

II - 80

成層化した貯水池に流入する濁水の挙動

東北大学工学部 学生員 ○藤井 亜紀
東北大学大学院 正 員 泉 典洋

1. はじめに

洪水で発生した細かい浮遊砂を大量に含む濁水が成層化した貯水池に流入すると、流入濁水は希釈されながらそれ自身と同じ密度を持つ成層部分に入り込み濁水層を形成する。このとき濁水中の浮遊砂成分が沈降するにつれて濁水の見かけの密度は減少し、濁水の一部は浮力により上昇を始める。このような濁水の上昇は対流を発生させ、貯水池内における成層の混合とそれに伴う物質の輸送に大きな役割を演じていることがわかっている¹⁾²⁾。そこで、本研究では円筒タンクを用いて実験を行い、線形な密度勾配をもつ成層に流入した濁水がどのような挙動を示すかを明らかにする。

2. 実験

2.1 実験装置

実験では断面直径20.8cm、高さ50cmの円筒形タンクを用いた。タンクの底と底から20cmの位置に給排水用のバルブを二カ所設けてある。実験装置図を図-1に示す。

成層には塩化ナトリウムを用い、double-bucket法³⁾により線形な密度勾配をもつ成層をつくった。濁水には平均粒径 $10\mu\text{m}$ のクリスタライト粒子(石英粉末)を用いた。

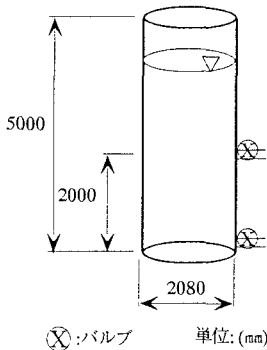


図-1 実験装置図

2.2 実験方法

2.2.1 成層の下に濁水を注入する実験

タンク内に厚さ20cmの連続成層をつくり、タンクの底のバルブから厚さ10cmの濁水を注入する。この濁水が成層と混合していく様子をビデオで撮影し、濁水の挙動を観察した。実験の概要を図-2に示す。

2.2.2 成層の躍層に濁水を注入する実験

水深18cmの位置に躍層をもつ厚さ40cmの成層をつ

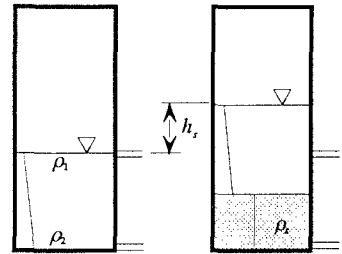


図-2 2.2.1の実験概要図

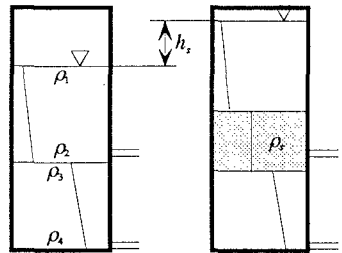


図-2 2.2.2の実験概要図

表-1 実験条件

	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ	h_x
B1	1.0073	1.0104	—	—	1.0203	10 cm
B2	1.0049	1.0084	—	—	1.0137	10 cm
M1	1.0064	1.0096	1.0207	1.0239	1.0211	1 cm
M2	1.0053	1.0092	1.0300	1.0331	1.0204	10 cm

くる。タンクの底より20cmの位置にあるバルブから濁水を注入する。観察方法は2.2.1と同じである。実験の概要を図-3に示す。

2.3 実験条件

実験条件を表-1に示す。ここで、 ρ_1 および ρ_2 はそれぞれ上層の塩水の最上部及び最下部の密度、 ρ_3 及び ρ_4 はそれぞれ下層の塩水の最上部及び最下部の密度、 ρ は注入した濁水の密度、 h_x は注入した濁水量を表している。B1、B2は成層の下に濁水を注入する実験ケース、M1、M2は成層の躍層に濁水を注入する実験ケースに対応している。

3. 実験結果及び考察

3.1 成層の下に濁水を注入する実験

濁水の注入は塩水との混合を最小限に留めるよう

にゆっくりと行ったが、注入速度が小さ過ぎると浮遊砂の沈降が進み成層との混合が進行してしまう。2分から3分で注入を終えるようにしたが、濁水と塩水の混合を防ぐことは出来ず、混合によって形成された層(以下中間層と呼ぶ)が濁水層と成層の間に現れた。ケースB1及びB2はそれぞれ厚さ10cm及び7cmの中間層が形成された状態で始められた。

濁水層上面付近では濁水中の砂粒子が沈降するに伴って見かけの密度が減少するため、濁水層上面からは指状の上昇流(fingering)を伴う対流が発生する(写真-1)。対流によって濁水層の上には、濁水と成層との混合によって形成された層(以下混合層と呼ぶ)が現れ、時間の経過と共にその厚さを増加させていく。混合層上面では継続的にfingeringが発生し、混合層は更なる発達を続けていく(写真-2)。混合層上面から上方に伸びたfingerは2cm~3cm程度の長さまで成長すると一旦成長の速度をゆるめ、混合層上面はこのfingerを吸収するように上昇の速度を速める。fingerの長さが1cm~2cm程度になると混合層上面は再び上昇の速度をゆるめ、そこから再び新しいfingerが成長していく。このように混合層の発達過程が間欠的であるのは次のような理由による。砂粒子の沈降によって浮力を得た混合層上面付近の濁水は、その密度に等しい流体の存在する高さまで上昇すると浮力を失い運動を停止する。すると粒子は再び沈降を始めるため、濁水の密度が減少し再び浮力を得て上昇を始める。

混合層上面の上昇速度と、濁水層上面の下降速度はほぼ等しい。混合層が水面まで到達するのに要した時間はケースB1及びB2でそれぞれ20分及び50分であった。濁水の密度と成層の密度の差が小さいと、混合層の発達が遅くなることがわかる。

6~7時間が経過すると水面まで達していた混合層上面は濁度差による明瞭な境界面を維持しながら下降を始める。ケースB1の場合、混合層上面の下降に伴い、その上には再び対流が発生した(写真-3)。このことは、発達した混合層内では塩分濃度は上方ほど大きくなっていくことを示唆している。この塩分濃度の逆勾配を上回るような濁質濃度の勾配によって全体として安定成層を形作っていたが、濁質の沈降によって、不安定となり対流が発生したものと考えられる。ケースB2の場合、このような対流は見られず、混合層の下降の後に微妙に濁度の異なる厚さ5cmと10cmの不連続成層が観察された。これらの層は対流が発生しない場合に現れるものと考えられるが、その詳細なメカニズムは本実験の結果からは不明である。

3.2 成層の躍層に濁水を注入する実験

この場合も混合層の発達過程は3.1の場合とほぼ同様である。但し、指型の対流の長さは1cmと3.1の場合に比べ短くなり、上面の上昇速度も0.02cm/minと小さくなった。これは、成層の中間に濁水が注入されると、上下の成層を大きく巻き込み混合するため、

濁水層を構成する水と上部成層を構成する塩水の密度差が小さくなるためである。いずれの場合も、混合層が沈降した後、B2で見られたような濁度の微妙に異なる厚さ2cm前後の不連続成層が何層か観察された。

4. おわりに

実験によって密度成層中に流入した濁水の挙動の基本特性を把握することができた。今後は更なる実験によって現象を定量的に解明していく予定である。

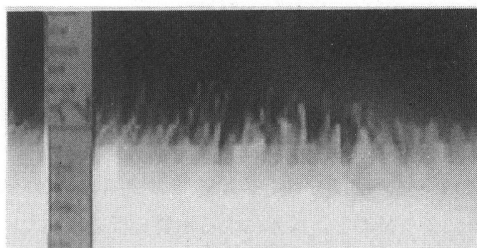


写真-1 混合層上面に発達したfingering

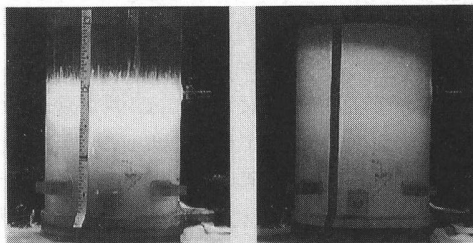


写真-2 発達する混合層

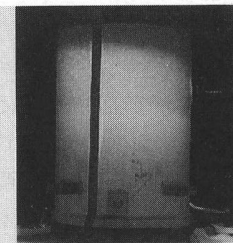


写真-3 混合層上面の下降によって発生した対流

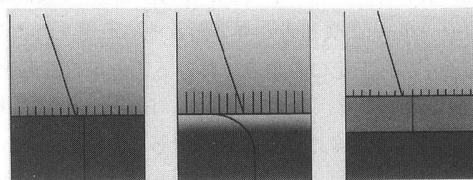


図-4 混合層の形成プロセス

参考文献

- 1) Kerr, R. C. and Lister, J. R.: Further result for convection driven by the differential sedimentation of particles, *J. Fluid Mech.* vol. 243, pp. 227-245, 1992.
- 2) Cardoso, S. S. S.: On Convection and mixing driven by sedimentation, *J. Fluid Mech.* vol. 285, pp. 165-180, 1995.
- 3) Oster, G.: Density gradient, *Sci. Am.* 213, PP.70-76, 1965.