

消波ブロックの繰り返し衝突を受ける防波堤ケーソン壁の破壊に関する確率論的推定

防衛大学校 学生会員 島村和斉 学生会員 山口貴之
正会員 別府万寿博 正会員 大野友則

1. はじめに

台風等による高波浪時に、波の作用によって消波ブロックが防波堤ケーソン壁に繰り返し衝突し、写真-1のように穴が空く被災が報告されている。本研究は、消波ブロックの衝突を受けるケーソン壁の破壊を、モンテカルロ法による確率論的手法を用いて推定するものである。ここで、波高とブロックの衝突速度との関係やケーソン壁破壊の定量化は、模型実験による結果をもとに検討を行った。また、破壊の判定として、線形被害則の考え方を適用している。

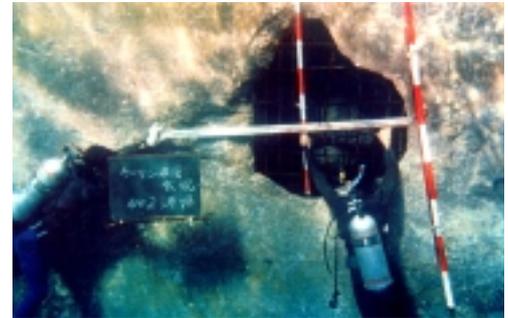


写真-1 ケーソン壁に生じた局部破壊

2. 消波ブロックの衝突速度に関する実験的検討

図-1のような長さ40m、幅0.8m、深さ1mの2次元造波水路を用いて、フルード則を適用して作製した縮尺1/36のテトラポッド模型を直立壁前面に設置した。テトラポッド模型は実被災時の状況と整合させるため、水深まで沈下した状態とした。造波装置によって入射波高を16.7cm、22.2cm、27.8cm、周期を1.67s、2.53s、水深を28.9cm、33.1cm変化させて波を発生させた。波力によって消波ブロックが動揺・衝突する様子を高速度ビデオカメラ(4500コマ/秒)で撮影して、その映像からブロックの衝突速度を測定した。ブロックの衝突挙動は図-2に示すように水平に滑るように移動し衝突する、脚を支点として回転するように衝突する、の2つに区分した¹⁾。挙動の6ケースについては波高に対してほぼ線形に対応していたので、ブロック速度は波高に比例すると仮定して、最小2乗法により次式を求めた。また、挙動も含めたブロック速度の式(1)からの標準偏差を求めると0.31であった。

$$V = 0.0683 H \quad (1)$$

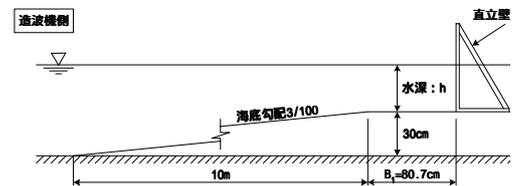


図-1 2次元造波水路

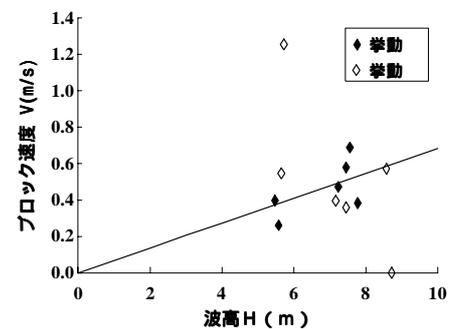


図-2 波高とブロック速度の関係

3. ケーソン壁の局部破壊に関する衝突実験

図-3に示す水平衝撃荷重装置を用いて衝突実験を行った。ブリカ則を用いて縮尺1/6.4のRC板を作製した。衝突体はテトラポッドの一脚を模擬し、その重量は1.74kNとした。実際のケーソン内部の中詰め砂を模擬するため、RC板の裏には砂を充填している。実験は、衝突体を同じ速度で繰り返し衝突させてRC板が破壊する回数を計測した。また、RC板の前面に厚さ10mmのゴム板(硬度65)を張った場合についても実験を行った。実験の結果、図-4に示すような衝突回数と衝突速度の関係が得られ、回帰分析によりゴムなしの結果に対して次の近似曲線を求めた。

$$N = 8.2(V - 2.27)^{-1.4} \quad (2)$$

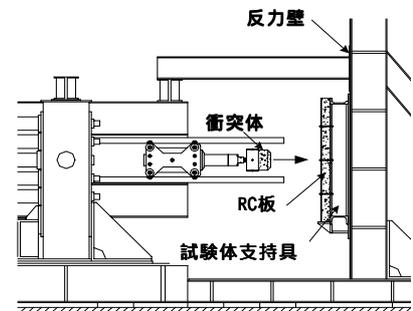


図-3 水平衝撃荷重装置

キーワード：防波堤ケーソン、消波ブロック、繰り返し衝突、モンテカルロシミュレーション、破壊確率

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel046-841-3810 Fax046-844-5913

ただし、実験に用いたコンクリート強度は $f_c' = 60.5 \text{ MPa}$ と通常の 2 倍の大きさなので、本評価式は実現象を過大評価していると考えられる。そこで、一回の衝突のみで破壊する場合において、衝突体の運動エネルギーと RC 板の押し抜きせん断破壊による仕事量がほぼ等しいことを確認したうえで、エネルギー則より $f_c' = 23.5 \text{ MPa}$ として式 (2) を次のように修正した。

$$N = 8.2(V - 1.09)^{-1.4} \quad (3)$$

4. ケーソン壁の破壊確率の算定

4.1 ケーソン壁破壊の判定

ケーソン壁破壊の判定は、線形被害則（マイナー則）の考え方を適用した。すなわち、次式により求まる累積損傷量 M が 1 を超えた時を破壊とみなすものである。

$$M = \sum_{i=1}^{\ell} m_i \quad m_i = 1/N_i \quad (4)$$

ここで M : 累積損傷量, ℓ : 総衝突回数, m_i : 1 回の衝突による損傷量, N_i : 速度 V_i の衝突に対する破壊までの衝突回数

4.2 破壊確率の算定フロー

図 - 5 に破壊確率の算定フローを示す。まず、一般に波高分布はレイリー分布となることがわかっているので、レイリー分布に従って波高を確率的に発生させる。次に、この波高に対応したブロック速度を求め、速度は正規分布をもつ変数と仮定した。すなわち、まず速度の平均値を式(1)より求め、次に標準偏差 0.31 のばらつきを与えた。この速度 V_i と式(3)より破壊回数 N_i が求まり、一回の衝突による壁の損傷量 $m_i = 1/N_i$ が計算される。したがって、 m_i の総和である累積損傷量 M を求めて、ケーソン壁の破壊を判定する。1 回の試行による累積損傷量 M は確率的に変化するので、破壊確率が収束するまで試行を繰り返す。

4.3 計算例

有義波高 10m, 周期 12s の波浪が 5 時間作用する場合を想定し、合計 1600 回の衝突を発生させた。図 - 6 は確率的に変動した大きさと与えられる衝突速度と、これに応じて損傷量が蓄積される様子を示したものである。図中には、損傷を与える限界速度 1.09m/s 以上の場合のみ示している。この例では累積損傷量 M は 1 を超えているので、ケーソン壁が破壊したものと判定する。

図 - 6 と同様の試行を 1000 回行くと、図 - 7 に示すように破壊確率は試行回数を重ねるにつれて 0.30 に収束していくことがわかる。

参考文献

1) 山口ら：消波ブロック被覆堤におけるブロックの動揺・衝突現象の解明のための水理模型実験，海洋開発論文集，第 18 巻，pp.407-412，2002.6。

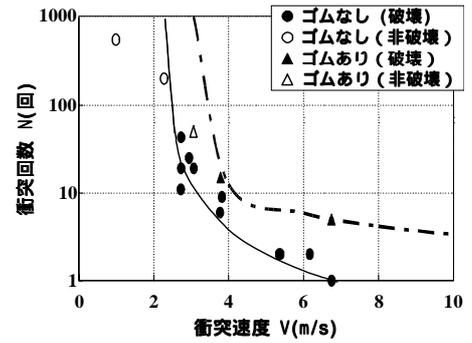


図 - 4 衝突速度と衝突回数の関係

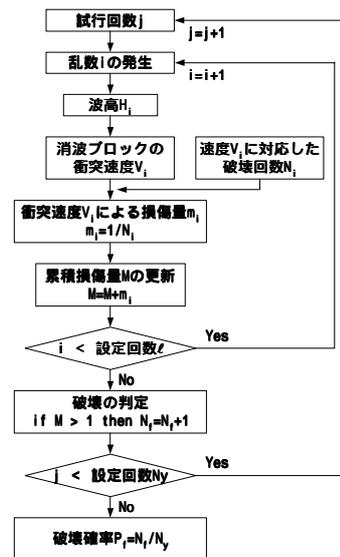


図 - 5 破壊確率の算定フロー

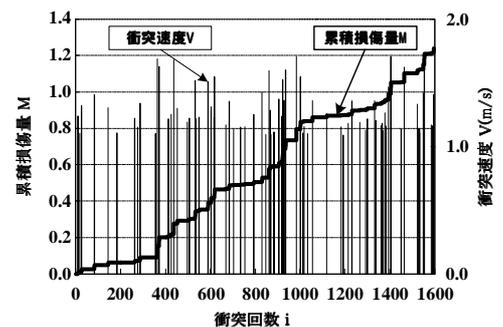


図 - 6 損傷量の累積過程

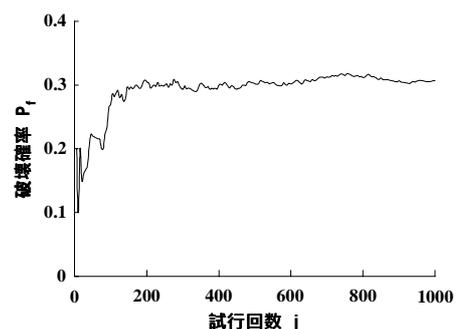


図 - 7 破壊確率の推移