

昭和48年(ワ)第457号長良川河口堰建設事業差止請求事件

鑑定書 (そのI)

昭和 52年 8月

鑑定人

日野 幹雄 (印)

「長良川河道しゅんせつ後の塩水侵入について」(乙第40号証の3)
の鑑定

目次

- 1) 侵入塩水の分布形態について
 - a) Hansen & Rattrayによる区分法
 - b) Fisherの河口リチャードソン数
 - c) 大坪らの限界流量
- 2) 内部境界面の抵抗則について
- 3) 塩水楔としての計算とその結果について
 - a) 定常性の仮定について
 - b) 河川幅の変化の影響
 - c) 自由水面の水位を一定とすること
 - d) 河口付近での数値計算, その他
 - e) 塩水楔の再計算
- 4) より高度な塩水楔の計算に関して
- 5) 結論

I. 「長良川河道しゅんせつ後の塩水侵入について」(乙オ40号証の3)の鑑定

1) 侵入塩水の分布形態について

河口より海水が上流に侵入するとき、その形態は大きくわけて

- ① 弱混合型 (塩水楔型)
- ② 緩混合型
- ③ 強混合型 (拡散型)

に分類されることは(乙オ40号証, 3, P.3), 広く認められるところである。我國の多くの河川(利根川・石狩川・阿賀川等)では①の塩水楔型の塩水侵入であり、長良川についても嶋(1964)の実測データの解析からもその存在が認められる。

しかし、これは現況河道についての実際であり、河道しゅんせつ後の塩水侵入の型を知るためには、一般的指標による判定が必要である。もし、その結果、塩水楔型の侵入がくずれるとすれば計算式を変えなければならず重要な問題である。塩水侵入の形態区分法にはいくつかの方法が提案されているが、ここでは次の三方法により判定を行う。

a) Hansen & Rattray による区分法

Hansen と Rattray (1966) は密度流の基礎方程式を検討し、理論的に二つのパラメーターの組により、形態区分がなされることを提案し、実際の河川データにあてはめて4つの型に分類している。塩水楔は彼らの4型に相当する。

Hansen & Rattray のパラメーターの組は

$$\delta s / s_0 \sim u_s / U_f \quad (1)$$

あるいは

$$P (= \bar{U}_f / U_t) \sim F_m (= \bar{U}_f / U_0) \quad (2)$$

である。こゝに、

- δs = 表面と底面での塩分差
- s_0 = 全断面平均塩分濃度
- u_s = 表面平均流速
- $\bar{U}_f = (Q/A)$: 断面平均流速
- A = 河口全断面積
- U_t = 潮汐流の二乗平均根
- $U_0 = \sqrt{\varepsilon g D}$
- D = 河口水深

これらのパラメーターを計算しやすい量により書き直すと

$$\left. \begin{aligned} \delta s / s_0 &= D / (D - h_c) \\ u_s / \bar{U}_f &= D / h_c \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

おまひ

$$\left. \begin{aligned} P &= (Q/A) / U_t \\ F_m &= (Q/A) / \sqrt{\varepsilon g D} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

となる。ただし、 Q : 河川流量、 $h_c (= [(Q/A)^2 / \varepsilon g]^{1/3})$: 河口における二層密度流の限界水深。

	$L_{p/s}$ 前	$L_{p/s}$ 後
流量 Q (m^3/s)	50.	50.
全断面積 A (m^2)	1850.	2600.
河幅 B (m)	524.	490.
河口水深 D (m)	3.5	5.2
限界水深 h_c (m)	0.33	0.34

表: I-1, 河川条件

上式に表: I-1 に示す $L_{p/s}$ 前後の流量・断面積・水深等の値を代入し, 計算したパラメータの値を表: I-2 に示す.

	$L_{p/s}$ 前	$L_{p/s}$ 後
ss/δ_0	1.10	1.07
u_s/u_f	10.7	15.3

表: I-2(a), 塩水侵入形態パラメータ

	$L_{p/s}$ 前	$L_{p/s}$ 後
P	$0.027/u_f$	$0.019/u_c$
F_m	0.0285	0.0165

表: I-2(b), 塩水侵入形態パラメータ

表: I-2 の $\delta s / \beta_0 \sim U_s / U_f$ (あるいは $P \sim F_m$) の値は, しゅんせつ前と後でほとんど変化せず, したがって, しゅんせつ後も塩水は楔の形態で河を遡上するものと判定される。

なお, Hansen - Rattray 分類図上にこれらの点を記入したところ, 才4型すなわち塩水楔型となっており, 長良川の現況にも合致している。

b) Fisher の河ロリチャードソン数

Fisher (1972) は次式で示される河ロリチャードソン数を塩水侵入形態分類の指標とした。

$$R = \Delta \rho Q / \rho B U_t^2 \quad (5)$$

$\Delta \rho$: 塩淡水の密度差

Q : 河川流量

B : 河幅

U_t : 潮汐流の2乗平均根

したがって,

$$R \begin{cases} = 0.024 / U_t^2 & (\text{しゅんせつ前}) \\ = 0.026 / U_t^2 & (\text{しゅんせつ後}) \end{cases} \quad (6)$$

となり, しゅんせつ前と後での侵入形態にはほとんど差はなく, 従ってしゅんせつ後も塩水は楔として侵入すると判定される。

Fisher は $0.08 < R < 0.8$ の範囲で強混合型へ移行すると述べている。潮汐変化が小さくなれば, U_t も小さくなり, R は増大

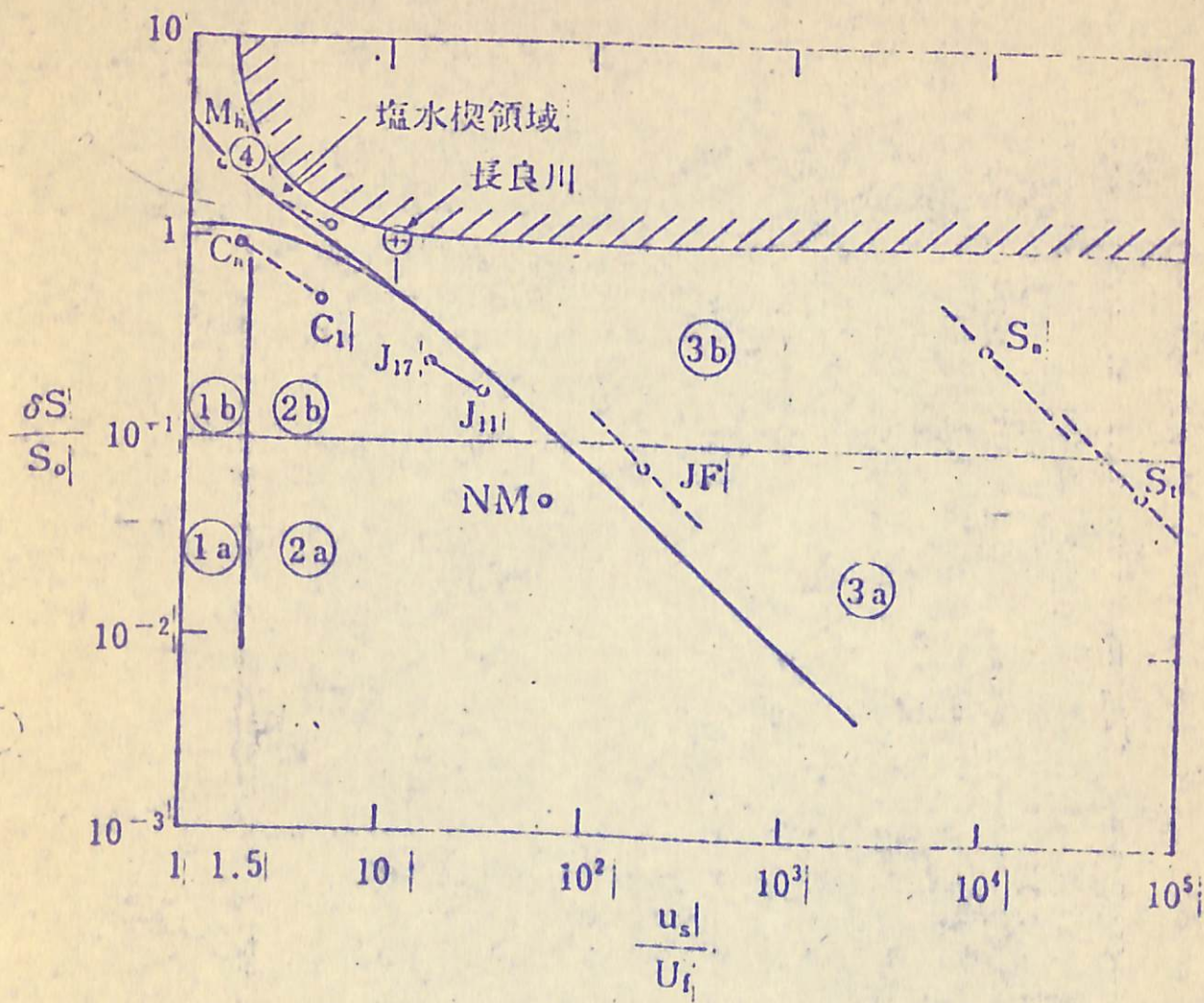


図-1: Hansen & Rattray の塩水侵入形の区分法

する。したがって、侵入塩水は楔型に近づく。このことは、嶋が指摘した（上・下弦の小潮時より約1日遅れて塩水楔が形成される）事実と合致し、また、長良川は Hansen - Rattray 図の4型の限界に近いことと合せ考えると興味深い。

c) 大坪らの限界流量

塩水が楔として河川中に侵入する限界の河川流量（これ以上では塩水は楔の形では河川侵入はなくなる流量）は大坪らにより次式のように与えられている。

$$Q_c = \sqrt{\varepsilon g D} \cdot A \quad (7)$$

D : 河口水深
 A : 河口断面積
 ε : 塩分濃度差

これらに、公団追加資料中の上記の数値を代入すれば、塩水楔を生じる限界流量

$$Q_c \begin{cases} = 1750 \text{ (m}^3\text{/s)} & \text{(しゅんせつ前)} \\ = 2990 \text{ (m}^3\text{/s)} & \text{(しゅんせつ後)} \end{cases}$$

つまり、塩水の侵入を止めるという極端な状態に対応する河川流量は以上のように大きく、とくにしゅんせつ後は Q_c が大きく塩水が侵入しやすいことを示している。

2) 内部境界面の抵抗則について

河川の下層部に侵入する塩水が、かなり明瞭な境界をもつ塩水(楔)層となり、その上を淡水層が流れる場合には、この塩淡水層の境界面に働く抵抗を見積る必要がある。この抵抗(せん断応力)は、①層流的粘性摩擦抵抗、②境界面上に発生する(波長の短い)内部波の造波抵抗、③塩淡水層の混合による付加抵抗、④これと同種の乱流混合によるレイノルズ応力などから成り立っており次式のように表わされる。

$$\tau_i = f_i \frac{\rho U_i^2}{2} \quad (8)$$

上式中の界面抵抗係数 f_i はレイノルズ数 ($Re = \frac{U_i h_i}{\nu}$) と内部フルード数 ($Fr_i = U_i / \sqrt{\varepsilon g h_i}$) の二乗の積の関数で

$$f_i = c (Re \cdot Fr_i^2)^{-n} \quad (9a)$$

$$= c \psi^{-n} \quad (9b)$$

と表わされることは、最初実験的に岩崎(1962)により指摘され、また推貝(1965)により理論的に示され、最近の玉井(1974)の修正理論もこれを支持しているもので、理論的な明確な根拠をもっている。そのべき乗数 n について理論的に推貝(1965)は 1

$$n = 1.0 \quad (10)$$

をし、日野・谷(1969)は相似理論(次元解析)より

$$n = 2/3 \quad (11)$$

とした。多くの n に関する実験値もほぼこの範囲にあり、 n の値として $n = 2/3$ を用いるのは妥当であろう。

しかし、係数 c の決定は実験によらなければならない。

せん断応力での関数形についてはこうした理論的根拠が明確であるにもかかわらず、 f_i と $\psi = Re \cdot F_{ri}^2$ の間の実験値がバラツクのは次のような理由による。

- ① 現場の実験は種々の要因に左右され、かつ実験精度もあまり高くはない。
- ② 現地にせよ室内実験にせよ実際の塩水楔は、必ずしも理論で仮定したようなはっきりとした二層とはならない。(この点に関しては、さらに4.で述べる。) したがって、二層と仮定して実験データから逆算で求められる $f_i \sim Re \cdot F_{ri}^2$ の関係にはバラツキが生じる。

以上の考察から明らかになるように界面抵抗の係数 f_i は

$$f_i = c (Re F_{ri}^2)^{-n}$$

の形であり、べき数 n は

$$n = 2/3$$

とし、係数 c についてはその平均値とそれを挟む上下限值についてそれぞれ計算を行えば良い。

3) 塩水楔としての計算とその結果について

以下の各節では、公団の計算の仮定や手法について考察を行う。

① 定常性の仮定について

潮位変化に応じて、塩水楔は河道へ侵入と後退を繰り返している。公団計算では一次元的定常計算により塩水楔の侵入長を見積っている。この点の妥当性についていくつかの点から検討する。

(i) 潮位変化の周期と塩水楔の進入速度

塩水楔の攪乱の進行を長波と考えるとその進入速度は $\sqrt{\varepsilon g h}$ である。この大きさは、以下

$$\begin{aligned} \sqrt{\varepsilon g h} &= O(\sqrt{0.026 \times 9.8 \times 1.0}) \\ &\cong O(\sqrt{0.255}) \\ &\cong O(0.5 \text{ m/s}) \\ &\cong O(1.8 \text{ km/hr}) \end{aligned}$$

したがって、河口の潮位変化の影響が塩水楔の先端 $x_F = 14 \sim 20 \text{ km}$ に達する時間は

$$(14 \sim 20) \text{ (km)} / 1.8 \text{ (km/hr)} = 7.8 \sim 11 \text{ (hr)}$$

である。さらに、これが河口までにはね返るには $16 \sim 22 \text{ hr}$ を要する。つまり、最も大きい半日潮成分を考えると最大潮位から最小潮位(またはその逆)の時間 6 hr に較べて、潮位変化の情報はかなり遅れて先端に達する。そのため塩水楔先端の非定常性はそれ程大きくはないであろう。ちょうど、地震計の原理のように系の固有周期より早い周期の外力を与えても、系はそれに感応しないのと同じと云える。

(ii) 非定常計算の信頼性

塩水の進入が二層密度流の形状をとると仮定すれば、各層の厚さ h_1, h_2 と平均流速 u_1, u_2 に関する運動方程式と連続の方程式は直ちに導かれる。したがって、この方程式系を数値的に解いて、塩水楔の非定常形状を求めることに、計算時間と費用の増大、計算プログラム作成の手間を除けば、特に著しい困難があるわけではない。

しかし、こうして計算上求められる非定常塩水楔が、定常計算による結果より信頼度が高いとは必ずしも云えない。むしろその逆であろう。その理由を掲げる。

① 塩水楔を非定常と考えると、当然下層の塩水の速度 u_2 も零ではなく、上下層の鉛直面内の流速分布 $u(z)$ は下層静止の場合の単純な形とは異ってくる。それゆえ、上層下層をそれぞれ一定流速の流れとすることに無理が生じる。

② その結果、内部境界面での摩擦係数 f_i が下層静止の場合とは違ってくるのみならず、下層流底面での摩擦係数 f_b も通常の一様流体の場合のものとは異ってくる。このような複雑な流速分布の場合の f_i や f_b については理論的にも実験的にもほとんど調べられてはおらず、従ってこれらに適当な値を用いて計算を行っても、結果の信頼度は低いと云わざるを得ない。

③ 後に4)で触れるより高度な計算方法で非定常計算を行う方法もあるが、現状ではやはり研究レベルのものであり、設計としてはあんなに少ない定常塩水楔の計算が良いであろう。

ただし、今後参考のために4)に述べるいくつかの方法で非定常計算を行うことは望ましい。

b) 河川幅の変化の影響

公団計算では、河川幅 $B(x, h)$ は径深 $(h_1 + h_2)$ や単位幅流量 q の計算には用いているが、基本式 (P. 6 式 (13)) は等幅断面水路に関するものである。もし、水路幅 $B(x)$ の変化を直接考慮すれば基本式は次のように修正される。(土木学会・水理委員会・密度流小委員会, 土木学会論文報告集 No. 243, p. 99)

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{F_{r1}^2 \left(\frac{f_i}{2} (h_1 + h_2) - \frac{h_1 h_2}{B} \frac{\partial B}{\partial x} \right)}{(1 - F_{r1}^2) h_2} \quad (12)$$

このことは、密度差のない不等流計算においても幅の変化する流れの水面形の基本式が $\partial B / \partial x$ の項を含むのに対応している。
そこで、上式の各項の比較により幅の変化を無視して良いか否かの検討を行う。公団追加資料 No. 12 により、

$$Q = 50.0 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

$$h_s = 0.64 \text{ (TP, m)}$$

とし、オーダー比較のため計算区間のほぼ中程の $x = 10 \text{ km}$ のあたりの値から

$$\begin{aligned} h_1 - h_2 &= HS - RB \approx 0.64 - (-3.74) \\ &\approx 4.38 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= SS - RB = -0.47 - (-3.74) \\ &= 3.27 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$h_1 = (h_1 + h_2) - h_2$$

$$= 4.37 - 3.27$$

$$= 1.10 \quad (\text{m})$$

$$B = 428 \quad (\text{m})$$

$$\frac{\partial B}{\partial x} = (460 - 436) / 2 \times 10^3$$

$$= 1.2 \times 10^{-2}$$

これらの値を前式の右辺の分子の2つの項の比に代入すれば

$$\frac{h_1 h_2}{B} \frac{\partial B}{\partial x} = \frac{1.1 \times 3.27 \times (1.2 \times 10^{-2})}{(4.28 \times 10^2)}$$

$$= \frac{f_i}{2} (h_1 + h_2) - \frac{f_i}{2} \times 4.38$$

$$= (0.046 \sim 0.46) \quad ?$$

となり、河幅変化項の影響は小さい。

C) 自由水面の水位 ($z_s = h_1 + h_2 + z_b$) を一定とすること

公団側の計算では自由表面の水位 z_s を与え、これを一定として、つまり水面は水平面であると仮定して計算が行われている。河川流量 Q が $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ と少く従って、上層の平均流速も無視しうる位小さく、速度水頭 ($\frac{U^2}{2g}$) や下層との境界面摩擦損失水頭を無視したためこの仮定がほぼ成立することは、以下の式の展開により間もなく示される。

しかし、正確には例え下層が静止しているとしても h_2 に関する微分方程式を連立させて解く方がより望ましい。

塩水楔の基礎方程式は、 $u_2 = 0$ に対して次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dh_1}{dx} &= \frac{\frac{1}{\varepsilon} (i_{f_2} - i_{f_1})}{1 - F_{r_1}^2} \\ \frac{dh_2}{dx} &= \frac{(i_0 - i_{f_1}) - F_{r_1}^2 (i_0 - i_{f_2}) + \frac{1}{\varepsilon} (i_{f_1} - i_{f_0})}{1 - F_{r_1}^2} \end{aligned} \right\} (13)$$

こゝに、

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1 \\ F_{r_1} &= u_1 / \sqrt{\varepsilon g h_1} \\ F_{r_2} &= u_2 / \sqrt{\varepsilon g h_2} \\ i_{f_1} &= \tau_i / \rho_1 g h_1 \\ &= f_i u_1^2 / 2g h_1 \\ i_{f_2} &= (\tau_b - \tau_i) / \rho_2 g h_2 \\ &= - f_i u_1^2 / 2g h_2 \cdot \left(\frac{1}{1 + \varepsilon} \right) \end{aligned} \right\} (14)$$

* 従来の教科書や公式集には dh_2/dx の右辺の $(i_0 - i_{f_1})$ の項が落ちている。

i_0 : 河床勾配

h_1 : 淡水層の水深

h_2 : 塩水層の水深

ρ_1, ρ_2 : 淡水および塩水の密度

u_1, u_2 : 淡水および塩水の流速

τ_i : 境界面のせん断応力

τ_b : 底面のせん断応力

これより $i_0 = -\frac{dz_s}{dx}$ を考慮すれば,

$$\begin{aligned} \frac{dz_s}{dx} &= [-i_1 - F_{r1}^2 i_2] / [1 - F_{r1}^2] \\ &= -\frac{\epsilon f_i}{2} F_{r1}^2 \left[1 + \frac{\epsilon h_1}{h_2} F_{r1}^2 \right] / [1 - F_{r1}^2] \end{aligned} \quad (15)$$

となる。ついでに

$$\begin{aligned} \frac{d(h_1 - h_2)}{dx} &= [i_0 - i_1 - F_{r1}^2 (i_0 - i_2)] / [1 - F_{r1}^2] \\ &= i_0 - \frac{i_1 - F_{r1}^2 i_2}{1 - F_{r1}^2} \\ &= i_0 - \frac{\frac{\epsilon f_i}{2} [F_{r1}^2 + F_{r1}^4 \frac{\epsilon h_1}{h_2}]}{1 - F_{r1}^2} \end{aligned} \quad (16)$$

となる。

F_{r1}^2 が十分小さく, ϵf_i も小さいことから

$$z_s = h_1 + h_2 + z_b \cong \text{const} \quad (17)$$

の仮定がほぼ成立する。

d) 河口付近での数値計算, その他

塩水楔の計算は, 河口より上流に向って行う。河口では淡水層の水深 h_1 が次式で示される限界水深 h_c であることが理論上要請され, 実験的にもこの条件が成立することが認められている。

$$h_c = \sqrt[3]{g_0^2 / \varepsilon g} \quad (18)$$

この時, 内部フルード数

$$\begin{aligned} F_{ri} &= \frac{u_1}{\sqrt{\varepsilon g h_1}} \\ &= \left\{ \frac{1}{\varepsilon g h_1} \left(\frac{g_0}{h_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \\ &= (h_c / h_1)^{3/2} \end{aligned} \quad (19)$$

は 1 である。したがって, 計算の出発点で $dh_1/dx \rightarrow \infty$ となり, 普通の方法ではこの点からの数値積分はできない。

公団計算書では, この点を無視し河口 $x=0$ から一気に $x=\Delta x = 1 \text{ km}$ の h_1 を iteration により求めている。たとえ, 解が求めたとしても直直に収束したとは云えない。もっとも, 内部境界面の勾配 dh_1/dx が急だということは, 河口 $x=0$ よりほんの少し上流側で dh_1/dx が有限となり, この点からの数値積分は普通どおりに行えるから最終的に

には塩水楔の侵入長の計算結果にはそれほど影響がないのかもしれない。

なお、公団計算書で、塩水楔の先端部まで画かれていないのは、先端部では $h_2 \rightarrow 0$ となり、同様に $dh_1/dx \rightarrow \infty$ となり計算の続行が不可能なためである。

このような場合には、つまり、 $dh_1/dx \rightarrow \infty$ となる点の近傍では、独立変数と従属変数を入れ替えれば

$$dx/dh \rightarrow 0$$

となり、通常法による計算でなんらの不都合はない。

この他、公団計算書では数値積分幅を $\Delta x = 1 \text{ km}$ としているが、たとえ繰り返し計算法によるとはいえ、場所により粗すぎるとの懸念がある。

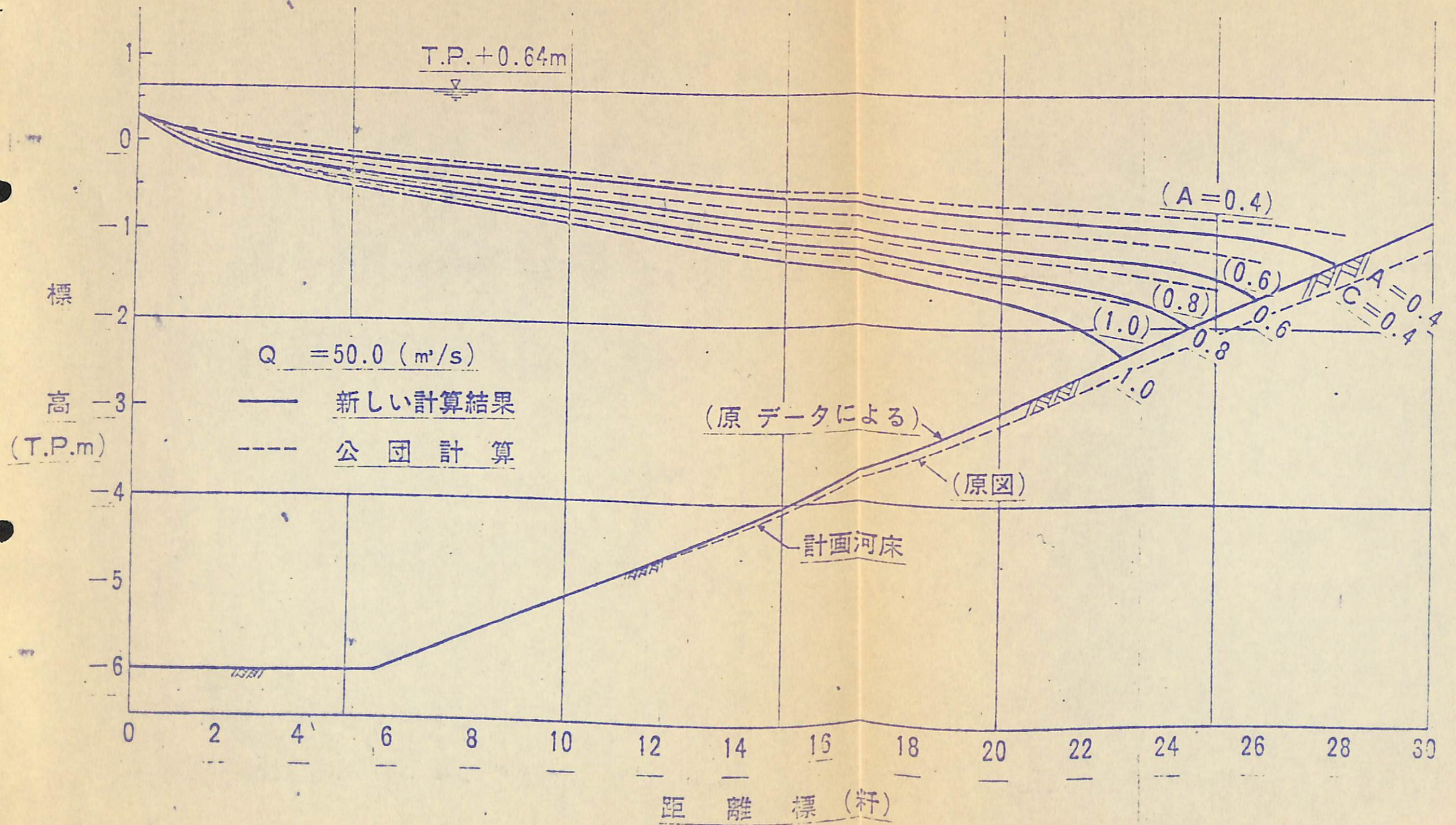
e) 塩水楔の再計算

これらの点を検討するために、公団とは別の計算プログラムを作成した。
その要点は

- (a) 一般的に精度の高い陽的計算法である Runge-Kutta-Gill 法を用いる。
- (b) 河口や楔先端のように内部境界面の勾配のきつい区間は、独立変数と従属変数を交換し、変数変化が極端に大きくならないような方法を講じる。
- (c) 数値積分間隔 ΔX の適正を check するルーティンを組み込み、自動的に最適の ΔX に設定する。
- (d) $h_1 + h_2 + \varepsilon_b = \text{一定}$ とせずに、 h_2 も従属変数とし、 h_1 と h_2 についての微分方程式を連立させて解く。

計算結果は図-2 に示す通りである。塩淡境界面は公団計算よりやや不側になり、とくに塩水楔の先端で急に変化している。しかし、公団計算が塩水楔が河床に達する前に計算を打ち切っているため、塩水の遡上距離はほぼ同じ結果となっている。

図-2 塩水の上昇



4) より高度な塩水楔の計算に関して

塩水楔は、侵入塩水の一つの単純化された形態についての計算である。しかし、多くの場合現実とはそれほど遊離したものでないことも広く認められている。

(i) より高度な実現に近い理論としては、例えば須賀-高橋(1974)が行ったように Fjord 型 — つまり上層による下層の混入を考慮して計算することもできる。

(ii) 日野-灘岡(1977)は二層に分けずに密度・流速の分布形そのものも未知数として、かつ非定常塩水楔として求めようとしている。

(iii) さらに、高度のものとしては乱流計算の Smagorinsky-Deardorff 理論による日野・大西・羽生(1975)の非定常スキームもある。この計算では塩水の侵入形態をも仮定することなく、時間をおってつまり非定常計算がすすめられ、その結果として塩水楔が形成されるのか、あるいは強混合型になるかが示される。

こうした高度な計算は、一方において理論・計算方式の精密化につれてパラメータ数が増加し、その任意性ゆえ解の信頼性が必ずしも向上しないという点があり、他方において、計算時間と計算費用の急速な増加となり、研究レベルならばともかく、実用には未だという状態にある。

設計の本義からしても、確実な明確な塩水楔としての計算がまず行われる必要がある。

(iv) 塩水侵入を強混合型とした拡散型の計算は、主として合衆国の研究者 (Harleman, Holley ら) により行われて来た。この計算では、

抵抗係数のかわりに拡散係数(混合係数)をいかに見積るかという新たな問題が生じる。

起りうる塩水の種々侵入形態とその影響ということならば、拡散型としての計算も必要であり、さらに混合の型を規定しない非定常計算がより望ましいと言える。

しかし、本計算の目的は、最も塩水が侵入する位置はどこかという点であるから、長良川においてしばしば形成され侵入最も長い塩水楔としての計算を行ったものであると思われる。

5) 結論

a) 長良川への侵入海水が、塩淡水層をなすいわゆる塩水楔を形成しており河床せんくつ後にもこの侵入形態をとると考えることは、Hansen & Rattray や Fisher らの塩水侵入形態判別法より妥当なものと認められる。

b) 塩淡水層流(上層流下・下層静止)の境界面に働くせん断応力(内部抵抗)の係数 f_i は

$$f_i = C (Re \cdot Fr^2)^{-n}$$

で与えられ、そのべき指数が $2/3$ であることは、理論および種々の実験・実測結果から支持される。しかし、現在のところ係数 C を理論的に決定することは無理であり、またその実験実測値にも大きなバラツキがある。それゆえ、 C をある範囲内で変化させた計算を行い、塩水楔の侵入限界を推定する必要がある。

c) 公団の計算では、計算簡略化のために二・三の近似・省略が行われているが、これらはオーダー比較の方法から妥当なものとして認められる。

なお、新たに計算プログラムを作成し再計算を行った。その結果は公団計算と若干異なるが、数値的にそれ程大きな差異はない。

d) より高度な種々の理論計算法もあるが、新たに任意性のあるパラメーターがいくつか導入される結果、必ずしも計算結果の信頼性が向上するとは言えない。しかし、参考のためにこれらより高度の理論にもとづく解析を付加することが望ましい。

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会 : 水理公式集
- 2) 土木学会水理委員会密度流研究小委員会 : 成層密度流の界面現象,
(1) (2) 土木学会論文報告集, 才242・243号 (1975)
- 3) Fisher, H. B. : Mass transport mechanisms in partially stratified estuaries, *J. Fluid Mech.* vol. 53, 671-687 (1972)
- 4) Hansen, D. V. & Rattray, Jr. M. : New dimensions in estuary classification, *Limnology & Oceanography*, vol. 11, 319-326 (1966)
- 5) 日野幹雄・谷順一 : 二層密度流に関する一実験, 土木学会才21回年次学術講演会概要集才2部 (1969)
- 6) 日野幹雄・大西外明・羽生正節 : 水中温水流の数值シミュレーション, 才22回海岸工学講演会論文集, 179-184 (1975)
- 7) 岩崎敏夫・岩田州生・富岡亮一 : 二成層流における密度混合について, 土木学会才17回年次学術講演会講演概要才II部 (1962)
- 8) 椎貝博美 : On the resistance coefficient at the interface between salt and fresh water, 土木学会論文集, No. 123 (1965)
- 9) 嶋祐之 : 長良川における温水流の消長について, 土木学会年次学術講演集 (1964)

- 10) 須賀克三・高橋晃：混合を考慮した河口からの塩水くさびの
遡上，才18回水理講演会論文集 215-220 (1974)
- 11) 玉井信行：二層流境界面の抵抗係数に関する一考察，才21回
海岸工学講演会論文集，449-452 (1974)

図-2 塩水せ上図

