

PS-4 NGH-FPSO に関する風洞・水槽実験

海洋開発研究領域

三井造船(株)

(財)日本海事協会

(株)海洋工学研究所

*佐藤 宏, 加藤 俊司, 難波 康広, 正信 聡太郎

浅沼 貴之, 岩井 勝美

高沖 達也, 平井 一司, 亀井 操, 神田 雅光

有馬 俊朗, 浦口 能充

佐尾 邦久

1. はじめに

近年, 海洋中小ガス資源の開発・有効利用において NGH-FPSO が注目されているが, その技術的課題の一つとして, 低温かつ粉末状の NGH を積み出すためのオフローディング技術の開発が求められる。

著者らは, 平成 15 年度から NGH-FPSO 用オフローディング装置の研究開発を進めている。本稿では, 平成 16 年度に行った NGH-FPSO システムの外力評価試験, 複合外力中総合模型試験の概要について報告する。

2. 想定実機

NGH-FPSO, シャトル想定実機の主要目を表 1 に示す。

表 1 NGH-FPSO, シャトル主要目

	NGH-FPSO	シャトル
L_{OA} [m]	300	305
L_{pp} [m]	300	285
B [m]	60	46
D [m]	33.0	24.5
d [m]	16.0	14.5

オフローディング装置は, 搬送装置とそれを支える構造で構成されている。搬送装置は水平コンベヤと垂直コンベヤからなり, FPSO とシャトルとを接続した状態で 2 船体間の相対変位量を吸収するために, 蛇腹構造をもつ伸縮式のシューターが取り付けられる。図 1 にオフローディング装置の概要を示す。なお, オフローディング時には FPSO とシャトルは係船装置で接続される。

3. 模型試験

NGH-FPSO-シャトル接続時の複合環境条件下における外力評価を行うために, 風力, 波力及び

潮流力計測試験を行った。また, オフローディングシステムの稼働性を評価するために, タレット係留された NGH-FPSO とシャトルをオフローディング装置と係船装置模型で接続し, 波浪中並びに複合外力条件(風, 波, 潮流)下での総合模型試験を行った。

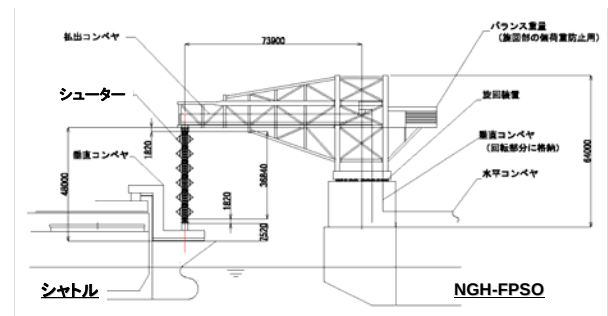


図 1 オフローディング装置の概要

試験は, 当所の海洋構造物試験水槽(長さ 40m, 幅 27m) 及び変動風水洞(長さ 15m, 幅 3m, 高さ 2m) において行った。

3. 1 外力評価試験

(1) 風力計測試験

試験は変動風水洞で行った。模型縮尺は 1/170 とし, 材質には FPSO, シャトルともに木材と FRP 樹脂を使用した。

本研究では, NGH-FPSO とシャトルが接続された状態について検討する必要があるので, 簡易ターンテーブルを新たに製作して, 風洞内に既設されているターンテーブルの後方に設置した。

FPSO 模型並びにシャトル模型を, ロードセル型検力計を介して各ターンテーブルに設置した。FPSO とシャトルを接続した状態で, 相互干渉影

響を含む風力評価を行うため、それぞれの風向を変えて、FPSO 及びシャトルに作用する風力を計測した。風向はそれぞれのターンテーブルを回転して変更した。写真 1 に試験の様子を示す。

さらに、両者単独での風力計測も行った。FPSO 背後にあるシャトルへ流入する風特性を把握するために、FPSO 単独の風力計測時には、模型背後の風速分布の計測も行った。

表 2 に計測項目、表 3 に試験条件を示す。図 2 に風向の定義を示す。

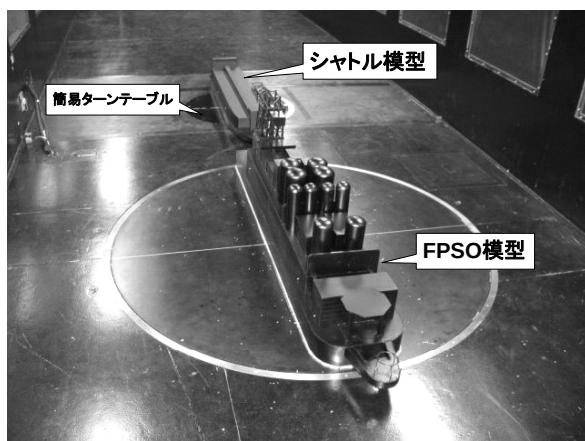


写真 1 風洞試験の様子

表 2 計測項目

計測項目	計測装置	備考
FPSO風荷重	6分力計	容量100kgf
シャトル風荷重	3分力計	容量50kgf
風速	ヒート管 熱線型風速計 超音波風速計	風洞制御用 流入風速用 FPSO後流計測用

表 3 試験条件

	状態	FPSO単体	シャトル単体	FPSO-シャトル接続
角度	α	0~180° (15° 刻み)		0, 15, 30, 45°
	β		0~180° (15° 刻み)	相対角 ($\beta - \alpha$) 0, ±15, ±30, ±45, ±60°
風力	風速	5, 10, 15m/s		
	後流速の空間分布	計測	無し	無し

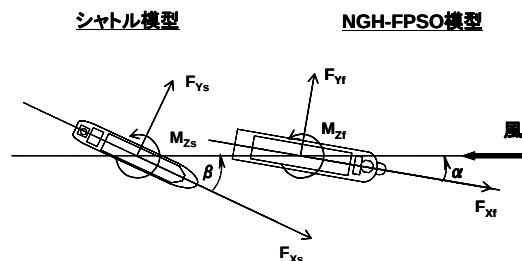


図 2 風向の定義

(2) 波力・潮流力計測試験

試験は海洋構造物試験水槽で行った。模型の縮尺は 1/150 とし、材質には FPSO がアクリル材、シャトルは硬質ウレタン及び木材を使用した。

本試験ではオフローディング状態を模擬するために、新たに簡易ターンテーブルを製作して、水槽内台車のターンテーブルに設置した。FPSO 模型はターンテーブル、シャトル模型は簡易ターンテーブルにロードセル型検力計を介して設置し、それぞれのターンテーブルを回転させることによって波向及び流向を変えて波力及び潮流力を計測した。潮流力は模型を曳航して計測した。水深は 1.8m であった。

両模型単独での波力及び潮流力計測も行った。FPSO 背後にあるシャトルへ流入する潮流特性を把握するために、FPSO 単独の潮流力計測時には、模型背後の流速分布の計測を行った。

写真 2 に水槽試験の様子、表 4 に計測項目、表 5 に試験条件、図 3 に角度（波向，流向）の定義を示す。

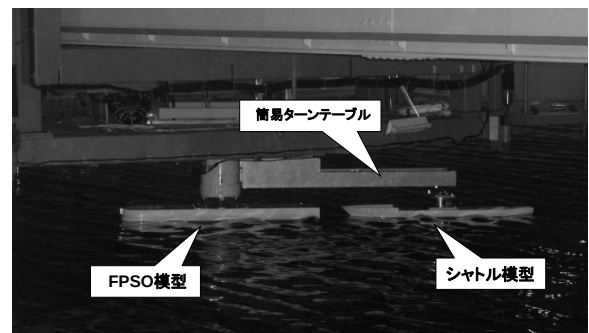


写真 2 水槽試験の様子

表 4 計測項目

計測項目	計測装置	備考
FPSO波力・潮流力	6分力計	容量100kgf
シャトル波力・潮流力	6分力計	容量100kgf
波高	サーボ式波高計×2 容量式波高計	入射波，位相用×2
流速	超音波流速計	容量20cm/sec

表 5 試験条件

	状態	FPSO単体	シャトル単体	FPSO-シャトル接続
角度	α	0, 30, 60°		0, 30, 60°
	β		0, 30, 60, 90, 120°	相対角 ($\beta - \alpha$) 0, ±30, ±60°
波力	規則波	波周期	0.5~1.6秒 (0.1秒ピッチ), 1.8, 2.0, 2.4, 3.0秒	
		波高	4cm	2.2cm
	不規則波	スペクトル形	JONSWAP	
		ピーク周期	0.629, 0.808, 0.988, 1.17秒	
潮流力		有義波高	2.7cm	
	流速		(5), 10, (15), 20cm/s	
	後流速の空間分布	計測	無し	無し

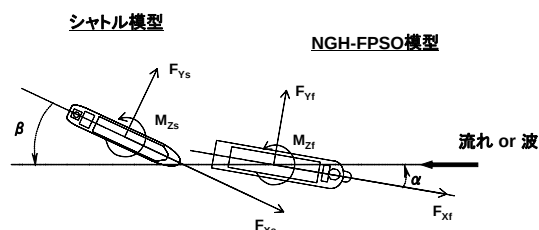


図 3 波向・流向の定義

3. 2 総合模型試験

タレット係留された FPSO とシャトルをオフローディング装置模型と係船装置模型で接続した状態で波、風、潮流それぞれの単独条件下及び複合環境条件下（波、風、潮流）での動揺試験を行い、各種動揺のほかにシューター部の相対変位、タレット係留力などを計測した。水深は 1.5m であった。

波力・潮流力計測試験で使用した船体模型（縮尺 1/150）に上載構造模型を設置したものを使用した。表 6 に模型の主要目を示す。ただし、表中の「模型（縮尺 1/150）」は模型の要目を実機スケールに換算したものである。また船底側方にはビルジキールを取り付けた（FPSO：深さ 4mm（80% L_{pp} ），シャトル：深さ 2.7mm（25% L_{pp} ））。

表 6 水槽試験用模型主要目

		NGH-FPSO		シャトル	
		想定実機	模型(縮尺1/150)	想定実機	模型(縮尺1/150)
L_{pp}	[m]	300	300	285	285
B	[m]	60	60	46	46
D	[m]	33.0	33.0	24.5	24.5
d	[m]	16.0	16.0	14.5	14.5
質量	[kg]	2.830×10^8	2.747×10^5	1.520×10^5	1.478×10^5
重心高さ KG	[m]	24.3	24.2	15.4	15.5
重心 x 座標	[m]	0.0	0.0	5.4	4.8
横メタセンタ高さ GM	[m]	2.95	3.15	3.95	3.90
縦メタセンタ高さ GM _L	[m]	442.6	437.4	397.6	394.5
横揺慣動半径 k_{xx}	[m]	22.5	23.0	17.0	17.0
縦揺慣動半径 k_{yy}	[m]	71.0	71.6	72.0	72.2

－ 参考 －

浮面心 x 座標	[m]	-3.3	-2.3
浮心高さ KB	[m]	8.1	7.8
浮心 x 座標	[m]	0.0	5.4
水線面積 A_w	[m ²]	17600	11300
x 軸周りの水線面断面 2 次モーメント I_{xx}	[m ⁴]	5.287×10^6	1.747×10^6
y 軸周りの水線面断面 2 次モーメント I_{yy}	[m ⁴]	1.266×10^8	6.002×10^7

係船装置はヨーク係船とホーサー係船の二種類とした（写真 3、写真 4 参照）。ホーサー係船時にはモーター 2 台を使用したアスターン模擬装置（実機 33.75tf 相当の推力を模擬）を用いて試験を行った。

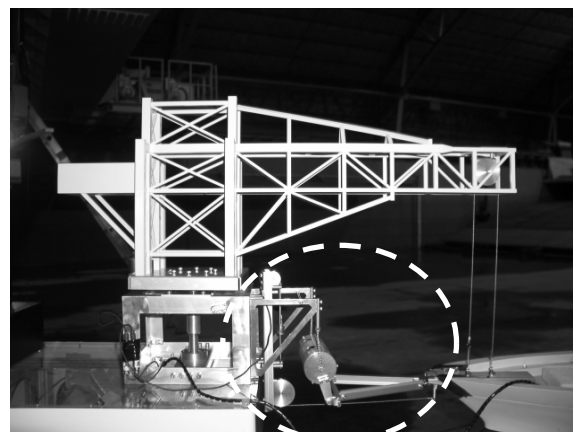


写真 3 ヨーク係船装置模型

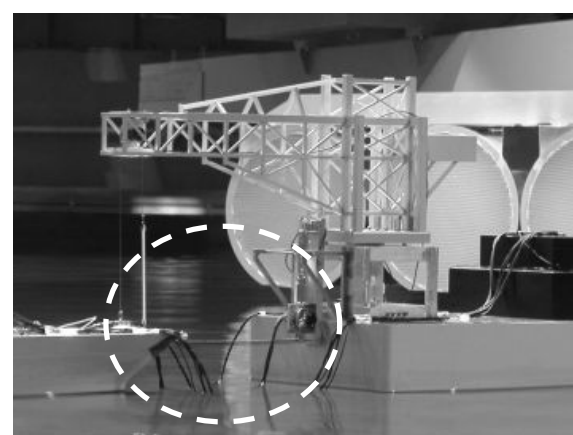


写真 4 ホーサー係船装置模型

FPSO の係留は写真 5 に示すような 8 点タレット係留システムとした。係留ラインは設計値に最も近いショートマンテルチェーン（Nissa IS8N チェーン）を用いた。表 7 に係留ラインの主要目を示す。係留張力を計測するためにタレット上部に 8 点の張力計（容量 2kg）を取り付けた。



写真 5 タレット模型

表 7 係留ライン主要目

	線径	空中重量	水中重量	
実機(模型スケール)	0.83 [mm]	15.0 [g/m]	13.0 [g/m]	第R3種チェーン
模型	0.80 [mm]	15.2 [g/m]	13.3 [g/m]	IS8N

ホーサーロープのモデル化に関して、実機では Viking ロープ (Nylon114-168φ) を用いるが、模型ではロープの張力特性を線形近似し、ばね定数が相似になる線形ばね (ばね定数 1.39kg/m) を使用した。

複合外力条件を実現するために、新たに風発生装置を製作した (写真 6)。これによって任意の風向で風を発生させることができる。

表 8 に計測項目、使用した計測センサー及び計測システムを示す。

図 4 に出会角の定義を示す。試験の様子を写真 7 に示す。



写真 6 風発生装置

表 8 計測項目

計測項目	計測センサー	計測システム
波	サーボ式波高計×2, 容量式波高計×1 (入射波及びFPSO, シャトル位相用)	台車データ収録システム
流れ	超音波流速計×1 (Vx, Vy)	
風	熱線型風速計×1	
タレット係留力	張力計 2kg×8	
FPSO動揺	Surge, Sway, Yaw: ポジションセンサー×2	
シャトル動揺	Surge, Sway, Yaw: ポジションセンサー×2	FPSO内蔵型データ収録システム
FPSO動揺	Roll, Pitch: FOGジャイロ Heave: 上下加速度×2	
FPSO-シャトル相対変位	歪用ポテンショ	
シューター変位	歪用ポテンショ	シャトル内蔵型データ収録システム
シャトル動揺	Roll, Pitch: FOGジャイロ Heave: 上下加速度×2	

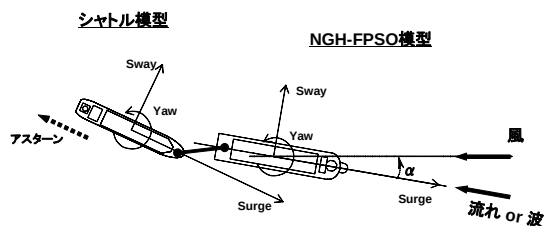


図 4 出会角の定義

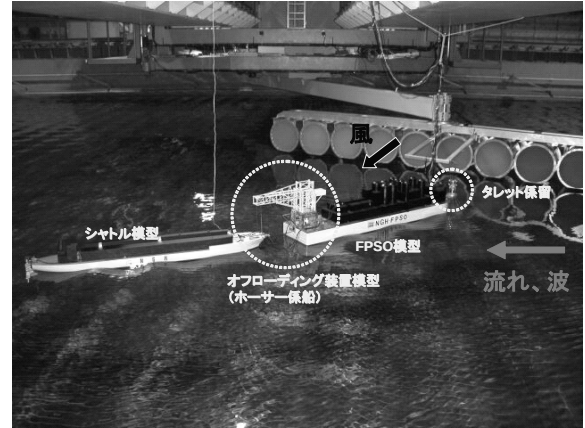


写真 7 総合模型試験の様子

4. まとめ

NGH-FPSO-シャトル接続時の外力評価試験及び総合模型試験を行った。外力評価試験では、接続状態での計測を可能とするために、新たに簡易ターンテーブルを製作した。総合模型試験では、風・波・潮流の複合外力下での試験を可能とするために、新たに風発生装置を製作した。

試験結果については、第 5 回海上技術安全研究所 研究発表会講演集, 2005^{2) 3)}を参照されたい。

謝辞

本研究は、競艇公益資金により日本財団の援助を受けて、海洋政策研究財団が行う技術開発基金による補助金を受け実施されたものであることをここに記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 難波康広他: NGH-FPSO 用オフローディング装置の開発-浮体動揺を再現した搬送模型試験-, 第 4 回海上技術安全研究所 研究発表会講演集, 2004
- 2) 浅沼貴之他: FPSO とシャトルタンカーに作用する複合環境外力推定法に関する研究, 第 5 回海上技術安全研究所 研究発表会講演集, 2005 (予定)
- 3) 正信聡太郎他: 複合環境条件下でのオフローディング装置の稼働性評価, 第 5 回海上技術安全研究所 研究発表会講演集, 2005 (予定)