

砕波帯における CO2 濃度及び pH の時空間変化

Spatial and temporal properties of dissolved CO2 concentration and pH in the surf zone

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 渡辺康太 (Kouta Watanabe)

北海道大学大学院工学研究科准教授 正 員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

現在人間活動により排出される二酸化炭素の約半分は海洋に吸収されている。海水は約 pH8.1 程度の弱アルカリ性であることが知られているが大気中の炭酸ガス濃度の増加に伴い海水への二酸化炭素の溶解に伴う水素イオンの顕著な増加が近年指摘され、いわゆる「海の酸性化」が深刻な問題となっている。水素イオンの増加は炭酸イオン濃度の低下を引き起こし、炭酸カルシウムを主成分とするプランクトンの殻やサンゴの骨格などが溶け出し、それらの生物の生存が危ぶまれている。沿岸域における砕波はエアレーションを促進し、同時に生成された乱れによる拡散によりガス輸送に大きな影響を与えるものと考えられる一方、沿岸域は外洋に比べて面積は非常に小さいため大きな注目を浴びていた訳ではなかった。しかしながら近年の海洋観測において、砕波帯では外洋に比べて気泡径のレンジや気泡量が大きく、植物プランクトンなどによる生物活動も盛んなため沿岸域での二酸化炭素供給を支配しているものと考えられる。本研究では、沿岸域における二酸化炭素交換の重要な役割を担っている砕波について二酸化炭素の輸送並びに砕波帯の pH 分布を実験により取得し、それらの時空間変化の特徴を考察していく。

2. 実験装置と実験条件

実験は長さ 8m、幅 0.25m、高さ 0.6m の全面透明アクリル製の変可変勾配可視化造波水槽で行った（図 1 参照）。勾配は 1/20。巻き波（砕波波高 7.5cm、周波数 0.54Hz）と崩れ波（砕波波高 6.5cm、周波数 0.9Hz）の砕波形態について砕波点を含む 6 つの計測点においてガラス電極式 CO2 メーター（東亜 DKK 製）により溶存 CO2 濃度を、pH メータ（HORIBA 製）により PH 分布を計測した。図 1 に示すように計測点 1 の水深は 16cm でそこから岸方向へ 50cm 間隔で計測し、砕波点は両形態共に計測点 3 であった（図 2 参照）。密閉した水槽に（8L/s）で二酸化炭素を流すと同時に造波し、T 分後に各計測点での CO2 濃度及び pH を計る（T=1～10）。計測終了後、溶液を不活性ガスで曝気し二酸化炭素を除去し測定を繰り返す。

	砕波形態	振幅	周期	砕波点	メディア	計測項目
case1	波なし				淡水	CO2 濃度
case2	巻き波	70cm	0.54Hz	計測点 3	淡水	CO2 濃度
case3	崩れ波	45cm	0.9Hz	計測点 3	海水	pH
case4	巻き波	70cm	0.54Hz	計測点 3	海水	pH

表 1 実験条件

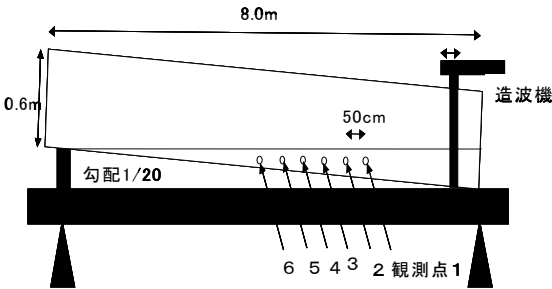


図 1 実験装置

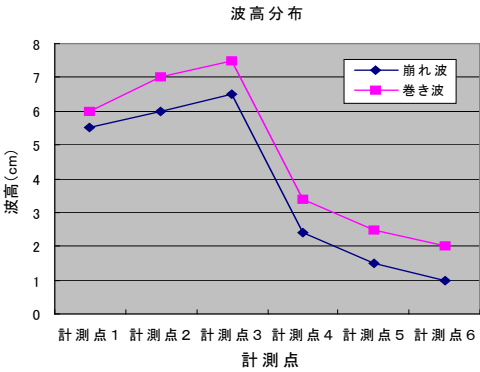


図 2 波高分布

二酸化炭素は水に溶解すると次式に示すように 3 つの無機炭素の形態をとる。(HCO₃⁻は炭酸水素イオン、CO₃²⁻は炭酸イオン)。



一般に海水は、溶存二酸化炭素・炭酸水素イオン・炭酸イオンを、およそ 1%・90%・10%含み、pH に応じて図 3 のようなモル分率の変化を示す。本研究では、pH に応じて変化するイオンについてもイオン強度剤を添加して計測し、溶存二酸化炭素二酸化炭素に加え全炭酸の時空間変化を調査した。

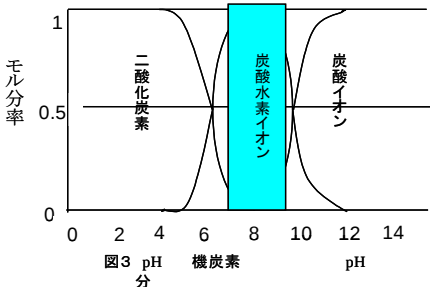
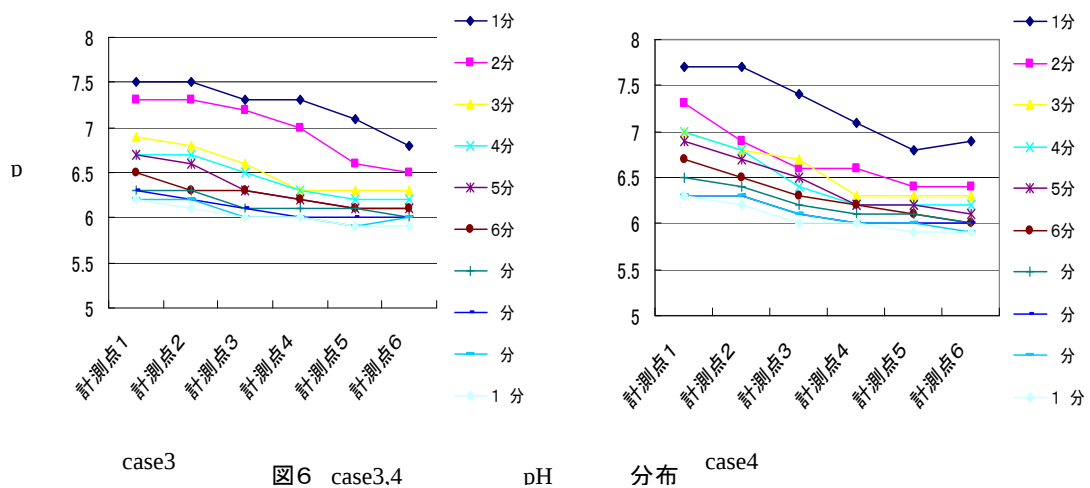
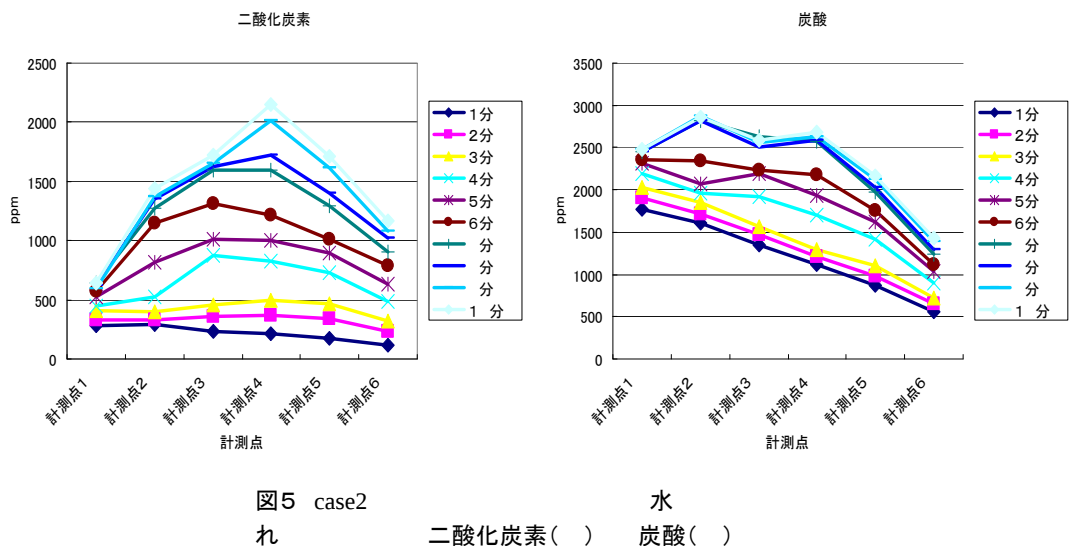
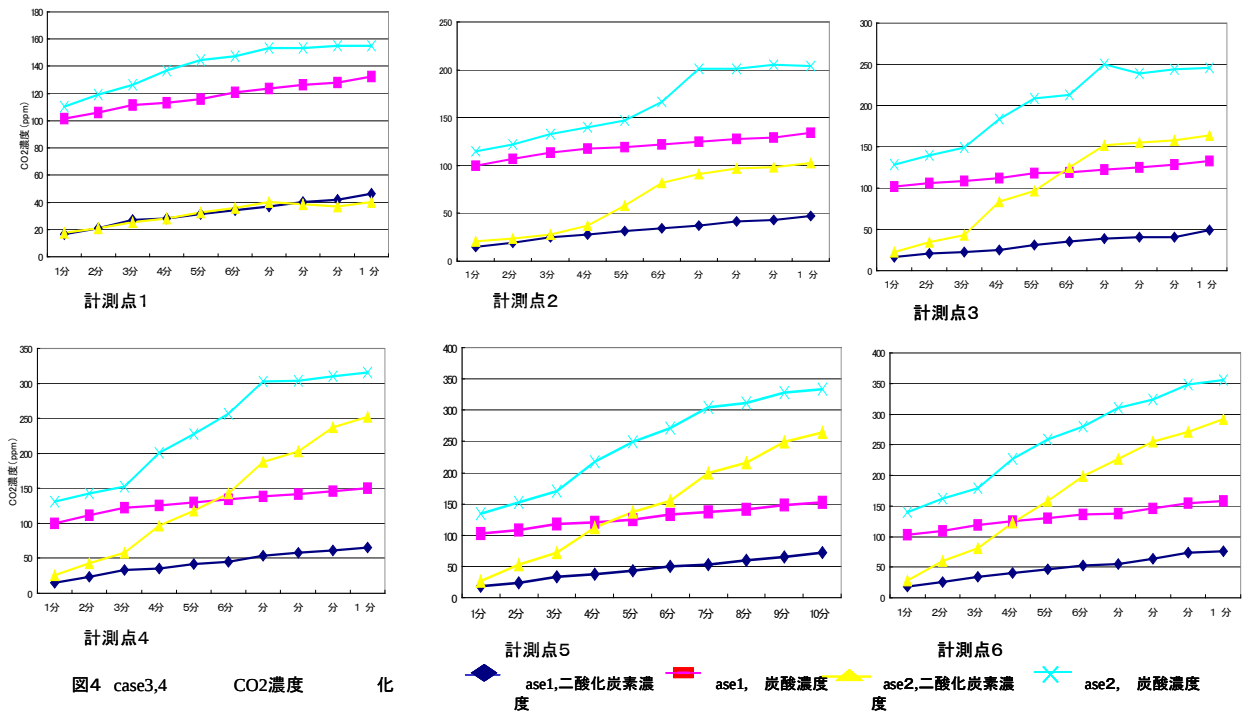
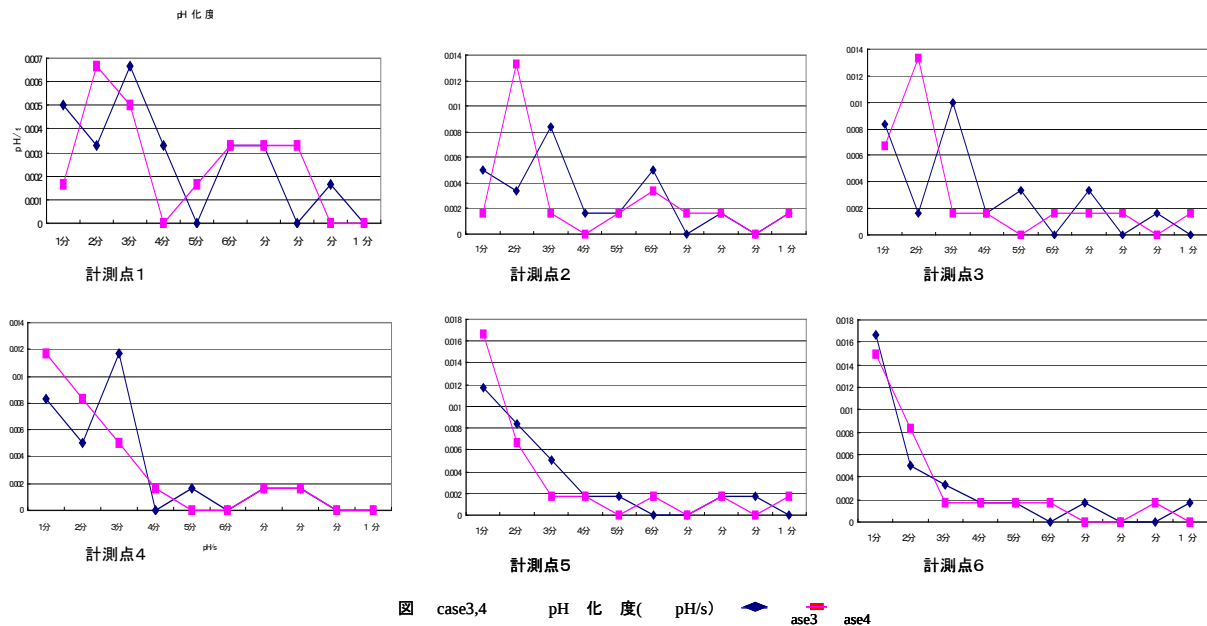


図3

3. 計測結果





4. 考察

図4は、各計測点における無波浪時（case1）と巻き波（case2）の溶存二酸化炭素及び全炭酸濃度の時間変化を表している。Case1の結果は、静水中への気体の分子拡散のみの輸送による濃度変化を表している。砕波によるエアレーション及び乱流輸送の影響を受けない砕波点から沖側1mの地点である計測点1では、case1と大きく変わらない。計測点2では造波開始後数分程度までは計測点1と同様にcase1と明確な差異は発生しないが、その後砕波帯内で顕著に溶解した気体が徐々に発達してきた戻り流れにより沖側へ輸送され、穏やかに増加する。砕波帯内では、造波開始と共に溶存炭酸ガス及び全炭酸両者が単調増加し、その増加量は水深が浅い岸側に向かっておおきくなる。これは水中へ輸送された炭酸ガスが単位面積あたりの水柱の体積の小さい流体に溶解し濃度が相対的に増加した結果である。全炭酸は流体のpHから推算するとそのほとんどが溶存二酸化炭素と炭酸水素イオンを示していると考えられる。（図3参照）。初期的に全炭酸を支配していた炭酸水素イオンが造波時間の経過と共に相対的に低下し、この傾向は砕波の進行と共に顕著となることがわかる。これは二酸化炭素の溶解と共に低下するpHに応じて相対的に溶存二酸化炭素が支配的になることから説明できる。

図5は単位面積あたりの水柱内の溶存二酸化炭素及び全炭酸のネットの量の岸沖分布を表している。溶存二酸化炭素は着水点（計測点4）で最大値をとり砕波の進行に伴い減少していく。すなわちエアレーションの活発な領域を中心として溶存二酸化炭素が分布していることを表している。一方、全炭酸は後に示す炭酸ガス輸送の結果として現れるpHの低下に伴い炭酸ガス濃度の高い砕波帯において顕著な増加を示さないことがわかる。

図6は海水のpHを岸沖分布について砕波形態に対して比較したものである。崩れ波砕波（case3）では砕波点から岸方向へ緩やかに低下するpH分布をもつが、巻き波砕波

（case4）では砕波後、高い低下率でpHが減少し、その時間変化も大きい。大量の気泡が海中に混入される巻き波砕波はそのエアレーション効果により気体輸送速度を増加させていることがわかる。

図7はcase3、4について各計測点におけるpH変化速度の時間変化を表している。着水後の領域において造波開始後初期で顕著なpHの低下が現れ、その低下率は指数関数的に減少することがわかる。

5. 結論

1. 溶存二酸化炭素はエアレーションの活発な砕波着水点で最大値を示すのに対し全炭酸は砕波帯において顕著な増加を示さない。
2. 巻き波砕波はエアレーション効果が崩れ波よりも高く大量の気泡が混入されるため気体輸送速度が崩れ波より早い。
3. 巻き波、崩れ波ともに着水後の領域において造波開始後初期で顕著なpHの低下が現れ、その低下率は指数関数的に減少する

6. 参考文献

- 1) 地球環境フロンティアホームページ
(<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jp/index.html>)
- 2) 渡部靖憲ら：砕波波面直下の縦渦遷移と熱・物質拡散率について、海岸工学論文集、第52巻（2005）

