

交互砂州を有する砂床河道の変遷と 今後の変遷予測

PROCESS AND PREDICTION OF TRANSITION OF CHANNEL CONDITION IN SANDY RIVER

溝口敦子¹・辻本哲郎²

Atsuko MIZOGUCHI and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博(工) 名城大学理工学部 助教 建設システム工学科
(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

²正会員 工博 名古屋大学大学院工学研究科 教授 社会基盤工学専攻
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

We focus on the downstream segment of the Kizu River (0-20km) where sandy bars are formed alternately. These bars have been affected by impacts such as extensive dredging in the downstream (the Yodo river), gravel mining and so on. In Kizu River, vegetation area has grown and expanded on the bars, and channel narrowing occurs. Morphological condition in river is very important for river ecosystem, so that we need investigate and predict the transition of physical condition on the bars such as bar morphology, vegetation cover, and so on. We found that it is one of the keys of prediction of morphological condition in Kizu River to grasp the spread of bed degradation from downstream caused by channel narrowing. As results, we predict the tendency of morphological condition of Kizu River.

Key Words : *Sandy river, bed degradation, alternative bars, transition of bar morphology*

1. はじめに

近年,多くの河川で様々な人為的インパクトの影響による環境の変化が目に見えるようになってきた。各河川では,河床構成材料,たとえば,砂床,礫床などの特徴,あるいは,セグメントの縦断変化傾向など河川自身が持つ河道内環境の特徴がダムや砂利採取などの影響をそれぞれ受けて著しく変遷している。河道内環境の変化は,それぞれの河道の特徴を知った上で議論する必要がある。環境の変化への対策も個々に行う必要がある。しかし,環境がいかに変化しているかなど検討の際には,地形の変遷,植生域の遷移の特徴など物理的なメカニズムを考慮した手法で同様な特徴を持つ河道の整理が可能だと考える。そこで,本研究では,交互砂州形成されている砂床の代表河道として木津川下流域を取り上げ,木津川特有の現象を取り扱いながらも特に交互砂州が形成されている砂床河道として取り扱いを注意しながら,河道の変遷を議論する。

著者らは,これまで,河川生態学術研究木津川グループの一員として,淀川合流点から20kmの木津川下流域に存在する18個の砂州を対象に(図-1),植生の繁茂状況の変化,砂州形状の変遷状況を調べ

てきた^{1)~3)}。これまでの検討により,砂河川特有の植生域の遷移を考慮すると水際の攪乱状況により特定の砂州上で植生域が拡大したことや,植生域の拡大速度と砂州の進行速度の微妙な関係が木津川の砂州の形状を決めていることがわかった。対象河道は,研究を始めた1990年代から現在に至る間にも著しく変化しており,近年,さらなる河道環境の変化が顕著に現れてきた。最近の検討の結果,高水敷の拡大,低水路幅の縮小がより顕著に起こっており,現在は,裸地幅が縮小し,低水路内に新たな砂州が形成され生態系の基盤となる地形環境が大きく変化していることがわかった。本研究では,こうした現地の状況を踏まえ,今後の河道変遷を予測することを試みた。

2. 木津川下流域の概要

(1) 対象区域概要

対象とする淀川合流点から20kmまでは,図-1に示すような交互砂州が存在する。対象とする区間は,典型的な砂床河道,セグメント区分では自然堤防帯となる。下流河道の平均河床勾配は1/1180,河床材料粒径は2mm程度,砂州形成幅は300m程度である。

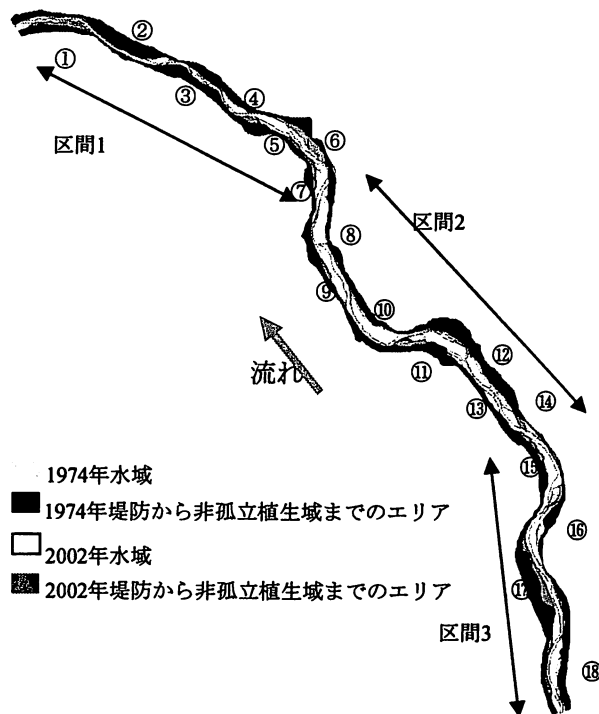


図-1 18個の砂州（下流から番号付け）と高水敷形成状況

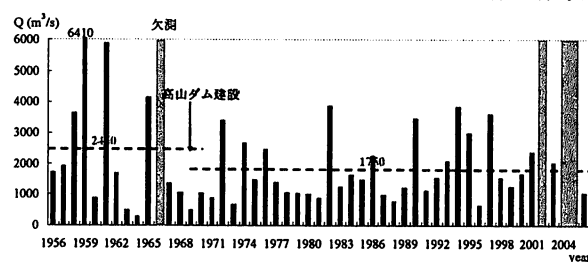


図-2 年最大流量（於：飯岡流量観測所）

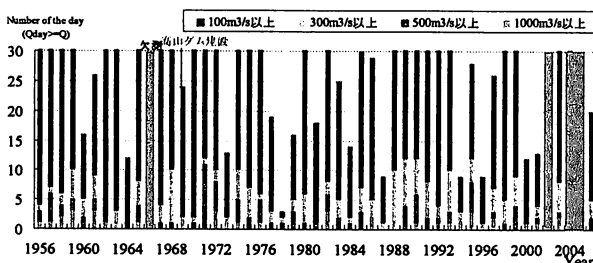


図-3 日流量から見た流況の変化

表-1 木津川下流域における各区間の特徴²⁾

区間	物理的特徴	植生域の特徴
1 (0-6km)	下流からの河床低下が進行している区間。低水路は未だ河床低下を続け、低水路内に新たな砂州が形成、進行している。	砂州域が高水敷化し、植生が砂州全面に繁茂している。
2 (6-14)	砂利採取禁止以降、河床低下の進行は見られない区間。	孤立植生が大きく存在している砂州と裸地砂州が混在。
3 (14-20)	砂利採取禁止までに砂州の一部が高水敷化した区間。	以前の砂州域が高水敷化し堤防側からの植生が目立つ。また、低水路内で砂州が形成され、孤立植生域が存在する砂州と裸地砂州が混在。

(2) 木津川下流域の主な人為的インパクト

a) ダム建設後の流況の変化

木津川下流域では、上流ダム群の建設（例えば高山ダム1969年竣工）後、下記のように流況が変化している。年最大流量は、図-2に示すようにダム群建設後に平均700m³/s近く減少しており、最近では4000m³/sを超える出水が見られなくなっている。また、日平均流量に関しては、最近では、図-3に示すように、100m³/sを越す日数が10日以下や15日以下になるなど極端に少ない年が存在し、逆に300 m³/s、500 m³/sを越す日数が多い傾向にある。ただし、日流量に関しては、建設前のデータが十分でないため、現在あるデータとダムの目的から推測される傾向の議論であることを明記しておく。

b) 流砂系へのインパクトとその影響

対象区間は上流山地区間の影響で土砂供給が豊富であったため、1960年代には砂利採取が活発に行われていた。しかし、砂防事業、ダム貯水池への堆積、砂利採取が原因となり、今度は河床低下が急激に進んだ。そのため、1971年には砂利採取が禁止され、現在下流域では上流からの顕著な河床低下の伝播はあまり見られなくなっている。その一方、淀川本川では1971年の計画洪水流量の改訂に伴う低水路断面確保のための河川改修が進められ、三川合流点付近における河道掘削工事は深さ数mに及んだ。対象区間の下流域でその影響が出始め、現在も下流からの河床低下が進行している。

3. 対象領域における河道環境の変遷

(1) 小セグメント区分と各区間の河床低下状況

上述したように、対象とする20kmの区間には18個の砂州存在し、人為的インパクトを受け、砂州形状を始め、植生繁茂状況など環境が大きく変化してきた。そのため、河床低下（図-4）、砂州の植生繁茂（図-5）等の状況から、表-1のように対象区間をさらに3つの小セグメントに分けて検討してきた。

図-4では、各区間の河床低下状況として平均河床高および最深河床高の1971年からの変化量を区間ごとに平均値の経年変化を示した。これによると、最深河床高は下流区間から順に徐々に低下していることがわかる。しかし、平均河床高を見ると、砂利採取が禁止されるまでの1971年以前は上流側区間3における低下が著しいが、それ以降は区間1以外では低下していないことがわかる。このことから区間1では河床低下が今も著しく進行し、区間2および3では最深点が低下しているものの平均的には河床低下に至っていない、つまり、一部河床の低下とともに河床上昇もバランスして起こっていると言える。

(2) 各小セグメントにおける砂州の変動と高水敷の拡大状況

区分された3区間はそれぞれの土砂流出流入堆積環境により、砂州の変動および植生域発達状況が大きく異なっている。図-6には、各区間の代表断面の

経年変化を示す。各区間で堆積域の形成と低水路の形成が確認されるが、その形成場所や低下傾向など詳細が異なる。

現在、区間2には、砂州上に孤立して存在する孤立植生を有する砂州と裸地が優先する砂州が混在し、砂州の進行とともに形を変えている（典型例、写真-1、詳しくは文献3）を参照）。対象区間は砂床であるため、植生が進入すると植生域内に微細砂が顕著に堆積し、流路中央でも周囲より2m程度高くなる微高地を形成する特徴を持つ⁴⁾（図-6、9km断面で見られる）。この区間は、水際植生から発達した孤立植生域の占有している砂州が存在し、その存在により流れが加速するために写真-1のような砂州の変形が見られるなど、砂州の進行と植生域の拡大の微妙なバランスによって砂州上の環境が特異的に変化している³⁾。このとき、孤立植生が発達した砂州の下流砂州は、出水時に乱されやすくなり、裸地が卓越した砂州となっている。継続してその変遷を調べたところ、砂州8のように進行が著しい砂州上の孤立植生は最終的には上流側砂州に吸収され（つまり、孤立植生を有する砂州は進行するが、孤立植生域はその場所に取り残されるため、結果的に上流から進行してきた隣の砂州に吸収される）、植生域を失い裸地砂州へと移行していることも分かっている。

これに対し、写真-2に示すように、区間1は砂州が高水敷化とともに完全に固定され、砂州と低水路の境界は滑らかな水際が形成されえない崖になっている。低水路には新たに砂州が形成、進行、発達し、最近では高水敷化した砂州を削り始めている。また、区間3では、以前は高水敷化した部分以外で区間2のような孤立植生が存在し、砂州の変動が見られたが、図-1および写真-3に示すように近年は堤防寄りの植生が発達し高水敷領域が横断方向に拡大し、航空写真から読み取れる砂州形成領域は狭くなり砂州は小さくなっている。

上述したように、特に区間1、3においては、水際植生でなく高水敷寄りの植生域が顕著に拡大し、1970年代の砂州上の裸地域が激減している。こうした高水敷寄りの植生域の拡大は、低水路の河床低下および高水敷領域の横断方向への拡大と深く関係する（ここでの高水敷化とは、植生の拡大とともに低水路河床よりも高い領域が堤防よりに形成されることとする）。しかし、同じ木津川下流域でも高水敷の形成機構および川幅縮小機構は区間によって異なる。区間1では、下流からの河床低下が低水路において顕著に進み、出水による冠水および攪乱頻度が減少した砂州上に植生が繁茂する形で高水敷が形成される。この形成過程は、藤田ら⁴⁾によって形成タイプⅡとして区分されている。一方、上流側の区間3では、藤田らの形成タイプにはない過程を経て、高水敷の形成が進んでいる。一つは、高水敷植生が徐々に張り出し細砂がそこに堆積することで高水敷側に微高地を形成、砂州が発達するような形で高水敷の横断方向への拡大を引き起こす。このときの地

形の変化は、図-6の15km地点で見られる。また、この一方で、写真-3の2002年15.2km断面、18.6km断面付近で上流砂州の高水敷に吸収された孤立植生域が確認できるように、下流側砂州で発達した孤立植生が上流側の砂州高水敷に吸収されることにより高水敷の拡大が進む（主に湾曲部で起こっている）。

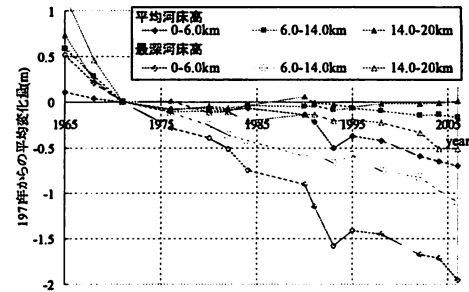


図-4 河床低下進行状況

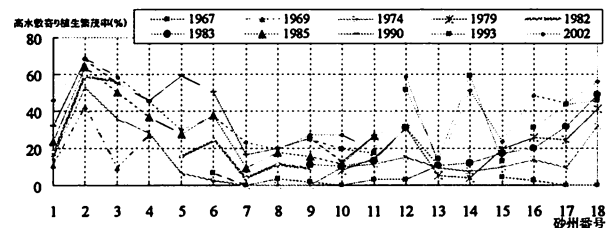


図-5 植被率（孤立植生を除く）の縦断変化

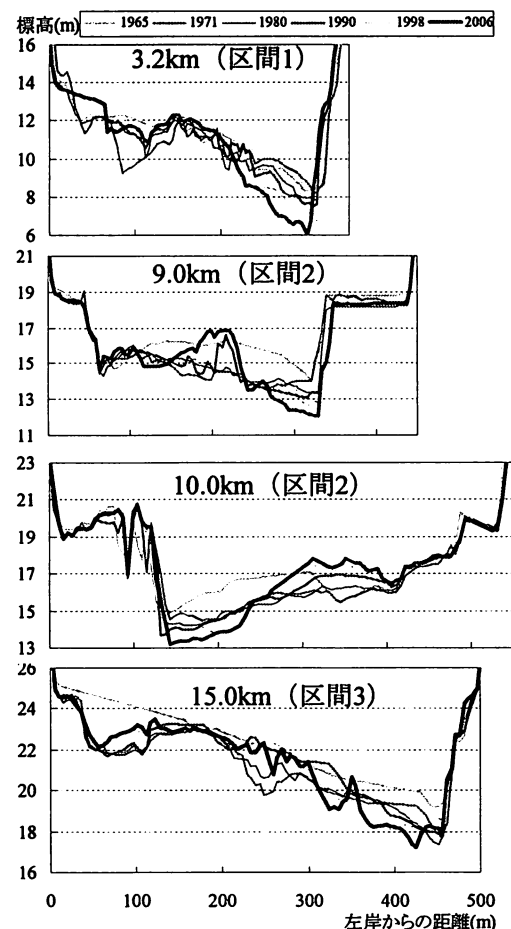


図-6 各区間代表断面における横断形状の変遷

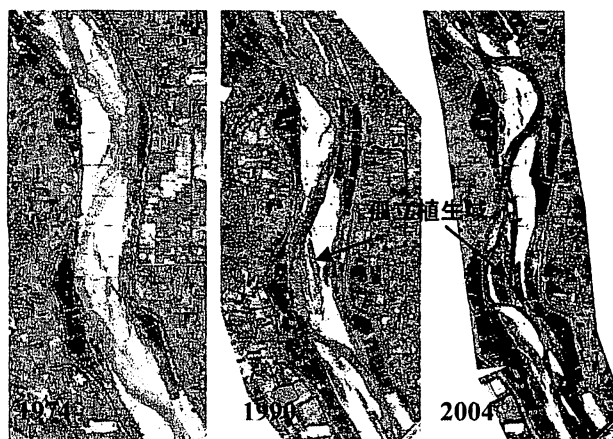


写真-1 区間2の代表的変遷



写真-2 区間1の代表的変遷



写真-3 区間3の変遷

こうした高水敷の横断方向への拡大は、砂州形成領域の縮小につながり、縮小された領域で小さな砂州が形成されることになる。区間3の砂州形成幅は1970年代の300m-400m程度あったのに対し、現在は、100m程度まで減少し、その中に小さな砂州が形成され新たな砂州環境が創出されている。

(3) 低水路幅と流量の関係

上述したように、高水敷が横断方向へ拡大し1970年代に形成された砂州の一部が高水敷化し、低水路幅（砂州形成幅）が縮小することで、近年の木津川の砂州上の物理環境は大きく変化している。特に2000年頃から、区間1だけでなく全区間を通じて低水路に冠水頻度の高い新たな交互砂州が見られるようになった。そこで、この低水路幅と関係の深い流量を調べるため、長田⁶⁾と同様な現地地形に対応しやすい一般座標系の数値解析を行った。図-7に1976年、1990年、2002年の3.2km、9.0km、15.0km断面の水位を示す。これによると、低水路は500m³/s程度で満杯になり、高水敷や孤立植生域である微高地は、年最大流量程度の1800m³/sで冠水する結果となった。特に近年では区間2以外で流量500m³/sの水面幅が縮小しており、低水路幅の縮小は500 m³/s程度の流量が深く関係していることが分かる。さらに、水路幅100m程度、河床勾配1/1180、流量200m³/s～500m³/sの水理条件では、交互砂州の発生領域であることが不安定解析より予測され、上述したように中小規模の出水が増えていることも関連し、低水路が限定され、その中に砂州が形成されつつあると言える。

4. 交互砂州形成河道、木津川下流部の下流からの河床低下の進行状況とその特徴

木津川下流域では、上述したように、形成過程に違いがあるものの上下流から高水敷領域の拡大、低水路幅の縮小が顕著に進んでいる。このことは、今後の木津川河道環境の変遷を知る上で重要な要素であり、今後の変遷を予測する際には、少なくとも縦断方向への伝播傾向を知る必要がある。本章では、砂州の高水敷化の伝播について検討するにあたり、下流域においてその引き金となっている河床低下の進行状況について検討する。

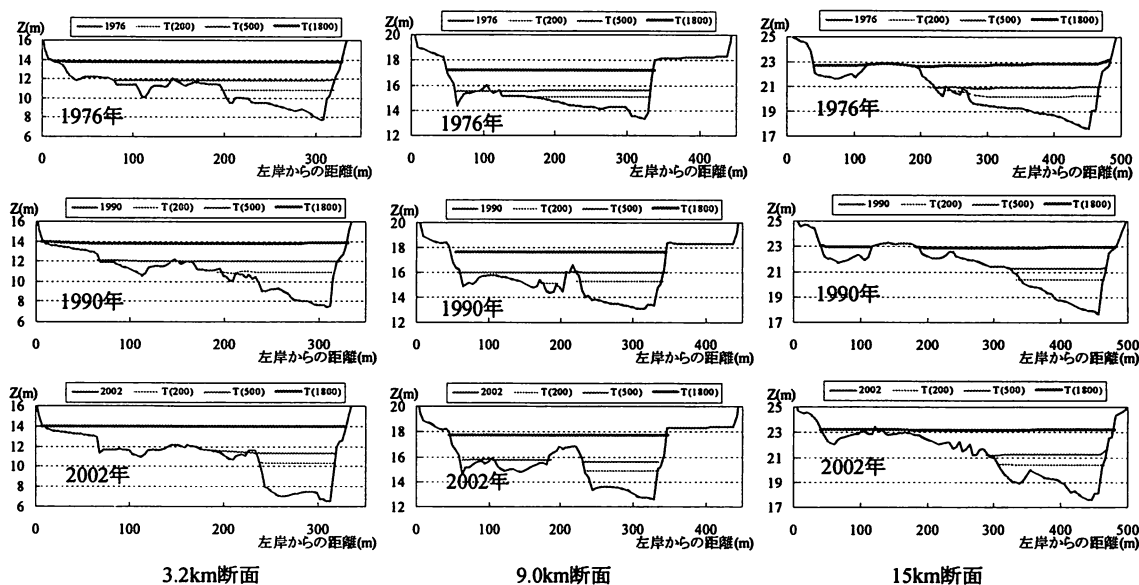


図-7 各断面における水位 (数値解析結果)

(1) 対象領域における河床低下の伝播領域の検討

ここでは、まず、最深河床高、平均河床高の縦断変化を経年的に調べ、河床低下の伝播傾向を把握する。図-8、9に縦断方向に200mピッチに計測された横断地形データより算出した平均河床高、最深河床高を示す。ただし、図中の値は、平均勾配1/1180分の高さを河床高から引いた値で描写している。

これらの図から河床低下の進行状況を読み取ることを試みたが、現地のデータであることと、対象河道は交互砂州形成河道であるため周期的な変動が含まれたデータであることから、河床低下が伝播している範囲を決定するのは非常に困難であった。そこで各データには砂州波長に関連した周期の変動が含まれていると考え、下流域の平均的な砂州波長を用いて移動平均値に変換した(図-10、11)。図-10、11においても明確に河床低下領域を断定するのは難しいが、例えば、最深河床高が下流から連続して-0.4mを下回る領域、または、1971年からの平均河床高の差が下流から連続して-0.01mを下回る領域が下流からの河床低下伝播範囲と仮定すると、各年の河床低下影響領域は図-12のように書ける。これにより、5年に1km程度上流へ移行していることが分かり、現在、下流から9kmのあたりまで徐々に河床低下の影響が出始めていることが示唆される。ただし、河床低下の影響が出始めているにもかかわらず明確な低水路の形成まではいたっていないため、区間1と判断できるのは、現在、6番砂州周辺、6.4kmあたりまでとなっている。

(2) 下流からの河床低下伝播特性

下流からの河床低下の伝播特性についてさらに詳しく調べるため、一次元河床変動解析で検討を行った。検討にあたり、河床低下が顕著に起こっている区間の低水路幅100m、平均河床勾配1/1180を用いる。また、河床低下が起こっている部分、つまり低水路の満杯流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ を河床低下と関わりが深いと考え(図-7)、解析に用いる流量を $500\text{m}^3/\text{s}$ とした。数値解析で下流からの河床低下を再現するため、木津川と淀川の合流点の状況を考慮し、初期河床の下流端河床を2m掘り下げ、下流部には土砂を堆積させない(最下流端で初期河床高以上に堆積する土砂は持っていかれなかった)とした。さらに、木津川下流域11.4km地点には近鉄橋梁の床固めがあるため、床固めがある場合も想定した計算を別途行った。計算領域長は両ケースとも20kmとし、床固め挿入ケースでは、10km付近を固定床としている。

まず、床固めなしのケースで下流からの河床低下の伝播特性を調べる。図-13に示す計算結果によると、下流からの河床低下は、以下の特徴があることがわかった。

- ・ 下流付近は、すぐに大きく河床が低下する。
- ・ 上流にいくほど河床低下の影響を受け始めても河床が低下する速度は遅く、時間をかけ徐々に低下が進む傾向にある。

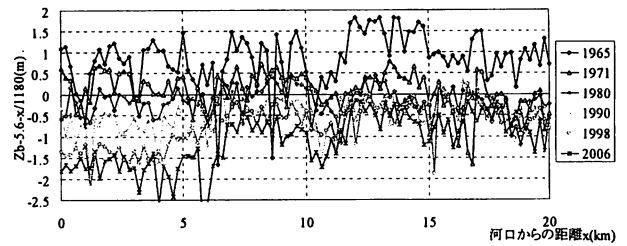


図-8 断面最深河床高の縦断方向経年変化

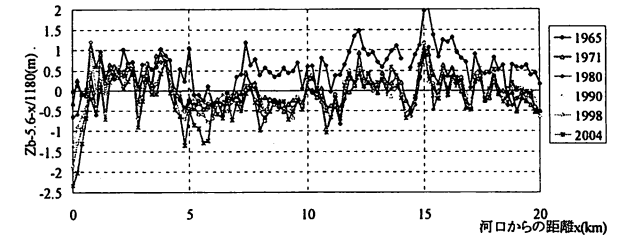


図-9 断面平均河床高の縦断方向経年変化

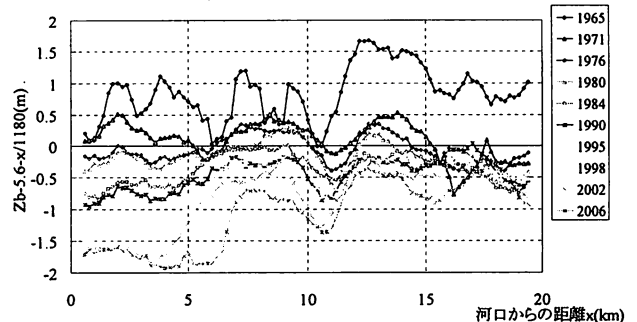


図-10 最深河床高移動平均の縦断方向経年変化

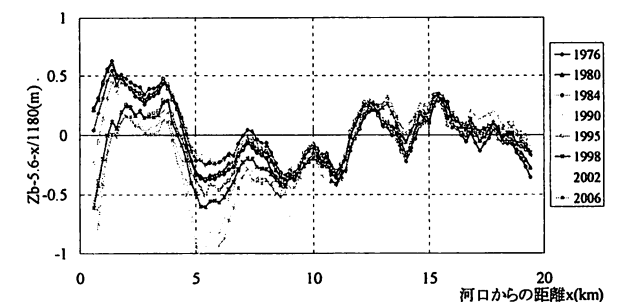


図-11 断面平均河床高移動平均の縦断方向経年変化

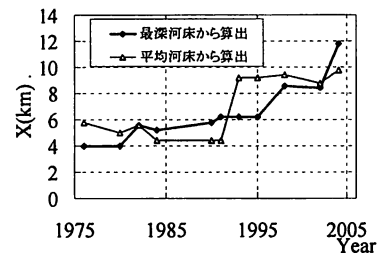


図-12 下流からの河床低下伝播範囲

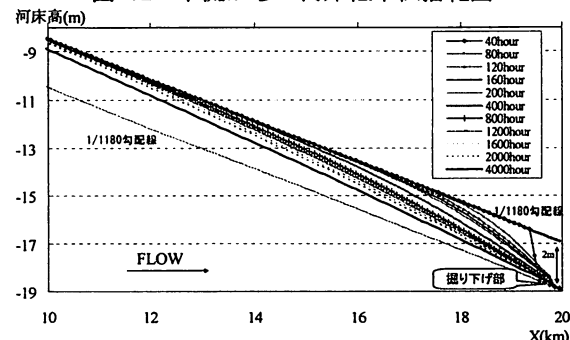


図-13 下流からの河床低下の伝播特性(数値解析結果)

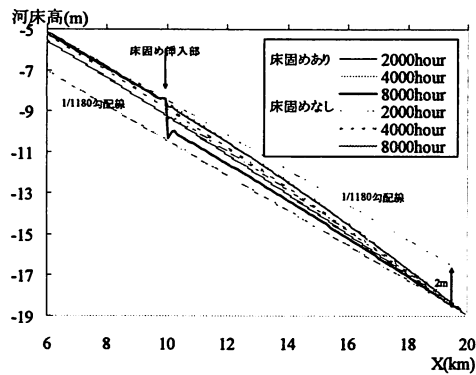


図-14 床固めの影響の検討結果

次に、床固めが挿入されると、河床低下は床固めの上流部へ伝播しないことがわかった（図-14）。ただし、床固めまで河床低下が到達すると、床固めの下流部河床は、床固めが無いケースに比べ大きく低下し始める。

数値解析結果と現地の状況から、今後対象区間では以下の変遷が予測される。木津川の下流部では、数年後には11.4km地点の床固めまで下流からの河床低下が伝播し徐々に砂州の高水敷化が進む。ただし、床固め部に河床低下が到達するまでは、中上流部では下流部ほどその現象が顕著には現れない。しかし、一旦河床低下が床固めに到達すると、床固めより下流では確実に河床低下が進み、低水路の河床低下に伴う砂州の高水敷化が進む。

5. 高水敷の形成と木津川下流河道の今後の物理環境

4章では下流部における高水敷の形成状況について予測を行った。河道変遷予測のためのもう一つの重要な要素である上流からの高水敷形成領域の進行は、現在、上流から12番砂州（12.2km付近）まで達している。攪乱頻度、攪乱領域の減少が要因となり植生の侵入、微高地が形成されこの領域が拡大していると考えられるが、今後の拡大状況の予測は困難を極める。しかし、図-11に示す平均河床高の図を見ると、床固めがある11.4kmの上流で河床上昇が置きており、その領域と現在までの上流部の高水敷形成領域が同じであることから、今後さらに下流へ伝播することは考えられない。つまり、この区間は今後下流へ拡大せず、年最大流量が減少し、中小出水が卓越している現在の流況が続く限り、この領域内で低水路内に小さな砂州が進行、発達する状況が続くと考えられる。11.4kmは、床固めがあることから下流からの河床低下の伝播を分断している領域であり、今後は、この付近を境として上下流で異なる過程を経た高水敷領域が形成されると言える。

なお、研究開始当初、区間3は1971年までに砂州の一部が高水敷化した区間としていたが、区間3および区間2の上流部で高水敷寄りの植生域が拡大し、低水路幅の縮小が見られている。このことから、現在は、区間1とは異なる機構の微高地形成に伴う砂州の高水敷化が進んでいる領域を区間3と捉えるの

が妥当である。また、砂州の変遷状況をより詳しく予測、検討する必要がある際には、現在の6kmから12km付近までの区間2の砂州が最も大きく変動する可能性を秘めており、現状の維持と今後の変遷という点で議論する必要があると考える。

8. 結論

本論文では、木津川の下流域の今後の砂州景観を予測するために、河道の変遷および河道の変遷状況把握に欠かせない高水敷化の形成過程および河床低下の進行状況の把握を通じて高水敷領域の拡大傾向について検討した。その結果、次のことが分かった。

- ・ 木津川下流域では、上流側および下流側から高水敷領域が拡大しており、その形成過程は、上下流で異なることが分かった。
- ・ 木津川の低水路幅の決定は、中小規模の出水が大きく関わっており、現在の低水路には中小規模出水時に形成、発達すると予測される交互砂州が形成されている。
- ・ 砂州形成河道であることを考慮して河床低下状況を調べた結果、下流からの河床低下は、5年間に1km程度の速度で上流へ伝播することがわかった。ただし、河床低下の影響が現れても上流部では徐々にしか河床が低下しない。
- ・ 11.2kmの床固めにより木津川下流域の環境は上下流に分断される可能性がある。下流部は低水路の河床低下による砂州の高水敷化が進み、上流部では、攪乱頻度の減少から高水敷植生が拡大し、微細砂が堆積するため、下流部とは異なる過程で高水敷が形成される。

謝辞：本研究は、河川生態学術研究・木津川グループの一環として行なわれた。資料収集にあたって協力いただいた国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所、調査の便宜を図っていただいた(財)リバーフロント整備センターに謝意を表す。

参考文献

- 1) 辻本哲郎，寺井達也，寺本敦子：木津川下流部砂州の植生繁茂と裸地維持の仕組み，河川技術に関する論文集，第8巻，土木学会，pp.307-312，2002。
- 2) 寺本敦子，宮脇真二郎，辻本哲郎：木津川下流域における砂州地形の特徴と植生域の変遷シナリオ，河川技術論文集，第10巻，pp.375-380，2004。
- 3) 寺本敦子，辻本哲郎：植生域を伴う砂州の地形変化-木津川下流域を例として-，水工学論文集，第49巻，pp.1021-1026，2005。
- 4) 藤田光一，John A. Moody，宇多 高明，藤井 政人：ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小，土木学会論文集Vol. 551，pp.47-62，1996。
- 5) 鷺見哲也，荻島晃，片貝武史，辻本哲郎（2000b）砂州植生域の発達過程と植生の物理環境に関する研究，河川技術に関する論文集，第6巻，土木学会，pp.65-70。
- 6) 長田信寿：流路変動過程の数値解析とその応用に関する研究，京都大学学位論文，pp.47-80，1998。

（2008. 4. 3受付）