

貯水池表層における冬期循環期の自然対流の観測・解析

鹿島建設（株） 正 員 石川勝久 神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 神戸大学工学部 正 員 道奥康治 兵庫県土木部 正 員 西川孝晴
 神戸大学大学院 学生員 東野 誠 神戸大学工学部 正 員 前田浩之

1. はじめに

冬期においては、貯水池表層で発生する自然対流の強度と規模が大きく、全水深スケールでの鉛直循環が生ずる。富栄養化した貯水池の底層では、栄養塩や金属イオンなどが高濃度に滞留し、しかも貧酸素化しているために、自然対流によって底層水が浮上すると短時間で水質が大きく変化する。本研究では、冬期循環期に水温の多点連続観測を行い、対流層の規模や鉛直混合による水質挙動特性を解明する。

2. 貯水池の観測の概要

調査対象とした A-貯水池（兵庫県）の総貯水量は $1.95 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、最大水深は 31m である。底層では、高電気伝導度を呈し、貧酸素水塊は 1 年間を通して循環せず、部分循環状態にある。本研究の目的は、自然対流擾乱が及ぶ範囲、夜間における全層循環の有無、などを冬季寒冷期に確認することである。

'96 年 9 月～'96 年 12 月まで計 9 回にわたって 1 週間程度の連続観測を行った。貯水池最深部でサーミスタチェーンを係留し、上層 0.5m 間隔、中、底層では 1m 間隔で水温を測り、水面上 0.5m で気温を測った。使用した水温計の精度は $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 以内、時定数 0.8sec、サンプリング間隔は 10.5sec であった。ここでは夜間の冷却が顕著であった 11 月 1 日～4 日の観測データに基づいて考察する。

3. 観測結果

図-1～図-3 には気温・表面水温の時系列、ならびに水温と水温勾配の等値線を水深 0m～13m の範囲で示す。水温勾配は水温が水深方向に増加する場合を正としている。11 月 1 日～2 日の間、水深 2～3m の範囲で表層躍層が形成されている。11 月 3 日の早朝 0:00～6:00 における急激な気温低下とともに躍層は低下し、水深 8m 付近で消滅する。このような水面冷却による日成層の鉛直混合過程は図-3 の水温勾配の等値線において、より明確にあらわれている。

4. 自然対流運動の抽出

自然対流の速度スケールは次式の Deardorff scale で与えられる。

$$u_f = (\alpha g H_s h_m)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここに、 α :体積膨張係数($1/^\circ\text{C}$)、 H_s :熱フラックス($^\circ\text{Cm/sec}$)、 h_m :表層混合厚さ(m)、である。

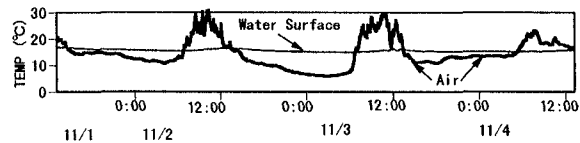


図-1 気温・表面水温の時系列

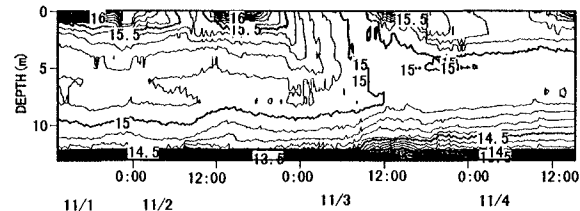


図-2 水温の等値線

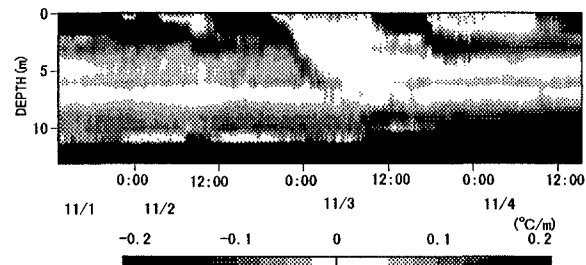


図-3 水温勾配の等値線

キーワード：貯水池水理，自然対流，日成層，penetrative convection，連行，乱流熱輸送量

〒657 神戸市灘区六甲台町 1-1 Tel(078)881-1212 Fax(078)803-1050

現地観測で観測される水温時系列より、自然対流の速度スケールを求めるために、サーマル運動を検出する。ここでは、VITA (Variable Interval Time Averaging)法によってサーマルの秩序構造を条件的に抽出する。サーマル発生源である水深 0m の水温時系列を検出信号として、各水深における抽出事象の条件付き平均時系列を図-4に示す。水深 0m で発生した負の水温変動ピークが下層へ伝播している。これをサーマルの鉛直移動と考えると、その位相伝播速度と式(1)より算定される u_t との比較を図-5に示す。同図より水温時系列にあらわれる大規模な変動は、自然対流運動を反映していると考えられる。

5. 自然対流による連行則

夜間の冷却時に顕著な躍層低下が観測された7セットの水温観測データをもとに、躍層低下速度から鉛直混合量を求めた。図-6は、連行係数とリチャードソン数の関係をあらわす。各ケースの連行速度は水温勾配の等値線から算出したものである。図中の直線は、 -1 乗則への適合曲線である。観測値は $10 < Ri < 100$ の範囲に分布しており、概ね -1 乗則を支持している。観測値は、その他の実験・解析値より少し大きい連行量を有する。

6. 乱流熱フラックスの算出

図-7は鉛直一次元性を仮定して、時々刻々の水温計測値を熱保存式に代入し算定された乱流熱フラックス（鉛直上向きを正とする）の経時変化である。図-7より、混合層厚さが $0 \sim 4m$ 程度の薄い場合には、混合層内で負の連行フラックス ($\overline{w'T}/H_s \leq 0$) が観測され、下層の低温水の上層への連行が顕著に見られる。混合層が $5 \sim 10m$ まで厚くなると、負の熱フラックスすなわち連行フラックスは減少し、混合層のほぼ全域で $\overline{w'T}/H_s \geq 0$ となる。

謝 辞:本研究の貯水池観測に際し兵庫県姫路土木事務所のご協力を得た。

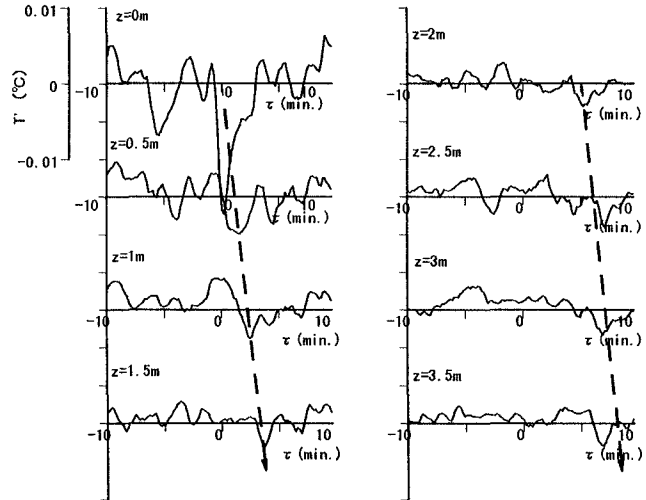


図-4 水深 0m の水温を検出信号として条件付き移動平均された各水深の水温時系列（'96 年 11 月 4 日 3:00~6:00）

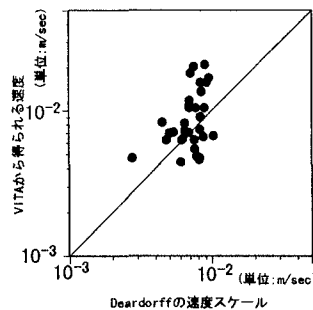


図-5 水温擾乱の伝播速度と自然対流の Deardorff 速度 scale, u_t

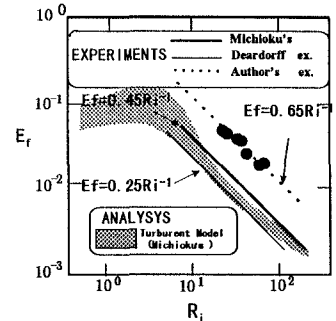


図-6 自然対流における連行則

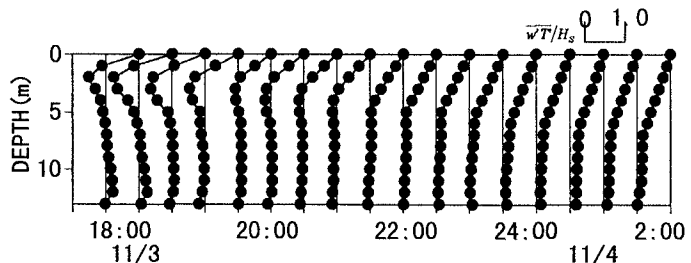


図-7 乱流熱輸フラックスの時間変化