

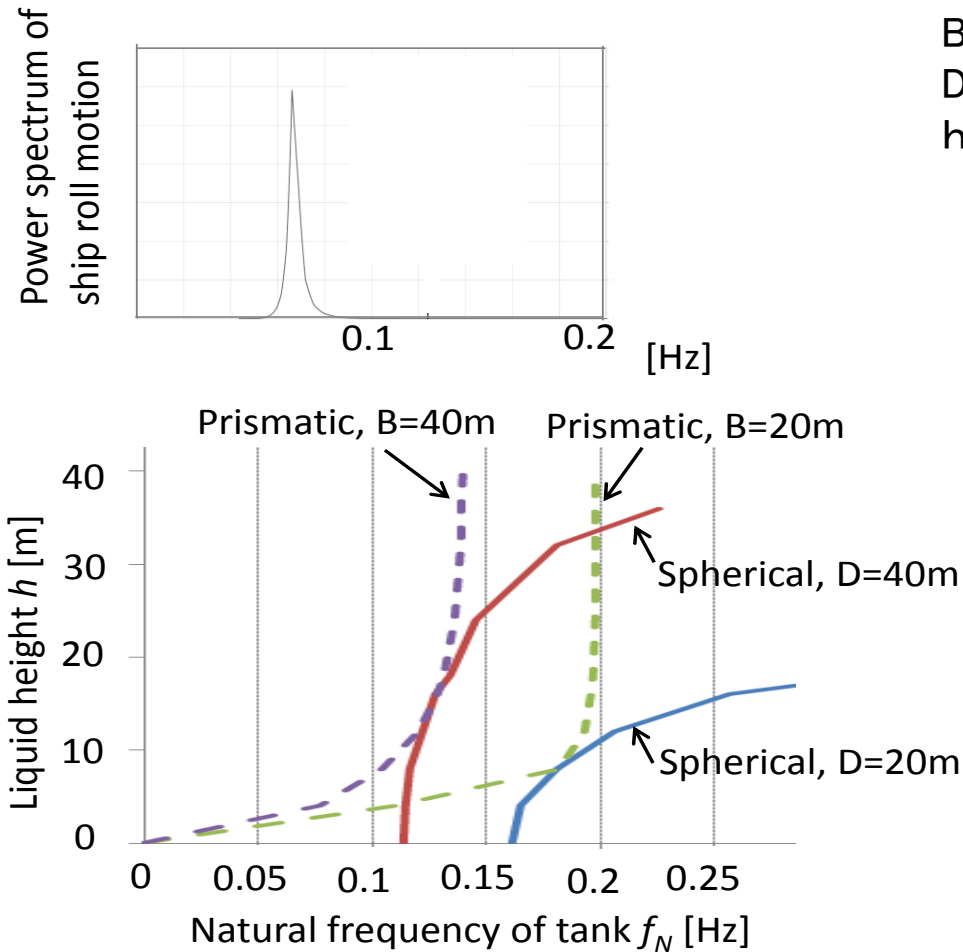
# 実海域におけるLNG船の運航ガイダンス作成に関する 研究開発

横浜国立大学(研究主担当)、日本海事協会、MTI、海上技術安全研究所

## 報告内容

- 船体運動とスロッシングの関係
- 連成影響を考慮した数値計算法の開発
- メンブレンタンクに生ずるスロッシングの基礎的特徴
- 実海域におけるスロッシング荷重推定
- 船体運動とタンク内液体の連成影響
- 結論

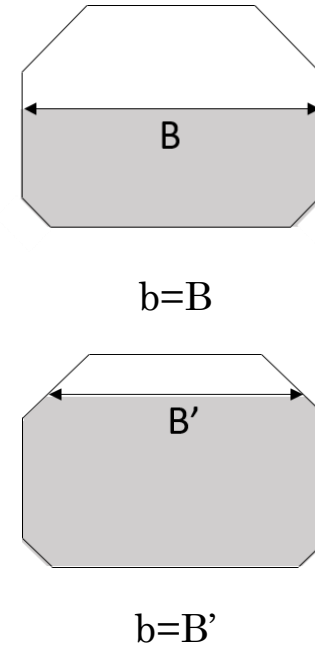
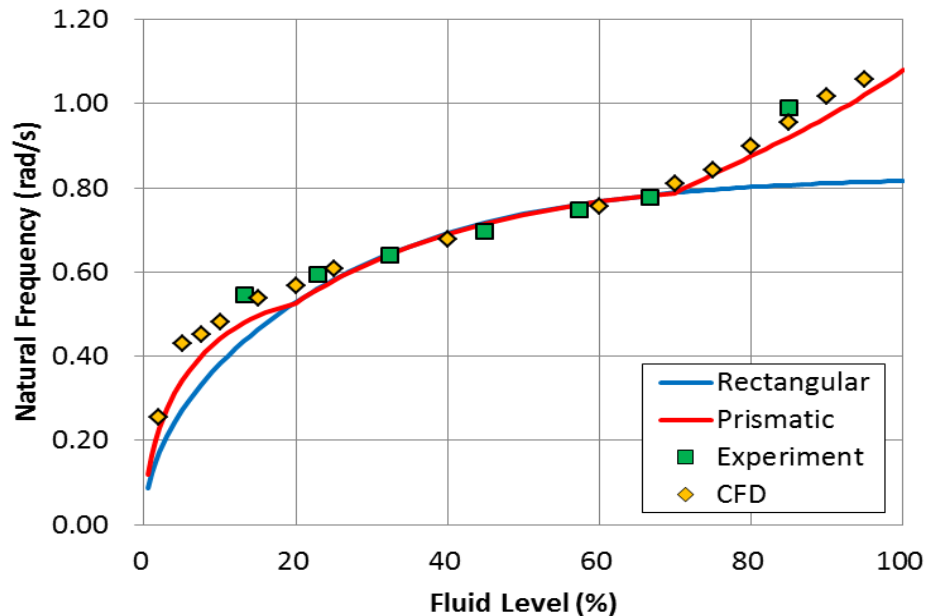
# 船体運動とスロッシングの関係



B: タンク幅(メンブレンタンク)  
 D: タンク直径(球形タンク)  
 h: タンク内液位

船体運動スペクトルとタンク内液体スロッシング固有振動数の関係を知り、同調を避けることが、スロッシング対策の第一歩である。

## スロッシング固有振動数推定チャートの整備



赤線：固有振動数推定式（線形理論）

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g\pi}{b} \tanh \frac{\pi h}{b}}$$

メンブレンタンクのスロッシング固有振動数は、静止時液面幅 $b$ を用いて上記の式で推定できる。ここでは、タンク幅45m、タンク深さ31mの例を示す。本研究では、この他に、球形タンク、メンブレン船の船首に設けられる水平断面がくさび形のタンクの固有振動数推定チャートを整備した。

# 連成影響を考慮した数値計算法の開発

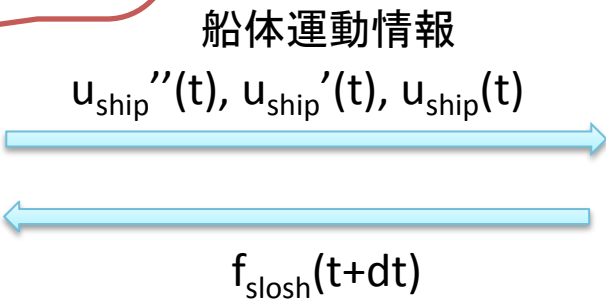
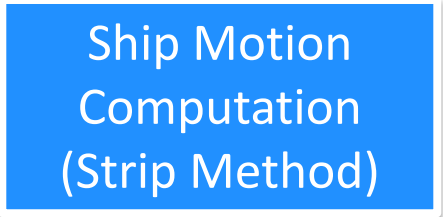
## Ship Motion Simulation

**Input:**

$$u_{ship}''(t), u_{ship}'(t), u_{ship}(t),$$
$$f(t+dt) = f_{wave}(t+dt) + f_{slosh}(t+dt)$$

**Output:**

$$u_{ship}''(t+dt), u_{ship}'(t+dt), u_{ship}(t+dt)$$



**Sloshing Simulation**

**Input:**

$$u_{ship}''(t), u_{ship}'(t), u_{ship}(t),$$

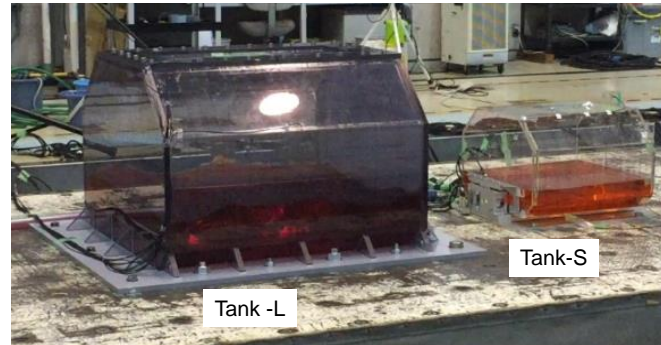
$$p_{slosh}(t), u_{slosh}'(t),$$

**Output:**

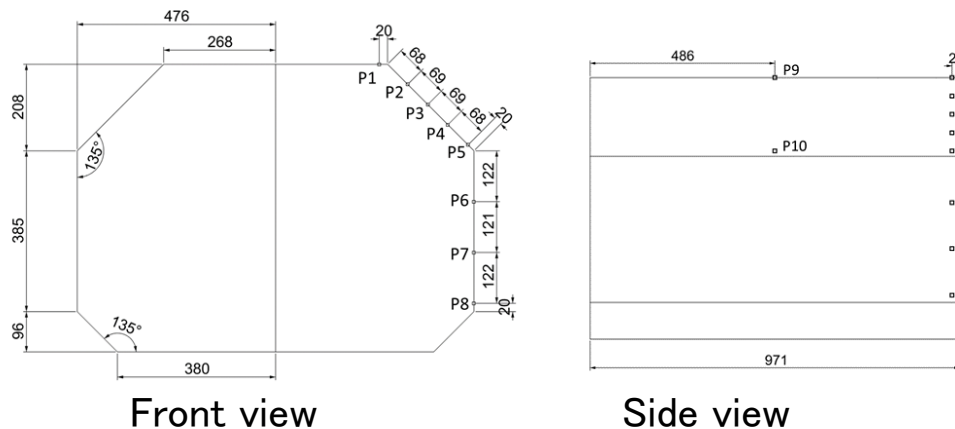
$$f_{slosh}(t+dt), p_{slosh}(t+dt), u_{slosh}'(t+dt)$$

本研究では、船体運動とタンク内液体運動の連成効果を考慮した数値計算法を開発した。

# メンブレンタンクに生ずるスロッシングの基礎的特徴



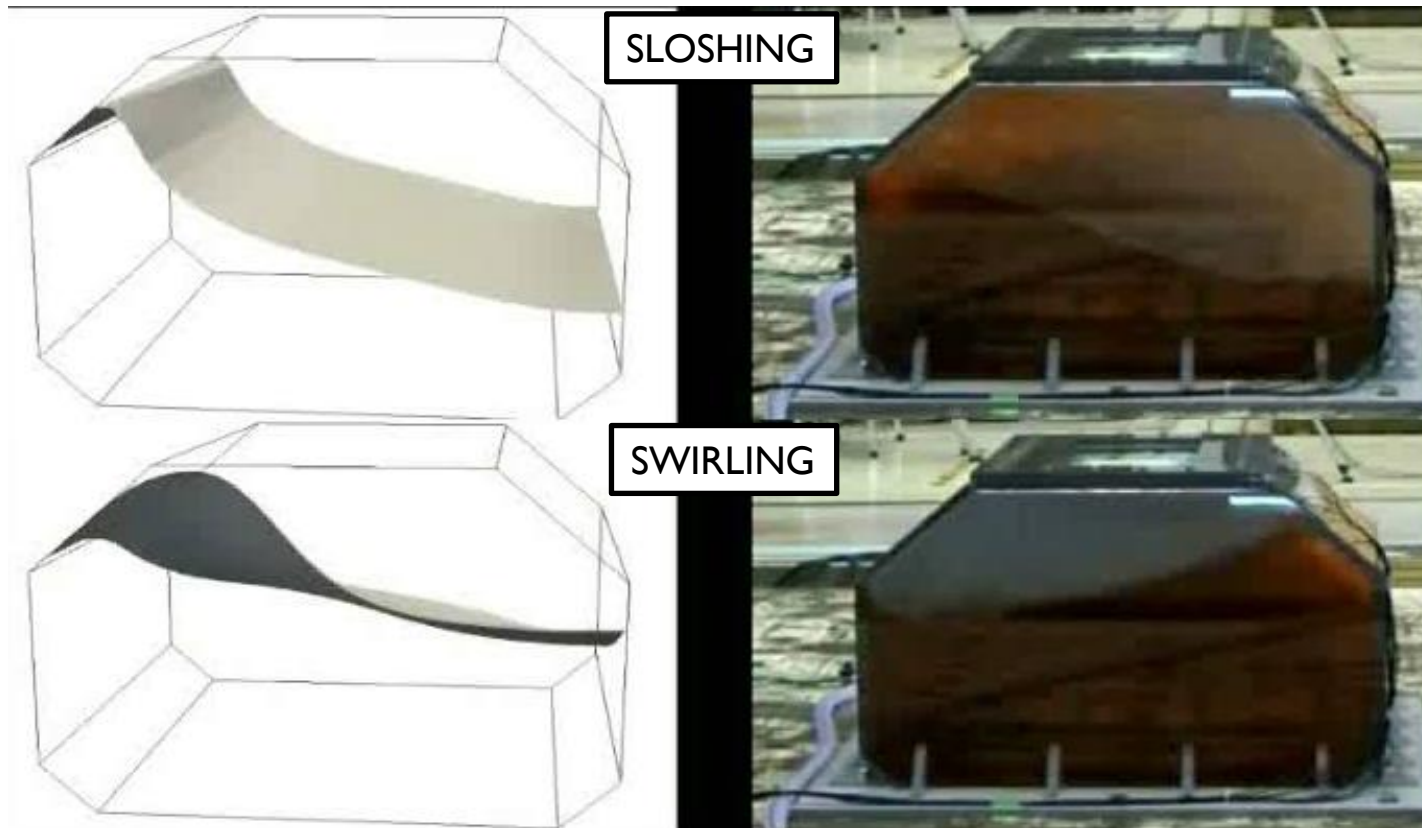
計測項目：  
 タンク内液面の運動  
 タンク壁面の圧力(12点)  
 タンクに作用する流体力(2方向)



部分積み状態のメンブレンタンクに生ずるスロッシングの特性を調べるため、MTI輸送技術研究所の振動装置を用いて模型実験を行った。

## 液面運動の状況

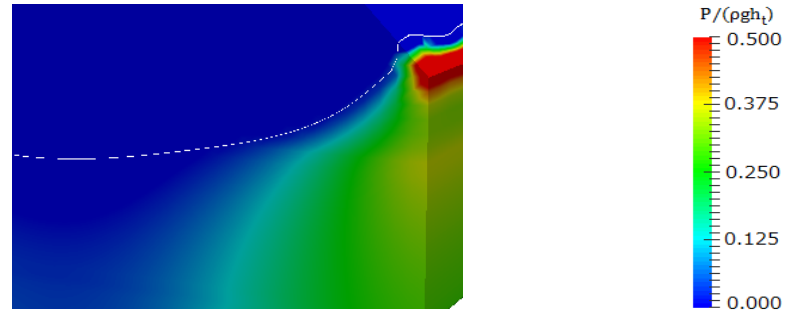
実験条件: 50%, amp=2cm, 90deg, f=0.804hz

左: 数値計算  
右: 模型実験

タンクに左右揺れを与えたとき、実験開始からしばらくは2次元的なスロッシングが発生したが、その後液面が回転するスワーリングに推移した。この現象はメンブレンタンクでは余り報告されていないものである。本研究ではスワーリングの発生を予測する関係式を得た。

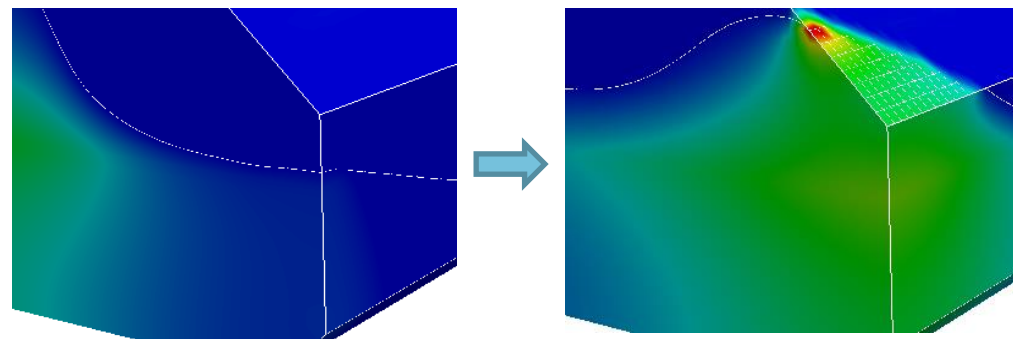
## タンク内圧力分布

## Sloshing snapshot



Dynamic pressure  
(50%filling level, 2cm amplitude sway),

## Swirling snapshot

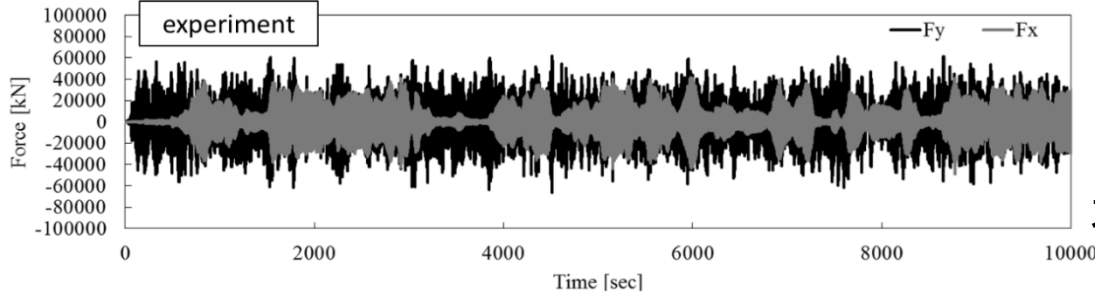


Dynamic pressure  
(50%filling level, 2cm amplitude sway)

スロッシングとスワーリングでは高圧力が発生する場所が異なる。

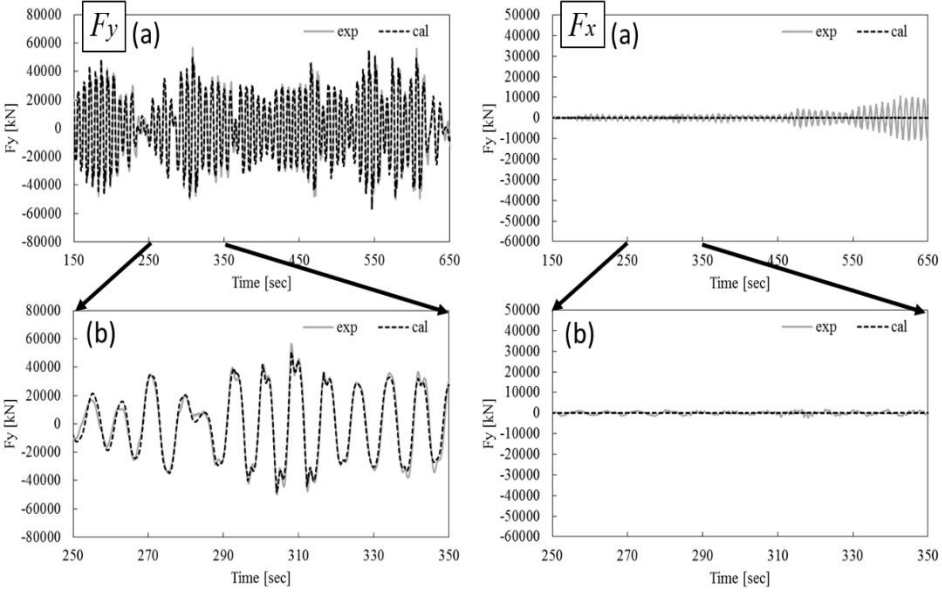


# 左右方向加振時に生ずる流体荷重

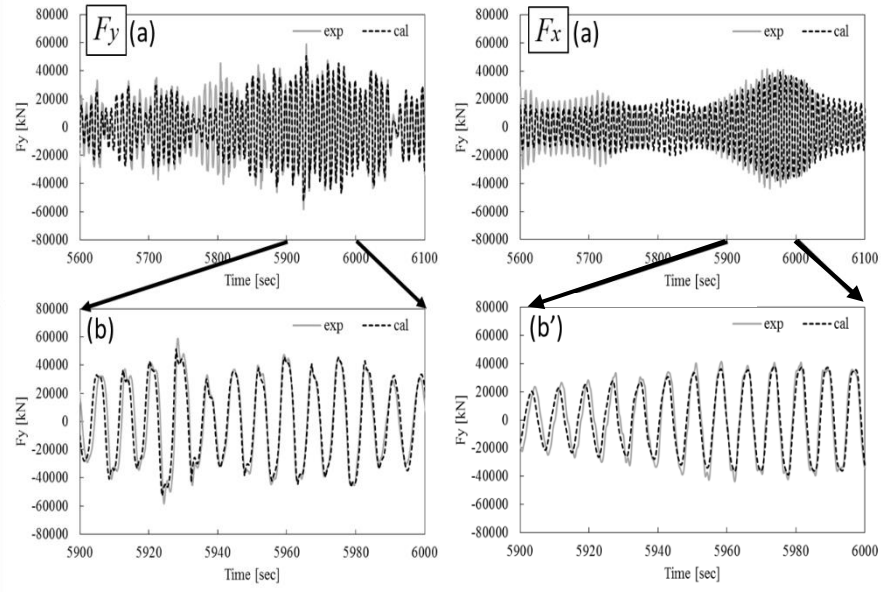


黒:  $F_y$  灰:  $F_x$   
 $F_x$ が生じたときスワーリング発生  
 力の時系列(計測値)

## スロッシング時

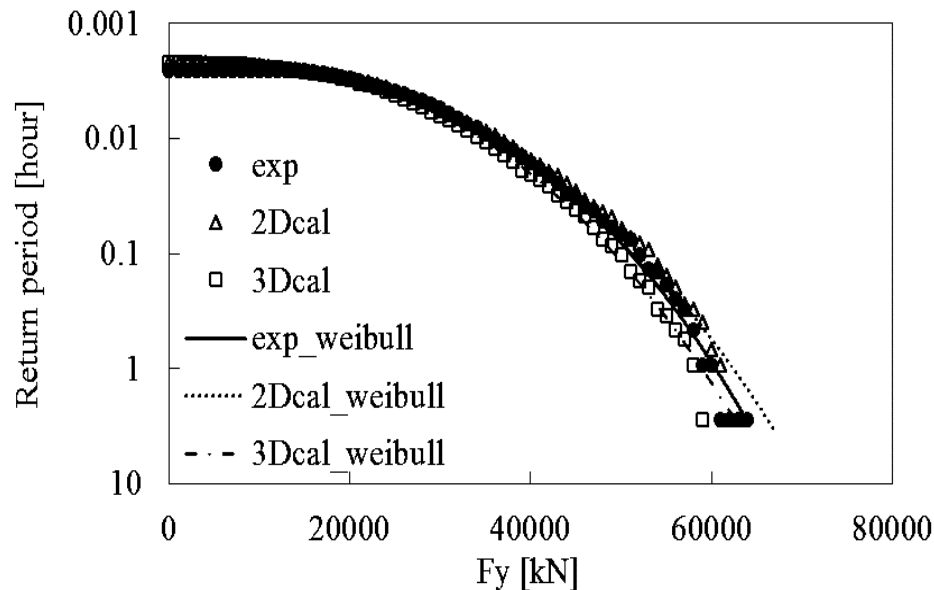


## スワーリング時



タンクの左右方向に生ずる力 $F_y$ と前後方向に生ずる力 $F_x$ (実験結果(実線)と数値計算結果(破線)の比較)  
 (a)は時間軸を20倍に拡大して表示 (b)は時間軸を100倍に拡大して表示

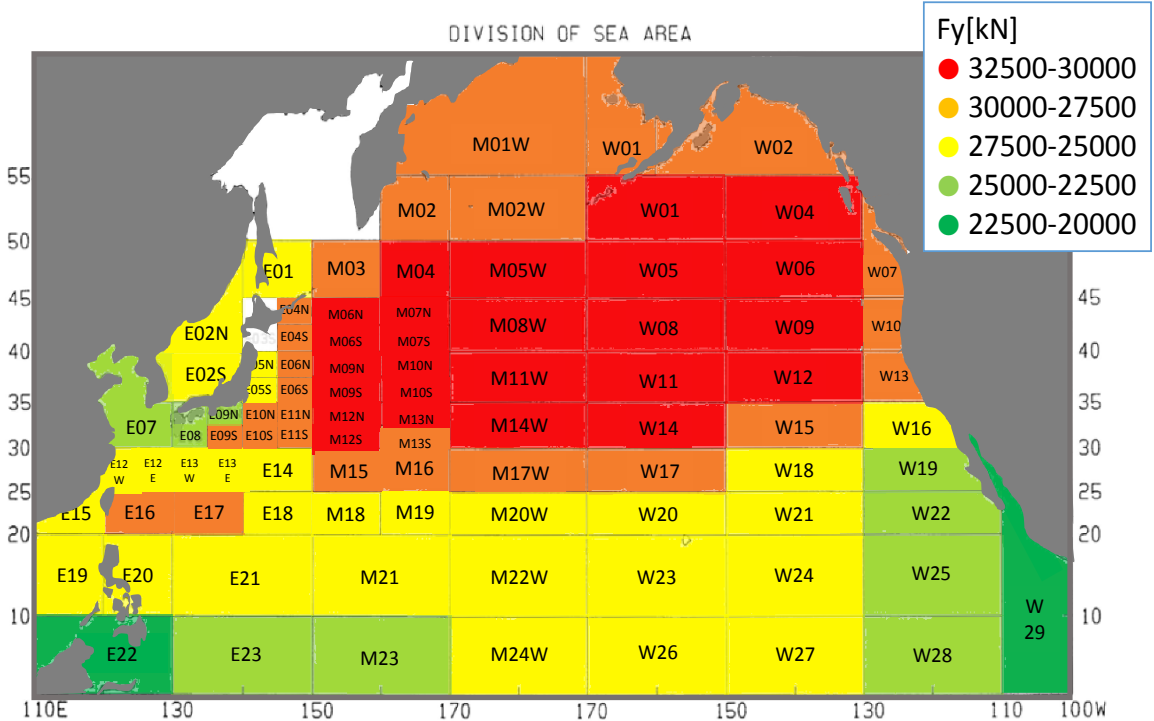
## 実海域におけるスロッシング荷重推定



タンクの左右方向に生ずるスロッシング流体力計測値 $F_y$ の例

波浪スペクトルを種々変えて、それぞれのスペクトルに対して得られる上図の関係を整理することにより、 $F_y$ の3時間最大値を推定する式を求めた。

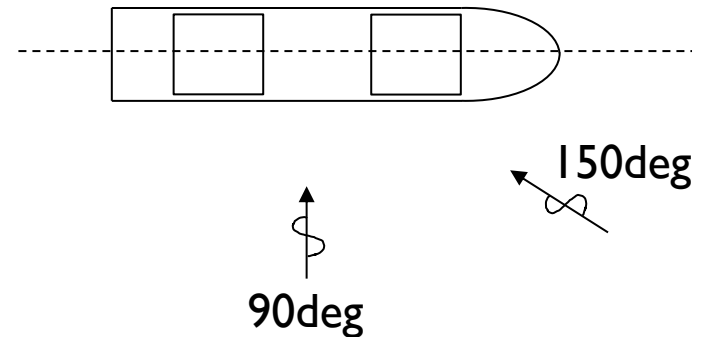
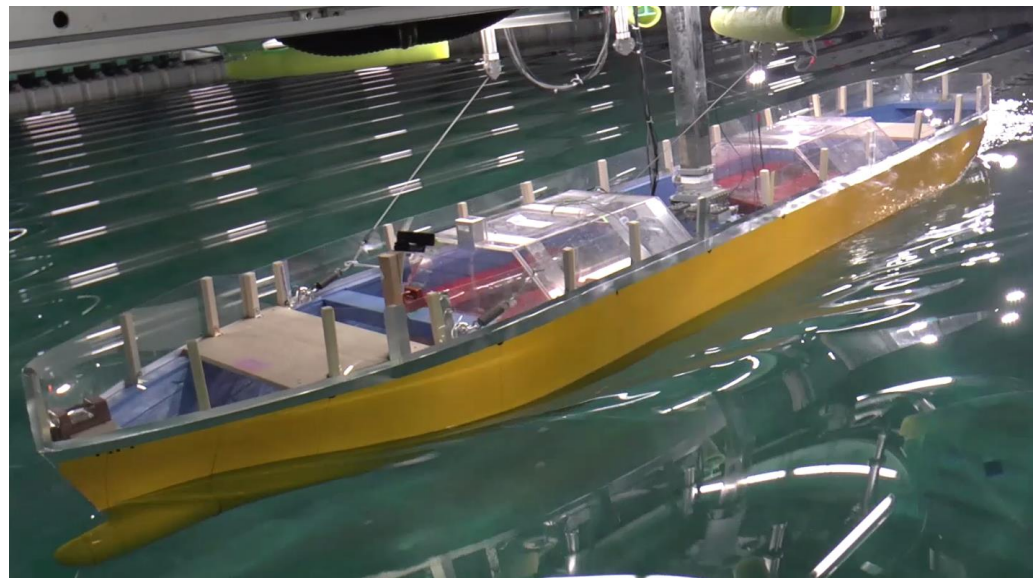
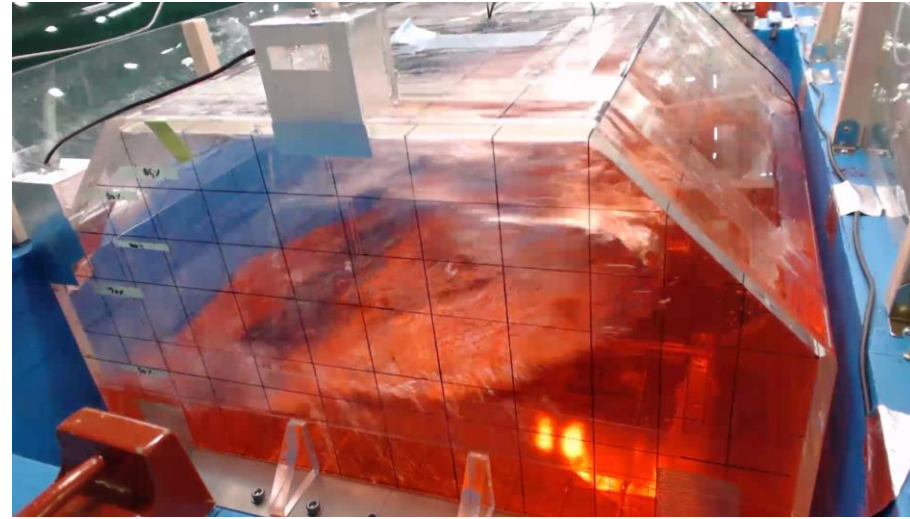
# 荷重推定図



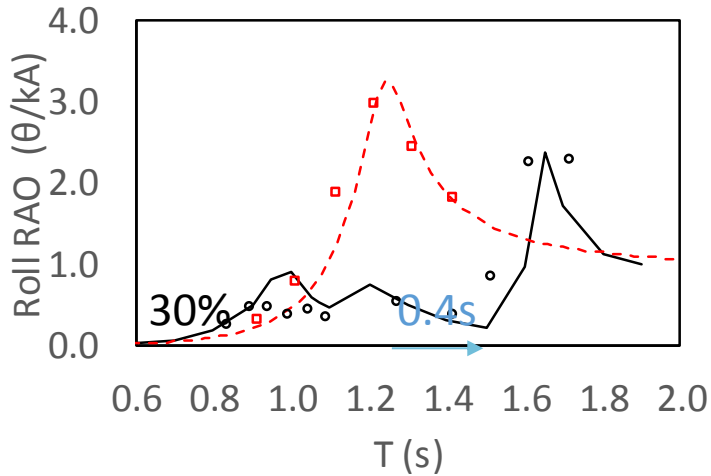
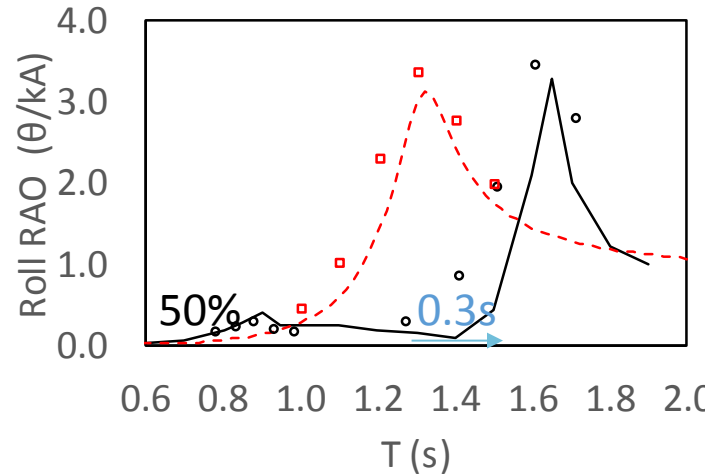
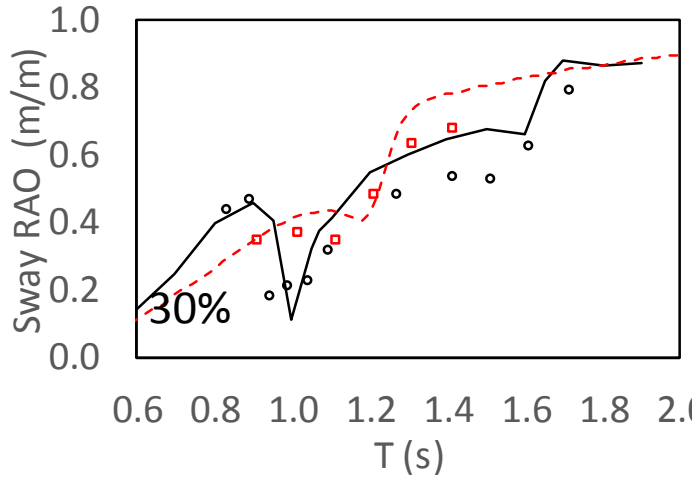
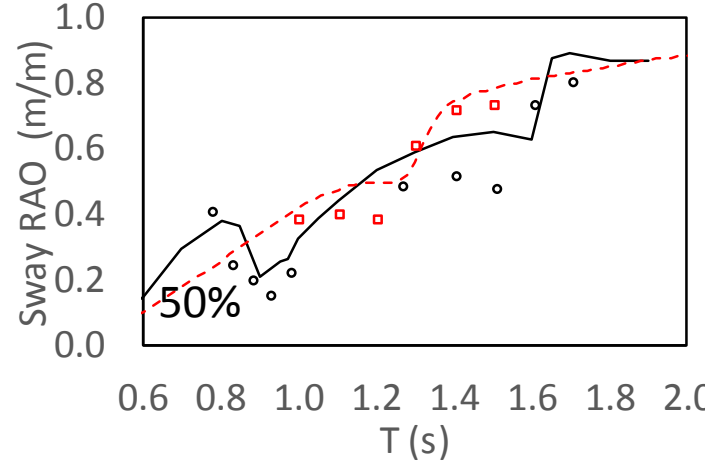
本研究で得られた荷重推定式を用いて、冬期北太平洋におけるスロッシング荷重推定値を求め、海図上に表示した。この結果は、スロッシング危険度を示しているため、LNG船運航の参考にできる。提案する方法では、船型やタンク形状の影響も考慮可能である。

## 船体運動とタンク内液体の連成影響

海上技術安全研究所の実海域再現水槽において、模型タンクに作用する流体力及び船体運動の計測実験を行った。



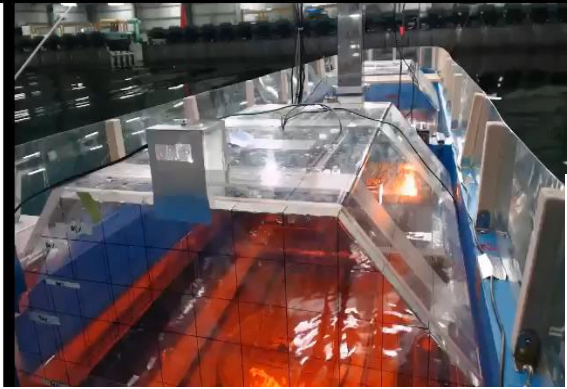
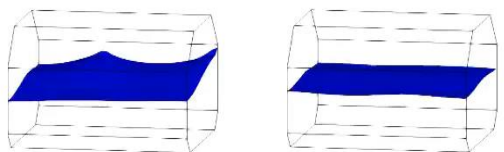
# 船体運動応答関数



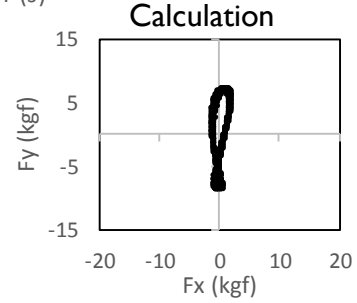
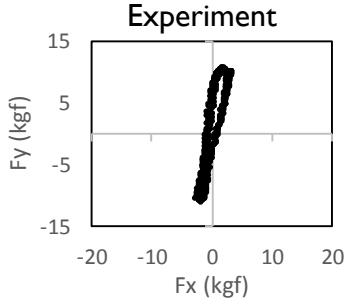
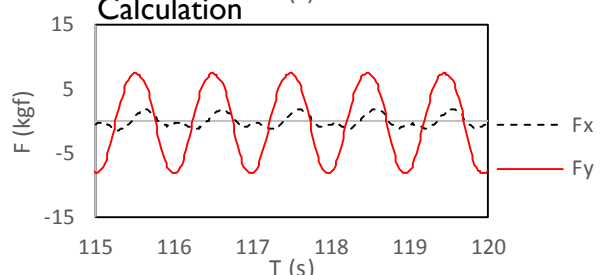
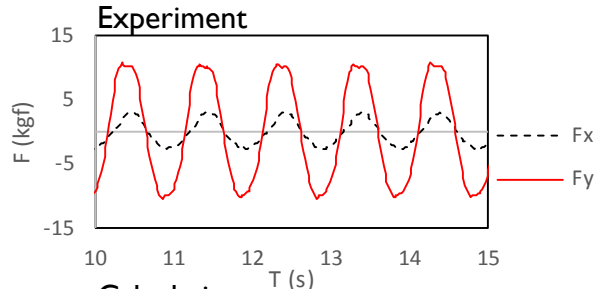
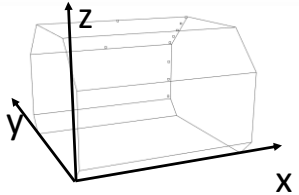
- 50P LIQUID\_EXP
- 50P SOLID\_EXP
- 50P LIQUID\_NUM
- - - 50p\_SOLID\_NUM

タンク内に液体を積載した場合と、固体貨物を積載した場合の船体運動応答関数(RAO)を比較し、液体貨物が船体運動に与える影響を調べた。

# スロッシング発生時にタンクに作用する流体力

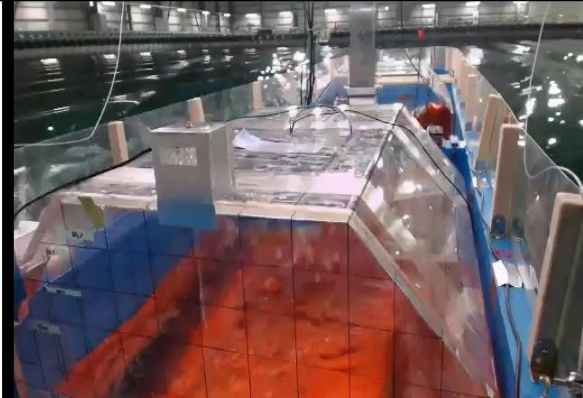
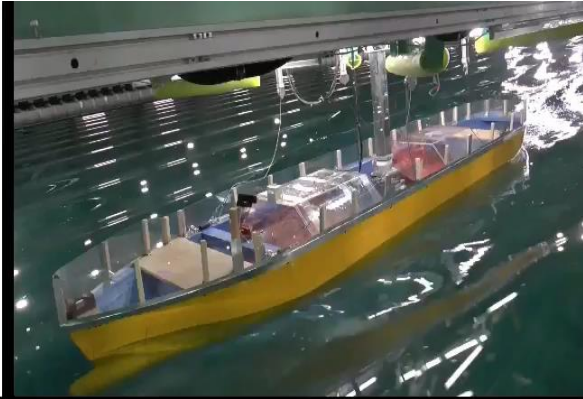
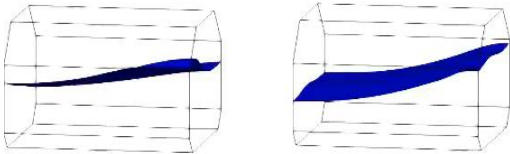


50%, 90deg  
 $T = 0.984s$

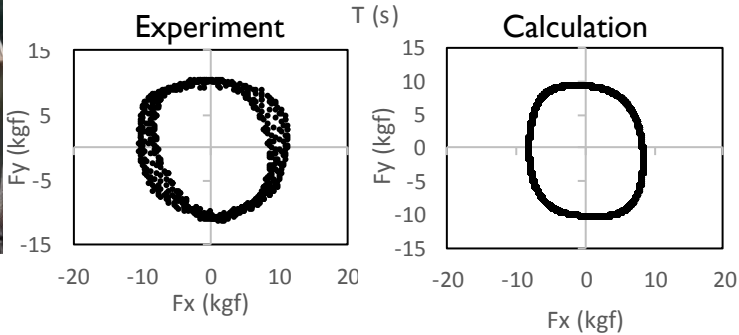
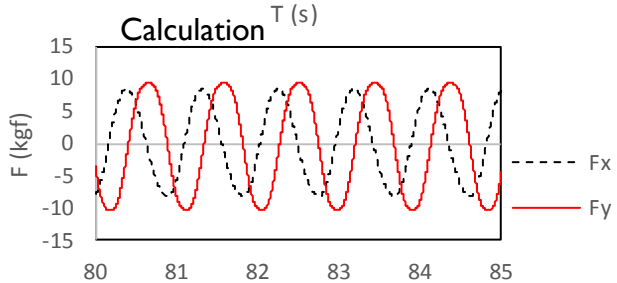
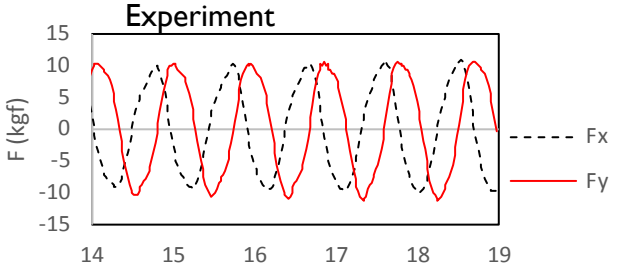
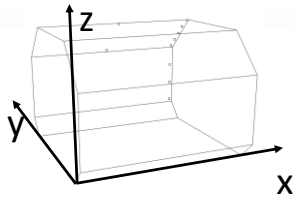


タンク内液面はほぼ2次元的な運動をする。F<sub>x</sub>の値は小さい。

# スワーリング発生時にタンクに作用する流体力



50% , 90deg,  
T= 0.934s



タンク内液面は回転運動をする。F<sub>x</sub>の値はF<sub>y</sub>とほぼ同程度となる。

## 結論

本研究より得られた主な成果を以下にまとめる。

1. 出会い波浪のスペクトルとタンク内液体運動の固有運動数の関係から、スロッシングのリスクを予測する簡易な方法を示した。
2. 本研究で実施した模型実験および数値計算の結果を基に、冬期北太平洋におけるスロッシング荷重推定の例を示した。
3. 船体運動とタンク内液体運動の連成を考慮した数値計算法を開発し、タンク内の液体運動が船体運動に与える影響や、タンクに作用する荷重の特徴を明らかにした。