

# 新しい置砂法によって造成した海浜の波による変形過程

井上雅夫\*・島田広昭\*\*・梶元淳二\*\*\*

## 1. 緒 言

近年、養浜などによって海浜を整備し、海水浴など海洋性レクリエーションの場として利用することが多くなってきた。その際、養浜材料については、海岸保全施設築造基準(1987)によると、その材質、海浜の安定性、周辺環境に及ぼす影響および供給可能量などを考慮して決定するように定められているが、現実には、良質で安価なものを大量に採取することは困難な場合が多いようである。このため、著者らは、利用者の立場からは粒径の小さい感触の良いものが好まれ、海浜の安定性の面からは、一般に粒径の大きなものが有利であることに着目し、海浜の前浜部には粒径の小さい砂、外浜部には粒径の大きい砂を置き、二種の底質からなる人工海浜を考案した。

この人工海浜の利点としては、i) 離岸堤などの土砂流出防止施設を小規模にすることができる。ii) 遊泳水域での海水の濁りが低下する。iii) 海水浴客など利用者の底質に関する満足度が向上することなどが考えられる。

本研究は、こうした人工海浜の波による変形過程を実験的に検討し、従来の一様な底質によるものとの比較を行うことによって、二種類の粒径の異なった底質を層状に置砂した場合の安定効果を明らかにしようとした。

## 2. 実験装置および方法

二次元海浜変形の実験には、電気油圧サーボ式不規則波造波機を有する長さ 25 m、幅 0.5 m、深さ 0.6 m の水槽を用い、そのなかに 1/10 勾配の模型海浜を設置した。実験で対象とした断面は、底質が一種類だけの細砂断面(中央粒径  $d_{50}=0.19$  mm) および粗砂断面( $d_{50}=0.46$  mm) と、図-1 に示すように、その細砂と粗砂をそれぞれ前浜と外浜部に置き、その境界面の位置を静水面にした断面(以下、○断面という)、境界面の位置を碎波水深  $h_b$  にした断面(以下、 $h_b$  断面という)および  $h_b/2$  にした断面(以下、 $h_b/2$  断面という)の五種類とした。

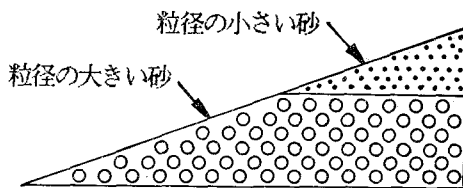


図-1 新しい置砂法によって造成した海浜

入射波の特性は、規則波では周期を 1.0 s とし、波形勾配を 0.022, 0.049 および 0.079 の三種類に変化させた。不規則波のスペクトルは有義波周期が 1.0 s の Bretschneider・光型で、有義波の波形勾配は 0.049 である。波の作用時間はほとんどの場合、160 時間であり、まず、二次元海浜変形過程に及ぼす規則波の波形勾配および底質の境界面の位置の影響を調べた。続いて、規則波による実験では、海浜変形を生じさせたのち、その侵食部分だけに砂の補給を行い、そののちふたたび波を 160 時間作用させて、砂の補給を行った効果を調べた。さらに、規則波の実験では、細砂断面を除く四種類の断面について、 $d_{50}=0.46$  mm の粗砂の代わりに  $d_{50}=0.82$  mm の砂(以下、大粗砂という)を用いたものについても実験を行い、海浜変形過程に及ぼす二種類の底質の粒径比の影響も調べた。

最後に、長さ 20 m、幅 10 m、深さ 0.5 m の平面水槽内に、外浜部に粗砂、前浜部に細砂を置いた勾配が 1/10 の模型海浜を設置し、それに入射角が  $50^\circ$  で波形勾配が 0.03 の規則波を作用させ、その三次元的な安定性を検討した。なお、この場合には、侵食後の海浜に安定海浜工法を適用し、土屋ら(1982)が行った底質が一種類だけの場合の実験結果と比較した。

海浜断面形状の測定は、二次元変形実験のほとんどの場合には、造波後 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 96, 128 および 160 時間後に、三次元実験の場合には、造波後 1, 2, 4, 7, 9 および 14 時間後に砂面測定器を用いて行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 二次元海浜変形

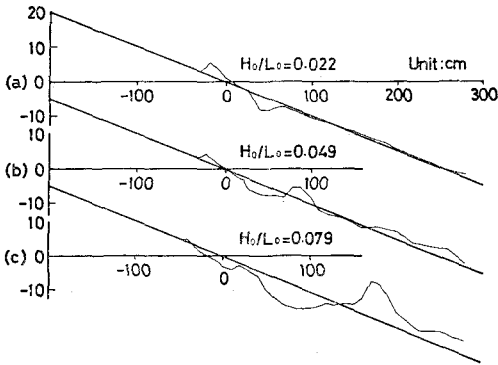
図-2 は底質が二種類の○断面、図-3 は底質が一種

\* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

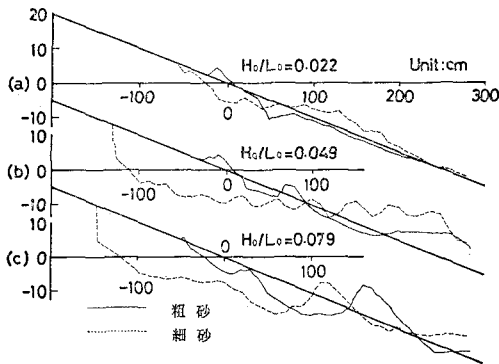
\*\* 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科

\*\*\* 正会員 工修 五洋建設株式会社

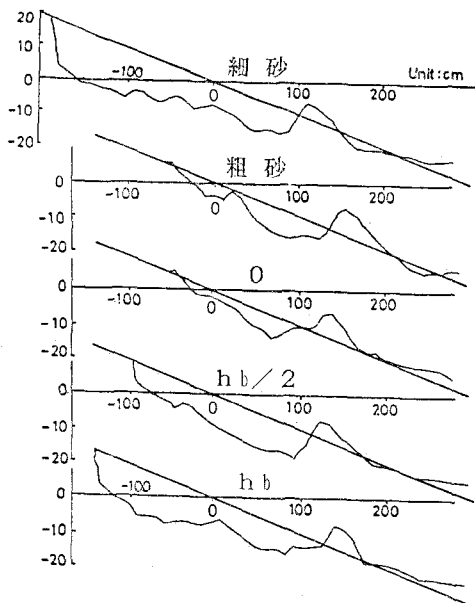
類だけの粗砂と細砂断面のいずれも造波開始後96時間後の断面形状である。



図—2 O断面海浜の断面形状変化



図—3 従来の海浜の断面形状変化



図—4 海浜断面形状の比較

図—2 に示したO断面の  $H_0/L_0=0.022$  の場合については、汀線よりやや沖側の粗砂が岸側に移動し、浜堤が形成されているが、変形は汀線付近に限定され、トラフより沖側での変形はほとんどない。 $H_0/L_0$  が 0.049 から 0.079 に増大するにつれて、浜堤の規模は小さくなるとともに、トラフや沿岸砂州が発達していることがわかる。また、これらの変化を、図—3 の結果と比較すると、実線で示した粗砂断面のものと酷似している。これは、 $H_0/L_0$  が 0.049 以下の場合には、前浜の細砂の上に外浜の粗砂が堆積し、粗砂断面と同様に前浜の変形はほとんどないためである。また、 $H_0/L_0$  が 0.079 の場合には、汀線より沖側では外浜の粒径の大きい底質の特性にしたがって変形するが、汀線近傍では前浜の細砂が薄層になって堆積し、粗砂断面よりかえって変形が小さくなるためである。このように、 $H_0/L_0$  が 0.022~0.079 の範囲内であれば、断面すべてを粗砂にする必要はなく、静水面上の砂を細砂にしても、海浜変形に対しては安定なものになっていることがわかる。

図—4 は、 $H_0/L_0=0.079$  の場合の 160 時間後の海浜断面形状であり、上図から、それぞれ細砂、粗砂、O、 $h_b/2$  および  $h_b$  の各断面のものである。これによると、いずれの断面も沿岸砂州は発生しているが、浜堤が形成されているのは粗砂および O 断面だけであり、他の断面では浜崖が形成されている。また、汀線はいずれも初期汀線より後退しているが、その量は、O、粗砂、 $h_b/2$ 、 $h_b$ 、細砂の各断面の順に小さく、汀線の位置が平衡状態に達するまでの時間は、汀線の後退量が大きいものほど長いようである。なお、図示はしていないが、 $H_0/L_0=0.049$  の場合は、浜堤が形成されているのは粗砂、O および  $h_b/2$  の各断面であり、その他の断面では浜崖が、特に細砂断面では、多段沿岸砂州がそれぞれ形成されている。汀線変化については、O 断面が初期汀線より前進しているが、他の断面は後退しており、汀線後退量および汀線の位置が平衡状態に達するまでの時間についての傾向も  $H_0/L_0=0.079$  の場合と同様である。

図—5 は、 $H_0/L_0=0.079$  の場合の侵食量の時間的変化である。なお、この場合の侵食量  $q$  ( $\text{cm}^2$ ) は、岸側から沿岸砂州までの単位幅当りの侵食量である。これによると、侵食量は細砂断面がもっとも多く、ついで  $h_b$ 、 $h_b/2$ 、粗砂、O の各断面の順に多い。図示はしていないが、 $H_0/L_0=0.049$  の場合の侵食量も、細砂断面がもっとも多く、ついで  $h_b$ 、粗砂、 $h_b/2$ 、O の各断面の順に多く、 $H_0/L_0=0.079$  のものと結果が若干異なっている。

このように、海浜利用者の立場を考慮して前浜に粒径の小さい砂を置いた O 断面は、いずれの波形勾配でも粗砂断面よりかえって侵食に対して有利であること、さらに、波形勾配が 0.049 程度の波に対しては、 $h_b/2$  断

面でも、十分有利な断面であることなどが明らかになった。

図-6 は、96時間後の各海浜の断面形状であり、実線は不規則波、破線は規則波によるものである。なお、 $H_0/L_0$  は 0.049 であり、不規則波は有義波のものである。これによると、規則波と不規則波によるものとの相違が顕著に現れている。特に、 $h_b$  断面と細砂断面で著しく、規則波のものは沿岸砂州やトラフが消失するほど侵食され、大きな浜崖が形成されている。しかし、不規則波のものは浜堤も沿岸砂州も形成されており、侵食規模も小さい。また、不規則波によるものは、細砂断面を除く他の断面はいずれもほぼ同じ形状を示しており、沿

岸砂州や浜堤の堆積規模は規則波のものに比べてかなり大きい。なお、 $O$ 、 $h_b/2$  および  $h_b$  の各断面では、約 4 時間後から、粗砂が岸側に移動し、細砂の上に堆積しはじめ、13 時間後にはいずれの断面でも、初期汀線から遡上限界点付近までの間が全面外浜の粗砂で覆われた。このため、これらの三断面では、それ以後の断面形状が粗砂断面のものに類似したものと考えられる。

図-7 (a) および (b) は、それぞれ不規則波と規則波による汀線変化量の時間的変化である。これによると、不規則波では、16 時間後まではいずれの断面も汀線は後退しているが、160 時間後でも汀線が後退しているのは細砂断面だけであり、粗砂断面が 32 時間後、他の断面は 64 時間後には初期汀線より前進している。また、その量については、これらの断面の間に大差はない。さらに、汀線が後退している細砂断面であってもその後退量は規則波に比べると小さい。しかし、規則波では、 $O$  断面を

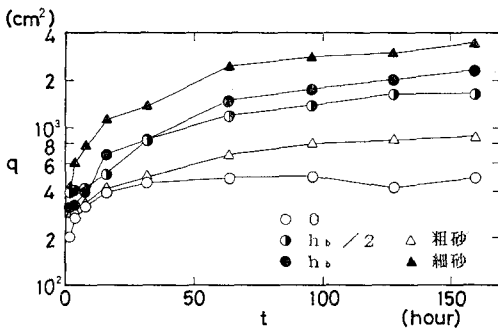


図-5 侵食量の時間的変化

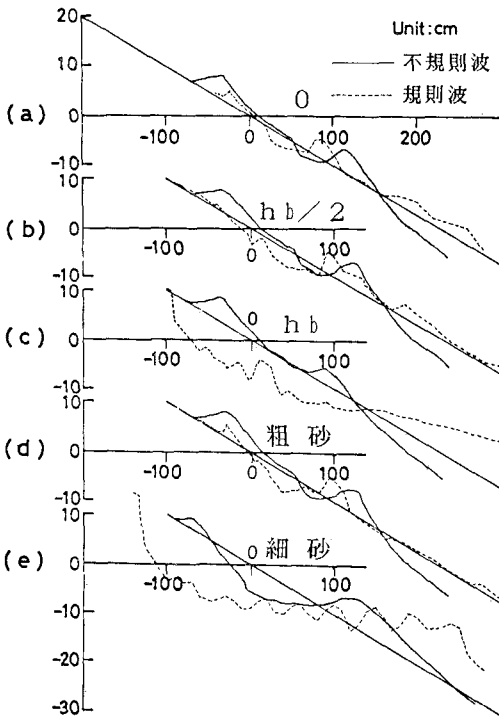
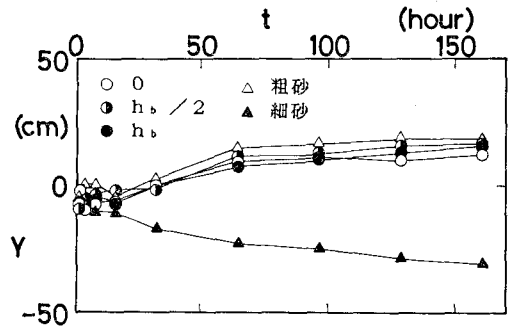
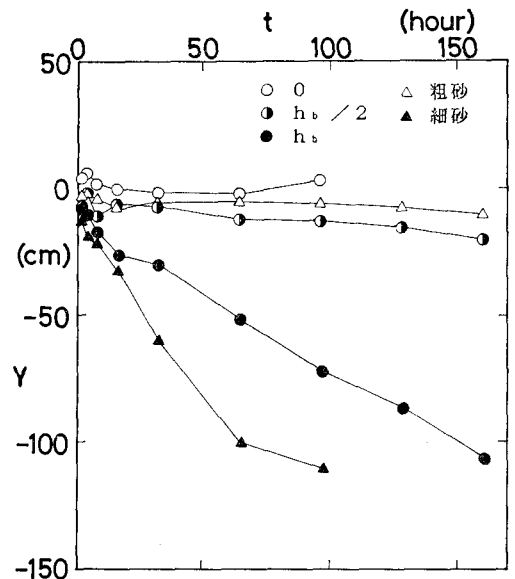


図-6 海浜断面形状の比較



(a) 不規則波



(b) 規則波

図-7 汀線変化量の時間的変化

除き、すべての断面で汀線は後退しており、その量も各断面ごとに違いがみられる。

なお、不規則波による侵食量については、図示はしていないが、汀線変化量と同様な傾向がみられた。

このように、規則波では各断面によって、その断面形状、汀線変化量および侵食量のいずれも非常に異なっているが、不規則波ではあまりそのような違いはみられなかった。また、それらの変動量についても、不規則波のものは規則波のものに比べてかなり小さいことが明らかになった。

### 3.2 侵食地形に砂を補給した場合の効果

ここでは、規則波を160時間作用させたのち、初期断面より侵食した箇所に砂の補給を行って、ふたたび規則波を160時間作用させた実験の結果について述べる。

図-8は、 $H_0/L_0=0.079$ の場合の砂補給前後の汀線変化量の時間的変化であり、実線は補給前、破線は補給後のものである。これによると、補給後の汀線変化量は、 $h_b$ 、 $h_b/2$ 、粗砂の各断面の順に大きい。このことは、補給前についても同様である。また、砂の補給を行うことによって、汀線の位置が平衡状態に達するまでの時間も短くなり、その変化量については、いずれも補給後のものが小さく、いずれの断面についても、砂の補給が汀線の後退防止に効果的であることがわかる。なお、これらのことは  $H_0/L_0=0.049$  の場合についても同様であるが、波形勾配が大きいほどその効果は大きい。

図-9は、 $H_0/L_0=0.079$ の場合の砂補給前後の侵食量の時間的変化である。これによると、いずれの断面についても、補給前のものに比べて補給後のほうが侵食量は少なくなっている。これは、補給後には沿岸砂州の発

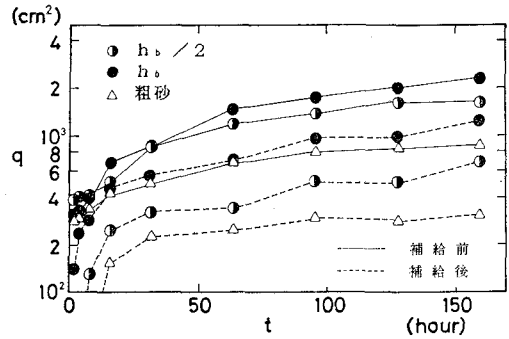


図-9 侵食量に対する砂補給の効果

生位置が沖側に移動するためと思われる。

このように、波形勾配にかかわらず、侵食後の地形に砂を補給することはいずれの断面についても、その侵食防止に対して有効であり、海浜変形が平衡状態に達するまでの時間も補給前より短くなることがわかった。

### 3.3 外浜の底質粒径を大きくした場合の効果

ここでは、外浜の底質を大粗砂にした場合（以下、断面の前に(大)で示す）の実験結果について述べる。

図-10は、 $H_0/L_0=0.079$ の場合の汀線変化量の時間的変化である。これによると、大粗砂を用いた各断面では、大粗砂断面が8時間後、O(大)断面と  $h_b/2$  (大)断面は64時間後にそれぞれほぼ平衡状態に達し、いずれの断面も初期汀線より後退している。また、160時間後の汀線変化量は、大粗砂断面がもっとも少なく、ついでO、O(大)、粗砂、 $h_b/2$ (大)、 $h_b/2$ の各断面の順に小さい。

図-11は、図-10の場合の侵食量の時間的変化である。これによると、O断面のものは他の断面とは異なり、大粗砂を用いた断面のほうが粗砂のものより侵食量は多い。この原因としては、外浜の砂の粒径を前浜のものの約4倍とかなり大きくしたため、前浜の細砂が外浜の大粗砂の間に沈下し、その結果、侵食量が多くなったものと思われる。また、このことは、 $H_0/L_0=0.049$ の場合についても同様である。

このように、いずれの波形勾配であっても、外浜に置く底質の粒径をあまり大きくしすぎると、海岸侵食に対してはさほど有効でないことがある。

### 3.4 安定海浜工法の適用

図-12は、平面水槽で行った実験結果の一例であり、ヘッドランド設置後の汀線形状の時間的変化である。上図はO断面、下図は土屋ら(1982)による細砂断面のものである。これによると、O断面は、時間の経過とともにヘッドランド周辺では徐々にトンボロに近いものが形成され、ヘッドランド間の湾入部では汀線が後退しポケットビーチが形成されていく様子がわかる。細砂断面で

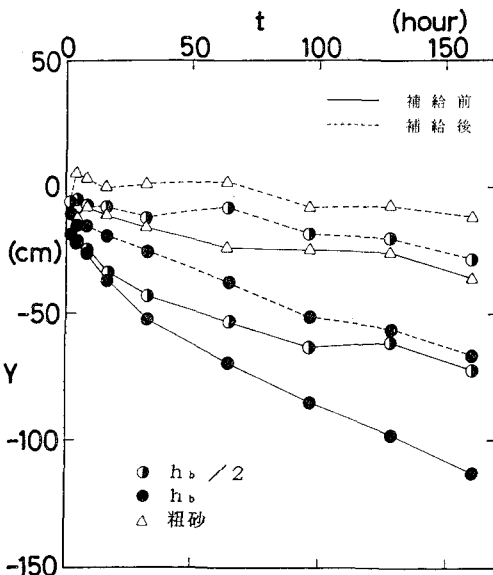


図-8 汀線変化量に対する砂補給の効果

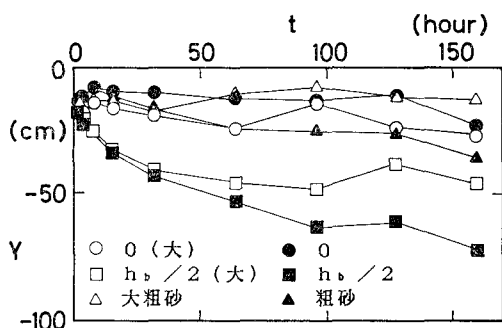


図-10 汀線変化量の時間的变化

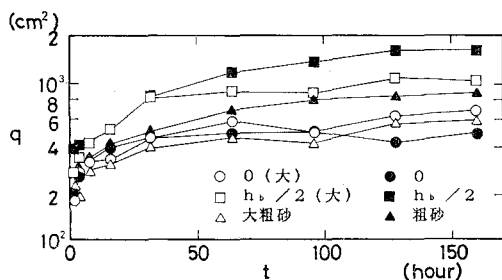


図-11 侵食量の時間的变化

は、O断面のものよりも短時間で、ヘッドランド近傍でのトンボロの形成が明瞭になり、ヘッドランド間の湾入部では汀線の後退が著しい。また、ヘッドランドによって形成されるトンボロの形状については、細砂断面のものの方が細長く、ヘッドランド間の湾入部での侵食領域はO断面のものが少ない。

このように、O断面に安定海浜工法を適用した場合、細砂断面に比べて、安定海浜が形成されるまでの時間はやや長いが、汀線変化量や侵食領域は小さく、湾入率の小さい安定海浜が形成されるようである。

#### 4. 結 語

以上、著者らは、海浜利用者の立場と海浜の安定性の面から、前浜部に粒径の小さい砂、外浜部に粒径の大きい砂を置くような人工海浜を考案し、その波による安定性について実験的な検討を行った。その結果、静水面以上の海浜砂の粒径を静水面以下のものより小さくしても、海浜の安定性については問題はなく、むしろ規則波の場合には全断面を粗砂で造成したものよりも好結果を

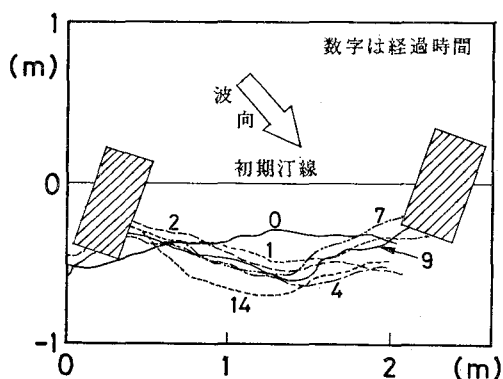


図-12 ヘッドランド設置後の汀線変化

得ることができた。しかし、前浜と外浜の底質粒径の比によっては、必ずしもこの置砂法が海浜の安定性に関して効果的でない場合もある。したがって、今後は、こうした二種の底質の最適粒径比の組み合わせを明らかにすることによって、この置砂法による人工海浜の実用性を高めていきたい。

最後に、この研究を行うにあたり、実験や図面作成に大いに助力してくれた、当時、関西大学海岸工学研究室の学生諸君に深甚な謝意を表する。なお、この研究は関西大学学術研究助成金による研究の一部であることを明記して、謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 海岸保全施設築造基準連絡協議会編 (1987): 改訂海岸保全施設築造基準解説, pp. 235~242.
- 土屋義人・芝野照夫・西島照毅 (1982): 安定海浜の形成に関する実験的研究, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 274~278.