

ニューラルネットワークを用いた消波ブロック被覆工の変形量評価

間 瀬 肇*・酒 井 哲 郎**

1. はじめに

防波護岸の設計に際しては、消波ブロック被覆工の変形量の定量的評価が必要である。捨石傾斜堤の安定性の研究は盛んに行われており、種々の算定公式が提案されているが、消波ブロック被覆工の安定性や変形量評価の研究は多くない。最近、設計波に対しては現行の設計法を満足し、超過波浪に対しては消波工としての機能が維持できる範囲で多少の変形は許容するという設計概念が提案されている。こうした設計概念を生かすためにも、被覆工の変形量の正確な予測・評価が重要となる。

鹿島ら (1993) は、不規則波を用いた水理模型実験の結果から、Van der Meer (1988) が提案した被災レベルと安定係数を用いて、消波ブロック被覆工の変形レベルを定式化した。この算定式を詳細に検討してみると、実験結果との差異がみられる (3.で示す)。

本研究は、因果関係が不明瞭な情報の処理に有効であるニューラルネットワークを用いて、消波ブロック被覆工の変形量の評価を行うとともに、その有効性を検討するものである。ニューラルネットワークは、人間の神経細胞のモデルを用いた情報処理システムであり、脳細胞にあたるユニットを神経繊維にあたる結合路で結びつけ、学習によってその結合の強さを変化させ、入出力間関係をうまく定める。海岸工学上の問題におけるニューラルネットワーク法の有効性は、間瀬ら (1994) および間瀬 (1995) によって示されている。

2. 実験データの概要

解析に用いたデータは、鹿島ら (1993) のテトラポッドで被覆した消波ブロック被覆式ケーソン堤の被覆工の変形量を調べた実験データを読みとったものである。実寸で示した模型断面を図-1に示す。

波高はハドソン式から決まる消波ブロックの安定限界波高 H_0 の1~2 倍の範囲で変化させられた。波はWallops型スペクトルを有するものであり、スペクトル形状は風波およびうねりの条件に対応する2種類が用いられ

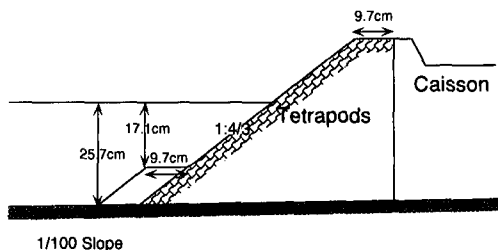


図-1 護岸模型の諸元

た。有義波周期は3通りに変化させられた。作用波数は最大7,000波であった。実験条件の詳細については、鹿島ら (1993) を参照されたい。

消波工の変形量は、Van der Meer (1988) によって定義された、次式の被災レベルによって表された。

$$S = A/D_n \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 A は侵食部分の断面積、 D_n は同一重量の立方体を仮定した場合のブロックの代表長である。安定係数は

$$N_s = H_s/\Delta D_n \quad \dots\dots\dots (2)$$

で示される。ここで、 H_s は防波堤前面における有義波高、 $\Delta (= \rho_s/\rho_w - 1)$ は消波ブロックの相対密度である。surf similarity parameter は

$$\xi_m = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s/gT_m^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で表される。ここで、 T_m はスペクトルのモーメントから求まる平均周期、 α は斜面角度である。

その他、作用波数は N 、透水性を表すパラメータは P と表す。ただし、鹿島ら (1993) の論文では P の値は示されていないが、ここでは Van der Meer (1988) の定義に従い0.6とした。

3. 捨石防波堤および消波ブロック被覆工の安定公式

Van der Meer (1988) は捨石防波堤の斜面勾配、透水性、捨石の粒度、密度、入射波のスペクトル、有義波高、

* 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

周期を変化させて数多くの安定実験を行い、以下の捨石防波堤の安定公式を提案した。

$$N_s = 6.2P^{0.18}(S/\sqrt{N})^{0.2}/\sqrt{\xi_m}; \quad \xi_m < \xi_c \quad \dots\dots (4)$$

$$N_s = 1.0P^{-0.19}(S/\sqrt{N})^{0.2}\sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P; \quad \xi_m > \xi_c \quad \dots\dots (5)$$

式(4)および式(5)の両式を分ける境界値の ξ_c は

$$\xi_c = (6.2P^{0.31}\sqrt{\tan \alpha})^{\frac{1}{P+0.5}} \quad \dots\dots (6)$$

と表される。

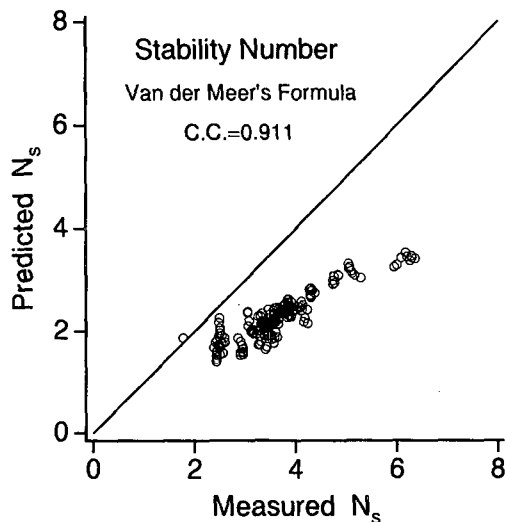
鹿島ら(1993)が実験データを整理して求めた実験式は、次の通りである。

$$N_s = 8.5(S/\sqrt{N})^{0.16}\xi_m^{-1/2} \quad \dots\dots (7)$$

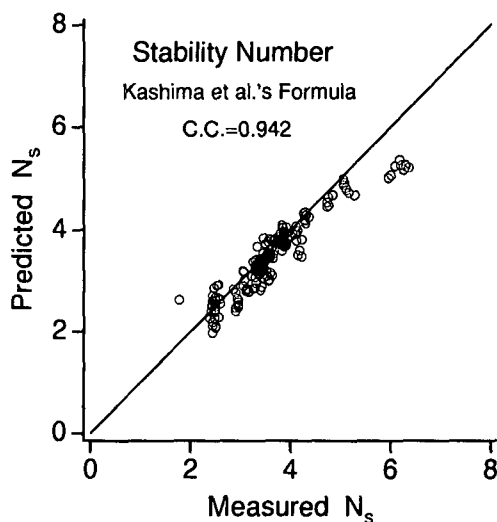
式(4)と(5)および式(7)は S, N, ξ_m, P を条件として与えて N_s を算定するものであるが、形を変えれば、 N_s, N, ξ_m, P を与えて S を算定する式になる。

図-2は、安定係数 N_s および被災レベル S に関して、実験結果とVan der Meerの式を用いた算定結果を比較したものである。横軸は実験値、縦軸は算定値である。

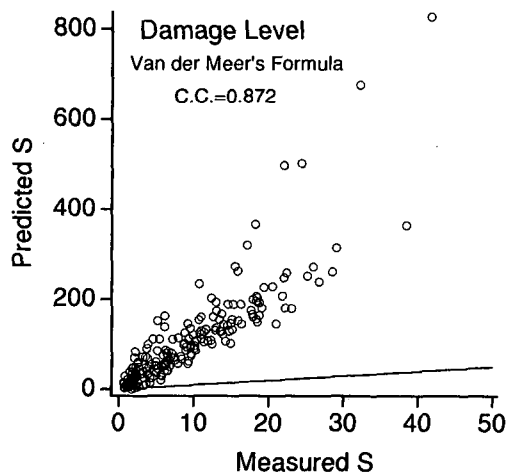
図-2(a)のVan der Meerの式で算定した安定係数は、



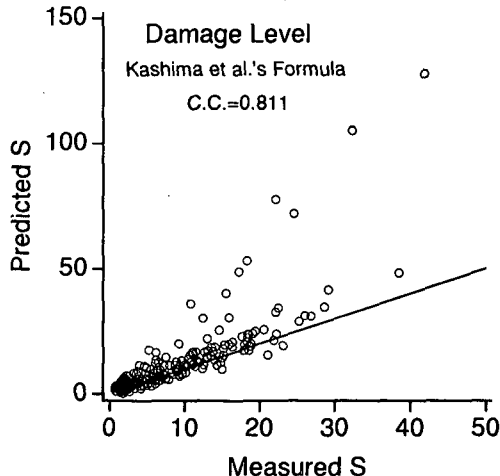
(a) 安定係数



(a) 安定係数



(b) 被災レベル



(b) 被災レベル

図-2 消波ブロック被覆工の安定性に関する実験結果とVan der Meer (1988)の式による算定結果との比較

図-3 消波ブロック被覆工の安定性に関する実験結果と鹿島ら(1993)の式による算定結果との比較

実験値より小さくなる。小さく算定するということは、波高、周期、ブロックの密度、斜面勾配が与えられたとき、実際に必要なブロックの大きさを大きく見積もることを意味する。これはまた、消波ブロックは相互のかみ合わせ効果により、同じ条件下では捨石の粒径より消波ブロックの大きさは小さくてもよいことを意味する。Van der Meer の式で消波工の被災レベルを算定すると、図-2(b)のように実験値とは比較にならないほど大きな値となる。これは、波高、周期、ブロックの密度、粒径、斜面勾配が与えられたとき、変形量を過大に見積もることを意味する。これも算定式は消波ブロックの相互のかみ合わせ効果を考慮したものではないことに起因する。結局、捨石層に対して作成された公式は、消波ブロック被覆工には適用できないことが明らかになった。

鹿島らの式を用いた算定結果と実験結果との比較を図-3に示す。図-3(a)の被災工の安定係数については、両者の一致はよい。被災レベルに関しては、図-3(b)に見られるように、算定値は実験値と比べ大きくなるケースがある。これらのケースは、入射波高が設計波高の2倍の時である。

4. ニューラルネットワークを用いた消波ブロック被覆工の変形量評価

4.1 ニューラルネットワーク

人間の神経細胞（ニューロン）のモデルを用いた人工のシステムはニューロと呼ばれ、ニューロンのモデルはユニットと呼ばれる。ユニットにつながっている結合路からの多入力信号は、ある重み（結合荷重）がかけられて加算され、さらに閾値が差し引かれてユニットに入力される。そして、ユニットは応答関数に応じた出力値を

出力する。ユニットの応答関数として現在最もよく用いられるのは、シグモイド関数と呼ばれるものである。

本研究で用いるのは、図-4で示した入力層、中間層、出力層の3層からなる階層型ニューラルネットワークである。この3層のネットワークに、入力データと同時に、望ましい出力値（教師信号）を与え、ネットワークからの出力値と教師信号との誤差をフィードバックすることにより、教師信号に近い値がでるように結合荷重や閾値を変化させネットワークを調整する（自己学習する）。入力データとしては、入力層のユニットに透水係数 P 、作用波数 N 、surf similarity parameter ξ_m 、無次元水深 h/H_s 、スペクトル形パラメータ Q （広帯域の場合1.0、中帯域0.5、狭帯域0）、安定係数 N_s （安定係数を算定するときには被災レベル S ）の6つを与え、教師信号としては、出力ユニットに被災レベル S （あるいは安定係数 N_s ）を与えた。

中間層から出力層、および入力層から中間層への結合荷重および閾値の修正には、最急降下法を用いたバックプロパゲーション法を用いる。具体的方法としては逐次修正法、一括修正法、モーメント法、修正モーメント法といったものがあるが、ここでは修正モーメント法を用いた。これは入力パターンそれぞれに対する誤差から求めた結合荷重と閾値の修正量を入力パターン全体について加算し、その量で結合荷重と閾値を修正する方法である。学習回数は10,000とした。計算のフローを図-5に示す。計算過程の詳細は、前報の間瀬ら（1994）を参照されたい。

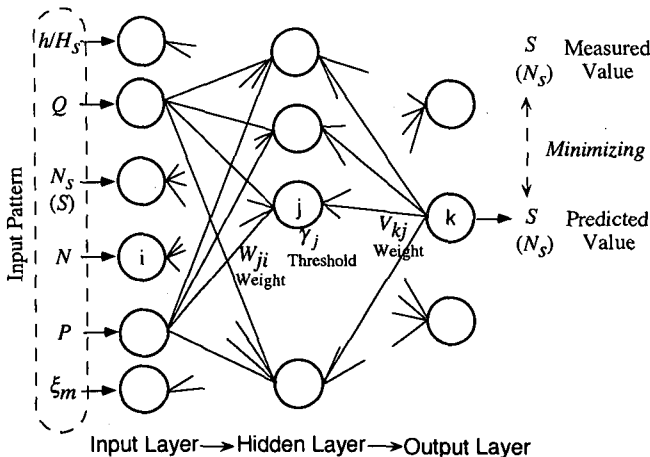


図-4 階層型ネットワーク

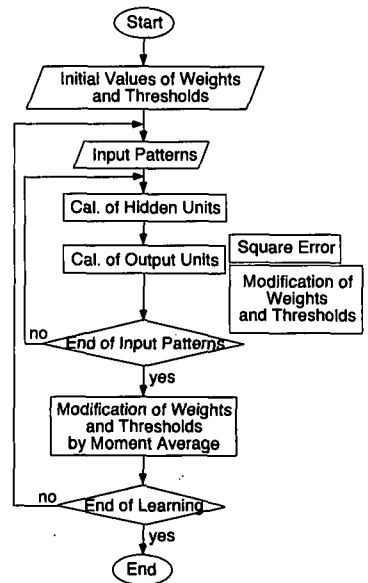


図-5 計算のフロー

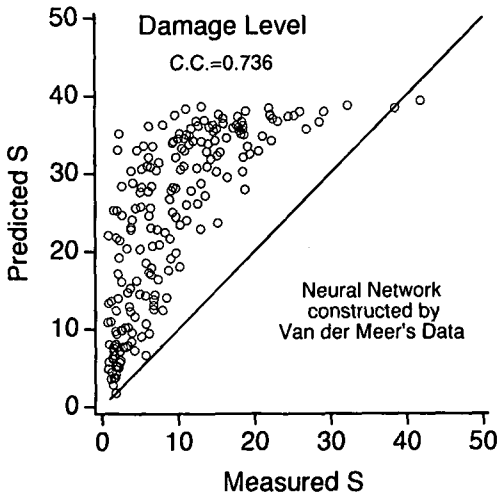


図-6 Van der Meer (1988) のデータを用いて同定したニューラルネットワークによる被災レベルの算定結果と実験結果との比較

4.2 ニューラルネットワークを用いた算定結果と実験結果との比較

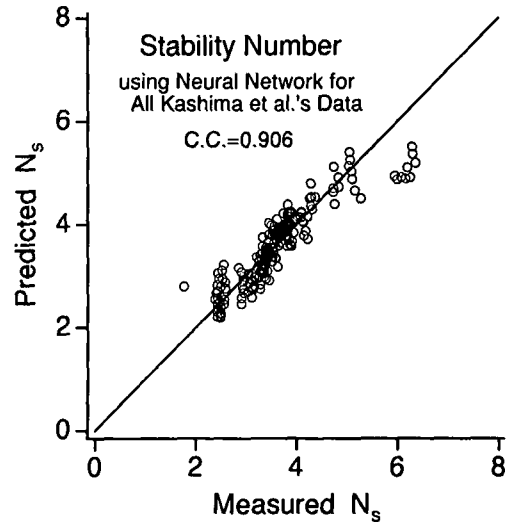
まず, Van der Meer (1988) の実験データから間瀬ら (1994) が同定したニューラルネットワークを用いて, 消波ブロック被覆工の被災レベルに関して算定結果と実験結果を比較した。その結果を図-6 に示す。この図から, 実験値が 20 までは算定値が大きくなるが, それ以上になると実験値に近づくのが見て取れる。これは, 変形 (被災) レベルが小さいうちは捨石と消波ブロックの被災過程にかみ合わせ効果が寄与しているため差異が生じるが, ある程度変形 (被災) が進むと両者に差がなくなっていくことを示すものであり, ニューラルネットワークを用いると, 実験公式では表せない実験データに内在する特徴を掴むことができるものと思われる。

図-7 は, 鹿島ら (1993) の実験データをもとにネットワークを同定し, そのネットワークを用いて新たに算定値を出力して実験結果と比較したものである。安定係数および被災レベルの両者とも, 実験結果と計算結果との一致はよく, ニューラルネットワーク法の有効性が確かめられる。

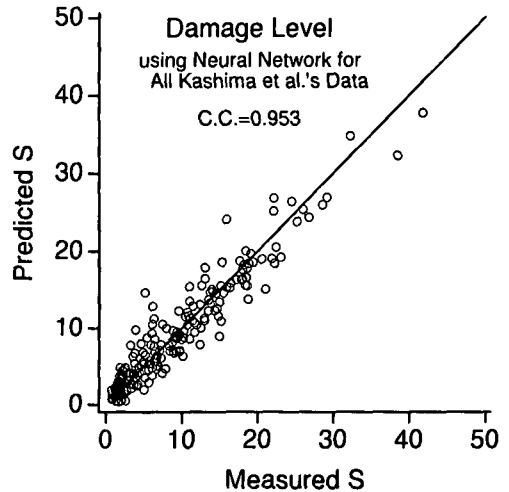
ここで同定したニューラルネットワーク (結合荷重と閾値) を利用すれば, 同種の消波ブロック被覆工の変形量の算定が容易になる。

5. あとがき

設計波に対しては現行の設計法を満足し, 超過波浪に対しては消波工としての機能が維持できる範囲で多少の



(a) 安定係数



(b) 被災レベル

図-7 消波ブロック被覆工の安定性に関する実験結果とニューラルネットワークによる算定結果との比較

変形は許容するという設計概念を生かすために, 被覆工の変形量の正確な予測・評価が重要となるが, 本論文ではこのような問題に対してニューラルネットワーク法の有用性を検討した。すなわち, 6入力ユニットおよび1出力ユニットの3層型ネットワークを用いると, 消波ブロック被覆工の安定係数および被災レベルについて, 実験結果をうまく整理できることを示した。

入力データは, 透水係数, 作用波数, surf similarity parameter, 無次元水深, スペクトル形パラメータ, 安定係数 (あるいは, 被災レベル), 出力データは被災レベル (あるいは, 安定係数) である。

参 考 文 献

- 鹿島遼一・榊山 勉・清水琢三・関本恒浩・国栖広志・京谷 修
(1993): 不規則波に対する消波ブロック被覆工の変形量評価式について, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 795-799.
- 間瀬 肇・坂本雅信・酒井哲郎・後藤仁志 (1994): ニューラルネットワークを用いた捨石防波堤の安定性評価, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 761-765.
- 間瀬 肇 (1995): 混成防波堤における衝撃碎波力の発生判定モデル, 土木学会論文集, 第 515 号, II-31, pp. 95-102.
- Van der Meer, J. W. (1988): Rock slopes and gravel beaches under wave attack, PhD thesis, Delft Univ. of Technology, Pub. No. 396. Delft, The Netherlands, 152 p.
-