

岸壁付近の浮体の非線形動揺解析

名古屋工業大学 学生員 山根 聡

名古屋工業大学 学生員 吉田 千鶴

名古屋工業大学 正会員 喜岡 渉

1. はじめに 最近になって、港内における長周期波の挙動を予測するモデルが二、三提案されている（例えば、喜岡ら，1993）．しかしながら、港湾整備の上でも重要な問題となっている係留船舶の長周期動揺や振れまわしに対する対応策の検討には、港内の長周期湾水振動の解析では不十分であり、港内船舶の動揺、特に副振動に伴う船体の共振現象も精度よく予測することが最終的な課題となる．本研究ではその基礎的段階として、断面2次元におけるBoussinesq方程式モデル（喜岡ら，1995）を用いて、岸壁付近における波群に伴う2次長周期波の挙動とそれによる船体動揺の

予測モデルを検討するものである．

2. モデル方程式 図-1に示すように、水平床上の浮体構造物を考え、浮体に固定した座標系を $G\bar{x}\bar{z}$ とする．このとき、浮体下領域でのBoussinesq方程式は水深平均流速 u を代表流速にとると平衡状態にある浮体の没水表面 S_0 まわりで次の式(1), (2)で与えられる．

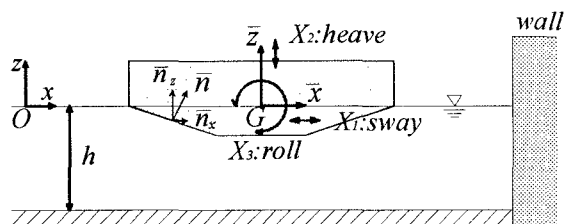


図-1 座標系と記号の定義

$$\left[u - \frac{(h+\bar{z})^2}{3} \nabla^2 u \right] \bar{n}_x - [(h+\bar{z}) \nabla u] \bar{n}_z$$

$$= \bar{n}_x \left[\dot{X}_1 + \bar{z} \dot{X}_3 - \dot{X}_2 X_3 - \frac{1}{2} \dot{X}_1 X_3^2 + \frac{1}{6} \dot{X}_2 X_3^3 \right] + \bar{n}_z \left[\dot{X}_2 - \bar{x} \dot{X}_3 + \dot{X}_1 X_3 - \frac{1}{2} \dot{X}_2 X_3^2 - \frac{1}{6} \dot{X}_1 X_3^3 \right]$$

$$+ \bar{n}_x \left[\frac{1}{2} X_3^2 u - \left(X_1 + X_3 \bar{z} + X_3 X_2 - \frac{3}{2} X_3^2 \bar{x} - \frac{1}{2} X_3^2 X_1 + (h+\bar{z}) X_3 \right) \nabla u \right.$$

$$\left. + (h+\bar{z})(X_2 - X_3 \bar{x} - X_1 X_3) \nabla^2 u + \frac{(h+\bar{z})^2}{3} X_1 \nabla^2 \nabla u \right]$$

$$+ \bar{n}_z \left[-X_3 \bar{u} + (X_2 - X_3 \bar{x} - X_1 X_3) \nabla u + (h+\bar{z}) X_1 \nabla^2 u \right] \quad (\text{on } S_0)$$

$$\frac{p}{\rho} = \frac{\bar{p}}{\rho} - X_1 \left[\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{3} (h+\bar{z})^2 \frac{\partial}{\partial t} (\nabla^2 u) + u \nabla u \right] - \left(\bar{z} X_3 - \frac{1}{2} X_3^2 \bar{x} \right) \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$+ (X_2 - \bar{x} X_3) \left[(h+\bar{z}) \frac{\partial}{\partial t} (\nabla u) \right] - g \left(X_2 - \bar{x} X_3 + \frac{1}{6} X_3^3 \bar{x} - \frac{1}{2} X_3^2 \bar{z} \right) \quad (\text{on } S_0)$$

ただし、上式中の $\bar{p} = (p)_{S_0}$ については次式で決定される．

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial \bar{x}} - \frac{(h+\bar{z})^2}{3} \left(\frac{\partial^3 u}{\partial \bar{x}^2 \partial t} \right) + g \frac{\partial \bar{z}}{\partial \bar{x}} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} = 0 \quad (\text{on } S_0)$$

波動場でのBoussinesq方程式はよく知られた次の式(4),(5)である．

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla[(h+\eta)u] = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \nabla u + g \nabla \eta - \frac{h^2}{3} \frac{\partial}{\partial t} (\nabla^2 u) = 0 \quad (5)$$

以上の式を浮体下領域と波動場で u および p が接続するように差分法を用いて解いたが、その計算方法については喜岡ら(1994)に従った．なお、ここでは岸壁の境界条件を以下の式で与えた．

$$u = 0, \quad \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (\text{on wall}) \quad (6)$$

この境界条件は不透過の鉛直岸壁に対して水深平均流速 u を用いた連続式(4)を厳密に満足している。

3. 計算結果と考察 計算に用いた浮体は幅60cm, 側面勾配5:12, 最大喫水深8.3cmの台形浮体で, 周期が $T_1 = 1.4s, T_2 = 1.6s$, 振幅 $a_1 = a_2 = 0.02m$ の2成分波に2次の伝達関数から求めた拘束長周期波を合成したものを入射させた。図-2は浮体を置かない波動場のみの領域に2成分波を入射させて, $x = 30.0m$ の地点に設置した鉛直岸壁からの反射の様子を示したものである。入射波群の個々の波の振幅はほぼ2倍になっているが図中の破線で示した長周期成分については2倍になっておらず部分重複波的な挙動をとっている。図-3は2成分波を入射させたときの固定浮体まわりの波変形を示すもので, (a)は浮体背後の波を自由透過させたもの, (b)は $x = 12.5m$ の地点に鉛直岸壁があるときの結果である。図中, 浮体は8.0mから8.6mの位置に設置してある。このケースにおいては, 入射側の波群中の個々の波と長周期成分(図中の破線)に及ぼす岸壁の影響はほとんど見られない。透過側においても, 岸壁のある(b)では反射により個々の短周期波の振幅は大きくなっているものの, 長周期波成分についての差異は小さく, 浮体の長周期成分の波強制力に及ぼす岸壁の影響は小さいと考えられる。

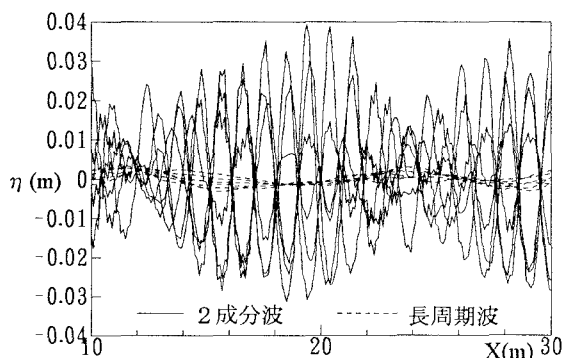
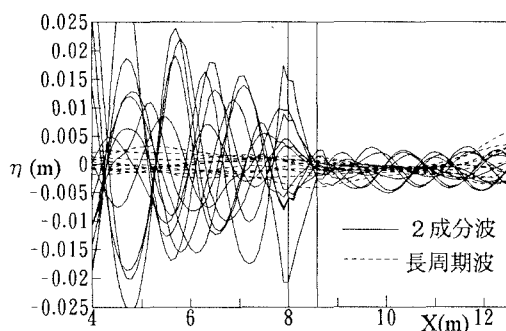
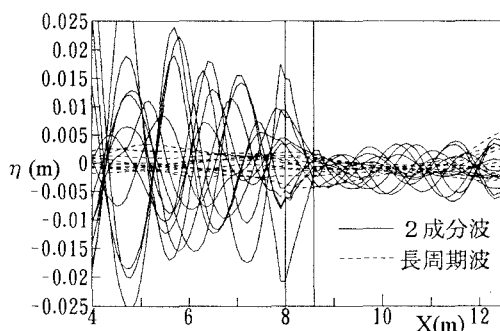


図-2 2成分合成波の反射



(a) 自由透過境界



(b) 岸壁境界

図-3 固定浮体まわりでの水位変動

4. おわりに Boussinesq方程式による浮体の動揺解析法により, 岸壁付近におかれた浮体まわりの波群とそれに伴う長周期波の挙動を調べた。本解析結果から, 係留浮体のSwayの応答に対して重要な波強制力となる長周期成分に対する岸壁の影響は小さいことがわかったが, 岸壁と浮体の距離にも大きく依存するので引き続き本手法により動揺解析をおこない, 浮体の応答に及ぼす反射の影響を明らかにしていきたい。

参考文献

- 喜岡 渉・柏原謙爾・岩垣雄一 (1993) : 不規則波群に伴う2次長周期波の湾水振動, 土木学会論文集, No.473/II-24, pp.55-64.
- 喜岡 渉・平岡慎司 (1994) : Boussinesq方程式を用いた浮体まわりの波変形の解析, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.981-985.
- 喜岡 渉・平岡慎司・山根 聡 (1995) : Boussinesq方程式による浮体の非線形動揺解析法, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.936-940.