

II-335 貯水池水温の現地観測と鉛直混合現象に関する考察

大 阪 市 正 員 真 嶋 政 彦
 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

1. はしがき 貯水池・湖のような停滞水域では密度成層が形成され、密度安定効果により鉛直方向の混合が抑制される。鉛直混合を誘起させる主たる要因として、河川水の流出入よりも風応力による擾乱や水面からの熱放出によって引き起こされる自然対流による擾乱がより重要である。本報では貯水池での水温現地観測に基づき、気象要因が池内の鉛直混合に及ぼす影響について考察する。

2. 水温観測の概要 図-1に示すBuoy地点において①鉛直方向11点の水温と、②躍層部の水温の長期連続観測を行った。①については多層式水温計(測定間隔5分)、②については浮式水温計(測定間隔45秒)を用いた。両水温計ともICカードを内蔵しており観測データが記録される。これらの水温計の仕様・設置状況の詳細は、参考文献1)に示した。水温データはICカードからインターフェイスボードを通じてフロッピーディスクに転送され、パーソナルコンピュータPC9801により各種処理が行われる。気象量に関しては現地より南西に約2.5kmの所に位置する神戸海洋気象台の地上観測日原簿によるデータを用いた。

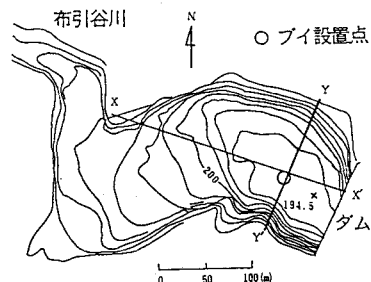


図-1 布引貯水池の平面形状と水温観測点

3. 水温構造の年周変化

1990年6月より取水口が下段(水深15.4m)から中段(水深10.4m)に切り替えられ、以後取水口よりやや深い位置(水深11m付近)に大きな温度勾配を有する躍層が形成され二成層状態の水温場が形成された。9月

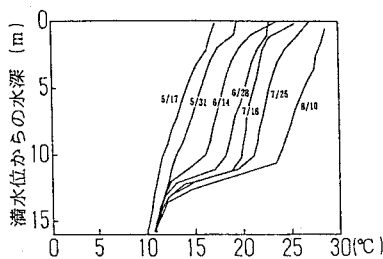


図-2 水温鉛直分布図
(1990.5.17~1990.8.10)

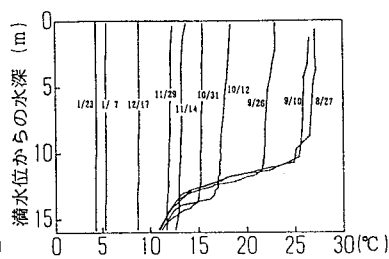


図-3 水温鉛直分布図
(1990.8.27~1991.1.23)

以降は水面からの熱放出によって生じられる自然対流によって上層内の水温が一様化する。また上下層水の密度差が次第に小さくなり鉛直混合によって躍層の位置が低下する。11月中旬には躍層は消滅し、ほぼ様な水温構造となる。

4. 鉛直方向11点の同時水温連続観測

図-4に水深1,2,3,4,5.5,7,8.5,10,11.5,13,14.5mの計11点で観測された放熱期における水温時系列(1990.1.24.~1.31.)を示す。1月26日から1月30日の夜間から早朝にかけて、表面の水温が4℃以下となるため逆列成層が形成されている。なお、他の期間の11点同時観測により春から秋の成層形成時には風や夜間の放射冷却による表層混合層は最大でも4m程度であるが11月以降の循環期にはほぼ全水深に及んで混合していることがわかった。さらにこの時期の水温降下は表層より底層部の方が急激であることもわかった。

5. 気象要因が鉛直混合現象に及ぼす影響について

図-5は台風9020号が来襲した際に観測された躍層位置での水温時系列である。布引貯水池では池の長手方向(E方向)の風、すなわち吹送距離が大きい方向に風が長時間吹けば、水温変動はさほど大きくならず、風のピーク直後ないし風応力の開放後に水温の急上昇がみられた。台風の通過後で水温が上昇していることから風によって鉛直混合が誘起されていることが認められる。この期間の多層式水温計の時系列に基づくと上層部では水温の下降が生じていた。また、吹送距

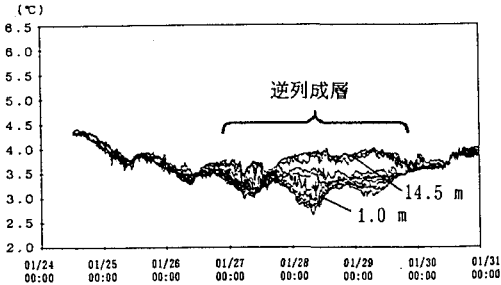


図-4 水温時系列図(1/24 '90~1/31)

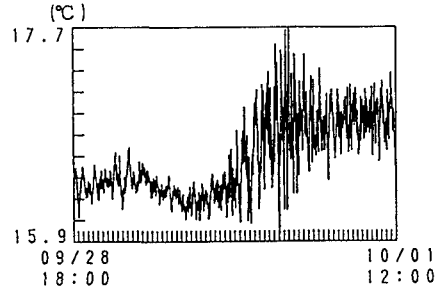


図-5 台風9020号時の水温時系列(躍層位置)

離が短くなる池の長手方向と直角の方向の風が作用した場合には大きな水温変動が現れるが、台風の前後での水温に変化はなく、大きな鉛直混合は生じていない。風応力によって誘起される鉛直混合現象を規定する連行則として $E_s = 11.0 Ri_s^{-1} - (1)$ なる関係が提案されている。ここで E_s : 連行係数 ($= W_s / u_s$; W_s : 連行速度, u_s : 水面摩擦速度) と Ri_s : リチャードソン数 ($= \varepsilon g h_m / u_s^2$)。現地観測結果に基づきこの連行則について検討を行う。対象としたのは台風9019号(B), 20号(C), 21号(D), 7月季節風(A)であり共にE方向の風が卓越している。連行則に用いる水面摩擦速度として

①表面のセットアップが生じている間の風速, ②ピーク時の風速, ③ピーク後の風速, ④対象期間内の平均風速の各々を用いて水面摩擦速度 u_s (u_s の評価方法: $u_s = .00133 \times U$; U : 神戸海洋気象台の値) を評価した場合につき結果を示す。現地観測データから算出された $E_s \sim Ri_s$ の関係は必ずしも従来提案されている関係に従っていない。これは(1)式で与えられた関係が一

定の風応力が連続して作用しているという単純な条件の下で得られた連行則であるのに対し、実際には図-7のように非定常的に風が作用するためであると思われる。しかし観測データは(1)式と同程度のオーダーを示しており式(1)の経験則と大きくかけ離れた値ではない。一方、自然対流が誘起する鉛直混合現象について冬季循環期の現地観測データに基づき考察する。水理実験により熱対流によって生ずる連行量の経験則として $E_f = 0.45 Ri_f^{-1} - (2)$ ($E_f = W_f / u_f$; $Ri_f = \varepsilon g h_m / u_f^2$; u_f : 自然対流の速度) なる関係が提案されている。現地観測から得られたデータは実線で示す(2)式上とほぼ同程度の値を示している。

6. おわりに

貯水池の水温観測に基づき、風応力や自然対流により誘起される鉛直混合について考察した。今後さらに風と水温変動との相関性について考察し、池内の流動状態との関連性について検討する予定である。最後に、本調査を遂行するにあたりご協力を頂きました神戸市水道局に謝意を表します。また、現地観測に際しご助力を得た神戸大学工学部 前田浩之 技官にお礼を申し上げます。

参考文献 1) 神田・神吉・道奥・真嶋: 貯水池水温の現地観測, 平成3年度 関西支部講演概要集

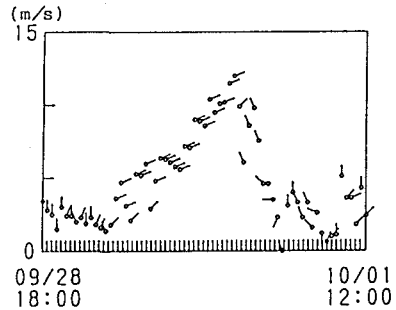


図-6 台風9020号時の風速・風向の経時変化

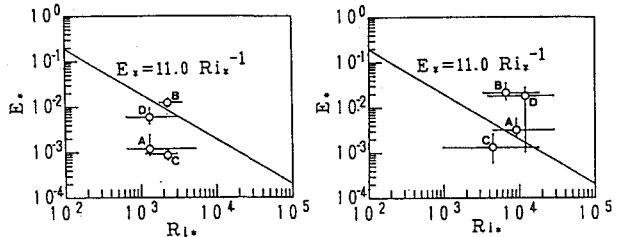


図-7 強風時の風応力による鉛直混合量

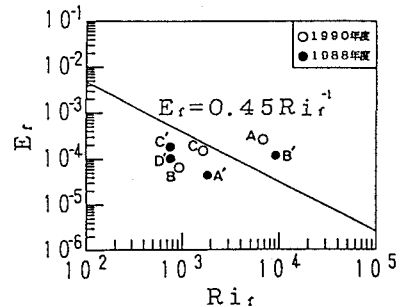


図-8 循環期の冷却による鉛直混合量