

ニューラルネットワークによる捨石防波堤の 安定性に及ぼす支配要因の影響度評価

間 瀬 肇*・高山 知 司**

1. はじめに

Hudson (1958) が被覆石の安定重量を算定するための式を提案して以来、被覆石の安定性に及ぼす周期の影響、堤体の透水性の影響、波の不規則性の影響等が種々検討されてきた。

Vander Meer (1988) は不規則波を用いた多数の実験を行い、データを整理して捨石防波堤の安定式を提案した。その安定式を用いると、安定係数に関しては算定値と実験値の一致はよいが、被災レベルに関しては両者の一致の程度は良くない。また、Smithら(1992)の実験データに Vander Meer (1988) の安定式を適用すると、被災レベルをうまく表すことができなかった。Smithら(1992)は Vander Meer (1988) の実験データを再整理して新たな算定式を作ったが、その式では彼らの被災レベルの実験結果と一致しなかったため、式に含まれる係数を変えなければならなかった。すなわち、ある特定の経験式では異なる研究者の実験データを整理できなかった。

著者らは人間の神経細胞のモデルを用いたニューラルネットワークを取り上げ、捨石防波堤の被災レベルや安定係数の評価が可能であるかを調べたところ、良好な結果が得られた(間瀬ら, 1994; 間瀬・酒井, 1995; Mase et al., 1995)。この評価システムの特徴は、曖昧さを含むデータや因果関係が不明瞭な情報をうまく整理できる点にある。本研究は、ニューラルネットワークを用いて、捨石防波堤および消波ブロック被覆工の安定性に及ぼす支配パラメータの影響度(重要度)を検討するものである。

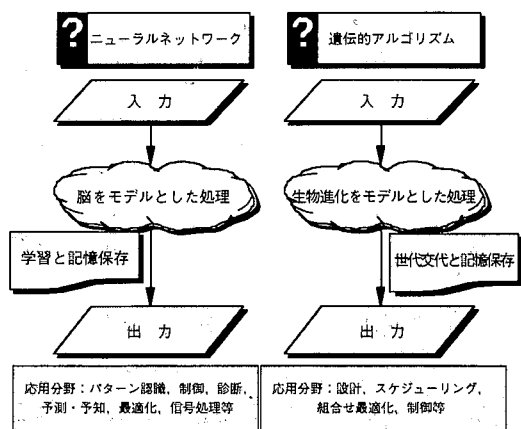
2. 生物に学ぶ情報処理

情報処理は生命科学と縁が深く、生命に学ぶ情報処理は多くのモデルを提供してくれる。そのなかに、脳の情報処理を模擬して始まったニューラルネットワークと、生物の進化のメカニズムを模擬して始まった遺伝的アルゴリズムがある。ニューラルネットワークは回路網的な

ネットワークで、学習に基づく適応のアルゴリズムにより情報を処理するものであり、遺伝的アルゴリズムは一定の生物集団で、世代交代を前提とした淘汰、交叉および突然変異のアルゴリズムにより情報を処理する。ニューラルネットワークは数値データを用いた処理に強く、遺伝的アルゴリズムは多くの組み合わせの中から選択能力に優れている。

応用分野としては、ニューラルネットワークはパターン認識、制御、診断、予測・予知、最適化、信号処理等、遺伝的アルゴリズムは設計、スケジューリング、組合せ最適化、制御等が挙げられる。この2つの手法は長所と短所を有するが、両者の長所を融合させるニューロジェネティック学習といった研究も進められている。図一1にニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムの概観図を示す。

本研究は、ニューラルネットワークの応用研究として位置づけられる。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、ニューロンの人工的なモデルは「ユニット」と呼ばれる。ユニットは、多入力、1出力の素子が通常用いられる。ユニット間は神経繊維に対応する線で結ばれる。各ニューロンは他のニューロンから入力を受けて、その総和がある値を超えると発火(興奮)してパルスを発生し、



図一1 生物に学ぶ情報処理

* 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所

** 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

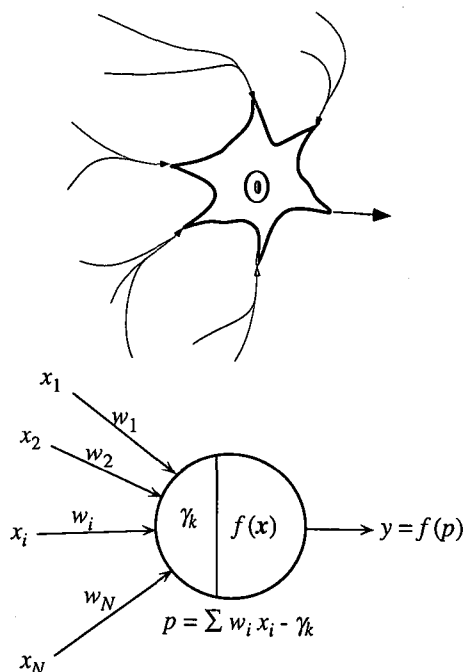


図-2 ニューロンのモデルとユニット

他のニューロンに伝えていく。ニューロのネットワークは一般的には各ユニットが相互に結合した相互結合型のネットワークであるが、ユニットが層状にグループ化され、信号がグループ間を特定の方向だけに伝わるような構造は階層型ネットワークと呼ばれる。

信号は、図-2のように、ある重みをつけられて結合されたユニットに入力される。この重み(結合係数)によって、ユニット間の結合の強さが表される。結合係数およびユニットの閾値は学習によって変化する。ニューロにおいては、その性能を評価するために、評価基準が設定される。この評価を行う際に、入力信号に対する理想出力を与える。従来の情報処理では、処理手順をあらかじめ詳細な形でコンピュータに与えなければならない(プログラミングに相当する)。ニューラルネットワークは、数値データが与えられるだけで、学習によって判断論理を自動的に形成できる。

3層以上のネットワークに対する学習法が、バックプロパゲーション法である。学習のプロセスは、1) 結合係数および閾値の初期設定、2) 学習データを入力し、評価基準を参照して評価する、3) 評価結果に基づいて結合係数および閾値を調整し、再び評価、4) このプロセスを繰り返して、最適値に近づく。バックプロパゲーション法の具体的方法には、1) 学習パターンを1個入力する毎に結合係数および閾値を修正する逐次修正法、2) 学習パターンそれぞれに対する誤差から求めた修正

量を加算し、学習パターン全体について加算した修正量を用いる一括修正法、3) 一括修正法に基づき1回前の修正量も考慮するモーメント法、4) 学習が進んだ後は前回の修正方向に近い方向で修正する修正モーメント法がある。本研究では、4)を用いる。

3. 捨石防波堤の安定性におよぼす支配パラメータ

本研究で解析するのは、まず Vander Meer (1988) による実験データである。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、周期を変化させた数多くの安定実験が行われた。

捨石防波堤の被災度を表すパラメータとしては、次の damage level (被災レベル) がある。

$$S = A/D_{n50}^{2.5} \quad (1)$$

ここで、 A は捨石防波堤の破壊部分(侵食部分)の断面積、 D_{n50} は捨石の中央粒径である。この被災レベルを左右する支配パラメータとして、以下のものが挙げられる。

Vander Meer (1988) が指摘した4つのパラメータのうちの1つである安定係数は次のようである。

$$N_s = H_s/\Delta D_{n50} \quad (2)$$

ここで、 H_s は防波堤前面における有義波高、 $\Delta (= \rho_s/\rho_w - 1)$ は捨石の相対密度である。他の3つは、作用波数 N 、捨石堤の透水係数 P 、surf similarity parameter ξ である。これら4つのパラメータに加えて、間瀬ら(1994)は無次元設置水深 h/H_s とスペクトル形パラメータを追加した。この理由は、波高分布形状は水深によって異なり、有義波高が同じでもそれより大きな波高の出現率が異なるので捨石防波堤の被災レベルが変わる可能性があること、また波群性の影響をスペクトル形を介して取り入れるためである。以上の6つのパラメータを用いると、ニューラルネットワークの予測値と実験値の一致の程度が、4つの支配パラメータを用いた場合に比べて非常に改善された(間瀬ら, 1994)。

安定係数、作用波数、および surf similarity parameter は捨石の特性、波の累積効果、捨石堤の斜面角度、波高、周期を最小限に規定するものであるから、これらのパラメータは常に用いることとし、その他の3つのパラメータの捨石防波堤の安定性評価への影響を検討する。

4. 捨石防波堤の安定性に及ぼす支配要因の影響度評価

本研究では、入力層、中間層、出力層の3層からなる階層型ネットワークを用いた。中間層は1層、ユニット数は12とした。入力層ユニットに用いるパラメータは、以下に示す5種類である。

Case 1: 6つのパラメータを用いる

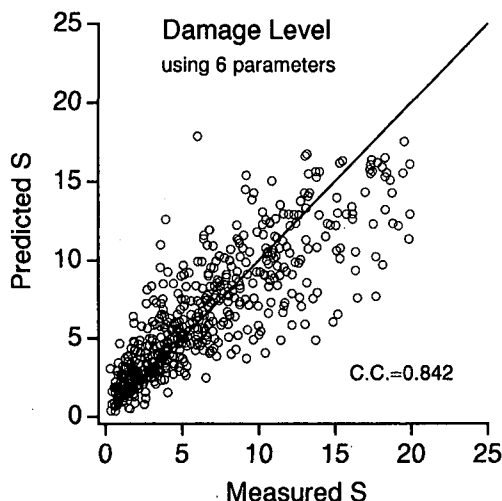


図-3 Case 1 で同定したネットワークによる予測値と実験値の比較

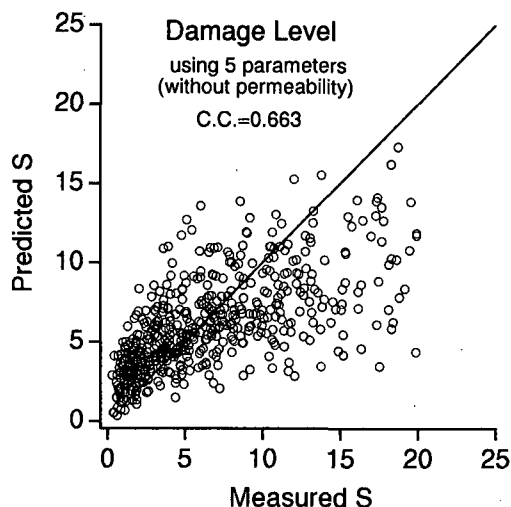


図-4 Case 4 で同定したネットワークによる予測値と実験値の比較

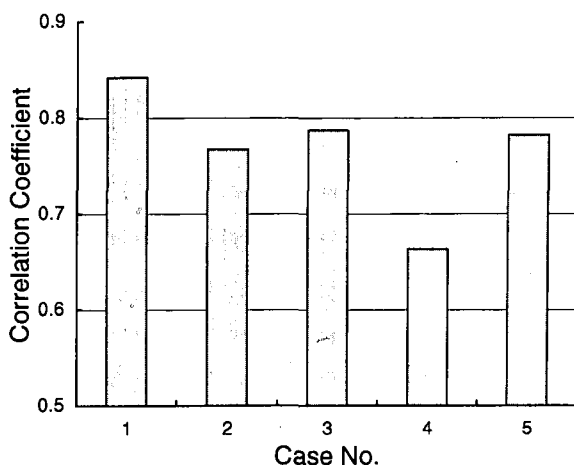


図-5 Case 1 から Case 5 で同定したネットワークによる予測値と実験値の相関係数（被災レベルが 20 以下の場合）

Case 2: 6つのパラメータのうち、無次元設置水深を用いない

Case 3: スペクトル形パラメータを用いない

Case 4: 透水性パラメータを用いない

Case 5: 無次元設置水深とスペクトル形パラメータの2つを用いない

これら5ケースに対して、Van der Meer (1988) の実験データからランダムに 100 個 (100 入力パターン) 選び出したデータを用いて、ネットワークの結合係数と閾値を同定した。学習回数は 5000 回としたが、すべてのケースにおいて 100 入力パターンに対する予測値と実験値の相

関係数は 0.95 以上であった。

図-3 は、Case 1 で同定したネットワークを Van der Meer (1988) の実験データ (被災レベルが 20 以下のもの) に適用して予測値を求め、実験値と比較したものである。両者の相関係数は 0.84 であり、既存の算定式を用いた場合に比べて両者の一致の程度はかなり良くなる。図-4 は Case 4 で同定したネットワークを用いて予測値と実験値を比較した結果である。両者の相関係数は 0.66 と小さくなっている。

Case 1 から Case 5 の予測値と実験値の相関係数をまとめたものが図-5 である。Case 4 が最も相関係数が小

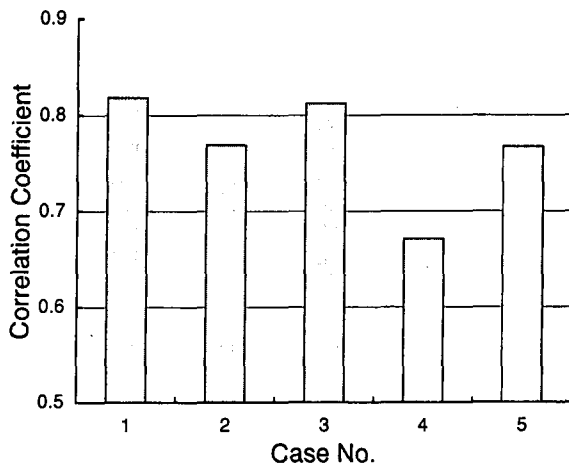


図-6 Case 1 から Case 5 で同定したネットワークによる予測値と実験値の相関係数 (被災レベルが 20 以上の場合も含む)

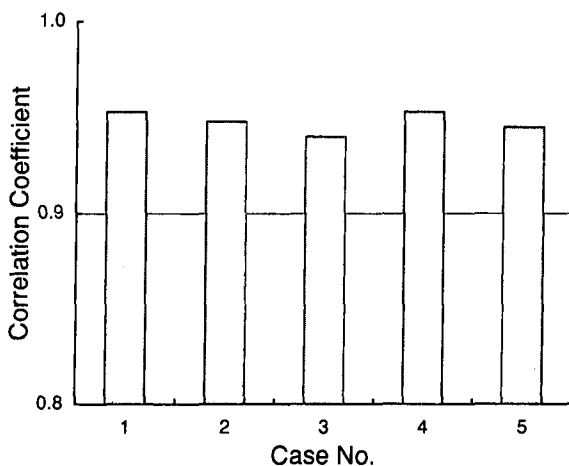


図-7 消波ブロック被覆工の被災レベルに関する予測値と実験値の相関係数

さくなっている。このケースは透水性パラメータを入力層ユニットに用いないものであり、こうすると予測値は実験値をうまく表せなくなることを示しており、堤体の透水性が安定性に重要であることを意味している。次に相関係数が小さくなるケースは、Case 2 の無次元設置水深を用いない場合である。このことは、捨石防波堤の安定性に無次元設置水深の影響、すなわち、間接的に波高分布の影響が比較的大きいことを意味している。

図-6 は Van der Meer (1988) のすべての実験データ (被災レベルが 20 以上も含む) を用いて、相関係数を整理したものである。一般的傾向は図-5 のそれと同じであるが、特に目立つのはスペクトル形パラメータを用い

るか否かにかかわらず、6 つのパラメータを用いた場合の相関係数と変わらないことである。捨石防波堤の安定性に波群の影響があるかどうか現在も議論があるが、本研究の解析結果によるとその影響はあまり重要ではないようである。

これまででは、Van der Meer (1988) のデータを用いた解析結果を示したが、消波ブロック被覆工の変形量を調べた鹿島ら (1993) の実験データを用いて同様の解析を行った結果を図-7 に示す。Case 3 のスペクトルパラメータを用いない場合は相関係数が若干小さくなるので、その影響があるのではないと思われるが、消波ブロック被覆工の被災レベルについては元々予測値と実験

値の一致の程度が良く、どのケースも相関係数が0.9を越えており、その差は重要でないと思われる。

5. あとがき

本研究は、ニューラルネットワークを用いて、捨石防波堤および消波ブロック被覆工の安定性に及ぼす支配パラメータの影響度（重要度）を検討したものである。用いた実験データは、Van der Meer (1988) および鹿島ら (1993) のものである。前者のデータに対しては、任意の100個のデータを用いて、入力層ユニットのパラメータを変化させてネットワークを同定し、そのネットワークで改めて被災レベルの予測値を求め、実験値との相関係数を算出してパラメータの影響度を評価した。その結果、堤体の透水性、次に無次元設置水深の影響が比較的大きいことがわかった。消波ブロック被覆工の変形量を調べた鹿島ら (1993) の実験データを用いて同様の解析を行ったが、消波ブロック被覆工の被災レベルについては元々予測値と実験値の一致の程度が良く、どのケースも相関係数が0.9を越えており、相関解析からはパラメータの相対的な優劣ははっきりしなかった。このことは、安定性に関して捨石堤と消波ブロック堤に差異があるのではないかと推察されるが、これは今後の課題とする。

本研究は文部省科学研究費基盤研究 (B) (2) (No. 06555148, 代表者: 間瀬 肇) によるものであることを付記して、謝意を表する。

参 考 文 献

- 鹿島遼一・柳山 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・酒井哲郎 (1995): 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, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 891-895.
- Hudson, R. Y. (1958): Design of quarry stone cover layer for rubble mound breakwaters, Waterways Experiment Station, Coastal Eng. Res. Center, Res. Rept. No. 2-2.
- Mase, H., M. Sakamoto and T. Sakai (1995): Neural network for stability analysis of rubble-mound breakwaters, Jour. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., Vol. 121, No. 6, pp. 294-299.
- Smith, W. G., N. Kobayashi and S. Kaku (1992): Profile changes of rock slopes by irregular waves, Proc. 23rd Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1559-1572.
- 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.