

河川工学に関する最近の話題

— 移動床水理学を中心として —

大阪大学工学部土木工学科 室 田 明

はじめに

俗に河はいきものであるといわれる。地球史的にみて、河の発生初期状態は、われわれが日常よくみかける造成地斜面の「ガリ」（雨水流で掘られた斜面の溝）である。降雨のたびに「ガリ」が発達し、谷は深くえぐられ、河幅も広がる。幼年期河川はそのほとんどがこのような上流域の様相を呈し、勾配も急で、たくさんの滝がかかっている。年を経るに従って上流から輸送された土砂が下流に堆積し、下流から順次、勾配が緩やかになっていく。青年期、成年期を経て老年期に達した河川は準平原をおだやかに流れる山陽・瀬戸内の諸河川がそれにあたる。わが国では青年期河川と呼ぶのは、北陸の急流河川（たとえば黒部川）の中・上流ぐらいのものだろう。

このような河川の輪廻の原動力は水流による河床土砂の洗掘、運搬、堆積であり、その変遷の速度は地球年代的なものでおそろしくゆるやかである。

問題は人為的な環境変化に対応する河川の適応反応がケタ違いに遅く、かつ、つねに大幅に遅れるところにある。たとえば木曾川を見てもよい。わが国の資本主義隆盛期、昭和初期に近代工業の発達にともなって低廉なエネルギーが性急に求められ、さしあたって開発しやすい河川の水力発電が、水環境の立場から見ればほとんど収奪に近い形で開発されていった。現在の木曾川は中央本線の車窓から見られる通り、とぎれることのないダムと貯水池の連続で、バイパスの隧道で河筋から水を奪われた寝覚めの床は無残に白骨をさらしている。このように極端な人工の加えられた河川も、極めてゆるやかで

はあるが確実に適応反応をみせ始める。すなわち折角、作ったダム貯水池の内に流送土砂が溜り始める。わが国のダムは平均してほぼ50年で砂が一杯にたまってしまつて貯水機能を失うといわれる。だから木曾川の階段状ダム群も100年後には満砂状態となりその後ダムは次第に砂の内に埋没し、最後にはその痕跡をもとどめなくなって再び自然河川に帰ることだろう。水流で輸送される土砂が、まるで漢方薬のようにゆったりした、しかし確実に痛んだ河川の治療を演出する。

京阪神の大都市圏をうるおす淀川は明治29年に本格的な改修に着手して以来、度重なる計画改訂を行ないそれに対応する河川工事が営々として続けられてきた。計画の基礎となる資料の一つが計画高水流量といわれるもので、洪水時にある地点を通過する水量 ($\text{m}^3/\text{sec.}$) をいう。昔は観測された既往の最大値をつかうことが多かったが、洪水現象がいつ、どれぐらいの規模で起るかわからない不確定な現象であることに着目して、第二次大戦以降は計画高水流量に確率的な考え方が導入された。毎年の最大洪水の記録があれば、「平均して100年に1回起こる洪水の流量」（これを100年確率洪水という。）は簡単に求まる。淀川についていえば戦後永らく100年確率洪水を想定し、たとえば枚方地点の計画高水流量は $6,950\text{m}^3/\text{sce.}$ とされていた。（1秒間に7,000トン、4トン積トラックの1,750台が通過するのである。）しかし、淀川流域の資産の増大につれて、もし洪水が氾濫すると蒙るべき潜在的な被害額（変な英語だが potential damage と俗にいう。）が飛躍的に増加してきたので、ごく最近、淀川については200年確率

洪水を採ることになった。これに対する枚方の計画高水流量は $12,000\text{m}^3/\text{sec}$. に達する。旧流量の70%にもなる流量増にどう対処するのか。河川勾配がきつい程、流しうる流量は大きくなるのはいうまでもないが、河川勾配は地形ではほとんど決まってしまうと人為的に変えることはほぼ不可能である。残る手は流水断面積を増やすことである。引堤（堤防を移築して河幅を広げる）は今の淀川沿岸ではとても不可能である。堤防を高くしてはどうか。これは莫大な土量を要するし、一端破堤した際の災害は激甚なものとなるだろう。そうすると、残る方策は、河底を掘り下げて断面積を増やすしかない。



図-1 河川の横断面

一般に重要な河川の断面形は図-1のようになっている。低水敷というのは常時水の流れるところ、高水敷は洪水の時だけ一時的に水をかぶるところである。淀川の新しい改修計画では、計画高水流量の増加に対応するため、低水路幅の現状120mを300mに、低水敷高さの現状3mを7mに変更し、流水断面積を増加させるものとしている。現在の河底をさらに4mも河口から三川合流点まで掘り下げようというのである。

このような大幅な改変を河に加えるからには、それに対する河の応答を予め十分検討しておかなくてはならない。予想されるいくつかの課題の中で、もっとも深刻なのは、河床掘削後、はたして河道が安定してくれるであろうかという問題である。

ここで簡単な計算をお示ししよう。

河床にある砂とか礫の動く機構は、細かく考えると大変むづかしいが、直観的にもっとも考えやすいのは、水流が河床面に及ぼす摩擦力 τ_0 が砂を動かすという見方であろう。

図-2で流れ方向のある区間長 L 、流水断面積 A 、河床の勾配を S とすると、この区間にある水重量の河床に平行な分力は、

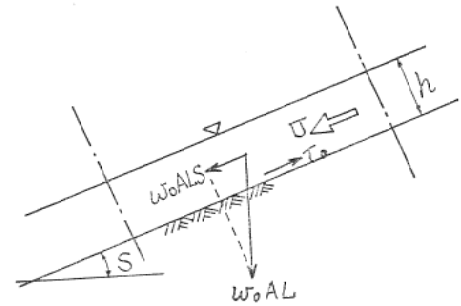


図-2 河床摩擦力 τ_0 の現われ方
 $w_0 AL \cdot S$

である。ただし w_0 は水の単位重量。

一方、河床に作用する摩擦応力 τ_0 の作用面積は、水に接する断面境界の長さを P とすると、 PL であるから合力は $\tau_0 PL$ となる。

流れが加速も減速もされない等流状態を考えると、上の重力成分と摩擦力は釣り合っていないなければならない。したがって

$$\tau_0 = w_0 R S \quad (1)$$

ただし $R = A/P$ でこれを径深という。幅、 B 、水深 H の長方形断面では $R = Bh/(B+2h)$ であるから、水深に比べ河幅が十分大きいときは、 R はほとんど水深に等しいと考えてよい。

以上でおわかりのように水深を増すと河床摩擦力が増大し、砂礫は動きやすくなり、一旦動き始めるとその移動量も大きくなるのである。すなわち河床掘削をすると必然的に河床は不安定な方向をたどる。

ここに二つの例で示したように、河川に加えられた人工的営為に対して、河川は直接的に輸送土砂を介して応答する。河川工学に含まれる多くの問題の中で、輸送土砂の問題がなぜ重要なのかをあらまし御理解頂けたことと思う。

移動床の水理学 (Alluvial Hydraulics)

コンクリートやレンガで作られた水路では、いくら大きな流速で水を流しても河床が動くはずがないが、河底や側岸が砂礫等でできている自然河川では、ある限界をこえると砂礫が移動を始める。前者を固定床水路、後者を移動床の水路という。実際の河川を扱う場合は移動床として考えなければならないのはいうまでもない。

さて移動床水理学は固定床のそれにくらべてその取り扱いが極めて難しい。

まず、移動床では水流の境界のすべてが変形可能である。すべてというのは河底、側岸のみならず水面をも含む意味である。構造力学をやられた方は経験がおありと思うが、たとえば板周辺の支持条件は単純なほど解きやすいのは当たり前だが、周辺の一部が弾性的に支持されている、すなわち変わりうる境界条件のときはその解析は甚しく面倒である。全く同じ理由で移動床流れの解析は厄介である。

移動床は境界が変形可能なために、河床面変形と水流との複雑な相互干渉がある。後に述べるように、河床砂礫が動き始めると同時に、河床面には美事な砂のサザナミが現われる。魚釣りや海水浴のときに海底に見られる砂の波模様、映画で見る荒涼たる砂漠の砂丘の上の sand ripple 等はすべて同類である。この sand waves は水流の条件によって種々の形態をとる。波高が大きくなったり、波長が短くなったり、波そのものが不規則であったり。河床形状がこのように変遷すると、当然、水の流れも影響を受けるはずである。水流の方が変動するから sand wave ができるのか、sand wave が変遷するから水流も変るのか、その相互作用はどうか。

さらに、移動床水路の流れは均質 (homogeneous) な流れではない。水という液相と砂礫という固相の混在する流れ、すなわち混相流 (multi-phase flow) である。このことも問題を難かしくする。たとえば、水流の内に細かい土砂粒、場合によってはポリマー等を浮遊した場合、流れのもつエネルギー損失はふえると思われませんか、へると思われませんか。水よりも重い土砂粒を流水中に浮遊させうるのは、その砂粒の沈降速度より大きい鉛直上向きの流れがあるからで、この鉛直流速は流れの乱流流速そのものである。つまり、こうした浮遊現象には流れの乱れ (turbulence) が本質的な役割をする。そうすると、水中に粒子を浮遊させるために、それ相当の仕事が必要で、その仕事は乱れ、すなわち流れのエネルギーから補給されるはずだから、流れの内に浮遊物質があると流れのエネルギー損失は増大する傾向と考えるのが妥当な

はずである。ところが事実は全く逆で、エネルギー損失、したがって流れの受ける抵抗は減少するのである。その理由を詳しく述べる余裕はないが、この事実はすでにニューヨーク市の消防局において実用化されている。すなわち、シンク・タンクで有名なランドのスタッフの進言によって、消防用水中にポリマー溶液を混入することによって、消防ポンプの吐出量を飛躍的に増やすことができたといわれる。

各相の間の相互作用は、ことほどさようにむづかしいのである。

現実の河川はすべて移動床水路であり、移動床としての特性をはずした議論は空論であって工学的立場でも移動床水理学は河川工学上、必須であるのみならず、はじめに述べたように、広大な河川環境の変遷についてもその定量的資料を用意できるのが移動床水理学である。

移動床水理学の最近の成果

移動床水理学に含まれる研究課題は数多くあるが、ここでは主として河床形態と、抵抗法則に話を限って最近の研究成果を紹介しよう。

(1) 河床形態

すでに前節で述べたように、水流がある限界をこえると河床の砂礫が動き始めるのがその限界状態はやはり先にのべたように河床摩擦力 τ_0 で規定される。限界摩擦力 τ_{00} はほぼ次式で与えられる。

$$\tau_{00} = 0.05(\sigma - \rho)gd \quad (2)$$

ただし、 σ : 砂礫の密度 ρ : 水の密度
 g : 重力加速度 d : 砂礫の粒径
 式 (1) で $\tau_0 = w_0RS \doteq \rho ghS$ であったから式 (1) と (2) から

$$[hS]_0 = 0.05 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) d \quad (3)$$

σ/ρ はほぼ 2.5 の程度であるから、たとえば勾配 $S=1/1,000$ の河川で砂礫径が 1 cm の場合は水深 h が 75 cm になると河床の礫が動き始めることになる。

移動限界を越えて、水深あるいは流速を次第

に増やして行くと、河床にはそのときの流れに
応じて種々の形態の砂の波 sand waves が現わ
れる。これを河床波とよぶことにしよう。

河床波の形態の変遷は流速を増やすにつれて
つぎのようになる。



河床形態 (régime) のおのおのについて簡単
に説明しよう。

まず、砂漣というのは河床波の内でもっとも
規模の小さいもので砂礫が移動し始めるとただ
ちに現われる。その波長はたかだか 30 cm 以内
で、波高は 3 cm 以下である。図-3 に示すよう

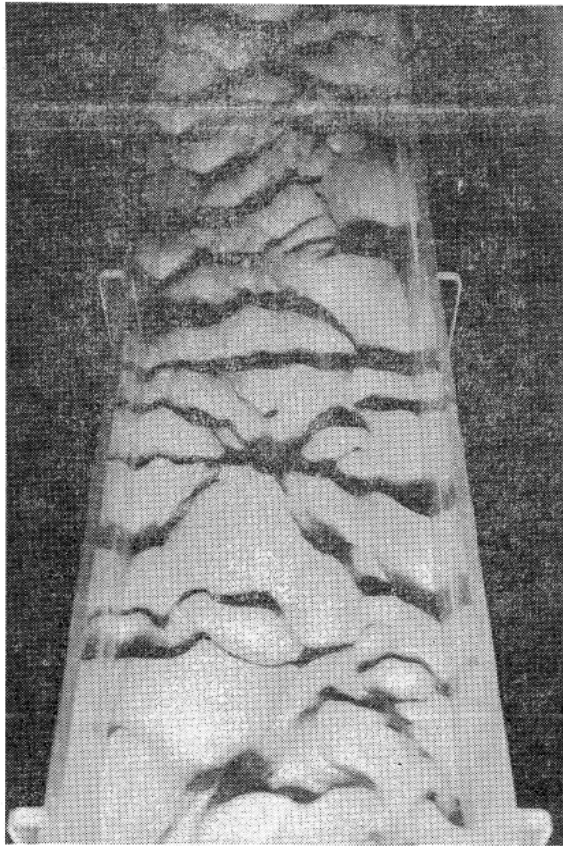


写真-1 実験水路での sand waves (ripple) 流水
の方向は写真下から上に向う。
水路床勾配 1/1000, 流量 15l/sec.
砂粒平均径 0.26mm

にその波形は上流斜面の勾配はゆるやかで、下
流斜面勾配はほぼ砂の水中安息角程度に急であ
る。この河床波は水流の流速にくらべるはるか
に遅い速度で下流に向かって移動する。

実験室水路で発生した sand ripple の一例を
写真-1 に示す。

最近の研究によって、この領域の sand wave
は砂粒粒径のスケールで現象が規定されること
がわかってきた。すなわち、河床摩擦を速度の
次元で表現した次式の U_* を摩擦速度という。

$$U_*^2 = \tau_0 / \rho \quad (4)$$

この U_* と砂粒径 d 、及び水の動粘性係数 ν で
つくられる無次元のパラメーター

$$U_* d / \nu$$

を砂粒レイノルズ数という。

既往の実験値を詳細に検討した結果、砂漣は
つぎの条件のもとで発生する。

$$U_* d / \nu < 10 \quad (5)$$

このように発生範囲に砂粒径 d が寄与するの
みならずその形状、移動速度にも d が関係す
る。砂漣が砂粒スケールの河床形態といった意
味はここにある。

砂堆は形状としては砂漣の大きいものであ

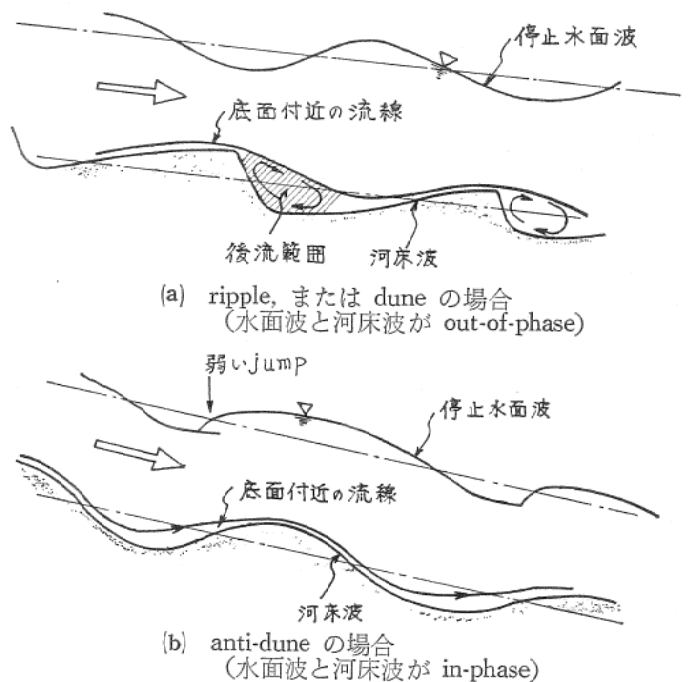


図-3 河床波と水面波の相互干渉

る。図-3に示すように、かなり規模の大きい河床波であるので、水流との相互作用が顕著に現われて、たとえば水面には sand wave の存在のために図に示すような停止波 (standing wave) が現われる。この際、河床波と水面波の位相関係は、河床波の谷の位置に水面波の峰が、河床波の峰の位置に水面波の谷が対応し逆位相 out-of-phase になっていることを注意されたい。

砂堆は砂漣の大きなものといったが、両者の本質的な差は、砂粒スケールの河床波であるのに対し、砂堆は水深スケールの sand wave である。すなわち砂堆の形状、挙動はほぼ水深 h で定まる。たとえば、dune の波長 L は

$$L=5h \quad (6)$$

であるが、ripple の波長は水深にはほとんど関係しない。なお、砂堆よりさらに規模の大きい河床波に砂州 (bar) がある。飛行機から河を見おろすと、砂の堆積部分が交互にあらわれているのがはっきり認められるがあれが砂州である。砂州は河川の蛇行 (meandering) と密接に関連している。ここではそのことについて詳しく触れる余裕はないが、砂州は水路幅スケールの河床波であるとだけ指摘しておこう。

平坦河床は読んで字の通り flat な河床形状であるが、決して固定床のそれではなく、表面砂礫は活発に下流側に輸送されているのである。砂堆の河床形態からさらに流速なり、水深なりを増やすと sand wave は一旦、flush されてこの平坦河床の形態をとる。平坦河床は次の水理条件のもとで現われるという。

平均流速を U 、水深を h とし、これらでつくられる無次元パラメーター $F=U/\sqrt{gh}$ を用いて、

$$F=U/\sqrt{gh}>0.8$$

この F をフルード数といい、前述のレイノルズ数とならんで流体力学における重要なパラメーターである。

平坦河床からさらに流速を増加させるとついに反砂堆 (anti-dune) が現われる。この河床波

は前の ripple, dune とその性状がいちじるしく異なるので、ripple, dune を包括して lower régime というのに対し、anti-dune の河床形態を upper régime という。

まず、その形状については lower régime の河床波が波の峰に関し、非対称な形であったのに、反砂堆はほぼ対称形でかつ峰が円く、正弦波形で近似できるほどである。水面波との相互干渉については、図-3に見られるように、砂堆が水面波と逆位相であったのに、反砂堆では同位相 in-phase となる。

さらに lower régime の河床波はかならず下流に向って移動するのに、反砂堆はほとんどの場合、上流側に移動する。このように、なにかにつけて lower régime と反対なので、“反”砂堆と名づけられたのである。

フルード数は空気流体力学のマッハ数と正確に対応する。マッハ数が 1.0 をこえた流れを super sonic, それ以下の流れを sub sonic というように、フルード数が 1.0 以下の水流を sub-critical flow, それ以上の流れを super-critical flow という。(なお空気流の場合の限界流速が音速であるのに同じく、水流の super, sub の限界流速は \sqrt{gh} である。)

反砂堆の発生する範囲は、ほぼこの super critical flow の場合と考えればよい。すなわち、

$$F=U/\sqrt{gh}>1.0$$

がその発生限界である。

以上で各種の河床波の発生限界とその特性がほぼ明らかになったが、砂漣が砂粒スケールで、砂堆が水深スケールで、砂州が水路幅スケールで規定されるということが明らかにされただけでも河川工学にとって益するところがきわめて大きい。のみならず、砂漣の発生限界がレイノルズ数で表現されるということは、砂漣の発生が水の粘性に強く影響されることを意味し、一方、砂堆についてはフルード数で表現されるということは、その発生・発達に粘性はほとんど関係なく、重力が支配的な役割を果すことを暗示している。この予想は、今後の移動床

水理学の発展に極めて重大な示唆を与えるもので、河床波の発生と発達機構の解明に近々飛躍的な進展が十分期待される。

つい10年程前までは河床波の分類とその変遷さえ、明らかでなかった。まして実験室ではなかなか再現できない anti-dune については、その言葉さえ知られていなかった。その間、実験水路での研究はもとより、野外の観測資料も加えて河床形態に関する膨大なデータが集積され、試行錯誤をくり返しつつ遂に前述のような洗練された結論に到達されたのである。移動床問題が複雑錯綜していることを思えば、形態分類学の段階から移動床水理学への進展はかなりの速度で進行したといえる。

(2) 移動床の抵抗則

再び簡単な計算から始めよう。

河床摩擦力 τ_0 は一般につきのように定義される。

$$\tau_0 = \frac{1}{2} f \rho U^2 \quad (7)$$

ただし、 U は断面平均流速、 ρ は水の密度で、 f は摩擦係数である。この式を摩擦係数の定義の式と考えてもよい。式(1)で $\tau_0 = \rho g R S$ であるからこれを上式に代入すれば、

$$U = \sqrt{\frac{2g}{f}} \sqrt{RS} \quad (8)$$

この式を平均流速公式という。

このようになんなく導かれる平均流速公式であるが、古典水理学の努力の大部分は、まさに平均流速公式を求めることに集中されたのであった。フランスの水道技師であった Chézy が、1763年始めてつぎのような公式を示した。

$$U = C \sqrt{RS} \quad (9)$$

これが Chézy 公式といわれるものでこの公式はいまでも生きている。彼はパリ下水道の実測から係数 C は (メートル単位で) 30の程度とした。

その後、枚挙にいとまがない程の実験公式が発表された。余説であるが、各国でつかわれている公式を見るとそのお国柄がしのばれて面白い。国交の回復したお隣りの中国ではどんな式

を使っているだろうか。

現在、わが国で実用公式としてよく用いられるのは次の Manning 公式である。

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (10)$$

n は複雑な次元をもつ係数で、これを粗度係数といい、壁面の粗さで定まる実験的係数である。たとえば Strikler は粒径の d の砂礫からなる場合

$$n \sim d^{1/6} \quad (11)$$

としている。

粗度係数はまったく経験的な係数であるため、永年にわたる多数の実測・実験資料にもとづいて、種々の壁面状態に対し、詳細な数表が用意されている。

しかし、「壁面状態」を正確に定量的に表現できないために、同じ壁面状態に対してさえかなりの幅をもった n 値が示されるのが普通である。たとえば

土砂地盤に開さくした水路で石礫底、兩岸に草が茂っている場合は $n = 0.012 \sim 0.018$ 。

自然河川で線形、断面ともに規則正しく水深の大きい砂床の場合は $n = 0.025 \sim 0.033$ 等のようなのである。(n 値はすべてメートル単位を用いる。)

上の例を見てもおわかりの通り、小さい値の 30~50%の幅がある。単純に言えば 1.0 にしようか、1.3 にしようか、それとも 1.5 にしておくかは各人の裁量にまかされているのである。

しかしはたして n の値は、そんなに「どうでもよい数値」なのであろうか。答えは否である。

たとえば、はじめに述べた計画高水流量を流しうる河川断面を設計するものとしよう。

流量 Q は

$$Q = UA \quad (12)$$

式(10)を代入すると

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (13)$$

Q は計画高水流量として与えられており、勾配 S もきまっている。断面積 A 、径深 R は水

深 h の関数で、その関数形は断面形状がわかりさえすればただちに求まる。つまり所要の流量を流しうる水深、したがって堤防高が容易に求まるように見える。しかし、式 (13) に見られる通り、 Q と n とは線形的な形で結びついている。すなわち n 値に 50% の誤差があれば、 Q 、すなわち河川の疎通能力の評価にただちに 50% の誤差が入ってくるのである。河川技術者がときどき「われわれのあつかう数値は有効数字 1 ケタで結構。」と冗談まじりにいうのはこのあたりに由来しているのだろう。

しかし、これは飽くまで冗談で研究者もそんなにばやばやしている訳ではない。乱流理論の成果によって、壁面粗さの凹凸程度、正確には粗度要素の高ささえ与えられれば摩擦係数 f はピッチと計算できる段階に達している。もっとも粗度要素が計測されたものとしての話ではあるが。

ここまでは固定床水路での話である。移動床ではどうだろうか。

前節で詳しく形態論を紹介したのは実はこの節のための伏線で、移動床流れの抵抗の評価がいかにかむつかしいかは お判り頂けたものと思う。

移動床では壁面の凹凸すなわち河床波が水流の条件によって変動するのである。

物理的な考察に入るまえにまず、移動床流れの抵抗がどのように変るかを模式的に示そう。

図-4 は河床砂礫が移動を始める前の状態(見掛け上の固定床)での摩擦係数 f_0 を規準として、各 régime での抵抗値の変化をスケッチしたもので、かりに régime の変遷がフルード数で表現できるものとしている。

まず、ripple が河床に現われると同時に抵抗は急が増え、dune になると ripple よりは減っ

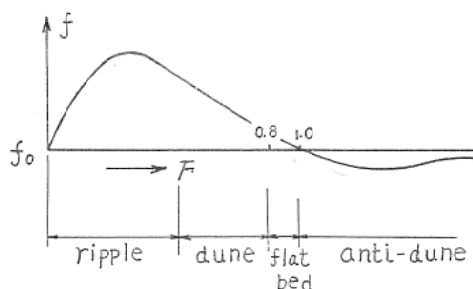


図-4 摩擦係数の régime による変遷

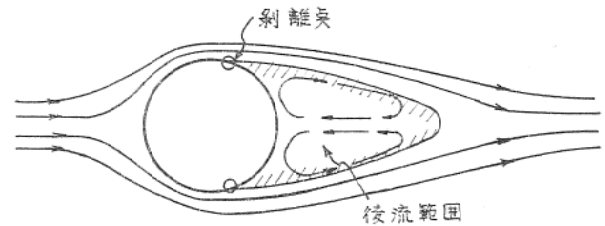


図-5 後流の発生

てくる。平坦河床ではどちらかといえば f_0 より小さい f 値が期待され、anti-dune ではやはり $f < f_0$ の傾向がある。

船体抵抗等によく知られているように(もっとも、移動床流れでは船の場合のように造波抵抗は考えなくてよい。) 一般に抵抗は表面摩擦 (skin friction) と形状抵抗 (form resistance) に分離して考えるのが便利である。固定床の場合の議論はすべて前者、すなわち skin friction に関するもので、たとえば砂礫径 d がわかれば Strickler 公式、式 (11) 等を使って計算すればよい。

したがって問題は河床波の形状抵抗にしぼられる。

形状抵抗が現われる詳しい物理機構については述べないが、結論のみいえば、流れが壁面から剥離して、流れの中におかれた物体の下流側に図-5 のような後流 (wake) が発生してはじめて形状抵抗が現われるのである。

再び図-3 をごらん頂きたい。lower régime に属する ripple や dune では、その波形が非対称であるために、crest で流線が剥離し、crest から下流側にはっきりした後流部分が現われることが示されている。(逆に anti-dune では波形が正弦的であるため、少なくとも lower régime の河床波ほど大きな後流は現われない。)

この剥離と、後流の形成のために、形状抵抗がとくに大きく lower régime で卓越するのである。

しからば、dune の場合は、なぜ ripple より抵抗が減少するのか、あるいは flat bed の抵抗がなぜ f_0 より小さいのか。

これは、実は先に述べた流水中に浮遊物がある場合、抵抗が減るという事実によって説明できる。

砂移動の形態は、砂粒が砂面を滑ったり、転がったりするだけではなく、砂面から飛び上って再び砂面に落下するいわゆる跳躍型の移動もする。(跳躍の平均的な軌跡についてはくわしくしらべられていて、たとえば、跳躍距離は粒径の100倍のオーダーであるという。このようなマイクロのアプローチもまたきわめて面白いし、有意義である。)跳躍途中の砂粒は場合によっては主流の乱れに捕捉されて、そのまま浮遊するものもある。常識的に考えても流速が大きくなればなる程、浮遊砂も増えることは首肯されるだろう。つまり ripple の場合より dune の方が浮遊砂が増加し、そのため dune の全抵抗値が減少するのであろう。flat bed についても事情は同じである。

抵抗則の評価は、当然各々の河床形態についてなされるべきである。現に lower régime についてはほぼ妥当な値として次のような形式が定説化しつつある。

$$U/U_* \cong 10 \quad (14)$$

$$U_* = \sqrt{\tau_o/\rho} = \sqrt{gRS} \text{ であるから}$$

$$U \cong 10\sqrt{g} \sqrt{RS} \cong 30\sqrt{RS} \quad (15)$$

くしくも、Chézy が210年前に提示した係数30と移動床水理学が最近の知見を駆使して導いた成果と完全に一致したのである。しかし、このことは決してChézyの係数を追認しただけということにはならない。移動床水理学は、正しい形態論の認識から出発し、適切なモデリングを行ない、それをういた物理学の計算の上にならって式(14)を導いたのであって、古典水理学の経験的立場とは全く異なるものである。

包括的に lower régime に対して(14)を提案するのみならず、ripple, dune, flat bed, anti-dune の各々に対し、抵抗則が示されているが、残念ながらその精度はいますこしよくない。これは理論の欠陥もあるかもしれないが、筆者はむしろ実験計測の精度が問題だと考えている。しかし、大筋は決まったのである。あとは理論と実験・実測手法のさらなる改良を行えば、近い将来、十分信頼するにいたる移動床流れの

抵抗式が発表されることは間違いないものと確信する。

そのときこそ、在来の経験的な河川工学と、斬新な近代流体力学がはじめて手を握り、河川工学が装いも新たに飛躍する時である。

おわりに

河川工学の最近の研究の動向はここに紹介したような物理学的アプローチよりはむしろ、水資源開発等に関連する計画論の方が花々しいように見える。とくに環境問題が切迫した課題として技術者をゆずぶっている今日、広く水環境一般について思いをめぐらし、関連する課題を追うのは大いに魅力的である。境界領域、学際的というはやし言葉はますます若い研究者を鼓舞するだろう。

しかし、水資源計画のみならず都市計画、交通計画等々、いろいろな「計画学」関係の研究発表をきく機会があったが、はっきりいっていかにも計画学を専攻しているという professional な研究成果の発表をうかがうことが不幸にしてきわめてまれであった。発表される研究の「まえおき」が極めて常識的で深い省察に欠けたり、いざ本論に入ると前提条件が大変仮説的で首肯しがたかったり、以後の手法もおおむね推計学の初歩であったりする。

それにつけても professional とは何かを思うのである。

大学紛争たけなわの頃に学生から「専門馬鹿」という罵声を浴びたものだが、当時から馬鹿といわれるほどの専門家になりたいものだと思っていた。しかし、その「専門家」とは何なのか。

とりわけ総合技術としての土木工学では「狭く深く」末梢的な研究だけを推し進める姿勢は研究者としてもあるべき姿ではあるまい。かといって国土改造計画について空疎な大言壮語をするのは政治家ではあっても「専門家」ではない。

ありふれた結論ではあるが、自らの行なっている限定された研究課題が土木工学全般、あるいは河川計画一般の内に占める意義を自覚しな

がら、喜びをもって当面の宿題に取り組むのが professional の意味ではないだろうか。

砂面から、水流の乱れによって砂礫が pick-up され、飛び上るさまを観ることはそれなりに楽しい。しかしそのことが、いずれ、輸送土砂量の評価に結び付き、ひいては河道の長期変動の予測に役立ち、場合によっては地球史的な河川の変遷の解明の一助ともなりうるという認識があってはじめて研究のよろこびがうまれるのではなかろうか。

このような意味で、ここに誌面をけがした小論を、筆者自身のつもりでは、決して「河川工学に関する最近の話題」の通俗解説とは考えていない。「専門馬鹿」といわれる程、minor な研究課題の探究が、雄大な構想の内の一部にど

のようにつながるといふささやかは例として見て頂ければ、筆者の幸い、これに過ぎるものはない。ただし、雄大なのは「自然」の構想であって、筆者を含む人間の構想では決してない。念のため。

ここに紹介した移動床水理学の成果は、土木学会水理委員会の内昭和46年度に設置された「移動床流れ研究小委員会」の研究成果を要約したものである。その Task Committee の活動に深甚な敬意を表し、折角の立派な報告を筆者が誤って紹介したのではないかということをもっとも惧れる。申すまでもなく文責はすべて筆者にあるのではあるが。

[1973 January]