

横波を受ける岸壁係留船の波浪動揺解析  
(各種解析法による比較)

大阪市立大学工学部 正員 小田 一紀  
大阪市立大学工学部 正員 倉田 克彦  
大阪市立大学大学院 学生員 〇石上 昌男  
東 洋 建 設 (株) 竹田 正彦

はじめに

従来、一様直線岸壁前面における係留矩形浮体(船舶)の動揺問題を取り扱う場合、井島らによる浮体と流体との相互作用を考慮した厳密な境界値問題としてのポテンシャル接続法(領域分割法)があり、またその理論のポテンシャルの無限級数項を省略したものにほぼ相当する伊藤らの近似解法などがある。また最近において境界要素法を用いた例はあるが、著者らの知るかぎりでは、これらの理論を実験によって十分に検証し、また相互にそれらの長短を比較した研究は少ない。そこで、まず井島らのポテンシャル接続法に基づく理論値と実験値の比較検討を行な、たので、ここに報告する。

解法の概要

理論の詳細は文献(1)に委ね、ここでは理論の概要を述べる。

2次元運動を考え、図-1に示すように一様直線鉛直壁から離れた位置に幅 $2l$ 、吃水 $h$ の2次元矩形断面浮体が存在し、左側からの入射波により微小運動するものとする。流体運動は非圧縮性の完全流体における無渦運動とする。図-1に示すように流体領域を $x=0$ を境界面として、I, IIおよびIIIに分け、その各々の領域におけるポテンシャルは自由水面と水底および浮体の下面と水底における境界条件を満足するラプラスの方程式の解として表-1のように与えられる。これらの速度ポテンシャルに含まれる未定係数は仮想境界 $x=l$ における圧力および水平流速の連続条件により決定でき、従って浮体の運動やこれらの係数が決定できる。

表-1

| I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | III                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\phi_1(x, z) = (Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}) \frac{\cosh k_1(z+h)}{\cosh k_1 h} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{ik_n x} \frac{\cosh k_n(z+h)}{\cosh k_n h}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\phi_2(x, z) = \sum_{s=0}^{\infty} \left( D_s \frac{\cosh \bar{s} z}{\cosh \bar{s} l} + E_s \frac{\sinh \bar{s} z}{\sinh \bar{s} l} \right) \cos \bar{s} (z+gh) + 2i(1-i)^{\frac{1}{2}} \frac{h}{l} \left\{ G \cos \mu_s x + W G \frac{h}{l} \frac{\sin \mu_s x}{\mu_s h} \right\} \frac{\cosh \mu_s(z+h)}{\cosh \mu_s h} \frac{\sinh \mu_s z}{\sinh \mu_s h}$ | $\phi_3(x, z) = F \frac{\cos k(z+pl)}{\cos k pl} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh k h} + \sum_{n=1}^{\infty} G_n \frac{\cosh k_n(z+pl)}{\cosh k_n pl} \frac{\cosh k_n(z+h)}{\cosh k_n h}$ |
| $\phi_1(x, z) = A e^{ik_1 x} + B e^{-ik_1 x} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{ik_n x} \frac{\cosh k_n(z+h)}{\cosh k_n h}$<br>$A, B, C_n, D_s, E_s, F, G_n$ : 未定係数, $\bar{s} = s\pi/zl, \bar{s} = 1, 2, \dots, \mu_s = (2s+1)\pi/zl, \mu_s = \bar{s} \mu_s$ ( $s$ は整数), $h$ : 水深, $g, \gamma, \omega$ は重力加速度, $K, k_n$ は波数で決まる固有値である。 $\frac{\cosh k}{g} = k h \tanh k h = -k_n h \tanh k_n h$ ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) ( $g$ は重力加速度) sway, heave, rollの複素振幅を意味する。<br>係留矩形浮体の運動方程式<br>$M \frac{d^2 x_0}{dt^2} = P_1 + P_2 + R_H$ — (a), $M \frac{d^2 z_0}{dt^2} = P_2 - 2\gamma g h l + R_V$ — (b), $I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = M p - 2\gamma g h l \cdot \overline{GM} + R_M$ — (c)<br>$M$ : (浮体の質量) $= 2\rho g h l$ , $I$ : 慣性モーメント(横断面積), $P_1, P_2$ : 浮力, $R_H, R_V, R_M$ は浮力中心の位置と回転軸との距離 $\overline{GM}$ : 浮力の中心。 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                    |

検証実験

検証実験として2次元水槽を用いて一定水深( $h=20\text{cm}$ )で行なった。入射波は規則波でその波高は3cm程度、周期は0.60~1.74secである。矩形浮体は本鋼、その諸元及び係留時固有周期は表-2に示すとおりである。係留は図-1に示すように伸縮性のないピアノ線で板バネ( $k=0.36\text{gf/cm}$ )に繋いで対称係留にした。またバネの高さ $H_0$ は、静水面上8.7cmである。浮体の運動はポテンシャル法を用いた自由面運動計測器で測定した。

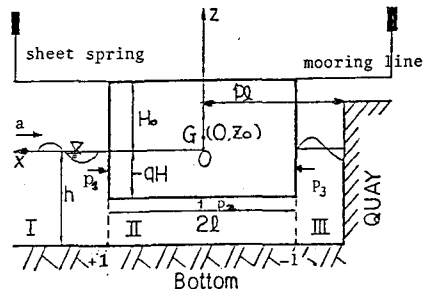


図-1 係留矩形断面浮体

Kazuki ODA, Katsuhiko KURATA, Masao ISHIGAMI, Masahiko TAKEDA

# 理論値と実験値の比較並びに考察 図-2(a),(b)

及び(c)は $p=2.0$  ( $pl=30.8\text{cm}$ ) の場合の  $sway$ ,  $heave$  及び  $roll$  の無次元振幅の理論値及び実験値を示す。横軸は波周期  $T$  (sec) である。また図-3(a),(b) 及び(c)は  $p=3.0$  ( $pl=46.2\text{cm}$ ) の場合を示す。

図中の  $a$  は波振幅である。

(a)  $sway$   $p=2.0$  及び  $3.0$  の何れの場合も  $T < 1.0$

(sec) でよく一致している。  $T$  が長くなると理論

値は実験値より若干大きな値を示している。実験では、初期係留であっても、入射波は進入直後のしばらくの間、過渡振動が起り長い周期の  $sway$  の減衰振動が見られた。また定常漂流力によって平衡位置は初期釣合位置より若干岸壁寄りになることが認められた。このような傾向は短い周期ほど顕著であった。

(b)  $heave$   $heave$  の共振時を除いて、理論値と実験値の何れの場合でもよく一致している。樁木らも指摘しているように、共振時の粘性減衰項を考慮すれば補正できよう。

(c)  $roll$   $heave$  と同様、共振時付近を除いて非常によく一致している。  $roll$  の減衰振動実験から粘性減衰力を求めて理論の補正を行えば、共振時の不一致もかなり改良されるものと思われる。理論の共振周期は実験値とよく一致している。

## おとがき 理論値が

ある波周期  $a$  と  $\omega=3$  で小さなピークを示すところがあるが、その原因については現在不明である。今回は実験ケースが少なく、理論の検証は十分とは言えないが、

概ね2次元のポテンシャル理論は、共振点近傍を除いて実験結果とよく一致するところを

確認できた。今後さらに実験ケースを増やし、また他の解法との比較をも行う予定である。

以上の結果については講演当日に発表した。(参考資料) 1) 樁木ら、中島ら、水回海溝、2) 樁木ら、水回海溝、3) 樁木ら、水回海溝、4) 樁木ら、水回海溝。

図-2 理論値と実験値の比較 ( $p=2.0$ )

表-2 矩形断面浮体の諸元

| 諸元          | 記号            | 数値                                                 |
|-------------|---------------|----------------------------------------------------|
| 長さ          | $L$           | 206.0 cm                                           |
| 吃水          | $B$ ( $=2l$ ) | 30.8 cm                                            |
| 重心の座標       | $D$ ( $=qh$ ) | 10.0 cm                                            |
| 質量          | $W$           | 63.8 kg                                            |
| 慣性モーメント     | $I$           | $6.38 \times 10^{-4} \text{ kg sec}^2/\text{cm}^2$ |
| 係留時の固有周期    | $(p=2.0)$     | $(p=3.0)$                                          |
| ROLL (sec)  | 1.55          | 1.52                                               |
| HEAVE (sec) | 0.91          | 1.08                                               |
| SWAY (sec)  | 1.35          | 1.90                                               |

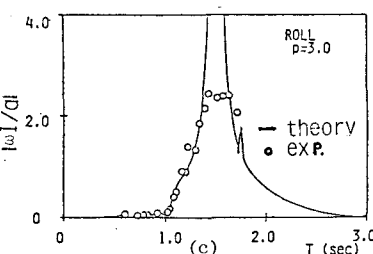
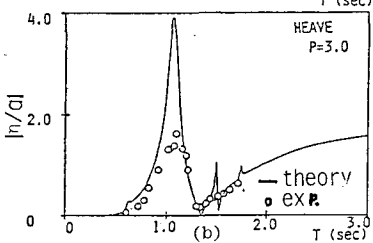
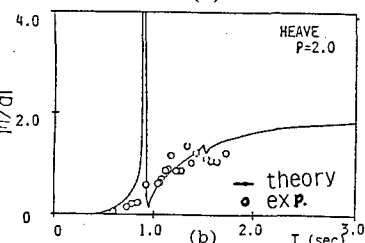
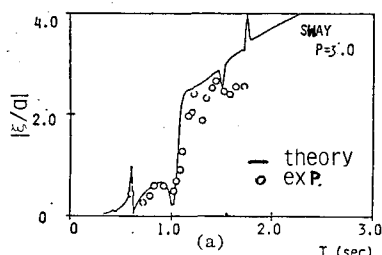
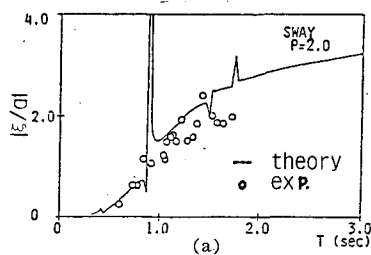


図-3 理論値と実験値の比較 ( $p=3.0$ )