

エプロン上に遡上した孤立波のコンテナによる変形挙動の3次元数値解析について

名古屋大学大学院 学生会員 中村 友昭
 名古屋大学大学院 学生会員 ○ 白石 和睦
 名古屋大学工学部 学生会員 宇佐美 淳浩
 名古屋大学大学院 正 会 員 水谷 法美

1. 結言：津波来襲時の漂流物は津波の破壊力の増加とそれに伴う沿岸域の被害の拡大を招くことから、被害軽減のためにもその挙動の把握が急務である。そこで、水谷ら（2005）は津波によるコンテナの漂流特性を水理実験により検討し、コンテナへの津波力はモリソン式で算定可能なことなどを明らかにした。一方、漂流特性の解明に不可欠な遡上波のコンテナなどによる変形挙動解析には3次元数値波動水路の使用が有用であるが、エプロンへの遡上波を解析した事例は極めて少ない。そこで本研究では、3次元数値波動水路（中村ら、2005）の妥当性を水理実験（宇佐美ら、2006）との比較により検証するとともに、エプロン上に遡上した孤立波のコンテナによる変形特性について検討する。

2. 数値計算手法：本論では、中村ら（2005）の手法に若干改良を加えた3次元数値波動水路を適用した。すなわち、透過性構造物による慣性力と抗力の効果を考慮した Golshani（2002）の支配方程式に分子粘性による拡散項、CSF モデルに基づく表面張力の効果、Smagorinsky モデルによる LES を導入した次に示す VOF 関数 F の移流方程式、連続式、運動方程式を用いた。

$$\frac{\partial(mF)}{\partial t} + \frac{\partial(mv_j F)}{\partial x_j} = Fq^*, \quad \frac{\partial(mv_j)}{\partial x_j} = q^*,$$

$$\left(1 + C_A \frac{1-m}{m}\right) \frac{\partial v_i}{\partial t} + \frac{\partial(v_i v_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\hat{\rho}} \frac{\partial p}{\partial x_i} - g_i + \frac{f_i^s}{\hat{\rho}} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\nu_i D_{ij}) - R_i + Q_i - \beta_{ij} v_i.$$

ここで、 v_i は実流速ベクトル、 p は圧力、 t は時間、 m は空隙率、 C_A は付加質量係数、 $\hat{\rho} = F\rho_w + (1-F)\rho_a$ 、 ρ_w は水の密度、 ρ_a は空気密度、 $v_i = \hat{v} + v_e$ 、 $\hat{v} = Fv_w + (1-F)v_a$ 、 v_w は水の動粘性係数、 v_a は空気の動粘性係数、 v_e は渦動粘性係数、 g_i は重力加速度ベクトル、 f_i^s は表面張力ベクトル、 $D_{ij} = (\partial v_i / \partial x_j + \partial v_j / \partial x_i) / 2$ はひずみ速度テンソル、 R_i は抵抗力ベクトル、 Q_i は造波ソースベクトル、 β_{ij} は減衰係数行列であり、 C_s を Smagorinsky 定数、 Δ をフィルター幅、 $|D|$ をひずみ速度テンソルの大きさ、 g を重力加速度、 σ を表面張力係数、 κ を曲率、 $\bar{\rho} = (\rho_w + \rho_a) / 2$ 、 C_{D1} と C_{D2} をそれぞれ非線形、線形抵抗力係数、 d_m を中央粒径、 $q^* = q(y, z; t) / \Delta x_s$ 、 $q(y, z; t)$ を3次精度孤立波に基づく造波位置 ($x = x_s$) でのわき出し強さ、 Δx_s を造波位置の x 軸方向の格子幅、 β を付加減衰領域でのみ正の値を持つ減衰係数とすると、 v_e 、 g_i 、 f_i^s 、 Q_i 、 R_i 、 β_{ij} は次式で与えられる。

$$v_e = (C_s \Delta)^2 |D|, \quad g_i = [0 \quad 0 \quad g]^T, \quad f_i^s = \sigma \kappa \frac{\partial F}{\partial x_i} \frac{\hat{\rho}}{\bar{\rho}}, \quad Q_i = v_i \frac{q^*}{m} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\hat{v} \frac{q^*}{m} \right),$$

$$R_i = \frac{C_{D1}(1-m)}{2md_m} v_i \sqrt{v_j v_j} + \frac{12C_{D2}\hat{v}(1-m)}{md_m^2} v_i, \quad \beta_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta \end{bmatrix}.$$

上述の支配方程式の解法に関して、連続式と運動方程式には SMAC 法を、移流方程式には功刀（1997）の MARS を適用した。具体的には、運動方程式の離散化手法として、時間発展項には3次精度 Adams-Bashforth 法を、対流項には3次精度の TVD スキームを、その他の項には2次精度中央差分法を用い、圧力方程式の解法には MICCG 法を採用した。

3. 計算結果及び考察：宇佐美ら（2006）の実験装置を基にした図-1 に示す3次元数値波動水路を用い

た. エプロンの長さは水理実験と同様に 1000mm とした. 計算格子の幅はコンテナ内部で $6.4 \times 8.0 \times 5.0 \text{ mm}$ (20ft コンテナのとき) とし, 格子数削減のためにコンテナから遠ざかるに従い格子幅を約 5% ずつ広げた不等間隔格子を採用した. なお, 本稿ではエプロン前面から 115mm 岸側に 20ft コンテナを設置したケースを取り扱う.

図-2 に水位変動の比較を示す. 同図の実線は実験値 (宇佐美ら, 2006), 破線は計算値であり, 上の図はエプロンから 100mm 沖側の水位 η , 下の図はコンテナから 15mm 沖側の遡上水位 η を表す. 同図より, コンテナ前面の遡上水位に関しては実験値を若干過小評価しているが, エプロン前面の水位は実験値と極めて良く一致していることが分かる. 他のケースも同様であった.

図-3 にエプロンへの孤立波の遡上を例示する. 同図より, コンテナ前面の遡上波の打ち上げ (図-3(b)) やコンテナ上の越波 (図-3(c)), さらにその後の遡上や流下 (図-3(d)) を再現できていることが確認できる.

4. 結論: 本論では, 3 次元数値波動水路によりエプロン上に遡上した孤立波のコンテナによる変形現象に考察を加えた. 今後, 同水路によりコンテナ前面の打ち上げ

現象などに対する詳細な検討を行う所存である. なお, 計算結果及び考察の詳細は講演時に発表する.

参考文献: [1] 宇佐美ら (2006), 平成 17 年度講演概要集, 土木学会中部支部, 印刷中. [2] 功刀 (1997), 機論 B, 第 63 巻, 第 609 号, pp. 1576-1584. [3] 中村ら (2005), 海工論文集, 第 52 巻, pp. 836-840. [4] 水谷ら (2005), 海工論文集, 第 52 巻, pp. 741-745.

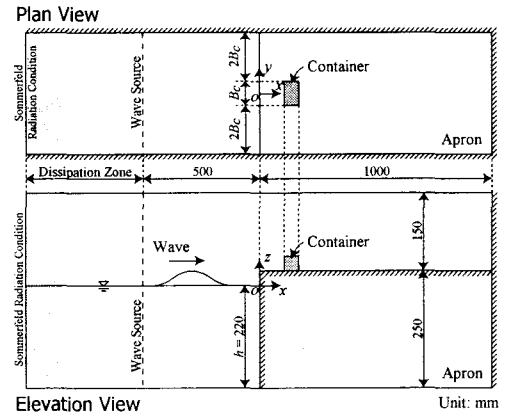


図-1 数値波動水路の概略図

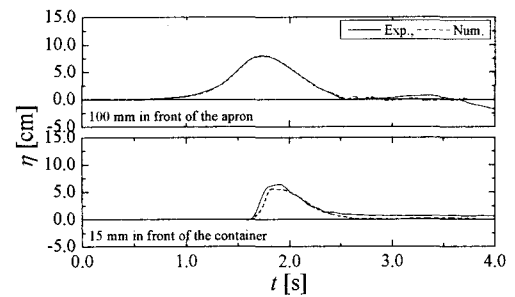


図-2 実験値と計算値の比較
(波高水深比 0.227)

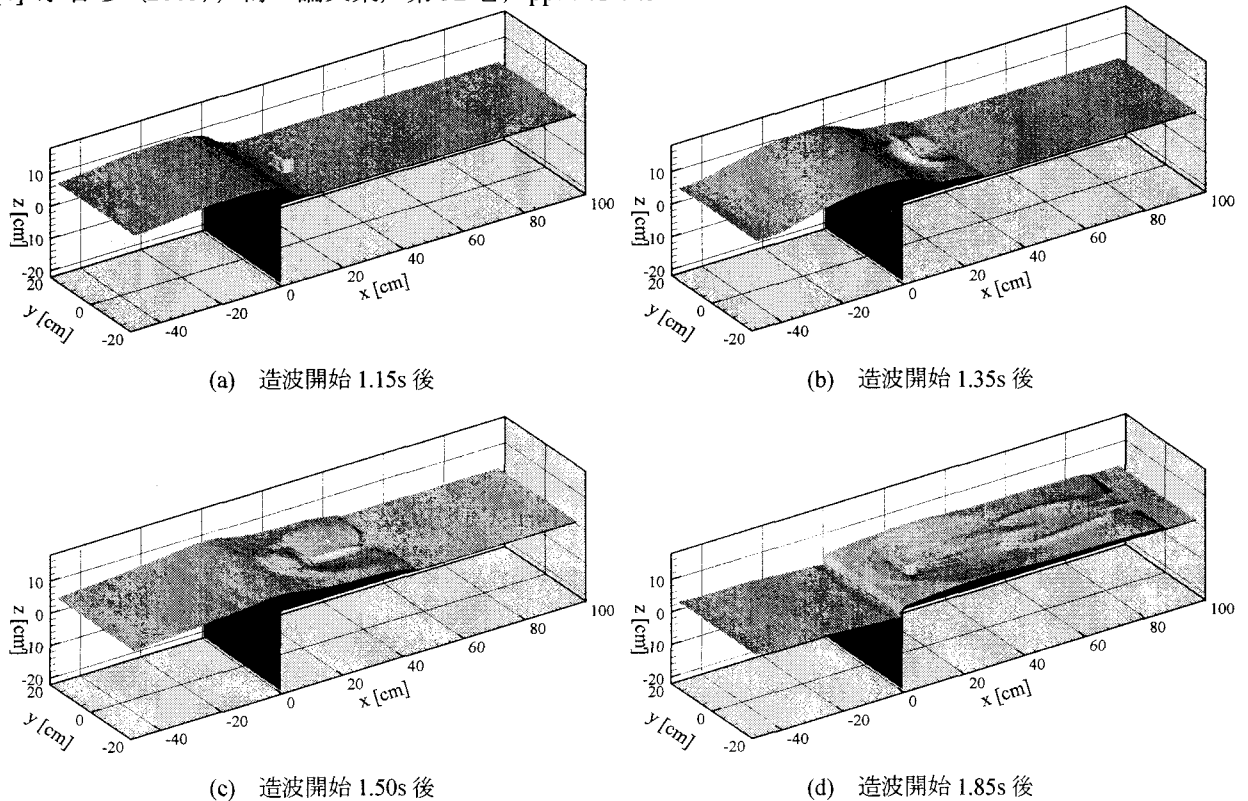


図-3 エプロンへの孤立波の遡上状況 (波高水深比 0.309)