

# 直立護岸前面における前浜の季節変動の 現地観測

## FIELD OBSERVATION OF SEASONAL VARIATION OF FORESHORE IN FRONT OF SEAWALL

小山 史<sup>1</sup>・小林昭男<sup>2</sup>・宇多高明<sup>3</sup>・野志保仁<sup>4</sup>・清水達也<sup>5</sup>・岩瀬光平<sup>6</sup>

Fumito KOYAMA, Akio KOBAYASHI, Takaaki UDA, Yasuhito NOSHI,  
Tatsuya SHIMIZU and Kohei IWASE

<sup>1</sup>鹿島建設株式会社 (〒107-8477 東京都港区1-3-8)

<sup>2</sup>正会員 工博 日本大学教授 理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なぎさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部  
海洋建築工学科 (〒110-0016 台東区台東1-6-4タカラビル)

<sup>4</sup>正会員 博(工) (有) アイコムネット  
(〒100-0014 東京都千代田区永田町2-10-2永田町TBRビル201)

<sup>5</sup>学生会員 修(工) 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻  
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

<sup>6</sup>学生会員 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻  
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

Seasonal beach changes were investigated in front of a seawall of the Hebara coast which is a pocket beach of a 1.5 km length facing the Pacific Ocean. During the observation in 2008, calm wave condition continued between June and early October, causing sand deposition on the foreshore owing to shoreward sand transport. The beach elevation increased by 0.84 m between June 24 and October 10, but the beach was eroded in mid-October by storm waves with a significant wave height of 3.2 m. The decrease in beach elevation reached 0.86 m. Although these rapid beach changes occurred, the scouring in front of the seawall has not been observed.

**Key Words :** Seawall, seasonal beach changes, Hebara coast

### 1. まえがき

静穏波が作用すると前浜に砂が堆積してバームが形成されるが、高波浪が襲来すれば短時間のうちにバームは削り取られ、緩勾配の海浜へと変化することは古くから知られた普遍的な事実である。加藤ら<sup>1)</sup>は、これに関連して波のエネルギーフラックスを用いて汀線変動を予測する手法を提案した。また福濱ら<sup>3)</sup>は、平衡勾配の概念を導入し、汀線変化だけでなく前浜地形の予測が可能なることを加藤らのデータを検証材料として明らかにした。これらの予測手法では、護岸など岸沖漂砂のない条件での観測結果をもとにモデル化が行われている。しかし現実には、海岸護岸前面に狭い前浜があり、そこで上記季節変動が起こる例も数多くあるし、またそのような場合、とくに護岸ののり先水深の変動は越波や護岸の安定性とも密接に関連するから、護岸がある条

件での前浜地形変化についての予測手法も求められている。しかし予測モデルの構築に必要な現地実測データはあまりないことから、まずは実態データを明らかにすることが必要とされる。房総半島南部の部原(へばら)海岸では、道路整備に伴って直立護岸が海浜部に造られ、護岸がある状態での前浜変動を調べる上での適地となっている。そこで本研究では、部原海岸を選んで前浜の短期変動を実測した。

### 2. 観測方法

部原海岸は、図-1に示すように千葉県房総半島の南東部に位置し、南北両端を岬によって区切られたポケットビーチである。ポケットビーチにおける海浜の変動は、波の入射方向の季節的变化と、季節的な波高変動に起因して起こる。したがってこれらの

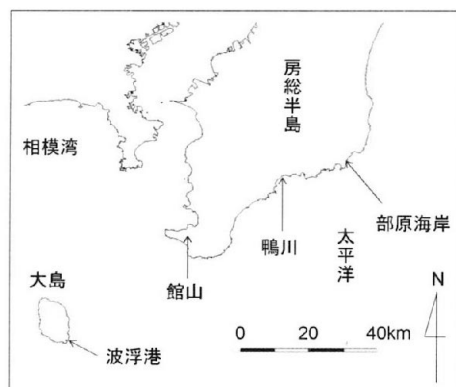


図-1 部原海岸の位置

季節変動を測定するには、少なくとも半年間にわたる定期的調査が必要とされる。そこで、2008年6月24日から11月7日の間、部原海岸において定期的な調査を行い、直立護岸前面での写真撮影と地盤高を測定した。また2008年7月15日と10月7日には前浜砂の粒径と前浜勾配を測定した。地盤高測定は、2008年6月24日から7月29日までは毎週1回、7月29日以後は2週間に1回行い、合計12回観測を実施した。また来襲波浪に関しては、部原海岸の南西約98kmに位置し、部原海岸と同様太平洋に東面する大島の波浮港沖での波浪観測データ（NOWPHAS）を収集して来襲波浪のエネルギーを調べた。

### 3. 部原海岸の空中写真の判読と観測期間中の波浪条件

図-2には部原海岸の2001年1月17日撮影の空中写真を示す。当海岸は両端を岬や岩礁によって挟まれた延長約1.5kmのポケットビーチであり、海岸線は南東方向に開いている。図によれば、空中写真撮影時の透明度が高いために、汀線近傍の砂浜の状態だけでなく、沖合の露岩域の分布も見えて取れる。判読可能な露岩域を北側から順にA, B, Cとし、これらの露岩域A, B, Cの端部を区切る線を陸側に伸ばすと（図の破線）、陸上部の延長線はいずれも山地の外郭線とほぼ対応を示す。このことは、長期・地形学的に見ると、一連の山地が汀線付近で削られ、その上に狭い砂浜が載る地形であることを示す。この場合、現況の砂浜部分の下層は岩盤で制約されていることを示唆する。事実、この点は高波浪により前浜が侵食された際、岩盤が露出したことで確認された。これらより、部原海岸は岩盤上に比較的薄い砂層が載っている地形と考えられる。一方、露岩域Bの背後には緩い舌状砂州が形成されており、また舌状砂州の汀線は北側半分ではほぼ直線状であるが、舌状砂州の南部では汀線の海岸線曲率が大きい。このことは、露岩域B, C間の水深がA, B間より相対的に大きく、Bの南側からの波浪侵入度が相対的に高いこ

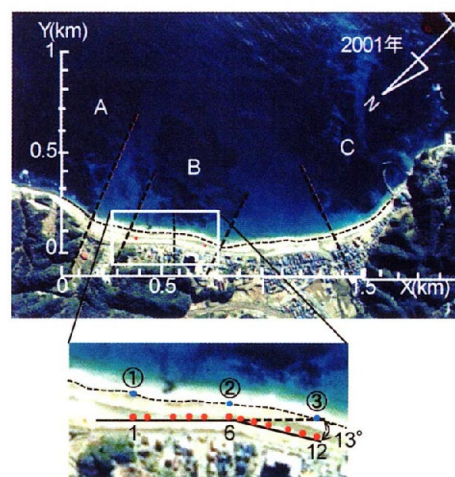


図-2 部原海岸の空中写真と観測地点の拡大図

とによると考えられる。図-2には以後の解析の便を考えて沿岸方向距離をX、沖向き距離をYとした座標系を定めた。また左端の矩形区域を拡大した図には、直立護岸とその壁面に設定した測点No. 1-12の位置を示す。護岸線はNo. 6を境に南北で方向が変わり、約13°のずれがある。また以後で写真比較を行う円形階段はNo. 5とNo. 6の間に位置する。さらに測点①、②、③は前浜砂の粒径調査と前浜勾配の測定点である。

図-3は、波浮港沖での波浪観測による有義波高と周期の経時変化を示す。なお波向については海岸線の方向角との関係と合わせて6°で示す。前浜変動の観測は6月24日から開始したが、観測開始前の5月10日から6月5日の間 $H_{1/3}=2\text{m}$ 以上の高波浪が3時期入射していた。しかし観測開始後9月10日までは1m前後の静穏波が続く、さらに9月11日から10月9日まではやや波高は増大したものの、ほぼ2m以下の波高条件が続いた。 $H_{1/3}$ が明瞭な形で2mを超えたのは10月20日の $H_{1/3}=3.17\text{m}$ であった。このように観測期間中は大部分の期間で静穏波が長く続いた後、観測終了時3.17mの高波浪が作用するという条件であった。

### 4. 汀線変化と浜幅の変化

部原海岸では毎年1回空中写真撮影が行われている。そこでこれらの空中写真を利用して汀線変化を調べた。図-2に示す座標系において汀線形状を読み取り、Y軸方向の変化量を算出し、1995年を基準として1998年から2008年までの7時期の汀線変化を求めた。また図-2に示した直立護岸は2001年に完成したことから、直立護岸がなかった時期（2000年以前）と直立護岸完成後の2001～2008年の2時期に区分して汀線変化をまとめた（図-4）。また直立護岸区域を図示した。護岸がなかった時期のうち、1998年には図-2の岩礁B, C間で汀線が後退し、両側では前



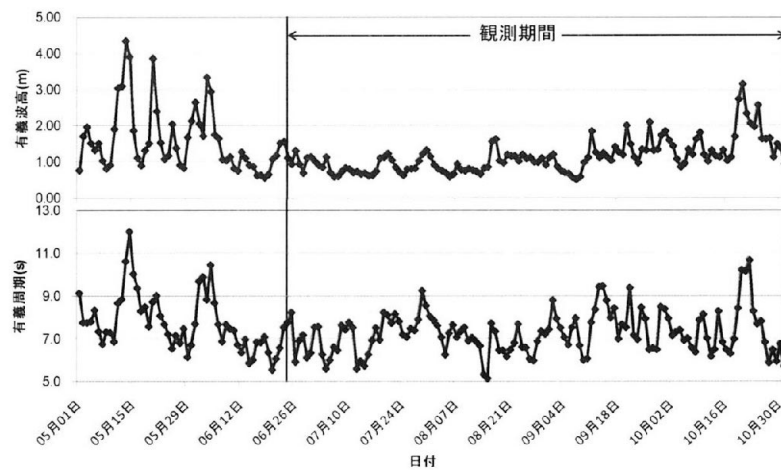


図-3 波浮港沖における観測期間中の有義波高と周期の経時変化

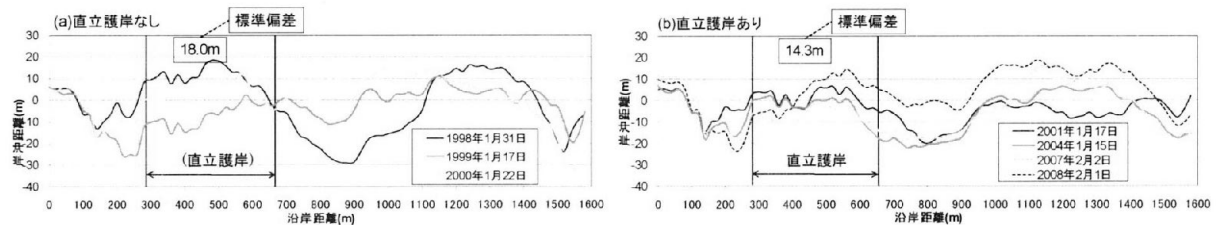


図-4 直立護岸のない時期と直立護岸建設後の汀線変化

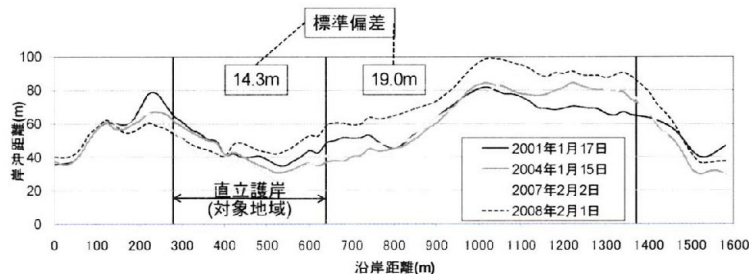


図-5 浜幅の変化

進するという変化が見られたが、その後はこのような変化も平滑化されている。後に護岸が建設される区域での汀線変動の標準偏差は18.0mであった。一方、護岸建設後に同じ区域の標準偏差を調べると14.3mとなり、護岸があるために汀線変動が3.7m抑制されたことが分かる。さらに図-5は、護岸線を基準とした汀線までの距離（浜幅）の測定結果を示す。ここに、護岸の屈曲点No. 6は $X=580\text{m}$ に位置する。これによれば、直立護岸の設置区域の浜幅の標準偏差14.3mに対し、護岸の影響を受けない南部海滨での標準偏差は19.0mであり、護岸があることによって浜幅の変動の標準偏差が24.8%小さくなったことが分かる。

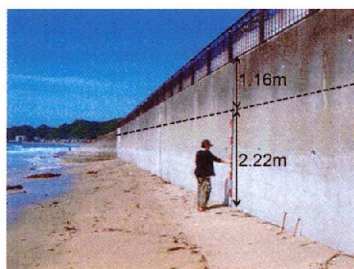
## 5. 護岸前面地盤高の変化

図-2に示す測点No. 1～No. 12において行われた延べ12回の観測結果のうち、No. 4, No. 7では典型的な地形変化が観察された。各測点における地盤高の変

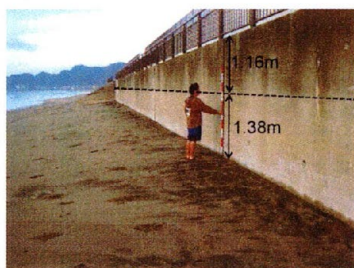
化を調べるために、2008年6月24日、10月7日、10月22日および11月6日の海滨状況を示す。図-6はNo. 4における海滨地盤高の変化を示す。図には護岸天端から1.16m下がりの位置（護岸の変色部分を連ねる線）を破線で示す。これを基準として地盤高の変化を調べることができる。6月24日から10月7日まで砂が堆積して護岸基部の地盤高は0.84m上昇したが、10月22日には侵食されて0.86m地盤高が低下している。その後再び砂が堆積し、11月6日には0.44m地盤高が増加した。このように護岸前面では0.86mの地盤高変動が観測された。また護岸に直接的な波の作用はあったものの、護岸前面の洗掘は起きていないことが特徴である。

図-7にはNo. 7の地盤高変動状況を示す。この測線でも6月24日から10月7日まで0.97m地盤高の上昇が見られた点はNo. 4と同様であるが、10月22日には侵食されず、その後も地盤高の変化は少ない。図-2に示したように、護岸前面の測点配列はNo. 1～No. 6では直線上に並ぶが、No. 7～No. 12では時計回りに $13^\circ$ 傾いた線上にある。このためNo. 1～No. 6は露岩

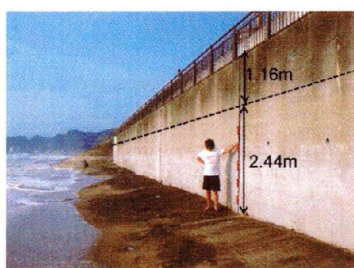
(a) 6月24日



(b) 10月7日



(c) 10月22日



(d) 11月6日

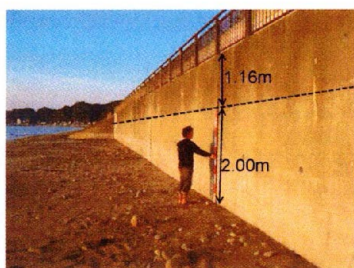
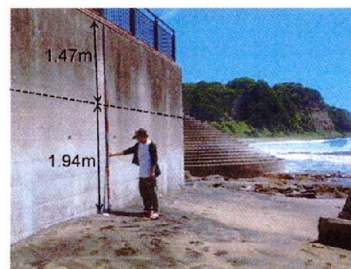


図-6 No. 4における海浜地盤高の変化

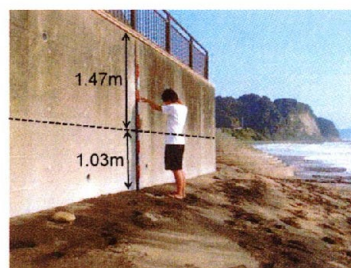
(a) 6月24日



(b) 10月7日



(c) 10月22日



(d) 11月6日

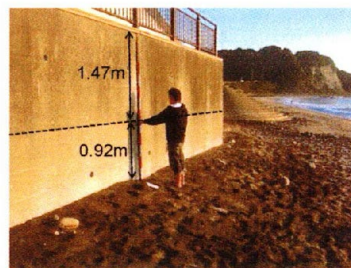


図-7 No. 7における海浜地盤高の変化

域A,Bの間からの侵入波浪を直接受けやすいのに対し、No. 7以南の測点は岩礁Bの直背後に位置するため岩礁による波の減衰を受ける。このように護岸線の変化と局所波浪の相違があったことにより、地盤高の変動に差異が見られたと考えられる。

図-6, 7に典型例を示した護岸前面の地盤高の変動の観測結果を整理したのが図-8である。12点の観測データをいくつかのパターンに分類した上、典型的な変化を示した測点のデータを示す。No. 1, 2では全期間を通じて地盤高の変動が少ない。その典型がNo. 2に見られ、観測期間の最大・最小値はそれぞれ2.41m, 2.24mであった。これに対してNo. 3~No. 5の変化の典型がNo. 4に見られ、6月24日から10月7日まで地盤高が0.84m上昇したが、10月7日から10月22日

間に0.86mも地盤高が低下した。その後再び地盤高の上昇が認められる。これに対してNo. 6, No. 7, No. 8ではNo. 4と相違し、10月7日から10月22日の急激な地盤高の低下が起きていない。またさらに南側のNo. 9では地盤高はほぼ一定である。また部原海岸において堆砂が起こる場合、各測線の上限地盤高が2.5mに収束していることから、部原海岸ではバームが十分発達する場合、海浜地盤高は2.5mを上限とすることが分かる。

図-6では左端に、図-7では中央から右側に円形階段が見える。この階段はNo. 5とNo. 6の間に位置し、他の地点と比べ汀線に近接し、護岸前面まで波が到達しやすい地点にある。地盤の変動状況をさらに詳しく調べるために、この階段を南側直近から撮影し



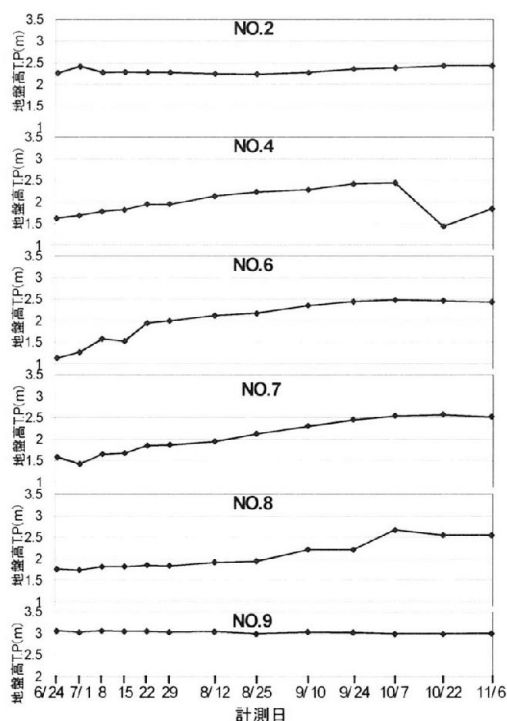


図-8 護岸前面の地盤高の変動

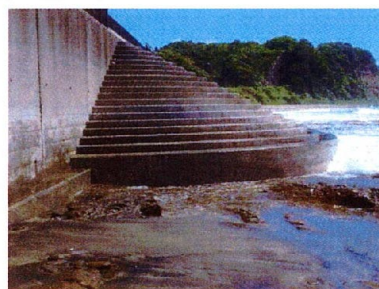
たのが図-9である。6月24日には基盤が露出していたが、7月1日までに砂が堆積し、基盤は砂で覆われた。この状態は10月7日まで続いたが、10月22日には侵食が起きた。その後11月6日には再び堆砂が起きている。ここでとくに円形階段の北側の海岸状況に注目すると、6月24日には前浜はなく、波が直接護岸に作用していたが、7月1日には前浜が形成され、堆積した砂浜は10月7日までは同様に残された。しかし10月22日には前浜は完全に消失し、基盤が露出し、さらに11月6日には再び前浜が戻っている。このような地盤高変動を捉えたのが図-6のNo. 4の変化であった。これと比較すると円形階段の南側（すなわちNo. 6以南）では護岸線が後退しているため著しい地盤高変動が出にくくなっている。

観測期間中の代表時期の底質粒径と前浜勾配を測定するために、2008年7月15日と10月7日に図-2の測点①、②、③で行った前浜砂の粒度調査と前浜勾配の測定結果を図-10と表-1に示す。7月15日では護岸の突出点近傍の測点②の粒度が測点①、③と比べ大きかったが、その後護岸前面に砂が堆積した10月7日の測定では、測点①、②、③とも中砂が堆積している。3点の平均の $d_{50}$ は、0.38mmであって、岸向き漂砂によって護岸前面の地盤高が上昇した時期には中砂の堆積が起きたことが分かる。

## 6. 護岸前面地盤高の変化

波浮港沖での波浪観測では波向測定も行われている。図-11には、図-8に示したように護岸前面で単

(a) 6月24日



(b) 7月1日



(c) 10月7日



(d) 10月22日



(e) 11月6日

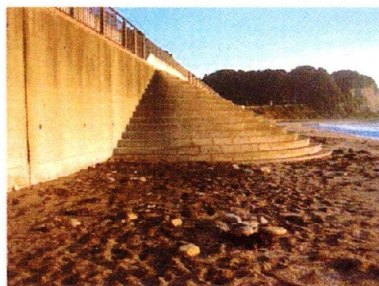


図-9 階段付近の海岸状況（南側直近から撮影）

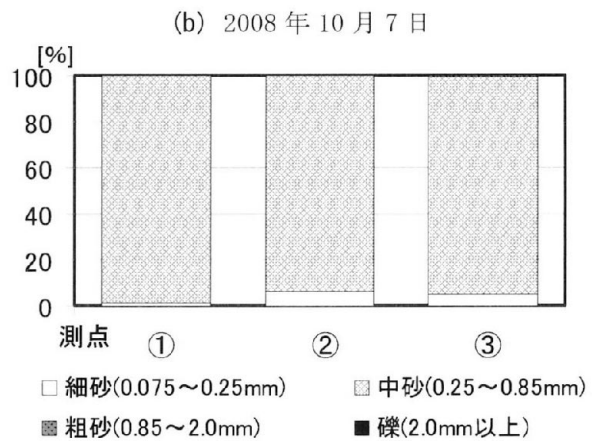
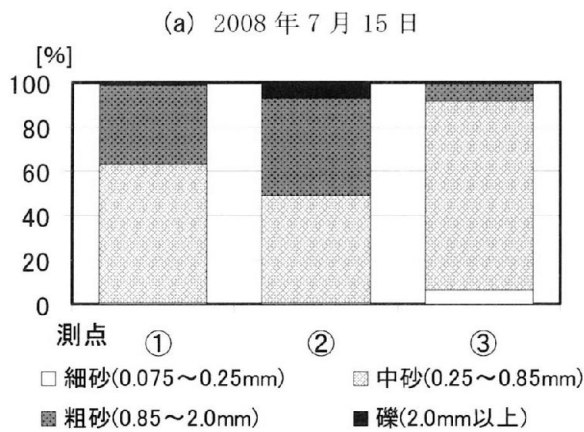


図-10 測点①, ②, ③の前浜砂の粒度

表-1 前浜砂の粒度と前浜勾配

|   | 2008年7月15日          |       | 2008年10月7日          |       |
|---|---------------------|-------|---------------------|-------|
|   | $d_{50}(\text{mm})$ | 前浜勾配  | $d_{50}(\text{mm})$ | 前浜勾配  |
| ① | 0.75                | 1/6.7 | 0.43                | 1/9.0 |
| ② | 0.88                | 1/9.3 | 0.36                | 1/8.4 |
| ③ | 0.47                | 1/9.7 | 0.37                | 1/8.2 |

調な堆砂が起きた6月24日から10月18日までと、著しい侵食の起きた10月19日から10月24日の2期間に区分し、各期間に襲った波浪エネルギーを100%として方向別のエネルギー分布としてまとめたものである。図は外円が60%となるよう目盛りを付けてある。また図には海岸線とその法線方向も併せて示す。両時期の波浪条件を比較すると、堆積は比較的静穏な波浪が南側から入射している時期に起き、対照的に海浜が侵食される時期の波浪は、海岸線に対しほぼ直角または北寄りから高波浪が入射する時期であることが分かる。さらに図-8より、護岸前面で単調な堆砂が起きた6月24日から10月18日までの平均有義波高・周期は1.07m( $T=7.3\text{s}$ )であったのに対し、著しい侵食の起きた10月19日から10月24日での平均有義波高は2.49m( $9.3\text{s}$ )と著しい上昇を示した。とくに10月20日には3.17m( $10.2\text{s}$ )の最大有義波高が観測された。一方、観測期間前の5月10日から6月5日の期間では平均有義波高が2.11m( $T=8.5\text{s}$ )、また5月13日には最大有義波高4.36m( $T=10.7\text{s}$ )が観測されている。これらより、部原海岸では観測開始前に高エネルギーの波浪が来襲した結果沖向き漂砂が生じて前浜が侵食されたが、観測開始時期以降有義波高が1.07mという静穏な波が続いたため、岸向き漂砂が生じ、護岸前面に堆積したことが分かった。また10月20日には観測開始時期以前にも増して高エネルギーを持った波浪が襲来した結果再び前浜が削りとられたことが分かる。ポケットビーチである部原海岸ではこのようにして季節変動を繰り返しており、護岸前面での地盤高の変動量は最大0.86m(No. 4)、バーム形成に伴う地盤上昇の上限はT. P. 2.5mにあった。

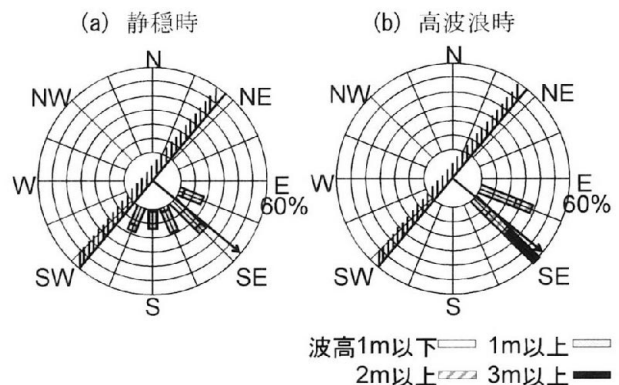


図-11 方向別のエネルギー分布

## 7. まとめ

部原海岸での護岸前面の地盤高の変動観測によれば、部原海岸では台風などの高波浪時には前浜が侵食され、その後静穏波が作用すると砂が堆積し、典型的な前浜の季節変動を示すことが確認できた。このような季節変動を持つものの、直立護岸前面はいずれの観測時期も平坦であり、局所洗掘は観測されなかった。この結果から考えると、福濱らによる波浪エネルギーに応じた平衡勾配の変化を考慮した等深線変化モデルを用いて護岸前面の前浜地形変動を予測する際には、局所洗掘は考慮せずとも、岸沖漂砂に対して護岸が漂砂0の境界条件を与えれば計算が可能と考えられる。

## 参考文献

- 1) 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児：汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み、港湾技術研究所報告、第26巻、第2号、pp. 297-301, 1987.
- 2) 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児：短期汀線変動のモデル化の試み、第34回海岸工学講演会論文集、pp. 297-301, 1987.
- 3) 福濱方哉・宇多高明・山田浩次・芹沢真澄・石川仁憲：前浜勾配と汀線の短期変動の予測モデル、海洋開発論文集、第24巻、pp. 1237-1242, 2008.