

3 鮫川河口の水理について

東北大学工学部 岩崎敬夫
 " 工藤蒼吾
 " 内山陽一
 東北工業大学 大川光一

1 はし 概 要

鮫川は福島県東部河部郡鮫川村戸部地区内阿武隈系三井山に
 端を築く万葉水面積570.9 km² 流路延長50 kmの本河川
 である。その河口位置は現在勿来市岩崎地区に安定してい
 る様子だが過去の資料及び土地の人の語では多くの変遷を
 だっている。又現在の河口に於いても季節的に常に淡水
 の度毎に変化している事が知られている。これらの河口変動
 の要因として多くの factor が考えられ過去の多くのスナセ
 此に關し研究し報告しているが確定的な答えを出すにはいた
 っていない。従つてこの河口変動を知るには種々なるアプロ
 ーチの仕方があると思つたが何より一着大切なのは現
 在の河口の現地特性(水理特性、水質特性、底質特性、断面特性、気象特性……etc.)を知る事であ
 りこれが解析の第一歩であると考えられる。今回はさういふ主旨に基き3回にわたつてこの鮫川
 河口調査及びそれらに対する計算考察を若干報告する。図1は調査対象とした鮫川河口の概略図であ
 り又表1は今回の研究の進め方を概式的に示したものである。



図1 鮫川河口(5000)

2 現地調査方法

水位観測は自記水位計(リッパール型1, 可搬式水
 位計2)に電水板を併用して行なつた。可搬式水位計は
 水鏡を水底に沈めその水位に比例した空気圧を陸上の
 記録計にホースで伝達する方式のもの20分の1精度が
 得られた。流速は浮標式流速計とアラウス流速計を
 使用し塩水採取観測には電気伝導計と直接採水による塩
 素量測定を併用した。河川の断面特性を知る為の横
 断測量には音響
 測深機を使用し
 船を等速航行さ
 せ連続記録を得
 た。2図にその記
 録の一部を示す。

図2-

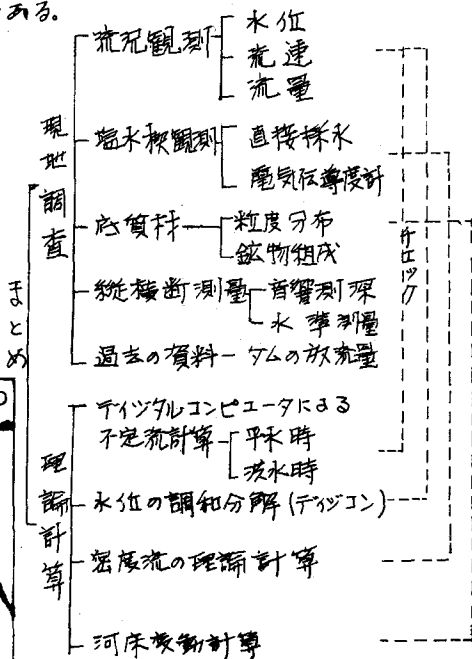
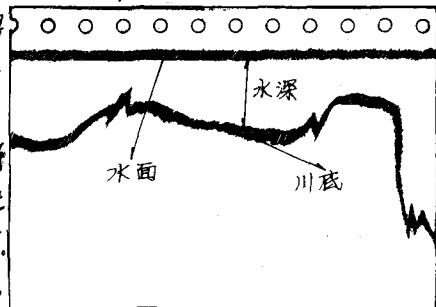


表1

§3 調査と計算の結果

3-1 水位、流量、流速

図3に今回の実験結果と計算結果を示す。不定流計算は東北大学計算機センターのS2200-MODEL500により行った。簡単に計算方法を述べると

$$\text{運動方程式} \quad \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2g} \right) + \frac{\eta^2 V V}{R^3} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{----- (2)}$$

(1)(2)式を差分化(境界条件として下流端に実測水位或いは外河水位(エー)をとり、上流端では流量(Q-t)を手で数値計算した。尚初期値は不等流計算の結果を与えた。ここで問題なのはΔtとΔxのとり方一般に $\frac{\Delta x}{\Delta t} \leq (V+gH)_{\max}$ なる収束が保たれている。野川の場合調査区間全体で河口から約5km位で必然的に計算格子間隔も小さくなり、結局種々のcaseを平均するとΔx≒500m Δt=20~30 sec 従って $\frac{\Delta x}{\Delta t} \approx 16 \sim 25$ となり $(V+gH)_{\max} = 10$ より大きく十分な精度が得られた。図3のAは

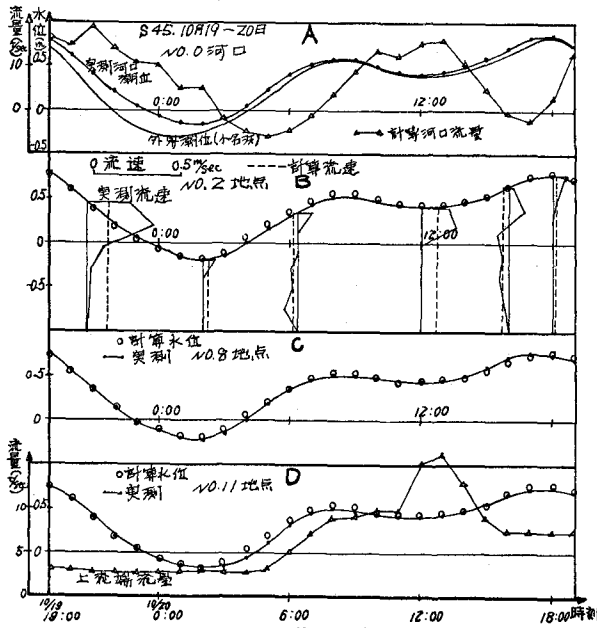


図3. 調査時流況図

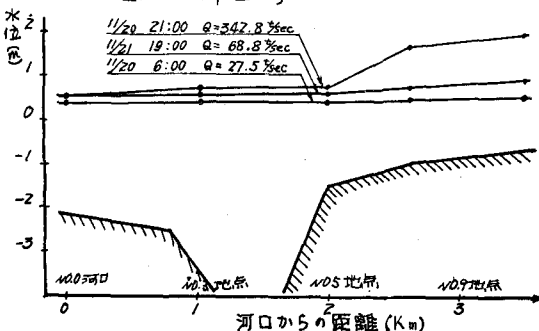


図4. 洪水時水面形

1970年10月19日の24時間流況観測時の河口の実測水位とこの時の小石沢港の観測である。△-△の線は計算による河口流量である。B, C, D図は各測定点の実測水位と計算水位の比較でありよく一致している。更にB図には実測及び計算の流速分布を示した。これを見るとエー下側下下側時と流速の反転が対応しておりA図の河口流量ともよく相関を示している。従って適切な境界条件時に河口の計算では河口水位が実測と与えられるから計算でも十分流況を把握出来ると考えられる。しかしこの計算法では流速は平均流速としか与えられず河口の様相に塩分の侵入により密度流を形成している場合の実際の流速分布が分からず今後二層流を考えた不定流解析を確立するのが一つの課題である。次に図4は1970.12.19の豪雨による洪水時の計算による水面形である。これはより流量の少ない時の水面勾配はほとんどないが流量の大きい洪水ピーク時には河口10.5の地点から急に勾配が大きくなった。これは河口から5の地点までは水深が浅くとも大きく5より上流は急激に断面が小さくなった。このためと考えられる。即ち河口から10.5の所までは外河と同じような段割を築き5がコントロールセクションになり、それより河口の様相流況を呈していると思われる。これは治水標の項でも述べる。

3-Z 鹽水楔

前節では河口の一般的状況を述べたが現実の河口を知るには湖水の侵入による影響を考慮に入れる必要がある。河口に侵入する湖水は元来潮汐の大きさ、河川流量、地勢特性によりその侵入長が限定される。又河川水と湖水の密度差の為密度流が形成される。その流れはH. STOMMELによるとその程度により弱混合型、混合型、強混合型の3つに大別される。ここでは潮汐と関係ある弱混合型ないし混合型について述べる。密度流の一般式は次の式で表わされる。記号は図5に示す

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u_1}{\partial t} - i + \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2g} \right) + i_{f_1} = 0 \quad \text{---- (3)}$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u_2}{\partial t} - i + (1-\varepsilon) \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_2^2}{2g} \right) + \eta_2 = 0 \dots (4)$$

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + u \frac{\partial h_2}{\partial x} + h_2 \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \text{---(5)}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial t_1} + u_2 \frac{\partial f_2}{\partial x} + f_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} = 0 \quad \text{---(b)}$$

$$= 2\mu_1 \quad \mu_1) \text{摩擦勾配} \quad \mu_1 = \frac{L_1}{P_1 g R_1} \quad \mu_2 = \frac{L_2 - L_1}{P_2 g R_2} \quad \therefore \text{あり } L_1, L_2 \text{ は更に次の様に与える。}$$

$$\tau_i = f_i' \cdot \frac{p}{2} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \quad \tau_b = f_b' \cdot \frac{p}{2} u_2 |u_2| \quad f_i' \text{ 及び } f_b' \text{ は内部境界面 } u \text{ での抵抗係数である.}$$

今定常状態を考慮して $i=0$ $\frac{u_1^2}{gH_1} \ll 1$ 満潮時 $u_2=0$ 等を仮定して上式を変形して $\ll$ と箱型方程式の型で表わされる。 $z=z_0 = \frac{H_2}{2}$ $(\bar{u}_1)^2 = \frac{u_1}{\frac{2gH_1}{3}}$ といえる。

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial x} = \frac{f_i'}{Z_H} \cdot \frac{1}{\eta_2 - (\bar{H}_1)^2 \cdot \eta_2 (1 - \eta_2)^3} \quad \text{----- (7)}$$

(7) 式を積分して $x=0$ で $(\eta_{ic})^3 = (\bar{F}_i')^2$ の条件を考えると (8) 式が導かれる。

$$x = \frac{2\hbar}{f_1} \left[\frac{1}{2}(1-q_2)^2 - (1-q_2) + \frac{1}{4(\bar{F}_1)^2}(1-q_2)^4 - \frac{1}{5(\bar{F}_1)^2}(1-q_2)^5 + \frac{3}{4}(\bar{F}_1)^{\frac{2}{3}} - \frac{3}{10}(\bar{F}_1)^{\frac{4}{3}} \right] \text{-----}(8)$$

従って塩水楔の侵入長は $n_2 = 0$ となる $x = L$ で示される

$$L = \frac{2A}{f_n'} \left[\frac{1}{20(\bar{F}_1')} - \frac{1}{2} + \frac{3}{4}(\bar{F}_1')^{\frac{2}{3}} - \frac{3}{10}(\bar{F}_1')^{\frac{4}{3}} \right] \text{-----}(9)$$

図6, 7, 8は採水による塩素量を測定した結果を示す等塩素量線である。塩素量は30ppmから18000ppm位の間にあった。等塩素量線にはほぼ楕型をしており新水は大河河口から30~35km位の地点まで侵入している事が分かる。次に塩素量の等直分率をみると河口より2km位までの所では表層と底層との塩素量の差はほとんどなくほぼ等しくなっている。一方2kmより上流だと表層と底層とのorderの差は塩分濃度が異なり明確な密度流も形成している。これは先に水位の

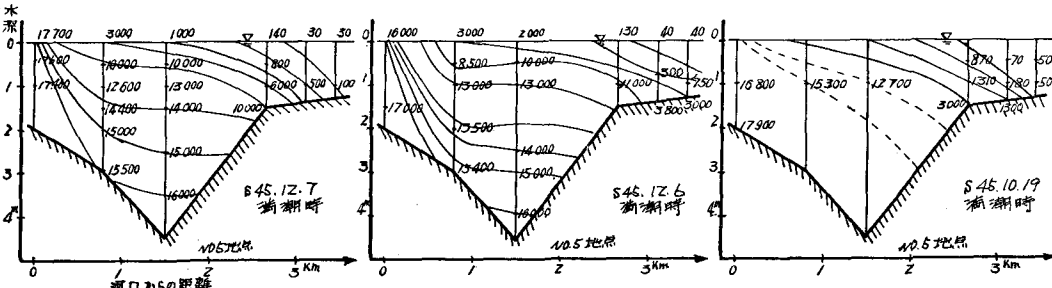


圖 6 等塩素量線

圖 7

8 11

前述べた様に河口より2km位の地点までは断面が本梁中央近く同じような水理になっていると考えられ2km地点から海水が河川に侵入している印象を与えている。2kmより上流では塩素濃度が1500~3500ppmを境として急激に変化している。従って3500ppmを塩水と淡水の交界とした境界面と考えたとしておきたいと思う。これも図示した図9図である。河口より2kmの地点一つの支配断面とすると塩水楔の侵入長は約1~1.5km位である事が分かる。前述の(8), (9)式を用いて2km地点を新しい河口とみなして塩水楔長、境界面を求めたものが破線で示される。ここに問題なのは内海境界面の抵抗係数 f_i の取り方である多くの研究者により提唱されているが本計算では推定の式 $f_i = 12/4$

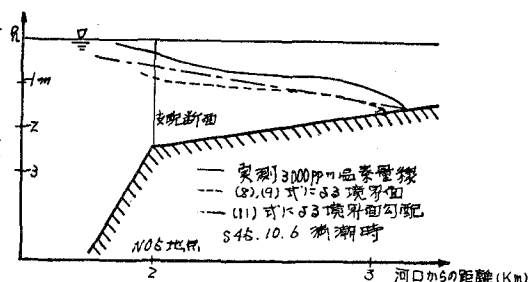


図 9

と上述の計算方法と別に塩水淡水の境界面を知る為の实用的な計算方法を試みてみた。(2) 基本式は、(3)(4)(5)(6)式と同じである。(3)式 - (4)式より (但し $\frac{dh}{dx} = 0$ とする)

$$\varepsilon \frac{dh}{dx} + \frac{d}{2g} \frac{d}{dx} (u_1^2 - u_2^2) = f_b' - f_i' = f_b' \frac{u_1 |u_1|}{2gh_1} - f_i' \frac{(u_1 - u_2) |u_1 - u_2|}{2gh_2} - f_i' \frac{(u_1 - u_2) |u_1 - u_2|}{2gh_1} \dots (10)$$

ここで微混合の場合を仮定すると u_1, u_2 にそれ程明確な差が生じないと考えられ便宜的に $u_1 = u_2$ とおいておいておきたいとすると(10)式は非常に簡単に(11)式になる。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{f_b'}{\varepsilon} \frac{u_1 |u_1|}{2gh_1} \dots (11) \quad \therefore f_b' = \frac{2g}{C^2} \quad C = \frac{R^{1/6}}{\eta} \text{ とする}$$

u_1, h_1, f_b' が与えられるなら(11)式より $\frac{dh}{dx}$ 即ち境界面の勾配の概略値を求める事が出来る。(9)式で計算したLの長さは $u = 0.15 \text{ m/sec}$ とし平均水深 $h = 1.3 \text{ m}$ とするとLは1150mとなり実測侵入長と近い値を示している。又(11)式と上と同じ条件の時計算すると $\frac{dh}{dx} \approx \frac{1}{1200}$ となり実測勾配 (但し3500ppm 図) に近似している。従って(9), (11)式により内海境界面勾配と摩擦勾配のつりあい状態が計算され支配断面付近を離れると漸近するものと考えられる。

§4 結 び

以上主に観測時の水位流量流速及び塩水楔について述べた。分かった事は平時には水面勾配はほとんどなくなり、河口から2km位までは河川の影響のみで流れる様な状況を示す事。これは塩水楔の侵入状況からも分かった。更に駿川の密度流は弱混合型ないし微混合型に分類される事。更に現在、水位の周期分析、底質特性等解析中であるが断面の都合で報告出来ず機会があったら報告したい。尚資料をいろいろ提供して下さいた高島県土木事務所の方々に深く感謝いたします。最後に本研究は昭和45年度文部省科学研究所費の援助を受けた。

参考文献; (1) 岩崎敏夫; 密度流の問題 (1966 年度水工学に関する夏期研究会講演集)

(2) 伊藤剛, 佐藤清一, 岩井, 岩永正昭; 河口の塩水楔について (第5回海岸工学講演集)

(3) G. H. KEULEGAN; The Mechanism of an Arrested Saline Wedge (Estuary & Coastline Hydrodynamics 第11号 P546)