

大阪大学大学院 学生員 荒木進歩
東亜建設工業 藤重正洋
大阪大学工学部 正会員 出口一郎

1.はじめに

これまでの捨石防波堤は、波の作用による捨石の移動は許容されていない。捨石防波堤は背後の海域を静穏に保つことが重要な機能であるので、捨石が移動し断面が変形しても防波堤としての機能が保たれていれば問題はないと言える。本研究ではより安全で、合理的な防波堤の設計を目指すために防波堤の断面変形を許容して研究を進めるが、このような考えのもとでは断面変形のメカニズムを把握することが重要である。

そこで本研究では、水理実験により捨石防波堤の断面変形を測定し、その形状について検討する。また、斜面上の捨石の移動に寄与する水粒子速度および作用波力を測定し、断面の変形と合わせて議論する。

2.水理実験

水理実験は図-1に示す屋外2次元大型水槽を用いて行った。法先の水深は48cm、捨石防波堤の斜面勾配は1:2, 1:3および1:5の3種類とし、それぞれの勾配に対して有効粒径 $D_{50}=1.35\text{cm}$ と 4.1cm の碎石を用いて作成した。断面変形に関する実験は、波高10~22cm、周期1.6~3.0秒の規則波を800波入射させ、断面形状は200, 400, 800波入射後に測定した。また水粒子速度および波力の測定は、断面変形実験と同様に斜面勾配3種類、粒径2種類の捨石防波堤に対し、同様の規則波を入射させ、静水面から水深5cmごとに設定した斜面上の5点で斜面方向と斜面垂直方向を測定した。なお、水粒子速度の測定には超音波ドップラー流速計を、波力の測定にはキャンティレバー型波力計を用いた。

3.実験結果と考察

入射波の特性、斜面勾配および粒径の違いにより堆積型、侵食型および遷移型の3つのタイプの断面が得られた。代表的な例を図-2に示す。 $D_{50}=4.1\text{cm}$ のケースでは捨石の重量が重いため、捨石の移動が少なく、ほとんど変形しないケースも

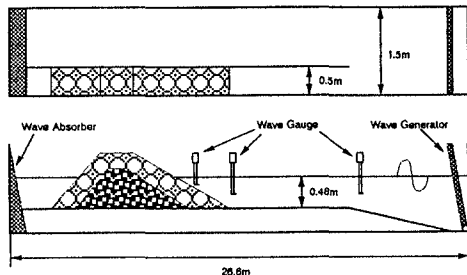
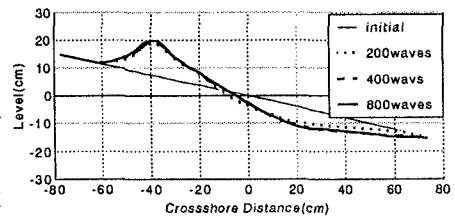
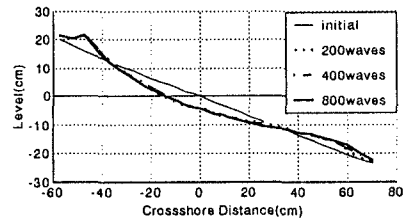


図-1 実験装置



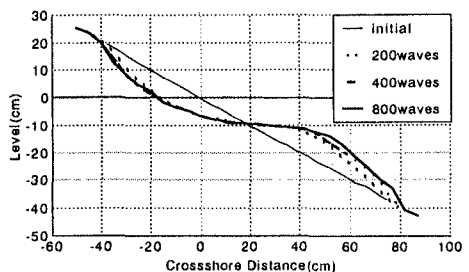
$H_0=10.4\text{cm}$, $T=2.5\text{s}$, $D_{50}=1.35\text{cm}$, 1:5

(a)堆積型



$H_0=17.2\text{cm}$, $T=2.5\text{s}$, $D_{50}=1.35\text{cm}$, 1:3

(b)遷移型



$H_0=11.9\text{cm}$, $T=2.5\text{s}$, $D_{50}=1.35\text{cm}$, 1:2

(c)侵食型

図-2 平衡断面形状

Key Words : rubble mound breakwater, profile change, grain size, impulsive force

〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1 Tel 06-879-7614 Fax 06-879-7616

あった。砂浜の断面変形に関する既往の研究では、侵食型は汀線が後退、堆積型では汀線が前進するとなっているが、捨石防波堤の断面変形に関する本実験からは図-2に示すように堆積型のケースにおいても汀線が後退している。これは、捨石防波堤では斜面勾配が砂浜に比べて急であるので碎波点が汀線付近となり、碎波による衝撃波力や強い乱れが汀線付近に集中しているためと考えられる。

800波入射後の断面における静水面付近の斜面勾配 $\tan\theta$ と初期斜面勾配を用いた碎波帯相似パラメータの関係を図-3に示す。この図から、碎波帯相似パラメータが2~3の範囲において斜面勾配はピークを示していることが分かる。また、この範囲は共振現象により捨石の作用波力がピークをとる範囲と一致していることから、激しい捨石の移動が起きているものと考えられる。

堆積型・遷移型・侵食型の出現特性については、粒径にかかわらず斜面勾配1:5のケースではすべて堆積型、1:2のケースではすべて侵食型が見られた。また1:3の $D_{50}=1.35\text{cm}$ のケースでは入射波の波形勾配により3つの断面形状が見られたが、 $D_{50}=4.1\text{cm}$ のケースでは侵食型しか見られなかった。砂浜の断面形状と比較するとほぼ同様の傾向であるが、入射波と斜面勾配が同じ条件の下で粒径が大きくなると、侵食型しか見られなくなるという点が異なっている。これは砂粒子は粒径が小さいため作用波力として抗力のみを考えればよいのに対し、粒径の大きい捨石では作用波力に対する慣性力の寄与が大きくなることと、重力の効果が大きくなるためであると考えられる。

静水面付近で測定された波力の時系列を図-4に示す。 F_t は斜面方向波力で冲向きが正、 F_n は斜面垂直方向波力で斜面上向きが正、また η は水位変動である。侵食型の断面が見られた斜面勾配1:2、堆積型の断面が見られた1:5のケースともに η が静水面を横切る付近で衝撃的な波力が発生している。この衝撃的な波力により捨石のかみ合わせが弱くなると考えられるが、その後に続く波力は両者の間で差が見られる。1:2では冲向き波力、斜面上向き波力の作用が明瞭で、捨石が離岸方向に移動し侵食型の断面が形成されやすいが、1:5ではこれらの波力が小さく捨石が離岸方向に移動しにくくなっていると考えられる。

図-5に作用波力のホドグラフを測定水深ごとに示す。静水面付近(a)では水面の衝突によると考えられる斜面方向への衝撃的な波力が特徴的であるのに対し、水深10cm(b)では揚力の作用が明瞭で、最大波力は斜面よりも上向きに作用している。したがって、捨石が没水・非没水状態を繰り返す静水面付近と水面の影響を受けない位置の波力を分けて考える必要がある。水深20cm(c)での最大波力は捨石を斜面に押しつけるような向きに作用しており、その値も比較的小さく捨石の安定性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

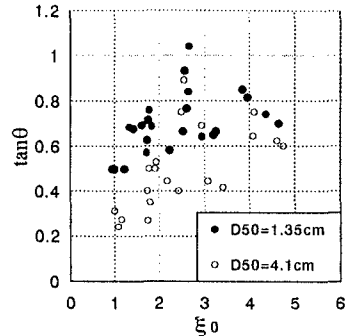


図-3 断面変形後の斜面勾配と碎波帯相似パラメータの関係

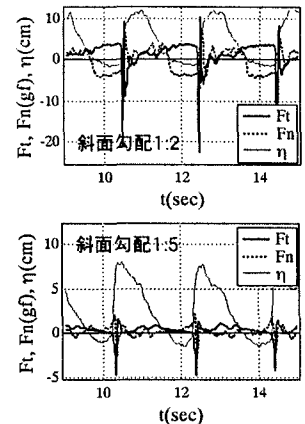


図-4 作用波力の時系列 ($D_{50}=1.35\text{cm}$)

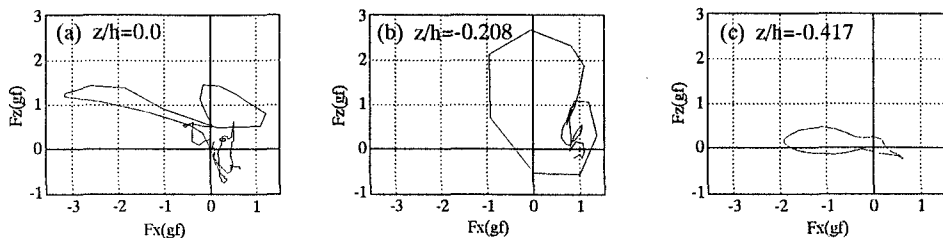


図-5 作用波力のホドグラフ(波高15cm, 周期2.0秒, 斜面勾配1:3, $D_{50}=1.35\text{cm}$)