

機関番号：12701

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008 ~ 2010

課題番号：20360390

研究課題名(和文) 内部流体影響を考慮した石油・ガス生産用フレキシブルチューブの応答予測と制御

研究課題名(英文) A prediction for and control of the response of a flexible tube for production of oil/gas with inner fluid

研究代表者

村井 基彦 (MURAI MOTOHIKO)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：60292893

研究成果の概要(和文)：

これからの大水深域での海洋開発では従来の鋼製のライザーに加え、フレキシブルなチューブ/ライザーを用いた汲み上げシステムの導入が検討されている。このシステムには潮流、洋上浮体の動揺、波浪などの外力に加えライザー内部流体の運動による外力が大きくなることが予測される。そこで、ライザーを模した10mのシリコン製の大型模型を製作し、様々な状況下での流量と振動の関係性を明らかにする水槽実験および数値モデルの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：

On an ocean development in the deep sea in the future, the introduction of the riser system using the flexible tube is examined as well as a conventional steel riser system.

It is predicted that external force by the motion of riser inside fluid becomes large as well as the external force such as a tide, waves and motions of the floating platform in this system. Therefore we produced 10m flexible riser model made by silicon and carried out the experiment in the water tank which showed the relationships among the flow quantity, the vibration and the shape and developed computational model for the analysis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：海洋工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：石油掘削、海底資源、海洋開発、ライザー、フレキシブルライザー、管内流、内部流

1. 研究開始当初の背景

近年の石油価格高騰を受けて、最近の海洋油田開発はより水深の大きな海域を目指している。現在、北海やメキシコ湾、ブラジル沖やオーストラリア北西沖などで行われてい

る海洋石油・ガス生産はセミサブ型やスパーク型の浮体構造物をプラットフォームとした生産システムや、図1に示すようなFPSOのような船をプラットフォームにした生産システムが大部分である。これらの生産システムでは洋上石油生産施設を用い、海底面の油

井と洋上浮体とをつなぐライザー管と呼ばれるパイプによって海底油田・ガス田から洋上浮体まで石油・ガスを汲み上げ、精製等行う方式である。

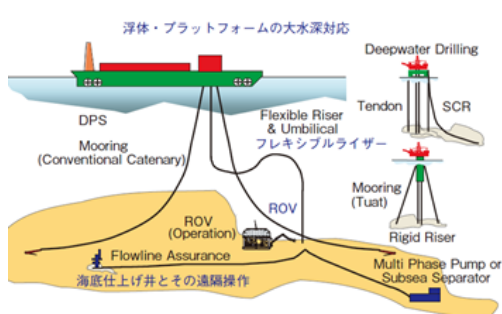


図1：海洋石油開発（石油天然ガス・金属鉱物資源機構より引用）

現在、油井と洋上浮体とをつなぐライザー管は鋼管が用いられている。この鋼製ライザーには潮流、浮体動揺などの繰り返し荷重による影響で疲労破壊が起こる可能性が高い。また、大水深化に伴い、ライザー管の固有周期が波浪・浮体動揺と同調し、より大きな荷重がライザー管に作用し破壊に至ることが推測されている。さらに、ハリケーン「カトリーナ」での被害に代表されるように浮体生産システムの安全性についても現在見直しが進められている。

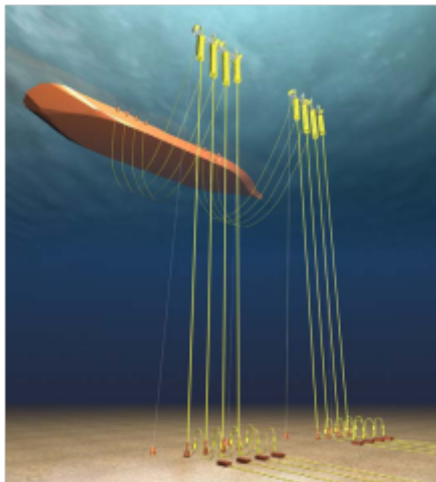


図2：自立型ライザーシステム（2H Offshore パンフレットより抜粋）

このような背景の元、図2に示すような油井から垂直にライザー管を水面下数百メートルの位置まで浮力体で自立させ、その浮力体と洋上浮体との間を「フレキシブルチューブ／ライザー」で繋ぎ、石油・ガスを油井から洋上浮体まで移送する生産システムが提案されている。また、油井から洋上浮体までの全てを「フレキシブルチューブ／ライザー」で繋ぐことも提案されている。

この「フレキシブルチューブ／ライザー」は従来よりその利便性が認められており、日本では柔軟性に基づく海底面への追従性や耐腐食性といった静的な特性を活かし、海洋深層水の取水管として海底面に敷設して陸上まで流体を輸送管として導入されている。

この「フレキシブルチューブ／ライザー」は高価なことやこれまでの海洋油田開発海域が鋼製ライザーによる汲み上げで対応できる水深での開発が主であったことから限られた一部でしか使用していないが、大水深化、石油高騰の背景を受けて今後主流になるものと考えられている。

この汲み上げラインに鋼製ライザー管よりも柔軟性に富むフレキシブルチューブ／ライザーには潮流影響、洋上浮体の運動影響、波浪影響及び内部流体影響が生じる。この中で潮流・波浪・浮体運動の影響については、その特性は異なるものの鋼製ライザー管にも作用する影響である。

一方、内部流体影響については、鋼製ライザーの場合では、その剛性が高いことから一般にその影響は問題とならないが、フレキシブルチューブ／ライザーの場合では汲み上げ時において内部流体（流体・気体・固体の混合流になる）の密度変化などに起因した振動が生じることとなる。この振動はフレキシブルチューブ／ライザーの状況（形状）によっても異なり、また、振動に起因する新たな振動が生じることも予想される。



図3：FPSOからシャトルタンカーに輸送するためのフレキシブルチューブ

既に述べたように、フレキシブルチューブの導入はこれまでのところ、海洋深層水の取水管といった静的な環境下での導入や、図3に示すフレキシブルチューブのようにFPSOからシャトルタンカーへの石油輸送などの短距離・短時間の使用であることから、内部流体の変動によるチューブの動的振動に関する影響は未だ具体的に示されていない。

そこで、本研究では特に内部流体の影響に着目し、海洋においてフレキシブルチューブを用いた様々な場合に生じる応答を数値シミュレーション

ュレーション、水槽試験などを通して予測方法を確立するとともに、その応答を低減させるための制御方法を確立することを目的とする。

内部流体影響の問題は石油ガス生産のみならず、メタンハイドレートやマンガン団塊、コバルトリッチクラストと言った海底資源採取を行う場合に必ず問題になるものであり、本研究の成果の意義は非常に大きいものとする。

2. 研究の目的

大水深域での海洋油田開発においては「フレキシブルチューブ/ライザー」を組み合わせた汲みあげシステムの導入が検討されている。ライザーシステムには潮流影響、洋上浮体の運動影響、波浪影響などの外力により大きな挙動が誘起される。従来の鋼製ライザーの挙動においては、外力成分である潮流・波浪・浮体運動の連成が主たる要素を占め、内部流体影響については、ライザーの剛性が高いことから一般にその影響は問題とされないと考えられている。しかし、柔軟性に富むフレキシブルチューブ/ライザーの挙動では汲み上げ時において内部流体（流体・気体・固体の混合流になる）の密度変化などに起因した振動が生じると考えられる。この振動はフレキシブルチューブ/ライザーの状況（形状）によっても異なり、また、振動に起因する新たな振動が生じることも予想される。本研究では特に内部流体の影響に着目し、海洋においてフレキシブルチューブを用いた様々な場合に生じる応答を数値シミュレーション、水槽試験などを通して予測方法を確立しその応答の低減について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究体制

本研究では、研究背景および目的を踏まえフレキシブルチューブ内の内部流体の影響に着目し、海洋においてフレキシブルチューブを用いた場合に生じる応答を数値シミュレーション、水槽試験などを実施した。研究体制は、横浜国立大学（以下、横国大）と（独）海上技術安全研究所（以下、海技研）の共同研究体制で臨んだ。本研究においては主に数値モデル化・解析コードの開発は横国大側が担当し、検証実験での実験手法の開発および検討を主に海技研が担当した。解析および実験に関しては原則的に共同で行った。

(2) 研究経過

初年度の2008年度は、チューブ内部流体運動とチューブの動的挙動との連成問題のモデル化およびそれに基づく動的応答特性を調べるために、陸上環境下でフレキシブルチ

ューブ内を流れる流体の流量・密度をコントロールした実験を行い、実験内部流体運動とチューブの動的挙動の検証を行った。動的挙動の数値モデルの開発においては、流力弾性挙動に関する研究とライザー挙動に関する数値モデルの検討、ならびに動的制御に関しての検討を行った。

2009年度は、チューブ内部流体運動とチューブの動的挙動との連成問題のモデル化およびそれに基づく動的応答特性を調べるために、ライザーを模した10mのシリコン製の大型模型を製作し、陸上ならびに水中環境下でフレキシブルチューブ内を流れる流体の流量・密度をコントロールした実験を行い、実験内部流体運動とチューブの動的挙動の検証を行った。動的挙動の数値モデルの開発においては、流力弾性挙動に関する研究とライザー挙動に関する数値モデルの検討、ならびに動的制御に関しての検討を行った。

2010年度は、2009年度の実験を踏まえ、チューブ内部流体運動とチューブの動的挙動との連成問題のモデル化およびそれに基づく動的応答特性を調べるために、フレキシブルチューブを模した10mのシリコン製の大型模型を製作し、水中環境下でフレキシブルチューブ内を流れる流体の流量を変化させた加振実験を行い、実験内部流体運動とチューブの動的挙動の検証を行った。また、動的挙動の数値モデルの開発においては、流力弾性挙動に関する研究とライザー挙動に関する数値モデルの検討を行った。

4. 研究成果

本研究では特に内部流体の影響に着目し、海洋においてフレキシブルチューブを用いた様々な場合に生じる応答を数値シミュレーション、水槽試験などを通じた実験的研究を行った。本研究で想定するような柔軟性を有する大型模型およびそれを用いた水槽実験は世界的にも例が無い。したがって、研究は特に如何に実験を実施するかという点に力点が置かれた。最終年度に作成した10mモデルを図4に、それを用いた水槽実験の様子を図5に示す。

これらの年度を通して発展させた水槽実験により、内部流体の影響が大きい条件、あるいは内部流体の流量の変化によってチューブの変形モードが推移する様子などが実験的にも確かめられた。また、水槽実験を通して、内部流体の影響とともにライザーに作用する渦外力によるVIVと考えられる振動の長手方向の分布を詳細に得ることができたことも、大きな成果の一つである。この分野でのインパクトは大きい。また、この内部流体の影響を考慮した運動解析ツールの開発も行った。その解析例を図6に示す。

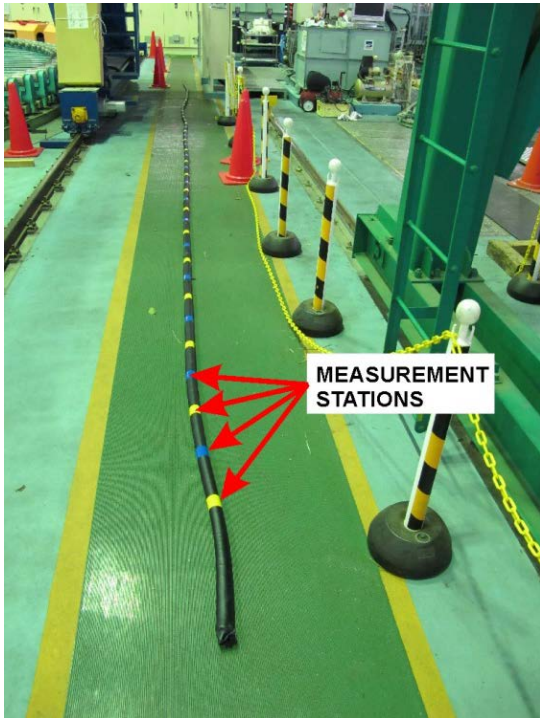


図4：10mのフレキシブルチューブ模型

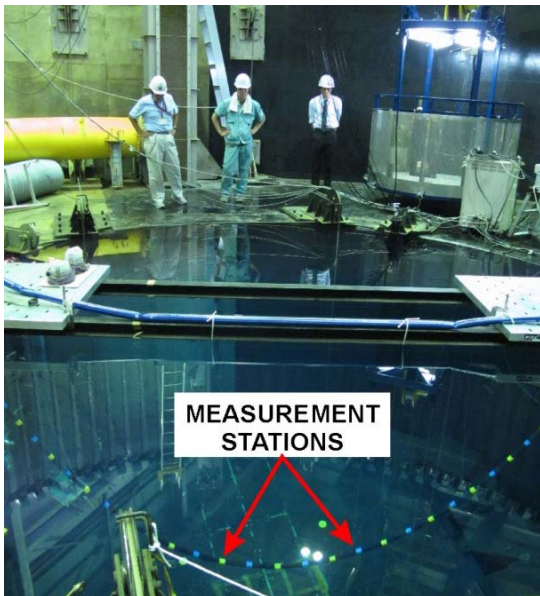


図5：10m模型を用いた水槽実験((独)海上安全技術研究所・深海水槽にて)

これらの解析結果でも示されているように内部流体の影響を検討する上で、研究当初では流速/流量変化とライザーの変形を連成させたツールの開発を目指したが、実験結果などを踏まえ、流速や流体密度だけでなく、管内摩擦などによる圧力損失の影響についても検討を行うことが可能な解析ツールの開発となった。この解析ツールをベースにしたより発展的な研究が実施されることが期待される。

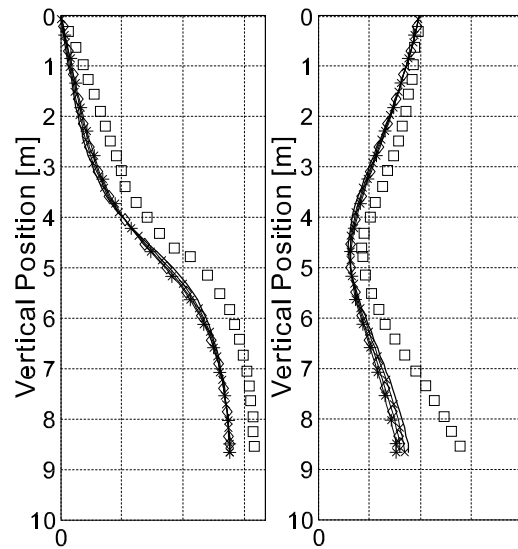
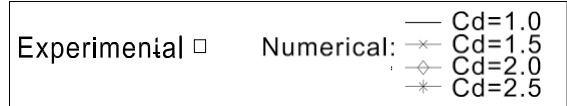


図6：内部流の摩擦影響も考慮した数値解析結果と水槽実験結果との比較の例

一方、応答の制御については動的な制御手法についての検討は行ったが、それに基づくシミュレーションコードの開発や水槽実験を通じた検証については課題が残った。しかし、本研究の中で整備されたツールの改良並びに模型を用いることで実施することが可能であること、また、本研究で実施した膨大な実験結果をより詳細に解析することで、それらについても達成可能であると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① Yamamoto, M. and Murai, M., A Study about the Dynamic Interaction between Submersed Hanging Tube and Internal Flow, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 2011, 投稿許可
- ② H. Kagemoto, M. Murai and M. Kashiwagi, Can a single floating body be expressed as the sum of two bodies, Journal Eng. Math, 査読有, Vol. 68 2010, pp. 153-164
- ③ 難波康広、宇都正太郎 他3名, Experiments for Modeling Internal Fluid Effect on Hung-off Rigid Riser Under Axial Motion, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 査読, Vol. 20, No.1, 2009, pp. 7-14
- ④ 宇都正太郎、前田克弥, 海上技術安全研

研究所の深海水槽について，日本マリンエンジニアリング学会誌，査読無，第 43 巻，第 5 号，2008，pp. 40-45

〔学会発表〕（計 11 件）

- ① Marcio Yamamoto, Motohiko Murai, Shotaro Uto, Tomo Fujiwara, An Experimental Study about the Effects of Internal Flow on the Dynamics of a Flexible Risers, 第 22 回海洋工学シンポジウム, 2011. 3. 17, 東京
- ② Motohiko Murai and Marcio Yamamoto, AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INTERNAL FLOW EFFECTS ON MARINE RISERS, Martec2010, 2010. 12. 11, ダッカ (バングラデッシュ)
- ③ M. Murai, K. Haneda, M. Yamamoto, S. Uto, T. Fujiwara, Experimental Study of Dynamic Vibration Flexible Riser, Techno-Ocean2010, 2010. 10. 14, 神戸
- ④ Marcio Yamamoto and Motohiko Murai, A NUMERICAL ANALYSIS OF THE INTERNAL FLOW EFFECT ON THE RISER' S MECHANICAL BEHAVIOR, OMAE2010, 2010. 6. 8, 上海 (中国)
- ⑤ M. Murai, M. Yamamoto, L. A. R. Quadrante, K. Haneda, S. Uto, T. Fujiwara and S. Kanada AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INTERACTION BETWEEN HANGED PIPE AND INTERNAL FLOW, OMAE2010, 2010. 6. 8, 上海 (中国)
- ⑥ M. Yamamoto and M. Murai, An Experimental Analysis of the Internal Flow Effects on Vertical Pipes, 第 22 回海洋工学シンポジウム, 2009. 8. 6, 東京
- ⑦ M. Yamamoto, M. Murai, Katsuya Maeda, S. Uto, AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN PIPE STRUCTURE AND INTERNAL FLOW, OMAE2009, 2009. 5. 31-6. 7, ハワイ
- ⑧ 難波康広、宇都正太郎他，ハンゴオフ時のライザー挙動に対する内部流体影響の定量的評価，日本船舶海洋工学，2009. 5. 27-28 神戸
- ⑨ 國分健太郎、宇都正太郎他，内部流体を考慮したハンゴオフライザーの縦弾性振動，日本船舶海洋工学会，2009. 5. 27-28, 神戸
- ⑩ M. Yamamoto, M. Murai, Katsuya Maeda, S. Uto, A Study of the Internal Flow Effects on Vibrating Risers and Pipelines, 日本船舶海洋工学会，2009. 5. 27-28, 神戸
- ⑪ 上野誠也，多数設計点を用いた実時間最短時間誘導則の設計，計測自動制御学会

制御部門大会，2009. 3. 4, 広島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村井 基彦 (MURAI MOTOHIKO)
横浜国立大学・環境情報研究院・准教授
研究者番号：60292893

(2) 研究分担者

宇都 正太郎 (UTO SHOTARO)
(独) 海上技術安全研究所・海洋開発系・グループ長
研究者番号：40358396
上野 誠也 (UENO SEIYA)
横浜国立大学・環境情報研究院・教授
研究者番号：60203460
前田 克弥 (MAEDA KATSUYA)
(独) 海上技術安全研究所・海洋部門・主任研究員 (H20 (当時))
研究者番号：90425760
藤原 智 (FUJIWARA TOMO)
(独) 海上技術安全研究所・海洋開発系・研究員 (H21-22)
研究者番号：70511591

(3) 連携研究者

特になし