

# ニューラルネットワークによる海上工事の作業可否判定 Workability assessment of marine construction using artificial neural network

岩前伸幸\*<sup>1</sup>  
Nobuyuki Iwamae

鈴木一輝\*<sup>1</sup>  
Kazuki Suzuki

\*<sup>1</sup> 鹿島建設株式会社  
Kajima Corporation

Workability of marine construction is strongly affected by motions of working vessels. In this study, we carried out numerical simulations of vessel motions and created a dataset which includes marine conditions, properties of working vessel, and binary labels (workable or not workable). Using the dataset, we constructed a neural network model which predicts workability from marine conditions and properties of vessels. We concluded that neural network model is applicable for this problem. Robustness of the model for uncertainty of observation is also examined.

## 1. はじめに

海上土木工事では、起重機船や台船など各種作業船を用いて作業が行われる。その作業可否は、一般に、工事海域の気象や海象、作業船の動揺特性や作業内容を考慮し、工事関係者が経験的に判断する。より客観的には、作業船の動揺シミュレーションにより作業性を評価する方法もあるが、実工事では多様な作業を複数の作業船で行うため、全ての状況に対して個別に評価することは現実的ではない。過去の作業可否実績に基づき、環境条件と施工条件から作業可否を判断するモデルを構築することができれば実務上有益であるが、そのような試みは少ない。本研究では、海象観測データと作業船の動揺シミュレーションの結果に基づき仮想的な作業可否データを作成し、それを用いて人工ニューラルネットワークによる判別モデルの構築を試みる。さらに、実工事のデータにはばらつきが多く含まれることを考慮し、教師データに人為的なノイズを与えた場合の影響を調べる。

## 2. 数値シミュレーションによるデータの作成

本研究では、動揺特性の異なる 3 種の作業船(表 1)を想定してデータを作成した。はじめに、各作業船に対し、[高橋 1996]の方法により動揺解析を行った。同手法は単位波高の波による作業船の動揺量を様々な周期・波向の波に対して評価するものである。作業船の動揺量には 3 軸方向の並進と回転の 6 成分が考えられるが、ここではピッチング(横軸まわりの回転)のみを考えた。得られた各作業船の応答関数を図 1 に示す。

次に、計算された応答関数を用い、鹿島港における 2011 年～2015 年の波浪観測データから、同波浪条件下での各作業船の動揺量を[福山 2015]の方法で計算した。波浪観測データは、ナウファス(全国港湾海洋波浪情報網)による有義波高( $H_{1/3}$ )と有義波周期( $T_{1/3}$ )のデータを半日平均して用いた。横軸を  $T_{1/3}$ 、縦軸を  $H_{1/3}$  として波浪観測データの分布を図 2 に示す。計算さ

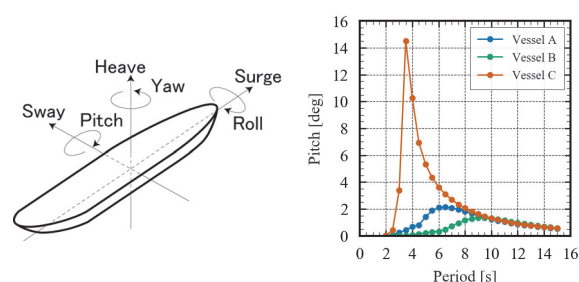


図 1 動揺解析により計算された作業船の動揺量

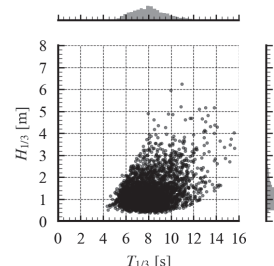


図 2 波浪観測データの分布

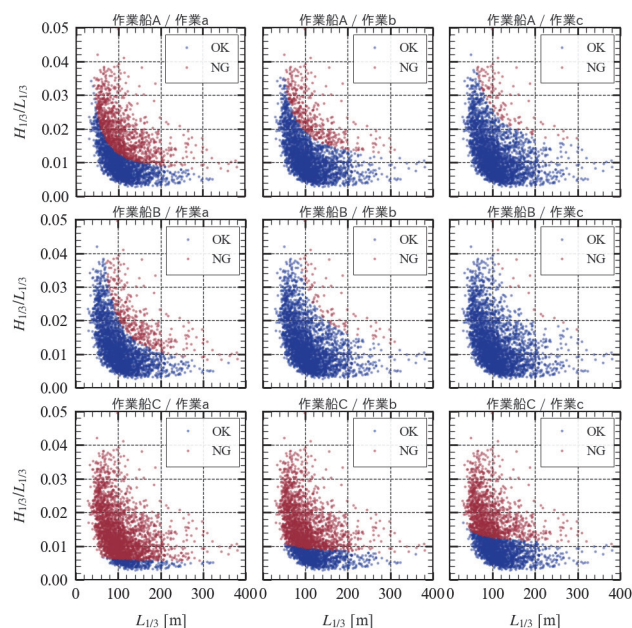


図 3 疑似作業可否データ

表 1 各作業船の諸元

	排水量	長さ	幅	深さ	喫水
作業船A	730t	40.0m	14.0m	3.7m	0.9m
作業船B	21,000t	95.0m	45.0m	7.0m	4.9m
作業船C	20t	14.5m	3.6m	1.6m	1.4m

連絡先: 岩前伸幸, 鹿島建設株式会社, 東京都調布市飛田給  
2-19-1, 080-8820-5923, iwamae@kajima.com

れた動揺量が閾値以下の場合は作業可、上回る場合は作業不可とした二値ラベルを作成し、疑似作業可否データとした(図3)。作業限界の異なる3種の作業を想定し、閾値は作業aで1.0度、作業bで1.5度、作業cで2.0度とした。図中の $L_{1/3}$ は $T_{1/3}$ に対応する波長を表す。

3. ニューラルネットワークによる作業可否判別

3.1 方法

波高と波長の比  $H_{1/3}/L_{1/3}$ 、波長  $L_{1/3}$ 、作業船の長さ、作業種別を入力として、作業可否の判別を行うモデルを構築した。モデルは中間層が1層の全結合ニューラルネットワークを用い、中間層のユニット数は訓練データ内で交差検証法によりチューニングし、32とした。最適化はAdamにより行い、過学習防止のため早期終了を用いた。

作成したデータセットのうち、2015年のデータを訓練データとして用いた。ただし、未知の施工条件に対する性能を確認するため、作業船と作業種別の組合せ9パターンのうち、(作業船A、作業b)と(作業船B、作業a)の2パターンは訓練データから除いている。

3.2 結果

作成したモデルの性能を2011~2015年の各年のデータに対し、施工条件(作業船/作業種別)別に評価した結果を表2に示す。また、作成したモデルによる決定境界を図4に示す。未知の施工条件(A-bとB-a)に対する正解率は若干低いもの

表1 作成したモデルの正解率

船	種別	正解率(年別)				
		2011	2012	2013	2014	2015
A	a	0.985	0.986	0.975	0.984	0.982
	b	0.985	0.975	0.979	0.978	0.977
	c	0.992	0.992	0.988	0.992	0.992
B	a	0.932	0.970	0.971	0.988	0.967
	b	0.992	0.995	0.999	0.992	0.996
	c	1.000	0.999	0.999	1.000	1.000
C	a	0.985	0.995	0.992	0.993	0.992
	b	0.992	0.995	0.999	0.996	0.995
	c	0.985	0.990	0.992	0.989	0.996

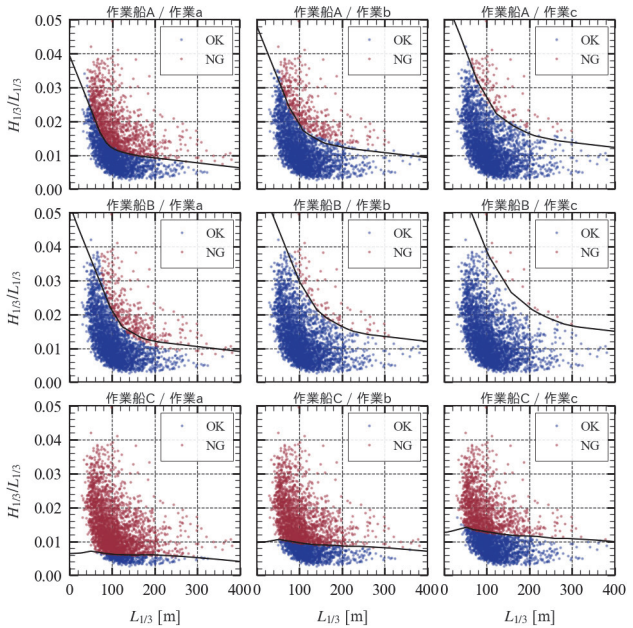


図4 作成したモデルによる決定境界

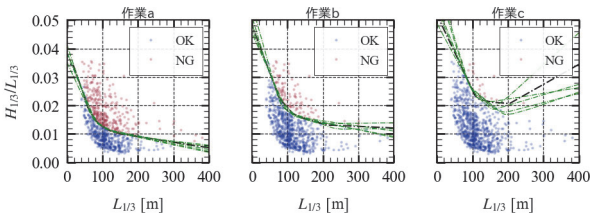
の、ほぼ同等の精度が得られている。また、年による正解率のばらつきは殆ど見られない。

3.3 ノイズの影響

実工事から得られる作業可否データには、海象の時間・空間的なばらつきや作業関係者の判断のばらつきが含まれることが想定される。それらのばらつきの影響を評価するため、数値シミュレーションの結果に人為的なノイズを加えて算出した動揺量に基づく疑似作業可否データを別途作成し、ニューラルネットワークによる分類性能を調べた。ノイズの範囲は±5%と±10%の2パターンとし、計算結果に乱数を乗じることにより付加した。ノイズの不確定性によるばらつきを調べるため、各大きさのノイズに対し、それぞれ5個のデータセットを作成した。ノイズの影響は2015年の作業船Aのデータに対してのみ評価することとし、前節と異なり、作業ごとに個別にモデルを構築している。ニューラルネットワークは中間層1層(ユニット数12)のネットワークを用い、入力には $H_{1/3}/L_{1/3}$ と $L_{1/3}$ の2変数とした。前項と同様に最適化はAdamにより行い、過学習防止のため早期終了を用いた。

図5にノイズを含むデータを学習させたモデルによる決定境界を示す。正例と負例の境界付近にデータが少ない作業cで学習データによるばらつきが見られるが、作業aおよびbではノイズがない場合の決定境界と大きな違いは見られなかった。ノイズを含まないデータを用いて評価した作成したモデル群の正解率を表3に示す。

a) ノイズ 5%



b) ノイズ 10%

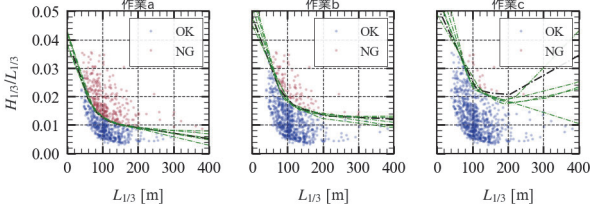


図5 ノイズの影響(黒線:ノイズなしのデータから学習, 緑線:ノイズを含むデータから学習)

表3 ノイズを含まないデータで評価した正解率

	訓練データ		
	ノイズなし	ノイズ5%	ノイズ10%
作業a	0.988	0.983±0.006	0.981±0.003
作業b	0.995	0.989±0.002	0.988±0.005
作業c	0.997	0.993±0.003	0.995±0.002

4. 考察と今後の課題

動揺解析により生成した疑似作業可否データを用い、ニューラルネットワークによる作業可否判別モデルの構築を試みた結果、比較的簡易なネットワークにより問題を表現することができた。本研究では作業可否が作業船のピッチングのみによって決まるとしてデータを作成した。実際には、ローリング(縦軸まわり

の回転)やヒービング(上下の揺れ)などが問題となる場合も多く, そのような場合には船長以外の船舶諸元も説明変数としたモデルが必要となると考えられる. より複雑な条件に基づく作業可否判断への適用性検討は今後の課題である.

学習に用いなかった施工条件のデータに対しても一定の判別性能が確認された. 実際の工事では, 多様な作業を複数の作業船で行うため, 個々に動揺解析を実施することは難しく, ニューラルネットワークのような計算コストの低いモデルで作業可否を判定できることは有用であると考えられる.

訓練データがノイズを含む場合であっても, 安定してモデルを構築できた点も実務上重要である. ただし, 作業可否のデータ数に偏りがある場合は正確性を欠くモデルとなる危険性があるため, 実用の際は訓練データ自体の分布を十分検討する必要がある. また, データにバイアスが含まれる場合の扱いについては今後の検討が必要である.

## 謝辞

疑似作業可否データを作成するための波浪観測データとして, ナウファス(全国港湾海洋波浪情報網: NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS)のデータを使用した. ナウファスは国土交通省港湾局・各地方整備局・北海道開発局・沖縄総合事務局・国土技術政策総合研究所および港湾空港技術研究所の相互協力のもとに構築・運営されている我が国沿岸の波浪情報網である.

## 参考文献

- [高橋 1996] 高橋俊彦, 阪東浩造: 3次元任意形状海洋構造物に作用する地震時動水圧, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.976-980, 1996.
- [福山 2015] 福山貴子, 秋山義信, 高橋俊彦, 飯田和弘, 岩前伸幸: 複数の浮体を対象とした動揺解析の現地施工計画への適用, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 71, No. 2, pp.I\_239-I\_244, 2015.