交互砂州河床の変動に及ぼす流量・土砂供給条件の影響

EFFECTS OF WATER AND SEDIMENT DISCHARGE CONDITIONS ON VARIATION IN ALTERNATE BAR MORPHOLOGY

三輪 浩¹・大同淳之²・片山智仁³ Hiroshi MIWA, Atsuyuki DAIDO and Tomohito KATAYAMA

1正会員 工博 舞鶴工業高等専門学校助教授 建設システム工学科 (〒625-8511 京都府舞鶴市白屋234)
 2正会員 工博 東アジア技術事務所 (〒613-0905 京都市伏見区淀下津町129)
 3株式会社オンテックス 京都支店工事企画部 (〒600-8331 京都市下京区金東横町239)

Effects of rotational degradation/aggradation of riverbed caused by an imbalance between water and sediment discharge conditions on variation in alternate bar morphology are investigated by means of flume tests using uniform and non-uniform sediment. Results are summarized as follows: (1) The riverbed degradation under the condition near to the double-row bar range causes the low-watercourse formation, and that under the condition near to the no bar range causes the restriction of alternate bar development. In addition, the aggradation under the condition near to the no bar range causes the increase of the alternate bar wavelength. (2) The increase and the decrease of wavelength of alternate bars in consequence of the riverbed degradation are remarkable in the non-uniform sediment bed. (3) Not only a bed slope but also its changing rate affects variations in bar morphology.

Key Words : alternate bars, degradation/aggradation, changing rate of bed slope, wavelength and height, non-uniform sediment, grain sorting

1. 緒 言

上流からの流量や土砂供給量の変化が河道に及ぼす影響を検討することは、治水、環境の両面において適切な 土砂管理を行う上で重要である.たとえば、ダムによる 放流や排砂の制御は下流の河床変動に顕著な影響を与え る.とくに、砂州河床は洪水時には治水面が重要視され、 平水時には瀬・淵構造や蛇行低水路の形成が環境面から 重要視されるという二面性を有しており、このような場 を対象とした検討は重要である.また、混合砂礫河床で は砂礫の分級によって河床粒度が変化するため、これが 河床変動に及ぼす影響も検討する必要がある.

従来の砂州に関する研究では、形成領域区分(例えば、 村本、藤田¹⁾)、発生・発達機構、形状・移動特性(例え ば、藤田ら²⁾)など種々の観点から検討が行われてきた. ただし、これらの研究の多くは流量に見合った土砂供給 がある場を対象としたものであり、河道における土砂輸 送能力と土砂供給量の不均衡に起因する河床の低下、上 昇の影響を検討したものは少ない.実河川の砂州河床は、 必ずしも流量とこれに対応した土砂供給量の下で形成さ れているわけではない.したがって、ある条件下で形成 された砂州河床が、その条件が変化したときにどのよう に応答するかを検討することが重要であるといえる.

内島・早川³は流量減少による砂州の変形と低水路の 形成に伴う洗掘深の特性について検討し、小流量時には 洗掘深が増大することを示している.また、長田ら⁴は 一定流量下での供給土砂量の減少によって砂州の波長は 増加,波高は減少する数値シミュレーション結果を示し ている.さらに,清水ら³は交互砂州河床における低水 路の形成過程を数値シミュレーションによって検討し, 現地観測で見られた瀬や淵の特性との対応について考察 している.これらの研究では,主として与えられた条件 下で生起する河道の現象に着眼点が置かれており,流量 と土砂供給量の条件(上流端境界条件)による河床低下 の影響については必ずしも言及されていない.この点に 関して,三輪ら⁹や寺本・辻本⁷は交互砂州の発達や変形 に及ぼす流量と土砂供給量の影響を検討しており,この 中で河床低下や河床上昇の影響について考察している.

このように、上流端境界条件の変化に起因する砂州河 床の変動についてはいくつかの観点から検討が行われて いるが、砂州河床の変動に及ぼす河床の低下、上昇や混 合砂礫の影響については得られている成果は少なく、さ らに検討を深める必要がある.実河川の砂州河床は平衡 状態に達していない場合も少なくなく、また、ある程度 の変動を許すような河道の維持・管理が河川環境の面か らも必要である.したがって、上流から与えられる流量 や土砂供給量の変化が砂州河床に及ぼす影響を検討する ことが重要となる.

そこで、本研究では流量および土砂供給条件の変化が 砂州の動態に与える影響に関する検討を行う.まず、流 量と土砂供給量の不均衡による河床の低下、上昇過程に ついて検討する.ついで、河床形状の変化過程を追跡し、



河床の低下,上昇やこれらに起因する河床勾配の変化が 砂州河床の変動および形状特性に及ぼす影響について考 察する.なお,実験は一様砂河床と混合砂河床を対象と して行い,両河床における現象を対比することによって, これらに及ぼす混合砂の分級の影響についても言及する.

2. 実験の概要

実験には長さ12m,幅0.2mの直線可変勾配水路を用い,水路下流端に砂止め,上流端に粗度付きの固定床を設置, その間に砂を敷き詰めて長さ11mの移動床区間を設けた. 実験では、移動床部上流端から3.25mの位置を測定の原 点(x=0)とし、そこから下流側7.95mの範囲を測定対象区 間とした.また、実験にはほぼ同一の平均粒径を有する 一様砂と混合砂を用いた.実験に使用した砂の粒度分布 を図-1に示す.一様砂は平均粒径 d_m =0.110cm、幾何標準 偏差 σ_g =1.22を有し、混合砂は d_m =0.107cm、 σ_g =1.93を有 する.なお、砂の比重はいずれも2.65である.

実験は、まず河床を平坦に敷き均し、河床勾配を1/60 に設定、上流域の河床高を初期河床高に保つように、移 動床部上流端で横断方向に一様かつ連続的に土砂供給を 行いながら通水し、交互砂州をほぼ平衡状態まで発達さ せた.なお、流量Q_wは400cm³/secと800cm³/secの2ケー スとした.停水直前に超音波変位計を用いて水路中心線 上の水面の縦断形状を測定し、停水後にレーザー変位計 を用いて水路横断方向1cm間隔で河床面の縦断形状を測 定した.ついで、この交互砂州を初期河床として、同一 の流量の下で土砂供給量を変化させて通水し、これに よって引き起こされる河床低下または河床上昇に伴う交 互砂州河床の変動過程を追跡した.図-2は本実験におけ る初期条件を、小野寺ら⁸による砂州の領域区分図上に 示したものである.この区分図は本実験で使用した砂の





平均粒径の限界掃流力に対応している. また, 区分線は 勾配が1/250のものであるが、勾配が大きくなると交互 砂州の領域は狭くなる⁹ので、本実験における Q_w =400cm³/secのケースは複列砂州領域に近く、一方、 Q_w=800cm³/secのケースは砂州非形成の領域に近い条件 となっている.以下,本文では前者を小流量,後者を大 流量と呼ぶ、土砂供給は、これを行わない場合と交互砂 州平衡時の土砂供給量の0.5倍および3倍を与える場合を 設定した.いずれの土砂供給条件においても、流量は通 水初期では混合砂に対しても全粒径が移動可能な量であ る. 通水中は砂州の概形, 淵の位置, 流砂方向および浮 州が形成された場合はその位置と概形のスケッチを随時 行うとともに、水路下流端から流出する砂を5分間隔で 約1分間採取して流出砂量を測定した.所定の時刻に水 面と河床面の測定を先と同様の方法で行った後、通水を 再開した. ただし、浮州が形成された場合は接触式水面 計を用いて水路縦断方向20cm間隔で水面の測定を行った. 実験は河床の低下または上昇が明確でなくなるまで継続 することを基本としたが、河床低下によって移動床上流 部の水路床が現れ、これによって下流が影響を受けるこ とが懸念された場合にはその時点で通水を終了した.実 験条件と終了時の水理条件を表-1に示す. 河床低下・上 昇の実験では、低下または上昇した縦断区間に対して平 均水深とエネルギー勾配を求め、これらを用いてFroude 数と無次元掃流力を算出した. なお、本実験では水深を 水位の縦断形状と横断面平均河床位の縦断形状の差とし て求めているため、水みちが発達したU40-AとM40-Bの水 深は実際よりも小さい値となっている. また, 本文では

| _ | 美 | 験 | 交互砂州形成 | | | | | | | 河床 低ト・ 河床上昇 | | | | | | |
|---------------------|-------|-------------------------|--------------|---------|------|---------|--------|-------|--------------|-------------|------|---------|-------|-------|-------|--|
| _ | Case | 河床砂 | 流量 | 土砂量 | 水深 | Froude数 | 無次元掃流力 | 通水時間 | 流量 | 土砂量 | 水深 | Froude数 | 無次元 | 掃流力 | 通水時間 | |
| - | | | (cm^3/sec) | (g/min) | (cm) | | (dm) | (min) | (cm^3/sec) | (g/min) | (cm) | | (dm) | (d90) | (min) | |
| - | U40-A | <u>A</u> 3 3 0 | 400 | 70 | 0.73 | 1.02 | 0.064 | 62 | 400 | 0 | 0.83 | 0.84 | 0.065 | | 441 | |
| | U40-B | | 400 | 70 | 0.71 | 1.07 | 0.063 | 62 | 400 | 35 | 0.79 | 0.91 | 0.063 | | 646 | |
| _ | U80-B | | 800 | 200 | 1.13 | 1.06 | 0.099 | 88 | 800 | 100 | 1.25 | 0.91 | 0.097 | _ | 265 | |
| | U80-D | | 800 | 200 | 1.14 | 1.05 | 0.103 | 63 | 800 | 600 | 1.08 | 1.14 | 0.155 | _ | 789 | |
| _ | M40-A | <u>)</u> 混合砂 | 400 | 85 | 0.65 | 1.22 | 0.061 | 222 | 400 | 0 | 0.67 | 1.16 | 0.048 | 0.026 | 437 | |
| _ | M40-B | | 400 | 85 | 0.69 | 1.11 | 0.062 | 71 | 400 | 43 | 0.62 | 1.31 | 0.049 | 0.027 | 224 | |
| <u>M80-</u> M80- | M80-B | | 800 | 250 | 1.12 | 1.08 | 0.091 | 52 | 800 | 125 | 0.97 | 1.34 | 0.069 | 0.038 | 307 | |
| | M80-D | | 800 | 250 | 1.06 | 1.17 | 0.096 | 80 | 800 | 750 | 1.14 | 1.05 | 0.151 | 0.083 | 648 | |

表-1 実験条件と終了時の水理条件





図-4 河床低下過程における初期河床からの河床変化量の 時間変化 (U80-B, M80-B)

土砂供給量を変化させた実験の開始時を時間の原点 (*r*=0)としている.

3. 河床縦断形状の変化特性

図-3は大流量下で土砂供給量を減少させたU80-Bと M80-Bにおける横断面平均河床位の縦断形状の時間変化 を示したものである.なお、河床位の基準はF0におけ るx=795cm地点の横断平均河床である.いずれのケース でも上流から順次河床が低下し、この範囲では河床勾配 が徐々に減少している. これは小流量の場合でも同様で あった. 図-3に示した一様砂河床と混合砂河床の河床低 下速度を比較するため, x=100cm, 300cmおよび700cm地 点における、初期交互砂州河床を基準とした河床変化量 の時間変化を図-4に示す.これより、河床低下は混合砂 河床の方が速く進行していることがわかる. 一般に, 河 床低下によって河床表層砂が粗粒化する場合は、さらな る河床低下は抑制される.しかし、本実験では河床低下 を抑制するほどの粗粒化は認められなかった. 流量に対 する粗粒子の移動性や粗粒化の形成されやすさは混合砂 の粒度構成によって異なるため、定量的な評価を行うこ とは現時点では難しい. ただし、本実験の範囲では粗砂 の移動性に池田・伊勢屋100が示した露出効果と減摩効果 がみられ、要因の一つであると思われる. なお、粗粒化 域は主として淵周辺の深掘れ部と砂州前縁直下流部であ り、それ以外には顕著な粗粒化域は認められなかった。 また、後述するように、小流量の場合は粗砂の多くが比 高の高い場所や浮州の上流部分に堆積する傾向にあった. これらのため、流砂のある河床表層は相対的に細砂の割



図-5 河床上昇過程における河床縦断形状の時間変化



図-6 河床上昇過程における初期河床からの河床変化量の 時間変化(U80-D, M80-D)

合が大きくなり、一様砂河床に比べて侵食されやすく、 河床低下速度が大きい原因になっていると推察される.

図-5は大流量下で土砂供給量を増加させたU80-Dと M80-Dにおける河床縦断形状の変化を示したものである. これらのケースでは土砂の輸送能力を超える土砂供給に よって河床は上昇し、河床勾配は増加している.両河床 における河床変化量の時間変化を図-6に示す.河床低下 速度は一様砂河床と混合砂河床で差異が見られたが、河 床上昇速度はほぼ同程度の変化傾向を示していることが わかる.ただし、平衡勾配は一様砂河床の方が大きく、 動的平衡状態に達するのに長時間を要した.

ここでは、一様砂河床と混合砂河床に対して、同一の 流量と河床勾配の下での平衡交互砂州形成時の土砂供給 量(土砂輸送能力に相当)を基準に土砂供給量を設定し、 これを与えたときの河床低下・上昇過程を比較した.こ のため、土砂輸送能力の差が結果に現れたものとなって いる.しかし、流砂量が両河床で異なっていることも影 響していると考えられ、これについては今後検討する必 要がある.以上のように、土砂供給量と土砂輸送能力の 不均衡に起因して河床は低下または上昇し、河床勾配が 漸変するが、これは砂州の形態にも影響を及ぼす.また、 流量規模や砂粒子の分級の影響も現れると考えられる. これらについて次節で検討する.

4. 河床低下・上昇に伴う交互砂州河床の変動過 程と流量規模の影響

図-7は小流量時に土砂供給を行わなかった場合の河 床低下に伴う河床形状と流砂方向の時間変化を示したも





図-8 比高の高い部分の河床表層砂の粒度分布の一例

のであり、t=0は初期交互砂州形状である.河床形状は 初期交互砂州の平均河床面を基準としてそこからの偏差 で表されており、色が濃いほど低位である。また、実線 で囲まれた斜線部分は浮州であり、矢線は通水中のス ケッチから得られた流砂の向きを示している.まず,一 様砂河床の場合を見ると、通水開始後、河床低下の進行 に伴って河床の低いところに流砂が存在する水みちに近 い流れ場が形成され、これによって浮州や水面下であっ ても有意な流砂が存在しない部分(以下, 非流砂域とい う)の規模が大きくなり、波長も若干増加している. た だし、このような流れ場における非流砂域は不安定であ り、流れ場は変動することを確認している。このような 傾向は土砂供給量を交互砂州平衡時の0.5倍とした実験 で顕著に見られた.また,河床低下の進行に伴って砂州 の変形は促進され、非流砂域や浮州の規模も大きくなっ たが、河床低下が停止すると、これらの規模はおおむね 安定な状態になることが確認されている. さて, さらに 河床低下が進むと砂州の変形が促進し、安定した浮州が 発達するとともに水みちが形成されることがわかる.な お、砂州の移動速度は河床低下に伴って徐々に低下し、 水みちが形成されると停止する.一方,混合砂河床の場

合は全体的な河床の変動傾向は一様砂河床と同様である が,波長は一様砂河床よりも長い傾向にあり,より深く 安定した水みちが形成されていることがわかる.本実験 では,比高の高い州上には粗砂が堆積しやすく,非流砂 域や浮州が一様砂河床よりも容易に形成され,また,比 較的安定である.これが水みちに近い流れ場やその後の 水みちの形成促進に寄与していると考えられる.図-8は M40-Aのr=252分における浮州部表層砂の粒度分布(図-7 中に指示)したものであり,粗粒化していることがわか る.なお,他の場所や時刻でも同様の傾向が見られるこ とが確認されている.

以上のように、複列砂州が形成される領域付近の流量 条件では河床低下に伴って非流砂域や浮州が形成され、 これによって波長の増加や長い蛇行波長を有する水みち が形成されること、また、混合砂河床では砂粒子の分級 による非流砂域や浮州の安定化がこれらを促進すること が示された.

図-9は大流量時の河床低下に伴う河床形状と流砂方向 の時間変化を示したものである.これらのケースでは河 床全体に流砂が存在しており,小流量時のような非流砂 域や浮州は形成されていない.一様砂河床の場合を見る と,河床低下の進行によって砂州の発達は抑制される傾 向にあり,比較的短波長の交互砂州が形成されているこ とがわかる.一方,混合砂河床の交互砂州はかなり不明 瞭で,砂州の発達はより抑制される傾向にある.また, 一時的な砂州の消滅も見られた.先に示したように,本 実験の範囲では河床低下速度は混合砂河床の方が大きく, 同一時刻では河床勾配は一様砂河床よりも緩やかである. このため,掃流力も小さくなる.また,混合砂河床では 砂州波高が小さく抑えられることが指摘されている¹¹⁾. これらが砂州の発達抑制に寄与していると考えられる. 図-10は大流量時の河床上昇に伴う河床形状と流砂方







向の時間変化を示したものである.ただし、河床形状は 各時刻の平均河床面を基準としてそこからの偏差で表さ れている.両河床とも河床上昇に伴って上流側で波長の 増加傾向が認められる. また, 混合砂河床ではこれが若 干明瞭に現れている. なお, 先述した小流量時の河床低 下に伴う波長増加が浮州や非流砂域の形成とそれらの規 模の拡大に伴って生起しているのに対して、本ケースの 波長増加は、河床全域に流砂が存在している場で生起し ているものである.さて,本ケースでは波長の増加は主 として河床上昇が顕著で、河床勾配の変化速度が大きい 通水前半の上流域に認められる. すなわち, このような 区間では掃流力の増加も大きく、流砂運動が活発になる ことと関係があると思われる. したがって, 河床上昇速 度や河床勾配(掃流力)の変化速度が砂州形状に影響して いると考えられる. また、河床勾配の増加に伴って砂州 移動速度が増加することも実験の観察によって確認され ている.

以上のように、河床の低下、上昇は流量規模や河床勾 配の変化を通して砂州河床の変動に影響を及ぼすことが わかる.

4. 砂州の波長, 波高の変動特性

砂州の波長と波高の平均値の時間変化を図-11~13に 示す.ただし、これらはr-0における初期交互砂州河床 の波長L,波高H₀で基準化されている.波長と波高の測 定に当たっては、河床の低下や上昇が測定区間に及ぶま



図-11 小流量時の河床低下過程における波高,波長の時間変化

では全測定区間の砂州を対象とし、それ以降は低下また は上昇区間のみを対象とした.これらはそれぞれ○と● 記号で表されている.なお、波長は対岸にある直近の深 掘れ部の縦断間隔として求め、波高は一波長内での最深 河床を含む横断面における最高河床高と最深河床の差と して求めた.また、図-12、図-13には、上記の波長、波 高の測定区間の平均河床勾配の停水ごとの変化速度dl/dt を併記している.これは、河床勾配の単位時間あたりの 変化量を表しており、1つの通水期間(河床形状を測定 するための停水から停水まで)における河床勾配の変化 量を、その通水時間で除すことによって求められている. ただし、勾配の上昇を正としている.なお、浮州や水み ちが形成されると河床の変動はこれらの影響も受けるの で、河床勾配の変化と波長、波高の変化が必ずしも対応 しない.このため、図-11中にはdl/dtを示していない.

図-11は小流量時の河床低下過程における結果である. なお、図-7に示したように、河床低下に伴う浮州や非流 砂域の形成に伴って波長は漸増するが、波高はほとんど 変化しない.すなわち、非流砂域の発達は波長の増加に のみ寄与するといえる.その後、水みちが形成されると、 波長だけでなく波高も漸増するようになる.この場合の 波長と波高は水みちの蛇行波長と水みち深さに相当する ものであり、また、これらの傾向は混合砂河床で顕著で あることがわかる.これは、本実験の範囲では混合砂河 床の方が河床低下は顕著であり、また、浮州も安定であ ることに起因している.

図-12は大流量時の河床低下過程の結果である.一様



図-12 大流量時の河床低下過程における波高,波長の時間変化



図-13 大流量時の河床上昇過程における波高,波長の時間変化

砂河床では、波長は100分程度経過以降180分頃まで減少 し、その後ほぼ一定の値となっている.この波長の減少 期間では河床勾配の低下速度も大きい.これは、砂州の 発達抑制が単なる勾配減少だけでなく、低下速度の影響 を受けること、また、ある一定以上の低下速度が波長の 減少に影響を及ぼすことを示している.しかし、波高に ついては河床勾配の低下速度との相関は認められない. 一方、混合砂河床では、波長、波高はかなり変動し、砂 州の消滅も生起している.河床勾配の低下速度との相関 は、波長に関しては部分的に認められるものの、波高に 関しては明確ではない.また、河床低下に伴う砂粒子の 分級も砂州の発達抑制に影響していると推察されるが、 詳細については明らかになっていない.

大流量時の河床上昇過程の結果を図-13に示す.波長, 波高とも一様砂河床と混合砂河床で顕著な相違はなく, ほぼ同様の変化傾向を示している.すなわち,波長は河 床上昇に伴って300分頃まで徐々に増加,その後ほぼ一 定の値を維持している.波長の漸増期間は勾配の上昇速 度が比較的大きい期間でもあり,ある一定以上の上昇速 度が波長の増加に寄与することがわかる.なお,波高に 及ぼす影響については必ずしも明確ではない.

以上のように、河床の低下、上昇やこれらに伴う河床 勾配の変化速度が砂州河床の変動に影響を及ぼすこと、 また、流量規模や砂礫の分級も影響することを示した. なお、河床の低下や上昇に伴って河床勾配や波長、波高 が最終的にどのような平衡値に達するかを示すことはで きていない.ただ、実験は河床の低下や上昇が明確でな くなるまで行うことを基本としているので、実験の最終 段階ではおおむね平衡に近い状態になっていると思われ る. 今後、これらに対する条件の明確化等、定量的な把 握が必要である.

5. 結 言

交互砂州河床の変動過程に及ぼす流量と土砂供給の影響を明らかにすることを目的として,主として河床の低下,上昇と流量規模の影響および砂粒子の分級効果に着

目して検討した.本研究で得られた結果を以下に要約する. (1) 複列砂州が形成される領域に近い条件の流量下で, 交互砂州の平衡状態から河床低下が進行する場合は,ま ず,水面下であっても有意な流砂が存在しない部分(非 流砂域)が形成され,これの発達に伴って砂州の波長は 増加する.また,さらなる河床低下によって安定した水 みちが形成されると波長,波高とも増加する.なお,混 合砂河床では砂粒子の分級による,非流砂域や浮州の安 定化がこれらを促進する.

(2) 砂州が形成されない領域に近い条件の流量下で、交 互砂州の平衡状態から河床低下が進行する場合は砂州の 発達が抑制され、波長、波高とも減少する.とくに、混 合砂河床では砂州の形成は間欠的であり、一時的な砂州 の消滅も起こる.一方、河床上昇が進行する場合は砂州 の発達は促進され、主として波長が増加する.

(3)砂州河床の変動には河床低下や河床上昇に伴う河床 勾配だけでなくその変化速度が関与し、ある一定以上の 変化速度は主として波長の増加、減少を促進する.

謝辞:本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(C) (課題番号:14550518,研究代表者:三輪 浩)の補助 を受けて行われた.記して謝意を表します.

参考文献

- 村本嘉雄,藤田裕一郎:中規模河床形態の分類と形成条件,第22回水理講演会論文集,pp.275-282,1978.
- 藤田裕一郎,村本嘉雄,堀池周二:交互砂州の発達過程 に関する研究,京都大学防災研究所年報,第24号,B-2, pp.411-431,1982.
- 内島邦秀,早川博:流量が減少した場合の交互砂州の 変形特性,第31回水理講演会論文集,pp.683-688,1987.
- 4)長田信寿,村本嘉雄,内倉嘉彦,細田尚,矢部昌之, 高田保彦,岩田通明:各種河道条件下における交互砂州 の挙動について,水工学論文集,第43巻,pp.743-748, 1999.
- 5) 清水義彦,長田健吾,高梨智子:交互砂州河道における 低水路形成と河岸侵食に関する数値解析,水工学論文集, 第48巻, pp. 1027-1032, 2004.
- 6) 三輪 浩,横川 純,奥野敏也,中澤文也:交互砂州河 床の変動に及ぼす流量および給砂量の影響,第58回土木 学会年次学術講演会講演概要集Ⅱ,pp. 325-326, 2003.
- 7) 寺本敦子, 辻本哲郎:流量, 土砂流入条件が砂州の変動 に及ぼす影響の一考察, 河川技術論文集, 第10巻, pp. 273-278, 2004.
- 8) 小野寺勝,黒木幹男,岸 力:複断面における流れと河 床形態,第39回土木学会年次学術講演会講演概要集II, pp. 381-382, 1984.
- 第二、中規模河床形態の領域区分に関する
 理論的研究, 土木学会論文報告集, 第342号, pp. 87–96, 1984.
- 池田 宏,伊勢屋ふじこ:混合砂れきの流送に伴う縦断 的分級,第30回水理講演会論文集,pp.217-222,1986.
- 三輪浩,大同淳之,横川純:流量変化に伴う交互砂州の発達・変形過程,水工学論文集,第47巻,pp.619-624,2003.

(2006.9.30 受付)