

遡上津波と胸壁からの反射波によるエプロン上のコンテナの漂流挙動に関する数値解析

名古屋大学工学部 学生会員 ○ 青山 功治
 名古屋大学高等研究院 正 会 員 中村 友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 水谷 法美

1. はじめに：船舶輸送の90%以上はコンテナが担っており、津波が襲来した際には大量のコンテナを蔵置しているコンテナターミナルからコンテナが流出し、市街地等の構造物を破壊する二次災害が問題となっている。2011年の東北地方太平洋沖地震では仙台港にあった約4400個のコンテナのうち約2000個が海域に流出し、災害復興の大きな妨げとなった。そこで、中村ら[1]はコンテナや胸壁の設置状況を変化させることによって、遡上波と胸壁からの反射波がコンテナの漂流挙動に与える影響を水理模型実験と数値実験により考究した。しかし、コンテナの漂流形態を数多く確認することができたが、そのメカニズムは明らかにされていない。本研究では、中村・水谷[2]が開発した3次元連成数値計算モデルを中村ら[1]の水理模型実験に適用し、まず実験結果と比較することによりモデルの妥当性を検証するとともに、漂流形態を様々な観点から考察することでコンテナの漂流メカニズムを考究する。

2. 3次元連成数値計算モデルの概要：本研究で用いた3次元連成数値計算モデルは、透過性材料の間隙内部を含む全気液相の非圧縮性粘性流体に適用できるように一般化し、可動構造物と地形変化を取り扱うように拡張した連続式とNavier-Stokes方程式に基づくLESをメインソルバーとし、気液界面を追跡するMARSに基づくモジュール、可動構造物を取り扱う体積力型埋め込み境界法に基づくモジュール、地形変化を解析するモジュールが組み込まれている。モデルの詳細は中村・水谷[2]を参照されたい。

3. 計算条件：中村ら[1]が用いた実験装置をモデル化した図-1に示す計算領域を用いて解析を行った。同図に示すように、エプロン上の護岸から $x_W = 80, 150$ cmの位置に、護岸と平行に胸壁を設置した。また、コンテナの大きさは40 ftコンテナをモデル化した $32 \times 163 \times 35$ mmとし、重さは半載時の37.8 gとした。そのコンテナを、図-1に示すように、護岸から $x_C = 50$ cmの位置に護岸と平行に設置した。入射波は津波をモデル化した沖波波高 H_0 の押し波のみの長周期波1波(静水深 $h = 0.48$ m, 継続時間 $T = 10.0$ s)とした。また、計算格子は計算時間を短縮するために、コンテナ初期設置位置付近の等間隔格子の大きさ(6.4×8.15×5 mm)を基準とし、そこから離れるにつれて格子幅を徐々に広げた不等間隔格子を用いた。また、コンテナの最大静止摩擦係数と動摩擦係数は、試行計算の結果に基づき0.8とした。さらに、中村ら[1]は津波作用時にコンテナに上向きの力が作用するように米山・永島[3]を参考にコンテナをエプロンから半格子(2.5 mm)浮いた状態で設定していたが、コンテナの浮き上がりが遅れる現象が認められたことから、ここでは再現性の向上のために3/4格子(3.75 mm)浮いた状態で設定した。

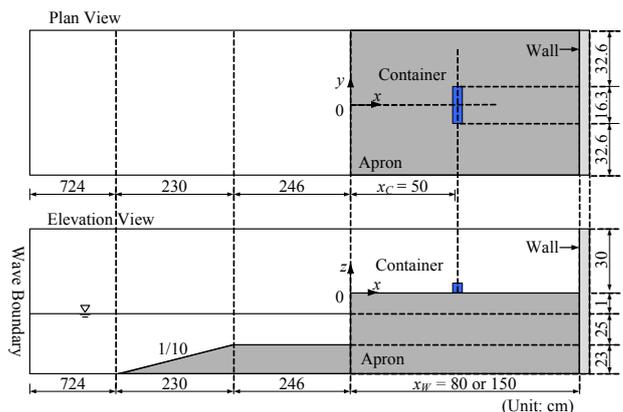


図-1 計算領域の概略図

を短縮するために、コンテナ初期設置位置付近の等間隔格子の大きさ(6.4×8.15×5 mm)を基準とし、そこから離れるにつれて格子幅を徐々に広げた不等間隔格子を用いた。また、コンテナの最大静止摩擦係数と動摩擦係数は、試行計算の結果に基づき0.8とした。さらに、中村ら[1]は津波作用時にコンテナに上向きの力が作用するように米山・永島[3]を参考にコンテナをエプロンから半格子(2.5 mm)浮いた状態で設定していたが、コンテナの浮き上がりが遅れる現象が認められたことから、ここでは再現性の向上のために3/4格子(3.75 mm)浮いた状態で設定した。

4. 計算結果及び考察：コンテナを漂流させる駆動力である入射波の再現性をまず検証するために、コンテナを設置しなかった場合における沖側の水位とエプロン上の浸水深に関する計算結果と実験結果の比較を図-2に示す。同図より、2波目は数値計算と水理実験で造波方法が異なることから誤差はあるものの、1波目に関しては実験結果との一致が確認できる。また、エプロン上の浸水深に関しても、胸壁に近づくにつれて位相のずれが若干認められるものの、水理実験結果と一致していることが確認できる。次に、コンテナの漂流挙動の再現性を確認するために、コンテナの x 軸方向の重心位置 x と速度 v_{Cx} 、コンテナの z 軸方向の重心位置 z と速度 v_{Cz} 、 y 軸周りの角速度 ω_y を図-3に示す。ここで、図-3(a)はコンテナが沖へ流出したケース、(b)はコンテナの動きが胸壁近傍で止まったケースを示している。同図の x と v_{Cx} より、両ケースともに水理実験結果と比較的良く一致していることが確認できる。

これは、コンテナを若干浮かせた状態で設置することによって漂流に伴うコンテナの浮き上がりを適切に再現できたためと考えられる。また、図-3 より、両ケースともにコンテナが胸壁方向へ漂流する際の挙動は、 v_{Cx} が図-3(a)の方が少し大きい程度で、ほとんど差がみられないことが分かる。さらに、 v_{Cx} が減少し始めるとともにコンテナが浮き上がり始めるものの、浮き始めてしばらくするまでの挙動はほとんど差がみられないことも確認できる。しかし、その後、コンテナの漂流速度が冲向きに反転する $v_{Cx}=0$ となる時刻（図-3(a) : 8.5 s ; 図-3(b) : 9.15 s）に着目すると、図-3(a)では v_{Cz} は依然として増加しており、さらに上昇速度が増しているのに加えて、 ω_y が負となっていることから、コンテナが浮き上がりながら水面上を冲向きに回転し始め、最終的に沖へ流出したことが分かる。一方、図-3(b)では、遡上津波の水量が少ないことから、 $v_{Cx}=0$ の時刻において v_{Cz} は減少に転じており、上昇速度が落ち始めている。また、 ω_y に変化が見られないことから、コンテナが回転しないまま浮き上がり、最終的に沖への流出が生じなかったことが確認できる。以上より、胸壁近傍に形成される水塊の量の差異とそれに伴うコンテナの挙動の差異により、図-3(a)と(b)でコンテナの漂流形態に差が生じたと考えられる。

5. おわりに : 本研究では、遡上津波と胸壁からの反射波によるコンテナの漂流挙動を数値計算より再現できることを示すとともに、コンテナの胸壁方向への漂流速度が減少に転じた後も上昇速度が増加し続け、さらに冲向きの回転が生じた場合に、コンテナが沖へ流出することが分かった。この詳細は講演時に発表する。

参考文献 : [1] 中村ら (2011), 土論 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_276-I_280. [2] 中村友昭・水谷法美 (2011), 第 25 回数値流体力学シンポジウム, E11-5. [3] 米山・永島 (2009), 土論 B2 (海岸工学), Vol. 65, No. 1, pp. 266-270.

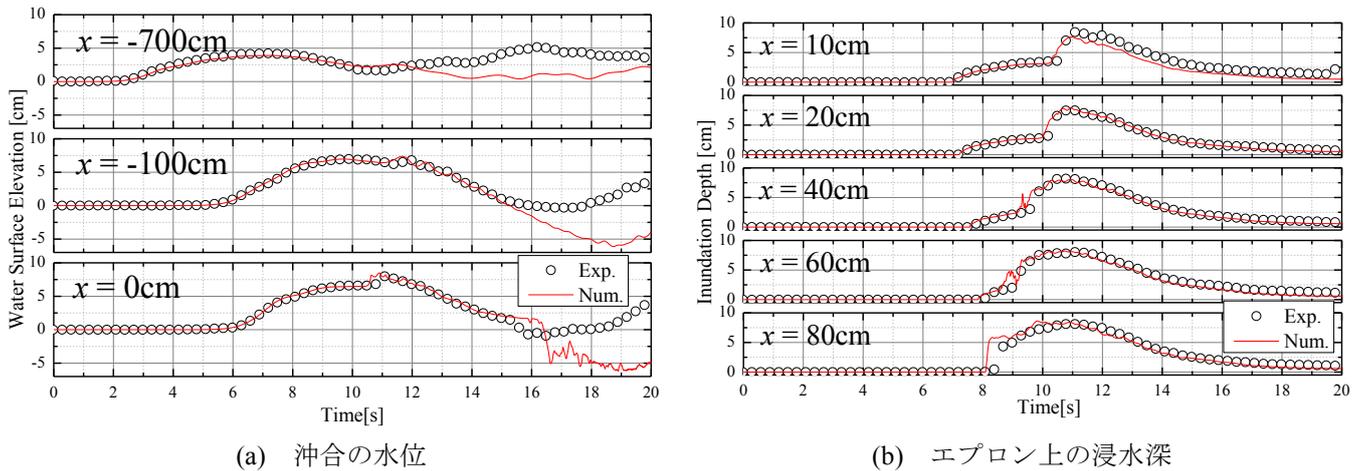


図-2 水位と浸水深に関する比較 ($H_o = 4.26$ cm)

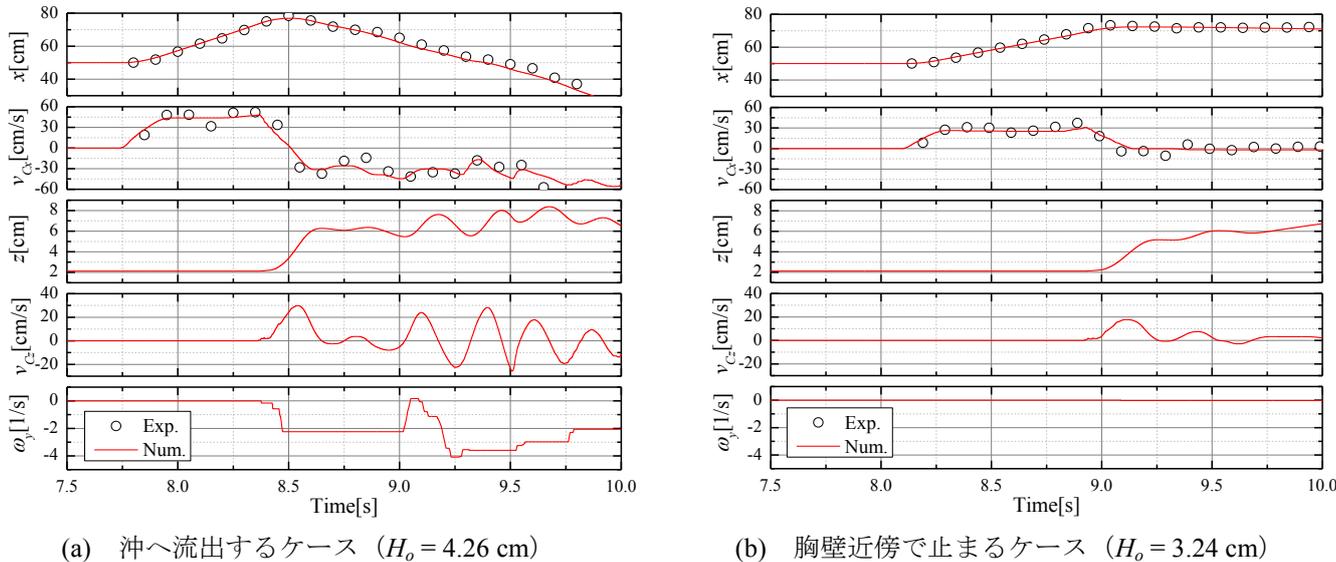


図-3 コンテナの x 方向の重心位置 x と速度 v_{Cx} ,

コンテナの z 方向の重心位置 z と速度 v_{Cz} , y 軸周りの角速度 ω_y の時系列変化