

機関番号：82627

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760673

研究課題名 (和文) 振動モード変化がライザー管の渦励振に与える影響に関する研究

研究課題名 (英文) A Study of the Effects that Change the Vibration Mode of Riser VIV

研究代表者

藤原 智 (FUJIWARA TOMO)

独立行政法人海上技術安全研究所・海洋開発系・研究員

研究者番号：70511591

研究成果の概要 (和文)：本研究では海上油田の産出等に用いられるライザー管を対象とし、VIV (Vortex Induced Vibration 渦励起振動) 発生時の振動モードの遷移が起きたときの過渡的応答を模型試験と数値計算を用いて調べた。その結果、周期的にモード遷移を与えた場合、準静的に一定の振動モードで VIV が発生する場合と比較して VIV の振幅が小さくなることが分かった。またこの効果はある特定の VIV の振幅が発達する前にモード遷移を起こし、その発達を妨害するので、短周期の変動や振幅が十分に発達したあとでの変動では効果が薄いことが分かった。

研究成果の概要 (英文)：To clarify the phenomena of dynamic variation of the riser's vibration mode, a large-scale experiment using a long model was carried out. In order to investigate an influence of the change of vibration mode on the riser VIV motion, a series of experiments were conducted with the periodic variation of top tension. VIV amplitude under dynamic tension variation is smaller than that under static condition. Additionally reduction of amplitude in case of relatively long mode-transition period is larger than that with short period. It is speculated that vibration of riser model is small because vibration mode shifted before VIV with certain mode is fully-developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：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：海洋工学・資源開発工学・海洋資源・VIV (渦励振)・ライザー・水槽試験

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、世界で生産される原油のうち、海底油田から採掘される割合が増えており、現在では、より技術的困難性の高い 2500m 以深の海底油田が注目されている。このような状況のなかで浮体構造物による海洋石油開発の安全性及び信頼性を脅かす要因の一つとして、ライザーの VIV が挙げられる。

ライザーとは海底油田から石油を汲み上げる際に用いられるパイプであり、そのライザー管に VIV が発生すると局所的な応力変動が発生し、耐久性に深刻な影響を与える。そのため、これまで多くの研究が行われ、挙動推定や VIV 抑制デバイスに関して多くの成果が生まれている。

(2) しかし、潮流が強い大水深海域において VIV が発生したときに VIV が時間的にどのように発達し、ライザー管全体に伝播していくかといった過渡的な応答は未だに不明な点が多い。また、時々刻々と変化する海象にあってライザー管に VIV が発生した場合、振幅や振動モード等のパラメータは常に変化することとなり、その挙動を時間領域で追うことはライザーの安全性及び信頼性を評価する上で重要となる。

(3) 振幅や振動モードの変化は上端張力の変化によって生じる。例えば、大水深海域における海洋石油ガス生産用ライザーや掘削用トップテンションライザーでは浮体の運動により、ライザー上端の張力が変動する。また、下端を固定しないハングオフ状態では浮体構造物が上下揺れすることによって、下に吊り下げられたライザー管に慣性力がはたらし、上端張力の変動が大きくなる。これらの原因により VIV 発生時に振動モードが変化する可能性は十分に考えられるが、このような上端張力の変動及びそれに伴う振動モード遷移がライザー管の振動にどのような影響を与えているかについてそれほど多くの研究はなされていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究ではライザー管を対象とし、潮流中における VIV を模型試験と数値計算を用いて明らかにする。

(2) 上端張力の変動により、系の振動モードを周期的に変化させた場合のライザー管の挙動を計測する。

(3) ライザー管に生じる VIV の振動モードを人為的に遷移させることによってライザー管の VIV による疲労被害度の抑制が可能であるかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 水中線状構造物に関する潮流中模型実験を行う際に問題となってくるのは安定した流場を作り出すことである。このため海技研の深海水槽では、潮流発生装置の整備を進めてきた。ライザー等の水中線状構造物の潮流中実験では水平方向はそれほど広い流れを発生させる必要はないものの、深さ方向に長い流れ場を再現する必要がある。そのため本研究では上述した大型潮流発生装置に、別途開発した小型の潮流発生装置を組み合わせることで、ライザー等の水中線状構造物の模型試験において必要となる一様流および一様剪断流の再現を試みた。

大型潮流発生装置はインペラと吹き出し口を蛇腹のホースで繋いでいるため、円形水

槽内のどの位置にも設置可能である。また、小型潮流発生装置はそれぞれ独立しており、個々に設置することも可能である。本研究では水中線状構造物を対象としているため、小型の潮流発生装置 4 台を積み重ねた上に大型の潮流発生装置を重ねた計 5 台の潮流発生装置の組み合わせによって構成した。設置の際には潮流発生装置どうしの間隔が開かないようにすることと、深さ方向にできるだけ長い区間の潮流を発生させられるようにすることに留意した。

(2) 表 1 および図 1 にライザー模型の仕様と写真を示し、図 2 に本実験の概略図を示す。ライザー模型の上下端はユニバーサルジョイントによってピン支持とした。また、上端に関してはボールベアリングを用いて張力を模型に伝達するため、ねじり方向の回転を自由とした。上端張力は電動アクチュエーターとばねを組み合わせることで任意に変動させられるようにした。今回使用した電動アクチュエーターとばねの組み合わせで上端張力は模型の自重と釣り合った状態に対して、そこからさらに初期張力の 4 倍以上の荷重をかけられるようにした。

表 1 ライザー管模型の仕様

外径	16.0 mm
内径	14.0 mm
全長	28500 mm (1500 mm×19)
密度	2178 kg/m ³
材質	管：テフロン (PTFE) 接続部：ベークライト
曲げ剛性 (実験値)	7.38E+08 Pa
上端張力	付加張力 / 管の自重 = 0 - 4.6 (自重と釣りあった状態を 0 とした場合)

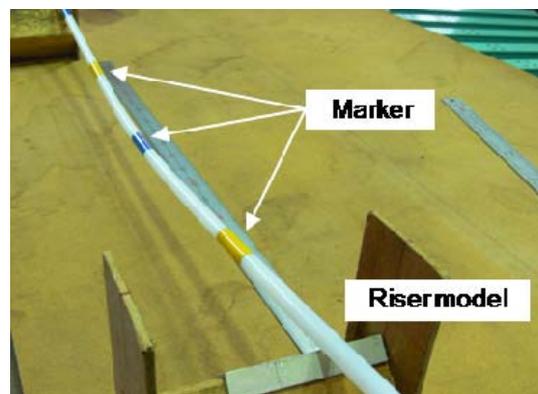


図 1 ライザー模型の一部と画像計測用マーカー

今回の実験ではライザー模型の挙動を光学的に計測するために深海水槽内の水中3次元挙動計測装置を用いた。本装置は模型に取り付けたマーカーを2台1組のCCDカメラを用いてステレオ撮影することによりマーカーの3次元的位置を計測するものである。マーカーには反射テープを用い、全長28500mmの模型に対して500mmピッチで65mm幅の反射テープを取り付けた。計測精度は、計測範囲の大部分で±0.5mmであるが、CCDカメラの中心から外れるに連れて低下し、カメラの計測範囲の端では±1mm程度である

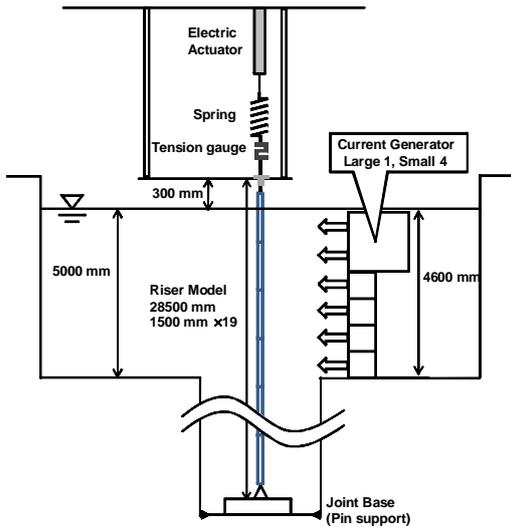


図2 模型試験の概略図

(3) モード遷移しやすい領域における挙動を解析することは高次モードのVIVを評価する上で重要であるため、そこで次に上端張力を周期的に変動させることでモード遷移を発生させ、そのときのライザーの挙動を計測する。実際のライザーの設置状態ではライザーテンショナー等の上端張力を一定に保つ機構が装備されているため張力の変動は少ないが、流速の変動等の要因によって振動モードが変化する可能性はある。

張力の変動域と変動幅は一定張力の試験結果より図3に示すように定めた。高次のモードにおける遷移と低次モードの遷移を計測した。また、変動周期は実機スケールで5秒程度の波浪による変動から30秒を超える係留による長周期変動を想定して設定した。

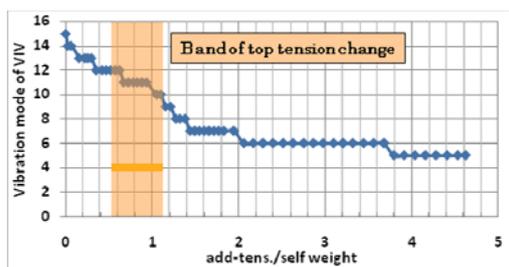


図3 張力の変動域

4. 研究成果

(1) 潮流発生装置をライザー模型設置予定位置において超音波3軸流速計を用いて流速分布を1分間計測したところ、目標流速を15cm/secとして潮流発生装置が設置してある水深0.4mから水深5m付近までにおいて、それぞれ流れ方向、同一平面内垂直方向、深さ方向で目標流速に対する標準偏差が10%以内の比較的安定した流速分布を得ることができた。また、実海域における潮流は表層に早い流れがあり、水深が深くなるにつれて流速が遅くなる傾向があるので、図4に示すような流速分布を作成した。

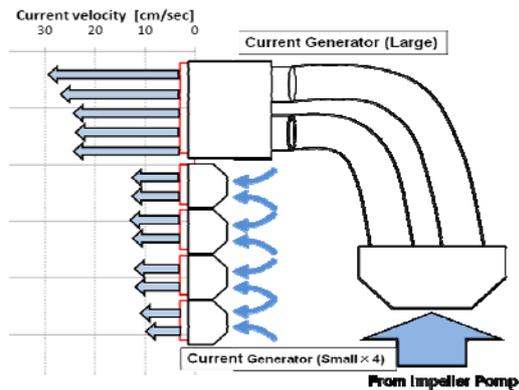


図4 潮流発生装置の配置と流速分布

(2) ライザー模型の上端支持張力が自重と等しい状態と自重の約4倍の張力をかけた場合の潮流中VIV計測結果を図5に示す。潮流中VIV計測結果は模型に取り付けた104点の計測点の運動振幅をフーリエ高速変換により卓越周波数における振幅の成分を取り出して解析している。

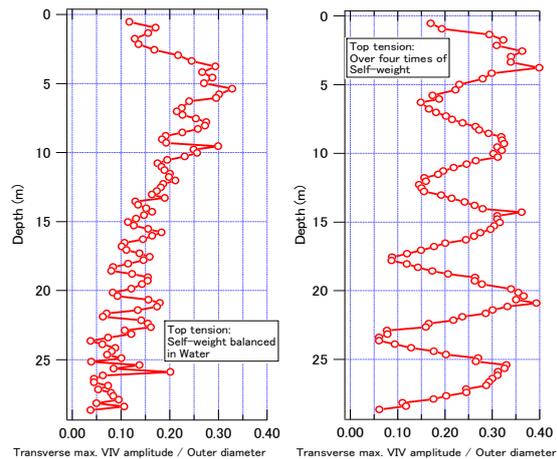


図5 上端張力の異なるライザー管模型のVIV振幅

潮流発生装置はほぼ水面から水深5mにかけて設置しており、その付近で発生したVIVが28.5mの模型全体に伝播していることが

わかる。図5左側に示す上端張力がほぼ自重とつりあっている状態では最大15次モードの振動が発生しており、図5右側の自重の約4倍の張力をかけた場合では5次モードで振動していることが分かる。この原因は上端張力を変えたことによりライザー管模型の固有周期が変わったことによる。

次に、潮流発生装置の目標流速を0.12 m/secで一定として、上端張力を自重との均衡状態からさらに初期張力の約4倍まで増加させたときのVIV振動モード数、振動周波数、およびVIV最大振幅をそれぞれ図6、図7、図8に示す。VIV発生時に上端張力を変化させる場合、変更前の条件による依存性が考えられるため、張力増加時と減少時の両条件において計測を行った。

図6のVIV振動モード数では上端張力の増加とともに減少しており、高次の振動モードほどわずかな張力変動によってモード遷移が発生していることがわかる。次にこのときのVIV振動周波数を図7より検討すると、同一モード内では張力の増加とともに振動周波数が増加し、モードが遷移すると一旦、周波数が下がっていることが分かる。さらにこの結果より、本実験ではVIV周波数1Hzから1.5Hzの中に加振周波数が集中していることがわかる。

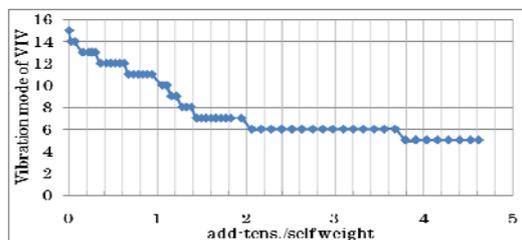


図6 VIVの振動モードと上端張力の関係

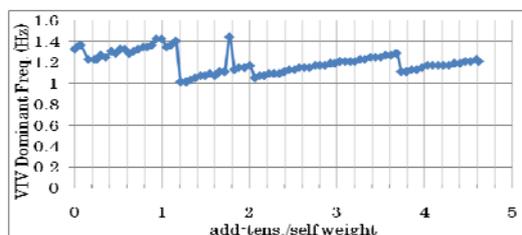


図7 VIVの振動周波数と上端張力の関係

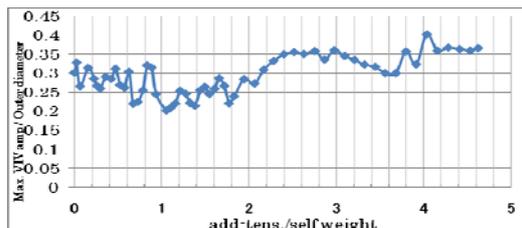


図8 VIVの振動振幅と上端張力の関係

次に、図8に示すVIV振幅について検討すると、同一モード内において遷移する前後の状態では振幅が小さくなり、その間において振幅が大きくなるという傾向がみられた。さらに、遷移域で一旦、落ち込むものの、振動モードが減少するにつれて徐々にVIV振幅が大きくなった。また、実験では流速が完全に一定にならないことから振動モードの遷移が発生し、2つのモードが時間的に入れ替わるような複雑な挙動をとったためであると考えられる。

(3) 変動周期とVIVの関係を知るために同じ張力変動幅で変動周期を変えた試験結果を図9に示す。ただし、図内左側が長周期変動を与えた場合の計測結果、図内右側に短周期変動を与えた場合の計測結果を示す。また、変動幅の上限と下限の一定張力下で計測した結果について図10に示す。この結果より振動モードが変化した場合、単一の振動モードで運動しているライザーに比べてVIV振幅が若干小さくなっていることが分かる。また、波浪による変動を想定した早い振動モード遷移周期より浮体の長周期変位を想定した比較的ゆっくりとした振動モード遷移のほうが振幅の減少が大きいことが分かる。この原因として、ひとつの振動モードでVIV振幅が大きくなる前に異なる振動モードにシフトするため、結果としてVIVが発達しないためであると考えられる。しかし、上端張力の変動周期が早い場合では、モード遷移による振幅減少がそれほど大きくなりず、ひとつの振動モードを持つVIV運動になると考えられる。

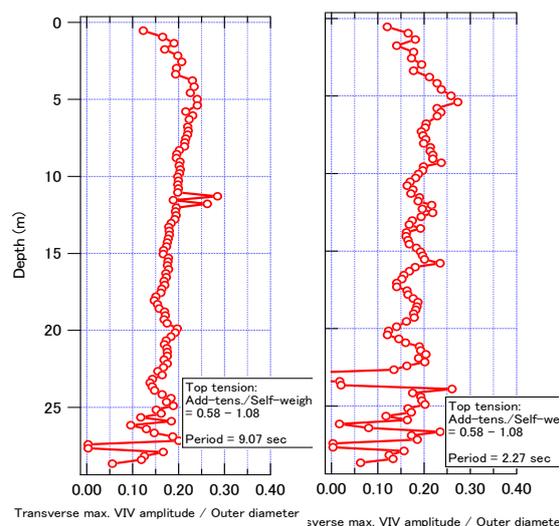


図9 長周期変動と短周期変動を与えた場合のVIV振幅

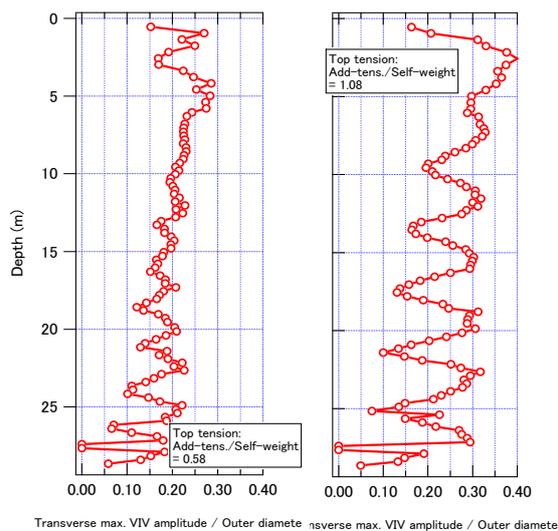


図 10 変動幅の上下限值における
静定状態の VIV 振幅

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

①藤原 智、二村 正、宇都正太郎、深海水槽における潮流中ライザー-VIV 挙動に関する模型試験—第 2 報—、日本船舶海洋工学会、平成 22 年 6 月 7 日、東京・タワーホール船堀

②Tomo Fujiwara, Shotaro Uto, Shigeo Kanada, An Experimental Study of the Effects that Change the Vibration Mode of Riser VIV、The ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering、平成 23 年 6 月 23 日、オランダ・ロッテルダム・世界貿易センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 智 (FUJIWARA TOMO)

独立行政法人海上技術安全研究所・海洋開発系・研究員

研究者番号：70511591

(2) 研究分担者

該当者無し

(3) 連携研究者

該当者無し