

4. 限界掃流力に就て (第 1 編及び第 3 編)

(a) 一定限界掃流力の存在する範囲

従來の外國の論文を見ると一定の河床構成材料に對して一定の限界掃流力が存在する勾配の範囲に就ては論及したものが少く、精々 1/400~1/800 位の小範圍に限られるものと考へられてゐたやうですが、石原博士、安藝氏及び筆者自身の實驗結果から判斷すれば、勾配 $I=1/400$ から $I=1/2000\sim 1/3000$ 位までは一定河床構成材料に對しては一定の限界掃流力が存すると考へられます。此の點石原博士と考へを同じくするものです。

(b) Kramer 式に就て

此の式は平均粒径 $d_m=0.7\sim 1.0$ mm 位の混合砂礫に對しては實測値に比較的近い値を與へますが、筆者が實驗した結果では $d_m\leq 0.5$ mm の微細なる混合砂礫に對しては全然合ひません。斯る細かい砂礫に對しては Indri 式の第 2 項を多少修正した式が適當と考へます。今 $d_m\leq 0.5$ mm の混合砂礫に對して Indri 式と Kramer 式との誤差を比較すれば次表の如くです。

Indri 式と Kramer 式との誤差比較

平均粒径 d_m (mm)	均等係數 M	比重 w_s	F_0 (實驗値) (gr/m^2)	F_0 (計算値) (gr/m^2)		誤差 (%)		實 驗 者
				Indri 式	Kramer 式	Indri 式	Kramer 式	
0.125	0.3736	2.65	32.7	19.50	9.20	-40	-72	永 井
0.318	0.3033	2.61	45.9	34.61	23.13	-25	-39	永 井
0.2211	0.6755	2.70	22.0	19.56	9.27	-11	-58	安 藝

尙石原氏は限界掃流力式に於て、「砂の篩分曲線の性質を表す方法に相當の検討の餘地がある」と言つて居られるが、全く同感です。此のことは獨り限界掃流力式の場合のみならず、移動床河川口に於ける流速、流砂等に關する研究に於ても常に痛感したことで、是非とも適當な方法を考へなければならぬと思ひます。

(昭. 18. 1. 26. 受付)

著者 正會員 工學博士 石原藤次郎*

表記の拙論に對して、水理實驗に特に造詣の深い永井助教授よりの御討議に接し、感謝にたへぬところであります。以下順を追つて著者の意見を述べたいと思ひます。

1. 橋脚に於ける洗掘機構

橋脚前頭部に於ける河床洗掘が、先端に於ける流向偏倚と鉛直線に沿ふ流速分布の不均一とに基いて生ずる水平軸の渦によつて惹起されると云ふ見解は、拙論の最も重要な根幹をなすものであり、此の點に就て永井氏の全面的賛同を得たことは著者の大きい喜びであります。所が永井氏は前頭部移行點 F 附近から下流に向つて生ずべき負の流向偏倚及之に伴ふ水平軸の渦の生成を否定し、F 點附近には餘り砂礫の堆積を生じないと主張し、著者

* 京都帝國大學教授

の見解に反対の意見を述べて居られる。此の點に就ては原文(第 28 卷第 11 號, 998 頁)の記述が簡略すぎたため、著者の眞意を誤解されてゐる所もある様に考へられるので、更に説明を補ひたいと思ひます。

拙著全文を御精讀されれば、永井氏の諒解されてゐる所と相當異なつてゐることを御認め願へると存じます。

移行點 F 附近から下流に向つて生ずる負の流向偏倚は、永井氏の説の如く先端 S 附近に於ける正の流向偏倚に比べて僅少であることは確かで、實驗に於て容易に確認されました。併し此の負の流向偏倚が小さいからと云つて、鉛直線に沿ふ流速分布の不均一と相俟つて時計方向の水平軸の渦を生じ得ないと断定出来ませうか。橋脚先端に於ける正の流向偏倚に伴つて反時計方向の水平渦の渦の生成を認める以上、負の流向偏倚に伴ひ時計方向の渦の生成を是認するのは當然であります。圖-76 に點線にて表した如く、前頭部より壁面に殆ど平行に流下して來た洗掘土砂が、F 點附近から下流に於て壁面の方に押しやられるのは、かうした時計方向の水平軸の渦の生成を有力に證明するものであつて、之以外に其の機構を説明する適確な方法を見出し得ない様に思はれます。

尙永井氏は短い距離 S から F と、F から F' との間に於て全く正反對の螺旋運動は起り難いとして拙論に反對されるが、著者は斯くの如く F 點附近で急に螺旋運動の方向が逆になるとは述べて居りません。橋脚先端を中心として正の流向偏倚が著しく惹起されるが、其の偏倚は移行點 F に近づくと共に次第に程度を弱めて遂に零となり、それから漸次負の偏倚に變つて行きます。此の正から負の偏倚への變移の狀況は、前頭部の形狀、殊に移行點 F に於ける變移角 β (第 1 編, 圖-7 参照) に支配されることが極めて著しい。壁面に沿ふ流線の變移點は直線型の前頭部では殆ど F 點に一致し、圓弧型の前頭部、殊に $\beta=0$ なる 2 圓弧型で $2L/b$ の大きい場合は F 點より相當上流側に來ることが認められます。又壁面から離れた流線ほど、壁面に沿ふ流線に比べて或程度其の變移點が上流側に移る様になります。かうした流向偏倚の正から負への變移に應じて、水平軸の渦は反時計方向から漸次に時計方向に變移するのですが、主流の作用を受けて渦の變移は流向の變移に比べて少しは下流側に起るものと考へられます。一方壁面に沿うて流下した流れの壁面よりの分離點は、大體に於て其の流れの流向偏倚が正から負に變移する點に對應すべく、此の分離點より下流側、従つて F 點附近から下流側の腹部側壁に接して鉛直軸の側面渦が惹起されます。此の側面渦の生成は原文に述べた如く F 點附近から下流に起る負の流向偏倚と直接の關係をもち、時計方向の水平軸の渦による底流によつて壁面の方に押しやられた洗掘砂礫を側面渦の範圍に巻き込んで、茲に堆積を生ずるわけです。尤も此の水平軸の渦による底流は比較的弱いので、前頭部附近に於ける洗掘砂礫の 1 部分が壁面の方に押しやられるに過ぎず、残りの部分は相當に多く、その儘主流に伴はれて流下し、後頭部附近に堆積することになります。

永井氏の如く F 點附近には餘り砂礫の堆積を生ぜず、専ら F と F' の中間附近から下流橋脚後端に至る迄の鉛直軸の渦による堆積が起ると断定するのは、以上の所論によつて甚だ疑問と思はれます。F 點附近から下流側壁面に接して生ずる側面渦による堆積は、著しくはないが多少なりとも必ず存在するのであつて、かうした堆積作用を認めることによつて始めて説明し得る實驗的事實が甚だ多いことを強調したいです。例へば第 1 編圖-14, 15 に示す如く、1 圓弧型 (No. 0~No. 3) にては、先端の接角値が常に $2\alpha=180^\circ$ なるに拘らず、前頭部の長さ l_0 を減じて β を増すほど、 l_0, l_s が漸増し其の程度は l_0 の方が著しいのです。この事實は β を増すに應じて F 點附近から下流側壁面に接して生ずる側面渦の範圍、従つて堆積作用の増加を意味するものと考へられます。又 l_s の値は 1 圓弧型では β に拘らず大差なく、 β が 90° に近づくとき寧ろ減少する傾向を呈し、又直線型でも β が凡そ 45° 以上になると略同様の性質を表す。此の事實も 1 圓弧型では β を増すほど側面渦を増加し、又直線型では β が凡そ 45° 以上となると F 點附近に漸次顯著に側面渦が現れ、堆積作用の影響が加はつて來たため

と思はれます。2 圓弧型では常に $\beta=0$ であるため、かうした堆積作用は明瞭ではありませんが、其の長さ l_2 を増加して α を減ずるほど、壁面に沿ふ流れの分離點が F 點を離れて少し上流側に進みます。それで分離點の下流側に或程度の堆積を生ずることも容易に想像される管で、圖-12 の如く $\alpha \approx 60^\circ$ 以上に於ける l_2 に大差を生じないのは、茲に相當の原因をもつ様であります。F 點附近から下流側の側面渦による堆積は、 l_2 の變化を説明するにも是非必要であります。尤も先端に於ける洗掘作用は前頭部の形状如何によつては F 點附近又は其の下流迄も影響しませうし、又橋脚による断面縮小部分を流下する際の速い流れは洗掘砂礫の流下と共に F 點附近の河床洗掘を助長する傾向もありますので、多くの場合 F 點附近は原河床以下となつて第 1 編圖-11 の如く洗掘の範圍になります。著者の述べました側面渦による堆積作用は、かうした F 點附近の洗掘を軽減することを意味し、F 點附近を原河床以上に高めて大きい堆積を生ずると云ふ意味でないことを明かにしたいと思ひます。

2. 相似律に関する私見

實驗常數 ψ , ξ , η 及係數 σ 並に Manning の粗度係數 N に就ての御意見は誠に尤もであります。著者は之等が實物と模型に於て等しいと云ふ様な亂暴なことを述べて居りません。原文(第 3 編, 1004 頁)を御覽下さればわかる様に、之等は流況のみならず砂礫の性質によつても相當の相違を呈しませうが、未だ確たる斷定を下し難いのです。之等を明確に把握出来れば、本實驗の相似律が或程度判明し、定量的結論へと進み得られるものと思はれます。此の様に甚だ不明瞭な値ですが、今假りに實物と模型とに於て之等に大差がないとしますと、(31) 式の様な簡単な關係が得られると云ふに過ぎず、之等を等しいと置いてよいと斷定したわけではありません。之等を検討する爲の實驗方法の 1 つとして、表-46 を示したのです。要するに原文に述べた實驗方法では具合が悪く、構想を新にした實驗方法で精密な測定を繰返すことによつて、之等の性質を檢討することが出来、又大いに其の必要があると思ひます。かうした將來の定量的研究の指針と云ふ意味で、特に私見と斷つて相似律を述べたのですから、誤解のない様に願ひたいと思ひます。

3. (22) 式の誘導に就て

第 3 編 997 頁第 1 行の式は、永井氏の御注意の如く明かに誤植であつて、右邊は第 1 項から第 2 項を差引かねばなりません。先にプリントにした紀要に於ける誤植が、土木學會誌にても其の儘誤植になつたわけですが、それ以下の計算の結果には間違はない管です。尤も副流の強さを支配する値 dC の考察方法自身に就ては、検討の餘地が多いのですが、大體に於て自然河川に於ける從來の經驗的事實と一致する (22) 式が得られ而も式の形が簡單であると云ふ理由の下に、一先づ原文に述べた様な考察方法をとつたのです。此の點に就ては今後更に構想を新にした精密な實驗を行ひ、適確な結論を得たいと考へて居ります。

次に係數 α は河床粗度又は H/v_s に關係した値ですから、(22) 式にて $1/\alpha(\alpha+2)$ を積分の外に出すには嚴密を缺いて居ります。Lavale-Rapp の與へた (21) 式は直流河川に於ける鉛直線に沿ふ流速分布を表すもので、之を曲線部の流れに適用するのは好ましくありませんが、適當な式を見出し難かつたので、 $v = v_s(\alpha/H)^{1/\alpha}$ なる流速分布曲線のみを採用したのです。曲線部の複雑な流れに對して、(21) 式に示す α と H/v_s との關係迄が其の儘適用されると考へたわけではありません。此の場合は α と H/v_s との關係を具體的に表すことは甚だ困難であつて、寧ろ α は河床粗度に従つて變化する或係數であると考へるのが妥當でせう。かう考へますと只今の場合 1 横断面にて河床の性質に變化がない以上、 α はさう大きい差異を表さないと見ることも出来ます。此の様な意味で近似的に $1/\alpha(\alpha+2)$ を積分の外に出して (22) 式を得たのですが、嚴密には勿論積分の中に入れて永井氏の云はれる如く (22') 式として置かねばなりません。

4. 限界掃流力に就て

一定の河床構成材料が一定の限界掃流力を有すると云ふ掃流力理論の基本概念は、著者の実験した勾配の範囲(1/400~1/2000)に於ては充分の妥當性を持つて居ります。掃流力理論の成立する範圍を更に具體的に検討する必要を認めますが、著者は只今迄の實驗其の他に基いて此の範圍は可成り廣いものと考へて居ります。

次に Kramer の公式は在來の諸公式に比し實用的見地から頗る價値多く信頼するに足るものですが、尙多くの研究の餘地が殘されて居ります。此の内砂の篩分曲線の性質を表す方法とか、微細粒になると砂礫移動の状態が著しく異つてくる事實等は、特に検討すべき點であり、之等は原文に詳しく述べた通りであります。

著者は原文に於て、水流に對する河床の強さを論ずる水理學的方法として、底流速の衝力によるものと掃流力理論によるものゝ2つを擧げて、夫々詳しい説明を行ひました。一般に運動してゐる流體中に浸された物體が流體から受ける力は略々流速の自乗に比例するとされてゐるから、前者の方が其の物理的意味を理解し易いのです。之に反して後者は實驗的には確められ實用的價値は多いのですが、其の物理的意味が今日の所明確を缺いてゐると云はねばなりません。掃流力理論の物理的意味を明確にすることによつて、一段の進歩が期待される様に思へます。

かうした意味から、著者は目下開水路に於ける粗い面に沿ふ亂流の流速分布に關し理論的並に實驗的研究に專念中ですが、之によつて掃流力理論の物理的意味を明かにすると共に底流速の衝力論との關係が付き、砂礫運動の機構を更に明確ならしめ得るのでないかと考へて居ります。茲に掃流力理論の根底に對し基礎的研究を實施中なることを述べて、本文を終りたいと思ひます。

以上永井氏の御討議に對し著者の忌憚なき意見を述べさせていただいたことを幸甚に存じます。

昭. 18. 4. 30. 受付)