

洋上風況観測のためのドップラーライダー用動揺吸収台とその制御手法の提案

大阪府立大学 工学研究科 海洋システム工学分野 山本裕介

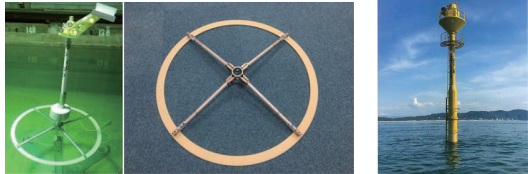
背景・目的

- 洋上風力発電施設の設置候補地における高精度な風況調査が必要
低コスト、低環境負荷な観測法として
浮体式プラットフォーム上にドップラーライダーを搭載
- 潮流、風、波による浮体式プラットフォームの運動が
ドップラーライダーの計測精度に影響を与える。

→ 浮体式プラットフォームの動揺低減が重要

本研究グループでは、低動揺浮体式プラットフォームとして、

- 姿勢安定装置付きスパーバイを提案し、浅海域と深海域での動揺低減効果を水槽試験にて確認した。
- 酒田沖（水深：19.8 m）において実証実験を実施し、風速観測精度および乱流強度観測精度が既存の浮体式風況観測システムに比べて優れ、陸上ライダーによる計測と同程度の精度を有し、スパーバイの低動揺性も確認した。



パイ全長は約27.5 m、姿勢安定装置の直径は約17 mと大きく、設置に必要なクレーン台船の備船費用が非常に高くなる。

本研究では、浮体式プラットフォームの低動揺化とは別の方法として、高精度な風況観測を実現する動揺吸収台を提案する。

カウンターウェイト型動揺吸収台

- 低動揺性が確認できている姿勢安定装置付きスパーバイ（：スパーバイ）の上部構造部にあるドップラーライダーを、上部構造部内に納まるようにカウンターウェイト型動揺吸収台に搭載する。
- 動揺吸収台の固有周期を、外力周期との同調を避けるためにスパーバイの運動周期3~12秒から外す。

単振り子の固有周期 $T_{2n} = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{g}}$ 慣性モーメント 大きく
復原力 小さく

カウンターウェイト型の運動方程式

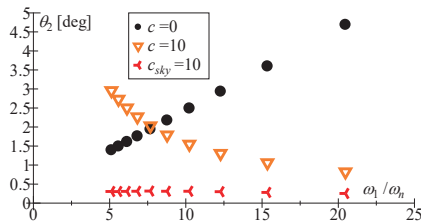
$$(I_2 + I_3)\ddot{\theta}_2 + (I_{12} - I_{13})\{\ddot{\theta}_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_2 - \theta_1)\} - M_2 g \ell_2 \sin \theta_2 + M_3 g \ell_3 \sin \theta_1 = T_c$$
 制御トルク

M_2	75.0 kg
M_3	50.0 kg
l_1	27.5 m
l_2	0.5 m
l_3	0.749 m

カウンターウェイト型の固有周期

$$T_{2n} = 2\pi \sqrt{\frac{I_2 + I_3}{(M_2 \ell_2 - M_3 \ell_3)g}}$$
 → 61.4 秒

スパーバイの運動が正弦運動（運動周期 3~12秒）であると仮定したときの動揺振幅の周波数影響



スカイフックダンパを用いたカウンターウェイト型は十分な動揺低減効果を発揮する。

制御トルクの与え方

制御トルクの与え方：各ステップごとに制御遅れなく適用

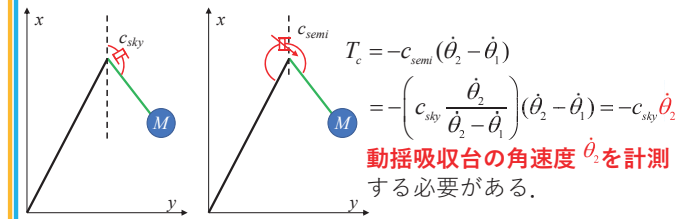
- 線形ダンパを用いて与える方法 $T_c = -c(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1)$ c : 線形減衰係数
- スカイフックダンパ理論に基づく可変ダンパを用いて与える方法

$$M\ddot{z}_B = -c_{sky}\dot{z}_B - k(z_B - z_A)$$

$$M\ddot{z}_B = -c_{semi}(\dot{z}_B - \dot{z}_A) - k(z_B - z_A)$$

c_{sky} : スカイフックダンパ理論による線形減衰係数
 c_{semi} : 可変減衰係数

スカイフックダンパ理論を動揺吸収台にも適用



復原力を持たないカウンターウェイト型動揺吸収台

カウンターウェイト型では、完全に動揺を停止させることが難しいことも判明

重心を回転中心位置にすることで、復原力をゼロにし、強制力をゼロに

これを解決するために、各瞬間の動揺吸収台の角度 θ_2 を計測してアクティブに復原力を与える。

$$(I_2 + I_3)\ddot{\theta}_2 + (I_{12} - I_{13})\{\ddot{\theta}_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_2 - \theta_1)\} - M_2 g \ell_2 \sin \theta_2 + M_3 g \ell_3 \sin \theta_1 = T_c$$

復原力がないために、何らかの外乱で鉛直下方からずれた場合、鉛直下方へと復原できない。

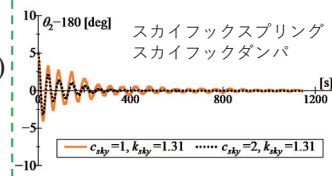
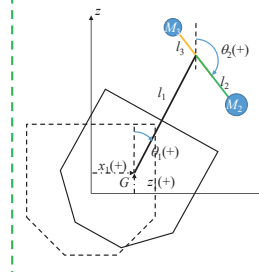
これを解決するために、各瞬間の動揺吸収台の角度 θ_2 を計測してアクティブに復原力を与える。

$$(I_2 + I_3)\ddot{\theta}_2 = T_c + T_k \quad T_k = -k_{semi}(\theta_2 - \theta_1) = -k_{sky}(\theta_2 - \pi)$$

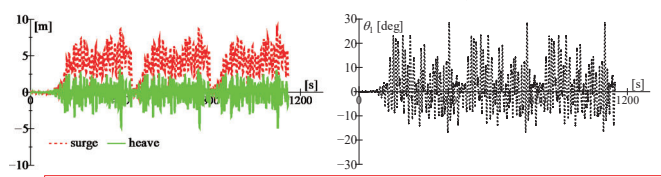
T_k : スカイフックスプリングによる復原トルク

M_2	75.0 kg
M_3	50.0 kg
l_1	27.5 m
l_2	0.5 m
l_3	0.75 m

スカイフックスプリングとは、スカイフックダンパの可変減衰係数を可変復原係数に置き換えて、それに θ_2 を掛け合わせることで復原力を与える。



ディスク型パイ（波浪観測パイとして広く使われる）に適用
鉛直面内の運動に絞っても、前後揺れ、上下揺れ、縦揺れの3自由度の運動で、スパーバイよりも揺れの大きい縦揺れの特長を持つ
大阪公立大学船舶試験にて不規則波中運動を計測（実機サイズに変換したデータを入力）



復原力を持たないカウンターウェイト型動揺吸収台をスカイフックスプリングとスカイフックダンパを適用することで、不規則運動中のディスク型パイにも十分な動揺低減効果を確認できた。
また、制御トルク（減衰トルクと復原トルク）を確認すると、両トルクを足し合わせても最大で0.1 Nm未満で、市販されている直流モータで対応可能であり、動揺吸収台の実現可能性を確認した。