



異常波の発生確率と浮体構造物の終局限界 挙動について

海洋開発系

齊藤昌勝 湯川和浩 石田圭 渡邊充史

内容

1. Deepsea Atlanticの係留破断事故の概要
2. 事故再現試験
3. 研究の目的
4. セミサブ係留系の終局限界状態試験
5. 試験結果
6. 長周期運動とオービタルモーションを模擬した係留張力計算
7. 長周期運動と異常波のタイミングの推定方法
8. まとめ

セミサブリグDeepsea Atlantic の係留破断事故は2012 年1月26日に発生

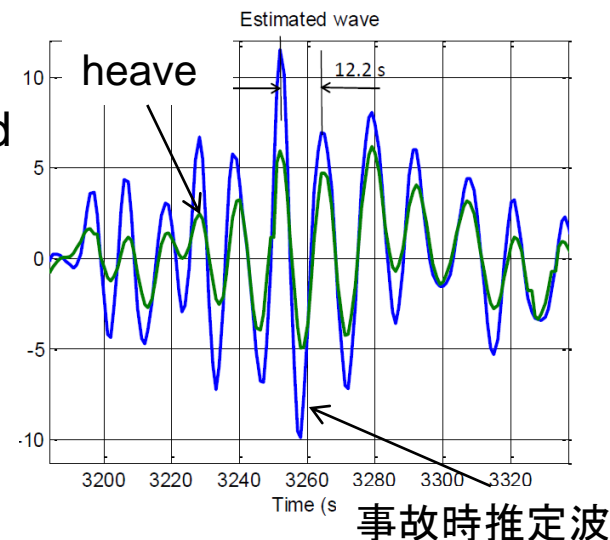
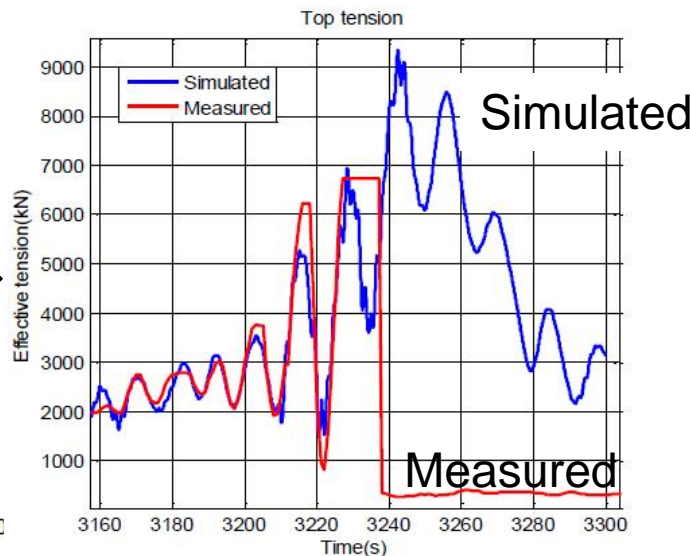
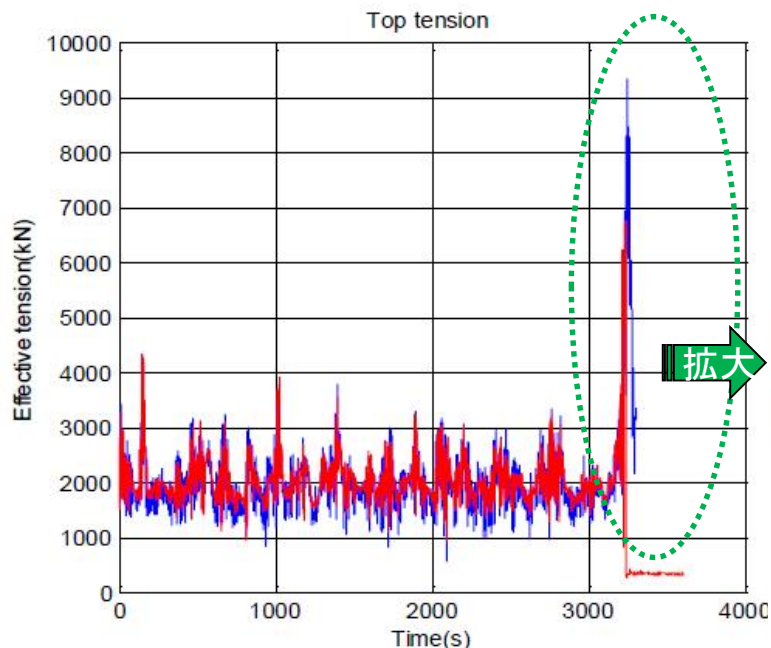


Norwegian Petroleum
Safety Authority
(PSA) 2010-14より

船長L	108.0m
型幅B	78.1m
吃水d	19.0m
排水量W	48,369 ton
係留ライン	84mmチェーン
係留法	8本スプレッド
水深	100~200m

- 天候待機中に係留ライン波上側 1本が破断
- 係留ラインとスラスタアシスト(**POS Moor ATA**)による位置保持
- 事故時の環境条件(およそ1年ストーム条件)
波: $H_s=9.4\text{m}$, $T_p=14.2\text{ sec}$ 、風: 10m高さでの平均風速=28m/s
流れ: 表層流速=1.0 m/s.
- Marintekを中心にJIP実施(2014-2016): Large slow drift motionが原因とされた

さほど厳しくない環境条件下での異常長周期動揺(異常張力)



事故時の係留ライン張力

周期: 12.2sec, 最大波高: 21m

JIPの検討内容

上下動揺から事故時の波を推定

水平運動から外力を推定



異常波が発生していた

理論値より大きな外力



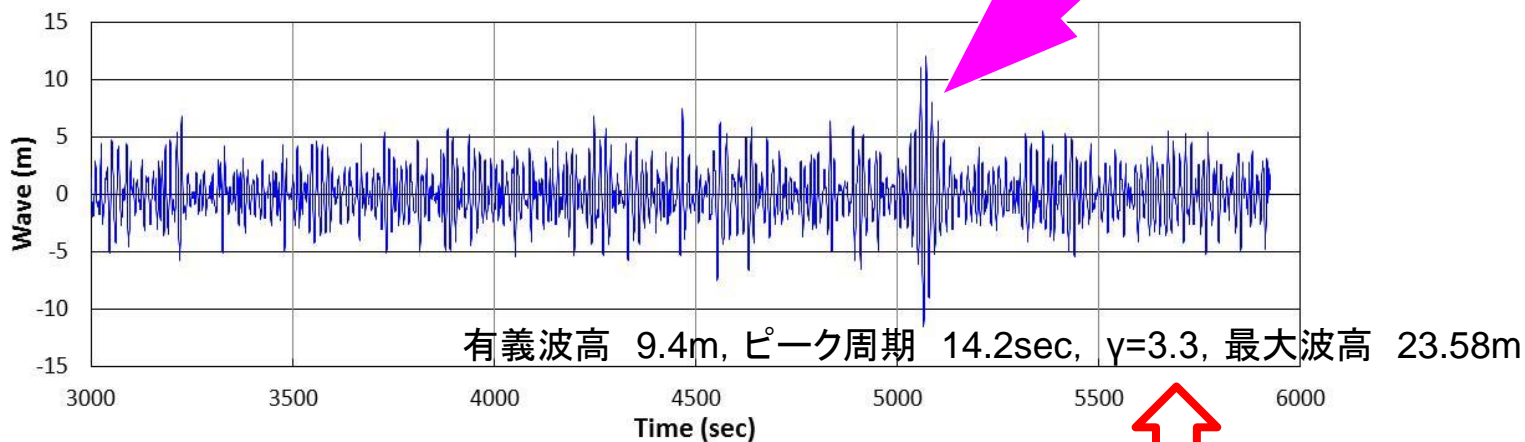
(異常波は最大波高が有義波高の2倍を超える波)

粘性波漂流力が作用していた

過去に実施した事故再現試験¹⁾の概要

- 入手可能な資料を基にした模型の係留設計
- Surgeの固有周期は自由動揺試験の結果57secであった

水槽で発生させた異常波を含む不規則波時系列 異常波



試験条件

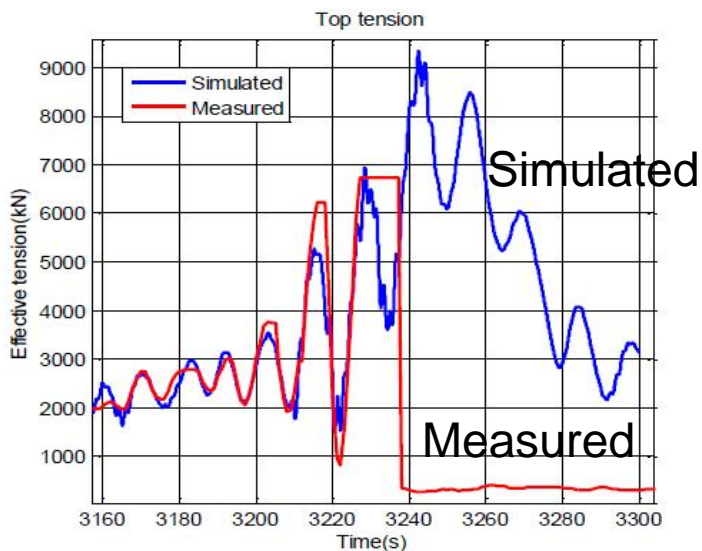
有義波高 $H_s=9.4\text{m}$
 ピーク周期 $T_p=14.2\text{sec}$
 ピークパラメータ $\gamma=3.3$

ケース番号	1	2	3	4	5
最大波高(m)	17.37	21.49	23.58	24.71	25.89

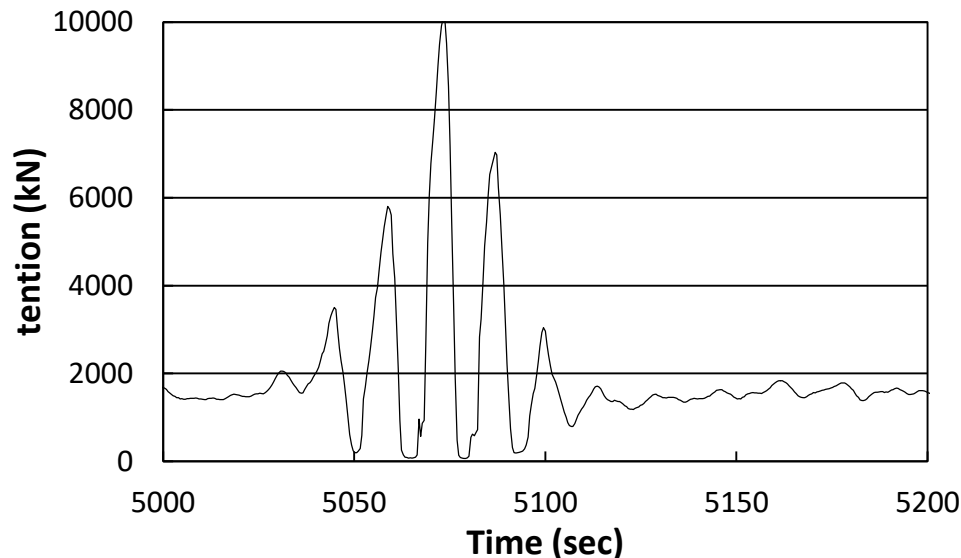
参考文献

1) 齊藤昌勝 他, セミサブリグの係留ライン破断事故再現試験, 第 26 回海洋工学シンポジウム, (2017)

破断ラインの異常波中での張力変動



JIPの検討結果



海技研の試験結果

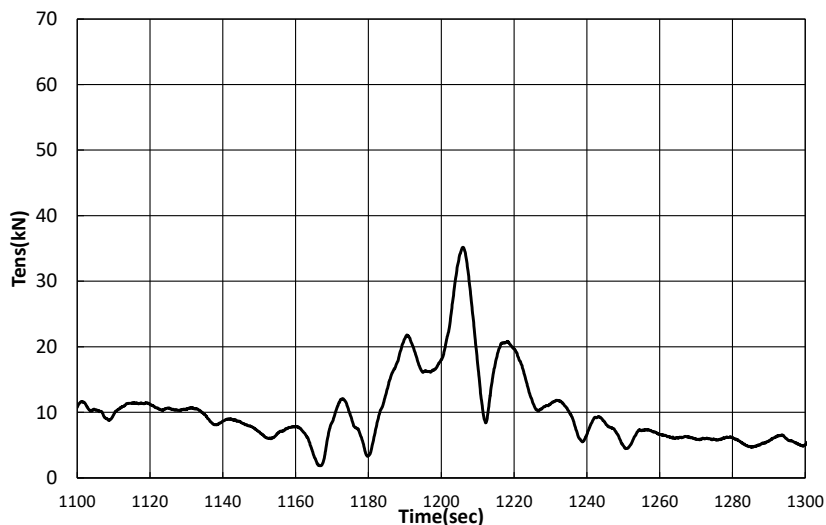
○ 事故再現試験(海技研)

異常波中の係留張力の時系列は波周期変動優勢で、張力がほぼゼロまで下がり、その後過大な張力が発生する極めて危険な状況が確認された。

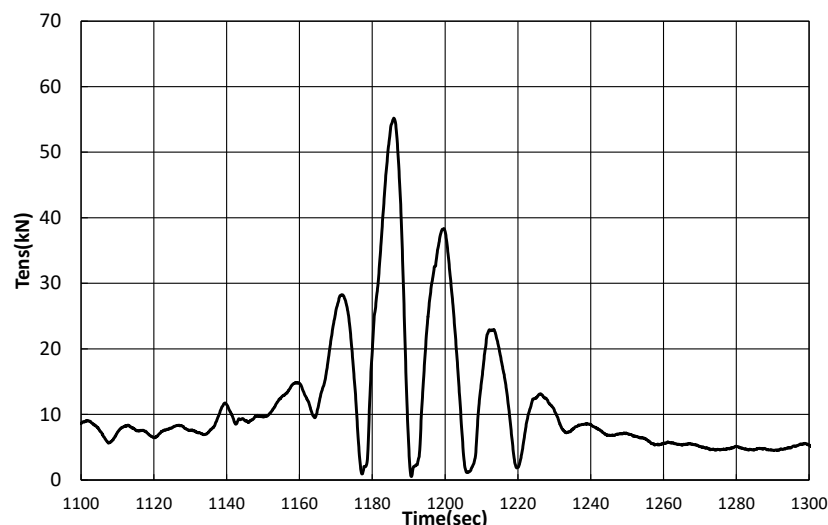
○ JIPの検討結果

長周期の張力変動に波周期の比較的小さな変動が乗った張力時系列が得られている。

- 異常波中において係留張力の時系列が長周期変動優勢となる条件、波周期変動優勢となる条件とその機構を明らかにする。
- 異常波とその時に生じる波周期優勢な張力変動が発生する確率を推定する方法を求める。



長周期優勢の例



波周期優勢の例

異常波中の係留張力の時系列が長周期変動優勢となる条件と波周期変動優勢となる条件を明らかにするための終局限界状態試験を実施。

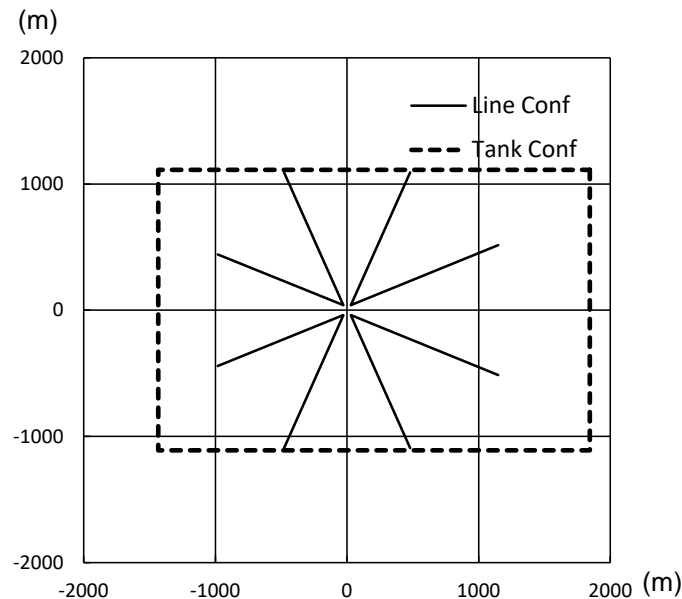
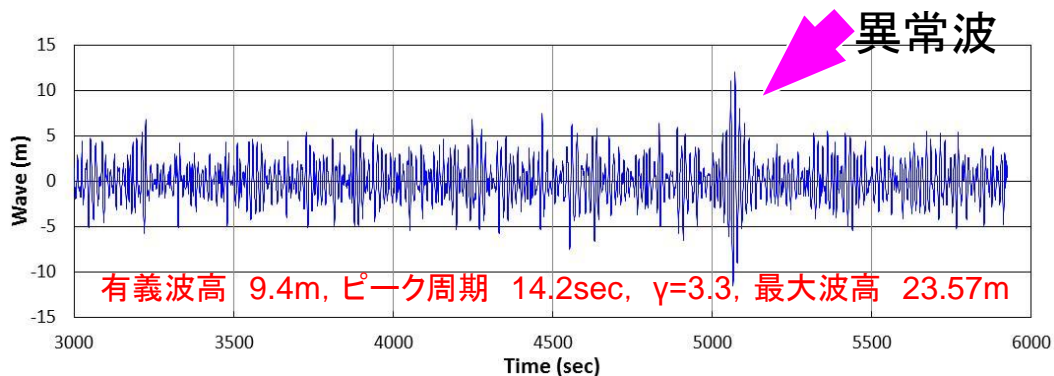
試験パラメータ:

- ・ライン材料(材料の違いによる動的効果を考慮)
- ・重心高さ(Pitchの影響を考慮)
- ・ブレースの有無(Pitchの減衰を考慮)
- ・Surgeの固有周期(ラインの張り方)
- ・異常波の最大波高・周期

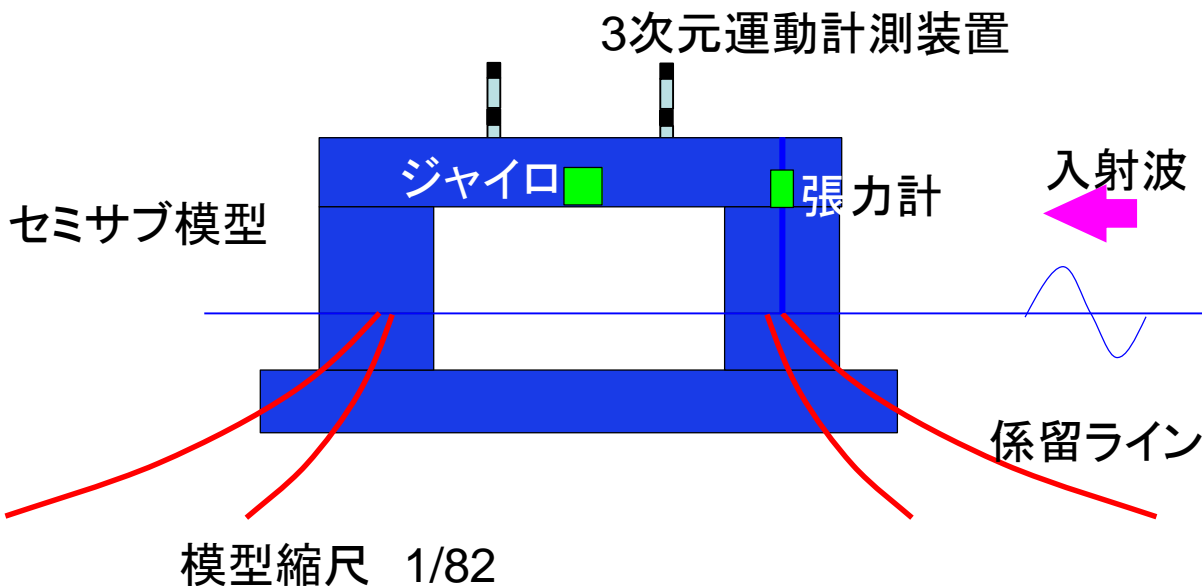
Surgeの固有周期を長くすることで長周期優勢の張力変動と波周期優勢の張力変動の両方の状態を観測することが出来た。

重心高さやブレースの有無を変えた試験は固有周期の短い状態で行ったため、張力変動への影響は見られなかった。

事故再現試験で発生させた異常波を含む不規則波時系列

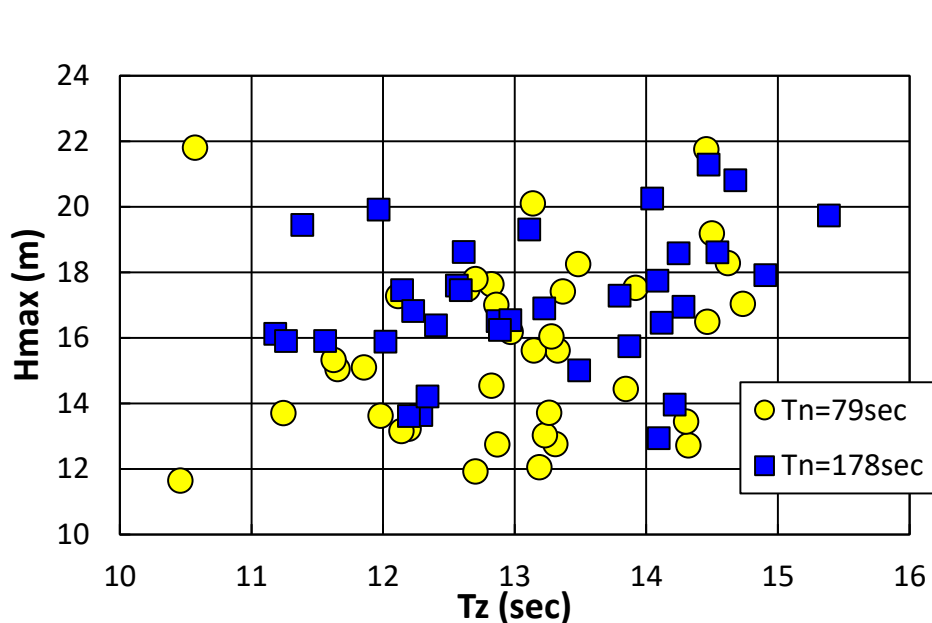


アンカー配置

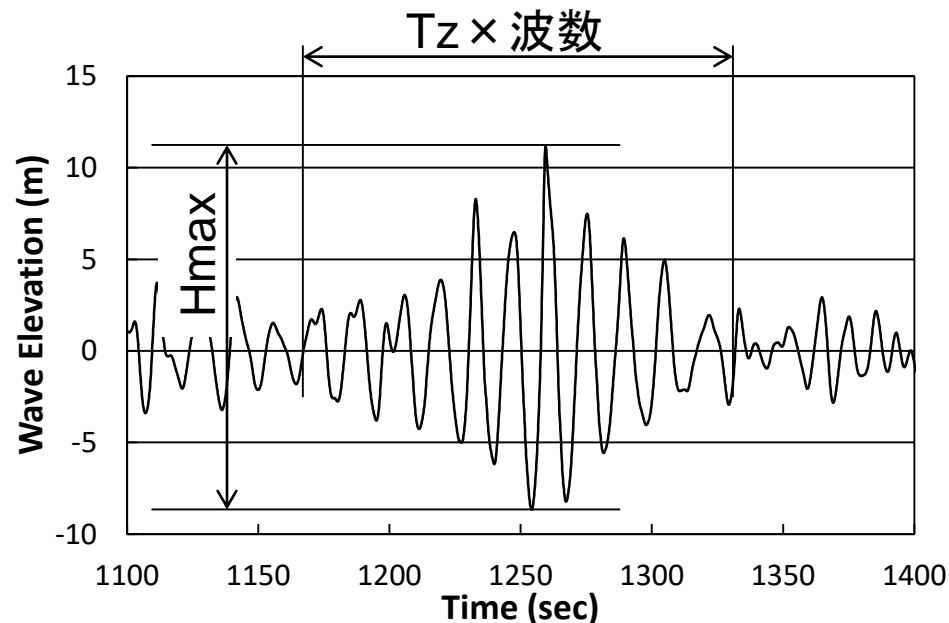


異常波はモンテカルロシミュレーションにより生成

Surgeの固有周期2種類(79secと178sec)について
異常波中の最大波高・ゼロクロス平均周期を変化させた試験を実施。

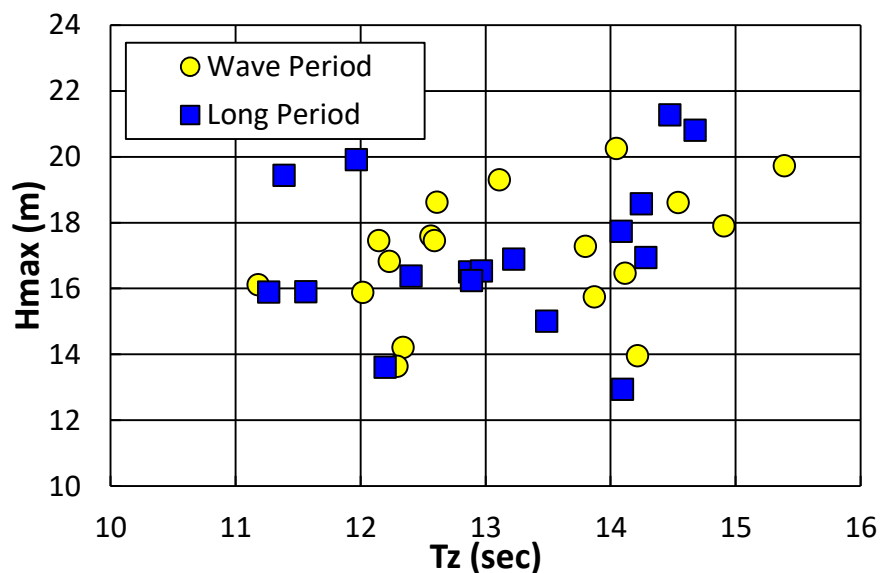


計測された最大波高とゼロクロス平均周期

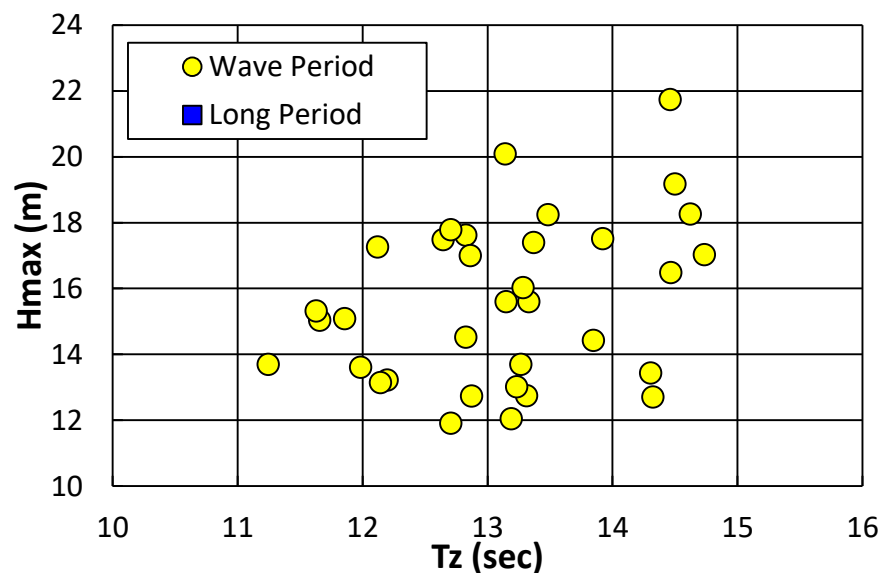


最大波高とゼロクロス平均周期の定義

Surgeの固有周期 $T_n=79\text{sec}$ では長周期優勢な張力変動は観測されなかった。 $T_n=178\text{sec}$ では長周期優勢・波周期優勢両方の張力変動が観測された。



固有周期 $T_n=178\text{sec}$

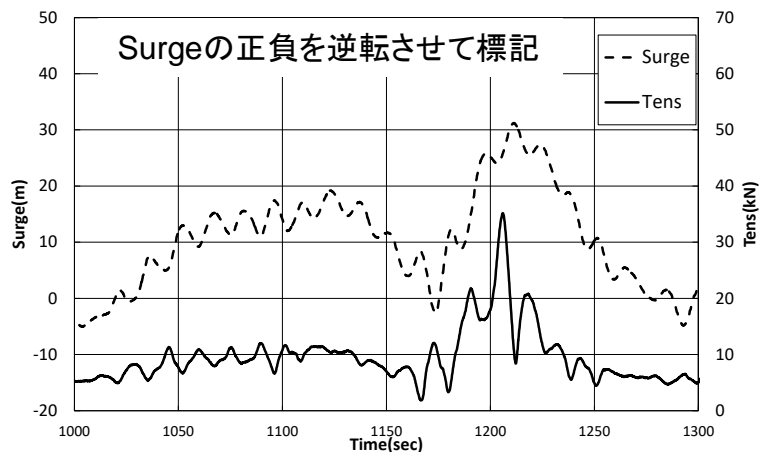
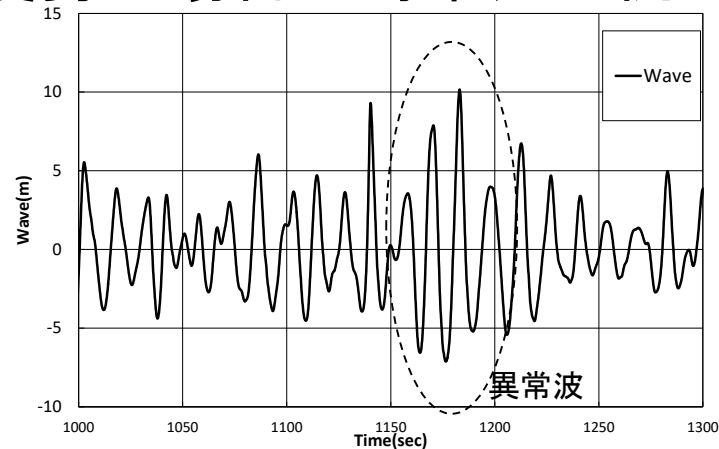
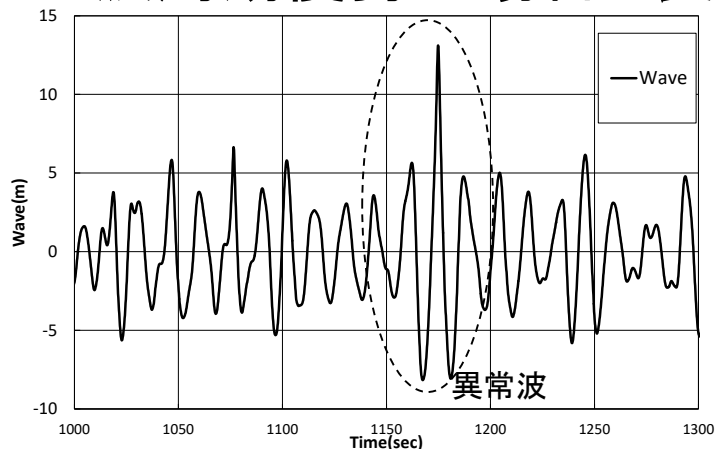


固有周期 $T_n=79\text{sec}$

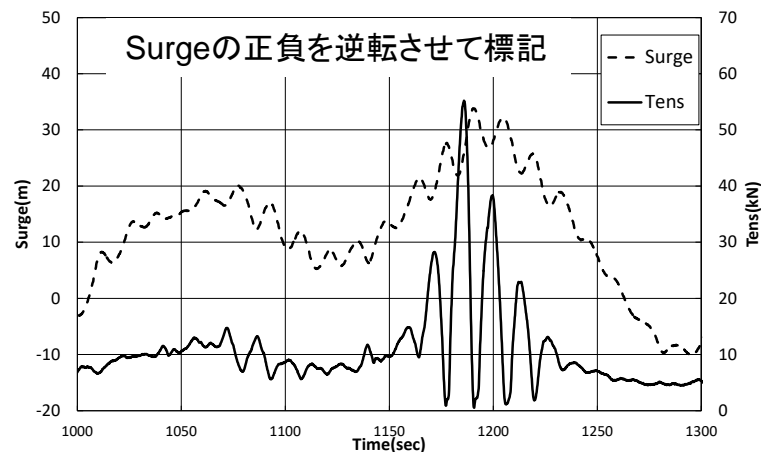
波周期優勢と長周期優勢の観測結果

張力変動の傾向と異常波のパラメータ(最大波高・ゼロクロス平均周期)との間に相関は見られない。

波周期優勢の場合と長周期優勢の場合の時系列の例



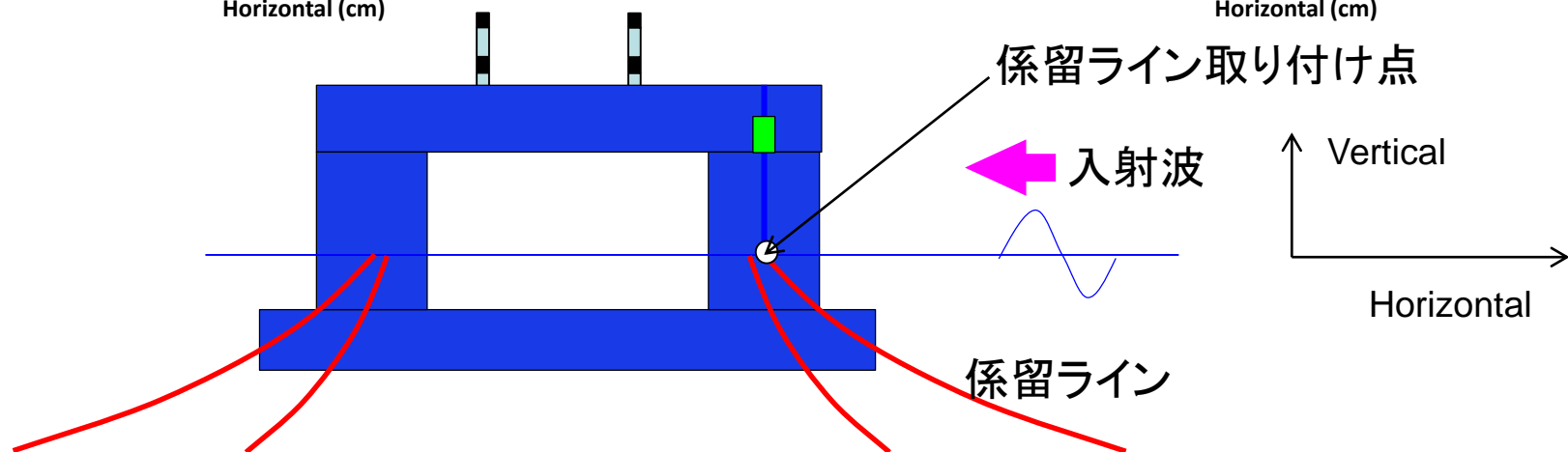
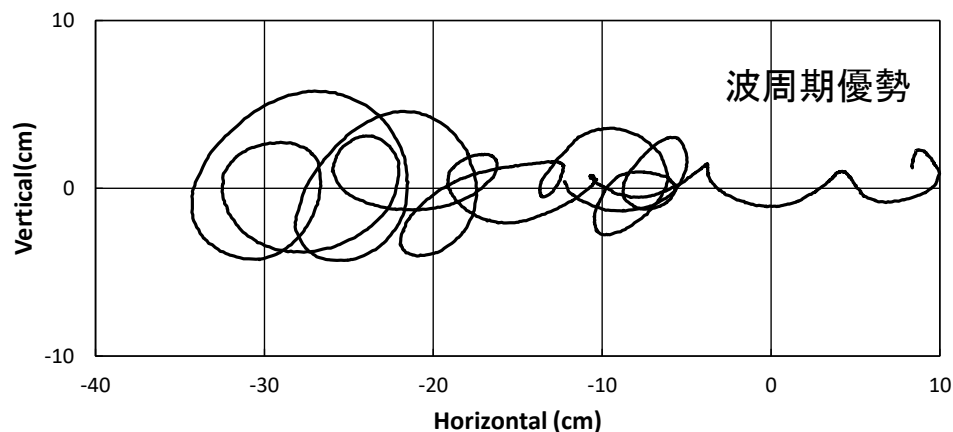
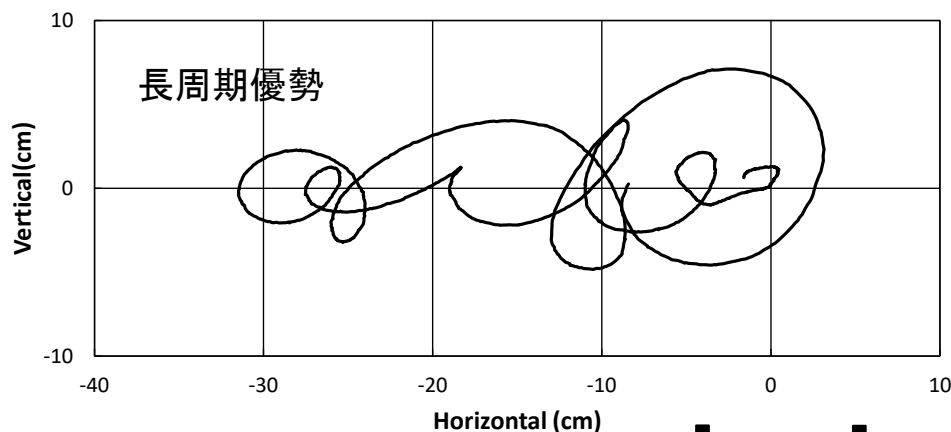
長周期優勢



波周期優勢

最大波高が小さくても最大張力が大きくなる現象が起きており、波周期変動の危険性が判る。

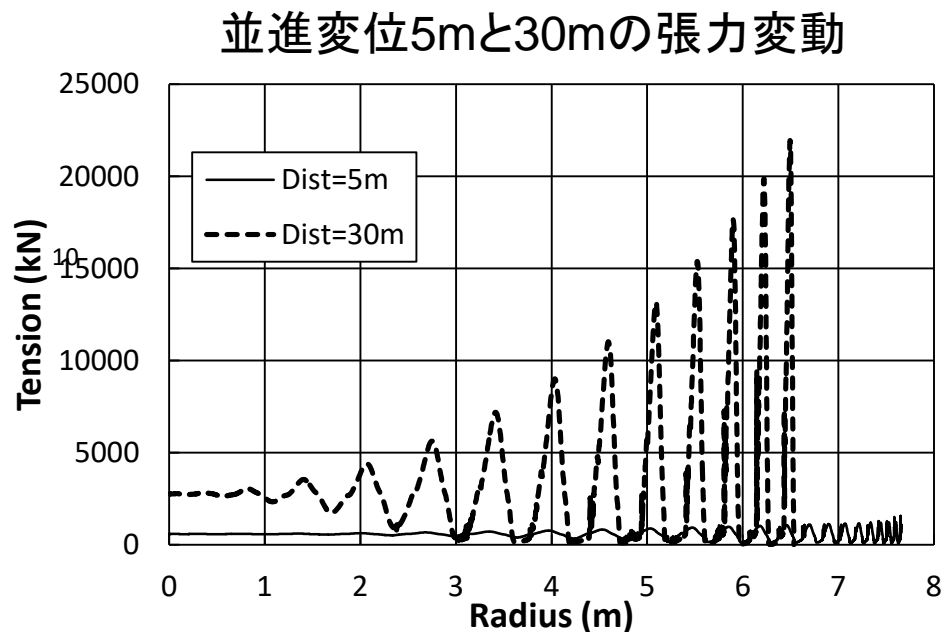
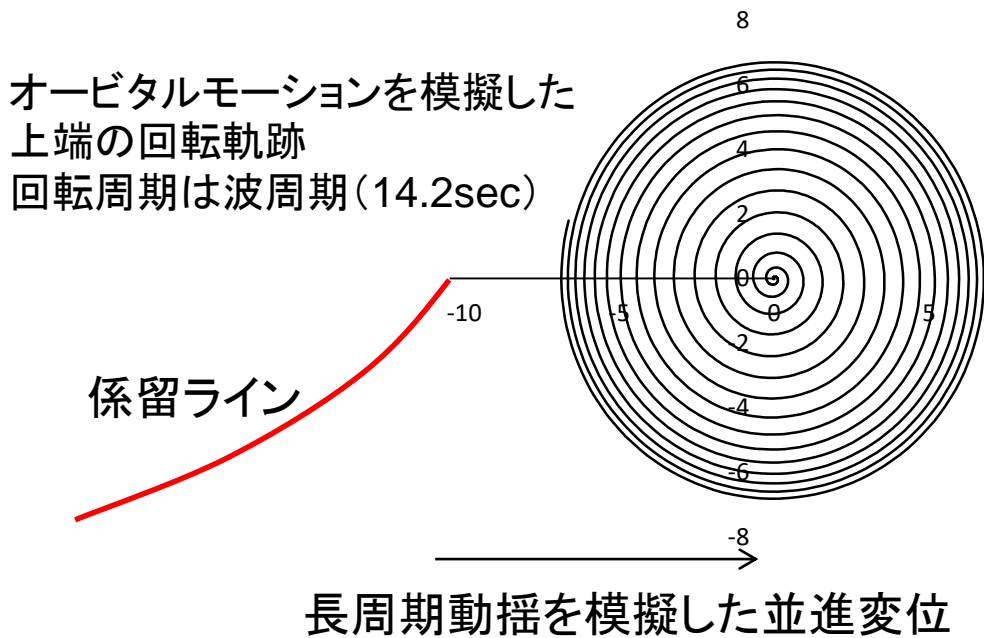
係留ライン取り付け点の軌跡 (X-Z面への射影)



長周期優勢の場合 Surge 方向に流された時にオービタルモーションの直径が小さく、波周期優勢の場合 Surge 方向に流された時にオービタルモーションの直径が大きい。

オービタルモーションの直径は波高にほぼ比例すると考えられるので大きなオービタルモーションは異常波に相当する。

係留ラインの上端を強制加振した時の張力変動のシミュレーション結果を示す。



並進変位が大きくなるとオービタルモーションによる波周期の張力変動が急激に増加。

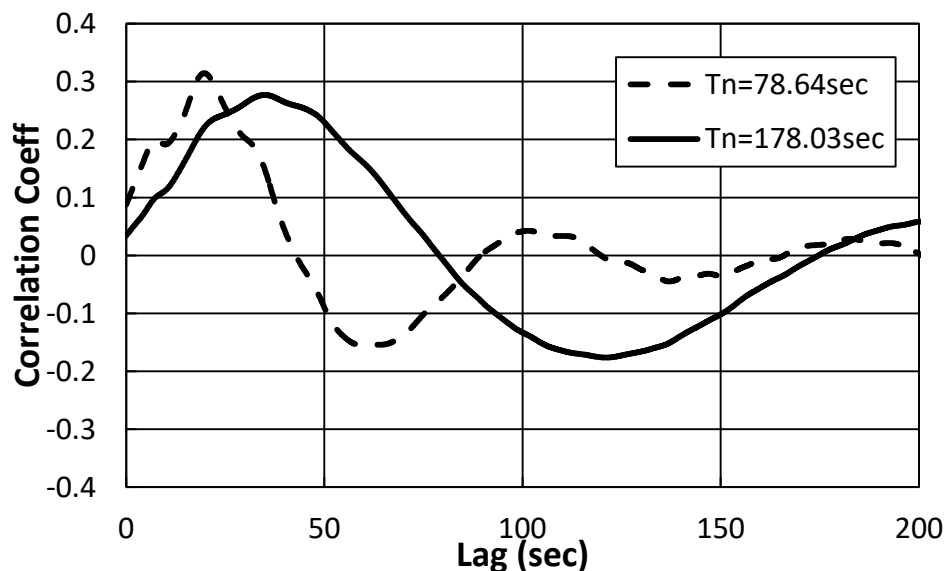


張力変動の傾向(波周期優勢・長周期優勢)を決める条件は長周期運動と異常波のタイミングであると考えられる。この結果は、固有周期が短い場合に長周期優勢の張力変動が得られなかったこととも合致。

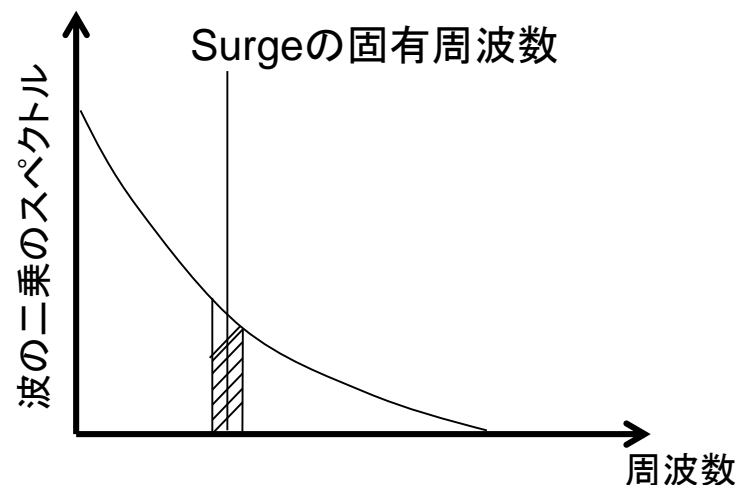
固有周期を長くすることで波周期優勢の張力変動は発生しにくくなると考えられる。

Surgeの長周期運動は波漂流力により生じる。
 波の二乗とSurgeの相関係数はSurgeの固有周期の1/4~1/5の時間差にピークがある。

これはセミサブの長周期運動が波の二乗の変動の内、Surgeの固有周期近傍にパワーを持つ成分に同調していることを示している。



Surgeと波の二乗(波漂流力に相当)との相関係数



波の二乗のスペクトル模式図

Surgeの固有周波数近傍にパワーを持つ成分と異常波との間の位相関係を定義できれば、長周期運動と異常波との位相関係を求め、波周期優勢となる確率も推定できると考えられるが、今後の課題である。

- 浅い海域でカテナリー係留されたセミサブの係留張力は、異常波中で波周期で大きく変動する場合があることが確認された。このような変動は非常に危険であり、係留系はこのような張力を発生させないように設計されるのが通常である。
- Surgeの固有周期が短い場合、計測した範囲内では異常波中ではほぼ確実に波周期優勢の張力変動となり、天候待機では固有周期を長くすることで波周期優勢な張力変動を発生させにくくすることが可能と考えられる。
- 固有周期が長い場合、波周期優勢の張力変動は異常波とSurgeの長周期変位のタイミングが重なった場合に発生する。
- タイミングが重なる場合の確率の定式化について、今後検討を進めて行く。