

## 物理エンジンを用いた消波ブロックの抵抗力評価手法の検討

株式会社不動テトラ 正会員 ○三井 順

正会員 久保田真一

フェロー 松本 朗

## 1. はじめに

消波ブロックの耐波安定性に影響する主な要因として、ブロックに作用する波力と、ブロック同士のかみ合い等による抵抗力の2つが挙げられる。耐波安定性の評価方法としては、水槽内にブロック模型を設置して波作用時のブロックの挙動を調べるのが一般的であるが、安定実験の結果の解釈や現象の解明においては、ブロックへの作用波力や抵抗力といった個別の要因を検討することも重要である。抵抗力に関しては、対象とする表層のブロック模型を空中で引抜き、荷重を測定することで抵抗力の測定が行われている<sup>例え1)</sup>。しかし、乱積みで設置されたブロックの抵抗力はばらつきが大きく、信頼できる結果を得るためには多数の繰り返しが必要となる。抵抗力の測定を数値シミュレーションにより行うことができれば、多数の実験を比較的容易に行うことができる。また、数値シミュレーションの利点として、ブロックの重心位置や周囲との接触状況等の様々なデータが容易に得られることも挙げられる。そこで本研究では、オープンソースの物理エンジンであるPyBullet<sup>2)</sup>を用いて抵抗力の測定を行い、消波ブロックの安定性を評価することを試みた。

## 2. 消波ブロックの設置シミュレーション

本研究では、一般的な消波ブロック被覆堤を想定し、被害が生じやすい消波工法肩付近のブロックを検討対象とした。まず事前の準備として、消波ブロックを所定の計画断面内に配置するためのシミュレーションを行った。重力を上向きに作用させた状態で、台形形状の箱に下方からブロックを200個投入した。ブロックの投入が完了した後に、下の方のブロックを固定し、重力方向を下向きに戻した(図-1)。このような処理により、多数の消波ブロックを自動的に設置し、消波工の天端・法肩付近の設置状況を再現した。なお、自由落下によりブロックを設置するため、通常よりもブロッ

ク同士のかみ合いが緩い状態で設置されることになる。そのため、事前にブロック間の摩擦係数と空隙率との関係を調べておき、所定の空隙率で設置されるようにブロック設置時の摩擦係数を調整した。

## 3. 抵抗力測定方法

法肩部のブロックが選定されるように測定対象範囲を設定した(図-2)。測定対象範囲内に含まれるブロックから対象ブロックを1つ選定し、波力を模した外力(図-3)と浮力を作用させ、対象ブロック以外のブロックには浮力のみ作用させた。作用外力は法面方向に

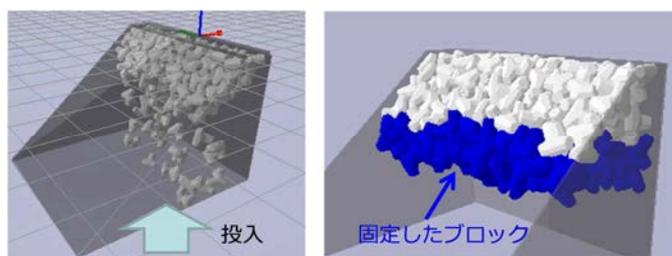


図-1 ブロック投入状況と設置完了状況の例

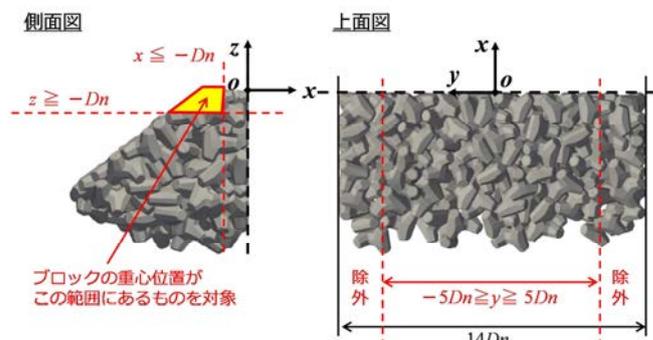


図-2 測定対象範囲

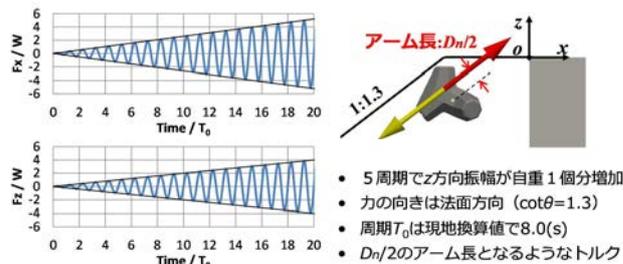


図-3 波力を想定した外力

キーワード 消波ブロック, 耐波安定性, 抵抗力, 物理エンジン, PyBullet

連絡先 〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7 (株)不動テトラ総合技術研究所 TEL:029-831-7411

表-1 計算条件と主要なパラメーター

項目	値
消波ブロック体積 $V(m^3)$	0.1
消波ブロック代表径 $D_n(m)$	0.464
作用外力の周期 $T_0(s)$	2.9
計算時間刻み $\Delta t(s)$	1/240
制約条件ソルバーの最大反復回数	300
消波ブロック間の摩擦係数	0.5 (抵抗力測定時) 0.05 (ブロック設置時)

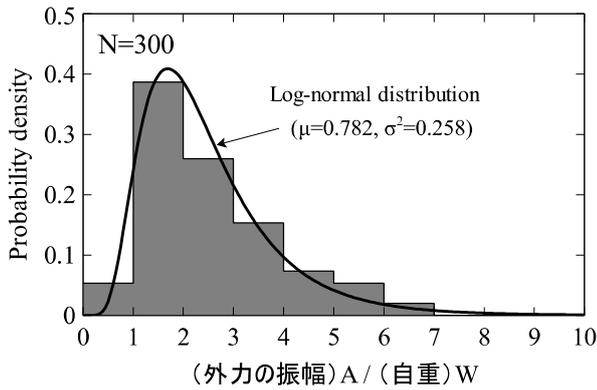


図-4 抵抗力のヒストグラム

振動する正弦波とし、アーム長が $0.5D_n$  ( $D_n$ はブロックの代表径、体積の3乗根)となるようにトルクを作用させた。外力の周期 $T_0$ は、現地換算した際に8.0 sとなるように2.9 sと設定した。徐々に外力の振幅を大きくしていき、ブロックが離脱した時刻を記録した。離脱の判定は、代表径 $D_n$ 以上移動した時点とした。計算条件や主要なパラメーターを表-1に示す。

抵抗力測定の試行回数は300回とした。1回のブロック設置シミュレーションの結果から得られる対象ブロック個数は平均7個程度であったため、設置状況のデータを45種類作成した。一連の処理を自動化することで、300回の抵抗力測定シミュレーションを1日で行うことができた。

#### 4. シミュレーション結果

以下では、ブロックが離脱した時刻の外力振幅を抵抗力と記載する。ブロック自重で無次元化した抵抗力のヒストグラムと、フィッティングした対数正規分布を図-4に示す。分布形状は既往の研究<sup>1)</sup>と同様に、対数正規分布で近似できることがわかった。

ブロック設置時のデータを用いて、どのような状況で設置されたブロックが移動しやすいかを検討した。まず、ブロック重心位置の鉛直座標と抵抗力との関係を図-5に示す。重心位置が高いほど抵抗力が低くなる

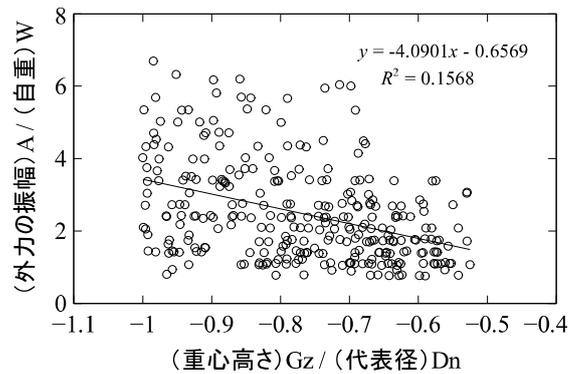


図-5 抵抗力と重心高さの関係

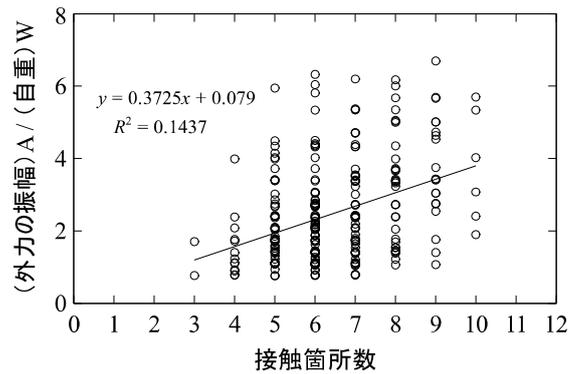


図-6 抵抗力と接触箇所数の関係

傾向となっている。次に、周囲のブロックとの接触箇所数と抵抗力との関係を図-6に示す。接触箇所が多いほど、抵抗力が大きくなる傾向となることがわかる。設置時に収まりが悪く相対的に高い位置にあるブロックや、周囲との接触箇所が少ないブロックは抵抗力が小さいということであり、経験的にも妥当と思われる結果が得られた。このように、シミュレーションによる抵抗力の測定結果から、相対的な耐波安定性を評価し得ることが示された。

#### 5. まとめ

消波ブロックの抵抗力をシミュレーションにより測定することが可能となった。本手法は、異なる形状のブロックとの耐波安定性の相対比較等にも適用可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 久保田真一, 松本朗, 半沢稔, 松岡道男(2003): 消波ブロックの引抜き抵抗力に及ぼす被覆層厚の影響に関する研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.746-750.
- 2) Coumans, E. and Bai, Y.: PyBullet, a Python module for physics simulation for games, robotics and machine learning, <http://pybullet.org>, 参照2021-03-20.