

中規模河床形態の分類と形成条件

THE CLASSIFICATION OF MESO-SCALE RIVER BED CONFIGURATION AND THE CRITERION OF ITS FORMATION

京都大学防災研究所 正会員 村本 嘉雄
京都大学防災研究所 正会員 ○ 藤田裕一郎

1. はしがき

中規模河床形態は、土木学会水理委員会¹⁾によって種々の砂州形態の総称として定義されているが、おのこの砂州形態の分類については前縁の平面形状によって、交互砂州あるいはうろこ状砂州といった名称が与えられているのみである。したがって、個々の砂州形態の定義や形状特性は明確にはされていない。しかし、放水路の開削や低水路の拡幅などの大規模な河川改修においては、流砂理論に基く河道縦断計画と同時に、河道の平面形状の設計指針を確立する必要性が強調されており、とくに、中規模河床形態の発生やその形状などを適確に予測することが重要な課題となっている。最近になって、種々の条件下における実験結果が相当に集積され、実河川の詳しい資料も蓄積されてきたことによって、交互砂州の形成条件や諸特性が少しづつ明らかにされてきている。

以上のことから、本文では、従来の実験水路および実河川の資料を用いて、砂州の形状特性のうち砂州長および砂州高と水理量との関係を詳細に検討する。その結果に基いて定義した4つの砂州形態に関して、交互砂州を中心として吟味を行い、新たな中規模河床形態の形成領域区分図を提案し、それについて若干の考察を加える。

2. 中規模河床形態に関する無次元量

中規模河床形態を支配する物理量としては、河床材料の粒度分布を無視すると、つぎの8つが考えられる。

$$\sigma, \rho, \nu, g, d, I, h, \text{ および } B \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 σ は河床材料の密度、 ρ は水の密度、 ν は水の動粘性係数、 g は重力の加速度、 d は河床材料の代表粒径（ここでは平均粒径）、 I は河床こう配、 h は平均水深および B は流路幅（水路幅・河道幅）である。いま、 I に代えて摩擦速度 $U_* = \sqrt{g h I}$ を用いれば、(1)式の物理量からつぎの5つの無次元量が導かれる。

$$\sigma/\rho, R_{*k} = U_* d/\nu, \tau_* = U_*^2/(\sigma/\rho - 1)gd, h/d \text{ および } B/h \quad \dots\dots\dots (2)$$

中規模河床形態に対して砂粒の加速度運動の影響はほとんどないと考えられるので、 σ/ρ は無視できる。また、中規模河床形態に関する従来の実測資料における R_{*k} の最小値は4.6 ($d = 0.29 \text{ mm}$)であって、流体抵抗に対する R_{*k} の影響は、形成される小規模河床形態の影響を無視すれば、流速係数 $c = U/U_*$ (U は平均流速)の値で1程度であって、 h/d の影響に比してかなり小さい。一方、限界掃流力 τ_c に対する R_{*k} の影響は岩垣式によって推算すれば、 $R_{*k} > 4.6$ では無次元限界掃流力 $\tau_{*c} = 0.034 \sim 0.05$ となり、 R_{*k} の効果は限界掃流力の評価で考慮すれば十分であると考えられる。したがって、(2)式の無次元量のうち

$$\tau_*, h/d \text{ および } B/h \quad \dots\dots\dots (3)$$

が中規模河床形態を主として支配する無次元量となり、以下の検討はこれらの水理量を用いて行う。

3. 中規模河床形態の形状特性

中規模河床形態の形状特性は、平面的な前縁形状、あるいは基準測線に沿う河床縦横断面の波動形状として把握されるが、それらが単純で明瞭な形でとらえられることは多くない。このため、中規模河床形態の形状特性量に関する情報に何らかの恣意性が介入することは避けられず、とくに実河川の場合にその傾向は強くなる。以上の点に留意して、ここでは、中規模河床形態の形状特性量として、比較的定義が明確で測定容易な砂州の波長 ℓ_s (蛇行半波長)と砂州の波高 Z_s を取り上げる。従来の研究では中規模河床形態は流路幅と

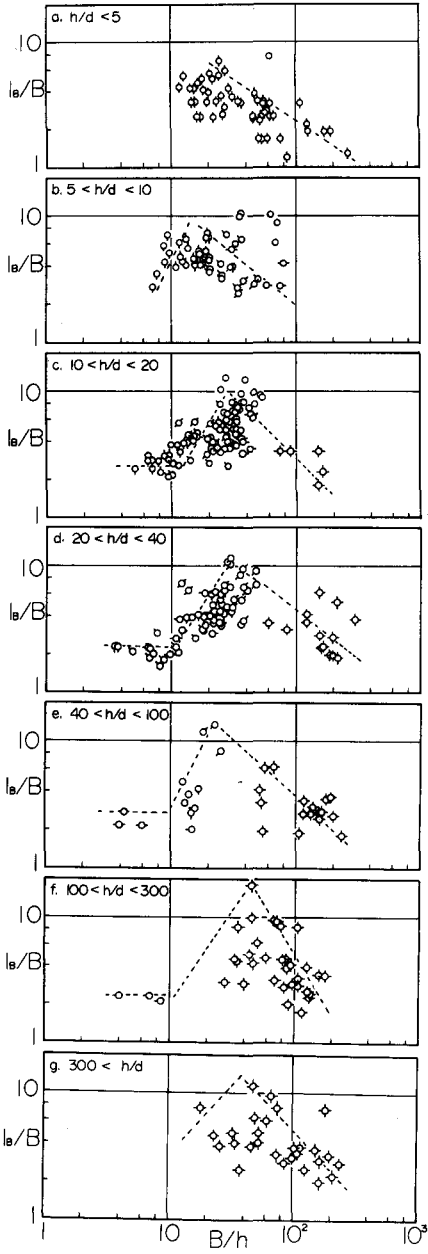
の対応が良いとされているので、 ℓ_b および Z_b を流路幅 B で無次元化した ℓ_b/B および Z_b/B と前述の水量との関係をそれぞれ検討する。検討に用いた実験値は下表に示すように、木下²⁾、芦田・塩見³⁾、芦田・奈良井⁴⁾、鮎川⁵⁾、風間⁶⁾、池田⁷⁾、Chang・Simons・Woolhiser⁸⁾、水山⁹⁾および著者ら¹⁰⁾のものであって、芦田・塩見および水山の実験値は原データによっている。また、実河川の資料は建設省¹¹⁾によってまとめられたものを用いている。

3. 1 砂州の波高・波長と流路幅－水深比との関係

ℓ_b/B と B/h との関係を h/d によって7段階に分けて示せば図－1のようであって、実験水路と実河川における値は $10 \leq h/d < 300$ で混在している。 ℓ_b/B は、実験水路と実河川を通じて、1.6から18の約11倍の変化幅を示し、いずれの h/d の場合にも一定の B/h に対して2～3倍の変化幅で一つの極大値を持つ波状変化をする。 ℓ_b/B が極大となる B/h の値、 $(B/h)_m$ は、 h/d の増大に伴って $(B/h)_m = 20 \sim 50$ の範囲でやや増加するようである。また、いずれの h/d に対しても、 $B/h > (B/h)_m$ では、 ℓ_b/B はほぼ一様に減少しているが、 $B/h < (B/h)_m$ の場合には、 ℓ_b/B は $B/h \div 10$ まで一様に減少し、 $B/h < 10$ に対して $\ell_b = 2 \sim 3$ のほぼ一定値をとる傾向が図－1 c～fにみられる。このように、砂州の波長－流路幅比と流路幅－水深比との関係は、実験水路と実河川を通じて連続した特性を有している。

つぎに、砂州の無次元波高 Z_b/B に関して、 h/d で6段階に分け図－1と同様の検討を行えば図－2のようである。 $10 \leq h/d < 100$ では実験水路と河川の値は同一図にプロットされるが、図－1の場合とは異って実験と実河川の値との間にはかなりの空白がみられ、連続した変化特性は見出し難く、今後この区間を埋める実験値あるいは観測値の集積が望まれる。しかし、図－2 aの変化を参照してこの区間を内挿して考えるならば、図中の点線で示されるような波状変化がみられる。全体の変化範囲は $Z_b/B = 2 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-1}$ であって、 ℓ_b/B の変化範囲に比してほぼ1オーダー広い。 $h/d < 100$ では、 Z_b/B の極大値は $B/h = 20$ 付近に現れ、 h/d が増加すれば極大値は 1.4×10^{-1} から 8×10^{-2} に減少する傾向を示し、極小値は $B/h = 10$ 付近に生じる。 $B/h > 20$ では Z_b/B はほぼ B/h に反比例して3～5倍の変化幅を持って減少し、 Z_b が水深 h に比例して増加する傾向を示している。しかし、実河川資料のみの $h/d > 100$ の場合では、

表 用いた実測値と記号			
実験水路	実験者・収集者		記号
	木下	砂	○
		石炭粉	⊙
	芦田・塩見	砂	○
	芦田・奈良井	砂	○
	鮎川	砂	⊙
	風間	メサライト	⊙
	池田	砂	⊙
	Chang	Plastic粒	⊙
	Simons	膨張粘土粒	⊙
	Woolhiser	砂	○
	水山	砂	⊙
実河川	著者ら	砂	○
	建設省	砂	⊙
池田	砂	礫	⊙
		礫	⊙



図－1 ℓ_b/B と B/h との関係

一定の B/h に対する Z_b/B の変化は6倍程度であって、十分明確な傾向を示すとはいいがたい。一方、 $B/h < 10$ では Z_b の増加は h の増加よりも急激であることがわかる。また、 h/d が増大すれば、上述の波状変化全体が Z_b/B の小さい方に下がる傾向もみとめられるようである。

以上のように、中規模河床形態は、 h/d によってやや影響されるが、 $B/h = 20$ 付近で波長・波高とも最も発達した砂州形状を呈し、その値から B/h が増大あるいは減少しても波長・波高がともに減衰した形態となる。しかし、 $B/h < 10$ になると波長の減衰は止まり、再び波高の増大した形態が形成される。

3. 2 砂州の波長・波高と無次元掃流力との関係

ℓ_b/B および Z_b/B と τ_* の関係を B/h で6段階に分けて示すとそれぞれ図-3および図-4のようであって、ともに明瞭な対応関係を見出すことは困難であるが、つぎの点是指摘できよう。すなわち、 $\tau_* > 0.4$ では、実験水路では $Z_b/B < 0.05$ 、実河川では $Z_b/B < 0.01$ であり、ともに $\ell_b/B < 4$ であって、 $\tau_* > 0.4$ 以上では砂州の発達が阻害されることがわかる。さらに、 τ_* が0.6を超える実験値は水山の一例外みられず、掃流砂に遮蔽効果の影響が小さくなる $\tau_* > 0.6$ では砂州はフラッシュされるものと考えられる。図-3および4において実河川資料に $\tau_* > 0.6$ の値が散見されるが、これは砂州形成時の水理量との対応に疑問があるので、以下の検討ではこの差がとくに大きいと思われる $\tau_* > 1$ の実測値は除かれている。一方、移動限界付近であっても ℓ_b/B 、 Z_b/B とも大きな値がみられることは、 τ_* 以外の水理量で構成される発達条件が満足されておれば、河床砂の移動開始と同時に明確な砂州が形成されていくことを表している。

4. 中規模河床形態の分類

前節で述べたように、図-1および2において、 $\ell_b/B > 10$ 、 $Z_b/B > 0.1$ の発達した砂州は、その両側にはずれるに従って ℓ_b/B 、 Z_b/B をともに減じて砂州の前縁が不明瞭となり、重なり合ったりするが、 B/h がさらに増大する場合には ℓ_b 、 Z_b の増加がそれに追従せず、複列砂州や網状流路が形成される。一方、 B/h が減少して $B/h < 10$ となれば ℓ_b/B は2~3のほぼ一定値となり、 Z_b/B は増大して波長の短い比較的前縁の明確な砂州形態が形成される。これらのことから、著者ら^{10), 12)} は実験値に基づいて中規模河床形態をつぎのように4つに分類し、それぞれの定量的基準を与えた。

1) 複列砂州(網状流路) Double row bar (Braided stream):

$\ell_b/B \leq 3$ 、 $Z_b/B \leq 0.03$ 、前縁の乱れた複雑な形状を示すことが多い。

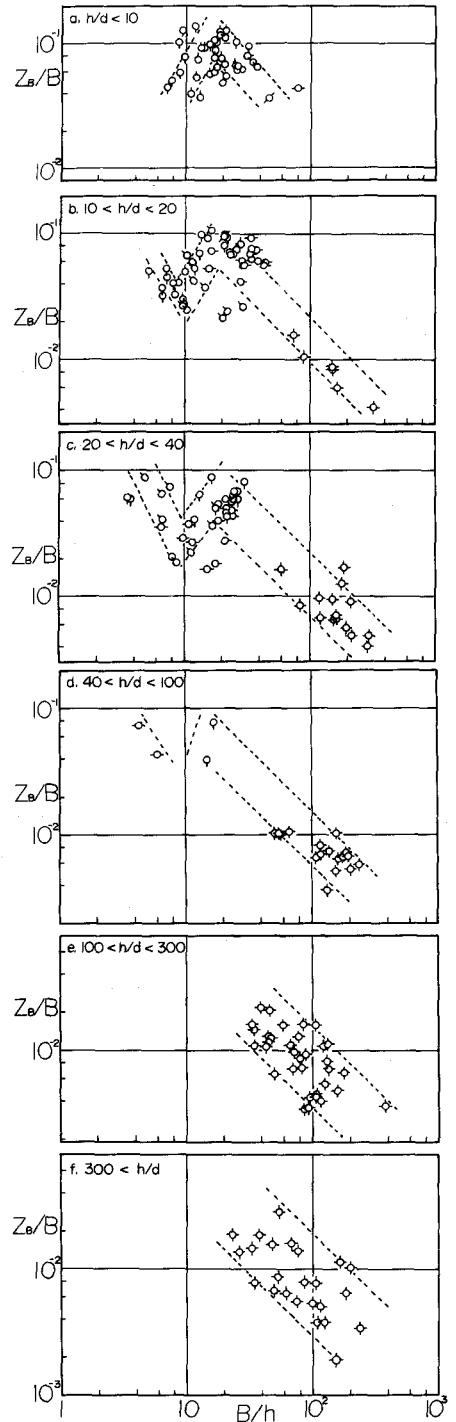


図-2 Z_b/B と B/h との関係

- 2) 交互砂州 Alternating bar : $\ell_b/B \geq 4$, $Z_b/B \geq 0.04$
- 3) 準砂州 Semi bar : $Z_b/B \leq 0.04$, 直線的な前縁が重なり合い、木下²⁾の準砂礫堆、池田⁷⁾のタイプ3 (単列弱蛇行) にはほぼ対応する。
- 4) 短対角州 Short diagonal bar : $\ell_b/B \leq 3$, $Z_b/B \geq 0.04$, 著者らが新たに定義した形態であって、小規模河床形態と共存することが多い。

実河川では、ある区間の最大値であっても $Z_b/B > 0.04$ となる場合は稀で、大部分の測定値が準砂州あるいは複列砂州と判定され、交互砂州はみられない。これらのうち、複列砂州と記された実測値は一、二例を除きすべて1)の複列砂州の基準を満足している。しかし、交互砂州と記されているもののうちにも1)の基準に適合するものが多少あって、上の基準は実河川の測定値に対しては厳しすぎるようである。今後、前述の h/d の増大に伴う

Z_b/B の減少傾向など

を参照し、実測値を充実して、この基準に関する検討を行っていく必要がある。

したがって、ここでは波長・波高に関する記述のある実験値は上の基準によって分類し、その他の実験値および実河川の値は記載してある形態に対して上の4形態のうちで最も近いと考えられるものに分類することにする。

5. 交互砂州の

形成条件

形状特性の検討で明らかになったように、おのおの中規模河床形態は交互砂州との相対的位置関係で決定される。したがって、交互砂州の形成条件を、(3)式の3つの無次元量

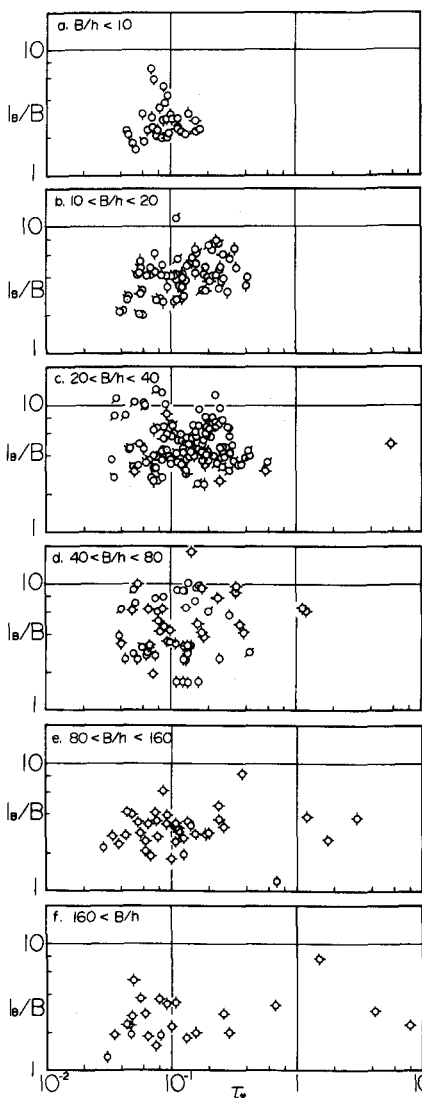


図-3 ℓ_b/B と τ_* との関係

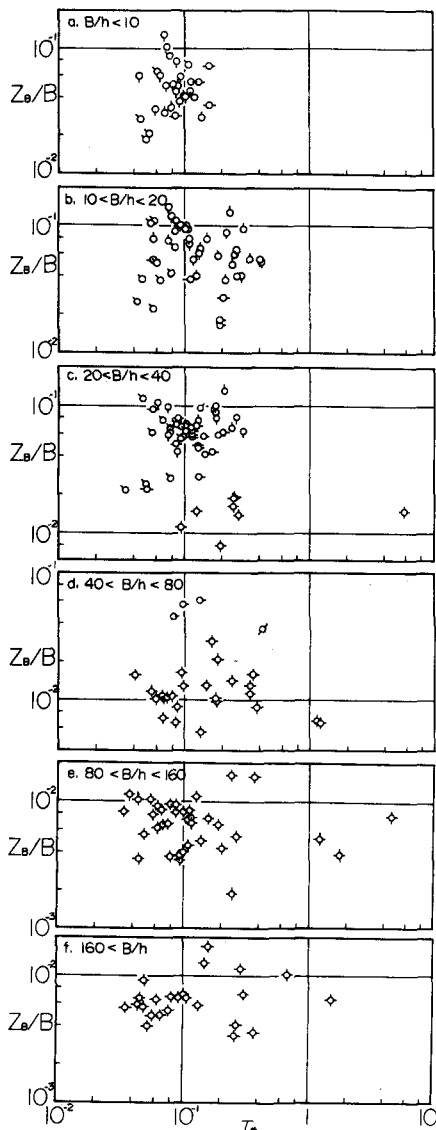


図-4 Z_b/B と τ_* との関係

を流路幾何形状に関する水理量が重複しないように変形したつぎの無次元量,

$$B/d, \ h/d \text{ および } I/(\sigma/\rho-1) \dots\dots\dots (4)$$

によって検討する。用いる実測値は先述のもののおよび池田¹⁸⁾による実河川資料のうちの $\tau_* < 1$ のものであり、簡単のために砂の資料のみについて検討し、 $\sigma/\rho-1$ の効果を無視する。木下の砂礫堆と池田のタイプ2（単列強蛇行）は交互砂州に、また木下の準砂礫堆と池田のタイプ3は準砂州に分類している。

河床材料を砂に限っているので、実測値をIについて17段階に分け、図-5に例示するように、 $h/d-B/d$ 平面上で交互砂州と準砂州・短対角州との形成領域の境界線を求めた。その結果、 $\tau_* < 0.6$ の範囲で交互砂州の形成限界線は、すべてのIの段階に対してつぎの関係で近似的に表されることが明らかになった。

$$h/d = R(I)(B/d)^{2/3} \dots\dots\dots (5)$$

検討結果から、(5)式の係数R(I)とIとの関係を図示すれば図-6のようである。I ≤ 1/20の範囲でR(I) ≐ 0.45となり、R(I)はIにほとんど関係しないことがわかるが、I < 0.0015の場合には図-7に示すようにR(I) = 0.45の限界線は、建設省による交互砂州の資料のほぼ中央を通り、やや不適当のように思われる。しかし、それらと混在する池田のデータはR(I) = 0.45の限界線によってかなり明確に区分されており、前者の交互砂州の資料中には準砂州と判断されるもののがかなり含まれていると考えられる。一方、I > 1/20において、Iの増加に伴ってR(I)が減少する理由は明らかではないが、このような急こう配では実験条件が $\tau_* = 0.6$ に近いことやFroude数が8以上にもなることの影響が考えられる。しかし、この点については今後の検討が必要である。

以上のように、 $\tau_* < 0.6$ かつI < 1/20の条件下では、交互砂州の形成限界に河床こう配は無関係で、 h/d と $(B/d)^{2/3}$ の比のみが支配パラメーターとなる。縦軸に τ_* にかえて τ/τ_c 、横軸に $h/d/(B/d)^{2/3}$ をとって建設省の資料以外の実測値を図示すれば図-8のようであり、交互砂州の形成領域を単純化すれば図中の点線のようにあって、次式で表される。

$$I < \tau/\tau_c < 12 \text{ かつ } 0.15 \leq h/d/(B/d)^{2/3} \leq 0.45 \dots\dots\dots (6)$$

また、複列砂州の形成領域は $h/d/(B/d)^{2/3} < 0.15$ 、準砂州・

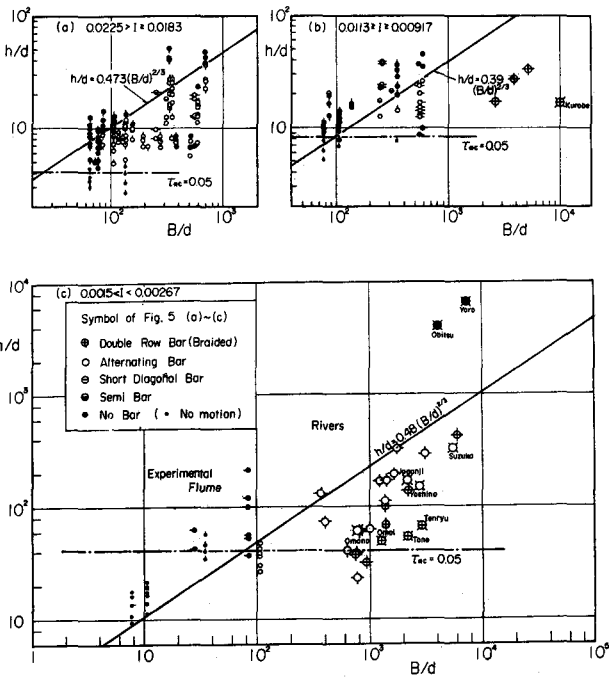


図-5 $h/d-B/d$ 平面における交互砂州の形成領域の検討例

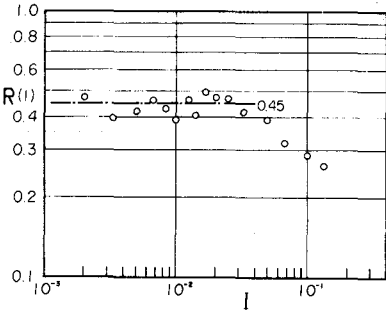


図-6 R(I)とIとの関係

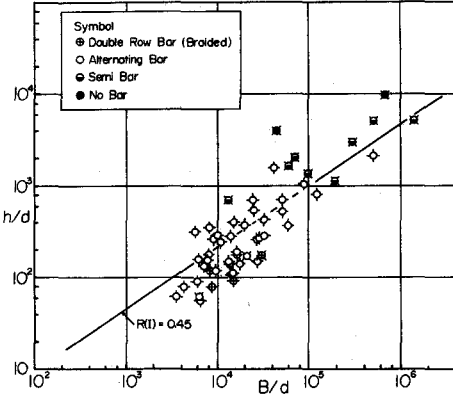


図-7 I < 0.0015における形成領域の検討

短対角州の形成領域は $h/d/(B/d)^{2/3} > 0.45$ である。
 $h/d/(B/d)^{2/3} > 0.65$ では準砂州の形成はみられず、 $\tau/\tau_c > 12$ ($\tau_c = 0.6$ に相当) では非定常流量の影響の強い実河川の資料を除いていずれの中規模河床形態も形成されない。

6. 中規模河床形態の形成条件

前述のパラメーターは、 $h/d/(B/d)^{2/3} = [h/d/(B/h)^2]^{1/3}$ のように変形できるので、 $\tau_* < 0.6$ の条件下では(6式)の交互砂州の形成条件はつぎのように表される。

$$0.0034(B/h)^2 < h/d < 0.091(B/h)^2 \tag{7}$$

また、 $B/h = 10$ において砂州の形状特性が変わることから、これを短対角州の形成限界にとれ

ることから、これを短対角州の形成限界にとれ 図-8 $h/d/(B/d)^{2/3} - \tau/\tau_c$ による交互砂州の形成領域は、前述の4つの河床形態の形成領域は、 $B/h - h/d$ 平面において図-9のように示される。図-10はこの領域区分図に実測値を図示したものであって、前節で述べた建設省の資料を除いて良く区分されている。この領域区分は前述の手順からわかるように $I/(\sigma/p - 1)$ にも無関係であって、比重の異なる河床材料を用いた実験(木下：石炭粉水中比重0.45, 風間：メサライト同0.76, Chang・Simons・Woolhiser : Plastic pellet 同0.05, expanded clay aggregate 同0.80)資料についても良好な結果を与えている。なお、 τ_c の大きい実測値は同図において準砂州領域の上方に示されるようである。

つぎに、中規模河床形態の領域区分として従来提案^{(5), (7), (14)}されている $U_* / U_{*c} - BI/R$ 平面による区分法との対応について述べる。この領域区分図に実測値に基づいて示されている各河床形態の境界線はつぎの関係である。

$$U_* / U_{*c} = a(BI/R)^n \tag{8}$$

ここに、 U_{*c} は限界摩擦速度、 R は径深および a, n は定数である。 $U_* = \sqrt{gRT}$ 、 $U_{*c}^2 = 0.05(\sigma/p - 1)gd$ と

して上式を変形すると

$$R/d = 0.05(\sigma/p - 1) \times I^{2n-1} (B/R)^{2n} \tag{9}$$

となり、この指数として鮭川⁽⁵⁾は $n = 1/4$ 、池田⁽⁷⁾は $n = 1/3$ 、岸、黒木、今泉⁽¹⁴⁾は $n = 1/2$ を与えている。 $n = 1/2$ の場合に区分線は I に無関係となり、 R が h にほぼ等しいとすると、

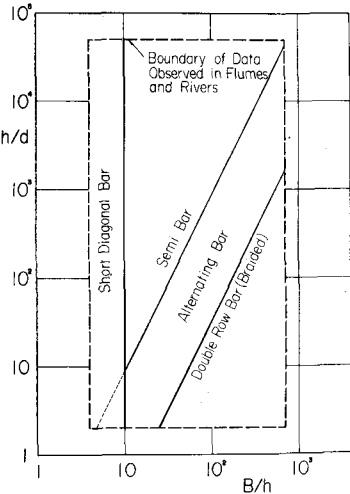


図-9 中規模河床形態の形成領域

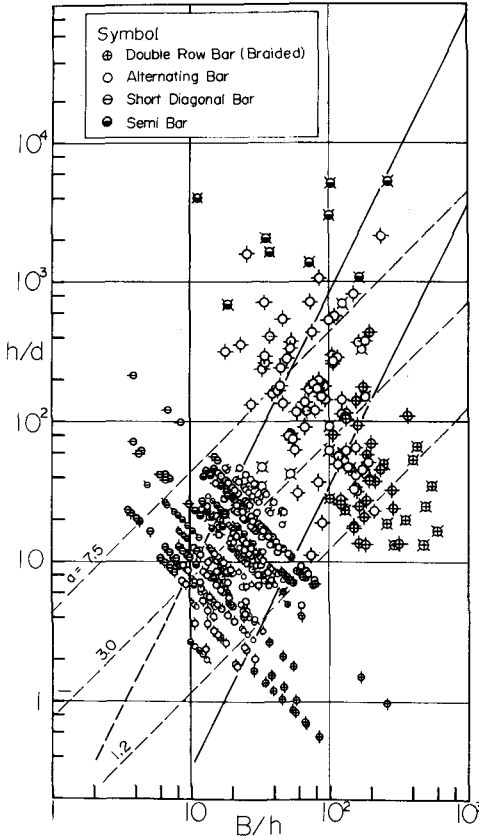
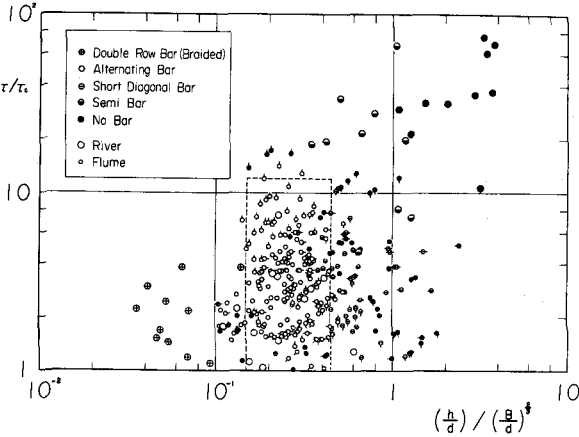


図-10 中規模河床形態の形成領域の検討

$h/d \sim B/h$ の関係が得られる。岸らは河床形態を、非発生・遷移・単列砂州・複列砂州に分け、各領域間の区分線に対してそれぞれ $\alpha = 7.5, 3.0$ および 1.2 を与えているが、 $\sigma/\rho - 1 = 1.65$ の場合のこの関係は図-10 に示されている。この区分と著者らの区分との比較は、河床形態の定義が異なるため困難であるが、岸らの区分線では交互砂州（単列砂州）の形成領域に与える h/d の効果が強調されすぎているようである。また、(9) 式の関係では水中比重の異なる河床材料に対しては異なる区分線を与えるが、前述のように実測値には水中比重の効果はみられず、従来の形成領域区分はこのような場合には適用できない。この理由としては、パラメーターの誘導の前提とされている移動床水路の歪み模型の概念が中規模河床形態に適用される場合にあいまいであること、模型と原型で縮率を 1 とする τ_* あるいは $\tau/\tau_c (U_*/U_{*c})$ や、歪み率として導入され主要な意味を持つこう配が、形状特性や形成条件の検討結果にみられるように、支配的なパラメーターとならなかったことなどがあげられよう。

7. 中規模河床形態の形成領域区分に関する二、三の検討

中規模河床形態の形成領域と掃流砂量との関係を検討するために限界掃流力を考慮した Brown 型の掃流砂関数

$$Q_b = KBU_*^3 (1 - \tau_{*c}/\tau) / \{ (\sigma/\rho - 1)g \} \quad \text{..... 10}$$

を $U_* = Q/cBh$ を用いてつぎのように変形して $B/h - h/d$ 平面で表すと図-11 のようである。

$$\frac{B}{h} = Q_* \left[\left(\frac{c}{K} \cdot \frac{Q_b}{Q} \cdot \frac{h}{d} + \tau_{*c} \right)^{1/2} \cdot c \left(\frac{h}{d} \right)^2 \right]^{-1}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_* = Q / \{ (\sigma/\rho - 1)g d^5 \}^{1/2} \\ c = U/U_* = 6.0 + 5.75 \log (h/k_s) \end{array} \right. \quad \text{..... 11}$$

ここに、 Q_b は全幅の掃流砂量、 K は定数、 Q は全流量および k_s は相当粗度であって、図-11 では $K = 10$ 、 $k_s = 2d$ としている。また、

$$B/h = Q_* / \{ \tau_*^{1/2} c (h/d)^2 \} \quad \text{..... 12}$$

であって、同図には $\tau_* = \tau_{*c} (Q_b = 0)$ 、 $\tau_* = 0.1$ および $\tau_* = 0.6$ の線も記入してある。交互砂州の形成領域は $\tau_* = \text{一定}$ の線と直交し、さらに、掃流砂濃度 $Q_b/Q = \text{一定}$ の線ともほぼ直交するようである。これは、交互砂州の形成に関して、平均的な掃流砂濃度の影響が小さいことを表し、また、 τ_* が重要ではないという先述の検討結果とも一致している。実測値の範囲では無次元流量 Q_* が小さいほど、 Q_b/Q の変化による図上の変化幅が小さくなっており、同図は全流砂量に対応したものであるが、局所的な h/d の違いによっても流砂量が大きく変化する可能性を示していると思われる。

つぎに、同様の検討を Froude 数をパラメーターにして行うと

$$B/h = Q_* (\sqrt{\sigma/\rho - 1} / F_r) (h/d)^{-5/2} \quad \text{..... 13}$$

であるので、 $\sigma/\rho - 1 = 1.65$ の場合は図-12 のようである。上式と 12 式とを比較すれば、実測値の範囲では $(h/d)^{2.5}$ と $c(h/d)^2$ の変化特性には大差がないので、 $F_r / \sqrt{\sigma/\rho - 1}$ と $\tau_*^{1/2}$ とは、図-11 および 12 に見られるように、ほぼ同等な効果を $B/h - h/d$ 平面上で持つことがわかる。このように、水流の重要なパラメーターである Froude 数も交互砂州の形成条件に対してほとんど無関係であると判断できる。

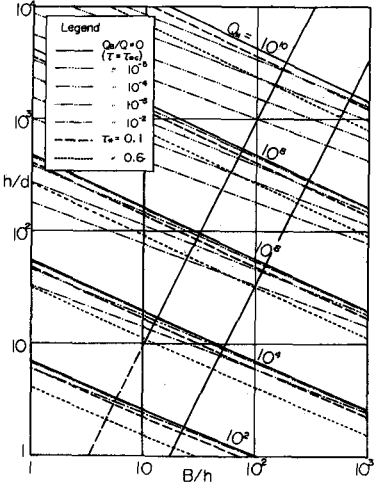


図-11 形成領域区分と掃流砂量

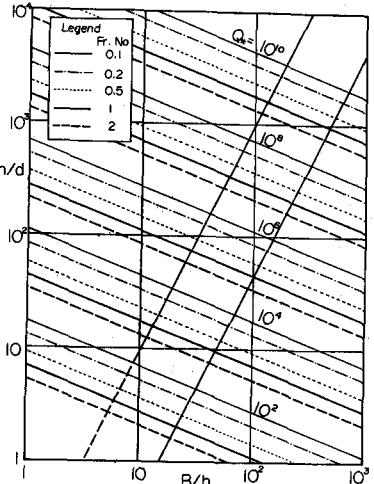


図-12 形成領域区分と Froude 数

以上のように、交互砂州の形成条件を決定する物理機構には、 τ_* あるいは流砂量やFroude数以外の重要なパラメーターが含まれていると推定されるが、現在それに関する知見はほとんどなく、今後この点に関して考察を進めていくつもりである。

最後に、側岸侵食性流路に形成される中規模河床形態に関して、図-11によって考察するとつぎのようである。流量および給砂量が一定で掃流砂量が流下方向に変化しない場合は、流路は拡幅とそれに伴うこう配の増加によって水深を減少させ、現象は図-11の Q_b/Q =一定の線に沿って右下方に進み、交互砂州領域に入れば交互砂州が形成され始める。この領域に入った後もこう配が大きく側岸侵食が激しい場合には、十分に発達した交互砂州が現れるまでに、現象はさらに右下方の複列砂州領域に移り、最終的には網状流路が形成されると考えられる。一方、こう配がやや小さい場合には、現象の移動は遅く、発達した交互砂州に伴う交互の側岸侵食が生じ、蛇行流路が形成される。こう配がさらに緩やかになり、準砂州領域で側岸の停止条件が満足される場合には、砂州による流量集中はほとんどないと考えられるので、いわゆる動的平衡流路の形成される可能性がある。流砂量が流下方向に変化する場合も、ほぼ上述の現象と同様であろう。

8. むすび

中規模河床形態に関して、その形状特性と交互砂州の形成条件の詳細な検討をこれまでに集積された実測資料を用いて行い、 $\tau_{*c} < \tau_* < 0.6$ ($1 < \tau/\tau_{*c} < 12$) の範囲では河床こう配は中規模河床形態の形成条件に主要な影響を与えず、この形成条件が河床材料および流路横断形状を表す水深と流路幅のみで与えられることを見出した。これは、交互砂州が、河床こう配が 10^{-1} オーダーの実験水路から 10^{-4} オーダーの大河川まで広範囲にわたって形成されている経験的事実の説明となっている。一般に、中規模河床形態は、流砂量の平面的な不均衡によって発生、発達すると考えられるので、これまでに述べた結果は、河床こう配が流砂量の平均値には関係するが、平面的な分布状態には影響しないことを示していよう。今後、この発生・発達過程を精度の良い実験によって把握し、本研究で得られた形成領域区分の物理的意義を明らかにしてゆきたい。

最後に、本文をまとめるにあたって、実験ならびに資料整理に尽力してくれた本学大学院学生堀池周二君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 水理委員会：移動床流れにおける河床形態と粗度，土木学会論文報告集No.210，1973。
- 2) 木下良作：石狩川河道変遷調査一参考編一，科学技術庁資源局資料第36号，1962。
- 3) 芦田和男・塩見靖国：水路における砂礫堆の水理特性について，京大防災研年報，第9号，1966。
- 4) 芦田和男・奈良井修二：河床形態の変動特性に関する研究，京大防災研年報，第12号B，1969。
- 5) 鮎川登：直線河道における流れの蛇行現象に関する水理学的研究，科学技術庁資源調査所，1971。
- 6) 前出の5)に引用されている。
- 7) 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，46-7，1973。
- 8) Chang, Hai-Yain, D.B.Simons & D.A.Woolhiser: Flume Experiments on Alternate Bar Formation, Proc. of ASCE, Jour. of WW div., ww1, 1971。
- 9) 水山高久：山地河川の掃流砂に関する研究，京都大学学位論文，1977。
- 10) 村本嘉雄・藤田裕一郎：中規模河床形態に関する研究，京大防災研年報，第20号(印刷中)。
- 11) 建設省河川局治水課・土木研究所：河川の蛇行に関する研究，第30回建設省技術研究会論文集，1976。
- 12) 池田宏：砂礫堆からみた河床形態のタイプと形成条件，地理学評論，48-10，1975。
- 13) 岸力・黒木幹男・今泉正次：拘束蛇行流に関する実験的研究，土木学会第30回年次講演会概要集，1975。
- 14) 藤田裕一郎・村本嘉雄：中規模河床形態の形状特性と形成条件，同第32回年次講演会概要集，1977。