

徳島大学工業短期大学部 正会員 村上 仁士
徳島大学工業短期大学部 正会員 細井 由彦
徳島大学大学院 ○学生員 大東 正男

1. まえがき 水中の溶存酸素は有機物の分解において欠かさないものであり、水質改善に大きく寄与する。溶存酸素の補給は、空気中の酸素が水表面から乱れによって取り入れられるのが支配的であるため、砕波帯における再曝気効果はきわめて大きいと考えられる。本研究では plunging 型砕波を対象として、砕波により再曝気効果がどのような影響を受けるのかを明らかにするとともに、再曝気係数を砕波特性量を用いて表現することを試みた。

2. 実験方法 実験には、長さ 14m、幅 0.5m、深さ 0.75m、の片面からス張りの一次元波水槽を用い、水槽の一端に長さ 5m の 1/10 の勾配をもつ傾斜面を設け、ここで plunging 型砕波を発生させた。再曝気係数は砕波帯内の 20 点で採水した後、溶存酸素分析計を用いて溶存酸素濃度を測定し求めた。実験諸元は、水深 h が 40cm、周期 T は 1.02sec、沖波波形勾配 H_0/L_0 は 0.014 ~ 0.060 である。

3. 実験結果および考察 水中の溶存酸素濃度 C は酸素移動係数 K_L を用いて次のように表わされる。

$$dC/dt = K_L \cdot A/V (C_s - C) \quad (1)$$

ここに A : 気液接触界面面積, V : ばう気が行はれれている体積, C_s : 飽和溶存酸素濃度である。砕波後の乱れは再曝気を伴っているため A は明確でないで、再曝気係数 α_2 を用いて総括的に表わすと

$$dC/dt = \alpha_2 (C_s - C) \quad (2)$$

式(1),(2)より α_2 と K_L との関係は

$$\alpha_2 = K_L \cdot A/V \quad (3)$$

となる。 K_L については村上の式を用いると

$$K_L = C' (PDn/\sigma)^{1/2} (\nu E)^{3/8} \quad (4)$$

と表わされる。ここに C' : 定数, ρ : 水の密度, D_n : 酸素分子拡散係数, σ : 水の表面張力, ν : 水の動粘性係数, E : 単位質量当りのエネルギー通量である。式(3),(4)より α_2 は

$$\alpha_2 = C' \cdot A/V \cdot (PDn/\sigma)^{1/2} (\nu E)^{3/8} \quad (5)$$

となる。 E については、砕波帯におけるエネルギー通量は水粒子の乱れた運動によるものが支配的であるが、その運動が複雑で測定が困難なため図-1に示すようにマフロに取り扱う。

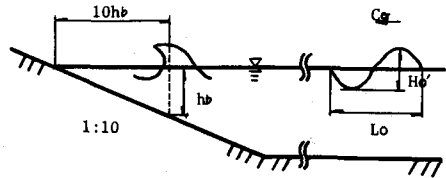


図-1 砕波帯への入射エネルギー

沖波において単位面積当り水面から水底までの水粒の持つ波のエネルギーは、波高を H_0 とすれば $1/8 \cdot \rho g H_0^3$ であるから底面摩擦によるエネルギー損失を無視すれば、群速度を C_g として単位時間当り砕波帯に入射するエネルギーは、 $1/8 \cdot \rho g H_0^3 \cdot B \cdot C_g$ (6)

となる。ここに g : 重力加速度, B : 水路幅である。 C_g は深水波の場合、波速を C とすれば $C_g = 0.5C$ と表わされる。砕波帯の体積は勾配が 1/10 であることを考慮して砕波水深 h_b を用いて $5Bh_b^2$ と表わす。したがって砕波帯における単位質量当りのエネルギー通量は、式(6)を砕波帯体積で割って $C_g = 0.5C = 0.5(L_0/T)$ とおけば

$$E = g/80 \cdot L_0/T \cdot (H_0/h_b)^2 \quad (7)$$

となる。ここに L_0 : 沖波波長, T : 周期である。式(7)を式(5)に代入すれば α_2 は次のようになる。

$$\alpha_2 = C' \cdot A/V \cdot (PDn/\sigma)^{1/2} (\nu g/80)^{3/8} (L_0/T)^{3/8} (H_0/h_b)^{3/4} \quad (8)$$

式(8)において、第1段階として A/V を含めて C'' と表わし水表面からの酸素移動のみを考えると

$$\alpha_2 = C'' (PDn/\sigma)^{1/2} (\nu g/80)^{3/8} (L_0/T)^{3/8} (H_0/h_b)^{3/4} \quad (9)$$

となる。 L_0/T = 一定の場合、再曝気係数は $(H_0/h_b)^{3/4}$ に比例するから、再曝気係数の実測値を用いて H_0/h_b との関係を図示すると図-2のようになる。同図より再曝気係数と H_0/h_b との間の傾きを求めると 1.5 となる。式(9)で示される傾きは 0.75 であるから、再曝気係数に及ぼ

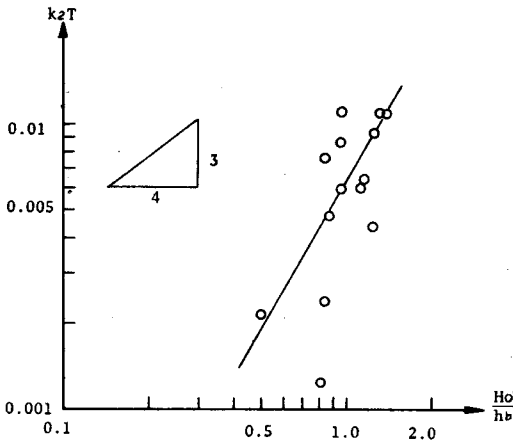


図2 k_2T と H_0/hb の関係

す H_0/hb の影響は理論値よりもかなり大きいことになる。その理由として水表面からの酸素移動のみを考え、気泡の存在による気液接触界面積の増加を考慮してはいないためと考えられる。そこで連行気泡による界面の増加率 C_A を用いて k_2 を表すと

$$k_2 \propto C_A (PD_M/\sigma)^{1/2} (v_g/\sigma)^{3/2} (L_0/\tau)^{3/2} (H_0/hb)^{3/4} \quad (10)$$

となる。 C_A は静水時の界面積 A_0 と連行気泡量 G_0 を用いて $C_A = 1 + G_0/A_0$ となる。

と表わされる。 G_0 については次のように考えた。

plunging breaker の場合、砕波後 horizontal roller の形成が行われ、これによって気泡が水中に連行されるため連行気泡量は roller の体積に關係すると考えられる。

roller の体積は図3に

示すように、砕

波高 H_0 と水路幅

B を用いて直径

H_0 の円柱に比例

すると考えると

$$\pi/4 \cdot H_0^2 \cdot B = \pi/4 \cdot \alpha^2 h_b^2 \cdot B \quad (12)$$

ここに $\alpha = H_0/hb$: 砕波高比である。

水中に存在する気泡数は、式(12)を気泡1個当りの体積 $\pi d^3/6$ (ここに d : 気泡径) で割ると $3B\alpha^2 h_b^2 / 2d^3$ となる。したがって連行気泡量 G_0 は、気泡1個当りの表面積 πd^2 に気泡数をかけると

$$G_0 = 3\pi B\alpha^2 h_b^2 / 2d \quad (13)$$

となる。 A_0 は斜面の勾配が $1/10$ であることから $A_0 = 10h_b B$ となる。したがって C_A は式(10)(13)より

$$C_A = 1 + \frac{3\pi}{20} \frac{\alpha^2}{d} h_b \quad (14)$$

となる。式(14)を式(10)に代入すると k_2 は

$$k_2 \propto (1 + \frac{3\pi}{20} \frac{\alpha^2}{d} h_b) (\frac{PD_M}{\sigma})^{1/2} (\frac{v_g}{\sigma})^{3/2} (\frac{L_0}{\tau})^{3/2} (\frac{H_0}{hb})^{3/4} \quad (15)$$

となる。式(15)の右辺第1項において気泡径 d のオーダーをミリと考えると、 $1 \ll \frac{3\pi}{20} \frac{\alpha^2}{d} h_b$ とすれば

$$\frac{k_2}{(H_0/hb)^{3/4}} \propto \frac{3\pi}{10d} \alpha^2 h_b \quad (16)$$

と変形される。 d を一定とみなして k_2 の実測値を用いて $k_2/(H_0/hb)^{3/4}$ を縦軸に、 $\alpha^2 h_b$ を横軸にとりプロットしたものが図4である。同図より $\alpha^2 h_b$ の増加に伴って、 $k_2/(H_0/hb)^{3/4}$ が増加する傾向がみられる。したがって連行気泡による界面増加によって再び気係数は増加されると考えられる。

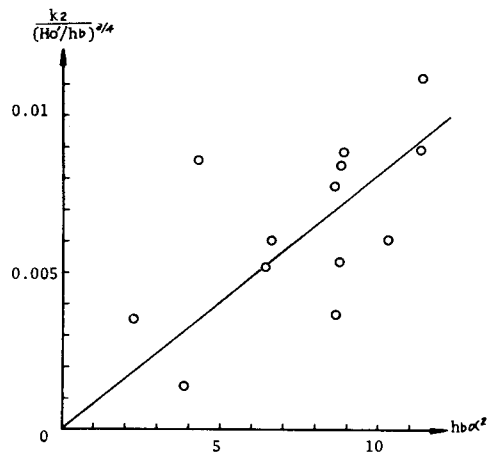


図4 $k_2/(H_0/hb)^{3/4}$ と $hb\alpha^2$ の関係

4. あとがき 以上本研究では、再び気係数と砕波特性量との関係について考察を行なったが、定量化するまでには至らなかった。今後、水表面近傍の乱れおよび気泡径を直接測定していく必要があると思われる。さらに Spilling breaker の場合についても検討を進めていく予定である。

<参考文献>

- 1) 村上健: 河川における再曝気, 第16回衛生工学討論会講演集, 1970