

(3) また、例えば全2次応答の確率密度関数が正規分布と大きく異なっている Fig. 11 の場合には、線形応答成分および純2次応答成分の分散はどのような割合でしょうか。

(4) Fig. 21 において固有角周波数の増加につれて、全2次応答の極大値と極小値の期待値の差が小さくなっていますが、これは線形項と非線形項の干渉効果は増加しても正の変位と負の変位の非対称性は減少することを意味するのでしょうか。

(5) 弱非線形の仮定を用いない本手法によれば、スナップ荷重のような強非線形応答も説明できるのでしょうか。

【回答】(1) (10) 式に間違いがありましたので訂正させていただきます。

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{2} \sum c_j^2 + \sum \lambda_j^2 \equiv \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

(2) Figs. 11~19 の主たる目的は純二次応答と全二次応答との比較ですので、それらに同じ分散の値を使う必要があります。一次を含まない純二次応答に対して一次を含んだ全二次応答の分散を使用するのは不自然だと思われまので、ここでは純二次応答に対する分散の値を使っています。

(3) Figs. 11~19 の各場合に対する線形応答成分の標準偏差  $\sigma_1$  と純二次応答成分の標準偏差  $\sigma_2$  の比を以下に示しておきます。

Figs. 11~13  $\sigma_2/\sigma_1 = 1.36$

Figs. 14~16  $\sigma_2/\sigma_1 = 2.90$

Figs. 17~19  $\sigma_2/\sigma_1 = 4.96$

(4) 本計算については御指摘の通りであると思います。しかし本手法は弱非線形によるパラメータが発散するため精度が悪くなります。具体的に線形成分が、どれくらいの強さまで本手法が適用できるかは検討しておらず、今後の研究が必要であると思います。 $\omega_0 = 0.1$  のとき、 $\sigma_2/\sigma_1 = 0.149$  であり、ここでの値が正しいかどうかはまだわかりませんが、全体の傾向としては弱非線形になると左右対称に近づいているようです。しかし、これはあくまで現段階での数値計算の結果であり、現実になるかは実験などにより、今後検討していきたいと考えています。

(5) 本手法は現象が Volterra 汎関数展開の2項までで表現できることを前提としており、その条件の下で第2項が第1項と同程度の大きさを持った場合でも使用できるというものです。スナップ荷重のようなものはこの条件に適合しないので本手法では扱えません。

## 15 係留浮体の波浪中強制動揺試験について (第2報)

【討論】川西利昌君 (1) 本強制動揺試験の振動周期、振幅と力波形歪の関係をお教え下さい。

(2) 波形歪の実験結果に及ぼす影響。

【回答】(1) 質問の波形歪について、その一例を示す。

運動変位、速度、加速度及び力の波形  $\xi$  をフーリエ係数  $A_k, B_k$  を用いて以下のように表わす。

$$\xi = \sum_k (A_k \cos \omega_k t + B_k \sin \omega_k t)$$

静水中の歪率  $\gamma$  は各フーリエ係数の絶対値を用いて次のように定義する

$$\gamma = \frac{\sqrt{(\sum_k c_k^2 - c_s^2)}}{c_s}$$

ここで

$$c_k = \sqrt{(A_k^2 + B_k^2)}$$

であり、 $c_s$  は長周期運動の周波数に対応する振幅である。なお、 $c_k$  が  $c_s$  の 5% 以下である場合にはその成分は取り除いた。

同様に波浪中での歪率を次のように定義する。

$$\gamma = \frac{\sqrt{(\sum_k c_k^2 - c_s^2 - c_h^2)}}{\sqrt{(c_s^2 + c_h^2)}}$$

ここで、 $c_h$  は入射波の周波数に対応する振幅である。

なお、 $ck$  は  $k=s$  の近傍では  $ck$  の 5%、 $k=h$  の近傍では 5% 以下である場合にはその成分を取り除いた。

実験中運動周波数の最大と最小の場合について歪率を以下に示す。

	静水中		波浪中	
	0.52	0.8	0.52	0.8
$\omega_s$ (rad/sec)	0.52	0.8	0.52	0.8
運動の変位	0 %	0	1.5	2.0
速度	9.2	0	22.0	19.0
加速度	23.0	5.8	133.2	93.4
力	25.5	5.4	16.4	5.2

(2) 波形歪が実験結果に及ぼす影響は2種類あると考えられる。その1つは多重周波数のため現象に変化が生じる事、第2は解析上の誤差である。第1については本論文のテーマもその事に関してであり、本論文の主旨からは波形歪を極力小さくおさえる事が望まれる。第2の問題については、1次のフーリエ係数を用いる方法と

別の方法(第1報, Appendix A 参照)により実験データを解析し両者の差の著しいものは実験値から削除している。

## 18 係留半潜水式海洋構造物の風波併存時における運動及び相対水位変動

【討論】影本 浩君 (1) 自由動揺試験より減衰係数を求めておられますが, 1次の係数を使われたのですか, あるいは2次の項まで求められたのですか。

連成項についてはどうされたのですか。

私の経験では, ヒープ以外の運動モードでは自由動揺はすぐに減衰し, 減衰係数はもちろん, 固有周期さえも計測することが困難な場合が多いのですが, 特別な工夫をなされているのでしょうか。

(2) 波による揚力の計算値と実験の比較をされていますが, もし, 実験でプラス側に傾いた場合も計測されておれば, 正負の傾斜に対して揚力の差はどの程度なのでしょう。

【回答】(1) 本論の理論計算に用いた減衰係数は速度の2乗に比例する項いわゆる二次の項まで計算している。自由動揺試験で得られた減減曲線より減衰係数を求める場合, 1次の係数は全モードの運動につき比較的簡単に求まるが, 一方2次の係数(特に Sway)は係留系の影響のため, 不安定で減衰のパターンに大きく依存する。

そこで減減曲線方法の他に, 振幅比の対数減衰率で2次の係数を求める方法が考えられる。これは特に減衰が速い振動の場合に有効である。自由動揺の減衰曲線より算出した減衰係数に大きなバラツキが生じた場合は, 算出した流体力係数で自由減衰する運動の時系列シミュレーションを行い, 時系列の比較によって正しい減衰係数を求めるのも一つの方法であろう。いずれにせよ, 係留の影響に気を配りながら根気より数多く行う必要があるように思う。

また自由動揺試験とは別に, 強制動揺試験より求められる流体力を基に, 減衰係数を算出する方法もある。本

文でも述べたように, 実験の結果によれば, 固有周波数付近では自由動揺試験のそれとほとんど差はなかった。減衰係数の2次の項は Drag によるものと考えられ, 連成項の存在は否定できない。本論では, 1次も2次も連成項を考慮せず, 主要項のみを用いて等価線形化して計算に使っている。

自由動揺試験で固有周期がうまく求められないという時には, 不規則波中の試験より得られた運動の時系列をパワースペクトル解析し, 低周波数領域で現われるピーク周波数よりおおむね固有周波数を確認することができる。当然のことであるが, 定常変位による係留系の復原力の変化があるときには, 多少の差は伴うであろう。また我々の研究では, 動的風荷重装置を用いてモデルに過渡風荷重を与え, 得られた運動の周波数応答関数(超低周波数域を含む)より同調点(すなわち固有周波数)を明確に読むことができる。

(2) 本論に用いたモデルについては正の傾斜角時の揚力実験値が得られていないが, 多少形の異なったモデル(SR-192)について規則波中の拘束試験を実施し, その際得られた結果には次のような傾向が見られた。傾斜角  $10^\circ$  と  $-10^\circ$  で実験した波周期(実機で約5秒~15秒)の全域において, 前者は後者より大きく, ピーク周波数では約1割大きい値となった。さらにこの傾向は波高が大きくなるにつれ, 強まることが実験より確かめられた。これは前後のローナルによる波形の相互干渉に起因すると考えられるが, 本論に用いた揚力の簡単な計算法ではそれを確認することができないが, 波の変形を取り入れた厳密な理論計算をする必要があるであろう。

## 19 係留された半没型海洋構造物の複合外力下挙動 時系列数値シミュレーション法

【討論】影本 浩君 (1) 自由動揺試験から求めた1次の減衰係数は, 線形理論から計算される造波減衰係数と比較してどの位の大きさになるのでしょうか。

(2) 傾斜時の風抗力の推定は, 潮流力と同様に難しいと思われるが, 風抗力の算定には, 単純な(10), (11)式を用い, 潮流力については実験値を用いたのは何故ですか。

【回答】(1) ハスキントニューマンの関係式によって求めた造波減衰係数と自由動揺試験から得た1次減衰係数は Table 1 に示した通りである。

一般的に, 実測値は固有周期に対応する理論計算値より100倍以上にも大きくなっている。

(2) 海洋構造物の上部構造が複雑であるため, 傾斜時の風抗力の評価は難しいと思われる。又, その実験も