

護岸天端高を予測する機械学習モデルの改善に関する一検討

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○ 後藤 優奈
岐阜工業高等専門学校 正会員 菊 雅美

1. 研究の背景と目的

日本の沿岸部では、台風などの低気圧の接近・通過時に越波が頻発しており、越波による被害を最小限に抑えるため、護岸が整備されている。護岸設計では、背後地の利用形態によって定められる許容越波流量に基づき、護岸天端高が決定される。そのため、護岸を設計する際には、波浪条件や現地の状況に応じて越波流量を算定する必要がある。

越波流量の算定手法として、合田ら¹⁾の越波流量算定図や水理模型実験、数値計算が挙げられる。越波流量算定図は容易に越波流量を算定でき、実務でも広く使用されているものの、設定条件には制約がある。また、水理模型実験は、労力や費用を要する。近年、数値計算モデルを用いた越波計算も実務で導入されている。ただし、不規則波作用下における越波流量を算定するには、多くの計算時間が必要となる。そこで、従来の各種算定法に加わる新たな手段として、機械学習によって設計基準に応じた護岸天端高を算出できれば、護岸設計に要する時間や労力の削減につながり、有用性は高い。

Joost et al.²⁾は、越波流量の予測に、機械学習モデルのひとつである XGBoost を適用し、その有用性を明らかにしている。しかし、越波流量の予測に留まっており、護岸天端高の算定に対する機械学習の適用性は検討されていない。著者ら³⁾は、ExtraTreesRegressor⁵⁾を用いて、合田ら¹⁾の越波流量算定図を予測する機械学習モデルを構築した。そして、越波流量算定図の範囲内であれば、非常に高い精度で護岸天端高を予測できることを示した。ただし、適用範囲は合田の算定図の設定条件に留まっており、汎用性は低い。そこで、本検討では、構築済みのモデルに新たな実験結果を加え、モデルの汎用性向上を図る。

2. モデルの概要

(1) 構築済みの機械学習モデル

著者ら³⁾は、12枚で構成される合田ら¹⁾の越波流量算定図から無次元越波流量を読み取り、2533個から構成されるデータセットを作成した。読み取った条件の例を図-1中に赤丸で示す。機械学習モデルには、決定木、ランダムフォレスト、勾配ブースティング決定木の3つの木系モデルのうち、高い精度で無次元越波流量を予測可能と確認できた ExtraTreesRegressor⁵⁾を用いた。

(2) データセットの追加とモデルの構築

本検討では、高山ら⁴⁾による実験結果を使用した。表-1に、データの概要を示す。同表から、高山ら⁴⁾の実験結果は、波形勾配 H_o'/L_o 、相対水深 h/H_o' 、無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_o'^3}$ 、相対天端高 h_c/H_o' に対して、越波流量算定図にはない範囲の結果を含んでいる。表-2に示すように、高山ら⁴⁾の245個の実験結果のうち、209個を学習と検証に使用し、残り36個をテスト用とした。

相対天端高 h_c/H_o' を目的変数とし、その他のパラメータを説明変数とした。モデルの評価には、K分割交差検証法を用いた。ExtraTreesRegressorにて設定が必要となるパラメータについては、グリッドサーチにて調整し、調整範囲の中で予測精度が最も高くなる値を用いた。

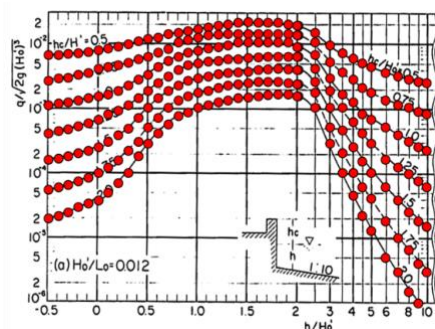


図-1 合田¹⁾の越波流量算定図から読み取った値の例

表-1 データの概要

文献	護岸形状	i	H_o'/L_o	h/H_o'	$q/\sqrt{2gH_o'^3}$	h_c/H_o'
合田ら ¹⁾	直立護岸 消波護岸	1/10, 1/30	0.012, 0.017, 0.036	-0.5 ~ 10	$6.48 \times 10^{-6} \sim$ 1.48×10^{-2}	0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0
高山ら ⁴⁾	直立護岸 消波護岸	1/10, 1/30	0.0095 ~ 0.132	-1.07 ~ 1.62	$4.00 \times 10^{-7} \sim$ 2.05×10^{-2}	0.07 ~ 9.84

表-2 データセットの概要

種類	データ数	
	学習・検証	合田ら ¹⁾
高山ら ⁴⁾		209
テスト	合田ら ¹⁾	0
	高山ら ⁴⁾	36

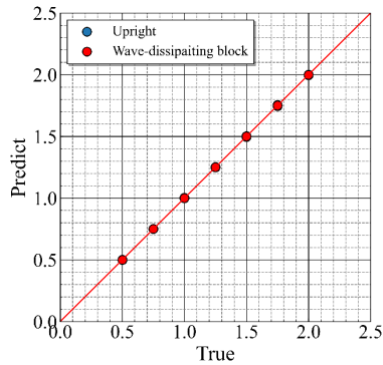
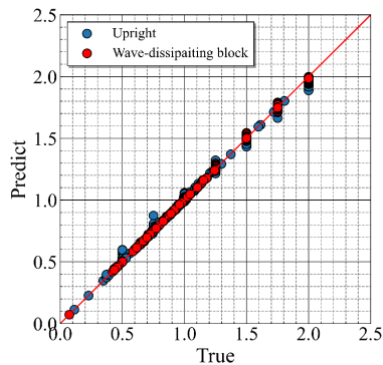
(a) 合田¹⁾のみの場合(b) 高山ら⁴⁾の実験結果を加えた場合

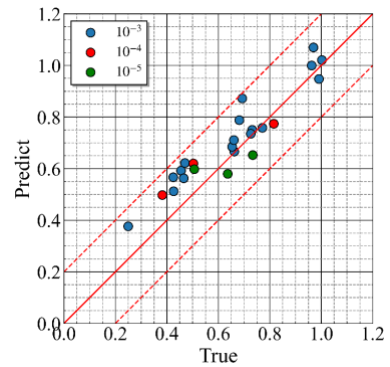
図-2 相対天端高の予測

3. 学習済みモデルによる相対天端高の予測

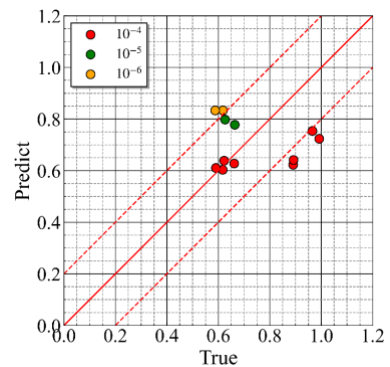
図-2 に、相対天端高 h_c/H_o' の予測を示す。同図(a)の合田ら¹⁾のみに比べ、同図(b)から、高山ら⁴⁾の実験結果を加えたことで、相対天端高 h_c/H_o' の予測範囲が広がるとともに、より詳細な予測が可能となった。同図(b)より、機械は正解値を概ね良好に予測できている。特に、直立護岸に比べて消波護岸の予測精度は高い傾向にある。ExtraTreesRegressorでは、学習の基本的な手法として、決定木を用いている。決定木とは、樹形図を用いて、質問に対するYesかNoかで分岐を行う段階的な木構造であり、それぞれの分岐条件を学習により定義する。消波護岸の方がより分岐条件にあてはまりやすく、予測精度が高くなった可能性がある。

4. 未知のデータに対する相対天端高の予測精度

学習にも検証にも一切用いていないテストデータに対する相対天端高 h_c/H_o' の予測結果を図-3 に示す。同



(a) 直立護岸



(b) 消波護岸

図-3 未知のデータに対する相対天端高の予測

図(a)に示すように、直立護岸に関しては、機械は相対天端高 h_c/H_o' をおおよそ ± 0.2 の範囲内で予測している。一方、同図(b)から、消波護岸については、機械の予測は良好とはいえず、予測精度に課題がみられた。無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_o'^3}$ のオーダーごとに色分けしたところ、 $q/\sqrt{2gH_o'^3}$ の大きさによる予測精度の違いはなかった。

5. おわりに

本検討では、新たな実験結果をデータセットに追加し、モデルの汎用性向上を図った。その結果、直立護岸に関しては、おおよそ ± 0.2 の範囲内で相対天端高を予測できた。今後は、さらなる広範囲の相対天端高のデータを追加し、各種ハイパーパラメータを追加するなど、モデルの改善を図り、直立護岸および消波護岸ともに予測精度を高めていく。

参考文献：1) 合田良実, 岸良安治, 神山 豊: 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第4号, pp. 3-44, 1975. 2) Joost P. den Bieman, Josefin M. Wilms, Henk F.P. van den Boogaard, Marcel R.A. van Gent: Prediction of Mean Wave Overtopping Discharge Using Gradient Boosting Decision Trees, Water, Vol. 12, No. 6, p. 1703, 2020. 3) 後藤優奈, 菊 雅美: 合田の越波流量算定図に基づく護岸天端高を予測する機械学習モデルの構築に関する一検討, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会概要集, II-84, 2022. 4) 高山知司, 永井紀彦, 西田一彦: 各種消波工による越波流量の低減効果, 港湾技術研究所報告, 第21巻, 第2号, pp. 151-205, 1982. 5) scikit-learn: sklearn.ensemble.ExtraTreesRegressor, <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.ExtraTreesRegressor.html>, accessed 2022-12-12.