

波力発電施設の安全性・ 性能評価のための水槽試験

洋上再生エネルギー開発系

* 國分健太郎、平尾仲達、松井亨介、二村正、
下里耕平、藤原敏文、井上俊司

背景

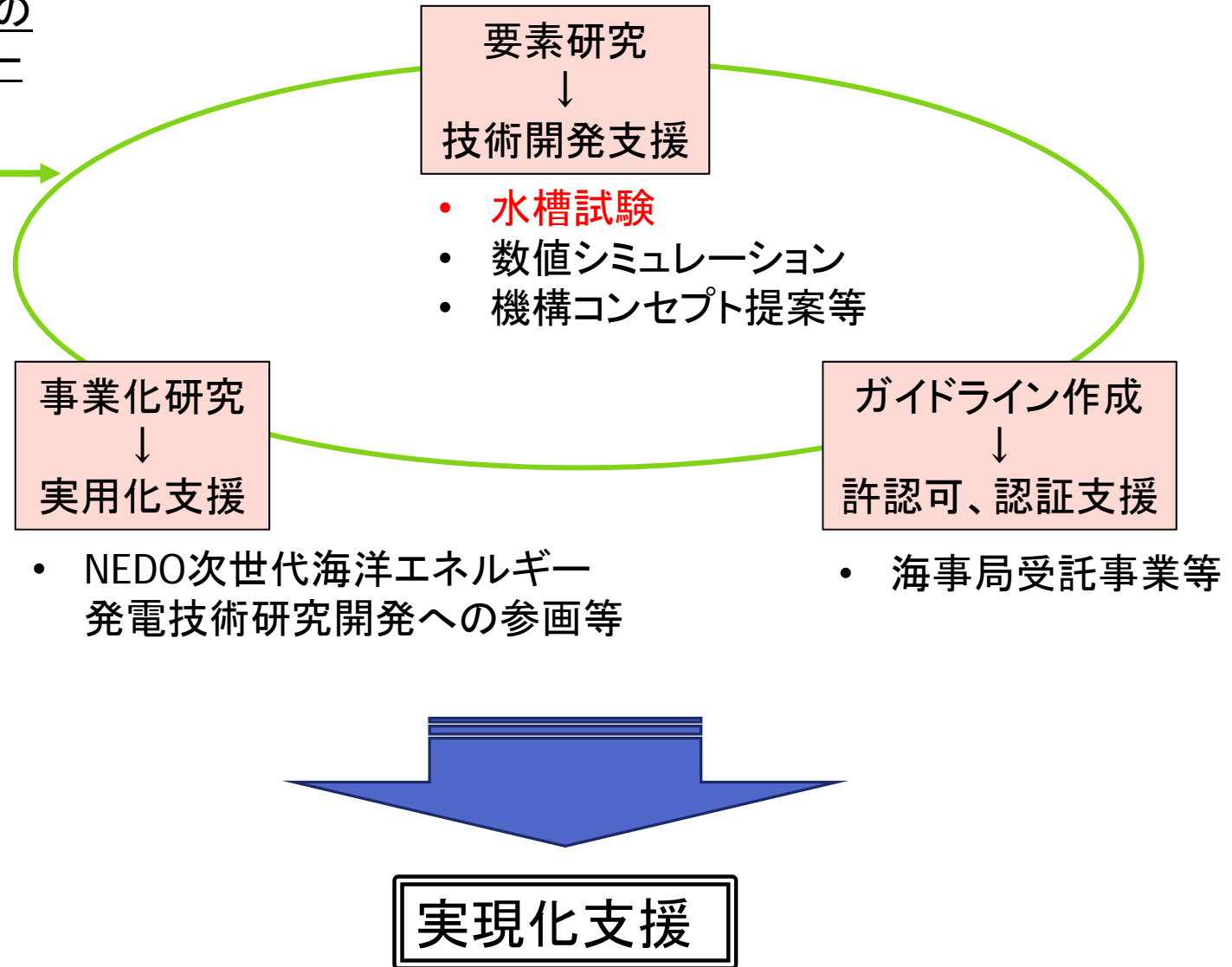


- ・海洋エネルギー利用の世界の状況(EU)
 - 2050年 消費電力の5%を海洋エネルギーでカバー
 - 2020年 EUにおける海洋エネルギーの58%がイギリス
 - イギリス： 現状で、波力、潮流発電の実海域実験サイトが11ヶ所
 - スコットランド： EMECは3ヶ所
- ・国内の政策および状況
 - 日本再興戦略(平成25年6月14日閣議決定)の戦略市場創造プランロードマップ： 2030年まで「波力、潮流等の海洋エネルギーについては、技術開発、実証フィールドの整備・実証実験の開始等を通じ、商業化を支援」
 - 内閣官房総合海洋政策本部： 平成26年7月に海洋再生可能エネルギー利用のための実験海域である実証フィールドを選定
 - NEDO： 平成28年以降に実海域における、様々な方式の海洋エネルギー発電の実証実験を実施予定

海技研の取組み（波力発電）

海技研が取組み中の
再生可能エネルギー

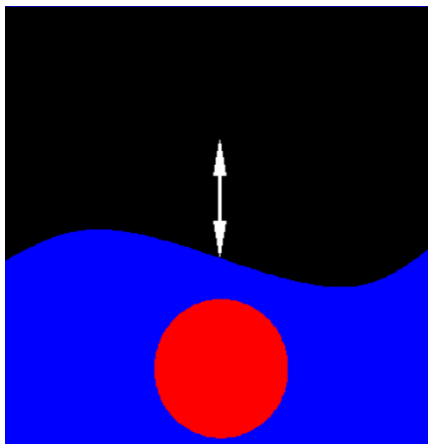
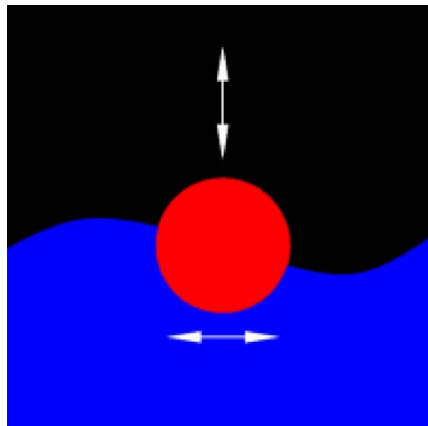
- 浮体式洋上風力
- **波力**
- 潮流・海流



波力発電の種類

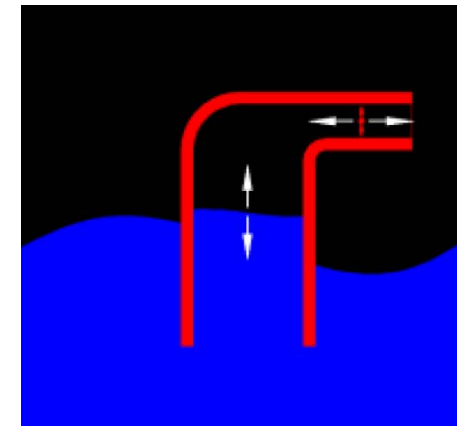
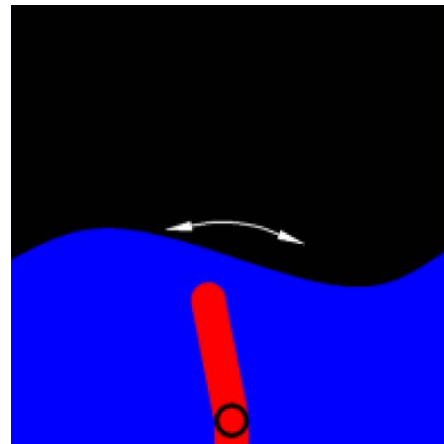
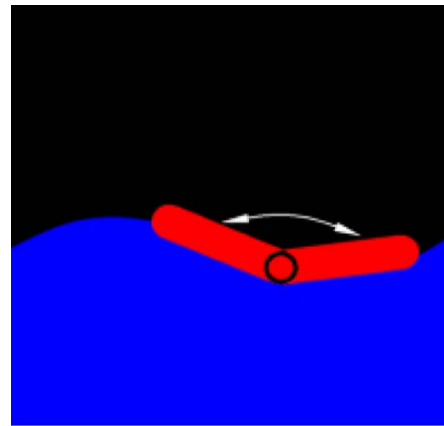
Ref: WP3 Technologies
state of the Art _
ORECCA

並進動揺型

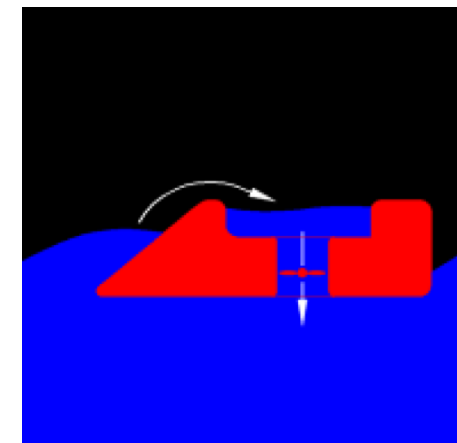


▶ 可動物体型

屈曲動揺型



▶ 振動水柱型



▶ 越波型

水槽試験の目的（一般論）

- 安全性評価
 - 構造物（浮体等）としての安全性
⇒ 浮体の場合、船舶安全法的な視点
 - 発電施設としての安全性
（全体模型の水槽試験ではなく、部品ごとの要素試験による場合も多い。）
- 性能評価（発電性能評価）
 - 発電能力の評価
（最終的には実機での確認が必要となるが、水槽試験では1次変換に着目して評価する場合が多い。）
- 数値シミュレーションの精度検証
（上記に対応し、浮体としての挙動および1次変換に着目する場合が多い。）

今回紹介する水槽試験 (①～③) の概要



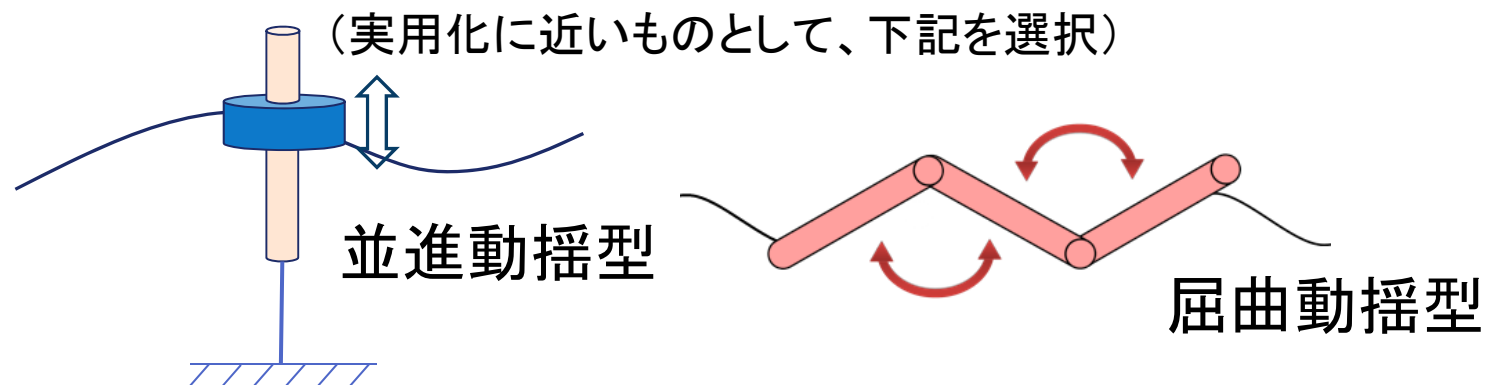
浮体式 (①並進動揺型および②屈曲動揺型) の事例

【海事局受託の「浮体式波力発電施設安全ガイドライン(暫定案)」作成の中で実施】

ガイドラインの目的: 浮体構造物としての安全性確保

実験目的:

- 安全性評価のための水槽実験の実施例を提示して技術の普及を図る
- 数値シミュレーションの精度検証用の公開データベースとする

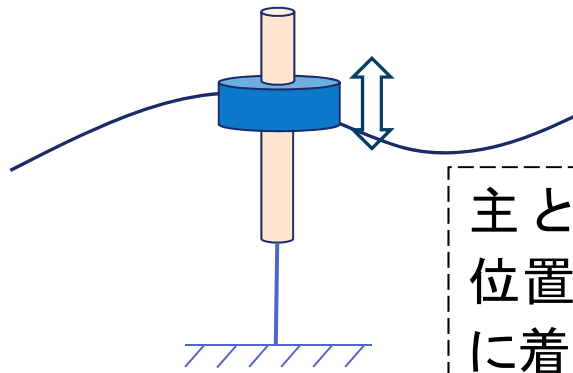


沿岸固定式 (③振動水柱型) の事例

実験目的:

- コンセプト開発のための基本的発電特性の把握・・・性能評価

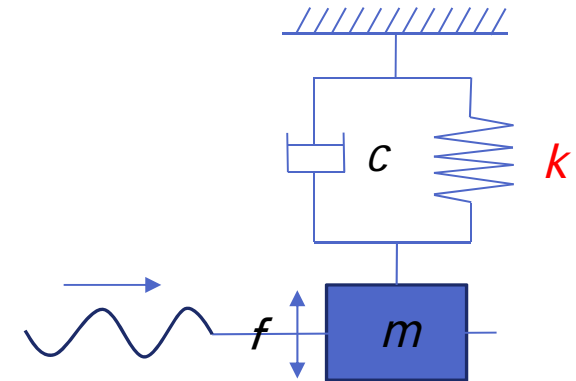
並進動揺型の事例



主として2体の接合荷重、位置保持荷重および浮体運動に着目

実験技術の確認のため、下記で試行

- ・縮尺1/40
- ・発電機構は、ばねと減衰の力学的素子として模擬

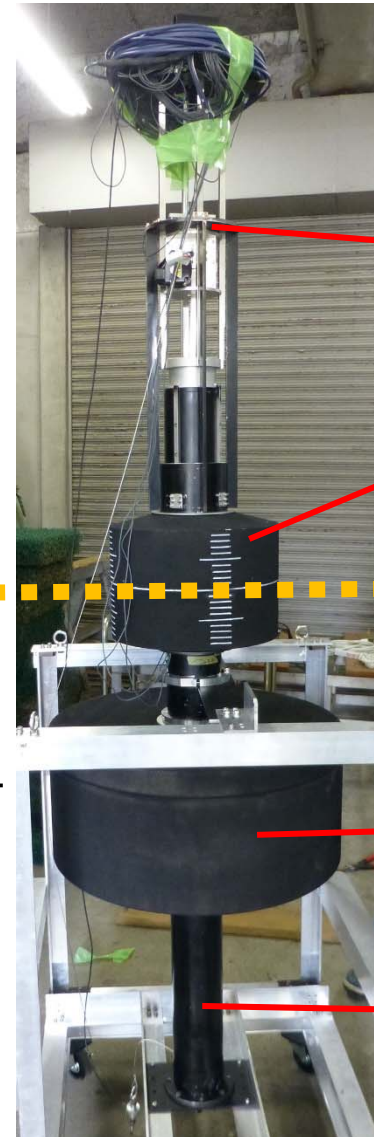
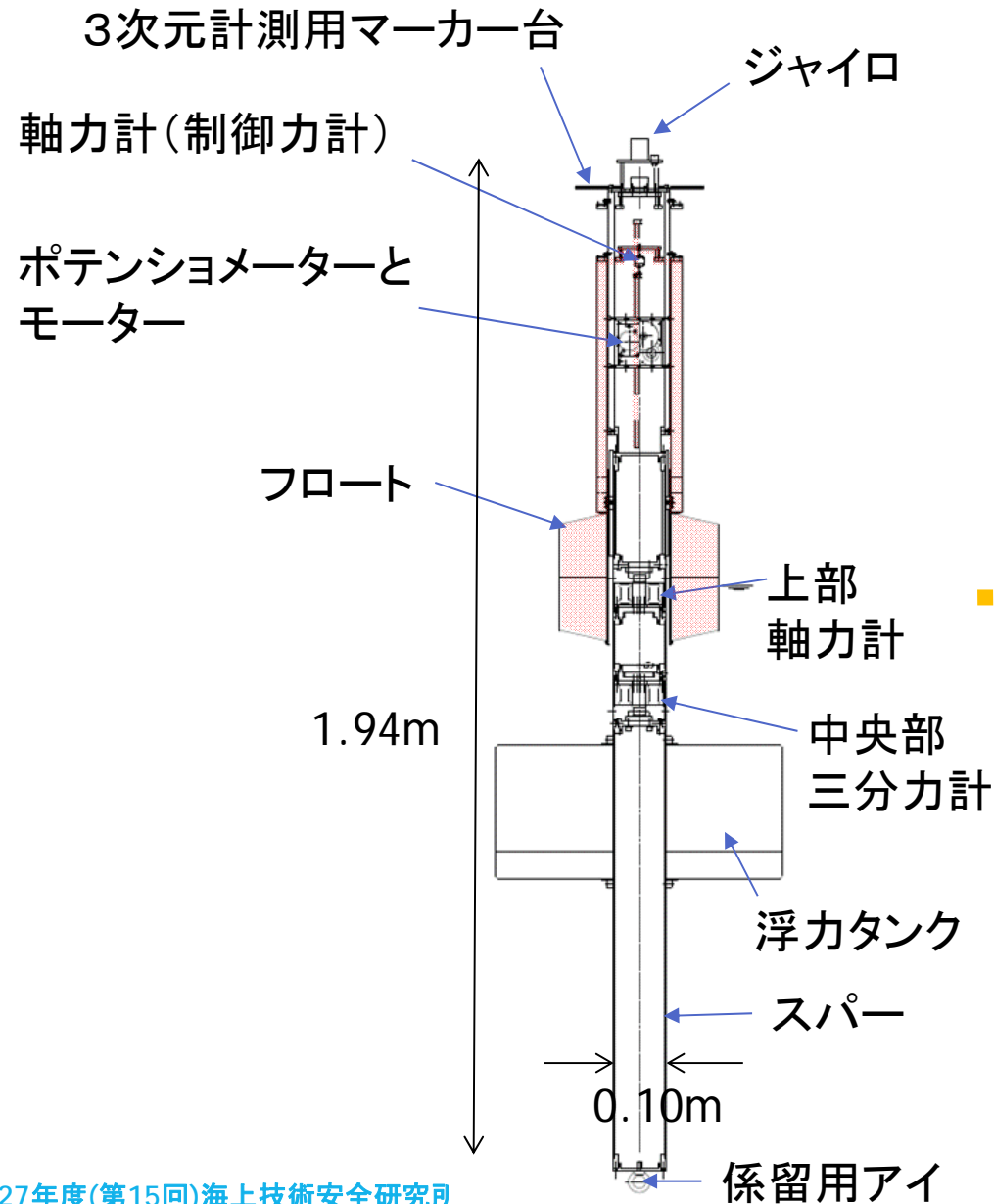


k : フロートの動揺を波周期と同調させるばね定数を与える。

実験計画の基本思想

稼働状況	力学的観点での一種の極限的状态
発電、故障	共振状態 (2体間のばね作用の効果)
荒天時待機、故障	固着状態 (2体が剛結)
故障	自由運動状態 (2体間の発電機構が負荷無し)

並進動揺型模型



ポテンシヨメーターとモーター

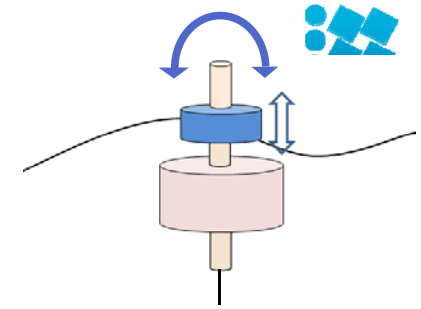
フロート
(上下可動)

喫水線
(水面位置)

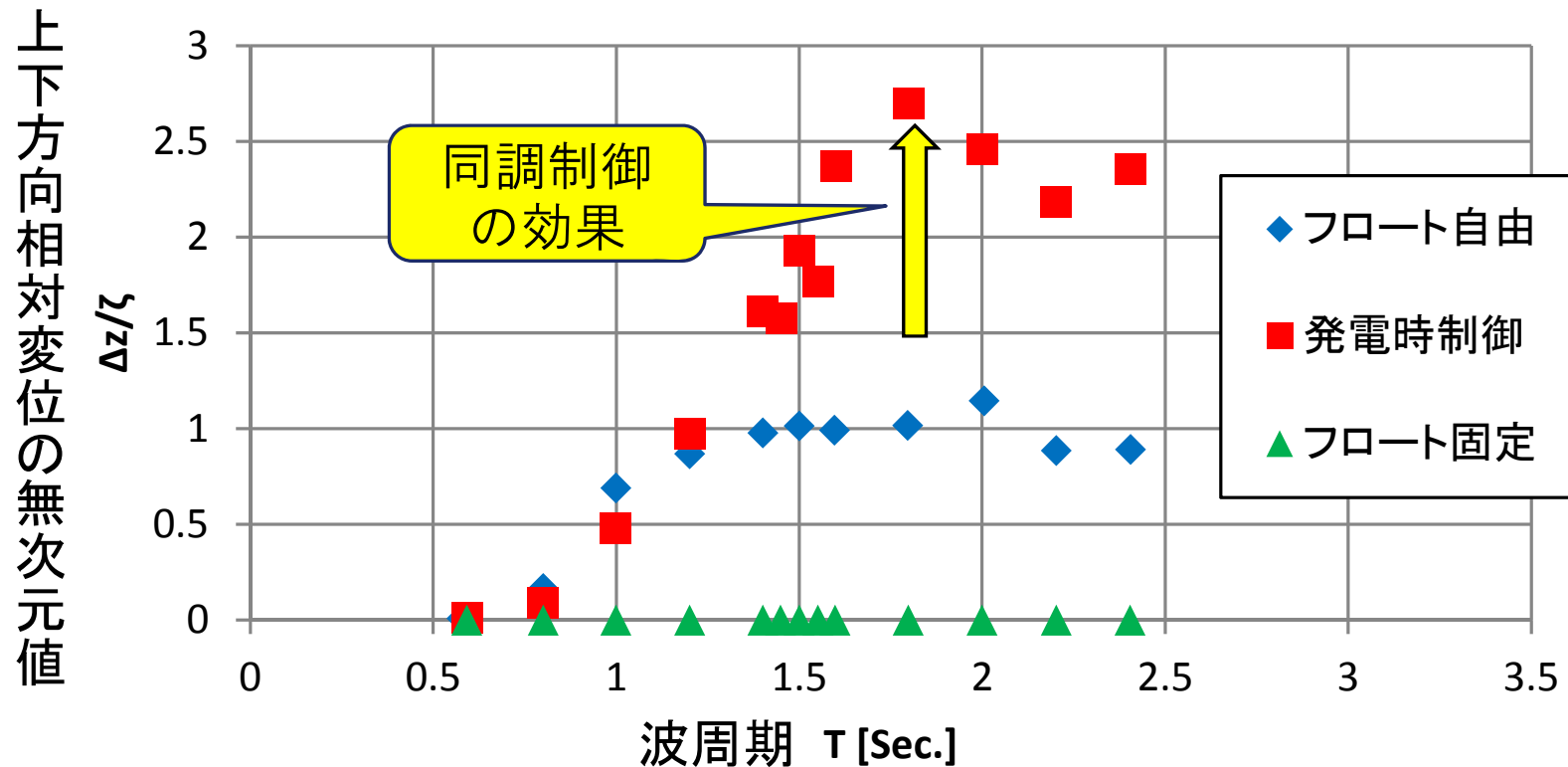
浮力タンク
(スパーに固定)

スパー

並進動揺型の結果（運動）

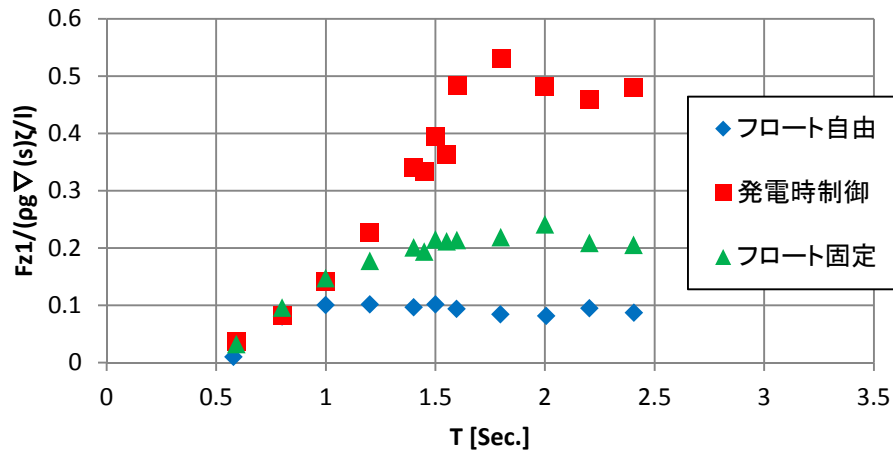


スパーに対するフロートの相対位置

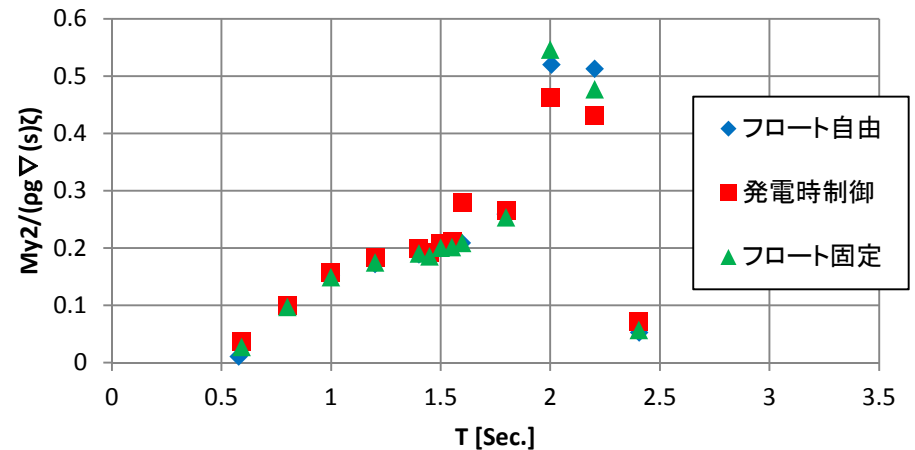


並進動揺型の結果（荷重）

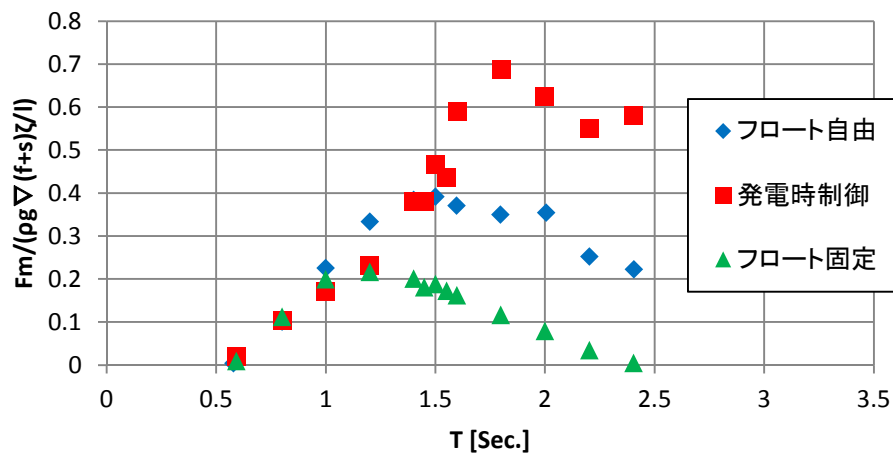
スパーにかかる上下力(上部軸力)



スパー中央部の曲げモーメント

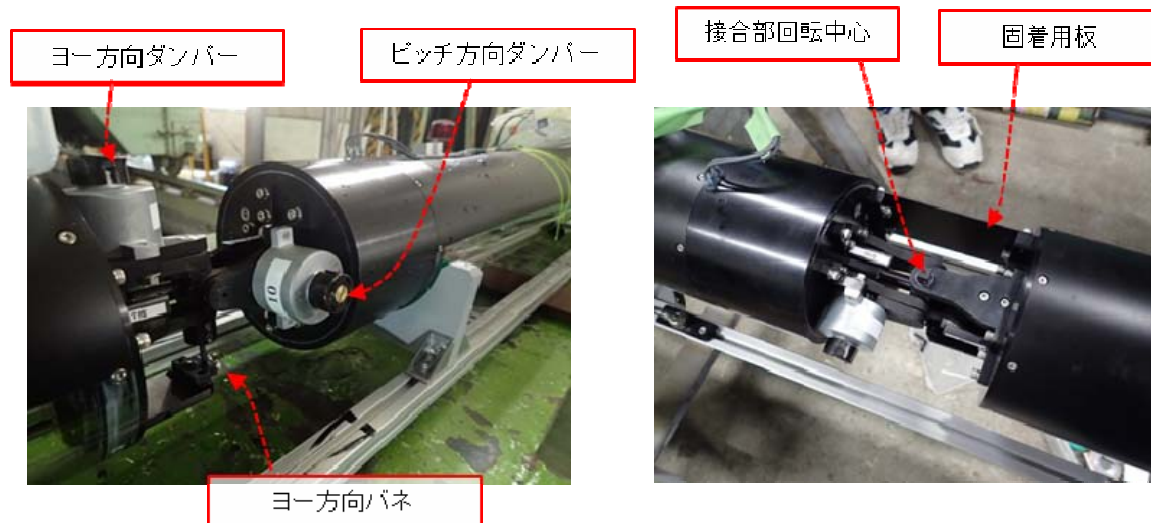
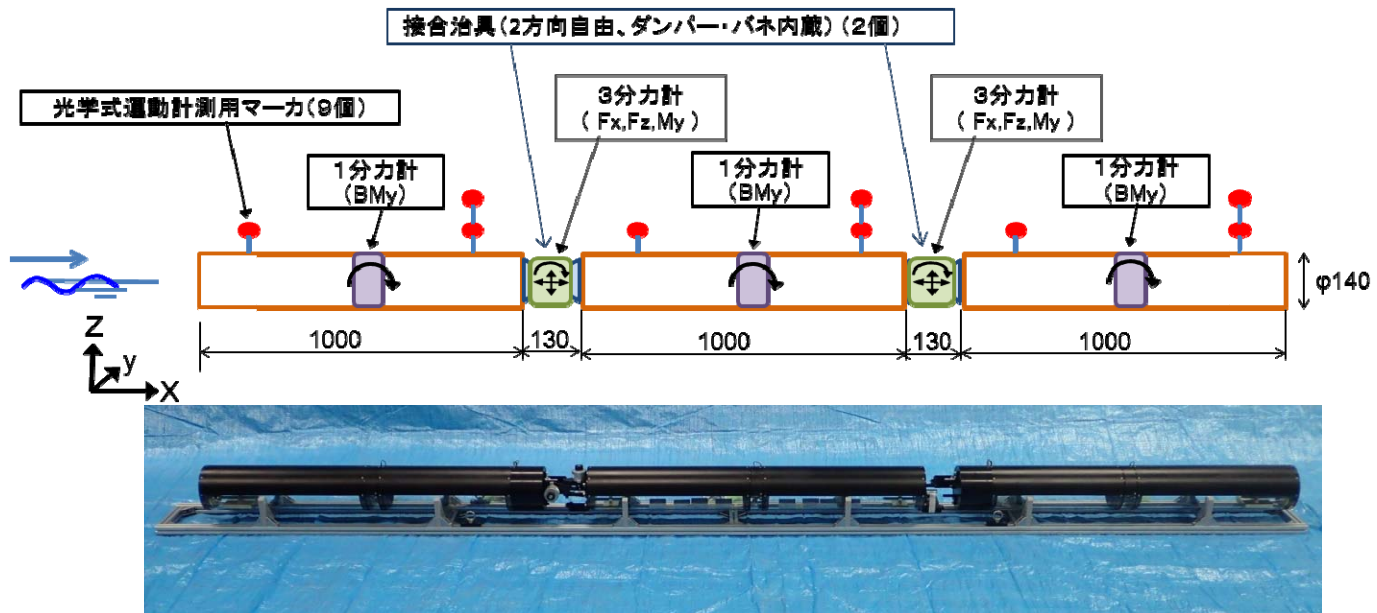


係留変動張力

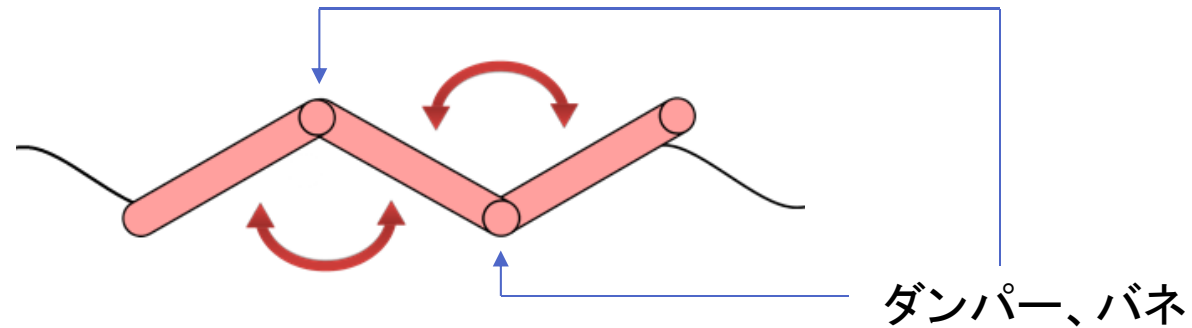


- スパーにかかる上下力は、発電時制御、フロート固定、フロート自由の順で大きい。
- スパーの曲げモーメントは3状態で有意な差は無い。
- 単位波高当たりの係留変動張力は、発電時制御、フロート自由、フロート固定の順で大きい。

屈曲動揺型模型



屈曲動揺型の実験条件

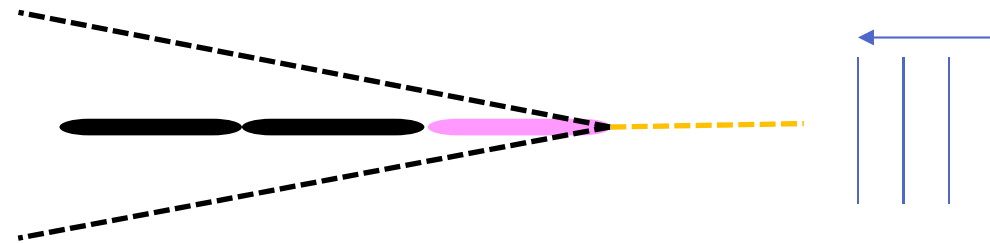
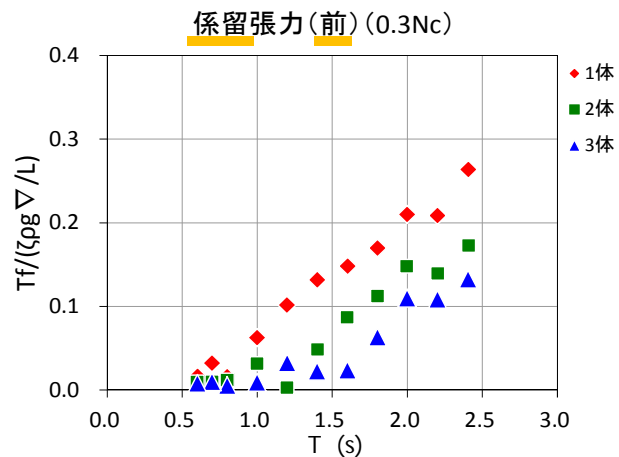
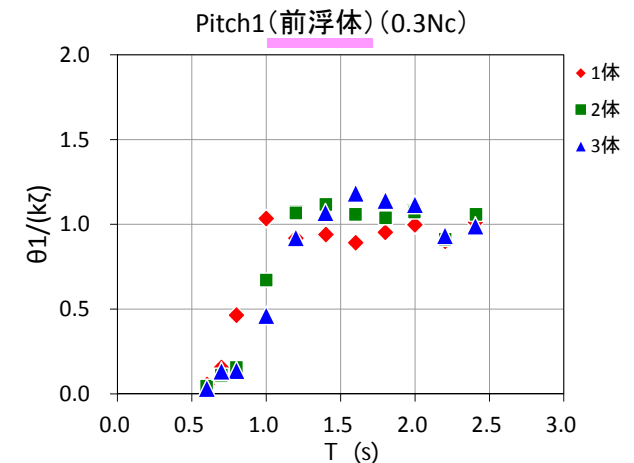
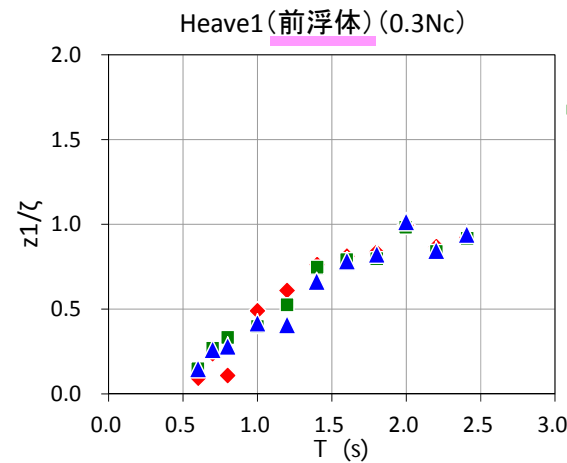
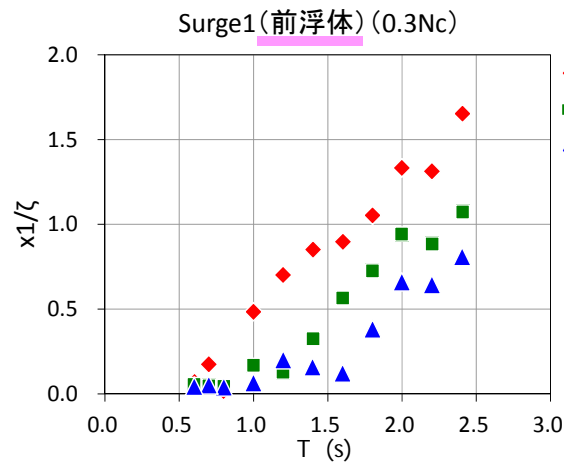
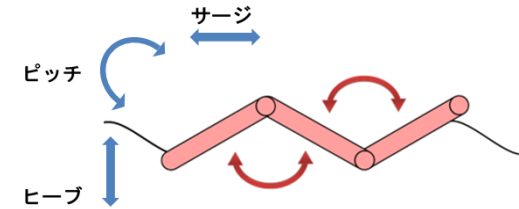


浮体数	接合部	ダンパー 減衰係数			バネ
		無し	粘性減衰0.3Nc	臨界減衰Nc	
2	自由	○			無し
2	自由		○		無し
2	自由			○	無し
2	半固着	○			有り
2	固着	—	—	—	—
3	自由	○			無し
3	自由		○		無し
3	自由			○	無し
3	半固着	○			有り
3	固着	—	—	—	—

ダンパー： 臨界減衰(Nc)と粘性減衰(0.3Nc)の2種。

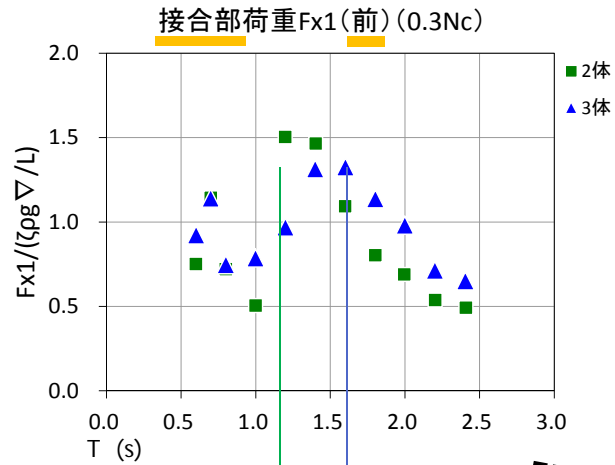
バネ： 接合部が半固着状態となり曲げ方向に復原力をもつ場合を模擬。

屈曲動揺型の結果 浮体運動と係留張力（浮体数の比較）

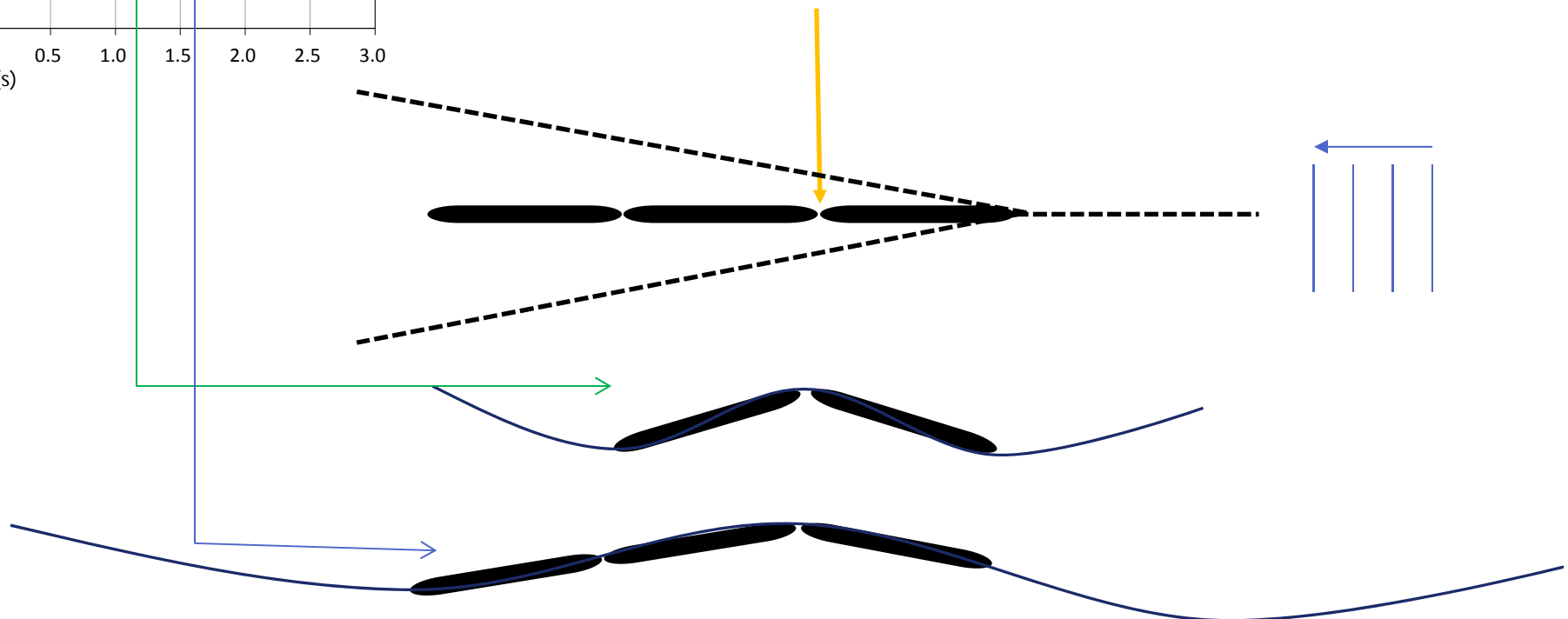


- ・サージ運動は1体、2体、3体の順に大きく、ヒープ運動とピッチ運動は浮体数の影響が小さい。
- ・係留変動張力はサージ運動と同様の傾向。

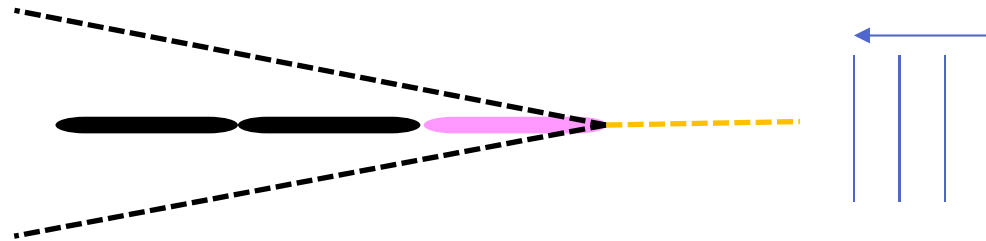
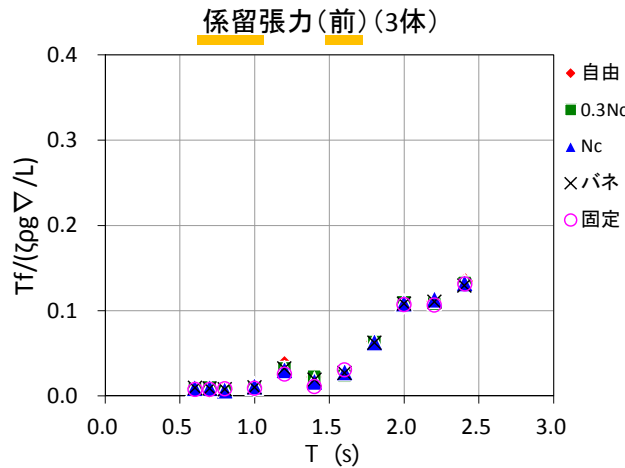
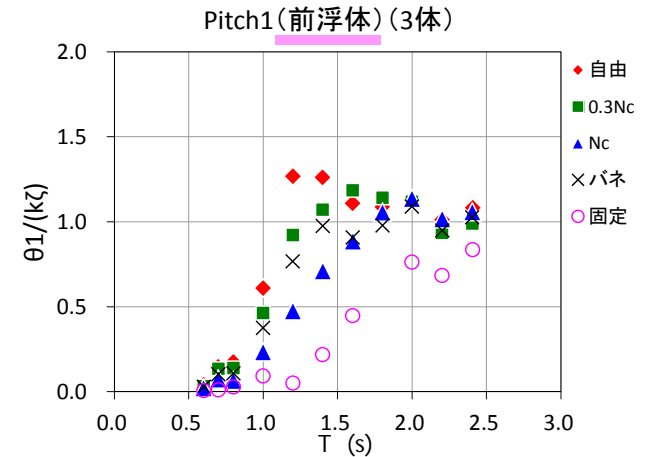
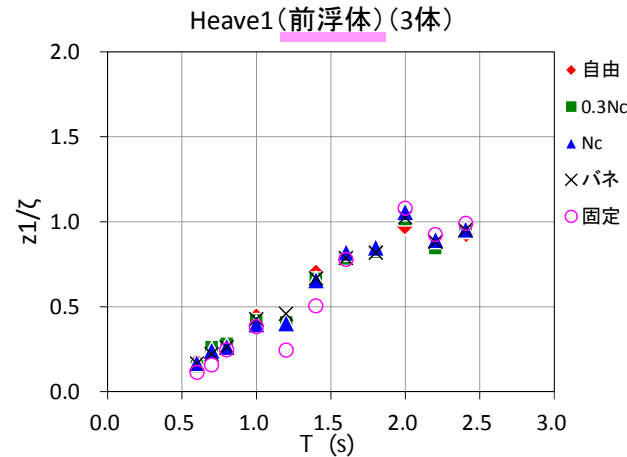
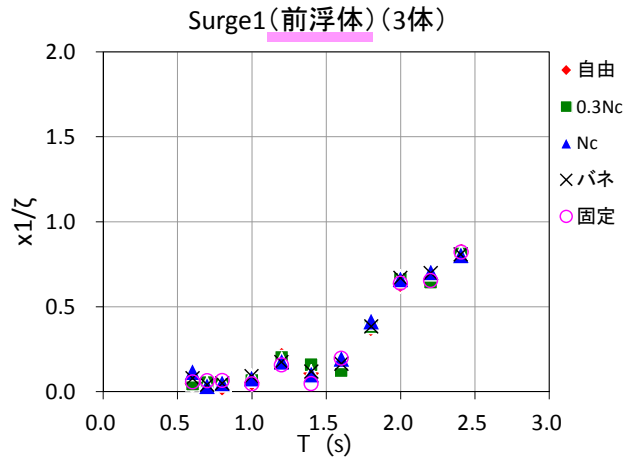
屈曲動揺型の結果 接合部荷重と曲げモーメント（浮体数の比較）



- 浮体部分長が半波長と一致した場合、浮体が波面に乗る。
- 2浮体接合体： 1浮体
- 3浮体接合体： 2浮体
- その時の波周期で接合部前後力はピークを持つ。



屈曲動揺型の結果 浮体運動と係留張力（接合部状態の比較）

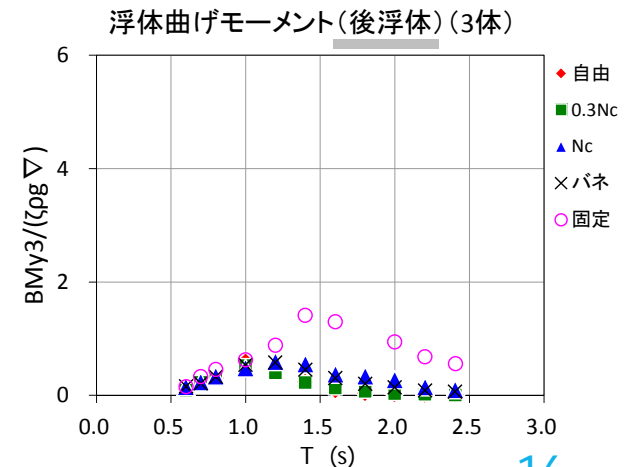
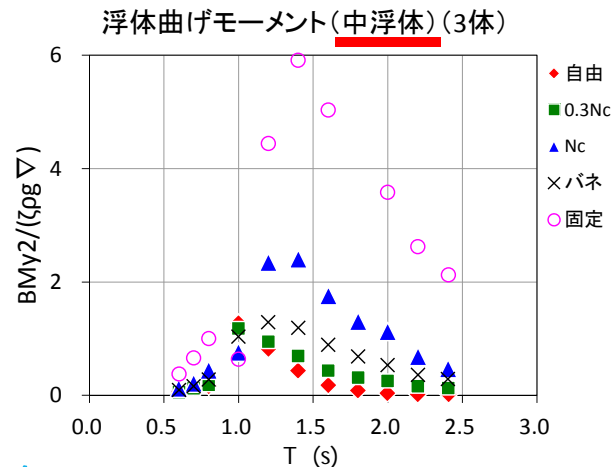
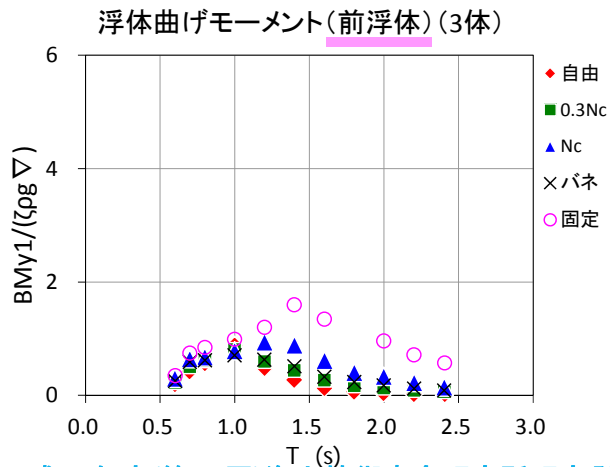
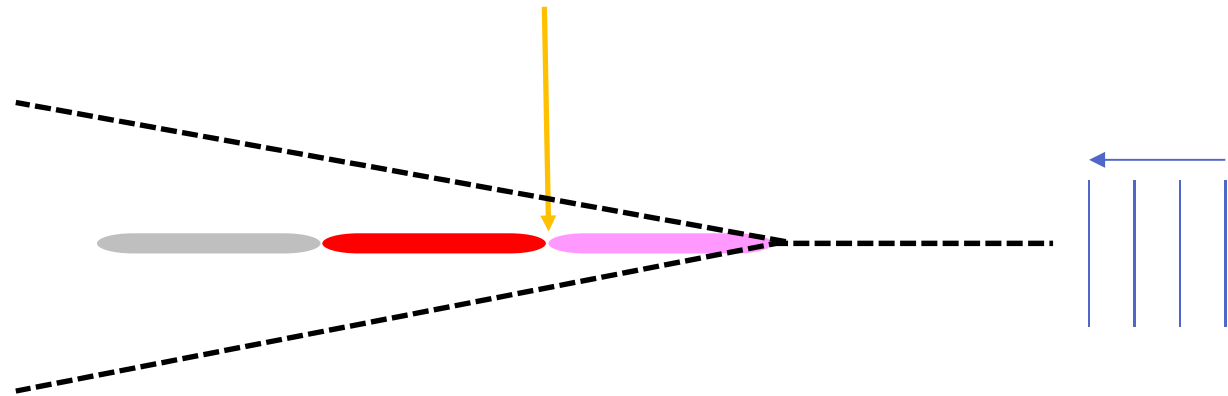
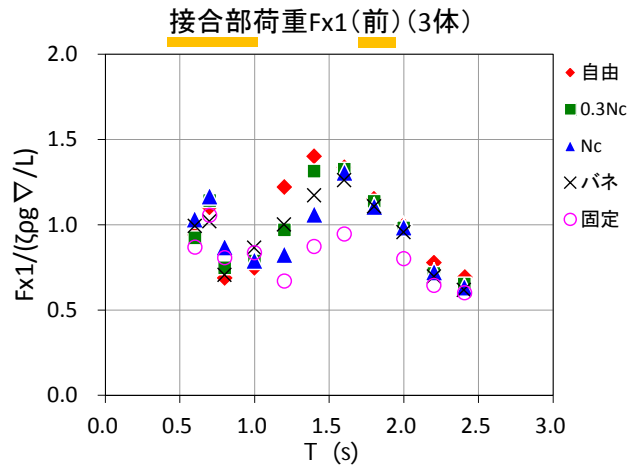


- 接合部状態の違いによる有意な違いは、サージ、ヒープ及び係留変動張力には見られない。
- ピッチ運動は、接合部自由で最大値をとる。

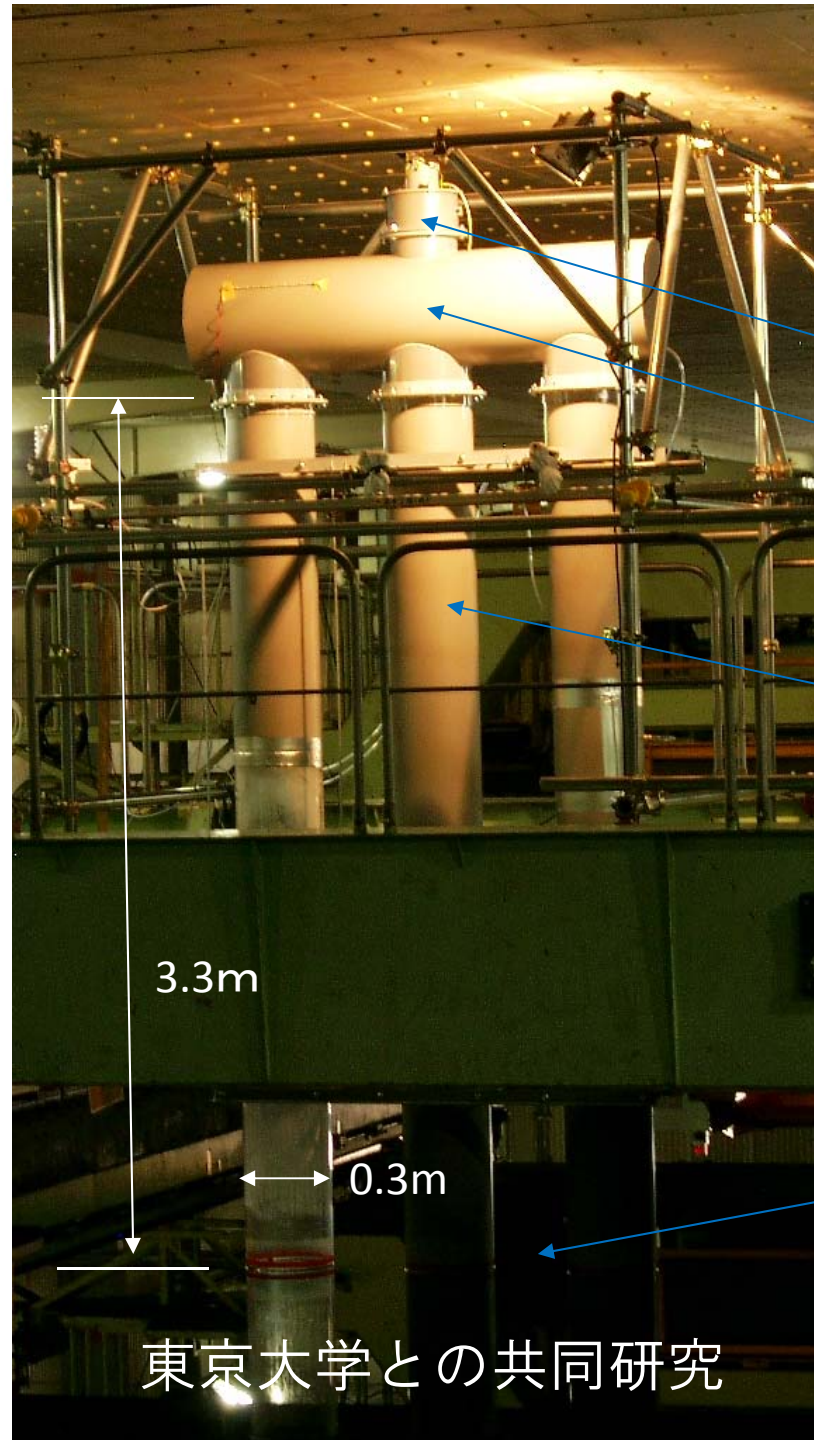
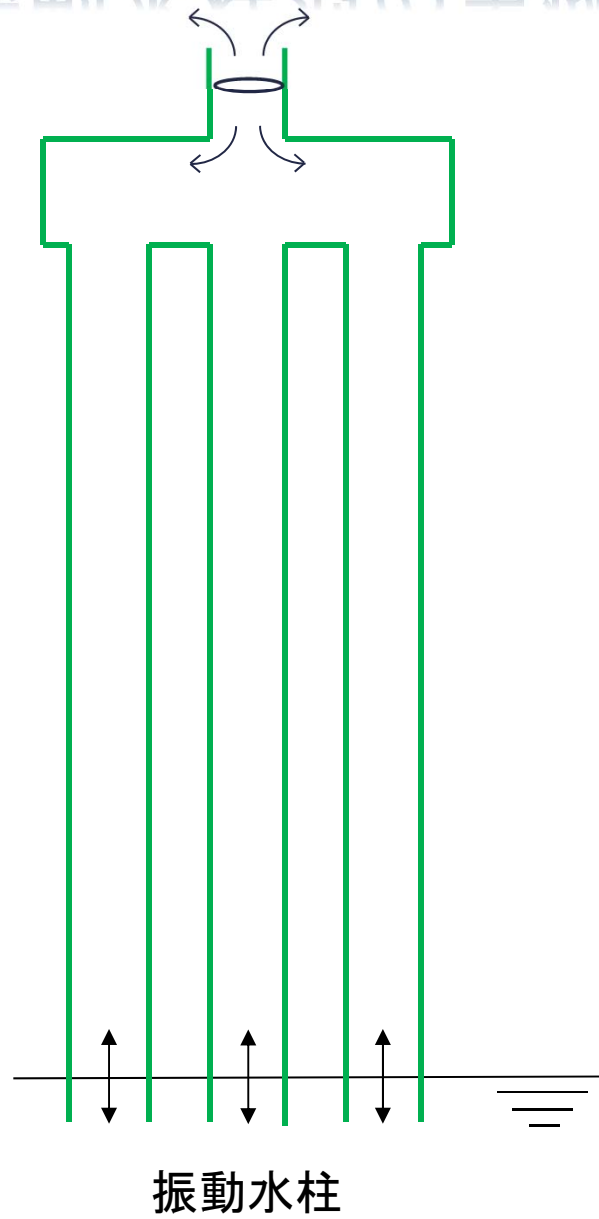
屈曲動揺型の結果

接合部荷重と曲げモーメント（接合部状態の比較）

- 前後方向の接合部荷重は、接合部自由で最大値をとる。一方、浮体の曲げモーメントは、接合部固定で最大値をとる。

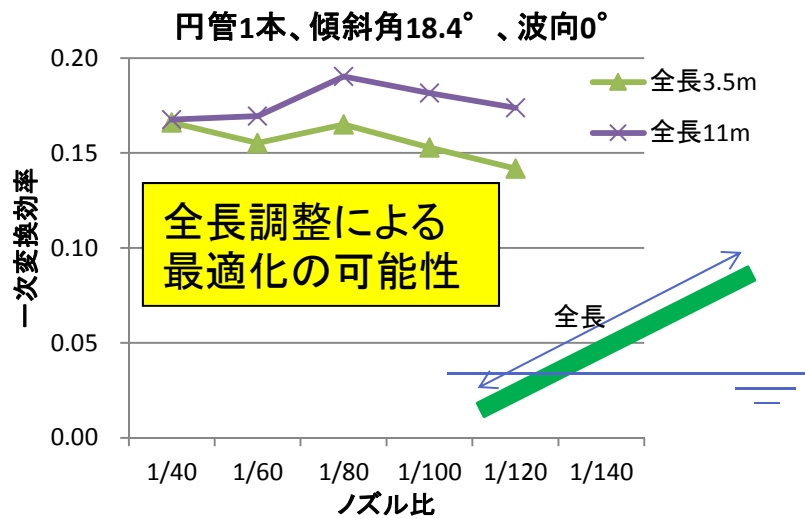
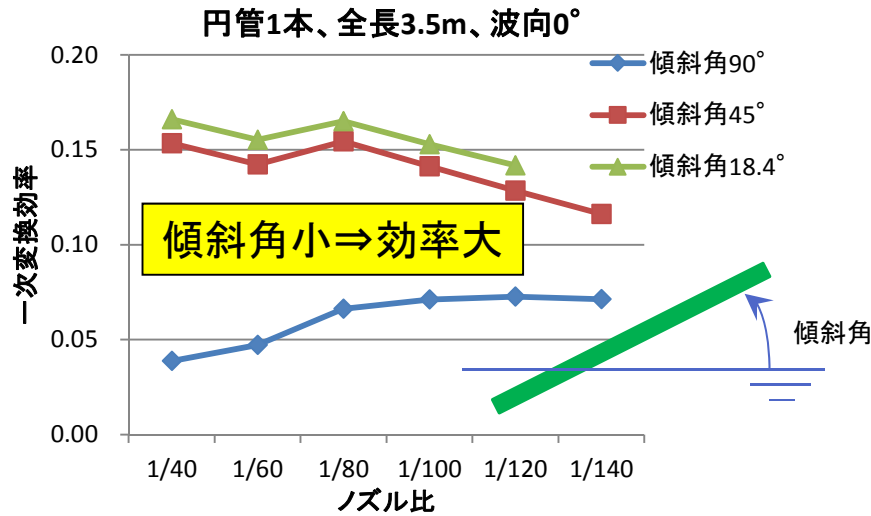


振動水柱型の事例



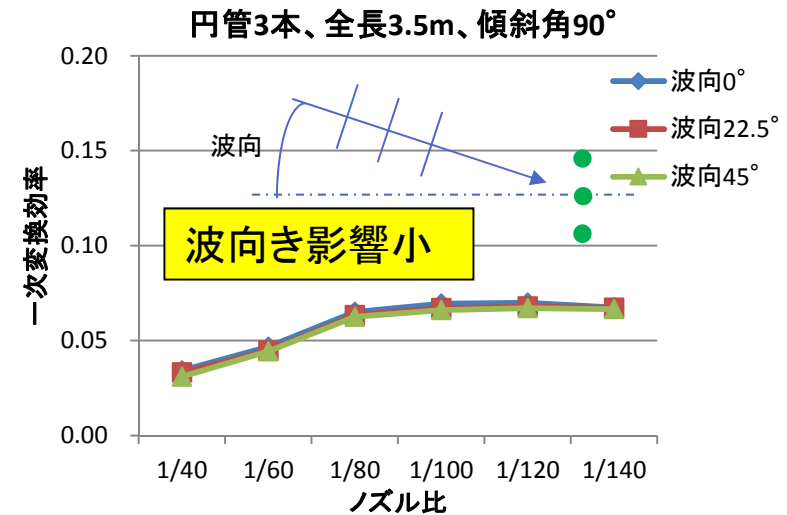
振動水柱型の結果

$H_{1/3}=0.15\text{m}$
 $T_{1/3}=2.7\text{s}$



タービンをオリフィスで模擬

グラフの横軸：
 ノズル比=オリフィス面積/管面積



(注) 3本の管の応答の位相差影響を見た実験

まとめ



- 当所の波力発電に対する取組みの中で、水槽試験の切り口で事例を紹介し、実験技術的観点で試験実施方法等を概観した。

(参考) 数値シミュレーションへの取組みは、ポスターセッションに出展中。

- 今回紹介した試験からの主な知見は以下のとおり。
 - 並進動揺型では、係留力に影響が大きく重要であるスパー上下力（単位波高当たり）は、フロート固定よりも発電時制御の方が大きい。
⇒最大発電波高を安全設計上で留意。
 - 屈曲動揺型では、要素浮体の接合部荷重において、浮体部分長が半波長と一致した場合にピークを持つ。
⇒現地波長との関係を考慮して設計することが望ましい。
 - 振動水柱型では、傾斜角が小さいと効率が高い。
⇒沿岸固定式への適合性が期待できる。
さらに、円管の全長の調整によって一次変換効率の最適化が可能。
- 「浮体式波力発電施設安全ガイドライン（暫定案）」には、今回紹介した並進動揺型と屈曲動揺型の試験について、浮体構造物としての安全性確保の視点で整理して掲載している。

謝辞

本発表は主に、平成26年度国土交通省受託事業「波力等海洋エネルギー発電施設の安全対策のための調査研究」及び平成25年度東京大学との共同研究「自然共生型ブローホール波力発電システムの実証実験に関する研究」の実験結果に基づいています。

両事業に携わった関係各位に深く謝意を表します。