

# 砂浜の消波機能と波浪環境による形状変化

国土技術政策総合研究所 海岸研究室 福濱 方哉

## 1. はじめに

渚で海を眺めていると、沖で波が白く砕け、白い波頭をともない波が渚にいる我々の方に近づいてくのが見える。波は、砂浜にいる我々に向かってやってくる。時折、大きな波がやってきて、濡れないようにあわてて波打ち際から逃げることもある。風が吹くと、浜辺の砂が舞い上がる。よく見ると波打ち際の砂は、粒が大きく粗い。沖に見える防波堤の先では白い波が打ち上がっているのが見える。時折、大きなしぶきが舞い上がる（写真 - 1）。



写真 - 1 夏の海浜

海辺の環境を、砂浜のもつ消波機能と、波浪による砂浜の形状変化と回復の観点から以下に述べていきたい。

## 2. 波の動き

我々が海で見る波は、一般に海域を吹く風により発達した波である。台風来襲時の波は、沖ではその高さが10mに達することもある。

沖で発達した波は、岸に近づくと水深が小さくなるので、海底面からの摩擦によりエネルギーが逸散し、波の形を維持しきれず砕けはじめる。波が砕ける現象を「砕波」といい、砕け始める水深を「砕波水深」という。砕波水深は波の高さの概ね1.5倍程度の深さであるので、砕波の状況を観察することにより岸からでも水深を推測することができる。たとえば同じように波が来襲していても沖側で砕波する場所には浅瀬が広がっており、逆に、岸に近いところで砕波している場所には深みが存在していることがわかる。

砕けはじめた波は、岸に近づくにつれさらに水深が浅くなるため、崩壊が進行する。波が岸に到達すると、波は流れとなって砂浜をはい上げる。はい上がりきった波は、斜面を下り海面に戻る。波はこのような挙動を休むことなく太古からずっと繰り返している。

## 3. 砂浜の機能

砂浜は波のエネルギーを逸散・減衰させるという「消波機能」を有している。十分に広い砂浜が存在する海岸では、砂浜がない海岸、たとえば侵食により砂浜が消失した海岸と比べ、岸へ向かう波の力を弱めるため、沖合で同じ強さ大きさの波でも、波の打ち上がり高や、海岸堤防を越える波の量は小さい（図 - 1 参照）。

また砂浜は、構造物の基礎を押さえる効果があるため、波力や堤体内の土砂の吸い出しに対し、安定化させる機能を持つ。そのため、砂浜のない海岸は、高波の影響を受けやすい海岸であり、被災のポテンシャルが高いといえる。

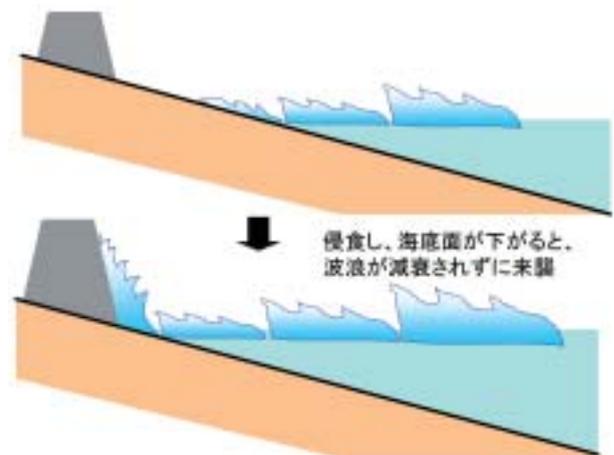


図 - 1 砂浜の消波機能

たとえば、写真 - 2 は、平成18年の台風による高波で崩壊した海岸堤防であるが、浜に砂が無く、波浪が減衰することなく堤防に来襲した。堤防が被災し、陸側の道路が侵食・陥没している様子がわかる。



写真 - 2 台風で崩壊した堤防

写真 - 3 は、平成17年から18年の冬季の風浪による緩傾斜堤の被災である。ここも砂浜がなく、護岸に波を直接受け、堤体土砂の吸い出しとあいまって、大きなコンクリートブロックでもおもちゃのように散乱してしまう様子がわかる。



写真 - 3 風浪で被災した護岸

#### 4. 砂の移動

次に、海底を形成する砂に観点をあてて波の動きを見てみる。岸边では、押し波・引き波とともに砂が行き来している現象が観察される。これは波により海底が摩擦を受けるためである。しかしながら、水深が深くなるにつれ、海底面に伝わる波の影響は小さくなる。

水の粒子の運動は、波により楕円を描き、浅いところほど海底面に及ぼす波の与える影響は大きい。波による砂の移動はある水深より浅い範囲で起こっていることがわかる(図 - 2)。

一方、十分な水深を持つ沖側では、波の力で砂は移動しない。波の力では砂が動かされないこの水深を「移動限界水深」という。

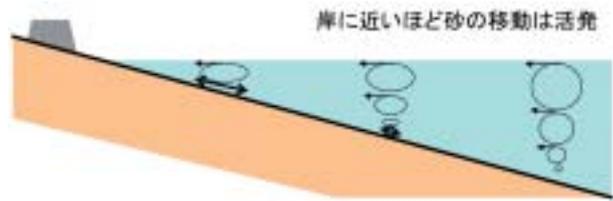


図 - 2 波の動きと砂の動き

#### 5. 海浜地形と変動

海浜とは、暴風時の波の作用が海底に及ぶ海側の限界から、この波が到達しうる陸側の限界までの領域をいう。海浜の地形を概括すると図 - 3 のようである<sup>1)</sup>。

海浜に作用する波浪特性は、静穏時と荒天時では大きく変わるが、海浜地形の海側は、砕波点を基準として沖側の外浜と、陸域の遡上帯も含めた砕波帯に区分されることが多い。

海浜の陸側は、静穏時の遡上波が作用する部分で高潮時の波のはい上がる限界の領域である前浜と、荒天時の波浪の到達の限界である後浜までをいう。静穏時には砂の岸への打ち上げによりバームが形成されるが、荒天時にはバームが侵食され浜崖が形成される。水中では、バーと呼ばれる浅瀬が形成されるとともに、バーの岸側ではトラフと呼ばれる深みが形成される。

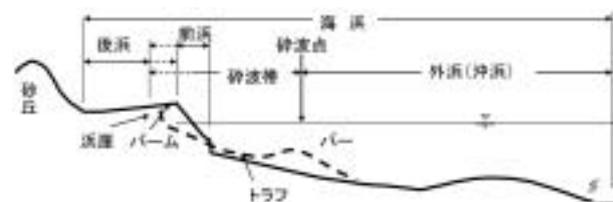


図 - 3 海浜地形

砂が動くとき海浜は変形する。海浜の砂は日々動き、海浜も変形し続けている。海浜が昨日と今日で変わらないように見えるのは、出て行く砂の量と入ってくる砂の量がほぼ釣り合っているからである。大きな嵐がやってくると、出て行く砂の量と入ってくる砂の量にアンバランスが生じるため、砂浜は大きく変形する。一般に大きな波が来襲すると、汀線際の砂は沖に移動し堆積する。その後、小さな波が続く

と砂はもとの状態に戻ってくることが知られている。海浜の沖のほうの地形も、晴天時の静穏な波浪が打ち寄せている場合と、台風などの時化が海岸に襲来する場合とでは変化している。沖の地形変化は、水の中なので目にすることができない。海浜地形の変動として国土技術政策総合研究所で実施された模型実験を例に示す。

水路に、図 - 4 のような盛り土を作り、その上に中央粒径  $0.33\text{mm}$  の砂で覆い、水を満たす。  $Z=0.0\text{m}$  が水面で、水面が砂面と交わるところが汀線である。汀線から  $60\text{m}$  沖の水深は  $3\text{m}$  であり、この実験模型は海底勾配が  $1:20$  の海浜を模していることになる。

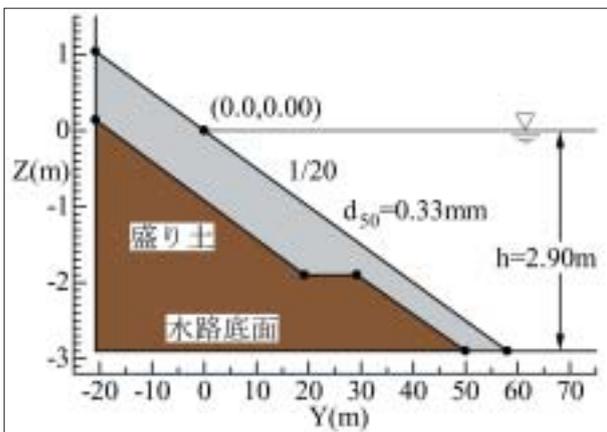


図 - 4 実験模型

実験模型に、波を作って連続的に作用させてみる。波の特徴は、一般に波高（波の大きさ）と周期によって規定される。ここでは、図 - 5 のような波浪の条件で波を作用させる。

すなわち、最初の  $12.9$  時間は静穏な波（波高  $0.13\text{m}$ 、周期  $2.5$  秒） 次の  $5.4$  時間（累加  $18.3$  時間）に暴浪波 A（波高  $0.31\text{m}$ 、周期  $2.5$  秒） 次の  $12.9$  時間（累加  $31.2$  時間）は静穏な波、 次の  $3.2$  時間（累加  $34.4$  時間）はとても大きな暴浪波 B（波高  $0.44\text{m}$ 、周期  $3.0$  秒） 次の  $12.9$  時間は静穏な波を与える。

波浪の作用にともなう海底地形の変化を図 - 6 に示す。静穏波を作用させると、汀線より陸側に砂が打ち上げられバームが形成される。この状態に暴浪波 A を作用させると、海底にトラフとバーが形成されることがわかる。その後、静穏波を作用させるとバーがほぼ消滅しトラフが埋め戻され、ここまで、もとの海底地形に戻るような可逆的な地形変化を生じていることがわかる。砂浜は、打ち寄せる波のエネルギーを減衰させるとともに姿を変え、さらに自律的に元の姿に回復する。

次に、とても大きな暴浪波 B が作用すると、またトラフとバーが形成される。このトラフとバーはの状態より深い位置に形成され、規模が大きい。この状態でさらに静穏な波を作用させるとバームが発達し、汀線が前進するが、深い領域の地形変化は完全にはもとに戻らない非可逆的な現象が見られる。詳しくは、山本・鳥居(2005)<sup>3)</sup>を参照されたい。

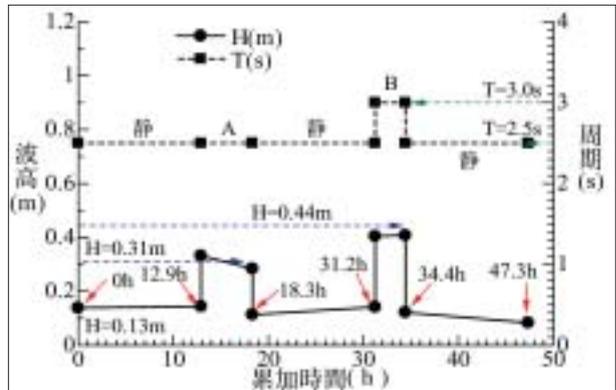


図 - 5 波浪条件

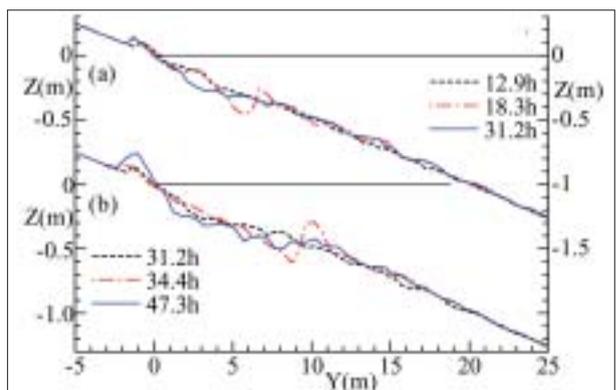


図 - 6 海底地形の変化

## 6. 砂浜の回復・再生

砂浜が、波のエネルギーを減衰した結果、非可逆的な現象により砂浜の砂が浜辺から消失した場合には、砂浜の機能が保たれない。波の打ち上げ高や、越波を減少させるため、消波機能をもつ海岸保全施設を整備する必要がある。

これまで、海浜における消波機能を維持する観点から、コンクリートブロック製の消波堤や離岸堤が採用されてきた。しかしながら、砂浜に巨大なコンクリートブロックはふさわしくなく、景観や、海浜利用の観点からブロックの採用は控えたい。

海浜の消波機能の回復にあたっては、砂浜の回復・再生の観点から、漂砂のアンバランスを本来の姿

に戻す総合的な土砂管理や、自然に存在している材料を利用する「養浜」が推奨される。養浜は材料が砂礫であるため、景観、海浜利用の面から、コンクリートなどの材料よりはるかに有利である。しかしながら、養浜は、砂礫を海浜に投入すれば効果があるという物ではなく、砂の量に加え、粒径など質の議論が重要であることがわかってきている。

## 7. 汀線の後退限界

波浪の作用が続くと、バームが発達することを述べたが、それでは無限に長く波浪が続くと、海浜の形状はどうなるであろうか。ある条件によっては、波がいくら作用してもこれ以上侵食されない限界、すなわち「平衡海浜形状」があることがわかってきている。海浜の平衡形状は、波の条件と海浜の粒径分布によって決まると考えられる。

改めて、図 - 4 の実験模型を用い、波浪と粒径の条件を変えて実験を行ってみる。中礫からシルトまで幅広いレンジの粒径の材料で構成された中央粒径  $0.62\text{mm}$  の混合粒径砂で表面を覆い、初期海底勾配  $1:20$  とし、波高  $0.6\text{m}$ 、周期  $3.5$  秒の規則波を地形が変わらなくなるまで作用させ続ける。78 時間時間の経過した様子が図 - 7 である。実線が地形の形状、丸付き線が中央粒径である。この状態に至るとこれ以上同じ波を作用させても地形は変化しない。海底の形状を見てみると、水深  $1.3\text{m}$  付近に侵食平坦面が形成されると同時に、前浜の勾配が  $1:6$  程度と急になった。  $1.3\text{m}$  が移動限界水深であることがわかる。

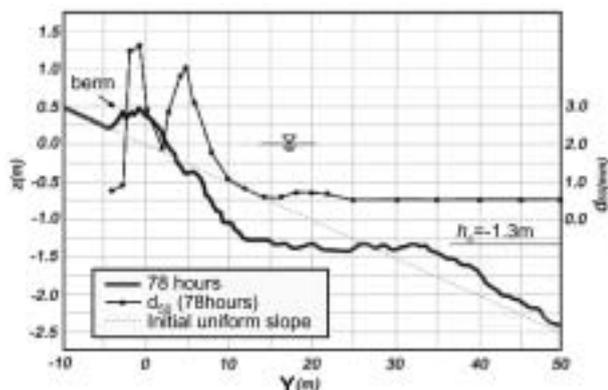


図 - 7 平衡海浜形状

底質は平坦面上には細粒砂で覆われているのに対し、前浜には粗粒砂が集中的に堆積した。波は、混合粒径砂を分級し、粗粒砂は高さ  $0.5\text{m}$  のバームを形成して岸側に急勾配をなし、細粒砂は沖合へと運ばれ緩勾配で堆積することがわかる。

また、侵食された領域に含まれる粗粒砂には上限があるため、バームの発達には粗粒砂の量に依存することがわかる。バームの高さは波の打ち上がり高さに依存するが、バームの発達のためには粗粒砂が必要である。

沖合の限界水深以深には、細粒砂が運ばれ、  $1:10$  程度の初期勾配より急な勾配で堆積が進んだ。バームが十分発達した後では、前浜勾配が粒径のもつ安定勾配と一致するので安定化する。移動限界水深付近の平坦面もそれ以上移動しないので安定となり、限界水深以深への砂の流出が止まる。よってバームが十分発達した状態でのみ波浪に対する平衡海浜になる<sup>3)</sup>。

この海浜形状は、波浪により侵食しきった海岸の形状であるが、このような最終的な平衡海浜形状は、個々の砂浜の有する粒径分布に依存することがわかってきている。

たとえば、細かい砂ばかりで構成される海浜では、バームが発達できないため、平衡形状に至りにくい。養浜に際して、細かい粒径の砂ばかりからなる材料を選択すると、その砂は限界水深以深に移動し、汀線における砂浜の回復に寄与しないことがわかる。砂浜の機能と形状変化はここまで明らかになっており、海浜地形を事前に予測することもほぼ可能である。このような知見を踏まえ、良好な海岸環境の創造に努めてまいりたい。

## 参考文献

- 1) 砂村継夫 (2000): 海岸地形, 土木学会海岸工学委員会編「海岸施設設計便覧」, 土木学会, pp119-124 .
- 2) 山本幸次・鳥居謙一 (2005): 海浜縦断面の可逆・非可逆的な変化過程に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第52巻, pp491-495 .
- 3) 目黒嗣樹・山本幸次・福濱方哉 (2005): 平衡海浜の形成過程と養浜材の粒径に関する研究, 海岸工学論文集, 第52巻, pp501-505 .