

消波ブロック被覆堤における消波工の被災・補修過程のモデル化

鳥取大学大学院 学生会員 ○権守 真也

(株)福屋ホールディングス 城戸 克将

三省水工(株) 正会員 河村 裕之

鳥取大学 正会員 太田 隆夫, 松見 吉晴

1. はじめに

社会基盤施設にはある水準以上の性能を供用期間にわたって保持することが求められる。しかし、経年変化や外力の作用による被災（損傷）で性能の劣化が生じることから、適切かつ効率的な維持管理が必要であり、そのためには施設の劣化過程を把握し、それにもとづく維持管理計画を立案しなければならない。港湾・海岸構造物においても、点検・健全度評価や劣化予測に関する研究が行われているが、特に多数の捨石や消波ブロックで構成される構造物を対象とした維持管理については検討の余地が残されている。本研究では、消波ブロック被覆堤の消波工を対象として、水理模型実験で得られた断面変形データを用いて、被災度（変形度）の進行過程をマルコフ連鎖モデルによりモデル化し、さらに補修過程を考慮した被災進行予測と総費用の算定について検討する。

2. 断面変形計測実験と被災進行予測モデル

本研究では、水理模型実験で得られた消波工の断面変形データを用いて、変形量を表すパラメータ S ($= A_e/D_n^2$, A_e : 侵食面積, D_n : 消波ブロックの代表径) を求め、その値により被災度のランク分けを行った。水理模型実験では、多方向不規則波造波水槽内に設置した2本の造波水路に消波工の模型を設置し、不規則波を作用させて断面形状を測定した。図-1に実験装置の概要を示す。使用した消波ブロック模型は、平均質量37.6g, $D_n=2.56\text{cm}$ である。期待スペクトルをJONSWAPスペクトル、有義波周期を1.2sとした一方向不規則波の造波信号により、2本の水路で同波形・同位相の不規則波を消波工模型に作用させた。有義波高は約11cmである。不規則波を20分間作用させるごとに、1水路あたり3測線で消波工の断面形をレーザー変位センサにより計測し、それらの平均をとって断面形とした。同じ不規則波を10回繰り返し作用させて、断面変形のデータを取得することを1回の実験とし、これを15回行った。これらの断面変形データにより、初期断面を基準として S の値を求めた。

つぎに、 S の値を四捨五入して整数値とし、その値によりランク a ($S=0\sim3$), b ($S=4\sim7$), c ($S=8\sim11$), d ($S\geq 12$) として被災度のランク分けを行った。波の作用回数 N_r ごとにランク a から d に入るデータ数の割合（被災度割合）を求め、図-2に示す被災度割合の推移が得られた。このデータに対して定常推移確率をもつマルコフ連鎖モデルの適用を検討した。本研究では、モデル1；被災度は1ランクずつ推移しランク間の推移確率はすべて等しい、モデル2；被災度は1ランクずつ推移し推移確率は各々異なる、モデル3；2ランク以上の被災度の推移が生じ推移確率は各々異なる、の3種類のマルコフ連鎖モデルを用いた。図-3はモデル3の状態推移図である。各モデルの推移確率は、 $N_r=5$ における被災度割合の実験値と、モデルによる計算値との誤差の2乗和が最小となるように、Excelのソルバー機能を用いて算出した¹⁾。モデル1から3により計算した被災度割合を図示していないが、モデル3の場合が実験値の被災度割合の変化傾向に最も近い結果となっている。

3. 補修を考慮した被災進行予測と補修費用

2.に示したモデルで補修過程を考慮し、被災進行予測と総費用の算定を行う。高波の作用の結果として被災が生じ、その後に補修を行うことから、図-3のモデルで被災過程を与え、ランク b, c, d からの補修を考慮することとした。補修は原形復旧でランク a に推移するものとし、補修完了後の状態で次の高波の作用を受けることを想定している。図-4にモデル3でランク d からの補修のみを考慮した場合の被災度割合を示す。この図は被災直後の状態を表しているが、補修により、 N_r がある程度大きくなると被災度割合が一定となることがわかる。

補修費は、補修対象となるランクでの S の平均値を用いて侵食面積を与え、消波工の単位長さあたりの消波ブロック個数を求めて、ランクの割合と補修単価を掛け合わせて算定する。ただし、補修単価は実際の金額ではなく、ある値を仮定して与えている。また、補修の実施方

キーワード 消波工, 被災進行予測, マルコフ連鎖モデル, 補修

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 0857-31-5309

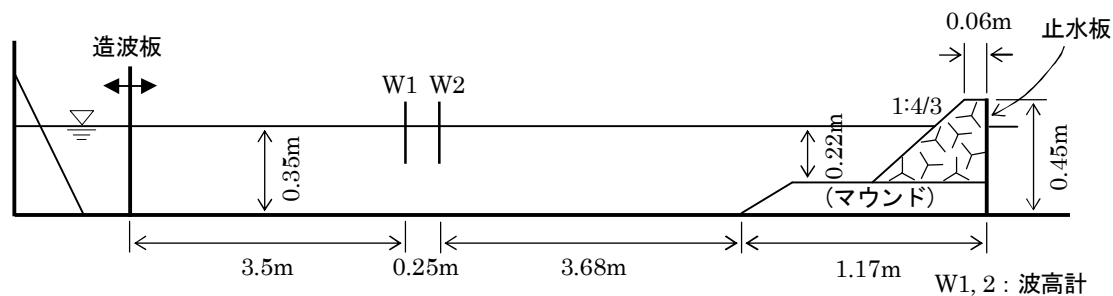


図-1 実験装置の概要

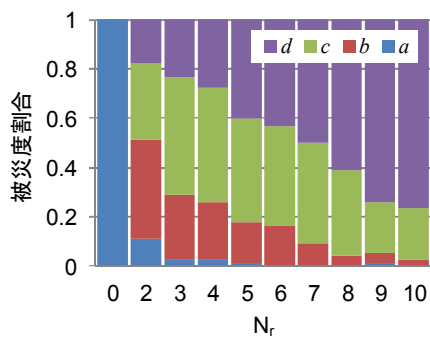


図-2 被災度割合 (実験値)

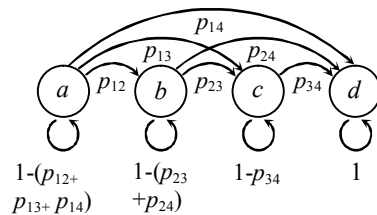


図-3 状態推移図 (モデル 3)

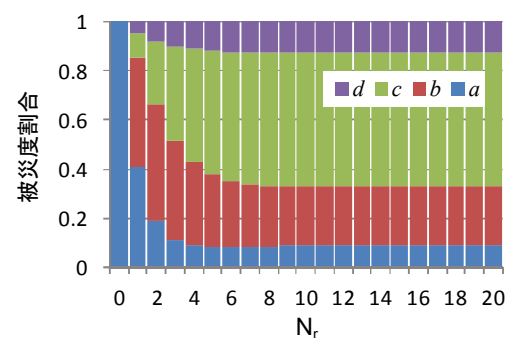
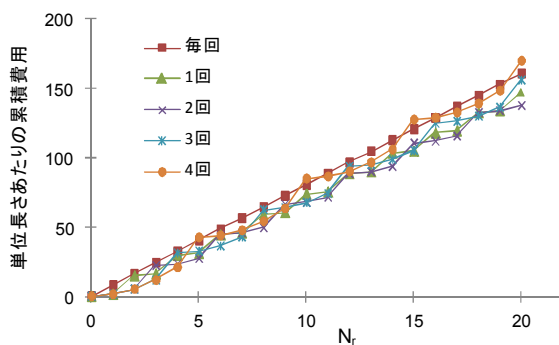
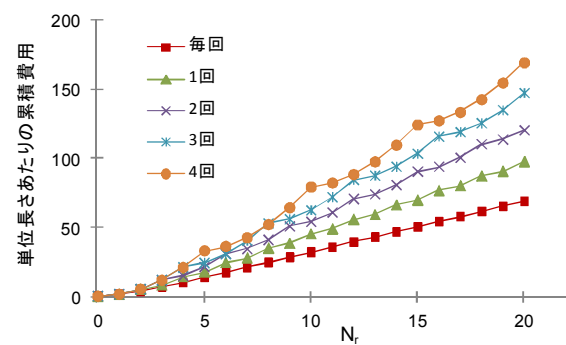


図-4 被災度割合の推移 (補修あり)



(a) ランク b, c, d を補修する場合



(b) ランク d のみを補修する場合

図-5 累積費用の変化

針としては、被災を生じるような高波の作用ごとに毎回、1 回おき、2 回おき、…が考えられ、毎回補修以外では補修を行わないことによる損害を含めて費用を求める。図-5 は、消波工の単位長さあたりの累積費用であり、高波の作用後に毎回補修する場合から、1~4 回おきとする場合を合わせて示している。これらのケースでは、補修単価を 10 とし、損害額はランク d からの補修費と同額と仮定している。(a) に示したランク b, c, d をすべて補修するケースでは、2 回おきに補修する場合で累積費用がおおむね最小となっている。(b) のランク d のみを補修する場合では、毎回補修の場合が最小の累積費用となっている。図示していないが、ランク b, c, d をすべて補修するケースでも損害の設定を 2 倍程度にすると、毎回と 1 回おきの累積費用が小さく、2, 3, 4 回おきの順に

費用が大きくなる。

4. おわりに

消波ブロック被覆堤の消波工を対象として、実験で得られた断面変形データにもとづいて、被災度の進行過程をマルコフ連鎖モデルによりモデル化し、補修過程を考慮した被災進行予測と補修費用と被害額を合わせた総費用について検討した。本研究では、補修単価および被害額を仮定しており、今後、実際に即した値を用いて総費用を検討する必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 25420524 の助成を受けて実施したものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (独) 港湾空港技術研究所編著：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，229p., 2007.