

東京工業大学

佐藤恵流悟

東京工業大学大学院

鈴木 伴征

東京工業大学総理工

石川 忠晴

## 1. はじめに

河川や湖沼等における溶存酸素（以下DOと略す）濃度の計測では、現地用のセンサーの応答速度が遅いために、一測定の計測に数十秒の時間を要する。特に、河川感潮域のようにDO濃度が時空間的に変化する場合には、多地点での鉛直分布を観測する必要が生じ、時間的な制約が深刻な問題となる。そこで、本研究ではDOセンサーを水深方向に連続的に下降および上昇して得られた出力から、DOセンサーの時間応答曲線を考慮して、DOの鉛直プロファイルを推定する方法を開発し、DO観測の高速化を図った。

## 2. DOセンサーの概要と時間応答曲線

DOセンサーの時間応答特性を求めるために室内実験を行った。対象にした計器は、本研究室で現地観測に使用しているアレック電子製のACL1183-PDKである。なお、DOセンサーは隔膜ガルバニックセル方式で、メーカーの提示している時定数は20秒である。

実験結果を図1、2に示す。図1は、種々の水温条件のもとで、DO濃度が飽和している水からゼロの水へ、センサーを移したときの時間応答曲線である。温度が高い方が早く減衰するが、いずれの温度にせよ90%値に減衰するまでの応答曲線は、概ね単一の指数関数とみなせる。一方、図2は、ほぼ同じ水温条件のもとで、DO濃度が異なる2つの水槽の間を、センサーを移動させて求めた応答曲線である。この場合も図1の結果と同様に、90%値までは応答曲線を概ね単一の指数関数と見なすことができる。

## 3. DO高速測定の方法とデーター処理方法

### 3-1 高速測定の方法

現地での測定では、DOセンサーを以下のように動かした。すなわち、DOセンサーを水面で30秒程度静止させ、その後一定の速度でDOセンサーを降ろしていく。着底後30秒間静止させ、その後一定の速度で上昇させる。（以後この測定法を移動測定と呼ぶ。）図3は出力例である。●は静止測定による測定値（以後、これを真値とみなす）、実線と点線は移動測定による出力である。上記のようにセンサーを動かすと、真値をとり囲むようにヒステリシスな曲線が得られる。

### 3-2 データの処理方法

DOセンサーの応答特性をある式で表すことができれば、移動測定の出力値から真のDOの値を逆推定できると考えられる。

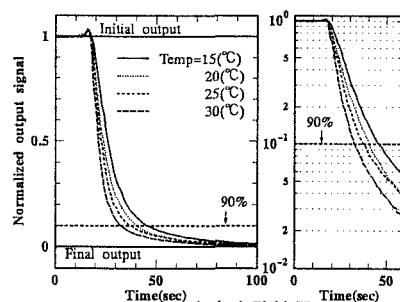


図1 室内実験結果その1

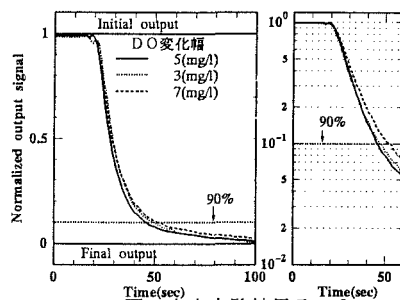


図2 室内実験結果その2

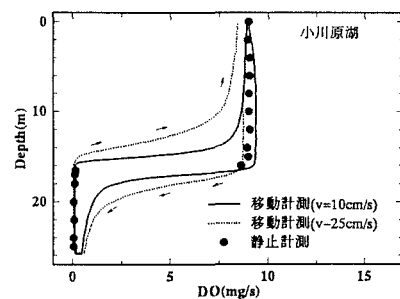


図3 移動観測の出力結果

キーワード DO 高速測定 河川・湖沼

連絡先 横浜市緑区長津田町 4259 電話 045-924-5504 ファックス 045-924-5519

前述の室内実験よりDOセンサーの時間応答曲線は概ね指数関数で近似できることから。ここでは、DOセンサーの時間応答特性が、(1)式のように一次微分方程式の形で表せると仮定する。

$$\frac{d\Phi}{dt} = \alpha \{ \Psi(t) - \Phi(t) \} \tag{1}$$

ここに $\Psi(t)$ は入力値（真値）、 $\Phi(t)$ は出力値、 $\alpha$ は定数である。センサーユニットが一定速度 $v_1$ で降下したとして、変数 $t$ を鉛直方向の座標 $z$ に変換すると式(1)は次のようになる。

$$\frac{d\Phi_1}{dz} = \frac{\alpha}{v_1} \{ \Psi(z) - \Phi_1(z) \} \tag{2}$$

(2)式を空間積分をすると次式が得られる。ここで、添え字1は下降時を表す。

$$F_1(z) = G_1(z) + \frac{v_1}{\alpha} \{ \Phi_1(z) - \Phi_1(0) \} \tag{3} \text{ただし } F_1(z) = \int_0^z \Psi(z) dz \quad G_1(z) = \int_0^z \Phi_1(z) dz$$

同様に上昇時についても以下の式が得られる。ここで、添え字2は上昇時を表す。

$$F_2(z) = G_2(z) + \frac{v_2}{\alpha} \{ \Phi_2(z) - \Phi_2(0) \} \tag{4} \text{ただし } F_2(z) = \int_0^z \Psi(z) dz \quad G_2(z) = \int_0^z \Phi_2(z) dz$$

$G$ 、 $v$ 、 $\Phi$ は観測データより求められる。また、時定数 $\alpha$ は、水温状態や膜の劣化等によって変化するので、観測ごとに異なった値であると考えられる。

さて、 $F_1$ 、 $F_2$ は理想的には一致するはずである。そこで、両者の残差の二乗和が最小となるように $\alpha$ を定めることにする。ただし、その場合でも $F_1$ と $F_2$ には残差があるので、本研究ではこれらの推定値に重み付き平均を施し $\Psi(z)$ の最終推定値を求めている。

4. 現地観測例

本手法の適用性を現地観測により検証した。観測は小川原湖と利根川河口堰下流部で行った。

小川原湖での観測結果を図4に示す。点線は移動測定による出力、実線は上記の手法により解析した結果、●はDOセンサーを静止させて計った値である。センサーの移動速度は10cm/sと25cm/sである。いずれの場合も、静止測定の値と解析結果はよく一致している。利根川における観測結果を図5に示す。図の表記とセンサーの移動速度は小川原湖と同じである。いずれの場合も、移動測定から推定された結果（実線）は、DOの鉛直変化をよくとらえていることが分かる。

5. おわりに

以上のように、本研究で検討した「移動測定」の結果は、かなりの精度で静止測定の結果と一致する。一方、観測に要する時間は図5に示した利根川を例にとると、静止測定では7分、移動測定では10cm/sの場合に3.5分、25cm/sの場合に2分であった。したがって、河川感潮域のように、DO濃度が時空間的に変化する場における現地観測に有効な方法であると言える。

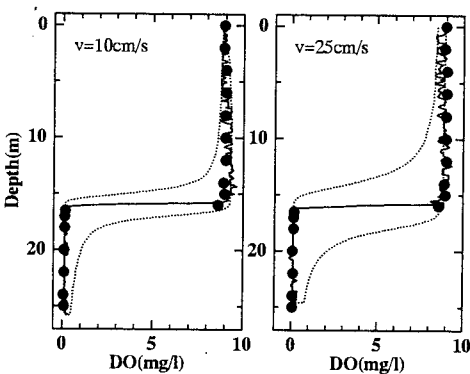


図4 小川原湖における移動測定と静止測定の比較

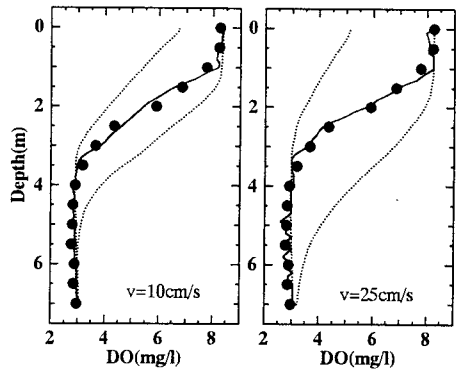


図5 利根川における移動測定と静止測定の比較

謝辞：本研究をするにあたり便宜をはかっていただいた建設省利根川下流工事事務所に記して謝意を表す。  
参考文献 1) 日本電気計測器工業会編：環境測定器ガイドブック第4版、pp124-125, 1996