

振幅を過大評価することになる。そこで、粘性減衰力 $D_i(t)$ を次式で与える。

$$D_i(t) = a_i \dot{x}_i(t) + b_i |\dot{x}_i(t)| \dot{x}_i(t), \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 a_i および b_i は粘性減衰力係数であり、以下に述べる方法により求める²⁾。

各運動モード毎の自由振動実験の結果は減衰曲線として表わされるので、これらより各々の減衰曲線を得る。この減衰曲線は、

$$\Delta \hat{x}_i = \alpha_i \hat{x}_{in} + \beta_i \hat{x}_{in}^2, \dots\dots\dots (5)$$

と表わされる。ここに、 n : 各運動モードでの揺数、 $\Delta \hat{x}_i$: 減衰曲線の相隣る2つの振幅の差、 $\hat{x}_{in}$: 減衰の曲線揺数 n 回目の相隣る2つの振幅の平均、 α_i および β_i : 減衰係数である。これらの減衰係数より粘性減衰係数を次式により定める。

$$a_i = \frac{4.0 \times \alpha_i}{T_{Ni}} \{M_{ii} + m_{ii}(\infty)\}, \dots\dots\dots (6)$$

$$b_i = \frac{3.0 \times \beta_i}{4.0} \{M_{ii} + m_{ii}(\infty)\}, \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 T_{Ni} : 各運動モードにおける固有周期である。

自由振動実験より定まった α_i, β_i から式(6)、(7)で a_i, b_i を求める。これらを式(5)に用いて粘性減衰力 $D_i(t)$ を与え、これを式(1)左辺第2項に導入することで粘性項を評価する。そして、短周期から長周期までの全運動モードの固有周期をカバーする全周期範囲で運動振幅計算を行ない、実験値との比較によりその妥当性を示す。

2.3 波浪強制力の計算

不規則波は微小振幅波理論によるいくつかの成分波の線形重ね合わせにより表わすことができる。計算には実験での波形をそのまま用いるため、データレコーダーに収録した実験波形にFFTを用いて各周波数毎のフーリエ係数を求め、これより各成分波の振幅と位相が定まる。また、各周波数において各運動モードに加わる波浪強制力をグリーン関数法によって計算することで、ある時刻 t における各運動モードに加わる波浪強制力 $F_j(t)$ を求めることができる。実際の計算に用いる周波数範囲は、波浪強制力計算時に計算点間隔が波長の1/4より小さい範囲において計算値を有効とみなすので、これより高周波数領域は省略している。フーリエ係数の中で周波数に無関係な第1項も省略したために、計算に用いる波形は次式により表わされる。

$$\eta(t) = \sum_{k=1}^N \left(P_k \cos \frac{2\pi k}{M \Delta t} t + Q_k \sin \frac{2\pi k}{M \Delta t} t \right) \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $\eta(t)$: 波形、 P_k および Q_k : フーリエ係数、 M : サンプル数、 Δt : サンプリング間隔、 N : 有効周波数範囲より求まる成分波の数である。そして、各運動モ

ードに加わる波浪強制力を次式で計算する。

$$F_j(t) = \sum_{k=1}^N \zeta_k \frac{f_{kj}}{\zeta_0} \cos(\sigma_k t + \delta_k), \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 ζ_k : 各成分波の振幅、 f_{ki} : 入射波振幅を ζ_0 とした時の波浪強制力の振幅、 σ_k : 各成分波の角周波数、 δ_k : 各成分波の位相である。前述の通り、 $\zeta_k, \sigma_k, \delta_k$ はFFTの結果より、 f_{kj} はグリーン関数法を用いた計算より求める。

次に不規則波で発生する変動漂流力を考える。変動漂流力は、Sway, Surge, Yawの水平方向の運動についてのみ与えられ、入射波振幅 ζ_0 、周期 T の1波について次式で示される。

$$F_{Di} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2 D_{Ti}, \quad (i=1, 2, 6) \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 F_{Di} : 変動漂流力、 ρ : 密度、 g : 重力加速度、 D_{Ti} : 周期 T の波に対する漂流力係数である。 D_{Ti} は浮体の浸水表面に働く圧力を積分することにより求めることができる³⁾。式(8)で表わされる不規則波に対してゼロダウンクロス法を用いて1波毎の振幅と周期を求め、式(10)より1波毎の変動漂流力を計算し、各運動モードでの時系列データを求める。これを式(1)の右辺に加えて時系列解析に用いる。

2.4 時系列解析の方法

式(4)と式(9)を用いて式(1)を時間ステップ毎に計算していくことで時系列解析を行なう。ただし、実験では係留索に初期張力を与えているので、計算においては外力を与えない状態で、浮体に運動を起こさないようにして各係留索に所定の張力を加えていく。その後、外力を作用させて運動計算を行なうのである。

3. 実験結果による考察

3.1 粘性項に関する結果

各運動モード毎の減衰係数 α_i と β_i の値を表-1に示す。この値は、Sway, Surge, Heaveの単位をcm, Pitch, Roll, yawの単位をradianとして計算に用い

表-1 各運動モードの α_i と β_i の値

i		α_i	β_i
1	Sway	0.918	0.0
2	Surge	0.431	0.0
3	Heave	0.0	0.0
4	Pitch	0.0	0.0
5	Roll	0.106	1.941(1/rad)
6	Yaw	0.026	1.398(1/rad)

たものである。この表より、上下方向の運動を伴う Heave と Pitch については、粘性項の考慮の必要がないことがわかる。水平方向の直線運動である Sway と Surge は 1 次式で、回転運動である Roll と Yaw は 2 次式で減衰曲線が表わされる。各 α_i と β_i は実験結果に最小 2 乗法を適用して求めている。

次に、式 (6) と式 (7) で求めた粘性減衰係数を用いて、(1) 式による時系列解析で各運動モード毎の自由振動計算を行ない、実験結果と比較したものが図-2 である。実験結果より求めた各運動モードの固有周期は、 $T_{N1}=8.84$ 秒、 $T_{N2}=4.24$ 秒、 $T_{N3}=0.80$ 秒、 $T_{N4}=$

0.78 秒、 $T_{N5}=1.31$ 秒、 $T_{N6}=4.87$ 秒である。この図より、減衰振動の様子が良く再現できていることがわかる。

尚、Sway に関しては、 α_i を最小 2 乗法により求めた値では減衰の割合が実験結果より小さくなり合わないため、実験の減衰曲線より求め得る最大値を α_i の値としている。表-1 に示されているのはこの値であり、図-2 の計算にもこれを用いている。

3.2 運動振幅計算について

各運動モードにおける規則波による運動振幅の計算結果を図-3 に示す。横軸 t が周期を示し、 $t=0.65\sim 12.0$

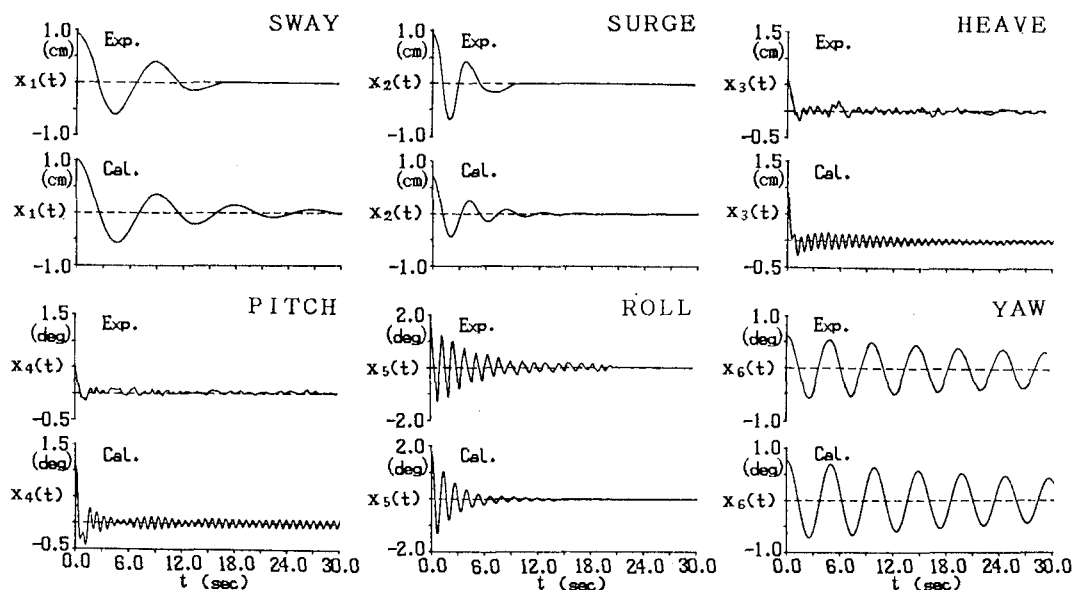


図-2 自由振動の計算結果及び実験結果

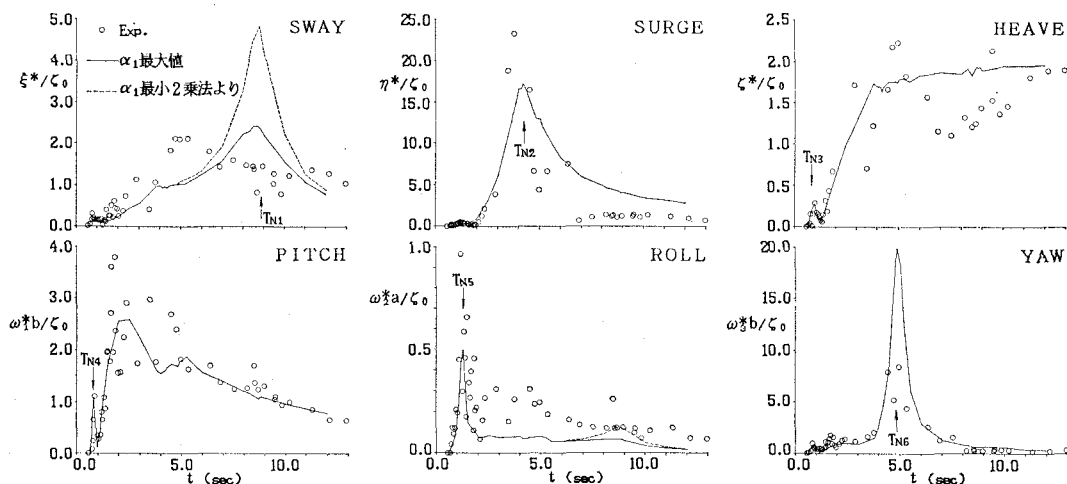


図-3 各運動モードにおける運動振幅計算結果及び実験結果

秒の範囲で全運動モードの固有周期を含む。縦軸は運動振幅増幅率で、 ξ^* , η^* , ζ^* , ω_1^* , ω_2^* , ω_3^* は各々 Sway, Surge, Heave, Pitch, Roll, Yaw の変位および回転の複素振幅であり、 ζ_0 は入射波振幅、 a は船幅の $1/2$, b は船長の $1/2$ を示す。また、各固有周期 T_{Ni} を図中に矢印で示す。Sway に関しては前述のように α_i について求め得る最大値を使用しているの、参考のために最小2乗法で求めた α_i を用いた計算結果を、図中に破線で示している。

この図より、各運動モードとも計算値と実験値はかなりの一致を見せるが、Sway と Yaw においては各固有周期付近で計算値が実験値より大きくなる傾向がある。両運動モードとも岸壁に対して直角方向の運動であり、これまでの計算において船体運動による離岸距離の変化が流体力係数に与える影響を考慮していないための現象であると思われる。特に Sway に関しては、 α_i の最大値を用いたにもかかわらず計算値と実験値とに差があるため、この問題が重要と考えられる。

3.3 不規則波計算に用いる入射波データについて

式(8)により表わされた入射波データを図-4に示す。ここで、 $M=1024$ 個、 $\Delta t=0.06$ 秒、 $N=94$ 個であり、周波数範囲は $0.016 \sim 1.530$ Hz である。図に見られるように波形の最初の部分が0からずれているのは、前述した通り式(8)において周波数と無関係の第1項を省いたためである。

尚、変動漂流力については、波高が小さいために波浪強制力に比べて値が極めて小さく、ほとんど船体運動に影響を与えないことがわかったため、今回は省略している。

3.4 不規則波計算結果について

各運動モード毎の不規則波に対する船体運動の実験結

果と計算結果を比較したものが図-5である。図に示されている実験結果は、各運動モードの実験波形をFFTにより解析したフーリエ係数の結果より合成したものである。

Heave, Pitch, Roll は波の周期に対応した運動が卓越する現象であり、Sway, Surge, Yaw は船の固有周期に対応する運動が卓越する現象であるが、Sway を除くとこれら2種類の運動が数値計算において比較的良く再現できたと思われる。Sway に関しては、3.2で触れたように離岸距離の変化による流体力係数への影響が最も大きい運動モードなので、計算結果の方が実験結果より短い周期の成分が卓越していると考えられる。

4. 結 語

不規則波に対する計算結果は、満足のいくものではあるが、船体運動による離岸距離の変化が流体力係数に与える影響を評価する必要があることがわかった。特に岸壁前面の係留浮体を問題にする場合、この影響を大きく受ける Sway が離岸距離の計算に直接関わるので、船舶の安全性などの点で重要な問題になると思われる。

次に、実船を対象にした計算を行なう場合を考えると、粘性減衰係数を決定するために自由振動実験を行な

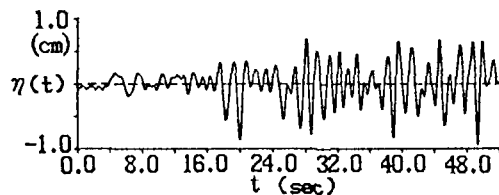


図-4 不規則波計算に用いる入射波データ

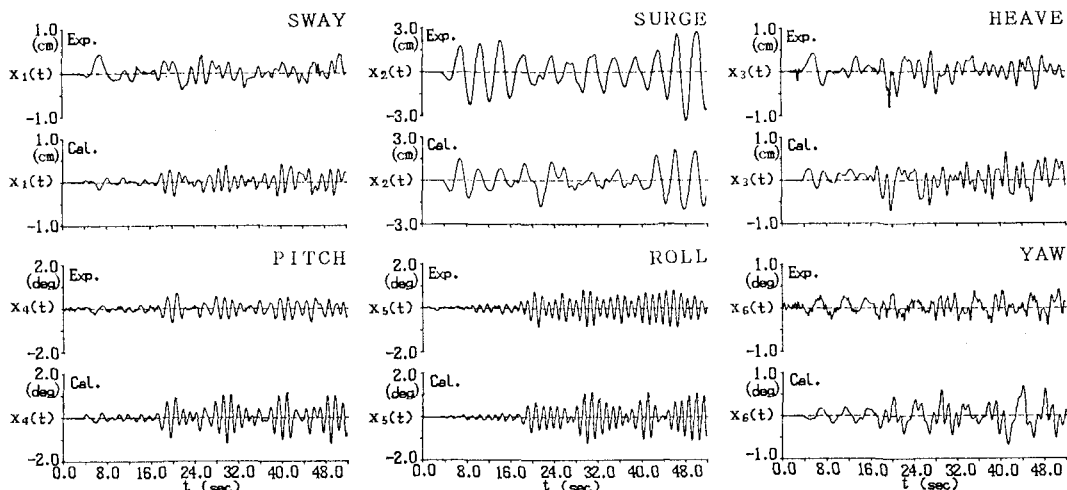


図-5 不規則波に対する計算結果及び実験結果

うことができないので、何らかの理論を導入して粘性項の評価を行なう必要がある。

また、本論では入射波高が小さい為に結果的には考慮しなかった変動漂流力に対する検討も、今後必要になると思われる。

尚、この研究の1部は文部省科学研究費重点領域研究(1)；異常時風浪に対する港湾区域の防災力とその向上システムに関する研究（名古屋大学工学部岩田好一朗教授代表）によった事を付記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 久保雅義・岡本俊策：岸壁前面係留浮体の遅延関数を用いた時系列解析の精度向上に関する研究，第34回海岸工学講演会論文集，pp. 611～615，1987.
- 2) 元良誠三監修：船体と海洋構造物の運動学，成山堂，pp. 79～87，1982.
- 3) 樫木 亨・久保雅義・青木伸一：港湾 Slip 内における船体運動および定常漂流力について，第29回海岸工学講演会論文集，pp. 511～515，1982.