潮流中におけるライザーの挙動計測実験

海洋開発研究領域 *伊藤 和彰、田村 兼吉、前田 克弥、 國分 健太郎、久松 勝久、森山 春樹

1. 緒言

ライザーは浮体と海底を繋ぐパイプであり、海 洋石油掘削・生産、海洋温度差発電、マントルの 採取といった用途で用いられる。ライザーは厳し い海象条件の中で稼働するため、破断・破損が重 要な問題となり、その設計に際しては、作用する 力を適切に評価する必要がある。ライザーに作用 する外力のうち、重要なものの一つに潮流がある。 潮流中におけるライザーの特性を把握するために は、一定な流場中での系統的な挙動計測実験が必 要となるが、深海水槽の従来の潮流発生装置は変 動が大きく、一定の流れを生成することは困難で あった。そこでより安定した流れを生成するため の上部潮流発生装置の改良を行い、これを用いて SSHR と呼ばれる 3000m 級のライザーの 1/100 模 型の挙動計測実験を行った。

2. 潮流発生装置

2.1 既存の潮流発生装置

従来の潮流発生装置は、生成される流れがある 範囲で一定であることを目標に設計された。その 範囲は、上部円形水槽部分で高さ5m、幅1m、深 海ピット部分で高さ1m、幅0.5mである。最大流 速は円形水槽部において0.2m/s、深海ピット部で 0.1m/sを目標とし、上部および下部潮流発生装置 の設計を行った。これらの設計概念は以下のよう である。

- ノズル形状を狭くし、最大流速をより大きな ものとする。
- ノズル内に穿孔ボードを設置し一定圧力での 吹き出しとなるようにする。

Fig.1、2に潮流発生装置設置図を示す。上部潮







Fig.2 Illustration of re-creation upper current generator



Fig.3 Sectional plane of nozzle part of upper and lower current generators

流発生装置は円形水槽に固定されており、吸込み 口と吹き出し口の 1 対からなる。ノズルは Fig.3 に示すように、高さ 3m 幅 0.2m である。ノズルに は 4 個のルーバーがあり、このルーバーは流れを 拡散させ、先に示した範囲で一様流れを生成する ためのものである。また、上部潮流発生装置は直 径 485mm のインペラを出力 11.0kW のモーターに より駆動する。

下部潮流発生装置は Fig.3 右側のように吐き出 し口からなり、出力 5.5kW、直径 276mm インペラ を持つモーターが備わっている。また、この装置 は、深海ピット内の壁面レール上任意の位置に設 置できるようになっている。



Fig.4 Example of measured time series of inline current speed at center of circular basin



Fig.5 Example of measured time series of inline current speed at center of deep pit

Fig.4、5 は、上部および下部潮流発生装置での 流れの計測結果の一例である。Fig.4 より、上部の 流れは大きな速度変動を示している。Fig5 より、 上部の流れと比較して、下部側の流速の速度変動 は小さい。上部の流れの大きな乱れは、模型実験 を行う際に大きな問題となるため一定の流れを生 成すべく、上部潮流発生装置の改良を行った。

2.2 上部潮流発生装置の改良

上部潮流発生装置の改良に際し、 1/6.5 の上部 潮流発生装置の模型を作成し実験を行った。まず、 ノズルと計測点の距離の影響を調べた。その距離 はノズルから 1000mm、875mm、1125mm である。 Fig.6 に計測点の配置図および、流速の時系列結果 を示す。



Fig.6 Measured time series of inline current speed in each measured points

グラフから吹き出し口に近いほど、安定した流れ が得られることが解った。

次に、吸込み口の位置を変化させ、影響を調べた。Fig.7に計測点の配置図および、流速の時系列結果を示す。グラフより、吸込み口の位置を近づける効果はあまり無いことが解る。さらに、ノズル形状についての検討を行った。具体的には、穿孔ボードのみの場合と穿孔ボードとハニカムコアを取り付けたものの比較を行った。Fig.8にノズル形状と計測結果を示す。グラフより、ハニカムコアを取り付けたものは安定した流れを生成できることがわかる。

これらの結果より、安定した流れを得るために は、1) 吹き出し口を計測点、すなわち計測模型に 近づける、2) 吹き出し口にハニカムコアを取り付 ける、という改良が必要であることが解る。





Fig.7 Measured time series comparisons between original sink position and near sink position





Fig.8 Measured time series of inline current speed with or without honeycomb core



Fig.9 Illustration of re-creation upper current generator (sectional view)



Fig.10 Illustration of re-creation upper current generator

以上の結果を踏まえて上部潮流発生装置の改良 を行った。改良された上部潮流発生装置のノズル 部は高さ 1.5m、幅 1.0m である。以前のものと比 較して小さくなっているが、ジャバラのパイプを 取り付け、吹き出し口を計測模型に近づけること が出来る。また、円形水槽の任意の場所に設置で きるという特徴をもつ。Fig.9、10 に上部潮流発生 装置の設置状況の一例を示す。

2.3 上部潮流発生装置の検定

ノズルから 2m および 3m 離したポイントで流 速を測定した。測定点は Fig.11 に示す 9 点である。 計測時間は 600[sec]、サンプリング時間は 0.1[sec] である。この時のインペラの回転周波数は 5、8、 10、12、15、18、20 Hz の 7 ケースである。



Fig.11 Illustration of nozzle and measured points

Fig.12 はノズルから 2m、インペラの回転周波 数は 10Hz の時の時系列を示している。Fig.4 と比 較してより一定の流速が得られていることがわか る。

Fig.13、14 は平均流速と分散値である。 縦軸は インペラの回転周波数、横軸は平均流速および分 散値である。また、●はノズルから 2m の結果、 〇はノズルから 3m の結果を示している。Fig.14 より平均流速は 10%以下の分散となっている事 が解る。また transverse 方向の流れは全てのケー スにおいて 3cm/s 以下となっている。これらの結 果より、改良した上部潮流発生装置は安定した流 れを生成できることが確認された。



Fig.12 Measured Time series at 2m from nozzle (impeller 10Hz)



Fig.13 Average in line current speed measured at 2m and 3m from nozzle



Fig.14 Variances of inline current speed at 2m and 3m from nozzle

3. SSHR 模型実験

以上の結果を踏まえて、潮流中におけるライザ ーの挙動計測実験を行った。想定したライザーモ デルは長さ 2700m の生産用ライザーであり、ブイ カン、フレキシブルライザー、ライザーの3つの から成る、自立型複合ライザー(Self Standing Hybrid Riser)である。実験模型はこのモデルの 1/100 模型を作成し、挙動計測実験を行った。こ のときの流速は 0.03、 0.08、 0.12、 0.15 m/s で ある。水槽の断面図を fig.15 に示す。

計測は水槽内の 3 次元計測装置を用いて行った。計測点は Fig.16 に示すように、ライザー部分は 1m 毎に、ブイカン部分は上端と下端にマーカーを設置した。このときの模型設置状況を fig.17 に示す。

Fig.18、19、20 に結果の一例を示す。○は一様 流れのみの時の計測結果であり、●は一様流れと 波の時の計測結果である。この時の波はピアソ ン・モスコビッツ型スペクトルによる不規則波で、 最大波高は 146[mm]、周期は 1.22[sec] である。

Fig.18 はライザーの各計測点の最大到達位置で あり、左が inline 方向の最大到達位置、右が transverse 方向の最大到達位置である。ブイカンが 1m 程流されていることが表現されている。Fig.19 はライザーの各計測点の最大振幅を示している。 Fig.18 と同様に左が inline 方向の最大振幅、右が transverse 方向の最大振幅である。波が加わること により、上端部でより振幅が増加していることが 解る。Fig.19 は、ブイカンの上端、ライザー下端 から 17m および 7m の各計測点の軌跡を示してい る。Fig.19 より、ライザー、ブイカン共に 8 の字 の挙動を示していることが解る。これは VIV

(Vortex-induced Vibration)の影響であり、inline
方向の挙動は transverse 方向の挙動の倍周波数での挙動を示すことが確認できる。

4.結論

上部潮流発生装置についての調査により、以下 の結論を得た。安定した流れを得るためには、

- 吹き出し口を計測点、すなわち計測模型に近づける。
- 2) 吹き出し口にハニカムコアを取り付ける。



Fig.15 Sectional Plan of the Deep-Sea Basin



Fig.16 Locations of measurement items



Fig.17 Experimental models installed in Deep-Sea Basin

という改良が必要であることが解る。この改良を 行い、安定した流れを得ることが可能となった。 このため、安定した流場の中、ライザーの系統的 な挙動計測実験が可能となった。

この潮流発生装置を用いて SSHR の模型実験を 行い、その挙動には VIV の影響が寄与しており、 特にブイカンおよびライザーの上端部に顕著に表 れることを確認した。

参考文献

- [1] Fisher, E., Holley, P.: "Development and Deployment of a Freestanding Production Riser in Fig.18 Mean values in inline and transverse direction the Gulf of Mexico", OTC 7770, May 1995
- [2] Franklin, R., Herman, R.J., Allen, T.J.; "Lessons Learned: The Free-Standing Production Riser", OTC 12125, May 2000
- [3] Déserts, L.: "Hybrid Riser for Deepwater Offshore Africa". Offshore Technology Conference, OTC011875, May 2000
- [4] Sertã, O.B., Longo, C.E.V., Roveri, F.E.: "Riser Deep Ultra-Deepwaters", Systems for and OTC13185, May, 2001
- [5] Andueza, A.; Stefen, S.F.; Silva, R.M.; "Ultra-Deepwater Steel Hybrid-Riser Concept for Offshore Brazil", OTC 13255, May 2001.
- [6] Tamura, K.; "Introduction to the Deep-Sea Basin of National Maritime Research Institute of Japan", 1st International Workshop on Applied Offshore Hydro-dynamics, June 2003.
- [7] Kokubun, K., Maeda, K., Tamura, K.: "Introduction of Deep-sea Basin of NMRI and Feasibility Study of Model Experiment for Deep-sea Riser", Proceedings of Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (Sobena 2004), Nov 2004.
- [8] MAEDA, K., TAMURA, S., TAMURA, K., KINO, S., YAMAGICHI, S.; "Characteristics of Current Generators of Deep-Sea Basin in National Maritime Research Institute" International Workshop on Applied Offshore Hydrodynamic, April, 14-15th, 2005



measured in current with/without wave

Current speed = 0.15 m/s





wave Current speed = 0.15 m/s



Example of the trajectory Fig.19 in horizontal plane