

# 海底勾配の影響を考慮した海浜碎波の酸素取り込み機能に関する総括的考察

角野昇八\*・杉田智行\*\*・合田 巧\*\*\*

## 1. 緒 言

海浜の碎波による酸素の取り込み作用（再曝気作用）は、植物の光合成作用とならんで浅海域の溶存酸素(DO)の大きな供給源の1つと考えられ、その現象の解明は周辺の生態系の育成や水質環境保全の観点から重要である。また、取り込みはガスの種類によらず同じ機構で生ずることから、この現象の解明は地球温暖化に関わる炭酸ガスの海水への取り込み作用の解明とも関連して重要である。著者らは、海浜の碎波による酸素の取り込み機構解明のための従来の実験方法には難点があることを指摘するとともに、それを克服する目的で波動はほぼ完全に伝達させるが物質は全く透過させないような材質と構造のポリエチレン膜を碎波点の沖側に設置して水域を遮断して、曝気容積を限定した状態で実験を行った。そして、これまでである程度の成果を挙げることができている。しかし、そこでの斜面勾配は1/20勾配に限られ、斜面勾配が異なる場にも適用できる普遍的な成果を挙げるまでには至っていない。

本研究では、1/20 斜面勾配の結果に加え、1/10 および 1/30 の斜面勾配上でも同様の実験を新たに行って、それらの成果も考慮に入れて海浜の碎波による酸素取り込み作用の実態の総括的解明を試みるとともに、小縮尺実験結果の範囲内ではあるが再曝気機能の具体的推定法を提案する。

## 2. 1/10 および 1/30 勾配の緩斜面での碎波の酸素取り込み機能に関する実験

造波水槽中の碎波あるいは非碎波波面の酸素取り込み機能に関する従来の実験では、開水路流れの場合とは異なり、主要曝気源である碎波以外に非碎波波面や水槽端の造波板、消波構造などにも曝気源があるという相違点に注意を払うことが必要であることを著者らは既に指摘した。そして、波動はほぼ完全に伝達させるが物質は全く透過させないような材質と構造の薄膜（ポリエチレン

膜）で主要曝気源である碎波域を沖側水域から遮断し、碎波域から（あるいは碎波域へ）の溶存酸素の移流が生じないようにさせて、曝気に関わる容積（曝気容積）を特定した状態で実験を行い、緩斜面上での碎波の酸素取り込み機能の正確な評価をめざした実験を行った（角野ほか、1995）。1/10 および 1/30 勾配の斜面を用いた今回の実験においても斜面勾配を変えた以外はほぼ同じ実験手法によった。ただし、薄膜の設置位置は若干変えている。

### (1) 実験方法

実験は、長さ 20 m、幅および高さ 0.5 m の 2 次元造波水槽を用い、その一端に 1/10 あるいは 1/30 勾配の木製の斜面滑面を設置して行った。水深は全ケースで 0.3 m で一定とした。実験ケースは、波の周期および波形勾配を種々変化させた計 24 ケース（1/30 勾配）あるいは 16 ケース（1/10 勾配）とし、巻き波碎波および崩れ波碎波が発生するようにさせた。

水域を限定するためのポリエチレン膜は厚さ 0.04 mm のものを用いて水槽内に設置した。設置状況の詳細については角野ほか（1995）と同様である。膜の設置位置は、1/20 勾配の実験では碎波水深の 1.5 倍以内の水深位置で固定していたが、今回の 1/30 勾配の実験では碎波水深の 1.5 倍程度の水深位置に、また 1/10 勾配の実験ではその 3 倍程度の水深位置に設置した。また、前回は、比較のために、ポリエチレン膜で曝気容積を限定しない状態での実験もすべてのケースについて行ったが今回は行っていない。表-1 には、今回の実験の波の特性とともに、碎波水深、碎波波高、曝気面積、曝気容積、さらに碎波形態の種別を示した。実験波の周期は 0.88 s から 2.00 s まで変化させ、さらに周期別に沖波波形勾配を変

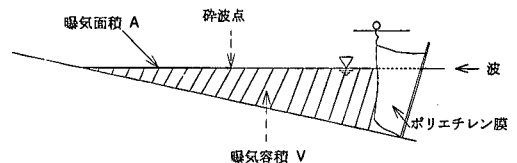


図-1 曝気面積および曝気容積の取り方

\* 正 会 員 工 博 大阪市立大学助教授 工学部土木工学科

\*\* 学生会員 大阪市立大学大学院 工学研究科

\*\*\* 清水建設(株)

表一 実験条件および実験結果

| 勾配   | RUN | 砕波<br>形式 | $T$<br>(s) | $H_0'$<br>(cm) | $H_0/L_0$ | $H_0$<br>(cm) | $h_0$<br>(cm) | $A$<br>(cm <sup>2</sup> /cm) | $V$<br>(cm <sup>3</sup> /cm) | $t$<br>(°C) | $k_2 \times 10^{-3}$<br>(1/s) | $nK_L \times 10^{-2}$<br>(cm/s) | $K_L \times 10^{-3}$<br>(cm/s) |
|------|-----|----------|------------|----------------|-----------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1/10 | 101 | PL       | 0.90       | 4.9            | 0.039     | 4.7           | 4.3           | 43                           | 1125                         | 11.5        | 1.33                          | 3.49                            | 2.08                           |
|      | 102 | SP       | 0.90       | 8.9            | 0.070     | 6.9           | 7.0           | 70                           | 2645                         | 11.9        | 0.97                          | 3.65                            | 3.16                           |
|      | 103 | SP       | 0.90       | 10.3           | 0.082     | 9.6           | 11.6          | 116                          | 2645                         | 11.8        | 1.87                          | 4.27                            | 5.18                           |
|      | 104 | SP       | 0.90       | 11.0           | 0.087     | 10.3          | 12.5          | 125                          | 2645                         | 9.3         | 2.39                          | 5.05                            | 6.52                           |
|      | 105 | PL       | 1.00       | 4.6            | 0.030     | 4.1           | 3.5           | 35                           | 1445                         | 11.9        | 0.91                          | 3.78                            | 1.58                           |
|      | 106 | PL       | 1.00       | 7.1            | 0.045     | 6.9           | 6.5           | 65                           | 1445                         | 12.5        | 1.09                          | 2.43                            | 1.71                           |
|      | 107 | PL       | 1.00       | 9.6            | 0.061     | 7.3           | 7.0           | 70                           | 2645                         | 9.7         | 1.07                          | 4.06                            | 3.01                           |
|      | 108 | PL       | 1.10       | 5.8            | 0.031     | 5.7           | 5.0           | 50                           | 1445                         | 12.9        | 0.97                          | 2.81                            | 1.35                           |
|      | 109 | PL       | 1.10       | 8.7            | 0.046     | 8.7           | 8.3           | 83                           | 1445                         | 12.3        | 3.18                          | 5.54                            | 4.07                           |
|      | 110 | PL       | 1.10       | 11.1           | 0.059     | 10.2          | 10.3          | 103                          | 2645                         | 11.4        | 2.76                          | 7.09                            | 6.10                           |
|      | 111 | PL       | 1.20       | 4.4            | 0.020     | 5.4           | 4.6           | 46                           | 1125                         | 11.0        | 1.46                          | 3.58                            | 1.38                           |
|      | 112 | PL       | 1.20       | 8.1            | 0.036     | 7.7           | 6.9           | 69                           | 1901                         | 10.0        | 1.52                          | 4.20                            | 2.30                           |
|      | 113 | PL       | 1.20       | 10.9           | 0.049     | 10.6          | 10.2          | 102                          | 2645                         | 6.3         | 2.42                          | 6.28                            | 4.72                           |
|      | 114 | PL       | 1.40       | 2.3            | 0.008     | 3.4           | 2.7           | 27                           | 720                          | 9.3         | 0.85                          | 2.28                            | 0.40                           |
|      | 115 | PL       | 1.40       | 6.4            | 0.021     | 7.7           | 6.5           | 65                           | 1445                         | 8.5         | 1.76                          | 3.92                            | 1.56                           |
|      | 116 | PL       | 1.40       | 9.5            | 0.031     | 8.6           | 7.5           | 75                           | 2645                         | 9.3         | 1.61                          | 5.68                            | 2.55                           |
| 1/20 | 201 | SP       | 0.88       | 7.3            | 0.060     | 7.8           | 10.2          | 204                          | 1380                         | 26.1        | 1.87                          | 1.27                            | 3.90                           |
|      | 202 | SP       | 0.88       | 9.3            | 0.077     | 9.6           | 13.2          | 264                          | 2740                         | 29.9        | 1.90                          | 1.97                            | 7.48                           |
|      | 203 | SP       | 0.88       | 11.1           | 0.092     | 11.3          | 16.2          | 324                          | 6150                         | 25.1        | 1.39                          | 2.64                            | 11.79                          |
|      | 204 | SP       | 1.00       | 7.4            | 0.047     | 8.4           | 10.4          | 208                          | 1380                         | 24.4        | 2.17                          | 1.44                            | 3.70                           |
|      | 205 | SP       | 1.00       | 9.0            | 0.058     | 9.7           | 12.6          | 252                          | 2740                         | 29.2        | 1.81                          | 1.97                            | 5.84                           |
|      | 206 | SP       | 1.00       | 11.6           | 0.074     | 12            | 16.3          | 326                          | 4970                         | 25.4        | 1.43                          | 2.18                            | 8.01                           |
|      | 207 | PL       | 1.10       | 5.3            | 0.028     | 6.9           | 7.8           | 156                          | 770                          | 26.1        | 1.27                          | 0.63                            | 1.09                           |
|      | 208 | SP       | 1.10       | 7.1            | 0.038     | 8.5           | 10.3          | 206                          | 2050                         | 30.1        | 0.78                          | 0.78                            | 1.67                           |
|      | 209 | SP       | 1.10       | 8.6            | 0.045     | 9.9           | 12.2          | 240                          | 2050                         | 28.7        | 1.64                          | 1.40                            | 3.51                           |
|      | 210 | PL       | 1.20       | 4.9            | 0.022     | 6.6           | 7.5           | 150                          | 770                          | 24.1        | 1.95                          | 1.00                            | 1.40                           |
|      | 211 | PL       | 1.20       | 6.7            | 0.030     | 8.5           | 9.9           | 198                          | 1160                         | 32.0        | 1.43                          | 0.84                            | 1.51                           |
|      | 212 | PL       | 1.20       | 7.6            | 0.034     | 9.3           | 11.1          | 222                          | 2500                         | 30.7        | 1.58                          | 1.78                            | 3.52                           |
|      | 213 | PL       | 1.40       | 3.5            | 0.012     | 5.8           | 5.9           | 118                          | 770                          | 23.0        | 1.48                          | 0.97                            | 0.87                           |
|      | 214 | PL       | 1.40       | 4.6            | 0.015     | 6.9           | 7.4           | 148                          | 1160                         | 30.1        | 1.04                          | 0.82                            | 0.88                           |
|      | 215 | PL       | 1.40       | 6.7            | 0.022     | 9.3           | 10.3          | 206                          | 1160                         | 30.6        | 1.70                          | 0.96                            | 1.39                           |
| 1/30 | 301 | SP       | 0.90       | 6.1            | 0.048     | 6.7           | 5.9           | 177                          | 2282                         | 20.9        | 1.00                          | 1.29                            | 2.27                           |
|      | 302 | SP       | 0.90       | 7.6            | 0.060     | 8.8           | 9.0           | 270                          | 2282                         | 25.3        | 1.38                          | 1.17                            | 3.02                           |
|      | 303 | SP       | 0.90       | 8.5            | 0.067     | 8.0           | 11.0          | 330                          | 4860                         | 28.9        | 1.08                          | 1.59                            | 4.82                           |
|      | 304 | SP       | 0.90       | 10.4           | 0.082     | 10.1          | 14.5          | 434                          | 5042                         | 22.2        | 1.29                          | 1.50                            | 5.75                           |
|      | 305 | SP       | 1.00       | 6.1            | 0.039     | 4.5           | 5.6           | 168                          | 2282                         | 22.2        | 0.88                          | 1.19                            | 1.65                           |
|      | 306 | SP       | 1.00       | 7.9            | 0.051     | 6.8           | 8.7           | 260                          | 3588                         | 29.2        | 0.81                          | 1.12                            | 2.32                           |
|      | 307 | SP       | 1.00       | 8.2            | 0.052     | 7.0           | 9.0           | 270                          | 4167                         | 22.7        | 0.85                          | 1.32                            | 2.83                           |
|      | 308 | SP       | 1.00       | 9.3            | 0.059     | 9.1           | 12.3          | 368                          | 4002                         | 24.3        | 1.52                          | 1.65                            | 4.58                           |
|      | 309 | SP       | 1.00       | 10.7           | 0.068     | 10.0          | 13.6          | 409                          | 4167                         | 22.8        | 1.68                          | 1.71                            | 5.20                           |
|      | 310 | SP       | 1.10       | 5.7            | 0.030     | 5.9           | 7.3           | 220                          | 2100                         | 25.8        | 0.93                          | 0.89                            | 1.34                           |
|      | 311 | SP       | 1.10       | 7.6            | 0.040     | 7.0           | 8.8           | 264                          | 2667                         | 22.3        | 1.61                          | 1.63                            | 2.86                           |
|      | 312 | PL       | 1.20       | 2.2            | 0.010     | 3.0           | 3.5           | 104                          | 2160                         | 23.5        | 0.31                          | 0.65                            | 0.41                           |
|      | 313 | PL       | 1.20       | 4.3            | 0.019     | 4.3           | 5.1           | 153                          | 1707                         | 23.3        | 0.94                          | 1.04                            | 0.95                           |
|      | 314 | SP       | 1.20       | 6.6            | 0.029     | 6.8           | 8.4           | 253                          | 2667                         | 22.0        | 1.13                          | 1.19                            | 1.72                           |
|      | 315 | SP       | 1.20       | 7.0            | 0.031     | 6.3           | 7.7           | 230                          | 2940                         | 22.6        | 0.85                          | 1.09                            | 1.46                           |
|      | 316 | PL       | 1.60       | 5.8            | 0.015     | 7.1           | 8.4           | 252                          | 2667                         | 22.9        | 1.15                          | 1.22                            | 1.04                           |
|      | 317 | PL       | 1.60       | 8.4            | 0.021     | 9.4           | 11.3          | 338                          | 3840                         | 20.5        | 1.59                          | 1.81                            | 2.02                           |
|      | 318 | PL       | 1.80       | 10.5           | 0.021     | 14.2          | 17.3          | 520                          | 6827                         | 22.7        | 1.29                          | 1.70                            | 2.28                           |
|      | 319 | PL       | 2.00       | 9.3            | 0.015     | 10.8          | 12.7          | 382                          | 5607                         | 21.7        | 1.05                          | 1.54                            | 1.27                           |
|      | 320 | SP       | 1.00       | 11.8           | 0.076     | 12.0          | 17.1          | 638                          | 10402                        | 18.4        | 1.05                          | 1.71                            | 6.27                           |
|      | 321 | SP       | 1.20       | 13.2           | 0.059     | 14.0          | 19.2          | 585                          | 10402                        | 18.2        | 1.17                          | 2.08                            | 6.19                           |
|      | 322 | SP       | 0.90       | 8.5            | 0.067     | 8.9           | 12.3          | 356                          | 3682                         | 15.7        | 1.57                          | 1.63                            | 5.44                           |
|      | 323 | SP       | 1.10       | 7.7            | 0.041     | 8.7           | 11.5          | 310                          | 3375                         | 16.8        | 1.25                          | 1.36                            | 3.01                           |
|      | 324 | PL       | 1.80       | 4.2            | 0.008     | 6.9           | 8.0           | 219                          | 2282                         | 17.0        | 1.17                          | 1.22                            | 0.79                           |

\* SP: spilling breaker PL: plunging breaker

化させた。表中の曝気面積および曝気容積の値は、図一(温度補正前)に示すように、静水面の水際線と砕波点(線)で形成される表面積およびポリエチレン膜で現に限定された容積をとっている。

## (2) 実験結果

### a) 溶存酸素濃度時間回復曲線

図一2は、ポリエチレン膜で曝気容積を限定した本実験手法による無次元溶存酸素濃度負荷の時間曲線の一例を示したものである(1/10 勾配)。同図に示すように、今回の実験でも、時間曲線は一定の勾配で直線的に回復する初期の部分と曝気容積内がほぼ飽和して緩慢な回復となったとみられるそれに引き続く部分の2つの部分とからなり、係数値は前者より一義的に決定できることが容易に判断される。

### b) 再曝気係数および物質移動係数

無次元溶存酸素濃度負荷時間曲線の勾配より求められる再曝気係数  $k_2$  およびそれと

$$k_2 = (A/V)K_L \dots \dots \dots (1)$$

の関係をとおして求めることのできる物質移動係数  $K_L$  を算定し、表一に示した。表中の再曝気係数値は実験値を 20°C の値に換算したものである。ただし、斜面上での砕波現象では、真の曝気面積は図一1に示したような静水面での面積ではなく、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幅に大きくなっていることが考えられるので、実際の曝気面積は静水面での面積  $A$  の  $n$  倍となっているものと考えて式 (1) を

$$K_L = (V/nA)k_2 \dots \dots \dots (2)$$

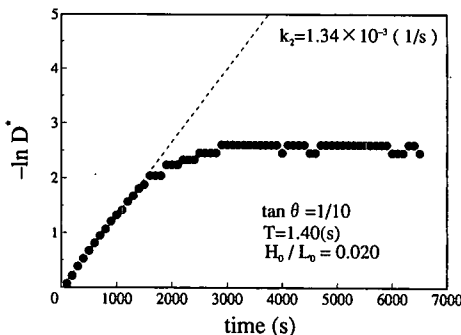
のように変形して考え、その関係式より得られる

$$nK_L = (V/A)k_2 \dots \dots \dots (3)$$

より求められる  $nK_L$  の値を表一に示した。以後、本論文ではこの量を「総物質移動係数」と称し、本来の  $K_L$  を「純物質移動係数」、 $n$  を従来通り「実水面係数」と称することにする。なお、本実験においても砕波帯域より沖側のポリエチレン膜までの非砕波帯域からの曝気の影響は僅少であると考えられたので、その影響を差し引かない値をそのまま記している。

## 3. 総物質移動係数 ( $nK_L$ ) に与える海底勾配の影響

細井ほか (1982, 1983) は、巻き波の場合、再曝気係数を沖波の波形勾配と関連づけ、また崩れ波砕波の場合には波形勾配のほかに相対砕波水深と関連づけて検討を加えている。一方、著者らの前回の 1/20 勾配のケースでは、総物質移動係数 ( $nK_L$ ) と沖波波高 ( $H_0$ )、およびその



図一2 無次元溶存酸素濃度負荷の時間変化曲線

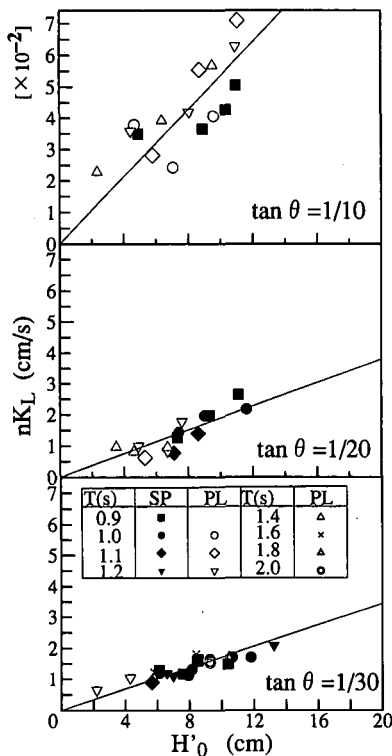


図-3 総物質移動係数と沖波波高の関係

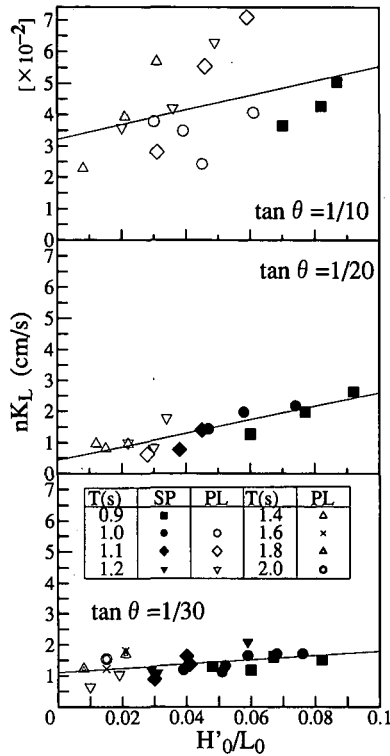


図-4 総物質移動係数と沖波波形勾配の関係

自乗値 ( $H_0^2$ ), 沖波波形勾配 ( $H_0/L_0$ ), 沖波波高/周期 ( $H_0/T$ ) の各量とのそれぞれの関係に検討を加えた。このうち、波高の自乗値は、緩斜面上で波のエネルギーがすべて損失されると考えた場合の損失エネルギーに比例した量であり、また  $H_0/T$  は水粒子速度に比例した量と考えられる。今回は、さらに、質量輸送速度の係数である  $H_0^2/TL_0$  および  $(H_0/T)^2$  との関係も検討してみた。図-3 および 図-4 には、それらのうち、異なる特性を示す  $H_0$  あるいは  $H_0/L_0$  との関係は斜面勾配別に示した。これら以外の他のケースは図-4 に示されるのとほぼ同様の結果であったのでここには示していない。各図においては、巻き波砕波あるいは崩れ波砕波かを区分して示すとともに、データ全体にもっとも近い直線を示した。これらの図に示されるように、全データは斜面勾配別に砕波形式や波の周期などの特性量に関係なく、ほぼ直線で表される。また、沖波波高で整理した図-3 では、原点を通る直線が得られている。直線の勾配は、いずれの場合も斜面勾配が大きくなるにつれて大きくなる傾向にあるとともに、値そのものも斜面勾配が増大するにつれて大きくなる傾向にある。すなわち、総物質移動係数およびその波の特性に対する変化の具合は、斜面勾配が大きくなるにつれて大きくなり、それだけ酸素の取り込みは大規模に行われ、また、波の特性による影響を受けやすいことを

結論づけることができる。

また、いずれのケースでも斜面勾配が大きくなるにつれてデータはかなりばらつくようになるが、それだけ砕波の乱れ方が激しく、かつ不規則となって砕波点の位置が不安定となり、それに伴って式 (3) 中の曝気面積が変動することに対応しているものと考えられる。斜面勾配の差によるばらつき方の違いに比べて、砕波形式の差によるばらつき方の違いはそれほど小さく、斜面勾配と砕波形式とは斜面勾配の方が酸素取り込みに大きく影響していることがうかがわれる。

#### 4. 静水面、非砕波波面の係数値との比較

砕波面をととした酸素の輸送速度が非砕波波面のそれや静水面のそれと比べてどの程度大きいかわかることはきわめて興味深い。また、非砕波波面や砕波帯などからなる湾内水面などでの酸素取り込み量の見積りの際にも比較値を知っておくことは重要なことであろう。

図-3 および 図-4 に示したように、今回の実験条件の範囲内で総物質移動係数値はほぼ

$$nK_L \approx 1 \times 10^{-2} \sim 7 \times 10^{-2} \quad (\text{cm/s})$$

であった。これを重複波波面を含む進行波波面での著者の値 (角野ほか, 1994)

$$K_L \approx 1 \times 10^{-3} \text{ 以下} \quad (\text{cm/s})$$

と比べると 10 倍から 100 倍程度以上大きく、さらに、静水面での著者の値 (同)

$$K_L \approx 1 \times 10^{-4} \quad (\text{cm/s})$$

と比較すれば 100 倍から 1000 倍大きいことがわかる。

#### 5. 純物質移動係数 ( $K_L$ ) の特性

総物質移動係数 ( $nK_L$ ) は界面をととした物質の移動速度を表しているが、実水面係数  $n$  (実際の曝気水面面積/曝気域の静水面面積) をととして波面の乱れや気泡の存在の影響を含んでいる量であり、先に示したように、それは斜面勾配の影響を強く受け、また砕波形式にも若干影響を受ける。そこでここでは、前回同様に総物質移動

係数より実水面係数を分離して斜面勾配と碎波形式の影響を除くことを試みた。分離法は、前回と同様に、実水面係数が

$$\left. \begin{aligned} n \sim 1/B_t &= 1/(H_b/gT^2 \tan \theta) \\ \text{あるいは} \\ n \sim \xi_b &= \tan \theta / \sqrt{H_b/L_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4a, b)$$

とするものである。ここに、 $B_t$  は Galvin (1968) によるブレーカータイプインデックスであり、この指標の量が小さくなるにつれて崩れ波碎波、巻き波碎波、砕け寄せ波碎波に碎波形態が移行するとされている。また、 $\xi_b$  は Battjes (1974) によるサーフシミュラリティパラメーターであり、このパラメーターの値が大きくなるにしたがって上記の碎波形態の移行が生ずるとされている。また、 $H_b$  は碎波波高、 $\tan \theta$  は海底勾配を表す。実水面係数  $n$  は、斜面勾配が大きくなるにつれて、また碎波形態が崩れ波碎波から巻き波碎波に移行するにつれて大きくなるはずであることを考慮して、 $n$  と両パラメーターの式 (4) の関係を仮定した。ここに “ $\sim$ ” は比例関係にあることを表している。

図-5 および図-6 は、式 (4) の比例関係において、比例係数を 1 とし  $n$  を求めて  $nK_L$  より物質移動係数  $K_L$  を分離し、前回と同様に  $K_L$  と沖波波高の自乗値との関係を示したものである。また、表-1 には、このうちの  $n=1/B_t$  として得られる  $K_L$  の値を示した。両図より、 $n=1/B_t$  としても、あるいは  $n=\xi_b$  としても、斜面勾配や碎波形態、波の周期に関わりなく、相関係数が  $r=0.8$  程度の相関が得られていることが示されていて、 $n$  を式 (4) の 2 種のパラメーターで表すことの基本的な妥当性が示されている。次に、純物質移動係数は波の水粒子速度の自乗値によって律則されているとの仮定の下に、 $(H_b/T)^2$  との関係を見たものが図-7 および図-8 である。それぞれにおいて、 $n=1/B_t$  あるいは  $n=\xi_b$  が仮定されている。いずれの場合も斜面勾配や碎波形態に関わりなく 1 本の直線にのっていて相関の程度はよいが、 $n=1/B_t$  を仮定した図-7 の相関度の方が高くなっている ( $r=0.92$ )。一方、同様に質量輸送速度によって律則されているという仮定の下に、 $n=1/B_t$  として  $H_b^2/(TL_0)$  との関係を見たものが図-9 である。この場合にも、 $n=\xi_b$  とするよりも  $n=1/B_t$  とする方が相関度は高く、 $r=0.92$  の相関係数が得られている。

以上より、実水面係数  $n$  は  $B_t$  によって表され、さらに、純物質移動係数は質量輸送速度あるいは沖の水粒子速度の 2 乗値によって律則されていることをほぼ結論づけることができる。ただし、両者のどちらに強く律則されているかの判断は、これらの図からだけでは困難である。また、 $n$  と  $1/B_t$  の間の比例係数を 1 と仮定している

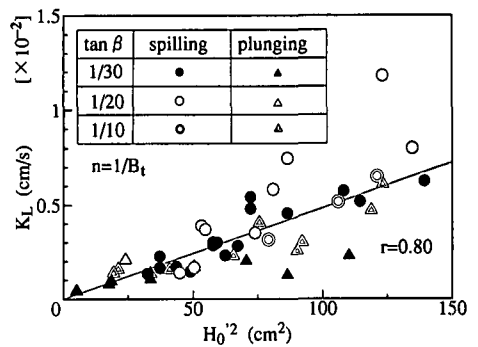


図-5 純物質移動係数と沖波波高の自乗値との関係 ( $n=1/B_t$ )

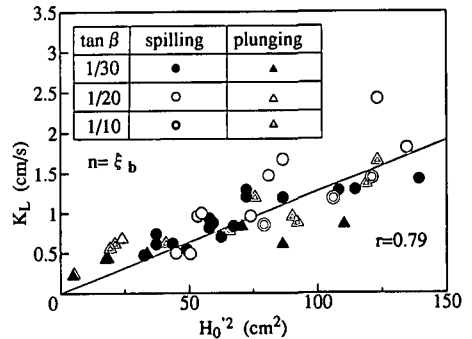


図-6 純物質移動係数と沖波波高の自乗値との関係 ( $n=\xi_b$ )

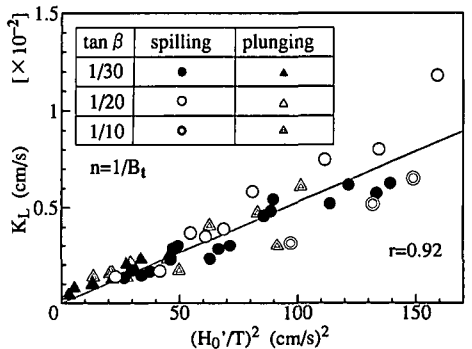
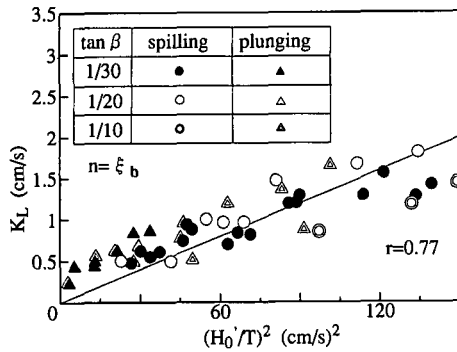
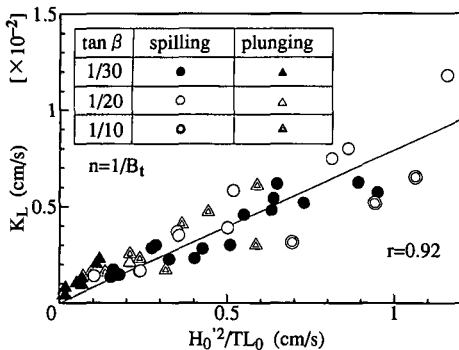


図-7 純物質移動係数と  $(H_b/T)^2$  との関係 ( $n=1/B_t$ )

ので、図中の  $K_L$  は真の値を表していないことに注意したい。

## 6. 総物質移動係数 ( $nK_L$ ) の評価法

図-7 あるいは図-9 に示されるように、斜面勾配に関わりなく、純物質移動係数は波の特性量に関する 2 つのパラメーターと強い相関を有することが明らかとなった。2 つのパラメーターのいずれが純物質移動係数を決定づけ


図-8 純物質移動係数と  $(H_0/T)^2$  との関係 ( $n=\xi_b$ )

図-9 純物質移動係数と  $H_0^2/TL_0$  との関係 ( $n=1/B_t$ )

ているかはまだ不明であり、また、式 (4a) の比例係数値も不明であって、純物質移動係数の真の特性を明らかにできたとはいえない状況にある。しかるに、現地海浜への適用を考えた場合には、波面の乱れや気泡の存在の影響を分離した純物質移動係数ではなく、砕波帯においてトータルで水域中に輸送される速度を表している総物質移動係数の方がより重要であろう。以上の前提に立てば、以下のような総物質移動係数の推算が可能となる。

すなわち、波の特性が与えられれば、海底勾配に関わりなく図-7あるいは図-9よりまず純物質移動係数を求める。この値は真の値ではないが、その値にブレイカータイプインデックスの逆数 ( $1/B_t$ ) を乗ずれば総物質移動係数値が求められることになる。この値は真の値であり、ある砕波帯での酸素取り込み速度を表す1つの指標と考えられる量である。実際には、さらに海岸の砕波帯全体での単位時間当たりの酸素取り込み量 (容積フラックス) を知る必要があるが、それは得られた総物質移動

係数値に砕波帯の面積を乗ずれば求めることができる。ただし、現在得られているデータは小型造波水槽中で得られた実験値であり、スケールエフェクトの影響の問題が解決されていない点が問題点として残されている。

## 7. 結 言

砕波点の沖をポリエチレン膜で遮断し、曝気容積を限定した状態で砕波による酸素の取り込み機能を評価するための実験を従来の1/20勾配の他に1/10および1/30勾配の条件でも行い、以下の結論を得た。

- 1) 今回の実験においても、得られたDO濃度の時間変化曲線は一定の勾配で直線的に回復する初期の部分とそれに引き続く徐々に勾配が緩やかになっていく部分の2つの部分とからなり、係数値は前者より一義的に決定できた。
- 2) 斜面勾配が急なほど酸素の取り込みは大規模に行われている。
- 3) 緩斜面上の砕波による酸素取り込みの速度は、非砕波波面のそれに比べて10~100倍程度、また、静水面のそれに比べて100~1000倍程度であった。
- 4) 実水面係数はブレイカータイプインデックスに反比例するものと仮定して得られた純物質移動係数  $K_L$  は、勾配に関わらずに  $H_0^2/TL_0$  あるいは  $(H_0/T)^2$  との間に強い相関を有し、現象は質量輸送速度あるいは沖の水粒子速度の2乗値によって律則されていることが結論づけられた。
- 5) 以上の考察結果を総合して、波の特性が与えられたときの海浜での酸素取り込み速度の推定法について提案した。

## 参 考 文 献

- 角野昇八・斉藤 満・山西和也 (1995): 海浜の砕波による酸素取り込み機能に関する実験的再考察, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1181-1185.
- 角野昇八・仲田義弘・斉藤 満・中谷成智・芳田利春・小田一紀 (1994): 海岸構造物の曝気能に関する実験的再考察, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1036-1040.
- 細井由彦・村上仁士・大東正男 (1982): 巻き波砕波による再曝気に関する研究, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 565-569.
- 細井由彦・村上仁士・大東正男 (1983): 崩れ波砕波による再曝気に関する研究, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 551-555.
- Battjes, J. A., (1974): Surf similarity, Proc. 14th Coastal Engrg. Conf., 14, pp. 466-480.
- Galvin, C. J. Jr., (1968): Breaker type classification on three laboratory beaches, J. Geoph. Res., 73, 12, pp. 3651-3659.