

II-264

多点水温計測に基づく貯水池密度流現象の解析

神戸大学大学院 学生員 石川勝久 74・エヌ・エー 正 員 伊藤達平
 神戸大学工学部 正 員 神田 徹 道奥康治 宮本仁志 前田浩之
 兵庫県土木部 正 員 西川孝晴 東洋建設 正 員 金谷恵輔

1. はじめに

貯水池においては水面から供給される熱・運動エネルギーが支配的外力として作用し物質が輸送される。放熱時に発生する自然対流は水温成層侵食を促進し、風応力や流入にともなう駆動される内部波は躍層面でのせん断不安定や境界混合にともなう底質の浮上を引き起こす。本研究では、成層貯水池においてサーミスタチェーンにより24時間にわたって水温の多点連続観測を行って、内部波・自然対流運動などともなう水温変動の統計解析より、これら密度流現象の抽出を試みる。

2. 観測の概要

調査対象は、兵庫県のA-ダム貯水池である。総貯水量は $1.95 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、満水時の最大水深は31mであり、底層に高電気伝導度を呈する貧酸素水塊が1年間を通して滞留する部分循環湖である。'95年2月～'96年3月の期間に計8回にわたって水温の22～24時間連続観測を行った。基準観測点においてサーミスタチェーンを係留し、水面上0.5mに、貯水池の上層では0.5m間隔に、中層から底層では1m間隔に、合計32チャンネルのセンサーを配して気温・水温を計測した。使用したセンサーの精度は $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 以内、時定数0.8sec、サンプリング間隔は10.5secである。本文では、季節躍層の水温勾配が大きく、夜間の冷却が顕著であった'95年10月11日～12日の観測データに基づいて内部波・自然対流運動の検出を試みる。

3. 観測結果

風向・風速、気温・表層水温の時系列、水温の等値線を図-1に示す。昼間の受熱時には水深3～4m付近に日躍層が、水深12～13mの取水口付近には季節躍層が、各々存在する。日躍層は夜間において自然対流により消失しているが、季節躍層は約 10°C の水温差を保ち周日にわたり安定に維持されている。水深25m以深では、逆転水温層が形成されている。

4. 水温変動特性

図-2に10月11日～12日の間

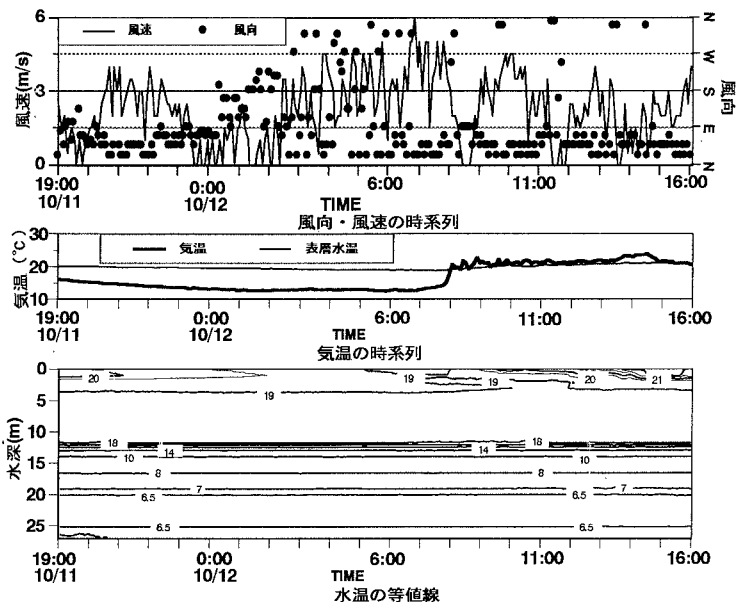


図-1 10月11日～12日の観測結果

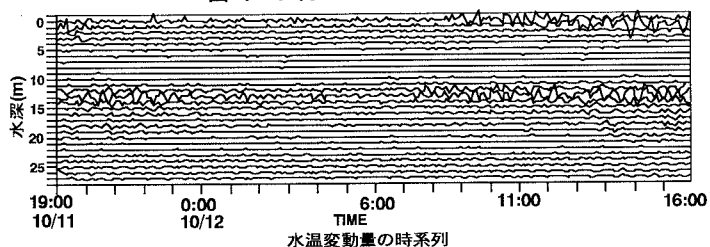


図-2 水温変動量の時系列

各水深で観測された水温の変動成分を示す。ここで、水深 1m は水温変動量 0.1℃に対応している。両日とも、昼間において躍層位置に相当する水深 13m 付近に周期 20～30min. 程度の内部波が観測されている。水温変動量は躍層付近で± 0.2℃程度の最大値をとり、水深 10～20m の範囲で水深方向に伝播している。

5. 水温変動の時空間分布

水温変動の水深方向伝播特性を明らかにするために、時系列の時空間相関解析を行う。今、次式で示されるように異なる 2 点で計測された水温変動時系列 $x(t)$ 、 $y(t)$ の相互相関係数 $R_{xy}(\tau)$ を考える。

$$R_{xy}(\tau) = C_{xy}(\tau) / \sqrt{C_{xx}(0) \cdot C_{yy}(0)} \quad \text{ここに、} C_{xy}(\tau) = \int_0^{\tau} x(t) \cdot y(t+\tau) dt \quad C_{xx}(0), C_{yy}(0) : x(t), y(t) \text{ の分散}$$

ここでは、(1) 水面から発生する自然対流運動、および(2) 躍層の振動が水深方向に伝播することにより発生する内部波、を検出するために、基準水温時系列 $x(t)$ として、前者については表層の観測値を、後者については躍層面での観測値を、各々選び、ある水深で観測された時系列 $y(t)$ との相互相関係数 $R_{xy}(\tau)$ を算定する。図-3は夜間の冷却時(10/12, 24:00～1:00, 2:00～3:00)における表層での水温変動時系列と水面から水深 5m までの各水深における時系列との相互相関係数を(水深, 時間遅れ τ)の時空間平面上で示したものである。ここで、生時系列に 3～20min. のバンドパスフィルターを施し処理を行っている。これより、例えば図中の実線で示されるような熱輸送が生じており、その移動速度は各々 0.5×10^{-2} (m/s), 0.6×10^{-2} (m/s), であると推定される。これは次式のように水面熱フラックス H_s から概算される対流速度スケール $U_s = 1.0 \times 10^{-2}$ (m/s) とほぼ対応している。

$$U_s = (agH_s h_m)^{1/3} \quad \text{ここに、} a : \text{水の体積膨張係数}(1/^\circ\text{C}), h_m : \text{混合層厚さ(m)}.$$

図-4は水深 13m の躍層面を基準点とした場合の相互相関係数を上記と同様に時空間平面上に示したものである。ここでは、躍層付近の内部変動が顕著であった 10/11 19:30～21:30, 10/12 14:00～16:00 の時系列に 10～30min. のバンドパスフィルターを施して処理を行っている。同図より、水深 13m の躍層面では各々の時間帯に約 20min., 30min. の周期を有する内部波が生じているとともに、水深方向への位相伝播の様子が明確に示されている。以上のような多点水温観測と相互相関解析によって自然対流や内部波など浮力差に起因する密度流現象の抽出が可能となる。今後、内部波理論と本解析との比較検証や流入水の池内流動など様々な貯水池密度流現象の抽出を行う予定である。

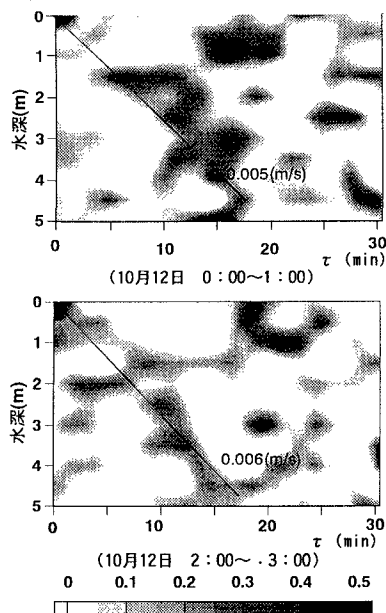


図-3 表層と各水深の水温変動量の相互相関係数

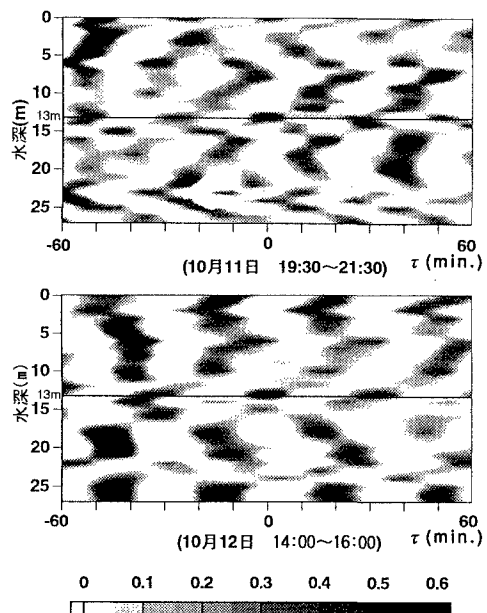


図-4 水深13mと各水深の水温変動量の相互相関係数