

○ 神戸商船大学船貨輸送研究施設 正員 久保雅義
大阪大学工学部 正員 榎本 亨

1. まえがき: 従来不規則波が係留船に作用する場合、変動漂流力のために長周期船体運動を生じることはよく知られている¹⁾が、港内係留船には変動漂流力以外に長周期波による波力も作用することが多い。これらの関係を表-1に示す。このようにして生じる長周期波は従来から港で言われている係留船流出の原因の1つであると考えられるので、ここでは不規則波の最も簡単な場合として群波が港内に侵入した時の船体運動について水理実験により検討を加えた。

2. 規則波による漂流力の測定: 実験には図-1に示すような神戸商船大学総合実験水槽内の浅水槽(60m×6m×1.5m)を水深28cmの状態で使用した。図-1には港及び係留船の配置も示している。模型港において岸壁から防波堤までの距離は4.65mに設置したが、この時の水深が28cmであることを考慮すると防波堤と岸壁を腹とする第1モードの共振は周期 $T=5.6$ 秒で生じることになる。船体模型は長さ120cm、幅22.5cm、深さ20cmの木製の箱船を吃水15cmで使用した。この場合の復元力としては図-2に示すように漂流力測定用の板バネのみが作用しており、この板バネのバネ定数は6395cmである。実験において計測された漂流力係数 D を図-3に示す。図において F_d は板バネの静止位置からの偏位量より求めた漂流力である。ここ(+)は岸方向へ作用する力、(-)は沖方向へ作用する力を示す。さらに ρ は水の密度、 g は重力加速度、 A は入射波振幅、 B は船幅である。図の横軸は λ/L_s (=波長/船長)および模型実験における波周期で示している。Open seaでは波漂流力の作用方向は波の進行方向と同じであるが、港内に係留した船体の場合には漂流力の作用方向が波の周期により非常に激しく変化する。

3. 長周期船体運動の実験: 実験装置の配置は漂流力測定実験の場合とほぼ同じである。群波の変動漂流力による長周期船体運動と長周期波による港内模型の共振周期は5.6秒である)による長周期船体運動との違いを明らかにするために、係留船のsurgingの固有周期は4.6秒に設定している。この時のバネ定数は6395cmであった。実験では第1成分波の周期は1秒に固定し、第2成分波の周期を1秒以下で変化させることにより群波の周期を設定している。

群波を港内に入射させた時の長周期船体運動の計測結果を図-4に示す。縦軸は船の変位全幅を沖波合成波高で無次元化した値を示している。この図より群波の周期 $T_g=3.8$ 秒、4.8秒、および5.8秒において長周期船体運動が大きくなる、ということが判明する。そこで次に先に求めた漂流力係数を用いて漂流力による長周期船体運動を求めてみる。この場合のsurgingの運動方程式は次式で与えられる。²⁾

$$\ddot{y} + 2\varepsilon_{su}\dot{y} + n_{su}^2y = \frac{F_d}{M_{su}} \quad \left(F_d = \rho g D \lambda_s^2 B \cos \omega t, \quad \omega = \frac{2\pi}{T_g} = \frac{2(\zeta_1 - \zeta_2)}{\zeta_1 \zeta_2} \right) \quad (1)$$

ここには ε_{su} , n_{su} はそれぞれ減衰係数および固有角周波数で、ここでは自由振動実験より求めた値 $2\varepsilon_{su}=0.395$ (sec⁻¹),

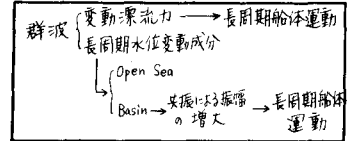


表-1 群波による係留船の長周期船体運動

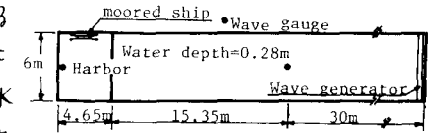


図-1 実験配置図

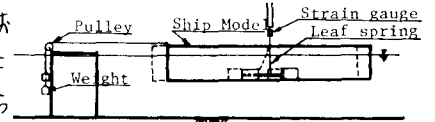


図-2 板バネによる漂流力の測定とその検定

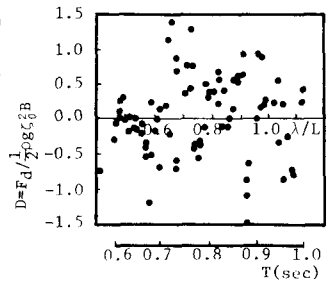


図-3 漂流力係数 D の実測結果

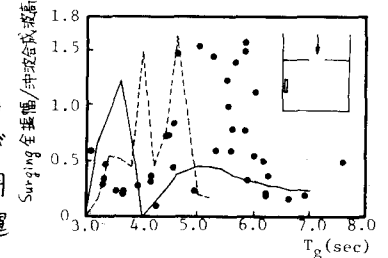


図-4 群波が港内に侵入した時の港内係留船の長周期船体運動

$n_{su}=1.41(sec)$ を用いている。 γ_0 は成分波の振幅で、 T_1, T_2 は各成分波の周期である。上式より、長周期船体運動の振幅増幅率は次式で与えられる。

$$\frac{2\hat{y}}{4\gamma_0} = \frac{\hat{y}}{2\gamma_0} = \frac{9 \cdot g \cdot D \cdot \gamma_0 \cdot B}{2M_{su} \sqrt{(n_{su}^2 - 4\omega^2)^2 + (2\xi_{su} \cdot 4\omega)^2}} \quad (2)$$

ここに $\hat{y}$ は長周期船体運動の振幅である。このように漂流力による長周期船体運動の振幅増幅率は群波の周期 T_g だけでなく、 γ_0 にも依存することになるので実験において γ_0 をほぼ一定にしておくことが望ましい。本実験では $4\gamma_0=1.5cm \sim 2.0cm$ であったので以下の計算では $\gamma_0=0.4cm$ を使用する。実験における群波の周期は3秒から7秒まで変化させているがこの場合第2成分波の周期は0.75秒から0.875秒まで変化する。群波の場合には H_{su} の仮定より周期 $T_0=(T_1+T_2)/2$ に対応する漂流力を用いるのでこの時の T_0 は図4計算に使用する漂流力係数0.875秒より0.938秒まで変化することになる。先の実験で求めた漂流力係数 E の範囲で表示したものが図5である。図において白丸は第1回目の実験値 E 、黒丸は第2回目の実験値 E を示している。 $T=0.89$ 秒から $T=0.92$ 秒において双方の実験値はかなり異なり、この原因は今のところ不明である。双方の漂流力係数 E を用いて長周期船体運動の振幅増幅率を求めると図4の実線および点線となる。実線は図5の黒丸に対応する漂流力係数 E 、点線は白丸に対応する漂流力係数 E を用いて計算を行、ている。この図より $T_g=3.8$ 秒および4.8秒におけるpeakは多少ずれているものの漂流力を考慮した運動方程式によりほぼ説明できるが、 T_g が5秒以上における長周期船体運動の振幅増幅率の増大は漂流力のみを考慮した運動方程式では説明がつかないことが判る。このような実験と理論における振幅増幅率の差違の原因としては群波が港に侵入した場合に生じる長周期波が考えられる。図6は岸壁中央で観測された波形記録を0.4HzのLow-pass filterを通して長周期波成分のみを抽出し、その時の長周期波高を沖波合成波高で無次元化したものである。図の横軸は群波の周期 T_g を表わしている。これより $T_g=5.8$ 秒付近で長周期波高の振幅増幅率が大きくなり、このことが判明する。この周期は図にも示すように港の奥の岸壁と防波堤を腹とする第1モードの共振周期に相当する。そこでこのことを更に詳しく調べるために港内に入射する群波の周期を5秒に固定しておいて、図7のように3本の測線に沿って波高計を移動させることにより港内における平面的な波高分布を調べた。図8はこの時のそれぞれの波高記録を0.4HzのLow-pass filterで長周期成分を抽出し、それを沖波合成波高で無次元化したものを縦軸にと、て表示している。この図より測線①と②では最初予測したとおり、岸壁と防波堤で腹となるような第1モードの長周期波が生じていることがうかがえる。測線③では必ずしも両端で腹になる、とは言えないが、これは港口の影によるものと考えられる。以上より T_g が5秒以上で長周期船体運動の振幅増幅率が增大するのは、群波のもつ長周期水位変動成分が港内に侵入した時共振して増大し、この増大した長周期波が係留船に作用したためであると考えられる。

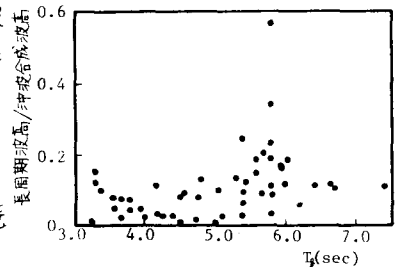
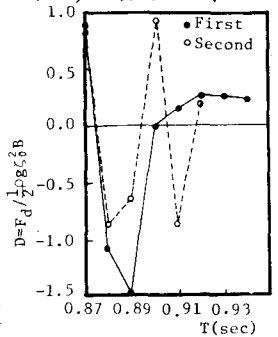


図6 岸壁中央で観測される長周期波の振幅増幅率

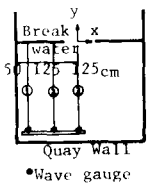


図7 波高分布の計測場所

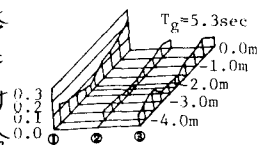


図8 港内における長周期波高の三次元分布

4. 結論：従来開水域では波の不規則性のために漂流力が変動し、これにより係留浮体に長周期船体運動が生じるとされているが、以上の結果からすれば、港内係留の場合には変動漂流力以外に波の不規則性のために生じた長周期波によるかも新たに考慮しなければならぬことになる。最後に本研究に当り深い御理解と御援助を賜、た前神戸商船大学今枝彬郎教授に感謝の意を表する次第である。

参考文献：1) 例え、Remery G.F.M. and A.J.Hermans: The slow drift oscillations of a moored object in random seas, Huston, 1971 2) Hsu F.A and K.A: Analysis of peak mooring forces in random seas, Huston, 1970