

河道内2列蛇行の安定条件

Stable Condition of Double Track Meandering Channel

宇都宮大学工学部

須賀 堯三 Kyoza SUGA

Double track or two mode meandering alluvial channel usually exists between braded or plural mode meandering channel in the upstream and single mode meandering channel in the downstream. This paper deals with stable condition of double mode meandering, based mainly on field observation and field data, and finds such results that the double track meandering is maintained by systematical structure of existences of a single mode main channel, a sub-channel and stable inter-junctions, and that the unstability is brought by the increase of meandering intensity of the main channel. These results are considered to be the key points at practical application in channel training works.

Keywords; Self-forming alluvial channel, Double track meandering, Channel Stability

1. 序論

2列蛇行に関する研究は、単列蛇行に関する質的量的に豊富な研究に比べると極めて少なく、実験的研究や理論的研究はもとより、その基本となる実態に関する調査・研究が不十分である。従前にあまり研究が行われなかった理由は、2列蛇行の現象が複雑であり、かつ不安定であることにより研究の糸口をつかむことが容易でなかったことも加担していると思われる。そこで、その糸口を探るため河川における現象について検討を行い、これまでに、外的条件による河相の応答特性に関する考察のなかで、次のような仮説の提案を行っている。¹⁾すなわち、2列蛇行は単列モードを有する主水路、変動の激しい不安定な副水路、および主水路と副水路の合流部と分岐部を形成する節部からなり、この形態が運動の基本となっているというものである。今回は、この結果をうけて次の事項について鬼怒川の資料及び全国河川の航空写真に基づいて検討を行い、2列蛇行の安定条件を明確にする。

- a. 鬼怒川扇状地における縦断的な蛇行特性の経年変化の実態、および二列蛇行の基本形態と運動の特性
- b. 主水路の存在の確認と節部位置の安定性に関する外的要因とその結果
- c. 河道中央部に位置する節部と河岸に位置する節部のそれぞれの場合の水理的な特性
- d. 二列蛇行から単列蛇行への遷移の実態と遷移原因

2. 2列蛇行の定義と形成過程

河道内の2列蛇行とは、低水時において2つの蛇行流路が関連し合う状態で安定して存在する中規模河床形態をいう。2列蛇行は、一般に、流出土砂量の多い流域の扇状地において単列蛇行に接続して、その上流部に存在することが多い。また、2列蛇行の上流部は、鱗状砂れき堆河道、網状蛇行河道、高モードの複列蛇行河道、あるいは基岩の強制作用を受ける山地河道部となっていることがある。2列蛇行部の河床は砂分の多い砂利によって構成されているのが通常であり、その河床勾配はおおむね $1/300$ 前後である。このように急流河道であるが、その河道特性の縦断的な変化率は、その上流部や下流部に比して緩和されており、従って、例えば2列蛇行区間における河床勾配や河床材料の粒度分布は、ほぼ一定と見なすことが認容される。各セグメントにおける中規模砂れき堆や砂州の伝播速度は、上流より順に小さくなっており、流路の安定度は自然の状態ではこの順に大きくなっていると考えられる。

二列蛇行が存在する領域は、河床勾配の影響を無視することにすれば、 $B/h > 100$ とされ、 $B/h = 60 \sim 100$ では単列蛇行が混在するとされている。ここに、流路幅 B および平均水深 h は、Bankful discharge または年一

回程度の洪水流量時の水理量である。このような流路は、自然状態では、侵食区間において形成されることは特殊条件がない限りない。多くの場合、長時間尺度でみた堆積区間において形成される。ただし、この場合、自然堤防の発達と係わりを有しているので、デルタや分岐水路区域は除外される。したがって、対象区域は扇状地であり、2列蛇行の形成過程は扇状地の発達過程の中で論じられる。

全てが旧河道である扇状地において流路がほぼ安定化した時点では、流路変動をもたらす自然量としての水理量は洪水（波形パターンとピーク流量）と流出土砂（土砂量とその粒径）である。まず、自然堤防は洪水のたびごとに消長を繰り返し、やがて下流より上流に向けて安定化が伝播する。このようになる原因として考えられる主要な理由は、土砂流出量の変化である。例えば、上流山地において大崩壊があって大量の土砂の流出があったとすれば、河床上昇が生じて既存の流路形態が消去され、平坦な網状河道が出現する。そして、その後大崩壊がなければ供給土砂量は減少し、それに応じて河道の形態も変化・変動していく。自然の流路は、このような現象が繰り返し行われた過程を経て形成されたものと考えられ、土砂生産の場と土砂流出変動の影響の及ぶ距離²⁾が自然堤防の発達と関係するものと解釈される。つぎに、洪水の規模に応じて3次元流況が変化し、それに応じて河床形態も変動する。しかし、越水による新水路の発生・発達がなく、全体としての流路が固定している状態では、その枠の中での変動が主体となる。時間尺度を数10年程度と考えた場合には、モードをこえる変動はない。したがって、流量の変化に順応しうる大規模な砂州・緩やかな曲線形が生き残り、蛇行の多重構造が形成されるものと考えられる。

2列蛇行において単列モードの主水路が中心的な構造主体を形成する理由は、上記の発達過程により理解されるであろう。なお、副水路が存在する理由は、縦断的にみて網状河道から単列河道へ遷移している過程から推察することが可能であり、節部が安定する理由は、主水路の位置の安定性と節部における2次流の存在³⁾による洗掘と堆積の現象の安定性によるものと考えられる。したがって、2列蛇行においては、8の字蛇行のようになることは希であり、分岐点は合流点のやや下流に位置することとなる。

以上は、2列蛇行の主要な形成過程と考えられる。河川には、それぞれに特有の条件が存在しており、その他の原因によって2列蛇行が安定して形成されることもある。例えば、露岩等の存在による大きな湾曲部があって、流量の変化に無関係に洗掘部とその下流部に形成される堆積部が固定されるような場合に、流れがふたてに分岐され、これが原因で下流部のある区間において2列蛇行が形成されることがある。狭窄部の下流において広い流路が存在する場合にも、狭窄部の河床変動・流路変動と狭窄部上流の土砂調整作用の結果、2列蛇行が形成されることがある。また、本川に対してある程度の支配力を有する支川が合流しており、その支川の土砂供給量とその変動が大きい場合にも、合流点下流において2列蛇行が形成されることがある。このように、2列蛇行の定義の仕方によっては、種々の2列蛇行が存在することになるので、適切な分類が必要となる。

ここで取扱う前者の如き形成過程に基づく2列蛇行は、次のような場合には安定して存在することが困難となるので、その例を列挙しておく。

- a. 土砂生産の場との距離が十分にあり、流下の途中において土砂調整が行われ、流出土砂量が一定で、土砂の粒径が均質となっている場合、もしくは流出土砂量が少ない場合
- b. 土砂生産の場距離が近く、かつ土砂生産量が多い場合であっても、風化の進んだ花崗岩地帯からのまきの流出のように、動き易い均質の砂が一定量常に流下している場合
- c. 自然堤防の発達が十分でなく、もしくはその他の理由により、主水路が容易に下流に流下し、かつ変形が行われる場合、すなわち主水路が不安定であってその変動が激しい場合
- d. 融雪洪水のように、洪水期間が長く、その最中においてなんらかの原因により、節部に形成されている洗掘部が埋められ、そこにみられる2次流が弱まるような場合

3. 鬼怒川扇状地における2列蛇行の実態

鬼怒川の扇状地として、利根川の合流点より50kmから100kmまでの地点を対象とする。ここでは、ローマ

層を侵食して形成された幅1~4kmにも及ぶ広い河道に、上流の火山地帯における土砂の活性化が行われた1万年余の間に沖積性の現河道が形成されたと考えられている。この区間におけるこの期間の扇状地は上流より85km地点にまで及んでいる。この新しい扇状地区間では河道はほぼ直線的であり、中規模河床形態は網状あるいは複列蛇行と判断される。85kmより下流では、初期の河道の上に新しい自然堤防が形成され、これは下流部にいくにしたがい発達しているとみなすことができる。したがって、河道は85km地点あたりより蛇行を開始し、85~70km間では緩やかな蛇行、70~50km間では明確な強制蛇行が形成されている。

2列蛇行は、この85~50km間において形成されている。昭和22年から昭和57年に至る7回の航空写真によるみお筋の判読結果によると、大局的にみてほとんど不変と考えられる主水路と同じく固定された節部を確認することができた。⁴⁾この間には、上流ダム群の建設や砂利採取が行われ、土砂流出環境の変化と約2mにも及ぶ河床低下があったにも拘らず、2列蛇行の安定性が損なわれていなかったことが強調される。しかし、70~50km間にあっては主水路が経年的に鮮明化し、蛇行強度の増大がみられる。なお、鬼怒川のこの間にあっては、護岸はほとんど建設されていないことから、従来は護岸を必要としない河道であったと考えることができよう。事実、過去大規模な河岸侵食は記録されていない。

鬼怒川においても、根入れが十分でない古い橋脚は数多く存在する。通常は蛇行強度の大きいところで橋脚周辺の局所洗掘に基づく被災が、特にこのような河床低下の大きい河道の場合には多くみられることがあるが、鬼怒川のこの区間の橋脚で局所洗掘がすすんでいるのは、網状河道区間に架けられた古い橋脚である。下流の2列蛇行区間ではなく、上流の網状河道区間において橋脚周辺の局所洗掘が進行している理由は、網状河道において小さな砂れき堆が速いスピードで変形しながら流下し、橋脚上下流部の掘残し部に抑止された結果、流れが変わって洗掘が急激に進行したものと判断される。

二列蛇行部では上記のような事例は生じてない。2列蛇行部では、砂利採取に伴う砂州部除去の影響はみお部の河床低下に見合ったものである限り、3次元的な流況に対する影響が小さいものと考えられる。しかし、他の単列蛇行の例にみられるように、70~50km区間の強制蛇行区間では、蛇行強度の増大となって現われ、2列蛇行から単列蛇行への遷移の準備が行われつつあるとみることができる。

4、全国主要河川における2列蛇行の実態

蛇行のモード変化についてはすでに報告した。⁵⁾同報告は、全国主要河川写真集（建設省治水課、土木研究所河川研究室、昭和57.3）に掲載された1級水系の41河川の平水時の航空写真に基づく調査結果である。これによると、写真が2回以上存在する資料中、当初網状あるいは複列蛇行が19例あり、このうち11河道において明確な変化があった。

今回は、鬼怒川における調査並びにその考察結果と照合しつつ、次の3点について検討を行う。すなわち、終戦直後当時 M_1 （ M_i は蛇行のモード数が i であることを意味する。以下同様）であった河川の条件と、終戦直後当時 M_2 であった河川の条件の相違点、 M_2 から M_1 へのモード変化があった河川の特性和その原因、および現時点においても引き続き M_2 を維持している河川の特性等について考察を行う。なお、個々の河川に関する写真以外の資料は、現段階では十分に入手していないので、検討内容に限界があることは否めない。

a. 終戦当時、河道の蛇行モードの推定値が M_1 および M_2 であった河道の条件とその特性

全国主要河川写真集およびその他の事例の範囲内では、昭和20年代の中規模河床形態が単列蛇行と推定されたものは、現時点においても単列蛇行である。これは、通常の砂利採取及び拡幅等の河道改修が行われた場合についてもいえることであって、一時的にせよ、大量の土砂堆積等がなければ蛇行のモード数が増大することはないと考えてよさそうである。すなわち、蛇行モード数の減少は安定化の方向であるとみなすことができる。この限りにおいては、 M_2 となる河道の条件やその安定条件およびその河道特性を知ることが優先されるが、 M_2 河道を理解するうえに必要であるので、まず M_1 河道に関する考察を行う。

写真集において、終戦当時 M_1 河道であったと推定できる河川は41河川中、17河川存在し、このうち12河

川については航空写真によりその様子を知ることができる。これを河道の状況によって宇曲と蛇曲に大別することができる。前者は、粒形が細かく耐侵食性があるので地形変化は緩慢であり、自然堤防の発達ほとんどない。これには、鬼怒川 0~10km, 20~30km (河床勾配 $i_0=1/2200 \sim 1/2000$, $d_{50}=0.3\text{mm}$) などが該当するが、扇状地性の堆積区間ではない。後者は、扇状地からそれに接続する中間地において多くみられる。これには、平面形状としては宇曲に近いような蛇曲 (尻別川 18~23km, $i_0=1/400$, $d_{50}=7.5\text{mm}$, 釧路川 38~56km, $i_0=1/500 \sim 1/1200$, $d_{50}=5\text{mm}$) で、河川の年齢が大きく、流出土砂量が少ない場合、自然堤防の発達した強制蛇行 (木津川 0~15km, $i_0=1/1200$, $d_{50}=2\text{mm}$, 加古川 0~19km, $i_0=1/900$, $d_{50}=50\text{mm}$) で、流出土砂量は大きい、土砂生産の場からの距離があつて、流出土砂がある程度調整されている場合、規則蛇行 (笛吹川 0~10km, $i_0=1/2000 \sim 1/100$, $d_{50}=5\text{mm}$) で、水源地帯の地質が古く風化がすすんでおり、流出土砂量は少なくはないが一定量に近いような場合、及びその他として、露岩の配置により不規則蛇行の出現している場合 (渡良瀬川 30~40km, $i_0=1/1100 \sim 1/300$, $d_{50}=0.7\text{mm}$) や水制群・床固群によって固定されている場合 (木曾川 10~24km, $i_0=1/4000$, $d_{50}=0.3\text{mm}$, 揖斐川 0~15km, $i_0=1/600 \sim 1/400$, $d_{50}=30\text{mm}$) などがある。以上、単列モードの蛇行河道となる条件は、河川の年齢や流出土砂の特性、及び土砂生産の場からの距離やその他の露岩・河川構造物の配置等の影響を受けるが、安定した規則性の強い強制蛇行となることであり、このとき流路幅はその上流部より小さいのが普通である。

つぎに、終戦当時 M_2 河道であつた例を取り出し、 M_1 河道の場合と対比しつつ考察を行う。写真集にみられる16例において共通していえることとして、単列蛇行より上流部に位置すること (土砂生産の場との距離が短い)、流路幅が大きいこと、流路の曲線形が緩やかであること、及び露岩等の関係で流路の蛇行が激しいときはそのピッチが小さいこと等の事項をあげることができる。このような事項を前提として土砂条件によって定性的な分類を行うと次のようになる。流出土砂量が多く、かつその経年的変動が大きい場合の例としては、自然堤防の発達しかけている黒部川 (0~13km, $i_0=1/120$, $d_{50}=150\text{mm}$)、紀ノ川 (0~30km, $d_{50}=20\text{mm}$)、那賀川 (0~11km, $i_0=1/900 \sim 1/500$, $d_{50}=20\text{mm}$)、露岩による湾曲効果がでている姫川 (0~11km, $i_0=1/115$, $d_{50}=40\text{mm}$)、合流の影響もみられる信濃川 (14~35km, $i_0=1/1600 \sim 1/500$, $d_{50}=0.4\text{mm}$) や釜無川 (4~21km, $i_0=1/150$, $d_{50}=5\text{mm}$)、流出土砂量が多いが河川の年齢が古く調整された土砂流出があると考えられる例としては、扇状地の発達過程においてみられる羽越荒川 (0~5km, $i_0=1/600 \sim 1/270$, $d_{50}=20\text{mm}$)、阿賀野川 (18~25km, $i_0=1/1700$, $d_{50}=0.6\text{mm}$)、千曲川 (90~100km, $i_0=1/240$, $d_{50}=20\text{mm}$) などあげることができる。流出土砂量が少ない河川では、河床低下傾向となり流路幅も小さいので2列蛇行となることは少ない。

b. 2列蛇行の種類

航空写真をみると、鬼怒川の調査結果に基づいて推察した2列蛇行が、2列蛇行として本質的なものと見なすことが可能であるが、これ以外にも存在していることがわかる。その中には、一時的にのみ存在可能と判断されるものや判定が困難なものも含まれ、種々多様・複雑である。しかし、ここでの定義によれば外すことが可能と思われる。そうすると、上記の他に追加すべきパターンは次の如きものである。

すなわち、2列蛇行の安定性が自然堤防の発達過程によらない他の理由に基づくタイプのものである。その中には、露岩や護岸等の構造物によって水衝部における洗掘と堆積作用によって形成される河岸沿いに存在する節部の安定性が基本となつて、主水路の他に副水路が存在しうる十分な流路がある場合に形成される2列蛇行、および合流や狭窄部等の他の流路安定要因に基づいて、同様な条件が備わっている場合に形成される2列蛇行である。このような2列蛇行は、各原因のおよぶ範囲に限られ、平面形状の縦断変化は大きく、従つてスケールは前者とは異なつたものとなる。なお、一般的なパラメーターである B/h の値も、前者のタイプの2列蛇行と同次元で考えることはできない。

固定された水衝部の下流において2列蛇行が形成されている例は、山地河川などでは多くみられる。例えば、那賀川15.5kmより下流13.5kmまでの区間のように流路幅の広い大きな湾曲部等において顕著である。

c. 2列蛇行から単列蛇行に中規模河床形態が遷移した河川の実態

写真集によると、当初2列蛇行と判断された16河川のうち、11河川においてその後大勢として単列蛇行へのモード変化がみられた。遷移原因と関係があるとみられる主要なインパクトは、砂利採集・ダム築造等に基づく供給土砂量の減少、堰の撤去、河道改修（低水路平面形の変更及び護岸の建設等）などであると考えられる。これらは直接的なインパクトであるが、モード変化が生じる河川と生じない河川があるところからも判断されるように、河道の不安定がその根底にあるので、ここではこの点に焦点をあてて考察を行う。

そこで、河道の不安定性に関する分類を行う。それらは、複列蛇行モードと二列蛇行モードの中間に位置する直線的な2列蛇行区間、2列蛇行モード区間の下流部に位置する単列蛇行モードの強い区間、水衝部位置の安定性が十分でない区間、およびその他の区間である。

まず、安定した2列蛇行区間の上流部では、河道の直線性が大きく、自然堤防の発達が十分でないので、砂州・砂れき堆の流下・変形の現象があり、主水路の安定性が得られない。このような場合には、モードの変動が主体となるが、河道改修や河床低下によって単列モードへの遷移が生じることがある。事例としては、雄物川81～106km ($i_0=1/1000\sim 1/400$, $d_{50}=6\text{mm}$) をあげることができる。雄物川では、主水路と副水路の交代という不安定要素があったが、85km地点における堰の撤去が直接的なインパクトとなってモード変化が生じた。ただし、その影響の及ばない十分下流の地区では2列蛇行モードは不変となっている。

つぎに、自然堤防が十分発達すると単列モードの蛇行形態となるが、その一歩手前の状態で流路幅が大きいときに2列蛇行となる。ただし、この場合には変化・変動の少ない安定した水路の存在が強調され、流出土砂量が多い場合などに2列蛇行が出現する。事例としては、阿賀野川 18～25km ($i_0=1/1700$, $d_{50}=0.6\text{mm}$) の勾配変化区間、すなわち堆積区間、神通川10～24km ($i_0=1/200\sim 1/180$, $d_{50}=45\text{mm}$) の不規則蛇行区間、長良川24～40km区間 ($i_0=1/5000$, $d_{50}=0.35\text{mm}$) の規則的な安定した蛇行区間などがあげられる。このような場合には、何かきっかけがあって主水路の蛇行強度の増大があると容易に単列蛇行へのモード変化が生じる。その引金となる原因を河道改修と考えることのできる例として、九頭竜川0～30km ($i_0=1/2000\sim 1/280$, $d_{50}=0.5\sim 20\text{mm}$)、砂利採取を主因とするものに紀ノ川0～30km ($d_{50}=20\text{mm}$) および吉野川 0～21km ($i_0=1/2100\sim 1/1200$, $d_{50}=5\text{mm}$) など をあげることができる。

水衝部や水衝条件の変更によるモード変化が生じた例として、羽越荒川0～5km ($i_0=1/600\sim 1/270$, $d_{50}=20\text{mm}$) をあげることができる。これは、わん曲部下流において流路が分岐し、兩岸沿いに存在していた流路が、河道改修による分岐条件の変更によりモード変化が生じたものである。ただし、4.5km 地点における露岩による分岐条件の変更への影響は少ない。このような水衝作用による分岐機構については不明な点が多く残されており、分岐する場合と分岐しない場合の原因が明確でない。

その他としては、本来単列モードの蛇行区間と考えられるが、河岸における水衝条件により不安定な副水路が形成された例をあげる。これには例えば那賀川0～11km ($i_0=1/900\sim 1/500$, $d_{50}=20\text{mm}$) が該当しよう。那賀川の場合には堰の崩壊により容易に単列蛇行に遷移している。また、流路幅の狭い直線状の水路において砂州・砂れき堆が十分に発達しきっていない様な状態のとき、すなわち蛇行ピッチが短く、砂州・砂れき堆の伝播速度が大きいと考えられる状況の中で、流れの2元性に起因する副水路が形成されることがある。これには、石狩上流の旭川市地区14～34km ($i_0=1/300\sim 1/200$) および大和川0～12km ($i_0=1/900$, $d_{50}=2.5\text{mm}$) の例をあげることができる。これらは元来不安定な二列蛇行であるので容易にモード変化が生じる。

2列蛇行から単列蛇行へのモード変化の現象について考察を行うにあたっては、河道の条件及びインパクトの双方の関連を明確にする必要があるが、ここでは河道の条件を主体とした検討を行った。調査資料の範囲では、このような蛇行のモード変化は全て M_2 から M_1 への変化であり、これは安定化現象と考えることができよう。

d. 2列蛇行から単列蛇行への遷移がない河川の実態

最後に、終戦当時2列蛇行であり、その後も引き続いて2列蛇行の形態を維持している安定した河川を取り扱い、その特性についての考察を行う。モード変化のなかった5河川の例を分類すると次のようである。

自然堤防の発達過程にある緩やかな強制蛇行であって、主水路が安定していると考えられるものは、千曲川90～100km ($i_0=1/240, d_{50}=20\text{mm}$) および黒部川0～13km ($i_0=1/120, d_{50}=150\text{mm}$) である。両者共に土砂供給量は多く、前者においてはその変動が小さく、後者においてはその変動が大きい例と考えられる。これと類似した河道状況ではあるが、合流の影響があると考えられるものに信濃川14～35km ($i_0=1/1600\sim 1/500, d_{50}=0.4\text{mm}$) および釜無川4～21km ($i_0=1/150, d_{50}=5\text{mm}$) があり、露岩等に基づくわん曲部の効果が加わったものに姫川0～11km ($i_0=1/115, d_{50}=40\text{mm}$) の例をあげることができる。また、狭窄部が節部となり、その下流において2列蛇行が出現することがある(沙流川21km)。千曲川は鬼怒川の場合と類似しており、主水路位置はほとんど動いていない。黒部川についても、わずかな変動はあるものの、基本的にはほぼ固定しているとみなしうる。信濃川は、主水路と副水路の判別にわかりづらいところが生じるなど、河道特性の理解は容易ではないが、これには魚野川の合流と砂利採取の影響があるものと思われる。釜無川は土砂供給量の変動の影響を強く受けていると考えられる。また、姫川は露岩の効果に基づく流路は固定しているが、わん曲部の流路には流量規模に応じた変動がみられる。

5. 2列蛇行の安定性に関する考察

2列蛇行の安定条件としては、自然堤防の発達・狭窄部や合流などの河道の条件、土砂量とその粒形および流出特性の条件と洪水波形、ならびに河道改修や砂利採取などのインパクトの3つの観点から考察を行うことが必要である。このうち、今回は前二者に焦点を当てて考察を行っている。

2列蛇行が安定して存在する形態としては、鬼怒川及び全国の主要河川の例から判断して、次の3つのパターンに分類することができる。すなわち、緩やかな広い流路幅を有する強制蛇行区間における安定した主水路と河道の中央部においてその位置がほぼ固定する節部を有する2列蛇行、わん局部の露岩・合流・狭窄部・その他の効果により河岸または河道中央付近において安定した節部を有する2列蛇行、および主水路と副水路の区別が明確でなく、砂州・砂礫堆が流下しつつ、ある程度の安定が得られる2列蛇行である。このうち、安定性を重視する立場からみると前二者のみを考慮すればよい。なお、河川には多様性があり、前二者の双方にまたがるパターンの2列蛇行も存在する。

また、土砂の条件から判断すると、土砂量が多く、基本的には流路幅の広い河床上昇区間が存在する河川において2列蛇行が形成される。土砂流出量に時間的な変動がある場合には、土砂調整が行われ、その変動の影響を吸収しうる下流の地点において形成される。したがって、河川の年齢と関係がある。流量の変化に対する安定性に関しては、主水路の安定度の寄与が重要であると考えられる。

以上の条件が満たされている2列蛇行は、砂利採取や流出土砂の減少に基づく河床低下、適切な河道改修(低水路の拡幅および護岸の建設)、河床材料の変化、及び流量の増大等の外的なインパクトに対して、ある程度の安定を保持しうる。しかし、主水路位置の変化と蛇行ピッチの変化・主水路の流路幅の縮小と水深の増大が生じる場合には、弱い外的インパクトによって不安定化する。これには強制蛇行の発達した河道が関与する。また、河道付近に存在する節部と狭窄部に生じる節部の特性が変化する場合にも2列蛇行の不安定化が生じる。

6. むすび

事例の母集団の全量の調査結果ではないが、現象論的な考察の結果と明確な矛盾はないので、2列蛇行の安定性に関する基本的な考え方としては、ほぼ正しい推論を行うことができたと思う。今後、2列蛇行流、節部における流況と地形変化、水衝部における分岐条件等について、水理学的な細部の考察が必要である。

〔参考文献〕 1) 須賀：年講 S63、2) 須賀：水講 S61、3) 市村 他：関東支部 h.1、4) 須賀：関東支部 S 63 5) 須賀：年講 S 57