

## II-254 成層湖の斜面上における底泥の再浮上および濁水貫入に関する研究

京都大学大学院 学生員○森川 浩  
岡山大学環境理工学部 正 員 大久保賢治  
京都大学工学部 正 員 村本 嘉雄

1. はじめに 1994, 95 年の成層期に琵琶湖北湖において特徴的な水温・濁度の観測結果がみられた。これが成層湖の斜面上で発生した底泥の再浮上現象，続いて生じる濁水の水平貫入が原因であると考え，その機構を明らかにするため室内実験を試みた。実験では，底泥の再浮上⇒濁水の形成⇒濁水の水平貫入，という3段階にわたる水理現象がみられた。また，斜面上での流速変動に伴う浮上量の変化，濁水貫入による水温構造の変化や濁水の内部構造について検討し，中間高濁度層の形成過程なども考察した。

2. 実験概要<sup>1)</sup> 実験に用いた水槽は，図-1 に示すような有効長4 m，幅10 cm，高さ25 cmの透明アクリル製である。水槽末端の斜面上には含水比100%のカオリンを厚さ数 mm 程度に薄く敷いた。水路上流端には起振部が上下する造波機を設置し，底泥を浮上させる強制外力として正弦波動を採用した。初期温度差20℃の2層状態（各層厚9cm）で，造波機の振幅，周期を変化させ実験を進めた。計測器としてはサーミスタチェーン（5mm 間隔，32層），2組の透過式濁度計，2次元の電磁流速計を図のように設置した。表-1 に今回行った実験の条件を示す。なお，底泥の浮上が多くみられた造波機の振幅が4cmのシリーズでは，写真撮影と画像解析を行った実験（添字 P），造波機を3周期のみ起動させて，写真撮影と水温測定のみ行った実験（S），斜面勾配を1/5にした実験（M）をRun NO.で区別している。

3. 実験結果 斜面上の定点で計測された最大流速は概ね造波機の振幅と角振動数の積に比例し，底泥（カオリン）の浮上量は大きく変化した。浮上した底泥は濁水塊を形成し，その密度に対応した水深に貫入していった。底泥の浮上が最も顕著であった RunA9 の結果を図-2 に示す。図中，流速ベクトル，濁度ならびに水温分布は1秒ごとの時系列データであり，記録開始と同時に造波機を起動させている。ただし，流速ベクトルの方向は右側に斜面があるとして表している。図をみると斜面を往復する振動流が発達しており，濁水フロントが濁度計に到達すると濁度が大きく変動している。水温分布図によると，20秒付近から分布がステップ状になり，60秒付近で濁水貫入による水温の逆転層が見られ，約80秒以降では成層が激しく破壊されている。また，それぞれの実験で計測された濁度の最大値は一点で計測した流速の最大値より造波機の振幅に依存した。図-3 に濁度計 NO.1 の最大値（ $C_{1P}$ ）と造波機の角振動数（ $\omega$ ）との関係を示すが，振幅が4cmの場合に

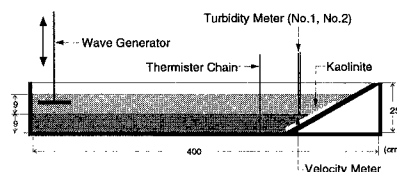


図-1 実験装置

表-1 実験条件

| Run NO. | 造波機振幅<br>A(cm) | 造波機周期<br>T(sec) | 初期温度差<br>Δ(t℃) | 写真撮影 | 斜面勾配 |
|---------|----------------|-----------------|----------------|------|------|
| A1      | 2              | 8.63            | 20             | なし   | 2/5  |
| A2      |                | 3.98            |                | なし   |      |
| A3      |                | 2.65            |                | なし   |      |
| A4      | 3              | 8.63            |                | なし   |      |
| A5      |                | 3.98            |                | なし   |      |
| A6      |                | 2.65            |                | なし   |      |
| A7      | 4              | 8.63            |                | なし   | 2/5  |
| A7P     |                |                 |                | あり   |      |
| A7S     |                |                 |                | あり   |      |
| A7M     |                | 3.98            |                | あり   | 1/5  |
| A8      |                |                 |                | なし   | 2/5  |
| A8P     |                |                 |                | あり   |      |
| A7P     |                | 2.65            |                | あり   | 1/5  |
| A8M     |                |                 |                | あり   | 2/5  |
| A9      |                |                 |                | なし   |      |
| A9P     |                |                 |                | あり   |      |
| A7S     |                | 2.65            |                | あり   | 1/5  |
| A9M     |                |                 |                | あり   |      |

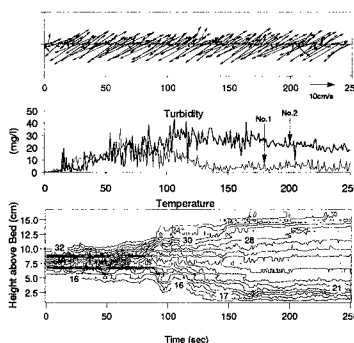


図-2 実験結果 (RunA9)

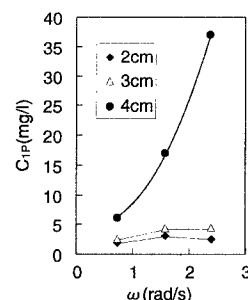


図-3 波高の違いによる濁度最大値の変化

は底泥の浮上量が $\omega$ とともに急激に増加しているのがわかる。

この振幅 4cm のシリーズにおいては底泥の浮上と濁水の貫入過程を詳細に検討するために写真撮影を行い、画像処理とあらかじめ行った濁度検定により濁度を算定した。図-4に今回2番目に浮上量の多かったRunA8Pの80秒後の写真と画像解析による濁度分布の結果を示す。画像解析による結果では、写真では不明瞭であった貫入層内部の濁度分布の特徴が明確に把握でき、特に貫入層上部において濁度が低くなっているのがわかる。これは濁水塊の貫入の際に上部において連行量が多いことが原因であると考えられる。また、密度流的な挙動を示した実験では貫入層上部のみ K-H 波が発生していることもあった。図-5は、濁水貫入過程を詳細に検討するために造波機を途中で停止したRun8Sの60秒後の濁度と水温（●）の鉛直分布の計測結果である。図中矢印の点に水温の逆転層がみられ、貫入により濁水の輸送のほか熱輸送の効果があることがわかる。さらに、斜面勾配の違いによる浮上量と、濁水貫入現象の変化をみるために勾配を1/5と2/5に変化させた実験も行っている。図-6はその結果であり、Run NO.の添字Pは勾配2/5、Mは1/5を表す。勾配の差による浮上量の差は明瞭に現れていない。これは、本実験では表面波が碎波していないため、底泥の浮上に有効な底面せん断力が斜面勾配によらず、同一の振幅の波に対しては波の周期に依存して浮上量が増加することを示している。

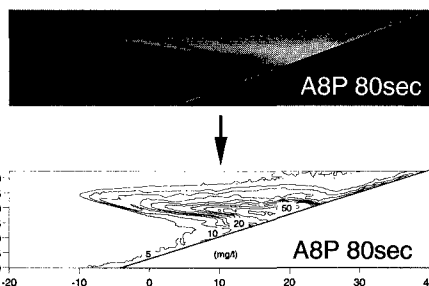


図-4 画像解析による濁度の分布

今回の実験では造波機により表面波と内部波を同時に発生させたが、これは現地で風の影響により流れや波が発生している条件に近いと考えられる。実験により、水温成層場であっても底泥の浮上条件や初期過程などは非成層状態と等しいと考えられたが、浮上後には実験でみられたように濁水が水平貫入するため、底泥の浮遊距離、浮遊時間はともに長い。また、水温が上昇すると底泥の浮上量も多くなる<sup>2)</sup>ことを考慮しても、底泥の net の輸送量を決定する要因の中でも水温成層場が果たす役割はかなり大きいといえる。このように形成された貫入層は河川

からの流入濁水も加わって、懸濁質が躍層付近に蓄積し中間高濁度層が形成される。また、水温の逆転層が形成されることを考慮すると、濁水の流下、貫入過程は底泥の輸送のみならず、熱輸送にも寄与している。これは、中間高濁度層において生物・化学的な作用が活発である要因の一つと考えられる。

4. おわりに 本研究では、湖水の物質循環を扱う上で重要視されている湖底斜面上における底泥の再浮上とそれに伴って生じる濁水貫入現象について検討した。成層期の琵琶湖でみられた観測結果を検証するために行った実験により、成層流体中で再浮上した底泥は濁水を形成して容易に水平貫入するため、底泥の浮遊距離・浮遊時間は非成層の場合と比べてはるかに長いこと、浮上量が多い場合には水温の逆転層が形成されることなどを示した。

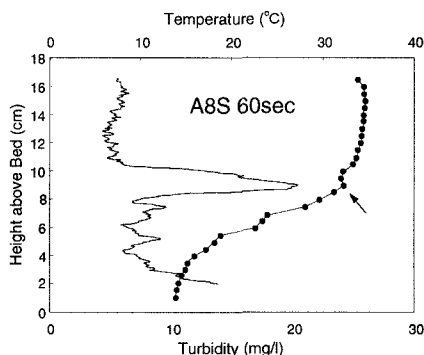


図-5 水温の逆転層 (RunA8S)

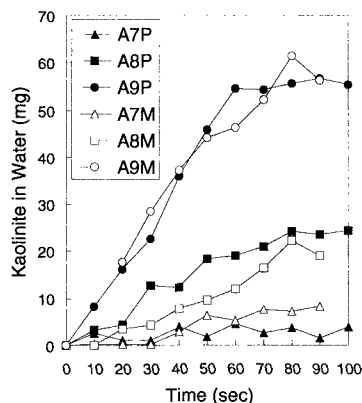


図-6 濁質流入量の時間経過

からの流入濁水も加わって、懸濁質が躍層付近に蓄積し中間高濁度層が形成される。また、水温の逆転層が形成されることを考慮すると、濁水の流下、貫入過程は底泥の輸送のみならず、熱輸送にも寄与している。これは、中間高濁度層において生物・化学的な作用が活発である要因の一つと考えられる。

4. おわりに 本研究では、湖水の物質循環を扱う上で重要視されている湖底斜面上における底泥の再浮上とそれに伴って生じる濁水貫入現象について検討した。成層期の琵琶湖でみられた観測結果を検証するために行った実験により、成層流体中で再浮上した底泥は濁水を形成して容易に水平貫入するため、底泥の浮遊距離・浮遊時間は非成層の場合と比べてはるかに長いこと、浮上量が多い場合には水温の逆転層が形成されることなどを示した。

参考文献: 1) 森川・大久保・村本: 成層湖斜面上の底泥の再浮上に伴う濁水の貫入現象, 水工学論文集, 第40巻, pp.607-612, 1996.

2) Ariathrai, R. and Arulanandan, K.: Erosion rates of cohesive soils, ASCE., Vol.104, pp. 279-283, 1978.