

1 はじめに

河川における砂礫堆(砂州を含めた総称)の運動には、実験のみによる推定が、厳密には困難な現象がある。これは河道現象の特質の現われ方による。ここでは、河道現象の特質を考察してゆくうえでのアプローチのひとつとして、一例として単列蛇行における砂礫堆の変化(年単位程度の時間スケール)について定性的な考察を行う。

2 日本の河川の一般的な特徴

表-1 日本の河川の特徴

表-1に主要な項目をあげる。日本の河川では外力の影響が直接的であり、変化が激しい。その変化の主因となる土砂生産とその流送過程には、決定論的、確率論的、および時系列論的現象が混在し、さらに人工的な影響が強調される。したがって、外国の河川の資料との単純な比較は一般にはできない。

主要な特徴	関連事項
侵食速度が大きい	0.55m/年, 世界平均の10倍
河道延長が短かく、勾配が大きい	土砂生産の場と生活の場の距離が短い
土砂動態の変動が大きい	時間的・空間的変動が激しく、複雑
社会・経済活動が活発	ダム, 砂防, 掘削, 堰, 河道改修, 土地利用形態

河道に存在する砂礫堆は、河川作用による長い歴史の過程を経て、縦断的にある種のバランス(数年のオーダーの時間尺度)が保たれたかたちで、ゆっくりと変化変動を行っている。そして、その運動には表-1の特徴が鮮明に反映されている。すなわち、一般に荒れ川の様相を呈し、砂礫堆長の縦断的分布にはバラツキが大きく、短いタイムスケールの現象を考える場合には、河道の砂礫堆は平衡状態にない。また、人工的要害が強いので河相変化の影響が顕著となる。決定論的な現象が卓越するのは、大河川の下流部の一部のみと考えられる。

3 河道の分類

河道における以上の特徴の現われ方は河道毎に異なる。パターン分けをして一般的に考察を行うためには適切な分類が必要である。従来は地理学的な分類が行われてきた。これは土地の成因を考慮しており、大局的には河川の作用を反映しているとみなしうる。河川工学上の河道の分類には、このほかに河川の外力(特に流量と流砂量)流れ方、および両者に関連する蛇行形態に基づく分類等が考えられ、現象を考察するときの基本を与える。

ここでは、単列蛇行の現象を主としてみてゆくが、この場合、河道量(ここでは砂礫堆の長さ)の平均値の意味について吟味し、変動と変動幅、および遷移の現象を念頭において問題についての考察を行うことが肝要である。

4 実物と模型における現象の一般的相違

模型によって得られる解は近似解である。その近似度にもよるが、一般に模型に反映させることが困難な事項を表-2に示す。流砂の現象は、河道延長が短かくて土砂生産の場と当該地の距離が小さいほど、決定論的現象からはなれ、時系列論的現象の色彩を強める。そのような場合には、流砂量は必ずしも流量等の水理量と対応しない。砂礫堆は初期条件の影響を強く受けるので、その運動は流れる流量の順番や土砂の出方に関係する。実験の目的に応じて、模型の縮尺や歪度を調節し、さらに底質の粒径や比重をかえて精度の向上がはかられる。また、有限な長さを有する模型の上下流端における境界条件には生きた河川の状況を十分に反映させる工夫がなされる。しかし、表-2のような問題点があるので、実験目的に合った検証実験を適切に行い、実験結果のひとつの評価基準とすることが大切である。

表-2 模型に反映させることが困難な事項の例

	事項	備考
外力	時系列的な流量・水位・流砂量とその粒度分布、および流砂形式・水位	特に時間的に長い中小流量・小流量時に流砂の効果が問題 粗度係数、小規模河床波等
条件	底質の粒度構成、平面と鉛直分布 大洪水による底質の変化 底質の固結度、植生 河川構造物の強度、破壊特性 河道掘削(砂利採取)	代表粒径、細粒分は模型内外 小流量時に保たれ変化 下マリング、河岸等 護岸、水利、堰、堤防等 (実態把握)
現象	小規模河床波の発達 時間縮尺(水流と河床変動に対するもの) 河床低下過程の現象(長時間尺度の効果) 蛇行のモード変化、蛇行の強度変化 砂礫堆の変化 河床変動、局所的な洗掘と堆積 浸透による流量の縦断変化	粗度、流速、流砂量 一般には異なる、不足・過剰効果 河床上昇過程と異なる 一方向に3D、強化 平面形と横断形 捨石等による対策の効果・影響

5 砂礫堆長の変化

長い時間尺度をもって砂礫堆運動の現象をみれば、砂礫堆の縦断的なバランスは保たれることが多い。また、多くの現象が実験によってシミュレートされることが示されてきた。しかし、河川の砂礫堆の運動の中には、必ずしも以上の如くにならない特殊な例が存在する。そのような例が存在する場合には、河川工学上および河道計画上の意義が注目される。

表-3は砂礫堆の長さの変化の種類を、変動・拡大・縮小に分け、現象の発生の方と条件、ならびに例を示す。

砂礫堆の長さが増加する条件は、縦断的にある種の安定を持つ状態で配列されている砂礫堆の伝播速度に不調和が生じること、および蛇行のモード変化、河道掘削や捷水路の建設などによって、砂礫堆の配列に安定が得られていないことである。また、砂礫堆の長さの変動は、流量と流砂の生起条件およびそのときの粒度構成に関連し、その変動幅や平均的な周期等は河床変動状況(河床の上昇過程と低下過程と)は現象に大差にも支配される。そこには短期的な現象と長期的な現象に区別した方が都合がよいこともある。また、ときには植生の発達によって中小洪水では砂の堆積が促進され、大洪水時に流失するという現象もある。このような現象も無視することができない河川が少なくない。

6 砂礫堆現象の特異性

表-3に示す現象は、条件の変化がなければ、全て「変動」のカテゴリーの中で処理される筈である。砂礫堆長の拡大や縮小が行われるのは河相変化による。河相変化は表-1に示す特徴により、顕著な現象となった。河相変化の中では河床低下によるものが多し。河床低下は流路幅の縮小、砂礫堆の移動速度の減小、流れの集中と洗掘源の増大、および流速の増大等をもたらすので、非線型効果を無視しえない。河床低下の仕方は表-5に示すように単純でない。河道に現われる結果はそれぞれその原因によって異なると考えなければならない。

ダムについては満砂迄の期間と満砂後とは特性が異なる。なお、ここでは一洪水中の現象のように短い時間縮尺の現象は除外している。また、日本では河床が上昇する河川はダム上流の河道等、一部の河道に限られる。

表-4は、河相の変化と河川の特異性を考慮しなければならず、実験のみによる推定では十分でない現象の例をあげたものである。河川の砂礫堆の構成材料は平面的および鉛直的にも異なり、かつ流量や流砂量とその構成材料の分布形等によって、時間的にも変化し、その運動は複雑である。草木が成長すると更にむずかしくなる。

7 おわりに

砂礫堆の長さの運動を例にとって、河道の運動の特質の一部について考察を行った。その結果、河相変化により従来の経験工学の範囲を超える現象についての考え方を示した。今後はこのような定性的考え方の定量化が必要である。それは数学モデルでも幾何モデルでもよい。そのためには、検証が重要であり、実物の現象の実測が必要である。河川の特質と河道の特殊性をモデルの中にとり入れ、河川工学的な配慮に基づいて、実物の現象の究明が行われる。経験工学を発展させ経験の範囲を拡大させるために、適切な機会を捉えることが重要である。

表-3 砂礫堆長さの変化

現象の種類	変 動	拡 大	縮 小
現象の発生仕方	①上流側に伸縮 ②下流側に伸縮 ③固定点に伸縮 ④移動して伸縮	①一定区間内に入る 砂礫堆数が増える ものが多いこと ②合併 ③消滅	①一定区間内に入る 砂礫堆数が増える ものが多いこと ②分裂 ③新堆発生
現象が発生する卓越条件	流量と流砂の変動 河道形状による砂礫堆の 河床変動過程の結果	河床低下過程 河床上昇過程	河床低下過程
現象が発生する場所	平面現象の例 わん曲部ポイントバー 合流点ポイントバー 横断現象の例 勾配変化点 縦断現象の例	わん曲部ポイントバー 合流点ポイントバー 本川河床低下の場合 支流河床の上流部 流路幅の拡大 流速の増大 ダム下流部 掘削した下流部 堆積後の下流部	①一定区間内に入る 砂礫堆数が増える ものが多いこと ②分裂 ③新堆発生 流路幅の縮小 流速の減小 ダム上流部 掘削した上流部 堆積後の上流部

(注) *印：河床低下に関連する現象

▽印：河床上昇に関連する現象

(注) モード変化等は除外、また土石流等も除く

表-4 河川の現象の特異性

砂礫堆の長さが増加する現象の例	X	Y	Z	X: 河川の特有 (河相変化) Y: 河川物質が 卓越する現象 (分類の必要) Z: 実験による シミュレーション の困難性 大中小...X・Y・Z の効果の程度
ダム下流河道の砂礫堆(砂量減少、小洪水減少の場合には長さは大きく消滅の方向)	小	中	小	
橋脚の上下流の掘削部の上流の砂礫堆長の減小と河床洗掘源の増大(伝播速度のアンバランス)	大	中	大	
小洪水にて砂礫堆上流に堆積し、流れの角度が大きくなって河岸侵食をおこす(河床低下と高い砂州)	大	大	大	
旧堰指込による上下流の砂礫堆の変化	大	大	大	
蛇行のモード変化と蛇行強度	大	大	大	

表-5 河床低下の要因の区分

直接原因	内 容	備 考
供給土砂量の減少	ダム、防砂、森林保全、整正掘削	減少量と粒度組成の違い
河道掘削	計画掘削、砂州部、法線形変更	低下の仕方は砂河道と砂利河道、および掘削方法による
河道改修	断面面化、ガラベガ、除石工、旧堰の撤去、断面面化(B川)	堰の撤去は急激な変化