機械学習による海上作業の可否判定モデルの検討

鹿島建設(株)　正会員　○岩前 伸幸
正会員　鈴木 一輝

１．背景および目的

海洋土木工事の作業可否は，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．与えられた気象・海象条件下での作業船の揺れは数値シミュレーション等により評価することが可能であるが，実際の工事では複数の作業船を用いて多様な作業を行うため，全ての状況に対して個別に作業性を評価することは難しく，より簡易な計算で作業可否判断をできるモデルがあれば実用上有益である．本研究では，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，それを教師データとしてニューラルネットワークによる作業可否判定モデルの構築を試みた．また，実工事から得られるデータに含まれるばらつきを考慮し，教師データに人為的なノイズを与えた際の影響を調べた．

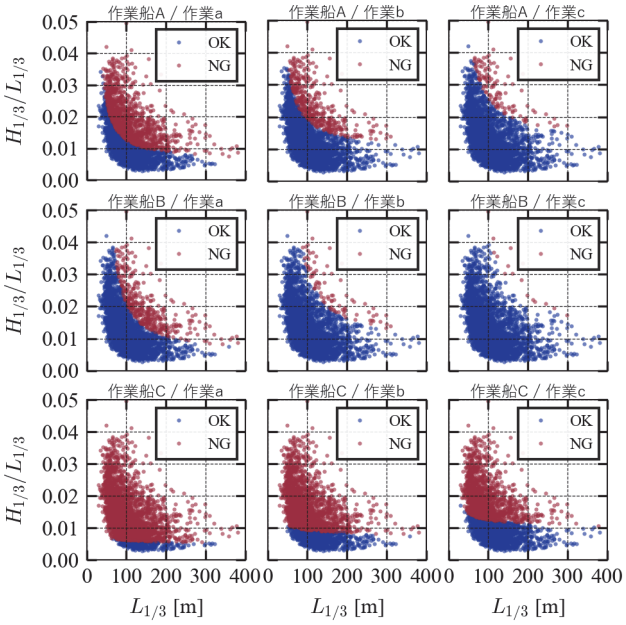
２．実験方法

2.1 数値シミュレーションによるデータの作成

動揺特性の異なる 3 種の作業船（**表－1**）に対して動揺シミュレーション[1)]を行い，様々な周期・波向の波に対し，単位波高の波による作業船の動揺量を評価した（応答関数）．次に，鹿島港における 2011～2015 年の全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS）[2)]による波浪観測データを動揺シミュレーションから得られた応答関数により変換し，作業船の動揺量の時系列データを作成した[3)]．波浪データは，有義波高（$H_{1/3}$）と有義波周期（$T_{1/3}$）のデータを半日ごとに平均したものを用いた．計算された動揺量が閾値以下の場合は作業可，閾値を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－1**，図中の $L_{1/3}$ は $T_{1/3}$ に対応する波長）．作業船の動揺量には 3 軸方向の並進と回転の 6 成分があるが，ここではピッチング（横軸まわりの回転）のみにより作業可否を判定した．作業限界の異なる 3 種の作業を想定し，作業 a で 1.0 度，作業 b で 1.5 度，作業 c で 2.0 度を閾値とした．

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



図－1　疑似作業可否データ

2.2 ニューラルネットワークによる作業可否判定

(1) 作業可否判定モデルの構築

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，作業可否の判定を行うモデルを構築した．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．訓練データには，2015 年の疑似作業可否データを用いた．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た．

キーワード　海上工事，作業可否判定，機械学習，ニューラルネットワーク
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　TEL 080-8820-5923

© Japan Society of Civil Engineers

(2) ノイズの影響の評価

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 種類とし，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，作業種別ごとに個別のモデルを構築している．中間層 1 層（ユニット数 12）のネットワークを用い，入力は $H_{1/3}/L_{1/3}$ と $L_{1/3}$ の 2 変数とした．最適化方法は前項と同様である．

3．結果

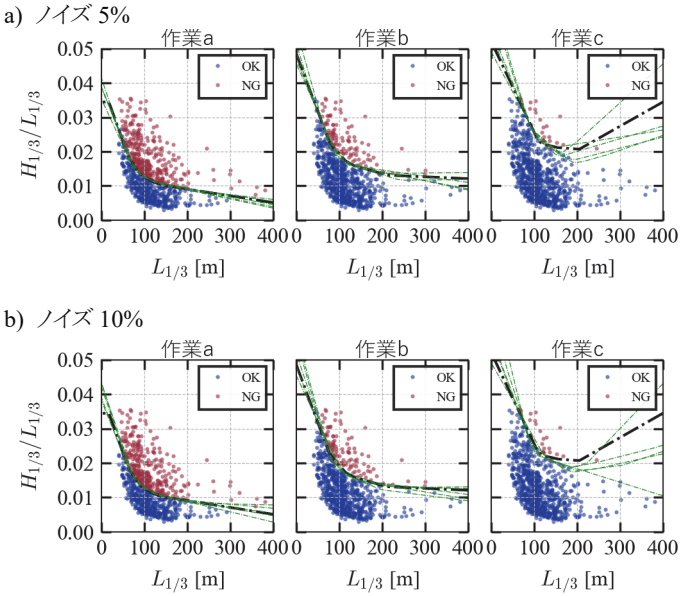
作成したモデルの性能を 2011～2015 年の各年のデータに対し，施工条件（作業船／作業種別）別に評価した結果を**表－2** に示す．訓練データに含まれない未知の施工条件（作業船 A−作業 b と作業船 B−作業 a）に対する正解率はやや低いものの，ほぼ同等の精度が得られている．また，年による正解率のばらつきは殆ど見られない．

図－2 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・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い．

表－2　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

※ハッチは訓練データに含まれない施工条件



図－2　ノイズの影響（黒：ノイズなし，緑：あり）

4．まとめ

動揺シミュレーションに基づき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定モデルの構築を試みた．その結果，簡易なネットワークにより作業可否を判定できること，未知の施工条件のデータに対しても一定の判別性能を有することがわかった．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，計算コストの小さい本手法で作業可否を判定できることは有用と考えられる．さらに，訓練データがノイズを含む場合であっても，安定したモデルを構築できることから，本手法は実務上有効と判断される．なお，本研究では作業可否を作業船のピッチングのみにより判定したが，実作業上は，ローリング（横揺）やヒービング（上下揺）などが問題となる場合も多い．より複雑な条件に基づく作業可否の判断への適用性検討は今後の課題である．

参考文献

1) 高橋・阪東：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.

2) 全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS，国土交通省港湾局）：https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html

3) 福山ら：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.

© Japan Society of Civil Engineers