

大阪市立大学 正会員 角野 昇八
 大阪市立大学 学生員○ 齊藤 満
 阪神電気鉄道(株) 仲田 義弘
 東洋建設(株) 中谷 成智

1. はじめに

海岸構造物による再曝気現象の解明をめざしたいずれの研究においても、構造物のない静水面のみあるいは波面のみからの曝気には、その存在の有無を含めて全く考慮を払うことなく研究が進められてきた。しかるに、海岸構造物のみによる再曝気機能を正確に評価するためには、これらをそれぞれ別個に評価するのが基本と思われる。しかし、そのような研究を行った例は著者らの知る限りまだみられない。本論文では、静水面における再曝気の有無の確認とその機能の評価を目的として行った実験的研究の結果を報告する。

2. 2次元造波水槽を用いた実験

2.1 実験概要 実験には、まず、図-1に示す長さ20m、幅0.5m、高さ0.5mの2次元造波水槽を用い、DO計(溶存酸素計、YSI社製58型)の前後にビニール膜を設置することにより物質移動が可能な領域を制限した。また、大気の流れによる風波の発生を防ぐため水槽の上端をビニールで覆った。すべてのケースにおいて水深は30cmとし、DO計の設置位置は水面下5cm、7cm、15cm、21cmとした。実験は、脱酸素剤として亜硫酸ナトリウム(Na_2SO_3)、触媒として塩化コバルト(CoCl_2)を用いてDO濃度を10%程度まで低下させた後、DOの経時変化および水温を20秒ごとに自動計測した。実験中は、いずれの場合もスターラー(DO計のセンサー部に流速を与えるための装置で、微弱の振動流により近傍のサンプルを攪拌する)を連続作動させている。

2.2 実験結果および考察 図-2に実験より得られた $-\ln D^*$ (D^* は $\frac{C_s - C}{C_s - C_0}$ で表される無次元溶存酸素濃度負荷である。ただし、 C は溶存酸素濃度、 C_s は飽和溶存酸素濃度、 C_0 は初期溶存酸素濃度。)の経時変化の1例を示す。 $-\ln D^*$ で表した溶存酸素負荷は、時間の経過と共にほぼ線形的に増減していく様子が示され、静水面からの再曝気が確実に存在することが示されている。図中、毎日午後6時頃に定期的に勾配が急変する部分がみられるが、これは

西日による水槽内温度変化によるものと思われるが詳細は不明である(温度変化による対流は原因として考えられない)。なお、曝気指標の1つの k_2 は $-\ln D^*$ の経時変化の勾配より求められ、また物質移動係数 K_L は $K_L = \frac{V}{A} k_2 = h k_2$ より求められる。但し、 V は曝気容積、 A は曝気面積、 h は水深で、 V と A には制御領域の容積と表面積をとった。表-1にはこの実験より得られた k_2 および K_L の値を示す。これより、 k_2 および K_L とも計測位置に関わりなく、ほぼ $k_2 \approx 6.2 \times 10^{-6} 1/\text{cm}$ 、 $K_L \approx 1.9 \times 10^{-4} \text{cm}/\text{sec}$ の値を示している。計測位置による差が殆どみられないのは、水温差による対流の発生他、計測中のスターラーの連続使用に伴う循環流の発生の影響も考えられる。微細な着色粒子を用いて、スターラーによって起こる近傍の流況の可視化実験を行った結果、スターラーの使用開始より約1分後に0.3cm/sec程度の循環流が発生していることが確認された。

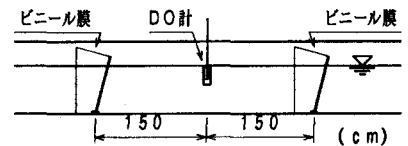


図-1 2次元造波水槽を用いた実験装置概要

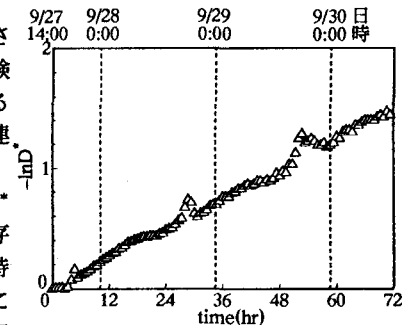


図-2 $-\ln D^*$ の経時変化 (Run N2)

表-1 2次元造波水槽における実験結果

RUN	水深 (cm)	計測位置 (cm)	平均水温 ($^{\circ}\text{C}$)	再曝気係数 k_2 ($\times 10^{-6} 1/\text{sec}$)	物質移動係数 K_L ($\times 10^{-4} \text{cm}/\text{sec}$)
N1	30	-5	22.0	6.4	1.9
N2	30	-7	22.4	6.5	2.0
N3	30	-15	16.8	5.2	1.6
N4	30	-21	19.8	6.5	1.9

k_2 は勾配上昇開始後0~12時間の値。温度補正值(20 $^{\circ}\text{C}$)。

3. 恒温恒湿状態における小型水槽を用いた実験

3.1 実験概要 造波水槽内の実験では水温変化は制御できなかったため、図-3 に示す長さ 58cm、幅 27.5cm、高さ 34cm の小型ガラス製水槽を恒温恒湿室 (20℃, 60%) に設置して同様の実験を行った。上述の実験同様、水槽上端はビニールで覆った。水深は 30cm および 16cm、DO 計の設置位置は水面下 7cm および 21cm とした。この実験ではまた、スターラー作動による影響もみるために、全実験時間のほぼ 34 時間を 3 分割して、最初の 12 時間と最後の 10 時間を「計測時間」とし、途中の 12 時間を「待機時間」とした。計測時間は、計測時のみスターラーを約 7~8 分間作動させて 1 時間毎に計測を行うか (ON-OFF)、あるいはスターラーを連続回転させながら 1 時間毎に計測を行った (ON)。待機時にはスターラーを連続作動させたままとするか (On) あるいは停止させた状態 (Off) とした。

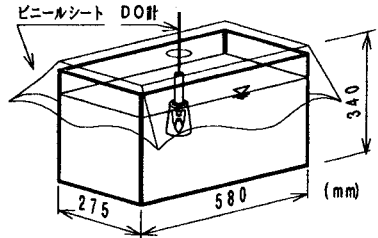


図-3 小型水槽を用いた実験装置概要

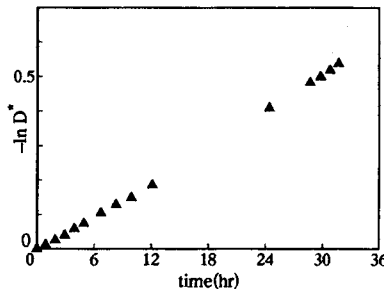


図-4 $-\ln D^*$ の経時変化 (Run N6)

3.2 実験結果および考察 図-4 に実験により得られた $-\ln D^*$ の経時変化の 1 例を示す。このケースでは、最初の計測時間はスターラーは ON-OFF、後の計測時間は ON とし、待機時間は On としている (ON-OFF-On-ON と表記する)。表-2 には、このケースを含む恒温室内での全実験結果を示した。表中、Run N5 は ON-OFF-Off-ON-OFF、N7 は ON-Off-ON-OFF、N8 も ON-OFF-Off-ON-OFF の条件下での結果である。また、 k_2 およびそれより算定される K_L の値は最初の計測時間の値より求めた。表中の値および図-4 より、同水深の条件では、計測位置にかかわらず、また計測時間中のスターラーの作動の ON-OFF にかかわらず、ほぼ同じ k_2 の値を示している。また、待機時間中のスターラーの動作に関係なく、最初と最後の計測時間の経時変化曲線はスムーズに連続していることより、スターラーの作動の影響はみられていないことが結論づけられる。ただし、 K_L の値 (平均値 $K_L = 1.2 \times 10^{-4}$ cm/sec) は造波水槽での値の約 63% 程度となっている。これは本実験における恒温性と静穏性の実験期間中の保持によるもので、完全な静水状態に近い値が得られているものと思われる。表からはさらに、異なる水深の条件下で異なる k_2 の値が得られる場合も、 K_L の値はほぼ同じとなり、再曝気の評価する際には、 k_2 よりも K_L を用いて評価の方が望ましいことが示されている。

表-2 小型水槽における実験結果

RUN	水深 (cm)	計測位置 (cm)	スターラーの状態			平均水温 (℃)	再曝気係数 k_2 ($\times 10^{-6}$ 1/sec)	物質移動係数 K_L ($\times 10^{-4}$ cm/sec)
			0 ~ 12(hr)	12 ~ 24(hr)	24 ~ 34(hr)			
N5	30	-21	ON-OFF	Off	ON-OFF	18.3	3.3	1.0
N6	30	-7	ON-OFF	On	ON	17.7	4.5	1.4
N7	30	-7	ON	Off	ON-OFF	17.8	4.4	1.3
N8	16	-7	ON-OFF	Off	ON-OFF	17.7	7.1	1.1

k_2 は温度補正值 (20℃)。

4. まとめ

本研究により得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 静水面からの再曝気機能の評価は再曝気係数 k_2 よりも物質移動係数 K_L で評価の方が望ましく、その値はほぼ完全な静水中 (恒温恒湿室内) では $K_L = 1.2 \times 10^{-4}$ cm/sec であり、通常の静水中 (造波水槽内) では $K_L = 1.9 \times 10^{-4}$ cm/sec であった。
- DO 計のスターラーの作動の影響は殆どないとみなすことができる。

可視化実験には、近畿大学の江藤、竹原両先生よりマイクロカプセルの提供を受けた。ここに記して謝意を表する。