

河床低下による砂礫堆長の縮小 Shortening of Bar Length due to Degradation

建設省土木研究所 正員 須賀 堯 三
P W R I Kyozo Suga

1. はじめに

日本における多くの大および中河川の河相は、昭和40年代以降、急激に、大幅に、かつ従来において未経験な仕方に変化し、一部の河川においては現在なおその河相の変化が継続しているとみなすことができる。河相変化項目のうちで顕著な現象は河床低下である。河床低下によって河道の河積が増大し、堤防越流による破堤や河川水位が高いことによる内水排除困難の結果生じる被災は減少した。一方、河道は河床低下に代表される河相変化によって種々の変貌をきたしたが、河岸付近の局所洗掘の増大、流砂量と粒径の変化^{1) 2)} および蛇行モードの変化^{3) 4)} については、すでに定性的な検討結果の報告を行っている。これらの現象については、理論的な考察に先だって、まず河川における河床低下と中規模河床形態の関係を明らかにすることによって、その実態の解明を行うことが必要であると考え。今回は、河岸付近の局所洗掘等に密接な関係を有する砂礫堆の長さが小さくなる現象をとりあげ、その実態と縮小する理由について、現地資料に基づいて定性的な考察を行う。ただし、網状砂礫堆や複列蛇行の砂礫堆、および勾配が小さいデルタ地域性の砂・シルト河川における交互砂州やショール、あるいは入退潮流や波の作用を受ける砂州等を考察の対象から除外し、比較的単純な単列砂礫堆および特性が砂礫堆に近い交互砂州までを含める（以下砂礫堆と総称）ものとする。また、砂礫堆等は航空写真から判断する都合上、平常時のみを尊重し、単列・複列・網状等の河床波が重なる多重構造の場合には卓越する形態を考えることとする。

2. 単列蛇行河道の砂礫堆の安定性

安定した河道では、水衡部位置は変わらないといわれてきた。流れが強制的に固定する場合を除いても、河道が適度にわん曲し、明確な単列の砂礫堆が縦断的に整然と存在している場合には蛇行が変わらないことがある。特に、水制等が適切に配置されている場合には、吉野川17～24 kmにみられるように戦後の大洪水を数多く経験してもその影響が現われないことがある。吉野川では15 km地点に第十堰があり、堰上流部の河床低下を無視しうることは考慮する必要がある。なお、全国主要41河川の航空写真⁵⁾によると、河道内の蛇行変化が大きい条件は、網状および複列蛇行河道における河床低下に伴うモード変化と低水路の幅や法線形の人為的な変化などであり、単列河道では砂礫堆の平均的な長さの変化を示す河川は多くはない。この航空写真は昭和40年代までのものを使用しているため、河床低下の砂礫堆の変化に対する影響は存在するものの、未だ顕著には現われていないと考えられる。砂礫堆の長さの変化におよぼす河床低下の効果は蛇行のモード変化との応答とは異なり、局所洗掘の現象と同様に若干の遅れを伴ったものとなる。単列砂礫堆等が縦断的に整然と配置されている場合には、直線的な河道で砂礫堆等が動きやすいときでも長さが1 km程度の砂礫堆の年間の平均の移動距離は、洪水の頻度や供給土砂量にもよるが、たかだか10～30 m程度であり、かなり安定したものと考えることができる。また、補給砂量が減少することによってみお筋部の河床低下が起こる場合には、その区間の砂礫堆は一層安定してしまう。したがって、このような場合には砂礫堆等の長さが大きいスケールでみて減少することは起こりにくい。

3. 砂礫堆等の長さが縮小する現象の実例

単列砂礫堆、あるいは交互砂州を有する蛇行河道において、砂礫堆等の長さが縮小する条件は、縦断的に安定して配列されている個々の砂礫堆の伝播速度に不調和が生じること、およびモード変化や河道掘削等に

よって砂礫堆等の配列に安定が得られていないことなどであり、いずれも河床低下や堰等の大規模構造物の効果と関係があると考えられる。ここに、2,3の実例を示す。

写真1-aは那賀川における新しい砂礫堆2ヶが誕生した直後の様子を示す。これは斜堰の破壊に伴う急激な河床低下によって、砂礫堆の長さのバランスが失われ、異状に長くなった砂礫堆が3つに分裂して、小さな砂礫堆が2ヶ追加されたものと考えられる。この2つの砂礫堆は、活発に移動発達し、写真1-bにみられるように、12年後には上下流の砂礫堆とバランスする形態となっている。



写真1-a 那賀川



写真1-b 那賀川

写真-2は紀ノ川における昭和22年と48年の河床の様子を比較したものである。昭和45年迄の砂利採取により、いったん乱れた蛇行形態は昭和48年には回復しているが、砂礫堆の長さは昔のものに比して短い。この砂礫堆は補給砂の条件が昔と異なっており、みお部の低下が進行するので砂礫堆の発達と移動速度が抑えられ、短い砂礫堆のままで安定していると考えられる。

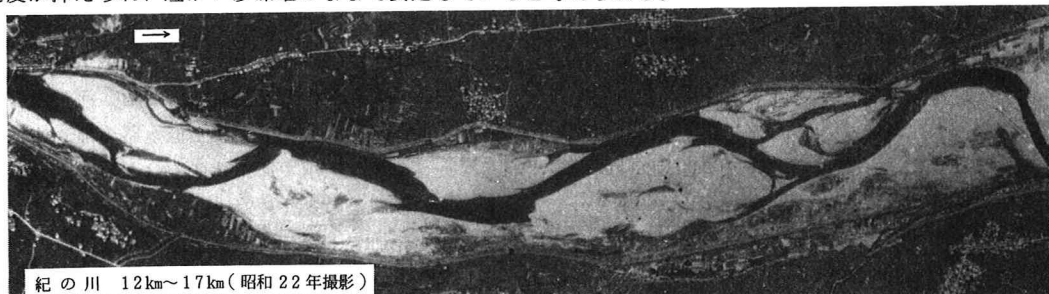


写真2-a 紀ノ川



写真2-b 紀ノ川

写真-3は木津川における昭和22年と47年の河床の様子を比較したものである。終戦直後においては、流砂が多いため河道は横断方向に平坦であり、低水時において流路がわかれがちであるが、全体としては単列蛇行を呈しているものとみることができる。この状態では、わん曲部においても深掘れはわずかであると考えられる。昭和47年の写真では河床低下によってみおが鮮明となり、わん曲部にはポイントバーの発達が見られる。わん曲部下流では、強いわん曲流の影響で長いひとつの砂礫堆が明瞭な3つの砂礫堆に変わった。



写真3-a 木津川



写真3-b 木津川

中部地建の資料⁷⁾によると、天竜川の左岸3.2～3.4kmでは昭和46年頃から局所洗掘が急激に進行している。これは、平面特性からみると昭和37年当時5km付近に前緑線をもつ砂礫堆が年々流下し、昭和50年には3km付近での蛇行の角度が大きくなるとともに、3km付近でのみお筋が左岸に固定しているため、水衝部となり局所洗掘が進行したものと発表されている。この様子を航空写真によって調査すると、縦断的に並んでいる砂礫堆はそれぞれ年々流下しているが、3km右岸側の砂礫堆が動かないため、それより上流の砂礫堆はつめられてきており、長さが縮小されていることがわかる。その原因は橋脚上下流部区間において砂利採取が禁止されたため砂礫堆の高さが相対的に高くなったことであると推察される。写真-4は信濃川長岡地区における橋梁付近の砂州の縮小の様子を示す。昭和55年9月、56年10月および57年10月の間には、上流の小千谷地点の流量で大略9000m³/sを越える大きな出水があった。信濃川の場合も天竜川と同様の原因によるものと考えられる。



写真4-a 信濃川長岡地区



写真4-b 信濃川長岡地区



写真4-c 信濃川長岡地区

4. 砂礫堆や砂州の長さが縮小する仕方

単列砂礫堆あるいは交互砂州の長さが縮小するということは、一定区間内の砂礫堆や砂州の数が増えることである。そのための形態としては、(a)一定区間から出ていく砂礫堆数より入る砂礫堆数の方が多いこと、(b)砂礫堆の分裂が行われること、および(c)砂礫堆の新規の発生がみられることが考えられる。その他として、蛇行のモード変化の遷移時の多重構造から波長が短い単列砂礫堆が誕生することがあるが、ここでは除外する。また、洪水時に大量の土砂流出があつて、既存の河床形態の影響をあまり受けずに、長さの小さい砂礫堆を縦断的に上流から発達させることがあるが、このような河床上昇過程にある河道内の砂礫堆の長さの縮小の現象についても、今回は取扱わないこととする。ここでは河床低下の現象を基底として、その結果砂礫堆の長さが縮小する場合について、上記の3形態に分類し、それぞれの内容について考察を行う。

(a)は砂礫堆の移動速度が縦断的にアンバランスになった場合に、相対的にみて砂礫堆の流下がほとんどない地点より上流において生じるものである。従来においても砂礫堆の流下速度には縦断的な変化があり、緩慢な変化と変動があつたと考えられるが、河床低下が進行している河道区内の砂礫堆の移動速度は、河床低下の程度と条件に応じて減少し、以前の状態とは顕著な差異を示す。まず、平面形状の効果として、小さい比曲率半径と大きい角度を有するわん曲部、急縮・急拡部（狭窄部）、および分合流部が挙げられる。このようなわん曲部ではポイントバーが発達するが、その発達には河床低下に対して敏感であり、砂礫堆の流下現象に対し、縦断的な不均衡を生じさせる。急縮急拡部においても河床低下の効果は他の場所と比較して異なる。また、土砂を多く排出する支川が合流する本川河道において河床低下が進行している場合には、砂礫堆の縦断的な間隔が短くなる。分合流部では合流・分流の条件により砂礫堆の発生発達移動の状態が影響を受けて、一種の不安定要因を形成するので河床低下に伴い現象に強弱を生じさせるが、ここでは詳細の考察を省略する。次に、横断形状の効果としては流路幅の減少と複断面化があるが、単独の効果としてはむしろ(b)の砂礫堆の分裂の範ちゅうに関連し、砂礫堆の移動速度の縦断的なアンバランスに関連する仕方としては、平面形状や次の縦断形状の効果の中で、その影響力を発揮するものと考えられる。縦断形状の効果としては、勾配の変化点、高い堰、および河道の掘り残し部について考察を行う。河床高の縦断勾配が変化する区間では、一般に河床材料が変化し、土砂が堆積し、かつ河道内の蛇行が不安定となる。このような状況において急激な河床低下が発生した場合、急変点が上流方向へ若干シフトし、この区間における砂礫堆数が増大することがある。次に、砂礫堆の運動は一般にスケールが大きい現象であつて、砂礫堆の高さに相当する程度の高さを有する堰や床固は、砂礫堆の移動に対して大きな効果を有していないと考えられてきた。しかし、河床低下の現象によってこのような横断構造物の下流部に対する相対的な高さが増大し、砂礫堆の流下現象を阻害する働きを有するようになった（ただし、堰等の上流部の河床低下はわずかである）。最後の掘り残し

部の代表的なものは根入れが不十分な橋梁前後のものである。このような河道掘削や砂利採取の際の保安距離は、河川の計画流量に応じて橋脚等の上、下流部において設定され、その目安は流量 $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上のとき 200 m 、 $1000 \sim 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ のとき 150 m 、および $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下のとき 100 m とされている。橋梁上下流域の河道掘削量が大きい場合、掘り残し部には洪水がのる頻度が減少し、固結化や樹木の生育が顕著になると、上流から流下してくる砂礫堆はここを容易に通過することができなくなり、橋梁上流の砂礫堆が順次つめられてきて、特に橋に一番近い砂礫堆の長さが徐々に短くなる。大規模な水制群も河床低下に伴って相対的な高さを増してくると、橋梁上下流の掘り残し部と同様な効果を有するようになるものと考えられる。また、護岸等の構造物によって局所的な洗掘位置が固定される場合にも、上下流部の砂礫堆の流下速度に不均衡を生じさせることもある。

(b)の砂礫堆の分裂は、砂礫堆長のまのびがいったん行われた後に生じるもの、小型砂礫堆の割り込みによって行われるもの、および流量規模による流れのパターンの変化によって生じるものがある。砂礫堆の長さが伸びる原因には、上流からの補給砂量の減少や護岸の設置などがある。また、実質の砂礫堆の長さは不変でも河床低下による流路幅の減少や複断面化による流路幅の縮小によって、実質的に砂礫堆として長すぎる状態となっているものもある。実験水路において上流からの補給砂を止めると、上流から河床低下が始まり、流砂量は上流ほど減少し、かつ砂礫堆の移動速度も上流ほど小さくなって、結果的に砂礫堆の長さは徐々に長くなっていき、しかも下流ほど長くなるという現象がみられる。河川においてもダム下流部や、河道掘削部の下流などにおいてはアーマーコートの発達を伴った同様の現象が生じている。低水護岸を設置すると、鉛直方向の侵食が生じやすく、流水を集める傾向がでてくる。これは河道のわん曲や水制等の有無による差異に留意する必要があるが、一般に護岸の設置前に比し、護岸前面の局所洗掘の幅が減少し、長さが増大することとなり、これと対となる砂礫堆の長さが延長されることがある。このような河床低下の現象と関連して長くなる砂礫堆の構成材料はひとつの砂礫堆の上流部は細粒分がぬけ出して粗大化し、下流の伸延部では比較的細かい材料が表面に堆積しているのが普通である。まのびした砂礫堆の分裂の仕方は、2つに分裂する場合と3つに分裂する場合がある。2つに分裂する場合はもともと若干複列ぎみの河道である場合が多い。砂礫堆がま伸びして3つに分裂する場合は、小型砂礫堆の割り込みや、流れのパターンの変化と関連して考察することができる。3つに分裂する場合には縦断的な左右岸の交互関係には不都合が生じない。このような現象は、河床低下と流れの集中、流路幅の縮小、砂礫堆の粒度構成の不均質、砂礫堆の高さの不均一、および流路の蛇行と縦断的なアンバランスなどが総合的に作用した結果生じるものと考えられる。

(c)の砂礫堆の発生の仕方には、河道整正後のものと、砂礫堆運動の不連続部からのものとがある。河道整正には、計画断面に近づける河道掘削、砂州部の砂利採取、および河道中央部の砂利採取などに基づくものがあり、新規砂州の発生はその形状の影響を受ける。そして、その場合初めは小型で動きが早いことが特徴であるが、上流からの補給砂が十分になく、河床低下が進行する状態においては、砂州が十分に発達しきらないうちにみおが明確となって砂州高が増大し、小型で安定した砂礫堆が縦断的に連続することとなる。大きいわん曲部のポイントバーについては掘削によって除去しても単に鉛直方向に平行移動したことと同じ状態となりうるが、通常の砂礫堆については掘削によって平面形状が変化すると考えなければならない。次に、砂礫堆の運動の不連続部は(a)で挙げたものとはほぼ同様に、縦断的、横断的および平面的な形状によって分類することができる。そして、それぞれの下流部において、上流部の砂礫堆の変形と関連したかたちで間欠的に新しい小型砂礫堆の発生をみるのである。また、これにはスケールは小さくはないが局所的な現象の結果生じるものもある。たとえば、長い水制や堅固な構造物の周辺で大規模な局所洗掘が生じ、洗掘土の堆積部が州となり、これがもととなって下流に影響を与える場合とか、河岸浸食部の前面の堆砂、あるいは小規模河床波が局所的に変化し、流速が大きくなって局所的な洗掘が生じ、そのため発生する下流の堆積によって新規の砂州に成長することもある。

5. 河床低下の仕方と砂礫堆の長さ

砂礫堆の長さは変化し、かつ変動する。河床が上昇過程にあるときにも生産土砂量の生起の不規則性をうけて、小型で勢力を有する砂州の発生をみることもあり、洪水毎に大小異なった砂礫堆となることもある。しかし、上昇過程にある河道では、みおも明確ではないが、全体としてのすう勢の中に中小の変動要因を吸収していく安定性がある。河川工学上問題となる砂礫堆の長さの変化の現象は、多くの場合河床低下過程において生じる。河道の蛇行のモード変化と河床低下⁵⁾についてはここでは論じない。単列蛇行の場合には先にみてきたように河床低下があっても砂礫堆の平面形状に顕著な変化が現われないことがある。こうしてみると、砂礫堆の長さの変化は直接的には河床低下のさせ方と重要な関係があることがわかる。すなわち、適度にわん曲している単列河道の場合にはダムや砂防による供給土砂量の減少、および上流河道における河道掘削の影響は顕著とはいえず、砂礫堆が流下する直線状河道の場合はこれに次ぐ。また、砂礫堆の平面形状と流れのパターンを変えない範囲内の砂礫の除去は、砂礫堆の縦断的な運動を著しく崩さない限り蛇行強度の変化はあるが、砂礫堆の長さの縮小に対して大きな影響はないものと判断される。砂礫堆の長さが著しく変化する条件は、河道整正後に発生発達する新規砂礫堆の河床低下による安定化、堰の撤去等による急激な河床低下、流路幅の減少、および砂礫堆の流下を阻害する大きなわん曲部や橋梁部上下流の掘り残し部の存在などであると考えられる。なお、合流点や分流点下流の砂礫堆の変化の現象等で、河床低下を伴わないものは除外した。

6. おわりに

単列砂礫堆（交互砂州を含む）の長さについて河川の資料に基づいて考察を行った。もとより定量的に論じる段階にはないが、今後実験的検討も合わせて定量段階への努力を積みあげていく必要がある。

砂礫堆の長さの問題をとりあげたのは、河岸付近における局所洗掘等と関係があり、近年の河相変化により、これに関連した新しい被災形態を生じていることから、実用面において新しい重要課題と考えたからである。特に、現象の一方方向性と河相変化の速度、並びに変化を制御する方策、および当面の対策工は緊急の課題と考えている。

- 〔参考文献〕
- 1) 須賀堯三：河床低下に起因する局所洗掘に関する考察，土木学会水講，1981.
 - 2) 須賀堯三：河床低下と河岸洗掘，土木技術資料 23-8, 1981.
 - 3) 須賀堯三，島貫 徹，徳永敏朗：全国河川上流部の流出土砂量，土木技術資料 18-2，1976.
 - 4) 須賀堯三：河相に及ぼす細粒土砂の効果，土木学会年講，1981.
 - 5) 須賀堯三：河川における蛇行のモード変化，土木学会年講，1982.
 - 6) 建設省治水課，土研河川研究室：全国主要河川写真集，1982.
 - 7) 藤沢 寛，高秀秀信，尾中宗久：河床変動の実態と局所洗掘について，土木学会年講，1982.