

# 浮体式洋上風力発電に関する研究 その1 風水洞実験

## A Study of Floating Offshore Wind Turbine Systems Part 1 A Water Tank with Wind Tunnel Test

○ 助川 博之<sup>1)</sup> 石原 孟<sup>2)</sup> ファバンフック<sup>3)</sup> 嶋田 健司<sup>4)</sup>  
Hiroyuki SUKEGAWA<sup>1)</sup> Takeshi ISHIHARA<sup>2)</sup> Pham Van PHUC<sup>3)</sup> Kenji SHIMADA<sup>4)</sup>

### 1. はじめに

近年、陸上風力発電は、立地制限等により導入拡大が困難になりつつあることから、浮体式風力発電の実現が強く望まれている。これまでに提案された風力発電用の浮体構造としてセミサブ型<sup>1)</sup>、ポンツーン型<sup>2)</sup>、スパー型<sup>3)</sup>が挙げられる。この内セミサブ型浮体は波浪荷重が小さく、建設コストが低く抑えられる可能性が高い構造形式であり、海象条件が厳しい沖合での設置にも適している。

本研究その1ではセミサブ型浮体の動揺特性及び風車と浮体の相互作用を評価するために、剛体模型を作成し、変動風水洞を用いて風波動揺実験を実施した。

### 2. 軽量セミサブ浮体

図1に今回提案した軽量セミサブ型浮体を示す。構造はRC造の基礎浮体、鋼管製の連結部材およびそれらを緊張するケーブルから構成される。連結部材は水平の波浪荷重に対して主として軸力を抵抗している。また係留系には中間シンカー付きのカテナリー係留を採用し、固有周期を波の有義波周期よりも長く設定することにより波浪動揺の低減を図っている。

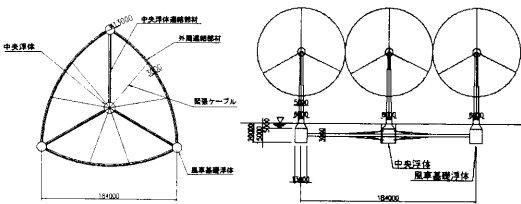


図1 洋上風力発電用セミサブ浮体

### 3. 実験概要

実験は(独)海上技術安全研究所の変動風水洞(水槽部長さ17.6m×幅3m×水深1.5m、造波装置:フラップ式)で実施した。浮体模型はフルードの相似則<sup>4),5)</sup>に基づく実機の1/150スケールを想定したアクリル製剛体模型を用いた。また、浮体と風車との相互作用を評価するために、風車ロータの効果については、発電時においてスラスト係数0.33に相当する抵抗板、暴風時においてフェザリング状態に相当する等価面積を模擬した

板により考慮した。係留は暴風時の定常外力が作用した時のバネ剛性をスケールダウンした水平線形バネで再現した(図2)。入射波高は模型位置に設置した抵抗線式波高計により計測した。浮体の動揺は中央基礎浮体上に設置したターゲットの動きを3台のCCDカメラで投影し、画像解析処理(ディテクト:DIPP-Motion)によって6自由度の変位に変換し計測した。実験の計測時間は60s、サンプリング周波数は変位計測についてはカメラ機能制約で20Hz、その他は1kHzとした。本実験では規則波を用い、実験結果はすべてフーリエ展開により造波周期に対応する成分で整理した。

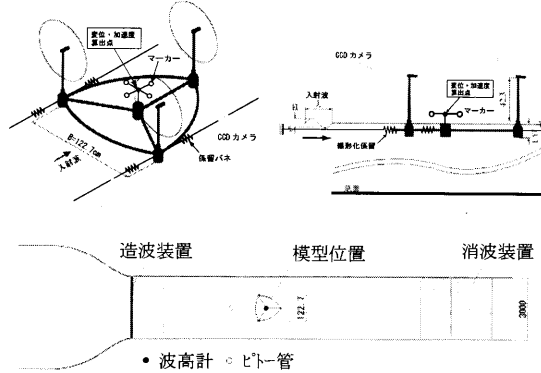


図2 計測システムの概略図



(a)発電時

(b)暴風時

図3 浮体模型

表1に実験ケースと実機との対応を示す。風速は、発電時において2m/s、暴風時において4m/sとして実験を行った。また、比較のため無風時における各ケースに対応する実験も実施した。

なお、自由振動から求めた模型の固有周期はサージ、ヒープ、ピッチそれぞれ2.87s, 3.00s, 2.72sである。

1) 東京大学大学院工学系研究科総合研究機構 研究員  
Researcher Institute of Eng. Innovation, Univ. of Tokyo  
2) 東京大学大学院工学系研究科総合研究機構 助教授  
Assoc. Prof. Institute of Eng. Innovation, Univ. of Tokyo

3) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 大学院生  
Graduate Student Dept. of Civil Eng., Univ. of Tokyo  
4) 清水建設株式会社技術研究所施設基盤技術センター主任研究員  
Senior Researcher Institute of Technology, Shimizu Co.

表 1 風波動揺実験と実機との対応

ケース	模型スケール			実機スケール		
	波高 (cm)	波周期 (s)	風速 (m/s)	波高 (m)	波周期 (s)	風速 (m/s)
発電時	4	0.6~3.0	2.0	6	7~37	25.0
暴風時	8		4.0	12		50.0

4. 実験結果

本実験では、浮体模型に対して正面入射規則波実験であるため、サージ、ヒープ、ピッチ方向の動揺量のみ評価した。

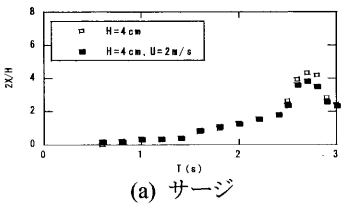
図 4 には波高で無次元化された発電時における動揺量の周波数応答を示す。ただし長周期領域では波の反射の影響により波高 4cm で計測されたピッチの時系列データが急激に減衰したためこれらのヒープ、ピッチデータを除いた。図 4(a)からサージでは、風波動揺実験の値は無風時実験の値に比べ共振周期付近での振幅が減少していることが分かる。これは、風車ロータの抗力による空力減衰効果によるものと推定される。一方、共振周期から離れると無次元化された動揺量は風速の影響が小さいことが分かった。

図 5 には暴風時の結果を示す。図 5 では風速によらず、無風時の値とほぼ一致したことが分かる。これは、ブレードに起因する空力減衰が、流体力による減衰に比べ十分小さいためと考えられる。

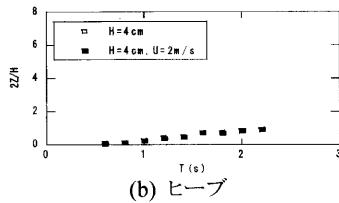
表 2 には動揺量の実験結果と実機スケールに換算した値を示す。発電時の動揺量はサージ 0.72m、ヒープ

表 2 動揺量結果と実機スケール換算値

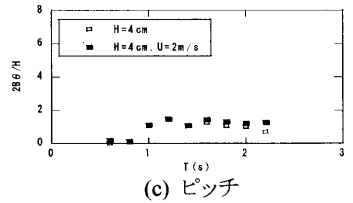
	模型スケール				実機スケール			
	周期 (s)	サージ (mm)	ヒープ (mm)	ピッチ (deg)	周期 (s)	サージ (m)	ヒープ (m)	ピッチ (deg)
発電	0.8	4.77	2.51	0.10	9.8	0.72	0.38	0.10
暴風	1.0	16.39	7.65	2.38	12.0	2.46	1.15	2.38



(a) サージ

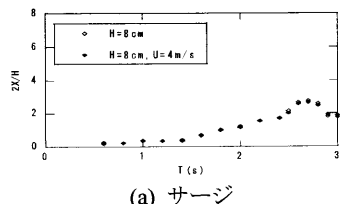


(b) ヒープ

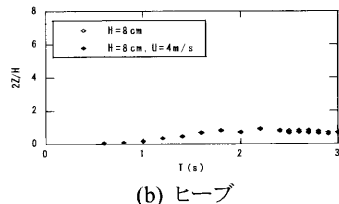


(c) ピッチ

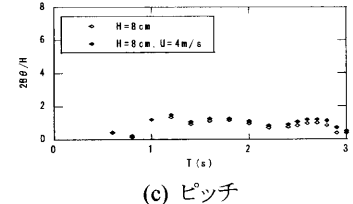
図 4 発電時周波数応答関数



(a) サージ



(b) ヒープ



(c) ピッチ

図 5 暴風時周波数応答関数

0.38m, ピッチ 0.10deg と小さく動揺による風力発電量および風車本体への疲労に与える影響は小さいと予想される。また暴風時においてもサージ 2.46m, ヒープ 1.15m, ピッチ 2.38deg であり十分に安定していることが確認された。

5. まとめ

本研究では、浮体式洋上風力発電のために開発された軽量セミサブ浮体を対象に風水洞実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 提案された浮体は風車発電時の動揺量が小さく、暴風時においても十分に安定していることが確認された。
- 2) 発電時における無次元サージの値は共振周期付近で、風車ロータの抵抗に起因する空力減衰により、無風時に比べサージの振幅が減少することが分かった。
- 3) 暴風時においては風の影響は殆ど見られない。これは暴風時には流体力による水力減衰効果が支配的であると考えられる。

謝辞

(独)海上技術安全研究所の矢後清和氏ならびに大川豊氏には実験に関して有益なるご指導を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) A. Henderson, M. Patel: Rigid-Body Motion of a floating offshore wind farm, Int. Journal of Ambient Energy, Vol.19, 1998. 2) 海上技術安全研究所: <http://www.nmri.go.jp> 3) 澤井貴之: 大型風車搭載用のスパー型浮体に関する基礎的研究, 東京大学修士論文, 2003. 4) 日本造船学会 海洋工学委員会性能部会編: 実践浮体の流体力学, 成山堂書店, 2003. 5) 高山知司, 永井紀彦, 菊地治, 諸石一幸: 港湾技術研究報告, 第 19 巻, 第 3 号, pp.71-103, 1980.