感潮河川における塩分侵入について

東洋大学　学生員　○松澤　香
東洋大学　フェロー　荻原　国宏

1. はじめに

地球は水の惑星といわれており、水は自然界の中で循環し、その過程で災害により幾多の被害をもたらす一方で、人間を含む地球上の生命を育み、生存を支え、汚染を浄化してきた。現代でも河川が我々の文化に貢献していることには変わりはなく、山間部の水力発電から始まって、農地の灌漑に、都市水道に、あるいは工業用水道に利用され、その間、川の流れが観光に、漁業に役立ち、または都市下水、田地からの排水などを流す排水路にもなってきた。

最近は水の需要が急激に増加し、河川水の水質悪化が深刻な問題となっている。すなわち河川は古くすなわち河川は古くから今日まで、人間の生活を支える環境を形成してきたが、その重要性は形を変えながらも少しも減少することはない。河川工学においての環境問題に淡水と海水の接触である河川の塩分遡上問題がある。飲料水、農業用水などに使用する水に塩分が混入すると様々な問題が出てくる。潮汐の影響が顕著である河川（感潮河川）では塩水と淡水の混合する区間が存在し、いわゆる汽水域を形成している。形状をして弱混合型、強混合型、緩混合型がある。この研究では、河川での塩水楔の形状分類について例にとる。

2. 実験概要

本実験では、水路長 8m・水路幅 30cm・水路床勾配 3/200 と 3/400 のアクリル製水路を用い、右端に潮汐発生装置を設置。図 1 の上流から淡水、河口部より塩水を流入させた。全潮汐発生装置の上下幅 5cm、周期 43s、塩水流量は高潮位 400cm^3/s、低潮位 -218cm^3/s、比重 1.02 で 12 ケース（I=3/200）、8 ケース（I=3/400）行った。

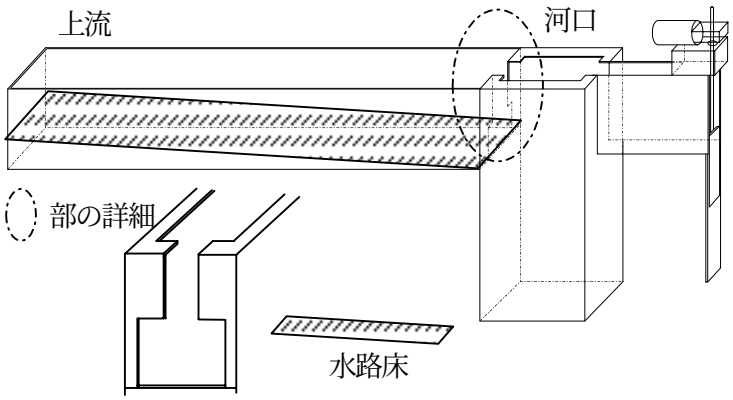

図 1：使用水路

全てのケースにおいて水深を上層(淡水)・下層(塩水）それぞれの高潮位・低潮位を測定し、更に、下層における導電率（濃度変化）を測定した。各ケースにおける塩水平均流速・平均内部フルード数・レイノルズ数・平均抵抗係数・混合率を求め、塩分侵入の形状分類を行った。

表 1：水理条件

ケース	塩水流量	周期
1〜12	200ml/s	43s
13〜19	1250ml/s	25s

3. 形状分類方法

淡水・塩水との混合の判別方法として、淡水流量と潮汐プリズムの比により分類を行った。

$V/V_s < 0.1$ ：強混合型　　$0.2 < V/V_s < 0.5$ ：緩混合型　　$0.7 < V/V_s$ ：弱混合型

$V = Q_r \times T$ ，$V_s = LHB/2$　（Q_r ：淡水流量 ， T：周期 ， B：水路幅 ， H：塩水潮汐差 ， L：楔長)

4. 結果および考察

1) ケース 1〜12 における水位変化

淡水流量 5.75〜348.68ml/s について測定を行った。淡水・塩水それぞれ高潮位・低潮位水位を測定し、平均楔長を求めた。ここではケース 1 について図 2 に示した。平均楔長 115cm、塩水平均潮汐差 0.8cm から淡水流量と潮汐プリズムの比より弱混合型と分類される。塩水侵入はかなり少ないが、明瞭な層を成していた。

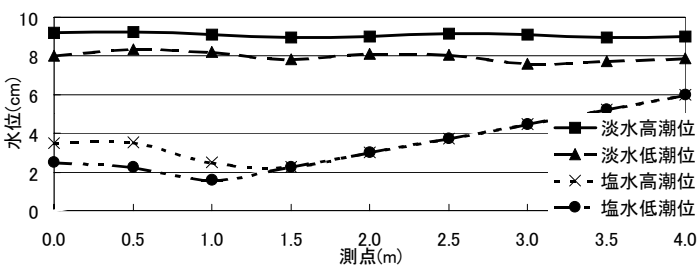

図 2：淡水流量 348.68ml/s における水位変化

Keyword：塩水楔、潮汐プリズム、内部フルード数、レイノルズ数
連絡先　〒350-8585　埼玉県川越市鯨井 2100　tel　0492-39-1391　内線　1742

ケース 1～12 では、全て塩水と淡水とが完全に混合せず、層を形成しており、形状分類では、弱・緩・強混合型のすべてに判別された。

2）ケース 13～19 における導電率

各測点での水路床における導電率を測定し、塩水と淡水とが完全に混合し目視から読み取れなかった塩分の侵入距離が、データ上から明確にする事ができた。図 3 では、淡水流量 96.71ml/s、比重 1.016、緩混合型での導電率を用いた。ケース 13～19 で同様なグラフより、傾きが急激なほど強混合型、緩やかなほど弱混合型に近いと予測される。

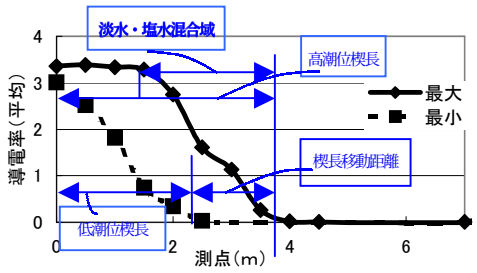

図3：淡水流量(96.71ml/s)導電率

このことから、淡水流量 Q_r と導電率での傾き α の最大値と最低値の関係は図 4 で示される。以上のことから、淡水流量が大きいほど導電率の傾きが大きい。つまり、塩分減少率が大きい。更に、淡水流量が大きいと楔長は短い傾向にある。

3）境界面における抵抗係数

ケース 1～12 について図 5 のように抵抗係数と形状から考えてみると、境界面での抵抗係数が大きいと弱混合型という事が明解である。つまり、抵抗係数が増加するに従い塩水は遡上しにくくなる事がわかる。

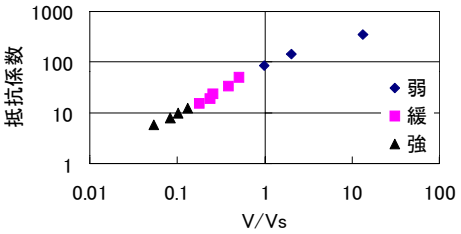

図 5：V/Vs と抵抗係数

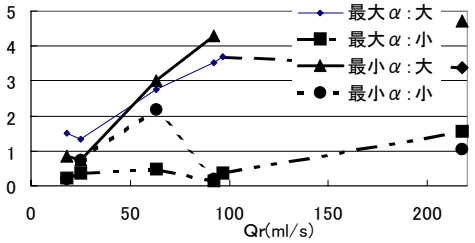

図 4：淡水流量 Q_r と傾き α

4）レイノルズ数・内部フルード数

ケース 1～12 で、図 6；7 ともに形状分類線を予測した。また図 6 において、塩水は多少乱れのある乱流状態にあることがわかる。更に図7では12ケースで内部フルード数が 1 以上なので塩水の流れは射流ということができる。

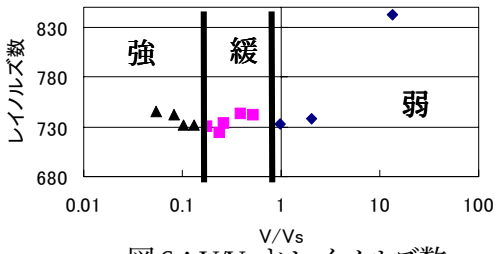

図 6：V/Vs とレイノルズ数

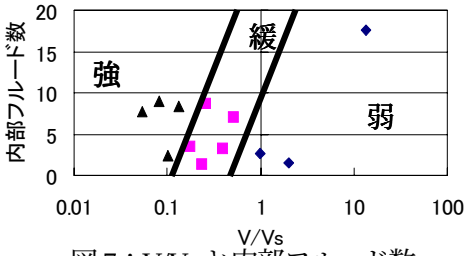

図 7：V/Vs と内部フルード数

5）塩水楔の形状分類　ケース 1～12

図 8 より淡水流量が増加すると形状は強混合型から弱混合型へと変化し、図 9 から淡水流量が減少していくと楔長は長くなり強混合型になっていることがわかる。

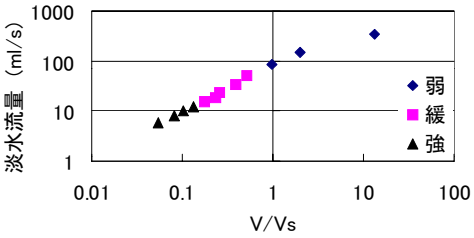

図 8：淡水流量と V/Vs

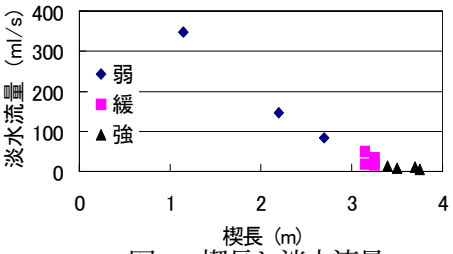

図 9：楔長と淡水流量

表 2 は、ケース 1～12 における塩水楔の形状分類をまとめた。淡水流量を大きく変化させているが、塩水潮汐差はそれによる影響をほとんど受けることはないと言える。よって、塩水潮汐差と楔の形状は大きく関係していないと考えられる。

表 2：形状分類

ケース	淡水流量	塩水潮汐差	楔長 m	V/Vs	分類
1	0.0003487	0.008000	1.15	13.3760	弱
2	0.0001471	0.011400	2.20	2.0179	弱
3	0.0000846	0.011000	2.70	0.9799	弱
4	0.0000506	0.010786	3.15	0.5119	緩
5	0.0000333	0.009125	3.25	0.3866	緩
6	0.0000238	0.009750	3.25	0.2585	緩
7	0.0000187	0.008725	3.15	0.2338	緩
8	0.0000156	0.009375	3.25	0.1765	緩
9	0.0000122	0.009375	3.40	0.1317	強
10	0.0000100	0.009167	3.70	0.1014	強
11	0.0000081	0.009625	3.50	0.0823	強
12	0.0000058	0.009750	3.75	0.0541	強

5.　終わりに

本実験では、感潮河川における河口部の塩分侵入を取り上げた。以上の結果より、塩水でのレイノルズ数・内部フルード数・境界面における抵抗係数・塩水楔の形状は淡水流量が大きな影響を与えている。しかし、実際の河川においては地域により比重、塩水流量、河川勾配などが異なるため、今回の実験データとは異なる可能性がある。今後より確実性を増すためには、実際に河川で測定し、相似性など様々な視点から考える必要がある。