

再び水に対する表面波の影響について

徳島大学工業短期大学部

正会員 細井由彦

はじめに 自由水面からの酸素供給量の適切な把握は、水系水質の汚濁を解析する際の一つの重要なポイントとなる。河川の再び水に関しては *Streeter, Phelps* 以来多くの研究者により、種々の定式化が行なわれてきた。これらの研究を大きく分けると、理論的考察から導き出した結果の妥当性を実験や実測のデータにより論じるもの、野外実測や水路実験で得られたデータより回帰的に実験式を求めたもの、両者の中間的なもので、次元解析を行なって求めた式の定数を実験的に検討するものの三つに分類される。いずれにしても、水面からの酸素供給は水面の運動特性に密接に関わっていると考えられるにもかかわらず、従来の研究の多くは解水路場の水理特性量によってまとめられており、水面における波の影響に注目したものは数少ない。これは汚濁や再び水が問題になるのが多くの場合河川であること、現実的な適用性を考えた場合、波の諸元は実験的ではないことなどによるものと考えられる。しかし、界面の運動と物質移動との関係を明らかにすること、あるいは波運動場における物質の拡散等の挙動を考える場合に、境界面における挙動を明らかにしておくことなどは、今後水質汚濁問題を扱う上での基本的な知見を得るためにも意義深いことであると考えられる。

Downing と *Truesdale*¹ は水面の波特性と再び水の関係について実験を行ない、波高及び周波数の増加にともなって物質移動係数が増加することを定性的に示している。細井と井本²は、

造波水槽による実験結果を用いて、再び水係数に關する、水深、波長、波高、周期を用いた実験式を求めている。これら諸成果によれば、波の存在により再び水が著しく促進されることわかる。このことは、波の存在が大気との接触面積を増加させるだけではなく、水中の乱れを助長していることを示していると考えられる。水中の乱れによるガス吸収のモデルとしては、従来より表面更新モデルが提唱されてきた。そこで本研究では、表面更新モデルの考え方を基本におきつつ、波の諸元と再び水との関係を検討した。

2. 物質移動係数に關する検討 水中の溶存酸素濃度は物質移動係数を用いて一般に次式で示される。 $\frac{dC}{dt} = K_L A_s (C_s - C)$ (1) V は流体体積、 C_s は飽和溶存酸素濃度、 A_s は気液の接触表面積で、静水時の表面積 A_0 との間には $A_s = C_A A_0$ (C_A : 係数) の関係がある。

したがって実際に測定される、みかけの物質移動係数 K_L' は次式で定義される。 $\frac{dC}{dt} = K_L' A_0 (C_s - C)$ (2), $K_L' = C_A K_L$ (3)

表面更新モデルは、*Higbie*³, *Danckwerts*⁴, *O'Connor* と *Dobbins*⁵ により種々の形が示されているが、表面更新理論の考え方を採用するかわり結局は $K_L \propto \sqrt{Dn\tau}$ (4) と考えることができる。(τ は表面更新率) 研波が存在しないかわり、波による気液接触表面積の増加は小さいと考えられ、式(3)(4)より次式を得る。 $K_L' \propto \sqrt{Dn\tau}$ (5)

ここで表面更新率に波の特性量が直接的に影響を及ぼすものと考え、 τ を波長 L 、波高 H 、周期 T を用いて表わすと、次元的に式(5)より次式を得る。 $K_L' \propto \left(\frac{Dn}{T}\right)^{1/2} \left(\frac{H}{L}\right)^{1/2}$ (6)

Downing と *Truesdale* の実験結果を整理しなおし、 H/L 一定の場合における K_L' と T の関係

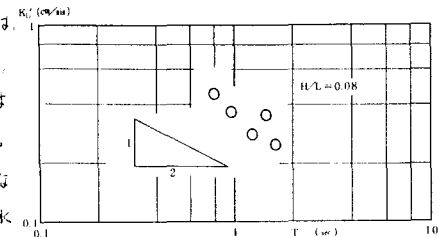


図-1 K_L' と T の関係 (*Downing, Truesdale*¹ に基づく)

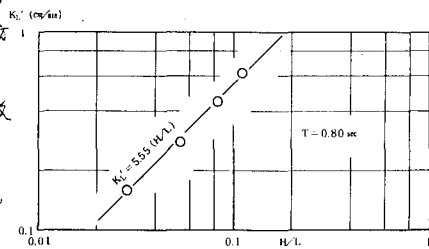


図-2 K_L' と H/L の関係 (*Downing, Truesdale*¹ に基づく)

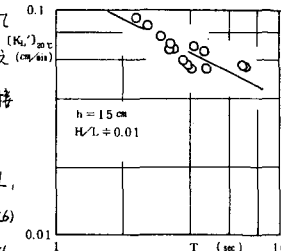


図-3 K_L' と T の関係

を求めたものが、図-1である。これより K' は T とほぼ $1/2$ 乗の関係にあり、式(6)に一致するようである。一方、 T が一定の場合の K' と h/L の関係は図-2のようになり、式(6)中の α はほぼ1であると推察しうる。

3. 実験による検討 上記考察結果を実験を行なって検討してみる。実験は長さ7m、幅0.3m、深さ0.5mの造波水槽を使って行ない、容存酸素濃度は採水してウインクラ一法により測定した。 K' は水温の影響を受けるので $[K']_{20^\circ\text{C}} = \frac{[K']_a}{1.016^{(t-20)}}$ (tは水温) により、 20°C の値に補正した。

水深15cm、 $h/L=0.01$ で行なった実験結果が図-3である。図中の直線の傾きは $1/2$ で、実験結果はほぼこの直線に沿って分布している。つぎに、水深及び周期が一定のもとで行なった結果を図-4に示す。最小自乗法で求めた図-4の(a)~(d)の傾きは、それぞれ1.03, 0.96, 0.85, 0.85である。

そこで、図-2の結果も考慮して h/L の指数は1と考えて求めた回帰直線を図-4中に示してある。これらの直線の示す実験式は、それぞれ以下に示すとおりである。

$$h=10\text{cm}, T=2.3\text{sec}: [K']_{20^\circ\text{C}} = 10.79(h/L) \quad (7-a)$$

$$h=10\text{cm}, T=2.7\text{sec}: [K']_{20^\circ\text{C}} = 9.25(h/L) \quad (7-b)$$

$$h=10\text{cm}, T=3.5\text{sec}: [K']_{20^\circ\text{C}} = 8.26(h/L) \quad (7-c)$$

$$h=20\text{cm}, T=2.3\text{sec}: [K']_{20^\circ\text{C}} = 9.9(h/L) \quad (7-d)$$

これらの結果からは水深の影響については明確な結果は得られなかった。ところで式(7)の各式中の係数には T の影響が含まれているはずである。そこで各係数の値を T に対してプロットすると図-5のようになる。この図はすなわち述べたように T が $1/2$ 乗で関係することを示している。

以上の結果は前節の検討結果をよく説明するものと考えられ、 K' と波の諸元との間には、 $[K']_{20^\circ\text{C}} \propto \left(\frac{D_u}{h}\right)^{1/2} (h/L)$ (8) が成立すると言える。実験結果を式(8)でまとめたものが図-6であり、図中の実線が示す実験式は $[K']_{20^\circ\text{C}} = 3.39 \times 10^3 \left(\frac{D_u}{h}\right)^{1/2} (h/L)$ である。(単位は $[K']_{20^\circ\text{C}}$ が cm^2/min , D_u は cm^2/sec , T は sec)

4. おわりに 本研究では表面更新理論により、波の再曝気に対する影響を考察し、実験による検証を行なった。御指導いただいた京都大学住友恒教授に感謝いたします。

- 参考文献
1. Downing-Trevels: Jour. Applied Chemistry, vol. 5, 1955.
2. 田中, 井本: 土木学会20周年大講演会, 1975.
3. Higbie: Trans. A.I.Ch.E., vol. 31, 1905.
4. Danckwerts: Ind. and Eng. Chemistry, vol. 63, no. 6, 1951.
5. O'Connor & Dobbins: Proc. ASCE, vol. 82, no. 5A, 6, 1956.
6. 細井, 住友, 若井: 第13回衛生工学研究討論会講演集, 1977.

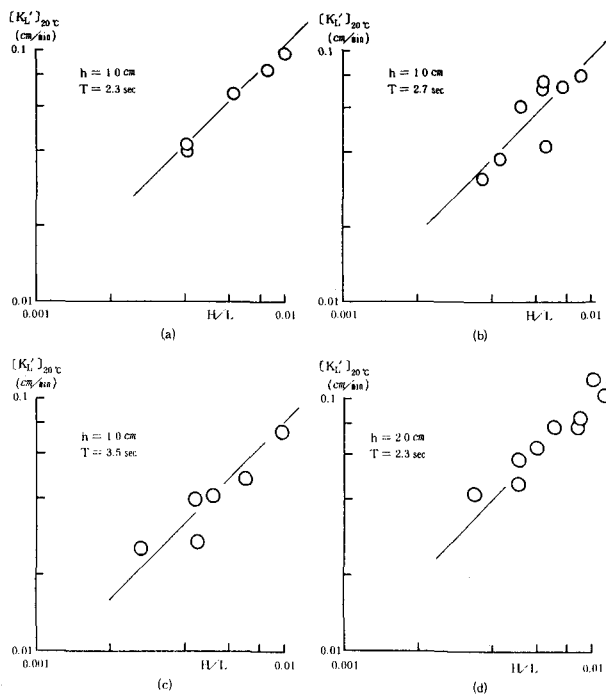


図-4 K' と h/L の関係

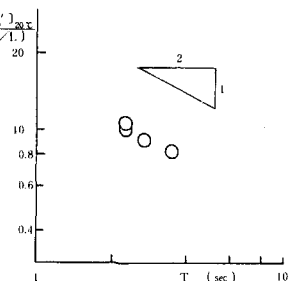


図-5 $K'/(h/L)$ と T の関係

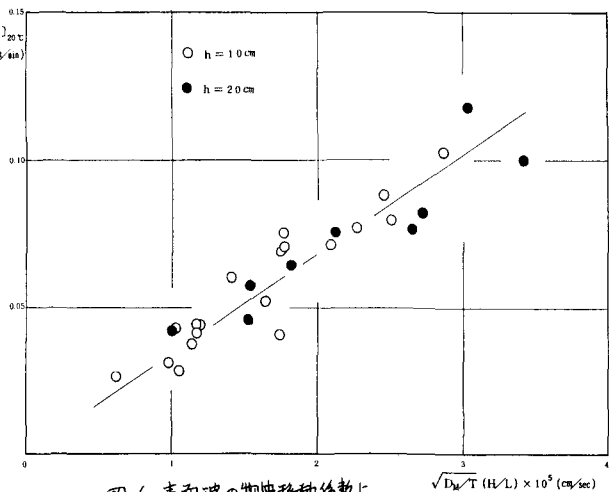


図-6 表面波の物質移動係数におよぼす影響