



第25回 海上技術安全研究所研究発表会



液体CO₂移送が移送管のVIV挙動に与える 影響について

令和7年7月18日

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

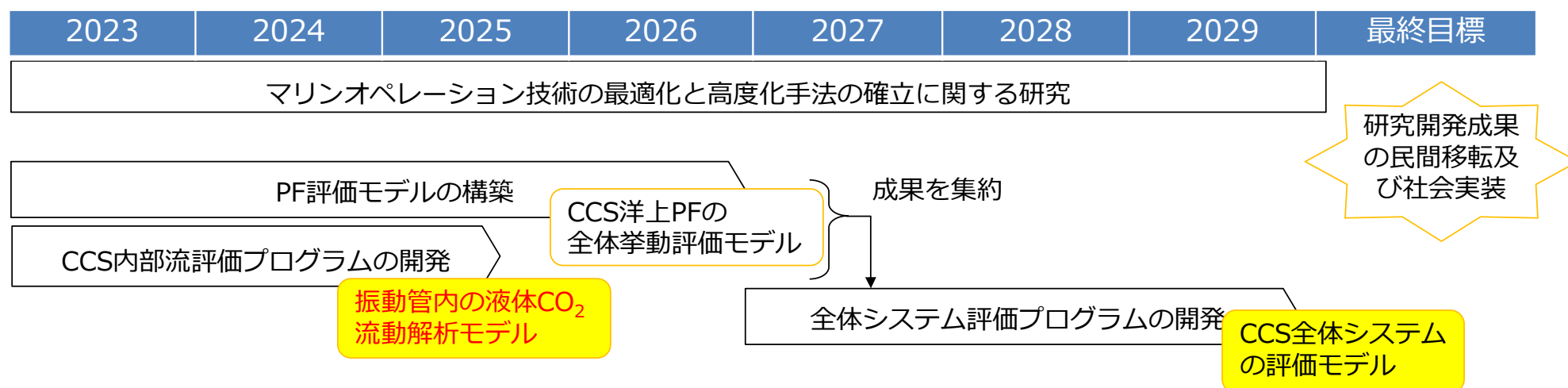
海洋開発系

藤原 智、小野 正夫、高野 慧

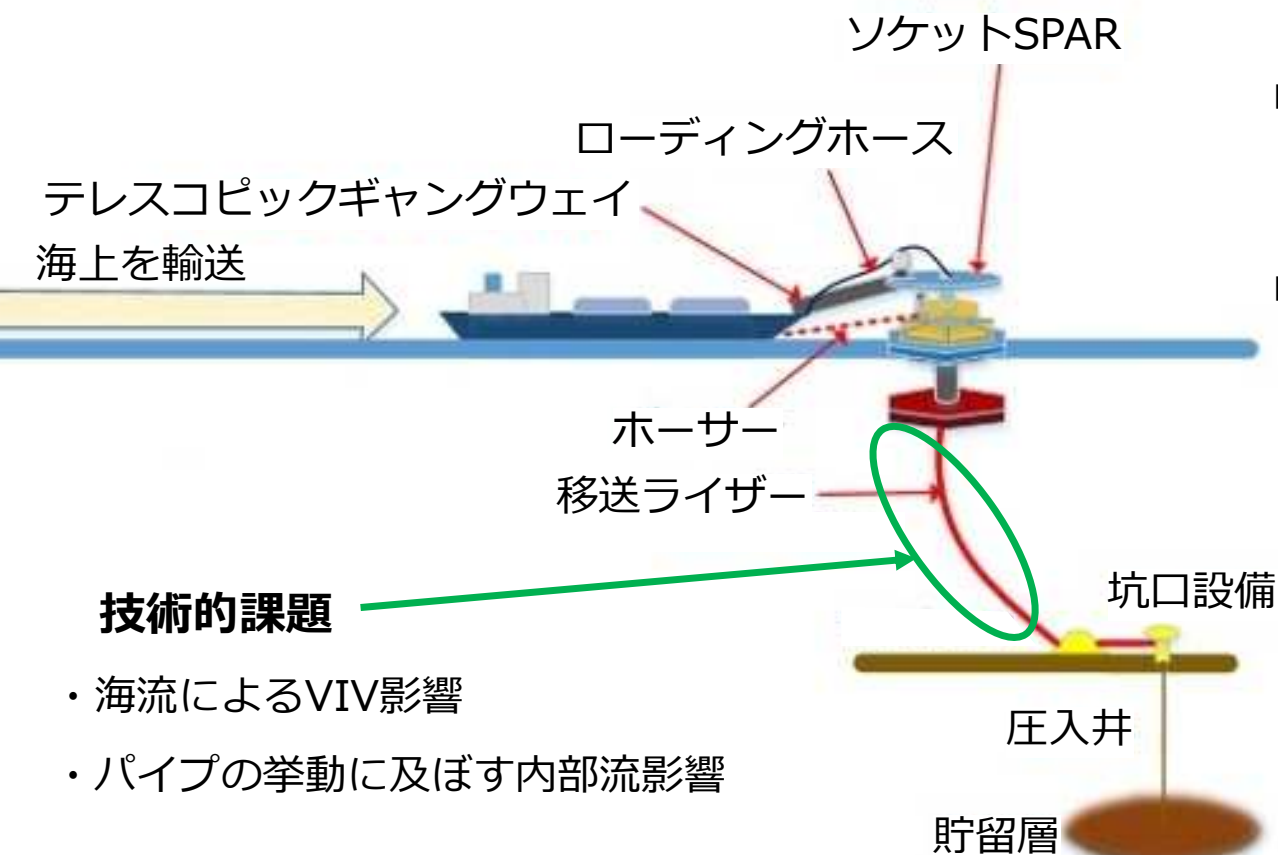
本研究の位置づけ



- 洋上CCSにおける移送管、移送ホースと内部流の相互影響を評価することを目的とした研究
- 研究フロー・ロードマップ（年度毎の流れ）



- 最終目標：海洋CCSに求められる浮体、配管内部流評価に関する数値計算プログラム等の開発
- 中間目標：気液二相流など内部流とVIV（渦励振）や波浪中動揺など外乱による振動の相互影響を評価
- 本日の発表内容：
 - 気液二相流がVIVに与える影響の評価実験と移送管挙動推定モデル開発に向けた検討

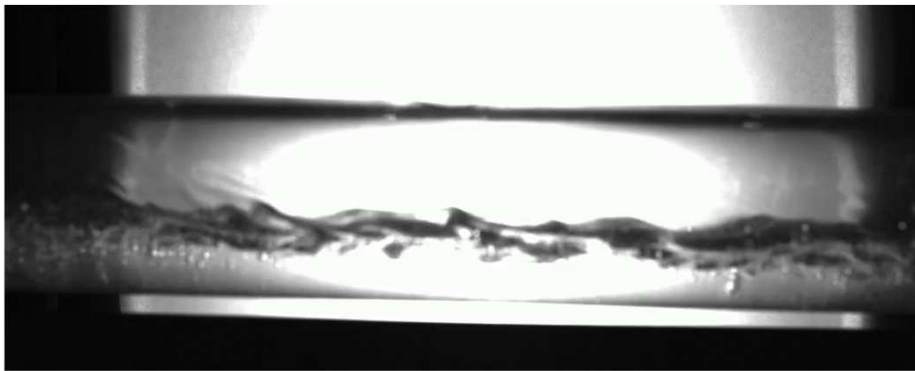


- ・ 海流によるVIV影響
- ・ パイプの挙動に及ぼす内部流影響

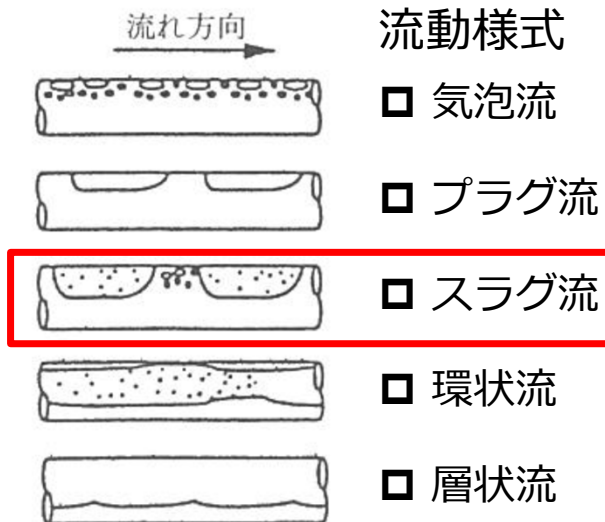
- 洋上でのCCS（Carbon dioxide Capture and Storage；CO₂回収・貯留）のための洋上CO₂圧入等では、液化CO₂の移送が必要
- 基本的に液化CO₂の単相流移送であるが、温度の上昇、圧力の低下が発生した場合、CO₂の気化により、**移送管内に気液二相流が発生する可能性**

引用：環境省HP ※一部、注釈を追加

管内流と管挙動の相互影響

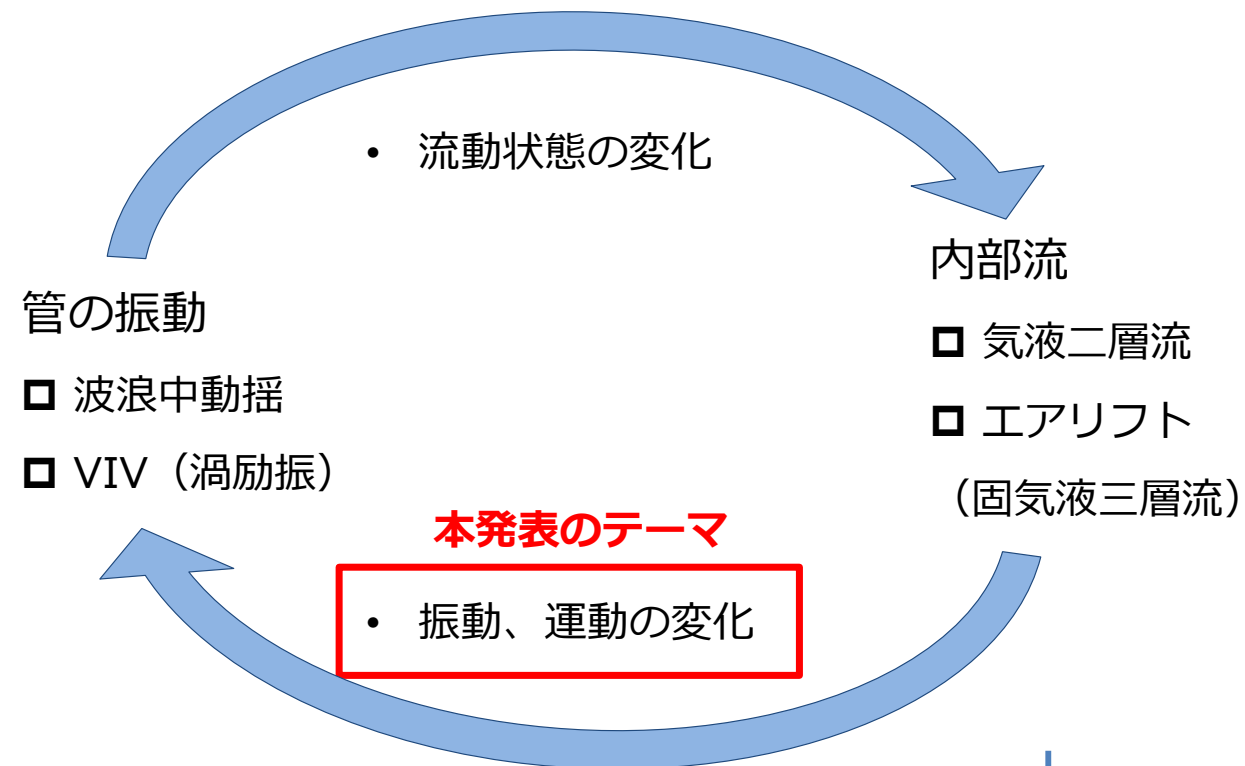


■ スラグ流を横から高速度カメラで撮影した映像

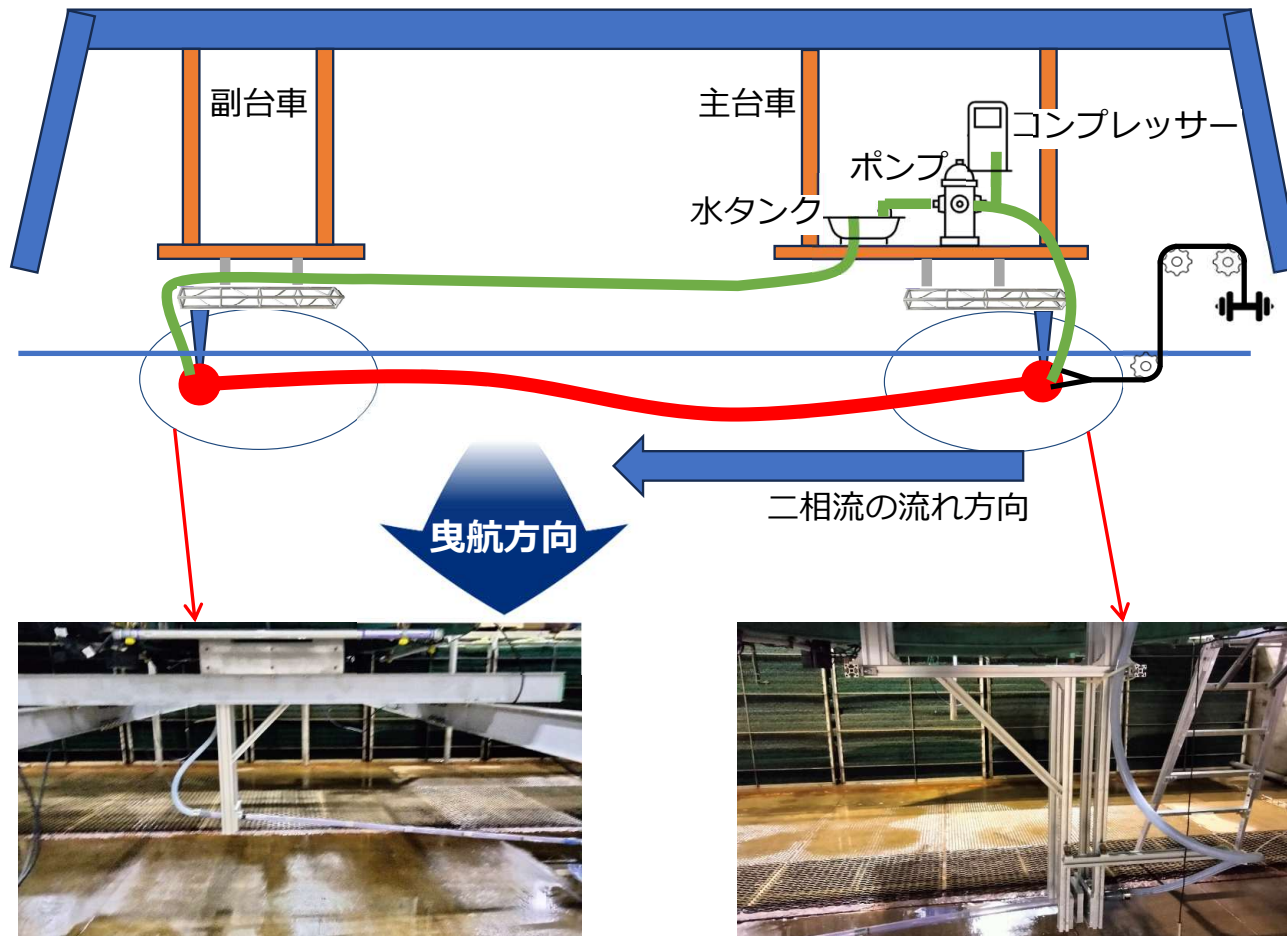


研究対象

■ 管の振動と内部流（気液二相流）は相互に影響



管内二相流影響計測実験概要

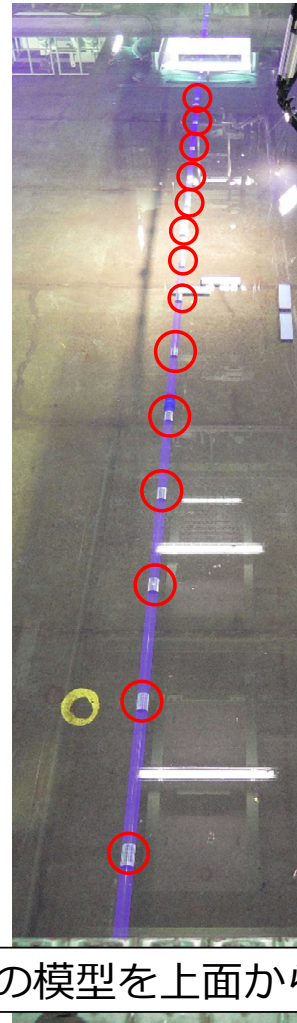


- 実験目的：内部流（スラグ流）が管の振動（VIV）に与える影響の計測、挙動推定モデル作成のための検証データの取得
- 実験時期：令和7年2月
- 実施施設：海技研 海洋構造物試験水槽
- 曳航台車で水槽上を走行して管に様な流れを当て、VIVによる振動を計測

実験条件



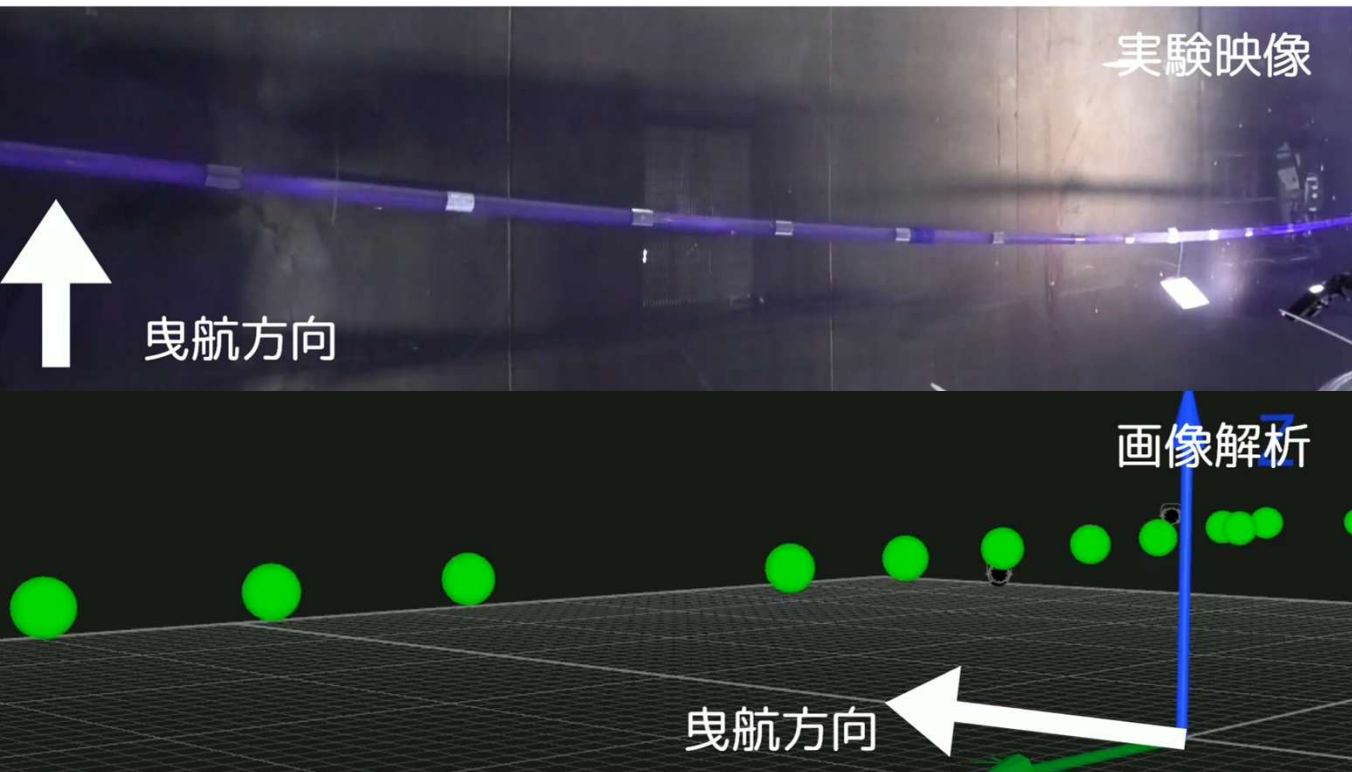
管模型	
素材	塩ビ管
管径	25A (外径:32mm, 内径:25mm)
管全長	10 m(両端部固定位置間の距離)
端部張力	98N (10 kgf)
曳航速度	0.4 m/s
作動流体	
気相	空気
液相	水
気体流量	0.0, 3.6 ~ 7.2 m ³ /h
液体流量	0.0, 1.3 ~ 4.0 m ³ /h



水中の模型を上面から撮影

- 管模型の挙動は6台の水中カメラを用いた画像計測システムで収録
(銀色に見える帯がターゲットマーカ―)
- 二層流の流動様式がスラグ流となるように流量を調整
- 液相のみ単相流についても比較用に計測

実験の様子



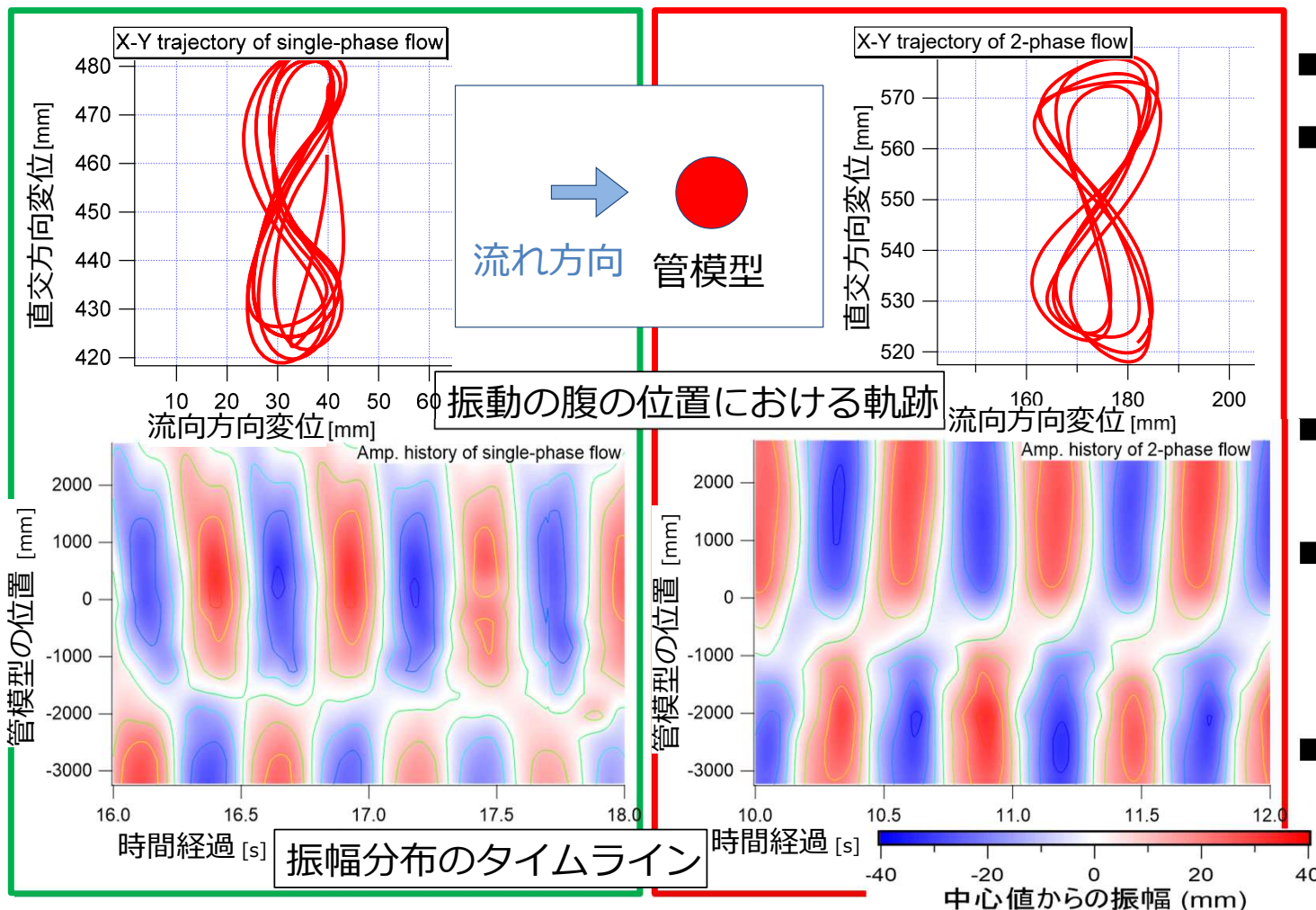
- 計測台車2台の間に渡した管模型に気液二相流を流しながら曳航し、挙動を計測した実験映像
- 内径25mmで内部流影響を考慮した挙動計測は世界的に実施例の少ない実験
- 画像計測システムの水中カメラを没水状態で曳航した計測を併せて実施
- 水中の画像計測システムを用いた曳航実験も実施例が少ない

実験結果－振動の特徴－



管内に水のみを流したケース

管内に二層流を流したケース

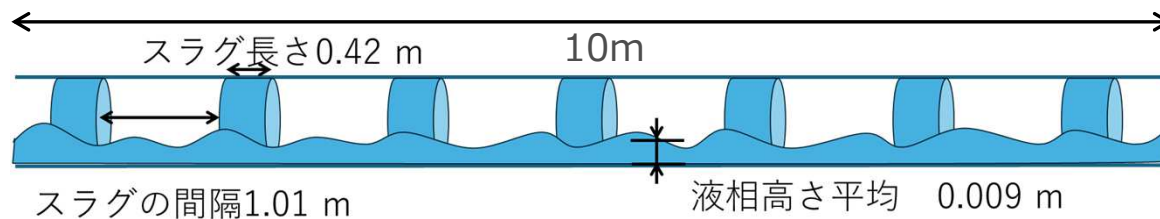


- 管内に水のみ：水4.0m³/h
- 管内に二層流：水2.3m³/h
空気6.0m³/h(大気圧)
- どちらのケースもVIVに特徴的な「8」の字型
- 振動の節の位置が変わらない定在波が発生
- VIVの特徴を確認

実験結果－数値解析の条件設定－



- 振幅の分布と振動周波数を比較
- 数値計算では、商用の線状構造物解析ソフト「VIVANA」を用いて解析
- 二層流は解析できないので、VIVANA用試計算モデルを作成して解析
 - 流れはないと仮定
 - 管内下面の層状の水と水塊（スラグ）をモデルで表現
 - 水塊の位置や個数、大きさは実験より決定
 - 約1mの間隔を空けて約0.4mの水塊が存在
 - 10mの管内に計7個のスラグが等間隔に分布したと仮定

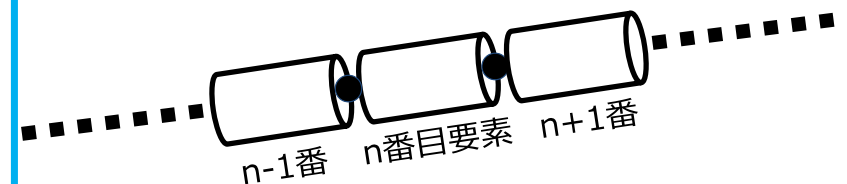


線状構造物解析ソフト「VIVANA」

モデル	1次元（線状）FEM
VIV解析	周波数領域計算
要素数(要素長さ)	100 (0.1m)

線状構造物のFEM（有限要素法）モデル

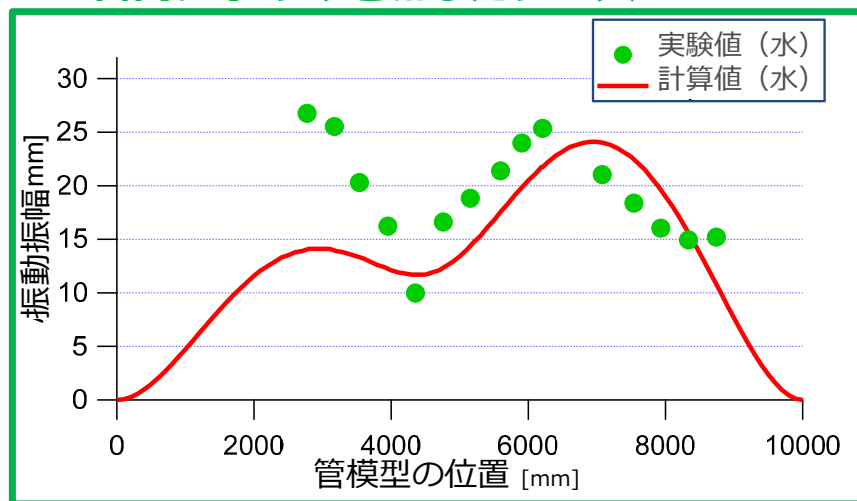
- 管を微小要素に分割（今回は100個）
- 各要素に物性を設定（今回はスラグ流として、要素毎に重さを変更した）



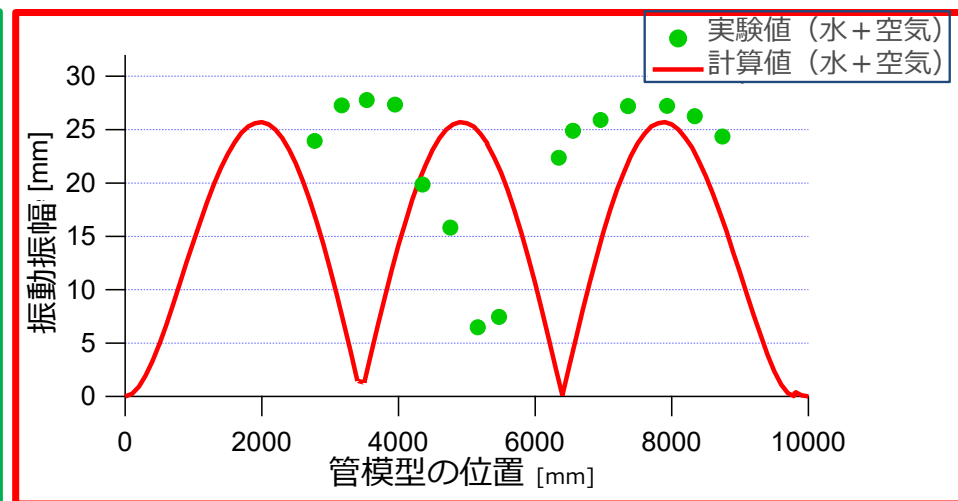
実験結果 – 計算値との振幅比較 –



管内に水のみを流したケース

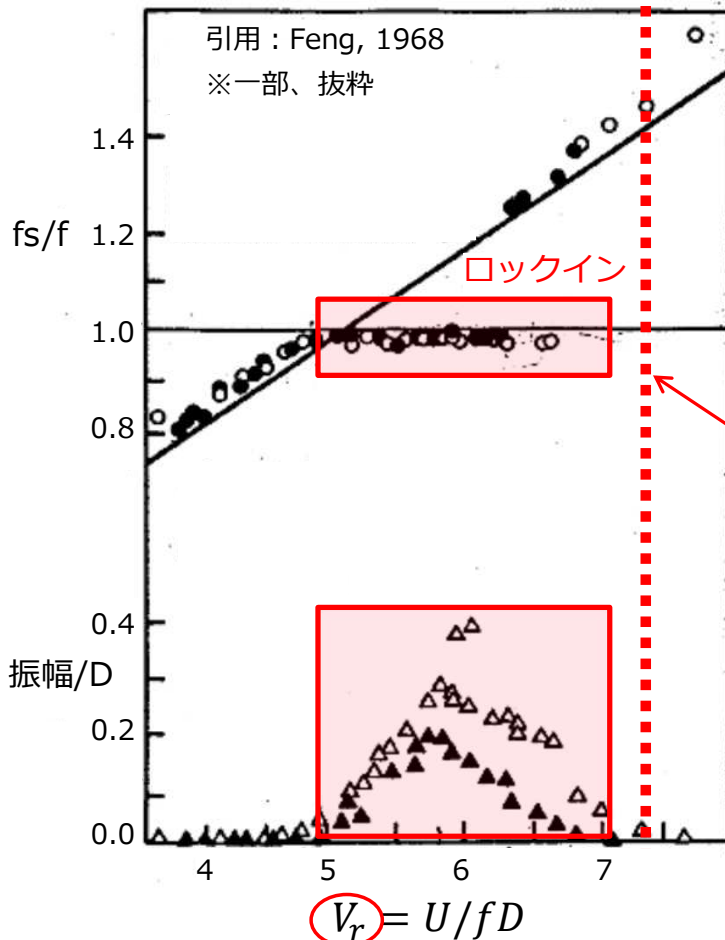


管内に二層流を流したケース



- 単相流と二層流を比較しても振幅に大きな差異はない
 - 強度評価に用いることは可能
- 二相流を流したケースで振動モード（振動の腹の数）が合わない

実験結果－振動周波数の比較と考察－



管内に水のみを流したケース

単相流(水)			Cal.	Exp.
曳航速度	U	m/s	0.400	
管径	D	m	0.032	
振動周波数	f_s	Hz	1.861	1.880
固有周波数	f	Hz	1.822	1.822
換算流速	V_r		6.775	6.861

管内に二層流を流したケース

二相流(水と空気)			Cal.	Exp.
曳航速度	U	m/s	0.400	
管径	D	m	0.032	
振動周波数	f_s	Hz	2.289	1.768
固有周波数	f	Hz	1.960	1.706
換算流速	V_r		6.457	7.327

- 二層流を流すと振動周波数が低下
 - 理論的には管に空気が入って軽くなると振動周波数は増加
 - 典型的なVIVではモード遷移が発生している領域において、振動モードが変わらず安定
- ↓
- モデル化ではスラグ流の移動による影響とスラグ発生周波数の影響を考慮する必要がある

■ 換算流速：構造物の固有振動数と流速の関係を無次元化

■ ロックイン：渦剥離周波数が固有周波数と同じになり、振動振幅が急激に増加

- 内部流（気液二層流）が存在する状況下で弾性線状構造物の曳航実験を実施
- 画像計測システムの水中カメラを曳航しながら挙動計測を実施
- 実験結果
 - 内部流（スラグ流）がVIVの振動振幅に与える影響は小さい
 - 一方で振動周波数や振動モードに影響を与えている可能性あり
- 内部流影響のモデル化
 - 現行のFEMモデルで振幅の推定結果は良い一致が得られている
 - 管の振動周波数とスラグ発生周波数の関係について、物理現象を考慮した更なるモデル開発が必要

ご清聴ありがとうございました



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
National Maritime Research Institute

