# 討　　議

第29巻第8號　昭和18年8月

## 橋脚による河床洗掘に關する實驗的研究

（第 1 編，第 2 編及び第 3 編）

（第 24 巻第 1 號，第 28 巻第 9 號及び第 28 巻第 11 號所載）

准會員　永　井　莊　七　郎*

石原博士の表記論文（第 1,2 及び 3 編）を極めて興味深く讀ませて頂きました。元來此の種の研究は同氏も記してをらるゝ如く，約 70 年も以前から最近まで多くの人々によつて主として實驗に因り研究されて來たのであるが，實驗的にも又水理學的考察に於ても甚だ不十分なる狀態で放置されてゐたのです。然るに今回石原博士の第 3 編までの論文を拜讀して，此の種の問題は少くとも定性的には，十分に解決されたものと確信するを得て，同博士の極めて有益なる御研究に對し衷心より深甚なる敬意を表した次第であります。

數年に亙る熱心なる御研究に對し，それに比して遙かに僅少なる時日しか此の問題に就て考へてゐない筆者が，御參考になる如き討議をなすことは恐らく困難かと思ひますが，論文を拜讀して特に考へを同じくした點及び疑問に思ふ點を列擧して討議とし，以て學會からの依頼に沿ひたいと思ひます。

**1.　橋脚に於ける洗掘機構——特に側面渦による堆積に就て（第 3 編）**

橋脚前頭部に於ける洗掘機構が河川彎曲部外側に於ける洗掘機構と同一であることに想到され，後者に於て P. Böss が與へたる說明を前者に適用されたことは甚だ巧妙なる考へでありませう。確かに前頭部に於ける洗掘は，流向偏倚が鉛直線に沿ふ流速分布の不均一と相俟つて水平軸の渦を生ずるためと考へられます。然し移行點 F 附近より下流に於ても同樣に反對方向の流向偏倚が，鉛直線に沿ふ流速分布の不均一と相俟つて水平軸の渦（前頭部に於けるものとは反對方向の渦）を生ずるでせうか。若し然りとすれば圖-76 に就て言へば，S から F の間では水分子は時計の針の廻轉方向と反對方向の螺旋運動を行ひ，F 點附近で急に前とは反對方向の螺旋運動を行つて F′ 點に向ふことになります。短い距離 S から F と F から F′ との間に斯る全く正反對の螺旋運動は起り難いのではないでせうか。F 點附近に於ける負の流向偏倚は S 點附近に於ける正の流向偏倚に比して可なり僅少であらうと考へられます。その理由の一つは，F 點より下流には主流に平行なる橋脚側壁が存することで，他の理由は，底流は圖-76 に示されたる如き流線に沿つて流れるでせうが[1]，表面附近の流線は，流速が非常に緩かなる場合は別として，普通の渦流に於ては S 點附近に於ける正の流向偏倚の影響を受けて F 點附近で直に負の方向に流向を偏倚することが出來ず，相當の距離流路の中央に向つてから主流に合流するのではないかと考へられます。

以上の如き理由より，F 點附近に於ては負の流向偏倚は小さいため，之が鉛直線に沿ふ流速分布の不均一と相俟つて，時計の針の廻轉方向と同方向の水平軸の渦を生じ得ないのではないかと考へます。從つて F 點附近には餘り砂礫の堆積は生じないと考へられます（第 1 編圖-11 に於ける如く）。橋脚側壁に於ける堆積は流線が再び全

---

*　京城帝國大學助教授

1)　A. Hinderks : " Grundströmung und Geschiebebewegung an umflossenen Strompfeilern ", Bautech., 1928, S. 135. Abb. 10.

體的に擴散する點，即ち流水斷面積が F 點附近で最も狹搾されて後再び擴大される點（大體 F と F′ との中間位）附近及びそれより下流橋脚後端に至るまでの間の限界層内に生ずる鉛直軸の渦により起るものと思はれます。

**2．相似律に關する私見（第 3 編）**

固定床小水路の渦流に於ては，嚴密に言へば Manning 式 $v=\frac{1}{N}R^{2/3}I^{1/2}$ 中の粗度係數 $N$ は可なり變化します。例へば鉋削板にペイントを上塗りした水路に於て，$R=0.0200\sim0.0921$ m，幅を 20 cm，35 cm 及び 70 cm，勾配 $I=1/100\sim1/10\,000$ に變化した場合に $N=0.0083\sim0.0122$ に變化してをります。從つて稍不適當ではありますが，此の式は相似律を考へる時は便利でありますから，今此の式を小水路に對しても適用することゝして，$N$ の平均値を用ふれば大體 $N\fallingdotseq N'$ と置いて差支ないと思はれます（Vogel も言つて居ります如く）。

然し實物に對して歪んだ模型に於ては當然力學的にも相似でないから，$\xi/\xi'=1$ 及び $\eta/\eta'=1$ なる關係は全然成立しないと考へます。又 $\frac{\psi}{\sigma}\Big/\frac{\psi'}{\sigma'}$ に於て，假に $\psi/\psi'\fallingdotseq1$ が成立するとしても，縱橫の縮尺を變へた模型に於ては $\sigma'/\sigma\fallingdotseq1$ とをくことは可なり無理でありませう。$\sigma=\alpha(\alpha+2)$ 中の $\alpha$ は $H/v_s$ の函數であるが，$H/v_s$ の値は水路の水深と幅との關係が異なれば可なり大きく變化すると考へられますから。

**3．(22) 式の誘導に就て（第 3 編）**

997 頁の

$$dc=\frac{w_0}{g}\int_{z_m}^{H}\left(\frac{v^2}{\rho}-\frac{v_m^2}{\rho}\right)dz+\frac{w_0}{g}\int_{0}^{z_m}\left(\frac{v_m^2}{\rho}-\frac{v^2}{\rho}\right)dz$$

に於て右邊の第 1項と第 2 項とは方向が反對であるから

$$dc=\frac{w_0}{g}\int_{z_m}^{H}\left(\frac{v^2}{g}-\frac{v_m^2}{\rho}\right)dz-\frac{w_0}{g}\int_{0}^{z_m}\left(\frac{v_m^2}{\rho}-\frac{v^2}{\rho}\right)dz$$

としてなければなりません。此の符號の書き誤りは土木學會誌（997 頁）のみならず，石原博士から小生宛個人的に送つて頂いた紀要に於ても（268 頁に）同樣に誤つて書かれてありますから一寸書き添てをきます。

次に

$$C=\int_{\rho_1}^{\rho_2}dC=\frac{w_0}{g}\int_{\rho_1}^{\rho_2}\frac{\frac{v_m^2}{\rho}H}{\alpha(\alpha+2)}d\rho$$

今彎曲部の外側河床に働く洗掘力 $K$ が副流の强さを支配する此の $C$ の値に比例するものとすれば

$$K=\phi C$$

即ち

$$K=\phi\,\frac{w_0}{g}\int_{\rho_1}^{\rho_2}\frac{\frac{v_m^2}{\rho}H}{\alpha(\alpha+2)}d\rho \qquad \cdots\cdots(22')$$

となり，$\alpha$ の値は (21) 式で示される如く $H/v_s$ により變ります。而して $H/v_s$ の値は一般には曲率半徑 $\rho$ によつて變化すると考へられるから，$\frac{1}{\alpha(\alpha+2)}$ を積分の外に出すことは出來ないと思ひます。

(21) 式は直流河川に於ける鉛直線上の流速分布を表はすもので，直流部に於ては一橫斷面内の各鉛直線上で（側壁の極く近くは除いて）近似的に $\alpha\fallingdotseq$一定 と見做して差支ないでせう。然し曲流部に於ては鉛直線に沿ふ流速分布が直流部に於けるものと可なり相違するものと考へられるから，$\alpha$ と $H/v_s$ との關係式までが (21) 式とは異つて來るでせう。今假りに $\alpha$ と $H/v_s$ との關係が曲流部に於ても近似的に (21) 式で表はされるものとするも，一橫斷面上の鉛直線の位置によつて $H/v_s$ は可なり大きく變化するであらうと考へられます。

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圍

從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圍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 $I=1/2\,000$～$1/3\,000$ 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

此の式は平均粒徑 $d_m≒0.7$～$1.0$ 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 $d_m \leqq 0.5$ 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 $d_m \leqq 0.5$ 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**

| 平均粒徑 $d_m$ (mm) | 均等係數 $M$ | 比重 $w_s$ | $F_0$（實驗値）(gr/m²) | $F_0$（計算値）(gr/m²) Indri 式 | Kramer 式 | 誤差 (%) Indri 式 | Kramer 式 | 實驗者 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 28.13 | −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檢討の餘地がある」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ないと思ひます。

（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贊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