

大阪市立大学 学生会員 ○ 関本武史
 大阪市立大学 正 会 員 角野昇八
 大阪市立大学 学生会員 鈴木琢磨

1. はじめに

酸素や二酸化炭素など、各種気体の気液界面での輸送現象の実態解明は、生態系を含めた水環境保全の観点、あるいは地球温暖化防止の観点、汚染物質の大気-海中循環過程の解明の観点などから重要な課題となっている。この背景から、著者らも沿岸砕波における再曝気（水面を通した水中への酸素の輸送）現象に関する実験的研究を行い、再曝気機能は砕波帯で連行される気泡の特性に大きく依存することを前提として、その輸送速度 K_L は砕波における単位質量あたりのエネルギー逸散率 ε のほぼ 2 乗～3 乗に比例することを明らかにしている¹⁾。本報告では、シングルボイドプローブ (SVP)¹⁾ を用いて既に得られているデータおよび今回新たに開発したダブルボイドプローブ (DVP)⁴⁾ によるデータに基づいて、連行気泡特性に関する一、二の知見および K_L と ε の関係について再考察した結果を報告する。

2. 既往の研究

著者らは、造波水槽内の緩斜面上での砕波に対して、ポリエチレン膜で曝気容積 V を特定した状態で、溶存酸素の時間変化を測定する実験を行い、その初期勾配より得られる再曝気係数 k_2 から

$$K_L = (V/A)k_2 = \alpha(V/nA_p)k_2 \quad (1)$$

の関係を通して物質移動係数 K_L を求めた²⁾。ただし、ここに A は曝気面積であり、斜面上での砕波現象では、それは静水面での面積でなく、砕波面の乱れや水中に連行された気泡の存在の影響などによって大きくなっていることが考えられるので、静水面での面積 A_p に割増係数 n をかけた nA_p となっているものと考えている。なお、割増係数 n の形は、Galvin³⁾ による Breaker Type Index B_i を用いて、

$$n = \alpha(1/B_i) = \alpha(gT^2 \tan \theta / H_b) \quad (2)$$

とすれば、水底勾配、砕波の形態、波の周期、波高の特性によらず一義的に関連付けられることが明らかになっている。ここで、 g は重力加速度、 T は周期、 $\tan$

θ は水底勾配、 H_b は砕波波高を表す。 α は比例定数を示し、既往の研究では $\alpha=1$ として扱ってきた²⁾。

また、エネルギー逸散率 ε の評価は、式 (3) に示す岡安ら³⁾ によるモデルによれば、 K_L と ε の間の相関性が最も高くなることを見出した。

$$\varepsilon = (3/8)gH_b/T \quad (3)$$

3. 砕波連行気泡に関する実験

式 (2) 中の $1/B_i$ の関係について実験的に検討するために、SVP および DVP を用いた実験を行った。実験は高さ 0.6m、長さ 20m、幅 0.5m のステンレス製片面ガラス張りの二次元造波水槽を用い、水槽の一端には勾配 1/10、1/20、1/30 の緩斜面を設置して砕波を生じさせた。

4. 実験結果と考察

(1) 割増係数 n

SVP あるいは DVP を用いた実験より、模型砕波帯におけるボイド率の鉛直 2 次元空間分布がまず求められ、またそれより気泡は球形と仮定し、かつプローブが球の中心を通ると仮定することで気泡の表面積の空間分布を求めることができる¹⁾⁴⁾。さらに、その分布において水平位置上での表面積を足し合わせることで表面積の鉛直和 A_g' の岸沖分布を求めることができる。その例を示したものが図-1 である。気体輸送にかかわる気体表面積は、進行する砕波の 1 周期間相当距離 x_T あたりの平均表面積であり、それは A_g' の岸沖積分値の平均値である。ただし、ここで図-2 の上に示すように、

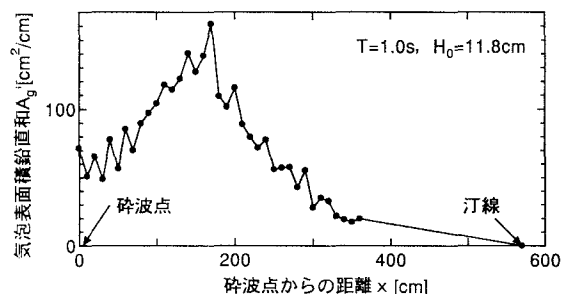


図-1 気泡表面積鉛直和 A_g' の岸沖分布

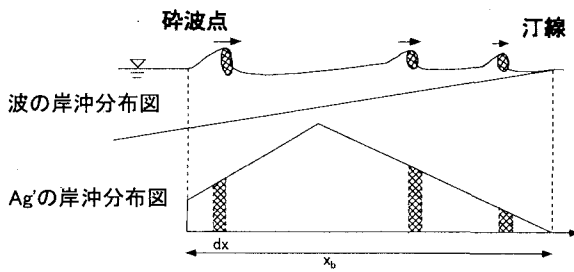


図-2 気泡の総表面積 A_g の算出法

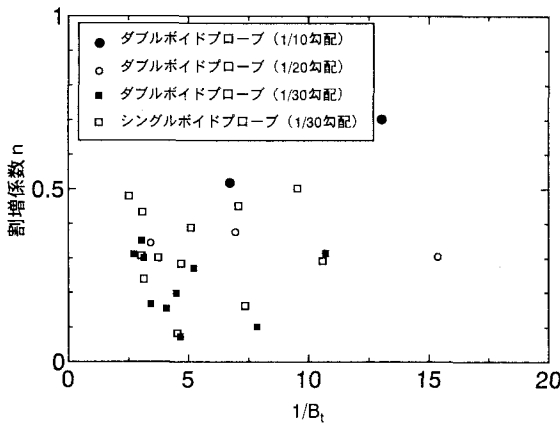


図-3 割増係数 n と $1/B_t$ の関係

砕波帯で波は複数個存在するため、気泡の総表面積の算定では、波それぞれが持つ気泡の表面積の鉛直和に配慮する必要がある。このようにして求めた A_g を A_p で割ることにより割増係数 n を求めることができる。そこで、 A_g/A_p で表した割増係数 n と $1/B_t$ の関係を示したものが図-3 である。

図-3 によれば、割増係数 n と $1/B_t$ の間には相関性はみられない。これは、データ整理において、2cm 程度以上の void は気泡と見なさなかったため、巻き砕波で見られるチューブなどの空隙がデータに含まれていないことなどが原因として考えられるが、詳細は不明である。

(2) 物質移動係数とエネルギー逸散率

既に示したように、Eckenfelder が提案した散気槽内の気泡群表面での物質移動係数 K_L を砕波帯に適用すると

$$K_L \propto \frac{(\pi H_b)^{2/3} V_g / T}{n A_p d_m} \quad (4)$$

と表せる。ここで、 V_g は x_T で平均した総気泡容積、 d_m は平均気泡径である。式 (4) に SVP および DVP を用いて得られた値を代入して求めた物質移動係数 K_L と

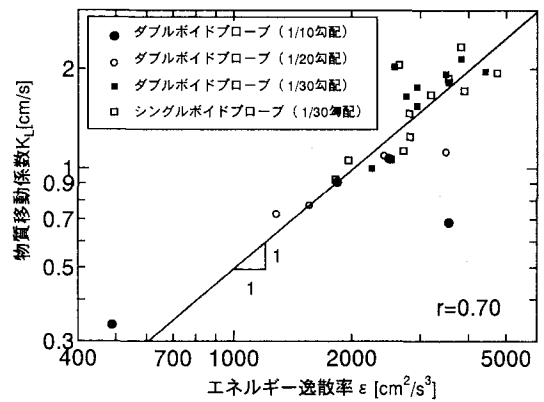


図-4 物質移動係数とエネルギー逸散率の関係

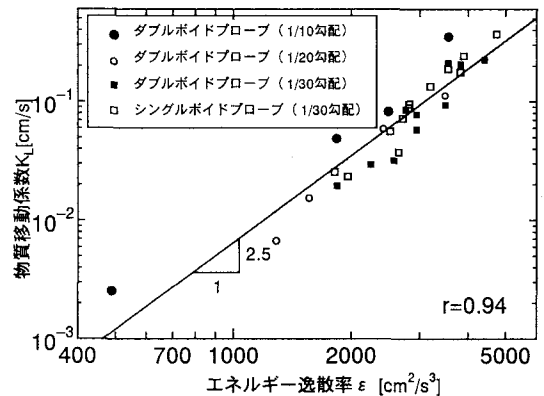


図-5 物質移動係数とエネルギー逸散率の関係

岡安らのモデルから算定されたエネルギー逸散率 ε の関係を、図-4 および図-5 に示す。図-4 では割増係数 n に A_g/A_p を、図-5 では割増係数 n に $1/B_t$ を用いている。

図-4 と図-5 を比べると、 $n=1/B_t$ とした方が相関性が高く、従来のように K_L は ε の 2.5 乗に比例することが示されている。この理由として、砕波帯の気液界面での気体輸送には、気泡表面積ばかりでなく、その周囲の乱れなどの要素も関与していることが考えられ、 $n=1/B_t$ とした場合には、それらの要素がより良く表現できていることが考えられる。

参考文献

- 1) 角野・山岸他, 海岸工学論文集, pp.71-75, 2001.
- 2) 角野・杉田他, 海岸工学論文集, pp.1221-1215, 1996.
- 3) 岡安・磯部他, 海岸工学論文集, pp.31-35, 1989.
- 4) 角野・鈴木他, 関西支部年次学術講演会概要集, 2003.
- 5) Cyril J. Galvin, Jr., Journal of Geophysical Research Vol.73, Num.12, pp.3651-3659, 1968.