

II-232

表面取水における流動層厚に関する実験的検討

東京理科大学 土木工学科 学生会員 ○石崎 崇志

同 木村 康彦

正 員 大西 外明

1. 緒言

貯水池操作が下流河川の水域環境に及ぼす影響を低減させるために、近年、ダム貯水池においては、選択取水設備を設ける例が多い。この様な取水口に流入する流れは、密度流に関する代表的な問題の一つとして、従来から数多くの研究成果があげられてきているが、これらの研究では、取水口を線もしくは点と仮定するものが多い。一方、実際の取水口は、貯水池利用水深の数分の1のオーダの開口高で操作されることが多く、開口高が流動層厚に及ぼす影響を知ることが実用上の課題となっている。また、従来の実験的研究は、内部フルード数が 10^{-2} 以上のオーダの場合(例えば、Deblerは0.02以上、日野・大西は0.01)についてのものがほとんどである様に思われるが、実用上はそれ以下のケースが生じている。この様な観点から、本研究では、比較的低い内部フルード数の場合について、開口高が流動層厚に及ぼす影響を模型実験により検討を行った。

2. 実験装置と実験方法

実験用水槽は長さ5.0m、高さ0.6m、幅0.12mの両面強化ガラス張りの長方形断面の二次元水路である。水槽の下流端は鋭縁堰状に仕上げたが、その際、堰頂が取水口高に相当する分だけ水面より下にくるようにした。また、実験中の水槽内水位を一定に保つ為に、貯水池模型区間の上流端には余水吐を設けた。密度分布はA貯水池における観測結果を参考にして作成した3種類の直線形密度分布について実験を行った。取水口幅を12cm、取水口高さを8cm, 7cm, 6cm, 5cm, 4cm,と変化させ、それぞれの場合について流量を3 liter/min および 2 liter/minとした。

本実験では、水の密度差を塩分濃度差により作り、塩分濃度は電気伝導度を媒介として間接的に測定することとした。取水量は、排水管の途中につけたバルブの開きを加減することにより任意に変化させる事が出来る。また、その流量は、単位時間に水槽外タンクに溜る水量を計測することにより算定した。実験中は排水量に等しい高濃度塩水(最下層の高濃度塩水)を給水して、水槽内水位を一定に保てるようにした。流速の鉛直分布の測定は、流れの可視化用染料(ウオーターブルー)を鉛直糸状に数カ所に入れ、流れによる変形を一定時間毎にカメラで撮影することにより求め、流速が0となる点の深さを流動層の厚さとした。その際、流動層厚さの決定位置としては、流層が水面と平行となる取水口から十分上流の断面を選んだ。

表1. 実験条件 および 結果

No	H	De	q	F	D	D/h
1	8	1	3	0.0059	11.0	0.20
2			2	0.0039	9.0	0.17
3			3	0.0069	14.0	0.26
4		2	2	0.0046	11.0	0.21
5			3	0.0094	22.0	0.42
6			2	0.0063	18.0	0.34
7	7	3	3	0.0059	14.0	0.26
8			2	0.0039	13.0	0.25
9			3	0.0069	17.0	0.32
10		2	2	0.0046	12.0	0.23
11			3	0.0094	20.0	0.38
12			2	0.0063	16.0	0.36
13	6	3	3	0.0059	11.0	0.21
14			2	0.0039	9.0	0.17
15			3	0.0069	15.0	0.28
16		2	2	0.0046	12.0	0.23
17			3	0.0094	17.0	0.32
18			2	0.0063	17.0	0.32
19	5	3	3	0.0059	13.0	0.25
20			2	0.0039	10.0	0.19
21			3	0.0069	12.0	0.23
22		2	2	0.0046	11.0	0.21
23			3	0.0094	17.0	0.32
24			2	0.0063	15.0	0.28
25	4	3	3	0.0059	11.0	0.21
26			2	0.0039	10.0	0.19
27			3	0.0069	16.0	0.30
28		2	2	0.0046	10.0	0.19
29			3	0.0094	18.0	0.34
30			2	0.0063	16.0	0.30

H: 取水口高(cm), De: 密度層パターン

q: 流量(l/m), F: 内部フルード数

D: 密度層厚(cm), h = 53 cm

3. 実験条件と実験結果

表1に示す実験条件下で実験を行った。この表中には式(1)で定義される内部フルード数と流動層厚Dの観測結果も併記した。

$$F = (q/h^2) (1/g\beta)^{1/2} \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 $\beta = (\rho_b - \rho_s) / \rho_b h$, q :貯水池の単位幅あたりの流量, g :重力の加速度, ρ_b :貯水池の底での水の密度, ρ_s :貯水池の水面での水の密度, h :貯水池の水深, である。

4. 実験結果についての考察

図1は、表1中に記した内部フルード数F(式(1))とD/hの関係を図示したものである。この図から分かるのは、本実験の範囲では、D/hは内部フルード数Fと共に増加し、取水口高にはあまり影響されないことである。

表2は図1に記した回帰曲線の座標関係と、それから算定した(D/h)²と(D/h)²/Fの関係を示す。表2から、今回の実験の対象とした内部フルード数の範囲では、 $F < 0.003$ の範囲を除けば、内部フルード数と流動層厚の係は、次式により表される事が分かる。

$$(D/h)^2 = (12 \sim 13)(q/h^2)(1/g\beta)^{1/2} \quad \text{---(2)}$$

Yih は、底線吸い込みに流入する非粘性流れについて解析して、次式を得ている。

$$(D/h)^2 = (\pi q/h^2) (1/g\beta)^{1/2} \quad \text{---(3)}$$

非粘性流体に対するYihの解では右辺の常数は π であるのに対して、式(2)では12.0~13.0となり、同じ内部フルード数F(式(1))に対する流動層厚Dは、非粘性解式(3)によるものの約2倍となる。この様な差が生じる原因は、測定誤差の他に、粘性により内部境界面にせん断力が働き、界面が不安定となり、上下層間の混合が生じ、流動層厚が増加する。その結果、流動層内の流量は、上流部と取水口付近とは異なる様になる。こうした粘性の影響を定量的に示すためには、上下層間の混合量をより精密に測定する必要がある。

5. 結語

開口高が流動層厚に及ぼす影響を模型実験により検討を行った。その結果、本実験の範囲では、D/hは内部フルード数Fと共に増加し、取水口高にはあまり影響されないこと、内部フルード数と流動層厚の関係は、式(2)により表されることが示された。

図1. 内部フルード数F と D/hの関係

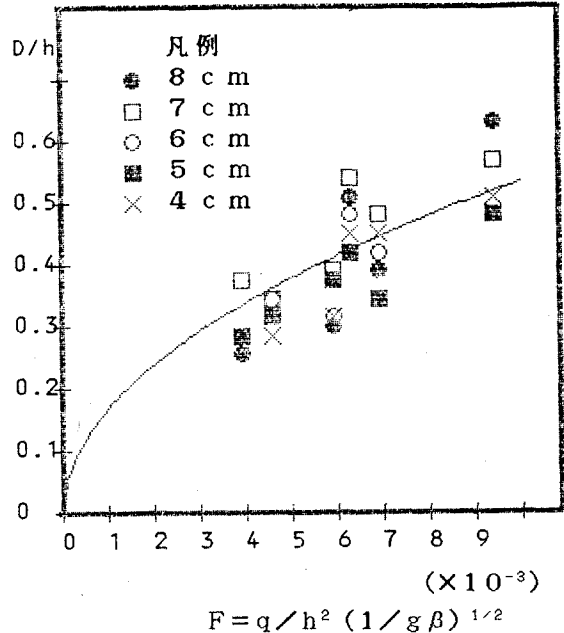


表2. (D/h)² と (D/h)²/Fの関係

F	D/h	(D/h) ²	(D/h) ² /F
0.001	0.07	0.0049	4.9
0.002	0.12	0.0144	7.2
0.003	0.18	0.0330	11.0
0.004	0.22	0.0480	12.1
0.005	0.25	0.0630	12.6
0.006	0.28	0.0770	12.8
0.007	0.30	0.0900	12.8
0.008	0.32	0.1020	12.8
0.009	0.34	0.1150	12.8
0.010	0.36	0.1300	13.0

F:内部フルード数, D:流動層厚, h=53 cm