

## 白良浜海岸における波浪特性の経年変化と構造物による影響評価

安田誠宏・塚本淳仁\*・間瀬 肇・島田広昭\*・石垣泰輔\*

\*関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科

### 要 旨

本研究は、白良浜海岸における地形と波浪特性の関係の経年変化を調べることで、および岩礁背後に建設された潜堤が湾内の波浪に及ぼす影響を調べることを目的としている。白良浜の海底地形は、浜中央付近で深くなってきている。波高の経年変化については、浜の北側において経年で1.5～3倍に大きく増大した。潜堤が波高へ及ぼす影響については、波向がWSWのうねりの条件のときに、潜堤設置前に比べて浜の北側と南側で波高が10～30%増大することがわかった。

**キーワード:** 白良浜海岸, 波浪特性, 経年変化, 潜堤, うねり, 波向

### 1. はじめに

白良浜は和歌山県西牟婁郡白浜町にあって、鉛山湾に属し、湯崎、権現崎の岩礁地帯に囲まれた石英からなる白砂の美しい浜である。この浜は、鉛山湾を経て、紀伊水道の南端に位置して太平洋に面している。夏期には台風により、また冬期には季節風による強風と高波浪の影響を受けており、また高潮や津波の影響も少なくない。

大正8年、この地に初めて掘泉に成功し、いわゆる銀銭湯が知られてから、温泉郷として発展し、白良浜の後背地は高度に都市化されてきた。一方、我が国の海岸域の利用に伴って、自然海浜の消滅が余儀なくされてきたなかで、この美しい自然の白良浜の保全が要望されてきた。

近年、砂の供給が絶たれ、浜の面積減少が顕著になり、1981年までの10年間でその幅が7～8m、面積で3000m<sup>2</sup>が減少した。この対策として1974年および1981年に小規模な養浜が実施された。さらに白良浜保全対策協議会が立てた事業案で、白浜の南側、湯崎よりT型突堤と権現崎にヘッドランドを建設してから養浜をすれば安定海浜が形成できる計画であった。しかしながら、整備事業の順序などによりヘッドランドの建設はされておらず、1989年から2000年まで11回にわたって75,000m<sup>3</sup>の砂を海中に投入したが、現在も砂の流出を防げてはいない。

そこで2003年11月から、砂の流出を防ぐ目的で権

現崎から海中に、北東から南東にかけて長さ150m、幅30mの潜堤が建設されている。岩礁の上に10～200kgの石を投入して基礎をつくり、その上に約500kgの被覆石、さらに6tの被覆ブロックを被せる工法を採用している。

潜堤建設開始後、浜に対する利用者の意見として、浜中央部での波高の上昇や、汀線付近で浜のバーム形状が急勾配になっているというものがある。どちらの現象も過去には起こらなかったと言われている。

本研究は、白良浜海岸における地形と波浪特性の関係の経年変化を調べることで、および岩礁背後に建設された構造物（潜堤）が湾内の波浪に及ぼす影響を調べることを目的としている。

### 2. 波浪シミュレーションモデル

#### 2.1 回折を考慮した多方向不規則波の波浪変形計算モデル

本研究では、間瀬ら(1998)が考案したエネルギー平衡方程式を基礎式とした、回折を考慮した多方向不規則波の波浪変形計算モデルを用いて、白良浜の波浪シミュレーションを行う。

エネルギー平衡方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial(v_x S)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y S)}{\partial y} + \frac{\partial(v_\theta)}{\partial \theta} = -\varepsilon_b S \quad (1)$$

ここで、 $S$ は波の方向スペクトル、 $(x, y)$ は水平座標、 $\theta$ はx軸から反時計回りに測った波向角、 $\varepsilon_b$ はエネルギー

ギー減衰係数, 特性速度 ( $v_x, v_y, v_\theta$ ) は

$$(v_x, v_y) = \frac{\partial \omega}{\partial k} s = (C_s \cos \theta, C_s \sin \theta) \quad (2)$$

$$v_\theta = -\frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial k} \frac{\partial k}{\partial n} = \frac{C_k}{C} (\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y}) \quad (3)$$

と表される。ここで, ( $s, n$ ) は波向・波峰に沿った座標,  $C$  は波速,  $C_g$  は群速度である。

回折項は以下の放物線型波動方程式から定式化された。

$$2ikCC_g A_x + i(kCC_g)_x A + (CC_g A_y)_y = 0 \quad (4)$$

式(4)を変形し, 実部と虚部について整理すると

$$(C_g |A|^2)_x = 0 \quad (5)$$

$$(CC_g |A|^2)_y - 2CC_g A_y A_y^* = 0 \quad (6)$$

となる。式(5)はエネルギー保存, 式(6)は回折によるエネルギーの釣り合いを表している。波エネルギーは  $E \propto |A|^2$  であり, 式(5)および式(6)の左辺第1項は  $E$  で表現できるが, 第2項の  $A_y A_y^*$  は  $E$  では表現できない。そこで,  $A_y A_y^*$  を  $E_{yy}/4$  と近似すると, 式(6)は

$$(CC_g E_y)_y - CC_g E_{yy}/2 \equiv 0 \quad (7)$$

となる。式(5)の左辺と式(1)の左辺とを比べ, エネルギー  $E$  を方向スペクトル  $S$  とみなす。そして, ほぼゼロである式(7)の  $E$  を  $S$  として式(1)の右辺に加えると, モデル方程式として次式を得る。

$$\frac{\partial(v_x S)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y S)}{\partial x} + \frac{\partial(v_\theta)}{\partial \theta} = \frac{\kappa}{2\omega} \left\{ (CC_g \cos^2 \theta S_y)_y - \frac{1}{2} CC_g \cos^2 \theta S_{yy} \right\} - \varepsilon_b S \quad (8)$$

ここで,  $\kappa$  は回折影響係数である。

## 2.2 GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システム

GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システムは, Global Forecast System (略して, GFS), Weather Research and Forecasting model (WRF), Simulating WAVes Nearshore (SWAN) からなり, 間瀬ら(2005)が構築したものである。

GFS は, 米国環境予測センター (NCEP) の全球気象予報モデルである。このモデルは, 全球を緯度方向に 768, 経度方向に 384, 高さ方向 64 に区切った格子を用いて気象予測計算を行う。その予報値が 3 時間間隔, 経度・緯度方向に 1 度間隔で, 1 日 4 回 384 時間先まで web 上にアップロードされる。

WRF は, 米国大気研究センター (NCAR) によって開発された局地気象予測モデルである。WRF は, GFS の 1 度間隔のデータを取り込んで, メソスケールの気象予測計算を行うことができる。このモデル

は, 予測方程式と呼ばれる 6 つの方程式と診断方程式, 気体の状態方程式を解く。

SWAN は, オランダ・デルフト工科大学で開発された第 3 世代沿岸波浪推算モデルである。第 3 世代波浪推算モデルに属し, 世界中で使用されている WAM を浅海域まで拡張したものである。

SWAN は風による波生成及び反射, 浅水砕波及び海底摩擦による逸散, 白波による逸散, 3 波共鳴及び 4 波共鳴波浪相互作用から形成される。基礎式は波作用平衡方程式であり以下のように表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (9)$$

ただし,

$$S(\sigma, \theta) = S_{phil} + S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds} + S_{bf} \quad (10)$$

であり,  $\sigma$  は波振動数,  $\theta$  は波高,  $t$  は時間,  $N(\sigma, \theta)$  は作用密度スペクトル,  $c_x, c_y$  は  $x, y$  方向の伝播速度,  $c_\sigma, c_\theta$  は  $\sigma, \theta$  方向の伝播速度,  $S(\sigma, \theta)$  はエネルギーソース関数である。

## 3. 海底地形および波浪特性の経年変化

### 3.1 海底地形の経年変化

Fig.1 に示した和歌山県が測量した平成 6 年, 10 年, 15 年 (1994 年, 1998 年, 2003 年) の 3 年分の海底地形図を基に地形の変化を考察する。なお, 平成 15 年の水深は潜堤建設前の状態を示す。また, 海底地形の変化を考察するときに, 白良浜における養浜事業も深く関連性があるとして考慮する。養浜事業の実施履歴 (Table 1) および砂の投入箇所 (Fig.2) は, 和歌山県から提供いただいた資料である。

浜中央付近の水深をみると, 浜から水深 3~4m までの距離が, 平成 10 年以降では短くなっている, つまり, 浜付近の水深が深くなり, 勢いのある波が浜の近くまで寄せてくる可能性が高いと推察できる。養浜実施履歴と照らし合わせると, 砂を投入していないところでは深くなった反面, 砂の投入量が 5,000 m<sup>3</sup>程度では深さはあまり変化せず, 投入量が 10,000 m<sup>3</sup>を超えると浅くなっている。

平成 15 年から権現崎付近に潜堤を建設する計画が立てられたため, 従来までは詳しく測量されていなかった岩礁の水深が明らかになった。試算の結果, 岩礁が詳しく測量されていない平成 6 年, 10 年のデータでは平成 15 年の場合より 50~80cm 程度波高が高くなり, 比較する対象として取り扱うには相応しくないと判断した。岩礁は 10 年でその形状が大きく変化しないとして, 詳しく表わされていない平成 6 年と 10 年の権現崎付近の海底地形をそれぞれ平



(a) H6 (1994)



(b) H10 (1998)



(c) H15 (2003)

Fig.1 Water depth chart of the Namariyama Bay

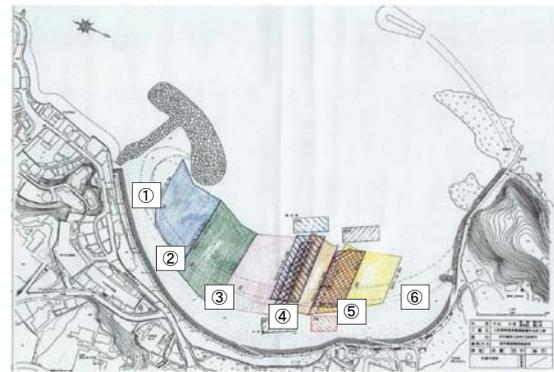


Fig.2 Location of artificial beach nourishment and examination point in the Shirarahama Beach

成 15 年の海底地形に合わせた。その際、浜北側沖での水深が合うようにして、岩礁の形状と繋ぎ合せた。

### 3.2 波浪特性の経年変化

#### (1) 解析条件

3.1 で作成した海底地形図をもとに、2.1 で説明した回折を考慮した波浪変形モデルを用いた計算を行う。地形変化による影響をより詳しく特定するため、また、湾内の波浪特性の変化を明確にするために、うねりと風波の 2 種類の波浪条件を用いて検討する。うねりは有義波高  $H_{1/3} = 1 \text{ m}$ 、有義波周期  $T_{1/3} = 12 \text{ s}$  とし、風波は有義波高  $H_{1/3} = 1 \text{ m}$ 、有義波周期  $T_{1/3} = 6 \text{ s}$  とした。波向の条件は 4 方向 (WNW, W, WSW, SW) とした。浜辺近くに 6 つの調査地点を南端から北端まで約 100m 間隔でとり、波浪の経年変化を調べる。Table 1 および Fig.2 の ①～⑥が調査地点である。

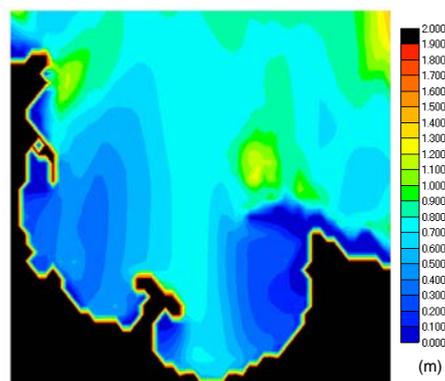
#### (2) うねりの場合

Fig.3 は波向き W の場合の波高分布図である。白良浜での波高は T 字突堤と浜北側権現崎岩礁付近の周辺ではその地形の影響により小さくなっていることが確認できる。経年での波高変化については、浜中央付近に注目すると波高 60～80 cm の範囲が広がっている。この結果は、3.1 で述べた浜中央で水深が深くなってきている影響によるものと推察できる。

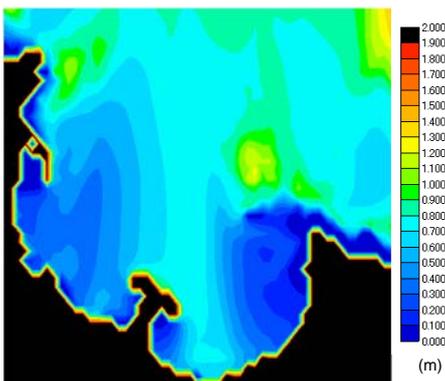
波浪特性の経年変化を調べるために、平成 15 年に対する各年の波高の差をとる。Fig.4～7 は、それぞれ波向 WNW, W, WSW, SW のときの波高差の平

Table 1 Past record of artificial beach nourishment (unit:m<sup>3</sup>)

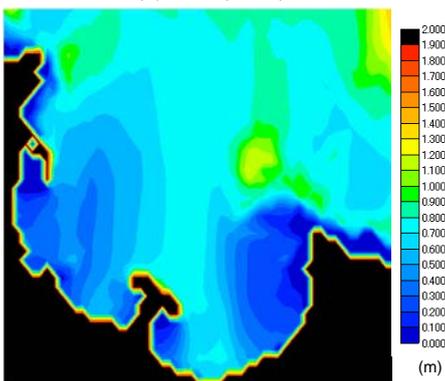
	H1 (1989)	H2 (1990)	H3 (1991)	H4 (1992)	H5 (1993)	H6 (1994)	H7 (1995)	H8 (1996)	H9 (1997)	H10 (1998)	H11 (1999)	H12 (2000)
①	1220	0	0	0	13880	0	0	0	0	0	0	0
②	3680	0	0	7300	0	0	0	0	0	0	0	0
③	3420	0	5050	0	0	0	0	0	720	0	3345	1265
④	4920	0	1010	0	0	960	2835	3110	3600	1480	3345	1265
⑤	1500	0	0	0	0	4800	2835	1550	0	1480	0	0
⑥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	14740	0	6060	7300	13880	5760	5670	4660	4320	2960	6690	2530



(a) H6 (1994)



(b) H10 (1998)

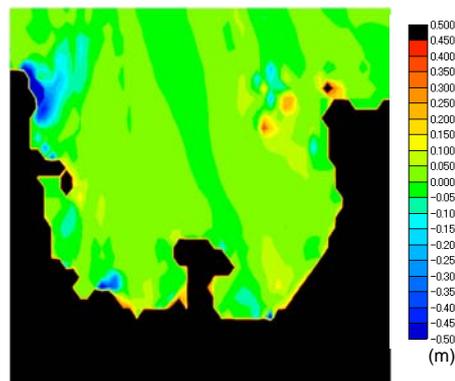


(c) H15 (2003)

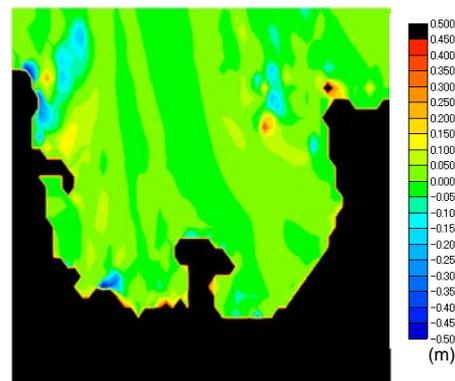
Fig.3 Wave height distribution  
( $H_{1/3} = 1\text{m}$ ,  $T_{1/3} = 12\text{s}$ , Direction W)

面分布を示したものである。

年を経るごとに、浜中央部から北側にかけて全体的に波高が上昇していることがわかる。平成15年と平成6年を比べると、WSWを除くすべての波向で浜の南側における波高が低下している。Fig.1(a)と(c)をみると、平成15年では浜の南側の水深が浅くなっているため波高が小さくなったといえる。Fig.1(c)では、Fig.1(a)より浜北側の水深4mまでの等水深線間隔が狭くなっており、これが浜中央から北側にかけて波高が上昇した原因と考えられる。各波向に対する波浪の経年変化特性をまとめたものをTable 2に示す。

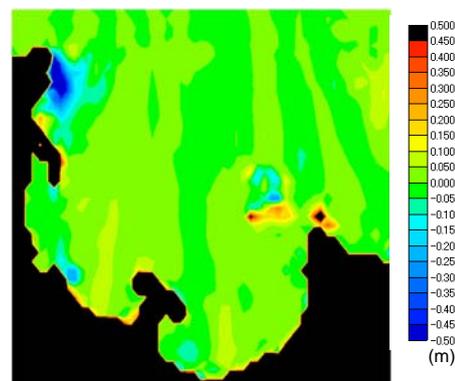


(a) H15-H6 (2003-1994)

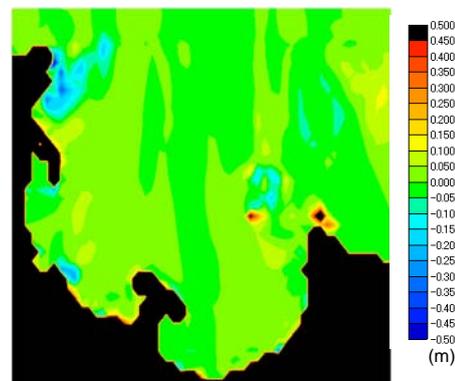


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.4 Difference of wave height distribution by interannual variability (Swell, Dir. WNW)

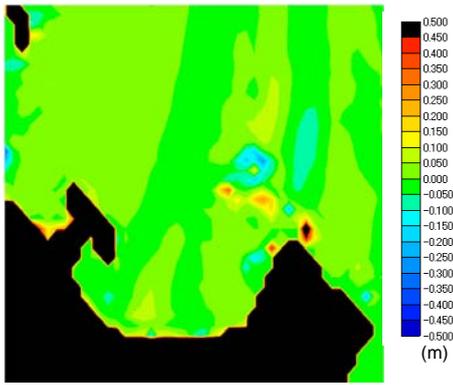


(a) H15-H6 (2003-1994)

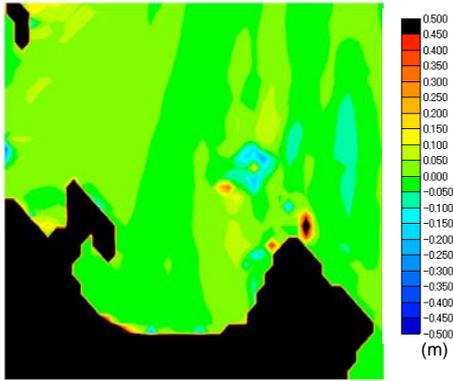


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.5 Difference of wave height distribution by interannual variability (Swell, Dir. W)

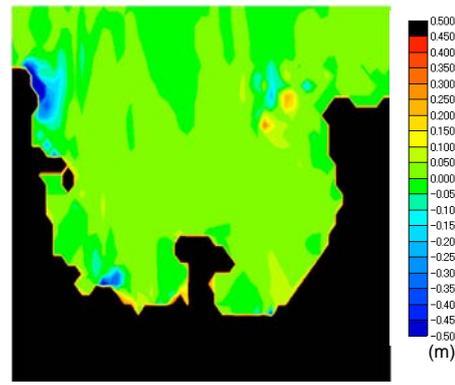


(a) H15-H6 (2003-1994)

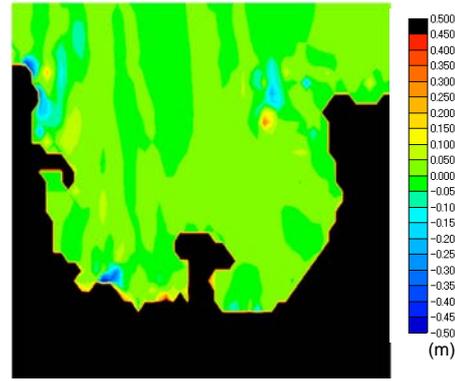


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.6 Difference of wave height distribution by interannual variability (Swell, Dir. WSW)

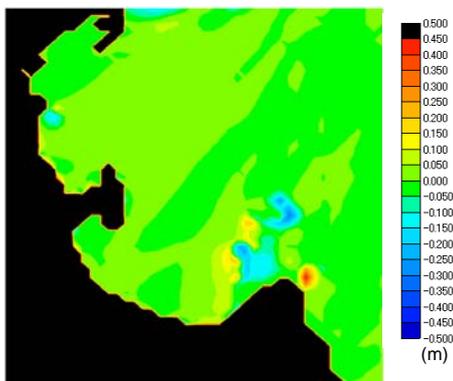


(a) H15-H6 (2003-1994)

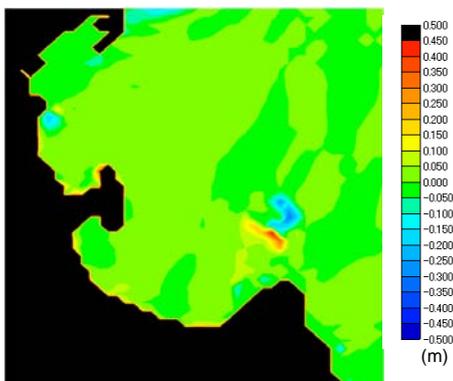


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.8 Difference of wave height distribution by interannual variability (Wind wave, Dir. WNW)

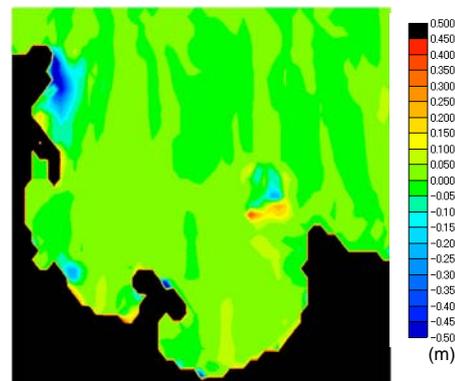


(a) H15-H6 (2003-1994)

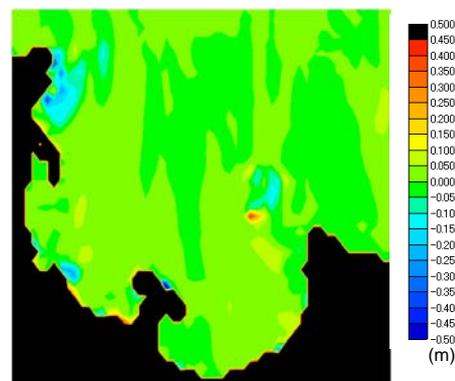


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.7 Difference of wave height distribution by interannual variability (Swell, Dir. SW)

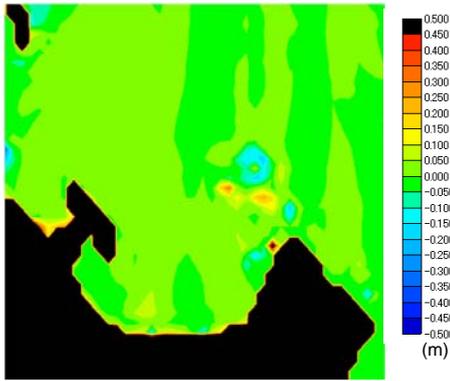


(a) H15-H6 (2003-1994)

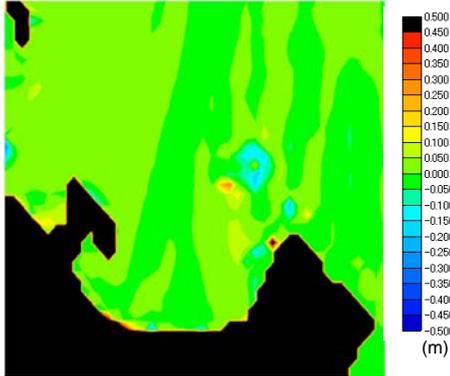


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.9 Difference of wave height distribution by interannual variability (Wind wave, Dir. W)

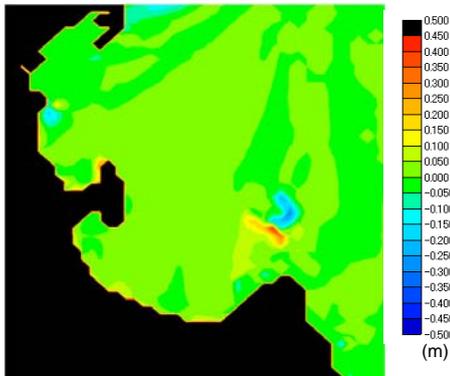


(a) H15-H6 (2003-1994)

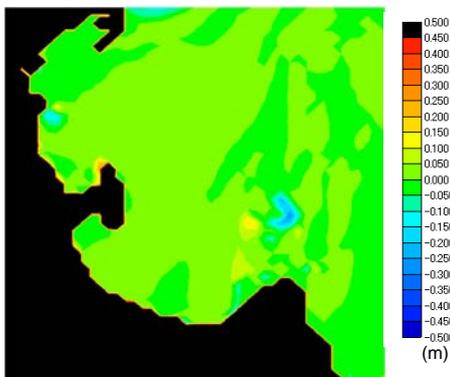


(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.10 Difference of wave height distribution by interannual variability (Wind wave, Dir. WSW)



(a) H15-H6 (2003-1994)



(b) H15-H10 (2003-1998)

Fig.11 Difference of wave height distribution by interannual variability (Wind wave, Dir. SW)

Table 2 Interannual variability of wave characteristics for swell

入射波向	波高差をとる年	特性
WNW	H15-H10	浜の北端と中央で0~5cmの上昇が見られる。
	H15-H6	H10と比べたものと同じ位置に違いが見られるがその影響は0~10cm大きい。浜の南側では5cm低くなっている。
W	H15-H10	中央から北端にかけて0~10cm程波高の上昇が見られる。北端に近くなるほど波高差が大きくなる。
	H15-H6	差のあらわれ方はH10と同様だが、浜中央で10cmの上昇、浜南側では10cmの低下が見られる。
WSW	H15-H10	差が浜の北端、ほぼ権現崎の位置に0~10cmの上昇が見られた。
	H15-H6	H10の特性に加えて浜中央も上昇している。
SW	H15-H10	浜の中央から北端にかけて0~5cm波高は上昇している。
	H15-H6	浜の中央から北端にかけて0~10cm波高は上昇している。加えて南側で10cm低下していることが確認できた。

Table 3 Interannual variability of wave characteristics for wind wave

入射波向	波高差をとる年	特性
WNW	H15-H10	浜の中央と北端で0~5cm程度波高が上昇している。
	H15-H6	H10と比べたものと同じ位置に違いが見られるが浜の中央水深4mまで10~15cmと大きい上昇が見られる。
W	H15-H10	浜の中央から北端にかけて0~10cm波高は上昇している。
	H15-H6	差のあらわれ方はH10と同様だが、浜中央で10cmの上昇、浜南側では10cmの低下が見られる。
WSW	H15-H10	差が浜中央で10cm上昇と大きく、中央北寄りから北端にかけては0~8cm上昇。
	H15-H6	経年で浜南側で10cm低下、浜中央から北端まで5~10cm波高は上昇している。
SW	H15-H10	浜中央南寄りで5cm程度波高の上昇が見られる。その他の場所では差がない。
	H15-H6	浜中央と北端で0~10cm波高が上昇している。

### (3) 風波の場合

うねりの場合と同様に、平成15年に対する波高差の経年変化をFig.8~11に示す。それぞれ波向WNW, W, WSW, SWのときのものである。

波浪の経年変化特性は、うねりの場合と全体的によく似た傾向がみられ、波向による影響が大きいことがわかった。各波向に対する波浪の経年変化特性を、Table 3にまとめて示す。

### (4) 沿岸における変化

Fig.12(a)は、Fig.2に示した沿岸における調査地点での波高を示したもので、Fig.12(b)は、平成6年を分母とした場合の平成10年および15年の波高比を示したものである。

Fig.12(a)の沿岸方向の波高の特性をみると、いずれのケースにおいても、波高は砂浜中央部の③で最も高く、北および南にいくにつれて、徐々に小さくなる。波向については、波向SWの時に波高が最も小さく、中央の③でも最大40cm程度である。経年変化についてFig.12(b)をみると、波向WNWのとき、

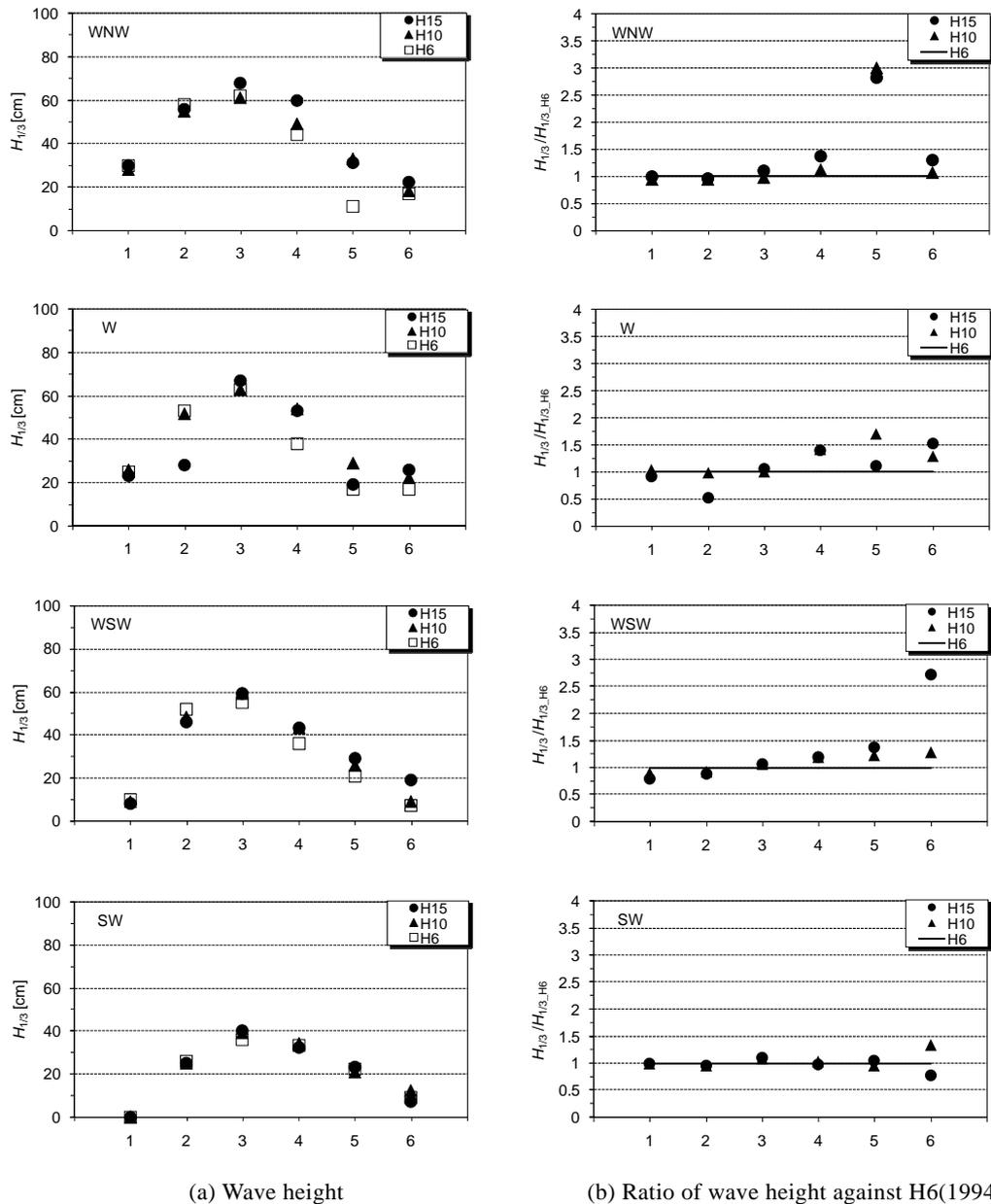


Fig.12 Wave height and variability distribution along the coast (Swell)

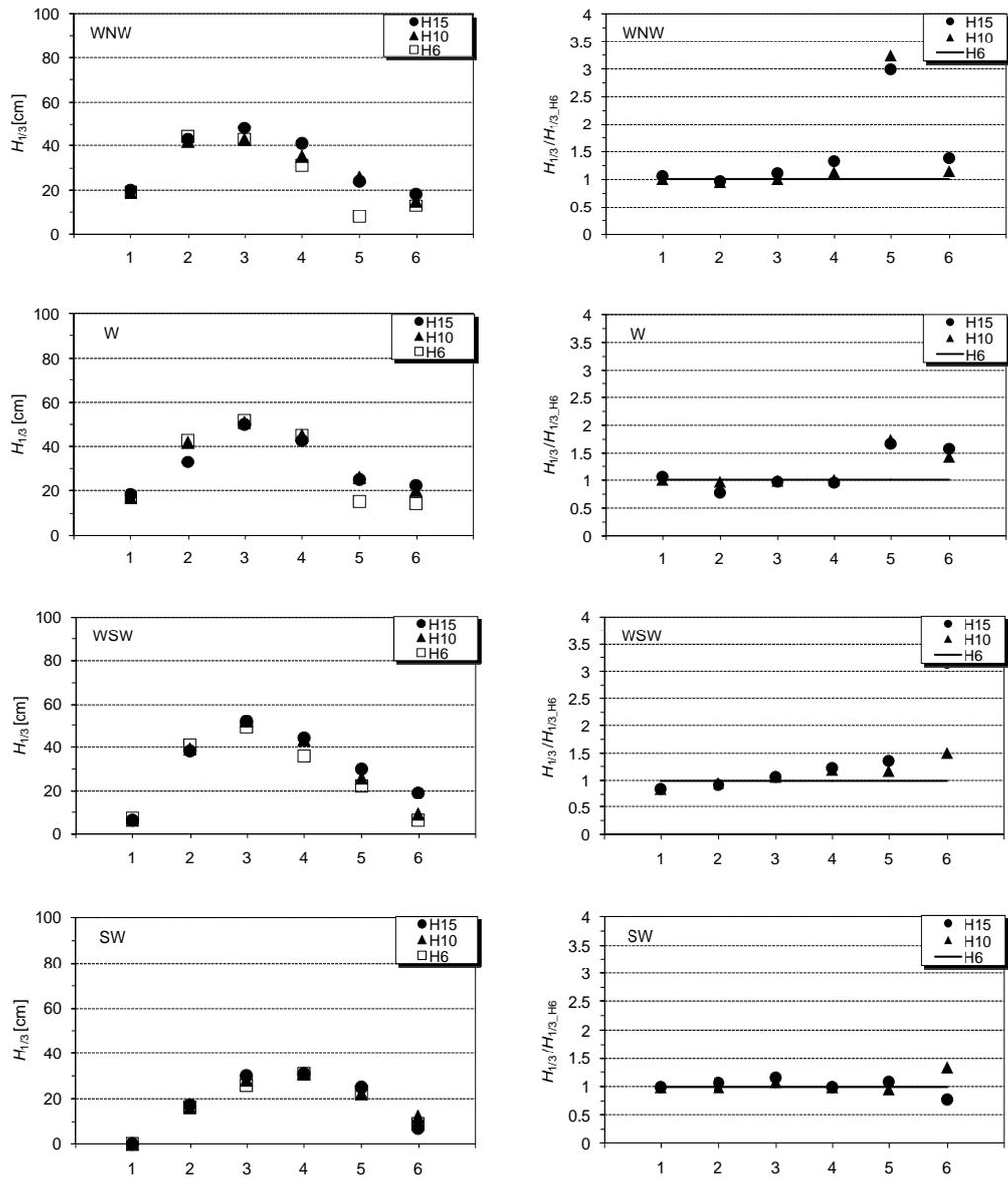
調査地点④で約 10cm, 調査地点⑤で約 20cm 上昇し, 波高比は約 3 倍になっている。波向 W のときの調査地点②における平成 15 年の波高は 25cm 程小さくなり, 約半分になっている。波向 WSW では, 南側では波高は年々減少しているが, 反対に北側では増大している。地点⑥では岩礁の背後で, 波高は元々 10 cm と小さかったが, 約 2 倍の 20cm に増大している。

うねりの場合と同様に, 風波での計算結果についても, 波高分布と平成 6 年に対する波高分布比を, それぞれ Fig.13(a)および(b)に示す。一番高い波高はうねりでは 70 cm であったのに対して, 風波では 50 cm 程度と低い。影響のあらわれ方についても, 風波の場合うねりの場合を小さくしたものとなった。

#### 4. 構造物が波浪特性に及ぼす影響

##### 4.1 海岸整備事業の目的

白良浜の後背地の開発が進むにつれ, 浜の面積が減少するようになった。和歌山県が砂の流出状況を調査した結果, 1999 年に完成した T 型突堤 (ヘッドランド) がある南側に比べ, 北側の砂浜が幅 63m で目標の 82m よりも狭くなっていることがわかった。砂の流出の防止および北側の砂浜の面積を広げるための対策として, 潜堤が建設されている。Fig.14 に示すような設計断面で, 北東から南東にかけて長さ 150m, 幅 30m の構造物である。



(a) Wave height (b) Ratio of wave height against H6(1994)  
 Fig.13 Wave height and variability distribution along the coast (Wind wave)

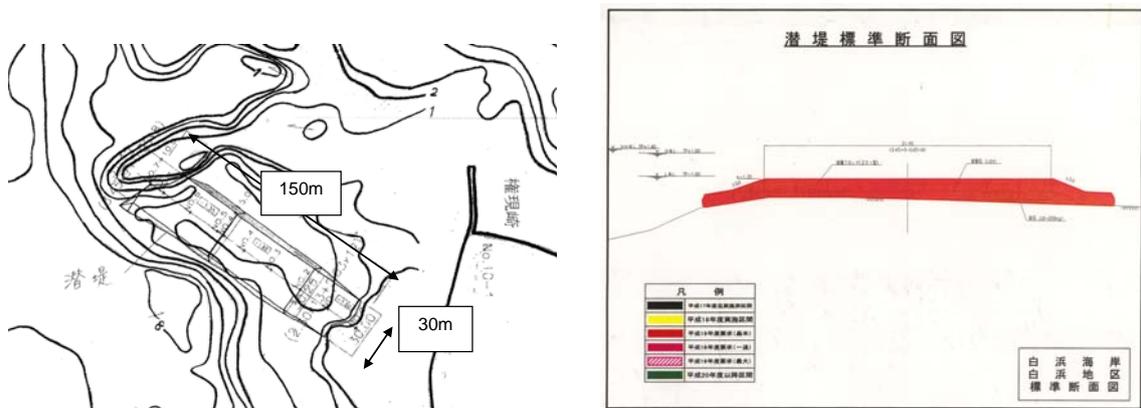


Fig.14 Plan and section of the submerged breakwater

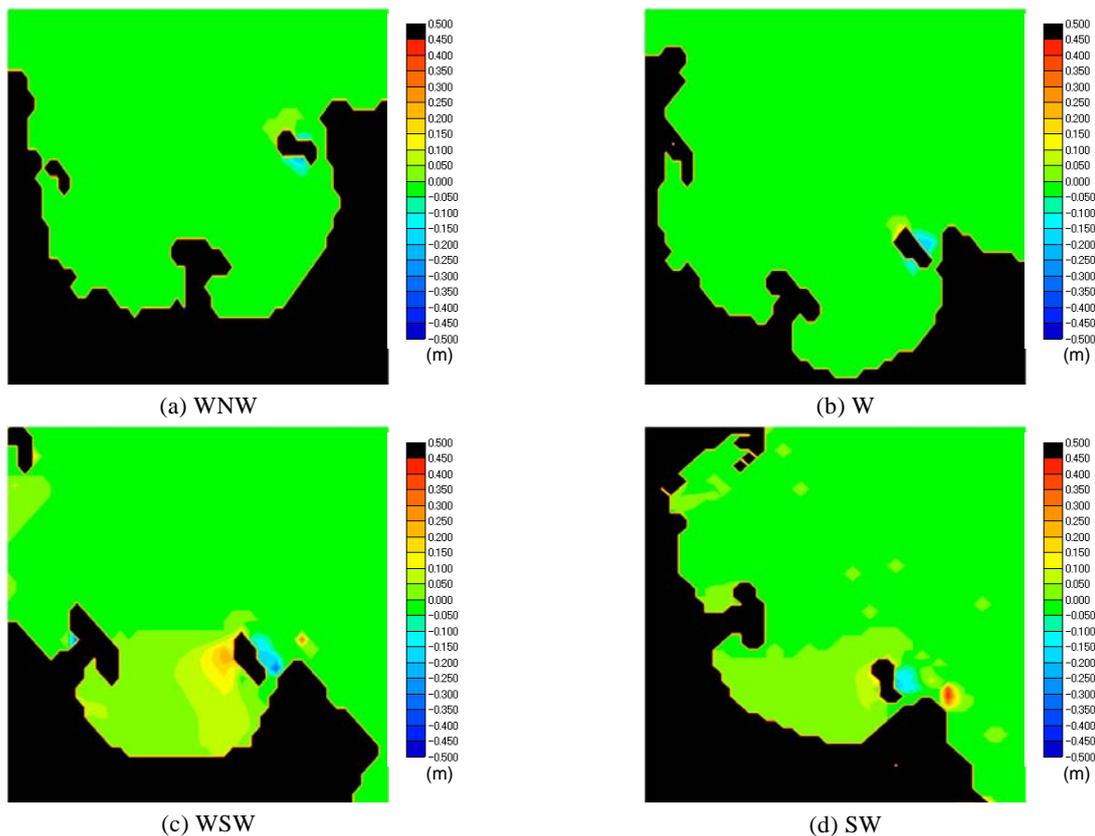


Fig.15 Difference of wave height distribution between with and without submerged breakwater for swell

## 4.2 潜堤による波浪特性の変化

潜堤建設前に測量された平成 15 年の海底地形を用い、潜堤建設前と完成後の波浪特性の変化を比較する。検討対象地点は、Fig.2 に示した浜辺に沿う 6 地点である。ここでも、3.2 と同様に、うねりと風波の 2 種類の入射波、WSW から SW の 4 種類の波向を解析条件とした。

### (1) うねりの場合

Fig.15 に潜堤の有無による波高差の平面分布を示す。潜堤設置により波高が増大すれば正の値、減少すれば負の値である。(a)~(d)はそれぞれ波向 WNW, W, WSW, SW の条件による計算結果である。

波向 WNW のとき、潜堤すぐ裏の地点で波高が 20 cm 低下、20 m 背後で波高が 5 cm 低下とその影響はわずかである。波向 W においても、潜堤すぐ裏の地点で波高が 20cm 低下、20m 背後で波高が 5cm 低下とわずかな影響である。波向 WSW では、入射してきた波が潜堤に反射して湾内全体放射状に影響が及んでいる。浜付近においては、潜堤の影響によって南側で 3~5cm 波高が上昇し、北側で 5 cm 程度上昇している。波向 SW でも、波向 WSW と似通った結果であるが、その影響のあらわれ方は小さい。潜堤付近で波高は 10 cm 程度上昇しているが、浜付近では差はない。

うねりの場合の沿岸の調査地点①~⑥における波高および波高比分布を示したものが Fig.16 である。波向 WNW, SW では差はほとんど無い。波向 W では、浜中央の調査地点③の波高が 5cm 程度小さくなっている。波向 WSW では、浜の中央を除いて波高が 5cm 程度上昇している。

潜堤は北西から入射する波の勢いを低減する設計であるが、元々岩礁が浜の北側の波高を小さくしていることもあり、今回の計算条件では、波高の差はほとんどみられなかった。北寄りから入射する波に対しては潜堤の効果が認められない。逆に、WSW のような、台風接近および通過時に南寄りから入射してくるうねり性の波に対して、堤体によって波が反射されて浜の南側での波高が大きくなった。このように、ある特定の条件においては、潜堤が沿岸の波高分布に影響を及ぼすことがわかった。

### (2) 風波の場合

うねりの場合と同様にして、Fig.17 に潜堤設置前の波高と潜堤完成後の波高との差を示す。(a)~(d)はそれぞれ波向 WNW, W, WSW, SW の条件による計算結果である。

波向 WNW, W では、うねりの場合と同様に、潜堤の影響はあまりみられない。波向 WSW, SW でもうねりの場合と同様な影響のあらわれ方で、潜堤で

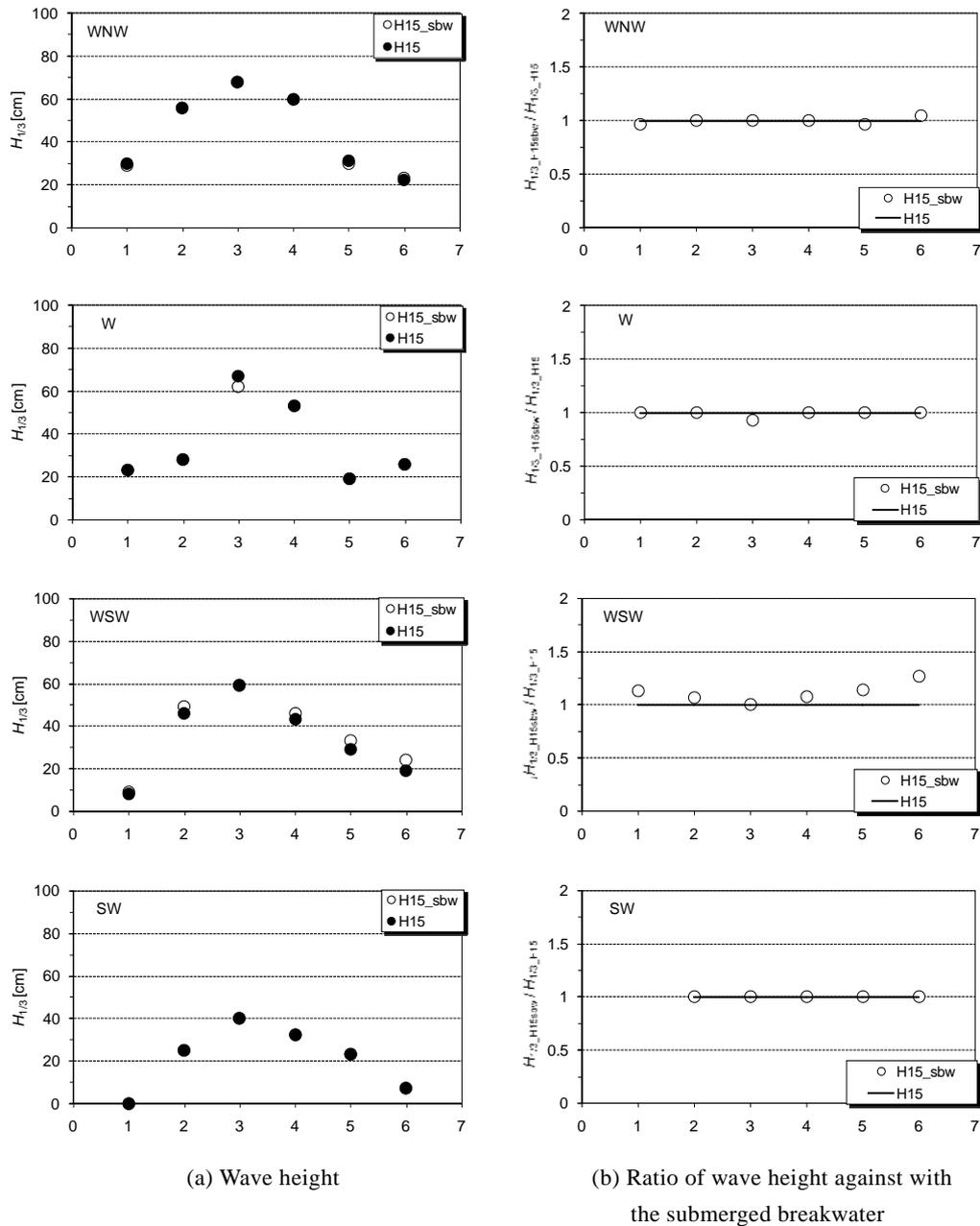


Fig.16 Wave height and variability distribution along the coast (Swell)

反射された波によって湾内の波高が全体的に増大している。

風波の場合の沿岸方向の調査地点についての波高および波高比分布を Fig.18 に示す。波向 WNW と W, SW では差はほとんど無い。波向 WSW の場合には、若干波高が増大しているが、うねりの場合と比べると潜堤による影響は小さい。

## 5. 台風0610号接近時における波浪解析

### 5.1 平成18年8月17日の海水浴場遊泳禁止について

白良浜を管理している自治体によると、遊泳禁止

措置をとる基準を次のように定めている。

- ・ 気象庁の注意報・警報
- ・ ライフセーバー等による現場の状況判断

2006年8月17日に白浜海水浴場中央部で部分的に遊泳禁止措置がとられた。同日に和歌山県下の他海水浴場では通常どおり遊泳可能であり白浜海水浴場のように部分的もしくは全体で遊泳禁止措置をとっている場所はなかった。気象状況を調べてみると、白良浜で高波が発生した原因は Fig.19 のように九州鹿児島県南東沖 200 km に接近していた台風 0610 号の影響と思われる。

同日の白良浜は最高気温 35.4 度、最低気温 27.6 度、曇りのち晴れという天気であったが、利用者が白浜

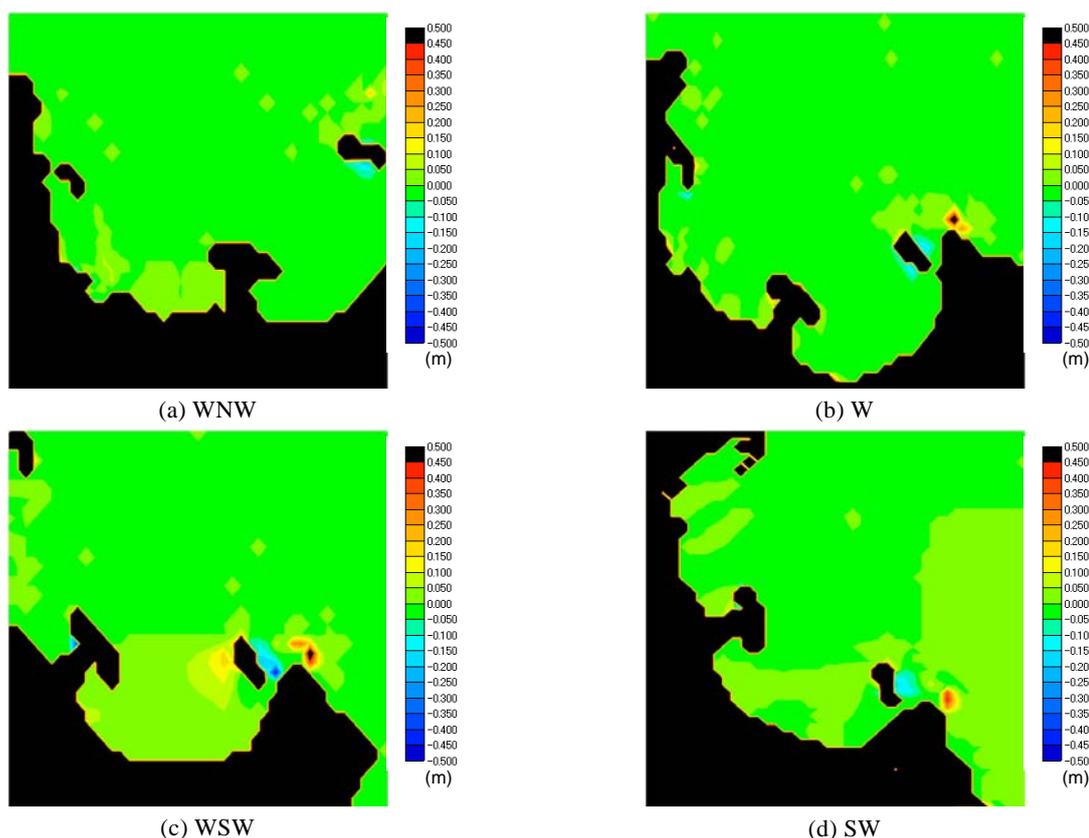


Fig.17 Difference of wave height distribution between with and without submerged breakwater for wind wave

中央部での遊泳禁止措置を見聞きして、措置をとるような波高になることは潜堤建設以前にはなかったと波を意識し始めた可能性がある。そこで、遊泳禁止になった日の一例である2006年8月17日の波浪状況の再現を試み、部分的な遊泳禁止になった原因を考察する。

## 5.2 GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システムによる沖合波浪解析結果

2.2で解説した方法を用いて潮岬における平成18年8月13日午前0時から8月19日午前9時まで時間毎の波高、周期、波向を計算した。この値を同日に観測された潮岬におけるナウファス観測値と比較し、白浜におけるSWAN計算値の扱いを決めた。

2006年8月13日から8月19日におけるSWANによる波浪推算結果をFig.20および21に示す。Fig.20は外洋の大領域での結果、Fig.21はそれを境界条件として細かい水深データで計算した小領域での結果である。SWANの計算結果を実測値と比較すると、波高のピーク時は一致するが高い波がきた場合に約1割程度小さい値となることが間瀬ら(2005)の研究によって明らかにされている。今回推算された波高を潮岬におけるナウファス実測値と比べた結果、波高を1.5倍にすると一致度が高いことがわかったため、このこ

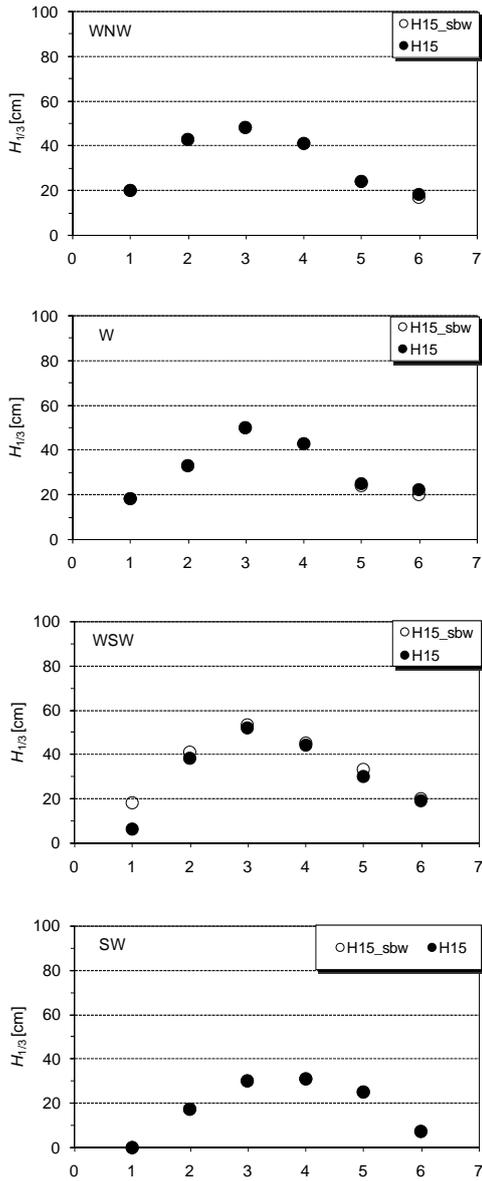
とを考慮して白浜沖合での波高を決定した。白浜沖4kmでの計算結果をFig.22に示す。Fig.22における2006年8月17日の午前10時の波高は2mであったが、有義波高 $H_{1/3}=3.0$  m、有義波周期 $T_{1/3}=12$  s、波向 $244^\circ$  (ほぼ西南西) とすることにした。

## 5.3 エネルギー平衡方程式による波浪変形計算結果

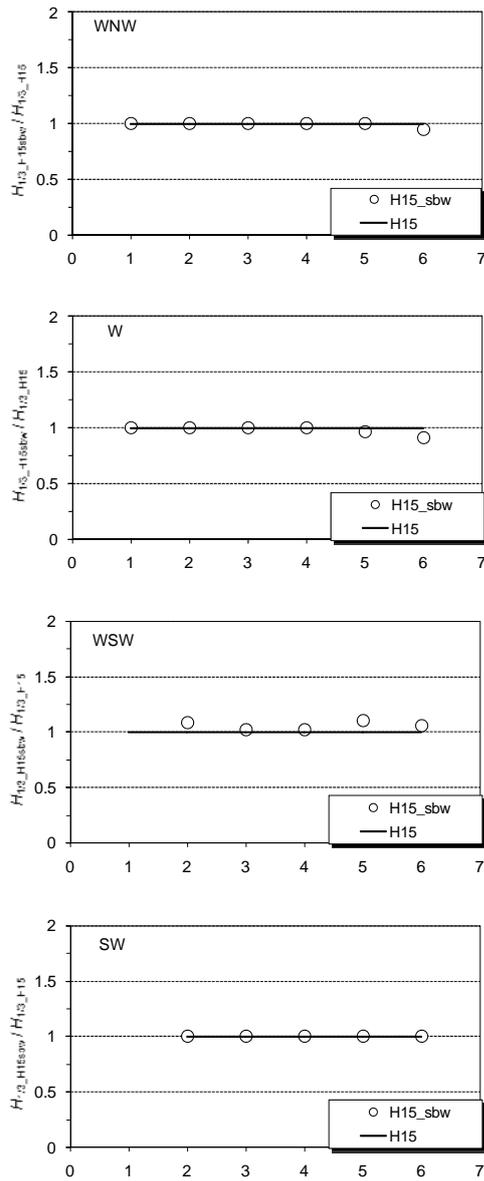
5.2で決定した白浜沖の波高を用いて、白良浜における波浪変形計算を行った。浜に沿った調査地点①～⑥での結果はFig.23のようになった。これを見ると、浜中央の調査地点③では波高が93cmと高く、遊泳するには危険と判断できる波高である。他の調査地点でも波高が50～80cm程度あることから、海水浴するにはあまり相応しくない状況であったことが再現された。

## 6. 結論

本研究では、波の回折を考慮した多方向不規則波浪変形計算モデルを利用し、和歌山県西牟婁郡白浜町の白良浜における海底地形と波浪特性の経年変化、また、権現崎付近に建設された潜堤が波浪に及ぼす影響を検討した。



(a) Wave height



(b) Ratio of wave height against with the submerged breakwater

Fig.18 Wave height and variability distribution along the coast (Wind wave)

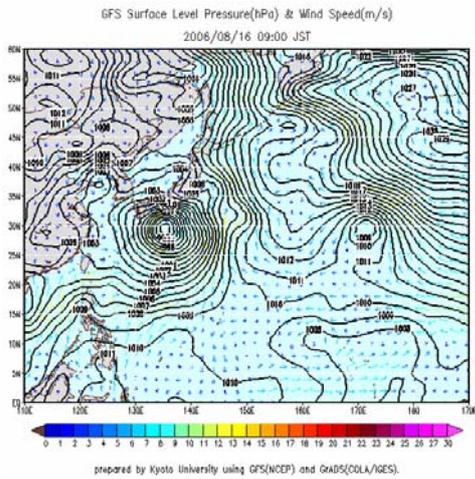


Fig.19 Surface level pressure and wind speed by NFL data (2006/8/16 9:00)

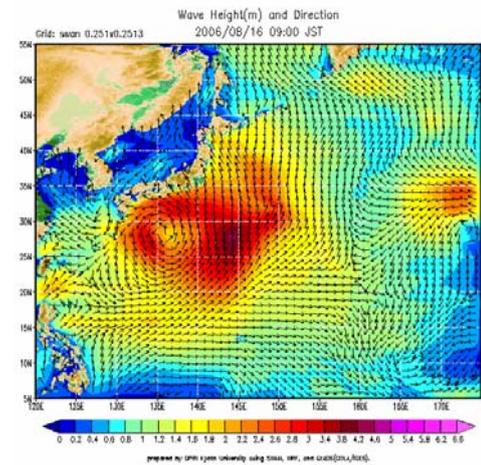


Fig.20 Wave height and direction in 1st domain by SWAN (2006/8/16 9:00)

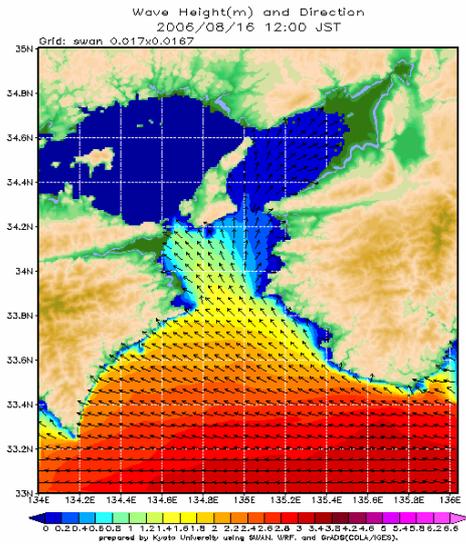


Fig.21 Wave height and direction in 2nd domain by SWAN (2006/8/16 12:00)

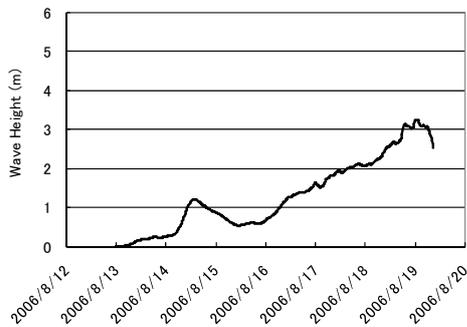


Fig.22 Simulated wave height at 4km offshore from Shirahama by SWAN

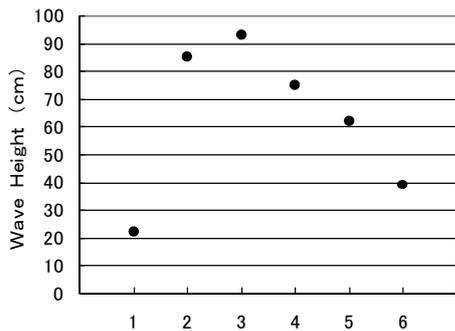


Fig.23 Calculated wave height at the Shirarahama Beach by EBED

- 1) 白良浜の海底地形は、浜中央付近で深くなっている。養浜実施履歴と照らし合わせると、砂を投入していないところでは深くなった反面、養浜をしたところでは砂の投入量が  $5,000\text{ m}^3$  程度では深さはあまり変化せず、投入量が  $10,000\text{ m}^3$  を超えると浅くなった。
- 2) 波高の経年変化については、波向により変化に多少の差はあるが、浜の北側において経年で1.5～3倍に大きく増大した。浜の南側では、平成6年以降、波高はやや低下もしくはほぼ同じであった。
- 3) 潜堤が波高へ及ぼす影響は、波向がWSWのうねりのときに、浜の北側と南側であらわれ、波高が10～30%増大した。
- 4) 遊泳禁止になった日についての再現解析を行った。その結果、浜の中央部で約90cmと遊泳禁止になるに相当する波高が再現された。

以上のように、ある特定の条件においては、潜堤が沿岸の波高分布に影響を及ぼすことがわかった。これは数値シミュレーションによる考察であるので、波浪観測をすることで沿岸方向の詳細な波浪分布を調べ、本研究で示した潜堤が波浪に及ぼす影響について検証する必要がある。また、本研究では海浜流の推定は行っていないので、潜堤による砂の流出制御効果の検討はしていない。これについては、現状の深浅測量を実施して、地形変化および漂砂特性の把握や別途数値解析が必要である。

## 謝 辞

白良浜の水深測量データならびに白浜海岸環境整備事業に関する貴重な資料をご提供いただいた和歌山県関係者各位に謝意を表す。

## 参考文献

- 間瀬 肇, 木村雄一郎, Tracey H. Tom, 小川和幸 (2005) : GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システムの構築と検証, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.181-185.
- 間瀬 肇, 高山知司, 国富将嗣, 三島豊秋 (1998) : 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデル, 土木学会論文集, No.628, pp177-187.

## **Interannual Variability of Waves and Influence of Submerged Breakwater on Wave Characteristics at Shirarahama Beach**

Tomohiro YASUDA , Junji TSUKAMOTO\*, Hajime MASE, Hiroaki SHIMADA\* and Taisuke ISHIGAKI\*

\* Department of Civil, Environmental and Applied System Engineering,  
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

### **Synopsis**

The purpose of this study is to investigate an interannual variability of waves and influence of submerged breakwater on wave characteristics at the Shirarahama Beach. The wave transformation model with the theory of energy balance equation including wave diffractions effect is used for the evaluation. We used three different topography conditions, with or without submerged breakwater and two different wave conditions which are a swell and a wind wave. It was found that the wave characteristics are varied year by year according to changing of topographic conditions. The influence of submerged breakwater on the wave characteristic is also investigated in case of swell and WSW wave direction.

**Keywords:** Shirarahama Beach, wave characteristics, interannual variability, submerged breakwater, swell, wave direction