

大阪大学大学院 学生員○伊藤禎和
大阪大学大学院 荒木進歩
豊橋技術科学大学 正 員 青木伸一
大阪産業大学 正 員 樫木 亨

1. はじめに

捨石堤の堤体構成材料である捨石や異形ブロックは波浪による防波堤の機能低下、あるいは崩壊を防止し堤体を安定させるために重量、形状に関して十分な考慮が必要となる。安定重量の算定は、従来ハドソン式をはじめとする経験式によりなされてきたが、より安全な捨石堤を設計するためには、防波堤の破壊過程を正確に把握しなければならない。その第一歩として捨石に作用する波力を正確に算定し、かつこれらの動的挙動を明らかにすることが重要な課題となるが、捨石等の外力に対する動的な応答については移動限界を議論した研究を除いて取り扱われた例はほとんどない。そこで本研究では捨石堤を構成する捨石単体に注目し、捨石（球体）に作用する波力を実験により測定しMorison式の適用性を検討する。また、実験で得られた移動形態と著者ら¹⁾によって提案された球体の挙動シミュレーションとを比較することで数値シミュレーションが球体移動の予測手法として妥当であるかを検証する。

2. 水理模型実験

2-1 実験方法 実験は、片面ガラス張りの2次元鋼製波水槽（長さ30.0m、幅0.7m、深さ1.0m）を用いて行った。捨石堤のモデルの傾斜部（傾斜勾配 2:3）は平板上に直径3.5cmの塩化ビニルのパイプを5.0cm間隔で張り付け、適度な粗度を持たせるために全体に砂粒子を接着した。（図-1）球体モデル（直径、4.15cm、重量、81.69g）は直径4.0cmのガラス球に捨石堤モデルと同様に砂粒子を付着させたものを用いた。波力の測定に関しては板バネの一端に球体を取り付け、他端を固定したキャンティレバー型波力計を用いた。固定端のモーメントを防水ひずみゲージで測定することによって球体に作用する波力を算出した。この波力計は水平方向測定用、鉛直方向測定用の2つを設置した。さらに、球体の挙動（Rocking、Fall-down等）を確認するために捨石堤モデルの側面から球体の様子を録画し、ビデオ解析を行った。

2-2 実験条件及び解析方法 本実験では、球体に作用する波力が波の周期や球体の設置位置によってどのように変化するかを検証するために、球体の設置位置を4種類（設置水深5.0cm、7.78cm、10.56cm、13.33cm）変化させ、それぞれの位置について周期を9種類（0.8～2.4sec）変化させ、波高は約5cmとした。また、法先水深は40cmとした。実験により計測された波力の時間波形はサンプリング間隔0.02秒で記録した。実験により得られた波力の時間波形には、キャンティレバー型波力計の水中固有振動数の成分が含まれているため、あらかじめ水平方向、及び鉛直方向の波力計のそれぞれの水中固有振動数を測定しておき、FFT法を用いてこれらの成分を取り除いた。

3. 実験結果

3-1 波力に関する検討 実験の際に測定された波力時系列は図-2のようになった。これは位置C（水深10.56cm）、入射波周期2.0secのケースである。波力の正負は水平方向は入射波向と逆向きを正とし、鉛直

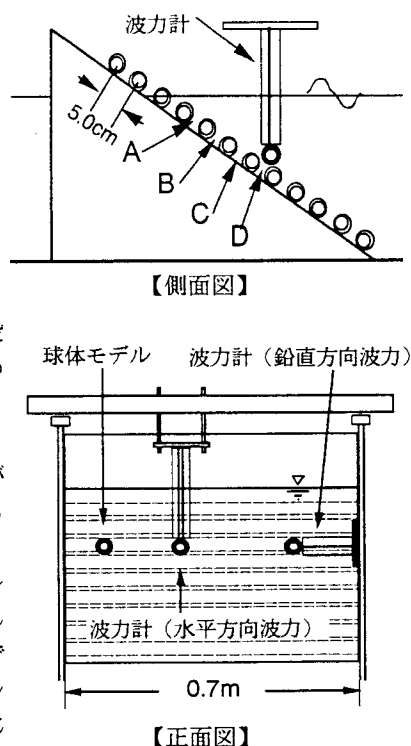


図-1 捨石堤モデル

方向は水面に対して上向きを正としている。図中の破線はMorison式により算定される球体の作用波力を示す。抗力係数、慣性力係数は一般的に用いられる球体の値 ($CD=1.5$ 、 $CM=0.5$) を用いた。これより斜面上球体の水平方向波力に関しては水谷ら (1991) が指摘しているようにMorison式で算定が可能であることがわかる。鉛直方向波力については高周波数成分が卓越し抗力と慣性力のみ和であるMorison式では適用が困難であり、その理由としてUP-RUSH、DOWN-RUSHにともなう波の衝撃力の影響、底面・自由表面の近接効果による揚力の作用等が考えられる。水谷ら (1991) は近接効果を考慮した揚力算定式を提案しているが、その適用性についても今後検討していきたい。

3-2 挙動に関する検討 図-3は実験により得られた球体の挙動時系列と測定波力を入力することによって得られる挙動シミュレーション結果の比較である。数値シミュレーションに入力する物理パラメータは予備実験の際に測定した値を用いた。(静止摩擦係数; 0.767、運動摩擦係数; 0.651、転がり静止摩擦係数; 0.135、運動転がり摩擦係数; 0.116、反発係数; 0.227) このCASEの場合、球体は転落していることを示しており、初期移動の位相と移動形態はほぼ一致していることがわかる。他のCASEでは、転落挙動を示すものはほとんどが一致していたがRocking挙動を示すCASEでは、大きな差異がみられた。従って球体挙動シミュレーションは、転落挙動のみに適用できるといえる。図-4は移動、転落限界に関して実験値と計算結果を比較したものである。横軸に入射波周期、縦軸に最大波力を取り、図中の実線が数値計算による転落限界、破線が移動限界である。実験で見られた静止、転落、Rockingの挙動において、静止、転落に関してはそれぞれの境界を満たしているが、Rocking挙動にはばらつきがある。その理由として実験に用いた球体の表面粗度が均一でなかったこと、物理パラメータの測定誤差などが考えられる。

4. あとがき

本研究では、斜面上の球体に作用する波力を測定し、球体挙動シミュレーションの適用性の検討を行った。今回の実験は捨石を球体と仮定したモデルにより行ったが、今後は捨石の形状効果も取り入れなければならない。また、この挙動予測手法を捨石堤などの海岸構造物に適用させるためには、捨石単体のみならず堤体全体の挙動解析に発展させる必要がある。

《参考文献》 1) 青木伸一・榎木 亨・伊藤禎和; 振動外力を受ける斜面上の捨石の挙動に関する数値的検討、49回年講1994, pp826-827 2) 水谷法美・岩田好一郎; 幅広潜堤上の被覆材に作用する波力の特性と移動限界に関する実験的研究、海岸工学論文集 vol38(2), 1991, pp591-595

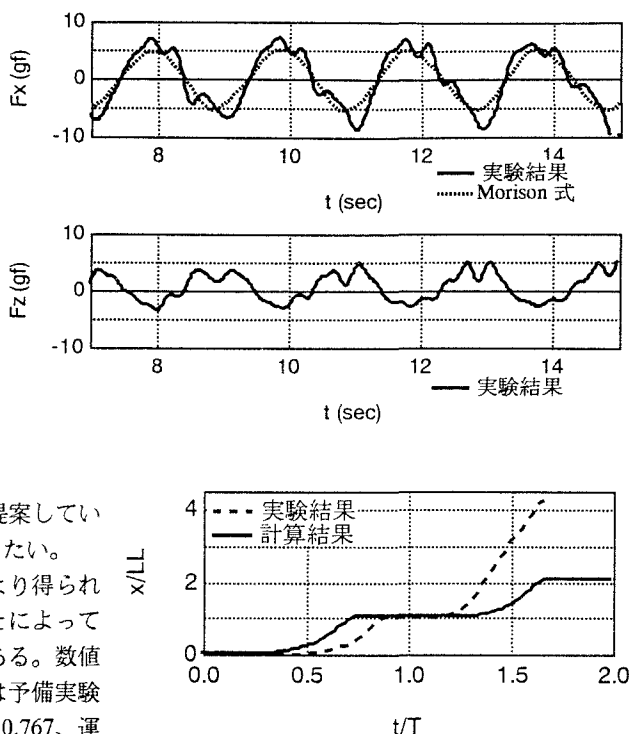


図-3 球体挙動時系列

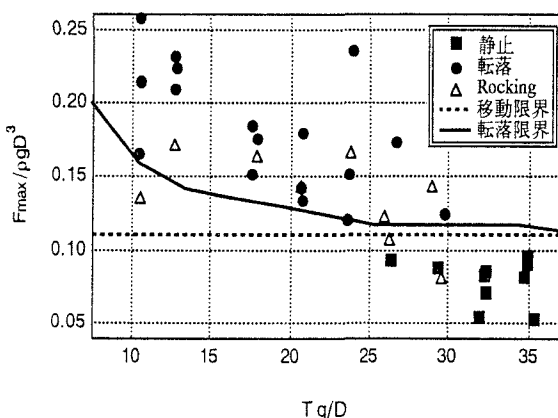


図-4 入射波周期と最大波力の関係