

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局部破壊に関する確率論的検討

防衛大学校 正会員 ○山口貴之 別府万寿博 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、穴があく被災が報告されている。著者らは、これまでに消波ブロックの動的挙動や消波ブロックの衝突を受ける RC 板の局部破壊に関する実験的検討を行った。本研究は、まずこれらの結果を用いてケーソン壁の破壊を確率論的に推定する方法を提案する。次に、NOWPHAS（全国港湾海洋波浪資料）による実観測データを、提案した破壊確率算定法に入力して、地域によるケーソン壁の破壊の特徴を検討したものである。

2. ケーソン壁の破壊確率の算定方法

2.1 水理模型実験による消波ブロックの衝突速度

2 次元造波水路を用いて、フルード則を適用した縮尺 1/36 の水理模型実験を行い、入射波高と消波ブロックの移動速度との関係を調べた。ここで、テトラポット模型は水深まで沈下した状態として、波力によって消波ブロックが動揺・衝突する様子を高速ビデオカメラで撮影して、その映像からブロックの衝突速度を算定した。その結果、ブロックの衝突挙動は図 - 1 に示すように 水平に滑る、脚を支点として回転する、の大きく 2 種類に分類された。挙動①の 6 ケースについては、入射波高に対してほぼ線形に対応していたので、ブロック速度は入射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。

$$V = 0.0683H_0 \quad (1)$$

また、挙動②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 0.310 であった。

2.2 ケーソン壁の局部破壊実験による破壊条件

水平衝撃荷重装置を用いてケーソン壁を縮尺 1/6.4 で模擬した RC 板に対する繰り返し衝突実験を行った。実験は、衝突体を一定の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。実験の結果は、図 - 2 に示すような衝突回数 N と衝突速度 V との関係が得られた。しかし、実験に用いたコンクリート強度は $f'_c = 6.05 \text{ N/mm}^2$ 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、1 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、このエネルギー則より $f'_c = 2.35 \text{ N/mm}^2$ として、次のような関係式を求めた。

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

2.3 ケーソン壁の破壊確率の算定

ケーソン壁破壊の定義はマイナー則の考え方をを用いた。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。

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \quad (4)$$

ここで、 M ：累積損傷量、 N_j ：速度 V_j の衝突による破壊までの衝突回数、 n_j ：速度 V_j の衝突回数。

キーワード：防波堤ケーソン壁、消波ブロック、繰り返し衝突、局部破壊、モンテカルロシミュレーション、破壊確率
連絡先：〒239-8686 横浜須賀町水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 0468-41-3810 FAX 0468-44-5913

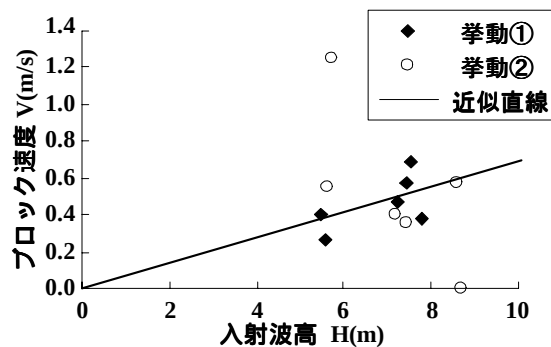


図 - 1 波高～ブロック速度関係

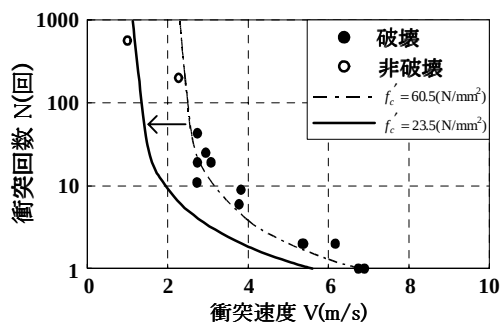


図 - 2 衝突速度～衝突回数

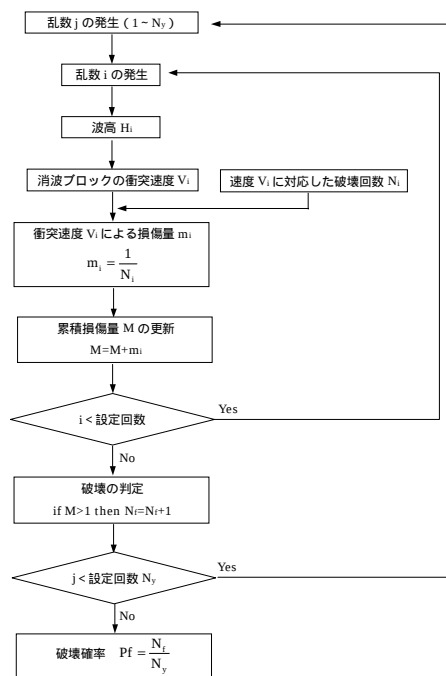


図 - 3 破壊確率の算定フロー

表 - 1 波高と波浪継続時間(6 年分, 単位: hr)

	日本海側			太平洋側		
	秋田	福井	鳥取	むつ小川原	御前崎	宮崎
6m (5.5~6.4m)	56	42	56	14	8	30
7m (6.5~7.4m)	18	8	18	6		6
8m (7.5~8.5m)	12	2		18		4
9m (8.5~9.4m)				8		
10m (9.5~10.4m)				2		

表 - 2 波高と平均周期(6 年分, 単位: s)

	日本海側			太平洋側		
	秋田	福井	鳥取	むつ小川原	御前崎	宮崎
6m (5.5~6.4m)	10.3	11.0	10.9	9.8	13.3	11.5
7m (6.5~7.4m)	10.8	10.9	11.8	12.7		11.5
8m (7.5~8.5m)	11.9	11.3		12.9		11.8
9m (8.5~9.4m)				13.1		
10m (9.5~10.4m)				12.5		

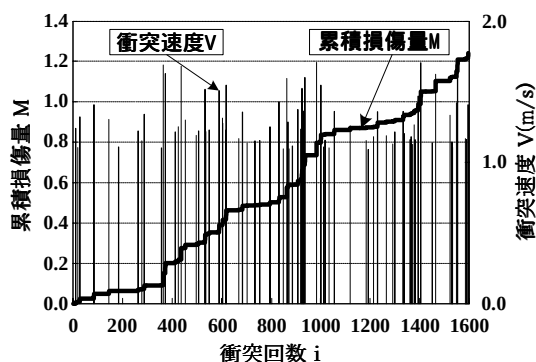


図 - 4 損傷の累積過程

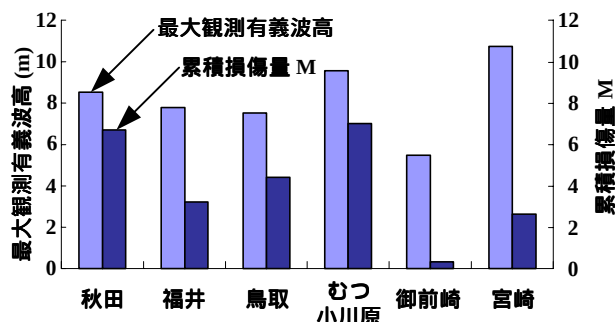


図 - 5 最大有義観測波高と累積損傷量

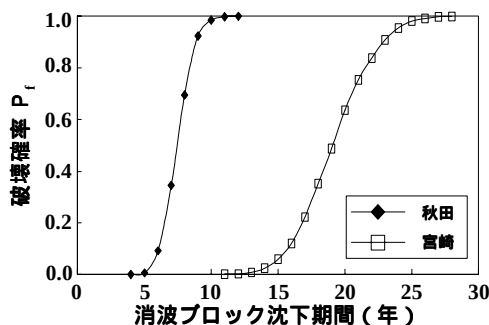


図 - 6 消波ブロックの沈下期間に対する破壊確率の推移

図 - 3 に破壊確率の算定フローを示す。まず、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る。ブロックの速度のばらつきは、正規分布と仮定し、式(1)より平均値を求め、標準偏差 0.31 のばらつきを与えた。この速度 V_i と式(2)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。図 - 4 に衝突回数を 1600 回と設定した場合における損傷の累積過程を示す。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。

2.3 地域による破壊の特徴

日本各地より秋田港、福井港、鳥取港、むつ小川原港、御前崎港、宮崎港を選定し、NOWPHAS の波浪データ（6 年分）より、表 - 1, 2 に示すように波高別の波浪継続時間と平均周期を求めた。ここで、消波ブロックは波高 6m 以上で動揺するとして、波浪データから 6m 以上のみのデータを対象としている。図 - 5 に、耐用年数を 50 年として計算した累積損傷量を最大有義波高と比較して示す。これより、秋田港やむつ小川原港のように最大有義波高と累積損傷量が高い相関を示す場合もあるが、御前崎港や宮崎港のように低い相関の場合もあった。これより、設計に用いられる最大有義波高により、ケーソン壁の局部破壊を推定することは難しいと思われる。ところで、消波ブロックの沈下は波力やブロック下部の砂地盤の洗掘等によるもので、定量的な評価が難しい。そこで消波ブロックの沈下期間を変化させて破壊確率 P_f を求めた。図 - 6 は秋田港、宮崎港の計算結果である。これより、秋田港の場合は、沈下期間が 4 年では破壊確率は 0 である。沈下期間が 5 年を過ぎると破壊確率は急激に増加し、12 年以上になると破壊は必ず生じることになる。一方、宮崎港の場合は、沈下期間が 11 年までは破壊確率は 0 であるが、それから秋田港に比べて緩やかに増加する傾向にある。

参考文献

- 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，pp407-412，2002.6。
- 国土交通省港湾技術研究所：港湾技術研究資料，被災防波堤集覧。