潜堤砕波の曝気速度に関する基礎水理実験

齋藤　有志[1]・山上　路生[2]・大西　左海[3]・西畑　剛[4]・片山　裕之[5]

[1] 非会員　五洋建設株式会社　技術研究所（〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1）
E-mail: saitou.yuushi@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

[2] 正会員　京都大学教授　防災研究所（〒612-8236 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口）
E-mail: sanjou.michio.6c@kyoto-u.ac.jp

[3] 正会員　五洋建設株式会社　技術研究所（〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1）
E-mail: sakai.oonishi@mail.penta-ocean.co.jp

[4] 正会員　五洋建設株式会社　技術研究所（〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1）
E-mail: takeshi.nishihata@mail.penta-ocean.co.jp

[5] 正会員　五洋建設株式会社　技術研究所（〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1）
E-mail: hiroyuki.katayama@mail.penta-ocean.co.jp

沿岸域に設置される潜堤による砕波は，大気中の二酸化炭素ガスの水中への輸送を促進することで，地球温暖化の抑制に資すると考えられる．潜堤砕波による曝気速度に関連のあるパラメータの 1 つとして，気泡パラメータが既往研究にて提案されているが，その検討が十分なされているとは言えない．本研究では造波水槽による基礎水理実験により，気泡パラメータと潜堤砕波による曝気速度の関係についてより詳細に検討をおこなった．無次元再曝気係数と気泡パラメータには正の相関がみられ（相関係数 0.8275），気泡パラメータが曝気速度を予測しうることが確認された．しかし，気泡が発生しない条件下での曝気速度を予測することはできない点に注意が必要である．

Key Words: *submerged breakwater, breaking waves, gas transfer, bubble generation and laboratory experiment*

1. 緒論

海洋は，地球温暖化の原因となる CO_2 の貯留ポテンシャルを有する．ネガティブエミッション技術（NETs）とは，大気中の CO_2 を回収し，貯留・固定化することによって地球温暖化の抑制に資する技術のことである．NETs の一つに，海洋肥沃化があげられる．これは，海洋生物の生産を促して CO_2 の貯留・固定化の加速を図る技術のことである [1]．CO_2 貯留・固定化のポテンシャルを有する，海草藻場，塩性湿地，マングローブの 3 種類の浅海域に生息する海洋生物は総称してブルーカーボンと呼ばれる [2]．また，海藻藻場や干潟といったその他の海洋生物も，ブルーカーボンと同様に CO_2 貯留・固定化のポテンシャルを有するとされている [3), 4]．浅海域に生息する海洋生物が，CO_2 の貯留先として陸域よりも優れている点は，貯留された炭素が酸化分解によって再び大気中に放出されずに，数千年程度という長期間留まる点である [5]．また，浅海域は，年間の全球の海底堆積物に含まれる炭素 1.9~2.4 億トンのうち，約 73~79 %，年間約 1.4~1.9 億トンもの炭素を貯留しうるとされている [1), 6]．

沿岸域に設置される潜堤による砕波は，大気中の CO_2 ガスの水中への輸送を促進する．潜堤とは，堤体を水面下にとどめた海岸構造物であり，強制的に砕波を起こすことで，岸側の海域での波浪減衰を図り，海岸の安定に資するものである．潜堤は海岸の安定化だけでなく，藻類の繁茂を促し，魚類の生息場を提供する漁礁としての機能をもつ [7]．したがって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．このように潜堤は沿岸域における海洋肥沃化を促すことが期待される．

大気と水中のガス輸送は，波や流れと密接に関係する複雑な物理化学現象である．ガス輸送を支配するスケーリングについては，Kolmogorov スケールの最小渦が支配的とする small eddy model[8), 9)]と，エネルギー保有渦が支

配的とするlarge eddy model[10]の，大きく２つの立場があるが，砕波といった気泡が多量に発生する場合には独自のモデルの開発が必要であるとされている[11]．ただし，これらのモデルは共通して，液体側の流体運動と，低溶解性の気体側の物性値であるシュミット数Scで記述される．そのため，これらのモデルの適用性はScを用いた補正を考えれば，低溶解性の気体の種類によらない[8),9),10),11)]．

潜堤による曝気について，齋藤ら[12)]は潜堤の存在により砕波が促進され，再曝気係数k_2が大きくなることを示した．また，齋藤ら[12)]は潜堤砕波による曝気速度を表現するパラメータとして気泡パラメータB_Pを提案し，水理模型実験を用いて無次元再曝気係数との関係を調べている．ただし，実験ケースが3ケースのみであり，潜堤砕波による曝気速度のモデル構築に際して十分な検討がなされているとは言えない．

そこで，本研究では，計24ケースの水理模型実験を行うことで，より詳細に潜堤砕波による曝気速度を表現するパラメータを調べ，潜堤砕波による曝気速度のモデル構築を行うことを目的とした．

2. 実験方法

実験は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの造波水槽で行った．この水槽は，長さ700 cm，幅20 cm，高さ19 cmであり，ピストン型造波装置を有している．この水槽に，アルミニウムの角材で長さ15 cm，幅20 cm，高さ10 cmの潜堤模型を作成・設置し，規則波を作用させる実験を溶存酸素計測実験と気泡計測実験の2種類行った．

規則波の潜堤砕波による曝気速度を評価するために，溶存酸素計測実験を行った．水槽内の溶存酸素濃度Cを低下させるために亜硫酸ナトリウムを溶かし入れ，2本の光学式溶存酸素計が示すCがどちらも1 mg/L未満に低下した後，造波・測定を開始し，Cの回復の様子を計測した．

溶存酸素計測実験の断面図を**図-1**に示した．x軸は水槽沖端を原点に岸向きを正に，y軸は水槽底面を原点に鉛直上向きを正にとった．$x = 0$~12 cmに吸収材，$x = 35$ cmに造波板の振動中心，$x = 79.7$ cmに容量式波高計，$x = 200$ cmと$x = 450$ cmに光学式溶存酸素計（YSI-ProODO），$x = 455$~470 cmにアルミニウムの角材で作成した高さ10 cmの潜堤模型，$x = 625$~700 cmに吸収材を設置した．容量式波高計は，水槽側壁から10 cm離した箇所（水槽幅方向中央）に設置した．2本の光学式溶存酸素計は，水槽沖側から岸側を見た時の右側の水槽側壁に沿わせて設置し，水底より$y = 5$ cmを測定するように設置した．光学式溶存酸素計のサンプリングレートは0.1 Hzとした．さらに容量式波高計で，潜堤の沖側$x = 79.7$ cmの水面変動をサンプリングレート10 Hzで計測した．

規則波の潜堤砕波による気泡混入過程を調べるために気泡計測実験を行った．水槽側方に高速度カメラを設置し，サンプリングレート10 Hzで連続5波分の画像を撮影し，画像から目視で気泡の個数と，瞬時水面を基準とした各気泡の鉛直気泡深さy_bの集計を行った．高速度カメラによる撮影の際には，気泡の視認性確保のため，光学式溶存酸素計を取り除いた．

実験ケースは，静水深3パターン，静水深毎に規則波8パターンの計24ケース行った．**表-1**は実験ケースの水理条件である，静水深h，規則波の波高Hと周期Tを系統変化させた．また，HとTの比較のため潜堤ありだけでなく，潜堤なしで造波板を同様に動作させた場合でもHとTの測定のみ行った．いずれのケースも砕波が発生したが，気泡混入を伴わなかったケースのケース名には*をつけた．

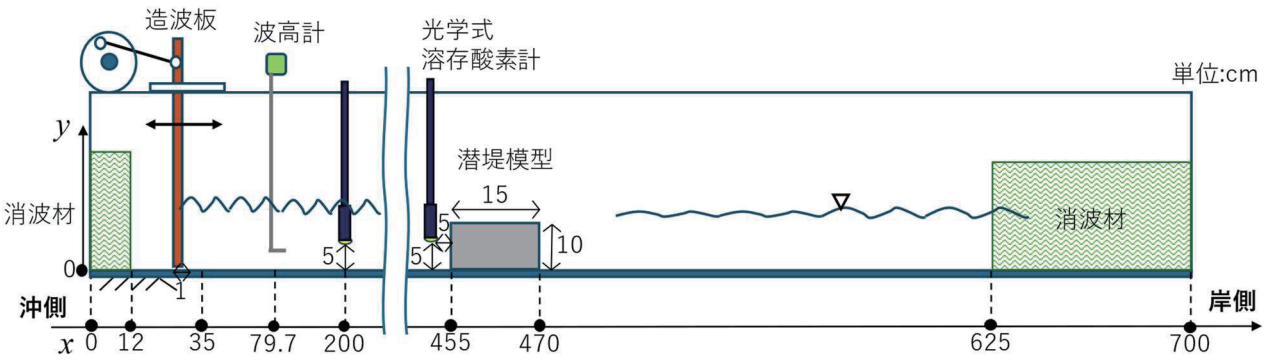


図-1 実験装置と座標系

表-1　実験条件（*：気泡混入なし）

ケース名	静水深 h (cm)	潜堤なし		潜堤あり	
		規則波波高 H (cm)	規則波周期 T (s)	規則波波高 H (cm)	規則波周期 T (s)
h11-1*	11.0	1.435	1.496	1.498	1.501
h11-2		1.662	1.388	2.466	1.384
h11-3*		1.380	1.285	1.705	1.285
h11-4		1.458	1.205	1.835	1.201
h11-5*		2.549	1.126	1.906	1.123
h11-6		2.854	1.057	4.387	1.225
h11-7		2.170	1.000	2.594	0.999
h11-8		2.241	0.951	3.218	0.988
h12_5-1*	12.5	3.158	1.000	1.536	1.005
h12_5-2		2.526	0.900	1.779	0.903
h12_5-3		3.029	0.822	2.083	0.819
h12_5-4		3.169	0.747	4.314	0.753
h12_5-5		3.857	0.723	3.389	0.717
h12_5-6		4.257	0.690	4.400	0.692
h12_5-7		4.352	0.662	4.309	0.667
h12_5-8		4.301	0.639	3.867	0.648
h14-1*	14.0	1.824	1.202	1.457	1.200
h14-2		3.066	1.125	3.459	1.125
h14-3*		2.927	1.059	1.991	1.053
h14-4		2.081	0.996	4.503	1.000
h14-5		2.788	0.902	3.774	0.900
h14-6		3.935	0.691	4.255	0.693
h14-7		3.707	1.124	4.694	1.125
h14-8		2.777	0.998	5.738	1.001

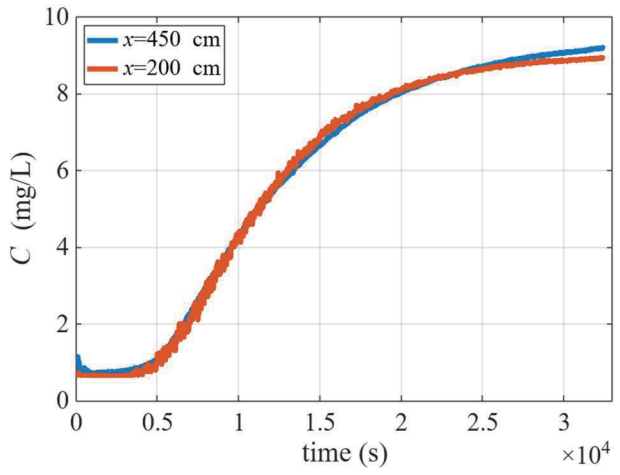


図-2　ケース h11-8 の溶存酸素濃度Cの推移
x=450 cm と x=200 cm の比較

3.　結果と考察

(1)　再曝気係数の算出

水槽内でCが一様であると仮定すると，溶存酸素の収支式は式(1)のように表される．

$$\frac{\mathrm{d}VC}{\mathrm{d}t} = Ak_L(C_s - C) \tag{1}$$

ここで，Vは水体積，Cは溶存酸素濃度，tは時間，Aは気液界面面積，k_Lは液相物質移動係数，C_sは飽和溶存酸素濃度を表す．水体積Vが一定の時，式(2)が成り立つ．

$$\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}t} = \frac{A}{V}k_L(C_s - C) \tag{2}$$

気泡の存在する場合など，Aを明確に決定するのが困難な場合，再曝気係数k_2を使った式(3)が用いられる．

$$\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}t} = k_2(C_s - C) \tag{3}$$

式(3)を時間積分して，初期溶存酸素濃度C_0として，初期条件$t = 0$の時$C = C_0$を用いると，式(4)が求められる．

$$C = -\mathrm{e}^{-k_2 t}(C_s - C_0) + C_s \tag{4}$$

ケース h11-8 の光学式溶存酸素計から得られた溶存酸素濃度Cの推移を$x = 450$ cm と$x = 200$ cm で比較したものを**図-2** に示した．砕波によるk_2を求める際にはCの岸沖方向分布を考慮するのが望ましい[13]が，本研究では，実験の制約から岸沖方向に多数の点での溶存酸素の計測を行うことができなかった．そのため，水槽内でCが一様であるという仮定を用いて，潜堤に近い$x = 450$ cm の光学式溶存酸素計で得られたCの時系列データを，式(4)に非線形最小二乗法で近似することで，潜堤砕波による曝気速度を示す再曝気係数k_2を算出した．その際，Cが単調増加を始めた後の，$C = 2\sim8$ mg/L の間のデータを用いて近似を行った．近似における決定係数R^2は，全 24 ケースにおいて$R^2 > 0.98$であった．

k_2は温度に影響を受けるため，$C = 2\sim8$ mg/L の間に$x = 450$ cm の光学式溶存酸素計が測定した水温の平均値D ℃を用いて，式(5)でk_2に補正係数をかけることで，温度 20 ℃の時のk_2に相当する$k_{2_{20℃}}$を算出した[14]．

$$k_{2_{20\,℃}} = \frac{k_2}{1.047^{(D-20)}} \tag{5}$$

$k_{2_{20\,℃}}$に潜堤なしの時の規則波周期Tを乗じて無次元化することで，1 波ごとの潜堤砕波による曝気速度を示す無次元再曝気係数$k_{2_{20\,℃}}T$を算出した．$k_{2_{20\,℃}}T$と相関のあるパラメータについて以下で調べた．

(2) 換算沖波波形勾配と無次元再曝気係数の関係

換算沖波波高H_0'を沖波波長L_0で除した換算沖波波形勾配H_0'/L_0と，$k_{2_{20\,℃}}T$の関係を，24 ケースで比較したものを**図-3** に示した．ここで，H_0'は潜堤なしの時の規則波波高Hと浅水係数K_sを用いて算出された換算沖波波高，$L_0(=gT^2/2\pi)$は重力加速度 g，潜堤なしの時の規則波周期T，円周率πを用いて算出された沖波波長を表す．**図-3** から，H_0'/L_0と$k_{2_{20\,℃}}T$には正の相関が見られた(相関係数$r = 0.6712$)．よって，H_0'/L_0は潜堤砕波による曝気効率を表現しうると考えられる．ここで，$h = 11.0$ cm と$h = 14.0$ cm では，**図-3** の点線枠内のように同静水深内で 2 つの傾向がみられる．この傾向は，造波条件によって，潜堤砕波の砕波形態が異なるために現れたと考えられる．よって，潜堤砕波の砕波形態を分類し，砕波形態ごとの$k_{2_{20\,℃}}T$との関係を調べれば，より正確に$k_{2_{20\,℃}}T$の予測が可能になると考えられる．

(3) 波レイノルズ数と無次元再曝気係数の関係

波レイノルズ数$Re(= H_0'^2/T\nu)$と$k_{2_{20\,℃}}T$の関係を，24

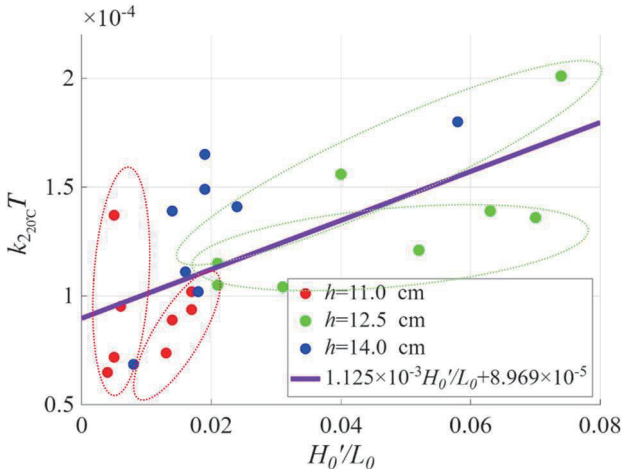


図-3 換算沖波波形勾配と無次元再曝気係数の関係

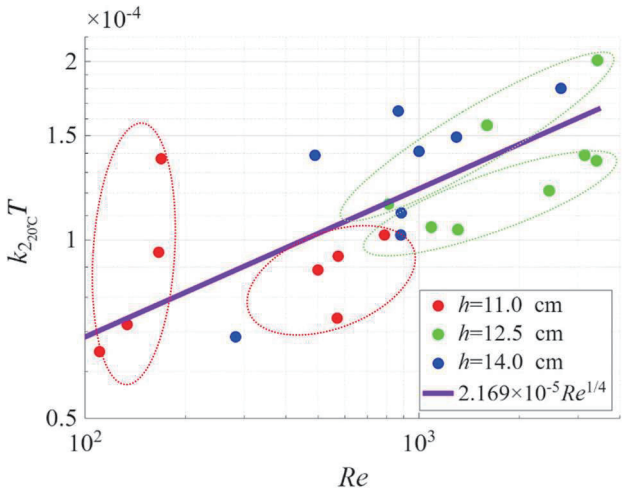


図-4 波レイノルズ数と無次元再曝気係数の関係

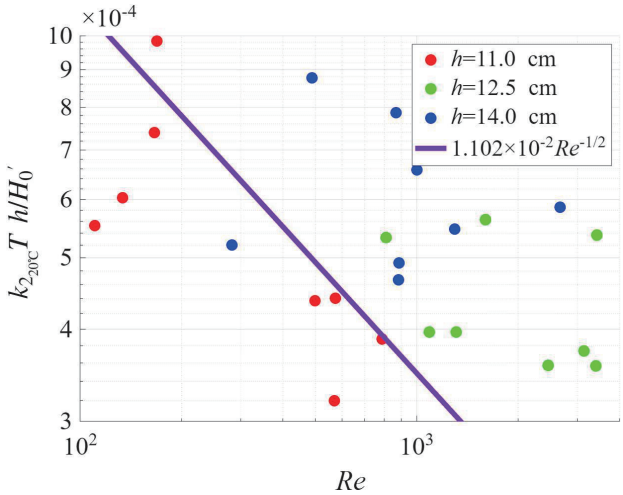


図-5 波レイノルズ数と無次元物質移動係数の関係

ケースで比較したものを**図-4** に示した．ここで，$\nu(=1.004\times10^{-2}\ \mathrm{cm^2/s})$は温度 20 ℃での水の動粘性係数を表す．$Re^{1/4}$と$k_{2_{20}℃}T$には正の相関がみられた$(r=0.6867)$．**図-4** の点線枠内のように同静水深内で 2 つの傾向がみられるのはH_0'/L_0との比較の際と同様であり，砕波形態が関係していると考えられる．なぜ1/4乗則に従うのかという理論的背景については議論の余地があるが，前節のH_0'/L_0を用いた結果とあわせて，従来から用いられている波浪諸元から，おおよその潜堤砕波による曝気速度を予測できることが確認された．

(4) 波レイノルズ数と無次元物質移動係数の関係

ガス輸送を支配するスケーリングについて，エネルギー保有渦が支配的とする large eddy model は，式(6)のように表される [10]．

$$\frac{k_L Sc^{1/2}}{u} \propto Re_L^{-1/2} \tag{6}$$

ここで，$Sc(=\nu/D)$はシュミット数（νは動粘性係数，Dは拡散係数），uは積分スケールの乱流速度，Re_Lはuと積分スケールの長さを用いて定義される乱流レイノルズ数を表す．large eddy model では，乱流のカスケード過程において低周波数側の大規模渦がもつエネルギーがガス輸送を支配すると考える．本現象では沖波がもつエネルギーがガス輸送に関係すると解釈して，以下のように波の諸元を積分スケールに適用した．

Scは温度 20 ℃一定を仮定すれば$Sc=\mathrm{const.}$，波や気泡によるAの変動を無視すれば$k_L=hk_2$であり，uにH_0'/T，Re_Lに波レイノルズ数$Re(=H_0'^2/T\nu)$を用いると式(6)は，式(7)のように表される．

$$k_{2_{20}℃}T\frac{h}{H_0'} \propto Re^{-1/2} \tag{7}$$

Reと無次元物質移動係数$k_{2_{20}℃}T\,h/H_0'$の関係を，24 ケースで比較したものを**図-5** に示した．$Re^{-1/2}$と$k_{2_{20}℃}T\,h/H_0'$には正の相関がみられたが，前節に比べるとばらつきが大きかった$(r=0.4565)$．このことから，気泡が多量に発生する砕波が関連する曝気現象では，large eddy model[10]の適用は難しいことが確認された [11]．

(5) 気泡パラメータと無次元再曝気係数の関係

水中に取り込まれる気泡が多く，また水中の深い箇所に気泡が取り込まれるほど曝気速度が高まるという考えから定義された，1 画像あたりの気泡の鉛直相対深さの和を表す気泡パラメータB_Pと$k_{2_{20}℃}T$の関係を調べた．気泡パラメータB_Pは，式(8)で定義される [12]．

$$B_P=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n_{b_i}} y_{b_{i,j}}}{n\cdot h} \tag{8}$$

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．

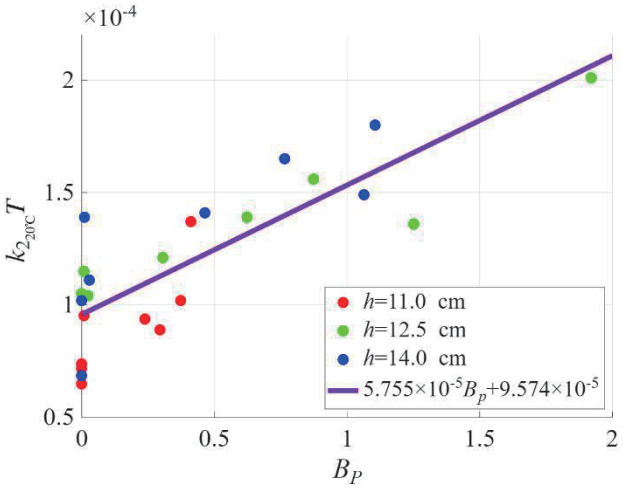


図-6 気泡パラメータと無次元再曝気係数の関係

B_Pと$k_{2_{20}℃}T$の関係を，24 ケースで比較したものを**図-6** に示した．B_Pと$k_{2_{20}℃}T$には正の相関が見られた$(r=0.8275)$．よって，B_Pは潜堤砕波による曝気効率を表現しうると考えられる．ただし，$B_P=0$，つまり，気泡が発生していない条件でも$k_{2_{20}℃}T$の値はばらついていることに注意が必要である．これは，気泡が発生せずとも，波が潜堤を通過する際の水表面の乱れによって曝気速度に差が出るからであると考えられる．このような気泡以外の曝気効率への影響をあわせて考慮することで，より正確に曝気速度の予測が可能になると考えられる．

4. 結論

本研究では，京都大学宇治川オープンラボラトリーの造波水槽にて，規則波の潜堤砕波による曝気速度についての基礎水理実験を行い，空気中から水中への曝気現象のメカニズムについて考察した．その結果，以下の知見を得た．

1. 1 波ごとの潜堤砕波による曝気速度を示す無次元再曝気係数は，換算沖波波形勾配や，波レイノルズ数の1/4乗，気泡パラメータと相関があることが分かった．24 ケースの実験結果より，無次元再曝気係数との相関係数はそれぞれ，0.6712, 0.6867, 0.8275 であった．
2. より正確な曝気速度の推測を行うためには，以下の 2 点に注意が必要である．1 つ目は，換算沖波波形勾配や，波レイノルズ数を用いる場合，砕波形態の影響を考慮すること．2 つ目は，気泡パラメータを用いる場合，気泡以外の曝気速度への影響を考慮することである．

今後の課題としては，以下の項目があげられる．

1. 気泡パラメータの適用範囲について，実験データベースを拡充し，より詳細に検討する．
2. 本研究では気泡の計測を目視で行ったため，主観性を完全に排除できていない．客観的な解析を担保するために，ボイド率計などの電子機器を用いた高精度な気泡計測法を確立させる．

謝辞：本研究を遂行するにあたり，九州大学・杉原裕司教授にはガス溶解のメカニズムについて貴重な助言を頂いた．また，京都大学防災研究所・三浦技術職員には実験模型の製作を支援頂いた. 併せてここに謝意を表する．

REFERENCES

1) IEA: Net Zero by 2050A Roadmap for the Global Energy Sector, https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050, 1 Feb 2025.
2) Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., and Grimsditch, G.: Blue Carbon - A Rapid Response Assessment, *United Nations Environmental Programme,* GRID-Arendal, Birkeland Trykkeri AS, Birkeland, 2009.
3) Ikawa, H. and Oechel, W.C.: Temporal variations in air-water CO_2 exchange near large kelp beds near San Diego, California, *Journal of Geophsical Research Oceans*, Vol. 120, pp. 50-63, 2014.
4) Krause-Jensen, D. and Duarte, C. M.: Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration, *Nature Geoscience*, Vol. 9, pp. 737-742, 2016.
5) Mateo, M. A., Romero, J., Pérez, M., Littler, M.M. and Litter, D.S.; Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, Estuarine, *Coastal and Shelf Science*, Vol. 44, pp. 103-110, 1997.
6) Kuwae, T. and Hori, M.: Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems; Carbon Dynamics, Policy, and Implementation, *Springer Nature*, 373p., 2019.
7) 三橋宏次：透過性潜堤について，水産土木，Vol. 6, No. 2, pp. 43-53, 1970. [Mitsuhashi, H.: On permeable submerged breakwaters, *Proceedings of Annual Meeting of the Japanese Society of Fisheries Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 43-55, 1970.]
8) Banerjee, S., Rhodes E. and Scott, D. S.: Mass transfer to falling wavy liquid films in turbulent flow, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, Vol.7, pp. 22-27, 1968.
9) Lamont, J. C. and Scott, D. S.: An eddy cell model of mass transfer into the surface of a turbulent liquid, *AIChE J.*, Vol. 16, pp. 513-519, 1970.
10) Fortescue, G. E. and Pearson, J. R. A.: On gas absorption into a turbulent liquid, *Chem. Eng. Sci*., Vol. 22, pp. 1163-1176, 1967.
11) 角野昇八, Douglas, B. M., 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，Vol. 45, pp. 66-70, 1998. [Kakuno, S., Douglas, B. M., Tatekawa, M., Shintani, T. and Shigematsu, T., Analysis of the oxygen uptake capacity of surf zone breaking waves based on various energy dissipation rate models, *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE*, Vol. 45, pp. 66-70, 1998.]
12) 齋藤有志，山上路生，大西左海，西畑剛，片山裕之：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，土木学会論文集，Vol. 81, No. 16, 2025. [Saito, Y., Sanjou, M., Onishi, S., Nishihata, T. and Katayama, H.: Fundamental Experimental Study on Promotion of Gas Transfer Induced by Submerged Breakwater, *Journal of JSCE*, Vol. 81, No. 16, 2025.]
13) 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. [Hosoi, Y., Murakami, H. and Daito, M.: Study on reaeration by rolling wave breaking, Proceedings of coastal engineering, Vol.29, pp.565-569, 1982.]
14) Elmore, H. L. and West, W. F.: Effect of Water Temperature on Stream Reaeration, *J. Sanitary Engineering Division*, *ASCE*, Vol. 87, No. SA 6, pp. 59-71, 1961.
15) 桑江朝比呂, 吉田吾郎, 堀正和, 渡辺謙太, 棚谷灯子, 岡田知也，梅澤有，佐々木淳：浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 75, No. 1, pp. 10-20, 2019. [Kuwae, T., Yoshida, G., Hori, M., Watanabe, K., Tanaya, T., Okada, T., Umezawa, Y. and Sasaki, J.: Nationwide Estimate of The Annual Uptake of Atomospheric Carbon Dioxide by Shallow Coastal Ecosystems in Japan, *Journal of JSCE, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 75, No. 1, pp. 10-20, 2019.]
16) 角野昇八，細井由彦，竹原幸生，朝位孝二，杉原裕司，中村由行，吉岡洋，平口博丸，江藤剛治，中山忠暢：水表面での気体輸送に関する研究の最新の動向，土木学会論文集，No. 656/II-52, pp. 269-287, 2000. [Kakuno, S., Hosoi, Y., Takehara, K., Asai, K., Sugihara, Y., Nakamura, Y., Yoshioka, H., Hirakuchi, H., Etoh, T. and Nakayama, T.: The State-of-The-Art on Gas Transfer at Water Surfaces, *Journal of JSCE*, No. 656/II-52, pp. 269-287, 2000.]
17) 杉原裕司，山上路生：界面水理学における乱流とガス交換－実験とモデルの進展－，ながれ，Vol. 30, pp. 181-193, 2010. [Sugihara, Y. and Sanjou, M.: Turbulence and gas transfer in interfacial hydraulics -progresses of experiments and models-, *Nagare*, Vol. 30, pp. 181-193, 2010.]

(Received May 30, 2025)
(Accepted September 18, 2025)

土木学会論文集, Vol. 82, No. 16, 25-16154, 2026.

EXPERIMENTAL STUDY ON GAS TRANSFER CAUSED BY SUBMERGED BREAKWATERS

Yushi SAITO, Michio SANJOU, Sakai ONISHI, Takeshi NISHIHATA and Hiroyuki KATAYAMA

The wave breaking caused by submerged breakwaters installed in coastal areas is expected to contribute to the suppression of global warming by promoting the transport of atmospheric carbon dioxide gas into the water. The bubble parameter was proposed in previous studies as one of the parameters related to the gas transfer rate due to wave breaking over submerged breakwaters, but their examination is not sufficient. In this study, we conducted basic hydraulic experiments using a wave flume to investigate the relationship between bubble parameters and the aeration rate due to wave breaking over submerged breakwaters in more detail. A positive correlation was found between the dimensionless reaeration coefficient and the bubble parameter, although it is not possible to predict the aeration rate under conditions where bubbles do not occur.