

大阪大学 学生員○荒木進歩
 日本国土開発(株) 正員 伊藤禎和
 住友建設(株) 長中央貴晴
 大阪大学 正員 出口一郎

1. はじめに

捨石堤は透過性構造物であるが、その構成要素である捨石が波浪外力により移動することで、防波堤としての機能を失う。より安全な防波堤を設計するには捨石堤の破壊機構を正確に解明することが必要であるが、そのためには捨石堤斜面上での流れの特性、および捨石に作用する波力の特性を把握しなければならない。捨石の安定重量算定公式としては、Iribarren式(1938)やHudson式(1959)があるが、作用流体力を波高の3乗に比例する形で定義しており、実際の防波堤斜面に作用する流体力から導出したものではない。被覆材に作用する流体力の算定を試みた研究は、岩田・水谷ら(1990)によってなされているが、捨石潜堤を対象としており静水面から突出した捨石堤には適用できない。

そこで本研究では上記のことを目的として、水理模型実験を行い捨石斜面上の水粒子速度および波力を測定することによりその特性を把握し、捨石の移動に寄与する波力を明らかにする。また作用波力の算定を試みる。

2. 水理模型実験

実験は図-1に示すように屋外2次元大型水槽を用いて行った。斜面勾配は1:2および1:3の2種類とした。また水粒子速度、波力は静水面から深さ方向に5cmごとに6点で測定した。水深は52.0cmとし、入射波は波高を8.0~24.0cm、周期を1.0~3.5secの範囲で変化させた。

波力の測定はキャンティレバー型波力計を用いたが、水中固有振動数の成分については、あらかじめ測定しておいた水中固有振動数をもとにFFT法により取り除いた。また静水面付近の波力計は、水面の変動により水面から露出し浮力に変化が生じる。この変化分が波力の時系列に含まれているので、波力測定点での水面変動量をもとにしてこの成分を取り除いた。

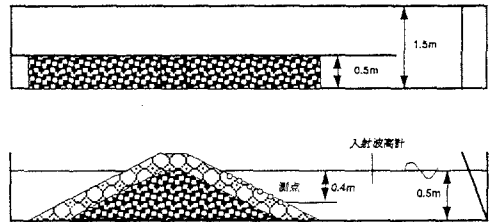


図-1 実験装置

3. 実験結果

(a)水粒子速度に関する検討；斜面上の水粒子速度は、3次元ドップラー流速計を斜面に対して垂直に設置して測定した。正と負の向きについては、斜面方向水粒子速度 u は斜面下向きを正、斜面垂直方向水粒子速度 w は上向きを正とする。斜面方向最大水粒子速度 u/\sqrt{gH} と砕波帯相似パラメータ ξ の関係について整理してみると、 $2.0 < \xi < 3.5$ において u/\sqrt{gH} はpeakを示しており、柳(1984)とほぼ同様の結果が得られた。図-2は斜面方向と斜面垂直方向の水粒子速度の位相差を示したものである。防波堤前面での流況を解明するにあたり、透水層が存在する場合の水粒子の軌道がどのような特性を持つかということは興味深いところであるが、この図から流速の位相差は ξ に関わらず、ほぼ0であることが分かる。これは、 u と w はほぼ同位相であることから、水粒子速度の楕円軌道の扁平率が0であり、水粒子の運動がほぼ直線的に振動していることを意味している。次に、次式で定義される斜面に対する水粒子の速度 a について考える。

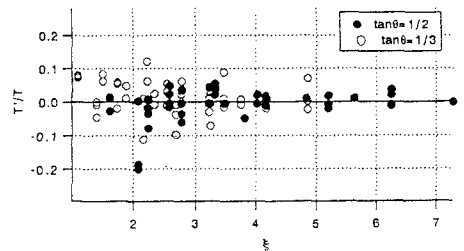


図-2 水粒子速度の位相差

Susumu ARAKI, Sadakazu ITOH, Takaharu NAGAO, Ichiro DEGUCHI

$$\alpha = \theta - \text{atan}(w_{t=0} / u_{\text{max}})$$

この α の斜面上位置での変化を示したものが図-3である。この図は斜面勾配1:2のケースを示しているが、自由表面近傍では流速計センサーが空气中に露出し、正確なデータが得られなかったためここでは除外してある。この図から、水粒子は斜面勾配より小さい角度で防波堤に入射していることが分かる。また測点が少なかつたために明確な結論は出せないが、現象としては、水粒子は底面近傍では水平方向に運動し、自由表面に近づくにつれて斜面方向の運動に近づいてくる。

(b)波力に関する検討：波力計により測定されたデータから、作用波力には大きく分けて2つのタイプが存在することが分かった。1つは、測定点が空气中から水中に入る瞬間、すなわち自由表面が測定点を底面方向から上方に横切る瞬間に衝撃的な波力が作用するタイプで、もう1つは、基本周波数成分が卓越する波力で、周期性が強いタイプである。図-4はその一例で、入射波高20cm, 周期1.6secのものである。周期的な波力は自由表面の影響が少ない、比較的深い位置において測定された。一方、衝撃的な波力は自由表面付近で測定され、その最大値は周期的な波力の3~6倍にも達している。図-5は、この衝撃的な波力の作用方向を示したものである。この図から、衝撃的な波力は斜面勾配よりも大きな角度で作用していることがわかる。水粒子速度の作用方向はほぼ斜面方向であり衝撃波力の方向とは異なるため、この波力は波力計測定点での付加質量の変化に基づく衝撃波力と考えられる。

4. 波力の算定

前述の2つのタイプの波力の算定法について考える。周期的な波力は、比較的深い位置において測定されており基本周波数成分が卓越しているため、岩田・水谷らの結果と同様に最小二乗法等により抗力係数および慣性力係数を決定することでMorison式により算定が可能である。衝撃的な波力は、付加質量の変化に基づく衝撃波力と考えることにより次式で求められる。

$$F = 2\pi\rho r^3 v^2 \left(\frac{2t}{\tau} - \frac{t^2}{\tau^2} \right)^{1/2} \left(1 - \frac{t}{\tau} \right)$$

ここに、 r は球体の半径、 v は水面変動の時間変化率、 τ は衝撃力の作用時間、 t は球が水面に接触してからの時間である。これにより算定された衝撃力の最大値と実験値とを比較したものが図-6である。図に示すように、 $v/\sqrt{gD} < 0.8$ では適応性がよいが、それ以上では若干の差が見られる。これは v が大きくなると衝撃力の作用時間が短くなるので、波力データ処理のFFT法を使用する際に、この成分を取り除いてしまった可能性が考えられる。

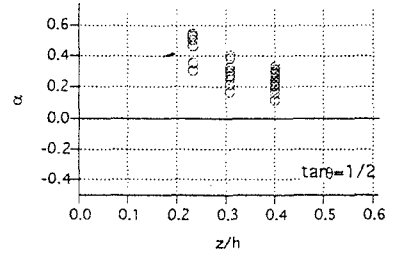


図-3 斜面上位置 z/h と水粒子の運動方向 α の関係

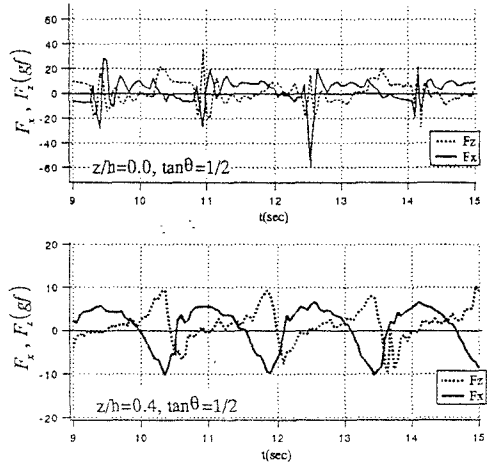


図-4 波力の時系列

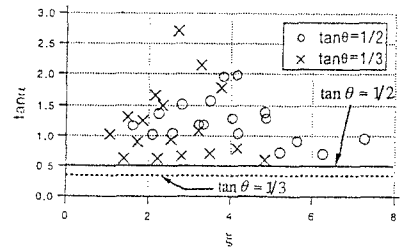


図-5 衝撃的な波力の作用方向

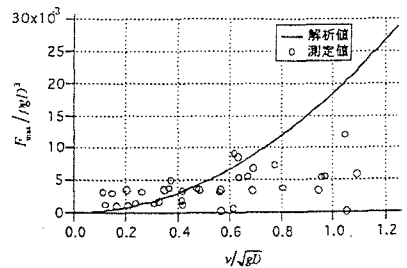


図-6 衝撃的な波力の実験値と解析値の比較