## 砕波帯での酸素取り込み機能に関する大縮尺実験

大阪市立大学 正会員 角野昇八 大阪市立大学 学生会員 竹村健治・舘川徹也・山岸達也

<u>1.まえがき</u>

酸素や二酸化炭素など、各種気体の海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 者らも沿岸砕波による再曝気(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、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( $\varepsilon$ )のほぼ2乗~3乗に比例することを明らかにしている。また、 $\varepsilon$ の 評価は、岡安ら<sup>1)</sup>および灘岡ら<sup>2)</sup>によるモデルによるものがもっとも相関が高いことも見いだした<sup>3)</sup>。ただし、検討を加 えた $\varepsilon$ の実験値は最大6000cm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>程度(岡安らのモデルに基づく)までであった。現地の沿岸域を対象とするときには さらに大きなの値での検討が必要である。そこで本研究では、長さ100mの水槽を用いてより大規模な波による実験を 行ったのでその結果を報告する。

## 2.実験

実験には図-1に示すような長さ 100m、幅3m、高さ3mの2次元造 波水槽を用い、端部に1/20の緩斜 面模型を設置した。ただし、この水 路幅をそのまま用いると脱酸素剤 としての亜硫酸ナトリウムを大量 に必要とするため、水路を幅0.6 m 部分と2.4 m部分に隔壁で分離し てその0.6 m部分を用いた。また、 砕波点の1.5 $h_b(h_b$ は砕波水深)沖 合に厚さ0.06 mmのビニール膜を 設置して砕波帯で取り込まれた酸 素の沖側への移流・拡散を防止し た。



ー様部水深は全ケースに対して 2m で一定とした。造波した波の周期は T=2.0、2.5、3.0、10.0s とし、砕波高を  $H_b$ =15cm ~ 43cm に変化させて(全41 ケース)1544cm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>~6615m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>の単位質量あたりエネルギー逸散率(岡安らのモデル)を 得るようにした。溶存酸素計(YSI 社製 58 型)のセンサーは砕波点に設置した。対象水域内の脱酸素法はこれまでと同様であり、塩化コバルトを触媒として亜硫酸ナトリウムを用いるものである。計測は 20s ごとの自動計測によった。

## 3.実験結果および考察

(1) 実験結果の整理法

実験より得られた溶存酸素濃度の時間回復曲線の時間変化率より、一種の再曝気能の指標である再曝気係数 k<sub>2</sub>を得ることができる。また、曝気面積 A および曝気容積 V が明らかになれば、水面での気体輸送の速度である物質輸送係数 (k<sub>L</sub>)を

 $k_L = \frac{V}{A} k_2 \tag{1}$ 

より求めることができる。河川などの一定水深hの開水路の場合には、式中のV/A = h(-c)となって、 $k_2 \ge k_L \ge k_L$ とは一対ーに対応する関係になり、そのどちらでも再曝気能を評価することができる。しかしながら、沿岸砕波のような緩斜面上ではその限りではない。そこで著者らの従来の研究では、曝気面積として、砕波線から汀線までの静水面面積(Ap)のn(実水面係数)倍にとり(nAp)、曝気容積として実験水槽内でビニール膜で遮蔽された容積をとっている。このnは、波面の乱れや気泡群の存在による水面の増大率を表す係数であるが、それは Galvin (1968)による Breaker Type Index

$$B_t = \frac{H_b}{qT^2 \tan \theta}$$

(2)

に反比例する形 $n = \alpha/B_t$ を採用している。ここに、gは重力加速度、 $\tan \theta$ は海底勾配、 $\alpha$ は係数である。このようにして、

$$k_L^* = \frac{V}{nA_p}k_2 = \frac{1}{n}k_{Lp} \tag{3}$$

とした物質輸送係数でデータを整理した。ここに、 $k_{Lp}$ は $A_p$ を曝気面積にとって表した物質輸送係数である。 (2)単位質量当たりエネルギー逸散率

従来の研究<sup>3)</sup>で、上記のように表した物質輸送係数 $k_L^*$ は砕波での単位質量あたりのエネルギー逸散率 $\varepsilon$ と強い相関を もち、なかでも岡安ら<sup>1)</sup>および灘岡ら<sup>2)</sup>のモデルによるものとの相関がもっとも高いことを明らかにした。岡安らのモデ ルに基づく $\varepsilon$ は

$$\varepsilon = \frac{3gH_b}{8T} \tag{4}$$

で表される。

(3) 実験結果と考察

図-2は、今回得られた実験結果より式(3)によって求められる $k_L^*$ を式(4)の $\varepsilon$ の関数として表し、既往の結果<sup>3)</sup>とと もに示したものである。図中の直線は、既往のデータでもっとも相関が高かった直線(2乗)を表している。今回の実 験結果のうち比較的小さな $\varepsilon$ での値は既往の値とほぼ同じ値をとり、また大きな $\varepsilon$ での値は既往のものに連続していて、 その意味での今回の実験データの妥当性が示されている。ただし、今回と既往の分も含めて全体を眺めてみれば、ほぼ  $\varepsilon = 4000 \text{ cm}^2/\text{s}^3$ を境にしてその勾配が変化している。 $\varepsilon$ の大きな領域でもっとも相関が高いのは3.3乗であった(図-3)。 このように勾配が変化する理由としては、波の特性が大きくなれば気体輸送に大きく関わる気泡群の容積や粒径などの 特性が変わることによることなどが考えられるが、詳細の解明は今後の課題である。

(4) 現地スケールでの値の推定

現地における $\varepsilon$ の値は、たとえば、 $H_b = 3$ m, T = 5sとすれば、式(4)によれば $\varepsilon = 2 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{s}^3$ 程度となる。したがって、その結果は図-3の実験値の範囲内にはないものの、ほぼ外挿することができる値の範囲内にあり、図-3を用いることができるものと思われる。



図 2  $K_L^*$ と $\varepsilon$ の関係

図 3 範囲限定の  $K_L^* \geq \varepsilon$ の関係

謝辞:本研究に関わる研究費の一部は文部省科学研究費補助金(基盤研究10450185)の補助を受けた。ここに記して 謝意を表する。

参考文献

1) 岡安章夫・磯部雅彦・渡辺晃:砕波帯におけるエネルギー収支と戻り流れのモデリング、海岸工学論文集、第36巻、 pp.31-35 1989

2) 灘岡和夫・広瀬文人: 砕波の物理過程に基づいた砕波帯内の拡散係数のモデル化、第33回海岸工学論文集、pp.26-30、 1986.

3) 角野昇八・Douglas B.Moog・舘川徹也・新谷尚弘・重松孝昌:エネルギー逸散率の各種モデルに基づく海浜砕波の 酸素取り込み機能の解析、海岸工学論文集、第45巻、pp.66-70、1998