

波力発電におけるパラメトリック励振の利用に関する実験的研究

東京海洋大学大学院 応用環境システム専攻 博士後期課程 2年 (助成時)

博士後期課程 3年 (現在)

徐 鵬

・緒言

波力発電は再生可能エネルギー利用の一つであり、地球温暖化にともなう二酸化炭素排出規制を受け、世界中で研究が進められている。波力発電装置の方式の中で、動揺浮体方式の最も一般的なポイント・アブソーバと呼ばれる形式では、浮体の同調周波数が海洋波の周波数より高く、その帯域も比較的狭い海象条件により、常に高い発電効率が得られるとは限らない。このような問題を克服するために、浮体動揺に対して位相制御を行う方法が幾つか提案される。スパー・ブイ型プラットフォームは一般的な海洋波とは同調せず、長周期波と稀に同調し、過大な上下揺れを起こすのみならず、縦揺れとの間でパラメトリック自励共振現象を起こすことが知られている。パラメトリック励振とは、動揺の復原力が周期的に変動する場合、復原力の変動周波数が動揺周波数の2倍である場合、一揺れ毎に動揺振幅が増大していく、マシュー型不安定に陥る現象である。本研究では、スパー・ブイ型プラットフォームの発想を逆転し、マシュー型不安定を積極的に利用した浮体動揺のパラメトリック励振による最大化を実験的に試みる。動揺最大化原理を浮体式波力発電システムに応用すれば、発電効率の最大化につながると考えられる。

・実験結果及び考察

上下揺れと縦揺れの連成運動を検討するため、スパー・ブイ模型(図1)を製作した。マシュー型不安定条件周辺の連成運動を調べるために、バラスト制御機構をブイ模型に取り付けた。この機構は、バラストを上下に移動させることによって、ブイの重心を変化させることができる。このメカニズムを使用して、縦揺れ固有振動数を上下揺れ固有振動数の半分調整し、マシュー型不安定条件を実現することができる。可動バラスト位置はボールねじで0 mm から 45 mm まで調整できる。実験の状況を図1に示す。

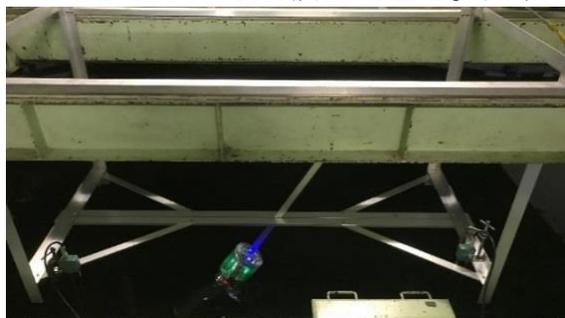


図1 実験の状況

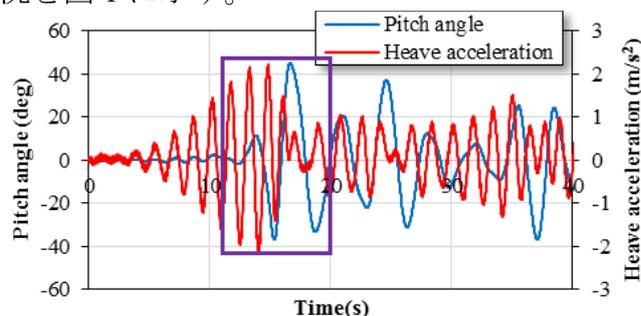


図2 測定された縦揺れ角と上下加速度の時系列データ (バラスト位置 = 20 mm)

スパー・ブイ模型の上下揺れと縦揺れの連成運動を調べるために、東京海洋大学船舶運航性能実験水槽で動揺計測実験を行った。図 2 は、バラスト位置 20 mm での上下揺れ加速度と縦揺れ角の時間履歴を示す。図 3 に縦揺れと上下揺れの周期の時間的变化を示す。なお、過渡状態におけるこれらの周期は、時系列における一揺れ毎のゼロクロス周期として測定されている。2本の線の交点は、マシュー型不安定の条件が満たされていることを意味している。これらの図を見ると、交差の最初のタイミングが大きな縦揺れ運動の発生と一致していることが分かる。したがって、マシュー型不安定の理論的条件を考慮することによって、大振幅縦揺れの発生時期を予測できる可能性があるといえる。

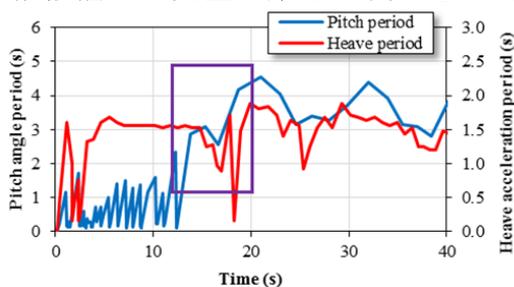


図 3 縦揺れと上下揺れ周期の時間的变化
(バラスト位置= 20 mm)

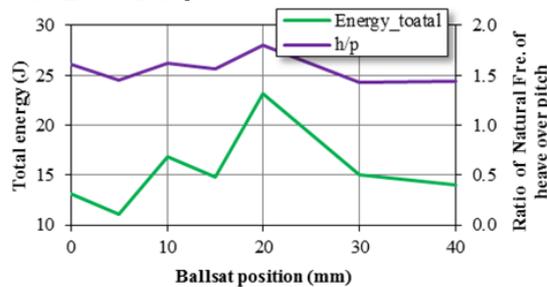


図 4 バラスト位置が変化したときの上下揺れと縦揺れ間の全エネルギーと動揺の周波数比

図 4 はバラスト位置に対する全エネルギーと上下揺れと縦揺れの周波数比の変化を示している。バラスト位置 20mm のときに最大エネルギーとなっており、周波数比はマシュー型不安定の条件である 2.0 に最も近いことが分かる。図 2 中の矩形枠の内側を見ると、大振幅縦揺れが突然起こる場所において、図 5 の理論の計算と同様の位相関係が見られる。すなわち、縦揺れが最大角度から平衡位置に戻っている間、上下加速度は負の値をとっており、反対に、縦揺れが平衡位置から最大角度に向かっていくとき、上下加速度は正の値をとる。これらの考察により、上下揺れモードから縦揺れモードへエネルギーが転移したように見える現象は、マシュー型不安定性によって説明できると言える。

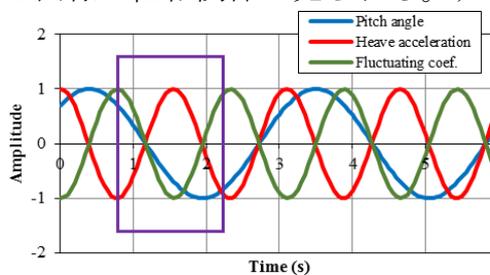


図 5 縦揺れ角、上下加速度、および縦揺れ復原力係数の時間的变化

・結言

水槽実験において、大振幅縦揺れが突然発生する現象が確認された。マシュー型不安定性の理論的考察に基づき、その現象を調べた結果、以下のことが分かった。

- (1) 上下揺れの共振状態で急激に発達する縦揺れが確認された。
- (2) その動揺エネルギーは上下揺れモードから縦揺れモードに転移したように見える。
- (3) 動揺エネルギーのピーク付近で、上下揺れと縦揺れの振動数比率はほぼ 2 に等しい。
- (4) 急激な大振幅縦揺れが発生した場合、縦揺れ角と上下加速度の位相関係は理論的なマシュー型不安定性における位相関係と一致している。

今後の課題としては、明らかとなった動揺エネルギーの転移現象を詳細に調べるため、より詳細な模型実験と数値シミュレーションを行う。