

傾斜管による濁質除去要因の解釈

東北学院大学工学部 学生員 高橋睦郎

正員 石橋良信

T. 藤英和

1 はじめに

沈んで池に設置される傾斜管は池内の密度流と防ぎ等の整流効果をもつとともに、傾斜管のもつ二次凝集作用（フロックが微細粒子と管内で再び凝集する作用）故に沈んで効果や清澄作用が促進されることから、現在多用されつつある。しかしながら、設置場所が水中に没していることから、傾斜管内での水の流れ、懸濁質の挙動と目視した事例は少ないと考えられる。そこで、透明な装置を実験室内にもちこみ、1か所物質の挙動と写真によって可視化するのみでなく、ビデオテープを用いて動的な現象とそのまゝの状態を観察することに努めた。このような実験を通して、沈んで理論、二次凝集等に関して、従来遡測されていた現象とは異なった知見が得られたのでここに報告する。

2. 実験装置

実験装置の概略を図-1に示す。用いた傾斜管は傾斜角 60° 、板長1mの大型の角型傾斜管モジュール、板長0.45mで傾斜角を $30, 45, 60^\circ$ に変化させたモジュールおよび板長0.15mの傾斜板を多段に組合わせた 60° のモジュールである。凝集のための装置は急速攪拌槽、緩速攪拌槽、調整槽からなり、所定濃度の凝集剤(PAC)、アルカリ度調整用の希塩酸、カオリンを注入ポンプで急速攪拌槽に送りフロックの形成を図っている。なお、緩速攪拌槽の G 値は50~60であり、フロックは調整槽からビニールホースでモジュールに導いている。また、みかけの線速度(LV)は0.5~7m/sの範囲で実験した。

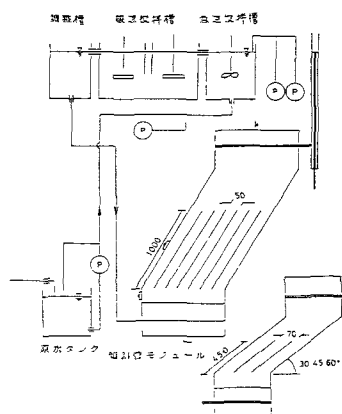


図-1 実験装置の概略

3. 実験結果および考察

3-1 二次凝集および沈んで機構

大型の角型傾斜管にみられる流動状況の模式図を図-2に示す。フロック懸濁液は流入パイプから傾斜管内に原則的に垂直に流入されるが、傾斜角の影響で傾斜管下部に渦領域が生じる。一方、傾斜管中央部分は顕著な上昇流と下降流がみられ、その境界には明確なせん断面が存在する。上昇流は上部壁面にそって清澄な水の層(boycott effect)をもたないながら噴流状態で上昇する。上昇流の領域は下部からの距離が増すほどその幅と減じ、また上昇速度は加速度的に増加する傾向が認められる。さらに上昇流は傾斜管上部のopen spaceに放出され、大きな循環流や微妙な流動が起こる。この上昇、下降流が生じるdriving forceは、噴流状態で上昇する流量に対する収支バランスと角度による剝離現象および沈降フロックによる密度流と考えられる。

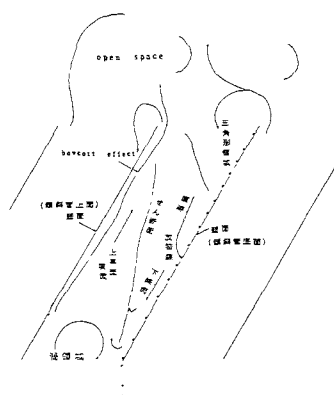


図-2 傾斜管内流動模式図

流速分布は、LV、カオリン濃度、PAC量、水温等の要因で異なる。図-3はLVを変化させたときの分布形状の違いであり、LVが小さい場合上昇流占有割合が少なく、下降流が多くなる状況を示す。同様の傾向はカオリン濃度が高い、水温が低い場合に現れるがPAC量の違いでは分布形に差は認められず、注入量の多い場合に若干上昇流速が遅くなる。

二次凝集は従来傾斜管内でのせん断面付近での粒子接触が原因と考えられていたが、このような現象は観察さ

れず、上部open spaceでの混合が重要視された。一方、二次凝集されたフロックは下降流により、底部壁面に接し、なだれ現象をともしないながら沈降除去される。なお、沈降フロックの密度は上記要因で異なるが、 $1.005 \sim 1.059 \text{ g/cm}^3$ と見積もれる。

ところで、設計指針¹⁾では傾斜角 00° の管において図-4の(1)にみられるように粒子は上昇流速と粒子にかかる重力の合力の方向に進み、底部壁面に接した後壁面に沿って沈降除去されると記されている。これはHagenの水平方向の沈でん理論とそのよま傾むけた理論であり、また、Yao²⁾が提唱するように理論は同様であるが粒子は放射線で進む説もある。しかしながら、同じ形状の傾斜管による本実験では粒子はopen spaceまで二次凝集することなく送られるため、実際に即底したLV範囲内では上記の沈降パターンは存在しない。粒子の除去は設計指針と異なり図-4の(2)に示すように下降流中と沈降する間に除去されることが実験結果より確認実証された。

3-2 傾斜角度による状況変化

傾斜角が流れあるいは沈降におよぼす要因について検討した結果、流れは傾斜角 $30, 45^\circ$ においては上部壁面下部に当たり、はね返る部分が少なくなる。このため、下部での混合が激しくなり、傾斜管上部の混合は寡少になる。これは二次凝集効果に多大な影響を与え、傾斜角 60° では前述のようにopen spaceでの二次凝集が有効であるのに比し、 $30, 45^\circ$ では傾斜管下部の混合が二次凝集を促進することが示唆された。表-1は表中の凝集条件のときの各角度による、実験開始直後の濁度 C_0 と上部open spaceでの時間経過毎の濁度 C との除去率 C/C_0 を示す。LVの違いにかかわらず、下部での混合が著しい 30° は開始直後から C/C_0 の値は小さく、二次凝集が下部領域で働いていることが知れる。 45° では 30° の場合に準じるが、 60° では時間経過がすすむにつれてopen spaceでの粒子の接触が生じるため、遅れて除去率が上がってくる。最終的な除去率の良さは $60, 45, 30^\circ$ の順である。元来、沈でんを考えた場合、層流状態で進行するのが鉄則とされているが、傾斜管にかぎっては部分的に乱流状態で攪乱させることが効果を促進させ得ると考えられる。現在、傾斜管(板)にヒレ等を付け強制的に攪乱させる方法もみられるが的を得た手法とも思われる。また、 $30, 45^\circ$ では二次凝集フロックの底部壁面をつたう沈降現象はCulp³⁾が円筒傾斜管を用いて行なった角度の実験と一致し生じない。したがって傾斜角は 60° にすることが二次凝集フロックの沈降しうなす点から好ましいと結論された。なお、小さい傾斜板の組合わせは、上昇、下降流の整流効果を失なわせる結果になり、傾斜板長は少なくとも $30 \sim 45 \text{ cm}$ 程度は必要と考えられた。

4. おわりに

角型の傾斜管に関する定性的な現象の観察から、二次凝集は攪乱混合される部分が必要なことや沈でん理論の部分的否定等となし得た。今後、条件の最適化や現象の数的な解析を試みていきたい。最後に御教示たまわった山本周治、大和田一彦、星 信行の諸氏および東北大学助手秋葉道宏君の芳に感謝する。

参考文献 1)水道施設設計指針解説、水協誌5873, pp.130~142. 2) Culp: J. AWWA, June 1968, pp.681~697. 3) K. M. Yao: J. WPCF, Vol. 42, No. 2, pp. 218~227.

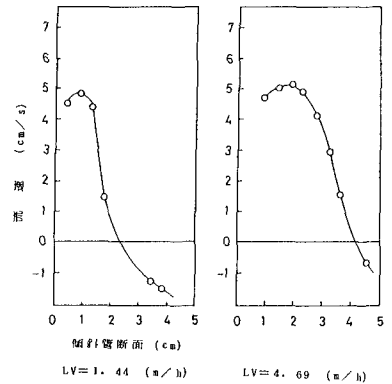


図-3 LV変化による流速分布

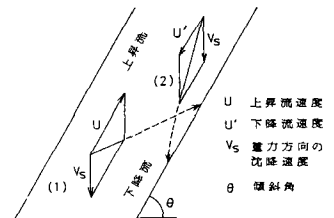


図-4 フロックの沈降軌跡

表-1 傾斜管の任意時間の C/C_0 。

傾斜 30 度						
LV (m/h)	スタート直後の濁度 C_0	5分後	10分後	15分後	20分後	除去率 C/C_0
3	0.971	0.771	0.629	—	—	0.514
4	1.000	0.925	0.875	0.800	0.450	0.450
5	0.514	0.857	0.857	0.357	0.800	0.800
6	0.886	0.857	0.857	0.829	0.571	0.571
傾斜 45 度						
LV (m/h)	スタート直後の濁度 C_0	5分後	10分後	15分後	20分後	除去率 C/C_0
3	0.914	0.914	0.823	0.724	0.517	0.517
4	0.943	0.943	0.943	0.906	0.556	0.556
5	0.960	0.960	0.920	0.780	0.480	0.480
6	0.939	0.898	0.898	0.796	0.429	0.429
傾斜 60 度						
LV (m/h)	スタート直後の濁度 C_0	5分後	10分後	15分後	20分後	除去率 C/C_0
3	0.939	0.939	0.796	0.653	0.469	0.469
4	0.939	0.939	0.857	0.796	0.490	0.490
5	0.939	0.939	0.857	0.714	0.480	0.480
6	0.955	0.909	0.864	0.682	0.477	0.477

C_0 : スタート直後の下部スペースの濁度
 C : 任意時間経過後の上部スペースの濁度
 流出水は、流出水濁度 C/C_0 。

条件 PAC 30 mg/l
 kaolin 30 mg/l
 Alk 55 mg/l