

II-4 交互砂洲の発達過程における形状と流砂量分布

北見工業大学工学部 正会員 内島 邦秀
北見工業大学工学部 正会員 早川 博

1. まえがき

一般的な直線水路における交互砂洲の形成・発達過程については実験の観察から定性的に明らかにされてきた¹⁾。藤田・村本ら²⁾はこの定性的特徴を数行し、交互砂洲の波長、波高の経時変化に基づいて発達状況の特性を定量的に明らかにした。さらに、発達過程における土砂の移動状況を河床変動の検討によって明らかにし、発達機構の特性を見出している。以上の研究は、流入と給砂による乱れの影響を強く受ける上流部の不安定な砂洲を除き、複数の交互砂洲を対象として、平均化された特性諸量によって発達状況を検討したものである。

本研究では、交互砂洲の縦横断面形状が半波長ごとにくり返えされることに着目して、通水初期に水路の上流側で発生した明瞭な前縁をもつ1個の砂洲(半波長砂洲)が、流下移動しながら発達し平衡状態になるまでを追跡し、発達過程にある砂洲形状と流砂量の縦横断面分布について詳細に測定した実験を射流、常流の条件下で行った。

本研究は、単列交互砂洲の発達過程における砂洲形状と流砂量分布の対応関係を考察するとともに、射流と常流の条件の違いが形状と流砂量分布に表われるか否かを実験によって検討したものである。

2. 実験装置と実験方法

実験水路は幅(B)30cm、高さ40cm、長さ14mの側面ガラス張りの可変勾配循環水路である。河床材料としては、ほぼ均一な粒径の比重2.60の砂と比重1.86のメサライトを用いた。これらの材料を厚さ7cmに敷均して一定流量を通水し、流砂量に等しい量を給砂して実験を行った。河床及び波高(H)の測定は自製の河床形状測定器³⁾を用い、通水中に測定した。砂洲長(砂洲半波長, l)は砂洲前縁の水路中心軸に対する正射影長として測定した。波高は同一砂洲の横断面の最大高低差とした。平均水深(h_m)はポイントゲージで測定して求めた。流速(C)は砂洲先端を追跡し、その移動距離から求めた。

流下しながら発達する砂洲上の流砂量分布とその時の河床横断面形状は次のように測定した。移動している砂洲先端に水路にそった鋼尺の0端を常時一致させ、先端から鋼尺目盛上10cm間隔で河床形状測定器を上流方向に移動して横断面形状を測定し、その直後並行して、台車に設置した2台のビデオカメラで河床面を5秒間撮影した。同一の砂洲が平衡状態に達するまで追跡し、等時間間隔で測定をくり返した。半波長区間の測定所要時間は1分から1分半であった。流砂量分布は既報³⁾と同様にして求めた。また、下流端で平均流砂量(q_B)を測定した。実験条件及び測定諸量は表-1のとおりで、添字eは平衡状態時の値である。Run M-1の実験条件はRun 29に等しい無次元摩擦速度比 $u_* / u_{*c} (= 1.76)$ と無次元量 $BI / h_m (= 0.2)$ を得るように設定した。実験は、すべてのRun No.について左岸側に先端部をもつ砂洲を追跡し、砂洲先端から10cm間隔の測定位置をSt. No. 1, 2, ..., 13と表記した(St. No. 0は先端から下流10cmの位置である)。

使用したシャッタースピード1/30秒のビデオカメラで直接砂洲上の流砂量を測定するには、種々の制約を伴う。河床材料の平均粒径(d_m)が1mm以下であったり、砂粒子の移動速度が大き過ぎると、スローモーション再生による砂粒子数の

読み取りは不可能であった。フルード数 $Fr = 1.0 \sim 1.2$ の射流条件下の実験においては、使用砂

表-1 実験条件及び測定諸量

Run No.	I	Q (l/s)	h_m (cm)	d_m (mm)	l_e (cm)	H_e (cm)	C_e (cm/s)	Fr	B/h_m	q_B (cm^2/s)	T_e (min)	Bed Material
29	1/80	2.25	1.85	1.34	120	2.52	0.23	0.95	16.2	0.094	30	Sand
M-1	1/100	1.75	1.59	1.70	131	2.64	0.33	0.93	18.9	0.107	21	Mesalite
M-2	1/170	1.88	1.96	"	125	1.62	0.20	0.73	15.3	0.045	48	Mesalite
M-3	1/150	1.80	1.89	"	117	1.96	0.23	0.74	15.9	0.059	42	Mesalite

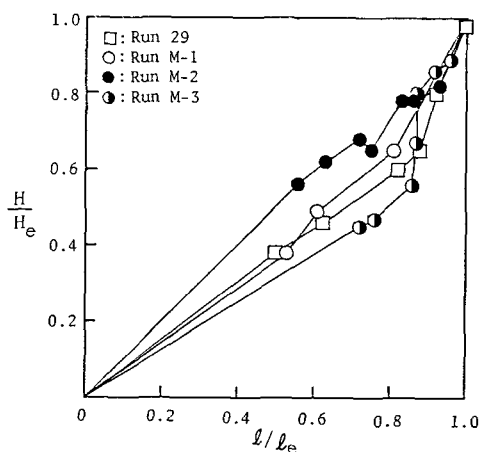


図-1 H/H_e と l/l_e の関係

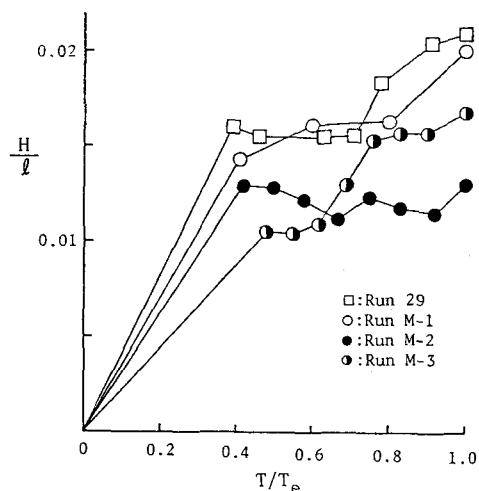


図-2 H/l の経時変化

では読み取り不可能で、Run 29の $Fr=0.95$ 程度が限度であった。しかしながら、 $1 < Fr < 1.2$ の条件下の実験による河床形状とRun 29のそれとは、際立った相違がみられなかった。そこで、本研究においては、以下、Run 29は射流状況下の実験とみなし、射流と呼称する。

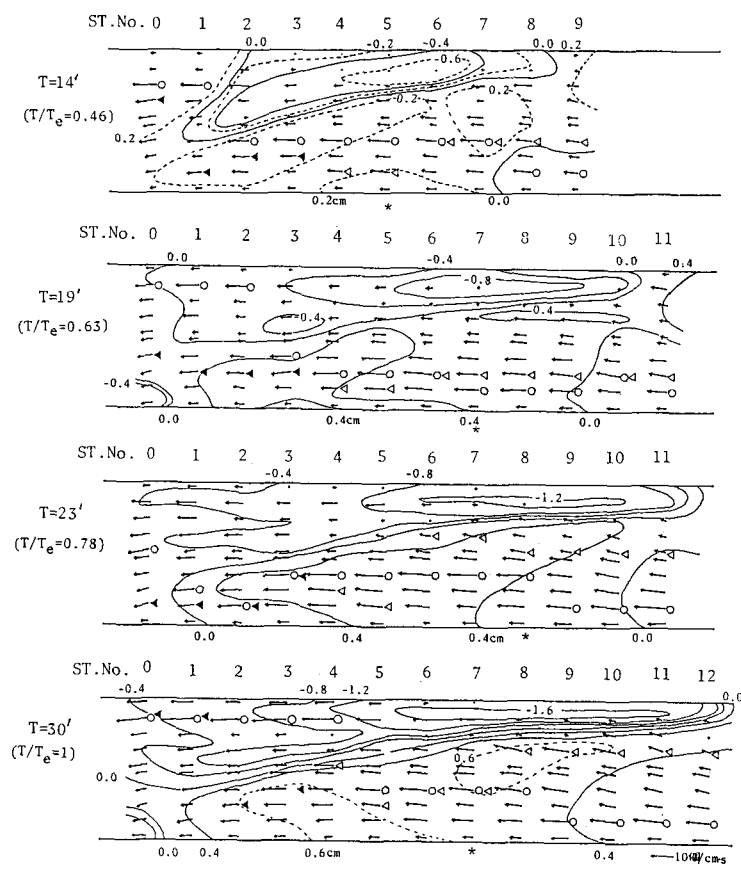


図-3 河床形状と流砂量ベクトル (Run 29)

3. 発達過程における砂州形状と流砂量分布の関係

(1) 発達過程の砂州長と波高
発達過程の砂州長 l と波高 H を無次元砂州長 l/l_e と無次元波高 H/H_e の関係で表わしたのが図-1である。各Runとも $l/l_e > 0.5$ であって、藤田・村本ら²⁾の示した段階区分の第2段階の発達状況を追跡したことに相当する。図-2は発達に伴う H/l の変化を無次元時間 T/T_e に対して示したものであり、波高の発達速度が砂州長の発達速度より大きく、砂州が発達するに従って H/l が増加することを示している。図-1, 2から、 u_x/u_{xc} と BI/hm を一致させたRun 29とRun M-1の発達過程にある砂州形状はほぼ相似になることがわかる。⁴⁾ Run M-1ではメサライト粒子の移動速度が大きくビデオによる流砂量の読み取りができなかったため、Run 29

とRun M-3を代表例として、射流と常流における砂洲形状と流砂量分布の対応関係を実験結果に基づいて以下に考察する。

(2) 河床平面形状と流砂量ベクトル

平均河床面からの高低差で表わした河床等高線図に砂洲上の流砂量ベクトルを示したものが図-3, 4である。同図中、○印は各測定断面における縦断方向最大流砂量の発生位置を表わす。横断方向流砂量は左岸から右岸に向うものを正として、その最大流砂量の発生位置を△印で表わし、それが負の場合は▲印とした。また、*印は各横断面の高低差の中で最大値(波高として採用)が生じた位置を示す。

河床形状は、射流の場合、発達初期の $T=14'$ で砂洲前縁が直線状を呈し、 $T=19'$ から平衡状態に達するまでは、先端(St.No.1)から砂洲長の約5割上流位置を境に下流側で円弧状に張り出す形状となる。一方、常流の場合は、平衡状態に達してもなお直線状が持続している。瀬となる堆積域の河床上昇は常射流とも大差なく、洲となる洗掘域の河床低下は常流よりも射流で顕著である。半波長区間で洗掘域の占める割合は常流で大きい。最大洗掘箇所は常射流とも洗掘域の上流側に固定する。河床横断面内の最大高低差は、射流では最大洗掘箇所を横切る位置に現われるのに対し、常流では比較的砂洲先端部寄りに現われる。

流砂量は、常射流とも水深の小さい瀬の部分で大きく、水深の大きい洲の部分で小さい。射流における平衡状態の縦断方向最大流砂量の発生位置を連ねた線は、井口⁵⁾が固定した砂洲上で測定した流心線³⁾とよく一致する。この対応が発達段階においても成り立つとすれば、 $T=19'$ の段階で、水流の蛇行によって縦断方向最大流砂量の発生位置が砂洲先端からやや上流で前縁を横切って対岸寄りに移行し、その前縁を横切る部分で洗掘域への埋

戻しが生ずるようになり、射流条件下の砂洲平面形状の特徴である前縁の円弧状の張り出しが生じると推定される。

$T=19'$ において、砂洲先端部前縁の対岸寄りに側壁に平行なridgeが発生した。その発生原因は不明であるが、ridgeは平衡状態まで存続した。 $T=30'$ の流砂量ベクトルは、既報³⁾の同一実験条件下のridgeのないベクトル図と比べてみると大局的には大きな相違は見られない。ただし、 $T=23'$ では、縦断方向最大流砂量の発生位置は砂洲先端の対岸寄りに移行していない。このことは、水流の蛇行がridgeによって減勢されたもの

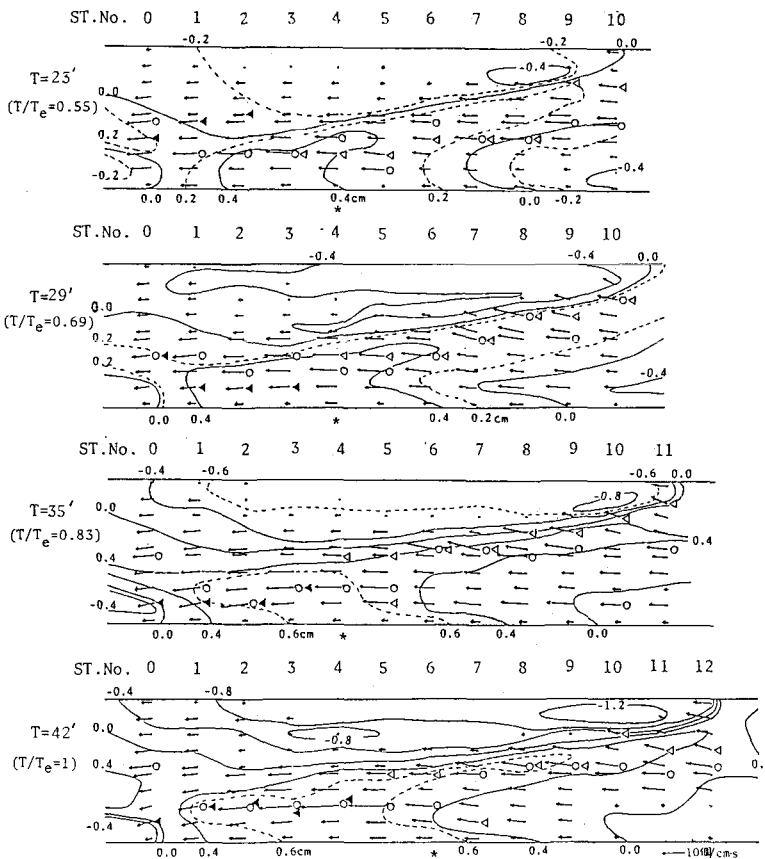


図-4 河床形状と流砂量ベクトル(Run M-3)

注) 井口の論文に掲載の鉛直線上の平均流速の横断分布図と河床平面形状図によって求めた。

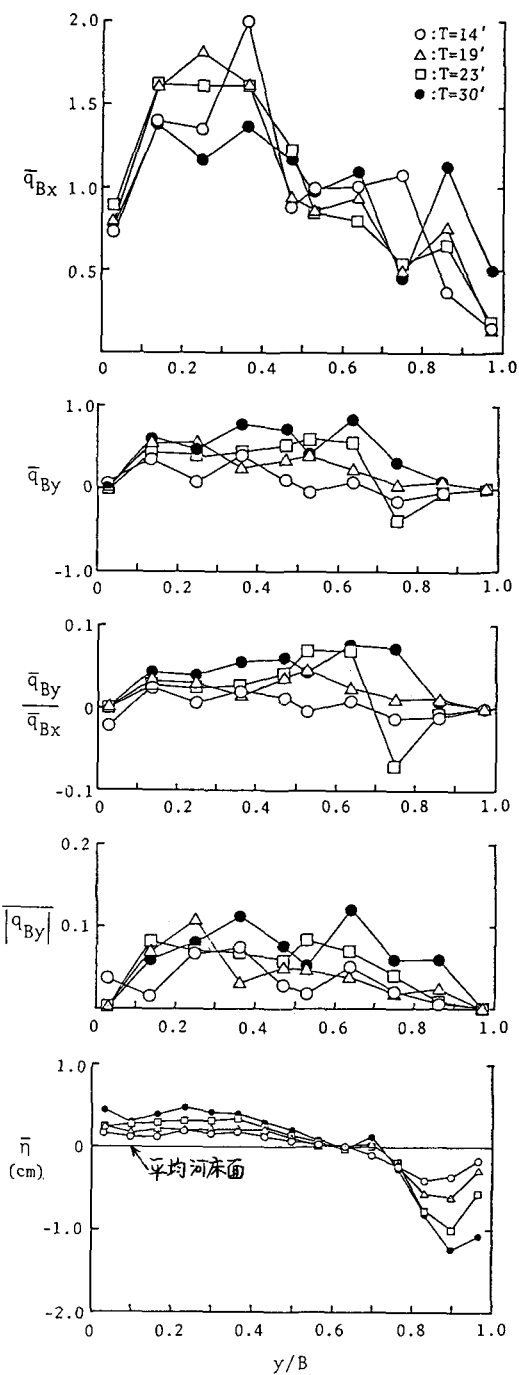


図-5 半波長平均の流砂量分布と河床横断形状 (Run 29)

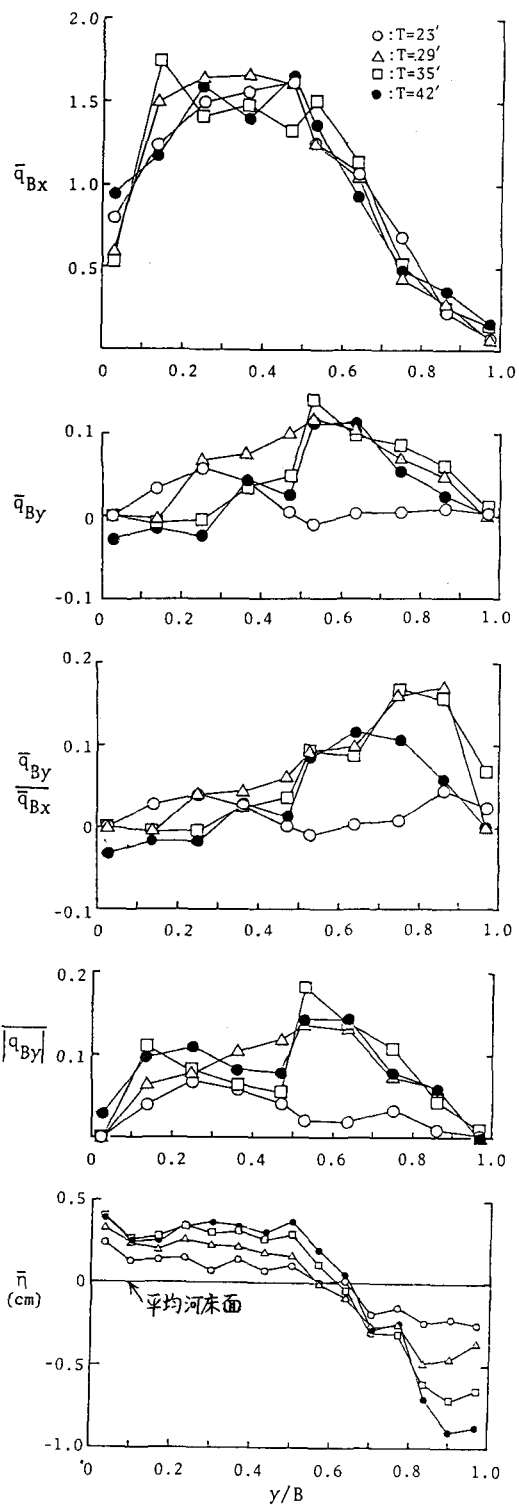


図-6 半波長平均の流砂量分布と河床横断形状 (Run M-3)

と思われる。

常流においては、縦断方向最大流砂量の発生位置は、発達初期では水路中央部にあり、発達するにつれて中央部から左岸寄りに移行し、洗掘域には現われない。常流下の水流の蛇行は射流に比べて弱く、洗掘されて流送する土砂は、一様な埋戻しや砂州長の増大に寄与し、前縁の張り出しは現われない。

横断方向最大流砂量の発生位置は、常射流とも発達初期では縦断方向最大流砂量の発生位置とほぼ同じ所に現われ、発達するに従って砂州前縁法肩付近に移行する。

(3) 流砂量の横断分布と河床横断形状

平衡状態に達した砂州の半波長区間で平均した横断形状と流砂量の横断分布の特性については既に明らかにした。³⁾ ここでも同様に半波長にわたる平均化を行い、発達過程における砂州形状と流砂量分布の特性を追究する。

図-5, 6は、半波長区間で平均した縦断方向平均流砂量 $\bar{q}_{bx}$ 、横断方向平均流砂量 $\bar{q}_{by}$ 、流砂の平均移動方向 $\bar{q}_{by}/\bar{q}_{bx}$ 、横断方向流砂量の絶対値の平均値 $|\bar{q}_{by}|$ 及び平均河床高 $\bar{h}$ の横断分布を示したものである。 $\bar{q}_{bx}$ 、 $\bar{q}_{by}$ ($\cdots |\bar{q}_{by}| \cdots$) は、それぞれ、横断方向にわたる10測線の縦断方向と横断方向に移動する砂粒子数の半波長区間平均値 ($\cdots$ 絶対値の平均値 $\cdots$) を、縦断方向に移動する全測点砂粒子数の半波長区間平均値 (この値は発達各段階をととして一定であった) で割った無次元流砂量である。 y は左岸からの位置である。

$\bar{q}_{bx}$ の分布形状は、発達各段階ともほぼ同一である。射流では常流よりも左岸寄りに歪んだ分布形状となり、 $\bar{h}$ の分布形状との相似性は常流の方が高い。井口・熊川^{5), 6)} が固定した砂州上で実測した縦断方向鉛直平均流速の横断分布形状ともほぼ相似となる。 $\bar{q}_{by}$ は、全断面平均でみれば、発達するにつれて増加する傾向を示している。射流では、発達が進むに従って左岸寄りの歪が小さくなり、平衡時に水路中心軸に関して対称な凸形の分布形状となる。一方、常流では、平衡時の分布形状は水路中央部のピークから左右岸に向けて下に凸の、これも対称な分布形状となる。Run M-2 も同様な結果を得た。射流において、先述したように洗掘域下流 $y/B = 0.75$ 付近で流れ方向に ridge が発生した。 $\bar{q}_{bx}$ の平衡時の分布形状が扁平化し、特異な形状となっているのは、ridge による水流蛇行の抑制と水流の分流作用に起因していると思われる。また、 $T = 23'$ で $y/B = 0.75$ に対する $\bar{q}_{by}$ 値が負となることもこの影響によるものと思われる。

$\bar{q}_{by}/\bar{q}_{bx}$ の横断分布は、発達初期では全断面にわたって流砂の流下方向への直進性が強く、発達に伴って淵の領域で直進性が弱くなることを示している。 $|\bar{q}_{by}|$ は横断方向土砂移動の活発度を表わす一つの指標と考えられる。その横断分布から、常流では左岸側の淵の領域で発達に伴って活発度を増すのに対し、右岸側ではほぼ一定であることが特徴的である。射流の場合は、全断面にわたって発達するにつれて活発度を増す傾向がある。

半波長区間平均の河床横断形状図は、先述の堆積域の河床上昇が常射流とも大差なく、洗掘域の河床低下が射流で著しいことを、明瞭に示している。

$\bar{h}$ の最大値と最小値の差を H_m とし、実測波高 H との関係を図-7に示す。発達全過程で、 $H_m = (2/3)H$ となる。 $\bar{q}_{bx}$ 、 $\bar{q}_{by}$ 等の横断分布特性に基づく H の決定機構に関する検討を今後の課題としない。

4. あとがき

本研究では、水路上流に発生した1個の砂州を平衡状態に達するまで追跡する方法をとった。そのため、実験水路長の規模に加えてビデオによる流砂量測定にも制約を受け、限られた実験数ではあったが発達過程における砂州上の流砂特性と形状特性につ

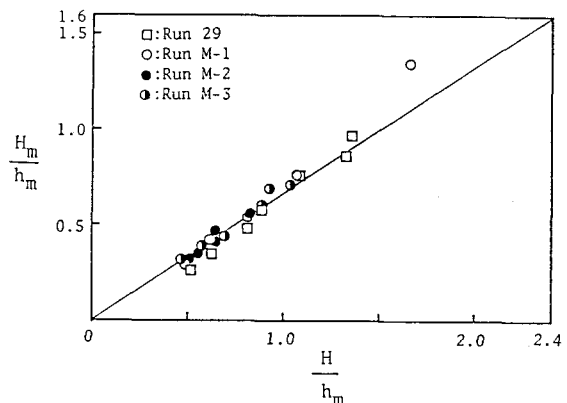


図-7 H_m/h_m と H/h_m の関係

いての知見を深めた。今後に残された問題は、流れの測定に工夫を凝らし、発達過程にある砂洲上の流況特性を把握することである。

おわりに、筆者らを交互砂洲の研究の着手に導いて下さいました東京工業大学助教授 福岡 捷二先生に感謝の意を表わします。また、実験ビデオの読み取りに尽力してくれた本学卒論生諸君に感謝します。

参考文献

- 1) 木下良作：石狩川河道変遷調査，科学技術庁資源局資料，第36号，1961.
- 2) 藤田裕一郎・村本嘉雄・堀池周二：交互砂洲の発達過程に関する研究，京都大学防災研究所年報，第24号，B-2，1981.
- 3) 福岡捷二・内島邦秀・山坂昌成・早川博：交互砂洲上の流砂量分布，第27回水理講演会論文集，1983.
- 4) 三輪式：模型砂レキ堆を河川砂レキ堆に相似させるための実験則，第27回水理講演会論文集，1983.
- 5) 井口昌平：砂礫堆の形成に関する水理学的考察，東京大学生産技術研究所報告，第14巻，第5号，1965.
- 6) 井口昌平・鮎川登・吉野文雄：河道のなかの流れの特性について（第1報），第12回水理講演会講演集，1968.