

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3171号

土木研究所資料

感潮河川の塩水遡上実態と混合特性

平成5年3月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

「Copyright © (1993) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

感潮河川の塩水遡上実態と混合特性

河川研究室 室 長 山 本 晃 一

主任研究員 高 橋 晃

深 谷 渉

要 旨

本報告書は、河道内への塩水遡上現象の実態調査資料を分析し、塩水遡上の諸特性や水理諸量、河道諸元との関係等についてとりまとめ、海水面変化による塩水遡上の変化特性について検討したものである。さらに塩水遡上の基礎的な水理特性や予測手法等のこれまでの研究成果についてもとりまとめた。

キーワード：塩水くさび，二層流，密度流，混合形態，感潮河川，選択取水

は じ め に

感潮河川では、河川流量の低下する渇水時に海水が河道内深く侵入し、流域の上水、農水、工水等の水利用に大きな影響を及ぼす。また、地球温暖化に伴って、将来海水面が上昇した場合は、このような問題がより顕在化するものと考えられる。

ここでは全国河川の塩水遡上現象の実態調査等を通し、塩水遡上の諸特性や水理諸量、河道諸元との関係等について調べ、さらに海面上昇に伴う塩水遡上範囲、混合形態等の一般的な変化特性について検討した。

本報告書は、塩水遡上の基礎的な水理特性や予測手法についてのこれまでの研究成果も含め、これら全体をとりまとめたものである。

目 次

はじめに

第1章 調査の目的と内容

- 1-1 調査の目的.....1
- 1-2 現地資料の収集と調査内容.....1

第2章 河口部の塩水遡上現象

- 2-1 塩水遡上の形態.....2
- 2-2 塩水遡上に伴う諸問題.....3
- 2-3 河口の水理条件.....4

第3章 河川における塩水遡上の実態と諸特性

- 3-1 塩水遡上とその影響要因.....6
- 3-2 潮位変動と塩水遡上状況.....6
 - 3-2-1 潮位変動.....6
 - 3-2-2 潮位変動と混合形態および塩水遡上状況.....7
- 3-3 河道形状と塩水遡上状況.....9
 - 3-3-1 河道地形と塩水遡上.....9
 - 3-3-2 河口形状と塩水遡上.....10
 - 3-3-3 河道内構造物等による塩水遡上防止と混合特性.....11

第4章 塩水遡上変化とその予測

- 4-1 塩水遡上の解析手法.....13
 - 4-1-1 塩水くさびモデル.....13
 - 1) 基礎方程式と解析.....13
 - 2) 水平床における塩水くさび形状.....15
 - 3) 河口地形、河床抵抗を考慮した塩水くさび形状.....16
 - 4) 混合を考慮した場合の塩水くさび形状.....17
 - 5) 二層境界面の内部抵抗係数と達行係数.....21
 - 6) 塩水くさびモデルの適用範囲と計算上の留意事項.....23
 - 4-1-2 一次元拡散不定流モデル.....25
 - 1) 基礎方程式.....25
 - 2) モデル定数等について.....27
- 4-2 塩水くさびの水理特性.....27
 - 4-2-1 塩水くさびの進行速度.....27
 - 4-2-2 水門からの塩水侵入限界.....30

4-2-3 下層塩水の取水限界	34
4-3 海面上昇に伴う塩水遡上現象の変化特性	42
4-3-1 混合形態について	42
4-3-2 塩水遡上について	42
4-4 今後の問題点	42
あとがき	43
参考文献	44
Appendix：河道内塩水遡上に関するアンケートおよび集計表	46

第1章 調査の目的と内容

1-1 調査の目的

河口部における塩水の遡上現象は、取水、塩害、洪水の疎通、あるいは水産資源の保護等の問題に多大な影響を及ぼし、社会的にも技術的にも多くの感心が寄せられている。また、近年水資源の有効利用とともに、地球温暖化に伴う海面上昇の問題あるいは河道計画のうえからも塩水遡上の諸特性やその実態を解明することが重要となっている。しかしながら、河道内への塩水遡上は、河道の特性や河川流量、潮汐、気象要因等によって塩水の侵入状況も異なるため、いまだに不明確な部分も多い。このため個々の河川における外力や河道条件の変化に対応した塩水遡上現象を把握し、塩水遡上の一般的な特性を明らかにしていくことが重要とされている。

本調査は、全国河川の塩水遡上に関する調査資料等の収集とアンケート調査を行い、その実態や混合形態の諸特性について検討するものである。さらに海面が上昇した場合の影響範囲や塩水遡上および混合形態の変化特性等について解明することも目的とした。

1-2 現地資料の収集と調査内容

塩水遡上の実態に関するアンケート調査と塩水遡上調査資料の収集は、各地方建設局45工事事務所の73河川について実施した。アンケート調査の内容は、①河道諸元と水理諸量（河川名、流域面積、流路延長、河口幅と河床高、河床勾配、横断構造物の有無、計画流量、平均年最大流量、渇水量、低水量、平水および豊水量等）、②海象特性（平均潮位、朔望平均満潮位、朔望平均干潮位、既往最高潮位、大潮・中潮・小潮時の潮位変動量、感潮区間長、入退潮量等）、③塩水遡上の実態（塩水侵入長と河川流量および潮汐の関係、河道内における淡塩水の混合形態等）等である。この他に河道の縦横断および平面図、河道内塩水遡上調査および解析（濃度分布、塩水くさび形状、混合形態と月齢等の関係）に関する資料等についても収集した。このアンケート調査要領をAppendix表-1に、アンケート調査結果の一次集計表をAppendix表-2として巻末に掲載した。また、塩水遡上とこれを支配する主要な水理諸量、河道諸元の関係の調査一覧表をAppendix表-3に示す。表-3には、以前に須賀¹⁾が調査した資料も含めて示してある。

今回の収集資料73河川のうち、河道内の塩水遡上調査が行われているのは44河川で、調査資料も入手できたのは37河川であった。また、感潮区間内に塩害防止のための潮止め堰等の構造物を有している河川は20にも及んでいる。

第2章 河口部の塩水遡上現象

2-1 塩水遡上の形態

一般に河口部においては、海水と淡水の密度差により、海水は河水の下に入り込んで力学的平衡に達しようとする流れを生じる。この場合、潮汐や河道の地形、河川流水の特性等の影響により、淡塩水の混合状態が図-2.1に示すように、弱混合型（塩水くさび）、緩混合型および強混合型の3種に分類されることがよく知られている。

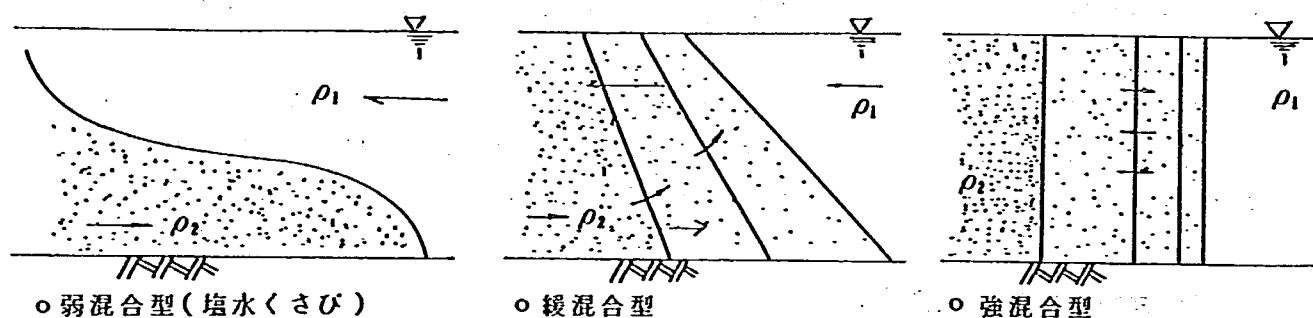


図-2.1 混合形態の分類

弱混合型は、海水と淡水の混合を促すような働きが少なく、両者は鉛直方向に二層の状態となり、内部の境界面は、そこに働くせん断力の作用によってある傾きを有し、一般に塩水くさびと称する形状となる。したがって、混合現象の役割は小さく、異種の流体の相互運動という面が大きい部分を占める。

緩混合型は、ある程度乱れによって河水と海水との混合が生じる場合で、密度勾配が鉛直方向に連続しているような状態である。強混合型は、鉛直方向の密度差が比較的少なく縦断方向に密度の勾配が存在している場合の状態を示す。しかし、このような混合形態の分類については、明確な定義に基づいたものではなく、またこれらの間に明瞭な境界が存在するわけでもない。

一般に潮位変動量の小さい日本海側の河川では弱混合型が多く、潮位変動量が大きくなると強混合型へと移行する。また、感潮面積の大きい河川ほど強混合型の特性が顕著となる。潮位変動量と周期は、月齢によって変化するので、混合形態もそれによって変化する。嶋²⁾の長良川における調査結果によると、低水時には、小潮後に弱混合、大潮後に強混合型が現われる。そこには2~3日の位相差が存在する。

塩水の遡上距離は、弱混合のときが最も長く、強混合のときには短くなることが多い。潮位変動に伴って塩水くさびの長さや塩水濃度も変化する。塩水くさび先端部の移動には、くさびの伝播速度および河床面の摩擦等が大きな影響を与える。このとき河床面のくぼみや滞り筋等の効果により、下層の塩水層において混合が促進され、縦断的な濃度変化が生じる。上層の淡水層には、下層の高濃度の塩水が混入し、拡散によって濃度勾配を生じる。このようにして弱混合から緩混合型に、さら

に緩混合から強混合型へと変化する。潮位変化が小さくなると、多少の位相おくれを伴って、逆の方向に混合形態が変化して行く。このとき過去の状態の影響が相当程度残存し、その履歴作用が無視できないと言われている。

流量の影響は、自流量と入退潮量とに分けて考える必要がある。入退潮量が大きい場合には、自流量の影響を無視しうることが多いが、日本海側の潮位変化の小さい河川では自流量によって、塩水くさびの遡上距離が大きく左右される。

河道内の塩分濃度およびその分布状態に影響を与える要素は、この他にも数多くのものが考えられ、これらの要素が複雑に作用し合うので、現在までの理論を用いて直ちにそれぞれの河川の種々の条件で塩分状況を知ることは不可能な状況にあり、現地観測により支配的な要素およびその相互関係を明らかにすることが重要視されている。

2-2 塩水遡上に伴う諸問題

塩水遡上に関し、一般に現場の問題として、現象面からみて多く現われる事項は次のようである。

- ①維持流量の減少に伴う塩水遡上距離の増大
- ②砂利採取および河道掘削に伴う塩水遡上距離の増大
- ③河口処理計画に伴う塩水遡上距離の増大
- ④河道整正および河床低下に伴う塩水遡上状況の変化
- ⑤感潮区域の増減に伴う塩水遡上距離の変化
- ⑥河口堰設置に伴う堰下流の水質変化
- ⑦河口堰水門操作に伴う塩水の水門通過特性
- ⑧河口堰水門操作に伴う堰下流塩水の排除
- ⑨高潮時の塩水遡上
- ⑩出水時の塩水排除特性と河道の有効断面積
- ⑪荒天時の風による水質変化
- ⑫湖の淡水化
- ⑬河川水の河口流出に伴う拡散と土砂沈積

さらに近年では、地球環境の変化による以下の問題が実際的な問題となっている。

- ⑭海水面の上昇による塩水遡上距離の増大

以上のように塩水遡上現象は、河川の計画および維持管理等の実際面と深い関連を有するものである。さらにこれらの現象と密接な関係を有する具体的な治水、利水および河川環境上の主要な河川計画に関する諸問題を列挙すれば以下のようである。

- ①河口処理工および河道断面形の決定
- ②河口堰の設置位置および水門操作規定の決定
- ③維持流量の最小値の決定
- ④取水可能最下流地点の決定
- ⑤潮位変動利用取水
- ⑥細粒物質の堆積とフラッシュ

- ⑦魚貝類の生息条件とその維持対策
- ⑧地下水の塩水化とその対策
- ⑨塩水遡上距離の短縮法
- ⑩湖沼の淡水化

以上の諸問題は、単独に塩水遡上現象の考察のみによって解決されることとはならないが、塩水遡上の現象が十分考慮されなければならないという意味である。また、現時点において問題の発生がみられなくとも将来の問題のために、現時点の資料をとっておくことも必要である。なお、塩水遡上に関する調査計画や調査法については、文献3) に詳しく述べられている。

2-3 河口の水理条件

二層流の形成される河川では、河口のように急激にその川幅が増すところで、定常的な内部ジャンプを生じ、ある一つの条件を満足するように制御される⁹⁾。この条件は内部フルード数 $F_{r1} = u_1 / \sqrt{\epsilon g h_1}$ がほぼ1に等しいことであるとされている。すなわち、このときの淡水深が限界水深 h_{1c} で

$$h_{1c} = u_1 / \epsilon g = \sqrt[3]{Q_1^2 / \epsilon g B^2} \quad (2-1)$$

となる。ここでいう限界水深とは、通常限界水深ではなく密度差を考慮した内部限界水深と称すべきものである。ここに u_1 : 淡水の流速, $\epsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ (ρ_2 : 塩水密度, ρ_1 : 淡水の密度), Q_1 : 淡水流量, B : 河口幅である。

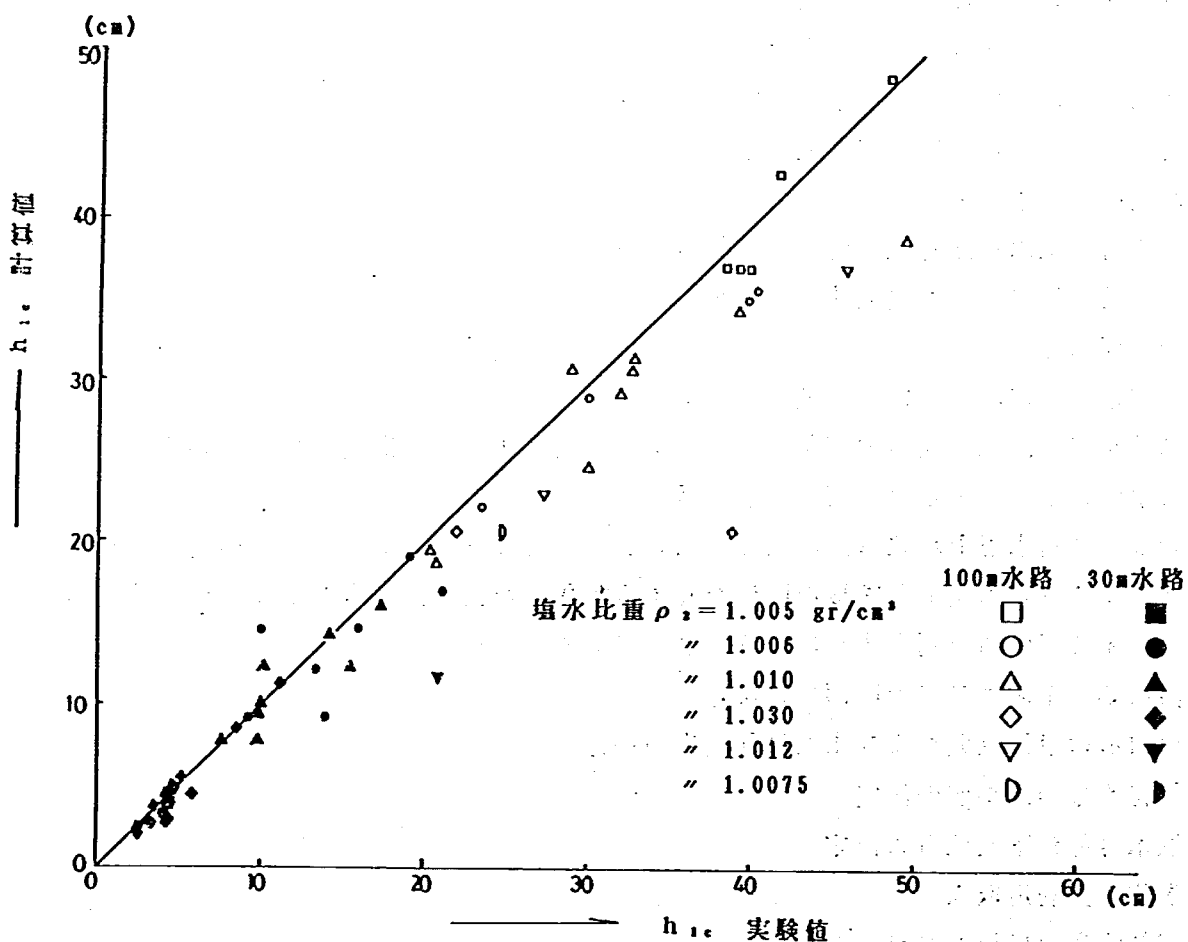


図-2.2 限界水深の比較

図-2.2は、実験水路における水路末端の限界水深について(2-1)式の計算値と実験値を比較したものである¹⁾。実験においても水路末端から海部の川幅変化点で、 $F_{r1} = 1$ の条件をほぼ満足している。なお、一般の断面形で水面幅 B_1 と淡塩水の境界面幅 B_2 が異なる場合、限界水深 h_{1c} は

$$h_{1c} = \sqrt[3]{\frac{Q_1^2 \left\{ \epsilon + (1-\epsilon) \frac{B_2}{B_1} \right\}}{\epsilon g \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right)^2}} \quad (2-2)$$

となる。次に塩水くさびの河口内への侵入限界流量は、(2-1)式より

$$Q_0 = \sqrt{\epsilon g H} \cdot A \quad (2-3)$$

となる。ここに Q_0 ：塩水くさびが河口内に存在しうる限界淡水流量、 A ：河口断面積、 H ：河口水深である。

いっぽう、河口では流れが制御されると同時に河口内に入る塩分もまた制御される。河口内で混合がある程度以上進行しても、塩分差が変化しなくなる限界状況が存在することから、塩分濃度は外界への開口部の特性によって制御されと考え、Stommel-Farmerは限界状況の塩分濃度と淡水層の厚さの関係として次式を導いた²⁾。

$$\nu = 1 - \sqrt[3]{F^2/n^4} \quad (2-4)$$

ここに ν ：河口の淡水層と海水層の塩分濃度の比($=S_1/S_2$)、 n ：河口での淡水層の厚さと全水深の比、 $F^2 = q^2/ga S_2 H^3$ 、 q ：河川の単位幅流量、 $a = |(\rho_1/\rho_0) - 1| S_1$ 、 ρ_1 ：淡水密度、 ρ_0 ：純水密度、 S_1 ：淡水中の塩分濃度、 H ：河口水深である。

以上のような河口の水理条件は、河口の有効断面積、塩水の遡上距離や塩水侵入限界を知るうえで非常に重要である。

第3章 河川における塩水遡上の実態と諸特性

3-1 塩水遡上とその影響要因

河道内への塩水侵入を支配する要素としては、一般に潮位変動、平均海水面高、河川流量、河口および河道地形（縦断形、横断形、平面形）、海水および河川水の密度、気象要素（風向、風速、気圧等）、波浪、沿岸潮流および人工要素（取排水、船舶航行）等がある。タイムスケールを時間ないし日程度とし、かつ波浪や沿岸潮流等の影響を無視すると、塩水遡上を支配する主な要因は、潮位変動、河川流量、河口および河道地形と考えられる。ここでは特にこれらに着目して塩水遡上の実態について検討を行うことにした。

3-2 潮位変動と塩水遡上状況

3-2-1 潮位変動

潮位変動は、河道内の塩水遡上現象に対し、淡塩水の混合、塩水遡上距離を支配する主要な因子となる。日本沿岸の潮位変動量の概略は、日本海側が大潮時で約30~50cm、小潮時で約10~20cmであり、大潮時には平均潮位が高く、小潮時には低い。さらに日潮不等が著しく、1回潮となることもある。これに対し、太平洋側の潮位変動量は日本海側より大きく、北海道および本州東岸で大潮時が約1.0~1.5m、小潮時が約0.3~0.5mである。さらに本州南岸及び四国、九州の太平洋岸は、大潮時で約1.5~2.0m、小潮時で約0.5~0.8mと大きくなる。瀬戸内海や東シナ海の潮位変動量はさらに大きくなり、有明海では大潮時に約4.0~5.0mにも達し、小潮時でも約1.5~2.0m生じる。

いっぽう、平均海水面の季節変化は、図-3.1に示すように、日本海側が3~4月に最低、8月に最高となりその差は約40cmであって、平均海水面の昇降が潮汐による昇降と同程度であるため、夏の最低潮高が春の最高潮高とほぼ同じ高さとなる場合もある。このため渇水時で、かつ平均海水面が高くなる夏季の大潮時には、塩水が河道内奥深く侵入し、塩害による取水難の問題が発生するようになる。太平洋側も同様に3~4月に最低、8~9月に最高となるが、その差は約20cm弱と日本海側の半分以下の変化である。

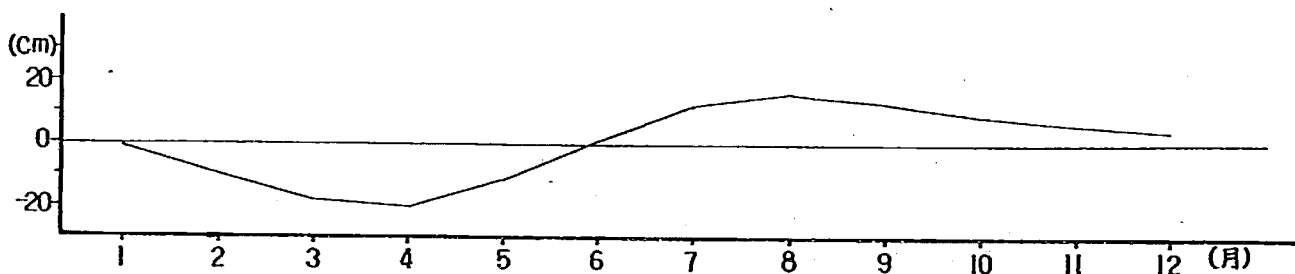


図-3.1 (1) 日本海側の平均海水面の季節変化

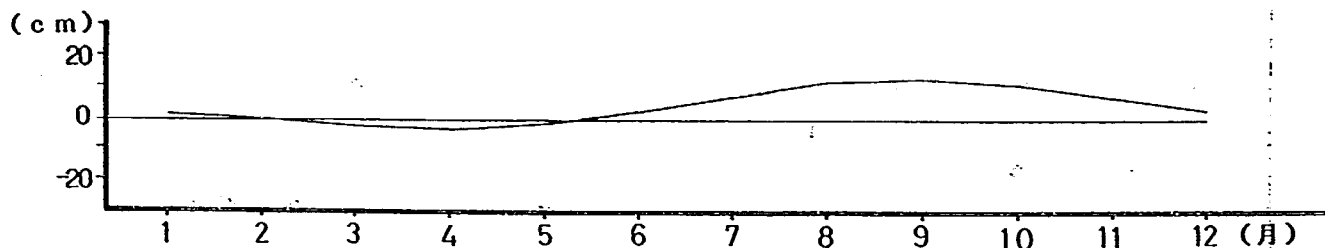


図-3.1 (2) 太平洋側の平均海水面の季節変化

3-2-2 潮位変動と混合形態および塩水遡上状況

須賀¹⁾は、潮位変動による塩水遡上の混合形態について、河口付近における水面の塩素イオン濃度が底付近の $1/10$ 以下の場合を弱混合、 $1/10 \sim 1/2$ の間を緩混合、 $1/2$ 以上の場合を強混合と定義して分類している。ここではこのような定義に基づいた混合形態の分類を適用し、潮位変動量と塩水遡上との関係について種々調べた。

図-3.2は、須賀と同様な整理を行って感潮区間長と大潮時の潮位変動量との関係を、アンケート調査資料より示したものである。同図資料の河川における平水時の単位幅当りの自流量 q_r は、おおよそ $0.2 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の場合である。河川の自流量のが大きくなると混合も増大するが、反面塩水の遡上距離は減少する。図-3.2によると大潮時の潮位変動量が約 0.7 m 以下で、感潮区間長が 10 km 以内であれば、常時弱混合形態となるようである。感潮区間長がさらに大きくなると潮位変動量が小さくとも緩混合形態へと移行する。これは感潮区間長が長くなると入退潮量の増大、下層塩水の上層淡水側への連行量の増大等によって、混合が促進されるためと考えられる。このようなことから感潮区間長が 20 km 付近になると、大潮時の潮位変動量が約 0.5 m 以下、感潮区間長が 30 km 付近では約 0.3 m 以下の潮位変動量であれば、弱混合形態となるようである。大潮時の潮位変動量がこれより大きくなり、感潮区間長が同様に 10 km 以下では、その変動量が約 $0.7 \sim 2.5 \text{ m}$ でほぼ緩混合形態である。感潮区間長が大きくなると、弱混合時と同じように潮位変動量が小さくとも混合が促進する。感潮区間長が 30 km 付近では、大潮時の潮位変動量が約 $0.3 \sim 2.0 \text{ m}$ の範囲でほぼ緩混合の状態である。さらにこの緩混合形態の潮位変動量より大きい範囲は、いわゆる強混合形態となる。ただし、図からも分かるように、緩混合形態と強混合形態は濃度分布等に明瞭な違いが生じないことから、この区分にどうしても曖昧な面が残るのは否めない。

図-3.2の結果によれば、将来海面上昇によって感潮区間長が増大し、かつ大潮時の潮位変動量が混合形態の領域区分の境界付近にある場合、その形態が変化する可能性がある。ただし、感潮区間長が増大しても混合の度合いが若干増えと考えられるが、混合形態が大幅に変化することはないと判断できる。

同様に各河川で調査された既往最大とされる塩水遡上距離と、大潮時の潮位変動量及び混合形態との関係について整理したものが図-3.3である。これによっても混合形態が主として潮位変動量によって良く分類できることが明らかとなった。塩水遡上距離が増大すると混合が促進される傾向となり、その混合形態と大潮時の潮位変動量の関係は、先の図-3.2とほぼ同じである。

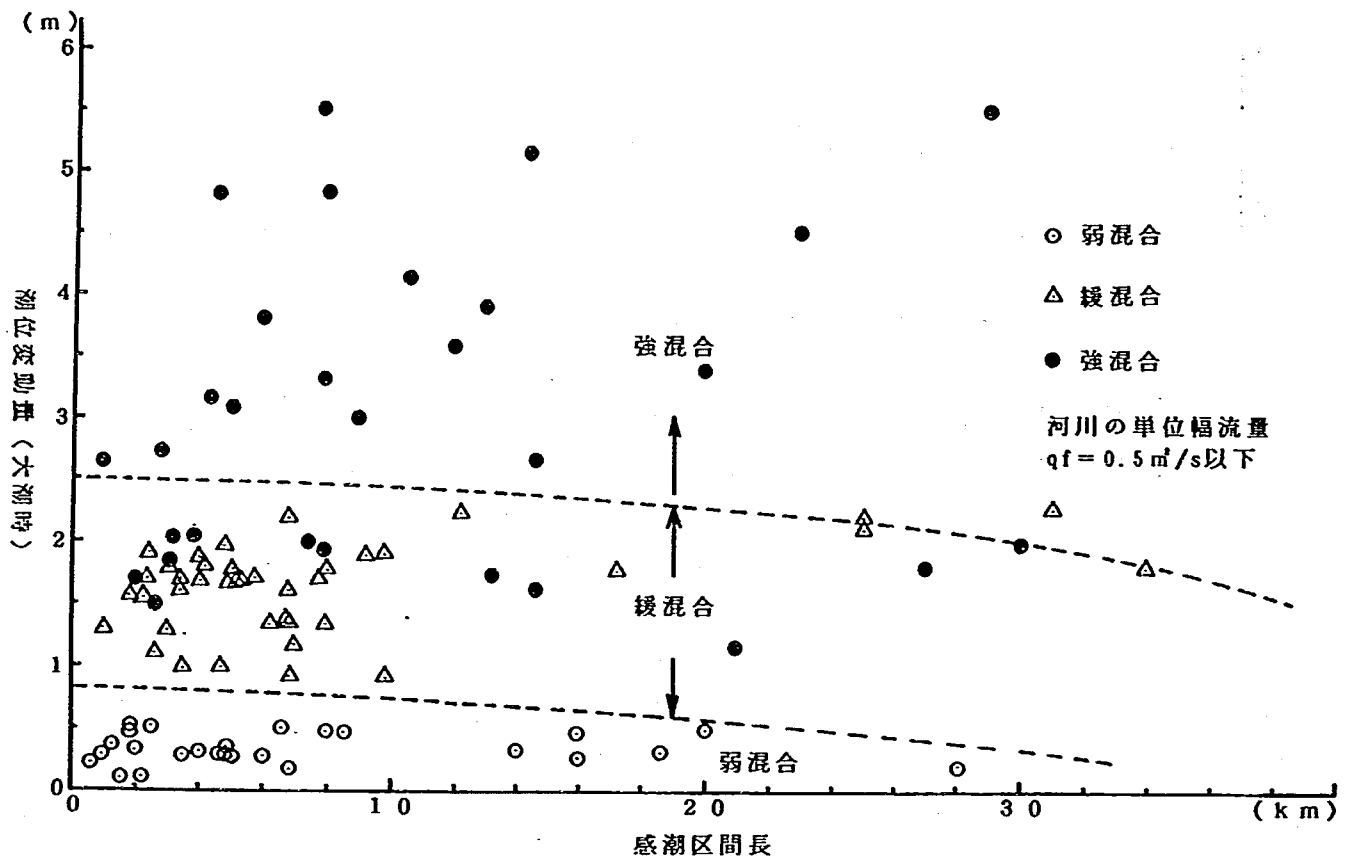


図-3.2 混合形態と潮位変動量、感潮区間長の関係

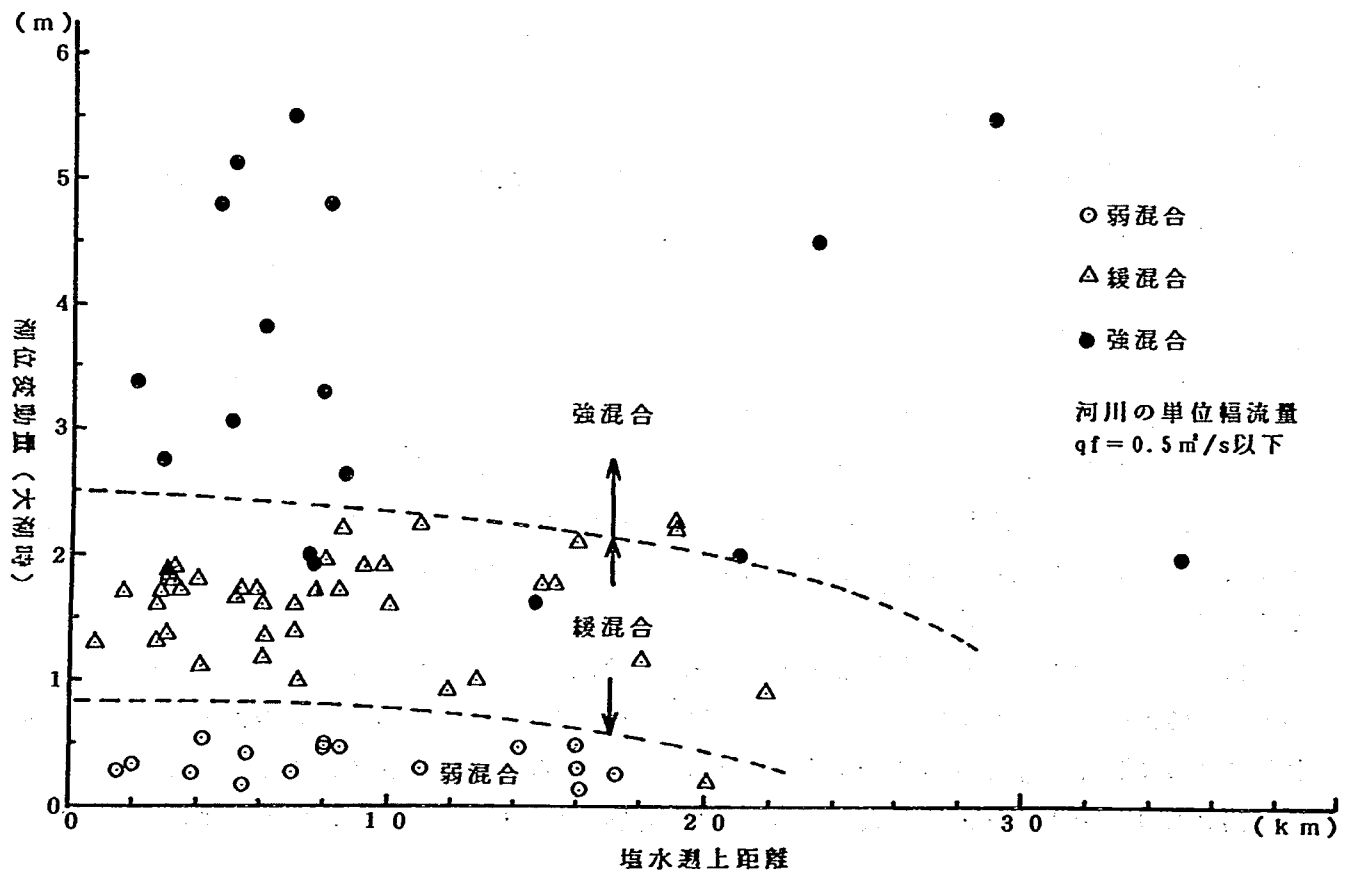


図-3.3 混合形態と潮位変動量、塩水遡上距離の関係

以上のように混合形態は、潮位変動量によってある程度分類できたが、潮位変動量と周期は月齢によって変化するので、混合状態はそれによっても変化することになる。すなわち、図-3.4の月齢と混合形態の概略の関係に示すように、緩混合あるいは強混合に分類される河川においても、上下弦を中心とした小潮時には、弱混合や緩混合の状態が出現する。このとき下層の塩素イオン濃度および塩水遡上距離が増大する。また、弱混合あるいは緩混合の河川であっても、大潮時（朔望）には緩混合や強混合に近い状況が現われ、塩水の遡上距離は減少する。このような状態は、多少の日数のずれをもって出現し、さらに河道内の塩分濃度は、その時点までの状態の影響が相当程度残存し、履歴作用が無視できないと言われている²⁾。

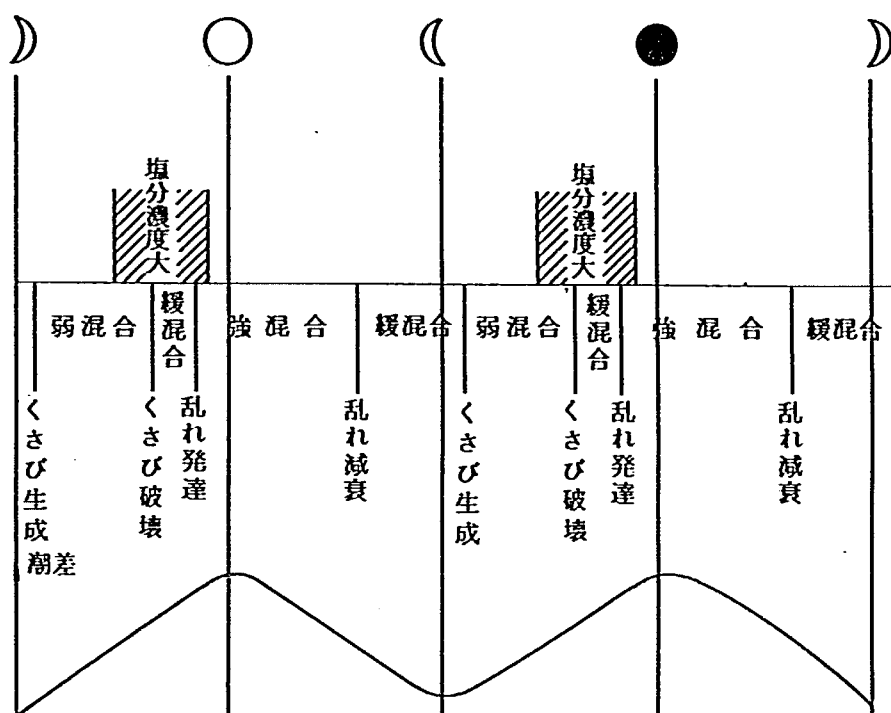


図-3.4 月齢と混合形態の概略の関係

3-3 河道形状と塩水遡上状況

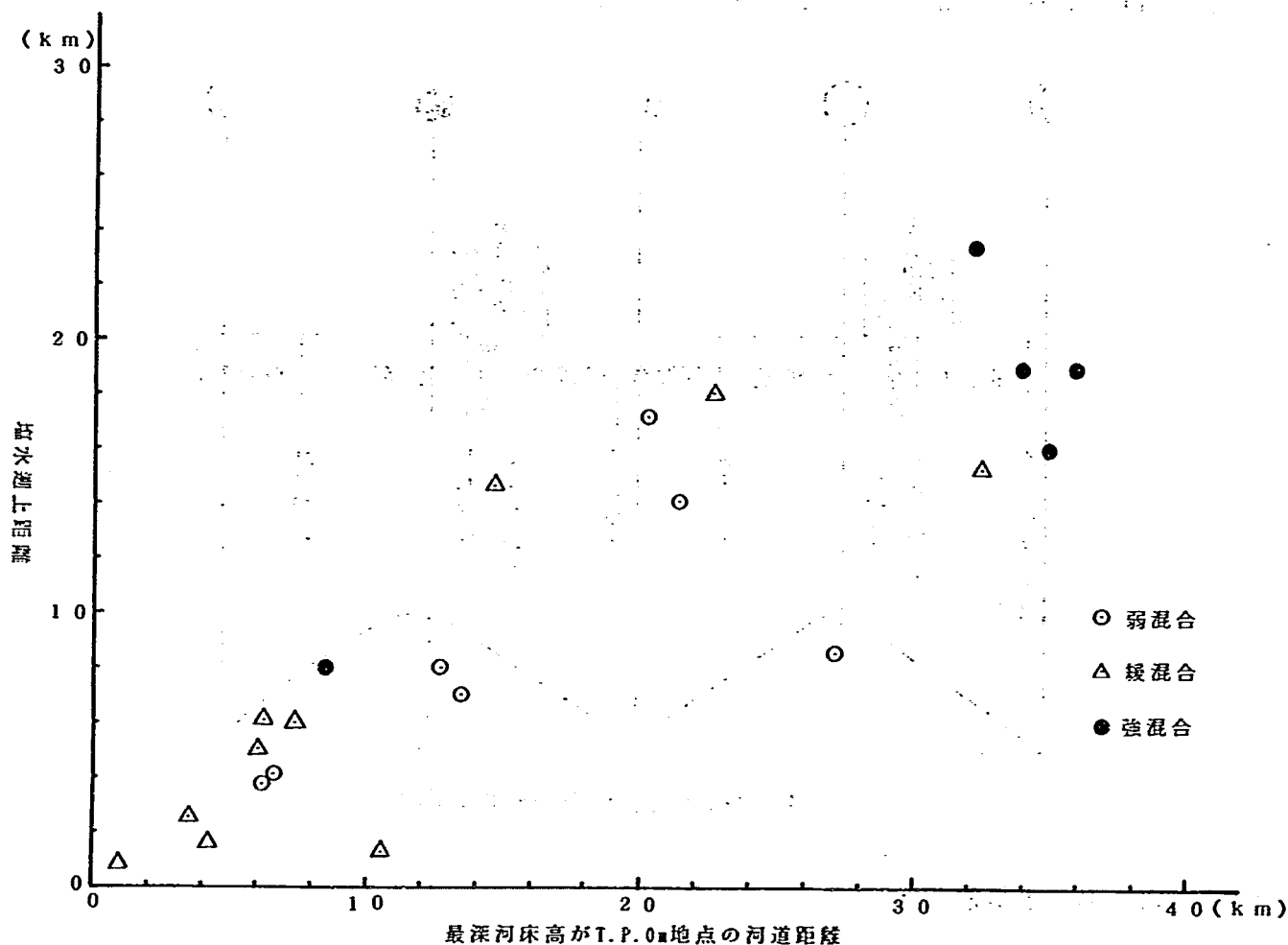
3-3-1 河道地形と塩水遡上

河道内への塩水遡上は、流量や河口地形（河口砂州）のほかに河道の形状、とくに最深河床高が大きな影響を与える。一般に塩水先端部はくさび状となって、最深河床部を遡上する。河道縦断の途中に河床高の高い場所がある場合、そこで塩水遡上が妨げられ、潮位の上昇や流量がさらに減少するとそこを乗り越えて一気に次の河床高の高い所まで遡上する。このような河道途中の河床高の低い部分に一旦遡上した塩水は、その後流量が若干増大したり潮位が低下してもそのまま残存する傾向が強い。

河道内へ塩水が最大に遡上する可能性のある範囲としては、最深河床高が平均海水面高とほぼ同じ高さとなる T. P. 0m 地点までの河道縦断距離が考えられる。そこでこれまでに観測されている最大の塩水遡上距離とこの河道縦断距離の関係を求めたのが図-3.5である。これによると T.

P. 0m 河床の縦断距離が約10km以下の河道では、そのときの最大の塩水遡上距離がこれとほぼ同じとなる。これに対し、その縦断距離が約10km以上では、最大の塩水遡上距離の方が短い傾向となる。これは河床地形の影響あるいは二層間の抵抗係数や混合等による影響が大きくなるためと考えられる。また、塩水の遡上距離は、弱混合の時に最大になるとこれまで言われてきたが、この結果では混合形態の違いによる差異はあまり見られないようである。

以上の結果より、今後河床低下が進行したりあるいは将来海面が上昇した場合、それに応じて塩水の遡上距離が増大することになる。



図一 3.5 平均海面高地点の河道距離と塩水遡上距離の関係

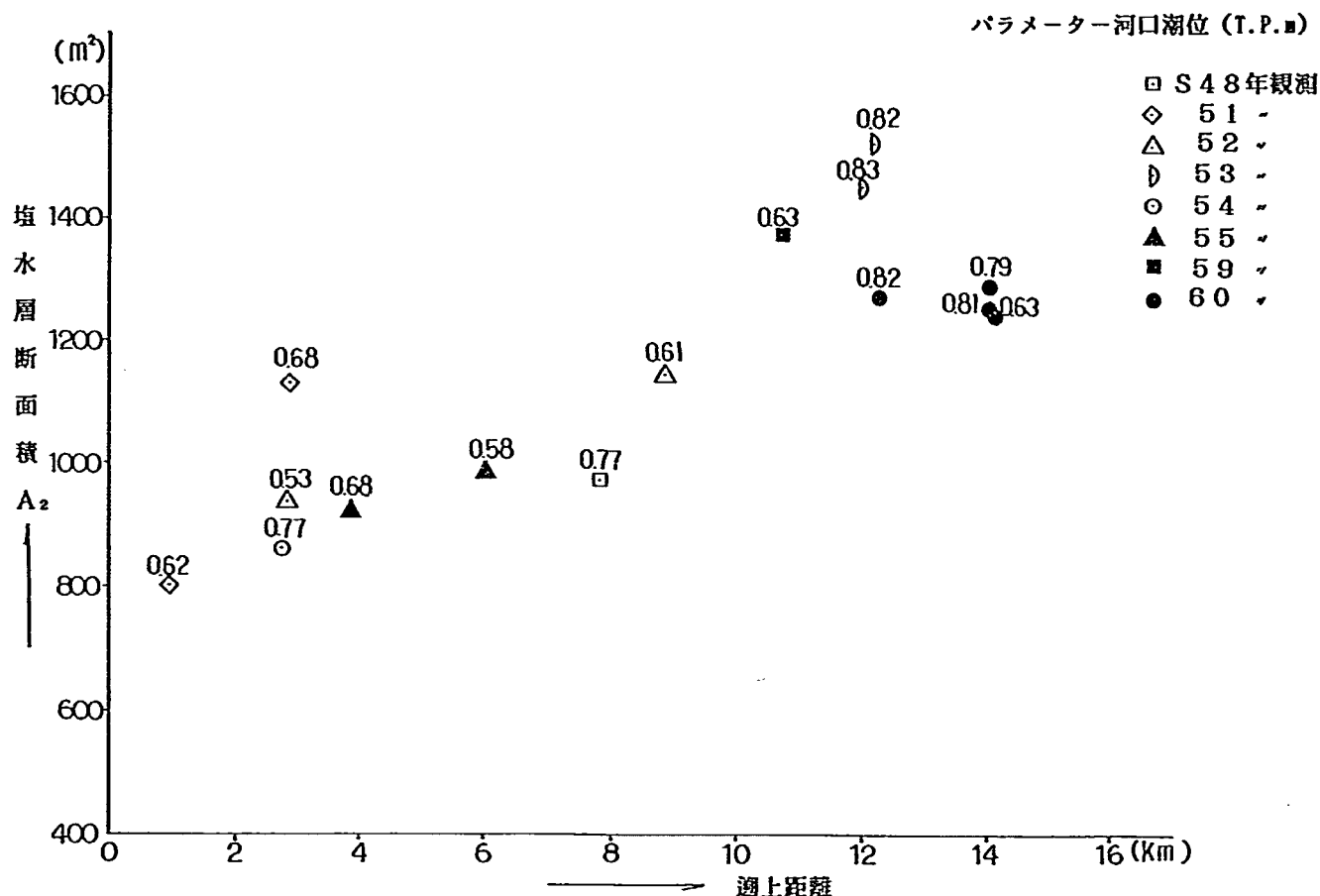
3-3-2 河口形状と塩水遡上

河道内への塩水遡上は、河口地形すなわち河口砂州の影響を大きく受けると考えられる。ここでは河口砂州の存在する阿賀野川の事例を述べる⁶⁾。

阿賀野川下流部には、弱混合状態の塩水くさびが形成されており、その河口部には両岸より突出した砂州が存在し、時期によりその地形はかなり異なる。河口砂州による最狭部断面位置は、各観測年度によって若干変化しているが、ほぼ0km断面に現われていることからこれを用いた。濃度分布の観測資料より、上下層濃度の変曲点を淡塩水の境界面とし、下層の塩水層断面積 A_2 と塩水くさびの遡上距離の関係を示したのが図一3.6である。これより塩水層断面積が大きいときは、

遡上距離も大きいことが明らかとなる。また、このとき塩水遡上距離が0.6km以上では、全断面積に対して塩水層断面積の占める割合が、いずれも75～80%であって、かつ遡上距離が大きいときには河口断面積も大きい。特に10km以上の遡上距離となっている昭和53年8月、昭和59年および昭和60年8月は河口河積が大きく、また潟水流量が長期間継続しており、このようなときには河道内奥深く塩水が遡上している。

以上の結果より、河口砂州の存在が塩水の遡上距離に密接に関係しており、河口砂州は塩水侵入を軽減し、平水時の水質維持に大きく貢献していることが分かる。



図一 3.6 塩水遡上距離と塩水層断面積の関係（阿賀野川）

3-3-3 河道内構造物等による塩水遡上防止と混合特性

アンケート調査資料によると、古くから開発の進んだ流域を有する河川では、何等かの塩水遡上防止工を設けているところが多い。潜り堰の場合には、堰の高さに応じた塩水遡上距離短縮の効果がある。それは塩水遡上を直接阻止するばかりでなく、潜り堰上流の河床上昇を期待することができ、その結果二重の効果が生じるからである。ただし、堰の上流側にも水深の大きい場所が存在すると、一旦上流まで遡上した塩水は、容易に排除されない事態が生じる可能性もある。完全潮止め堰の場合には、堰下流部において混合の度合いが進むことが多い。この場合、堰建設に伴ない入退潮流量が減少し、一次元的な流れに基づく混合は減少する。しかし、河川自流量の減少や河床低下がない場合でも、流れの片寄り、反射波による重複波の発達およびフラッシュの減

少等によって塩分濃度は増大する。

混合の度合いは、河口砂州部や合流点等においても促進される傾向が見られる。とくに合流点においては深掘れがあり、砂州が発達している場合や中導流堤によって河口幅が狭い場合には、大きな入退潮流量により激しい混合がなされ、特異な混合状態となることもある。

第4章 塩水遡上変化とその予測

4-1 塩水遡上の解析手法

4-1-1 塩水くさびモデル

1) 基礎方程式と解析

弱混合型の河川では、塩水と淡水の混合を促すような働きは少なく、塩水がくさび状に淡水の下を河道内に侵入する。これを一般に塩水くさびと呼んでいるのは前述のとおりである。このような現象については、通常次のような解析がとられている^{7)~9)}。

図-4.1のような密度の異なった淡塩水二層の流れがあるとする。淡水については高度水頭と圧力水頭の和は、静水圧分布と仮定すれば $h_1 + h_2 + S$ が得られる。下層塩水については、上に自分より密度の小さい淡水が乗っているからこれを自分の密度に換算して、高度水頭と圧力水頭の和は

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} h_1 + h_2 + S \doteq (1 - \epsilon) h_1 + h_2 + S$$

ただし、 $\epsilon = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \doteq \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \ll 1$ と表わしている。

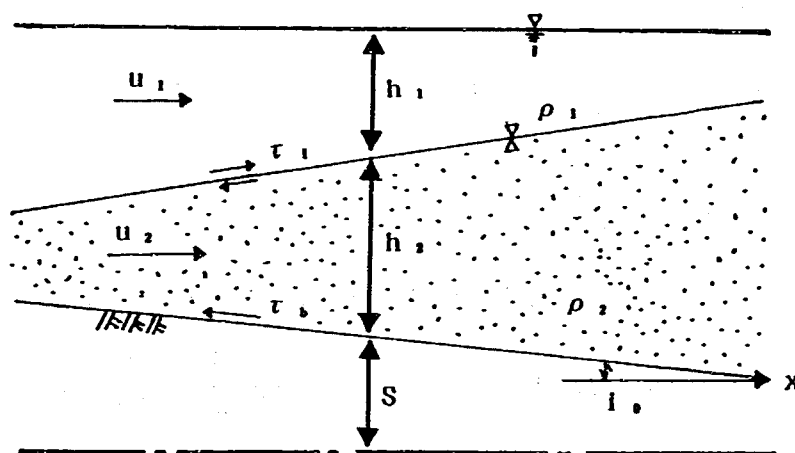


図-4.1

これから両層に対する運動および連続の方程式は次のように書くことができる。

$$-i_0 + \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_1^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial u_1}{\partial t} + i_{t1} = 0 \quad (4-1)$$

$$-i_0 + (1 - \epsilon) \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_2^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial u_2}{\partial t} + i_{t2} = 0 \quad (4-2)$$

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x} + h_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = 0 \quad (4-3)$$

$$\frac{\partial h_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial h_2}{\partial x} + h_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} = 0 \quad (4-4)$$

ここに h_1, h_2 : 上層および下層水深, u_1, u_2 : 上層および下層平均流速, ρ_1, ρ_2 : 上層および下層密度, S : 基準面からの高さ, i_0 : 底勾配, α : 流速補正係数 ($\alpha \doteq 1$) である。 i_{f1} , および i_{f2} は, 上層および下層に対する摩擦勾配で, 内部境界面および底面での摩擦力を τ_i, τ_b で表わし, 水路幅が広いとして両側面で摩擦を無視すると

$$i_{f1} = \frac{\tau_i}{\rho_1 g h_1}, \quad i_{f2} = \frac{\tau_b - \tau_i}{\rho_2 g h_2}$$

で表わされる。ここで内部境界面および底面での摩擦抵抗係数を f_i および f_b とすると

$$i_{f1} = f_i \frac{(u_1 - u_2) |u_1 - u_2|}{2 g h_1}, \quad i_{f2} = f_b \frac{u_2 |u_2|}{2 g h_2} - f_i \frac{(u_1 - u_2) |u_1 - u_2|}{2 g h_2} (1 - \epsilon) \quad (4-5)$$

である。定常状態を考えれば (4-1) ~ (4-4) 式の時間に関する項は消え, これらの式を解くと

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{1}{\Phi(x)} \left[\left(1 - \frac{u_2^2}{gh_2}\right) (i_0 - i_{f1}) - (i_0 - i_{f2}) \right] \quad (4-6)$$

$$\frac{dh_2}{dx} = \frac{1}{\Phi(x)} \left[\left(1 - \frac{u_1^2}{gh_1}\right) (i_0 - i_{f2}) - (1 - \epsilon) (i_0 - i_{f1}) \right] \quad (4-7)$$

$$\text{ここに, } \Phi(x) = \frac{u_1^2}{gh_1} - \frac{u_2^2}{gh_2} - \frac{u_1^2}{gh_1} - \frac{u_2^2}{gh_2} + \epsilon \quad (4-8)$$

塩水くさびが静止している場合を考え, $u_2 \doteq 0$ とし, (4-5) 式を代入すると

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{1}{\Phi(x')} \left[(i_0 - i_{f1}) - (i_0 - i_{f2}) \right] = \frac{-1}{\Phi(x')} \frac{f_i}{2g} u_1^2 \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \right) \quad (4-9)$$

$$\text{ここに, } \Phi(x') = \epsilon - \frac{u_1^2}{gh_1} = 1 - F_{r1}^2 \quad (4-10)$$

$$\frac{dh_2}{dx} = \frac{1}{\Phi(x')} \left[i_0 \left(\epsilon - \frac{u_1^2}{gh_1} \right) + f_i \left(\frac{u_1^2}{2gh_1} + \frac{u_1^2}{2gh_2} - \frac{u_1^2}{2gh_1} - \frac{u_1^2}{gh_2} - \epsilon \frac{u_1^2}{2gh_1} \right) \right]$$

ここで f_i の () の中の後部の 2 項は 2 次の微小項であるから省略すると

$$\frac{dh_1}{dx} = i_0 + \frac{1}{\Phi(x')} \frac{f_i}{2g} u_1^2 \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \right) \quad (4-11)$$

(4-9), (4-11) 式に (4-10) 式を代入して

$$\frac{dh_1}{dx} = -\frac{F_{r1}^2}{1-F_{r1}^2} \frac{f_i}{2} \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right) \quad (4-12)$$

$$\frac{dh_1}{dx} + \frac{dh_2}{dx} = i_0 \quad (4-13)$$

ここに F_{r1} は内部フルード数で, $F_{r1} = u_1 / \sqrt{\epsilon g h_1}$ で定義される。(4-12), (4-13) 式より, 境界面抵抗係数 f_i が与えられれば数値積分により境界面形状を求めることができる。また, 微小項を省略したので自由水面は水平となる。

2) 水平床における塩水くさび形状

定常状態時の水平床における塩水くさびの方程式を求めるには, 既に述べたものもあるが, 次のような仮定を行う (図-4.2)。

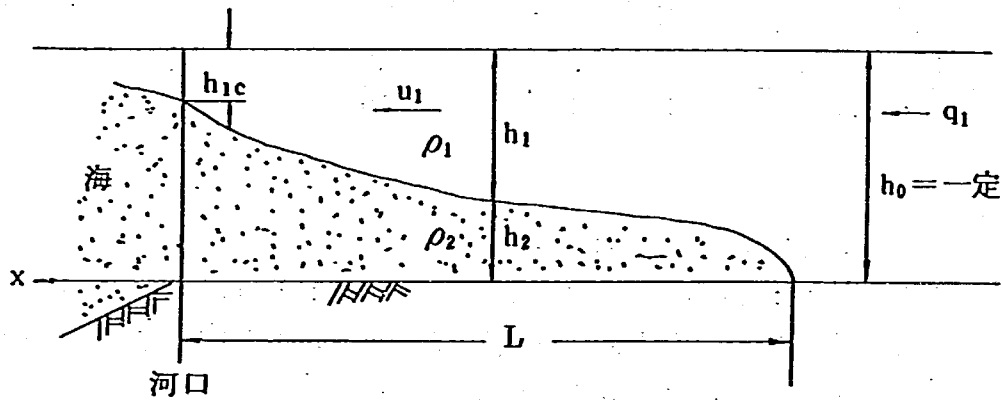


図-4.2 塩水くさびの形状

①河口で上層流は限界水深をとる。

$$x=0, F_{r1}=1$$

②全水深は一定である。

$$h_0 = \text{const}$$

③内部境界面抵抗係数は境界面上で一定である。

$$f_i = \bar{f}_i = \text{const}$$

④下層の流速は0, したがって河床面摩擦は無い。

$$u_2 = 0, F_{r2} = 0, \tau_b = 0$$

ここで (2-1) 式より上層の単位幅当たりの流量を q_1 とすると

$$h_{1c} = \left(\frac{q_1^2}{\epsilon g} \right)^{1/3} \quad (4-14)$$

を得る。(4-14) 式を用いると内部フルード数は次のように表わされる。

$$F_{r0}^2 = \frac{u_0^2}{\epsilon g h_0} = \frac{1}{\epsilon g h_0} \left(\frac{q_1}{h_0} \right)^2 = \frac{q_1^2}{\epsilon g h_0^3} = \left(\frac{h_{1c}}{h_0} \right)^3 \quad (4-15)$$

$$F_{r1}^2 = \left(\frac{h_{1c}}{h_1} \right)^3 \quad (4-16)$$

よって (4-9) の式は

$$\frac{dh_1}{dx} = \frac{f_i}{2} F_{r,0}^2 \frac{1}{(1 - \frac{h_1}{h_0})} \frac{1}{(\frac{h_{1c}}{h_0})^3 - (\frac{h_1}{h_0})^3} \quad (4-17)$$

これより (4-17) 式に (4-15) 式を代入し、河口 $x=0$ で $h_1 = h_{1c}$ の条件を用いて積分することによって次のように求められる。

$$\begin{aligned} \frac{\bar{f}_i}{2h_0} x = & \frac{h_1}{h_0} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{h_1}{h_0} \right) - \frac{1}{4F_{r,0}^2} \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^3 + \frac{1}{5F_{r,0}^2} \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^4 \right] \\ & - 3F_{r,0}^{2/3} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{10} F_{r,0}^{2/3} \right) \end{aligned} \quad (4-18)$$

これがくさびの形状を示す式である。

方程式 (4-18) 式において、 $h_1 = h_0$ 、 $h_{1c}/h_0 = 1$ とおくときの x が塩水くさびの先端の位置であるから、塩水くさびの長さを河口から測って L とすると次式のようになる。

$$L = \frac{2h_0}{\bar{f}_i} \left(\frac{1}{20F_{r,0}^2} - \frac{1}{2} + \frac{3}{4} F_{r,0}^{2/3} - \frac{3}{10} F_{r,0}^{4/3} \right) \quad (4-19)$$

3) 河口地形、河床抵抗を考慮した塩水くさび形状

実河川の塩水くさび形状を計算するにあたって考慮しなければならない点として、断面変化の影響および淡水層と接する側岸と河床の抵抗等が挙げられる。中村、阿部¹⁰⁾はこの河口地形を考慮した塩水くさび形状の計算方法を次のように提案している。

定常時において、塩水の遡上流速を無視し、(4-1)、(4-2) 式より Δx 離れた二断面における量に添字 I, II をつけ階差の形で表わし、水面を水平とみなせば

$$\begin{aligned} \epsilon h_{1,I} + \frac{Q_1^2}{2gA_{1,I}^2 I} \left[1 - \frac{K I (R_{1,I} + R_{2,I})}{2R_{1,I} \cdot R_{2,I}} \Delta x \right] \\ = \epsilon h_{1,II} + \frac{Q_1^2}{2gA_{1,II}^2 II} \left[1 + \frac{K II (R_{1,II} + R_{2,II})}{2R_{1,II} \cdot R_{2,II}} \Delta x \right] \end{aligned} \quad (4-20)$$

$$K = \frac{f_i R_1 + \left(f_i \frac{B_2}{B_1} + \frac{2n^2 g B_0}{R_{1,I} B_1} \right) R_2}{R_1 + R_2} \quad (4-21)$$

ここに、 Q_1 : 淡水流量、 A_1 : 淡水層の流水断面積、 B_2 : 淡塩水境界面の接する幅、 B_0 : 淡水層の接する側岸、河床の幅、 $B_1 = B_0 + B_2$: 淡水層の潤辺 (= 水面幅)、 $R_1 = A_1/B_1$ 、 $R_2 = A_2/B_2$ 、 n : 淡水層の接する側岸、河床の manning の粗度係数、 Δx : 区間距離、 f_i : 二層境界面抵抗係数である。

添字 I, II はそれぞれ下流側断面 I および上流側断面 II における値を示す。また、 x 軸は下流向きにとっているの、河口から淡水深を逐次計算する場合は負とする。

(4-20) 式において側岸、河床の抵抗が無視できる場合は

$$\begin{aligned} & \epsilon h_1 I + \frac{Q_1^2}{2gA_1^3 I} \left(1 - \frac{f_1 I}{2} \left(\frac{1}{R_1 I} + \frac{1}{R_2 I}\right) \Delta x\right) \\ & = \epsilon h_1 \Pi + \frac{Q_1^2}{2gA_1^3 \Pi} \left(1 + \frac{f_1 \Pi}{2} \left(\frac{1}{R_1 \Pi} + \frac{1}{R_2 \Pi}\right) \Delta x\right) \end{aligned} \quad (4-22)$$

となる。(4-20) 式は、神通川¹⁰⁾、九頭竜川¹²⁾ および最上川¹³⁾ でその適合度が確かめられている。

4) 混合を考慮した場合の塩水くさび形状

河口付近は単断面と仮定できる場合も多いが、高水敷が存在する下流河道も少なくないので図-4.3のような複断面河道とし、境界面を通して二層間に塩水を含んだ流体の交換のあるモデルが須賀・高橋によって示されている^{10) 15)}。

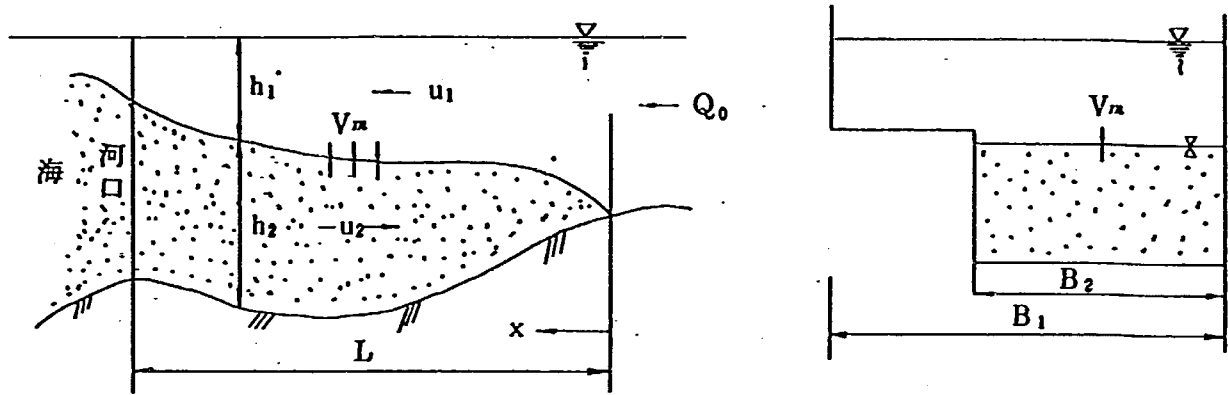


図-4.3 縦横断面図

上下層のそれぞれにおいて平均水量にて表示できるとすると、基礎式は、

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \frac{u_1}{g} \frac{\partial u_1}{\partial x} + if_1' - i_0 = 0 \quad (4-23)$$

$$\frac{\partial (1-\epsilon) h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \frac{u_2}{g} \frac{\partial u_2}{\partial x} + if_2' - i_0 = 0 \quad (4-24)$$

$$u_1 B_1 \frac{\partial h_1}{\partial x} + h_1 B_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + u_1 h_1 \frac{\partial B_1}{\partial x} = V_m B_2 \quad (4-25)$$

$$u_2 B_2 \frac{\partial h_2}{\partial x} + h_2 B_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + u_2 h_2 \frac{\partial B_2}{\partial x} = -V_m B_2 \quad (4-26)$$

が成り立つ。ここで i_0 は考えている横断の平均河床勾配、 B は図-4.3で定義されている川幅、 V_m は上層淡水流による二層境界面から淡水中への塩水の混入速度を表わす。なお、境界面は高水敷に乗らない範囲を考えているが、乗る場合も同様の解析が可能である。また、(4-25) 式の連続条件では、淡塩水境界面位置と高水敷の差が大きいときには、 B_1 と B_2 の差が小さくない

と良い結果をもたらさないので留意を要する。流速についても、低水路と高水敷上の流速を区別していない。

if_1' および if_2' は、前述したように上層および下層に対する摩擦勾配で、ここでは内部境界面の摩擦力を τ_i 、混合による付加摩擦力を τ_s および底面での摩擦力を τ_b で表わすと

$$if_1' = \frac{\tau_i'}{\rho_1 g h_1}, \quad if_2' = \frac{\tau_b - \tau_i'}{\rho_2 g h_2} \quad (4-27)$$

ここに、 $\tau_i' = \tau_i + \tau_s$

となる。ここで混合を考慮した内部境界面および底面での摩擦抵抗係数を $f_i' (= f_i + f_{is})$ および f_b とすると

$$\tau_i = f_i' \cdot \frac{\rho_1}{2} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2|, \quad \tau_b = f_b \cdot \rho_2 \cdot u_2 |u_2| \quad (4-28)$$

τ_s は keulegan¹⁶⁾ によれば

$$\tau_s = \rho V_m (u_1 - u_2) = \frac{\rho}{2} f_{is} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \quad (4-29)$$

(4-29) 式より連行係数 $E = V_m / (u_1 - u_2)$ とすると

$$f_{is} = 2 \frac{V_m}{u_1 - u_2} = 2E \quad (4-30)$$

よって (4-27) 式は

$$if_1' = (f_i + f_{is}) \frac{(u_1 - u_2) |u_1 - u_2|}{2 g h_1} \quad (4-31)$$

$$if_2' = f_b \frac{u_2 |u_2|}{2 g h_2} - (f_i + f_{is}) \frac{(u_1 - u_2) |u_1 - u_2|}{2 g h_2} (1 - \epsilon) \quad (4-32)$$

となる。(4-24) 式第1項については、 $\rho_2 = \text{const}$ と仮定すれば

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} &= -\frac{1}{\rho_2} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} \\ \therefore \frac{\partial (1 - \epsilon) h_1}{\partial x} &= (1 - \epsilon) \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{h_1}{\rho_2} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} \end{aligned} \quad (4-33)$$

となる。(4-33) 式を (4-24) 式に代入し、(4-23) ~ (4-26) 式から $\partial u_1 / \partial x$ および $\partial u_2 / \partial x$ を消去すると

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_1}{\partial x} &= \frac{1}{\phi(x)} \left[\left(1 - \frac{u_2^2}{g h_2}\right) (i_0 - if_1') - (i_0 - if_2') \right. \\ &\quad \left. + V_m \left(-\frac{u_2}{g h_2} + \frac{u_1}{g h_1} \frac{u_2^2}{g h_2} \frac{B_2}{B_1} - \frac{u_1}{g h_1} \frac{B_2}{B_1}\right) + \frac{h_1}{\rho_2} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} \right] \end{aligned}$$

$$-\frac{u_1^2}{gh_1} \frac{u_2^2}{gh_2} \frac{h_1}{B_1} \frac{\partial B_1}{\partial x} - \frac{u_2^2}{gh_2} \frac{h_2}{B_2} \frac{\partial B_2}{\partial x} + \frac{u_1^2}{gh_1} \frac{h_1}{B_1} \frac{\partial B_1}{\partial x} \quad (4-34)$$

ここに

$$\phi(x) = \frac{u_1^2}{gh_1} \frac{u_2^2}{gh_2} - \frac{u_1^2}{gh_1} - \frac{u_2^2}{gh_2} + \epsilon \quad (4-35)$$

となる。 $\partial h_2 / \partial x$ の式も同様にして算出されるが、ここでは省略しておく。いま下層の流速は十分小さく、 $u_2^2 / gh_2 \ll 1$ および $u_2^2 / gh_2 \ll u_1^2 / gh_1$ とすれば(4-34)および(4-35)式は

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{1}{\phi(x')} \left\{ -(if_1' - if_2') + \frac{h_1}{\rho_2} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} - V_m \frac{u_1}{gh_1} \frac{B_2}{B_1} + \frac{u_1^2}{gh_1} \frac{h_1}{B_1} \frac{\partial B_1}{\partial x} \right\} \quad (4-36)$$

$$\phi(x') = \epsilon - \frac{u_1^2}{gh_1} = \epsilon (1 - F_{r1}^2) \quad (4-37)$$

のような簡単な式となる。この場合 u_2 を小さいと仮定したことにより、 $\partial h_2 / \partial x$ 式を用いると、水面はほぼ水平となる。(4-34)式あるいは(4-36)式は従来の式に加えて、混入塩分による上層の密度変化、塩水の混入量および水路幅の変化を考慮していることになる。ここでは x 軸を図-4.3に示すように、上層流の上流から下流にむけて正としているので、混入量の増大はせん断力の増大とともにくさびの勾配を大きくし、逆に上層密度および川幅の増加率によってくさびの勾配は小さく、極端なケースとしては逆勾配の生じることも示唆している。川幅が縮小するところで境界面が上昇することは、一見逆のように思われがちであるが、このことは実験によっても確かめられている。

さて(4-36)式および(4-37)式に基づいて実際の計算を行うためには、 $\partial \rho_1 / \partial x$ について少し考察しなければならない。そこで上流からの河川の自流量を Q_0 、 x 地点までの塩水混入量を Q_1 とすれば

$$\rho_2 Q_1 + \rho_0 Q_0 = \rho_1 (Q_1 + Q_0) = \rho_1 Q_1 \quad (4-38)$$

$$Q_1 = \int_0^x B_2 V_m dx \quad (4-39)$$

などの関係が得られる。(4-38)式では上層にて完全に混合されると仮定した。

(4-38)式および(4-39)式より

$$B_2 V_m = \frac{\partial Q_1}{\partial x} = \frac{\rho_2 - \rho_0}{(\rho_2 - \rho_1)^2} Q_0 \frac{\partial \rho_1}{\partial x} \quad (4-40)$$

となる。したがって (4-36) 式右辺第2項は

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} = \epsilon \frac{h_1 B_2 V_m}{Q_1} \quad (4-41)$$

摩擦勾配 f' については, (4-31) 式と (4-32) 式の下層塩水層内の流速が微小な場合, および (4-41) 式を用いることによって (4-36) 式は

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{F_{r1}^2}{1-F_{r1}^2} \left[-\frac{f_i+f_{i2}}{2} \left(1+\frac{h_1}{h_2}\right) + \frac{h_1}{B_1} \frac{\partial B_1}{\partial x} + \frac{1}{F_{r1}^2} \frac{h_1 B_2 V_m}{Q_1} \right. \\ \left. - \frac{V_m}{u_1} \frac{B_2}{B_1} \right] \end{aligned} \quad (4-42)$$

と表わされる。ただし, 以上は河川を幅の広い長方形断面とし, 高水敷の摩擦や側岸の影響を無視したものである。また連行係数 E と塩水の混入速度 V_m の関係は,

$E = V_m / (u_1 - u_2)$ であるので (4-42) 式は

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{F_{r1}^2}{1-F_{r1}^2} \left[-\frac{f_i+f_{i2}}{2} \left(1+\frac{h_1}{h_2}\right) + \frac{h_1}{B_1} \frac{\partial B_1}{\partial x} + E \frac{B_2}{B_1} \left(\frac{1}{F_{r1}^2} - 1\right) \right] \quad (4-43)$$

なお $B_1 = B_2 = B$ の場合には

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{F_{r1}^2}{1-F_{r1}^2} \left[-\frac{f_i+f_{i2}}{2} \left(1+\frac{h_1}{h_2}\right) + \frac{h_1}{B} \frac{\partial B}{\partial x} + E \left(\frac{1}{F_{r1}^2} - 1\right) \right] \quad (4-44)$$

となる。混合を考慮した場合の塩水くさび形状の計算は, 河川の上流から下流に向かって x 軸を考えた場合, (4-43) 式あるいは (4-44) 式を基に (4-38) 式および (4-39) 式を用いて逐次計算を行えば良い。この場合, 河口における上層流量 Q_1 が上流の混合の度合いによって変化し, 未知量であるから河口から計算を行う場合は, 塩水くさび先端において上層流量が河川自流量となるまで, 支配断面位置での流量の仮定を反復して行わなければならない。式のうえからはどちら向きに計算しても差し支えないが, 上流から行う場合誤差の累積には注意しておくべきであろう。

差分の方法にはいろいろある。下流側断面に添字 I, および上流側断面に添字 II を付し, 区間距離を Δx とすれば (4-43) 式は

$$\begin{aligned} h_{1I} + \frac{F_{r1}^2 I}{1-F_{r1}^2 I} \left[-\frac{f_i' I}{2} \left(1+\frac{h_{1I}}{h_{2I}}\right) + \frac{h_{1I}}{B_{1I}} \frac{\Delta B_1}{\Delta x} + E I \frac{B_{2I}}{B_{1I}} \left(\frac{1}{F_{r1}^2 I} - 1\right) \right] \\ \frac{\Delta x}{2} = h_{1II} - \frac{F_{r1}^2 II}{1-F_{r1}^2 II} \left[-\frac{f_i' II}{2} \left(1+\frac{h_{1II}}{h_{2II}}\right) + \frac{h_{1II}}{B_{1II}} \frac{\Delta B_1}{\Delta x} + E II \frac{B_{2II}}{B_{1II}} \right. \\ \left. \left(\frac{1}{F_{r1}^2 II} - 1\right) \right] \frac{\Delta x}{2} \end{aligned} \quad (4-45)$$

ここに $f_i' = f_i + f_{i,1}$, (4-38), (4-39) 式は

$$Q_{1,II} = Q_{1,I} - \int_1^2 B_2 V_m dx \quad (4-46)$$

$$\rho_{1,II} = \frac{\rho_{1,I} Q_{1,I} - \rho_2 Q_2}{Q_{1,II}} \quad (4-47)$$

となる。したがって (4-45) 式上流側断面の h_1 によって Q_1 および ρ_1 が (4-46), (4-47) 式によって変化する。なお Δx を小さくしておけば簡単のため下流側断面の水理量のみにて上流へ進むことも許されるであろう。ただし x 軸は下流向きにとっているの、河口から逐次計算する場合は負とする。また (4-45) 式は混合や川幅変化を無視すれば結局 (4-12) 式と同じになる。

いっぽう, (4-22) 式と同様に (4-46), (4-47) 式を用いて示せば

$$\begin{aligned} \epsilon I h_{1,I} + \frac{Q_{1,I}^2}{2gA_{1,I}^2} \left[1 - \frac{f_{i,I}}{2} \left(\frac{1}{R_{1,I}} + \frac{1}{R_{2,I}} \right) \Delta x \right] \\ = \epsilon II h_{1,II} + \frac{Q_{1,II}^2}{2gA_{1,II}^2} \left[1 + \frac{f_{i,II}}{2} \left(\frac{1}{R_{1,II}} + \frac{1}{R_{2,II}} \right) \Delta x \right] \end{aligned} \quad (4-48)$$

となり, ϵ や Q_1 も断面間で変化する。

5) 二層境界面の内部抵抗係数と連行係数

(1) 二層境界面の内部抵抗係数

二層境界面の内部抵抗係数に関しては, 塩水くさびの侵入距離および二層境界面の形状を決定する重要な因子として, 従来から数多くの研究が行われてきた。この内部抵抗係数は, 二層境界面の安定性に関する keulegan の無次元量¹⁶⁾, すなわち内部フルード数の二乗とレイノルズ数の積のかたち (keulegan 数) で次式のように表わされている。

$$f_i = a \Psi^{-n} \quad (4-49)$$

ここに $\Psi = R_e \cdot F_{r,1}^2$, $R_e = u_1 \cdot h_1 / \nu_1$, $F_{r,1} = u_1 / \sqrt{\epsilon g h_1}$, a および n は定数である。(4-49) 式の定数およびべき数についての既往の研究結果は表-4.1 のようであり, 実河川への適合度等から金子の式 ($a = 0.2$, $n = 0.5$) あるいは須賀らの式 ($a = 0.35$, $n = 0.5$) が認容されているように思われる。

表-4.1 界面抵抗係数に関する既往の研究例

著 者	発表年次	a	n	流 況	記 事
岩 崎	1962 ¹⁷⁾ 1963 ¹⁸⁾	7.880	0.8356	ジェット 幅15cm	実験
推 貝	1965 ¹⁹⁾	12.0	1.0	塩水くさび $10^2 < \Psi < 10^3$	実験, Valembois の資料も利用
金 子	1966 ²⁰⁾	0.2	0.5	塩水くさび $10^2 < \Psi < 10^5$	実験実測, 伏木港
中 村 稲 松	1966 ¹¹⁾	4.228	0.7117	塩水くさび $10^4 < \Psi < 10^6$	実測, 神通川
中 村	1970 ¹²⁾	0.130	0.434	塩水くさび $10^4 < \Psi < 10^6$	実測, 九頭竜川
須 賀	1975 ²¹⁾	0.35	0.5	塩水くさび $10^2 < \Psi < 10^5$	実験,
高 橋	1971 ²²⁾	1.29	2/3	塩水くさび $3 \times 10^4 < \Psi$	実測, 利根川

なお、表-4.1の内部抵抗係数は、混合による運動量の関係を考慮していないため、厳密には混合のある場合には適用不能である。しかし、混合量が少ない場合は、 f_i に及ぼす混合の影響は無視し得るのでその適用が可能である。

いっぽう、須賀・高橋は水平床の定常状態時における塩水くさび全長の平均抵抗係数 $\bar{f}_i$ について、実験結果の塩水くさびの長さ L から先の(4-19)式より逆算して求め、次式を得ている。^{22) 23)}

$$\bar{f}_i = 0.13 \Psi_0^{0.415} \quad (4-50)$$

ここに $\Psi_0 = R_* \cdot F_{r0}^2$, $R_* = u_0 \cdot h_0 / \nu$, $F_{r0} = u_0 / \sqrt{g h_0}$, h_0 : 全水深, u_0 : 全水深時の淡水側平均流速である。

よって、(4-18)式および(4-19)式の水平床における塩水くさび形状やその長さは、(4-50)式の内部境界面抵抗係数を用いることによって算定することが可能である。

(2) 淡塩二層流の連行係数

混合を考慮した場合の塩水くさび形状を求めるには、淡塩二層流の連行係数、すなわち淡水流下に伴う二層境界面から上層淡水中への塩水の混合量を適切に評価する必要がある。このような混合現象は塩水遡上のほかに、温排水、水質汚染、取水あるいは湖の淡水化等多くの問題に影響を及ぼす。この二層間混合量に関しては、keuleganをはじめ、数多くの研究が行われている^{15) 24) 25) 26) 27) 28) 29)}。須賀・高橋は、連行係数 E がリチャードソン数または内部フルード数によって表現されるとして、広範囲な実験値と実測値およびこれまでの研究資料より次式のような実用公式を提案している^{1) 23) 31) 32)}。

$$E = V_m / (u_1 - u_2) = 2 \times 10^{-3} \cdot F_{r1}^3 \quad (4-51)$$

ここに E : 連行係数, V_m : 塩水の混入速度である。

なお、鉛直方向の塩分混合の安定度を示すリチャードソン数は

$$R_i = - \frac{g \left(\frac{d\rho}{dy} \right)}{\rho \left(\frac{du}{dy} \right)^2} \quad (4-52)$$

で定義され、弱混合時の二層流の場合、上層流に着目し、 $\Delta y = h_1$ のとき $\Delta u \doteq u_1$ であるから(4-52)式は

$$R_{i*} = \frac{g (\rho_2 - \rho_1) h_1}{\rho_1 u_1^3} = \frac{1}{F_{r1}^3} \quad (4-53)$$

となる。よって(4-51)式は次式のようにになる。

$$E = 2 \times 10^{-3} / R_{i*}^{3/2} \quad (4-54)$$

(3) 混合を考慮した場合の内部抵抗係数

混合を考慮した場合の内部抵抗係数は、4)に述べた様に混合による付加摩擦力の影響がある。先の表-4.1に示した内部抵抗係数は、その影響が無視し得る場合のものである。したがって、混合を考慮した内部抵抗係数 f_i は、(4-30)式に須賀らの式($f_i = 0.35 \Psi^{-0.5}$)および(4-51)式を用いると

$$f_i' = f_i + f_{i,2} = 0.35 \Psi^{-0.5} + 2E$$

$$\therefore f_i' = 0.35 \Psi^{-0.5} + 4 \times 10^{-3} F_{i,2}^2 \quad (4-55)$$

となる^{23) 33)}。この f_i' は塩水くさび形状から逆に(4-43)式を用いて求めることもできる。ただし実験で得られる f_i' は、(4-55)式で明らかのように、 E が非常に小さく、 $f_i' \approx f_i$ に近い結果になる。しかし、混合が進んだ場合や河口部では、 E による影響がかなり大きくなる。

(4) 塩水くさび先端部における混合量

二層境界面を通しての混合現象に関しては、(2)に述べたように、主流層の断面平均流速で無次元化した連行係数 E と層平均リチャードソン数 $R_{i,2}$ ($= \epsilon g h_1 / u_1^2 = 1 / F_{i,2}^2$)あるいは内部フルード数の関係で表わされている。この連行係数 E は、混合を考慮した塩水くさびの形状や上層濃度の縦断変化を知るうえで非常に重要である。しかし、連行を考慮した計算値では、塩水くさび先端で別途濃度を加算しなければ実測値に合致しない。この加算濃度相当分は、先端部における混合の結果生じるものと判断される。

ここでは以前に行われた実験資料より、この先端部における混合量についての考察を行った。塩水くさび先端部の混合現象は、二層境界面の内部摩擦抵抗 f_i と同様、クーリガン数 Ψ ($= R_{i,2} \cdot F_{i,2}^2$)あるいは連行係数の関数である内部フルード数が支配的要素と考えられる。そこで実験結果より得られた塩水くさび先端部の上層濃度 $C_{1,0}$ の下層濃度 C_2 に対する濃度比、および淡水流量 Q_1 に対する混合塩水流量 Q_2 の流量比について、塩水くさび先端部の内部フルード数 ($F_{i,2} = u_0 / \sqrt{\epsilon g h_0}$) とクーリガン数 Ψ ($= R_{i,2} \cdot F_{i,2}^2$) の関係を整理してみた。ここに $R_{i,2} = u_0 \cdot h_0 / \nu$ 、 h_0 と u_0 は塩水くさび先端の水深および断面平均流速である。その結果、クーリガン数との関係が図-4.4および図-4.5に示すように比較的よく整理されることが明らかとなった。これによれば内部摩擦抵抗係数と同様にクーリガン数の増大によって、混合量は減少する傾向となっている。ただし、ここでの混合量は下層濃度の平均濃度を有する水塊が上層に連行されるという現象を重視するとともに、混合が促進している場合を考慮して、淡塩境界面位置は下層濃度の9割位置として検討した。したがって、塩水くさび先端の下層に塩水が存在した時点で上層の平均濃度に加算される状態となるが、それらをも含めた混合量とした。図-4.5の混合量は、 $Q_2 / Q_1 = A \Psi^{-n}$ の関係になっており、この結果では混合係数 A は0.9でべき数 n は-0.4程度と考えられる。

6) 塩水くさびモデルの適用範囲と計算上の留意事項

塩水くさびの各モデルの解析に際しては、多く仮定を行っており、その妥当性と適用範囲の検討が必要である。まず、塩水くさびモデルでは、下層における塩分濃度を一定としている。しかし、塩水くさびの実測資料によると、塩水くさびの上流端付近は、不定流効果、河床形状の影響および履歴現象などによって、縦断的に下層濃度が変化し、厳密には一定ではない。したがって、下層濃度を一定とした仮定のものでは、塩水くさび長が若干長く計算される可能性が考えられるが、現在のところ実測値以外下層濃度の縦断変化を与える方法はない。

次に混合を考慮した場合、下層から上層へ連行されるものとし、その逆は無視する。また、この上層に連行された塩分は短い区間において完全に混合し、平均濃度で代表しうると仮定して

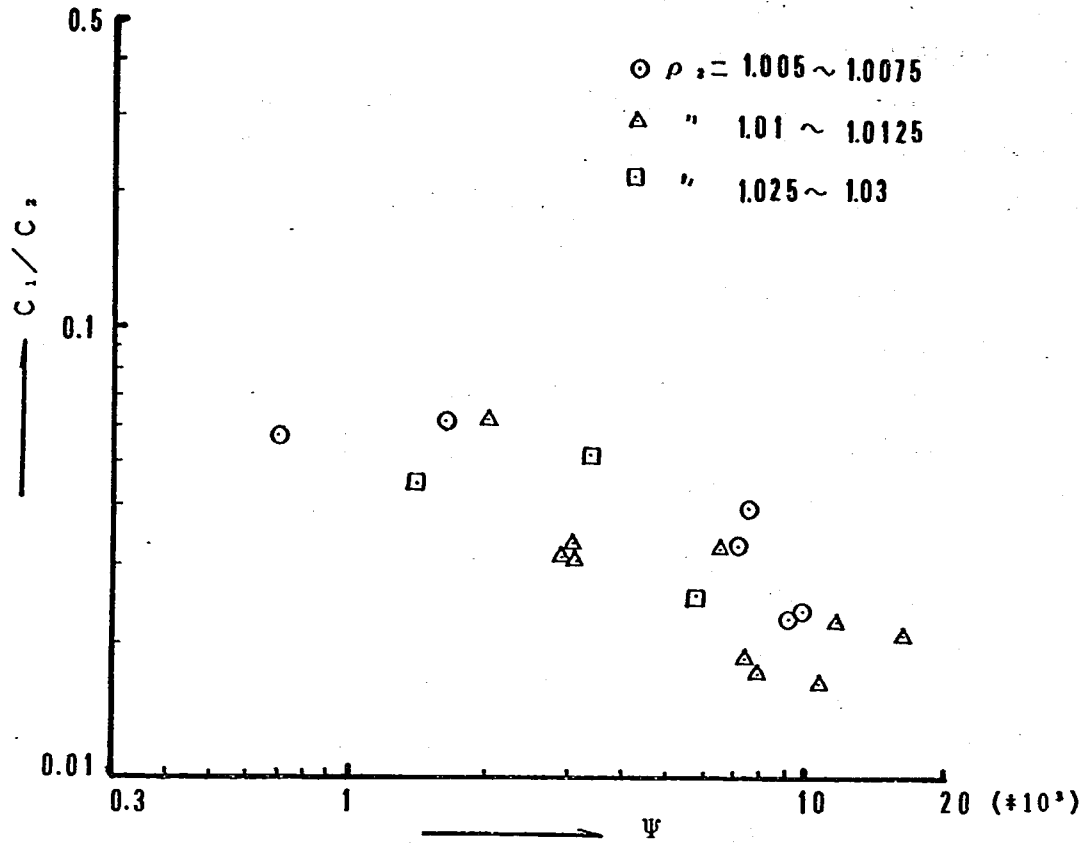


図-4.4 先端部の混合によって上昇した上層の濃度

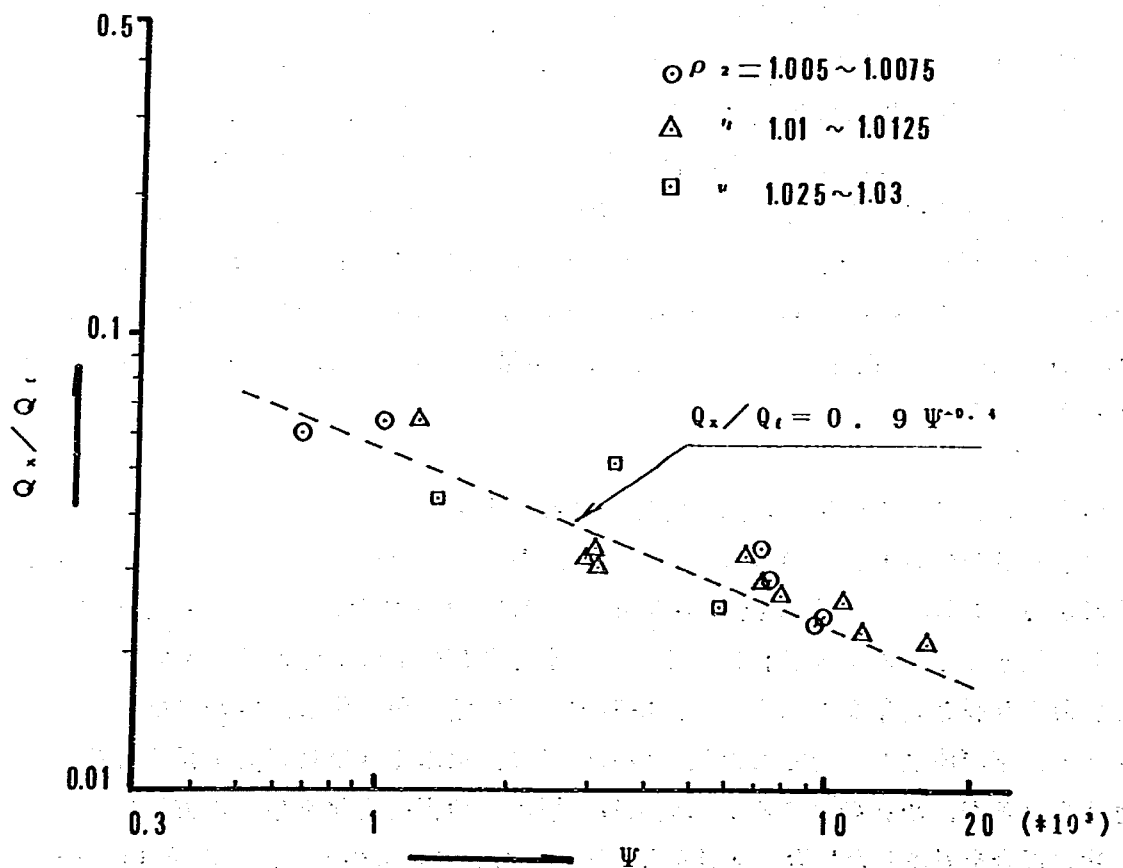


図-4.5 塩水くさび先端部の混合量

いる。塩分くさび先端付近での混合量および連行係数は先の図-4.5および(4-51)式を用い、境界面抵抗係数は(4-55)式を用いる。ただし、この場合検証計算により、塩水くさびの計算結果と実測値の適合性を見ながら(4-49)式の最適定数 a を決定したり、実測値から抵抗係数の最適定数を逆算して用いると良い。

いっぽう、(4-12)式や(4-42)式に基づいて計算を実施する場合、河口において限界水深を与えると $\Delta h_1/\Delta x \rightarrow \infty$ となってしまうので、計算上は $h_1/h_{1c} = 1.05 \sim 1.1$ を出発水深とする。この場合、河口付近は $\Delta h_1/\Delta x$ の変化が大きいので区間距離 Δx を小さくとる必要がある。また(4-47)式では、上流側断面の h_1 とともに Q_1 も未知量であるから、 Δx を小さくし内部フルード数の変化量を少なくしても、 h_1 および Q_1 について繰り返し計算を行わなければならない、非常に煩雑である。したがって、 Δx を小さくしておけば(4-42)式より、下流側の水理量によって上流側の h_1 を求めても差はほとんどない。しかし、この場合でも上流側断面の h_1 によって Q_1 および ρ_1 が変化する。混合を考慮した場合の塩水くさび形状は、河道内において内部フルード数が大きければ河口で与えられる支配断面等からして、混合を無視した場合より塩水くさび長が短くなることを示している。実際の現象でも混合の進んでいる方が遡上距離が短いことなどから理解されよう。ただし、下層から上層への混合が促進されると(2-42)式の右辺第3項の影響により、 $\Delta h_1/x$ も小さくなるので、河口における境界面位置の下がった効果がそのまま遡上距離の減少につながるものでないことに留意する必要がある。

4-1-2 一次元拡散不定流モデル

1) 基礎式

河川の流れに沿った一次元拡散方程式は次式のとおりである。

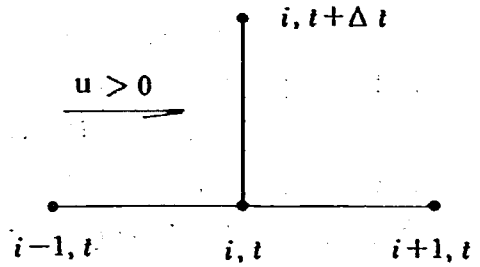
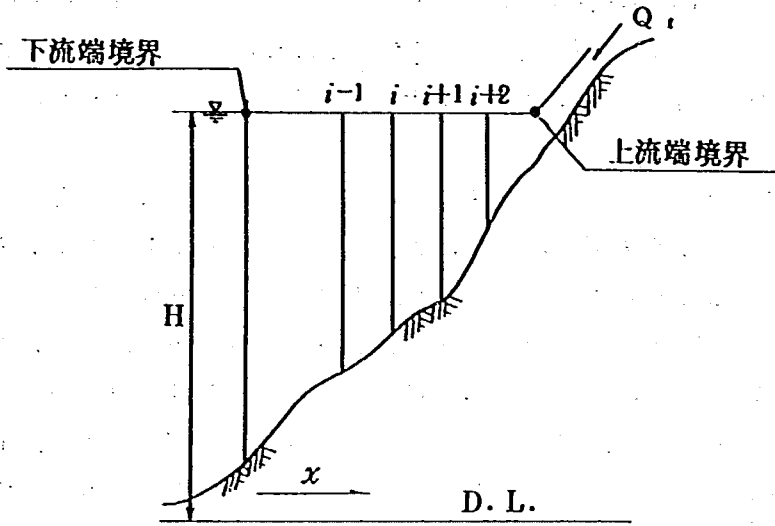
$$\frac{\partial (A \cdot C)}{\partial t} = \frac{\partial (A \cdot u \cdot C)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A \cdot D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (4-56)$$

また、これを解くためには水理量 $(A \cdot u)$ が必要であるので、同時に不定流計算を行う。不定流および連続の方程式は次式のとおりである。

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{gA^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{H}{gA} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{|Q|Q}{K^2} = 0 \quad (4-57)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4-58)$$

ここに t : 時間, A : 断面積, C : 濃度, D : 拡散係数, Q : 流量, H : 水位, g : 重力加速度, $K = A^2 \cdot R^{1/3} / n$, R : 径深, n : 粗度係数である。実際の計算には(4-56), (4-57), (4-58)式を差分法して用いる。不定流の陰形式差分法による計算は文献(34), (35), に詳しく解説されておりここでは割愛し、拡散方程式の差分法についてのみ以下に述べる。



① $u > 0$ の時

$$\frac{\partial (A \cdot C)}{\partial t} = \frac{A_{i,t}}{\Delta t} (C_{i,t+\Delta t} - C_{i,t})$$

$$\frac{\partial (A \cdot u \cdot C)}{\partial x} = \frac{u_{i,t}}{\Delta x} (A_{i,t} \cdot C_{i,t} - A_{i-1,t} \cdot C_{i-1,t})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (A \cdot D \cdot \frac{\partial C}{\partial x}) &= \frac{D}{\Delta x^2} \left[\frac{A_{i+1,t} + A_{i,t}}{2} (C_{i+1,t} - C_{i,t}) \right. \\ &\quad \left. - \frac{A_{i,t} + A_{i-1,t}}{2} (C_{i,t} - C_{i-1,t}) \right] \end{aligned}$$

上式を整理すると

$$\begin{aligned} C_{i,t+\Delta t} &= C_{i+1,t} \frac{D \cdot \Delta t (A_{i+1,t} + A_{i,t})}{2 \cdot \Delta x^2 \cdot A_{i,t}} \\ &\quad + C_{i,t} \left[1 + \frac{u_{i,t} \cdot \Delta t}{\Delta x} - \frac{D \cdot \Delta t}{2 \cdot \Delta x^2 \cdot A_{i,t}} (A_{i+1,t} + 2A_{i,t} + A_{i-1,t}) \right] \\ &\quad + C_{i-1,t} \left[- \frac{u_{i,t} \cdot \Delta t \cdot A_{i-1,t}}{\Delta x \cdot A_{i,t}} + \frac{D \cdot \Delta t}{2 \cdot \Delta x^2 \cdot A_{i,t}} (A_{i,t} + A_{i-1,t}) \right] \end{aligned}$$

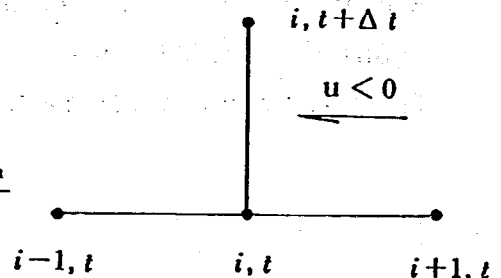
② $u < 0$ の時

$$\frac{\partial (A \cdot C)}{\partial t} = \frac{A_{i,t}}{\Delta t} (C_{i,t+\Delta t} - C_{i,t})$$

$$\frac{\partial (A \cdot u \cdot C)}{\partial x} = \frac{u_{i,t}}{\Delta x} (A_{i+1,t} \cdot C_{i+1,t} - A_{i,t} \cdot C_{i,t})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (A \cdot D \cdot \frac{\partial C}{\partial x}) = \frac{D}{\Delta x^2} \left[\frac{A_{i+1,t} + A_{i,t}}{2} \right.$$

$$\left. (C_{i+1,t} - C_{i,t}) - \frac{A_{i,t} + A_{i-1,t}}{2} (C_{i,t} - C_{i-1,t}) \right]$$



上式を整理すると

$$C_{i+1,t+\Delta t} = C_{i+1,t} \left(\frac{D \cdot \Delta t (A_{i+1,t} + A_{i,t})}{2 \cdot \Delta x^2 \cdot A_{i,t}} + \frac{\Delta t \cdot u_{i,t} \cdot A_{i+1,t}}{\Delta x \cdot A_{i,t}} \right) \\ + C_{i,t} \left[1 - \frac{u_{i,t} \cdot \Delta t}{\Delta x} - \frac{D \cdot \Delta t}{2 \cdot \Delta x^2 \cdot A_{i,t}} (A_{i+1,t} + 2A_{i,t} + A_{i-1,t}) \right] \\ + C_{i-1,t} \frac{D \cdot \Delta t (A_{i,t} + A_{i-1,t})}{2 \cdot \Delta x^2 \cdot A_{i,t}}$$

2) モデル定数等について

モデルの取り扱いについては、①河口条件（河口の位置、河口部の塩分濃度）、②モデル定数を実河川に適合するように決定する必要があるが、①については定式化された方法はなく、河川によりあるいは解析者によりまちまちであるというのが実情である。②の拡散係数Dは、実測値との検証により設定する。Dのオーダーは概ね 1×10^{-4} (m^2/s) 程度であると見て良い。

4-2 塩水くさびの水力特性

ここでは塩水くさびの基礎的な水力特性や挙動等について、これまでの研究成果を以下に概説する。

4-2-1 塩水くさびの進行速度

塩水くさびの進行速度については、山口らによって以下に述べるような実験と成果が得られている³⁵⁾。

図-4.6に示すように、水路を隔壁で2つに区切り、一方に淡水を、他方に塩水を同一水深で満たしておき、隔壁を取り去ると塩水は塩水くさびとなって淡水中を進行し、淡水はやはりくさび状に流れる。この塩水くさびの進行速度 V_s 、淡水の進行速度 V_f を実験により求め、水深 H_0 、ゲート開度 a 、塩水密度 ρ_2 との関係等について調べた。

この塩水および淡水の進行速度 V_s 、 V_f を

$$V_s = K_1 \sqrt{\epsilon g H_0}, \quad V_f = K_2 \sqrt{\epsilon g H_0}$$

の形で表わし、その結果を示したのが図-4.7である。ここに K_1 、 K_2 ：係数、 $\epsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ 、 H_0 ：水深である。係数 K_1 、 K_2 はゲートを完全に開き、かつ進行速度が極端に小さくない範囲では、塩水密度 ρ_2 の違いにかかわらず

$$K_1 = 0.45, \quad K_2 = 0.57$$

という値を得る。なお、レイノルズ数の一種 $R = V \cdot H_0 / \nu$ が小となると K_1 、 K_2 も図-4.8に示すように小さくなる。さらにゲートが完全に開いていない場合も係数 K は、図-4.9.1、4.9.2に示すように小さくなる。

塩水に対する K より淡水に対する K の値の方が大であるのは、塩水が河床に沿って進行するため摩擦が大きいのにに対し、淡水は水面の空気に接している部分が主体で、ロスが小さいためと考えられる。

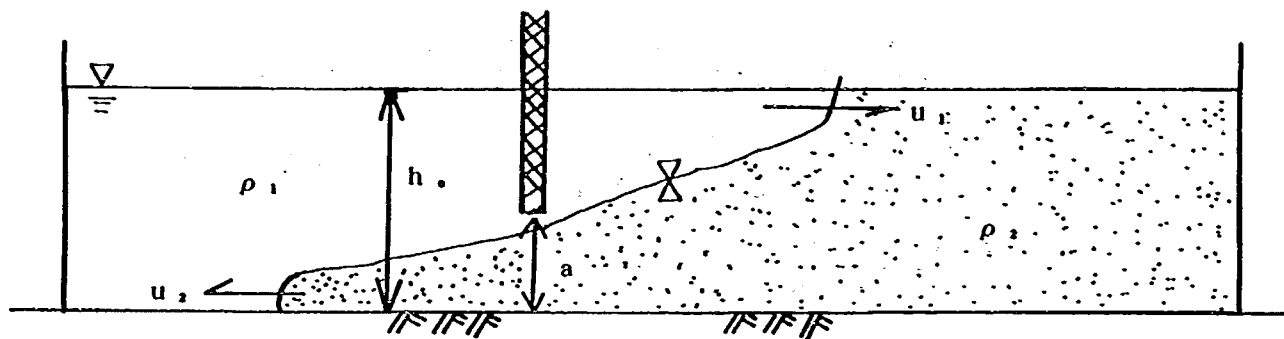


図-4.6 塩水くさびの進行速度実験概要図

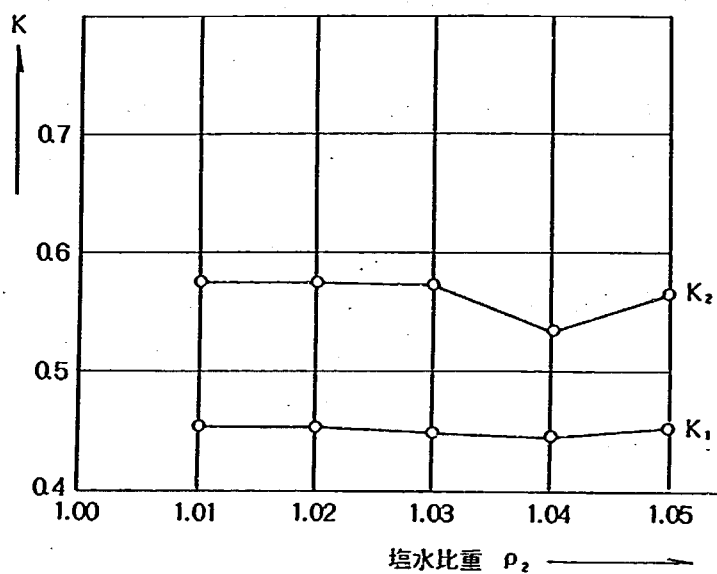


図-4.7 密度の違いによる速度係数<ltmath>K</math>の変化

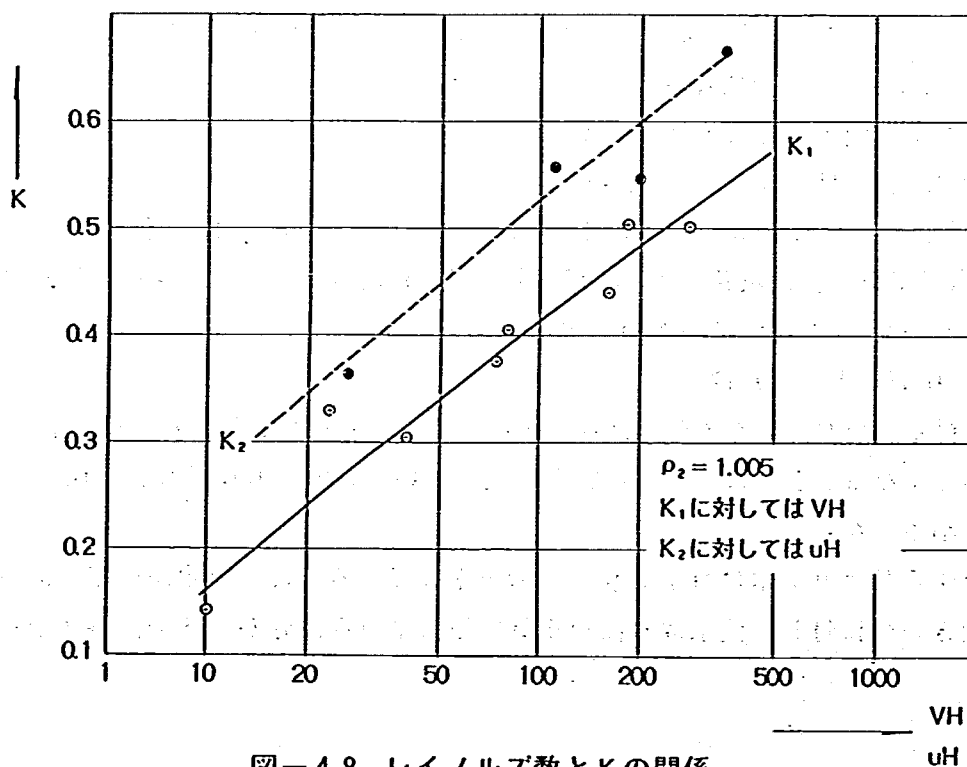


図-4.8 レイノルズ数と<ltmath>K</math>の関係

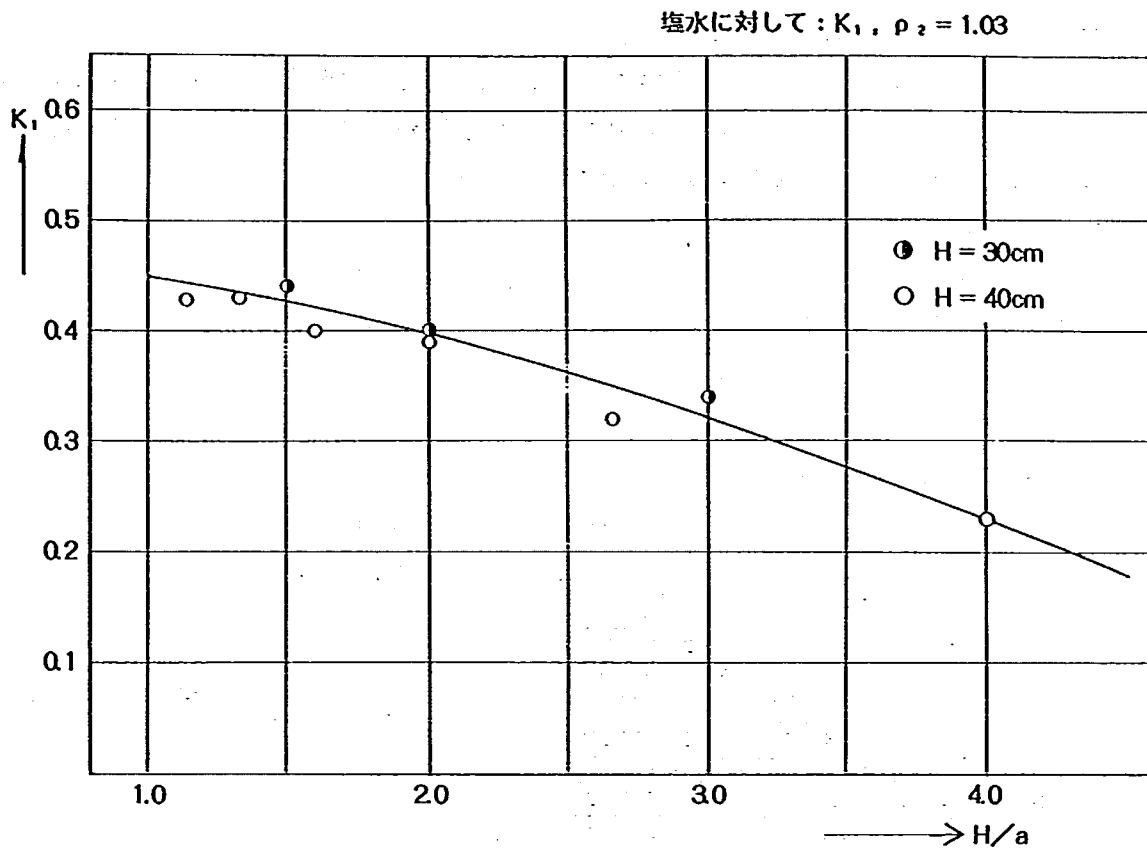


図-4.9.1 ゲート開度による速度係数 K_1 の変化

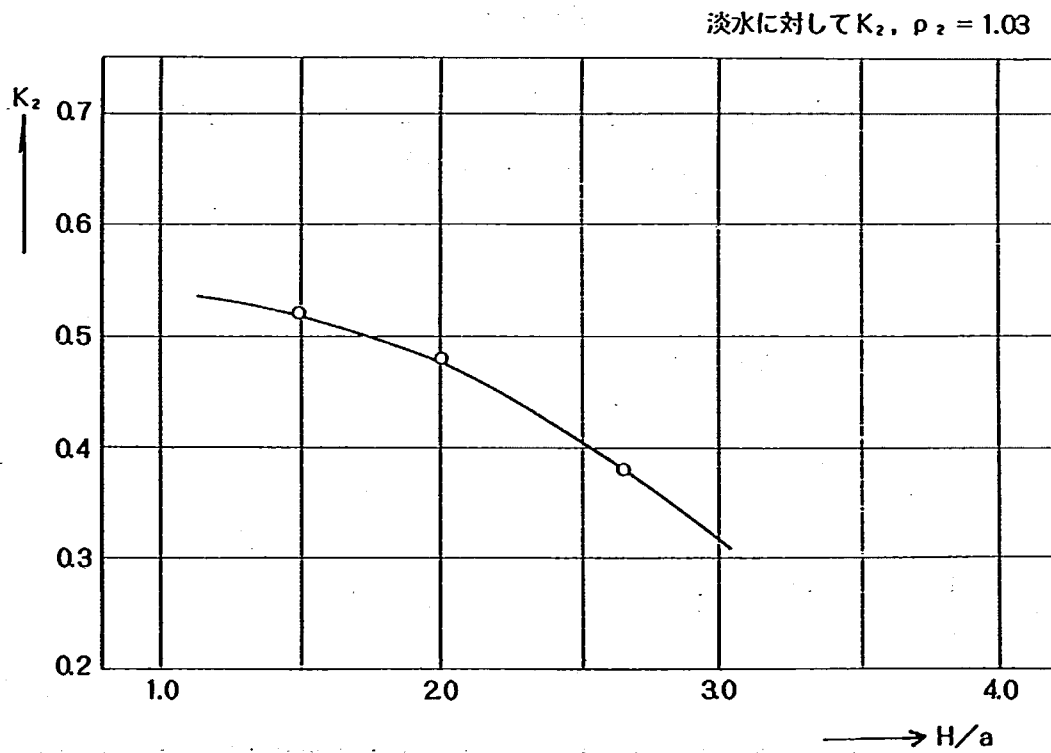


図-4.9.2 ゲート開度による速度係数 K_2 の変化

4-2-2 水門からの塩水侵入限界

1) 水門からの塩水侵入と上下流水位差

図-4.10のごとく、堰の上下流側の静水圧分布は、淡塩水の密度の違いから河床より b の点で交わる。すなわち b より下部では、下流側塩水の静水圧が勝り、上部では上流側の静水圧が大きい。 b は泉・馬場らの研究成果より、次式で求められる³⁷⁾。

$$\rho_1 (h_1 - b) = \rho_2 (h_2 - b)$$

$$h_2 = h_1 - \Delta h, \rho_2 = \rho_1 + \Delta \rho, \epsilon = \Delta \rho / \rho_1 \text{ とおけば}$$

$$b = h_1 (1 + 1/\epsilon) \cdot \Delta h \quad (4-59)$$

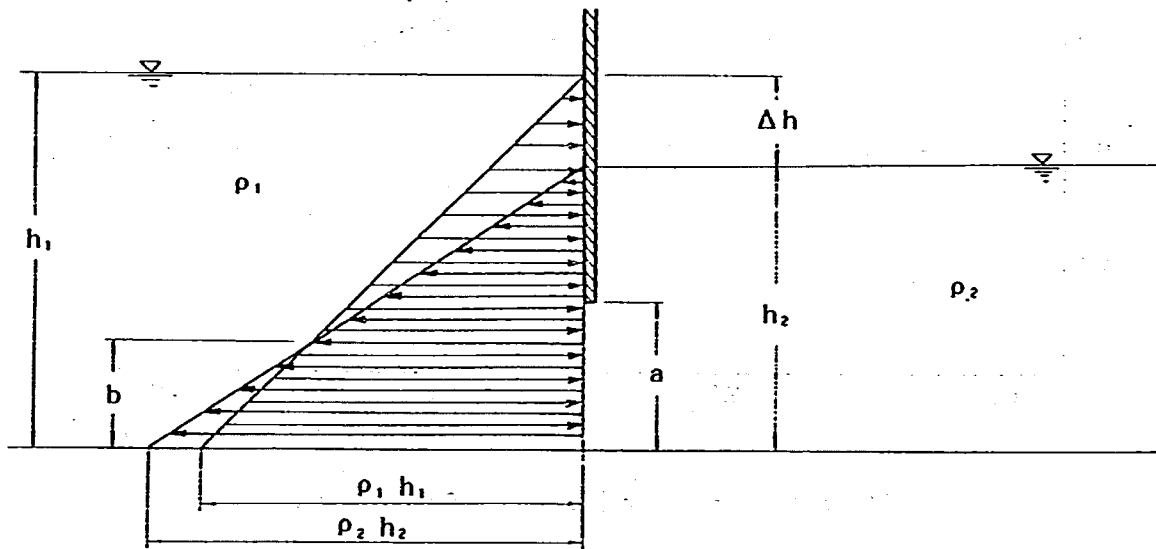


図-4.10

いまゲート下部の塩水侵入現象が静水圧の釣り合う条件だけで説明できるとすれば、ゲート開度と b （上・下水位差）との組合せで、次の状況が考えられる。

(1) $b \leq 0$ の時

(4-59) 式より

$$h_1 - (1 + 1/\epsilon) \cdot \Delta h \leq 0$$

$$\therefore \Delta h \leq \left(\frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \right) h_1$$

または

$$\left(1 + \frac{1}{\epsilon} \right) \cdot \frac{\Delta h}{h_1} \leq 1$$

(4-60)

この時は、水面から河床まで全域にわたって、ゲート上流側淡水の静水圧が下流側塩水の静水圧より大きいので、ゲート開度に関係なく塩水は侵入しない。

(2) $b > 0$ の時

b 以下でゲート下流側塩水の静水圧の方が、上流側淡水より大きいので、ゲート開度 a の大きさによっては、塩水が侵入するようになる。すなわち

① $a \leq b$ の時

ゲート開口部全域で下流側塩水の静水圧の方が大きいので、当然塩水は侵入する。

② $a > b$ の時

ゲート開度の増加とともに、ゲート開口部における上流側静水圧はしだいに増加し、ついには下流側塩水の静水圧と釣り合うようになる。この上・下流静水圧が釣り合うゲート開度は次式で求められる。

ゲート開口部の上流側静水圧は

$$P_1 = \rho_1 \cdot a / 2 \{h_1 + (h_1 - a)\}$$

ゲート開口部の下流側静水圧は

$$P_2 = \rho_2 \cdot a / 2 \{h_2 + (h_2 - a)\}$$

$P_1 = P_2$ なので

$$\rho_1 \cdot a / 2 \{h_1 + (h_1 - a)\} = \rho_2 \cdot a / 2 \{h_2 + (h_2 - a)\}$$

$h_2 = h_1 - \Delta h$, $\rho_2 = \rho_1 + \Delta \rho$, $\epsilon = \Delta \rho / \rho_1$ とおけば

$$a = 2 \{h_1 - (1 + 1/\epsilon) \cdot \Delta h\} = 2b \quad (4-61)$$

$$a/h_1 = 2 \left\{ 1 - \left(1 + \frac{1}{\epsilon} \right) \frac{\Delta h}{h_1} \right\} = \frac{2b}{h_1}$$

ゲート開度 a が (4-61) 式の時、ゲート開口部の上下流側静水圧は釣り合っているが、 b 点を境として下方では上流側、上方では上流側の静水圧の方がそれぞれ大きいので、ゲート開口部の下方で塩水が侵入するだろう。

ゲート開度 a が (4-61) 式以上では、 a の増加に伴って上流側の静水圧も大きくなるので、ある開度以上では塩水の侵入は見られなくなろうが、この塩水が侵入しない限界開度は、ゲート上・下流の静水圧のみでは説明できない。

2) 水門開閉に関する限界水位差

水門からの塩水侵入限界については、泉・馬場らが実験を実施し、次のような結果を得ている³⁷⁾。

実験は、長さ 100.0m、幅 0.8m、高さ 1.0m の片面ガラス張りの二次元水路を用いて実施された。水路の下流端から 10.0m の地点にスルースゲートが設置されており、これを模型ゲートとして利用した。ゲートの形状は図-4.11 に示すごとく、厚さ 9mm の刃形ゲートである。

実験の手順は、次の通りである。すなわち、模型ゲートの上流側に淡水、下流側に塩水を、それぞれ所定の高さまで貯留する。次に模型ゲートを所定の開度まで開き、塩水の上流側への侵入状況を観察する。ゲート開放と同時に、上流側の淡水はゲートより流出するので、上流側貯水位は低下する。そのためゲートからの流出量に見合った流量を水路上流端から供給しながらゲートを開放した。ゲート開放時より 20 秒間隔でゲートの上下流水位を測定し、このゲート開

放後10~80secのデータのうちで塩水の侵入に対して安全側となる Δh の最小値を水理条件として採用した。

実験条件は表-4.2に示すように、模型ゲートの上流側水深43.9~73.6cm、下流側水深41.4~65.9cm、ゲート開度2.0~20.0cmの範囲で計61ケース行った。なお、塩水の密度は1.023とし、ゲートの下部に図-4.11に示す固定堰を設置した場合の実験も行った。

図-4.12は実験結果について a/h_1 , $(1+1/\epsilon) \cdot \Delta h/h_1$ をプロットしたものである。同時に示した他の資料はすべて塩水の侵入が見られたものである。図によると $(1+1/\epsilon) \cdot \Delta h/h_1 \geq 2b/h_1$ の領域ではほとんど塩水は侵入しない。また、 $a/h_1 < 2b/h_1$ は侵入領域になっており、ほぼ前述の考察が妥当なことを示している。またゲートの下部に堰を設けた時は、上流側的水深として堰としての天端から上部を取れば、堰のない場合と同様にあつかえることを示している。これらのことから、堰からの塩水の侵入現象は、静水圧の釣り合い条件だけでも、かなりよく説明できると言えよう。

次のこの実験結果をもとに実際の潮位変動に伴うゲート操作の方法を考えてみる。ゲートの上流側水位が一定に保たれている時、図-4.13において塩水の侵入しない点1は、下流側潮位の上昇に伴い、点4の方向へ移動する。この点4は塩水侵入領域なので、点3付近でゲートを閉じないといけない。しかし、点3を下方へ移動させる（ゲートを閉じる）と、塩水侵入領域を通過するので、ゲートは点2以前に閉じなければならない。

表-4.2 実験範囲

	泉・馬場・山田・小川 ¹⁾	資料-1	資料-2
上流水深(cm) h_1	43.9 ~ 73.6	33.0	30.4 ~ 49.6
下流水深(cm) h_2	41.4 ~ 65.9	5.5 ~ 26.3	29.4 ~ 48.6
ゲート開度(cm) a	2.0 ~ 20.0	0.50 ~ 11.22	2.2 ~ 17.0
塩水比重 ρ_2	1.023	1.03	1.024 ~ 1.042
水路幅(cm)	80.0	30.0	10.0
$\Delta h = h_1 - h_2$ (cm)	0.26 ~ 13.27	0.168 ~ 0.990	0.251 ~ 1.05
a/h_1	0.0304 ~ 0.455	0.015 ~ 0.28	0.047 ~ 0.579
$(1+\frac{1}{\epsilon}) \frac{\Delta h}{h_1}$	0.176 ~ 8.489	0.175 ~ 1.03	0.332 ~ 0.914

資料-1 佐世保重工業株式会社 S49-1

資料-2 香川県企画室 S39-5

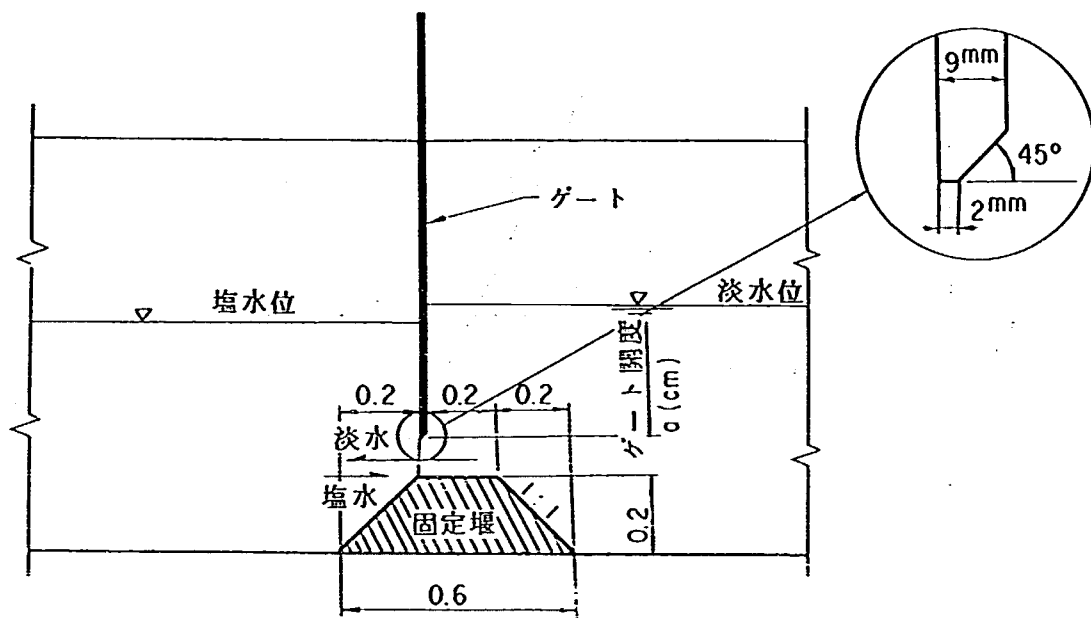


図-4.11 ゲート形状図

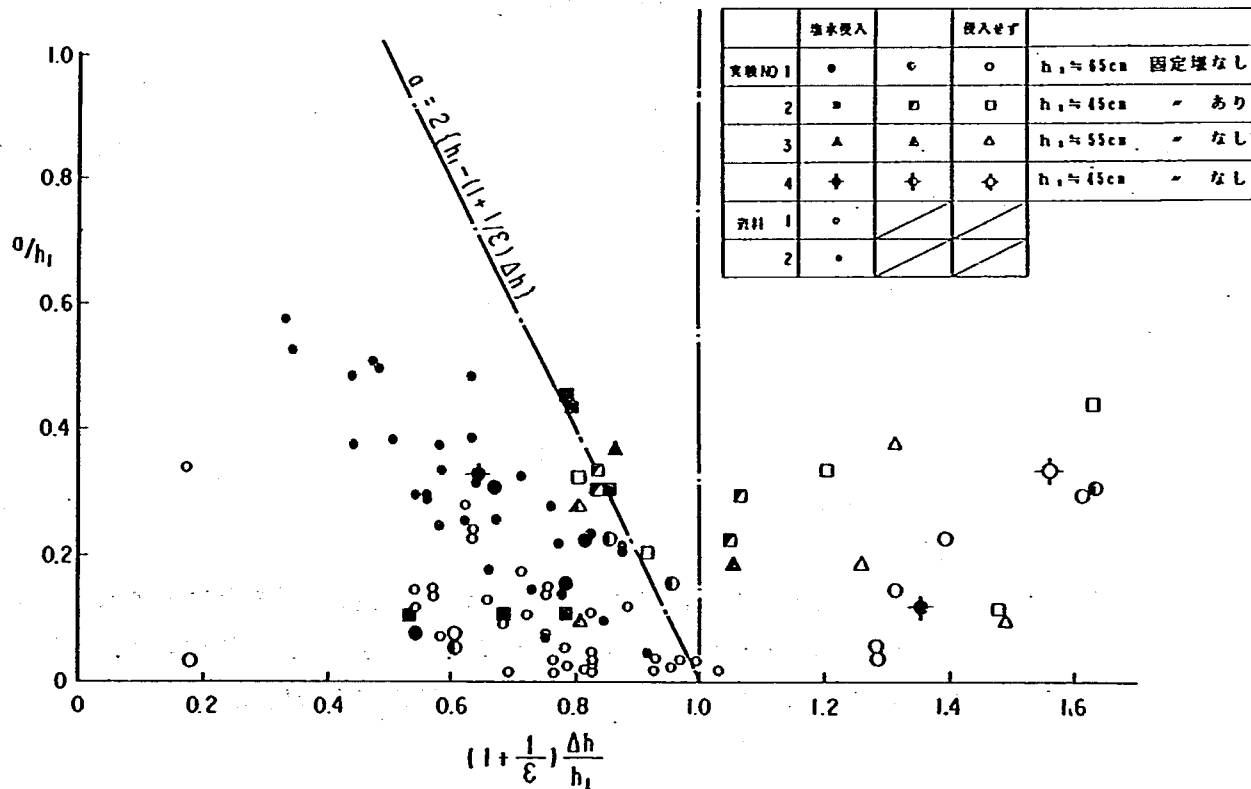


図-4.12 a/h_1 と $(1 + 1/\epsilon) \cdot \Delta h/h_1$ との関係

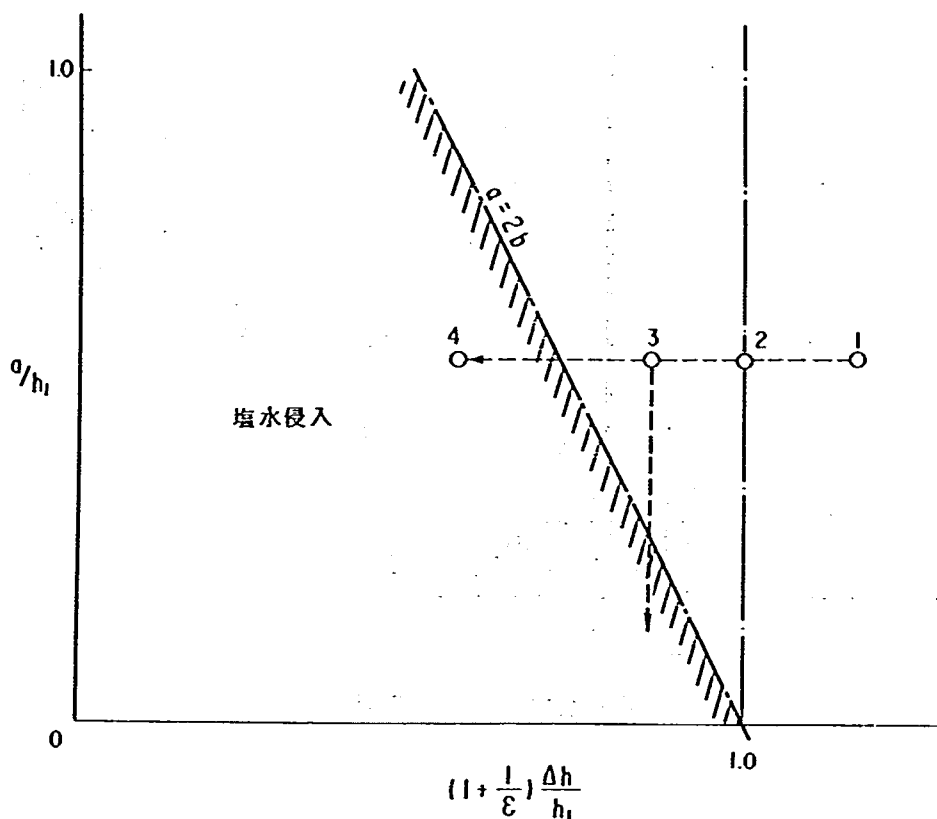


図-4.13 塩水の侵入限界

下流側潮位が低下し、 $a = 0$ の状態から再びゲートを開ける時期は、 $(1 + 1/\epsilon) \cdot \Delta h/h_1 \leq 1.0$ の範囲では、塩水侵入領域から開き始めることになるので、結局ゲート開閉の限界条件は $(1 + 1/\epsilon) \Delta h/h_1 > 1.0$ になる。

すなわち、 $(1 + 1/\epsilon) \cdot \Delta h/h_1 > 1.0$

$$\therefore \Delta h > \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} h_1$$

$\epsilon = \Delta \rho / \rho_1 = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$ を代入すると

$$\Delta h > (1 - \rho_1 / \rho_2) \cdot h_1 \quad (4-62)$$

これがゲート開閉限界水位差である。

なお、他に河道内に侵入した塩水を水門により下層塩水のみを排除（または下層取水）する限界については、Harleman, Gooch と Ippen の研究がある³⁵⁾。さらに、上流側の淡塩水境界面位置とゲート開度に対する淡塩水の排出比 Q_s/Q に関しては山口らの研究がある^{35) 35)}。

4-2-3 下層塩水の取水限界

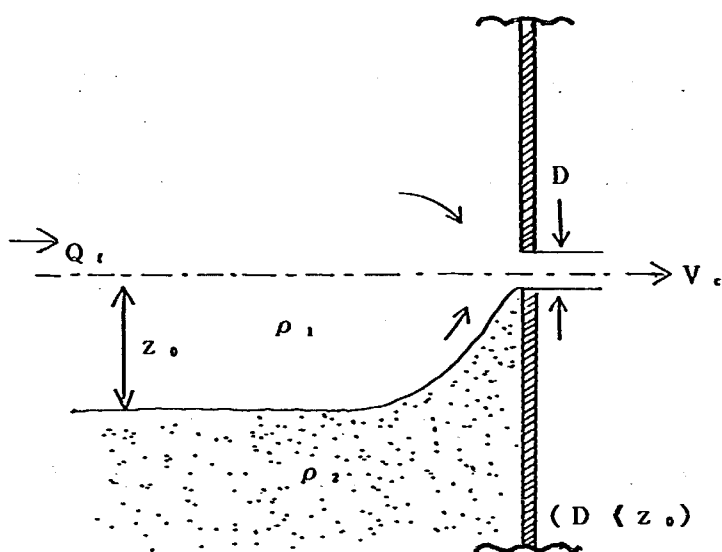
河道内に遡上した塩水が下層に層化しているような場合、この下層塩水を吸上げない限界の取水条件に関する研究としては、図-4.14 の条件における Craya の次のような実験式がある⁴⁰⁾。

$$\text{Orifice} : \frac{V_c}{\sqrt{\epsilon g Z_0}} = 3.25 \left(\frac{Z_0}{D} \right)^2 \quad (4-63)$$

$$\text{Slot} : \frac{V_c}{\sqrt{\epsilon g z_0}} = 1.52 \left(\frac{z_0}{D} \right) \quad (4-64)$$

さらに内部境界面に対し、図-4.15のように、垂直上方に設けた鉛直な取水管を用いて上層水を取水する時、下層水を吸上げない限界流速 V_c については、管径 D 、取水管下端の内部境界面の高さ z_0 としたとき次の式がある¹⁾。

$$\frac{V_c}{\sqrt{\epsilon g z_0}} = 5.70 \left(\frac{z_0}{D} \right)^{3/2} \quad (4-65)$$



Orifice:

$$\frac{V_c}{\sqrt{\epsilon g z_0}} = 3.25 \left(\frac{z_0}{D} \right)^2$$

Slot:

$$\frac{V_c}{\sqrt{\epsilon g z_0}} = 1.52 \left(\frac{z_0}{D} \right)$$

図-4.14 Crayaの取水限界に関する実験式

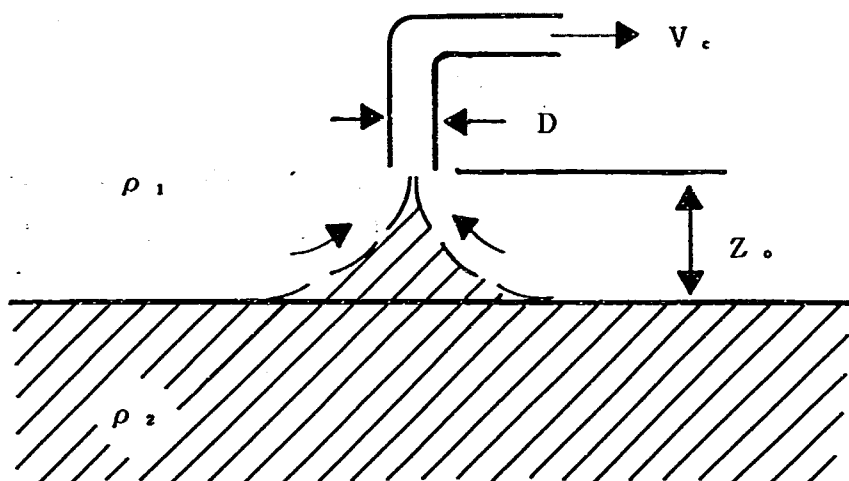


図-4.15 上方取水に関する記号、諸元

いっぽう、開水路によって取水する場合の取水限界については、山口らによって以下に述べるような実験による検討が行われている³⁶⁾。図-4.16に示すような実験水槽に $z_0 = h_0/2$ 程度から淡水のみを給水して実験を続けると、界面は徐々に低下し、塩水の排出量も減少していく。取水路側で電導度計により濃度を連続的に測定していき、河道側淡水の塩分濃度 (60ppm 程度) との差が 20ppm 程度になったときをもってここでは限界とした。他に淡水に対して塩水流量を 1%, 2.5%, 5%, 10% 等を補給し、平衡状態時における界面位置 z_0' を測定した。実験条件は取水路幅 $B = 30\text{cm}$, 水深 $h_0 = 12.5\text{cm}$ で $Q = 1.0 \sim 12.01/\text{s}$, $\rho_2 = 1.03 \sim 1.004$ の範囲で実験を行った。他に水路幅 (B) を半分にした場合、水深 (h_0) を 12.5cm から 8.5cm に減らした場合についても実験を行った。

この実験結果の $B = 30\text{cm}$, $h_0 = 12.5\text{cm}$ について Craya の整理方法にしたがって $V_c / \sqrt{\epsilon g z_0}$ と z_0/h_0 の関係をプロットしたものを図-4.17 に、幅および水深を変えた場合の $Q_1/Q = 0$ の結果を図-4.18 に示す。これから

①Craya の式との違いを考察すると、まず Craya の場合は二次元で上方に無限であるのに対して、この場合は上半分は開水面で限られていること。しかし、水路側方より三次元的に淡水の流入があり、これが周長にして約倍の効果があることから、ほぼ一致することが予想される。事実わずかばかり実験の場合が引き易いことになっている。

②同様図-4.17 中 $V_c / \sqrt{\epsilon g z_0} < 1$ の付近では $-z_0/h_0$ が下がる傾向が見られるが、これは h_0 という大きな値を $z_0 = 0$ という点に置き換えていることによる誤差であり、取水限界のカーブは $(h_0/2)/h_0 = 0.5$ に向っている。

これは Craya についても $z_0 \gg D$ との制限がついていることから納得できよう。

③水深を減少させると側方からの淡水流入が減少するために塩水は引き易くなり、限界水深は下がっている。

④幅を狭めた効果としては、やはり側方からの淡水流入のウェイトが増加するため、塩水は引きにくくなり、Craya の取水口が円形の場合の三次元の式に近づく結果になった。

次に図-4.17 に対し 0%, 5% のみをプロットしたのが図-4.19 であり、 $B/h_0 = 2.4$ の場合、Craya にならって取水しない限界の実験式は、

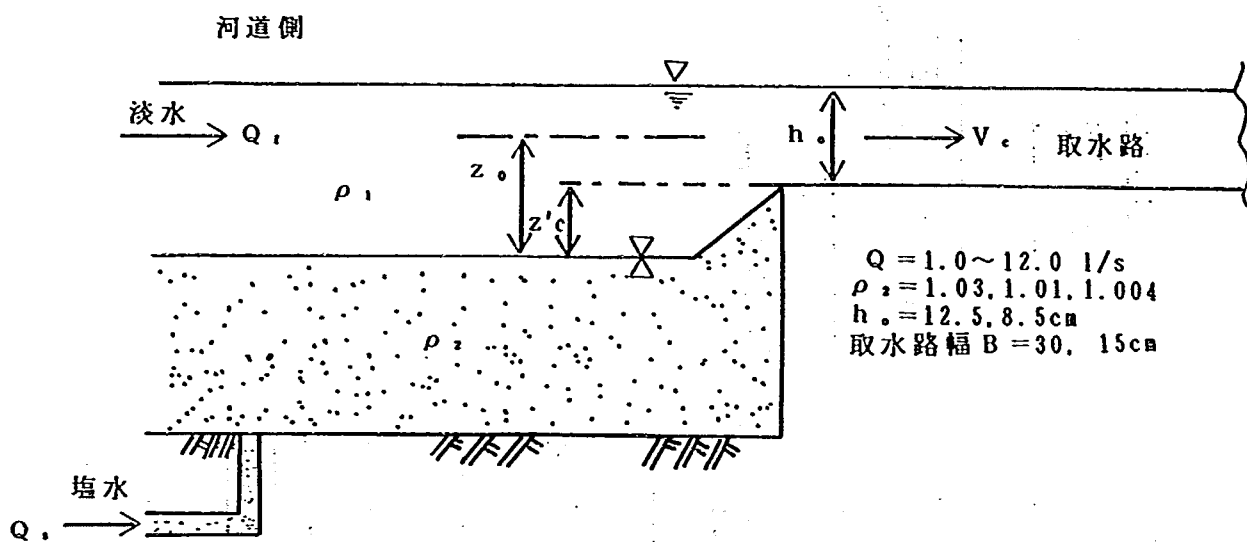
$$V_c / \sqrt{\epsilon g z_0} = 2.09 (z_0/h_0) - 2.09 (h_0/2)/h_0$$

$$(h_0/2)/h_0 = 0.5 \text{ より}$$

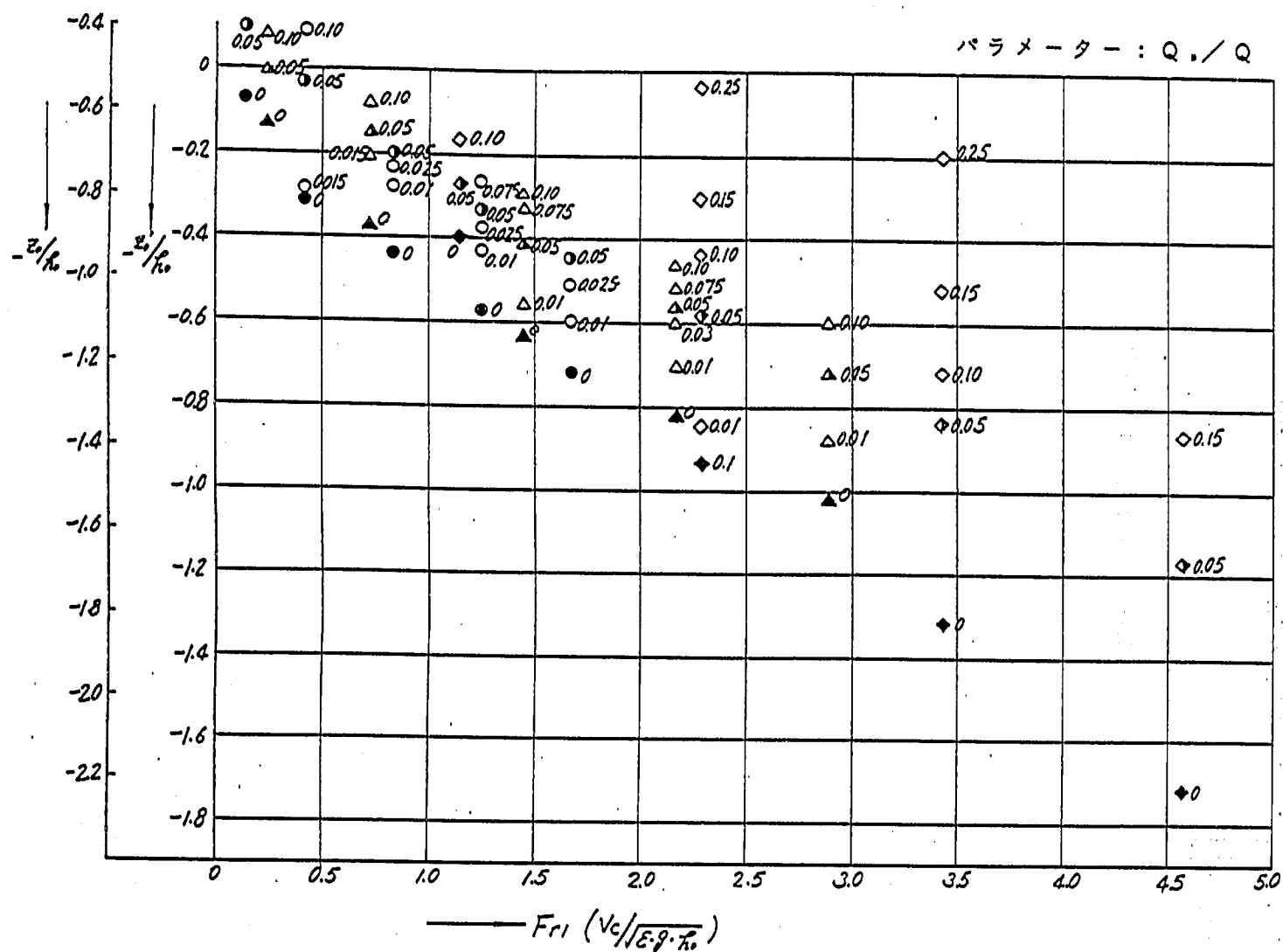
$$V_c / \sqrt{\epsilon g z_0} = 2.09 (z_0/h_0) - 1.045 \quad (4-66)$$

となる。

また Harleman の取り扱いにならって、 $V_c / \sqrt{\epsilon g z_0}$ のかわりに取水口での $F_{c1} = V_c / \sqrt{\epsilon g z_0}$ によっても整理してみたが、これによっても整理することができる (図-4.20)。



図一4.16 取水限界の実験概要図



$B = 30 \text{ cm}$
 $h_0 = 12.5 \text{ cm}$

ρ	
1.03	○
1.01	△
1.004	◇

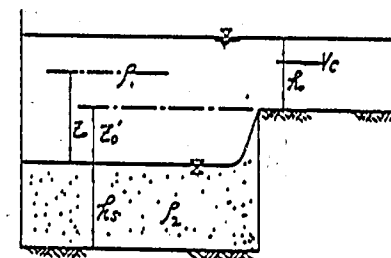


図-4.17 $-z_0/h_0 \sim Fr_1$ 関係図

パラメーター: $Q_*/Q = 0$

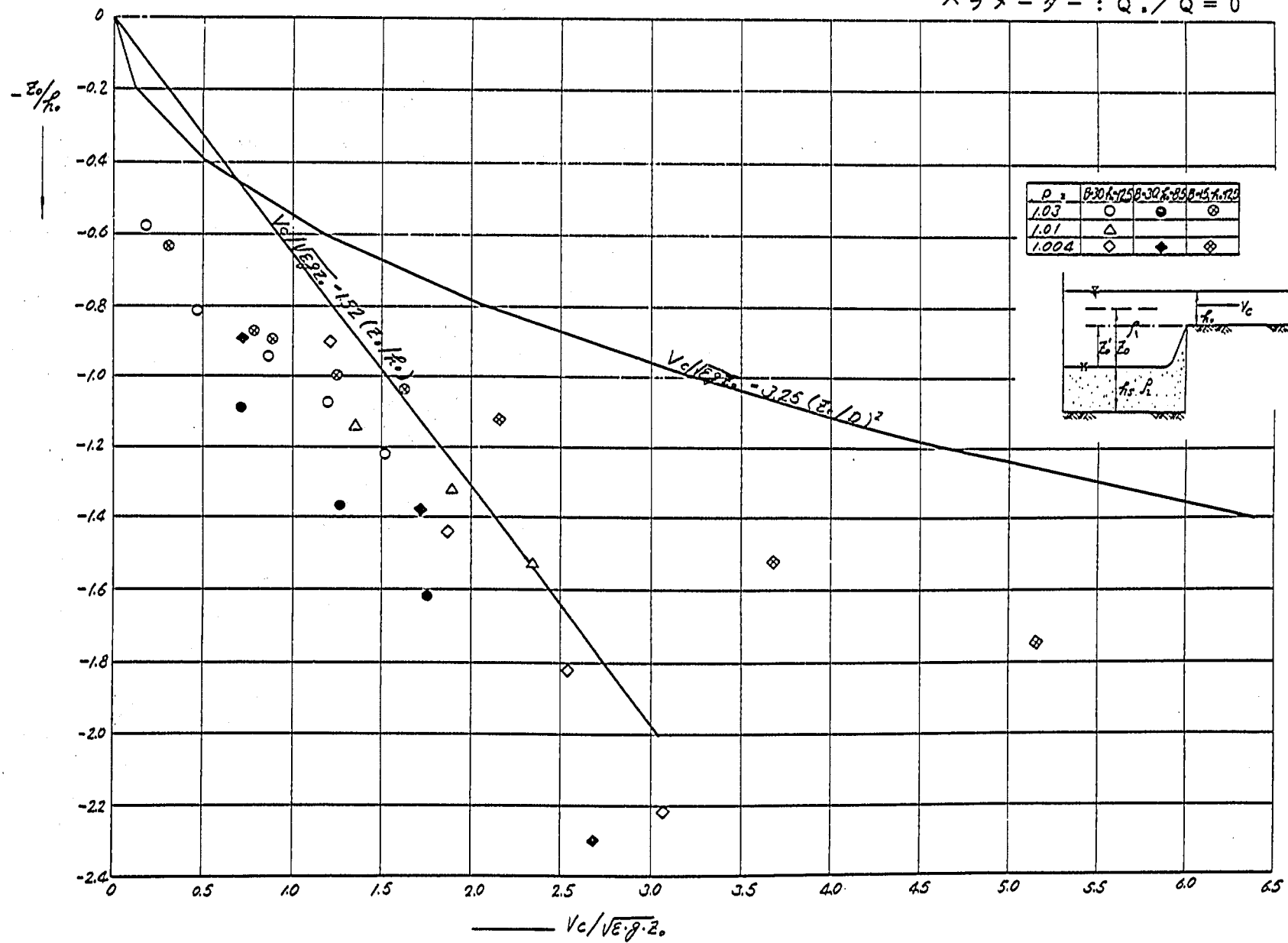
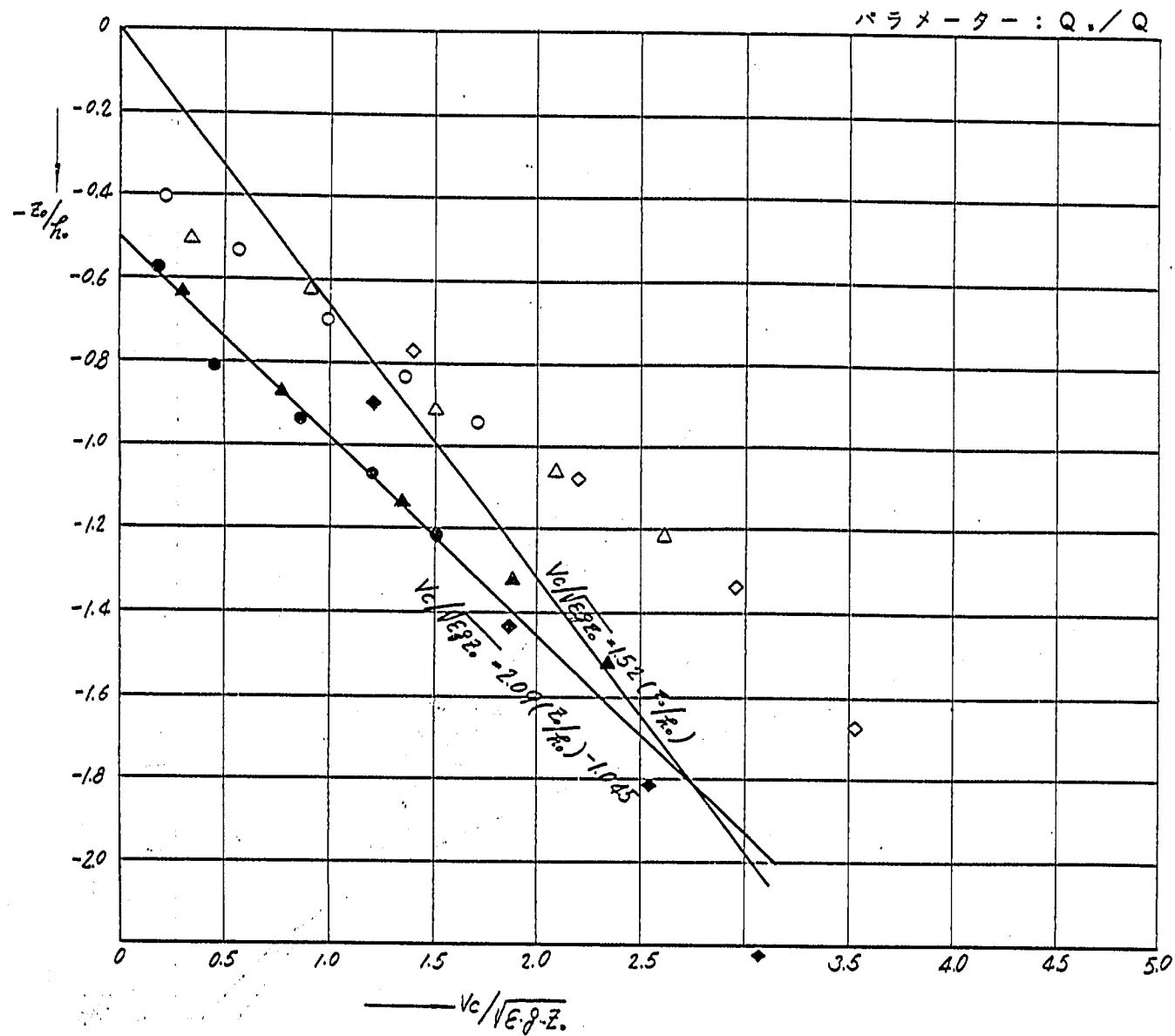


図-4.18 $-Z_0/h_0 \sim V_c/\sqrt{g \cdot Z_0}$



$B=30\text{cm}$ $h_0=12.5\text{cm}$

p	$Q_1/Q=0$	$Q_1/Q=0.05$
1.03	●	○
1.01	▲	△
1.004	◆	◇

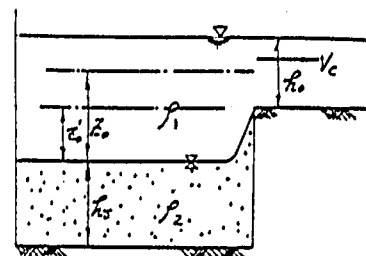
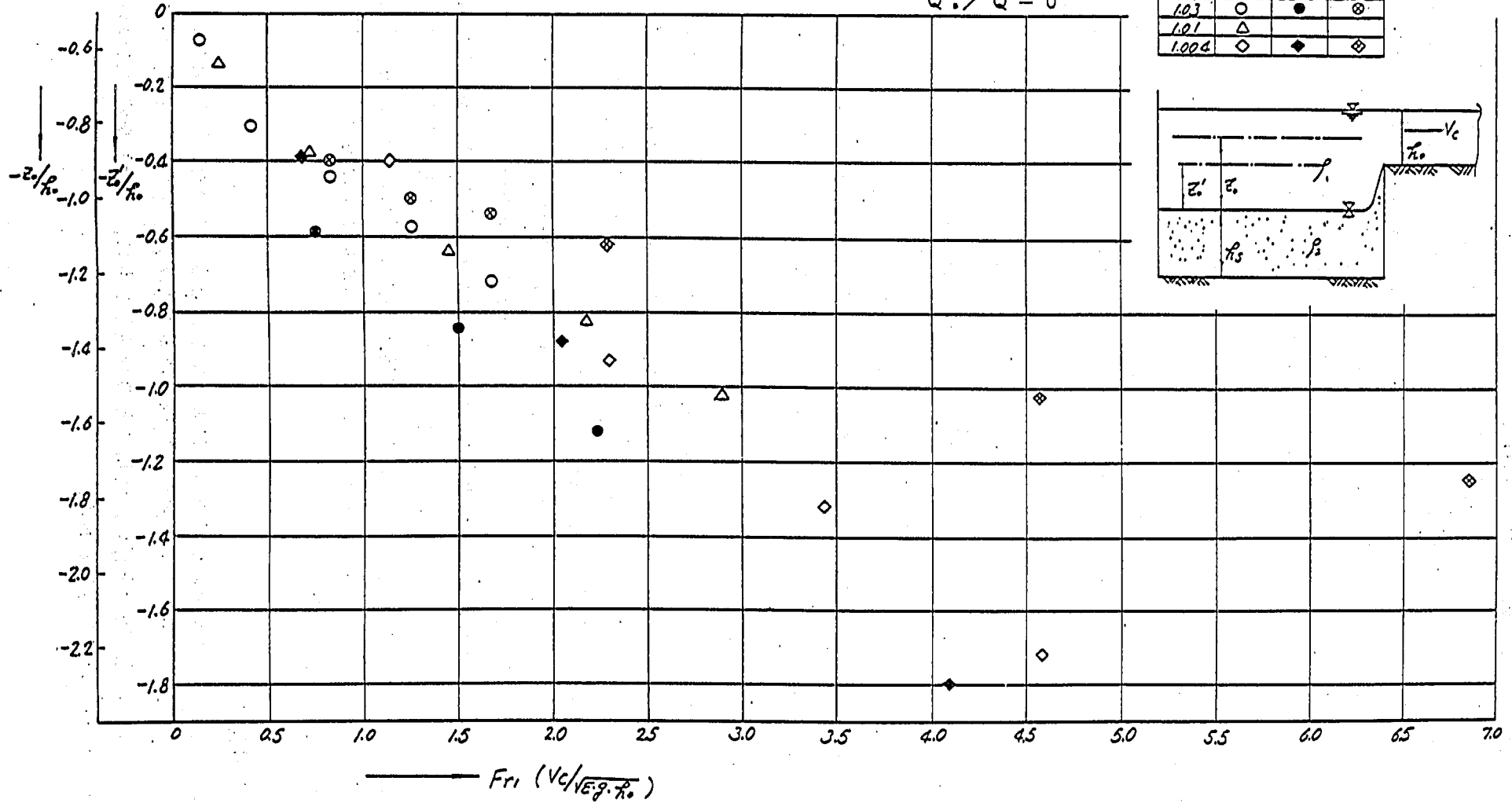
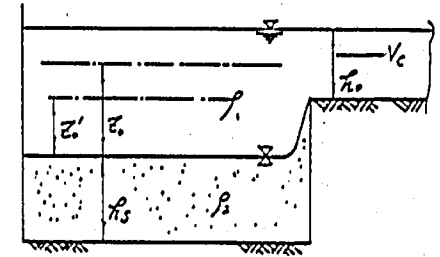


図-4.19 $-Z_0/h_0 \sim V_0/\sqrt{\epsilon g z_0}$

パラメーター: ρ_2

$Q_1 / Q = 0$

ρ_2	$8.30 \sim 10.25$	$10.25 \sim 15.5$	$15.5 \sim 19.2$
1.03	○	●	⊗
1.01	△		
1.004	◇	◆	◇



4-3 海面上昇に伴う塩水遡上現象の変化特性

海面上昇に伴う塩水遡上現象とその変化特性は、海水面の上昇速度や個々の河道特性によってもかなり異なると考えられる。すなわち、上流河道からの流出土砂量の変化や河口部河道への土砂堆積等による影響も生じる。海水面の上昇速度が比較的速い場合は、それに応じて塩水遡上特性も変化して行く。反対に非常に遅ければ、その上昇量に応じて河口部付近は掃流力の低下によって堆積傾向となり、河床高も上昇すると判断される。したがって、この場合は塩水遡上現象の変化は比較的少ないと考えられる。ここでは河口部河道地形があまり変化しないとした場合の塩水遡上現象の変化特性について、以下に述べることとする。

4-3-1 混合形態について

淡塩水の混合形態は、第3章に述べたように、大潮時の潮位変動量と感潮区間長あるいは塩水遡上距離によって良く分類できることを明らかにした。これより、海水面が上昇した場合、感潮区間長が増大することから、それに伴って入退潮量の増大、下層塩水の上層淡水側への連行量の増大によって混合が促進される傾向となる。

したがって、海水面の上昇量によっても左右されるが、感潮区間長の増大によって先の図-3.2、3.3に示したように、大潮時の潮位変動量が混合形態の領域区分の境界付近にある場合、その形態が変化する可能性がある。すなわち、領域区分が緩混合型と強混合型の境界付近にある場合は強混合型へ、弱混合型と緩混合型の境界付近にある場合は緩混合型へ移行する傾向となる。ただし、図-3.2によれば境界付近以外の領域は、混合の度合いが若干増えると考えられるが、海水面の1m程度の上昇によっては、混合形態が変化するようなことはない判断される。

4-3-2 塩水遡上について

海水面の上昇によって、河道内への塩水遡上距離も増大する。これは河口の水理条件等からも明らかである。河道内への塩水遡上距離は、局所的な地形特性である最深河床高が大きな影響を与える。図-3.5に示したように、最大遡上距離は、この最深河床高が平均海水面と一致する河床高となる地点までの河道縦断距離とも密接に関係する。

海水面が上昇した場合、塩水遡上距離が約10km以下の河道では、上昇後の平均海水面と同高となる最深河床高の地点までの河道縦断距離がほぼ最大の塩水遡上距離となる。したがって、海面上昇量と最深河床高勾配によって塩水遡上の変化量も異なる。また、10km以上の塩水遡上距離の河道では、海面上昇に伴う縦断距離の変化量よりやや少ない遡上となろう。なお、個々の河川における塩水遡上変化等の検討は、第4章に述べた解析手法の適用によって、精度の良い予測を行うことが可能である。また、今後河床掘削等によって河床が低下した場合もそれに応じて塩水の遡上距離が増大することになる。

4-4 今後の問題点

河道内の塩水遡上は、水理諸量や河道諸元によっても異なる。このため個々の河川における外力や河道条件の変化に対応した塩水遡上現象を把握、検討する必要がある。よって、今後できるだけ多くの河川において現地観測を行い、河川ごとの特性とともに、一般的な特性についても系統的な分類に基づく検討、考察が必要である。

あ と が き

本報告書は、海面上昇に伴う河道内塩分遡上に関する調査として、平成2年～4年度に実施した結果等を取りまとめたものである。河道内塩水遡上現象については、まだ不明な点も多く、今後も現地調査や実験等により補足し、精度の良い予測が行えるようにして行く必要がある。

なお、現地河川の塩水遡上の実態に関するアンケート調査や資料の収集に際しては、各工事事務所の関係各位に多大な協力をいただいた。ここに記して深く感謝するものである。

1993年3月

参 考 文 献

- 1) 須賀堯三：感潮河川における塩水くさびの水理に関する基礎的研究，土木研究所資料第1537号，1979年12月
- 2) 嶋 祐之：北伊勢工業用水道長良川水源に対する塩水くさびの遡上機構とその防止工法，1963，または長良川における塩水くさびの消長について，土木学会年講，1964
- 3) 須賀堯三：河道内海水遡上現地調査法，土木技術資料18-6，1976
- 4) 水理公式集：昭和46年改訂版，P.591
- 5) Stommel, H. and H.G. Farmer : Contol of salinity in an estuary by a transition, Jour. Mar. Res., Vol.12, No.1, 1953.
- 6) 福岡，市村，加藤，高橋，藤田，加賀谷：阿賀野川における塩水遡上の実態，第33回海岸工学講演会論文集，1986
- 7) 嶋 祐之：密度流論，土木学会水工学シリーズ，1965
- 8) 柏村正和：河口密度流論，土木学会水工学シリーズ，1965
- 9) 岩崎敏夫：密度流の諸問題，土木学会水工学シリーズ，1966
- 10) 中村 宏，安部宣行：河口二層流の研究，電研所報66074，1967
- 11) 中村 宏，稲村敏夫：神通川河口の塩水くさびについて，第13回海岸工学講演会講演集，1966
- 12) 中村 宏：河口密度流に関する二・三の問題，第17回海岸工学講演会講演集，1966
- 13) 須賀堯三，山本晃一，高橋 晃，林 敏夫：最上川河口模型実験報告書，土木研究所資料第887号，1974年3月
- 14) 須賀堯三，高橋 晃：混合を考慮した河口からの塩水くさびの遡上，土木学会水理講演会講演集，1974
- 15) 須賀堯三，高橋 晃：混合を考慮した塩水くさびの計算法，土木技術資料17-10，1975
- 16) Keulegan, G.H. : Interfacial instability and mixing in stratified flows, Jour. of Res. of the National Bureau of Standards, Vol.43, Nov., 1949.
- 17) 岩崎敏夫，岸田州生，富岡亮一：二成層流における密度混合について，土木学会第17回年講，1962
- 18) 岩崎敏夫，斎藤 晃：二成層流の密度混合について（第二報），土木学会第18回年講，1963
- 19) Shi-igai, H. : On the resistance coefficient at the interface between salt and fresh water, 土木学会論文報告集, No.123, 1965.
- 20) 金子安雄：2層流境界面抵抗係数の一例，第13回海岸工学講演会講演集，1966
- 21) 須賀堯三，高橋 晃：弱混合河川における内部抵抗係数，第30回土木学会年講，1975
- 22) 須賀堯三，高橋 晃：塩水くさびに関する大型水路実験による二三の考察，第27回土木学会年講，1971
- 23) 須賀堯三，高橋 晃：内部抵抗係数と連行係数の実用式，土木研究所報告第160号，1983年10月
- 24) Ellison, T. H. and Turner, J. S : Turbulent entrainment in stratified flows, Jour. Fluid Mech., Vol.6, P.423~448, 1959.

- 25) 岸 力, 加藤正進: 二層流の風による混合に関する研究, 第14回海岸工学講演会講演集, P.240
~245, 1967。
- 26) Lofquist, K : Flow and stress near an interface between stratified liquids, The Physics of Fluids, Vol.3, No.2,
p.158~175, 1960.
- 27) 和田 明, 片野尚明: 工業用水の取放水問題, 第15回海岸工学講演会講演集, p.297~306, 1968
- 28) 南 勲, 福島 順: 淡水湖における淡水層中への塩分鉛直拡散, 第15回海岸工学講演会講演集,
p.313~316, 1968
- 29) Kato, H. and Phillips, O. M : On the penetration of a turbulent layer into stratified fluid, J. Fluid Mech.,
Vol.37, part4, P.643~655, 1969.
- 30) 芦田和男, 江頭進治: 密度躍層のある場における濁水の挙動に関する研究 (1), 京大防災研年報,
18-B, 1975
- 31) 須賀堯三, 高橋 晃: 淡塩境界面からの塩水の混入速度, 土木学会年講, II部, p.135~138, 1972
- 32) 須賀堯三, 高橋 晃: 淡塩二層流の連行係数, 土木学会年講, II部, p.383~384, 1976
- 33) 須賀堯三, 高橋 晃: 内部抵抗係数に関する再考, 第26回海岸工学講演会講演集, p.572~576,
1979
- 34) 須賀堯三, 葛西敏彦: 河川における不定流の計算法—陰形式差分法—, 土木研究所資料第1569号,
1980年3月
- 35) 須賀堯三, 石川忠晴, 葛西敏彦, 加賀谷均: 河川における不定流計算法 (II) —分合流を考慮し
た陰形式差分法—, 土木研究所資料第1762号, 1982
年3月
- 36) 山口高志, 松田芳夫, 高橋 晃: 利根川河口堰塩水遡上に関する模型実験, 土木研究所資料第544
号, 1969年3月
- 37) 泉 岩男, 馬場 享, 山田三郎, 小川良市: 矢作川河口せき水理模型実験報告書, 土木研究所資料
第1127号, 1976年3月
- 38) Harleman, D. R. F., R. S. Gooch, and A. T. Ippen : Submerged Sluice Control of Stratified flow, Proc. ASCE,
Vol.84, no, HY2 pt.1, 1958.
- 39) 山口高志: 有明海締切堤防調査報告 (第7編淡水化過程予測), 土木研究所報告第140号, 1971
年3月
- 40) Craya, A. : Theoretical research on the flow of non-homogeneous fluids, Houille Blanche, January-February,
1949, pp.44~45.
- 41) Harleman, D. R. F. : Stratified Flow, Handbook of fluid dynamics, Section 26, 1961.

Appendix 河道内塩水遡上に関するアンケート及び集計表

表-1.1

河道内塩水遡上に関するアンケート用紙

- ① 河川名 _____
- ② 流域面積 _____ km^2
- ③ 流路延長 _____ km
- ④ 計画流量と確率年 _____ m^3/s , 1/ _____ 年確率
- ⑤ 揚水量 _____ m^3/s
- ⑥ 低水量 _____ m^3/s
- ⑦ 平水量 _____ m^3/s
- ⑧ 豊水量 _____ m^3/s
- ⑨ ⑤～⑧の流量は何年間の平均
あるいは何年の流量ですか _____ 年間, _____ 年
- ⑩ ⑤～⑧の流量観測地点と
河口からの距離 _____ 地点, 河口から _____ km 地点
- ⑪ 既往最大流量と生起年月日 _____ m^3/s , 昭和 _____ 年 _____ 月 _____ 日, 原因 _____
- ⑫ 年最大流量の平均値と平均年数 _____ m^3/s , _____ 年間平均
- ⑬ 潮位の観測位置 _____ 県, _____ 海岸, _____ 地点
- ⑭ 平均潮位 _____ T.P. _____ m
- ⑮ 朔望平均満潮位 _____ T.P. _____ m
- ⑯ 朔望平均干潮位 _____ T.P. _____ m
- ⑰ 既往最高潮位とその原因 _____ T.P. _____ m, 原因 _____
- ⑱ 潮位変動量
大潮時 _____ m 中潮時 _____ m 小潮時 _____ m
- ⑲ 平水時の河口幅とその平均河床高 春 _____ m 約T.P. _____ m _____ km 地点
(砂州が形成されているときは最狭部地点の 夏 _____ m 約T.P. _____ m _____ km 地点
川幅とその場所) 秋 _____ m 約T.P. _____ m _____ km 地点
冬 _____ m 約T.P. _____ m _____ km 地点
年間を通して河口幅が固定されている場合 _____ m 約T.P. _____ m _____ km 地点
- ⑳ 河口地点計画河床高とその河口幅, 位置 T.P. _____ m, _____ m, _____ km 地点
- ㉑ 感潮区間の横断構造物(可動堰, 潮止め堰等)の有無とその諸元, 設置場所
構造物有無, 構造物名と位置 _____, _____ km 地点, 敷高T.P. _____ m, 幅 _____ m
設置目的 _____, 設置効果 _____

- ㉒ 感潮区間長 _____ 河口から _____ km 地点
- ㉓ 既往最大の塩水侵入長とそのときの河川流量, 潮汐(大潮, 小潮時等の別)と河口潮位
河口より _____ km 地点, _____ m^3/s , _____, T.P. _____ m
- ㉔ 入退潮量
大潮時 河川流入量 _____ m^3/s , 順流最大流量 _____ m^3/s , 逆流最大流量 _____ m^3/s
中潮時 " _____ m^3/s , " _____ m^3/s , " _____ m^3/s
小潮時 " _____ m^3/s , " _____ m^3/s , " _____ m^3/s
- ㉕ 河道内における淡塩水の混合形態(強混合, 緩混合, 弱混合の別)
大潮時 _____ 中潮時 _____ 小潮時 _____
- ㉖ 感潮区間における現況低水路の河床勾配 _____
- ㉗ 感潮区間内の河床材料粒径
_____ mm , _____ mm , _____ mm
- ㉘ 低水路粗度係数(現況および計画)
現況 $n =$ _____ 計画 $n =$ _____
- ㉙ 以下は資料で御送付下さい。
(a)管内図
(b)河道縦断面図(最深, 平均, 計画河床高および平水時水位等の縦断)
(c)河口部付近平面図および横断面図
(d)河道内塩水遡上調査解析資料(河道内濃度分布, 流速分布, 塩水くさび形状と潮位, 月齢等による変動状況の調査資料)
(e)塩水の遡上距離と流量, 月齢等の関係調査資料
(f)混合形態と月齢等に関する調査資料
(g)平均潮位の月別変動図
(h)最新の現況および計画河道の断面特性数値表(H~A, B, R)
(i)当該河川の塩水遡上に対する問題点とその発生要因, そのときの対策や処置法等について記して下さい。
- ㉚ 本調査の回答, 資料内容等についての問合せ先(担当者)を記入して下さい。
_____ 県 _____ 係 _____ マイクロ _____

表-1.2

調査表記入要領について

- (1) ⑤～⑧の流量については、河口近くの流量観測地点を使って下さい。ただし、河川固有流量であること。河口近くで支川が合流している場合は、その流量も記入して下さい。
- (2) ⑩の河口幅は、年度等によって異なる場合、最近の5カ年程度の平均値を記入して下さい。
- (3) ⑪の構造物で潮止めあるいは塩害防止を目的としている場合は、その設置効果の程度についても記して下さい。
- (4) ⑫で感潮区間内に堰等がある場合、堰が全開状態時の感潮区間長を記入して下さい。
- (5) ⑬の混合形態は、水面の塩素イオン濃度が底付近の濃度の1/10以下の場合を弱混合、1/10から1/2の間を緩混合、および1/2以上の場合を強混合として下さい。
- (6) ⑭の(b)～(c)については、塩水遡上区間より上流（概略最深河床高が約T.P0.0m程度以下の範囲）までお願い致します。図等はできるだけ小さいものでお願い致します。
- (7) ⑭の(d)～(f)については、調査資料等で系統的にまとめられてあるものがあれば、それも御送付下さい。資料については返却の要、不要もお願い致します。
- (8) ⑭の(g)について調べられた資料がありましたら送付下さい。
- (9) 記入事項の中で、調べても分からない事項があった場合は、空欄にして下さい。

表-3.1 河道内塩水遡上に関するアンケート集計

No.1

	河川名	流量 m^3/s			平均潮位 T.P.m	期望平均 満潮位 T.P.m	潮位変動量		河 口 形 状			感潮区間 河口から km	既往の塩水 遡上距離 km	河道内の淡塩混合形態			低水路 河床勾配
		濁水	低水	平水			大潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 m	位置 km			大潮	中潮	小潮	
東	高瀬川	6.7	8.3	11.3	0.08		1.34	0.42	65			6.4	6.4	緩		弱	1/10,000
	馬淵川	17.5	23.7	31.5	0.008	0.629	1.8	0.16	265	-1.73	0.0	4.2	4.0	緩			1/4,218
	北上川	114.3	175.0	232.8	0.36	0.92	1.78	0.39	250	-7.0	-0.8	17.2	14.8	緩			1/10,000
	旧北上川	96.9	124.5	148.7	0.21	0.74	1.78	0.39	150		-0.2	34.0	15.8	緩	緩	緩	1/5,000
	鳴瀬川	7.2	14.7	21.8	0.41	0.93	1.95	0.39	80	-3.59	0.0	4.8	8.0	強～緩	緩		1/3,000
	名取川	1.3	4.6	7.6	0.031	0.682	1.33	0.31	107*	-4.56*	-0.6*	6.2	6.1	緩			1/2,217～ 693(0～8.8)
	阿武隈川	39.1	58.1	77.2	0.031	0.682	1.33	0.31	217*	-5.01*	0.2*	8.0		緩			1/2,974
	岩木川	9.3	28.0	44.4	0.219	0.452	0.32	0.13	165	-3.08		14.0	16.0	強	弱	弱	1/12,109
	米代川	51.4	85.9	131.4	0.269	0.472	0.27	0.08	184*	-2.67*	-0.14*	6.0	7.0	強	弱	弱	1/2,910
	雄物川	81.1	131.5	187.1	0.272	0.54	0.338	0.09	300*		0.0*	2.0	2.0	強	弱	弱	1/3,000
北	子吉川	9.2	22.8	39.6	0.272	0.54	0.30	0.09	260		0.0	4.0		強	弱	弱	1/1,000
	最上川	72.4	165.2	264.9	0.39	0.61	0.47	0.06	400	-3.0	0.0	8.0	8.0	強	弱	弱	1/3,395
	赤川	7.2	31.1	49.2	0.39	0.61	0.47	0.06	40*	-3.0*	0.0*	1.8		強	弱	弱	1/640
	荒川	16.6	45.0	77.0		0.51	0.30	0.10				2.5		強		弱	1/600
	阿賀野川	130.5	215.7	305.9	0.36	0.59	0.46	0.10	105*	-2.9*	0.05*	16.0	14.14	強	弱	弱	1/6,400
	信濃川	219.5	318.9	386.0	0.36	0.59	0.46	0.10	285	-9.3	0.0	8.5	8.5	強	弱	弱	1/2,125
	関川	8.9	20.3	33.0	0.24	0.44	0.54	0.09	139	-3.24	0.0		4.1	強	弱	弱	1/552
	姫川	1.4	4.0	7.9	0.29	0.52	0.54	0.09	20	-0.47	0.0						1/267
	黒部川	2.7	7.3	21.5	0.20	0.41	0.28					0.6	1.5	強		弱	1/200
陸	常願寺川	1.7	3.1	6.0	0.20	0.41	0.37			-0.2	0.0	1.3		強	弱	弱	1/800
	神通川	68.2	105.0	140.0	0.20	0.41	0.37		275	-1.4	0.0	4.9	5.5	強	弱	弱	1/1,800
	庄川	7.6	17.6	32.1	0.20	0.44	0.29	0.10				4.6		強	弱	弱	1/370
	小矢部川	25.4	36.5	47.7	0.20	0.44	0.29	0.10	272	-0.12	0.0	3.5		強	弱	弱	1/1,400
	手取川	16.4	31.6	48.8	0.19	0.41	0.29	0.08	90*			1.0		強	弱	弱	1/215
	梯川	1.6	8.0	15.6	0.19	0.41	0.29	0.08	131	-1.2	0.0	4.8		強	弱	弱	1/5,680
	久慈川	10.5	14.1	22.3	-0.01	0.58	1.16	0.23	116*	-2.2*	2.5*	7.0	6.0	緩	緩	緩	1/1,800
	那珂川	22.7	34.8	49.4	-0.01	0.58	1.16	0.23	204*	-3.6*	0.0*	21.0	18.0	緩	緩	緩	1/3,300
	利根川	56.0	93.1	141.7	0.004	0.632	1.20	0.24	380	-3.7	0.0	90.0	50.0	強	緩	緩	1/10,000
東	江戸川	42.5	61.6	77.0	0.062	0.960	1.84	0.40	484	-3.1	0.0	27.0		強			1/18,000
	荒川	5.0	9.2	15.0	0.026	0.916	2.0	1.0	540			36.0	35.0	強	緩	緩	1/11,700
	多摩川	4.3	7.1	11.5	0.094	0.866	1.73	0.30				13.2		強			1/2,000～ 1,500
	相模川	0.7	6.3	18.9	0.079	0.61	1.35	0.20	70.3*	-6.7	0.0	6.8	3.0	強	緩		1/2,000～ 1,250

* 河口幅が季節的に変化する河川、夏季の河口幅を用いた

表-3.2 河道内塩水遡上に関するアンケート集計

No.2

	河川名	流 量 m^3/s			平均潮位 T.P.m	期望平均 満潮位 T.P.m	潮位変動量		河 口 形 状			感潮区間 河口からkm	既往の塩水 遡上距離 km	河道内の淡塩混合形態			低 水 路 河 床 勾 配
		濁水	低水	平水			大潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 m	位置 km			大潮	中潮	小潮	
中部	狩野川	35.4	40.8	47.9	0.03	0.74	1.647	0.23	208	-1.9	0.0	4.8	3.0	緩			1/930
	菊川	0.2	0.5	0.9	0.03	0.736	1.87	0.02	221		0.2	4.0	3.0	緩			1/1,200
	豊川	3.6	8.8	14.0	-0.255	0.805	2.24	1.18	900	-1.8	0.0	12.2	11.0	緩			1/18,000
	矢作川	6.2	18.1	28.9	-0.046	1.03	2.2	0.40	640	-2.6	-1.4	6.8	8.5	緩			1/2,600
	庄内川	6.3	10.7	15.4	-0.01	1.20	2.65	0.12	450	-2.16	0.0	14.6	8.6	強			1/5,000
	木曾川	81.6	119.6	171.6	-0.05	1.08	2.2	1.2	980	-3.7	0.0	25.0	19.0	強	緩	弱	1/5,000
	長良川	33.3	47.7	72.8	-0.02	1.05	2.1	1.1	460	-4.0	3.0	25.0	16.0	強	緩	弱	1/5,000
	揖斐川	16.9	31.0	49.7	-0.02	1.05	2.26	0.42	1,350	-3.0	-0.6	31.0	19.0	強	緩	弱	1/5,600
	鈴鹿川	0.4	2.4	5.1	0.15	0.90	1.51	0.42				2.6		強			1/750
	賀出川	2.3	4.7	8.5	0.135	0.987	2.04	0.39				3.2		強			1/3,270
	櫛田川	0.7	3.9	9.7	0.135	0.987	2.04	0.39				3.8		強			1/1,600
	宮川	4.8	8.9	15.5	0.06	0.68	1.17	0.39				6.8		強			1/3,020
近畿	新宮川	41.3	66.7	98.0	0.051	0.61	1.66	0.31	830		0.0	5.2	5.1	緩	緩	緩	1/1,000
	紀の川	0.9	14.4	22.5	-0.013	0.774	1.7	0.3	1,150	-7.6	-1.0	7.7	7.7	緩	緩	弱	1/4,500
	大和川	2.9	7.4	10.9	0.043	0.732	1.6	0.4	520		0.0	3.4	6.0	緩	緩	弱	1/2,000
	猪名川	0.8	2.1	3.6			1.6	0.8				19.0	10.0	強	緩	弱	
	九頭竜川	30.3	58.5	83.6	0.12	0.45	0.30	0.08	240	-4.9	-0.2	18.6	11.0	強	弱	弱	1/2,200
	北川	1.3	4.2	8.1	0.25	0.458			100		0.0	1.6		強	弱	弱	1/1,000
	由良川	9.6	20.1	32.6	0.161	0.404	0.49	0.09	70*	-4.0*	0.0*	20.0	17.0	強	弱	弱	1/4,000
	円山川	4.8	11.4	19.3	0.138	0.414	0.26	0.08	200	-6.0	0.0	16.0	17.2	強	弱	弱	1/10,000~ 14,000
	加古川	7.5	13.8	22.7	0.142	0.7	1.1	0.7	630		0.0	2.6	4.0	緩		弱	1/930
	揖保川	2.6	7.5	12.7	0.147	0.7	1.7	0.9	113		0.5	2.3	2.8	緩		弱	1/1,118
中国	千代川	17.7	31.9	48.0	0.125	0.365	0.26	0.08				5.0	3.8	強	弱	弱	1/1,850
	天神川	5.3	13.1	19.5	0.125	0.365	0.10	0.04	21*		-0.144*	1.6		強	弱	弱	1/620
	目野川	4.9	14.6	23.6	0.125	0.365	0.10	0.04	31*		-0.05*	2.2		強	弱	弱	1/1,370
	江の川	36.3	61.3	90.0	0.13		0.5	0.2	496		0.0	6.6	8.0	強		弱	1/625
	高津川	10.4	20.3	31.7	0.13		0.5	0.2				1.8		強		弱	1/1,000
	吉井川	9.4	21.1	31.9	0.39	1.37	1.98	0.87	1,088	-2.12	0.0	7.4	7.4	強			1/5,200
	旭川	16.5	26.3	36.8	0.24	1.41	1.91	1.47	510	-2.54	0.0	7.9	7.9	強			1/5,900
	高梁川	14.8	24.5	36.4	0.17	1.98	2.74	1.28	1,327	-2.20	0.0	2.8	2.8	強			1/5,200
	芦田川	0.5	2.1	4.1	0.05	2.08	3.3	2.0				7.9	7.9	強		緩	1/2,540
	太田川	25.9	36.2	53.4	0.21	1.89	3.56	1.07				12.0		強			1/3,947
国	佐波川	3.2	6.5	10.6	-0.003	1.458	3.13	0.84	483	-1.56	-1.2	4.3		強			1/1,821

* 河口幅が季節的に変化する河川，夏季の河口幅を用いた

表-3.3 河道内塩水遡上に関するアンケート集計

No.3

	河川名	流 量 m^3/s			平均潮位 T.P.m	期望平均 満潮位 T.P.m	潮位変動量		河 口 形 状			感潮区間 河口から km	既往の塩水 遡上距離 km	河道内の淡塩混合形態			低 水 路 河 床 勾 配
		潟水	低水	平水			大潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 m	位置 km			大潮	中潮	小潮	
四 国	旧吉野川	28.4	40.8	49.4	0.04		1.72	0.74				3.4	3.4	強		緩	
	吉野川	26.9	47.1	67.5	-0.001	0.754	1.62				0.0*	14.6	14.6	強	強	強	1/1,300
	今切川				0.04		1.72	0.74				8.4	8.4	緩		緩	
	那賀川	7.7	14.8	28.9	0.04	0.754	1.72	0.74	696		0.5	5.8	5.8	緩		緩	1/3,000
	桑野川				0.04		1.72	0.74				5.3	5.3	緩		緩	
	物部川	1.1	4.8	13.0	-0.204	0.600	1.31	0.72	7*		-0.2*	1.0	0.8	緩			1/360~300
	仁淀川	17.0	29.2	48.9	-0.204	0.600	1.31	0.72	60*		-0.2*	3.0	2.7	緩			1/1,230~ 970
	渡川	12.5	26.4	48.1	-0.086	0.755	1.9	0.7	580	-4.09	0.4	9.8	9.8	緩			1/1,800
	土器川	0.1	0.4	0.7	0.044	1.193	1.70		70	-1.2	0.6	2.0		強			1/1,700
	重倍川	0.5	2.2	4.4	0.07	1.69	2.65	1.72				0.9		緩		弱	1/937
九 州	肱川	5.3	11.9	20.7	0.0	1.62	3.0	1.10				9.0		緩		弱	1/8,600
	川内川	28.2	38.5	51.9	0.20	1.40	3.38	0.99	810	-2.16	0.0	20.0	2.0	強			1/5,000
	肝属川	14.7	18.4	22.1	0.041	0.790	1.70	1.00	170	1.0	-0.1	4.0	1.6	緩			1/3,000
	大淀川	41.2	59.4	83.8	-0.075	1.00	1.89	0.40	250*	-3.5*	0.1*	9.2	9.2	緩			1/5,800
	小丸川	3.5	8.0	18.1	-0.075	1.00	1.85	0.38	50*	-1.5*	0.1*	3.0	3.0	緩			1/1,200
	五ヶ瀬川	0.2	0.6	1.2	0.14	0.95	1.78	0.88	250	-5.9	0.0	5.0		緩			1/1,300
	北川	3.6	7.2	13.7	-0.075	0.790	1.78	0.88	250	-3.5	0.0	8.0		緩			
	大瀬川	15.1	22.3	31.5	-0.075	0.790	1.78	0.88	56*	-1.7*	0.0*	3.1	3.1	緩			
	番匠川	0.7	1.8	3.6	0.1	0.79	1.36	0.84	340	-2.42	0.0	6.775	7.0	緩			1/2,100
	本明川	0.6	0.8	1.1	0.14	2.46	3.06	0.61	260	-2.29	0.0	5.0	5.0	強			1/950
	六角川	0.1	0.2	0.5	-0.034	2.356	5.5	0.8	515	-2.0	0.0	29.04	29.04	強	強	強	1/1,300
	嘉瀬川	4.7	7.1	10.4	-0.034	2.356	5.5	0.8	445	-2.0	0.0	6.9	6.5	強	強	強	1/1,600
	筑後川	32.7	47.7	63.7	0.1	2.46	4.5	2.4	980		0.0	23.0	23.4	強			1/9,000
	矢部川	3.2	5.9	9.1	0.1	2.46	4.12	2.15	580		0.0	10.6	16.6	強		緩	1/1,000
	菊池川	8.5	16.8	22.3	-0.034	2.43	5.13	1.69				14.4	5.0	強			1/3,000
	白川	5.7	13.7	18.1	0.211		4.8	1.5				4.55	4.55	強		緩	1/1,100
	緑川	8.1	14.1	19.8	0.211		4.8	1.5				8.0	8.0	強		緩	1/2,500
	球磨川	21.8	42.5	61.4	0.211		3.8	1.4	305		1.0	6.0	6.0	強		緩	
	松浦川	2.2	3.9	5.7	-0.027	1.039	1.82	0.32	190	-2.5	0.0	3.1		強	強	強	1/3,100

* 河口幅が季節的に変化する河川，夏季の河口幅を用いた

表-3.4 河道内塩水遡上に関するアンケート集計

No.4

	河川名	流 量 m^3/s			平均潮位 T. P. m	朔望平均 満潮位 T. Pm	潮位変動量		河 口 形 状			感潮区間 河口から km	既往の塩水 遡上距離 km	河道内の淡塩混合形態			低 水 路 河 床 勾 配
		濁水	低水	平水			大潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 m	位置 km			大潮	中潮	小潮	
北海道	釧路川	17.0	20.2	24.0	0.05							10.85		緩			
	沙流川	10.0	17.1	31.7	0.06		1.56					1.8	2.4	緩		弱	
	鶴川	6.5	14.4	25.3	0.06		1.56					2.2	2.8	緩		弱	
	沓滑川	5.5	9.5	16.6	0.72	0.978	0.99					3.5	12.9	緩			1/1.425
	湧別川	8.0	12.2	20.0	0.72	0.978	0.99					4.7	7.1	緩			1/800
	常呂川	6.6	9.9	14.4	0.67	0.978	0.91					6.9	21.9	緩			
	網走川	9.0	11.9	15.5	0.67	0.668	0.91					9.8	11.8	緩			
	尻別川	23.3	31.7	42.5	0.18		0.06	0.06				5.0	2.7	緩		弱	1/4.600
	石狩川	161.2	223.1	303.1	0.3	0.443	0.2	0.16	300			20.0	20.0	緩		弱	1/4.000
	留萌川	0.6	2.1	3.7	0.19	0.40	0.16	0.05				6.8	5.4	緩		弱	1/2.670
	天塩川	49.6	73.0	109.2	0.1		0.14	0.03	200			19.5	25.0	緩		弱	1/3.700

表-2.1.1 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(1)

1 河川名	2 流域面積	3 流路延長	4 計画流量と確立年		5 潟水量	6 低水量	7 平水量	8 豊水量	9 5~8の平均した年数または何年		10 流観地点		11 既往最大流量			12 年最大流量平均	
	km ²	km	流量 m ³ /s	確率	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	何年間 年	年	地点名	河口からの距離 km	流量 m ³ /s	生起年月日	原因	流量 m ³ /s	年数
岩木川	2,540	102	3,800	1/100	9.3	28.0	44.4	86.1	5	—	五所原	27.0	1,757	S.52.8.5	前線	555.0	5
馬淵川	2,050	142	2,700	1/40	17.5	23.7	31.5	49.2	5	—	剣吉	24.0	2,200	S.22.8.1	前線	524.4	5
鳴瀬川	760	411	3,100	1/100	7.2	14.7	21.8	37.65	28	S.35~62	野田橋	24.7	1,521	S.57.9.13	台風	682.70	10
北上川	10,150	2,678	8,700	1/100	114.3	175.0	232.8	358.71	36	S.27~62 S.30~63	登米	32.0	4,525	S.56.8.24	台風	2,980.7	10
旧北上川	1,914	938	2,500	1/150	96.9	124.5	148.7	189.47	28	S.36~63	和淵	21.8	1,772	S.61.8.6	台風	1,187.0	10
阿武隈川	5,400	239	9,200	1/150	39.1	58.1	77.2	167.64	5	—	岩沼	8.0	7,590	S.61.8.5	台風	3,763.0	5
名取川	939	55	6,200	1/150	1.3 1.39	4.6	7.6	17.03 10.10	10	—	名取橋	8.2	2,700	S.25.8.4	熱帯低気圧	757.0	10
米代川	4,099.4	136.3	8,200	1/100	51.4	85.9	131.4	236.1	30	—	ニッ井	29.967	6,800	S.47.7.9	梅雨前線	2,528.4	30
雄物川	4,635.2	132.7	8,700	1/150	81.1	131.5	187.1	300.10	10	—	椿川	13.2	5,280	S.22.7.24	前線	1,940.0	10
子吉川	1,190	61	2,300	1/100	9.2 宮内地点	22.8 河川11.0km地点	39.6	76.24	13	—	二十六橋	7.0	1,840	S.22.4.7	融雪	960.0	10
最上川	7,040	229 幹川	8,000	1/150 両羽橋地点	72.4	165.2	264.9	460.34	—	S.63	両羽橋	5.0	6,066.8	S.44.8.8	前線	2,405.9	1 S.63
赤川	856.7	70.4 幹川	3,000	1/100	7.2	31.1	49.2	81.21	—	S.63	浜中	2.8	1,830.17	S.44.8.8	前線	898.55	1

表-2.1.2 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(2)

1 河川名	13 潮位観測位置			14 平均潮位	15 朔望平均満潮位	16 朔望平均干潮位	17 既往最高潮位		18 潮位変動量			19 平水時の河口形状		
	県	海岸	地点	T.P.m	T.P.m	T.P.m	T.P.m	原因	大潮 m	中潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km
岩木川	青森	西	深浦	0.219	0.452	-0.016	0.876	1981.9.4 台風	0.32	0.26	0.13	—	—	—
馬淵川	青森	—	八戸港	0.008	0.629	-0.853	1.822	S.18.10.3	1.8	0.29	0.16	—	—	—
鳴瀬川	宮城	宮戸島	宮戸	0.41	0.93	-0.17	1.91	S.59.9.7 波浪	1.95	—	0.39	—	—	—
北上川	宮城	追波湾	白浜	0.36	0.92	-0.17	1.44	S.55.12.24 波浪	1.78	—	0.39	—	—	—
旧北上川	宮城	石巻	門脇	0.21	0.74	-0.41	2.19	S.35.5.24 チリ津波	1.78	—	0.39	—	—	—
阿武隈川	宮城	仙台湾	鮎川	0.031	0.682	-0.874	2.481	チリ津波	1.33	0.69	0.31	108	-4.065	0.2
名取川	宮城	仙台湾	鮎川	0.031	0.682	-0.874	2.481	チリ津波	1.33	0.69	0.31	—	—	—
米代川	秋田	能代	—	0.269	0.472	-0.002	0.880	強風波浪 台風13号通過	0.29	—	0.08	—	—	—
雄物川	秋田	秋田	土崎港	0.272	0.54	—	—	—	0.338	—	0.09	—	—	—
子吉川	秋田	秋田	土崎港	0.272	0.54	—	—	—	0.30	—	0.09	—	—	—
最上川	山形	—	酒田港	0.39	0.61	119.9	1.20	—	0.47	—	0.06	—	—	—
赤川	山形	—	酒田港	0.39	0.61	119	1.20	—	0.47	—	0.06	80	-3.0	0.0

表-2.1.3 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(3)

1 河川名	19 平水時の河口形状												20 河口地点計画		
	夏			秋			冬			固定される場合			河口地点計画		
	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	計画河床高 T.P.m	河口幅 m	位置 km
谷木川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	165	-3.08	—	—	165	—
馬淵川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	265	-1.73	0.0	-2.500	265	0.0
鳴瀬川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	-3.59	0.0	-2.890	250	0.0
北上川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	250	-7.0	-0.8	-4.110	400	0.0
旧北上川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	—	-0.2	-5.370	—	0.0
阿武隈川	217	-5.009	0.2	198	-4.889	0.2	154	-3.690	0.2	—	—	—	-2.100	880	0.0
名取川	107	-4.563	-0.6	—	—	—	95	-4.734	-0.6	—	—	—	-3.000	506	-0.6
米代川	184	-2.665	-0.14	121	-2.774	-0.14	65	-1.510	-0.14	—	—	—	-2.855	480	0.0
雄物川	300	—	0.0	—	—	—	180	—	0.0	—	—	—	—	—	—
子吉川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
最上川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	-3.0	0.0	-4.501	400	0.0
赤川	40	-3.0	0.0	50	-3.0	0.0	40	-3.0	0.0	—	—	—	-2.000	200	0.0

表-2.1.4 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(4)

1 河 川 名	21 感潮区間内の横断構造物						22 感潮区間 河口から km	23 既往最大の塩水侵入時				24				
	名 称	位 置 km	敷 高 T.P.m	幅 m	目 的	効 果		河口から km	河口から km	河川流量 m³/s	潮 汐	河口潮位 T.P.m	大潮時			中潮時
													河川流入量 m³/s	順流最大 m³/s	逆流最大 m³/s	河川流入量 m³/s
岩 木 川	芦 野 堰	11.0	-1.240	209.1	取水, 塩害	安定, 防除	14.0	16.0	—	—	-3.08	—	—	—	—	
馬 淵 川	馬淵大堰	2.6	-2.070	270.1	河道維持 取水, 塩害	維持, 安定, 防除	4.2	4.0	—	—	-1.73	—	—	—	—	
鳴 瀬 川	鳴 瀬 堰	4.8	-1.190	148	塩害, 河床安定	有	4.8	8.0	4.2	中 潮	-3.59	—	—	—	—	
北 上 川	北上大堰	17.2	-2.370	346	取水確保 塩害防止	有	17.2	14.8	—	—	-7.0	—	—	—	—	
旧北上川	無 し	—	—	—	—	—	34.0	15.3	4.2	—	—	—	—	—	—	
阿武隈川	無 し	—	—	—	—	—	8.0			—	—	48	154	74	48	
												不等流計算による推定				
名 取 川	無 し	—	—	—	—	—	6.2	6.1 S.62.調査時点	1.38	—	0.64	—	—	—	—	
米 代 川	無 し	—	—	—	—	—	6.0	7.0	120.94	大 潮	0.14	—	—	—	—	
雄 物 川	無 し	—	—	—	—	—	2.0	2.0	—	—	—	—	—	—	—	
子 吉 川	無 し	—	—	—	—	—	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
最 上 川	無 し	—	—	—	—	—	8.0	8.0	26	—	-3.0	—	—	—	—	
赤 川	無 し	—	—	—	—	—	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	

表-2.1.5 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(5)

1 河川名	24					25			26	27			28	
	中潮時		小潮時			河道内の淡塩混合形態			現低水路 河床勾配	感潮区間内河床材料粒径			低水路粗度	
	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	大潮	中潮	小潮		d ₉₀ mm	d ₅₀ mm	d ₁₀ mm	現況	計画
岩木川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/12,109	d ₉₀ 0.84	0.32	0.005	0.030~0.035	上流0.030 下流0.035
馬淵川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/4,218	d ₉₀ 0.42	0.22	0.13	0.035	0.035
鳴瀬川	—	—	—	—	—	強~弱	緩	—	1/3,000	—	—	—	0.028	0.028
北上川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/10,000	—	—	—	0.022	0.022
旧北上川	—	—	—	—	—	弱	緩	緩	1/5,000	—	—	—	0.025	0.025
阿武隈川	120 (S.39~59)	32 の平均濁水	48 量48m ³ /s	87 を上流流量	0 として計算)	弱	—	—	1/2,974	d ₉₀ 1.67	0.84	0.34	0.020	0.030
名取川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/2,217~693 (0~8.8km)	d ₉₀ 2.473	0.863	0.277		
米代川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/2,910	0.39	3.18	16.11	0.030	0.030
雄物川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	—	—	0.68~2.30	0.27~0.66	0.029	0.029
子吉川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	—	—	1.25~2.73	—	0.030	0.030
最上川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/3,395	0.33	2.24	12.44	0.025~0.030	0.025~0.030
赤川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/640	—	—	—	0.030	0.030

表-2.2.1 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(1)

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10		11			12	
河川名	流域面積	流路延長	計画流量と確立年		湯水量	低水量	平水量	豊水量	5~8の平均した年数または何年		流視地点		既往最大流量			年最大流量平均	
	km ²	km	流量 m ³ /s	確率	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	何年間 年	年	地点名	河口からの距離 km	流量 m ³ /s	生起年月日	原因	流量 m ³ /s	年数
阿賀野川	7,710	210	13,000	1/150	310.5	215.7	305.9	442.7	10	H.1	馬下	34.0	8,930	S.33.9.18	台風 21号	3,670	10
信濃川 下流	1,420	59	4,000	1/150	219.5	318.9	386.0	456.56	28	—	帝石橋	3.1	2,250	S.57.6.27	洪水	1,163.83	28
関川	1,143.4	64 幹川	3,700	1/100	8.9	20.3	33.0	57.65	20	—	高田	8.2	2,540	S.57.9.13	台風	806.32	20
姫川	722	60 幹川	5,000	1/30	1.4	4.0	7.9	47.18	15	S.50~H.1	山本	7.2	2,355	S.58.7.25	梅雨 前線	1,159.84	15
小矢部川	667	66.7	1,300	1/80	25.4	36.5	47.7	64.70	37	—	長江	11.2	1,283	S.28.9.25	台風	520.6	34
庄川	1,190	115	5,800	1/150	7.6	17.6	32.1	59.21	34	—	大門	6.8	3,027	S.36.9.16	台風	995.4	34
神通川	2,720	120	7,700	1/150	68.2	105.0	140.0	211.10	31	—	神通橋	7.0	5,643	S.58.9.28	台風	2,590	31
常願寺川	370	56	4,600	1/150	1.7	3.1	6.0	33.89	2	S.58, 59	新保	2.0	1,140	S.59.7.8	豪雨	953	2
梯川	271.2	42	1,000	1/100	1.6	8.0	15.6	23.97	16	—	植田	9.8	442.9	S.59.6.26	梅雨 前線	234.27	16
手取川	809	72	5,000	1/100	16.4	31.6	48.8	60.84	10	—	鶴来	14.3	4,080	S. 9.7	—	1,035	16
久慈川	1,490	124 幹川	3,400	1/100	10.5	14.1	22.3	23.5	10	—	富岡	25.5 下110m	2,648	S.61.8.5	台風 10号	1,134	10
那珂川	3,270	150 幹川	5,000	1/35	22.7	34.8	49.4	86.6	10	—	野口	38.0 上275m	5,368	S.61.8.5	台風 10号	1,918	10
利根川	16,340	322	8,000	1/200	56.0	93.1	141.7	250.63	10	—	布川	76.5	7,771	S.57.9.13	台風	3,088	10
江戸川	15,348	54.7	7,000	1/200	42.5	61.6	77.0	105.64	10	—	野田	39.0	3,698	S.34.8.14	台風	1,643	37
多摩川	1,200	138	6,500	1/200	4.3	7.1	11.5	19.45	25	—	石原	27.6	4,100	S.49.9.1	台風 16号	1,196.5	5
相模川	1,680	113	7,300	1/150	0.7	6.3	18.9	38.86	—	S.63	相模橋	14.6	4,670	S.57.8.2	台風 10号	826.7	3

表-2.2.2 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(2)

1 河川名	13 潮位観測位置			14 平均潮位	15 測望平均満潮位	16 測望平均干潮位	17 既往最高潮位		18 潮位変動量			19 平水時の河口形状		
	県	海岸	地点	T.P.m	T.P.m	T.P.m	T.P.m	原因	大潮 m	中潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km
阿賀野川	新潟	新潟	新潟港	0.36	0.59	0.27	1.23	台風15号 S56.8.23	0.46	—	0.10	245	-2.9	0.0
信濃川 下流	新潟	新潟	新潟港	0.36	0.59	0.27	1.23	台風15号 S56.8.23	0.46	—	0.10	—	—	—
関川	新潟	直江津	直江津港	0.24	0.44 改修計画で設定	0.03	1.12	冬季風波	0.54	—	0.09	—	—	—
姫川	新潟	糸魚川	姫川港	0.29	0.52	0.10	0.89	—	0.54	—	0.09	—	—	—
小矢部川	富山	—	伏木	0.20	0.44	-0.05	1.00	—	0.29	—	0.10	—	—	—
庄川	富山	—	伏木	0.20	0.44	-0.05	1.00	—	0.29	—	0.10	—	—	—
神通川	富山	富山港	富山検潮所	0.20	0.41	0.04	0.827	台風20号 S47.9.17	0.37	—	—	—	—	—
常願寺川	富山	富山港	富山検潮所	0.20	0.41	0.04	0.827	台風20号 S47.9.17	0.37	—	—	—	—	—
梯川	石川	石川	金沢港	0.19	0.41	-0.01	0.92 72.8.10	—	0.29	—	0.08	—	—	—
手取川	石川	石川	金沢港	0.19	0.41	-0.01	0.92	—	0.29	—	0.08	60	—	—
久慈川	茨城	—	大洗港	-0.01	0.58	-0.82	1.13	—	1.16	—	0.23	—	—	—
那珂川	茨城	—	大洗港	-0.01	0.58	-0.82	1.13	—	1.16	—	0.23	—	—	—
利根川	千葉	—	銚子港	0.004	0.632	-0.885	0.867	—	1.20	—	0.24	—	—	—
江戸川	東京	東京湾	気象庁東京観測所	0.062	0.960	-1.1262	1.8598	台風高潮	1.84	—	0.40	—	—	—
多摩川	神奈川	—	川崎港	0.094	0.866	—	—	—	1.73	—	0.30	—	—	—
相模川	静岡	伊東	伊東港	0.079	0.61	—	—	—	1.35	—	0.20	—	—	—

表-2.2.3 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(3)

1 河川名	19 平水時の河口形状												20 河口地点計画		
	夏			秋			冬			固定される場合			計画河床高 T.P.m	河口幅 m	位置 km
	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km			
阿賀野川	150	-2.9	0.05	—	—	—	105	-2.9	0+50	—	—	—	-3.36	240	0.0
雷濃川 下流	—	—	—	—	—	—	—	—	—	285	-9.3	0.0	2.85	-4.5	0.0
関川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	139 近5ヶ年平均	-3.24	0.0	-4.50	—	0.0
姫川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20 近5ヶ年平均	-0.47	0.0	-1.80	—	0.0
小矢部川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	272	-12.0	0.0	-5.00	272	0.0
庄川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-4.00	419	0.0
神通川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	275	-1.4	0.0	-5.00	405	0.0
常願寺川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0.2	0.0 S63.測量より	-1.50	345	0.0
梯川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	131	-1.2	0.0	-3.00	川幅 150 低水 90	0.0
手取川	90	—	—	50	—	—	0-30	—	—	—	—	—	-1.20	100	0.0
久慈川	—	—	—	—	—	—	116	-2.2	2.5	—	—	—	-3.00	—	0.0
那珂川	—	—	—	—	—	—	204	-3.6	0.0	—	—	—	-7.193	180	0.0
利根川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	380	-3.7	0.0	-4.16	560	0.0
江戸川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	484	-3.1	0.0	-4.84	346	0.0
多摩川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-4.14	450	0.2
相模川	70.3	-6.7	0.0 一番狭い所	133	-7.7	0.0	79.0	-6.5	0.0	—	—	—	-4.0	300	0.0

表-2.2.4 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(4)

1 河川名	21 感潮区間内の横断構造物						22 感潮区間	23 既往最大の塩水侵入時				24			
	名称	位置 km	敷高 T.P.m	幅 m	目的	効果	河口から km	河口から km	河川流量 m³/s	潮汐	河口潮位 T.P.m	大潮時			中潮時
												河川流入量 m³/s	順流最大 m³/s	逆流最大 m³/s	河川流入量 m³/s
阿賀野川	床固め	16.8	+2.60	205	河床低下防止	床固上流No.22付近まで河床安定	16.0	14.0+140 S.60.8.12	80	中潮	0.58 (西港)	—	—	—	—
信濃川 下流	信濃川 水門	8.5	-3.30	96	水門	—	8.5	8.5	71.5	H.2.8.4	80.0	—	—	—	—
関川	無し	—	—	—	—	—	—	4.1	7.0 高田水位流量観測	—	0.65 直江津港地点	—	—	—	—
姫川	無し	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
小矢部川	無し	—	—	—	—	—	3.5	—	—	—	—	—	—	—	—
庄川	無し	—	—	—	—	—	4.6	—	—	—	—	—	—	—	—
神通川	—	—	—	—	—	—	4.9	5.5	—	—	—	—	—	—	—
常願寺川	—	—	—	—	—	—	1.3	—	—	—	—	—	—	—	—
梯川	梯川 逆水門	1.0	-1.20	59.4 600×91門	逆流防止 潮止め	不明	4.8	—	—	—	—	—	—	—	—
手取川	無し	—	—	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—
久慈川	—	—	—	—	—	—	7.0	6.0	2.7	—	0.4	—	—	—	—
那珂河	無し	—	—	—	—	—	21.0	18.0	6.8	大潮	0.3	61.8	343	-261.4	—
利根川	河口堰	18.5	2.84	834	塩害防止 利水開発	塩害防止	90.0	50.0	6.0	—	—	—	—	—	—
江戸川	有	—	—	—	—	—	27.0	—	—	—	—	—	—	—	—
多摩川	調布 取水堰	13.2	—	107	上水道用水	—	13.2	—	—	—	—	—	—	—	—
相模川	寒川 取水堰	6.8	—	270	上、工水道 用水	—	6.8	3.0	—	—	—	—	—	—	—

表-2.2.5 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(5)

1 河川名	24					25			26	27			28	
	中潮時		小潮時			河道内の淡塩混合形態			現低水路 河床勾配	感潮区間内河床材料粒径			低水路粗度	
	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	大潮	中潮	小潮		d ₅₀ mm	d ₆₀ mm	d ₁₀ mm	現況	計画
阿賀野川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/6,400	4.09	2.10	0.47	No.0~10 No.11~168	→0.025 →0.03
信濃川 下流	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/2,125	0.48	0.35	0.19	0.025	0.025
関川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	—	—	—	—	0.025	0.025
姫川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05	0.05
小矢部川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/1,400	92	25	0.24	0.030	0.030
庄川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/370	50	20	0.4	0.033	0.033
神通川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/1,800	0.70	0.46	0.27	0.031	0.028
常願寺川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/800	0.80	0.31	0.17	0.020	0.030
梯川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/5,680	4.5	1.0	0.47	0.030	0.030
手取川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	—	90	56	4	0.033	0.033
久慈川	—	—	—	—	—	弱	緩	緩	—	—	—	—	—	0.026~0.033
那珂川	—	—	57.7	240.2	-137.0	満潮時 一時強混合	緩	緩	1/3,300	—	—	—	—	0.020~0.040
利根川	—	—	—	—	—	強	弱	緩	1/10,000	13.3	4.20	0.40 河口0.0km	0.012	0.020
江戸川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/18,000	—	—	—	0.020	—
多摩川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/2,000~1,500	—	—	—	0.020	0.020
相模川	—	—	—	—	—	強	弱	—	1/2,000~1,250	—	—	—	0.030 現況はS.47.7洪水	0.030

表-2.3.1 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(1)

1 河川名	2 流域面積	3 流路延長	4 計画流量と確立年		5 潟水量	6 低水量	7 平水量	8 豊水量	9 5~8の平均した年数または何年		10 流観地点		11 既往最大流量			12 年最大流量平均	
	km ²	km	流 量 m ³ /s	確 率	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	何年間 年	年	地点名	河口からの距離 km	流 量 m ³ /s	生起年月日	原 因	流 量 m ³ /s	年 数
狩野川	852	46	4,000	狩野川台風	35.4	40.8	47.9	59.66	21	—	黒瀬	3.4	1,853	S.57.8.1	台風 10号	826.84	21
菊川	158	28	1,500	1/100	0.2	0.5	0.9	2.03	5	—	加茂	11.9	596	S.57.9.12	台風	178.12	5
豊川	724	77	4,100	1/150	3.6	8.8	14.0	26.54	18	—	当古	13.2	4,770	S.44.8.5	台風 7号	1928.9	18
矢作川	1,832	117	6,400	1/150	6.2	18.1	28.9	47.91	19	—	米津	10.6	3,600	S.44.8.5	台風	1409.3	46
排斐川	1,840	121	4,700	1/100	16.9	31.0	49.7	99.0	—	S.63	万石	41.2	4,491	S.36.9.16	第2室 戸台風	1,425	10 S54~63
長良川	1,985	166	7,500	1/90	33.3	47.7	72.8	131.0	—	S.63	墨俣	39.2	6,853	S.36.6.27	梅雨 前線	2,889	10 S54~63
木曾川	5,275	227	12,500	1/100	81.6	119.6	171.6	249.0	—	S.63	笠松	40.3	13,717	S.58.9.29	低気圧 台風10号	6,193	10
宮川	920	93	7,600	1/50	4.8	8.9	15.5	34.54	14	—	岩出	11.60	6,363	H.2.9.20	台風	2,593	15
櫛田川	460	86.8	4,300	1/90	0.7	3.9	9.7	19.47	19	—	櫛田橋	7.840	3,259	H.2.9.20	台風	1,404	19
出雲川	550	57.8	6,100	1/100	2.3	4.7	8.5	16.34	21	—	舞出	5.600	2,894 舞出高水観測所	H.2.9.19 出雲橋観測所	台風	1,264	21
鈴鹿川	323	40.7	3,900	1/150	0.4	2.4	5.1	10.29	31	—	高岡	6.25	1,818	S.40.9.17	台風	759	31
庄内川	1,010	62.7	4,500	1/200	6.3	10.7	15.4	24.9	34	—	桃杷島	15.6	2,010	S.32.8.8	前線	1,864	1 H.1

表-2.3.2 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(2)

1 河川名	13 潮位観測位置			14 平均潮位	15 朔望平均満潮位	16 朔望平均干潮位	17 既往最高潮位		18 潮位変動量			19 平水時の河口形状		
	県	海岸	地点	T.P.m	T.P.m	T.P.m	T.P.m	原因	大潮 m	中潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km
狩野川	静岡	静浦魚港	内浦	0.03	0.74	-0.93	1.37	台風 S28.9.25	1.647	—	— 0.23	—	—	—
菊川	静岡	遠州	国安	0.03	0.736	-0.984	1.202	79.10.7 台風18号	1.87	1.76	0.02	—	—	—
豊川	愛知	—	前芝	-0.255	0.805	-1.385	3.03	伊勢湾台風	2.24	—	1.18	—	—	—
矢作川	愛知	衣浦港	—	-0.046	1.03	-1.305	3.20	伊勢湾台風	2.20	—	0.40	—	—	—
掛斐川	三重	—	城南	-0.02	1.05	-1.09	1.74	低気圧 S55~H1平均	2.26	—	0.42	—	—	—
長良川	—	—	—	-0.02	1.05	—	—	—	2.1	—	1.1	—	—	—
木曾川	三重	—	横溝蔵	-0.05 (S.55~	1.08 H.1平均)	-1.16	1.76	低気圧	2.2	—	1.2	—	—	—
宮川	三重	—	大湊	0.06	0.68	-0.80	—	—	1.17	—	0.39	—	—	—
柳田川	—	—	—	0.135	0.987	—	—	—	2.04	—	0.39	—	—	—
出雲川	—	—	—	0.135	0.987	—	—	—	2.04	—	0.39	—	—	—
鈴鹿川	三重	—	石原	0.15	0.90	-0.61	2.61	寒冷前線 S47.9.9	1.51	—	0.42	—	—	—
庄内川	愛知	名古屋港	—	-0.01	1.20	-1.39	3.90	伊勢湾台風	2.65	1.40	0.12	—	—	—

表-2.3.3 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(3)

1 河川名	19 平水時の河口形状												20 河口地点計画		
	夏			秋			冬			固定される場合			河口地点計画		
	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	計画河床高 T.P.m	河口幅 m	位置 km
狩野川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	208	-1.9	0.0	-2.00	222	—
菊川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	221	—	0.2	-2.190	237	0.2
豊川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	900	-1.8	0.0	-3.00	195	0.0
矢作川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	640	-2.6	-1.4	-4.66	390	-1.4
掛斐川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,350	-3.0	-0.6	-6.0 河口幅はT.P. O.mの水面幅とした	1,350	-0.6
長良川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	460	-4.0	3.0	—	—	—
木曾川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	980	-3.7	0.0	-5.5 河口幅はT.P. O.mの水面幅とした	980	0.0
宮川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
柳田川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
出雲川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鈴鹿川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
庄内川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	450	-2.16	0.0	-5.2	450	0.0

表-2.3.4 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(4)

1 河 川 名	21 感潮区間内の横断構造物						22 感潮区間	23 既往最大の塩水侵入時				24				
	名 称	位 置 km	敷 高 T.P.m	幅 m	目 的	効 果		河口から km	河口から km	河川流量 m³/s	潮 汐	河口潮位 T.P.m	大潮時			中潮時
													河川流入量 m³/s	順流最大 m³/s	逆流最大 m³/s	河川流入量 m³/s
狩 野 川	無 し	11.0	- 1.240	209.1	取水, 塩害	—	4.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
菊 川	無 し	2.6	- 2.070	270.1	河道維持 取水, 塩害	—	4.0	3.0	—	—	—	—	—	—	—	
豊 川	無 し	4.8	- 1.190	148	塩害, 河床安定	—	12.2	11.0	—	—	—	—	—	—	—	
矢 作 川	無 し	17.2	- 2.370	346	取水確保 塩害防止	—	6.8	8.5	—	—	—	—	—	—	—	
掛 斐 川	無 し	—	—	—	—	—	31.0	19.0	7~8 万石地点	中 潮 大 潮	0.56~ 0.99	—	—	—	—	
長 良 川	長良川河口 堰建設中	5.4	- 6.0	661	治水, 利水 塩害防止	—	25.0	16	30 黒保地点	中 潮 大 潮	0.26~ 1.20	—	—	—	—	
木 曾 川	—	—	—	—	—	—	25.0	19	50 笠松地点	小 潮 大 潮	- 0.14~ 0.70	—	—	—	—	
宮 川	無 し	3.8	2.70	—	—	—	6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
櫛 田 川	東黒部 頭首工	3.2	1.32	220	農業用用水	—	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
出 雲 川	香良州 用水井堰	—	—	204.6	農業用用水	—	3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	
鈴 鹿 川	無 し	—	—	—	—	—	2.6	—	—	—	—	—	—	—	—	
庄 内 川	無 し	—	—	—	—	—	14.6	8.6	—	—	—	—	—	—	—	

表-2.3.5 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(5)

1 河川名	24					25			26	27			28	
	中潮時		小潮時			河道内の淡塩混合形態			現低水路 河床勾配	感潮区間内河床材料粒径			低水路粗度	
	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	大潮	中潮	小潮		d ₅₀ mm	d ₈₀ mm	d ₁₀ mm	現況	計画
狩野川	—	—	—	—	—	弱			1/930	0.21	0.10	— 0km流心	0.030	0.030
菊川	—	—	—	—	—	弱	—	—	—	25.9	9.6	1.01	0.030	0.027
豊川	—	—	—	—	—	弱	—	—	—	0.85	0.42	0.11	0.025	0.030 (全体)
矢作川	—	—	—	—	—	弱	—	—	—	0.40	0.70	0.24	0.025	0.030 (全体)
掛斐川	—	—	—	—	—	強	弱	弱	1/5,600	0.50 河口~	0.21 26k平均	0.04	0.030	
長良川	—	—	—	—	—	強	弱	弱	1/5,000	0.82 河口~	0.35 25k平均	0.16		
木曾川	—	—	—	—	—	強	弱	弱	1/5,000	0.74 河口~	0.46 25k平均	0.24	0.025	0.035
宮川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/3,020	47	15	0.35	0.035	0.035
柳田川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/1,600	7	2.50	0.71	0.020~0.030	0.035
出雲川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/3,270	0.40	0.28	0.18	0.035	0.035
鈴鹿川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/750	7	3.6	0.42	0.035	0.035
庄内川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/5,000	—	0.25	0.08	—	0.025

表-2.4.1 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(1)

1 河川名	2 流域面積	3 流路延長	4 計画流量と確立年		5 渇水量	6 低水量	7 平水量	8 豊水量	9 5～8の平均した年数または何年		10 流観地点		11 既往最大流量			12 年最大流量平均	
	km ²	km	流 量 m ³ /s	確 率	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	何年間 年	年	地点名	河口からの距離 km	流 量 m ³ /s	生起年月日	原 因	流 量 m ³ /s	年 数
円山川	1,300	68	6,400	1/100	府 6.35 4.8	12.19 11.4	19.65 19.3	37.54	5	S.60～ H.1	府市場	21.3	3,760	S.34.9.27	伊勢湾 台風	1,320	28
紀の川	1,600	136	12,000	1/150	0.90	14.37	22.46	46.42	29	S.35～ 63	船戸	17.4	7,800	S.28.9.25	台風 13号	2,560	37
新宮川	2,354.6	182	19,000	1/100	41.25	66.65	98.03	152.13	21	—	相賀	10.6	19,025	S.34.9.27	台風	6,010	21
九頭竜川	2,930	116	9,200	1/150	30.30	58.5	83.6	123.9	27	—	中角	18.2	4,635	S.40.9.15	奥越豪雨	1,620.4	27
大和川	1,070	68	5,200	1/200	2.9	7.4	10.9	54.2	6		香ヶ丘	5.3	2,570	S.57.8.2	低気圧	1,260	6
由良川	1,880	146	5,600	1/60	9.64	20.13	32.62	53.78	37		福知山	36.6	6,500	S.28.9.25	台風 13号	1,668	37
千代川	1,190	52	5,500	1/100	17.7	31.9	48	73.4	33	—	行徳	5.1	4,270	S.54.10.19	台風 20号	1,370	15
日野川	860	77	4,600	1/100	4.84	14.62	23.62	38.47	22	—	車尾	2.87	3,120	S.9.9.210	台風	813.92	22
天神川	500	32	3,500	1/60	5.31	13.05	19.54	29.01	23	—	小田	5.14	3,500	S.9.9.219	台風	654.2	24
吉井川	2,058	137.5	7,500	1/150	9.4	21.1	31.9	56.59	10	S.55～H.1	御休	14.05	6,180	S.20.9.18	台風	1,876	10
高梁川	2,670	111	12,200	1/150	14.8	24.5	36.4	59.71	8	S.55～H.1 S.55.61欠測	酒津	10.20	6,390	S.26.10.13	台風	2,287	10
旭川	1,799	150	5,000	1/40	16.49	26.3	36.80	55.52	10	S.55～H.1	下牧	19.40	6,000	S.9.9.21	前線	1,580	10
太田川	1,690	103	7,500	1/200	25.9	36.2	53.4	97.76	10	—	玖村	18	6,800	S.47.7.12	梅雨	—	—
佐波川	446	56	2,900	1/100	3.21	6.53	10.60	19.92	30	—	新橋	8.0	2,438	S.26.7.10	梅雨	717.66	30

表-2.4.2 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(2)

1 河川名	13 潮位観測位置			14 平均潮位	15 朔望平均満潮位	16 朔望平均干潮位	17 既往最高潮位		18 潮位変動量			19 平水時の河口形状		
	県	海岸	地点	T.P.m	T.P.m	T.P.m	T.P.m	原因	大潮 m	中潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km
円山川	兵庫	山陰	津居山	0.138	0.414	-0.121	1.126	伊勢湾台風 S.34.9.27	0.26	—	0.08	—	—	—
紀の川	和歌山	下津港	和歌山港	-0.013	0.774	-1.086	2.49	室戸台風 第2号	1.7	0.9	0.03	—	—	—
新宮川	和歌山	—	浦神 検潮所	0.051 —	0.61	—	2.01	台風	1.66	—	0.31	—	—	—
九頭竜川	—	—	—	0.12 工災策定	0.45 時の資料 (S.46.8	-0.06 ~47.7)	1.15	—	0.30	—	0.08	—	—	—
大和川	—	—	大阪 検潮所	0.043	0.732	-0.895	3.68	室戸台風	1.6	1.0	0.4	500	-2.0	-0.6
由良川	京都府	舞鶴湾 観測期間 (19	舞鶴検潮所 69~1988年)	0.161	0.404	-0.086	1.987	台風13号 S.28.9.25	0.49	—	0.09	—	—	—
千代川	鳥取	—	境	0.125	0.365	-0.124	0.904	—	0.26	—	0.08	—	—	—
日野川	鳥取	境港	境港	0.125	0.365	0.124	0.904	S.61.8.29	0.10	0.09	0.04	33	—	0k-50m
天神川	鳥取	境港	境港	0.125	0.365	0.124	0.904	S.61.8.29	0.10	0.09	0.04	30	—	0k-114m
吉井川	岡山	—	丸幡	0.39	1.37	-0.70	2.14	低気圧	1.98	—	0.87	—	—	—
高梁川	岡山	—	水島	0.17	1.98	-1.48	2.63	台風通過	2.74	2.01	1.28	—	—	—
旭川	岡山	—	高島	0.24	1.41	-1.06	2.18	台風通過	1.91	—	1.47	—	—	—
太田川	広島	広島湾	江波	0.21	1.89	-0.97	2.47	—	3.56	—	1.07	—	—	—
佐波川	山口	防府市 三田尻	防府 検潮所	-0.003	1.458	-1.718	2.242	台風13号	3.13	—	0.84	—	—	—

表-2.4.3 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(3)

1 河川名	19 平水時の河口形状												20 河口地点計画		
	夏			秋			冬			固定される場合			河口地点計画		
	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	計画河床高 T.P.m	河口幅 m	位置 km
円山川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	-6	0.0	-6.0	270	0.0
紀の川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,150	-7.6	-1.0	-607	1150	-1.0
新宮川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-5.5	800	0.0
九頭竜川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	240	-4.9	-0.2	-6.039	240	-0.2
大和川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-3.7	—	0.0
由良川	—	—	—	—	—	—	70	-4.0	0.0	—	—	—	—	—	—
千代川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.62	210	0.0
日野川	31	—	0k-50m	28	—	0k-50m	22	—	0k-50m	—	—	—	-1.496	356	0.0
天神川	21	—	0k-50m	18	—	0k-50m	27	—	0k-114m	—	—	—	-1.20	342	0.0
吉井川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,088	-2.117	0.0	-3.75	1,088	0.0
高梁川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,327	-2.20	0.0	-3.405	1,327	0.0
旭川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	510	-2.54	0.0	-5.000	515	0.0
太田川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
佐波川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	483	-1.56	-1.2	-2.471	483	-1.2

表-2.4.4 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(4)

1 河川名	21 感潮区間内の横断構造物						22 感潮区間	23 既往最大の塩水侵入時				24			
	名称	位置 km	敷高 T.P.m	幅 m	目的	効果	河口から km	河口から km	河川流量 m³/s	潮 汐	河口潮位 T.P.m	河川流入量 m³/s	順流最大 m³/s	逆流最大 m³/s	中潮時 河川流入量 m³/s
円山川	無し	—	—	—	—	—	16	17.2	0.4	—	—	—	—	—	—
紀の川	新六ヶ井堰	6.7	2.6	266	農水、取水、 潮止め	潮止め	7.7	7.7	—	—	—	—	—	—	—
新宮川	無し	—	—	—	—	—	5.2	5.1	4,770	—	—	—	—	—	—
九頭竜川	無し	—	—	—	—	—	18.6	11.0	—	—	—	—	—	—	—
大和川	潮止堰	3.4	0.34	1.5	塩水遡上 防止	—	3.4	6.0	—	—	—	—	—	—	—
由良川	無し	—	—	—	—	—	2.0	17.0	—	—	—	—	—	—	—
千代川	有	3.6	0.64	196	潮止め 床止め	有	5.0	3.8	25.03	大潮	0.45	—	—	—	—
日野川		—	—	—	—	—	2.2	—	—	—	—	—	—	—	—
天神川	北条堰	1.6	0.27	2	灌漑用水 取水	潮止め効果 有り	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—
吉井川	鴨越堰	7.53	-1.00	287	潮止め 取水	塩水被害 無し	—	—	—	—	—	—	—	—	—
高梁川	潮止堰	2.78	0.20	530	潮止め	塩水被害 無し	2.8	2.8	—	—	—	—	—	—	—
旭川	新堰	7.99	-3.40	86.5	潮止め、取 水灌漑用	灌漑用の塩 水被害無し	7.9	7.9	—	—	—	—	—	—	—
太田川	大芝水門 祇園水門	9.0	-0.50 0.00	45.44 107.20	洪水の防御	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—
佐波川	佐野堰	4.3	1.56	178.7	農業用水 の取水	潮止め効果 をもつ	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—

表-2.4.5 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(5)

1 河川名	24					25			26	27			28	
	中潮時		小潮時			河道内の淡塩混合形態			現低水路 河床勾配	感潮区間内河床材料粒径			低水路粗度	
	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	大潮	中潮	小潮		d ₅₀ mm	d ₆₀ mm	d ₁₀ mm	現況	計画
円山川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/10,000~ 1/14,000	—	0.2	0.004	—	0.022~ 0.035
紀の川	—	—	—	—	—	緩	緩	弱	1/4,500	—	—	—	0.030	0.030
新宮川	—	—	—	—	—	緩	緩	緩	1/1,000	4.03	16.6	0.88	0.035	0.035
九頭竜川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/2,200	11.2	0.8	0.3	L = 0.025 H = 0.06	L = 0.025 H = 0.06
大和川	—	—	—	—	—	緩	緩	弱	1/2,000	1.4	0.8	0.2	0.030	0.030
由良川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/4,000	15	8	0.3	0.035	
千代川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/1,850	2.1	1.4	0.3	0.025	0.025
日野川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/1,370	85.3	3.79	0.91	0.035	0.035
天神川	—	—	—	—	—	弱	弱	弱	1/620	6.82	2.02	0.66	0.035	0.035
吉井川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/5,200	1.91	0.62	0.23	0.017	0.025
高梁川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/5,200	0.84	0.46	0.20	0.025	0.025
旭川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/5,200	15.1	4.4	0.25	0.020	0.020
太田川	—	—	—	—	—	弱	—	—	—	—	—	—	—	—
佐波川	—	—	—	—	—	弱	—	—	1/1,821	40	20	1.32	0.030	0.030

表-2.5.1 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(1)

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10		11			12	
河川名	流域面積	流路延長	計画流量と確立年		潟水量	低水量	平水量	豊水量	5~8の平均した年数または何年		流観地点		既往最大流量			年最大流量平均	
	km ²	km	流量 m ³ /s	確率	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	何年間 年	年	地点名	河口からの距離 km	流量 m ³ /s	生起年月日	原因	流量 m ³ /s	年数
吉野川	3,750	194	18,000	1/150	26.92	47.10	67.49	104.94	20	S.43~62	中央橋	25	14,900	S.29.9.12	台風 12号	6,438.85	20
土器川	140	33	1,500	1/100	0.1	0.4	0.7	1.23	10	内4年間 欠測	丸亀橋	2.6	794	S.50.8.23	台風 6号	212.5	3
物部川	508	71	4,740 (5,400)	1/100	1.10	4.83	13.0	28.2	27	—	深淵	3.7	4,369	S.45.8.21	台風 10号	1,513	28
仁淀川	1,560	124	14,000 (17,000)	1/100	17.0	29.2	48.9	95.5	—	H.元	中島	4.7	13,513	S.38.8.9	台風 9号	5,048	27
渡川	2,270	196	14,000	1/100	12.5	26.4	48.1	82.46	10	—	貝岡	9.6	16,000	S.10.8.29	台風	4,240	10

表-2.5.2 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(2)

1 河川名	13 潮位観測位置			14 平均潮位	15 朔望平均満潮位	16 朔望平均干潮位	17 既往最高潮位		18 潮位変動量			19 平水時の河口形状		
	県	海岸	地点	T.P.m	T.P.m	T.P.m	T.P.m	原因	大潮 m	中潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km
吉野川	徳島	小松島 港内	小松島 市外開	-0.001 1991年	0.754 徳島潮位表より	-0.990	2.255	台風18号 S.36.9.16	1.62	—	—	1305	0.080	0.0 3月~5月
土器川	香川	—	高松港	0.044	1.193	-1.277	1.790	第2室戸台風 S.36.9.16	1.70	—	—	—	—	—
物部川	高知	高知	桂浜	-0.204	0.600	-1.297	3.13	台風10号 S.45.8.21	1.31	1.13	0.72	—	—	—
仁淀川	高知	高知	桂浜	-0.204	0.600	-1.297	3.13	台風10号 S.45.8.21	1.31	1.13	0.72	—	—	—
渡川	高知	—	土佐 清水	-0.086 S.26~59	0.075 までの平均値	-1.180	1.455	台風 S.27.9.13	1.9	1.3	0.7	—	—	—

表-2.5.3 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(3)

1 河川名	19 平水時の河口形状												20 河口地点計画		
	夏			秋			冬			固定される場合			河口地点計画		
	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	計画河床高 T.P.m	河口幅 m	位置 km
吉野川	1307	0.110	0.0 6月~8月	1306	0.310	0.0 9月~11月	1304	0.270	0.0 12月~2月	—	—	—	—	—	—
土器川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	-1.2	0.6	-1.6	258	0.0
物部川	7	—	-0.2	12	—	-0.2	18	—	-0.2	—	—	—	—	—	—
仁淀川	60	—	-0.2	52	—	-0.2	41	—	-0.2	—	—	—	-1.50	705	0.0
波川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	580	-4.086	0.4	-4.213	580	0.4

表-2.5.4 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(4)

1 河川名	21 感潮区間内の横断構造物						22 感潮区間	23 既往最大の塩水侵入時				24			
	名称	位置 km	敷高 T.P.m	幅 m	目的	効果	河口から km	河口から km	河川流量 m ³ /s	潮 汐	河口潮位 T.P.m	大潮時			中潮時
												河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s
吉野川	無し	—	—	—	—	—	14.6	14.6	—	—	—	—	—	—	—
土器川	潮止堰	2.0	-0.4	80	塩水遡上 防止	設置後塩害 実績無し	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—
物部川	無し	—	—	—	—	—	1.0	0.8	1.78	大潮	0.57	—	—	—	—
仁淀川	無し	—	—	—	—	—	3.0	2.7	9.71	大潮	0.53	—	—	—	—
渡川	無し	—	—	—	—	—	9.8	9.8	—	—	—	—	—	—	—

表-2.5.5 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(5)

1 河川名	24					25			26	27			28	
	中潮時		小潮時			河道内の淡塩混合形態			現低水路 河床勾配	感潮区間内河床材料粒径			低水路粗度	
	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	大潮	中潮	小潮		d ₉₀ mm	d ₅₀ mm	d ₁₀ mm	現況	計画
吉野川	—	—	—	—	—	☐	強	強	1/1,300	—	3.4	0.3	0.020 0.0km~10km	0.020
土器川	—	—	—	—	—	☐	—	—	1/1,700	61.0	25.0	1.07	0.035	0.035
物部川	—	—	—	—	—	☐	—	—	1/360 (最深河床) 1/300 (低水路平均河床)	—	—	—	—	0.035
仁淀川	—	—	—	—	—	☐	—	—	1/1,230 (最深河床) 1/970 (低水路平均河床)	—	—	—	—	0.033
渡川	—	—	—	—	—	☐	—	—	1/1,800	—	—	—	0.03	0.03

表-2.6.1 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(1)

1 河川名	2 流域面積	3 流路延長	4 計画流量と確立年		5 潟水量	6 低水量	7 平水量	8 豊水量	9 5~8の平均した年数または何年		10 流観地点		11 既往最大流量			12 年最大流量平均	
	km ²	km	流 量 m ³ /s	確 率	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	何年間 年	年	地点名	河口からの距離 km	流 量 m ³ /s	生起年月日	原 因	流 量 m ³ /s	年 数
本 明 川	87	21	810	1/80	0.59	0.82	1.06	1.66	20	—	裏 山	5.9	1,070	S.32.7.25	梅 雨 前 線	188.89	20
筑 後 川	2,860	143	6,000	1/150	32.7	47.7	63.7	115.79	—	H.元	瀬ノ下	25.5	6,000	S.28.6.26	梅 雨	3,410	5
松 浦 川	446	47	3,400	1/100	2.19	3.86	5.72	10.01	25	—	牟田部	11.85	1,170.6	S.57.7.24	梅 雨 前 線	586	26
六 角 川	341	47	2,000	1/100	0.07	0.24	0.47	1.46	16	—	瀬見橋	30.35	213.09	S.57.7.24	梅 雨 前 線	90	16
嘉 瀬 川	368	57	2,500	1/100	4.71	7.05	10.44	17.55	15	—	川 上	17.0	807.48	S.57.7.24	梅 雨 前 線	406	16
菊 地 川	996	71.1	3,800	1/100	8.5	16.8	22.3	34.4	10	S.5~H.元	玉 名	10.6	4,218	H.2.7.2	梅 雨	1,778	10
番 匠 川	464	38	3,000	1/80	0.71 (4.18)	1.75 (1.96)	3.57 (0.95)	8.33 (0.51)	35 (13)	—	8k950 (4k000)	8.95	2,560.1	S.39.9.25	台 風	940.99	35
北 川	589.4 北川流域	54.4 幹 川	4,000	1/60	3.64	7.21	13.65	30.85	28	S.31~62年 で4年欠測	熊 田	17.8	5,500	S.32.9.9	台 風 10号	1,982.2	30
大 瀬 川	1,820 河口全流域	7.9 幹 川	4,500	1/60	15.06	22.32	31.48	52.27	32	S.30~62年 で1年欠測	三ッ橋	3.72	4,612.8	S.46.8.30	台 風 23号	1,786.7	34
五ヶ瀬川	1,820 河口全流域	106.2 幹 川	1,500	1/60	0.24	0.59	1.18	1.2	29	S.33~62年 で1年欠測	松 山	6.2	1,960.3	S.57.8.27	台 風 13号	1,641.2	31
大 淀 川	2,230	107	7,000	1/70	41.2	59.4	83.8	147.15	—	H.元	柏 田	10.675	7,220	S.29.9.29	台 風	3,508.6	10
小 丸 川	474	75	3,000	1/80	3.5	8.0	18.1	46.05	—	H.元	小 丸 大 橋	2.5	3,024.5	S.57.8.27	台 風	1,616.64	8
川 内 川	1,600	137	7,000	1/100	28.17	38.53	51.88	83.66	34	—	斧 淵	18/320	3,840	S.46.8.6	台 風	1,635	16
肝 属 川	485	34	2,300	1/100	14.72	18.35	22.07	28.83	10	—	俣 瀬	3.88	6,900	S.13.10.15	台 風	945.06	10

表-2.6.2 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(2)

1 河川名	13 潮位観測位置			14 平均潮位	15 朝望平均満潮位	16 朝望平均干潮位	17 既往最高潮位		18 潮位変動量			19 平水時の河口形状		
	県	海岸	地点	T.P.m	T.P.m	T.P.m	T.P.m	原因	大潮 m	中潮 m	小潮 m	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km
本明川	長崎	山陰	大浦	0.14 S.40~63	2.46 の出水期(6~10月)による値	-2.36	3.22	台風13号 S.60.8.31	3.06	—	0.61	—	—	—
筑後川	福岡	下津港	タワー 総合	0.1	2.46	-2.62	3.33	台風13号 S.60.8.31	4.5	3.5	2.4	—	—	—
松浦川	—	—	—	-0.027	1.039	—	—	—	1.82	—	0.32	—	—	—
六角川	佐賀	芦刈	住ノ江港	-0.034	2.356	—	—	—	5.5	—	0.08	—	—	—
嘉瀬川	佐賀	芦刈	住ノ江港	-0.034	2.356	—	—	—	5.5	1.0	0.4	—	—	—
菊地川	熊本	有明	長州	0.034	2.43	—	3.61	—	5.13	—	1.69	—	—	—
番匠川	大分	日豊	灘	0.1	0.79	—	2.60	前線	1.36	—	0.84	—	—	—
北川	宮崎	北川	0.0	-0.075	0.790	—	3.48	台風22号 S.30.9.30	1.78 S.51~59年の平均	1.33	0.88	—	—	—
大瀬川	宮崎	北川	0.0	-0.075	0.790	—	3.48	台風22号 S.30.9.30	1.78 S.51~59年の平均	1.33	0.04	45	-1.2	0.0
五ヶ瀬川	宮崎	北川	0.0	0.14	0.95	—	3.48	台風22号 S.30.9.30	1.78 S.51~59年の平均	1.33	—	—	—	—
大淀川	宮崎	日南	油津 候所	-0.075	1.00	0.6	—	—	1.89	—	0.40	150	-3.50	0.1
小丸川	宮崎	日南	油津 候所	-0.075	1.00	0.6	—	—	1.85	—	0.38	50	-1.50	0.0
川内川	鹿児島	川内川 河口	久見崎	0.20	1.40	-0.65	1.91	—	3.38	—	0.99	—	—	—
肝属川	鹿児島	志布志	すみれ石	0.041	0.790	-0.987	1.800	チリ津波	1.70	1.30	1.00	—	—	—

表-2.6.3 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(3)

1 河川名	19 平水時の河口形状												20 河口地点計画		
	夏			秋			冬			固定される場合			計画河床高 T.P.m	河口幅 m	位置 km
	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km	河口幅 m	平均河床高 T.P.m	位置 km			
本明川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	260	-2.29	0.0	-2.60	270	0.0
筑後川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	980	—	0.0	-4.50	980	0.0
松浦川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	190	-2.5	0.0	-4.100	190	0.0
六角川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	515	-2.0	0.0	-4.00	520	0.2
嘉瀬川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	445	-2.0	0.0	-2.50	420	1.4
菊地川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-1.00	520	0.0
番匠川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	340	-2.42	0.0	-3.00	505	0.0
北川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	250	-3.5	0.0	-4.50	250	0.0
大瀬川	56	-1.7	0.0	38	-1.1	0.0	38	-1.0	0.0	—	—	—	-3.00	350	0.0
五ヶ瀬川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	250	-5.9	0.0	-4.50	250	-0.7
大淀川	—	—	—	370	-3.50	0.0	250	-3.50	0.1	—	—	—	-3.50	760	0.0
小丸川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-1.50	1,060	0.0
川内川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	810	-2.16	0.0	-4.97	810	0.0
肝属川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	170	1.0	-0.1	-2.44	390	0.0

表-2.6.4 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(4.)

1 河川名	21 感潮区間内の横断構造物						22 感潮区間	23 既往最大の塩水侵入時				24			
	名称	位置 km	敷高 T.P.m	幅 m	目的	効果	河口から km	河口から km	河川流量 m³/s	潮汐	河口潮位 T.P.m	大潮時		中潮時	
												河川流入量 m³/s	順流最大 m³/s	逆流最大 m³/s	河川流入量 m³/s
本明川	公園堰	5.07	3.825	52.1	床止, 取水	—	5.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—
筑後川	筑後大堰	23	-2.7	50.1	治水, 利水	—	23	23.4	—	大潮	—	40	2300	3500	40
松浦川	杉浦大堰	3.1	-3.0	318.7	潮止	塩水遡上防止	3.1	—	—	—	—	—	—	—	—
六角川	河口堰	4.6	1.0	226.2	高潮防御, 取水未 操作, 不特定用水	—	29.04	29.04	—	—	—	—	900 大潮時かど	900 うか不明	—
嘉瀬川	徳万堰	6.9	1.8	50.7	潮止, 取水位 防止, 工水上	確保, 塩水遡上の 水の安定的取水	6.9	6.5	—	—	—	—	—	—	—
菊地川	無し	—	—	—	—	—	14.4	5.0	—	—	—	—	—	—	—
番匠川	興人潮止堰	6/800 -25m	0.58	137	取水 (工業用水)	防潮 (堰上げ)	6.775	7.0	—	—	—	—	—	—	—
北川	無し	—	—	—	—	—	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—
大瀬川	無し	—	—	—	—	—	3.1	3.1	—	—	—	—	—	—	—
五ヶ瀬川	無し	—	—	—	—	—	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—
大淀川	大淀第一 床固め	9.25	0.146	255	河床安定	—	9.2	9.2	—	—	—	—	—	—	—
小丸川	無し	—	—	—	—	—	3	3.0	—	—	—	—	—	—	—
川内川	無し	—	—	—	—	—	20	2.0	—	—	—	28.6 (S. 61.10.17)	659.2	797.7	—
肝属川	無し	—	—	—	—	—	4.00	1.6	36.17	大潮	0.90	36.17	75.44	62.22	—

表-2.6.5 河道内塩水遡上に関するアンケート 集計表(5)

1 河川名	24					25			26	27			28	
	中潮時		小潮時			河道内の淡塩混合形態			現低水路 河床勾配	感潮区間内河床材料粒径			低水路粗度	
	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	河川流入量 m ³ /s	順流最大 m ³ /s	逆流最大 m ³ /s	大潮	中潮	小潮		d ₅₀ mm	d ₆₀ mm	d ₁₀ mm	現況	計画
本明川	—	—	—	—	—	■	—	—	1/950	0.13	0.005	0.0003	0.025	0.022
筑後川	1300	1500	—	—	—	■	—	—	1/9,000	1.24	0.59	0.25	0.030	0.023~ 0.030
松浦川	—	—	—	—	—	■	強	強	1/3,000	2.0	1.0	0.2	—	0.025
六角川	—	—	—	—	—	■	強	強	1/1,300	0.40	0.25	0.13	—	0.023
嘉瀬川	—	—	—	—	—	■	強	強	1/1,600	0.40	0.25	0.13	—	0.028
菊地川	—	—	—	—	—	■	—	—	1/3,000	6.6	2.1	0.4	0.026	0.030
番匠川	—	—	—	—	—	■	—	—	1/2,100	24	16	14	0.026	0.030
北川	—	—	—	—	—	■ 2/400地点	—	—	—	—	—	—	0.030	0.035
大瀬川	—	—	—	—	—	■	—	—	—	11.33	6.75	0.93	0.029	0.035
五ヶ瀬川	—	—	—	—	—	■ 1/000地点	—	—	—	39.0	22.50	0.45	0.029	0.035
大淀川	—	—	—	—	—	■	—	—	—	—	—	—	0.028~ 0.035	0.035
小丸川	—	—	—	—	—	■	—	—	—	—	—	—	0.028~ 0.033	0.035
川内川	—	—	20.6 (S. 61.11.25)	379.6	484.8	■	—	—	1/5,000	—	—	—	0.020	0.035
肝属川	—	—	—	—	—	■	—	—	1/3,000	2.08	0.86	0.42	0.030	0.030

感潮河川の塩水遡上実態と
混合特性

ISSN 0386 - 5878
土木研究所資料 第3171号
平成5年3月(1993年)
山本 晃一, 高橋 晃
深谷 渉

要 旨

本報告書は、河道内への塩水遡上現象の実態調査資料を分析し、塩水遡上の諸特性や水理諸量、河道諸元との関係等についてとりまとめ、海水面変化による塩水遡上の変化特性について検討したものである。さらに塩水遡上の基礎的な水理特性や予測手法等のこれまでの研究成果についてもとりまとめた。

キーワード：塩水くさび、二層流、密度流、混合形態、感潮河川、
選択取水



郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



○

土木研究所資料第3171号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

土木研究所資料第 3171号

感潮河川の塩水遡上実態と混合特性