

津波の遡上から戻り流れ作用時におけるビル構造物への津波波力の検討

鹿児島大学 学生会員 ○興梶絵人  
 鹿児島大学 非会員 井崎丈  
 鹿児島大学 正会員 長山昭夫

1. 背景・目的

平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波により、多くの沿岸構造物が津波により被災した。この背景から、陸上構造物に作用する津波波力の推算については数多くの知見が得られている。しかしながら、実験機器の制約により遡上津波のみを対象としているものが大半で、遡上から戻り流れまでの一連の全過程に関する津波波力に関する検討が少ない。また本研究室では大型水槽を用いることで津波の遡上から戻り流れまでの津波波力についての検討を実施している。本報では、従来の津波波力の推算式を戻り流れ時の波力推算に適用できるかについて検討することと、数値実験において、構造物形状が構造物周辺の渦粘性係数に与える影響について乱流エネルギー $k$ と乱流消失率 $\epsilon$ を算出し検討を行った。

2. 実験方法

図-1 に実験に使用した平面波動水槽を示す。水槽は岸沖方向に 27m、沿岸方向に 14m の大型水槽を用いた。図中の位置に模型を設置し、模型壁面から 10cm の位置に測点を設け、それぞれ A・B・C とした。使用した模型を写真-1 に示す。模型は全辺 10cm の直方体であり、開口部を有していない直方体 (Cube と称す)、開口部が岸沖方向の 1 方向のみの直方体 (Wind1 と称す)、開口部の位置を岸沖方向と沿岸方向の 2 方向とした直方体 (Wind2 と称す) の 3 種類の模型で実験を行った。実験で取得したデータを用いて津波波力を算定し、実験値との比較を行った。算定に用いたのは池谷ら (2014) によって提案された算定式である。評価式は以下の式 (1) である。

$$F_x = \frac{1-\lambda}{2} \rho g B [h_3^2 - h_0^2] + F_D \quad (1)$$

ここで、 $\rho$  : 水の密度、 $g$  : 重力加速度、 $\lambda$  : 面積開口率、 $h_3$  : 地表から計った淀み点における圧力水頭、 $B$  : 構造物幅、 $F_D$  : 構造内部抵抗力である。今回、側面位置での物理量を考慮し、従来の推算式に動圧を示す以下の式 (2) で示す項を追加した。

$$F'_D = \frac{1}{2} \rho K_D v_4^2 B_w \quad (2)$$

$h_5$  : 構造物側面における圧力水頭、 $v_4$  : 構造物側面流速、 $B_w$  : 流水断面積 (側面)、 $K_D$  : 抵抗係数である。次に数値流体解析ライブラリの OpenFOAM (Open source Field Operation And Manipulation) を用いて数値実験を行った。本報では模型実験を再現し、多層流ソルバ interFoam に造波境界を追記したソルバ olaFlow を使用した。造波の再現性については検証済である。乱流モデルは標準  $k - \epsilon$  モデルを使用した。

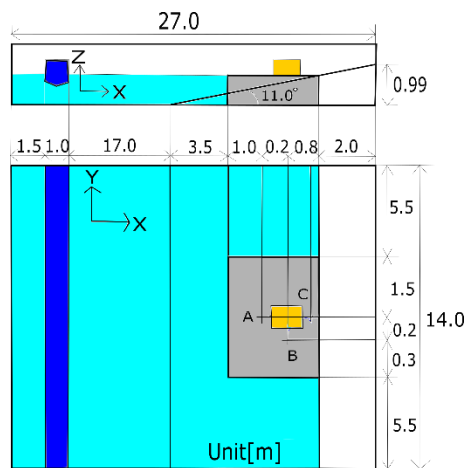


図-1 平面波動水槽



写真-1 作成模型

3. 実験結果

水位、流速と波力を整理した結果より、5sec から 7.9sec を遡上波、7.95sec から 15sec までを戻り流れと定義した。Cube での RMSE は遡上波時で 0.807、戻り流れ時で 1.361 となり戻り流れ時の再現性が低いことを確認した。Wind1 と Wind2 の場合も同様の結果を得た。図-2 に戻り流れ時における Wind2 での水表面における  $k$  を示す。構造物側面において  $k$  の数値が高くなっていることが分かる。同時刻での Cube、Wind1 と Wind2 と比較した結果、Cube は Wind2 の 1.4 倍高かった。図-3 に同時刻の水表面における  $\epsilon$  を示す。 $\epsilon$  についてはどの構造物形状でも違いは見られなかった。乱流消失率  $\epsilon$  は乱れの消失速度であり、乱流エネルギー  $k$  は流れの乱れの強さである。今回の検討において  $k$  の値が大きくなると渦粘性係数が大きくなることとなり、開口部が最も多い Wind2 が乱れが小さいことがわかり、開口部の有無により構造物周辺では乱れの強さが変動することがわかった。

次に、修正項を追加した Cube の岸沖方向の波力の時間変動を図-4 に示す。図-4 より、従来の推算値に新たな項として式(2)  $F'_D$  を追加すると戻り流れ時の各時刻の実験値と推算値の差が少なくなっていることが分かる。Wind2 の修正後の推算値と実験値の比較を図-5 に示す。図-5 より、遡上波時は精度が下がったが、戻り流れ時において RMSE 値は 1.058 と従来の推算式より再現精度が向上した。これらは Cube と Wind1 でも同様の結果となった。理由として、遡上波時と比較すると、戻り流れ時の推算式第 1、2 項が過小評価されており、そこに構造物側面の数値を追加することにより、精度が向上したと考えられる。

4. まとめ

- (1) 戻り流れ時において、実験値と推算値は一致せず、相関関係は見られなかった。
- (2) 構造物側面において、流れの乱れの強さ  $k$  は構造物ごとに変化がある。
- (3) 構造物側面の数値を用いた項を追加することで、推算式の精度を高めることが出来る。

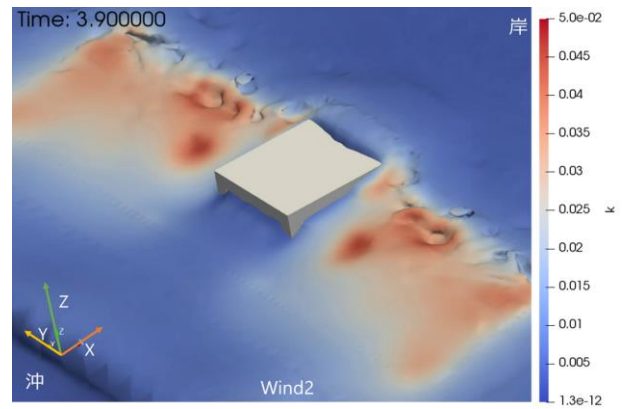


図-2 戻り流れ作用時の水表面における  $k$

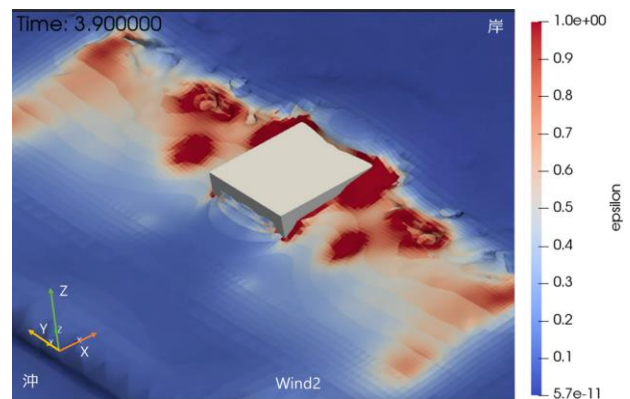


図-3 戻り流れ作用時の水表面における  $\epsilon$

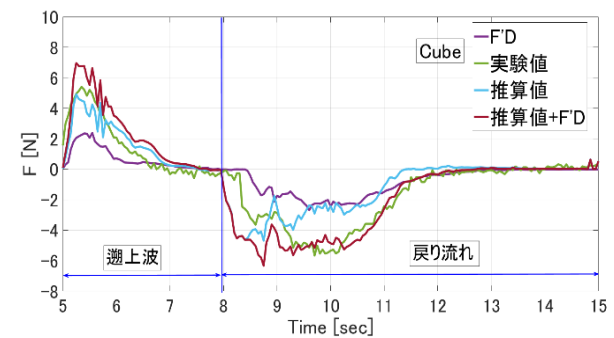


図-4 Cube の岸沖方向の波力の時間変動

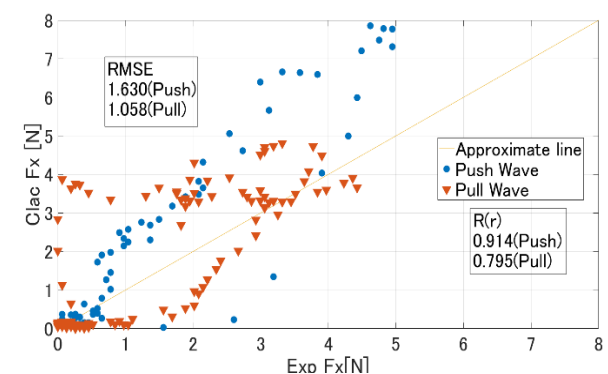


図-5 Wind2 の推算値と実験値の比較