

規則波の潜堤砕波によるガス輸送の促進機構に関する基礎水理実験
 Fundamental Experimental Study on Promotion of Gas Transfer Induced by Submerged Breakwater
 and Regular Waves

○齋藤有志・山上路生・大西左海・西畑剛・片山裕之

○Yushi SAITO・Michio SANJOU・Sakai ONISHI・Takeshi NISHIHATA・Hiroyuki KATAYAMA

Wave breaking by submerged breakwaters is expected to enhance the transfer of oxygen and carbon dioxide gases from atmosphere into the water in coastal areas. However, the physical mechanisms and quantitative evaluation are still unclear. In this study, we examined the effect of a submerged breakwater on promoting gas transport through hydraulic experiments. It was confirmed that the breakwater induces wave breaking and increases gas transfer rate. We defined the dimensionless bubble parameter, which represents the total penetration depth of bubbles. The bubble parameter was confirmed to have correlation with the dimensionless re-aeration coefficient. It should be noted that the dimensionless bubble parameter cannot account for the differences in the dimensionless re-aeration coefficient when no bubbles are generated. (118 words).

1. 緒論

沿岸域に設置される潜堤による砕波は、大気中の O_2 や CO_2 ガスの水中への輸送を促進する。潜堤は海岸の安定化だけでなく、海藻の繁茂や、水産動物の増殖といった、魚礁としての機能をもつ。潜堤砕波によって取り込まれた CO_2 が、堤体に根付いた藻類の光合成によって消費される。また、曝気によって水質保全に必要な溶存酸素の供給も見込まれる。このように、潜堤工は沿岸域におけるブルーカーボンの貯蔵ポテンシャルを有することが期待される。

砕波下では一般に水面の擾乱、乱流、気泡が生成し、拡散係数は空間的に変化するため、高精度なガス輸送の予測は難しい。特に O_2 や CO_2 のような低溶解性ガスの気液交換は液体側の抵抗が支配的となる。そこで本研究では規則波の潜堤砕波現象を対象に溶存酸素計測を行い、空気から水中へのガス輸送現象のメカニズムを気泡生成特性と関連付けて考察する。

2. 実験方法と実験結果

本研究では、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーにある長さ 7 m、幅 0.2 m、深さ 0.25m の 7 m 卓上型造波水槽を使用した。実験設備の概略図を図-1 に示した。実験方法は、無水亜硫酸ソーダを用いて水槽の水の溶存酸素濃度を 1 mg/L 以下にした後（静水深 0.01 m につき無水亜硫酸ソーダを 3 g 投入した）、設置した長さ 0.15 m、高さ 0.10 m の潜堤模型に規則波を作用させ、その間の溶存酸素濃度の回復過程を、水槽内に設置した 2 本の光学式溶存酸素計で測定する。

図-2 に 2 本の光学式溶存酸素計の結果を比較したものを示した。造波開始直後は水槽内の水が攪拌されることによって、急激に溶存酸素濃度が立ち上がる。その後、水中で未反応だった無水亜硫酸ソーダが反応し始めることにより、再び溶存酸素濃度は低下し、しばらく上昇しない。しばらく経過すると、砕波による曝気速度が、無水亜硫

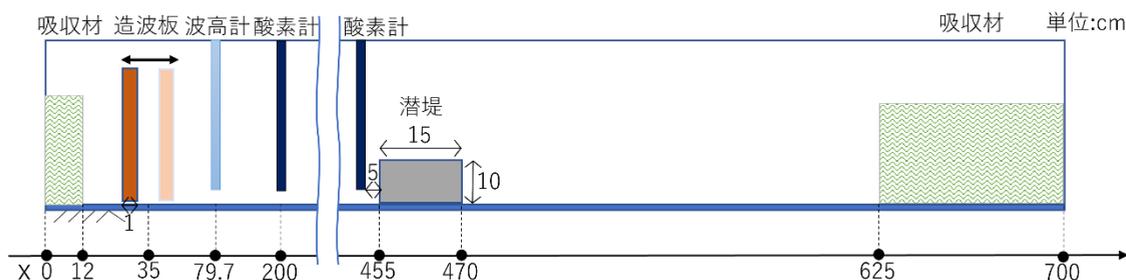


図-1 溶存酸素濃度測定実験の模式図

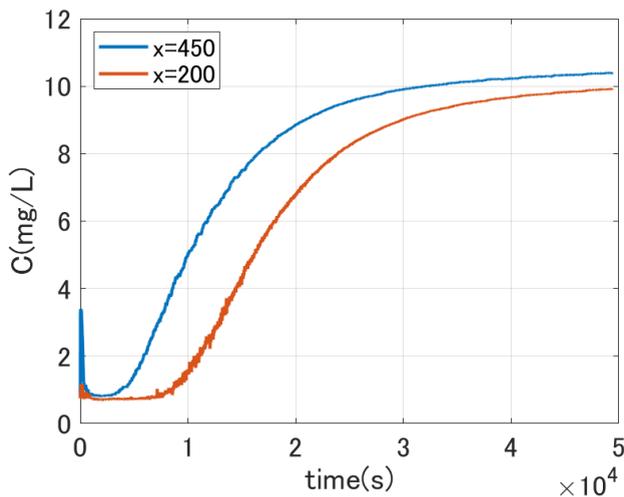


図-2 測定位置による溶存酸素濃度回復の様子の比較

酸ソーダの脱気速度を上回り、溶存酸素濃度が回復していく。溶存酸素濃度の回復は、砕波が起こる潜堤の側に位置する $x = 450 \text{ cm}$ で先に起こり、潜堤から遠方に位置する $x = 200 \text{ cm}$ において遅れて起こる様子が確認できた。

$x = 450 \text{ cm}$ に位置する光学式溶存酸素計から得られた溶存酸素濃度が $2.0 \sim 8.0 \text{ mg/L}$ の範囲の結果を、水槽内における溶存酸素濃度 C が一様であるとの仮定の下で成り立つ以下の式(1)に、非線形最小二乗法で近似させて、再曝気係数 k_2 を算出した。

$$C = -e^{-k_2 t}(C_s - C_0) + C_s \quad (1)$$

ここで、 C が溶存酸素濃度、 k_2 が再曝気係数、 C_s が飽和溶存酸素濃度、 C_0 が初期溶存酸素濃度、 t が時間を表す。

k_2 を気泡パラメータ B_p を用いて評価した。 B_p は実験中の砕波の動画(サンプリング周波数 10 Hz) から算出される、1 画像あたりの気泡の鉛直深さの和を示す無次元量であり、式(2)で定義した。

$$B_p = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_{b_i}} y_{b_{i,j}}}{n \cdot h} \quad (2)$$

ここで、 n が測定に用いた連続 5 波の画像数、 n_b が各画像に存在する気泡数、 y_b が瞬時水面を基準とした各気泡の鉛直深さ位置、 h が静水深を表す。添え字 i は画像数、 j は気泡数を表す。

再曝気係数 k_2 に規則波周期 T をかけた、無次元再曝気係数 $k_2 T$ と気泡パラメータ B_p の関係を図-3 に示す。両者には一定の相関がみられ(相関係数 0.8275)、気泡の発生量とその混入の深さが曝気に影響を与えることが確認できた。しかし、気泡が発生していない条件、つまり $B_p = 0$ の場合でも値は大きくばらついており、その差異を考慮できていない点には注意が必要である。

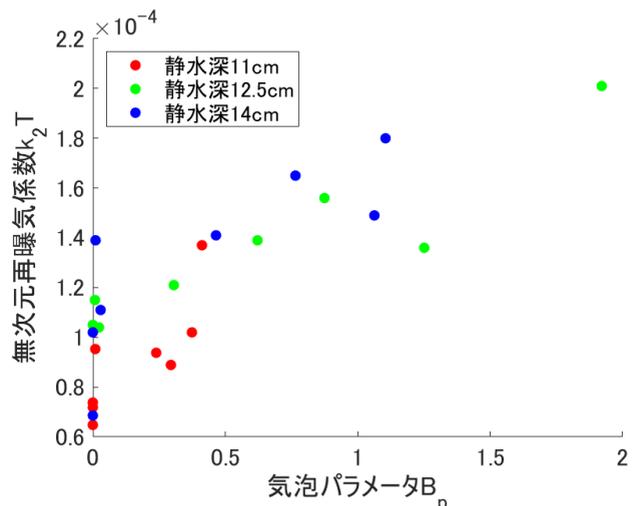


図-3 気泡パラメータと無次元再曝気係数の関係

3. 結論

本研究では、潜堤によるガス輸送の促進効果を、造波水槽を用いた水理実験手法によって検討した。潜堤の設置により砕波が引き起こされ、ガス輸送効率が増加することが確認された。気泡の鉛直深さの和を示す無次元量である気泡パラメータ B_p を定義し、無次元再曝気係数 $k_2 T$ との相関を確認した(相関係数 0.8275)。 B_p は、気泡の発生しない場合の無次元再曝気係数の差異を考慮できない点には注意が必要である。今後は適用範囲の詳細な検討を行う。

参考文献

- 1) 津守博通, 志賀慧, 畠山文香, 杉原裕司, 芹澤重厚, 吉岡洋: 大気-海洋間における CO_2 交換速度の波浪条件依存性, 海岸工学論文集, Vol.53, pp.51-55, 2006.
- 2) 竹原幸生, 加藤明秀, 江藤剛治: 風波による炭酸ガスの取り込み過程における可視化, 海岸工学論文集, Vol.46, pp.101-106, 1999.
- 3) 細井由彦, 村上仁士, 大東正男: 巻き波砕波による再曝気に関する研究, 海岸工学論文集, Vol.29, pp.565-569, 1982.
- 4) 猿渡亜由未, 渡辺康太, 大塚淳一, 渡部靖憲: 砕波に伴う二酸化炭素輸送に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.25, pp.837-842, 2009.
- 5) 細川恭史, 三好英一, 菊地治: 直立消波護岸の水理特性および曝気能実験, 港湾技研資料, No.312, 1979.
- 6) 鷺見浩一, 岩田浩一郎: 潜堤上の砕波に伴う気泡混入過程と気泡径に関する実験的研究, 海岸工学論文集, Vol.49, pp.101-105, 2002.