水温が高くなると、 Re_* が10~20以下では低下、 Re_* が10~20以上では増加するだろうことが推測される。

〔5〕Upper regimeにおける流砂量

TaylorとVanoni¹⁷⁾ は浮遊砂を持った平坦河床における水温変化が流砂量に及ぼす効果を次のように述べている。“水温の変化が流砂量に及ぼす効果は、流砂量の少ない平坦河床 (限界掃流力より多少大きい掃流力の場合) における場合と同じである。つまり Re_* が13以下では水温の増加は (流速、水深は同じ) 流砂量を増加させる。 Re_* が20から30においては水温の増加は流砂量を減少させる等々。”

しかしながら、筆者はこの結論には全面的に同意し得ないものがある (もし流砂量という言葉が河床近くの浮遊砂濃度、例えば河床から $2d$ 離れたところの浮遊砂濃度、に置き換えるなら、正しいと思われる)。 τ_* が1より大きい場合のUpper regimeでは、全流砂量に占める浮遊砂量は多く、水温の低下によって w_o が減少し、浮遊砂濃度の垂直方向の濃度勾配が減少する。これは Re_* が13以下において

も水温の低下が全流砂量を増加させる一因になり得る。事実、 H/d が1,000~2,000で τ_* が1より大きい場合には、 $d=0.01\text{cm}$ の q_s/u_*d は 0.02cm の q_s/u_*d より大きい。つまり同一 τ_* 、 H/d では Re_* の小さい方が流砂量が多いだろうことを推察させる。水温の低下によって流砂量が増加するかしらないかは、底面近くの浮遊砂濃度の変化と浮遊砂濃度の垂直方向の濃度勾配の変化のどちらの効果が強いかにによって決まるものと考えられる。前者（底層濃度の変化）の効果は、小さい τ_* 、 H/d では浮遊砂の全流砂量に占める割合が小さいので強いものと思われる。

<参考文献>

- 1) 山本晃一；河道特性論，土木研究所資料第2662号，pp.167-204, 1988.
- 2) Williams, G.P.; Flume width and water depth effects in sediment-transport experiments, U.S. Geological Survey Professional Paper 562-H., 1970.
- 3) 土木学会水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状研究小委員会；移動床流れにおける河床形態と粗度，土木学会論文集第210号，pp.65-91, 1973.
- 4) Laursen, E.M.; The hydraulic of a storm--drain system for sediment-transporting flow, Iowa Highway Research Board, 1956.
- 5) 奈良井修二；河床形態の変動特性に関する研究(2)，京大防災研年報第13号(B)，pp.285-298, 1970.
- 6) Task Force on Bed Forms in Alluvial channel of the committee on sedimentation ; Nomenclature for bed forms in alluvial channels, Proc. of ASCE, Vol.92, Hy.3, pp.51-66, 1966.
- 7) 白砂考夫；河床波の発生について，第16回水理講演会，pp.76-81., 1972.
- 8) 山本晃一；相似律の観点から見た移動床流れの水理〔I〕，〔II〕，土木研究所資料第1059号，pp.10-20，第1154号，pp.16-18, 1975 and 1976.
- 9) 上野鉄男，宇民正；砂漣と砂堆の発達過程に関する実験的研究，土木学会論文集第318号，pp.75-84, 1982.
- 10) 岸力，黒木幹男；移動床流れにおける河床形状と流体抵抗(I)，北大工学部研究報告，pp.1-23, 1972.
- 11) Garde, R.J. and Raju, R.; Redime criteria for alluvial streams, Proc of ASCE, Vol.89, Hy.6, pp.153-164., 1963.
- 12) 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，土木学会論文集第206号，pp.59-69, 1972.
- 13) Cooper, R.H. and Peterson, A.W.; Critical review of sediment transport experiments, Proc of ASCE, Vol.98, Hy.5, pp.827-842, 1972.
- 14) Einstein, H.A.; The bed load function for sediment transportation in open channel flow, U.S. Dept. of Agriculture Tech. Bull. 1026, 1950.

- 15) Nikuradse, J.; Stromungsgesetze in rauhen Rohren: Versuchsanstalt Deutsche Ingenieurwirtschaft, Forschungsheft 361, 1933.
- 16) Shields, A.; Anwendung der Ahnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebewegung, Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau, Berlin, Germany. 61, 1936.
- 17) Taylor, B.D. and Vanoni, V.A. ; Temperature effects in low transportati on, flat bed flows, Proc of ASCE, Vol.98, Hy.12, pp.2191-2206, 1972.
- 18) Franco, J.J.; Effects of water temperature on bed load movement, ASCE, Vol.94, WW3, 1968.
- 19) Vanoni, V.A.; Factors determining bed forms of alluvial streams, Proc of ASCE, Vol. 100, Hy.3, pp.363-378, 1974.
- 20) 山本晃一, 坂野章; 河川移動床模型実験材料としての石炭粉の移動特性と斐伊川模型への応用, 土木研究所資料第1802号, 1982.

第3章 粗砂を用いた移動床の水理実験とその結果

3.1 実験の目的

1.2でも述べたとおり、既往の小規模および中規模河床波に関する実験は、粒径 $d=0.5\text{mm}$ 以下の底質材料を用いて行われた実験がほとんどである。これら既往の実験室による実験では底質材料の粒径が小さく、水の粘性に関する量（粒子レイノルズ数 Re_* ）の影響を受けている。 Re_* の影響のある場合には、限界掃流力、遷移限界掃流力 τ_{*f} 、流砂量に Re_* の影響が生じると考えられている。このため、粗砂より大きな粒径を河床材料に持つ河川の河床形態の正確な変化時期を予測するには正確さに欠ける。そこで、 Re_* の影響を受けない粗砂を用いた実験を行うことにより、 Re_* の影響を受ける範囲の実験データとどのような差異があるのかを調べ、 Re_* の影響程度を把握する。そして、第2章で述べた成果が適用し得るか検討、確認するものである。

また、本実験は既往の水路実験と比較して非常に大規模な実験であるため、筆者らが当初から疑問に感じているRippleの発生機構について検討するため、 Re_* が20以上で相対水深 H/d_m が大きい実験条件を設定し、この時に発生する河床形態を観測するものである。

3.2 実験の方法と実験ケース

実験は、図-3.1に示す長さ80m、幅4mの水路に、 $d_m=1.64\text{mm}$ の河床材料（詳細は3.3参照）を用いて行い、河床勾配、流量規模、下流端水位を変えることにより種々の τ_* を与え、河床形態の観測およびその時の $\psi (=V_m/u_*)$ を算出した。実験ケースおよび設定条件を表-3.1に示す。

この実験では給砂は行わず、No50より上流を自然給砂区間とした。測定区間は、下流端設定位置No0より上流のNo50までの50m区間とした。（図-3.2参照）

流量は、実験水路に取り付けられている電磁流量計により設定した。また水位は、ポイントゲージにより測定した。

本実験は大規模な移動床実験であるため、流れの乱れ、河床の変動に伴って、同一地点において水面の上下動が生じる。この水面の上下動（以下水面変動とする）を触針式水位計を用いて測定し、流れの乱れの一指標とするものである。

実験結果の評価は、水路長が比較的短いこと、水面変動を伴った流れであるため水位測定精度が得に低いことから、本実験成果はI₀について評価することとした。

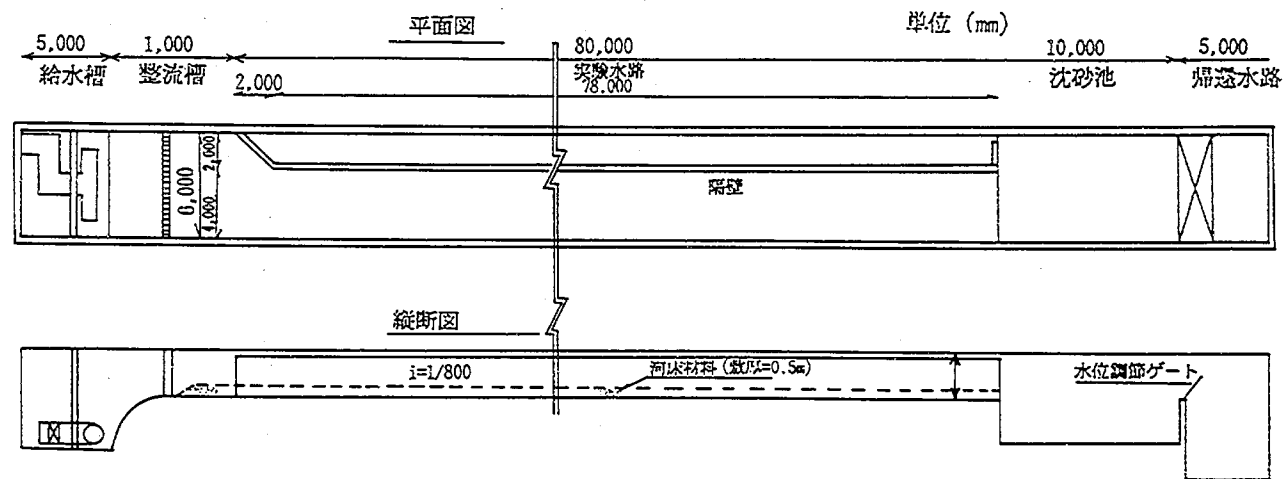


図-3.1 実験水路概要図

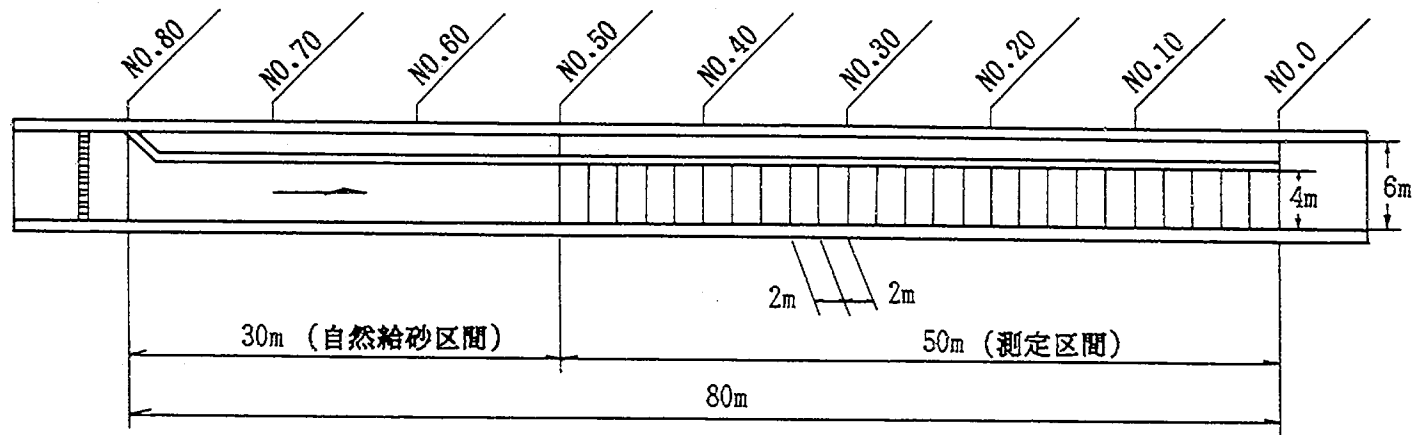


図-3.2 測点位置図

表—3.1 実験条件および結果一覧表

Case	流量 (m^3/s)	下流端 水位	河床 勾配	I_e	H_m (m)	V_m (m/s)	H_m/d	B/H_m	Fr	Re_*	u_*	τ_*	ψ	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	備考
1	3.125	0.946	1/800	1/3,363	0.932	0.838	568	4.3	0.28	61	5.21	0.10	16.1	8	$\nu=0.0139\text{cm}^2/\text{s}$
2	3.977	0.628	1/300	1/273	0.668	1.488	407	6.0	0.58	183	15.49	0.90	9.6	8	$\nu=0.0139\text{cm}^2/\text{s}$
3	4.000	0.399	1/300	1/199	0.451	2.217	275	8.9	1.05	176	14.90	0.84	14.9	8	$\nu=0.0139\text{cm}^2/\text{s}$
4	4.000	0.438	1/300	1/201	0.526	1.901	321	7.6	0.84	200	16.01	0.97	11.9	10	$\nu=0.0131\text{cm}^2/\text{s}$
5	3.800	1.518	1/300	1/6,047	1.425	0.667	869	2.8	0.18	58	4.81	0.09	13.9	9	$\nu=0.0135\text{cm}^2/\text{s}$

$d_m=1.64\text{mm}$, $w_o=13.29\text{cm}/\text{s}$, $u_{*c}=3.09\text{ (cm}/\text{s)}$

3.3 底質材料の特性

実験に用いた底質材料について、ふるい分け試験(3試料)を行った。試験結果は、表-3.2 および図-3.3 に示す通りであり、 $d_m=1.64$ mm, $d_{84}/d_{16}=3.5$ のほぼ均一な粗砂である。

表-3.2 ふるい分け試験結果一覧表 (単位: mm)

項目 試料	No. 1	No. 2	No. 3	平均
最大粒径	4.76	4.76	4.76	4.76
84 % 粒径	2.56	2.82	2.00	2.46
60 % 粒径	1.51	1.60	1.28	1.46
30 % 粒径	0.97	1.00	0.82	0.93
16 % 粒径	0.75	0.76	0.62	0.71
10 % 粒径	0.58	0.59	0.50	0.56
平均粒径	1.68	1.76	1.47	1.64

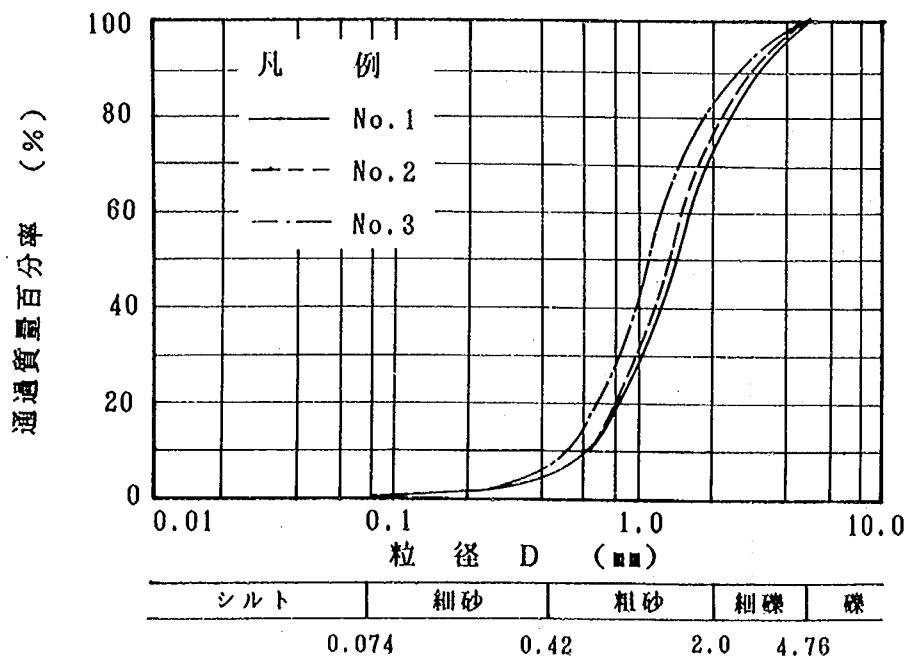


図-3.3 実験に用いた底質材料の粒径加積曲線

3.4 実験の結果

本実験は、掃流力と小規模河床形態の関係について検討するものである。河床波は、その掃流力に対応して瞬時に発達するものでなく、ある程度の時差を持っている。このことは、通水条件において、定常状態での通水時間だけでなく、通水開始時から定常状態への移行時間、定常状態から通水終了時までの移行時間も重要な要素であると考えられるため、実験結果の整理は、以下のように行うこととした。

- ①通水経過とし、定常状態への移行時間、定常状態での通水時間、通水終了までの移行時間について記述する。
- ②通水状態として、定常通水状態での水面形の変化過程について記述し、合わせて通水時の水理量として、 Fr 数、水面変動量について記述する。
- ③河床形態として、通水終了後の河床形態について記述する。ここでは河床波の波高 H_s 、波長 L_s 、 Re_* および流速係数 ψ 、無次元掃流力 τ_* について示し、得られた結果から河床形態の分類を行った。 ψ および τ_* を算出するにあたって用いた水理量は、平均水深 H_m および最小二乗法により平均化した I_e である。なお、砂粒子の比重 $s = 1.65$ として計算した。

[1] Case-1

① 通水経過

水路内湛水状態から通水を開始し、約10分間で流量、下流端水位の設定を行った。その後30分間の定常通水を行い、約5分間かけて通水を終了した。

② 通水状況

通水中の水面形は極めて穏やかで、水面は写真-3.1に示すとおり非常に平滑であった。

通水中の水理量は $H_m = 0.932$ 、 $I_e = 1/3,363$ 、 $Fr = 0.28$ であり、本ケースにおいて水面変動は最大で約5mmであった。水位および河床の縦断図、数値一覧表を図-3.4、表-3.3に示す。なお、水位縦断図では実測水位の代りにエネルギー水頭 H_e を用いた。

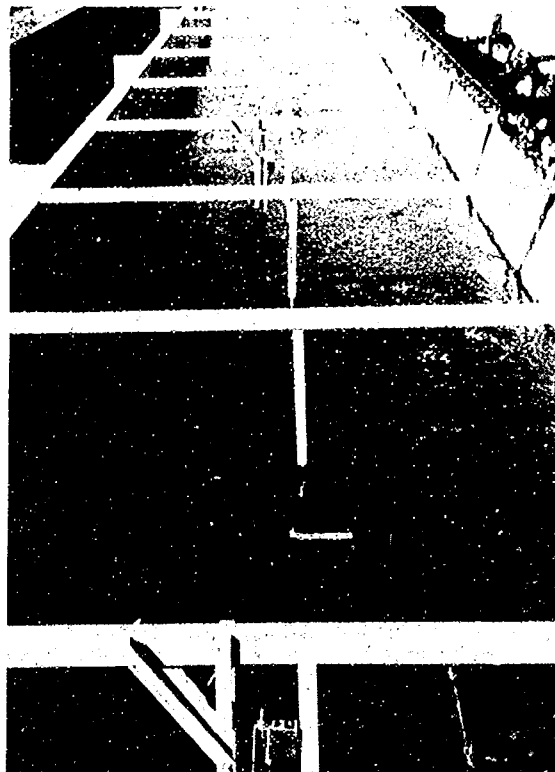


写真-3.1 通水時の水面状況 (Case-1)

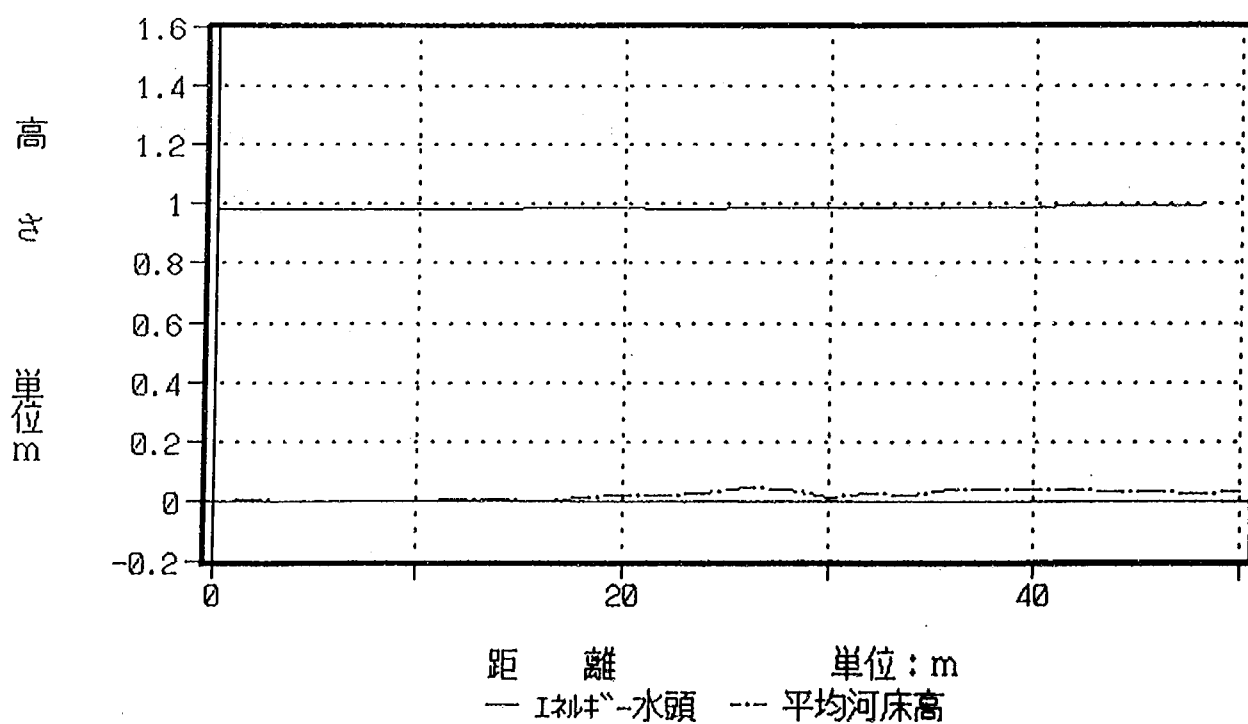


図-3.4 水位, 河床縦断図 (Case-1)

表-3.3 水位、河床高一覧表 (Case-1)

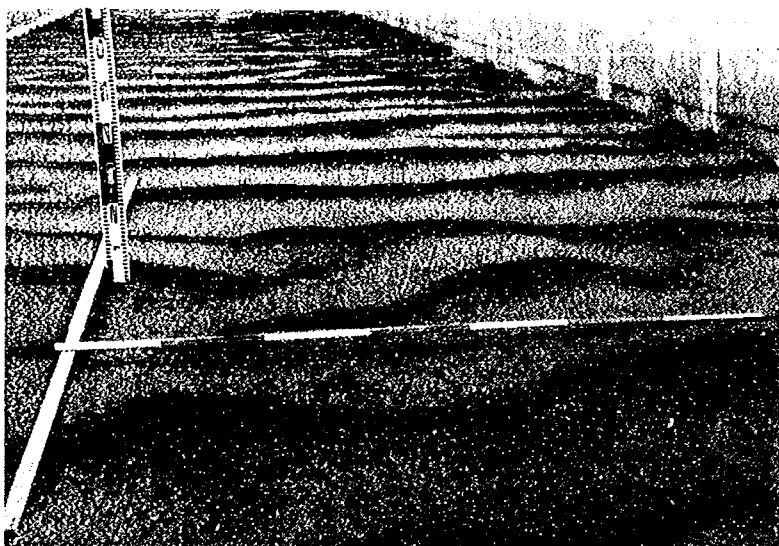
縦断距離 (m)	流量 (m^3/s)	水位 (m)	河床高 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	比エネルギー (m)
0.0	3.125	0.945	-0.001	0.946	0.826	0.980
2.0	3.125		0.005			
4.0	3.125	0.948	0.002	0.946	0.826	0.983
6.0	3.125		-0.001			
8.0	3.125	0.947	0.002	0.945	0.827	0.982
10.0	3.125		0.002			
12.0	3.125	0.947	0.005	0.942	0.830	0.982
14.0	3.125		0.003			
16.0	3.125	0.952	-0.004	0.956	0.817	0.986
18.0	3.125		0.011			
20.0	3.125	0.950	0.021	0.929	0.841	0.986
22.0	3.125		0.022			
24.0	3.125	0.948	0.029	0.919	0.850	0.985
26.0	3.125		0.048			
28.0	3.125	0.951	0.039	0.912	0.856	0.989
30.0	3.125		0.012			
32.0	3.125	0.956	0.025	0.931	0.839	0.992
34.0	3.125		0.020			
36.0	3.125	0.951	0.037	0.914	0.855	0.988
38.0	3.125		0.040			
40.0	3.125	0.955	0.036	0.919	0.850	0.992
42.0	3.125		0.039			
44.0	3.125	0.958	0.031	0.927	0.843	0.994
46.0	3.125		0.034			
48.0	3.125	0.958	0.027	0.931	0.839	0.994
50.0	3.125		0.033			

③ 河床形態

通水後の河床形態は、写真－3.2, 3.3からも見られるように、波長 $L_s=0.5\sim0.8\text{m}$ 、波高 $H_s=0.02\sim0.05\text{m}$ の三角形状の河床波が、写真－3.4（平面写真）、図－3.5（河床波形縦断図）に示すとおり、縦断的にほぼ一様な形状で発生した。

本実験は $d_m=1.64\text{mm}$ 、 $Re_*=61$ の条件で行ったものであり、一般にこの領域ではRippleは発生しないといわれている。

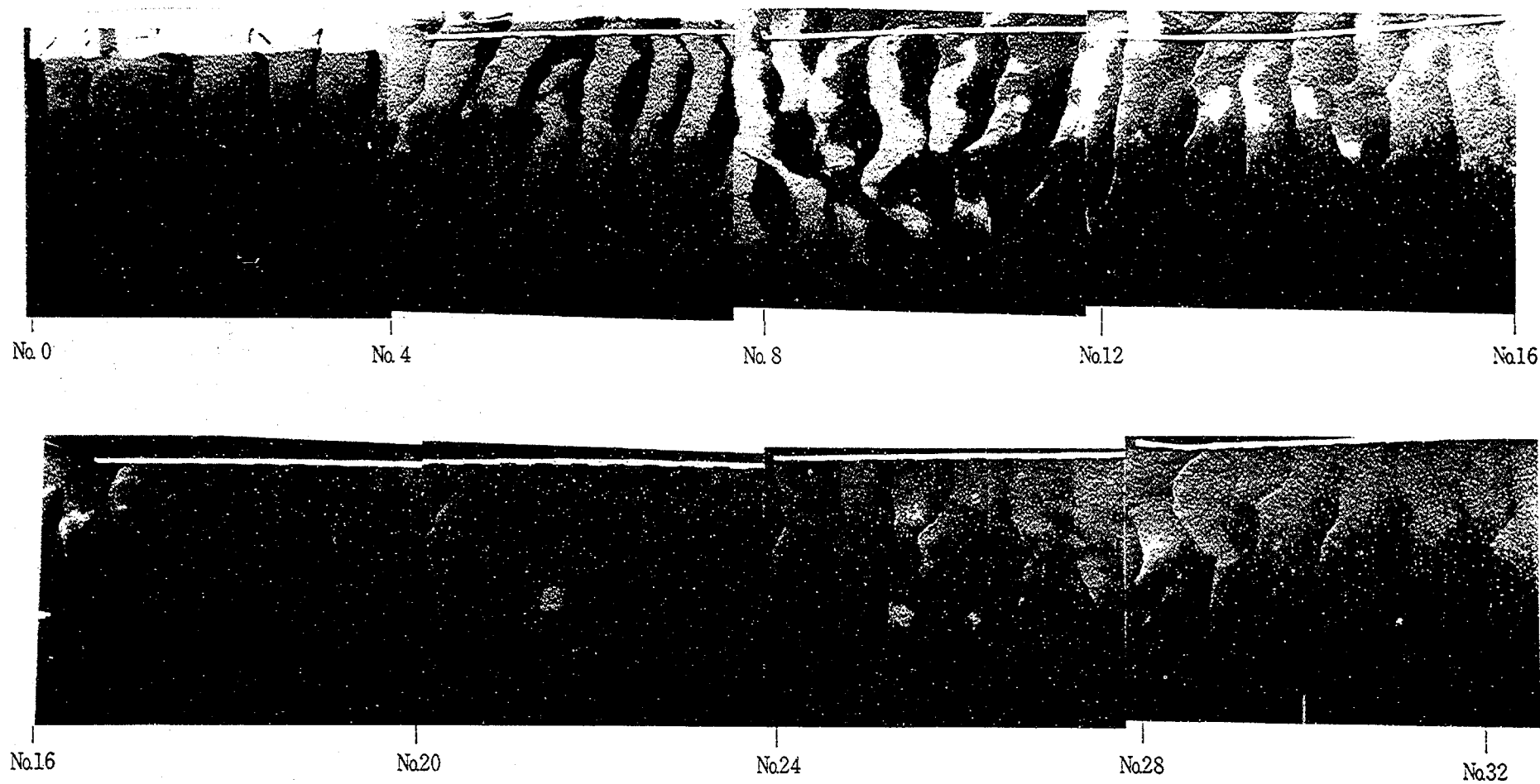
しかし本ケースで表われた河床波は、その波長からいえばRippleと考える方が適當である。なぜなら、Dune河床の波長 $L_s=3\sim7\cdot H$ 、波高 $H_s=0.04\cdot L_s$ といわれており¹⁾、この定義に従えば本ケースでは $L_s=2.8\sim6.5\text{m}$ 、 $H_s=0.18\sim0.26\text{m}$ 程度の河床形態とならなければならない。本実験で得た河床形態は $L_s/d_m=396$ であり、 $H_s/L_s=0.05$ であるのでこの波形形状は、砂漣の形と良く一致している。



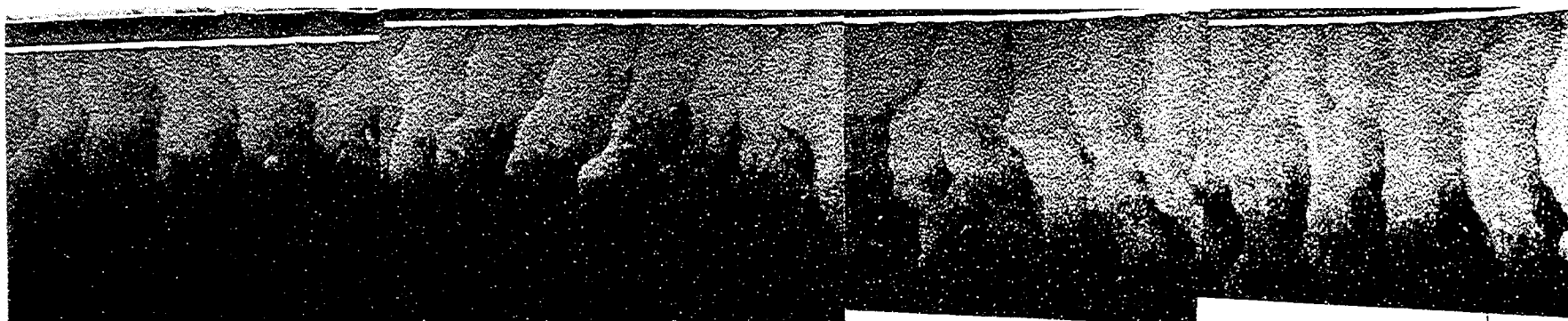
写真－3.2 通水後の河床形態 (Case－1)



写真－3.3 通水後の河床形態 (Case－1)



写真— 3. 4 (1) 河床状況 (Case— 1)

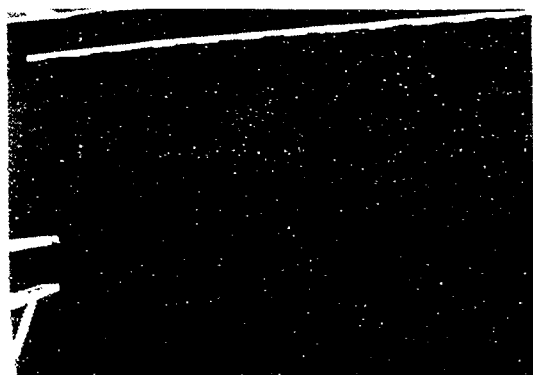


No.36

No.40

No.44

No.48



No.52

写真-3.4(2) 河床状況 (Case-1)

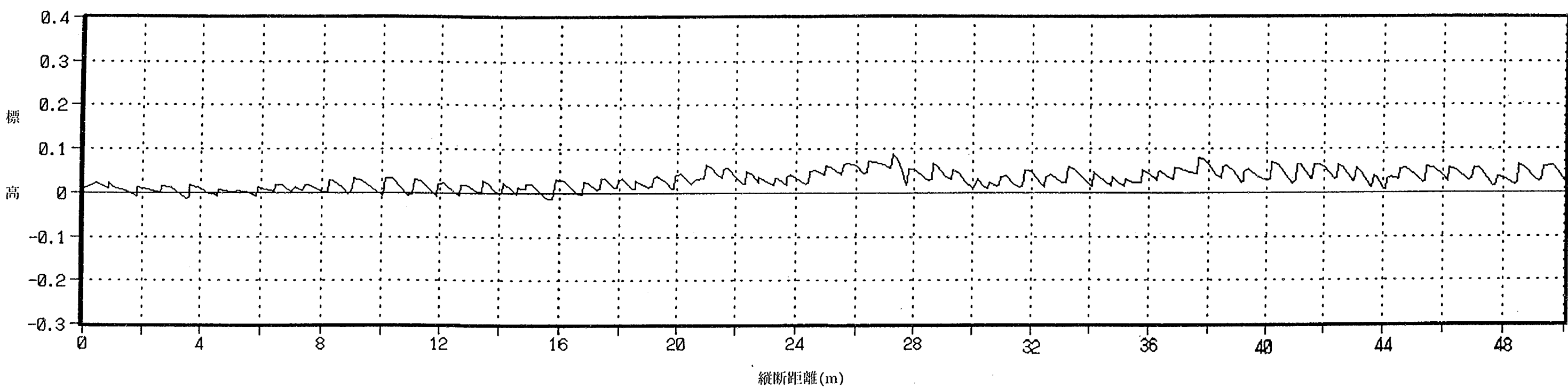


圖-3.5 河床波形縱斷圖

以上よりこれは砂漣と判断される。なお、この河床形態から得られた流速係数は $\psi=16.1$, $\tau_*=0.10$ であった。

〔2〕Case-2

① 通水経過

水路内湛水状態から通水を開始し、約10分間で流量、下流端水位の設定を行った。その後30分間の定常通水を行い、約5分間かけて通水を終了した。

② 通水状況

水面は通水開始直後から上流より小規模のうねりが発生し、約5～10分（条件設定完了時）かけて下流へと伝播していった。このうねりは、波長1.5m、波高0.05～0.1mのものであった。通水開始20分経過後に、このうねりは頂部で碎波が生じ始めた。通水開始25分後には碎波はほとんど見られなくなり、波長、波高にも顕著な変化は見られなかった。通水終了前の比較的安定した状態の水面形を写真-3.5に示す。

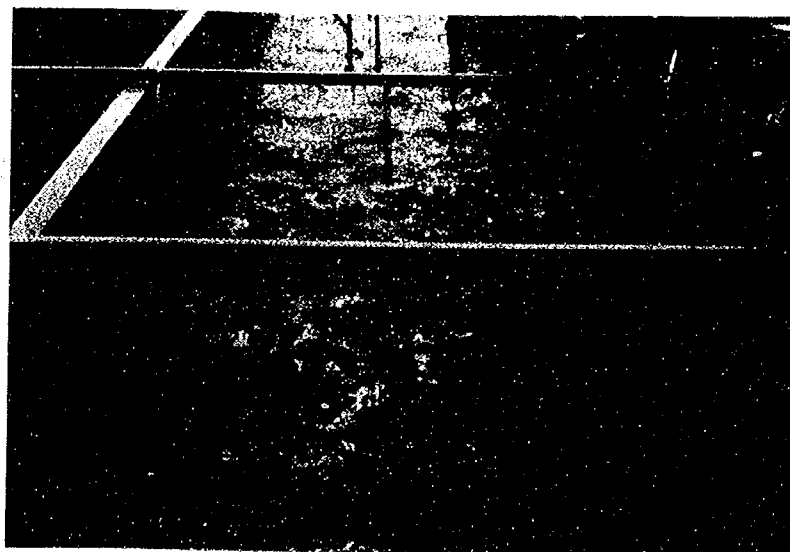


写真-3.5 通水時の水面状況 (Case-2)

通水中の水理量は、 $H_m=0.668\text{m}$, $I_e=1/273$, $Fr=0.58$ の常流状態であった。水位および河床の縦断図、数値一覧表を図-3.6、表-3.4に示す。

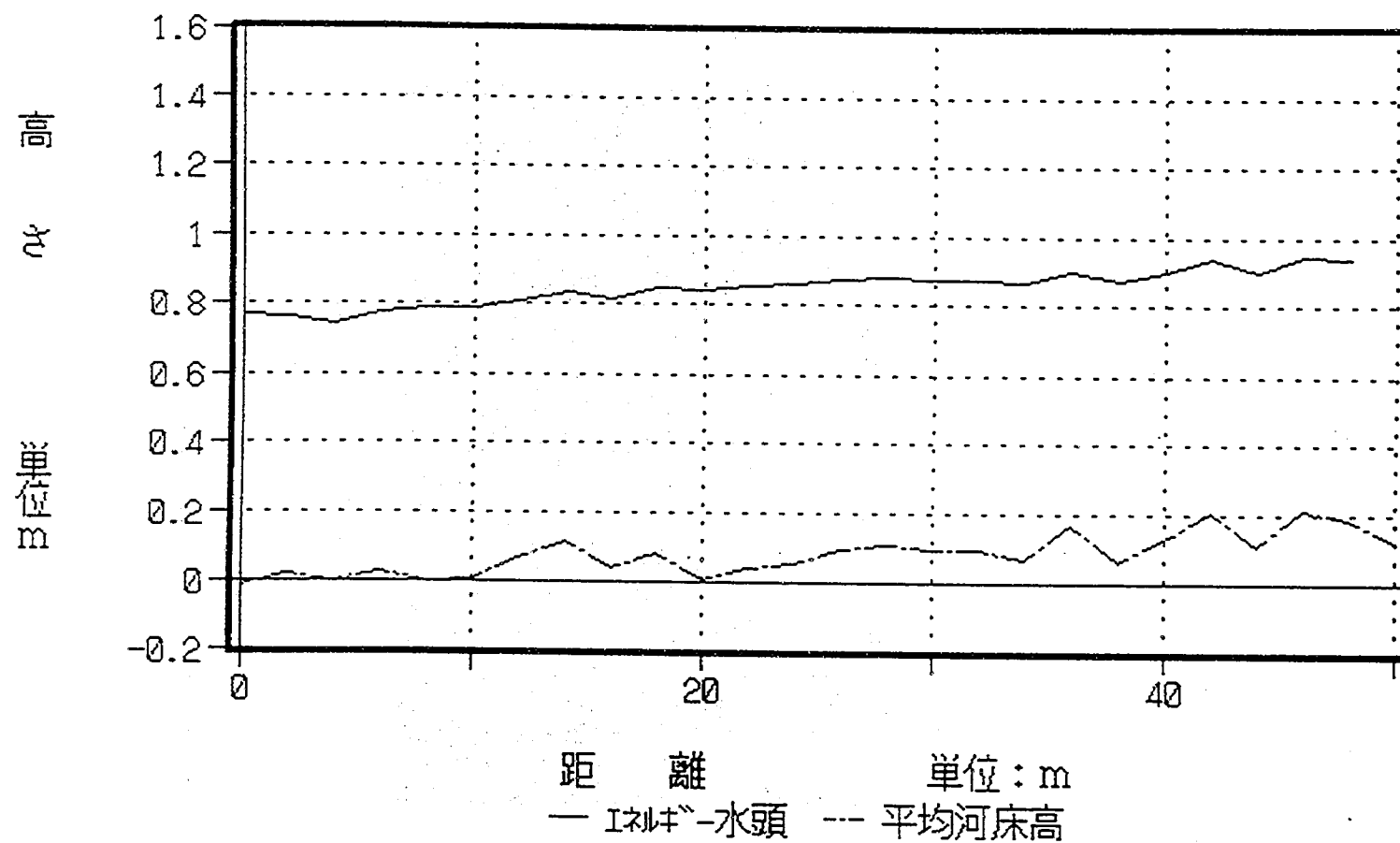


図-3.6 水位，河床縦断面図 (Case-2)

表-3.4 水位、河床高一覧表 (Case-2)

縦断距離 (m)	流量 (m^3/s)	水位 (m)	河床高 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	比エネルギー (m)
0.0	3.977	0.657	-0.012	0.669	1.486	0.770
2.0	3.977		0.022			
4.0	3.977	0.600	0.000	0.600	1.657	0.740
6.0	3.977		0.025			
8.0	3.977	0.686	-0.001	0.687	1.448	0.793
10.0	3.977		0.003			
12.0	3.977	0.673	0.067	0.606	1.641	0.810
14.0	3.977		0.111			
16.0	3.977	0.702	0.042	0.660	1.506	0.818
18.0	3.977		0.082			
20.0	3.977	0.755	0.003	0.752	1.323	0.844
22.0	3.977		0.041			
24.0	3.977	0.761	0.050	0.711	1.398	0.861
26.0	3.977		0.093			
28.0	3.977	0.766	0.106	0.660	1.506	0.882
30.0	3.977		0.094			
32.0	3.977	0.765	0.093	0.672	1.480	0.877
34.0	3.977		0.067			
36.0	3.977	0.761	0.163	0.598	1.663	0.902
38.0	3.977		0.060			
40.0	3.977	0.791	0.125	0.666	1.493	0.905
42.0	3.977		0.207			
44.0	3.977	0.796	0.104	0.692	1.437	0.901
46.0	3.977		0.213			
48.0	3.977	0.820	0.183	0.637	1.561	0.944
50.0	3.977		0.121			

③ 河床形態

通水後の河床形状は写真-3.6, 3.7 から見る限り水路縦断的に一様のように見られるが, 図-3.7, 3.8 から詳細に見ると縦断的に多少異なり, 上下流域で規模の異なる2種類の河床波形状を確認できた。下流域(0~25.0m)の河床波は, $L_s=2.5\sim3.5\text{m}$, $H_s=0.2\sim0.35\text{m}$ であった。いっぽう, 上流域(25.0m上流)の河床波は, $L_s=3.0\sim4.5\text{m}$, $H_s=0.15\sim0.3\text{m}$ であった。

Dune河床であれば $L_s=3.3\sim4.6\text{m}$, $H_s=0.13\sim0.18$ 程度と予測される。上流域ではほぼ予測値と一致しておりDune河床と判断し得る。(このDuneと考えられる河床波の上にはRippleと思われる波長, 波高の小さな河床波を確認することができた)下流域については, 河床波がまだ未発達の状態であり, 河床形態が変化の途中であったか, Transition領域との境界付近で河床形態が不安定な状態にあったかのどちらかであると思われるが判断できない。本ケースより得られた流速係数は上流, 下流ともに $\psi=9.6$, $\tau_*=0.9$ であった。

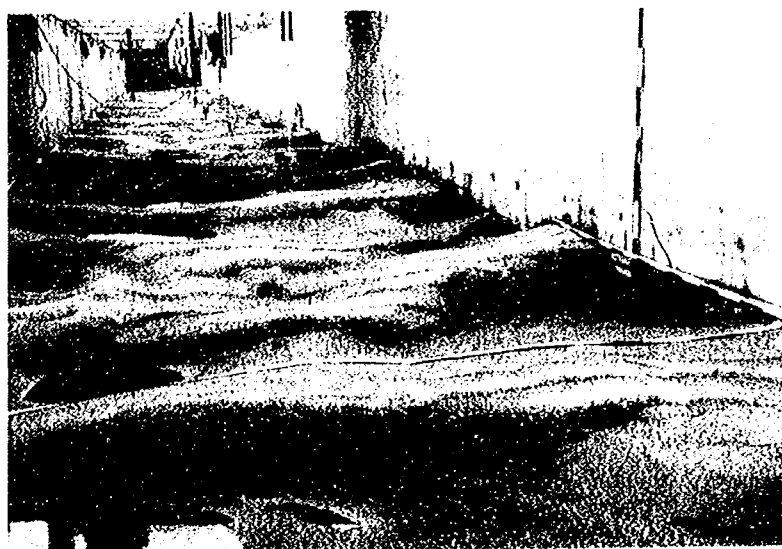
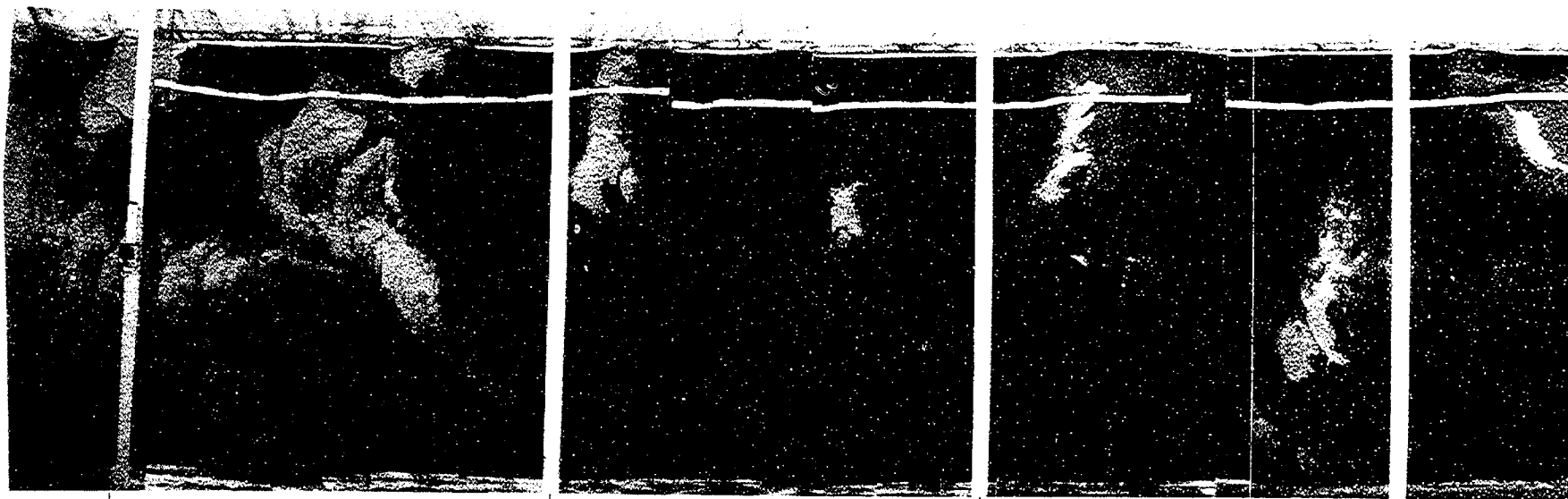


写真-3.6 通水後の河床形態 (Case-2)

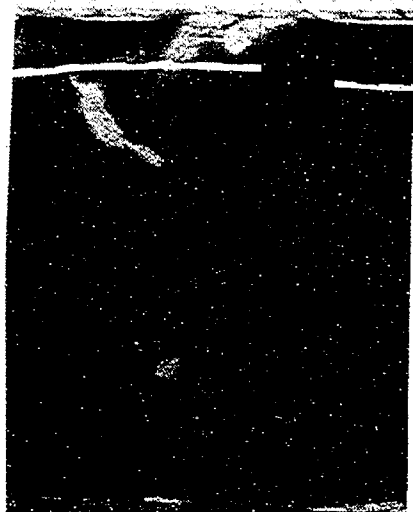


No. 0

No. 4

No. 8

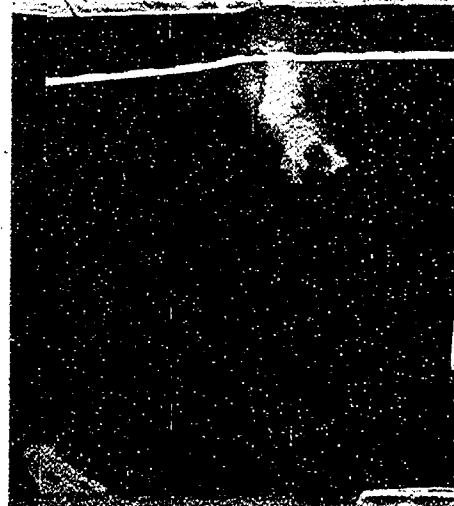
No.12



No.16



No.20



No.24



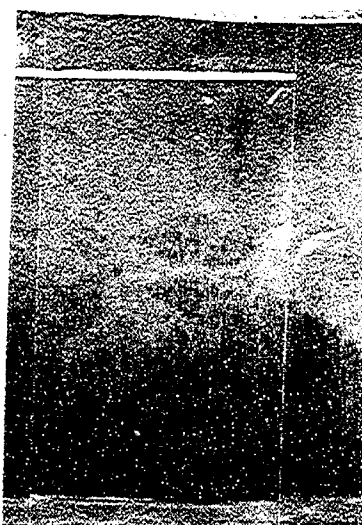
写真— 3. 7(1) 河床状況 (Case— 2)



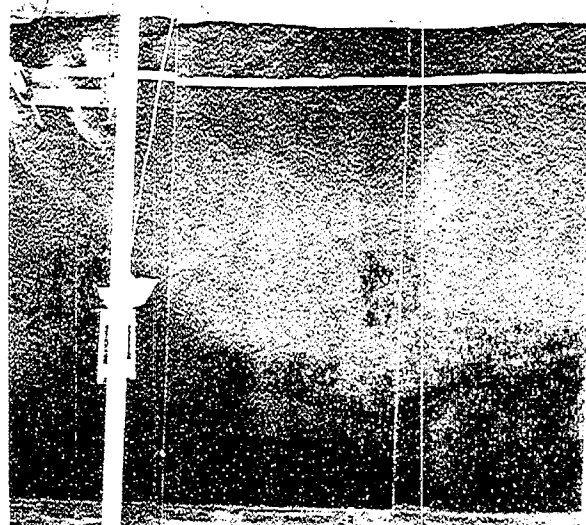
No.28



No.32



No.36



No.40



No.44



No.48



写真-3.7(2) 河床状況 (Case-2)

〔3〕 Case-3

① 通水経過

水路内湛水状態から通水を開始し、流量を急激に上昇させ約3分間で流量、下流端水位の設定を行った。その後15分間の定常通水を行い、約2分間で急激に通水を終了した。

② 通水状況

通水開始から徐々に掃流力が増すにつれ、波長、波高の小さい水面波が徐々に増幅され、通水後3分経過時には、波長1.0～1.5mのうねりが生じた。その後、急速に波高が大きくなり、通水後約5分経過時にはうねりの頂部において碎波が起こり始めた。

碎波は、その発生初期において小規模で独立して生じていたが、徐々にその規模は大きくなり縦断方向に連続して起こる状況となった。さらに、通水開始から7～10分経過時には、横断方向のほぼ全幅にわたって、連続して碎波が起こる状況も生じた。しかし、通水後期においては、特に水路下流部（0～25m）に限り、比較的水面形が平滑な状態に変化した。写真-3.8は通水開始約15分後の水面の状況を示したものである。

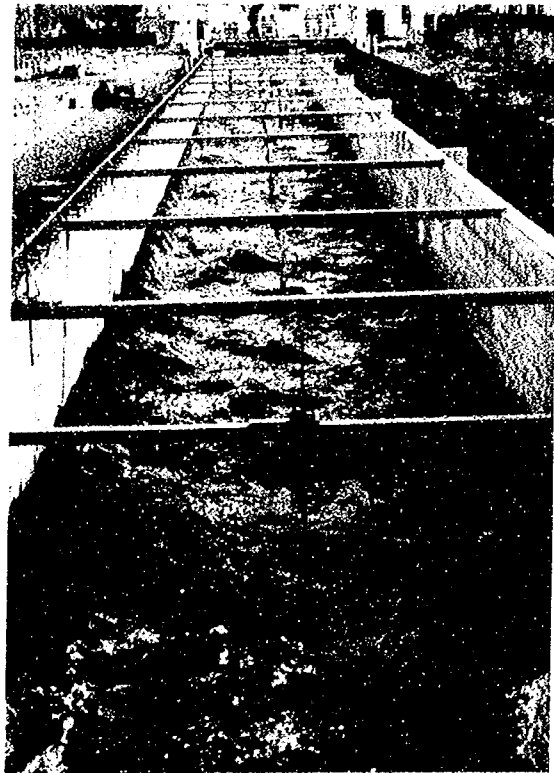


写真-3.8 通水時の水面状況 (Case-3)

通水中の水量は、 $H_m=0.451\text{m}$ 、 $I_e=1/199$ 、 $Fr=1.05$ である。水位および河床の縦断図、数値一覧表を図-3.9、表-3.5に示す。

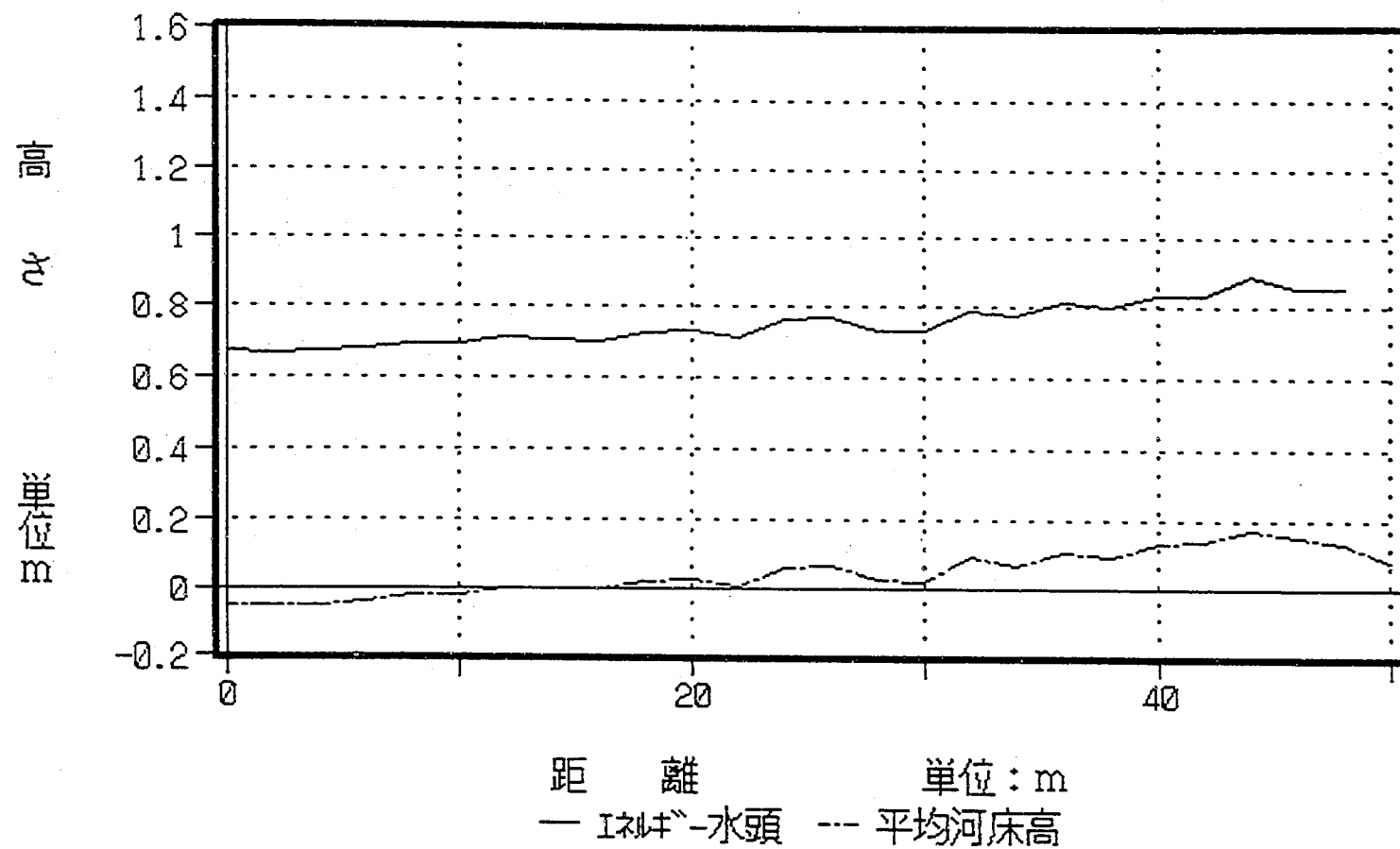


圖-3.9 水位, 河床縱斷圖

表-3.5 水位, 河床高一覧表 (Case-3)

縦断距離 (m)	流量 (m ³ /s)	水位 (m)	河床高 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	比エネルギー (m)
0.0	4.000	0.337	-0.056	0.393	2.542	0.667
2.0	4.000		-0.056			
4.0	4.000	0.346	-0.052	0.398	2.514	0.668
6.0	4.000		-0.039			
8.0	4.000	0.397	-0.020	0.417	2.397	0.690
10.0	4.000		-0.018			
12.0	4.000	0.404	-0.004	0.408	2.453	0.711
14.0	4.000		-0.002			
16.0	4.000	0.455	-0.004	0.459	2.177	0.697
18.0	4.000		0.019			
20.0	4.000	0.534	0.024	0.510	1.961	0.730
22.0	4.000		0.005			
24.0	4.000	0.496	0.060	0.436	2.295	0.765
26.0	4.000		0.067			
28.0	4.000	0.534	0.024	0.510	1.960	0.730
30.0	4.000		0.021			
32.0	4.000	0.554	0.089	0.465	2.149	0.790
34.0	4.000		0.064			
36.0	4.000	0.621	0.106	0.515	1.940	0.814
38.0	4.000		0.090			
40.0	4.000	0.624	0.130	0.494	2.024	0.833
42.0	4.000		0.138			
44.0	4.000	0.582	0.173	0.409	2.446	0.887
46.0	4.000		0.152			
48.0	4.000	0.706	0.129	0.577	1.733	0.859
50.0	4.000		0.080			

③ 河床形態

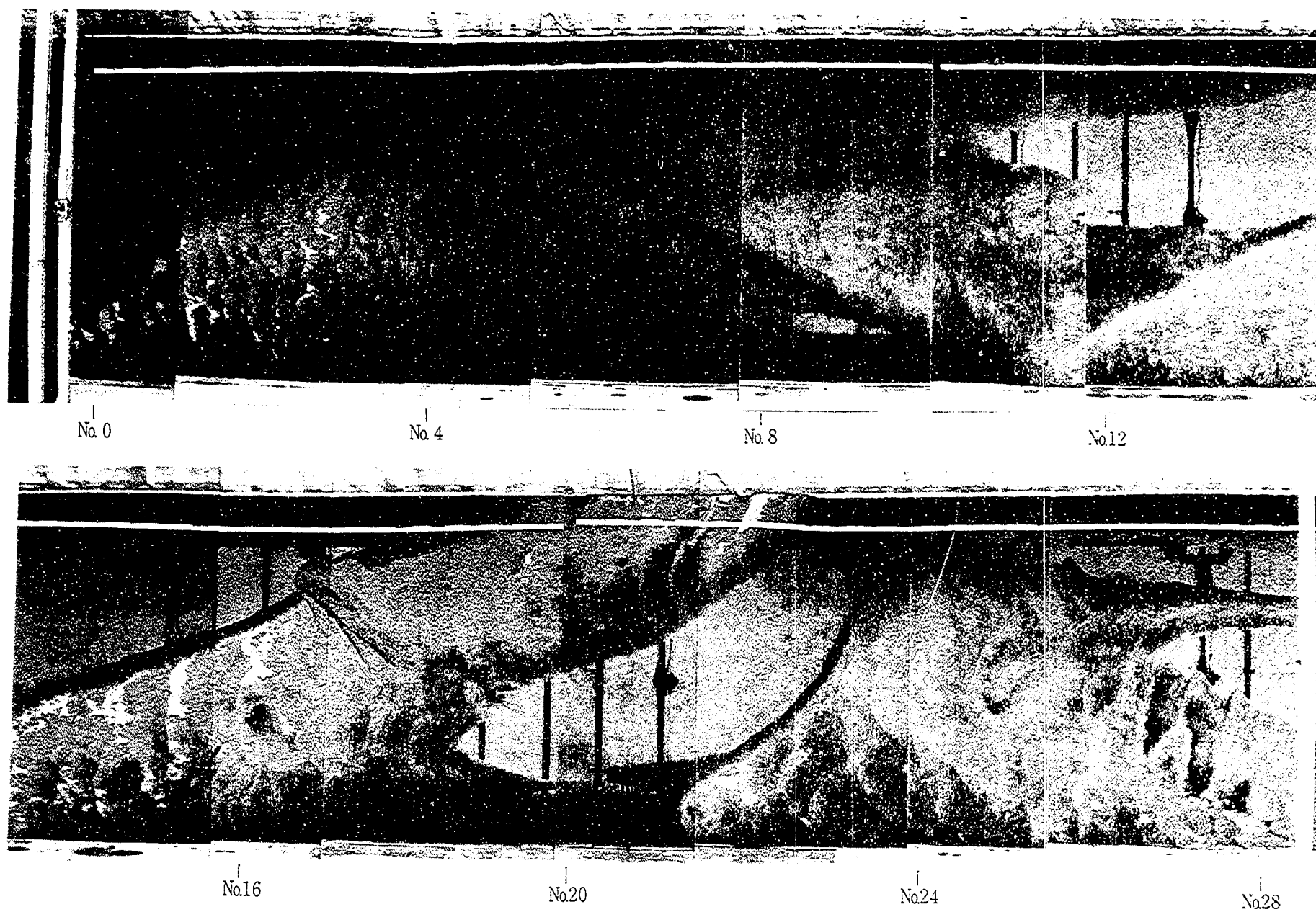
本実験ケースでは $Fr \approx 1.0$ であるため、水面状態はうねりが大きく、部分的にbreaking waveとよばれる砕波状態や、水路側壁から対岸下流方向に連続して発生する砕波状態が発生した。さらに水路下流域では、通水後期に砕波水面状態から比較的平滑な水面形への変化も生じた。これらの状況から判断すると、通水中の河床形態は、Flat bed～Antiduneの領域にあったものと推測できる。

しかし、通水後の河床状況は写真－3.9、3.10、図－3.10、3.11に示すように縦断的に変化はあるものの、小規模河床波と中規模河床波の混在した河床形態となっている。

水路下流域（0～25m付近）では、 $L_s = 6.0 \sim 7.0\text{m}$ 、 $H_s = 0.1 \sim 0.35\text{m}$ （ $B/H_m = 10$ 、 $L_s/B = 1.5 \sim 1.75$ 、 $H/B = 0.025 \sim 0.087$ ）の単列砂州が形成されていた。単列砂州は、この区間内でも縦断的に変化しており、特に最下流付近の河床面は非常に平坦であり、上流ほど波高が大きい状況であった。しかし、相対的に河床面は平坦であり、この区間においては、Flat bedとBarの混在した河床形態であったと考えられる。この河床形態は水路25m付近より徐々に変化し、No.35から上流域においては、その河床形態は小規模河床形態（Dune）の様相が強くなり、河床波は小規模となり複雑化している。この時No. 0～No.35間において、 $\psi = 14.9$ 、 $\tau_* = 0.84$ であった。



写真－3.9 通水後の河床形態（Case－3）



写真— 3.10(1) 河床状況 (Case— 3)

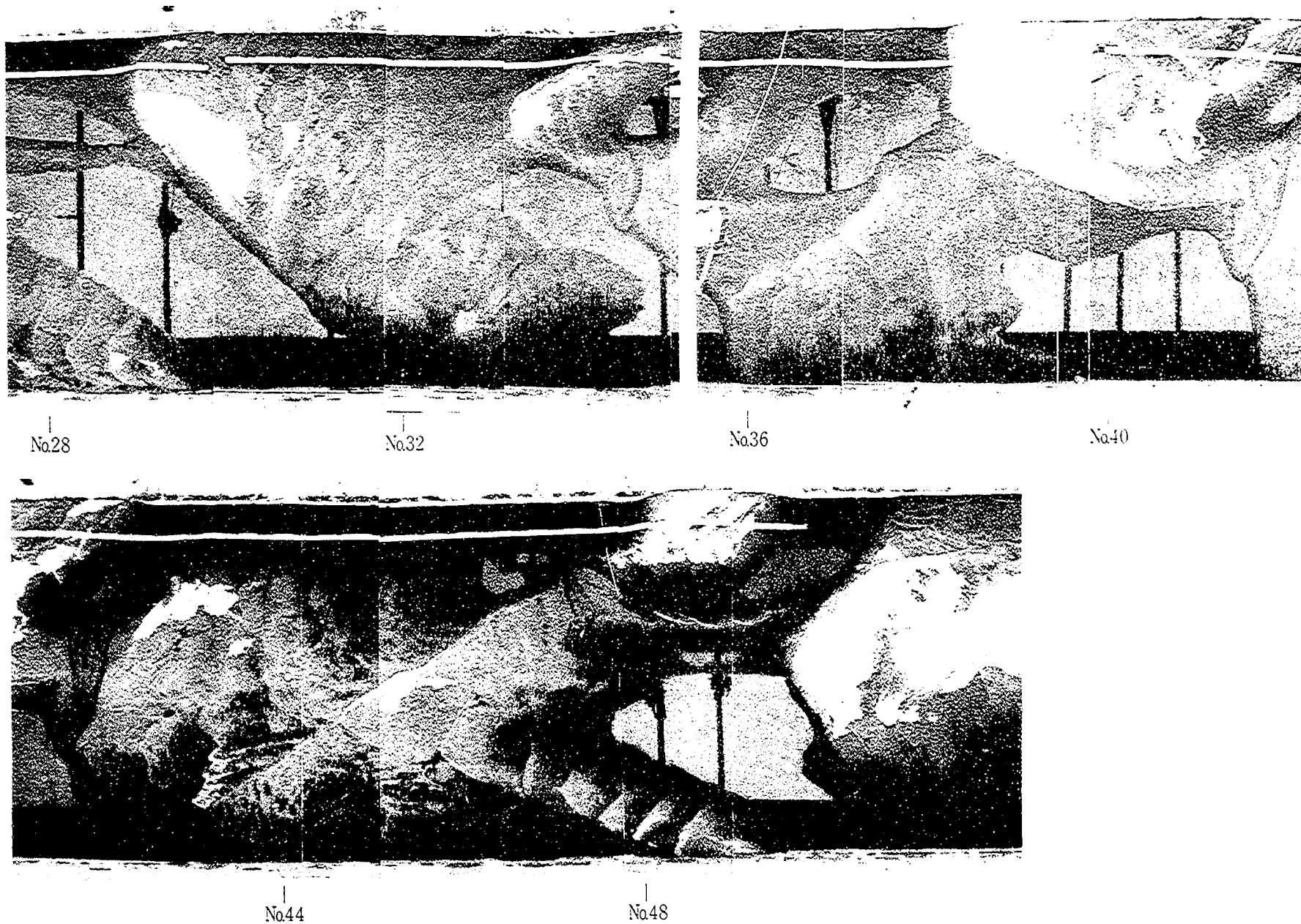


写真-3.10(2) 河床状況 (Case-3)

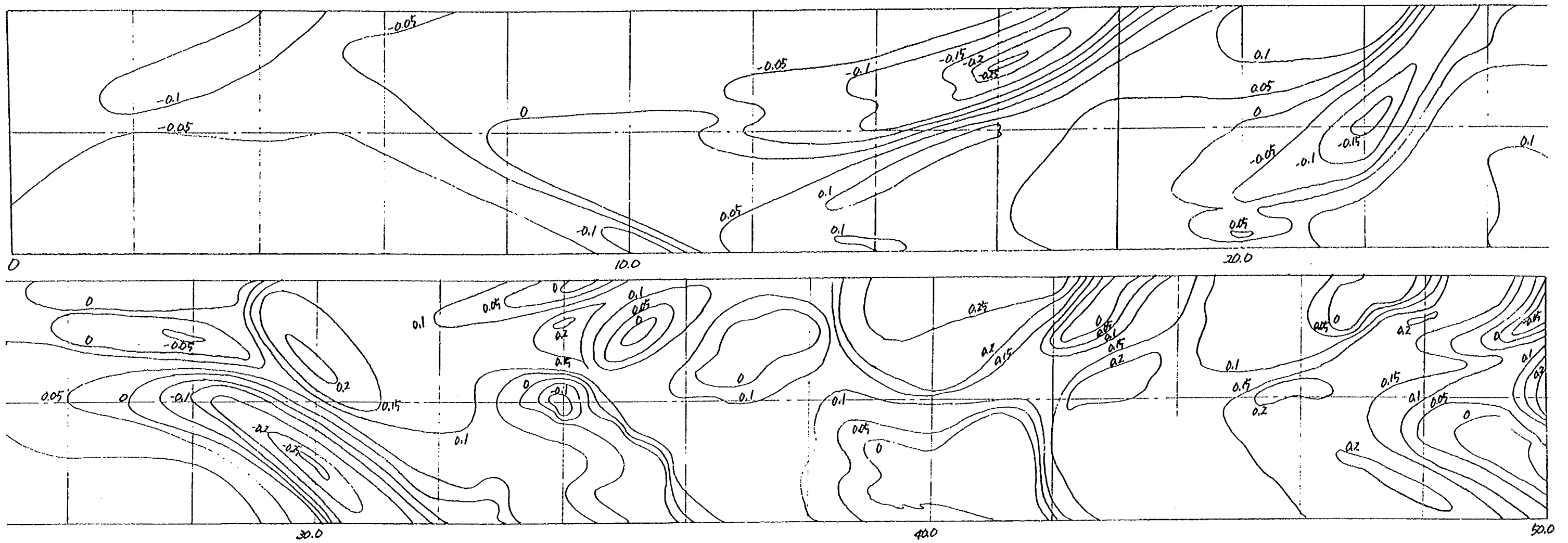


図-3.10 河床変動平面図(実験ケース, 3)

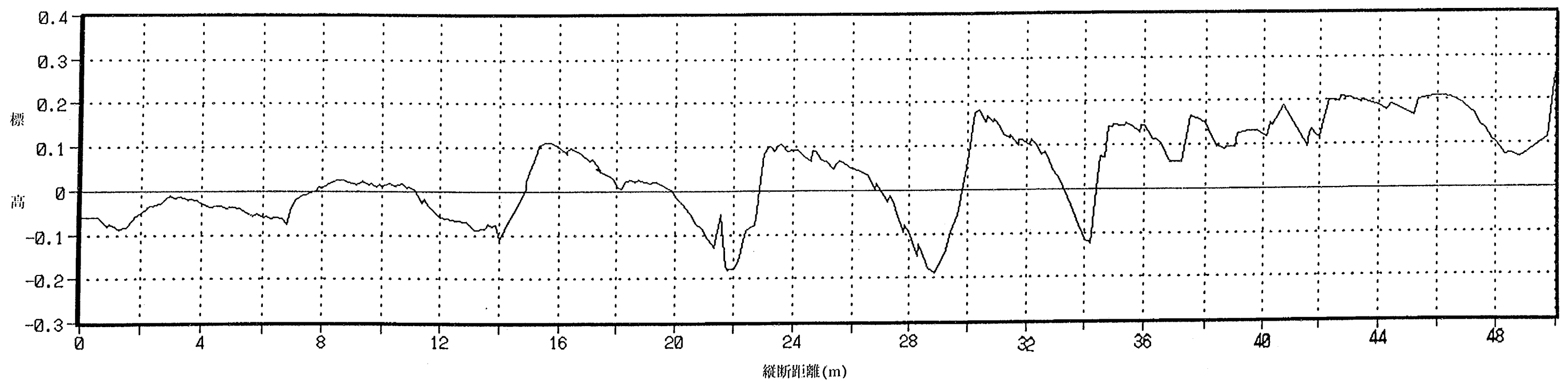


図-3.11 河床波形縦断図

〔4〕 Case-4

① 通水経過

本実験は、2回の通水に分けて行い、定常通水時間はそれぞれ10分間、計20分間である。2回にわけて通水する目的は、減水時に徐々に流量を低くした場合、定常通水時の河床形態が維持されず、減水時の水理量によって新たな河床波を形成する可能性があるためであり、そのため、緩やかな減水と、急激な減水の2回通水を行った。なお、2回の通水とも通水条件は同じであり、通水終了後の排水方法を、第1回目は徐々に掃流力を低下させる方法で行い、第2回目は急速に排水することにより、掃流力が極力通水時と等しくなるような状態で排水し、通水時の河床形態を維持させようとしたものである。したがって、測定の結果のうち、水位は第1回通水時に計測したものであり、河床高および河床状況写真は、第2回通水後に計測したものである。

通水手順としては、まず水路内湛水状態から通水を開始し、流量は約3分間で所定流量に設定した。

2回目の通水終了時においては、流量低減時に掃流力が徐々に低下することによる河床状況の変化を極力防ぐため、流量は最小時間（約3分）で止水した。

② 通水状況

通水開始から徐々に掃流力が増加するのに応じて、河床波の形成とともに、水面の波動も徐々に増幅されていった。通水開始から約5分経過時の水面状況は、波高約5cmのうねりが生じ、その後約2分間に、うねりの波高15～20cm、波長約2.0mの状態となり、碎波が生じ始め、急速に河床波が発達したと思われる。

水面の碎波状態は、場所的、時間的にも不規則に変化し、水路側壁から対角線上に生じる碎波、あるいは水路中央付近で、縦断方向に連続してできる状態（breaking wave）といわれる碎波状態と考えられる）等様々であった。定常状態の水面状況を、写真-3.11に示す。

通水中の水理量は、 $H_m=0.526\text{m}$ 、 $I_e=1/201$ 、 $Fr=0.84$ であった。水位および河床の縦断図、数値一覧表を図-3.12、表-3.6に示す。

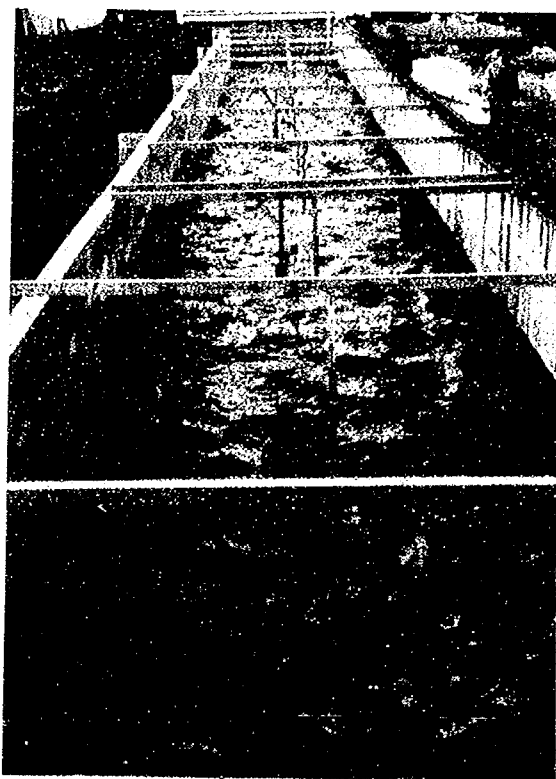


写真-3.11 通水時の水面状況 (Case-4)

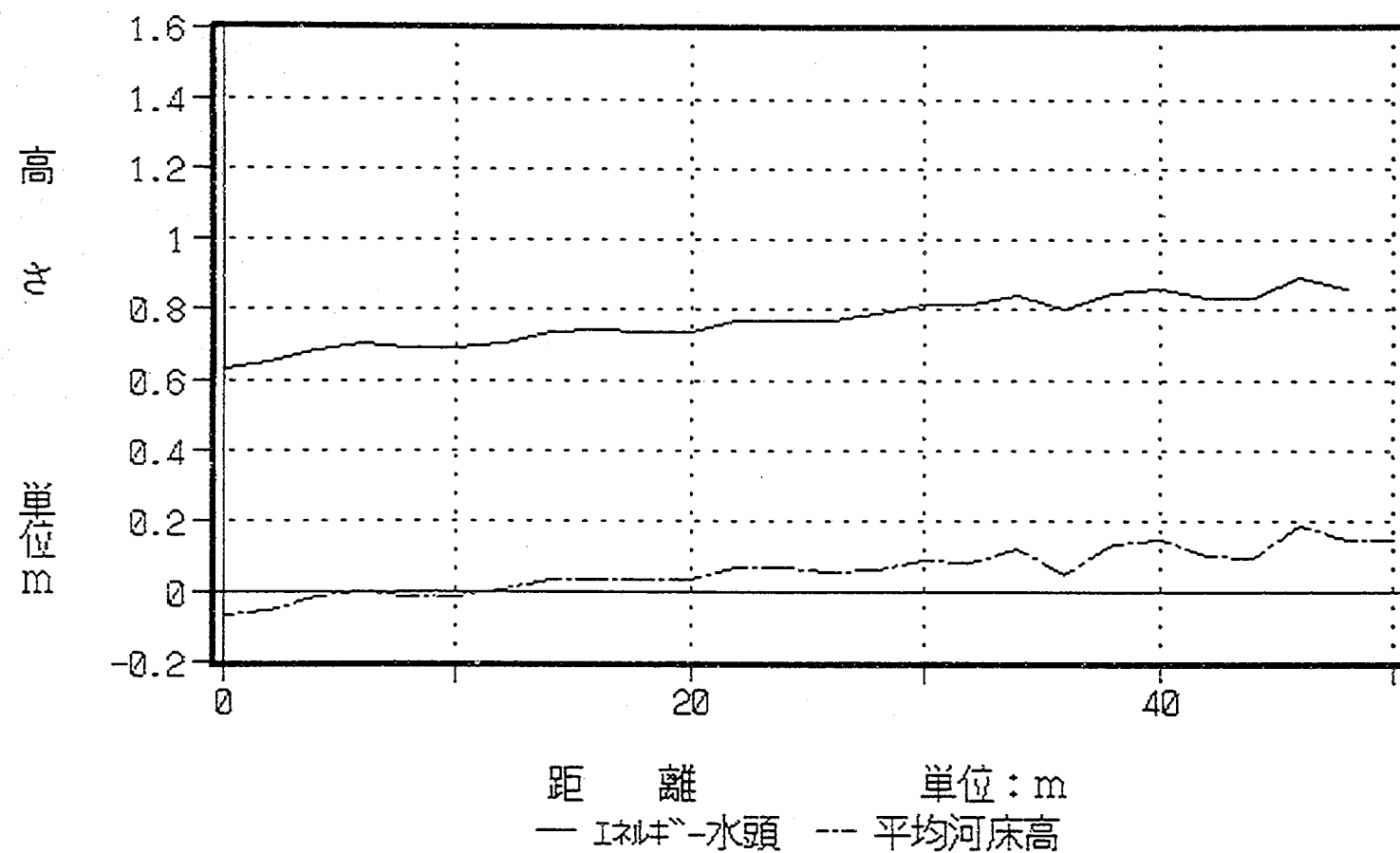


図-3.12 水位、河床縦断面図 (Case-4)

表- 3. 6 水位, 河床高一覧表 (Case- 4)

縦断距離 (m)	流量 (m^3/s)	水位 (m)	河床高 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	比エネルギー (m)
0.0	4.000	0.387	-0.069	0.456	2.193	0.632
2.0	4.000		-0.053			
4.0	4.000	0.429	-0.017	0.446	2.241	0.685
6.0	4.000		0.000			
8.0	4.000	0.437	-0.015	0.452	2.213	0.687
10.0	4.000		-0.013			
12.0	4.000	0.463	0.005	0.458	2.182	0.706
14.0	4.000		0.033			
16.0	4.000	0.546	0.035	0.511	1.956	0.742
18.0	4.000		0.031			
20.0	4.000	0.529	0.035	0.494	2.023	0.738
22.0	4.000		0.066			
24.0	4.000	0.542	0.067	0.475	2.106	0.768
26.0	4.000		0.052			
28.0	4.000	0.643	0.057	0.586	1.706	0.792
30.0	4.000		0.087			
32.0	4.000	0.667	0.077	0.590	1.694	0.814
34.0	4.000		0.121			
36.0	4.000	0.675	0.048	0.627	1.595	0.805
38.0	4.000		0.132			
40.0	4.000	0.688	0.145	0.543	1.841	0.861
42.0	4.000		0.100			
44.0	4.000	0.701	0.089	0.612	1.635	0.837
46.0	4.000		0.188			
48.0	4.000	0.689	0.144	0.545	1.834	0.861
50.0	4.000		0.146			

③ 河床形態

本ケースの水理量は実験Case-3とほぼ同様である。通水後の河床状況は、写真-3.12, 3.13, 図-3.13, 3.14に示すように縦断的に変化はあるものの、小規模河床波と中規模河床波の混在した河床形態となっている。

水路下流域(0~10m)の単列砂州は $L_s=5.0\sim6.0\text{m}$ であり、また、中流域(10~30m)においては、河床波の前縁が流下方向に対して直角に近い砂州形状に変化している。さらに、上流域では、小規模河床形態(Dune)の様相が強く、Case-2の河床形態とも類似している。図-3.11から判断すると、上流部の河床はDune的であるため多少の不陸が見られるものの、水面勾配および河床勾配はほぼ一様であり、平均水深 H_m および平均化した I_e を用いて流速係数を求めると、 $\psi=11.9$, $\tau_*=0.965$ となった。

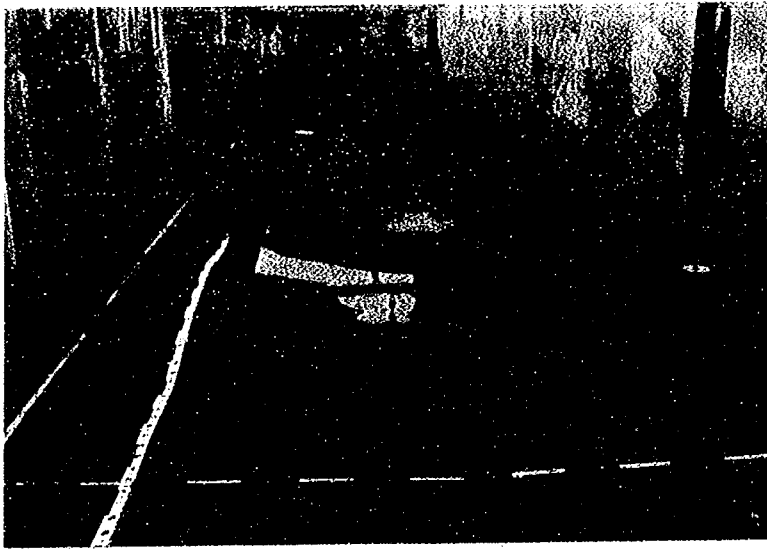


写真-3.12 通水後の河床形態 (Case-4)

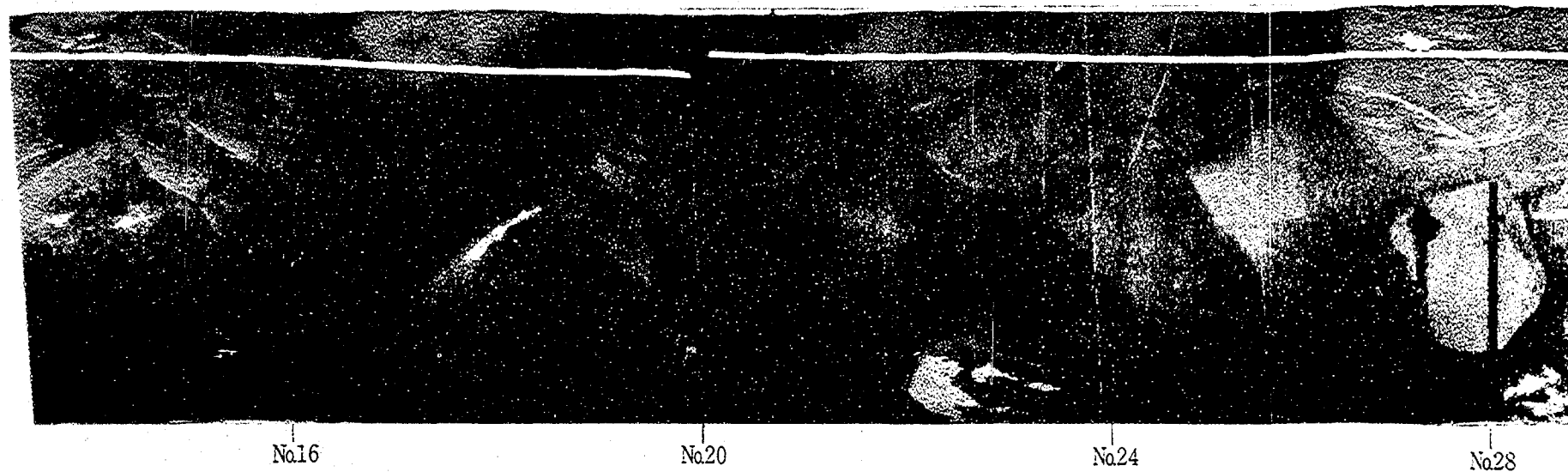
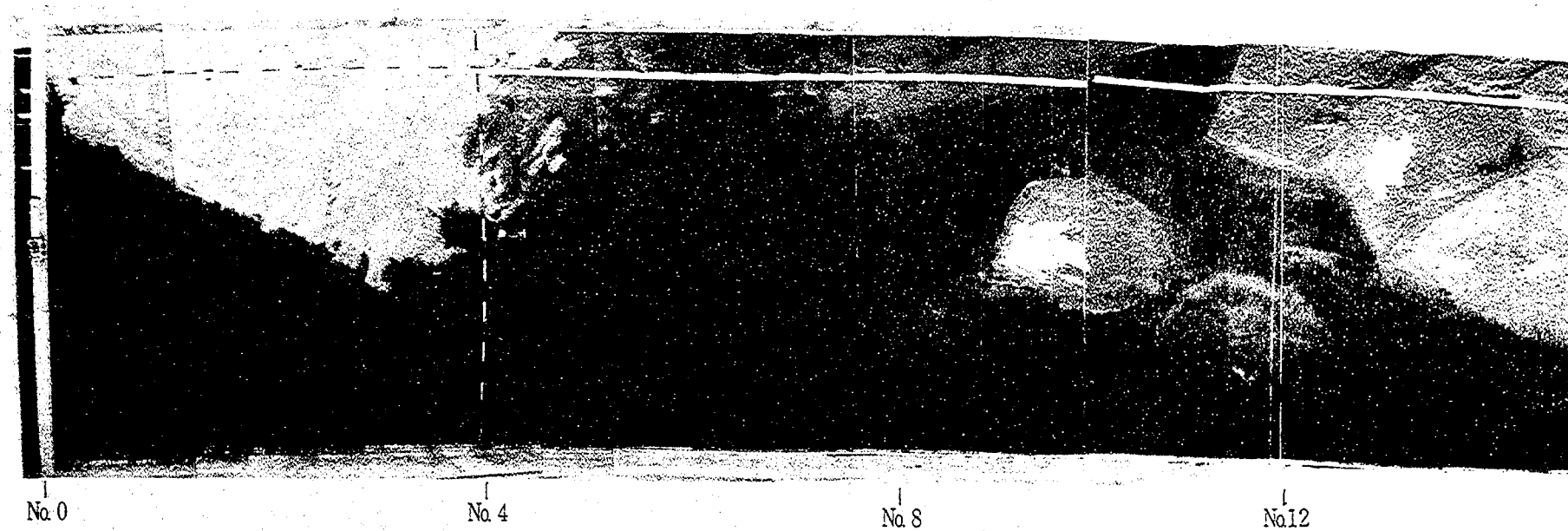
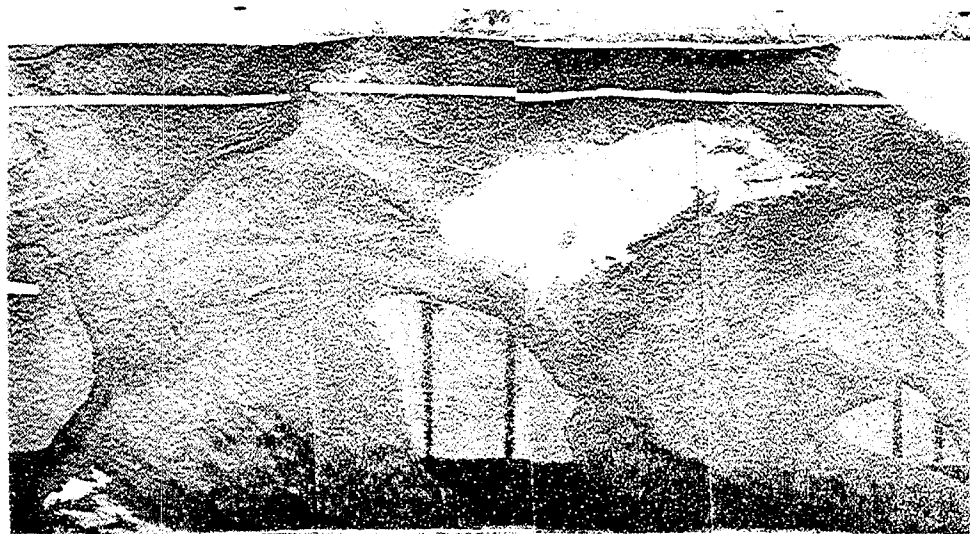
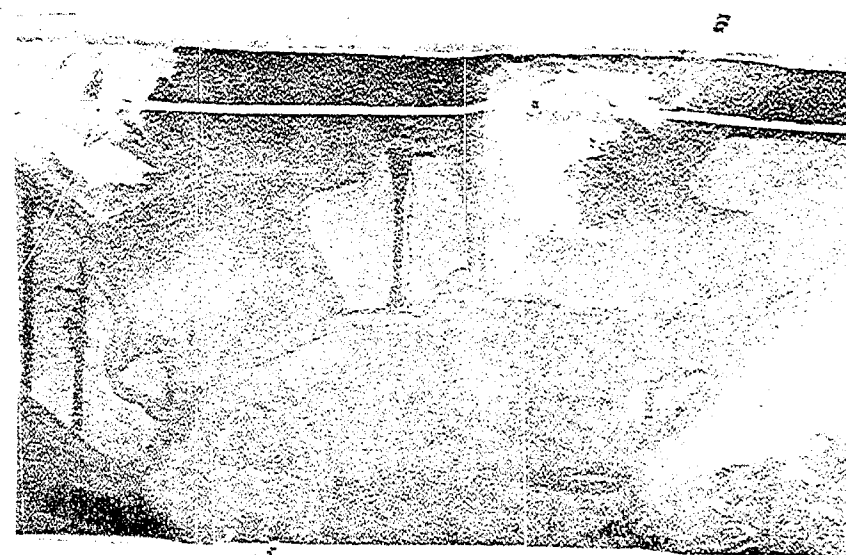


写真-3.13(1) 河床状況 (Case-4)



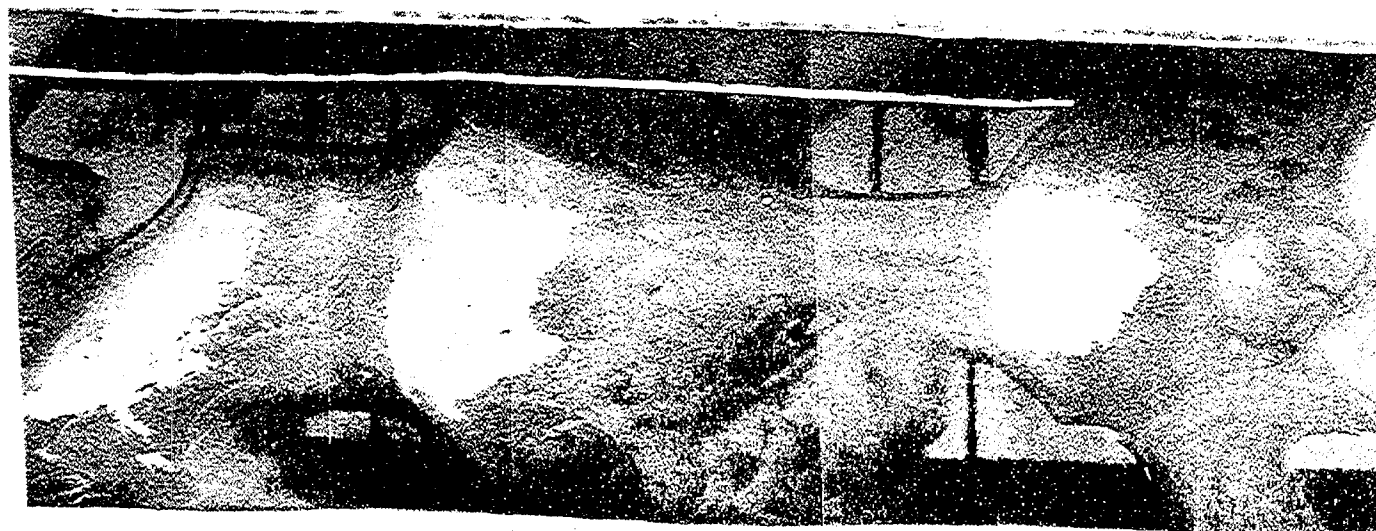
No.28



No.36

No.32

No.40



No.44

No.48

写真-3.13(2) 河床状況 (Case-4)

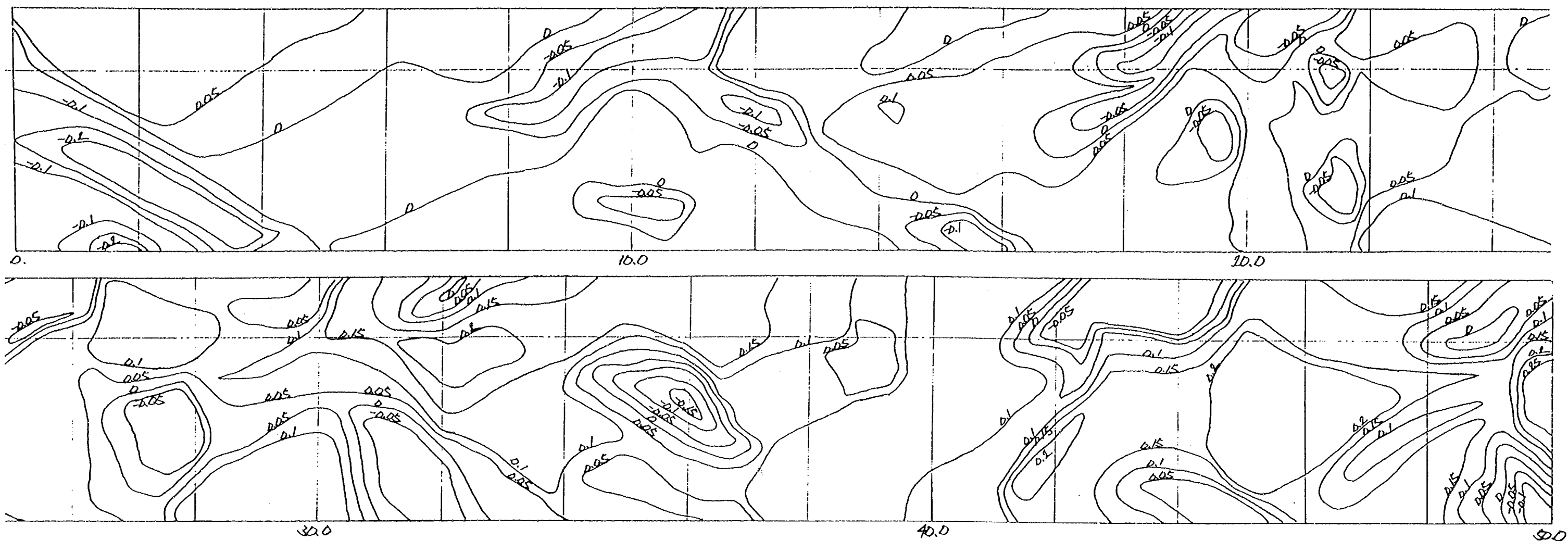


図-3.13 河床変動平面図 (実験ケース, 4)

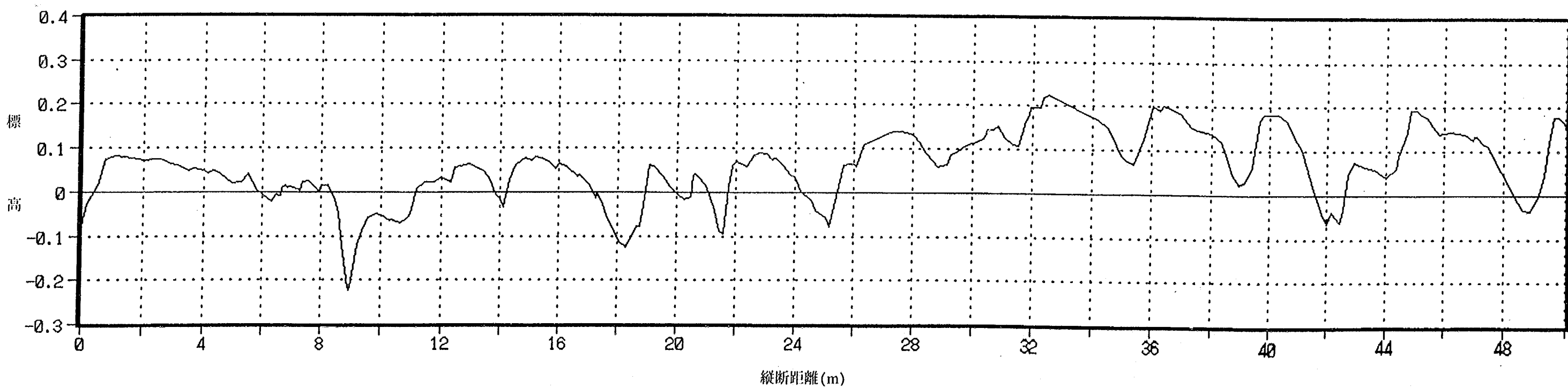


図-3.14 河床波形縦断図

〔5〕 Case-5

① 通水経過

水路内湛水状態から通水を開始し、約20分間で流量、下流端水位の設定を行った。その後30分間の定常通水を行い、約3分間かけて通水を終了した。

② 通水状況

通水中の水面状況は非常に平滑であり、見掛け上ほとんど水面の乱れは観測されなかった。この時の水面形状を、写真-3.14に示す。

本ケースの水理量は、 $H_m=1.425\text{m}$ 、 $I_e=1/6,047$ 、 $Fr=0.18$ であった。水面波動は最大で3mmと非常に穏やかな状態であった。水位および河床の縦断図、数値一覧表を図-3.15、表-3.7に示す。

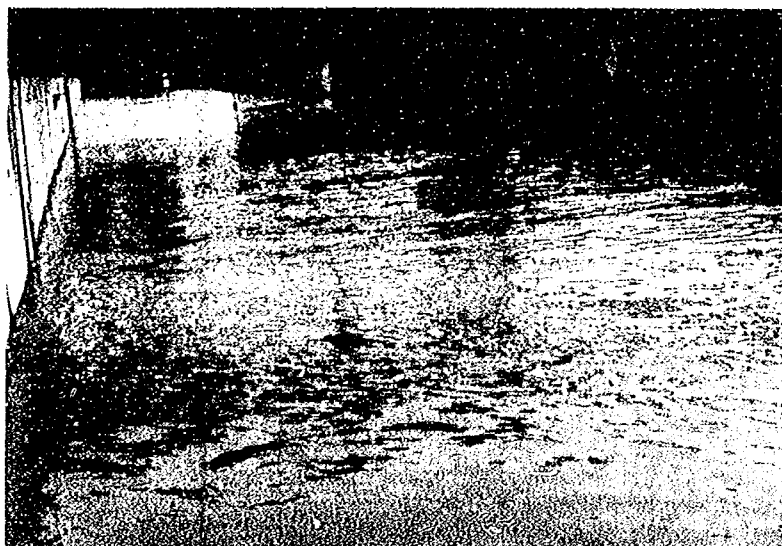


写真-3.14 通水時の水面状況 (Case-5)

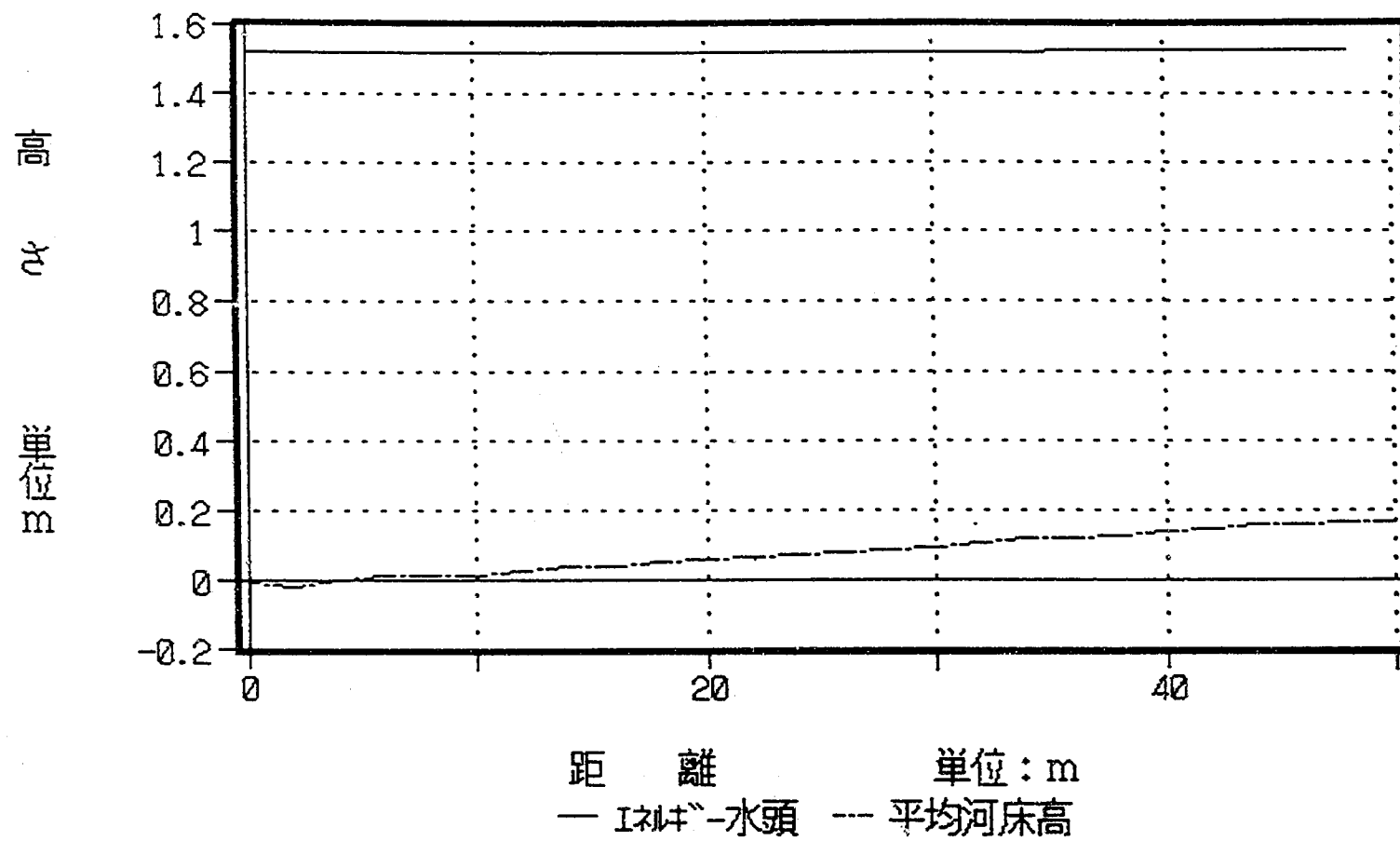


図-3.15 水位, 河床縦断図 (Case-5)

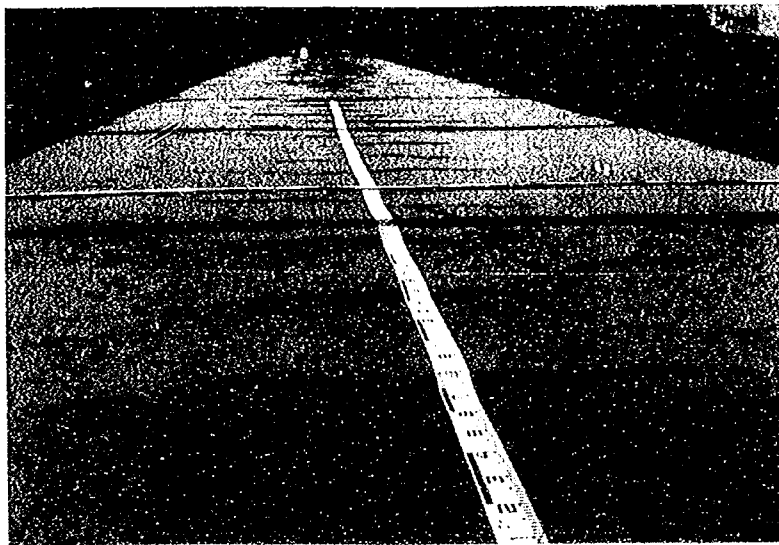
表- 3. 7 水位, 河床高一覧表 (Case- 5)

縦断距離 (m)	流量 (m^3/s)	水位 (m)	河床高 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	比エネルギー (m)
0.0	3.800	1.500	-0.006	1.506	0.631	1.520
2.0	3.800		-0.022			
4.0	3.800	1.499	-0.001	1.500	0.633	1.520
6.0	3.800		0.010			
8.0	3.800	1.498	0.011	1.437	0.639	1.519
10.0	3.800		0.015			
12.0	3.800	1.499	0.024	1.475	0.644	1.521
14.0	3.800		0.036			
16.0	3.800	1.497	0.039	1.458	0.651	1.519
18.0	3.800		0.051			
20.0	3.800	1.499	0.056	1.443	0.658	1.522
22.0	3.800		0.066			
24.0	3.800	1.499	0.074	1.425	0.666	1.522
26.0	3.800		0.077			
28.0	3.800	1.500	0.087	1.413	0.672	1.523
30.0	3.800		0.095			
32.0	3.800	1.498	0.108	1.390	0.683	1.522
34.0	3.800		0.117			
36.0	3.800	1.500	0.120	1.380	0.688	1.525
38.0	3.800		0.123			
40.0	3.800	1.501	0.136	1.365	0.696	1.526
42.0	3.800		0.143			
44.0	3.800	1.502	0.159	1.343	0.707	1.527
46.0	3.800		0.157			
48.0	3.800	1.500	0.165	1.335	0.711	1.526
50.0	3.800		0.167			

③ 河床形態

通水後の河床形態は、写真－3.15、3.16から見られるように、 $L_s=0.5\sim0.8\text{m}$ 、 $H_s=1.0\sim3.0\text{cm}$ の三角形状の河床波が、写真－3.17（平面写真）、図－3.16（河床波形縦断図）に示すとおり、縦断的にほぼ一様な形状で発生した。しかし、波高について、詳細に観察すると、上流にいくほど徐々に大きくなり、50m付近では、 $H=2.0\sim3.0\text{cm}$ が発生していた。この付近の河床波平面形状は、水路中心部がやや突出しているが、ほぼ流向直角方向に連続して形成されている。また波高についても水路中心部ほど高く、側壁付近では河床波が形成されない状況であった。

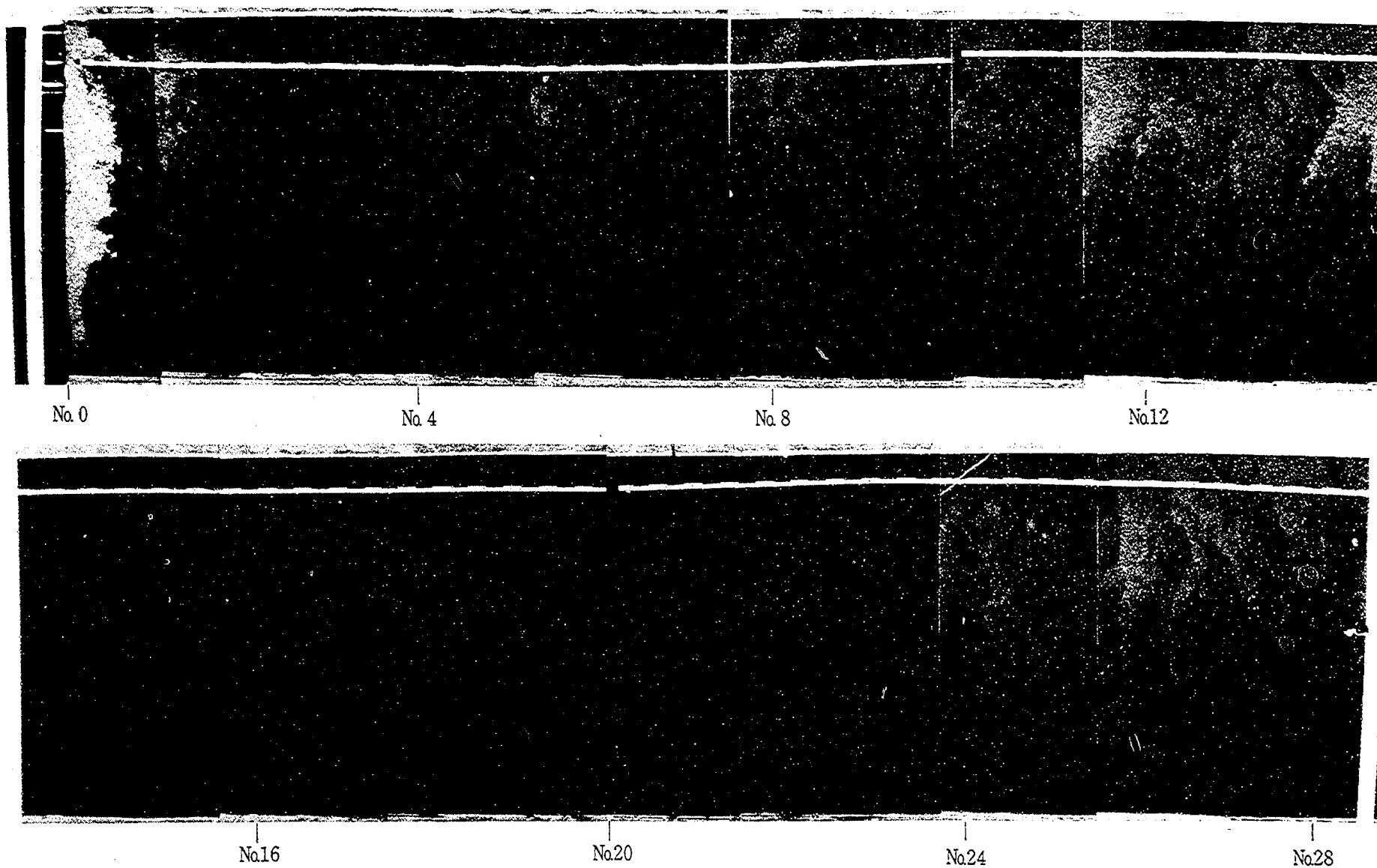
本実験ケースの河床形態は、Case－1の判断と同様な理由から砂澱河床と判断できる。



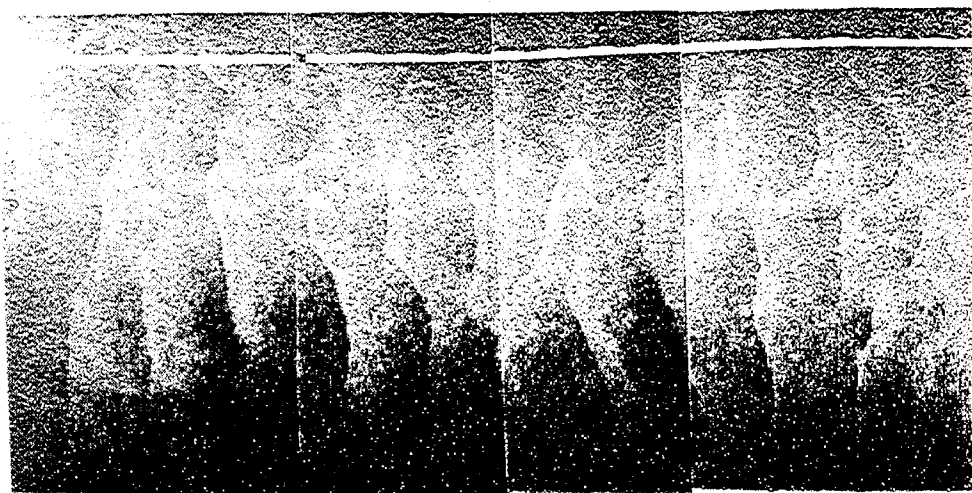
写真－3.15 通水後の河床形態（Case－5）



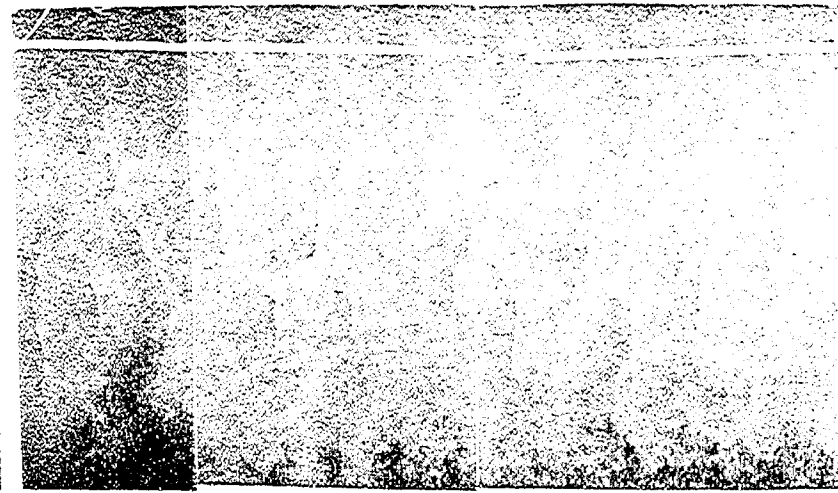
写真－3.16 通水後の河床形態（Case－5）



写真—3.17(1) 河床状況 (Case—5)

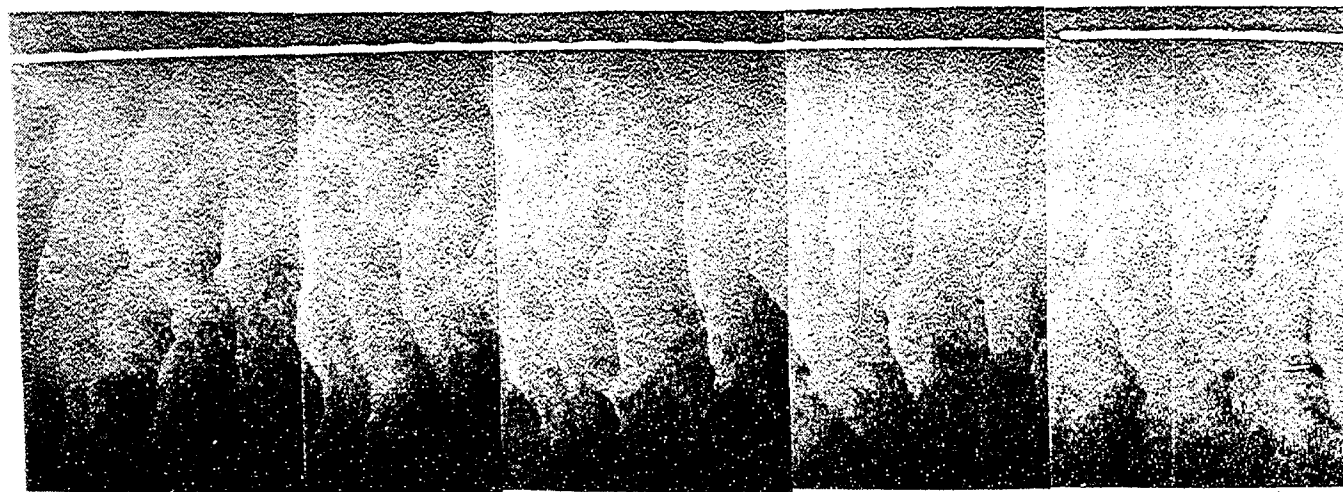


No.32



No.36

No.40



No.44

No.48

No.52

写真-3.17(2) 河床状況 (Case-5)

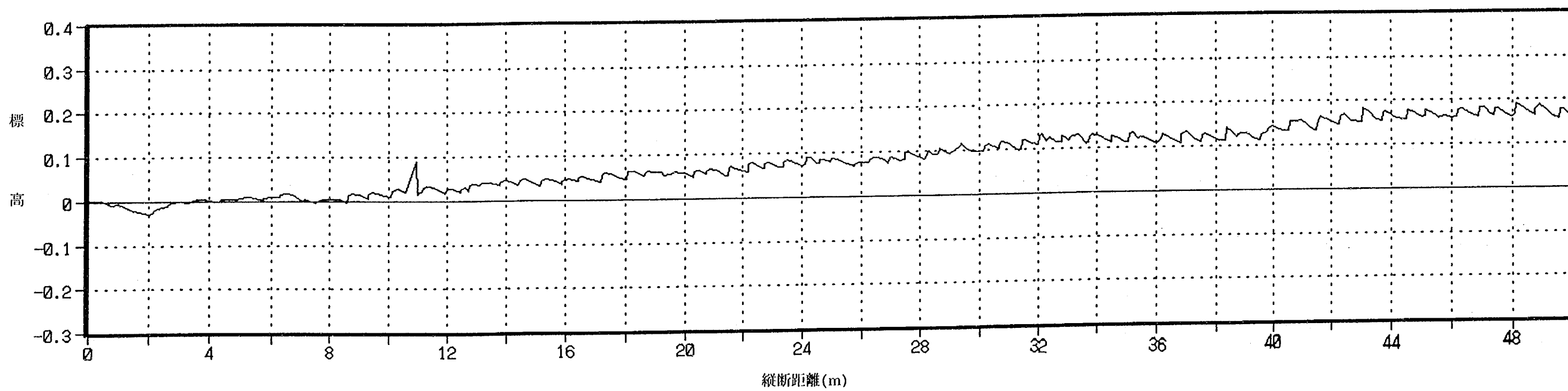


図-3.16 河床波形縦断図

3.5 粗砂を用いた実験結果から見た既往成果の位置付け

粗砂を用いた実験から、各種の河床波を観測することができた。そこで、既存の実験室の実験結果と粗砂を用いた実験結果を比較することにより、 Re_* が $\tau_*-\psi$ の係数にどのような差異があるのか検討する。また、本実験では一般に $Re_* > 20$ で発生しないといわれているRipple河床について検討した結果についても述べる。

(1) $\tau_*-\psi$ の関係について

本実験では、大型水路を用いて移動床実験を行うことにより、 τ_* と ψ の関係を明らかにし、 τ_* に対応した河床形態を把握することを目的とし、実験通水5ケースを行った。

結果的に、Case-1および5においては、Ripple河床となり、Case-2ではDune河床となった。また、Case-3, 4においては通水中の水面形から推測すると平坦および反砂堆河床であったと予想されたが、通水後の河床波は、小規模河床波と中規模河床波の混在する状態であった。

これらの実験結果を $\tau_*-\psi$ 平面上にプロットすると図-3.17のごとくである。図-3.17では、第2章で示した図-2.7の結果も示してある。この図からも、各実験ケースの河床形態がどのような状態であったかを明確に予想できる。粗砂を用いた実験の結果から得た河床形態の違いは、 ψ の違いとなって表われている。Case-3, 4で発生した中規模河床形態は、河床波規模は大きくかつ、波高が低く比較的平坦なことより河床波による抵抗が小さくなり、小規模河床波が発達した場合Case-2よりも ψ の値が大きくなっていた。図-3.16から判断すると、このケースではTransitionとUpper Regimeの境界付近で通水中に各種河床形態を形成していたものと確認し得る。

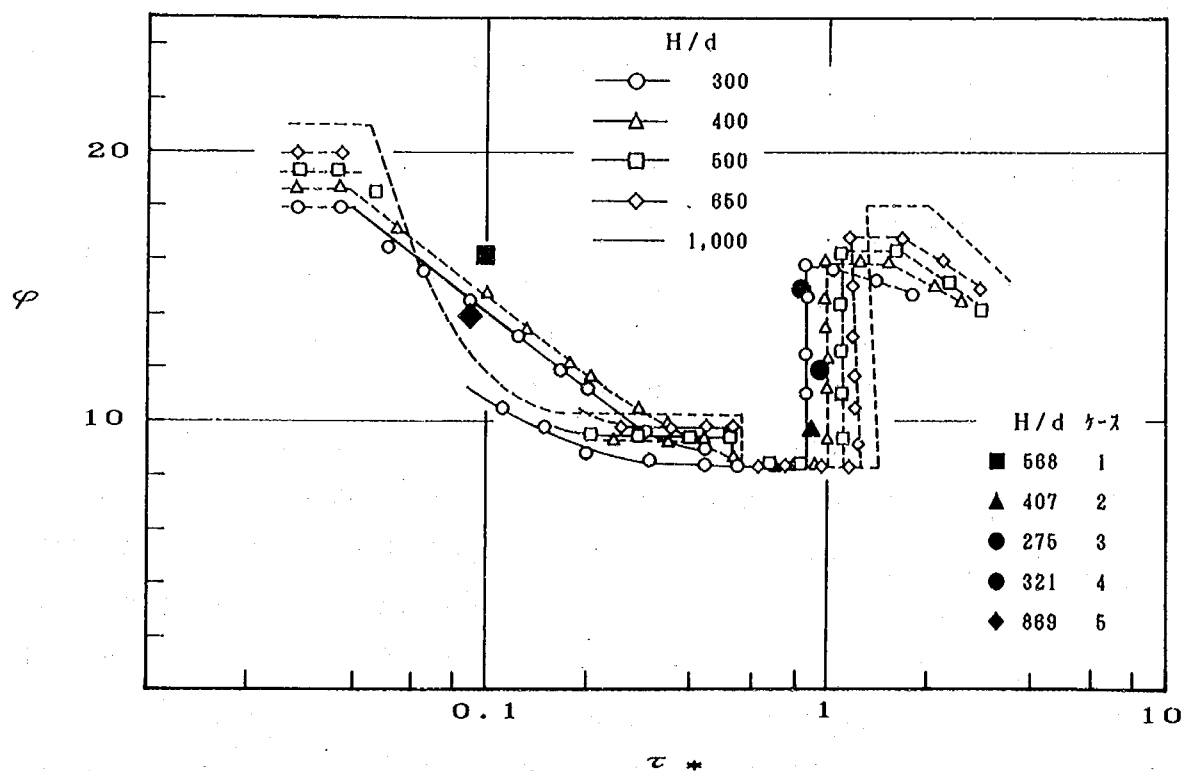


図-3.17 ψ と τ_* の関係

(2-4) 式の Re_* の q_s/u_*d および ψ に対する影響は、底質が動くような水理量の場合であり、かつ Re_* が 150 程度以上 ($d > 0.3\text{cm}$) であれば、図-2.15 に示すように無次元掃流力が 0.06 とほぼ一定となり、粒子の抗力係数、揚力係数が Re_* の影響を受けなくなること、また沈降速度 w_o も図-2.16 に示すように $\sqrt{d}$ に比例し抗力係数が一定値となること、また底面の境界層も粗面乱流となること等によって Re_* の影響はほとんど受けないものと思われる。粗砂を用いた実験の結果から、Case-1 および 5 については粘性の影響が無いとはいえないものの、Case-2, 3, 4 は、 $Re_* = 170 \sim 200$ であり粘性の影響をほとんど受けていないと判断できる。この条件を踏まえた上で図-3.17 を見ると、実験結果は図-2.7 とよく一致しており、既往の実験室データにより描かれた図において、河床形態の変化時期に粘性の及ぼす影響は比較的小さく、この図を用いて河床形態を予測してもそれほど問題が無いと判断される。

(2) Ripple の発生について

砂漣の一般的定義では、その発生条件および波形は河床近くの水理量に支配され、最も小さいスケールの河床形態とされている。

砂漣の発生条件は、 $Re_* > 20$ ($d > 0.6\text{mm}$) では発生せず、また、波形は河床材料の粒径が支配的に影響するといわれている。

$$\text{波長: } L_s = (300 \sim 1500) \cdot d$$

$$\text{波高: } H_s = (0.05 \sim 0.12) \cdot L_s$$

本実験では、 $d_m = 1.64\text{mm}$ を用い、通水条件別に実験 5 ケースを行った。このうち、Case-1 および Case-5 において形成された河床形状は、水深が異なるにもかかわらず、両ケースともほぼ同一のスケールであり、 $L_s = 50 \sim 80\text{cm}$, ($L = 300 \sim 500 \cdot d$) $H_s = 2 \sim 5\text{cm}$ ($H_s = 0.025 \sim 0.1 \cdot L_s$) となった。このように、河床波形状が水深等外部変量に影響されず、河床粒径に大きく依存していることより、上記 2 ケースの河床形状は砂漣河床と判断できる。またこの波長は Dune 河床の波長と一致しない。

Case-1 および 5 の実験条件は、 $d > 0.6\text{mm}$, $Re_* > 20$ の領域であり、一般には Ripple が発生しないといわれる領域である。実験に使用した底質材料は $d_m = 1.64\text{mm}$ であり、Case-1 の場合、 $L_s = 0.5 \sim 0.8\text{m}$, $H_s = 2 \sim 5\text{cm}$, $H_m = 0.93\text{m}$ であることから、 $L_s = 0.70\text{m}$ とすれば、 $L_s/d_m = 427$, $H_m/L_s = 1.33$, Case-5 の場合、 $L_s = 0.5 \sim 0.8\text{m}$, $H_s = 2 \sim 3\text{cm}$, $H_m = 1.43\text{m}$ であることから、 $L_s = 0.72\text{m}$ とすれば、 $L_s/d_m = 439$, $H_m/L_s = 1.98$ となる。この結果を Re_* と H_m/L_s の関係について整理したのが図-3.18 である。図に示したとおり、 $Re_* > 20$ の時、平均的 Dune 河床は水深と河床波の波長の比はほぼ一定の値を示す ($H_m/L_s \approx 0.2$) とされているが、今回の実験の結果はこの定義にあてはまらない。したがって Ripple は Re_* のみによって規定されるものではなく、 Re_* , H/d , τ_* の三量で規定され、 Re_* が大きくても H/d が大きく ($H/d > 500$), τ_* が 0.6 以下であれば発達すると判断し得る。

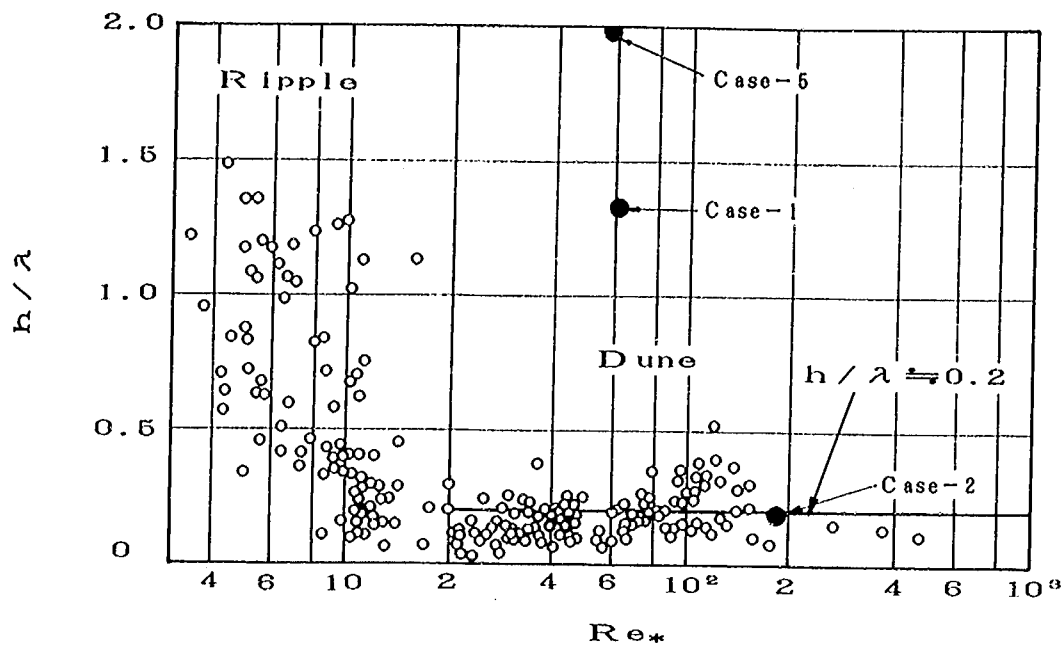


図-3.18 Re_* と H_m/L_s の関係

〔3〕Dune河床

Dune河床の一般的定義では、波長は主に水深に依存しており、波長 $L_s = (5 \sim 7) \cdot H_s$ 、波高 $H_s = (0.03 \sim 0.06) \cdot L_s$ 程度であり、Rippleよりスケールの大きい河床形態であるとされている。

本実験においては、Case-2およびCase-3、4の一部に発生した。河床全域でほぼ一様な河床形態となったCase-2についてその波形を示すと、 $L_s = 2.5 \sim 4.0\text{m}$ ($L_s = 3.9 \sim 5.9 \cdot H_s$)、 $H_s = 0.15 \sim 0.35\text{m}$ ($H_s = 0.04 \sim 0.14 L_s$)であり、一般的な値に対応している。

〔4〕中規模河床波の発生

本実験では、小規模河床形態における $\tau_* - \psi$ の関係を把握する目的で種々の通水条件で実験を行った。その結果、Case-3および4において、水路下流域で、中規模河床形態が発生した。中規模河床波の生じた区域の $B/H = 9 \sim 10$ であり、その波形を、Case-3について示せば、波長： $12 \sim 14\text{m}$ ($L_s/B = 3.0 \sim 3.5$)、波高： $0.1 \sim 0.35\text{m}$ ($H_s/H_m = 0.25 \sim 0.88$)であり、砂州としては不完全なものである²⁾。

今までの実験データでは、この水理量では砂州の発達しない領域²⁾であるにもかかわらず砂州が発達したのは、砂州発生領域より上流の河床波が波長 $4 \sim 5\text{m}$ の砂堆(Dune)であり、それが交互にならんでおり、上流域での攪乱要因(砂州発生要因)があったことと、砂州発生領域の小規模河床波が平坦河床であり砂州が発生しやすい水理量であったことが、砂州を発生させた要因であると推定される。

<参考文献>

- 1) 土木学会；水理公式集－昭和60年版－，1985。
- 2) 山本晃一；河道特性論，土木研究所資料第2662号，pp.232-252，1988。
- 3) 吉川秀夫；流砂の水理学，丸善，1985。

第4章 粗砂・細礫を河床材料に持つ各河川の移動床の水理

実河川の移動床の水理現象を知るために、実験室において多くの実験が行われている。しかしながら、実験室による実験は水路規模の制約から現地の現象を再現できない。実河川のデータを用いれば、実験室で行われる水理量を越えた情報を得ることができる。本章においては、実河川で実際に観測されたデータと、既往の実験室の成果と比較することにより、第2章で示した外挿法が適用し得るか判断するものである。

4.1 米国，ワイオミング州，イーストフォーク川

East Fork川（図-4.1）における土砂動態を調査するために、U.S.G.S.は土砂トラップを作り流砂量の調査を行っている¹⁾²⁾。調査地点は緯度 $42^{\circ}40'23''$ N，経度 $109^{\circ}34'16''$ W（near Boulder Wyoming）で本地点の流域面積は 466km^2 である。本流域面積の約半分はWind River山脈（4,300m）を水源とし、他の半分は、土砂トラップから約3 km上流に入るMuddy Creekを水源とする。前者の流域は花崗岩と変成岩（ほとんどは先カンブリア時代の岩）によってなり、後者は第三期砂岩およびWasatch Formationの頁岩からなる丘陵地帯である。

土砂トラップ付近では、河川は幅約120mの氾濫源を蛇行している。左岸側のテラスの高さは水面より約5.5mの高さであり、砂と砂利を持つglacial outwashである。このテラスと右岸側のWasatch Formationに河川が突き当たるころは、新しい砂と砂利の供給源となっている。

河川は低水路満杯状態で、水深1.2m，川幅20m，水面勾配は1.5kmの平均で0.0007であり低水路満杯時の流量確率は約1.5年である。

河床材料は、Muddy CreekがEast Fork川に合流する地点より下流は、流れの速い水衝部では砂利、水裏は砂となっている。砂が河床に占める場所は、時間の経過につれて変わる。一般には融雪出水ピーク時には砂利の部分が増加するようである。土砂トラップ付近は、砂利の部分と砂の部分が半々程度である。

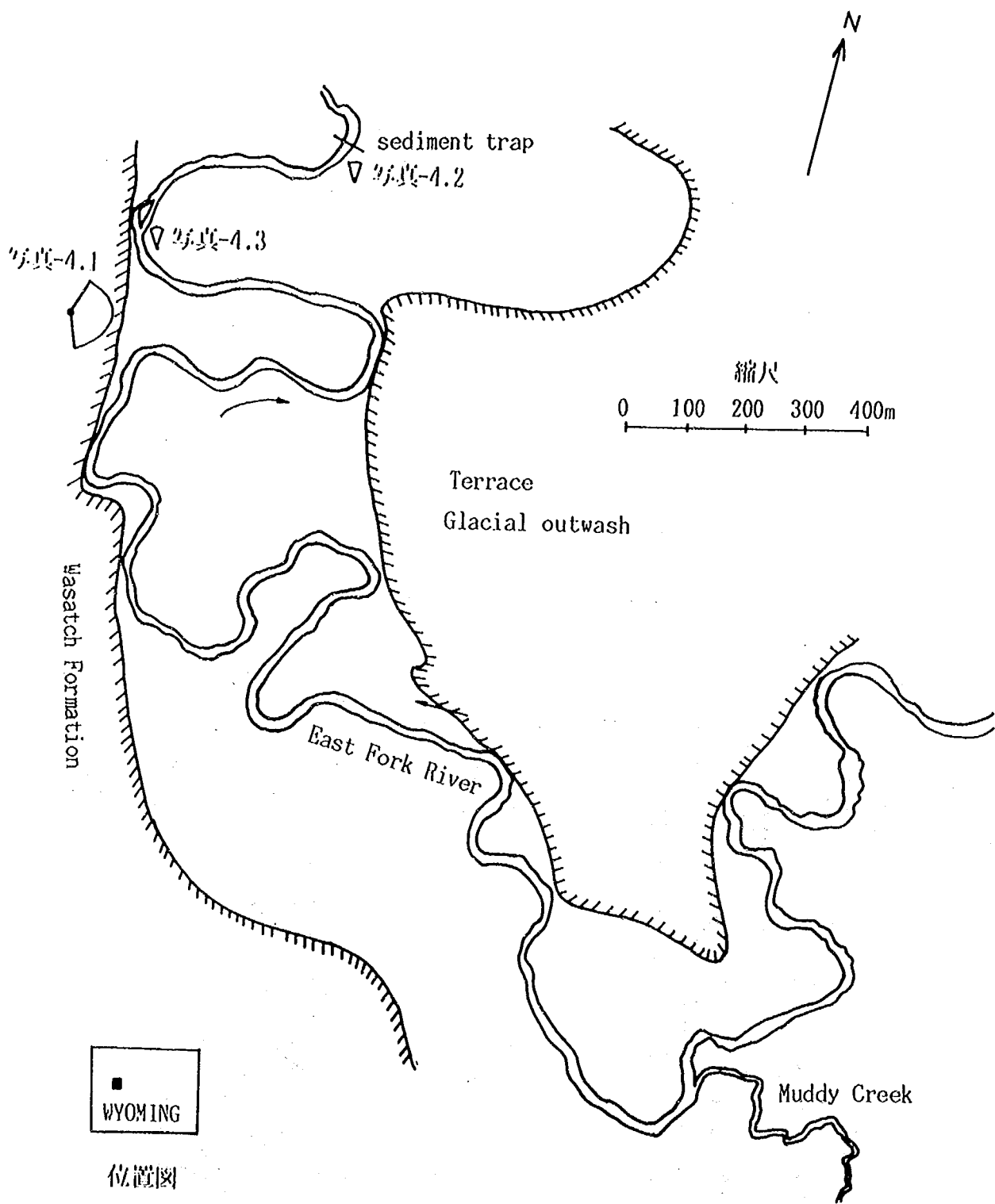


図-4.1 調査区域の略図 (East Fork 川)

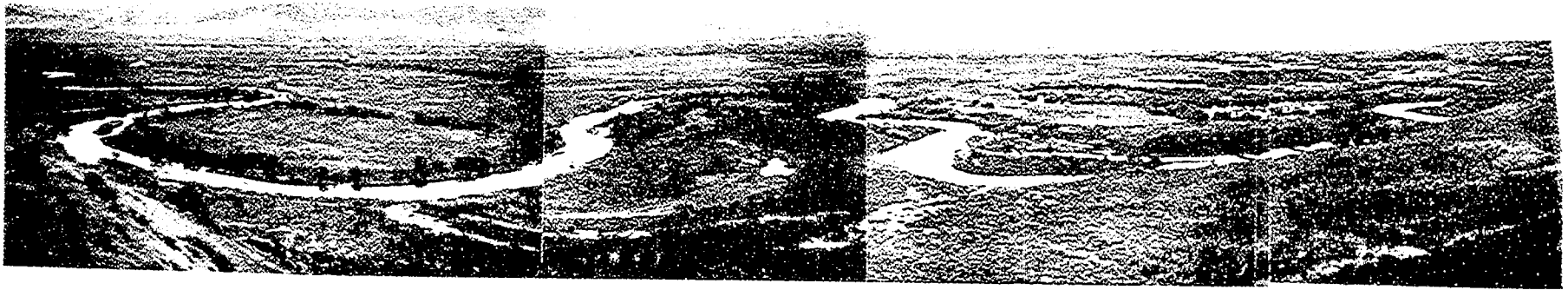


写真-1 East Fork 川

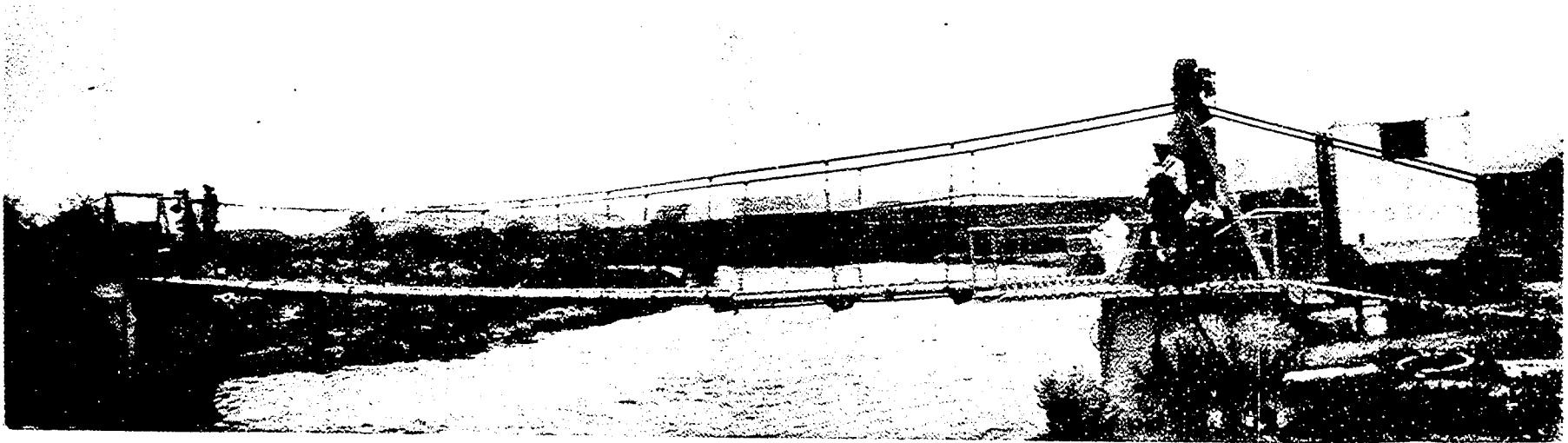


写真-2 Sediment trap の状況



写真-3 East Fork 川

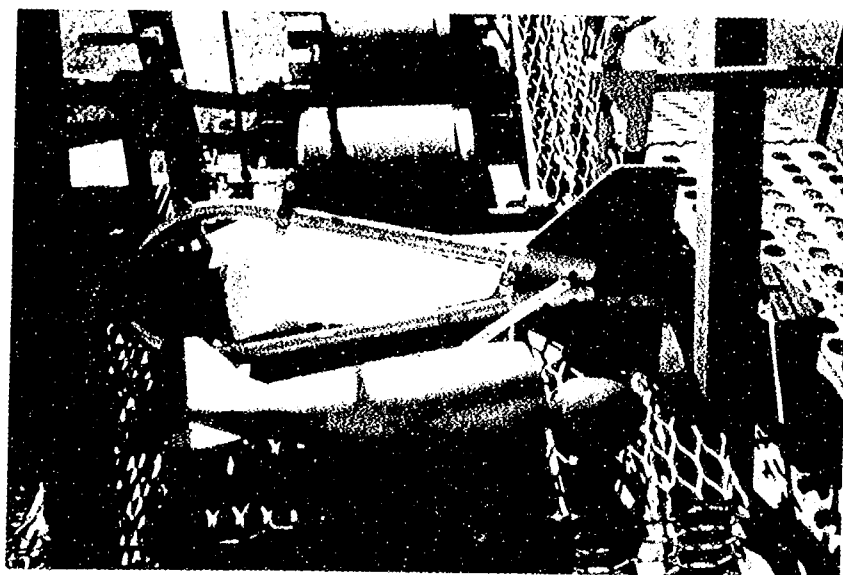


写真-4 Helly-Smith 式掃流採砂器と VS D-49 式浮遊砂採砂器

図-4.2~4.3に土砂トラップに流入した土砂の粒度分布の代表例を示した。流量の小さい場合は、Muddy Creekから流下してきたと考えられる粒径0.4~0.6mmの砂が流砂の大部分を占めるが、流量15 m³/s以上になると平均粒径1~1.5mmの粗砂が大部分を占める。粒径1 cm以上の砂利は低水路満杯程度の流量にならないとほとんど動かない。

このようにして得た観測資料より土砂の動態を把握してみる³⁾。図-4.4は水深が変わった時、流速係数 ψ が、どのようにして変化したかを調べたものである。1975年の観測結果は、水深増加につれて ψ が多少小さくなるが、1976年の観測資料は、 ψ が水深によってほとんど変わらない。原因は明確でないが、1975と1976年では土砂トラップ付近の河床材料が異なったものであることが考えられる。 ψ の値から判断すると融雪出水時には、河床にはDuneあるいはRippleが発生しているものと考えられる。事実、流入土砂量に時間的な波動性があった。

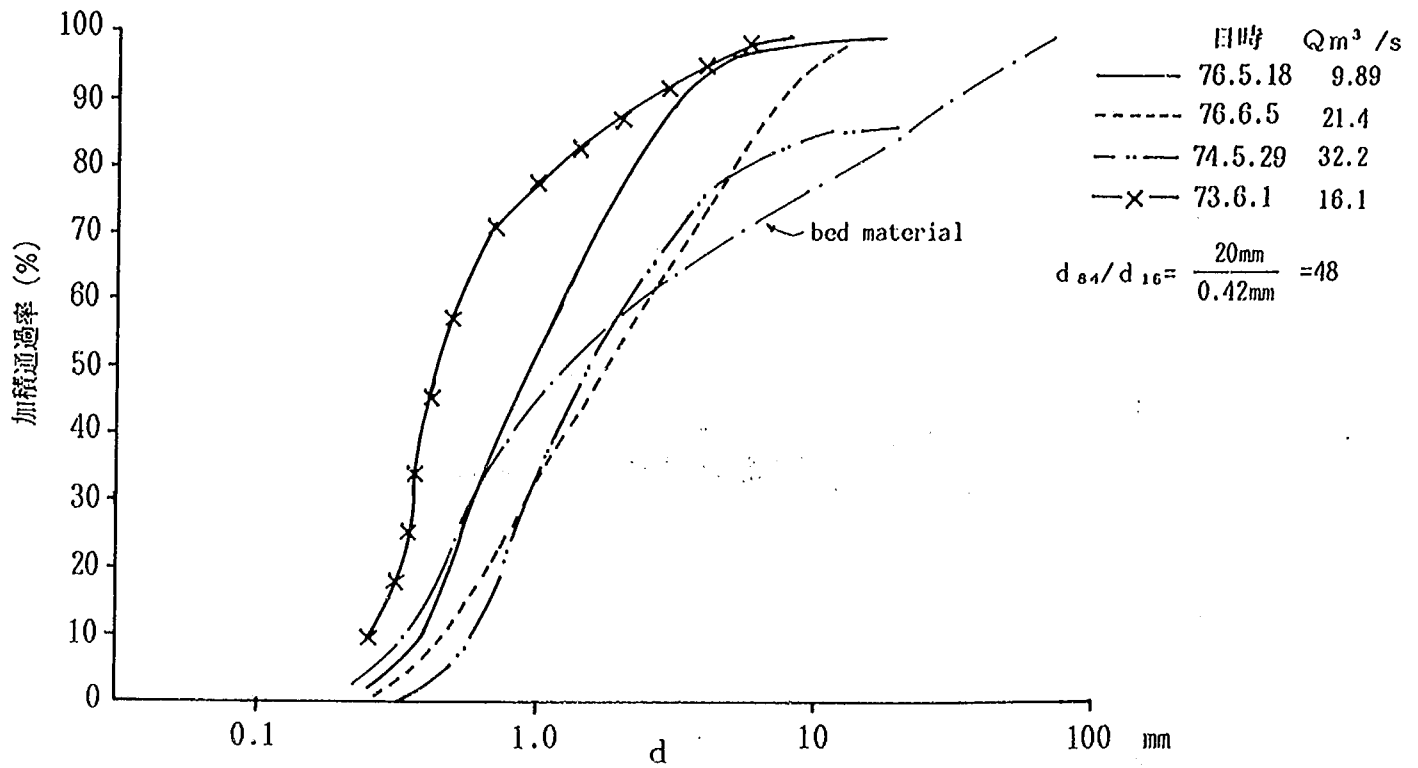


図-4.2 土砂トラップに流入した材料の粒径加積曲線 (East Fork River Wyoming)

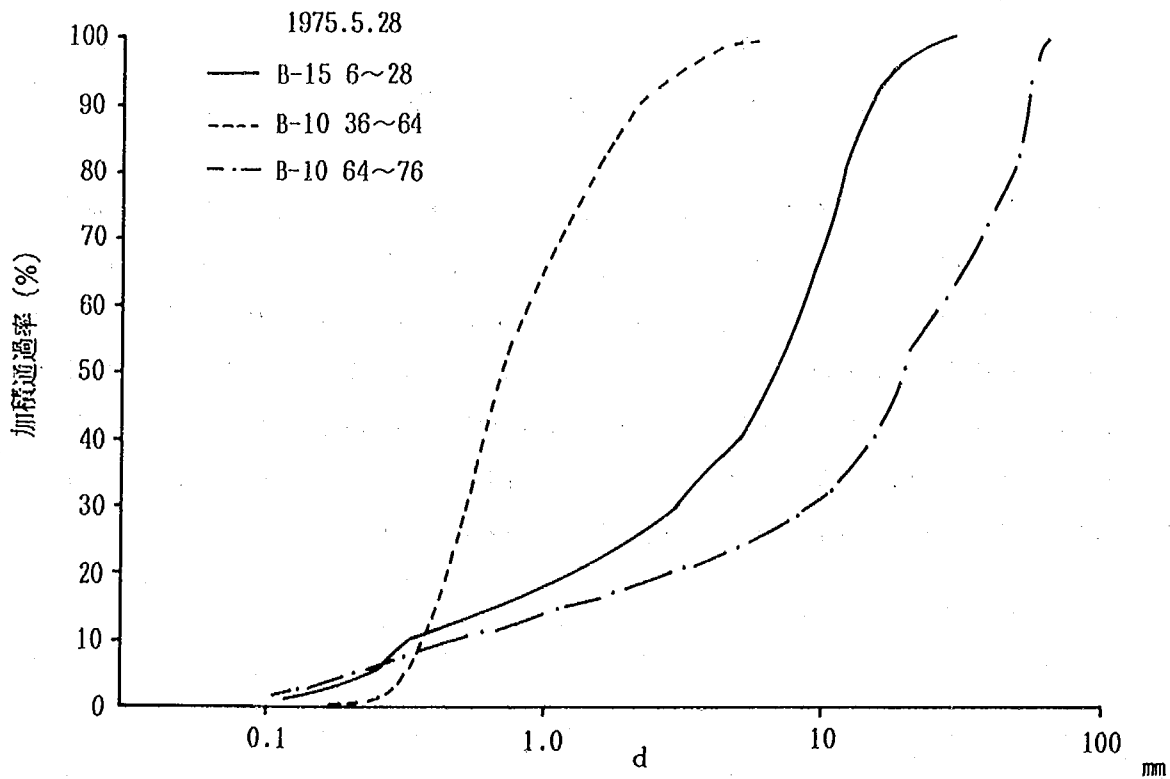


図-4.3 河床材料の粒径加積曲線 (East Fork River Wyoming)

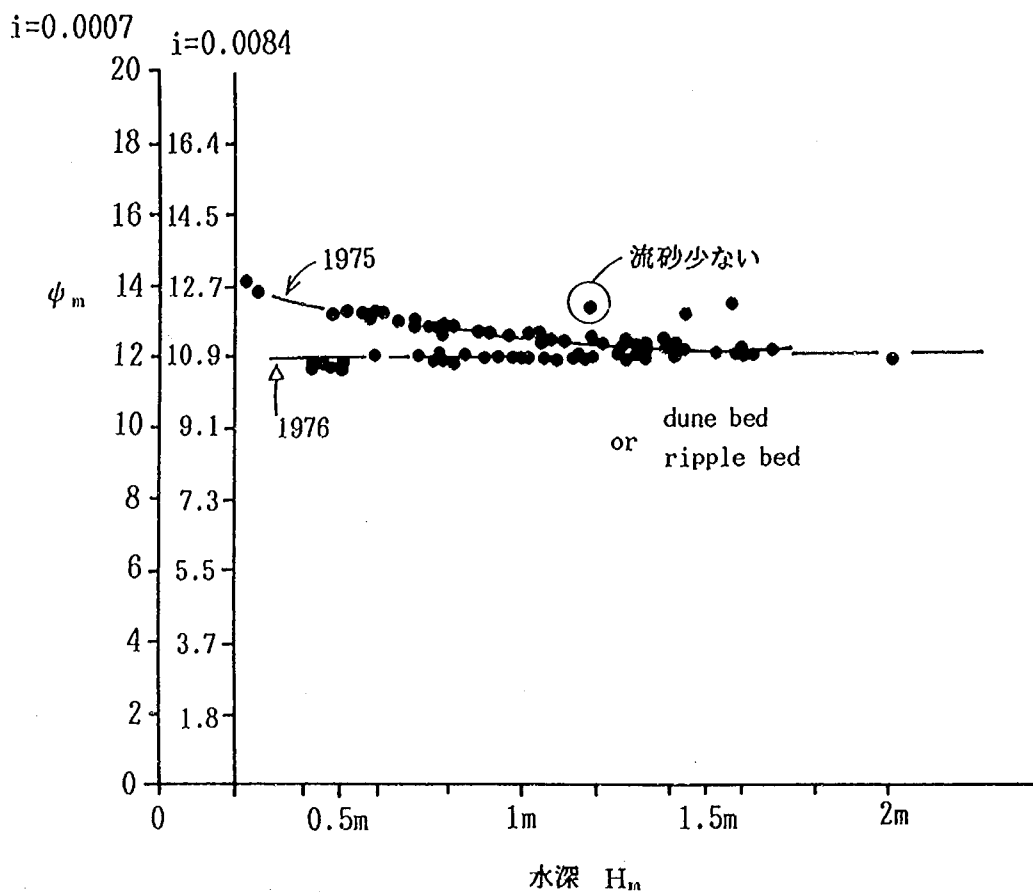


図-4.4 East Fork 川の ψ_m と H_m の関係

図-4.5 は流砂量と無次元掃流力との関係である。同図には粒径 1 mm の場合の均一砂の場合の流砂量推定曲線も入れておいた。1974 年の融雪出水のピーク流量付近の資料を除けば、ほぼ予測値と一致している。1974 年のピーク時の資料が予測値と一致しないのは、河床がほとんど砂利で覆われているものと考えられる。なお、 H/d が 600 以下では Dune に対応する流砂量を示すが、それ以上ではほとんどの資料が Ripple に対応した流砂量になっている。土砂トラップ付近の河床材料が砂利の部分があり、この資料をもって粒径 1 mm 以上でも Ripple 河床が生じるという決定的な理由にならないが、粒径 1 mm 以上でも H/d が 500~600 以上になれば、Ripple 河床に相当する流砂量を持つと考えて良いように思える。

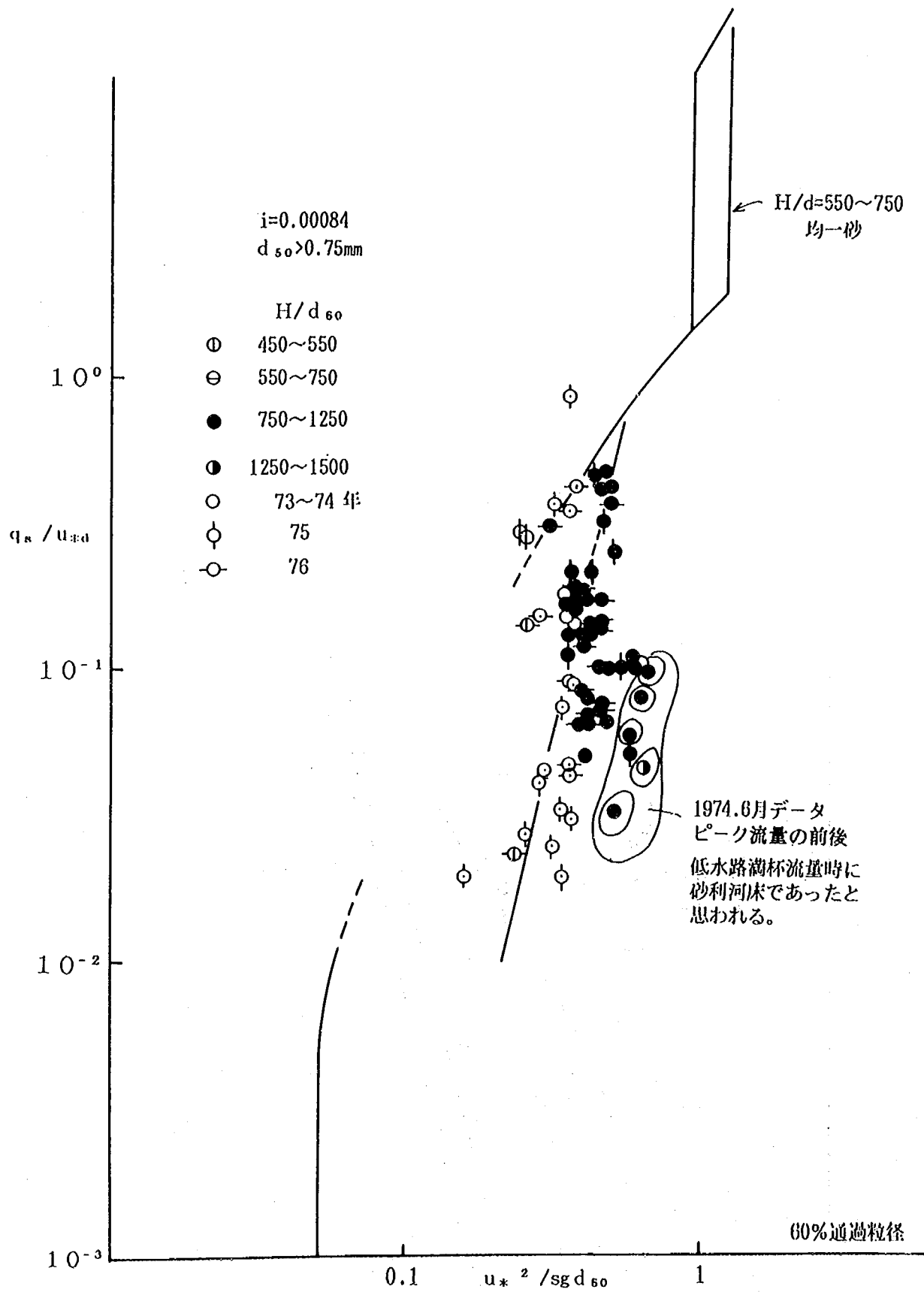


図-4.5 土砂トラップにおける流砂量と無次元掃流力の関係

East Fork川に合流するMuddy CreekにおいてHelly-Smith sediment samplerによって掃流砂の採砂が行われている。この付近の河床材料は平均粒径 $0.5 \sim 0.7\text{mm}$ の砂である。ここでは流量、水深、流砂量とその粒度分布が測定されている。水面勾配は $0.001 \sim 0.0013$ 程度である。観測資料ごとに水面勾配が測定されていないので、水深、流速、河床材料より流速係数 ψ を推定し、平均流速を推定した ψ で割ることによって摩擦速度 u_* を求め、この u_* を使って無次元流砂量、無次元掃流力を求めた。図-4.6が、その結果である。ほぼ均一砂の場合の推定値と一致しているが、中にははずれているものもある。 H/d が500以上ではRippleに相当する流砂量になっている。図-4.7は水深と流速の関係を示した。水深40cm程度の場合、出水前に流速が速く出水後に遅い。河床波の流れに対する応答性が即時的でないのうかがえる。

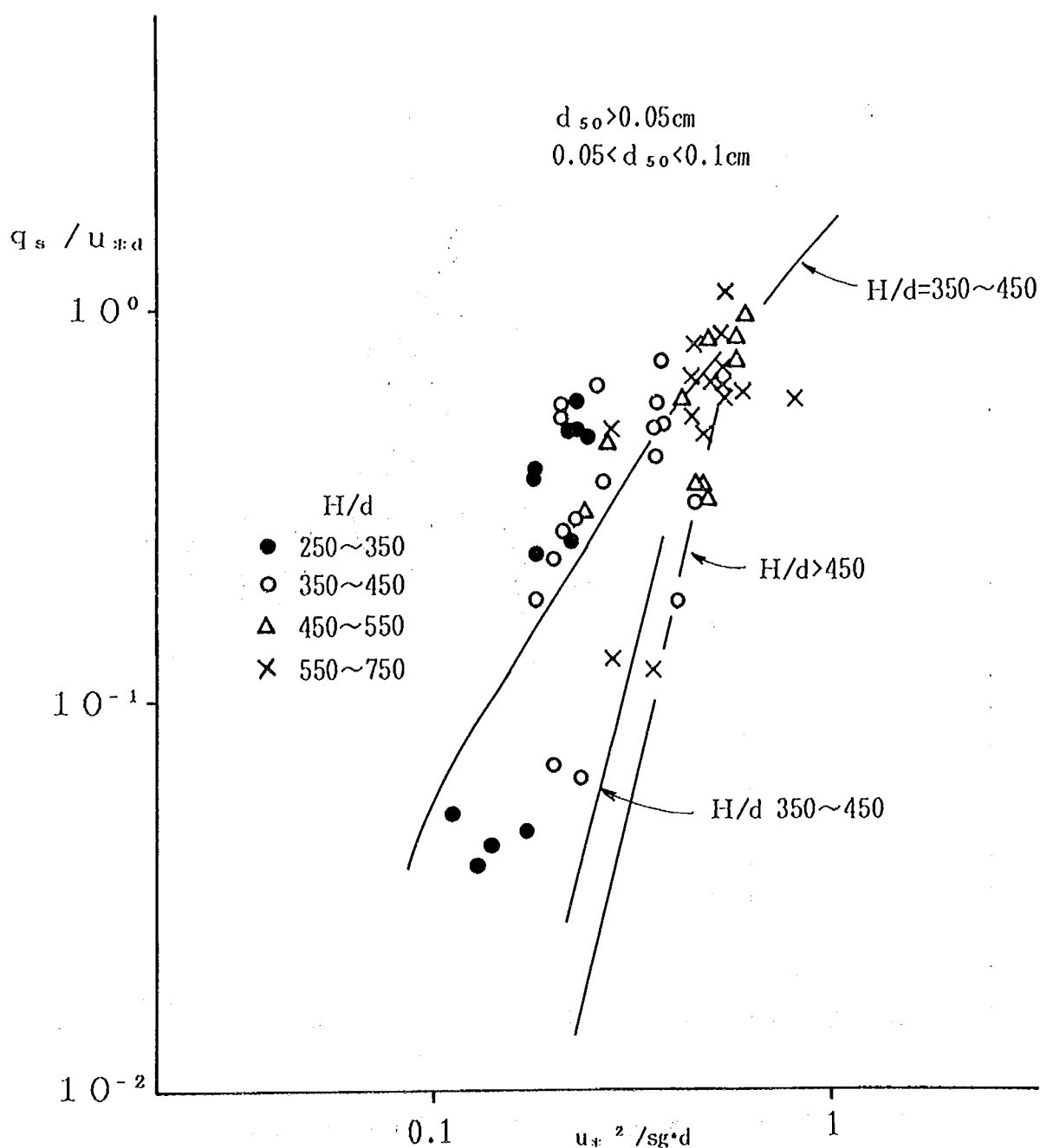


図-4.6 流砂量と掃流力の関係 (Muddy creek)

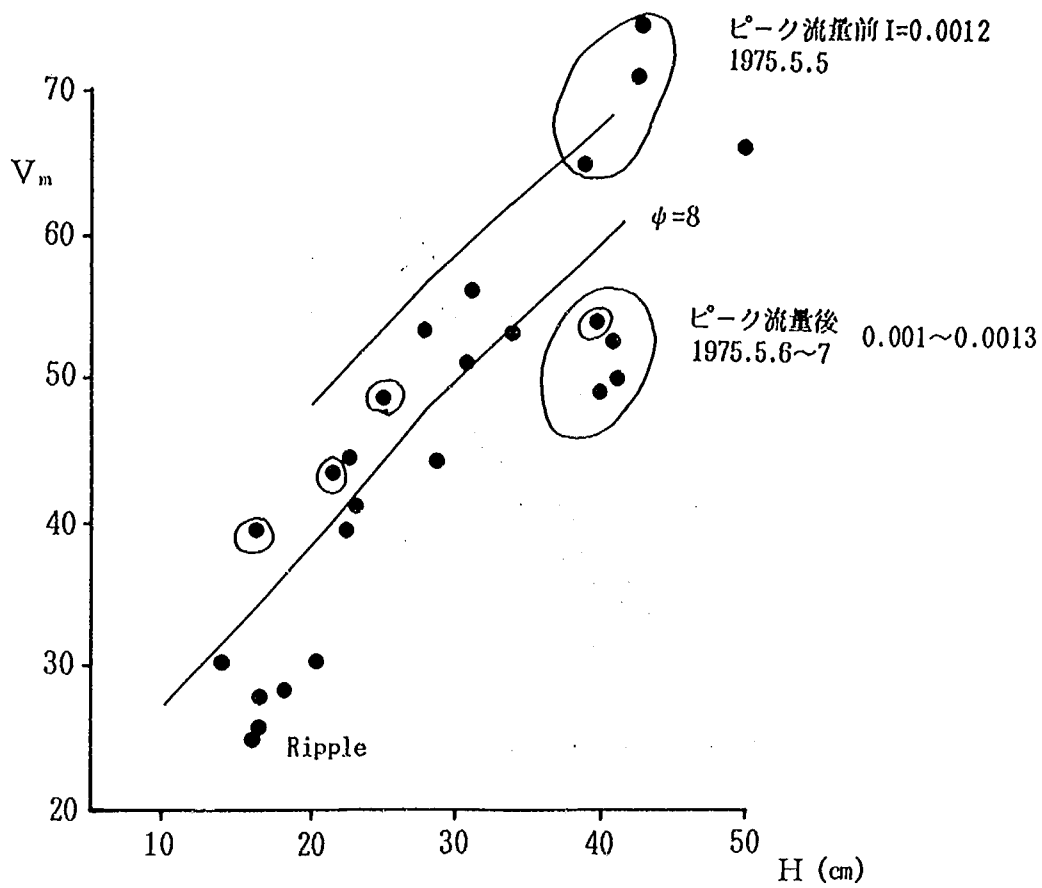


図-4.7 水深と流速の関係 (Moddy creek)

4.2 斐伊川^{4) 5)}

斐伊川は河口より8～24km区間は、常水路幅約300m、河床勾配1/640の河川で、大津地点(12.5km)で、図-4.8に示すような河床材料粒度分布、図-4.9のような横断面形を持っている。粒度分布は5～14kmはほとんど変化がない。

この河川は、河床波の観測、流砂量の観測、粗度の観測が正確になされ、河川工学上貴重な資料を提出している。斐伊川で観測された資料⁵⁾を整理してみる。

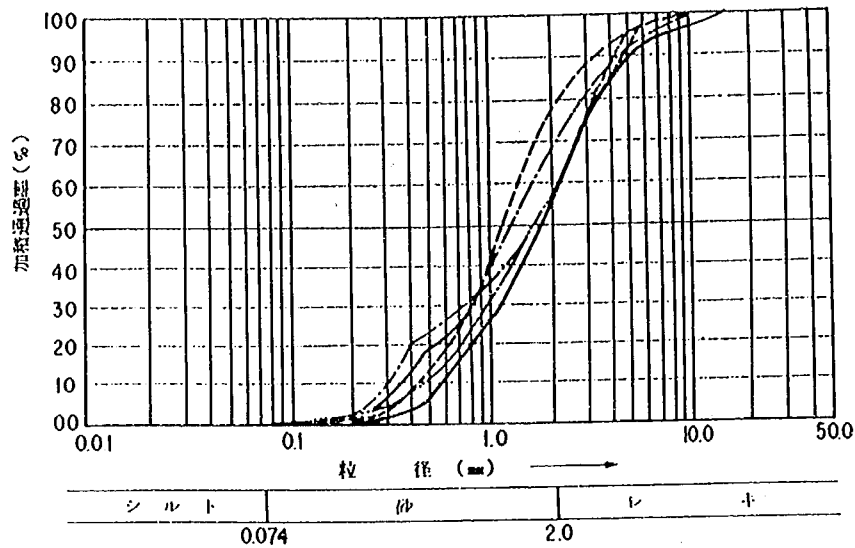
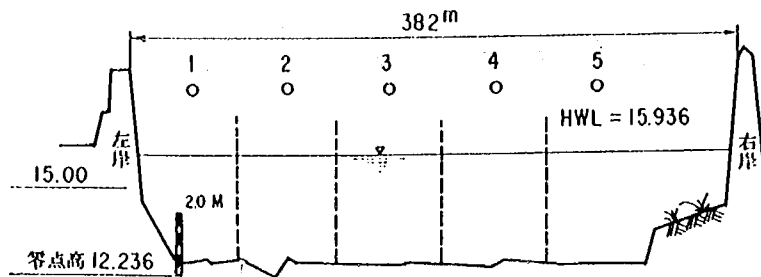


図-4.8 河床材料粒度分布曲線 斐伊川大津観測所

昭和46年6月 測量

上流断面図



下流断面図

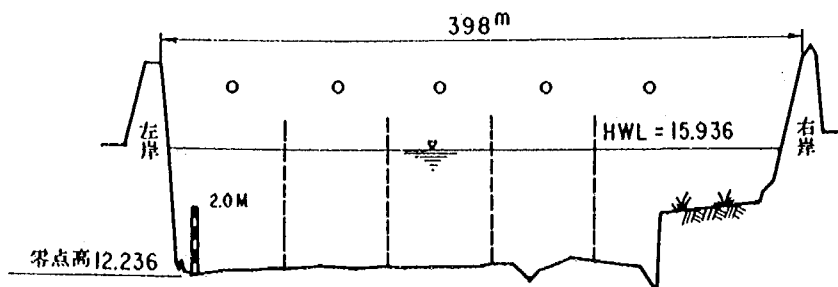


図-4.9 斐伊川大津観測所横断面図

図-4.10は、斐伊川で観測された ψ と τ_* の関係である⁶⁾。 τ_* は水面勾配，側線の水深を使って計算されている。この結果は，実験室内の結果とほぼ同じであり，実験室の結果は，そのまま河川でも適応できることを示している。なお ψ の大きな値があるが，水面勾配を調べてみると，河床勾配と大きな違いがあり，資料として棄却してもよい。

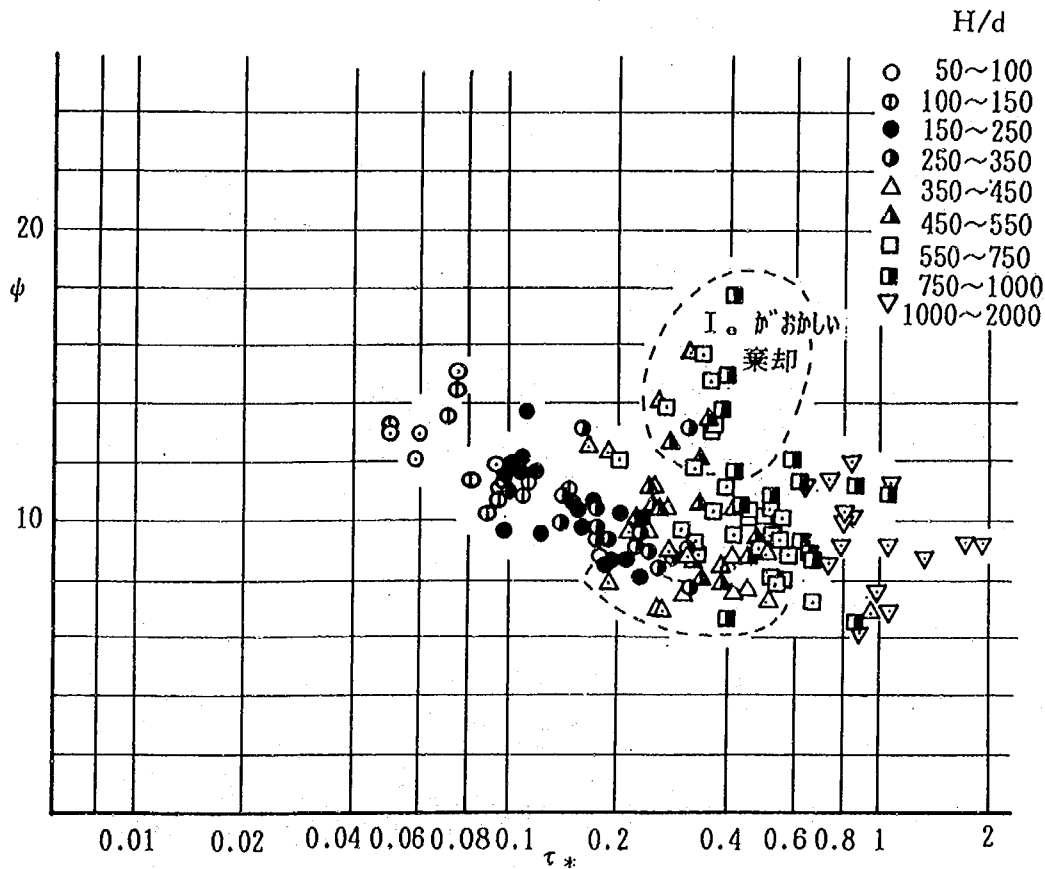


図-4.10 斐伊川の ψ V.S. τ_*

次に斐伊川の河床波の特性について述べる^{4) 8)}。河床波は，S.46, 7の出水の際にゴムボートに超音波式音響測深機を乗せ，水面に直角に固定し，10～4 km地点を自然流下して観測したものである。その観測結果を見ると，波長2～3 m程度の小規模河床波と波長100 m程度の中規模河床波とが認められた。観測区間の河床状況を写真-4.5に示す。前者は領域区分図から見るとほとんどがDune河床に入るが，2，3の資料はRipple領域に入るようである。ただこの資料は，Dune scaleとほぼ同一で，実測資料からDuneかRippleか判断できなかった（現地でDuneかRippleと考えられる河床波を写真-4.6に示す）。



写真-4.5 観測区間で見られる中規模河床波

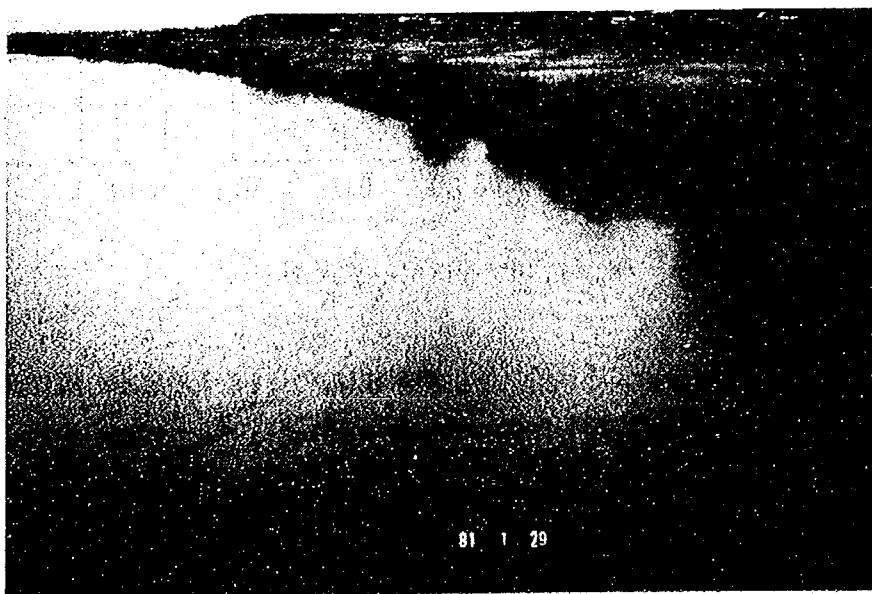


写真-4.6 斐伊川の河床状況 (6 km付近)

後者はウロコ状砂州に相当するものと考えられる。観測時の流量は約 $20\text{m}^3/\text{s}$ で、 $6\text{km}\sim 10\text{km}$ の平均水深は 1.1m 、低水路の平均幅は約 200m である。図-4.11は L_s/H と τ_* の関係、図-4.12は H_s/H_m と τ_* の関係である。波長 L_s は水深の2倍から7倍の間に固まっている。この結果は実験室資料の4～15倍に比較して約半分の長さである。（小流量時に観測した時にも、水深 30cm 程度の場所で砂州上に波長 1m 前後の比較的短い河床波が形成されていた）。この原因として、川幅水深比の大きい河川のDune形状は、うろこ状になりやすいようであり（木曽川、長良川の例）、このうろこ状Duneを流れ方向に一直線上に測定すると、図-4.13に示すように波長は $1/2$ に評価されやすくなる。斐伊川のDune波長が短かったのはこの要因が一つの原因ではないかと考えられる。波高 H_s は、実験室資料に比較して波高が小さいものが多い。この原因は、波高 H_s を約 100m の区間で測定された波高を平均したものとしており、実際の砂堆は3次元的形態を持つことがあるので砂堆の最大波高を測定していないことによるものと思われる。観測されたものの波高のうち最大なものを取ると実験値より大きくなっている。いずれにしても、流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ 程度の時に、この川の河床には、ウロコ状砂州（中規模河床形態）と小規模河床形態とが共存している。

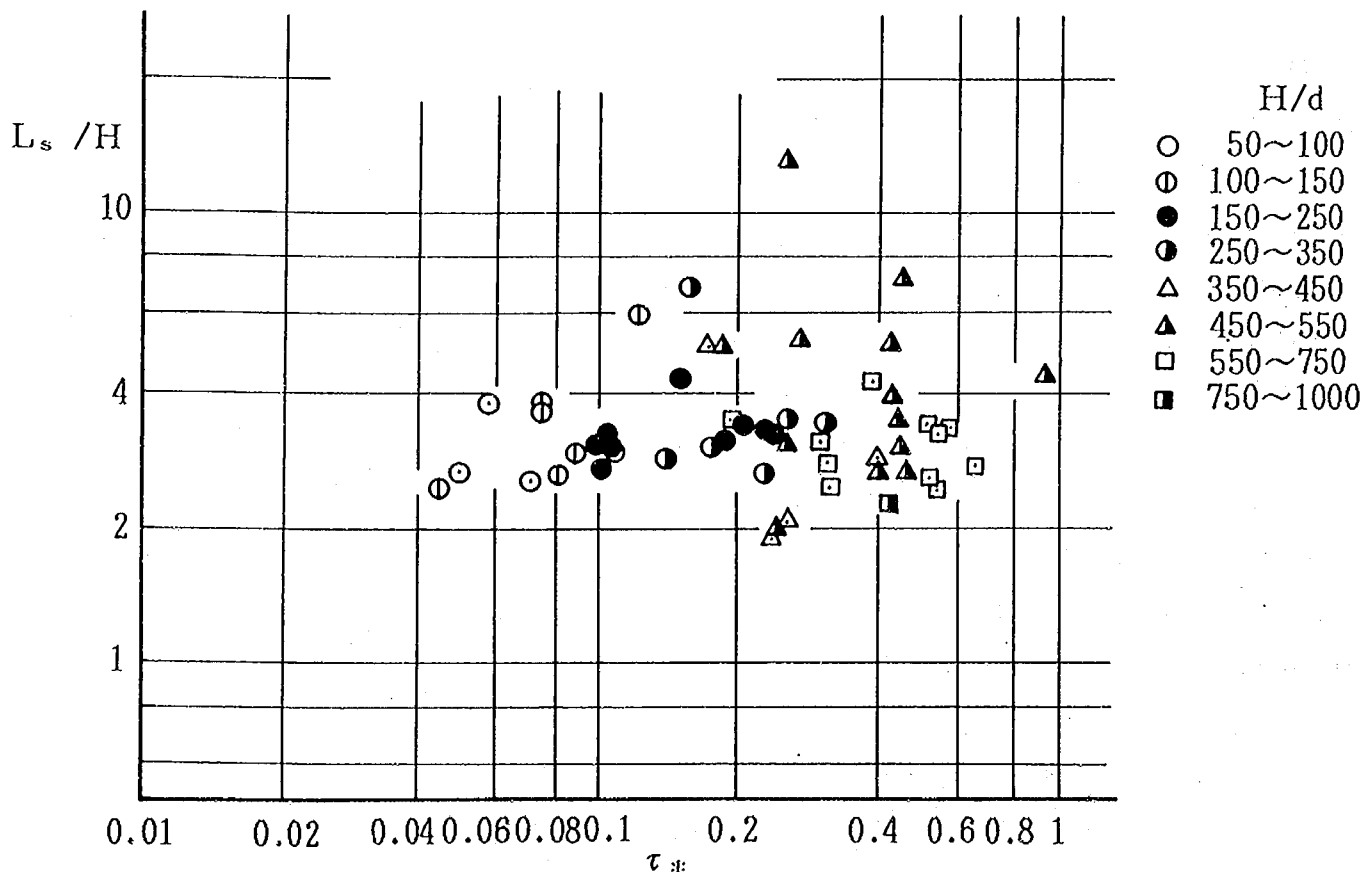


図-4.11 斐伊川河床波の波長

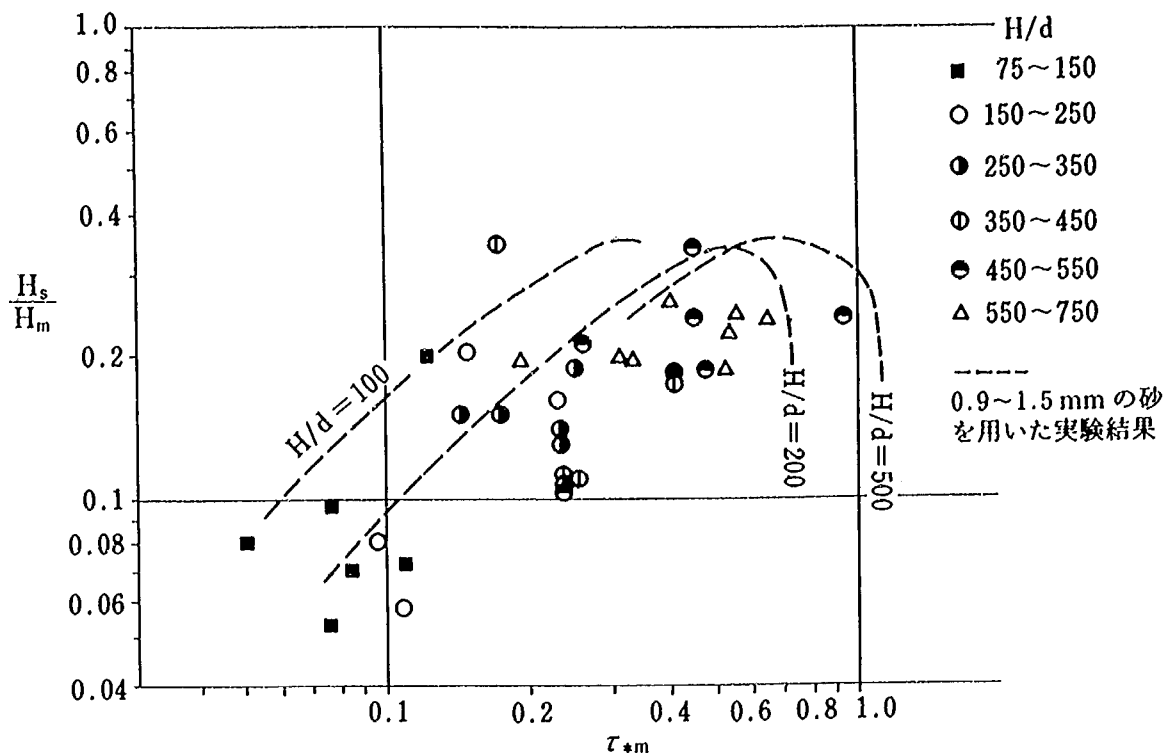


図-4.12 斐伊川河床波の波形勾配

次に流砂量について述べる⁴⁾。昭和49年において出雲工事事務所によって、森坂橋地点、瑞穂大橋地点で掃流採砂器（幅30cm、長さ約75cm、高さ平均20cm）で採砂（1回3～5分、5回観測）および水深、流速（2割、6割、8割水深）、水面勾配の観測が行われた。その観測結果は、図-4.14に示すごとくで、 $\tau_* = 0.3$ 近くまでは、ほぼ実験室内資料とあっているが、それ以上になるとずれが極端に大きくなり、掃流採砂器による流砂観測は、bed loadの実体をほとんどつかんでいないと考えられる。他の河川の掃流砂観測資料も同様な観測結果を示し⁷⁾、掃流採砂器によるbed loadの把握は不可能と考えた方がよさそうである。なお流砂量から見ると $H/d < 350$ の河床はDuneであり、 $H/d = 350 \sim 450$ では一部Ripple河床のようである。

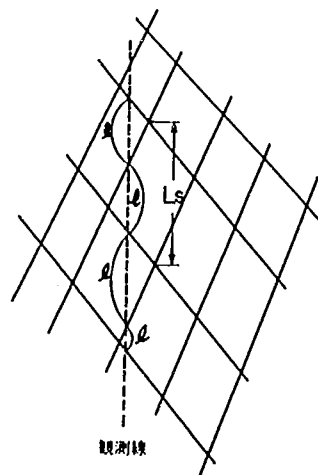


図-4.13 音響測深機により観測される波長 l のモデル

4.3 実河川資料から見た既往成果の位置付け

4.1, 2に示した観測結果について評価してみると、大規模な洪水については観測不可能であるため、中小規模の洪水のみについての評価では、実河川においても実験室で起こった現象がほぼ再現されているようであるが、実験室の実験に比べて、実河川では流れの変動に対して河床波の変動が鈍いようである。実河川の洪水時の河床形態を予測する場合には、このことを考慮しておく必要があるようである。

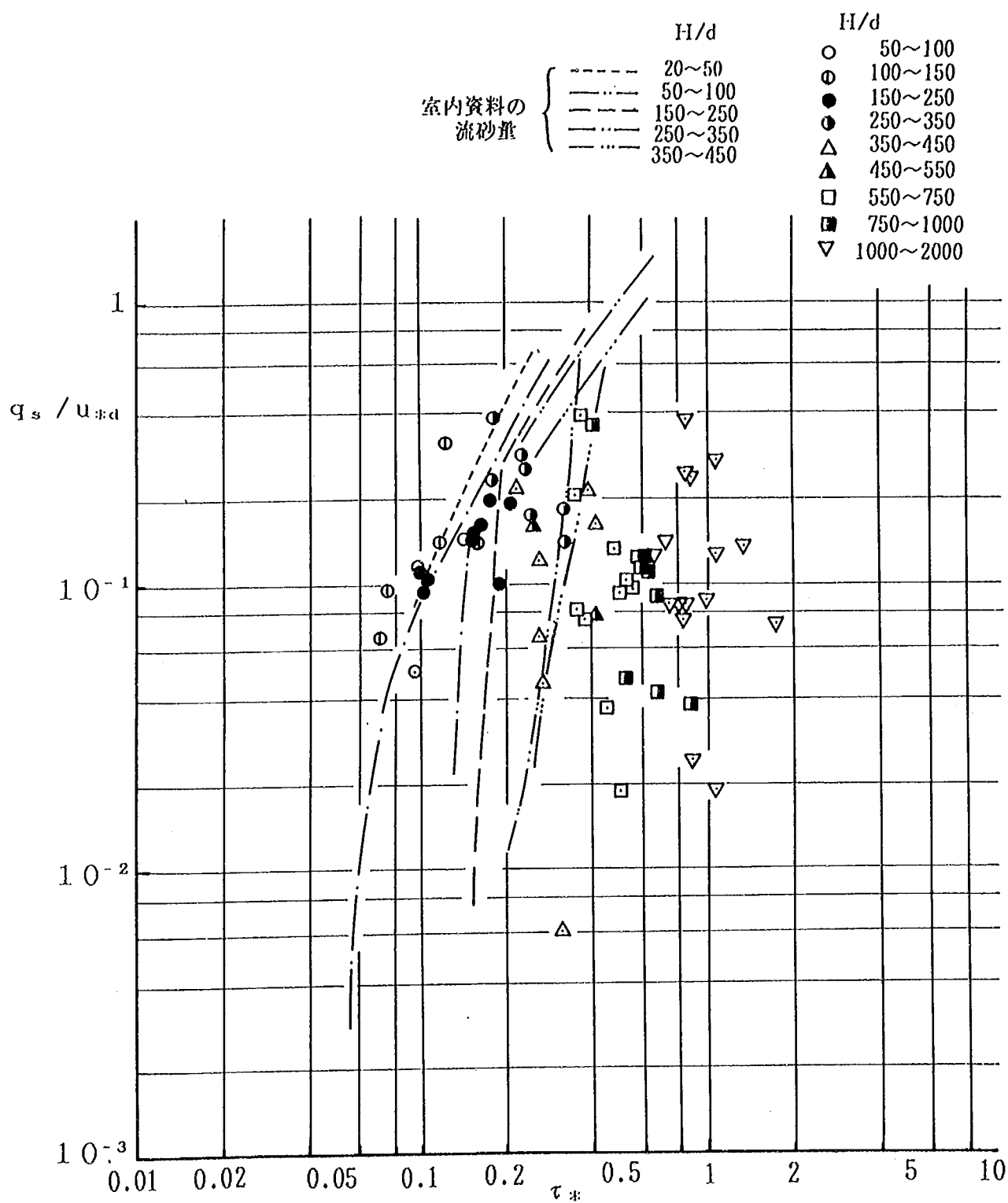


図-4.14 斐伊川の流砂量

<参考文献>

- 1) Leopold L.B. and Emmitt W.W.; Bed load measurments, East Fork River, Wyoming, Proceedings of The National Academy of Sciences Vol.73 No.4, pp.1000-1004, 1976.
- 2) Mahoney H.A., Andrews E.D., Emmitt W.W., Leopold L.B., Meade R.H., Myrick R.M. and Nordim C.H.; Data for calibrating unsteady-flow-sediment-transport models, East Fork River, Wyoming, 1975, U.S.G.S. Open-File Report 76-22, 1976.
- 3) 山本晃一; 河川における土砂の移動機構に関する研究ノート〔II〕, 土木研究所資料第1543号, pp. 88-97, 1980.
- 4) 山本晃一; 相似律の観点から見た移動床の水理〔II〕, 土木研究所資料第1074号, pp.33-38, 1976.
- 5) 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ー混合粒径河床材料の移動特性ー中規模河床波と小規模河床波の共存ー, 土木研究所資料第1416号, pp. 137-143, 1978.
- 6) 山本晃一; 河道特性論, 土木研究所資料第2662号, pp. 122-123, 1988.
- 7) 建設省土木研究所; 建設省流砂観測資料集, 土木研究所資料第625号, 1971.

第5章 中規模河床波の特性

砂州は、河川の平面形状、蛇行形状、河岸侵食等と密接な関係にあり、これらの河道特性を記述、分類、分析するためには砂州の特性に関する十分な知識がなければならない。ここでは水路の曲りや、河道内の島などによって流れが影響を受けないような、ほぼ直線の水路での砂州の特性について文献¹⁾において報告していることを抜粋し、記述することとする。

5.1 砂州の発生領域

川幅水深比 B/H_m が大きくなると、直線水路においても砂州の発生のため、河床、流れとも三次元的形態を持つようになる。ここでは実河川の観測資料も取り入れて、砂州の発生領域を示す。

(1) 交互砂州 (Alternate bars) の発生領域

直線水路における砂州の発生条件を知るために、実験資料を使って、図-5.1、図-5.2のように B/H_m の値を10ごとに区切り、河床形態がわかるように図示した。

図より、 B/H_m が30以下の場合には交互砂州の発生する領域を示すことができるが、 B/H_m が大きい場合は図-5.2に示すように、 H_m/d の大きな資料が少なく、交互砂州の発生領域を的確に示すことができない。ところでこの発生領域を明確にするために H_m/d が大きく、かつ、 B/H_m が大きい実験を行おうとすると実験水路は巨大なものとなり、事実上実験は不可能である。したがって、 B/H が30以上でかつ H/d が500以上である場合の交互砂州の発生領域を示すためには、実河川で砂を河床材料に持つ河川の実態を調査する必要がある。

調査の方法としては、ほぼ直線河道である区間の砂州の形態を航空写真や、河道の縦横断測量結果を用いて把握し、そこで生じる水理量との関係を分析した。ところで、河川の流量は、一定の流量が続くわけではない。航空写真や河床の縦横断測量で調べられた砂州はいつ生じ、それは、その流量の時点で発達していくものなのか、消滅していくものなのかの判断が必要となる。この判断は非常に難しいが、移動床模型実験を通しての経験、内外の文献の砂州の形態やその発達の特徴に関する記述、航空写真の読み取りより、次のような砂州の形態やその発達形態に関する共通性を抽出し、実河川の砂州の形態とそれを生じせしめたと推定される水理量を求めた。

- ① 砂河川の場合、砂州のスケール (B_s, L_s) は水位によって変化する。小さい水位ほど小さい砂州になろうとするが、勾配の小さいところ ($I < 1/5,000$) では出水時にできた砂州は平水時にはほとんど動かず、中出水では多少変形するにとどまる。勾配 $1/5,000 \sim 1/3,000$ では、中出水に対応したスケールの砂州ができることがある。これより勾配の大きいところでは、より小さい流量に対応する砂州が発生する。
- ② 砂州は、そのスケールが大きいために、水理量の変化 (水位の変化) に対して、すぐさまその水理量に対応したスケールの砂州が形成されず、水理量の変化に対して応答の遅れがある。

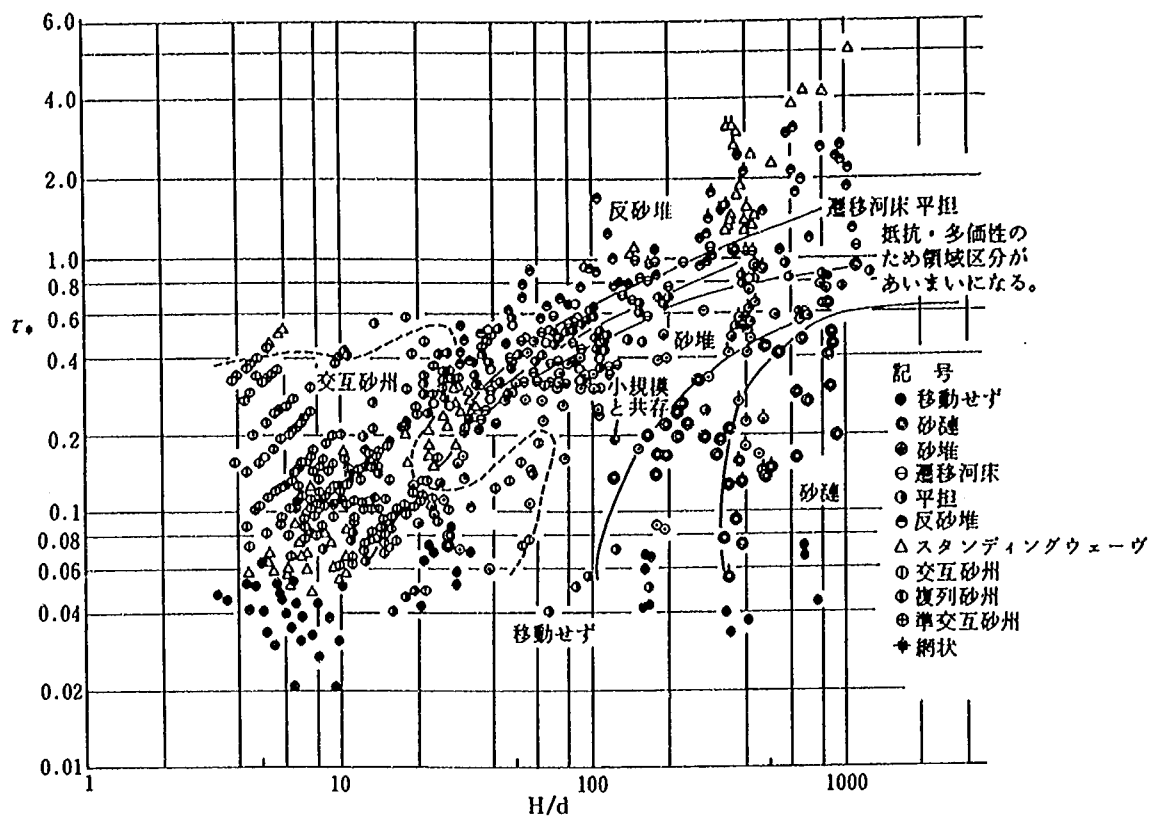


図-5.1 中規模河床波の発生域, $B/H=10\sim20$ の場合

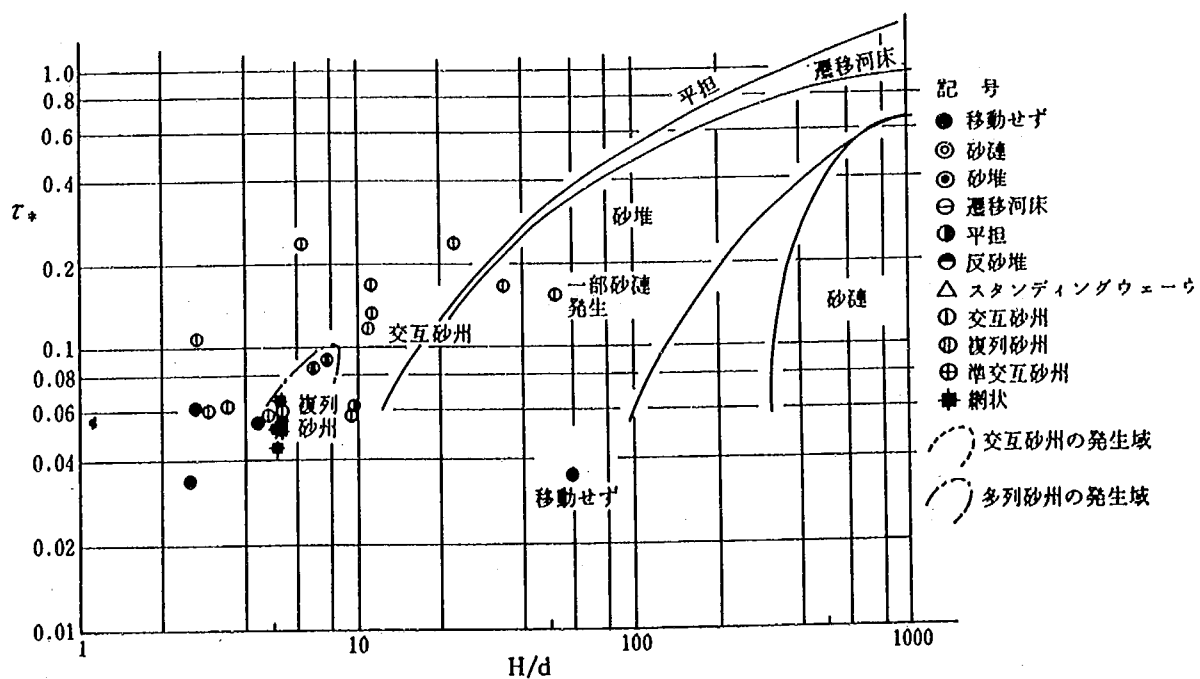


図-5.2 中規模河床波の発生域, $B/H=50\sim60$ の場合

③ 粒径0.2mm以上の河床材料を持つ河川では、 B/H_m が100を越えていれば複列の砂州が発達している。大出水時に河床の小規模河床波が砂堆から一部平坦河床に変化しても、砂州は発達を続ける²⁾ようである。なお砂州の列数は交互砂州の場合を1列とみなし、複列の場合が2列に当る。図-5.3の場合は4列である。

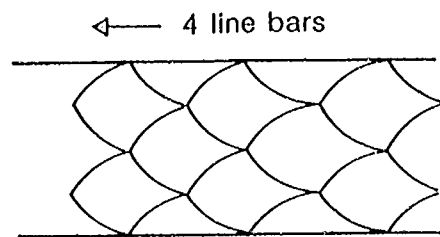


図-5.3 砂州列数の考え方

④ 粒径0.2mm以下の河川で、 H_m/d_m が10,000を越えるようなところでの砂州の発生の事例はないようである。

⑤ 多列砂州の砂州幅 B_s は、砂州を形成したと考えられる水理量における水深 H の100倍程度である(これについては、本小節〔2〕において詳述する。)

図-5.4には、現地実測資料のうち、砂州の形態と水理量(τ_* と H/d の値)の対応がかなりはっきりしているものを τ_* - H/d 平面上に砂州の形態がわかるように記号を変えてプロットした。またプロットした点の脇には、 B/H_m の値を記した。これだけの資料より B/H_m が大きい場合の交互砂州の発生する領域を明確にすることはできないが、次のようなことを読み取ることができる。

① 多列砂州が発生するということは、その列数の数の単列砂州が組み合わさったものと考えられることにより、多列砂州の発生する場合と同じ τ_* 、 H/d で B/H_m が50以上であれば交互砂州が発生すると考えて良いと思われるので、 B/H_m が50以上で河床材料が0.2mm以上(洪水時小規模河床波は、砂堆、遷移河床、一部平坦河床)の河川では、交互砂州が発生すると判断される。

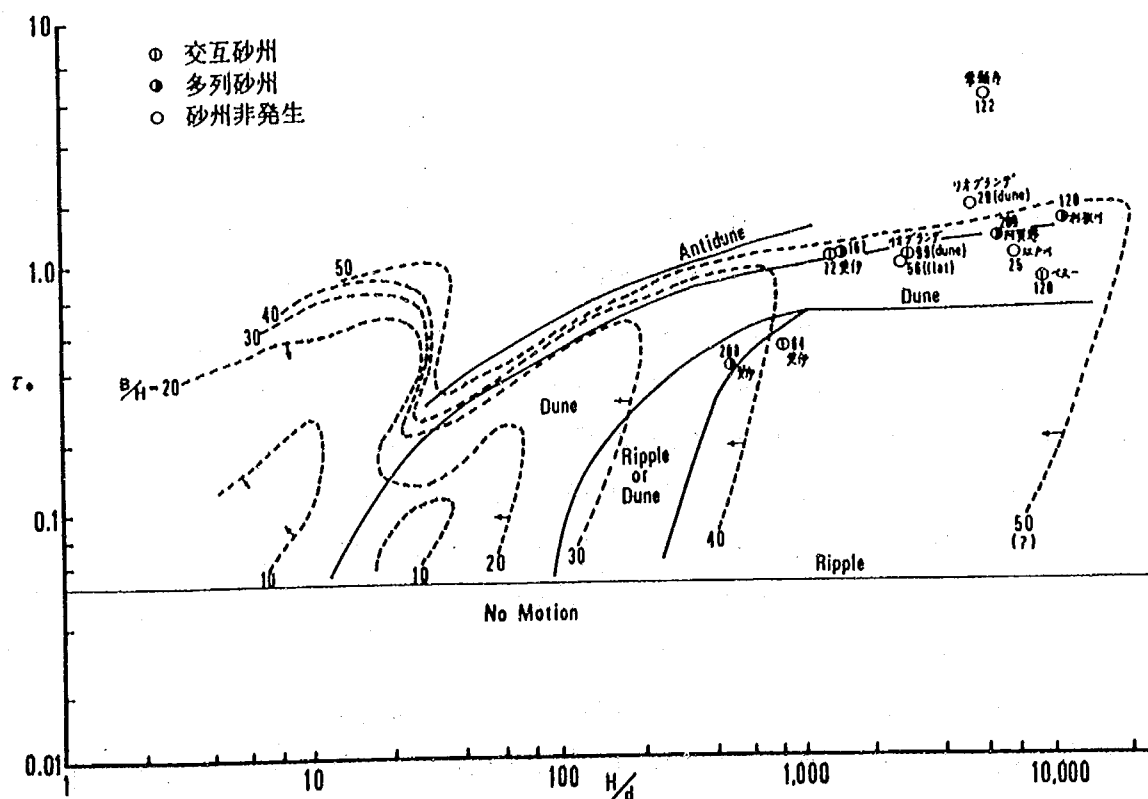


図-5.4 交互砂州の発生領域, $d > 0.02\text{cm}$ の場合

② 河床が全面的に平坦河床になるような状態では、常願寺川 0～6 km において 1969 年 11 月の出水後の河床の凹凸が出水前より平坦になったという事実、Rio Grande 川の El Paso 地点において $\tau_* = 0.38$, $H_m/d = 2,500$, $B/H_m = 56$ の時に砂州が発生していないという事実³⁾ より、平坦河床 (Flat) で H_m/d が 5,000 以下では砂州が発生しないと判断される。なお、 H_m/d が 10,000 以上である Brahmaputra 川 (河床材料 $d_m = 0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$) で発生している河床波²⁾ (波長 180 m ～ 900 m で水深 9 ～ 36 m のところに発生する。砂州のスケールに相当すると思われる) の洪水時の状況を見ると、河床が平坦河床であっても、このスケールの河床波はそのまま残っている。河床が砂堆である時に発生した砂州が、そのまま残っているとも考えられるので、 H/d が 10,000 程度で平坦河床の時に砂州が発生するかどうかは判断し得ない。

以上の実河川の資料の解析および実験室資料の解析より不明確なものであるが、交互砂州の発生領域を図-5.4 の B/H_m が 50 以下の場合について示した。ここで、点線が B/H_m 一定の線であり、この B/H_m を持つ水路では、この一定の線の内側 (細い矢印の方向) の τ_* , H_m/d の領域で交互砂州が発生することを示している。なお、図中の実線は、小規模河床波の領域区分の概略値を示したものである (本来小規模河床波の領域区分は Re_* の影響を受け、粒径ごとに多少区画線の位置が変わるが、ここでは、 H_m/d が 1,000 以下は、図-5.1 に示す $B/H_m = 10 \sim 20$ の d が 0.02 cm 以上の実験資料すべてを用いて描いた区分図が示されている。 H_m/d が 1,000 以上は、実河川の砂を河床材料をもつ場合の実測資料より区分線が引かれた)。

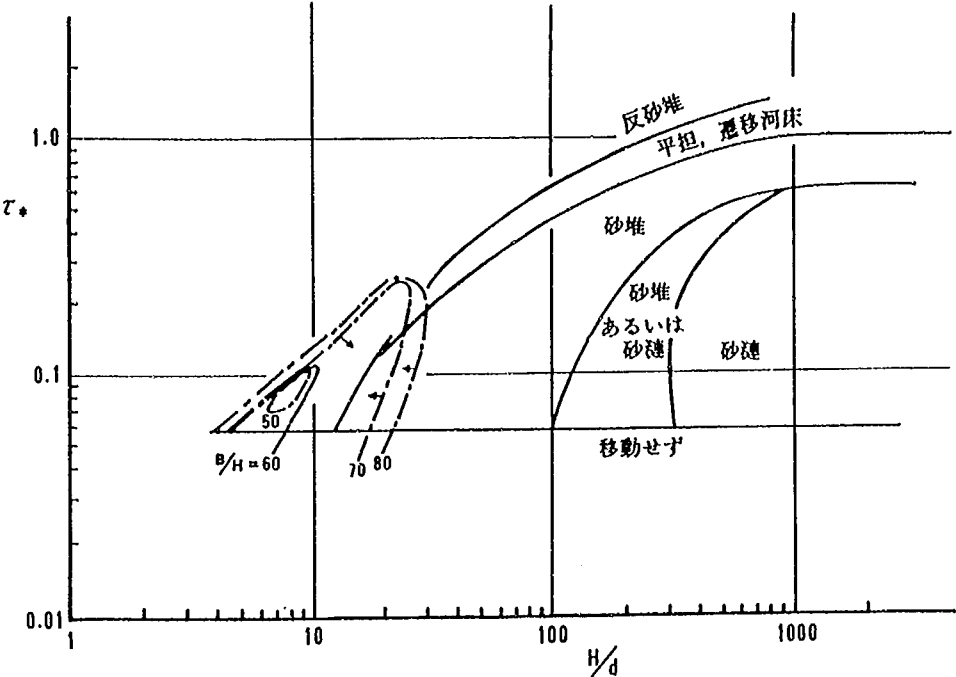
〔2〕多列砂州の発生領域

河床に発生する砂州が交互砂州であるか、複列砂州であるかによって河道の平面形状、平面形変動特性が変わる。従って、それらに応じて河道の平面計画は違ったものとなる。この限界の B/H_m を知ることは重要な意義を持つ。

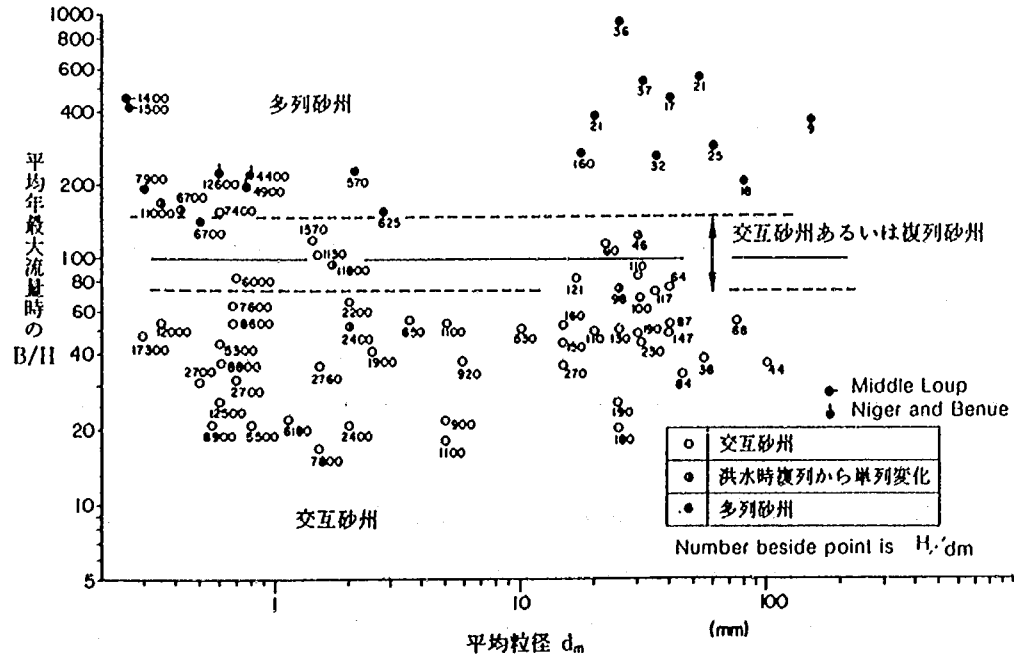
交互砂州から複列砂州へ移行する B/H_m の値を、実験資料より交互砂州の発生領域を求めるために図-5.2 のごとく B/H の値を 10 ごとに区切り河床形態がわかるように図示した。その結果が図-5.5 に示されている。ここで一点鎖線が B/H_m が一定の線であり、この B/H_m を持つ水路ではこの一定の線の内側の τ_* , H/d の領域で複列砂州が発生することを示している。複列砂州の発生領域を示す一点鎖線で囲まれた領域の変化より、交互砂州同様、 H_m/d が小さくまた τ_* が小さい方が小さい B/H_m で複列砂州が発生する。ちなみに B/H_m が 60 程度の場合は H_m/d が 9 以下、 τ_* が 0.1 以下で複列砂州が発生し、 B/H_m が 70 程度となると H_m/d が 20 以下、 τ_* が 0.2 以下で発生する。 B/H_m が 70 以上の場合の複列砂州の発生領域は、 H_m/d が 60 以上の資料がなく実験資料だけでは、複列砂州の発生領域を求めることができない。

B/H_m が 100 以上でかつ H_m/d が 60 以上の実験を行うことは、実験施設が巨大なものとならざるを得ず、事実上実験は不可能である。従って B/H_m が 70 以上の場合の複列砂州の発生領域は、実河川資料より判断せざるを得ない。図-5.6 は日本の一級河川の平均年最大流量時 (ほぼ低水路満杯時) およびアメリカの Middle Loup 川⁴⁾、アフリカの Niger, Benue 川⁵⁾ の河道満杯流量時における水理量を

使って、河床に発生している中規模河床波が交互砂州であるか複列あるいは多列砂州であるかを調べたものである（交互砂州であるか複列砂州であるかの判断は、航空写真、横断図、平面図等によって筆者が総合的に判断した）。なお、実河川は、直線水路であるものが少なく、蛇行しているものが多い。交互砂州と定義されたものには、河道が蛇行しており、この蛇行によって生じた固定砂州も含まれている。また図中にプロットされた点の脇の数字は H_m/d の値である。



図－5.5 複列砂州の発生域 ($\tau_* - H/d$ 平面)



図－5.6 日本における砂州の形態区分

図-5.6より B/H_m が100以上であれば、粒径、河床勾配によらず河床に生じる砂州は多列砂州と考えて良い。なおこの100という値は、筆者が別の資料を用いて河口近くの河道形態を調べた時も⁸⁾また深見が河川資料を用いて求めた結果⁷⁾もほぼ同一の値となっている。ただし、この結論はどのような τ_* の値に対しても成立するものではなく、今のところ実河川で生じる水理量の範囲で確認されたものにすぎない。つまり d_m が1cm以上であれば τ_* が0.05~0.15、 H_m/d が200以下の範囲で、 d_m が0.1cm以下では τ_* が0.8~2.0、 H_m/d が2,000~15,000、その中間の粒径では τ_* が0.2~1.0、 H_m/d が500~2,000の範囲で上述の結論は確かなものと考えられる。

ところで実験結果によると、図-5.5に示すように、 τ_* が0.15以下で、 H_m/d が小さく、10~20前後の場合、 B/H_m が60前後で複列の砂州が発生している。これらの実験資料を基にした複列砂州の発生する B/H_m と実河川の $B/H_m=100$ という結果はどのようにつながるのか考えてみる。つまり H_m/d が大きくなるにつれて複列の砂州が発生する B/H_m が徐々に大きくなり、 H_m/d がある値より大きいと B/H がほぼ一定値となるのか、また実河川の砂州のスケールが低水路満杯時の水理量に相当する水理量に対応しているのかを検討する。

図-5.7は土木研究所で行われた模型実験の結果^{8) 9) 10) 11) 12) 13)} (上向きのダッシュが付したデータ)、および木下良作の実験結果を解析した資料も加えて、 $B/H_m-H_m/d$ 平面上に砂州の列数がわかるように実験資料をプロットしたものである。また実河川との比較のため、砂利河川は荒川、利根川、大井川、手取川、黒部川、安倍川の平均年最大流量時の B/H_m 、 H_m/d_m と砂州の列数の関係をプロットし、砂河川は、砂州の形態と水理量との対応がかなり明確な資料を用いてプロットした。下向きのダッシュと列数を示す数字が記されたものがそれに当る。本来砂州の発生領域は τ_* の値によっても変わるものであるが、 H_m/d が40程度になると B/H_m が100程度で複列砂州が発生し、実河川の資料とつながっている。これによって H_m/d が50以上では B/H_m が100前後で複列砂州が発生し、また年最大流量時の水理量を使って複列と単列を区分しても良いと思われる。ただし、砂河川で勾配が1/3,000以上の場合は、小出水に対応した砂州が発生することがあり、平均年最大流量時の砂州の列数より大きな列数の砂州が発生することがある。なお砂利河川の砂州幅 B_s は、平均年最大流量時の平均水深の70~140倍程度である。砂河川においても B_s は水深の100倍程度と思われる。図-5.7における石炭粉と記された資料は斐伊川の模型実験時($s \approx 0.5$, $\tau_*=0.41$, $H_m/d=166$, $B/H_m=251$)に生じた4列の砂州であり、この場合 B_s は水深の120倍程度となっている。このように τ_* が大きく、また H_m/d も166と大きい場合でも砂州のスケール B_s が水深の100程度であることは、砂河川のように τ_* 、 H_m/d が大きな値をもつ河川でも、多列砂州のスケール B_s は水深の100倍程度であろうと推察させるに十分である。

以上の検討より川幅 B の河川に何列の砂州が発生するかは H_m/d が40以上であれば、 B を水深の50倍の値で割れば良い。図-5.7には、予想される砂州の列数を実線に付した数字で示しておいた。また池田¹⁴⁾による $\tau_*=0.1$ の場合の交互砂州と複列砂州の区分 B/H_m を破線で示した(池田¹⁴⁾や銚川¹⁵⁾は $B/H_m \cdot I_b$ を砂州形態を区分する支配パラメーターとしているが、この考え方が適合しないのは明白であろう)。なお、同図による列数の把握に当っては、砂州の水理量に対する寛容度(ある水

理量に対して砂州のスケールは一定の値となるわけではなく平均値のまわりにばらついている) に対する配慮が必要であり、図中の線は、同図の右上の寛容度の幅ぐらゐの太い線と考えておいた方がよい。また河床材料の分級度が悪く、勾配の急な河川 ($I_b > 1/100$) では、 H_m/d が洪水時においても20以下であり、典型的なウロコ状砂州とはならず、定流量時でも砂州の一部が水面に出たり、砂州の形状も複雑な形 (網状流路) となり、砂州そのもののスケールの定義がし得ない場合がある。(例：常願寺川)

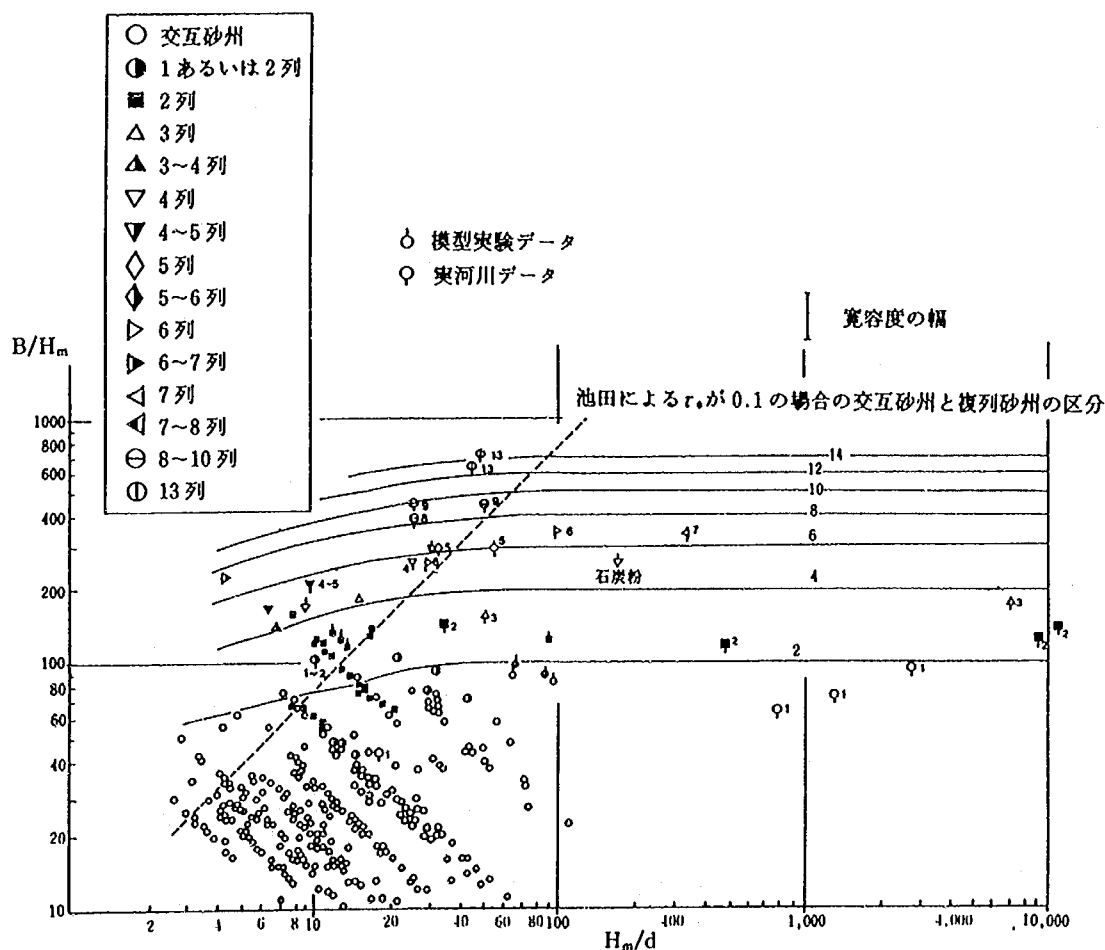


図-5.7 多列砂州の発生条件

〔3〕現地河川の砂州形態

交互砂州および多列砂州の発生領域については、〔1〕,〔2〕において詳述した。これにより河道の特性 (B/H , H/d , τ_*) により現地河川の砂州形態を予測し得る。しかしながら、本報告書で対象としている砂河川では、低流量時においても河床材料が移動する。低流量のウロコ状砂州が形成されている河川は、流量の増大とともに列数が減少し、大流量時には交互砂州へ移行するものと推察される。このように、砂河川では流量の変化に応じて砂州形態が顕著に変化するため、一概に砂州形態を判断できない。

表-5.1 は、本調査で対象とした砂河川において、航空写真の撮影年月日を考察して砂州形成流量を評価し、砂州形態と評価流量時の水理量との関係を示したものである。

表-5.1 砂河川における砂州形態と水理量との関係

河川名	航空写真 撮影年月日	流 量	砂州形態	砂州形成流 量の評価	I_b	d_m (cm)	B (m)	H (m)	B/H	H/d	U_m	τ_m	備 考
阿武隈川 1 ^k ~15 ^k	S36.5.14	4月17日 415 ^{m³} /s 5月14日 104 ^{m³} /s 4/17~5/14の平均 173 ^{m³} /s 年最大流量(6/29) 1,164 ^{m³} /s 年平均流量 182 ^{m³} /s	・4~6列のウロコ状砂州 Ls=200~300m ・出水時は交互砂州 (ポイントバーの形成) Ls=1,200~2,000m	173 ^{m³} /s 1,794 ^{m³} /s	1/2,200 "	0.11 "	300 300	0.88 3.22	341 93.2	800 2,927	0.063 0.120	0.220 0.806	平均年最大流量 1,794 ^{m³} /s 計画流量 9,200 ^{m³} /s n=0.03
阿賀野川 5 ^k ~10 ^k	S43.11	11月21日 481 ^{m³} /s 年最大流量(3/31) 1,952 ^{m³} /s 年平均流量 391 ^{m³} /s	・4~6列のウロコ状砂州 Ls=400~800m ・出水時は交互砂州 (ウロコ状砂州が斜め 交互に配列) Ls=4,000m	481 ^{m³} /s 3,718 ^{m³} /s	1/3,700 "	0.06* "	700 700	1.03 3.50	680 200	1,717 5,833	0.052 0.096	0.281 0.956	平均年最大流量 3,718 ^{m³} /s 計画流量 13,000 ^{m³} /s n=0.025
渡良瀬川 17 ^k ~26 ^k	S36	年最大流量(6/28) 920 ^{m³} /s 最大月平均流量(6月) 104 ^{m³} /s 年平均流量 34 ^{m³} /s	・2~4列のウロコ状砂州 Ls=100~200m ・出水時は交互砂州 (ポイントバーの形成) Ls=800~1,400m	34 ^{m³} /s 641 ^{m³} /s	1/1,600 "	0.06* "	100 140	0.56 2.67	179 52.4	933 4,450	0.059 0.128	0.354 1.686	平均年最大流量 641 ^{m³} /s 計画流量 4,350 ^{m³} /s n=0.028
鬼怒川 3 ^k ~8 ^k	S41.4	3月18日 63 ^{m³} /s 年最大流量(9/26) 1,090 ^{m³} /s 年平均流量 59 ^{m³} /s	・2~4列のウロコ状砂州 Ls=120~280m ・出水時は交互砂州 (ポイントバーの形成) Ls=1,200~1,400m	63 ^{m³} /s 958 ^{m³} /s	1/3,000 "	0.04 "	110 120	0.86 4.20	128 28.6	2,150 10,500	0.053 0.117	0.434 2.121	平均年最大流量 958 ^{m³} /s 計画流量 3,800 ^{m³} /s n=0.025
木曽川 10 ^k ~24 ^k	S41	年最大流量(7/2) 2,455 ^{m³} /s 最大月平均流量(3月) 634 ^{m³} /s 年平均流量 297 ^{m³} /s	・4~6列のウロコ状砂州 Ls=400~600m ・出水時は交互砂州 (ポイントバーの形成) Ls=4,000m	634 ^{m³} /s 6,604 ^{m³} /s	1/3,700 "	0.05 "	400 650	1.70 5.17	235 126	3,400 10,340	0.067 0.117	0.557 1.694	平均年最大流量 6,604 ^{m³} /s 計画流量 12,500 ^{m³} /s n=0.025
矢作川 0 ^k ~7 ^k	S23	年最大流量(6/20) 358 ^{m³} /s 最大月平均流量(9月) 48 ^{m³} /s 年平均流量 33 ^{m³} /s	・6~8列のウロコ状砂州 Ls=150~250m	358 ^{m³} /s	1/2,700	0.15	400	1.22	328	813	0.067	0.183	平均年最大流量 2,091 ^{m³} /s 計画流量 7,000 ^{m³} /s n=0.03

ただし、表中の水理量は昭和40年代前後の調査結果、水深Hは、計画粗度係数nをもとにManningの式から逆算した値、*は60%粒径である。

表-5.1 (つづき)

河川名	航空写真 撮影年月日	流 量	砂州形態	砂州形成流 量の評価	I _b	d _m (cm)	B (m)	H (m)	B/H	H/d	U _*	τ _*	備 考
大和川 2 ^k ~4 ^k	S46	年最大流量(9/16) 274 ^{m³} /s 最大月平均流量(7月) 40 ^{m³} /s 年平均流量 20 ^{m³} /s	-2~4列のウロコ状砂州 Ls=200m ・出水時は交互砂州 (ウロコ状砂州が斜め 交互に配列) Ls=800~1,000m	40 ^{m³} /s 803 ^{m³} /s	1/1,700 //	0.20* //	150 150	0.51 3.11	294 48.2	255 1,555	0.054 0.134	0.091 0.554	平均年最大流量 803 ^{m³} /s 計画流量 5,200 ^{m³} /s n=0.03
斐伊川 10 ^k ~15 ^k	S45.8.27	8月22日 292 ^{m³} /s 8月27日 33 ^{m³} /s 8/22~8/27の平均 88 ^{m³} /s 年平均流量 44 ^{m³} /s	-8~10列のウロコ状砂州 Ls=100~200m	88 ^{m³} /s	1/800	0.21*	300	0.43	698	205	0.073	0.155	平均年最大流量 1,003 ^{m³} /s 計画流量 4,500 ^{m³} /s n=0.03
12 ^k ~20 ^k	S47.7.19	7月12日 1,597 ^{m³} /s 7月19日 98 ^{m³} /s 7/12~7/19の平均 466 ^{m³} /s 年平均流量 64 ^{m³} /s	-2~8列のウロコ状砂州 Ls=250~500m ・出水時は交互砂州 (ウロコ状砂州が斜め 交互に配列) Ls=750~1,250m	466 ^{m³} /s 1,597 ^{m³} /s	1/800 //	0.21* //	250 250	1.32 2.76	189 90.6	629 1,314	0.127 0.184	0.476 0.996	

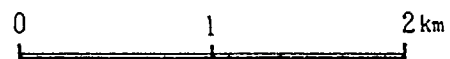
ただし、表中の水理量は昭和40年代前後の調査結果、水深Hは、計画粗度係数nをもとにManningの式から逆算した値、*は80%粒径である。

この中で代表例として、矢作川（0 km～9 km）と斐伊川（10 km～20 km）について図－5.8, 5.9に示す。

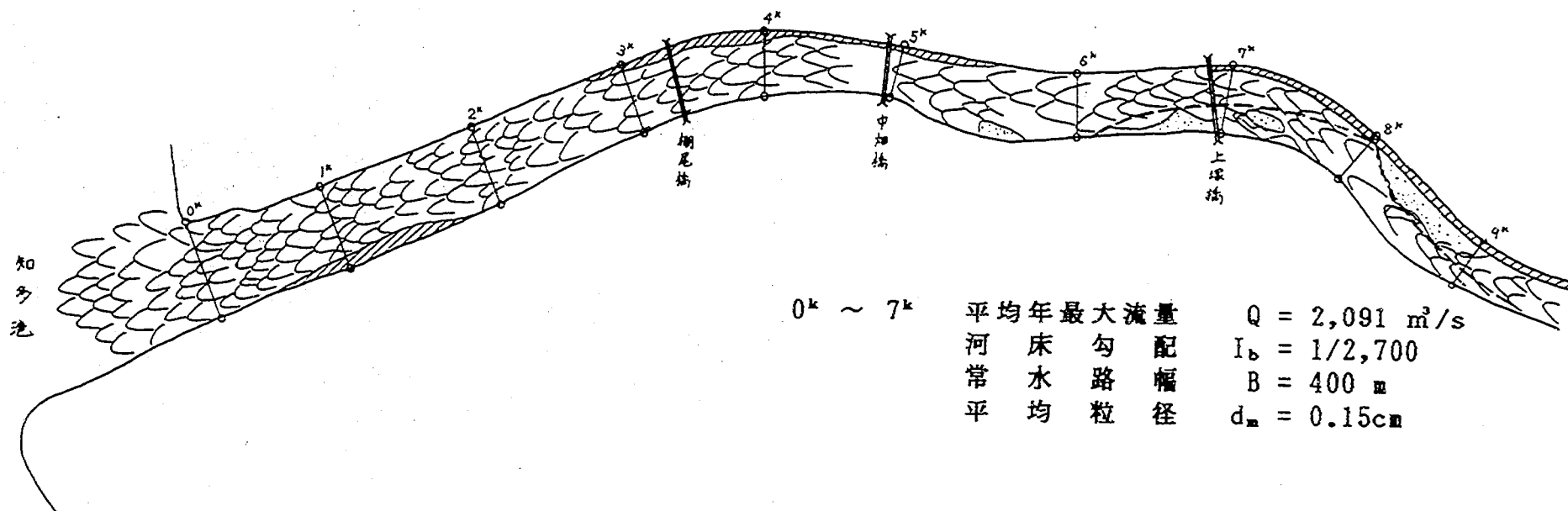
矢作川は、3 kmより上流で4～5列、それより下流において6～8列のウロコ状砂州が発達していることがわかる。また、斐伊川は、平水時（S 45. 8. 27資料）では、8～10列のウロコ状砂州が発達し、洪水直後であるS 47. 7. 19資料では2～6列の砂州が見られ、流量の変化に応じて砂州形態が変化していることを示している。

矢作川

0^k ~ 9^k



昭和 23 年



0^k ~ 7^k

平均年最大流量
河床勾配
常水路幅
平均粒径

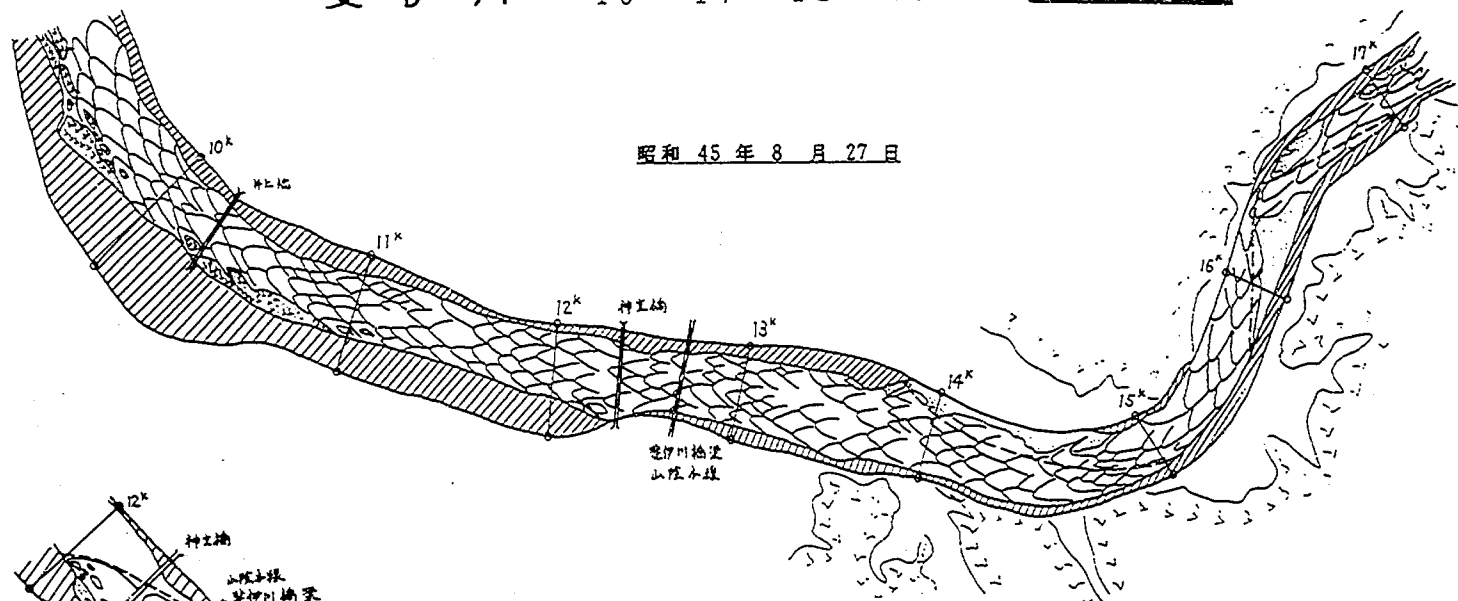
$Q = 2,091 \text{ m}^3/\text{s}$
 $I_b = 1/2,700$
 $B = 400 \text{ m}$
 $d_m = 0.15 \text{ cm}$

図-5.8 矢作川における砂州形態

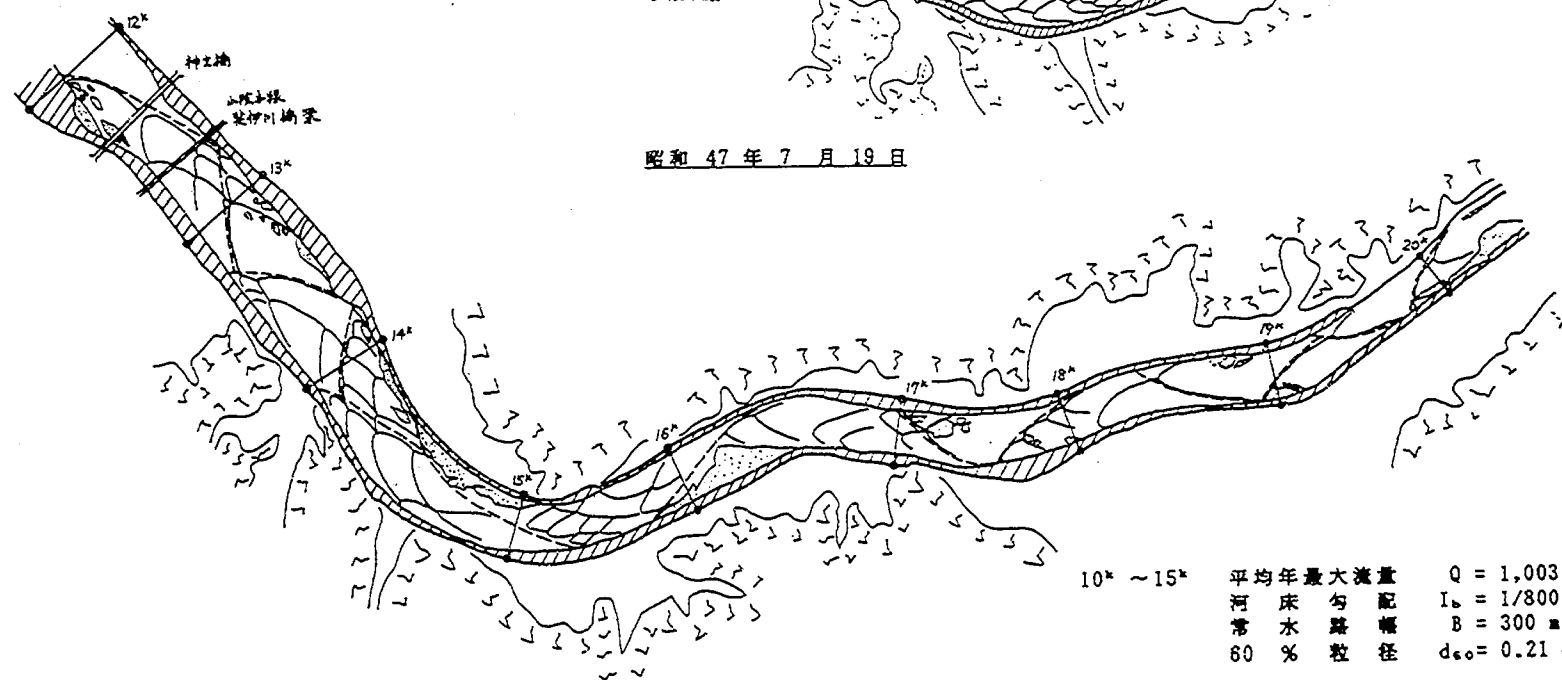
斐伊川

10^k ~ 17^k 12^k ~ 20^k

0 0.5 1km



昭和47年7月19日



10^k ~ 15^k 平均年最大流量 $Q = 1,003 \text{ m}^3/\text{s}$
 河床勾配 $I_b = 1/800$
 常水路幅 $B = 300 \text{ m}$
 60% 粒径 $d_{60} = 0.21 \text{ cm}$

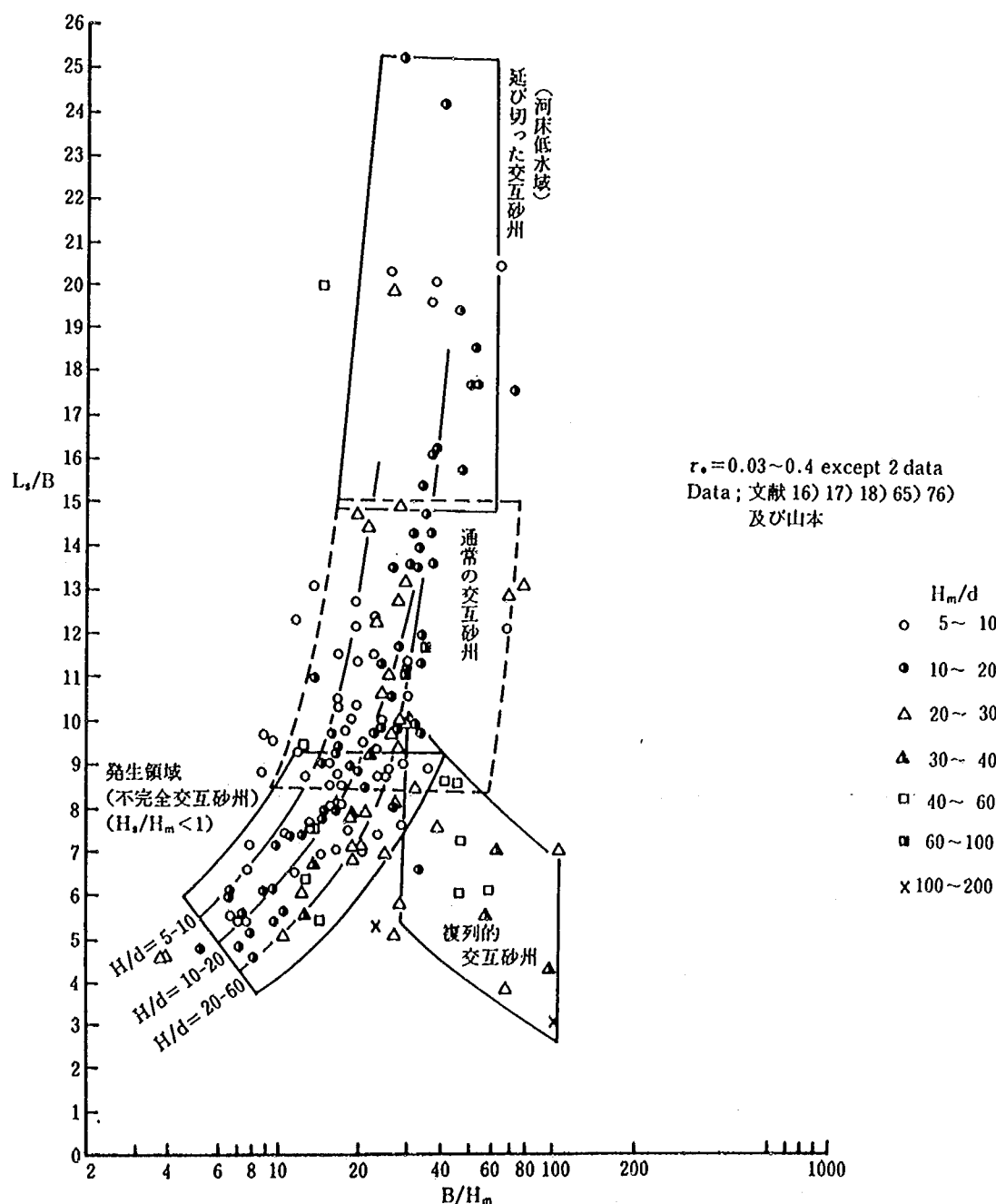
図-5.9 斐伊川における砂州形態

表一 5. 1 に示したような評価によれば、砂河川における砂州形態は $B/H = 30 \sim 700$, $H/d = 200 \sim 10,000$, $\tau_* = 0.5 \sim 2.0$ の範囲で変化し, B/H が 100 以上であれば, ウロコ状砂州を形成するものと考えられる。阿賀野川, 木曽川では川幅が広く, 平均年最大流量時でも B/H が 100 以上であるため, 交互砂州が形成されるのはさらに大きな流量時 (大洪水時) であろう。

5. 2 砂州のスケール

ここでは, 河道がほぼ直線状の場合の砂州のスケールを, 主に水理実験による観測資料を通して検討する。

図一 5. 10 は, 直線水路における交互砂州の川幅 B に対する相対長さ L_s/B が, B/H_m , H_m/d によってどのように変わるかを調べたものである。なお, 資料は 2 点を除いて τ_* が 0.03~0.4 の実験結果で



図一 5. 10 交互砂州の波長 L_s/B と B/H_m の関係

ある。この τ_* の範囲では、 τ_* は L_s/B にほとんど影響を与えないことが τ_* を0.03~0.1, 0.1~0.2, 0.2~0.4ごとに同様な整理を行ってわかっている。これによると L_s/B は、4から25の間で散らばっているが、次のような特性を持っているといえる。

- ① B/H_m が20以下で H_m/d が50以下の場合（C領域），同一の H_m/d に対して B/H_m が小さいほど L_s/B が小さい傾向にある。つまり， B/H_m が交互砂州の発生限界 B/H_m に近いと交互砂州の波長が小さい傾向にある。このような場合には交互砂州の波高 H_s （交互砂州の頂部と谷部の高低差）も小さく流れの蛇行性も弱い。これは，交互砂州の形成実験を行うと，通水初期においては砂州長が短く，それが成長するにつれて長くなる傾向と一致している。
- ② L_s/B が20程度と非常に長い交互砂州が発生することがある（A領域）¹⁷⁾。この場合交互砂州の前縁は不明瞭となりその移動速度は小さい。このような状態は交互砂州が最も伸びきった状態と考えられる。河床低下傾向のところでこのようなことが起こりやすい。

- ③ B/H が40程度の大きになると，つまりその水理量が複列砂州の発生に近いような状態（D領域）では L_s/B が4~8と急に小さくなる。これは交互砂州が図-5.11のように複列的な性格を持つためと考えられる。なお

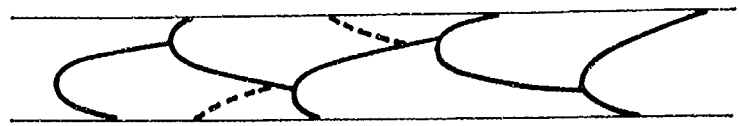


図-5.11 砂州の形状

- 複列砂州の $2L_s/B_s$ （交互砂州の L_s/B に相当）は，実験室および実河川の観測資料とも4~9程度の範囲にあり，交互砂州の L_s/B のように10以上とはならないようである。
- ④ 交互砂州の長さは，その平均的な長さ（川幅の8~14倍）に対して個々の交互砂州は，その1/2から2倍の長さの交互砂州になり得る。あまり砂州長が長くなる（ L_s/B が20程度）と砂州の前縁線部が不明瞭となり，分裂し短くなる（ L_s/B が4程度）と統合してしまうらしい。

次に砂州の垂直方向スケール H_s について論じてみる。図-5.12は交互砂州の平均水深 H に対する無次元垂直スケール H_s/H_m が H_m/B ， H_m/d に対してどのように変わるかを調べたものである。 τ_* が0.03~0.4では， H_s/H_m に対する τ_* の影響がほとんどないことが，砂州長と同様の方法で確かめられている。なお図中の実線は，実験資料を基にして H_s/H_m と B/H_m との関係を H_m/d ごとに示したものであり，破線は推定線である。 H_m/H_s は L_s/B 同様ばらつきが大きい，同図および実河川の資料等より次のことがいえる。

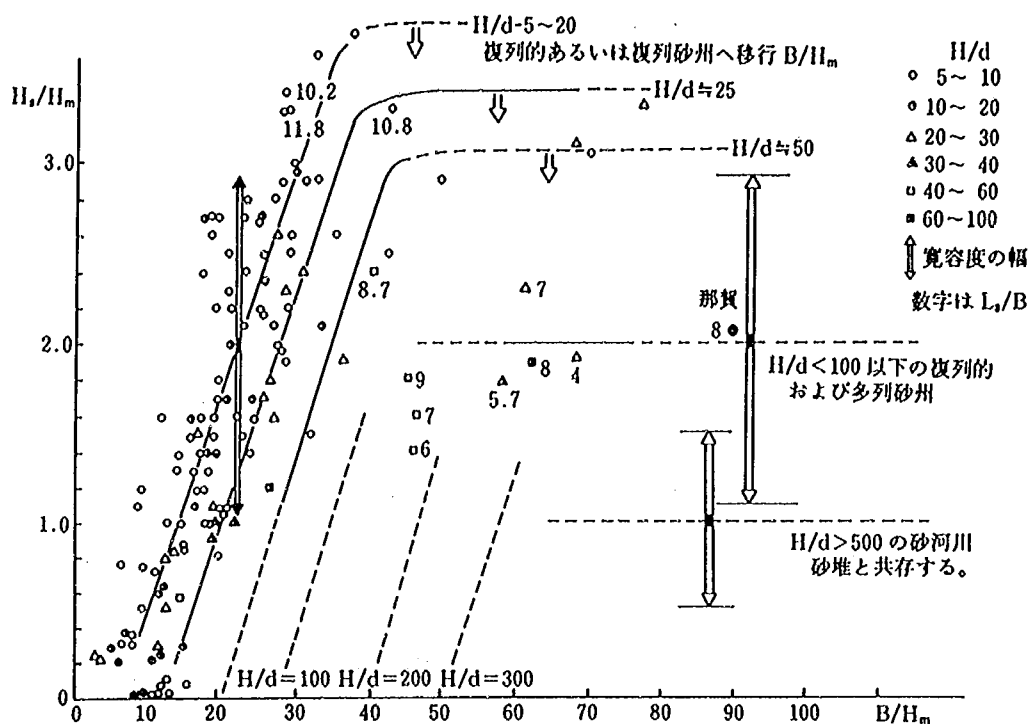


図-5.12 H_s/H_m と B/H_m の関係, 但し τ_* は 0.03~0.4 の範囲 (Data 文献18) 及び山本)

- ① H_m/d が小さいほど B/H_m が小さい値で H_s/H_m が大きい。

また, H_m/d および B/H_m が 30 以下では,

$$H_s/H_m = \alpha + \beta \cdot B/H_m \quad (5-1)$$

の関係がある。ここで, α は H_m/d が小さいほど小さく, β は 0.12 程度である。このことは H_m/d および B/H_m が前述の値以下で交互砂州が発生し, かつ水深が同一の河川間では, 川幅が大きい河川ほど H_s が大きくなることを示している。

- ② 交互砂州の発生限界 B/H_m に近いほど, その垂直スケール H_s/H_m は小さくなる, H_m/d が 100 以上の場合の H_s/H_m は資料が少なく明らかでないが, 交互砂州の発生限界から推定すると, 図-5.12 破線で示す中の推定線上の H_s/H_m となろう。

- ③ H_s/H_m の値には限界があり, 複列砂州の条件に入る B/H_m より多少小さい B/H_m で H_s/H_m が最大となるようである。 H_m/d が 5~10 では, H_s/H_m の最大値は 3.6 程度, H_m/d が 20~30 では 3.2 程度である。

B/H_m が複列の条件に近づくと交互砂州の形状が図-5.11 に示すごとく複列の形態と似たものとなり L_s/B が 6~8 と半減し, H_s も同様に急減し, H_m/d が 100 以下で小規模河床波が発生しない条件では H_s/H_m は 2 前後の値となる。

なお, 直線水路で多少複列的性格を持つ交互砂州の発生している那賀川 4~9 km の砂州高 7~8 m が

平均年最大流量程度の水理量 ($B/H_m=87$, $H_m/d=110$, $\tau_*=0.1$, $B=300\text{m}$, $d_m=3\text{cm}$) で生じたとすると H_s/H_m が 2 前後となる。図-5.12 に●印でプロットされたように、ほぼ推定値と近いところにある。

- ④ 最深部の生じるところの横断面の平均河床は実験結果を整理した結果によると最深部から H_s の 7 ～ 8 割程度のところにある。なお阿部等¹⁹⁾ も実験結果の整理より同様な結論を得ている。実験は H_m/d が 15 以下で行われているので、この実験範囲を越える H_m/d での状態を外挿的に類推することには多少問題が残るが砂州上に小規模河床波が発生しないような水深条件では、最深部の水深 H_{max} は

$$H_{max}/H_m \approx 1 + 0.8 \frac{H_s}{H_m} \quad (5-2)$$

で評価される程度の値になると推測される。

- ⑤ H_m/d が大きい場合の H_s/H_m は、資料がなく明確なことはいえないが、 B/H_m が十分に大きくて多列砂州の発生する実河川の H_s を音響測深機による河床高の調査結果から評価すると、 H_s/H_m が 1 程度であるようである。例えば 1971 年 7 月 24 日、斐伊川での中出水 ($d_m=2\text{mm}$ 前後、水深 1 m 前後、勾配 1/800 程度) に対して観測された河床形状を見ると、砂堆と砂州が共存し、砂州の H_s は水深程度のスケールとなっている。また、1980 年 3 月 27 日および 4 月 25 日阿賀野川 1 ～ 4 km 区間 ($d_m=0.6\text{mm}$) で、筆者等が行った音響測深機による河床波の観測によると、 H_s が 3 m 程度の砂州が存在することが確認し得た。4 月 7 日に融雪出水のピークが $2,170\text{m}^3/\text{s}$ であり、その時の H_m は 3 m 程度であるので、 H_s/H_m が 1 程度の値となっている。さらに Brahmaputra 川の砂州と思われる河床波の垂直スケール²⁾ も水深程度の規模を持っている。

なお、Simon, D.B. 等¹⁷⁾ は、砂河川における砂州の垂直スケールは、 B/H_m が 100 以上なら H_s/H_m が 1 程度であるとしている。

- ⑥ B/H , τ_* および H_m/d が同一の値を持つ条件においても、波長 L_s 同様、 H_s も平均的な高さに対して、個々の交互砂州の波高 H_s は 0.5 から 1.5 倍の波高になり得ると思われる。 B/H が 20 の場合、 H/d が 5 ～ 30 の H_s/H_m が 0.8 ～ 2.8 の間に実測資料が散らばっていることから理解し得る。

多列砂州の場合も、交互砂州同様、その垂直スケール H_s は図-5.12 に示した寛容度の幅として示された範囲に観測資料はバラツクものと推定される。

5.3 砂州が流れの抵抗および流砂量に及ぼす影響

ここでは砂州が発生した場合、第 2 章で述べた砂州の発生しない移動床流れの水理現象にどのような影響を与えるかを述べる。

粒径 d が 0.6mm 以上で B/H_m が 20 以下の場合 (すなわち H_m/d , τ_* が小さい場合) には、交互砂州の発生は、砂堆の発生を妨げるが、 B/H_m が 30 ～ 50 になると H_m/d が 100 前後で、小規模河床波と共存し、河床の一部に砂堆、砂漣が発生する。なお、粒径が 0.4mm 以下では、より小さい H_m/d でも小規模河床波

と共存する。

砂州が流砂量、流れの抵抗に及ぼす影響は、実験資料の精度もあってはっきりしないが、エネルギー勾配を二断面間のエネルギーの差を距離で割って評価した場合、 $\tau_m = 0.01 \sim 0.3$, $H_m/d = 5 \sim 40$ の範囲では、交互砂州を持つ場合の ψ の値は、交互砂州を持たない平坦河床に比較して、10～15%小さく、また流砂量も小さい。この原因としては、主流が蛇行して、実質的な流下距離が増加すること、また中規模河床波の存在による形状損失が生じるためと思われる。

今、図-5.13のように L_s を砂州をボトム（谷）からボトムまでの平均の長さ、 L_{s1} をクレスト（頂）からボトムまでの平均の長さとし、この形状による損失を評価してみる。砂州による形状損失係数を f_F 、表面摩擦損失係数（小規模河床波による損失を含む。これは砂州が存在しない場合の流れの損失係数に等しい。）を f_s とすると、

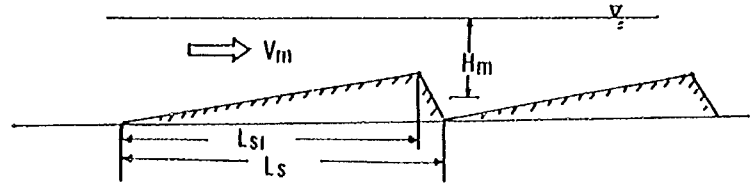


図-5.13 記号の定義

$$I_c = \frac{f_F}{8} \frac{1}{L_s} \frac{V_m^2}{g} + \frac{f_s}{8} \frac{1}{H_m} C \frac{V_m^2}{g} \quad (5-3)$$

である。 $C = L_{s1}/L_s$, $\psi_s^2 = 8/f_s$, $\psi_f^2 = \frac{8}{f_F} \frac{L_s}{H_m}$, $\psi = \frac{V_m}{u_*}$ とすると(5-3)式は

$$\frac{1}{\psi^2} = \left(\frac{1}{\psi_f^2} + C \frac{1}{\psi_s^2} \right) \quad (5-4)$$

となる。ここで ψ_s は砂州が存在しない場合の流速係数、 ψ_f は砂州の形状損失のみによって生じる流速係数、 ψ は砂州が存在する場合の流速係数と定義される。

砂州の L_s は交互砂州の場合4B、多列砂州の場合150 H_m 程度であり、 $C \approx 1$, $f < 0.5$ と考えられるので $B/H_m = 30$ の場合には、 $\psi_f \geq 44$ 、多列砂州の場合には $\psi_f \geq 48$ となる。 $\psi_s = 14$, $f_F = 0.5$ の場合には、(5-4)式を用いて評価すると ψ は ψ_s より4%程度小さくなる。一般には砂州の存在による ψ への影響はそれほど考える必要はないと思われるが、十分な砂州（ここでは H_s/H_m が1.5以上を十分な砂州と定義しておく）が発生する場合（ただし $\tau_* = 0.04 \sim 0.3$, $H_m/d = 5 \sim 40$ の範囲）は、交互砂州の発生しない場合の ψ に0.9位を乗じておけば良いと思われる。

なお、十分な砂州が存在する場合の流砂量（ただし $\tau_* = 0.04 \sim 0.3$, $H_m/d = 5 \sim 40$ の範囲）は、エネルギー勾配を二断面間の距離で割った場合の u_* に0.9程度を乗じた値程度を有効摩擦速度として、流砂量を評価すれば良いと思われる。

<参考文献>

- 1) 山本晃一；河道特性論，土木研究所資料第2662号，pp.232-252,1988.
- 2) Coleman,J.M.;Brahmaputra River:Channel processes and sedimentation,Sedimentary Geology 3,pp.129-239,1969.
- 3) Fahnestock,R.K. and Maddock, T.Jr.; Preliminary report on bed forms and flow phenomena in the Rio Grande near El Paso, Texas., U.S.Geological Survey Professional Paper 501-B pp.140-142,1964.
- 4) Hubbell,D.W. and Matejka,D.Q.; Investigation of sediment transportation, Middle Loup River at Dunning,Nebraska,U.S.Geological Survey Water-Supply Paper 1076,1959.
- 5) Nedeco;River studies,Niger and Benue,North-Holl and Publishing Company,549pp.,1965.
- 6) 山本晃一；相似律の観点から見た移動床流れの水理〔I〕，〔II〕，土木研究所資料第1059号，pp.10-20,第1154号,pp.16-18,1975 and 1976.
- 7) 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，土木研究所資料第1416号，pp.18-151,1978.
- 8) 阿部宗平，上原信司；蛇尾川流路工計画，土木研究所資料第1246号，1977.
- 9) 山本晃一，林 敏夫，野積 尚；手取川河口処理に関する水理的検討，土木研究所資料第1069号，1975.
- 10) 馬場洋二，深見親雄，坂野 章；水理模型実験による斐伊川分流計画の検討，土木研究所資料第1447号，1979.
- 11) 馬場洋二，深見親雄，小川良一；信濃川小千谷地区低水路計画に関する検討(その2)，土木研究所資料第1446号，1979.
- 12) 馬場洋二，葛西敏彦；富山空港の拡張に伴う神通川河道計画模型実験，土木研究所資料第1379号，1978.
- 13) 深見親雄；砂礫堆と砂漣・砂堆の共存，土木技術資料Vol. 21-10, pp.27-32, 1979.
- 14) 池田 宏；実験水路における砂礫堆とその形成条件，地理学評論46-7, pp.435-451, 1973.
- 15) 鮎川 登；実験水路における交互砂州(砂れき堆)の形成条件，土木学会論文報告集第207号，pp.47-50, 1972.
- 16) 山本晃一，高橋晃，佐藤英治；河道平面形状と砂州の関係に関する調査—河道平面計画論のために—，土木研究所資料第2806号，pp.312-368, 1989.
- 17) 阿部宗平，鈴木浩之；流路工計画の横工に関する実験的考察，土木技術資料Vol. 25-1, 1983.
- 18) Simmons,D.B.; River and canal morphology, River MechanicsII eclited by Shen, pp.20-5,1971.

第6章 全体のまとめ

粗砂・細礫を河床材料に持つ河川には、上流が花崗岩の風化物であるマサ土地帯を流下する河川、および上流の砂利河川から砂河川への移行河道区間で多い。このような河床材料を持つ河川では、洪水時の河床は砂堆であり、 $\psi = 8 \sim 11$ 前後と考えて良い。ただし、100年に1回生じるような大出水時には τ_{*m} が1.5～2程度となる場合があり、河床が平坦になることもあると考えられる。したがってこのような河床材料を持つ河川では、河道計画に際して低水路河床形態の変化、つまり低水路粗度の洪水中の変化を考慮しなければならない。

しかし、河床波は掃流力の変化に伴って瞬時にその形態を変化させるわけではなく、ある程度の移行時間を有する。この移行時期は洪水波形（ハイドロ）や平面形や B/H の影響で現地河川に発生する砂州等によって変化するものであり一概に決まらない。したがって、河床形態の変化を考慮した河道計画を立案する際にはある程度幅を持ったものとせざるを得ない。これらをより厳密にかつ確実に予測するためには、現地調査により、より多くのデータを蓄積することが重要である。流量観測および痕跡水位をより精密に観測することにより粗度の変化を把握することができることから、現地におけるデータの収集がより一層充実することが望まれる。

6.1 実河川への適用性と利用法

第3章で述べた粗砂を用いた大規模な二次元実験の結果より、河床形態の変化時期に及ぼす Re_* の影響は小さく、既往の実験室での実験結果とよく一致した。また、現地河川の観測結果についても、変動速度が実験結果に比べて鈍いことを考慮すれば、既往の実験室での結果を用いて良いと考えられる。しかしながら、第2章で述べた結果は、全ての河川に適用可能なわけではなく、第2章で述べた流速係数 ψ および無次元流砂量 q_s/u_*d と τ_* 、 H/d との関係図を利用するにあたっては、適用条件をしっかりと踏まえておかなければならない。以下に関係図の適用条件について記す。

- ① 本関係図は、ほぼ均一な粒径からなる移動床の水理の予測に使用し得る。ほぼ均一な粒径とは、底質材料の d_{84}/d_{16} が5以下の場合であり、また流砂量は底質材料の主モード(A集団)の流砂量の評価のみに使える。
- ② 関係図で示されていない H/d 、 τ_* の領域の ψ 、 q_s/u_*d は、実測資料がなく、また資料のあるところから類推によってこれを評価するには、まだ十分に移動床の水理現象が把握されていない領域である。ただし河川で生じる水理量は本研究所でほぼカバーし得ていることを記しておく。
- ③ 本関係図は、定常流の状態での移動床の水理について述べたものであるが、実河川の洪水時の流れは定常流ではない。水理量の変化に対する河床波の追従性については、まだよくわからないことが多いので、本成果を使って実河川の ψ 、 q_s を評価する場合には、対象河川の洪水時の水理量をなるべく多く集め、それらの解析を通してどのような現象が生じているのか、また本研究成果との違いがあるのかどうかを把握しておくことが望ましい。
- ④ Lower regimeからUpper regimeに変化する時の τ_{*c} は、ある幅を持っている。特に実河川の場合

は、 B/H が大きく河床に中規模河床波が発生するので水深等が横断方向に異なり、また流れも三次元的になるので、平均の水深 H_m を水深の代表とすると、移行時の τ_{*f} の幅は大きめになる。実河川では、この変動の幅を本報告で示した τ_{*f} の20%位と考えておいた方がよい。

- ⑤ H/d が2,000以上のUpper regimeにおける流砂量は、実証的な資料を使って示したものではない。そういう意味で、 H/d が2,000以下の場合の流砂量の評価曲線より精度が悪い。このことに注意を払っておく必要がある。

6.2 中規模河床波の変化特性

砂河川 ($d_m < 0.2\text{cm}$)において見られる砂州は、流量の変化に伴いその形態を変化させる。平水時、 B/H が100以上であれば、水面下にウロコ状砂州が形成される。

このウロコ状砂州は、出水時、流量の増大することにより B/H が100以下になれば、交互砂州へと移行する。この移行は、蛇行している場合にポイントバーが湾曲凸岸に形成されていること、あるいは出水後のウロコ状砂州が斜め交互に配列していることから十分に推察されよう。

お わ り に

本報告書において解析された、実験および現地観測データのみでは、一般論とするにはあまりにも少ないデータ数であるため、本研究の成果だけで河床形態の変化過程を予測することはできない。そのため今後とも基礎実験および現地観測データを集めて行くことが重要である。しかしながら、本研究により小規模河床形態の変化が粗度係数に与える影響がかなり大きいことを認識していただけたものと思っている。分流を伴うような河道計画を立案する場合には、これらの要素を十分に考慮して計画を策定する必要がある。

本研究をまとめるにあたり、河川研究室の皆様には様々な助言をいただいた。とくに高橋晃主任研究員には、実験および解析に際して適切なアドバイスをいただき、本研究を進めていくうえで大いに励みとなった。また、実験データの整理や図面のトレースに当っては、腹部由美子さんの助力を受けた。ここに記して深く感謝するものである。

1991年3月

付 録

付表-1.1(1) 縦断河床高測定結果 (Case-1)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
0.000	0.010	7.035	0.005	13.260	0.001	18.080	0.034	23.270	0.018
0.425	0.023	7.135	0.013	13.390	0.002	18.440	0.010	23.295	0.034
0.820	0.010	7.405	0.005	13.450	0.028	18.540	0.009	23.390	0.032
0.840	0.023	7.460	0.018	13.600	0.023	18.570	0.028	23.695	0.019
1.000	0.013	7.600	0.019	13.790	0.008	18.730	0.023	23.720	0.037
1.500	0.003	8.000	0.003	14.000	-0.002	18.990	0.013	23.830	0.040
1.790	-0.007	8.210	0.003	14.060	-0.001	19.140	0.014	24.000	0.032
1.820	0.013	8.255	0.029	14.115	0.023	19.180	0.034	24.300	0.021
2.000	0.010	8.385	0.028	14.340	0.009	19.310	0.039	24.425	0.023
2.500	0.003	8.675	0.012	14.555	-0.003	19.620	0.025	24.465	0.048
2.630	-0.001	8.875	-0.003	14.585	0.012	19.810	0.009	24.650	0.052
2.655	0.016	8.970	0.001	14.720	0.009	19.880	0.011	24.950	0.040
3.000	0.012	9.025	0.009	14.835	0.011	19.925	0.038	25.010	0.061
3.500	-0.012	9.075	0.032	14.870	0.020	20.000	0.040	25.150	0.060
3.600	-0.010	9.335	0.029	15.030	0.020	20.125	0.043	25.520	0.041
3.630	0.017	10.000	-0.005	15.480	-0.007	20.490	0.020	25.590	0.065
4.000	0.010	10.065	-0.006	15.620	-0.013	20.515	0.024	25.750	0.067
4.265	-0.003	10.135	0.034	15.765	-0.012	20.620	0.031	26.000	0.062
4.285	0.000	10.360	0.032	15.860	0.030	20.920	0.033	26.250	0.044
4.500	-0.006	10.660	0.012	16.000	0.028	20.990	0.064	26.355	0.046
4.575	-0.008	10.900	-0.005	16.115	0.029	21.130	0.060	26.410	0.073
4.610	0.007	11.030	-0.004	16.575	-0.002	21.340	0.044	26.590	0.069
5.000	0.001	11.115	0.030	16.750	-0.004	21.530	0.034	26.950	0.065
5.165	0.002	11.315	0.029	16.790	0.025	21.565	0.055	27.060	0.060
5.185	0.006	11.390	0.022	16.950	0.024	21.720	0.056	27.170	0.056
5.500	0.001	11.855	-0.007	17.230	0.008	22.000	0.036	27.230	0.087
5.870	-0.009	11.915	0.020	17.325	0.010	22.250	0.021	27.390	0.076
5.910	0.012	12.000	0.021	17.360	0.033	22.320	0.021	27.570	0.052
6.000	0.010	12.100	0.022	17.490	0.032	22.380	0.050	27.700	0.017
6.450	0.003	12.480	-0.001	17.790	0.012	22.520	0.044	27.745	0.025
6.490	0.017	12.670	-0.005	17.925	0.012	22.760	0.024	27.800	0.053
6.710	0.018	12.705	0.019	17.960	0.031	22.775	0.035	28.000	0.053
7.030	0.000	12.885	0.019	18.000	0.027	22.950	0.029	28.330	0.033

※ L:縦断距離, Z:河床高

附表-1.1(2) 縱斷河床高測定結果 (Case-1)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
28.445	0.027	34.000	0.017	39.720	0.036	45.040	0.040		
28.580	0.030	34.070	0.014	40.000	0.027	45.320	0.022		
28.630	0.067	34.110	0.047	40.120	0.030	45.390	0.025		
28.740	0.062	34.720	0.014	40.185	0.069	45.440	0.060		
29.050	0.035	34.755	0.035	40.400	0.063	45.670	0.056		
29.250	0.030	34.970	0.023	40.890	0.021	46.000	0.038		
29.295	0.052	35.140	0.015	41.000	0.027	46.160	0.026		
29.460	0.047	35.170	0.030	41.050	0.064	46.195	0.056		
29.700	0.026	35.470	0.024	41.155	0.063	46.410	0.052		
30.000	0.009	35.740	0.024	41.500	0.030	46.810	0.029		
30.150	0.031	35.790	0.051	41.570	0.031	46.950	0.030		
30.410	0.012	36.000	0.044	41.625	0.063	47.005	0.057		
30.530	0.010	36.290	0.029	41.840	0.064	47.160	0.057		
30.560	0.023	36.310	0.046	42.000	0.058	47.280	0.048		
30.675	0.021	36.420	0.048	42.325	0.031	47.650	0.016		
30.820	0.015	36.725	0.032	42.420	0.034	47.710	0.014		
30.910	0.018	36.850	0.031	42.470	0.065	47.810	0.036		
30.940	0.037	36.890	0.056	42.620	0.060	48.000	0.032		
31.120	0.039	37.000	0.057	42.960	0.026	48.350	0.019		
31.390	0.021	37.400	0.045	43.020	0.028	48.415	0.022		
31.620	0.013	37.610	0.043	43.090	0.056	48.480	0.064		
31.700	0.014	37.675	0.080	43.230	0.046	48.620	0.059		
31.755	0.051	37.830	0.076	43.560	0.012	48.970	0.032		
31.880	0.052	38.000	0.065	43.610	0.013	49.140	0.025		
32.000	0.045	38.250	0.042	43.655	0.039	49.230	0.027		
32.330	0.021	38.445	0.034	43.750	0.035	49.280	0.059		
32.450	0.013	38.495	0.060	44.000	0.010	49.590	0.061		
32.485	0.037	38.650	0.062	44.060	0.007	49.770	0.048		
32.660	0.041	38.870	0.050	44.120	0.031	50.000	0.026		
33.020	0.022	39.170	0.023	44.230	0.035				
33.190	0.022	39.215	0.025	44.500	0.031				
33.265	0.060	39.250	0.046	44.535	0.054				
33.470	0.054	39.410	0.054	44.720	0.056				

※ L:縱斷距離, Z:河床高

付表-1.2(1) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO. 0		NO. 2		NO. 4		NO. 6		NO. 8		NO. 10		NO. 12		NO. 14		NO. 16	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	-0.019	0.000	-0.010	0.000	-0.002	0.000	-0.005	0.000	-0.004	0.000	-0.010	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.014
2	0.370	-0.003	0.500	0.000	0.500	-0.010	0.500	-0.006	0.110	-0.029	0.195	-0.024	0.300	-0.004	0.080	-0.008	0.080	-0.008
3	0.410	-0.011	1.000	0.002	1.000	-0.006	1.000	0.004	0.210	-0.012	0.255	-0.010	0.850	-0.006	0.210	-0.011	0.500	-0.003
4	0.830	-0.010	1.380	0.000	1.500	0.009	1.135	0.000	0.340	-0.017	0.300	-0.017	0.710	0.003	0.500	-0.004	0.840	-0.010
5	0.870	0.007	1.410	0.013	2.000	0.010	1.150	-0.009	0.380	0.005	0.555	-0.015	0.770	-0.007	1.000	-0.012	0.870	0.001
6	1.000	0.010	1.500	0.014	2.340	-0.002	1.500	0.009	0.500	0.016	0.820	0.013	1.000	-0.017	1.500	-0.010	1.000	-0.002
7	1.500	0.009	2.000	0.010	2.360	0.005	1.625	0.015	0.810	0.006	1.000	0.014	1.460	0.000	2.000	-0.002	1.500	-0.002
8	2.000	0.007	3.000	0.010	2.500	0.017	2.000	0.010	0.850	0.033	1.140	0.005	1.540	0.012	2.500	0.012	1.710	0.002
9	2.125	0.007	3.500	0.005	2.780	0.014	2.500	0.000	0.890	0.017	1.210	-0.003	2.000	0.021	3.000	0.028	1.770	0.014
10	2.170	-0.018	4.000	-0.005	2.815	-0.004	3.000	0.011	1.000	0.012	1.370	0.001	2.500	0.026	3.500	0.019	2.000	0.028
11	2.245	-0.018			3.000	0.002	3.245	0.003	1.500	0.011	1.530	0.004	2.630	0.022	3.580	0.018	2.500	0.021
12	2.290	0.006			3.500	0.005	3.300	-0.013	2.000	0.003	1.620	-0.003	2.800	0.003	3.680	0.004	3.000	0.018
13	2.500	0.008			3.835	-0.001	3.500	-0.029	2.270	-0.003	2.000	-0.005	3.000	0.002	3.790	0.006	3.500	-0.092
14	3.000	0.001			3.870	-0.011	4.000	-0.008	2.275	0.011	2.225	-0.010	3.500	0.003	3.880	-0.013	4.000	0.014
15	3.625	-0.009			4.000	0.004			2.500	0.007	2.275	0.003	3.570	0.000	3.940	0.000		
16	3.635	-0.023							3.000	-0.004	2.360	0.015	3.700	0.009	4.000	0.012		
17	4.000	-0.008							3.500	-0.009	2.500	0.019	3.780	0.004				
18									4.000	-0.003	3.000	0.022	4.000	0.005				
19											3.120	0.025						
20											3.230	-0.002						
21											3.420	-0.010						
22											3.570	0.008						
23											3.840	0.005						
24											3.900	-0.005						
25											4.000	0.005						
平均河床高		-0.001		0.005		0.002		-0.001		0.002		0.002		0.005		0.003		-0.004
最高河床高		0.010		0.014		0.017		0.015		0.033		0.025		0.026		0.028		0.028
最深河床高		-0.023		-0.010		-0.011		-0.029		-0.029		-0.024		-0.017		-0.013		-0.092

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-1.2(2) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.18		NO.20		NO.22		NO.24		NO.26		NO.28		NO.30		NO.32		NO.34	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.003	0.000	0.008	0.000	0.019	0.000	0.013	0.000	0.014	0.000	0.084	0.000	0.013	0.000	0.019	0.000	0.010
2	0.080	-0.008	0.080	-0.005	0.500	0.024	0.150	0.002	0.090	-0.005	0.050	0.075	0.150	-0.003	0.120	0.006	0.140	0.012
3	0.500	0.000	0.500	0.008	0.790	0.020	0.500	0.014	0.170	0.002	0.080	0.088	0.160	0.007	0.185	0.007	0.500	0.024
4	0.680	-0.009	1.000	-0.003	0.820	0.009	1.000	0.038	0.260	-0.001	0.140	0.002	0.500	-0.006	0.260	0.009	1.000	0.032
5	0.980	-0.008	1.500	0.000	1.000	0.008	1.500	0.035	0.340	-0.012	0.380	0.007	1.000	0.001	0.500	0.012	1.260	0.028
6	1.040	0.009	1.720	0.028	1.500	0.018	2.000	0.030	0.420	0.019	0.500	0.012	1.120	0.005	0.600	0.011	1.320	0.010
7	1.300	0.003	1.940	0.031	2.000	0.033	2.500	0.031	0.500	0.049	1.000	0.020	1.160	0.018	0.740	0.017	1.500	0.002
8	1.500	0.003	2.000	0.037	2.320	0.037	2.730	0.032	1.000	0.058	1.160	0.026	1.180	0.007	1.000	0.012	2.000	0.014
9	1.820	0.006	2.300	0.051	2.500	0.027	3.000	0.039	1.500	0.057	1.400	0.022	1.300	-0.002	1.500	0.018	2.380	0.018
10	1.860	0.023	2.500	0.047	2.600	0.017	3.500	0.026	2.000	0.058	1.420	0.037	1.360	0.002	2.000	0.041	2.500	0.011
11	2.000	0.024	3.000	0.039	3.000	0.026	3.890	0.011	2.100	0.062	1.710	0.051	1.400	-0.002	2.500	0.051	3.000	0.018
12	2.500	0.025	3.190	0.028	3.500	0.012	3.960	-0.004	2.500	0.051	1.880	0.047	1.500	-0.003	2.775	0.042	3.330	0.011
13	3.000	0.027	3.240	0.012	3.800	0.007	4.000	0.008	3.000	0.045	2.000	0.051	2.000	0.006	2.810	0.012	3.410	0.014
14	3.110	0.016	3.700	0.000	3.900	-0.016			3.500	0.042	2.100	0.054	2.050	0.018	3.000	0.010	3.470	0.002
15	3.160	-0.004	3.710	0.007	4.000	0.005			4.000	0.023	2.340	0.078	2.500	0.041	3.100	0.013	3.500	0.004
16	3.260	-0.004	3.750	0.019							2.500	0.083	2.770	0.042	3.270	0.006	3.550	0.019
17	3.720	0.003	4.000	0.019							2.870	0.058	2.820	0.012	3.400	0.015	3.700	0.032
18	4.000	0.004									3.000	0.034	3.000	0.001	3.500	0.012	3.750	0.016
19											3.140	0.024	3.070	-0.006	3.920	0.007	4.000	0.014
20											3.240	0.017	3.350	0.010	4.000	0.019		
21											3.500	0.026	3.500	0.012				
22											3.540	0.027	3.710	0.013				
23											3.710	0.036	3.840	0.007				
24											3.750	0.033	3.920	-0.004				
25											4.000	0.032	4.000	0.012				
平均河床高		0.011		0.021		0.022		0.029		0.048		0.039		0.012		0.025		0.020
最高河床高		0.027		0.051		0.037		0.039		0.062		0.088		0.042		0.051		0.032
最深河床高		-0.009		-0.005		-0.016		-0.004		-0.012		0.002		-0.006		0.006		0.002

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-1.2(3) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.36		NO.38		NO.40		NO.42		NO.44		NO.46		NO.48		NO.50			
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.031	0.000	0.037	0.000	0.051	0.000	0.046	0.000	0.035	0.000	0.034	0.000	0.015	0.000	0.025		
2	0.080	0.014	0.030	0.026	0.110	0.046	0.120	0.032	0.220	0.042	0.300	0.028	0.140	0.005	0.010	0.013		
3	0.190	0.022	0.300	0.031	0.400	0.041	0.320	0.039	0.320	0.037	0.500	0.032	0.400	0.009	0.400	0.016		
4	0.220	0.021	0.695	0.052	0.570	0.027	0.500	0.035	0.500	0.026	1.000	0.028	0.650	0.011	0.720	0.019		
5	0.500	0.018	0.735	0.026	0.720	0.022	0.700	0.037	0.920	0.020	1.500	0.026	0.710	0.024	0.840	0.001		
6	1.000	0.016	0.810	0.024	0.700	0.047	1.050	0.034	1.050	-0.008	1.850	0.024	0.810	0.027	0.920	0.024		
7	1.060	0.016	0.880	0.011	0.845	0.031	1.200	0.023	1.140	0.012	2.000	0.032	0.880	0.009	1.000	0.023		
8	1.160	0.012	0.930	0.014	1.080	0.046	1.330	0.011	1.500	0.016	2.580	0.026	1.070	0.014	1.490	0.016		
9	1.250	0.018	1.000	0.023	1.170	0.050	1.420	0.037	1.590	0.043	2.760	0.038	1.160	0.024	1.590	0.042		
10	1.350	0.033	1.090	0.033	1.230	0.040	1.620	0.033	1.850	0.028	2.870	0.035	1.275	0.021	1.750	0.030		
11	1.500	0.042	1.500	0.038	1.380	0.032	1.720	0.058	2.000	0.004	2.940	0.026	1.330	0.001	2.000	0.019		
12	2.000	0.041	2.000	0.059	1.470	0.023	2.000	0.054	2.060	0.000	3.000	0.027	1.450	-0.018	2.500	0.033		
13	2.500	0.035	2.200	0.057	1.540	0.027	2.280	0.047	2.500	0.014	3.500	0.027	1.530	-0.003	2.760	0.042		
14	2.610	0.033	2.390	0.067	1.600	0.015	2.480	0.037	3.000	0.040	3.870	0.019	1.620	0.007	2.830	0.052		
15	2.920	0.063	2.450	0.021	1.780	0.028	2.600	0.021	3.500	0.052	3.920	0.011	1.690	0.033	2.940	0.018		
16	3.000	0.064	2.560	0.026	2.000	0.022	2.710	0.032	3.620	0.060	4.000	0.013	2.000	0.028	3.070	0.037		
17	3.500	0.051	2.720	0.008	2.150	0.013	3.000	0.027	3.750	0.045			2.500	0.033	3.380	0.052		
18	3.660	0.041	2.810	0.016	2.530	0.018	3.500	0.033	3.840	-0.013			2.970	0.043	3.390	0.031		
19	3.730	0.015	3.000	0.031	2.570	0.031	3.620	0.026	3.870	-0.010			3.030	0.013	3.500	0.031		
20	3.940	0.002	3.060	0.021	2.980	0.021	3.850	0.023	3.930	-0.009			3.360	0.014	4.000	0.019		
21	4.000	0.013	3.500	0.033	3.150	0.030	3.910	0.015	4.000	0.011			3.525	-0.007				
22			3.800	0.030	3.500	0.041	4.000	0.036					3.560	0.003				
23			3.930	0.018	3.700	0.046							3.640	0.038				
24			4.000	0.030	3.900	0.032							3.900	0.052				
25					4.000	-0.003							4.000	0.043				
平均河床高		0.037		0.040		0.036		0.039		0.031		0.034		0.025		0.033		
最高河床高		0.064		0.067		0.051		0.058		0.060		0.038		0.052		0.052		
最深河床高		0.002		0.008		-0.003		0.011		-0.013		0.011		-0.018		0.001		

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-2.1(1) 縦断河床高測定結果 (Case-2)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
0.000	-0.009	5.200	0.029	10.000	-0.076	16.360	0.059	21.700	0.066
0.200	-0.012	5.400	-0.003	10.160	-0.139	16.620	-0.009	21.860	0.048
0.400	-0.014	5.560	-0.038	10.440	-0.249	16.960	-0.093	22.000	0.055
0.600	-0.027	5.700	-0.066	10.590	-0.271	17.210	-0.143	22.100	0.073
0.800	-0.028	5.800	-0.086	10.670	-0.260	17.320	-0.159	22.270	0.144
1.000	-0.020	5.900	-0.113	11.030	-0.070	17.540	-0.122	22.400	0.191
1.080	0.008	6.000	-0.125	11.340	0.109	17.680	-0.098	22.470	0.220
1.230	0.090	6.100	-0.111	11.820	0.056	17.780	-0.086	22.500	0.219
1.400	0.100	6.200	-0.087	12.000	0.018	17.880	-0.031	22.700	0.199
1.600	0.100	6.340	-0.047	12.160	-0.030	18.000	0.019	23.000	0.173
1.800	0.094	6.540	0.070	12.510	-0.106	18.100	0.061	23.300	0.142
1.950	0.080	6.700	0.081	12.580	-0.110	18.280	0.067	23.530	0.110
2.000	0.090	6.900	0.068	12.720	-0.096	18.320	0.083	23.700	0.081
2.100	0.086	7.000	0.057	12.820	-0.049	18.540	0.072	23.900	0.048
2.300	0.057	7.200	0.044	13.070	0.116	18.560	0.074	24.000	0.033
2.500	0.048	7.400	0.016	13.100	0.129	18.810	0.057	24.100	0.024
2.700	0.025	7.600	0.017	13.390	0.126	19.000	0.033	24.300	-0.007
2.900	-0.008	7.800	-0.044	13.570	0.125	19.200	0.010	24.500	-0.009
3.100	-0.020	8.000	-0.065	13.640	0.152	19.500	-0.053	24.760	0.019
3.300	-0.027	8.100	-0.063	13.850	0.147	19.570	-0.056	24.900	0.054
3.500	-0.033	8.230	-0.054	14.000	0.145	19.700	-0.077	25.000	0.102
3.700	-0.036	8.390	-0.019	14.280	0.130	19.850	-0.088	25.150	0.162
3.850	-0.031	8.470	0.026	14.470	0.106	20.000	-0.062	25.300	0.166
3.940	-0.003	8.550	0.064	14.760	0.068	20.100	-0.001	25.400	0.182
4.000	0.055	8.700	0.128	14.930	0.054	20.230	0.089	25.500	0.183
4.050	0.076	8.850	0.116	15.100	0.026	20.300	0.128	25.800	0.164
4.100	0.101	9.000	0.107	15.200	0.023	20.500	0.130	26.000	0.144
4.270	0.103	9.200	0.090	15.310	0.027	20.540	0.133	26.200	0.131
4.400	0.092	9.400	0.070	15.590	0.075	20.640	0.150	26.400	0.103
4.600	0.090	9.600	0.035	15.750	0.123	20.900	0.133	26.700	0.037
4.800	0.068	9.700	0.015	15.790	0.134	21.200	0.103	26.900	-0.016
5.000	0.053	9.800	-0.014	16.000	0.119	21.350	0.095	27.000	-0.035
5.100	0.039	9.900	-0.042	16.220	0.073	21.500	0.096	27.200	-0.078

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-2.1(2) 縦断河床高測定結果 (Case-2)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
27.400	-0.090	32.200	0.158	36.840	0.177	42.580	0.219	47.470	0.237
27.550	-0.058	32.300	0.158	37.000	0.155	42.800	0.198	47.600	0.228
27.700	-0.012	32.370	0.175	37.440	0.125	43.000	0.192	47.800	0.202
27.830	0.033	32.620	0.162	37.700	0.104	43.200	0.178	48.000	0.180
27.900	0.054	32.800	0.164	37.900	0.084	43.400	0.175	48.080	0.180
28.000	0.083	33.000	0.161	38.000	0.076	43.500	0.160	48.120	0.194
28.130	0.097	33.200	0.149	38.100	0.070	43.700	0.150	48.300	0.168
28.300	0.092	33.400	0.133	38.250	0.064	43.850	0.143	48.500	0.131
28.430	0.111	33.540	0.116	38.310	0.072	44.000	0.139	48.700	0.107
28.570	0.136	33.840	0.076	38.420	0.104	44.200	0.121	48.900	0.076
28.700	0.141	34.000	0.058	38.680	0.231	44.300	0.119	49.100	0.040
28.790	0.169	34.070	0.053	38.830	0.221	44.600	0.111	49.300	-0.003
28.950	0.173	34.200	0.131	39.030	0.197	44.750	0.124	49.500	-0.044
29.080	0.180	34.290	0.185	39.400	0.161	44.850	0.139	49.570	-0.054
29.240	0.152	34.400	0.203	39.700	0.150	44.970	0.178	49.670	-0.051
29.330	0.168	34.580	0.201	39.900	0.136	45.120	0.275	49.730	-0.007
29.500	0.147	34.630	0.197	40.000	0.127	45.210	0.308	49.840	0.025
29.580	0.129	34.660	0.211	40.200	0.088	45.300	0.307	50.000	0.065
29.720	0.136	34.850	0.213	40.400	0.050	45.500	0.300		
29.850	0.094	35.170	0.197	40.600	0.031	45.600	0.286		
30.000	0.090	35.230	0.201	40.800	0.020	45.750	0.278		
30.200	0.094	35.330	0.245	41.000	0.031	45.900	0.290		
30.400	0.072	35.500	0.232	41.100	0.046	46.000	0.294		
30.700	0.037	35.640	0.211	41.200	0.063	46.050	0.302		
30.900	0.010	35.760	0.217	41.300	0.101	46.080	0.321		
31.000	0.004	35.840	0.247	41.400	0.173	46.200	0.313		
31.200	0.004	35.910	0.241	41.500	0.242	46.400	0.292		
31.400	0.020	36.000	0.235	41.700	0.227	46.700	0.262		
31.500	0.044	36.220	0.203	41.900	0.219	46.900	0.252		
31.580	0.100	36.250	0.213	42.000	0.237	46.970	0.255		
31.700	0.153	36.400	0.202	42.100	0.240	47.020	0.281		
31.850	0.153	36.540	0.178	42.300	0.225	47.200	0.259		
32.000	0.156	36.660	0.178	42.530	0.205	47.400	0.233		

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-2.2(1) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO. 0		NO. 2		NO. 4		NO. 6		NO. 8		NO. 10		NO. 12		NO. 14		NO. 16	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	-0.198	0.000	0.052	0.000	0.034	0.000	0.027	0.000	-0.148	0.000	-0.062	0.000	0.132	0.000	-0.021	0.000	0.011
2	0.700	-0.198	0.370	-0.041	0.300	0.032	0.340	0.085	0.370	-0.058	0.290	-0.067	0.250	0.112	0.270	0.034	0.170	-0.019
3	1.020	-0.033	0.650	-0.151	0.480	0.040	0.410	0.102	0.520	0.015	0.550	-0.065	0.510	0.097	0.480	0.116	0.310	0.029
4	1.250	0.000	0.720	-0.169	0.880	0.048	0.620	0.114	0.700	0.051	0.880	-0.004	0.700	0.101	0.670	0.166	0.430	0.067
5	1.400	0.057	0.970	-0.170	1.000	0.047	0.820	0.118	0.970	0.078	0.940	0.028	0.900	0.118	0.790	0.184	0.640	0.064
6	1.515	0.069	1.150	-0.135	1.360	0.026	0.970	0.108	1.250	0.119	1.310	0.053	1.120	0.109	0.930	0.168	0.870	0.076
7	1.620	0.092	1.270	-0.083	1.600	0.023	1.170	0.086	1.660	0.051	1.630	0.019	1.320	0.099	1.250	0.157	1.190	0.078
8	1.690	0.068	1.390	-0.049	1.720	0.007	1.440	0.074	1.840	0.030	1.740	0.010	1.530	0.086	1.520	0.115	1.410	0.078
9	1.850	0.087	1.460	-0.039	1.860	-0.008	1.550	0.038	2.000	0.018	1.890	0.029	1.949	0.115	1.820	0.081	1.560	0.083
10	2.000	0.082	1.760	0.068	2.000	-0.021	1.700	0.003	2.130	0.010	2.000	0.055	2.110	0.096	1.700	0.043	1.720	0.094
11	2.185	0.069	1.820	0.084	2.170	-0.013	1.830	-0.018	2.310	0.003	2.080	0.086	2.270	0.085	1.890	-0.010	1.930	0.109
12	2.490	0.014	1.910	0.094	2.300	-0.017	2.000	-0.004	2.490	-0.081	2.370	-0.061	2.450	0.063	2.000	0.004	2.100	0.100
13	2.800	-0.009	2.000	0.089	2.390	-0.031	2.160	0.003	2.600	-0.094	2.480	-0.088	2.800	0.018	2.160	0.031	2.260	0.080
14	2.880	0.001	2.180	0.152	2.470	-0.027	2.330	-0.010	2.720	-0.066	2.600	-0.094	2.990	0.001	2.230	0.061	2.500	0.089
15	3.070	-0.019	2.250	0.158	2.630	0.031	2.520	0.009	2.800	-0.065	2.740	-0.082	3.120	0.005	2.310	0.082	2.710	0.111
16	3.230	0.004	2.360	0.147	2.720	0.055	2.730	-0.092	2.910	-0.030	2.800	-0.076	3.230	0.028	2.550	0.098	2.800	0.119
17	3.300	0.036	2.530	0.135	2.800	0.055	2.800	-0.125	3.100	-0.011	2.930	-0.032	3.290	0.032	2.670	0.121	2.880	0.123
18	4.000	0.120	2.800	0.090	2.820	0.039	2.950	-0.131	3.200	-0.028	3.200	0.033	3.460	0.016	2.800	0.145	3.030	0.107
19			2.890	0.098	2.920	0.011	3.040	-0.115	3.380	-0.010	3.430	0.073	3.590	-0.006	2.860	0.139	3.410	-0.034
20			2.920	0.086	3.060	-0.014	3.280	-0.026	3.520	-0.017	3.590	0.084	3.790	-0.026	2.930	0.118	3.690	-0.128
21			3.170	0.105	3.250	-0.014	3.460	0.019	3.740	-0.040	3.670	0.077	4.000	-0.002	3.040	0.097	3.930	-0.233
22			3.300	0.108	3.420	-0.051	3.560	0.040	3.950	-0.037	3.710	0.067			3.300	0.113	4.000	-0.227
23			3.530	0.061	3.610	-0.052	3.690	0.059	4.000	-0.021	4.000	-0.099			3.570	0.173		
24			3.670	0.051	3.820	-0.122	3.890	0.076							3.800	0.214		
25			4.000	0.032	4.000	-0.168	4.000	0.049							4.000	0.299		
平均河床高		-0.012		0.022		-0.000		0.025		-0.001		0.003		0.067		0.111		0.042
最高河床高		0.120		0.158		0.055		0.118		0.119		0.099		0.132		0.229		0.123
最深河床高		-0.198		-0.170		-0.166		-0.131		-0.148		-0.094		-0.026		-0.021		-0.233

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-2.2(2) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.18		NO.20		NO.22		NO.24		NO.26		NO.28		NO.30		NO.32		NO.34	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.144	0.000	0.118	0.000	-0.019	0.000	-0.089	0.000	0.066	0.000	0.205	0.000	-0.064	0.000	-0.036	0.000	0.165
2	0.260	0.159	0.170	0.147	0.150	0.019	0.250	-0.117	0.200	0.062	0.100	0.207	0.300	-0.051	0.150	-0.060	0.200	0.120
3	0.420	0.184	0.350	0.152	0.300	0.070	0.400	-0.063	0.340	0.062	0.200	0.203	0.500	-0.020	0.250	-0.046	0.320	0.087
4	0.600	0.157	0.500	0.130	0.460	0.123	0.530	-0.008	0.500	0.050	0.300	0.192	0.700	0.007	0.400	-0.021	0.500	0.050
5	0.630	0.162	0.700	0.101	0.600	0.161	0.700	0.036	0.650	0.019	0.600	0.178	0.900	0.065	0.600	-0.010	0.700	0.027
6	0.680	0.181	0.900	0.047	0.820	0.134	0.800	0.165	0.800	-0.005	0.800	0.180	1.100	0.105	0.800	-0.005	0.900	0.011
7	1.000	0.197	1.000	0.004	1.000	0.122	1.000	0.107	1.000	-0.018	1.000	0.181	1.330	0.130	1.000	-0.015	1.100	0.017
8	1.150	0.198	1.100	-0.023	1.300	0.060	1.100	0.093	1.160	-0.010	1.100	0.174	1.450	0.133	1.100	-0.014	1.200	0.075
9	1.500	0.164	1.300	-0.083	1.500	-0.027	1.240	0.073	1.300	0.032	1.300	0.158	1.600	0.123	1.340	-0.020	1.330	0.095
10	1.550	0.177	1.500	-0.125	1.700	-0.117	1.400	0.061	1.600	0.053	1.400	0.146	1.680	0.100	1.460	0.012	1.570	0.103
11	1.970	0.133	1.760	-0.141	1.900	-0.181	1.550	0.034	1.800	0.077	1.550	0.135	1.800	0.116	1.550	0.052	1.900	0.121
12	2.150	0.100	2.000	-0.100	2.000	-0.196	1.680	0.035	2.000	0.120	1.800	0.114	2.050	0.137	1.720	0.093	2.000	0.105
13	2.360	0.087	2.300	-0.081	2.120	-0.179	1.800	0.064	2.200	0.135	1.900	0.111	2.150	0.164	1.900	0.125	2.200	0.091
14	2.450	0.087	2.500	-0.069	2.300	-0.087	2.000	0.091	2.500	0.148	2.020	0.117	2.300	0.172	2.000	0.142	2.500	0.110
15	2.510	0.081	2.700	-0.064	2.400	-0.022	2.200	0.089	2.700	0.151	2.300	0.088	2.500	0.147	2.210	0.154	2.660	0.073
16	2.700	0.054	2.800	-0.065	2.480	0.019	2.400	0.078	2.800	0.140	2.400	0.066	2.590	0.103	2.300	0.140	2.800	0.055
17	2.800	0.016	2.840	-0.030	2.600	0.052	2.600	0.062	3.000	0.142	2.550	0.053	2.640	0.085	2.600	0.152	3.000	0.038
18	2.930	-0.032	2.950	0.010	2.740	0.056	2.800	0.031	3.200	0.141	2.700	0.067	2.730	0.071	2.800	0.152	3.200	0.011
19	3.020	-0.050	3.040	0.037	2.800	0.052	2.950	0.032	3.500	0.131	2.800	0.081	2.800	0.087	2.900	0.164	3.450	0.001
20	3.200	-0.062	3.100	0.046	3.000	0.071	3.100	0.043	3.750	0.133	2.900	0.054	2.850	0.111	3.100	0.171	3.660	0.020
21	3.360	-0.136	3.240	0.039	3.200	0.125	3.600	0.074	4.000	0.151	3.000	0.038	3.100	0.116	3.300	0.181	3.850	-0.003
22	3.470	-0.151	3.500	0.019	3.400	0.141	3.850	0.076			3.200	-0.004	3.300	0.095	3.600	0.189	4.000	0.044
23	3.570	-0.140	3.700	0.054	3.540	0.127	4.000	0.115			3.400	-0.017	3.540	0.110	3.850	0.182		
24	3.740	-0.097	3.860	0.086	3.740	0.110					3.750	0.040	3.700	0.137	4.000	0.235		
25	4.000	0.007	4.000	0.103	4.000	0.066					4.000	0.020	4.000	0.182				
平均河床高		0.082		0.003		0.041		0.050		0.093		0.106		0.093		0.093		0.066
最高河床高		0.198		0.152		0.161		0.165		0.151		0.207		0.182		0.235		0.165
最深河床高		-0.151		-0.141		-0.196		-0.117		-0.018		-0.017		-0.064		-0.060		-0.003

※ X:横断距離, Z:河床高

附表-2.2(3) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.36		NO.38		NO.40		NO.42		NO.44		NO.46		NO.48		NO.50			
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.132	0.000	-0.088	0.000	0.139	0.000	0.181	0.000	-0.072	0.000	0.148	0.000	0.132	0.000	0.040		
2	0.160	0.146	0.100	-0.108	0.200	0.091	0.100	0.176	0.100	-0.076	0.200	0.122	0.200	0.134	0.100	0.070		
3	0.290	0.148	0.200	-0.082	0.370	0.063	0.200	0.166	0.200	-0.066	0.400	0.100	0.340	0.143	0.360	0.142		
4	0.670	0.146	0.330	-0.012	0.600	0.069	0.430	0.156	0.400	-0.021	0.600	0.092	0.640	0.124	0.640	0.232		
5	0.900	0.126	0.500	0.050	0.900	0.089	0.600	0.177	0.600	0.007	0.750	0.085	0.840	0.150	0.820	0.252		
6	1.020	0.114	0.720	0.039	1.190	0.125	0.800	0.173	0.800	0.078	1.000	0.098	1.110	0.133	0.940	0.278		
7	1.170	0.080	0.930	0.142	1.290	0.115	1.000	0.179	1.000	0.149	1.170	0.105	1.200	0.151	1.310	0.225		
8	1.390	0.036	1.100	0.155	1.400	0.143	1.100	0.189	1.100	0.185	1.400	0.140	1.400	0.179	1.400	0.242		
9	1.500	0.016	1.240	0.142	1.540	0.218	1.350	0.178	1.200	0.196	1.500	0.188	1.600	0.170	1.600	0.260		
10	1.680	-0.018	1.420	0.132	1.620	0.201	1.570	0.132	1.400	0.152	1.580	0.227	1.800	0.156	1.780	0.245		
11	1.740	-0.008	1.690	0.038	1.700	0.212	1.700	0.164	1.500	0.146	1.700	0.248	2.000	0.151	1.900	0.200		
12	1.830	0.036	1.950	0.050	1.790	0.199	2.000	0.195	1.600	0.140	2.000	0.270	2.200	0.159	2.060	0.168		
13	1.950	0.092	2.100	0.080	1.900	0.191	2.070	0.209	1.750	0.093	2.150	0.277	2.400	0.166	2.200	0.173		
14	2.070	0.232	2.290	0.119	2.000	0.169	2.200	0.198	1.900	0.103	2.600	0.285	2.600	0.178	2.320	0.180		
15	2.200	0.181	2.430	0.123	2.060	0.141	2.350	0.273	2.100	0.087	2.800	0.288	2.800	0.176	2.430	0.141		
16	2.370	0.236	2.600	0.111	2.160	0.109	2.400	0.233	2.400	0.082	2.900	0.275	2.900	0.193	2.530	0.128		
17	2.570	0.244	2.800	0.070	2.300	0.097	2.630	0.238	2.600	0.118	3.000	0.259	3.000	0.200	2.800	0.058		
18	2.800	0.232	3.080	0.038	2.600	0.113	2.800	0.233	2.800	0.133	3.100	0.261	3.100	0.205	2.900	0.003		
19	3.100	0.222	3.250	-0.020	2.800	0.122	2.900	0.238	2.900	0.130	3.210	0.272	3.200	0.225	3.000	-0.028		
20	3.370	0.216	3.330	-0.027	3.000	0.125	3.200	0.255	3.000	0.122	3.360	0.238	3.300	0.235	3.100	-0.037		
21	3.410	0.228	3.530	0.008	3.340	0.119	3.410	0.238	3.240	0.085	3.520	0.263	3.500	0.250	3.390	-0.081		
22	3.700	0.232	3.620	0.018	3.560	0.107	3.500	0.251	3.450	0.103	3.640	0.299	3.830	0.282	3.670	-0.101		
23	3.850	0.244	3.730	0.000	3.760	0.101	3.800	0.237	3.650	0.155	3.730	0.250	3.950	0.295	3.800	-0.098		
24	3.900	0.242	3.880	-0.010	4.000	0.131	3.880	0.223	3.850	0.197	3.790	0.242	4.000	0.288	3.960	-0.072		
25	4.000	0.252	4.000	0.118			4.000	0.229	4.000	0.242	4.000	0.268			4.000	-0.055		
平均河床高		0.163		0.060		0.125		0.207		0.104		0.213		0.183		0.121		
最高河床高		0.252		0.155		0.218		0.255		0.242		0.299		0.295		0.278		
最深河床高		-0.018		-0.108		0.063		0.132		-0.076		0.085		0.124		-0.101		

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-3.1(1) 縦断河床高測定結果 (Case-3)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
0.000	-0.061	6.000	-0.059	11.440	-0.019	17.790	0.032	23.160	0.099
0.540	-0.061	6.120	-0.058	11.600	-0.033	17.890	0.027	23.250	0.101
0.870	-0.080	6.290	-0.063	11.760	-0.043	18.000	0.013	23.380	0.091
0.930	-0.076	6.460	-0.060	12.000	-0.059	18.150	0.006	23.470	0.094
1.130	-0.082	6.660	-0.062	12.220	-0.062	18.310	0.024	23.510	0.103
1.270	-0.087	6.780	-0.074	12.530	-0.068	18.510	0.025	23.620	0.105
1.430	-0.083	6.850	-0.066	12.860	-0.071	18.650	0.021	23.810	0.091
1.500	-0.083	6.950	-0.036	13.140	-0.088	18.750	0.025	24.000	0.092
1.710	-0.066	7.080	-0.021	13.480	-0.086	19.130	0.017	24.160	0.093
1.770	-0.059	7.280	-0.011	13.580	-0.076	19.370	0.020	24.420	0.078
2.000	-0.050	7.440	-0.008	13.720	-0.080	19.550	0.016	24.650	0.066
2.180	-0.041	7.620	-0.003	13.860	-0.077	19.780	0.004	24.700	0.091
2.220	-0.036	7.770	0.000	14.000	-0.111	19.900	0.001	24.820	0.090
2.470	-0.031	7.900	0.009	14.300	-0.065	20.000	-0.013	25.000	0.069
2.640	-0.029	8.000	0.008	14.550	-0.033	20.230	-0.030	25.160	0.066
2.840	-0.017	8.180	0.016	14.840	0.008	20.500	-0.053	25.400	0.050
2.940	-0.010	8.470	0.025	14.870	0.023	20.730	-0.075	25.450	0.059
3.090	-0.015	8.670	0.026	15.230	0.091	20.910	-0.085	25.570	0.066
3.250	-0.013	8.870	0.020	15.280	0.103	21.110	-0.109	25.700	0.065
3.420	-0.016	9.160	0.015	15.470	0.111	21.340	-0.129	26.000	0.048
3.540	-0.022	9.350	0.024	15.700	0.111	21.580	-0.055	26.200	0.047
3.600	-0.018	9.590	0.016	15.870	0.106	21.750	-0.173	26.550	0.036
3.840	-0.022	9.680	0.018	16.000	0.100	21.810	-0.180	26.810	0.003
4.000	-0.028	9.830	0.009	16.260	0.085	21.910	-0.178	26.830	0.014
4.300	-0.036	9.900	0.014	16.290	0.093	22.000	-0.179	26.940	0.007
4.460	-0.033	10.000	0.012	16.390	0.098	22.160	-0.161	27.240	-0.026
4.600	-0.033	10.270	0.017	16.660	0.089	22.300	-0.124	27.330	-0.014
4.800	-0.038	10.460	0.013	16.780	0.086	22.410	-0.092	27.440	-0.025
4.970	-0.036	10.680	0.018	17.080	0.070	22.700	-0.079	27.600	-0.060
5.230	-0.039	10.840	0.008	17.160	0.072	22.780	-0.044	27.790	-0.097
5.380	-0.047	10.890	0.011	17.440	0.050	22.890	0.006	27.810	-0.081
5.650	-0.056	11.090	0.005	17.290	0.052	23.040	0.084	28.000	-0.095
5.830	-0.051	11.370	-0.027	17.630	0.038	23.130	0.089	28.240	-0.150

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-3.1(2) 縦断河床高測定結果 (Case-3)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
28.290	-0.125	33.800	-0.082	39.790	0.132	47.100	0.177		
28.410	-0.143	34.000	-0.113	40.000	0.121	47.300	0.168		
28.600	-0.178	34.190	-0.124	40.150	0.119	47.460	0.144		
28.860	-0.188	34.310	-0.051	40.260	0.149	47.640	0.133		
29.200	-0.146	34.500	0.074	40.340	0.143	47.860	0.108		
29.410	-0.097	34.670	0.072	40.730	0.189	48.000	0.104		
29.630	-0.056	34.800	0.142	41.440	0.111	48.170	0.090		
29.870	0.024	34.940	0.141	41.570	0.094	48.310	0.075		
30.000	0.063	34.960	0.146	41.640	0.126	48.550	0.076		
30.250	0.175	35.350	0.144	41.720	0.134	48.770	0.070		
30.400	0.180	35.400	0.149	41.850	0.120	48.910	0.073		
30.600	0.155	35.590	0.144	42.000	0.115	49.080	0.083		
30.640	0.155	35.840	0.128	42.130	0.163	49.270	0.089		
30.680	0.167	35.890	0.144	42.300	0.200	49.740	0.114		
30.880	0.154	36.000	0.143	42.660	0.199	50.000	0.259		
30.910	0.159	36.290	0.112	42.690	0.208				
31.090	0.144	36.420	0.113	43.020	0.206				
31.210	0.125	36.570	0.102	43.380	0.196				
31.440	0.118	36.830	0.062	43.400	0.200				
31.460	0.124	37.240	0.062	43.750	0.194				
31.710	0.100	37.520	0.166	44.000	0.189				
31.740	0.113	37.810	0.156	44.240	0.178				
31.860	0.114	38.000	0.146	44.320	0.183				
32.000	0.106	38.140	0.127	44.380	0.192				
32.100	0.104	38.370	0.095	44.650	0.183				
32.160	0.114	38.410	0.098	45.170	0.164				
32.330	0.102	38.640	0.090	45.320	0.202				
32.520	0.080	38.690	0.096	45.670	0.207				
32.620	0.085	39.010	0.094	45.860	0.208				
32.770	0.071	39.090	0.123	46.000	0.208				
32.920	0.043	39.170	0.126	46.230	0.208				
33.150	0.024	39.450	0.132	46.500	0.203				
33.550	-0.036	39.660	0.132	46.840	0.190				

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-3.2(1) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO. 0		NO. 2		NO. 4		NO. 6		NO. 8		NO. 10		NO. 12		NO. 14		NO. 16	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	-0.032	0.000	-0.017	0.000	-0.028	0.000	-0.028	0.000	-0.029	0.000	-0.097	0.000	0.094	0.000	0.106	0.000	0.078
2	0.300	-0.005	0.370	-0.015	0.410	-0.026	0.330	-0.020	0.300	-0.028	0.220	-0.139	0.240	0.099	0.390	0.105	0.510	0.070
3	0.610	-0.021	0.680	-0.013	0.570	-0.026	0.580	-0.018	0.750	-0.051	0.330	-0.121	0.430	0.096	0.570	0.093	0.680	0.080
4	0.810	-0.057	1.090	-0.011	0.900	-0.022	0.780	-0.021	0.990	-0.056	0.500	-0.016	0.530	0.085	0.910	0.104	0.890	0.086
5	1.150	-0.082	1.210	-0.005	1.060	-0.025	0.890	-0.031	1.100	-0.061	0.640	0.015	0.650	0.055	1.280	0.101	1.160	0.084
6	1.490	-0.070	1.420	-0.016	1.310	-0.019	1.040	-0.024	1.200	-0.055	0.880	0.038	0.850	0.043	1.470	0.081	1.470	0.082
7	1.750	-0.064	1.570	-0.011	1.460	-0.023	1.180	-0.032	1.400	-0.026	1.070	0.037	0.960	0.042	1.550	0.065	1.650	0.091
8	2.000	-0.061	1.780	-0.021	1.610	-0.025	1.290	-0.032	1.570	0.006	1.300	0.028	1.140	0.010	1.720	-0.027	1.800	0.093
9	2.070	-0.066	1.870	-0.031	1.850	-0.026	1.490	-0.043	1.690	0.016	1.490	0.012	1.300	0.006	1.820	-0.054	1.920	0.103
10	2.210	-0.064	1.960	-0.041	2.000	-0.028	1.660	-0.049	1.820	0.016	1.650	0.007	1.390	0.018	1.920	-0.074	2.000	0.100
11	2.620	-0.059	2.000	-0.050	2.170	-0.032	1.840	-0.053	1.950	0.010	1.940	0.012	1.580	0.015	1.960	-0.083	2.020	0.105
12	2.790	-0.068	2.130	-0.072	2.390	-0.044	2.000	-0.059	2.000	0.008	2.000	0.012	1.760	-0.030	2.000	-0.111	2.120	0.101
13	2.910	-0.061	2.260	-0.097	2.490	-0.053	2.040	-0.067	2.160	0.001	2.200	0.005	1.940	-0.058	2.100	-0.125	2.230	0.089
14	3.110	-0.061	2.460	-0.114	2.670	-0.055	2.230	-0.072	2.400	-0.007	2.520	-0.021	2.000	-0.059	2.250	-0.118	2.380	0.001
15	3.240	-0.068	2.700	-0.121	2.840	-0.059	2.380	-0.064	2.610	-0.011	2.750	-0.032	2.170	-0.042	2.340	-0.082	2.520	-0.074
16	3.490	-0.065	2.930	-0.114	2.950	-0.071	2.520	-0.041	2.880	-0.013	2.920	-0.027	2.360	-0.043	2.390	-0.074	2.620	-0.085
17	3.720	-0.058	3.080	-0.102	3.050	-0.080	2.770	-0.031	3.020	-0.011	3.160	-0.031	2.620	-0.081	2.530	-0.100	2.760	-0.133
18	4.000	-0.060	3.360	-0.092	3.200	-0.105	2.900	-0.028	3.280	-0.016	3.310	-0.039	2.720	-0.084	2.720	-0.148	2.980	-0.256
19			3.470	-0.086	3.460	-0.133	3.040	-0.031	3.510	-0.016	3.450	-0.034	2.920	-0.053	2.900	-0.134	3.030	-0.264
20			3.680	-0.080	3.600	-0.130	3.160	-0.028	3.680	-0.019	3.550	-0.040	3.090	-0.032	3.040	-0.103	3.240	-0.241
21			4.000	-0.077	3.660	-0.125	3.320	-0.039	4.000	-0.025	4.000	-0.032	3.280	-0.023	3.120	-0.076	3.400	-0.197
22					3.760	-0.104	3.440	-0.041					3.460	-0.019	3.230	-0.046	3.550	-0.118
23					4.000	-0.097	3.720	-0.055					3.740	-0.028	3.420	-0.019	3.740	-0.031
24							3.320	-0.056					4.000	-0.031	3.650	-0.004	3.840	-0.010
25							4.000	-0.056							4.000	-0.009	4.000	-0.002
平均河床高		-0.056		-0.056		-0.052		-0.039		-0.020		-0.018		-0.004		-0.002		-0.004
最高河床高		-0.005		-0.005		-0.019		-0.018		0.016		0.038		0.099		0.106		0.105
最深河床高		-0.082		-0.121		-0.133		-0.072		-0.061		-0.139		-0.084		-0.148		-0.264

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-3.2(2) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.18		NO.20		NO.22		NO.24		NO.26		NO.28		NO.30		NO.32		NO.34	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.033	0.000	-0.005	0.000	0.109	0.000	0.073	0.000	0.130	0.000	0.139	0.000	0.013	0.000	-0.072	0.000	0.101
2	0.280	0.027	0.090	0.006	0.410	0.099	0.080	0.070	0.230	0.116	0.240	0.160	0.290	-0.083	0.300	-0.027	0.080	0.109
3	0.400	0.025	0.180	-0.010	0.670	0.121	0.160	0.101	0.360	0.123	0.430	0.149	0.450	-0.146	0.710	0.043	0.510	0.047
4	0.670	0.040	0.450	-0.064	0.920	0.099	0.630	0.081	0.540	0.123	0.790	0.130	0.750	-0.239	0.780	0.076	0.800	0.079
5	0.800	0.044	0.540	-0.052	1.060	0.035	0.770	0.077	0.720	0.107	0.850	0.116	1.000	-0.267	0.930	0.090	0.930	0.087
6	0.930	0.045	0.640	-0.024	1.280	-0.083	1.050	0.063	0.800	0.093	1.190	0.081	1.180	-0.234	1.230	0.093	1.040	0.083
7	1.100	0.026	0.730	-0.043	1.370	-0.130	1.080	0.078	0.950	0.110	1.300	0.062	1.350	-0.159	1.480	0.099	1.210	0.087
8	1.240	0.019	0.820	-0.070	1.500	-0.139	1.230	0.093	1.100	0.106	1.520	-0.001	1.470	-0.111	1.760	0.124	1.310	0.059
9	1.500	0.036	1.040	-0.073	1.560	-0.123	1.430	0.102	1.460	0.088	1.690	-0.049	1.570	-0.095	1.860	0.112	1.590	0.010
10	1.680	0.028	1.260	-0.029	1.630	-0.098	1.470	0.100	1.500	0.096	1.780	-0.072	1.790	-0.019	1.910	0.101	1.770	-0.066
11	1.790	0.029	1.340	-0.021	1.700	-0.103	1.680	0.095	1.890	0.055	2.000	-0.097	2.000	0.060	2.000	0.102	1.850	-0.102
12	1.940	0.017	1.450	-0.025	1.870	-0.168	2.000	0.090	2.000	0.044	2.170	-0.114	2.310	0.193	2.200	0.101	2.000	-0.116
13	2.000	0.010	1.580	-0.049	2.000	-0.182	2.230	0.086	2.280	0.051	2.270	-0.101	2.550	0.201	2.240	0.095	2.110	-0.115
14	2.070	0.001	1.670	-0.052	2.090	-0.181	2.510	0.084	2.420	0.081	2.350	-0.063	2.840	0.201	2.390	0.111	2.160	-0.096
15	2.300	0.029	1.830	-0.042	2.150	-0.166	2.650	0.079	2.480	0.081	2.460	0.020	3.180	0.174	2.760	0.121	2.310	-0.019
16	2.590	0.060	1.950	-0.024	2.280	-0.117	2.790	0.067	2.530	0.065	2.570	0.053	3.520	0.155	3.130	0.120	2.600	0.135
17	2.760	0.068	2.000	-0.016	2.350	-0.108	2.950	0.042	2.580	0.065	2.670	0.047	4.000	0.135	3.270	0.098	2.370	0.137
18	2.960	0.067	2.180	0.027	2.540	-0.129	3.110	0.012	2.710	0.074	2.860	-0.025			3.530	0.107	2.970	0.167
19	3.180	0.055	2.560	0.072	2.730	-0.116	3.430	-0.016	2.830	0.050	3.060	-0.054			3.600	0.107	3.200	0.191
20	3.220	0.023	2.760	0.084	2.800	-0.088	3.530	-0.032	3.000	0.001	3.230	-0.022			3.750	0.126	3.360	0.201
21	3.440	-0.009	3.100	0.100	3.150	0.054	4.000	-0.037	3.160	-0.019	3.270	-0.012			4.000	0.116	3.410	0.194
22	3.570	-0.034	3.410	0.119	3.360	0.118			3.370	-0.013	3.410	0.022					3.570	0.106
23	3.680	-0.089	3.540	0.115	3.560	0.160			3.520	0.004	3.610	-0.024					3.760	0.010
24	4.000	-0.190	3.710	0.103	3.800	0.161			3.640	-0.011	3.750	-0.040					3.860	-0.009
25			4.000	0.100	4.000	0.128			4.000	-0.006	4.000	-0.022					4.000	0.004
平均河床高		0.019		0.024		0.005		0.060		0.067		0.024		0.021		0.089		0.064
最高河床高		0.068		0.119		0.161		0.102		0.130		0.160		0.201		0.126		0.201
最深河床高		-0.190		-0.073		-0.182		-0.037		-0.019		-0.114		-0.267		-0.072		-0.116

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-3.2(3) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.36		NO.38		NO.40		NO.42		NO.44		NO.46		NO.48		NO.50			
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.045	0.000	0.096	0.000	0.027	0.000	0.082	0.000	0.169	0.000	0.144	0.000	0.152	0.000	0.076		
2	0.180	0.090	0.120	0.101	0.070	0.032	0.250	0.093	0.330	0.182	0.130	0.151	0.210	0.231	0.560	-0.033		
3	0.680	0.118	0.360	0.094	0.280	0.010	0.300	0.108	0.630	0.190	0.300	0.170	0.400	0.222	0.620	-0.003		
4	0.870	0.145	0.720	0.096	0.430	-0.043	0.440	0.129	1.000	0.193	0.460	0.185	0.580	0.200	0.740	0.061		
5	0.970	0.152	0.970	0.110	0.640	-0.035	0.590	0.140	1.050	0.174	0.650	0.164	0.800	0.159	0.950	0.074		
6	1.030	0.133	1.380	0.121	0.810	-0.035	0.710	0.120	1.360	0.148	0.700	0.181	1.060	0.088	1.040	0.093		
7	1.130	0.112	1.660	0.127	1.120	-0.004	0.770	0.133	1.430	0.159	0.980	0.187	1.260	0.043	1.150	0.070		
8	1.430	0.111	1.870	0.139	1.400	0.040	0.930	0.129	1.520	0.166	1.020	0.192	1.290	0.030	1.260	0.040		
9	1.740	0.102	2.000	0.140	1.520	0.067	0.960	0.139	1.580	0.155	1.450	0.189	1.420	0.021	1.500	0.035		
10	1.850	0.110	2.200	0.124	1.680	0.085	1.100	0.155	1.740	0.157	1.500	0.181	1.590	0.039	1.760	0.202		
11	2.000	0.140	2.300	0.112	1.790	0.088	1.230	0.154	1.920	0.178	1.820	0.197	1.730	0.080	1.900	0.242		
12	2.100	0.108	2.510	0.067	1.910	0.106	1.530	0.154	2.000	0.183	2.000	0.202	1.920	0.104	2.000	0.252		
13	2.200	0.058	2.560	0.061	2.000	0.116	1.750	0.119	2.160	0.191	2.250	0.203	2.000	0.100	2.090	0.269		
14	2.270	0.048	2.590	0.052	2.080	0.130	1.930	0.107	2.450	0.197	2.370	0.146	2.220	0.091	2.250	0.247		
15	2.510	0.075	2.680	0.047	2.190	0.205	2.000	0.111	2.660	0.197	2.570	0.132	2.420	0.125	2.390	0.199		
16	2.670	0.108	2.820	-0.009	2.420	0.212	2.340	0.140	2.680	0.189	2.730	0.087	2.540	0.164	2.630	0.121		
17	2.770	0.128	2.940	-0.004	2.770	0.232	2.420	0.144	2.870	0.183	2.780	0.081	2.660	0.176	2.800	0.106		
18	2.870	0.129	3.070	-0.048	3.100	0.245	2.640	0.129	3.130	0.158	2.940	0.095	2.830	0.163	2.940	0.070		
19	3.170	0.110	3.290	-0.033	3.400	0.256	2.780	0.053	3.380	0.139	3.100	0.089	2.940	0.125	3.030	0.031		
20	3.200	0.103	3.480	0.052	3.610	0.258	2.920	0.033	3.550	0.113	3.390	0.075	3.040	0.157	3.180	-0.051		
21	3.360	0.085	3.670	0.102	4.000	0.263	3.090	0.052	3.760	0.108	3.620	0.068	3.350	0.201	3.250	-0.084		
22	3.510	0.088	3.790	0.109			3.320	0.113	4.000	0.102	3.820	0.083	3.520	0.112	3.400	-0.081		
23	3.650	0.065	4.000	0.139			3.490	0.174			4.000	0.077	3.650	0.061	3.600	-0.051		
24	3.730	0.071					3.730	0.253					3.770	0.052	3.820	-0.020		
25	4.000	0.131					4.000	0.286					4.000	0.038	4.000	0.017		
平均河床高		0.106		0.090		0.130		0.138		0.173		0.152		0.129		0.080		
最高河床高		0.152		0.140		0.263		0.286		0.197		0.203		0.231		0.269		
最深河床高		0.045		-0.048		-0.043		0.033		0.102		0.068		0.021		-0.084		

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-4.1(1) 縦断河床高測定結果 (Case-4)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
0.000	-0.080	7.600	0.025	14.090	-0.035	20.560	0.038	27.580	0.139
0.050	-0.062	7.800	0.010	14.310	0.028	20.650	0.042	27.880	0.135
0.150	-0.027	7.950	-0.001	14.500	0.061	20.980	0.015	28.000	0.132
0.530	0.014	8.000	0.014	14.800	0.076	21.300	-0.041	28.170	0.117
0.750	0.074	8.270	0.014	15.040	0.073	21.470	-0.088	28.430	0.090
1.050	0.082	8.470	-0.018	15.170	0.079	21.610	-0.093	28.810	0.059
1.600	0.078	8.590	-0.050	15.410	0.078	21.770	0.012	29.120	0.065
2.000	0.071	8.700	-0.102	15.650	0.069	21.880	0.062	29.250	0.088
2.400	0.074	8.910	-0.218	15.880	0.053	22.000	0.070	29.440	0.092
2.570	0.075	8.970	-0.223	16.000	0.064	22.370	0.060	29.620	0.104
2.900	0.065	9.040	-0.202	16.220	0.059	22.600	0.084	29.890	0.114
3.200	0.060	9.220	-0.120	16.610	0.036	22.810	0.089	30.000	0.114
3.480	0.049	9.390	-0.088	16.720	0.038	23.030	0.088	30.350	0.124
3.650	0.054	9.580	-0.057	17.030	0.018	23.190	0.075	30.460	0.145
4.000	0.048	9.860	-0.050	17.270	-0.013	23.360	0.077	30.650	0.145
4.130	0.044	10.000	-0.052	17.300	-0.003	23.580	0.061	30.830	0.151
4.330	0.049	10.300	-0.064	17.510	-0.028	23.800	0.040	31.050	0.126
4.520	0.044	10.340	-0.062	17.660	-0.060	23.900	0.038	31.320	0.110
4.750	0.031	10.660	-0.071	17.880	-0.088	24.000	0.034	31.550	0.109
4.970	0.021	10.840	-0.061	18.000	-0.105	24.230	0.002	31.770	0.164
5.260	0.024	10.950	-0.049	18.090	-0.113	24.550	-0.018	31.870	0.178
5.520	0.041	11.170	0.008	18.280	-0.124	24.630	-0.028	31.930	0.195
5.820	0.006	11.440	0.022	18.630	-0.077	24.730	-0.041	32.000	0.196
6.000	-0.005	11.760	0.023	18.770	-0.079	25.070	-0.057	32.260	0.196
6.310	-0.022	11.910	0.030	18.930	0.005	25.200	-0.077	32.350	0.219
6.470	-0.005	12.000	0.032	19.080	0.061	25.680	0.061	32.570	0.224
6.640	-0.009	12.290	0.022	19.230	0.058	25.900	0.063	33.100	0.206
6.680	0.010	12.430	0.056	19.530	0.035	26.000	0.063	33.450	0.194
6.800	0.015	12.930	0.063	19.770	0.013	26.100	0.060	33.770	0.184
6.890	0.009	13.400	0.049	19.920	0.002	26.320	0.108	34.000	0.176
6.950	0.013	13.650	0.027	20.000	-0.003	26.650	0.119	34.150	0.169
7.310	0.004	13.850	-0.005	20.230	-0.016	27.070	0.133	34.470	0.152
7.380	0.024	14.000	-0.017	20.460	-0.011	27.330	0.140	34.800	0.111

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-4.1(2) 縦断河床高測定結果 (Case-4)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
34.960	0.088	42.140	-0.039	49.300	0.047				
35.120	0.078	42.400	-0.062	49.450	0.121				
35.390	0.067	42.540	-0.031	49.610	0.178				
35.730	0.127	42.680	0.046	49.750	0.178				
36.000	0.190	42.890	0.074	49.910	0.168				
36.050	0.202	43.300	0.065	50.000	0.156				
36.280	0.191	43.590	0.058						
36.390	0.200	43.880	0.046						
36.630	0.196	44.000	0.042						
37.000	0.183	44.340	0.061						
37.300	0.155	44.440	0.090						
37.550	0.146	44.730	0.145						
37.850	0.141	44.850	0.193						
38.000	0.139	45.090	0.194						
38.200	0.129	45.250	0.183						
38.370	0.120	45.430	0.179						
38.560	0.086	45.640	0.156						
38.760	0.047	45.850	0.140						
38.990	0.024	46.000	0.141						
39.200	0.030	46.220	0.144						
39.430	0.065	46.710	0.139						
39.650	0.171	46.980	0.125						
39.830	0.182	47.010	0.135						
40.000	0.183	47.090	0.135						
40.300	0.184	47.320	0.116						
40.570	0.171	47.440	0.114						
40.770	0.146	47.580	0.097						
40.900	0.128	47.820	0.061						
41.060	0.112	48.000	0.045						
41.160	0.097	48.330	0.002						
41.500	0.021	48.620	-0.034						
41.810	-0.042	48.860	-0.036						
42.000	-0.065	49.120	0.001						

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-4.2(1) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO. 0		NO. 2		NO. 4		NO. 6		NO. 8		NO. 10		NO. 12		NO. 14		NO. 16	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	-0.031	0.000	-0.242	0.000	-0.130	0.000	0.006	0.000	-0.004	0.000	0.054	0.000	0.021	0.000	0.009	0.000	-0.138
2	0.390	-0.029	0.110	-0.208	0.320	0.210	0.380	0.059	0.170	-0.006	0.320	0.014	0.150	0.011	0.350	-0.002	0.230	-0.065
3	0.880	-0.027	0.250	-0.141	0.520	-0.136	0.440	0.000	0.310	0.005	0.420	0.019	0.380	0.024	0.730	-0.024	0.290	-0.017
4	1.020	-0.042	0.400	-0.077	0.740	-0.082	0.620	0.005	0.410	-0.002	0.450	-0.010	0.560	0.038	0.900	0.002	0.430	0.010
5	1.100	-0.036	0.580	-0.099	1.020	-0.058	0.740	-0.005	0.700	0.008	0.520	-0.021	0.820	0.043	1.020	0.003	0.460	0.029
6	1.700	-0.137	0.770	-0.158	1.100	-0.080	0.920	-0.041	1.000	0.017	0.770	-0.070	1.110	0.049	1.140	-0.010	0.830	0.040
7	1.850	-0.151	1.070	-0.257	1.270	-0.035	1.370	-0.031	1.250	0.011	0.840	-0.053	1.420	0.036	1.290	0.018	1.300	0.051
8	2.350	-0.114	1.330	-0.265	1.560	-0.029	1.520	-0.013	1.360	-0.008	1.050	-0.047	1.640	-0.017	1.430	0.038	1.690	0.059
9	2.600	-0.118	1.510	-0.231	1.830	-0.013	1.720	0.000	1.500	-0.020	1.190	-0.052	1.690	-0.005	1.510	-0.069	1.940	0.054
10	2.870	-0.095	1.720	-0.147	1.930	0.003	2.050	-0.001	1.620	-0.046	1.380	0.055	1.810	-0.033	2.100	0.096	2.120	0.064
11	3.000	-0.080	1.840	-0.121	2.280	0.030	2.300	0.011	1.830	-0.036	1.680	0.068	2.070	-0.081	2.400	0.102	2.190	0.063
12	3.200	-0.060	2.220	0.058	2.600	0.039	2.600	0.020	2.000	-0.052	1.860	0.066	2.170	-0.089	2.710	0.086	2.320	0.072
13	3.450	-0.063	2.360	0.075	3.000	0.048	2.660	-0.005	2.160	-0.128	2.150	0.057	2.320	-0.144	2.950	-0.018	2.420	0.064
14	3.680	-0.001	2.700	0.073	3.230	0.058	2.780	-0.021	2.280	-0.122	2.650	0.018	2.430	-0.121	3.000	-0.017	2.700	0.079
15	4.000	0.018	3.000	0.071	3.540	0.062	2.860	-0.005	2.370	-0.130	2.780	-0.040	2.580	-0.039	3.160	-0.003	2.880	0.053
16			3.300	0.079	4.000	0.074	3.000	-0.005	2.500	-0.101	2.810	-0.057	2.680	-0.030	3.340	-0.009	2.970	0.064
17			3.520	0.083			3.100	0.003	2.600	-0.048	2.900	-0.050	2.780	0.026	3.630	0.027	3.000	0.064
18			3.710	0.080			2.350	0.008	2.870	-0.013	3.000	-0.052	2.950	0.025	3.840	0.033	3.040	0.065
19			4.000	0.082			3.530	0.012	2.980	-0.001	3.100	-0.065	3.000	0.032	4.000	0.047	3.260	0.052
20							4.000	0.014	3.000	0.014	3.190	-0.101	3.100	0.033			3.410	0.039
21									3.280	0.034	3.360	-0.138	3.260	0.018			3.660	0.043
22									3.500	0.037	3.520	-0.110	3.380	0.029			3.780	-0.027
23									3.770	0.025	3.660	-0.076	3.570	0.035			4.000	-0.046
24									4.000	0.014	3.770	-0.062	4.000	0.048				
25											4.000	-0.020						
平均河床高		-0.069		-0.053		-0.017		0.000		-0.015		-0.013		0.005		0.033		0.035
最高河床高		0.018		0.083		0.074		0.059		0.037		0.068		0.049		0.102		0.079
最深河床高		-0.151		-0.265		-0.210		-0.041		-0.130		-0.138		-0.144		-0.024		-0.138

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-4.2(2) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.18		NO.20		NO.22		NO.24		NO.26		NO.28		NO.30		NO.32		NO.34	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.063	0.000	0.064	0.000	0.127	0.000	0.139	0.000	0.067	0.000	0.150	0.000	0.099	0.000	-0.084	0.000	0.029
2	0.180	0.044	0.070	0.080	0.270	0.130	0.290	0.120	0.130	0.086	0.280	0.149	0.210	0.111	0.250	-0.058	0.100	0.064
3	0.350	0.050	0.280	0.088	0.350	0.126	0.650	0.091	0.340	0.094	0.530	0.136	0.520	0.102	0.420	-0.063	0.450	0.071
4	0.400	0.040	0.500	0.100	0.670	0.044	0.760	0.096	0.460	0.078	0.810	0.036	0.780	0.108	0.590	-0.085	0.760	0.085
5	0.600	0.056	0.800	0.088	0.800	0.068	1.190	0.074	0.830	0.062	0.920	-0.023	1.100	0.113	0.830	-0.064	0.970	0.110
6	0.770	0.061	1.000	0.076	0.910	0.055	1.450	0.076	1.180	0.071	1.040	-0.069	1.450	0.102	1.100	-0.034	1.100	0.114
7	1.060	0.076	1.320	0.067	1.060	0.031	1.780	0.082	1.520	0.076	1.120	-0.080	1.590	0.081	1.370	0.049	1.250	0.102
8	1.330	0.090	1.540	0.057	1.330	0.029	2.100	0.069	1.680	0.078	1.570	-0.101	1.800	0.063	1.540	0.098	1.380	0.115
9	1.640	0.101	1.820	0.062	1.640	0.061	2.430	0.060	1.970	0.092	1.860	-0.031	2.040	0.035	1.760	0.137	1.550	0.133
10	1.960	0.087	2.010	0.067	1.880	0.068	2.510	0.039	2.440	0.079	2.120	0.017	2.240	0.085	1.840	0.163	1.670	0.147
11	2.140	0.013	2.050	0.059	1.980	0.059	2.660	0.023	2.810	0.064	2.340	0.038	2.400	0.069	2.250	0.205	2.000	0.128
12	2.300	-0.061	2.400	0.014	2.240	0.018	2.820	0.006	3.000	0.059	2.570	0.085	2.560	0.084	2.580	0.231	2.210	0.103
13	2.430	-0.071	2.500	0.001	2.470	0.031	3.000	0.032	3.200	0.041	2.730	0.113	2.750	0.075	2.810	0.229	2.280	0.084
14	2.520	-0.061	2.720	0.012	2.770	0.045	3.150	0.040	3.390	-0.058	3.000	0.130	2.950	0.113	2.910	0.213	2.450	0.095
15	2.690	0.003	2.830	0.007	2.910	0.055	3.430	0.027	3.640	-0.079	3.220	0.131	3.000	0.111	3.000	0.192	2.700	0.164
16	2.830	-0.060	3.000	-0.006	3.000	0.067	3.580	0.012	3.820	-0.088	3.480	0.122	3.090	0.113	3.240	0.135	2.800	0.187
17	2.950	-0.103	3.070	-0.008	3.290	0.066	3.660	0.025	4.000	-0.076	3.750	0.119	3.220	0.123	3.430	0.068	3.000	0.173
18	3.000	-0.108	3.320	-0.053	3.560	0.081	4.000	0.044			4.000	0.112	3.540	0.067	3.530	0.021	3.140	0.168
19	3.180	-0.095	3.460	-0.075	3.800	0.090							3.680	0.019	3.630	0.000	3.420	0.135
20	3.330	-0.066	3.620	-0.048	4.000	0.088							4.000	-0.005	3.730	0.000	3.610	0.149
21	3.440	0.008	3.820	-0.034											4.000	0.061	3.740	0.147
22	3.590	0.052	4.000	-0.057													4.000	0.050
23	3.730	0.076																
24	4.000	0.093																
25																		
平均河床高		0.031		0.035		0.066		0.067		0.052		0.057		0.087		0.077		0.121
最高河床高		0.101		0.100		0.130		0.139		0.094		0.150		0.123		0.123		0.187
最深河床高		-0.108		-0.075		0.018		0.006		-0.088		-0.101		-0.005		-0.005		0.029

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-4.2(3) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.36		NO.38		NO.40		NO.42		NO.44		NO.46		NO.48		NO.50			
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.079	0.000	0.175	0.000	0.084	0.000	0.129	0.000	0.130	0.000	0.153	0.000	0.168	0.000	-0.142		
2	0.260	0.018	0.390	0.164	0.360	0.081	0.220	0.160	0.240	0.053	0.450	0.177	0.130	0.177	0.240	-0.117		
3	0.440	0.050	0.600	0.149	0.490	0.062	0.250	0.174	0.480	0.011	0.690	0.189	0.470	0.156	0.480	-0.063		
4	0.600	0.080	1.030	0.136	0.640	0.092	0.670	0.191	0.640	0.011	0.780	0.187	0.840	0.180	0.620	0.006		
5	0.740	0.091	1.450	0.125	0.850	0.098	0.880	0.202	0.750	0.056	0.810	0.199	1.020	0.188	0.760	0.049		
6	0.980	0.067	2.000	0.122	1.080	0.105	1.050	0.215	0.860	0.106	1.230	0.223	1.270	0.188	0.900	0.125		
7	1.110	0.012	2.150	0.140	1.340	0.134	1.590	0.191	1.040	0.123	1.520	0.217	1.540	0.124	1.100	0.184		
8	1.580	-0.087	2.240	0.134	1.600	0.114	1.720	0.144	1.280	0.169	1.790	0.219	1.610	0.082	1.350	0.227		
9	1.740	-0.142	2.610	0.082	1.850	0.094	1.960	0.092	1.430	0.166	2.100	0.217	1.720	0.089	1.740	0.272		
10	1.940	-0.187	2.750	0.069	2.050	0.166	2.380	0.069	1.550	0.180	2.410	0.212	1.860	0.139	2.060	0.299		
11	2.180	-0.183	2.850	0.085	2.340	0.178	2.540	0.076	2.170	0.194	2.690	0.199	1.930	0.149	2.470	0.283		
12	2.370	-0.094	3.000	0.133	2.700	0.168	2.740	0.044	2.430	0.188	2.870	0.155	2.060	0.135	2.610	0.269		
13	2.530	-0.050	3.060	0.137	3.000	0.178	2.890	-0.003	2.660	0.138	3.000	0.135	2.170	0.122	2.830	0.194		
14	2.720	0.072	3.180	0.125	3.300	0.190	3.000	-0.069	2.850	0.086	3.130	0.134	2.390	0.159	3.000	0.149		
15	3.000	0.187	3.320	0.118	3.520	0.193	3.110	-0.115	3.000	0.036	3.360	0.130	2.500	0.151	3.250	0.115		
16	3.070	0.213	3.530	0.097	3.860	0.189	3.230	-0.102	3.270	-0.081	3.680	0.132	2.600	0.125	3.380	0.097		
17	3.430	0.232	3.800	0.116	4.000	0.165	3.510	-0.044	3.430	-0.083	4.000	0.143	2.720	0.080	3.590	0.075		
18	3.560	0.219	4.000	0.125			3.700	0.021	3.610	-0.055			2.830	0.053	3.760	0.050		
19	3.830	0.245					4.000	0.138	3.760	-0.032			3.000	0.041	4.000	0.035		
20	4.000	0.249							4.000	-0.031			3.210	0.069				
21													3.460	0.139				
22													3.770	0.185				
23													4.000	0.200				
24																		
25																		
平均河床高		0.048		0.132		0.145		0.100		0.089		0.188		0.144		0.146		
最高河床高		0.249		0.175		0.193		0.215		0.194		0.223		0.200		0.299		
最深河床高		-0.817		0.069		0.062		-0.115		-0.083		0.130		0.041		-0.142		

※ X:横断距離, Z:河床高

附表-5.1(1) 縱斷河床高測定結果 (Case-5)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
0.000	0.002	6.190	0.009	11.910	0.017	16.730	0.049	21.780	0.067
0.400	0.003	6.280	0.011	11.930	0.024	17.000	0.044	22.000	0.061
0.750	-0.009	6.290	0.015	12.000	0.027	17.190	0.041	22.180	0.058
0.930	-0.006	6.510	0.017	12.160	0.027	17.210	0.056	22.200	0.076
1.110	-0.008	6.710	0.016	12.460	0.021	17.300	0.061	22.350	0.079
1.390	-0.018	7.060	0.000	12.470	0.026	17.520	0.058	22.580	0.069
1.650	-0.023	7.140	0.005	12.610	0.030	17.820	0.048	22.740	0.067
2.000	-0.029	7.220	0.003	12.750	0.022	18.000	0.045	22.750	0.076
2.130	-0.027	7.560	-0.004	12.760	0.037	18.040	0.046	22.890	0.079
2.150	-0.022	7.680	0.001	12.930	0.038	18.070	0.064	23.100	0.072
2.300	-0.015	7.860	0.006	13.120	0.036	18.270	0.064	23.250	0.069
2.620	-0.010	8.000	0.005	13.220	0.040	18.640	0.053	23.360	0.069
2.630	-0.007	8.320	0.004	13.420	0.040	18.650	0.060	23.380	0.080
2.760	-0.002	8.620	-0.002	13.800	0.035	18.760	0.065	23.490	0.084
3.020	0.000	8.630	0.012	13.810	0.040	18.960	0.061	23.620	0.081
3.350	-0.003	8.760	0.019	13.920	0.045	19.230	0.061	23.800	0.076
3.510	0.002	8.980	0.015	14.000	0.045	19.280	0.055	24.000	0.072
3.660	0.006	9.200	0.009	14.220	0.041	19.540	0.056	24.120	0.074
3.810	0.005	9.300	0.006	14.400	0.037	19.630	0.061	24.150	0.091
4.000	0.001	9.330	0.016	14.450	0.047	19.830	0.058	24.300	0.091
4.200	0.000	9.470	0.021	14.630	0.048	20.000	0.058	24.510	0.077
4.340	-0.001	9.640	0.018	14.970	0.039	20.150	0.054	24.630	0.077
4.400	0.005	10.000	0.009	15.140	0.033	20.290	0.050	24.640	0.085
4.610	0.006	10.100	0.011	15.160	0.044	20.300	0.062	24.750	0.086
4.930	0.004	10.130	0.022	15.330	0.049	20.460	0.063	24.980	0.080
4.940	0.007	10.340	0.028	15.670	0.043	20.750	0.056	25.000	0.088
5.080	0.008	10.620	0.020	15.870	0.035	20.760	0.062	25.210	0.085
5.100	0.010	10.980	0.090	15.880	0.044	20.890	0.068	25.520	0.074
5.260	0.010	10.990	0.014	16.000	0.047	21.160	0.061	25.750	0.069
5.450	0.008	11.150	0.024	16.120	0.048	21.360	0.052	25.780	0.073
5.730	0.002	11.190	0.031	16.430	0.043	21.480	0.052	25.920	0.076
5.740	0.007	11.350	0.034	16.440	0.051	21.510	0.069	26.000	0.078
6.000	0.010	11.540	0.030	16.540	0.055	21.590	0.072	26.140	0.076

※ L:縱斷距離, Z:河床高

付表-5.1(2) 縦断河床高測定結果 (Case-5)

L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)	L(m)	Z(m)
26.250	0.076	30.760	0.119	35.200	0.134	40.350	0.134	45.340	0.172
26.280	0.082	30.960	0.116	35.390	0.120	40.540	0.135	45.520	0.163
26.400	0.087	31.320	0.099	35.540	0.123	40.570	0.154	45.580	0.159
26.530	0.088	31.410	0.101	35.720	0.118	40.770	0.155	45.630	0.163
26.790	0.081	31.440	0.120	36.000	0.109	40.980	0.157	45.770	0.166
26.920	0.075	31.580	0.121	36.150	0.118	41.160	0.148	46.000	0.161
26.970	0.087	31.820	0.112	36.180	0.128	41.410	0.134	46.170	0.162
27.180	0.086	32.000	0.111	36.320	0.126	41.500	0.135	46.210	0.177
27.350	0.080	32.030	0.129	36.550	0.115	41.560	0.158	46.360	0.180
27.480	0.081	32.130	0.133	36.810	0.108	41.650	0.164	46.540	0.171
27.500	0.097	32.290	0.119	36.840	0.128	41.820	0.160	46.880	0.162
27.640	0.098	32.400	0.125	37.010	0.134	42.000	0.154	46.910	0.184
27.860	0.091	32.600	0.117	37.290	0.117	42.130	0.149	47.050	0.182
28.000	0.087	32.780	0.115	37.480	0.111	42.280	0.146	47.270	0.168
28.170	0.083	32.800	0.128	37.510	0.125	42.310	0.164	47.390	0.165
28.300	0.101	32.890	0.125	37.640	0.128	42.440	0.169	47.410	0.180
28.320	0.100	33.030	0.119	37.820	0.123	42.670	0.155	47.540	0.181
28.440	0.092	33.100	0.127	38.000	0.115	43.020	0.153	47.830	0.166
28.590	0.092	33.190	0.129	38.120	0.114	43.070	0.182	48.000	0.163
28.660	0.101	33.370	0.132	38.300	0.113	43.260	0.175	48.090	0.167
28.680	0.106	33.630	0.111	38.340	0.141	43.490	0.157	48.130	0.190
28.790	0.100	33.720	0.112	38.510	0.134	43.680	0.154	48.250	0.188
28.970	0.092	33.750	0.126	38.710	0.122	43.720	0.173	48.530	0.172
29.340	0.111	33.850	0.131	38.740	0.125	43.790	0.174	48.730	0.165
29.370	0.115	34.000	0.128	38.860	0.130	44.000	0.168	48.760	0.178
29.510	0.106	34.120	0.125	39.050	0.128	44.090	0.163	48.910	0.188
29.750	0.098	34.340	0.115	39.350	0.115	44.350	0.156	49.100	0.177
30.000	0.098	34.460	0.113	39.530	0.112	44.510	0.157	49.340	0.163
30.120	0.099	34.480	0.125	39.550	0.125	44.540	0.177	49.570	0.156
30.170	0.109	34.650	0.124	39.720	0.129	44.700	0.176	49.620	0.179
30.290	0.112	34.900	0.114	39.850	0.139	45.000	0.163	49.730	0.177
30.650	0.102	35.070	0.113	40.000	0.145	45.120	0.165	49.910	0.164
30.670	0.111	35.110	0.131	40.130	0.140	45.150	0.178	50.000	0.162

※ L:縦断距離, Z:河床高

付表-5.2(1) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO. 0		NO. 2		NO. 4		NO. 6		NO. 8		NO. 10		NO. 12		NO. 14		NO. 16	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	-0.018	0.000	-0.019	0.000	-0.007	0.000	0.015	0.000	0.007	0.000	0.024	0.000	0.022	0.000	0.031	0.000	0.025
2	0.580	-0.011	0.280	-0.018	0.440	-0.007	0.450	0.012	0.580	0.014	0.150	0.015	0.220	0.026	0.530	0.034	0.450	0.037
3	0.750	-0.006	0.460	-0.024	0.760	-0.006	0.800	0.007	0.840	0.013	0.350	0.024	0.580	0.033	1.060	0.036	0.670	0.042
4	1.250	-0.002	0.650	-0.020	1.160	-0.008	1.180	0.010	1.140	0.015	0.660	0.014	0.910	0.035	1.390	0.035	0.900	0.038
5	1.700	0.002	0.900	-0.024	1.340	-0.006	1.660	0.013	1.470	0.006	0.850	0.011	1.020	0.029	1.700	0.042	1.200	0.039
6	2.000	0.006	1.300	-0.032	1.690	-0.001	1.900	0.014	1.530	0.010	1.290	0.019	1.170	0.028	2.000	0.045	1.620	0.044
7	2.370	0.001	1.720	-0.028	2.000	0.001	2.000	0.010	1.660	0.011	1.490	0.017	1.250	0.032	2.170	0.040	1.800	0.047
8	2.800	0.002	1.750	-0.032	2.300	0.005	2.070	0.009	2.000	0.005	1.730	0.011	1.520	0.029	2.420	0.044	2.000	0.047
9	3.000	-0.012	2.000	-0.029	2.600	0.007	2.420	0.016	2.100	0.006	2.000	0.009	1.540	0.021	2.460	0.037	2.150	0.050
10	3.590	-0.011	2.220	-0.021	2.910	0.008	2.680	0.015	2.380	0.008	2.150	0.009	1.820	0.017	2.630	0.039	2.300	0.044
11	3.800	-0.019	2.540	-0.016	3.250	0.002	2.860	0.013	2.520	0.004	2.400	0.010	1.850	0.021	3.100	0.035	2.330	0.033
12	4.000	-0.030	3.000	-0.016	3.630	-0.003	3.160	0.011	2.780	0.012	2.460	0.013	2.000	0.027	3.430	0.032	2.800	0.037
13			3.080	-0.028	4.000	-0.003	3.500	0.003	2.980	0.012	2.790	0.013	2.320	0.015	3.600	0.029	2.930	0.043
14			3.180	-0.022			4.000	-0.003	3.110	0.007	2.880	0.017	2.570	0.020	3.760	0.032	3.320	0.043
15			3.520	-0.023					3.420	0.014	3.200	0.017	2.900	0.020	4.000	0.029	3.600	0.037
16			3.580	-0.021					3.650	0.017	3.600	0.011	3.120	0.022			3.830	0.028
17			4.000	-0.010					4.000	0.014	3.840	0.016	3.260	0.021			4.000	0.030
18											4.000	0.017	3.690	0.020				
19													4.000	0.019				
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
平均河床高		-0.006		-0.022		-0.001		0.010		0.011		0.015		0.024		0.036		0.039
最高河床高		0.006		-0.010		0.008		0.016		0.017		0.024		0.035		0.045		0.050
最深河床高		-0.030		-0.032		-0.008		-0.003		0.004		0.009		0.015		0.029		0.025

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-5.2(2) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.18		NO.20		NO.22		NO.24		NO.26		NO.28		NO.30		NO.32		NO.34	
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.041	0.000	0.049	0.000	0.066	0.000	0.066	0.000	0.064	0.000	0.078	0.000	0.082	0.000	0.081	0.000	0.098
2	0.520	0.048	0.420	0.057	0.360	0.058	0.310	0.070	0.250	0.069	0.290	0.081	0.450	0.082	0.290	0.089	0.230	0.104
3	0.830	0.047	0.760	0.058	0.700	0.058	0.580	0.066	0.510	0.068	0.580	0.081	0.630	0.076	0.590	0.101	0.600	0.110
4	1.270	0.050	1.070	0.061	1.070	0.064	0.860	0.069	0.950	0.071	0.870	0.077	0.750	0.081	0.730	0.103	0.870	0.112
5	1.500	0.048	1.430	0.054	1.500	0.064	1.140	0.070	1.310	0.067	1.140	0.071	1.060	0.084	0.940	0.100	1.200	0.115
6	1.740	0.040	1.800	0.053	1.520	0.058	1.230	0.067	1.600	0.066	1.500	0.078	1.260	0.088	1.120	0.099	1.350	0.109
7	2.000	0.042	1.920	0.056	1.690	0.058	1.600	0.069	1.900	0.073	1.830	0.086	1.510	0.089	1.450	0.103	1.540	0.126
8	2.120	0.043	2.000	0.055	1.890	0.058	1.890	0.070	2.000	0.074	2.000	0.085	1.820	0.093	1.740	0.112	1.820	0.131
9	2.210	0.039	2.220	0.058	2.000	0.058	2.000	0.070	2.050	0.075	2.110	0.085	2.000	0.095	1.850	0.121	1.870	0.130
10	2.510	0.052	2.340	0.056	2.310	0.059	2.100	0.070	2.210	0.080	2.200	0.082	2.190	0.095	1.970	0.119	1.970	0.125
11	2.930	0.057	2.370	0.050	2.350	0.071	2.150	0.063	2.350	0.082	2.450	0.089	2.400	0.090	2.000	0.107	2.000	0.125
12	3.180	0.055	2.720	0.054	2.580	0.075	2.220	0.070	2.690	0.085	2.760	0.090	2.500	0.102	2.150	0.108	2.290	0.126
13	3.570	0.049	3.070	0.054	2.940	0.074	2.580	0.077	2.920	0.086	2.970	0.093	2.710	0.105	2.460	0.110	2.400	0.120
14	4.000	0.051	3.440	0.044	3.340	0.070	2.920	0.078	3.150	0.084	3.150	0.094	2.750	0.095	2.790	0.110	2.450	0.112
15			3.800	0.043	3.480	0.065	3.100	0.079	3.420	0.070	3.590	0.096	2.940	0.101	2.950	0.110	2.720	0.112
16			4.000	0.048	3.660	0.058	3.450	0.076	3.690	0.067	4.000	0.095	3.230	0.107	3.010	0.103	3.080	0.120
17					4.000	0.053	3.770	0.074	3.850	0.072			3.570	0.093	3.330	0.110	3.330	0.114
18							4.000	0.075	4.000	0.068			3.750	0.094	3.500	0.101	3.700	0.105
19													4.000	0.094	3.820	0.102	4.000	0.108
20															4.000	0.097		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
平均河床高		0.051		0.056		0.066		0.074		0.077		0.087		0.095		0.108		0.117
最高河床高		0.057		0.061		0.075		0.079		0.086		0.096		0.107		0.121		0.131
最深河床高		0.039		0.043		0.053		0.063		0.064		0.071		0.076		0.081		0.098

※ X:横断距離, Z:河床高

付表-5.2(3) 横断河床高測定結果 (Case-1)

	横 断 側 線																	
	NO.36		NO.38		NO.40		NO.42		NO.44		NO.46		NO.48		NO.50			
	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
1	0.000	0.103	0.000	0.106	0.000	0.125	0.000	0.119	0.000	0.125	0.000	0.138	0.000	0.144	0.000	0.143		
2	0.260	0.108	0.300	0.126	0.380	0.127	0.350	0.127	0.400	0.139	0.330	0.150	0.390	0.167	0.270	0.149		
3	0.440	0.103	0.520	0.120	0.660	0.132	0.510	0.145	0.690	0.159	0.600	0.154	0.690	0.160	0.380	0.141		
4	0.650	0.100	0.750	0.111	0.860	0.148	0.700	0.154	0.950	0.164	0.770	0.150	0.720	0.171	0.500	0.155		
5	0.700	0.109	1.000	0.108	1.040	0.151	0.940	0.160	1.160	0.156	0.840	0.161	0.830	0.178	0.860	0.168		
6	0.870	0.123	1.120	0.124	1.350	0.151	1.030	0.151	1.670	0.164	0.950	0.166	1.080	0.182	1.010	0.160		
7	1.040	0.118	1.290	0.133	1.500	0.139	1.230	0.147	1.810	0.167	1.420	0.160	1.350	0.181	1.200	0.160		
8	1.200	0.132	1.560	0.129	1.850	0.128	1.360	0.152	1.940	0.168	1.630	0.157	1.510	0.177	1.440	0.169		
9	1.560	0.125	1.700	0.120	2.000	0.140	1.630	0.149	2.000	0.162	1.900	0.152	1.650	0.156	1.590	0.164		
10	1.630	0.128	1.730	0.108	2.120	0.139	1.960	0.149	2.150	0.157	2.000	0.155	1.720	0.167	1.800	0.153		
11	1.820	0.130	1.780	0.101	2.190	0.136	2.000	0.150	2.470	0.156	2.160	0.158	1.750	0.158	1.890	0.157		
12	1.920	0.127	1.930	0.112	2.220	0.128	2.300	0.139	2.690	0.148	2.430	0.167	2.000	0.159	2.000	0.155		
13	2.000	0.106	2.000	0.109	2.460	0.128	2.690	0.140	2.730	0.154	2.570	0.170	2.120	0.159	2.090	0.158		
14	2.080	0.106	2.100	0.105	2.800	0.127	2.920	0.141	2.920	0.160	2.830	0.158	2.340	0.152	2.340	0.163		
15	2.220	0.115	2.160	0.118	3.070	0.125	3.240	0.133	3.340	0.167	2.860	0.142	2.560	0.156	2.720	0.155		
16	2.410	0.120	2.630	0.110	3.320	0.112	3.430	0.117	3.660	0.130	3.070	0.138	2.770	0.166	2.880	0.165		
17	2.530	0.118	2.820	0.120	3.510	0.122	3.550	0.121	4.000	0.125	3.410	0.139	2.970	0.168	3.250	0.165		
18	2.860	0.122	3.070	0.122	3.740	0.122	3.720	0.121			3.660	0.133	3.190	0.162	3.480	0.168		
19	3.000	0.118	3.330	0.123	4.000	0.121	4.000	0.199			4.000	0.133	3.590	0.140	3.670	0.163		
20	3.500	0.117	3.610	0.115									3.690	0.139	4.000	0.158		
21	3.770	0.115	4.000	0.111									4.000	0.136				
22	4.000	0.109																
23																		
24																		
25																		
平均河床高		0.120		0.123		0.136		0.143		0.159		0.157		0.165		0.167		
最高河床高		0.132		0.133		0.151		0.160		0.168		0.170		0.182		0.169		
最深河床高		0.100		0.101		0.112		0.117		0.125		0.133		0.136		0.141		

※ X:横断距離, Z:河床高

粗砂・細礫を河床材料に持つ河川の
河床波・粗度・流砂量

ISSN 0386-5878
土研資料 第2944号
平成3年3月(1991)

河川研究室 室長 山本 晃一
西尾 正博

要 旨

本報告書は、既往の実験室での実験成果、粗砂を用いた大規模な二次元実験および実河川の観測データを解析することにより、粗砂・細礫を河床材料に持つ河川の洪水時の河床形態の変化過程を予測し得るようにし、河道計画に役立てようとするものである。

キーワード：小規模河床波，粗度，河床抵抗，流速係数，水位予測

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

河川研究室 行

茨城県つくば市旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

○

土木研究所資料 第 2 9 4 4 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

○