

二成層からの取水にともなう界面状態の変化

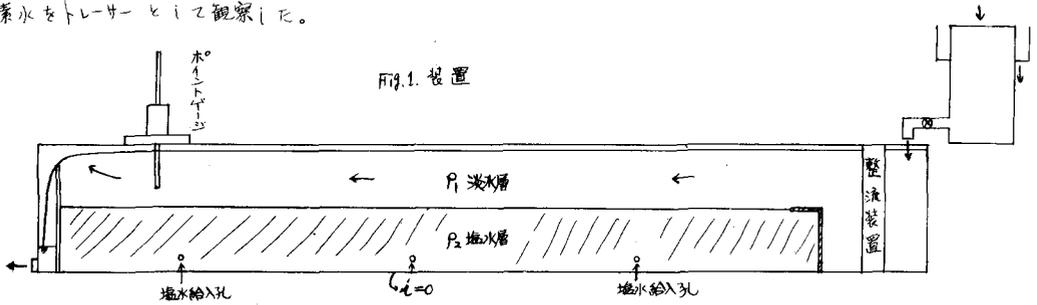
北海道大学工学部 正会員 吉田 静男  
 北越 龍三  
 福田 以津子

1. はじめに

鉛直方向に異なる密度の層と有する流体場から、目的とする層のみを選択取水せねばならぬことが、各方面で数多く見られる。たとえば、湖水、ダムから、農業用水として温水を取水する場合とか、火力発電所における、海底近くの冷水の取水、さらには、河口二成層の上層からの淡水取水などがあげられる。成層流体場としてはこのほか、相互の拡散のないoil 貯水の層が考えられるが、ここでは、層間の混合のゆるされる場合にのみ行われる混合層の生成ならびに、発達したときの挙動について、淡水=層モデル実験によって得られた結果を報告し拡散のゆるまない場合の単純な理論計算との違いを指摘してやりたい。尚、湖水、ダム等では実際には連続的に密度が変化し、二成層とは取り出し難い場合が多いが、ここでは、温度躍層がある、二成層と取り出し得る場合を対照にしていることを附記しておく。

2. 実験方法

装置はFig.1に示す様に長さ600cm幅8cm深さ45cmの透明なアクリル樹脂の水路からなり、水平に設置されている。給水は一端に備えられた整流装置を通じで行われ、取水は他端に取付けられた高さ38cmのweirを越流させることにより行われる。下層を形成する塩水は深さ25cm長さ480cmにわたってFig.1斜線部にあらわされ、上層を形成する淡水は、後に淡水を除々に塩水上に給水しweirを越流するまで貯水する。取水後塩水が減少すれば同一比重の塩水が供給される工夫もなされている。取水を開始すると淡水面上部部で多少高くなって淡水層は15.6cmになる。測定量は、水温、伝導度、流速であるが、それぞれサーミスター温度計、伝導度計、サーミスター流速計を用いて測定された。測定素子はすべてポイントゲージにトリッつけられ、測定位置はポイントゲージの読みで決定した。伝導度計の読みは比重におまかせでデータを処理している。混合層の境界面は伝導度の急変する水深として取水中の塩分はCl濃度に換算することなく伝導度のままでも処理した。なお流れの様子や流線はフルオロセチン染料の色素水をトレーサーとして観察した。



3. 実験結果について

実験は塩水比重  $1.00474$ 、 $\epsilon = 0.0048$  の下層に対して取水流量が  $39.6 \text{ cc/s}$ 、 $77.8 \text{ cc/s}$ 、 $113.3 \text{ cc/s}$  の三通りについて行われた。Fig. 2には各取水流量のとき、時間の経過とともに界面状態が変化して行く様子が示されている。この結果によれば間違いなく淡水と塩水の中間的な比重の混合層が形成されていることが分かる。しかし、Fig. 3のごとく、取水流量が小さいと、定常化には予想以上に長い期間が必要でありことも知られる。混合層内の構造は、Fig. 2からほぼ知ることが出来るが、これによれば、混合層は比較的明瞭に下層塩水及び淡水と区別がつく。さらに、淡水側より塩水側で密度勾配が急であることから、混合層と塩水境界における拡散は混合層と淡水の境界における拡散よりも非常に小さいものであることが分かる。又取水流量が増大してゆくと混合層内の比重分布が直

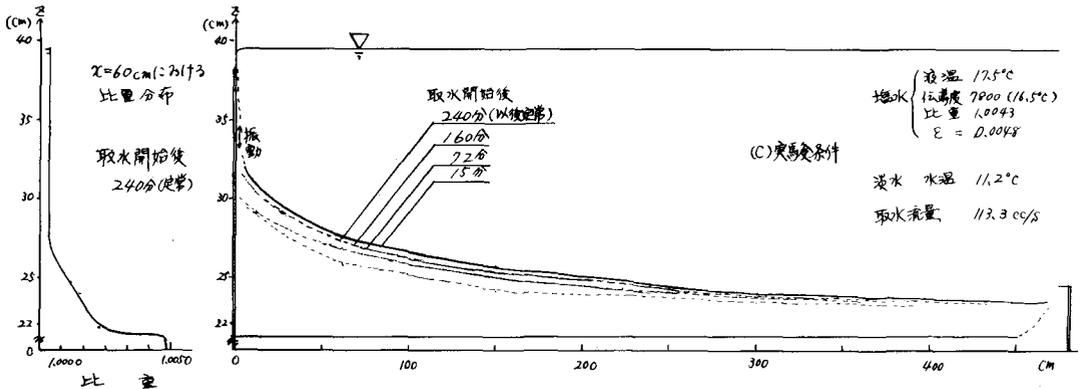
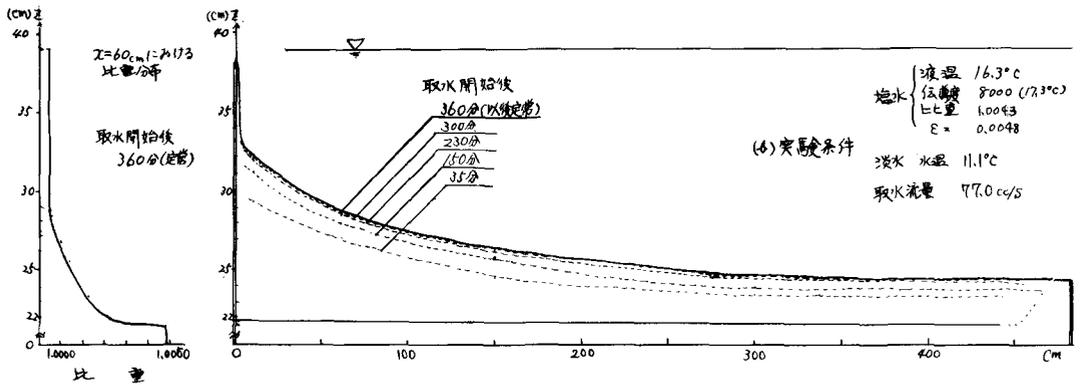
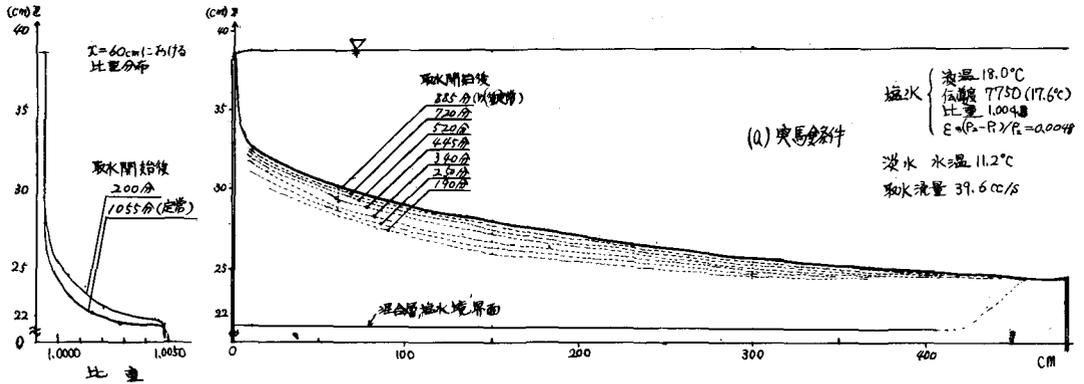


Fig.2 混合層と淡水及び塩水間の境界ならびに混合層内比重分布

線的傾向をどのようにする事実も見い出せない。

さてここで非常に重大な結果は混合層と塩水の境界面が取水口付近に於いてさきほかに述べ上昇してないという現象である。今境界でのさきほかに無く、境界を越えての拡散もない場合で、流れ関数がラプラスの方程式を満足する場合について、境界面上昇量を見積ってみよう。Fig.4のような理想化された二層モデルでは次の式が成立することから<sup>1)</sup>。

$$\{H - (h_1 + h_2)\} = E(h_2 - h_1) \quad \dots (1)$$

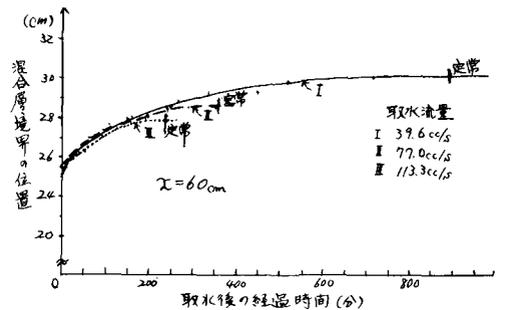


Fig.3  $x=60\text{cm}$  における境界面の時間変化

(1) 次の意味するところは表面が降下する量は、境界面上昇量の  $\varepsilon$  倍であるというもので、筆者らの実験の一例である  $\varepsilon=0.0048$ ,  $Q=113.3 \text{ cc/s}$  について検討してみると、取水口では  $\{H-(h_1+h_2)\}=0.6 \text{ cm}$  の実測値を得ているから  $\varepsilon(h_2-H_2)=0.6$  より  $h_2-H_2$  つまり界面上昇量は実に  $124 \text{ cm}$  に及ぶ。この結果は筆者らの得た実験結果とはおりにちがいがあつた。この理由としては、上流において作られた、上層と下層の中間的な密度の流体が eddy-mixing によって輸送され、weir付近に蓄積される結果となるのが妥当であろうが、それ以外に、やはり、大西・日野が明らかにした、サーキュレーション領域も同時に考慮されなければよく説明出来ないのであろう。この問題は、今回の狭い領域の実験だけでなく、二三次元行ってまた種々の実験においても常に生じていたことから、いたゞ所で見現する可能性をもつており、やはりきちんと解決されねばならない問題であらう。

界面が上昇しないということも、界面を固体壁と仮定して得る部で、種々の問題を  $\varepsilon$  でまとめようとする場合に注意を要することになるであらう。本研究の様な明確な二層に分かれている場合に、仮に混合層が形成されるであろうから取水塩分と取水流量の関係とか、取水流量と混合層の安定問題等を  $\varepsilon$  を使って論じようとするならば、 $\varepsilon$  に含まれる下層比重として混合層の比重を用いるべきであらう。

次に混合領域の大きさとして取水流量の関係を調べてみよう。Fig. 2 によれば取水流量が小さいほど混合領域は大々なっていることが分かるが、その主たる原因は、取水流量の増大にともなう剪断応力の増大にある。これはさうと、河口における塩水 wedge が、河川流量とともに同じ理由によって短くなることに相当している。これによって筆者らが行つた大々実験結果も混合領域の大きさ (Fig. 2 でのいづれ混合層の面積) をフーケン数  $\theta=2\varepsilon g/U^3$  でまとめた結果が Fig. 5 にある。これによると  $1/8 \approx 8$  付近で臨界状態となり  $1/8 > 8$  で乱流の混合層 (Fig. 7)  $1/8 < 8$  で層流の混合層 (Fig. 6) が形成されること became 明らかになった。

今回の実験ではさらに取水中にどの程度塩分が含まれているかを調べている。その一例を示せば Table 1 のごとくであり、取水流量が大々なほど単位体積あたりの塩分量は少々なつたことが分かるが、流れの安定不安定によらず塩分濃度は低くしか大々差を生じなかつた。

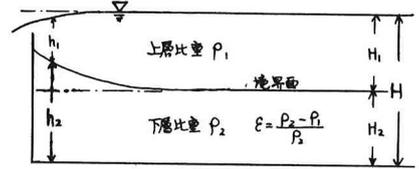


Fig. 4. Notation

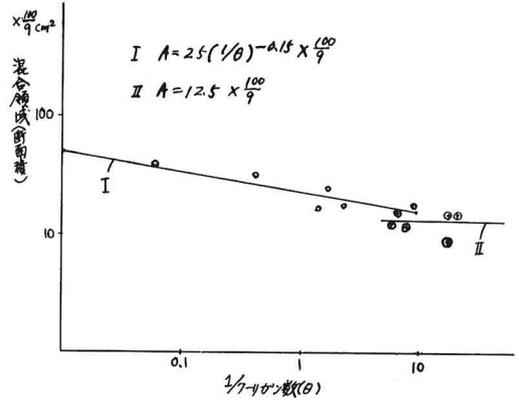


Fig. 5 混合領域比の關係

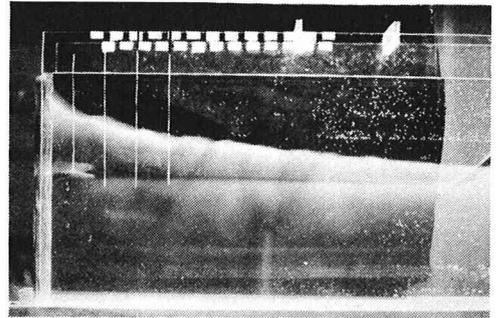


Fig. 6  $\theta < 8$  に於ける混合層 (流れ層流)

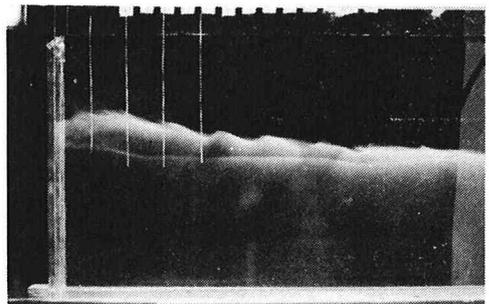


Fig. 7  $\theta > 8$  に於ける混合層 (流れ乱れあり内部混ざり)

流量 cc/s	39.6	77.0	113.3
取水塩濃度 $\text{mg/cm}^3$	178 (12.5°C)	173 (12.3°C)	164 (13.4°C)
取水塩濃度 $\mu\text{g/cm}^3$	162 (11.7°C)	163 (12.1°C)	163 (12.2°C)

付. 下層塩  
濃度は  $7750 \sim 8000 \mu\text{g/cm}^3$

Table 1 取水塩濃度

#### 4. 実際のダムにおける混合層

Fig. 8 は相村及び筆者らの行った金山ダム調査結果である。水温の測定は Bathythermograph で行なったが、測定中取水量は一定に保たれていた。Fig. 8 によると、等温線が水平からずれる領域は埋土 5m、取水口から 10m 程度に限られている。観測後温度分布が変化したかどうか、確認していないので不完全な考察しか出来ないうが、重要なことは、取水塔付近で等温線間の距離が取水口に接近するに連れて大きくなる、つまり Stagnation 領域が見られることである。この領域は、大西・日野によれば渦領域と云うことになるであろう。ところが相村には、大西・日野の理論<sup>2)</sup>から生じた取水パラメータ  $G_{cr} = Q / 2.2 \sqrt{g \beta} d^3$  によれば流動層の厚さが可成厚く計算された（もうこれを指し示<sup>3)</sup>）。その理由として相村らは、混合効果もその一つとして挙げているが、本研究は、この混合効果が実際には、混合層の形成及びその生長として現われ、その結果として流動層が、次第にせまくなる可能性が充分あることを指摘している。ただ混合層が十分に発達する以前で取水開始間もなくであれば、混合層による影響が小さい故、取水パラメータ  $G$  にとらずに渦領域の算定は有効なはずである。

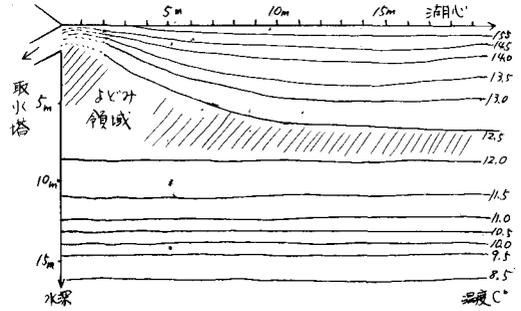


Fig. 8 取水塔近くの温度分布。(Sept. 22, 71, 0945~1110  
取水 35.45 ton/s 金山ダム)

相村の計算によればこの温度成層の場合には  $G_{cr} = 0.178 = Q / \{2.2 \sqrt{g \beta} d^3\}$  且  $\beta = 3.609 \times 10^{-5}$  であり  $d'$  つまり可動しうる層の厚さは 11.9m である。ところが Fig. 8 では流動層厚は 6~7m 程度である。

#### 5. あとがき

大西・日野が自ら指摘している様に、取水の問題を取扱う場合、密度成層状態の安定に関する詳細が重要であるが、これらごとの取扱は充分には行なわれてこなかった。こうした状況下において本研究は密度勾配状態であったり、長時間にわたって取水する場合、混合層が発生成長し流れの場を次第に変えてゆくことを指摘した。今後ほさらに中間取水、下層取水をも手がけ、混合層の持つ意味を、流速分布の知識も加えて調べてみたい。

#### 6. 文献

- 1) 吉田・相馬：二成層からの取水に関する研究、応用物理学会北海道支部学術講演会予稿集、1972。
- 2) 大西・日野：深層取水の流れへの考察(1) 第14回海岸工学講演会講演案 1967。
- 3) 相村ほか：貯水池密度流の実験的研究 石狩川の流と解析と流砂に関する研究 北大IHD研究ノルブ 昭 48年3月。