

多方向不規則波による港内副振動の予測モデルとその適用性

名古屋工業大学 学生員 相川久紀

名古屋工業大学 正会員 柏原謙爾

名古屋工業大学 正会員 喜岡 渉

1. はじめに 港内の長周期水面変動については、来襲波群に拘束されて伝播してくる2次長周期波を外力としたいいくつかの予測モデルが提案されている。しかし、一般には港外での伝播変形過程において屈折・回折・砕波によって波群から拘束を解かれた位相速度の異なる自由長波が混在するため長周期波の形態は港によって大きく異なる可能性がある。著者ら(1995)はすでに分散性について従来のBoussinesq方程式より精度の高いNwogu(1993)の方程式を用いた予測モデルの開発を行っており、本研究では、そのモデルを用いて湾水振動に及ぼす屈折の影響を調べるとともに、現地の湾水振動に対する適用性を検討するものである。湾水振動には風など他の外力も影響を与えられと考えるので、湾水振動を励起する外力を特定する上でも現地観測データを用いた検証は不可欠である。検討対象としたのは遠州灘に面した渥美半島の赤羽根漁港と駿河湾に面した由比漁港の2港であるが、本研究では台風接近時のデータが取得された由比漁港(田中ら, 1995)のケースについて検討を加えた。

2. 予測モデル 波動方程式はNwogu(1993)による任意水深の流速で表記されたBoussinesq方程式(1)、(2)を用いる。

$$\zeta_t + \nabla[(h + \zeta)\mathbf{u}_\alpha] + \nabla\left[\left(\frac{1}{2}z_\alpha^2 - \frac{1}{6}h^2\right)h\nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha) + \left(z_\alpha + \frac{1}{2}h\right)h\nabla(\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha))\right] = 0 \quad (1)$$

$$\mathbf{u}_t + \mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla \mathbf{u}_\alpha + g\nabla\zeta + \left[\frac{1}{2}z_\alpha^2 h\nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}_{\alpha t}) + z_\alpha \nabla(\nabla \cdot (h\mathbf{u}_{\alpha t}))\right] = 0 \quad (2)$$

ここに、 ζ は水面変動、 h は静水深、 z_α は任意水深(静水面基準、上向きに正)、 $\mathbf{u}_\alpha$ は任意水深 z_α における水平方向流速ベクトル、 g は重力加速度である。また、 ∇ は水平方向微分演算子ベクトル、添字 t は時間による微分を表している。 z_α はNwogu(1993)を参考に分散性の向上が図れる $z_\alpha = -0.53h$ とした。

数値計算にあたっては、水面変動、水平方向流速等の変量は全て同一格子点上で評価することとし、差分法を用いて空間方向の離散化を行った。時間積分には3次のAdams-Bashforth-Moulton法を用いている。ただし、連続式(1)から陽的に求まる ζ に対し運動量方程式(2)より算出される $\mathbf{u}_\alpha$ は陰的であるため、一方の方向の流速成分を求める際にはもう一方の流速成分は陽的に時間積分を行い計算の効率を高めるよう図っている。

入射境界での ζ 、 $\mathbf{u}_\alpha$ は、式(3)に示すような余弦合成波で与えた。

$$\zeta(\mathbf{x}, t) = \sum_n a_n \cos(\mathbf{k}_n \cdot \mathbf{x} - \omega_n t + \varepsilon_n), \quad \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \sum_n \frac{\omega_n}{k_n h} a_n \cos(\mathbf{k}_n \cdot \mathbf{x} - \omega_n t + \varepsilon_n) \frac{\omega_n}{k_n h} \quad (3)$$

$$\omega_n^2 / k_n^2 = gh \left[1 - \left(\frac{1}{2} \alpha^2 + \alpha + \frac{1}{3} \right) \right] / \left[1 - \left(\frac{1}{2} \alpha^2 + \alpha \right) \right] \quad (\alpha = z_\alpha / h) \quad (4)$$

ここに、 a_n は成分波振幅、 $\mathbf{k}_n$ は成分波波数ベクトル、 ω_n は成分波角周波数、 ε_n は初期位相差である。 k_n ($=|\mathbf{k}_n|$)は式(1)、(2)から導き出される分散関係式(4)より求められる。式(3)で表される合成波には2次の長周期成分は含まれていないため、入射境界上であらかじめ2次の伝達関数を介して2次長周期成分を計算し、短周期成分との合成波として入射させた。また、港外の開境界には数値消波フィルターを設置した。スポンジ層の層厚は入射波の平均周期あるいは有義波周期の波の波長程度としている。湾外および湾の陸地部分との境界は全て鉛直壁とし、その境界条件は壁面において $\mathbf{u}_\alpha = 0$ にした。本研究で用いた波動方程式(1)、(2)は粘性を考慮した方程式ではなく、本来、境界条件として壁面に対し法線方向の流速成分 u_n のみが0を取り得るが、計算の安定化には壁面に対し接線方向の流速成分 u_s も0とすることが有効である(例えば、

Rygg, 1988). 予備計算における計算波形の比較では, 壁面において $u_s = 0$ とすることによる有意な差は現れなかったが, 計算効率の観点からは壁面接線方向において $u_n = 0$, $u_s = 0$ として扱う方が有利であり, ここでもその条件で計算を行っている. なお, 壁面および湾口端部等の境界において上述した壁面の境界条件の違いによらず波形に微小な数値振動が発生した. そのためこれに対しては時間ステップで数十回毎に数値フィルターを使用しノイズの除去を行っている.

3. 数値計算結果

港内副振動に対する港外の海底地形条件の影響について基礎的データを得るため, 図-1 に示すような, 水深が 10 m の一定水深部に一様勾配 1/20 の斜面が設けられており水深 5 m の地点で長方形港湾に接続する地形モデルについて数値計算を行った. 港湾の寸法は奥行き 180 m, 幅 72 m であり, 港湾内の水深は 5 m で一定としている. 比較のために斜面のない場合, すなわち港湾内外ともに一定水深 10 m についても計算を行った. 入射波は, x 軸からの振れ角を θ と

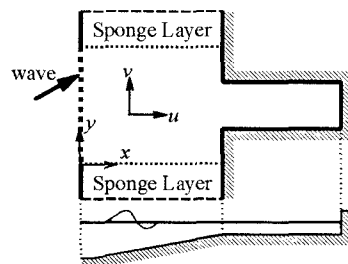


図-1 計算領域

すると, 1 成分目の波は波高 $H_1 = 0.50$ m, 周期 $T_1 = 8.0$ s, 波向 $\theta = 0^\circ$ であり, 2, 3 成分目の波は波高 $H_2 = H_3 = 0.25$ m, 周期 $T_2 = T_3 = 6.0$ s, 波向 θ がそれぞれ $\pm\Delta\theta$ である 3 成分合成波に 2 次長周期成分を加えたものとした. $\Delta\theta = 0^\circ$ の入射波の場合と $\Delta\theta = 10^\circ$ の入射波を用いた場合についてそれぞれ斜面が有る場合と無い場合の計算結果を図-2 示す. 水面変動の時間波形の計測点は湾奥岸壁中央部であり, 図中の点線で記してある長周期成分についてはその振幅を 10 倍にして表示してある. いずれのケースも水面変動の振幅にあまり差のないことから長周期水面変動の振幅についても顕著な差は見られない. しかしながら, 斜面有り・ $\Delta\theta = 10^\circ$ のケースでは水面変動の包絡波形と長周期変動の位相に明らかなずれが見られ, 長周期応答も斜面有り・ $\Delta\theta = 0^\circ$ とほぼ同様な振幅になっている.

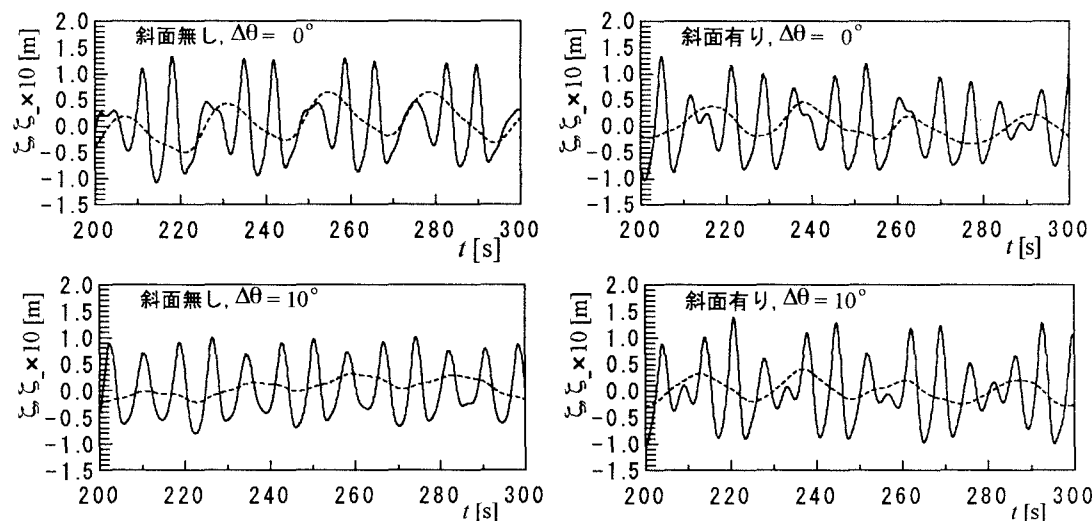


図-2 湾奥中央部での水面変動とその長周期成分の時間波形

4. おわりに 多方向不規則波による港内副振動の予測モデルにより由比漁港の現地観測データを用いた計算を行った. 計算結果については講演時に報告する.

参考文献

- 喜岡 渉・柏原謙爾 (1995), 海岸工学論文集, 第42巻, pp.55-64.
 田中正博ら (1995), 年講演概要集, 第2部, II-423.
 Nwogu O. (1993), J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol. 119, No. 6, pp.618-638.
 Rygg, O. B. (1988), Coastal Eng., Vol. 12, No. 3, pp.191-211.