

風外力が導入された CADMAS-SURF/3D による風作用下の波浪場の再現に関する一検討

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○ 山本 祥太郎
岐阜工業高等専門学校 正会員 菊 雅美

1. 研究の背景および目的

2018 年は例年以上に猛烈な台風が日本に上陸し、沿岸域では高潮や高波などによる多くの被害を受けた。特に、台風 1812 号の接近・通過に伴って発生した高波が護岸道路を乗り越え、救急車を大破させた被害は記憶に新しい。沿岸域は生活や物流の拠点として発達し、人口が集中している。そのため、これまでに沿岸防災施設が整備されてきた。しかし、沿岸防災施設が整備された現在もなお、越波による被害を受けている。越波は、人的・物的被害を与えることから、対策は急務である。

海岸工学において、越波に対する関心は高く、これまでに数多くの研究がなされてきた。現在の実務における護岸天端高の設計に広く用いられているのは、合田ら¹⁾の越波流量算定図である。越波流量算定図は、直立護岸前面に消波ブロックを有する護岸に対し、数多くの不規則波による水理模型実験を行い、海底勾配および波形勾配ごとの越波流量算定図を 12 枚にまとめたものである。しかし、この越波流量算定図は、無風下で行われた水理模型実験結果に基づくため、風の影響は考慮されていない。一方、越波が生じる際には護岸周辺に強風が作用するため、越波に及ぼす風の影響を考慮することは重要である。しかし、粘性が卓越する風速はフルードの相似則に従わないため、越波に及ぼす風の影響を水理模型実験によって定量化することは難しい。

数値計算モデルにおいて、現地スケールでの検討を行えば、越波に及ぼす風の影響の定量化を図れると考えられる。岩川²⁾は、風洞装置付き断面 2 次元造波水路を用いた水理模型実験を実施し、その再現計算を風外力が導入された 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D (以下、CS/3D) で行った。その結果、数値計算は実験と同様の傾向を得ることができたものの、越波量の再現には至らなかった。東³⁾は、一樣勾配斜面を有する直立護岸を対象とした水理模型実験を数多く行い、再現計算を CS/3D によって試みたものの、再現性が高いとはいえなかった。これらの検討結果から、越波現象のみならず、護岸前面の波浪場の再現性を高める必要性が示唆された。

上述の背景から、本研究では、CS/3D によって有

風時における波浪場の再現性を高めるための風外力のパラメータについて検討を行う。そして、得られたパラメータを用いて、越波量に及ぼす風の影響について検討する。

2. Feddersen の再現計算

本研究では、Feddersen⁴⁾の再現計算を行った。図-1 に、計算領域の概略を示す。造波板の位置を $x = 0$ m とし、 $x = 29$ m の地点に 1/8 勾配(長さ 8 m, 高さ 1 m)の不透過斜面を設置した。 $x = 31.16$ m の地点に波高計 W1、 $x = 32.28$ m の地点に波高計 W2 を設置した。

造波条件として、水深を $h = 0.64$ m とし、周期 $T = 1.25$ s の規則波を入射させた。なお、本計算では奥行き方向の変化は一定と考え、断面計算とした。Feddersen の実験結果を図-2 に示す。本検討では、各風速作用下において W1 および W2 で得られた波高の再現を目的とした。

3. CS/3D による波浪場の再現

3.1 入射波高の検討

有風時の波浪場を再現するパラメータを検討する前段階として、無風時の波浪場を計算にて再現する必要がある。Feddersen⁴⁾では、実験条件として入射波高が明記されていない。そこで、図-2 の風速 $U = 0$ m/s において、W1 と W2 で計測された波高を再現するた

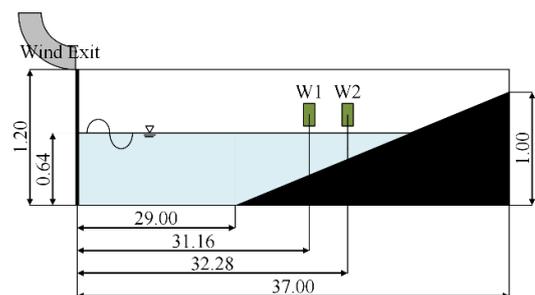


図-1 Feddersen の再現計算の概要

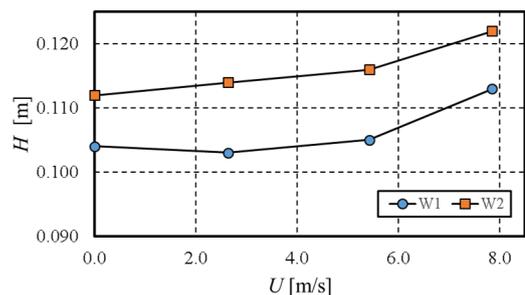


図-2 Feddersen の実験結果

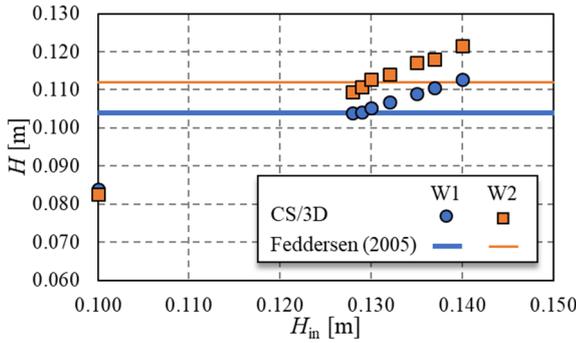


図-3 風速 $U = 0\text{m/s}$ における再現計算の結果

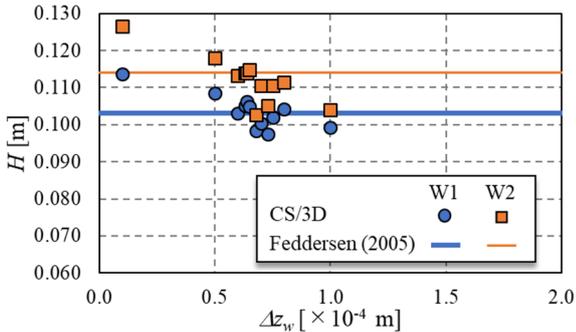


図-4 風外力を作用させる海面深さの結果

め、入射波の検定を行った。風速 $U = 0\text{m/s}$ において、入力波高を様々に変化させた計算結果を図-3に示す。同図より、入力波高を $H = 0.129\text{ m}$ と設定することで、無風時の W1 および W2 の波高を再現できることがわかった。

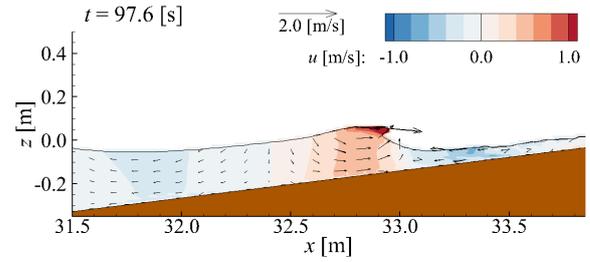
3.2 風外力のパラメータの検討

有風時の波浪場を再現するためのパラメータを検討するため、風速 $U = 2.64\text{ m/s}$ を対象とした再現計算を行った。CS/3D に導入されている風外力は、気相と液相の境界である自由表面セルに、風によって生じる流速 u を応力として付加することで表現されている。そこで、本検討では、海面に作用する風応力が流体に及ぼす鉛直方向範囲 Δz_w に着目し、入射波高 $H = 0.129\text{ m}$ の下、 Δz_w を変化させて検討した。

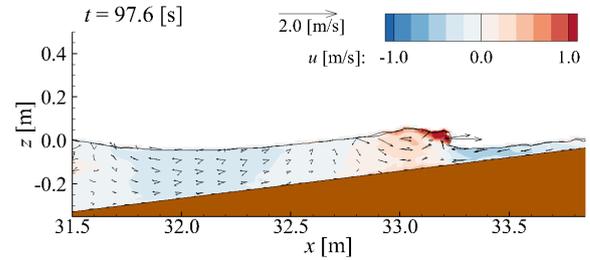
鉛直方向範囲 Δz_w を変化させた場合の W1 と W2 における波高を図-4に示す。同図より、 $\Delta z_w = 0.5 \times 10^{-4}\text{ m} \sim 1.0 \times 10^{-4}\text{ m}$ の範囲では、波高の変化は一定ではないものの、風外力を作用させる海面深さを $\Delta z_w = 0.6 \times 10^{-4}\text{ m}$ と設定することで、風速 $U = 2.64\text{ m/s}$ のときの W1 と W2 の波高を再現できることがわかった。

4. 無風時と有風時の波浪場の違い

CS/3D で再現した同時刻における無風時と有風時の波浪場の比較を図-5に示す。同図において、赤色は正方向の水平方向流速 u が大きいことを意味する。



(a) 無風時



(b) 有風時

図-5 $t = 97.6\text{ s}$ での波浪場の様子

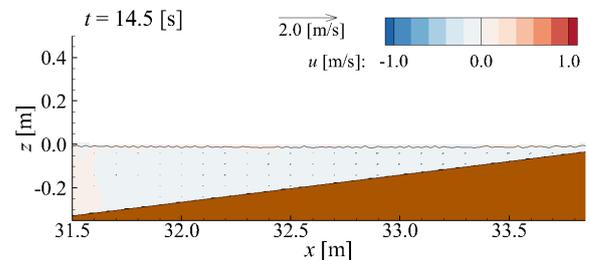


図-6 短周期波が発生した波浪場の様子

また、図中には、流速ベクトルも併記している。図-5から、無風時に比べて有風時のほうが、早く砕波が生じていることが確認できる。これは、自由表面に風外力が加わることで、砕波が促進されたためだと考えられる。さらに、図-6から、有風時の場合、入射波の到達前に水面に短周期波の発生が確認できた。これは、導入されている風外力により生じたものである。

以上より、CS/3D によって、 $U = 2.64\text{ m/s}$ までの Feddersen⁴⁾の実験結果を再現できることを確認した。一方で、昨年度、東³⁾が行った越波流量に関する実験については数値計算の再現性に課題を残している。今後は、有風時の波浪場を再現するとともに、東の越波流量についても再現性を高めていく。

参考文献：1) 合田ら：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4巻，14，pp.3-44，1975. 2) 岩川：越波量に及ぼす風の影響評価に関する研究，岐阜工業高等学校平成28年度卒業論文，22p.，2017. 3) 東：一様勾配斜面を有する直立護岸周辺の風が越波流量に及ぼす影響に関する研究，岐阜工業高等学校平成29年度卒業論文，36p.，2018. 4) Falk Feddersen: Wind Effects on Shoaling Wave Shape, Journal of Physical Oceanography, Vol. 35, pp. 1223-1228, 2005.