

PS-27 海流発電の水槽実験

海洋利用水中技術系 * 松井 亨介、中條 俊樹、羽田 絢、二村 正、石田 茂資、井上 俊司

1. はじめに

海流発電の実海域における実証事業の検討においては、安全性の確保も重要である。従来経験のないシステムの安全性評価においては、一般的に実験が欠かせないが、海流発電についての安全性に着目した系統的な実験については、事例の十分な蓄積が未だ無い。そこで、実験法の確認や、実験の際の留意点の明確化を目的として、水槽実験を行った。対象とした海流発電のタイプは、国内で検討が進んでいるタイプを一般化したものとした。海洋エネルギー発電施設の安全性評価においては、通常の発電状態に加えて、異常停止、故障、事故等の様々な過酷状態を検証する必要がある。このような状態が模擬できる模型を用い、安全性評価に必要な荷重と運動を計測した。本報では、実験方法の概要と結果例を報告する。

2. 水槽試験

2.1 供試模型

模型は2枚翼ローターを搭載するポッド部2基とそれらを左右に連結するクロスビームで構成される。模型縮尺は1/50、アンカー深さは3.5mとし、静止状態でポッド、クロスビーム単体で水平に浮くように設計した。全体の空中重量は約18kg、水中重量は約0.8kgである。ポッド内部に発電トルクを模擬する直流制動モータを搭載した。荷重等計測センサーは、クロスビーム中央の3軸回りモーメントおよびローターのスラスト、トルク、回転数のセンサーを模型に組み込んだ。模型の概観を図-1に示す。

ブレード模型は、2枚翼、翼型 NACA0015、高揚抗比 (Cl/Cd)、周速比 $\lambda=6$ を想定し、揚抗比の最大点 (有効迎角 6.5deg) を設定点として最適振り角と弦長を求めた。

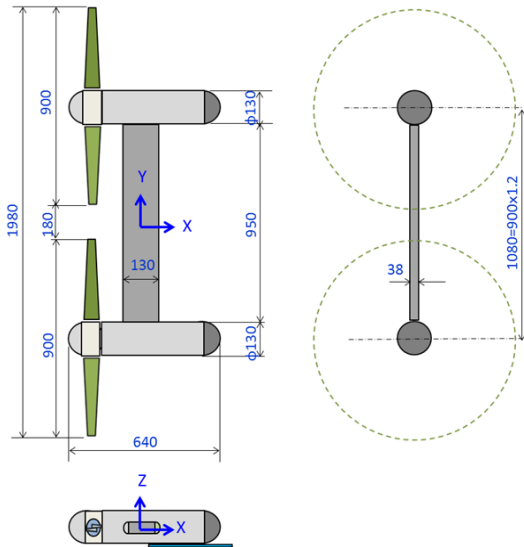


図-1 供試模型概観

2.2 計測項目

- ・ローター荷重：左右ロータースラスト、トルク
- ・クロスビーム荷重：クロスビーム中央3軸モーメント
- ・位置保持荷重：係留索張力
- ・浮遊体運動：6自由度運動、浮遊体の水平角と仰角

2.3 ローター基本特性試験と水中浮遊試験

ローター基本特性試験 (拘束試験) は、曳引台車に固定した拘束治具に模型のクロスビームを拘束し、曳引台車を流速相当速度で走行させた。基本特性は、ローターにクロスビームとポッドの伴流影響がない状態 (OPEN 状態) とし、ローターが上流となるように浮遊状態の逆方向に曳引台車を走行することにより計測した。

水中浮遊試験 (曳航試験) は、発電・故障等の稼働状況での荷重・運動特性の把握するために、浮遊模型を曳引台車に固定した曳航ロッド下端の水深 3.5m 位置にワイヤにより係留し、曳引台車を流入速度に相当する速度で走行して模型を曳航し海流を模擬した (図-2)。

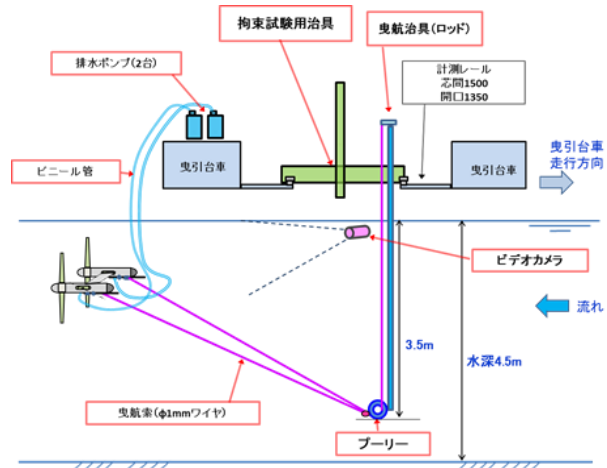
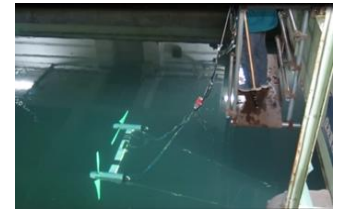


図-2 水中浮遊試験

3. 試験結果

3.1 ローター基本特性

ローター基本特性として、流速 0.2m/s、ブレードピッチ角 $-2\sim 6\text{deg}$ のスラスト係数とトルク係数を周速比ベースにまとめて図-3に示す。また、ブレードピッチ角 2deg について、翼素運動量理論と CFD (有限体積法) による数値計算結果を重ねて図-4に示す。スラスト・トルク係数共に失速領域より速い周速比 4 以上の領域でよい一致を示している。

この基本特性から、水中浮遊試験（曳航試験）の基準状態は、ブレードピッチ角 2deg、周速比 6（流速 0.20m/s、回転数 0.424rps）とした。

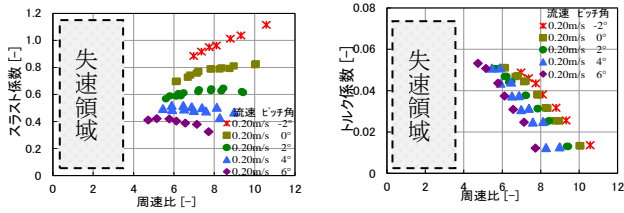


図-3 ローター基本特性

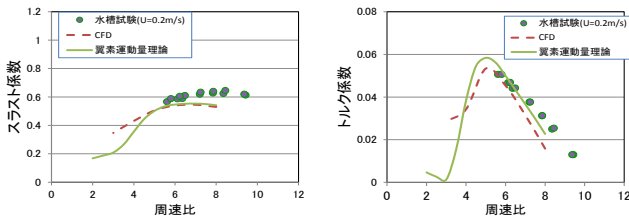


図-4 実験と計算値比較（ブレードピッチ角 2deg）

3.2 水中浮遊試験

水中浮遊体の曳航姿勢は模型重心に働く 3 力（水中重量・スラスト・係留索張力）のつり合いで決まる（図-5）。水中重量（浮力）は変わらないため上下位置（仰角）はスラストに依存し、スラストが減少すると模型は上昇し、スラストが増加すると下降する。

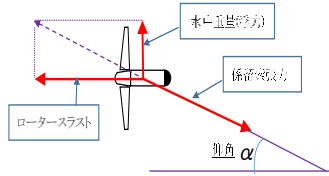


図-5 3力のつり合い

(1) 発電中基準状態

発電の基準状態は、周速比 6、流速 0.20m/s、回転方向外回りとした。回転方向内回り加えた試験状態の運動と荷重の平均値を表-1 に示す。

基準状態の曳航姿勢は 3 力の釣合いにより安定して姿勢を保持しており、海流発電の水槽試験に本試験模型、試験装置および試験方法が有効であることが確認できた。

回転方向の違いにより、浮遊体の曳航姿勢はほとんど変わらない。影響はクロスビーム曲げモーメント M_x に現れ、外回りではクロスビームが上に凸になる方向になり、内回りでは逆向きになる。 M_x の大きさは、ロータートルク（片側）と等しくなっている。

表-1 発電状態の運動と荷重の平均値

試験	回転方向	流速 m/s	Heave		Pitch deg	仰角 deg	クロスビーム曲げモーメント			スラスト		トルク		係留索張力(左)	係留索張力(右)
			Heave	Pitch			ΔM_x	ΔM_y	ΔM_z	(左)	(右)	(左)	(右)		
基準状態	外	0.20	-1.23	40.9	25.7	0.15	0.00	-0.09	7.16	7.01	0.25	0.24	7.91	8.01	
回転方向	内		-1.18	42.0	26.4	-0.34	-0.03	-0.05	6.74	6.33	0.22	0.20	7.52	7.73	

(2) 発電中故障、異常発生状態

代表的な計測結果を表-2 に示す。過酷状態で正常発電時よりも荷重が増しており、安全性評価上で留意が必要である。

表-2 代表的な計測結果の一覧

	クロスビーム曲げモーメント(Nm)			係留張力(N)
	横曲げ	水平曲げ	ねじり	
正常発電	0.31	0.01	0.04	8.22
1基停止	0.65	0.69	1.00	10.31
ブレード1枚欠損	0.55	1.24	1.29	9.76
係留1本破断	0.85	0.41	1.05	12.85

この中で、係留 1 本破断の過渡応答を計測項目の時系列グラフと正面ビデオ画像から切り出した写真の形で図-6 に示す。係留 1 本破断の運動過渡応答は片側 1 基停止の挙動にヨーを加えた形となる。左係留索が破断すると、右係留索 1 本で曳航する形になり、浮体は横向きに曳航されながら左ポッドから浮上していく。右の係留張力は、左破断後右ローターが遊転している間はスラストが発生するため正常発電状態の 7N から 10N まで増加するが、右ローターが停止すると 5N 程度になっている。

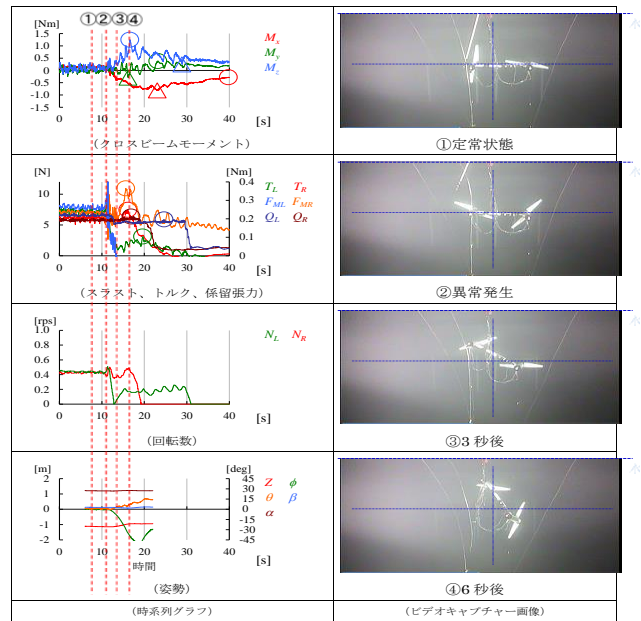


図-6 係留 1 本破断

4. おわりに

- 海流発電施設を対象に、異常停止、故障、事故等の様々な過酷状態を含め、安全性評価に必要な状態を模擬した水槽実験を実施した。
- 実海域を想定した流速条件下で、安全性評価に係る項目として、ローター荷重、クロスビーム荷重、係留荷重、浮体運動を計測し、異常時や故障時にはクロスビームや係留索に安全性評価上留意すべき荷重が発生する可能性があることを示した。
- ここで実施した実験法は、当該分野の実験における一つの標準的実験事例になり得ると考える。

本研究は、平成 27 年度国土交通省海事局受託研究「潮流・海流等海洋エネルギー発電施設の安全対策のための調査研究」の一部として実施した。関係各位に感謝の意を表す。