

低水路川幅変化における土砂と植生の役割

Roles of Sedimentation and Vegetation in Channel-width Changes

山本晃一¹⁾、藤田光一²⁾、佐々木克也³⁾、有澤俊治⁴⁾

By Koichi YAMAMOTO, Koh-ichi FUJITA, Katsuya SASAKI and Toshiharu ARISAWA

Characteristics of changes in the low-water channel width of an actual river located in a natural levee or delta reach were investigated, which was based on observations about channel-width changes induced by man-made modifications of channel-width for river training. The investigation shows that most of observed river reaches have changed their channel-width in such a manner that friction velocity acting on a low-water channel at an annual peak discharge approaches the value that the river had before the modification. Influence of bank material, vegetation and variation in water-level on rates of channel-width changes are estimated.

Keywords: channel-width change, bank formation, vegetation, sedimentation, suspended load

1. はじめに

低水路川幅は、水理条件の変化や河道改変をきっかけとして変化する場合がある。低水路川幅の変化は、河道設計・管理においても、また川幅変化が河岸位置・形態の変化を意味することから河岸処理を考える上でも非常に重要である。従来、安定状態にある低水路川幅については、経験的な方法¹⁾、実河川のデータに水理的な考察を加味した方法²⁾、理論的な方法^{3)・4)}による研究が行なわれ、また、川幅変化過程については、均質な材料を持つ水路の拡幅過程を対象にした研究^{5)・6)・7)}がある。しかし、実河川の川幅変化予測を可能にするには、実際の川幅変化現象についての理解をさらに深める必要があると考えられる。本研究は、低水路河床材料よりも細粒の材料を低水路河岸に持つ実河川(扇状地以外の沖積河道区間に相当)を対象に、実際に生じた低水路川幅変化を分析し、変化を支配する要因と変化機構について考察を加えたものである。

2. 川幅変化事例の分析

2. 1 平均年最大流量時の摩擦速度 u_* による川幅変化の表現

川幅変化の検討に適した長さ(元の川幅の10倍以上を目安とした)を持つ区間で低水路川幅などの改変が行われた事例を抽出し、改変後の低水路横断形状と水理量の経年変化を調べた。検討対象河道区間(①~⑨)と

1)建設省土木研究所河川部河川研究室 室長(現 河川部河川管理総括研究官)

(〒305 茨城県つくば市旭1番地)

2)建設省土木研究所河川部河川研究室 主任研究員 3)建設省土木研究所河川部河川研究室 研究員

4)建設省土木研究所河川部河川研究室 研究員(現 建設省中部地方建設局小里川ダム工事事務所)

表-1 河道改変後の低水路川幅の応答

区間番号	河床材料 平均粒径	平均年最大 流量 m^3/s	旧 河 道			拡 幅 直 後			現 河 道			
			川幅	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$	川幅	延長	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$	川幅	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$
①利根川	$d_{50}=0.2mm$	$Q=2,500$	244m	1/50.000	17	460m	5,000	1/50.000	11	460m	1/50.000	11
②雄物川 (丸子川)	$d_{50}=14mm$	$Q=1,444$ $\rightarrow Q=165$	110	1/2.048	260	110	1,500	1/2.048	61	45	1/2.048	111
③川内川	$d_{50}=17mm$	$Q=525$	40	1/2.720	225	90	5,500	1/2.400	143	50	1/2.400	211

区間番号	河床材料 平均粒径	平均年最大 流量 m^3/s	旧 河 道			縮 小 直 後			現 河 道			備 考	
			川幅	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$	川幅	延長	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$	川幅	勾配1b		$u_*^2 (cm/s)^2$
④石狩川	$d_{50}=15mm$	$Q=2,256$	195m	1/2.090	247	?	13,000	?	?	229m	1/1.300	304	捷水路4箇所
⑤ "	$d_{50}=15mm$	$Q=2,088$	159	1/2.820	220	180m	3,000	1/1.300	339	180	1/1.300	339	護岸施工
⑥ "	$d_{50}=15mm$	$Q=1,488$	130	1/1.640	289	70	2,700	1/1.300	508	164	1/1.300	288	側岸砂質土
⑦利根川	$d_{50}=0.4mm$	$Q=3,494$	—	—	—	73	1,500	1/5.000	255	150	1/1.500	158	側岸洪積層
⑧肝属川	$d_{50}=0.85$	$Q=360$	44	1/4.000	134	?	5,000	?	?	60	1/2.450	150	側岸砂質土

区間番号	河床材料 平均粒径	平均年最大 流量 m^3/s	旧 河 道			段差発生後			現 河 道			備 考	
			川幅	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$	川幅	延長	勾配1b	$u_*^2 (cm/s)^2$	川幅	勾配1b		$u_*^2 (cm/s)^2$
⑨木津川	$d_{50}=2mm$	1,550	310m	1/1.050	225	80m	2,500	1/1.050	510	90m	1/1.050	510	側岸粘土層

それらの変化状況を表-1に示す。河道がほぼ自然状態を保ち安定している場合には、日本の一級河川について、平均年最大流量 Q_{ap} 発生時に河床に働く摩擦速度 u_* と低水路河床材料の平均粒径 d_m が、図-1の実線に示す関係を持つこと、また Q_{ap} が低水路満杯流量に相当することが知られている²⁾。そこで、川幅変化を Q_{ap} 発生時の u_* の変化により表現することとし、川幅変化に伴う u_* 変化の軌跡を図-1に書き加えた。この時、川幅変化に伴う d_m はないものとしてプロットした³⁾。また u_* 算定は不等流あるいは等流計算により行った。 u_* の増・減が、それぞれ川幅の減少・増大に対応する。

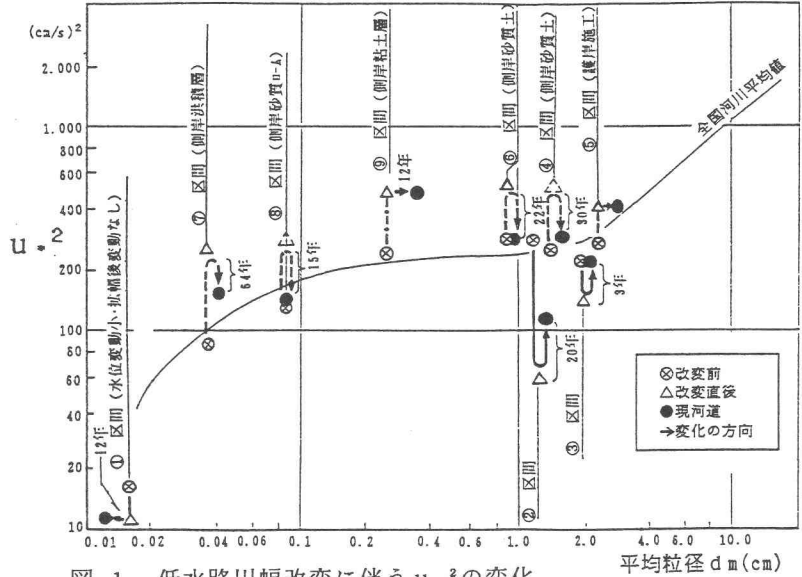


図-1 低水路川幅改変に伴う u_*^2 の変化

2. 2 低水路川幅拡幅後の川幅変化

川幅拡幅後の河道応答特性を表-1と図-1中の①～③の応答線(太線)に示す。①区間は、デルタ河道に属し、河口近くであることに加えて下流に堰があるため、平水位時にも比較的高い水位を保ち、低水路河床が露出することは年間を通してない。掘削による川幅拡幅が実施された後12年間その川幅を維持している。②区間は、捷水路工事により本川区間であった場所が支川単独の区間となり、支川流量を基準にした場合川幅が急激に拡大したみなせる区間である。写真-1、図-2からわかるように、支川流量に応じた川幅への縮小が起こっている。③区間は、旧河道よりも大きい川幅を持つ捷水路を掘削した事例であり、4年間で元の u_*^2 値に戻っており、川幅が縮小したことを明確に示している。②③区間とも、自然堤防帯に位置し、水位変動が大きく平水時には河床が露出していることが多い。

以上のことから、デルタ河川では拡幅後の川幅変動は生じにくく、一方小礫を河床材料に持つ自然堤防帯を流下する河川では、拡幅後の川幅縮小が生じやすい傾向がうかがえる。

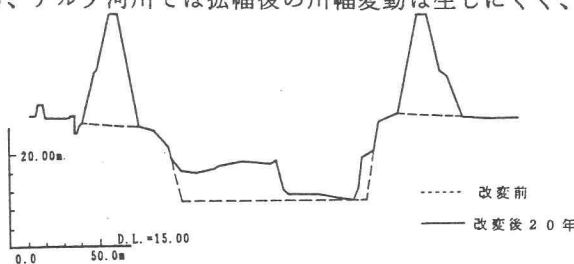


図-2 ②区間代表地点の横断形状変化

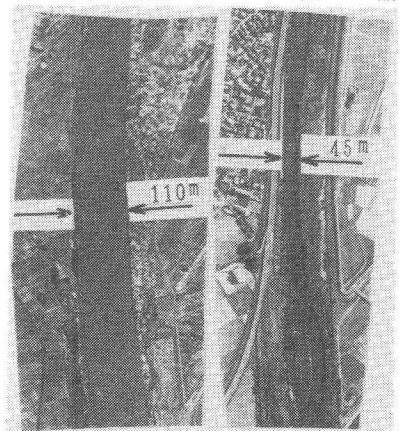


写真-1 ②区間における低水路川幅変化

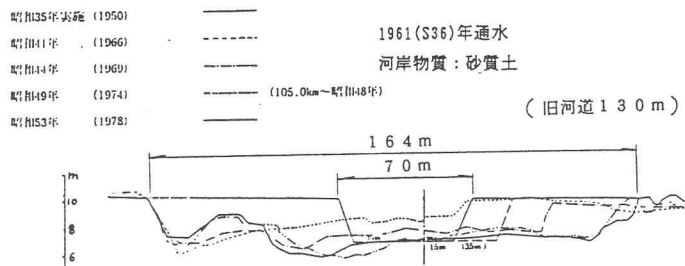


図-3 ⑥区間代表地点の横断形状変化

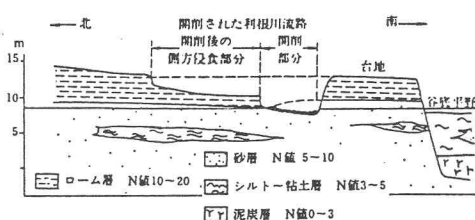


図-4 ⑦区間代表地点の横断形状と地質

図-2 からわかるように、川幅縮小は、低水路内の一部で新たな高水敷が形成されることによって生じる現象であり、明確な堆積を伴う。新しい高水敷部分は低水路河床材料より細かい粒径からなり(砂やシルト)、その上には植生が密生している。これらの特性は区間③についても同様であることが確認されている⁸⁾。以上のことは、高水敷の形成が、植生繁茂領域への浮遊砂、ウォッシュロードの堆積によることを示している。

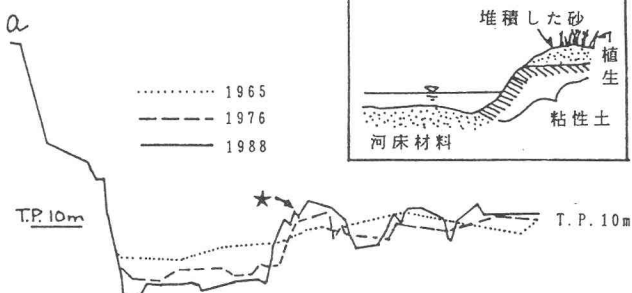


図-5 a～a'断面での横断形状変化(左岸寄りのみ)

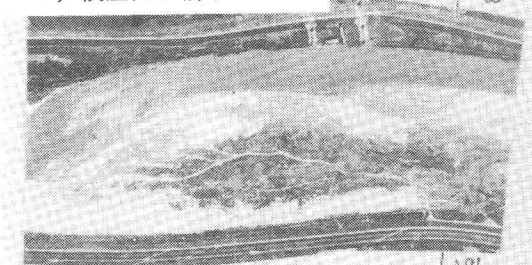
2. 3 低水路川幅縮小後の川幅変化

川幅を縮小改変した場合の応答を表-1ならびに図-1中の④～⑧の応答線(太破線)に示す。縮小改変の多くは、捷水路工事におけるパイロット水路である。なお本節では、川幅変化がなくても u_{*2} の増大により実質的に川幅縮小と同じ効果を持つ改変事例も含めて「川幅縮小後の変化」と表現している。まず、④、⑥、⑧区間では、改変後15～30年で川幅が拡大し u_{*2} が元の値に戻っている。これらの区間では河岸物質が砂質土からなっている。代表例として、⑥区間の横断形状変化過程を図3に示す⁹⁾。一方、⑤区間では、改変後、両岸に断続的に護岸が施工されたため u_{*2} の変化は起こっていない。⑦は、迂回していた旧河道を短絡するように、上下流区間の川幅(340m)よりかなり小さい幅73mで64年前に開削された河道区間である。現在150mまで川幅拡大が生じているが、 u_{*2} は上下流区間の u_{*2} 値まで増大しておらず、川幅拡大速度が④、⑥、⑧区間に比べて小さいことがわかる。これは、図-4に示すように側岸に砂質土に比べ侵食に強い洪積(r-l)層が存在するためと考えられる。

2. 4 段差発生に伴う川幅縮小

前二節で示した事例のような低水路川幅の改変をきっかけとした川幅変化ではなく、低水路河床の一部がある幅で下がり低水路の横断形に段差ができたことに伴い、段差部分が新たな河岸になり、その結果低水路幅が小さくなるという変化が観察された。このパターンが現われた事例(表-1の区間⑨)を写真-2と図-5

a) 段差発生前(1968年)



b) 段差発生後(1984年)

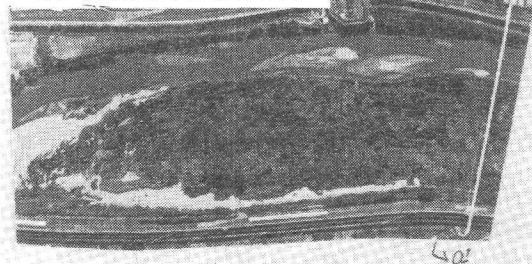


写真-2 段差発生による自然河岸形成の例

*) 今回の調査対象とした河道区間では、全般的には川幅変化速度が大きく、河床縦断形や河床材料の変化よりも卓越していたと判断し、このような整理法を採用した。川幅変化速度が非常に遅い、あるいは無い場合には、河床縦断形や河床材料の変化の方が卓越して現われると考えられる。

に示す。段差発生前、この河道区間は写真-2 a)に示すように単断面河道であった。河床の一部がある幅で低下するに伴い、低下部分が低水路状に、低下せずに残った部分が高水敷状となり、新たな低水路河岸が形成され、新しい河岸および高水敷には植生が繁茂した（写真-2 b)参照）。図-5 から、ある幅で河床低下が進行する一方で、この河床低下に伴って形成された段差の上段側では河床上昇が生じていることがわかる（図中の★印の部分）。現地調査を行なったところ、この部分には図-5 右上に示すように細砂が高さ1 mほど堆積していた。以上のことは、段差の発生が新たな河岸形成を引起こしていることを示している。

この変化過程を、図-1 中に太い一点鎖線で示した。これより、段差発生にともなって形成された新しい低水路は、安定状態にあったと考えられる以前の低水路に比べてかなり大きな u_*^2 を持っていることがわかる。にもかかわらず新低水路が拡幅されずに10年以上維持されているのは、図-5 に示すように新たな低水路の河岸が粘性土でできており、この河岸が変化前の河岸材料に比較して侵食を受けにくいと考えられる。

2. 5 川幅変化特性のまとめ

以上の結果より、まず、川幅縮小には、図-6 に示される2つのパターンがあることが明らかになった。1つは、安定状態にあった低水路を拡幅した後に、元の川幅（あるいは u_* ）に戻るよう起こる川幅縮小であり、もう1つは、低水路の横断河床形に段差ができたことをきっかけとする川幅の縮小、 u_* の増大である。ただし、区間①のように低水路拡幅後の川幅が維持される場合もある。一方、安定状態にある川幅を縮小した場合にも、元

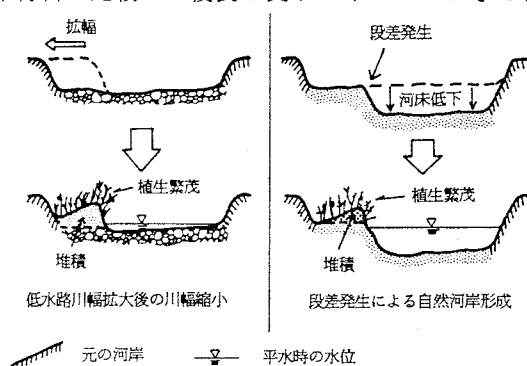


図-6 川幅縮小のパターン

の川幅（あるいは u_* ）に戻るよう川幅の拡大が起こる。ただし、河岸に耐侵食性（侵食に対抗する能力）の高い材料があると変化速度が小さくなる。川幅拡大過程は河岸侵食による河岸後退を、川幅縮小過程は新たな河岸の形成を伴う。

3. 低水路川幅変化機構についての考察

川幅縮小後の川幅拡大は、少なくともその初期においては、河岸に侵食限界以上の掃流力が作用することによる側岸侵食過程により規定されていると考えられる。この過程を定量的に記述するには、粘着性の影響を受けていることが多い種々の河岸物質の耐侵食強度を把握し、この強度と河岸侵食過程との関係を把握することが必要である¹⁰⁾。

一方、川幅縮小機構には、2章の分析結果から考えて、次に示す要因が関係している可能性がある。

1) 供給土砂の減少、2) 河道掘削、3) 低水路内での植生繁茂、4) 浮遊砂、ウォッシュロードの堆積、5) 平水時に河床が露出するような大きな水位変動（流量の変動に伴うもの）、6) 耐侵食性の大きい河岸の出現以下に、各要因と川幅縮小とのつながりを、川幅縮小事例の分析結果に基づいて推定する。

a) 低水路川幅拡大後の川幅縮小¹¹⁾

要因2)により川幅が増加すると、要因5)によって、平水時に水面上に露出する河床部分が川幅増大前に比べ大幅に広がる。露出するのは主として、洪水時に形成された砂州の相対的に高い河床部分である。水面から露出した河床には植生が繁茂するようになり（要因3)）、出水時には植生繁茂領域が低流速域となり、また植生繁茂領域内外で大きな流速差が生じるため、植生領域において浮遊砂やウォッシュロードの堆積が活発に起こる（要因4)）。植生繁茂と繁茂領域への浮遊砂堆積が互いに促進し合いながら、新しい高水敷と河岸が形成される。新しい高水敷領域へ堆積する土砂は、主として新しい低水路領域から供給されるので、2つの領域の境界付近で堆積速度が大きくなる（図-2 参照）。

b) 段差発生に伴う川幅縮小

要因1)や2)などに伴い、低水路における部分的河床低下が生じ横断方向に段差が生じると、その段差の両側での流速差が大きくなるので、段差近くの上段河床への浮遊砂・ウォッシュロードの堆積が活発になる

(要因4))。このことが、初期の段差をさらに大きくさせ新しい河岸の形成につながる(図-5 参照)。相対的に高くなった上段河床が要因5)によって平水時には水面から露出するようになり、そこに植生が繁茂すること(要因3)；写真2b)参照)も、その堆積を一層活発にする。このようにして新しく形成された低水路の幅は安定状態にあった元の低水路幅より小さく、より大きな摩擦速度がそこに作用するので、要因6)がないと、新低水路の拡幅が生じ新低水路の川幅が維持されない。

4. 低水路川幅変化を支配する各要因についての分析

4. 1 河岸に難侵食層を持つ場合の耐侵食特性(要因6))

非粘着性材料と異なり侵食に抵抗する性質を持つ難侵食土質の耐侵食特性を以下の方法により調べた。河道形状を見ると、そこだけ低水路幅が狭い、あるいは河床が高いなど河道の一部に特異な形状を持つ箇所があり(図-7 参照)、その場所では周囲に比較して摩擦速度が大きいことが見出された。通常そのような場所は、周囲と同じ摩擦速度になるよう河床形状がすぐに変化すると予想されるが、それらの箇所ではその形状が維持されるか、その河床変化があっても変化速度がかなり遅いことがわかった。そのような箇所の地質を調べると砂や砂利などと違って、粘土やシルト、岩など粘着性を持つ難侵食性の材料が分布していた。このことから、上記の特異な形状は難侵食性材料が分布していることが原因となって維持されると判断した。そこで、そのような箇所に作用する摩擦速度と侵食速度との関係を調べ、難侵食性材料の流水に対する強度についての情報を得た。結果を図-8 に示す。

データでは河岸に難侵食性材料がある場合と河底にそれがある場合の2通りの状況が見られたので、この図の中でもそれぞれ横侵食力と縦侵食力に分けて表示している。また侵食速度はある期間に生じた侵食量を単純に1年当たりに換算したものである。したがってこの侵食速度は各地点の流況の下での速度となっており、大きな流速を持つ流水の継続時間当たりにはなっていない。摩擦速度としては、平均年最大流量時に当該箇所で作

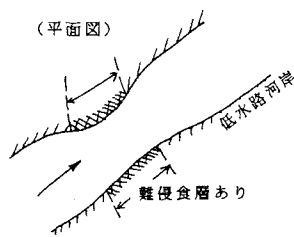


図-7 特異な河床形状の説明

する摩擦速度を代表として採用している。この図から、摩擦速度と侵食速度との関係は明確ではないが、難侵食性材料の種類によって侵食速度に大きな差があることが明確に把握できる。20cm/s程度の摩擦速度に対し、沖積地粘土はほとんど侵食されないのに対し関東ローム層は有意な速度で侵食を受ける。腐食土層になると速度がさらに大きくなる。摩擦速度20cm/sは平均流速で2~3m/sに相当し、この程度の摩擦速度と流速は図-1からもわかるように洪水時に一般的見られるものである。したがって、河岸侵食や河底の形状変化を考える上で難侵食性材料の存在を適切に考慮することが重要と言える。

4. 2 水位変動が植生繁茂に及ぼす影響(要因3, 5))

3章より、要因3)と5)、すなわち水位変動と植生繁茂との関係が、川幅縮小を規定する重要な要因になっている可能性が高いことが指摘された。そこで、種々の河道特性を持つ場所、すなわち礫床河道

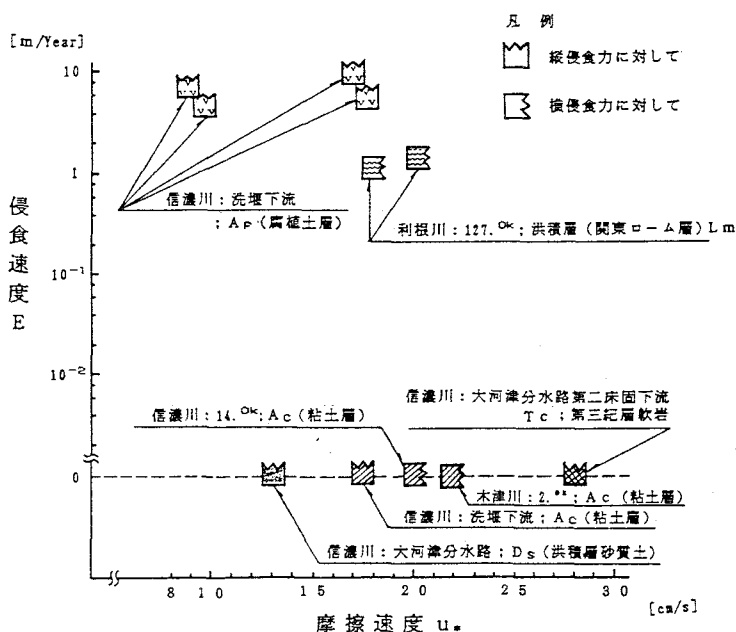


図-8 粘着性を持つ材料の耐侵食性

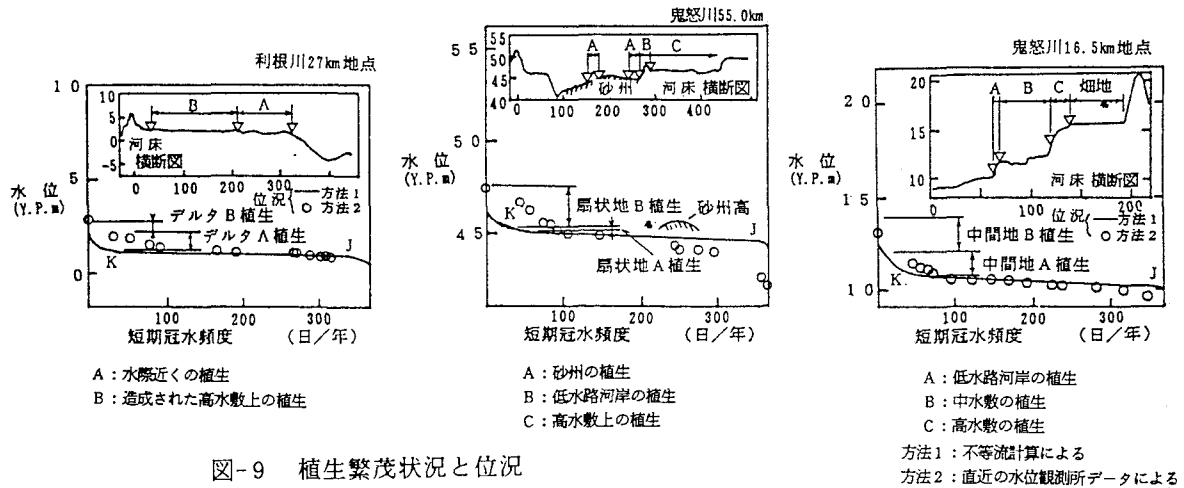


図-9 植生繁茂状況と位況

区間（鬼怒川55Km地点）と砂床区間（鬼怒川16.5Km地点）、河口デルタ区間（利根川27Km地点）について、植生の分布範囲と平均的な年間位況を河床横断面図上に整理した。結果を図-9に示す。この図から以下のことがわかる。

どの位況曲線も2つの明確な勾配変化点K、Jを持っている。ここで、J点より低い部分は概ね350日以上水中に没し、一方K点より上部では冠水頻度が年50日程度以下となる。K、J点の水位差は1m以下であり、このことは、水位がK、J点間の狭い範囲に位置する期間が、年間の大半を占めることを示している。位況曲線と植生繁茂領域とを比較すればわかるように、3地点とも植生はK点以下ではほとんど成育していない。K点より低い水位の出現頻度が急激に増すことから、植生繁茂領域の高さに関する下限が、一定以上の期間（この場合50日以上）の水没に植生が耐えられないことにより規定されていると考えられる。（ただし、植生の種類によってその下限位置とK点との関係が少しずれるようである）。K点が植生繁茂の下限位置の目安になることは、河岸処理や河道設計・管理を考える上で重要である。

低水路内でK点より高い河床部分が存在することは、そこに植生が繁茂する可能性が高いことを意味する。低水路内の植生繁茂は、3章で述べたように、そこでの土砂堆積を活発にさせ、新たな高水敷を形成させる可能性が高い。したがって、K点より高い低水路河床部分の有無は、川幅縮小を支配する重要なパラメータになると推定される。2.2に示したように、平水時にも河床がほとんど露出しない①区間では川幅縮小が起こらず、河床の一部が平水時には露出している②③区間において明確な川幅縮小が起こったことは、この推定を裏付けるものである。

5. まとめ

本研究により、安定状態にあったと考えられる低水路川幅を変化させると、ある条件では元の川幅や掃流力に戻るよう河道変化が生じること、この変化速度が河岸材料の耐侵食性と低水路内の植生繁茂状況から大きな影響を受けることが明らかになった。また、粘着性河岸材料の種類毎の耐侵食性と、水位変動が植生繁茂分布に及ぼす影響の基本的な特性を見出した。これらの情報は川幅変化機構を考える上で重要である。今後、浮遊砂、ウォッシュロードの河岸への堆積機構を踏まえ、特に川幅縮小速度の定量的な予測手法を開発することが、川幅変化現象を河岸処理や河道設計・管理へ適切に反映させる上で重要である。

参考文献

- 1) Lacey, G.: Stable channels in alluvium, Minutes of Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Vol. 229, 1929.
- 2) 山本：河道特性論、土木研究所資料第2662号、pp. 26～50、1988.
- 3) Parker, G.: Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed. Part 1. The sand-silt river, J. Fluid Mech., Vol. 89, 1978.
- 4) 泉・池田：直線砂床河川の安定横断河床形状、土木学会論文集、No. 429/II-15、1991.
- 5) 澤井・芦田：粘着性流路の侵食と横断形状に関する研究、土木学会論文報告集、No. 266、1977.
- 6) 平野：拡幅を伴う流路変動について、土木学会論文報告集、No. 210、1973.
- 7) 長谷川・望月：シルト・細砂からなる流路の侵食過程、第31回水理講演会、1987.
- 8) 藤井・山本・深谷：河岸形成過程に関する研究-利根川・川内川での土砂堆積の実態調査-、河道の水理と河川環境シンポジウム、1993.
- 9) 建設省河川局・土木研究所：河道特性に関する研究-その3-、第45回建設省技術研究会、pp. 703～707、1992.
- 10) 福岡・木暮・佐藤・大東：自然堆積河岸の侵食過程、水工学論文集、第37巻、1993.
- 11) 平林・山本：酒沼川における河畔堆積物調査、水工学論文集、第35巻、1991.