

氷海船舶に働く氷荷重と氷中航行性能

澤村 淳司

大阪大学大学院 工学研究科 船舶海洋工学

氷海船舶に働く氷荷重

耐氷船 (Ice tanker etc.)

- ・ 小さな氷片 (Brash ice) との衝突

砕氷船 (Icebreaker)

- ・ 板氷 (Level ice) の破壊
- ・ 氷片板との衝突

開放水面 (Open channel)

開放水面を効率良く作るには? (開放水面幅, 氷片の大きさ)

砕氷船の操縦性能
(直進, 旋回, 方向転換時の砕氷性能) → 氷荷重はいくら?

Escort operation in level ice

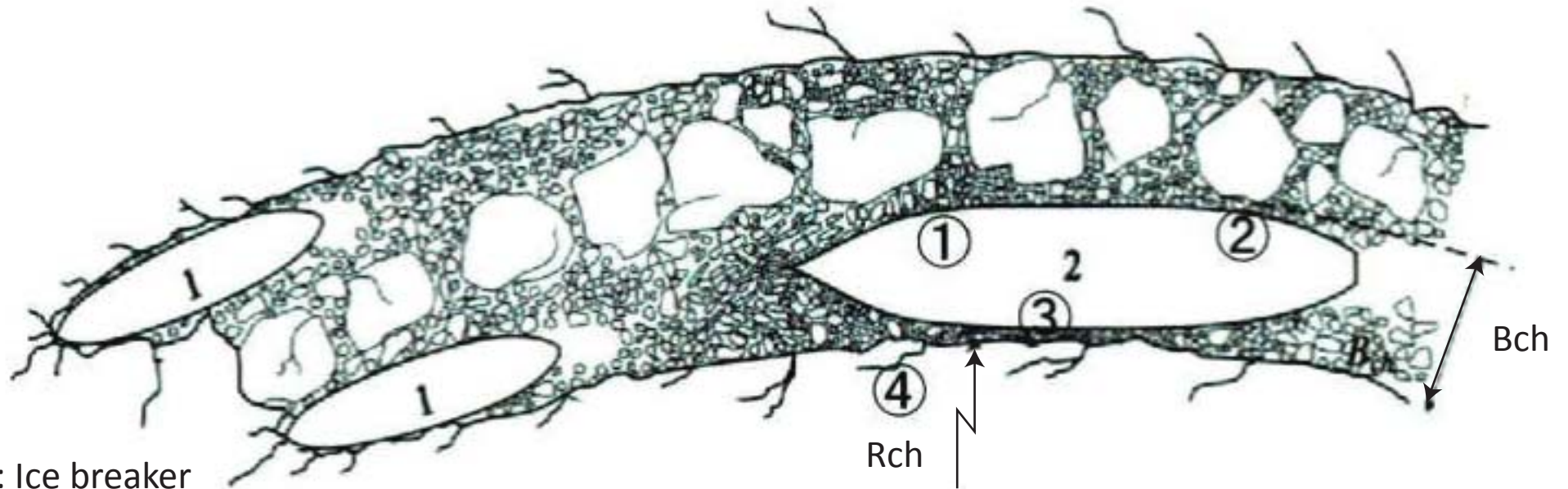
Pictures from lecture note of Prof.Kai Riska in NTNU



Swedish icebreaker Ymer escorted ice tanker (pictured by sawamura)

Minimum permissible curvature of the channel

北極氷融解とロシア北方航路NSRの商業航路への期待, 野澤和男, presentation資料より.



1: Ice breaker

2: Escorted ship,

R_{ch} : Channel radius,

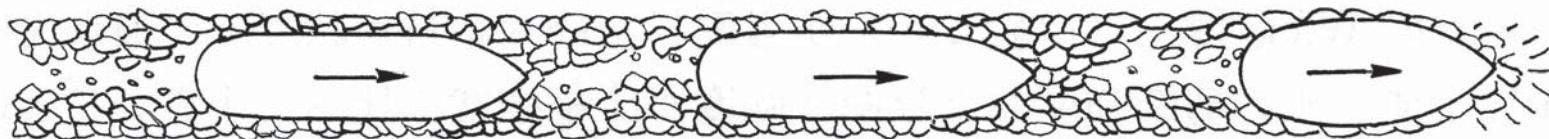
B_{ch} : clear ice channel

a) Ice contact at 1,2,3

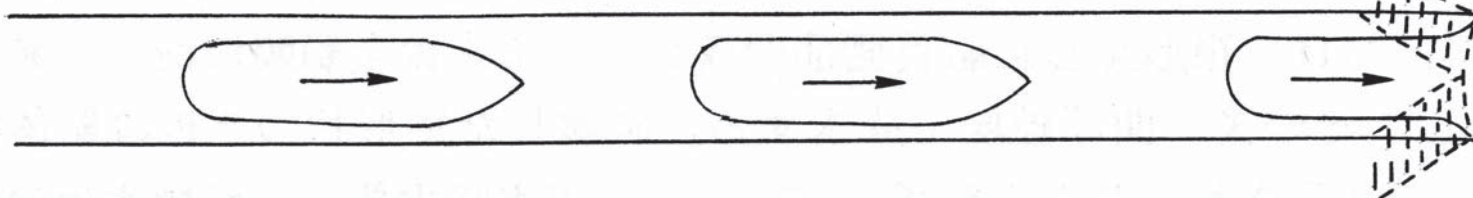
b) The ship will stick in the ice channel beam

c) Ice breaker should break ice around 4.

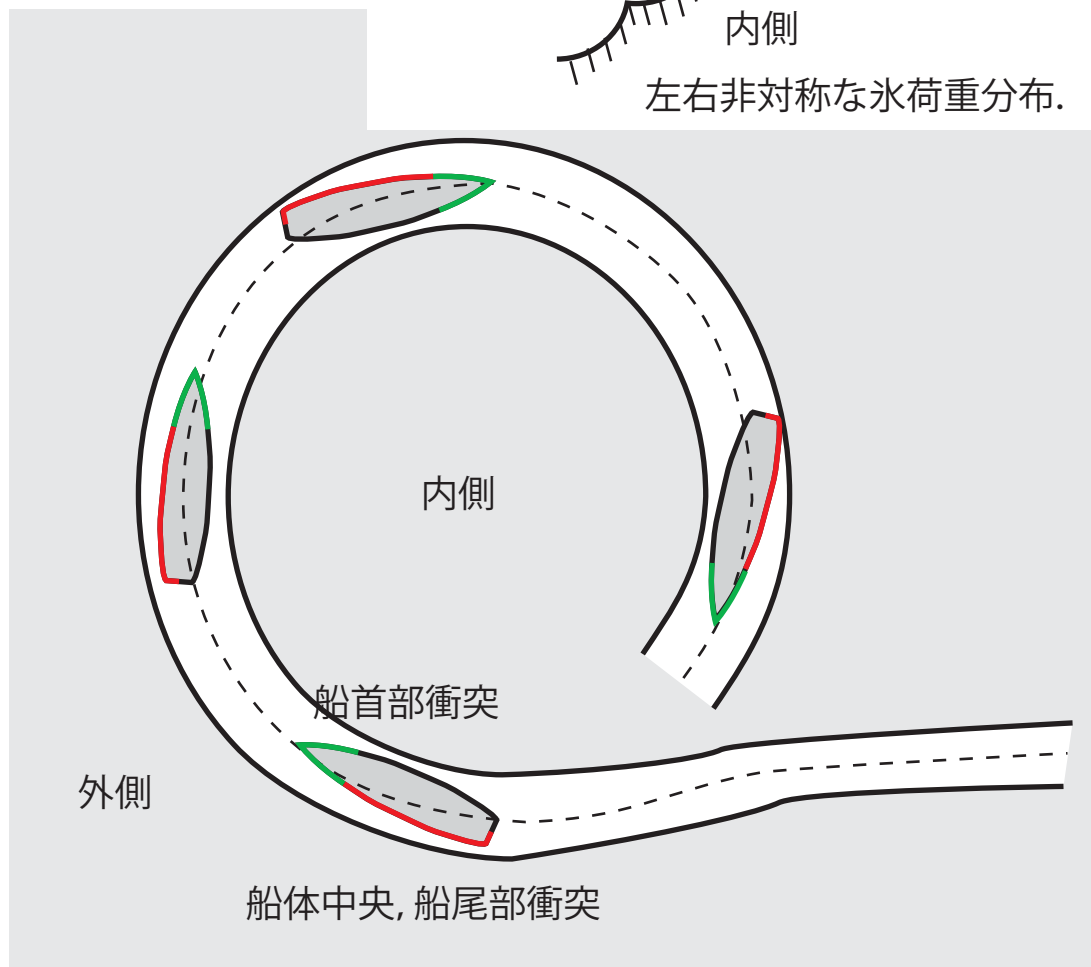
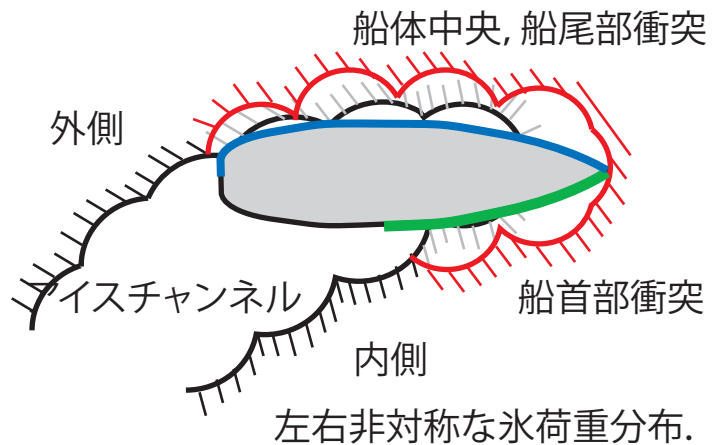
Conventional bow



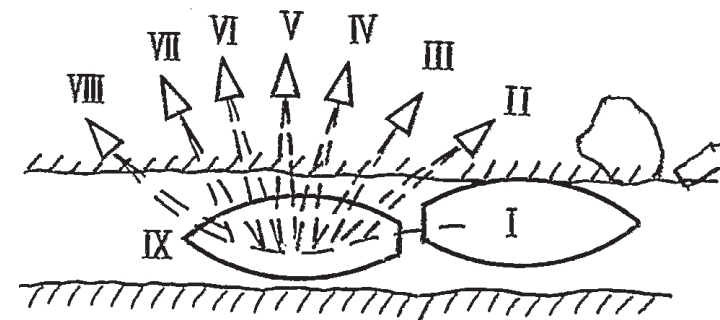
WAAS icebreaker



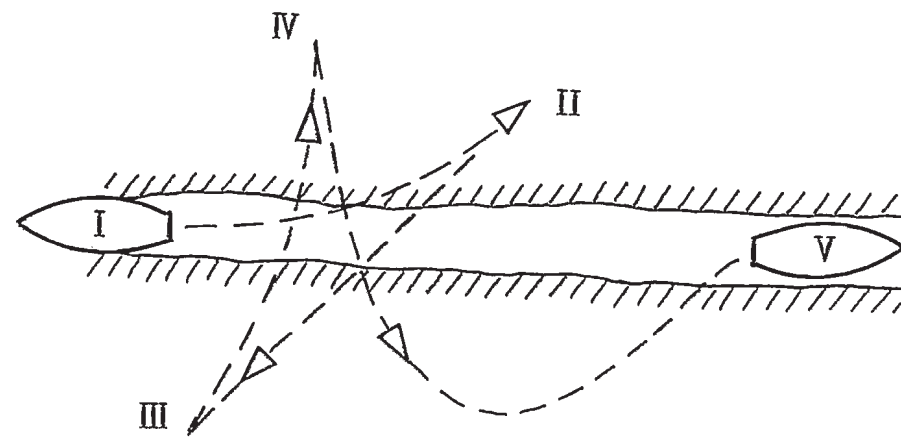
砕氷船の方向転換の方法



氷中の旋回運動



(a) 船首で砕氷する場合

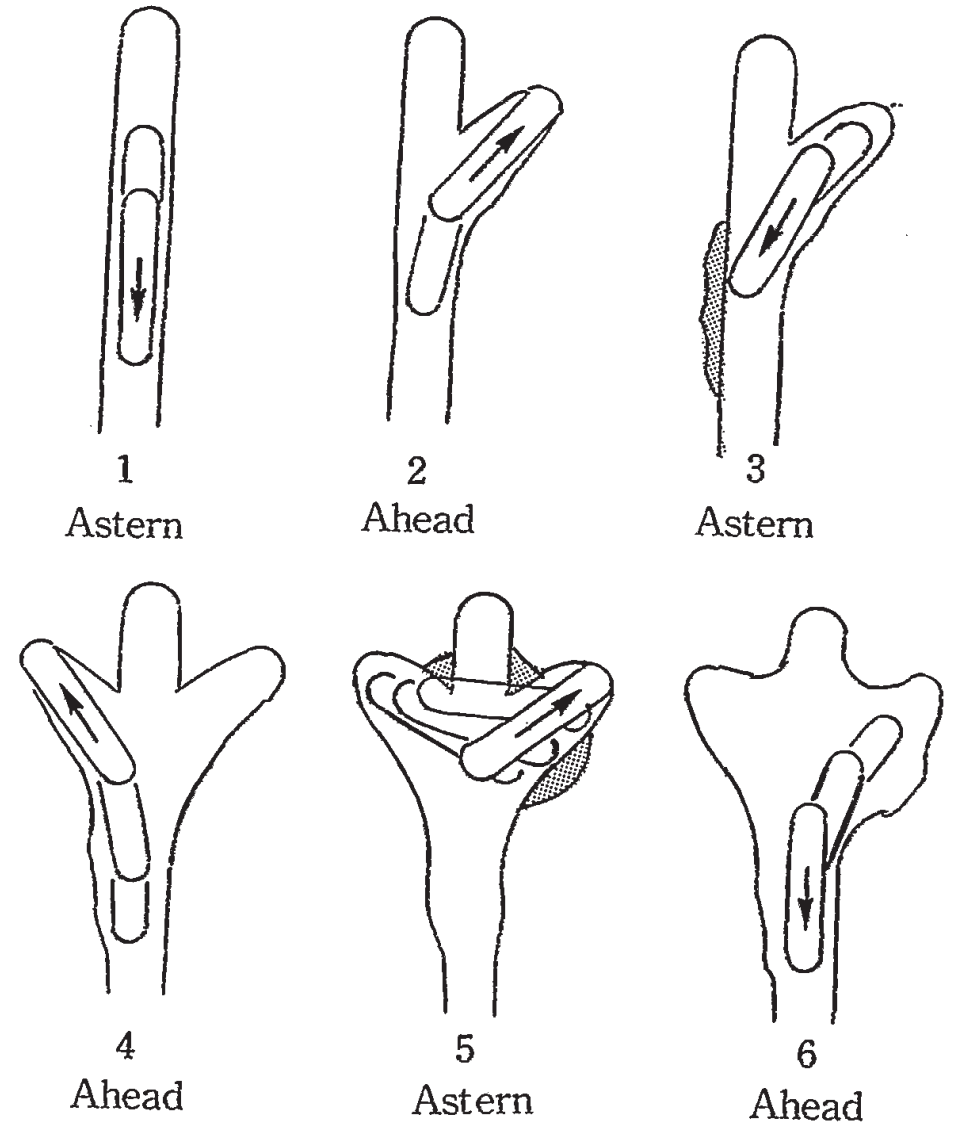
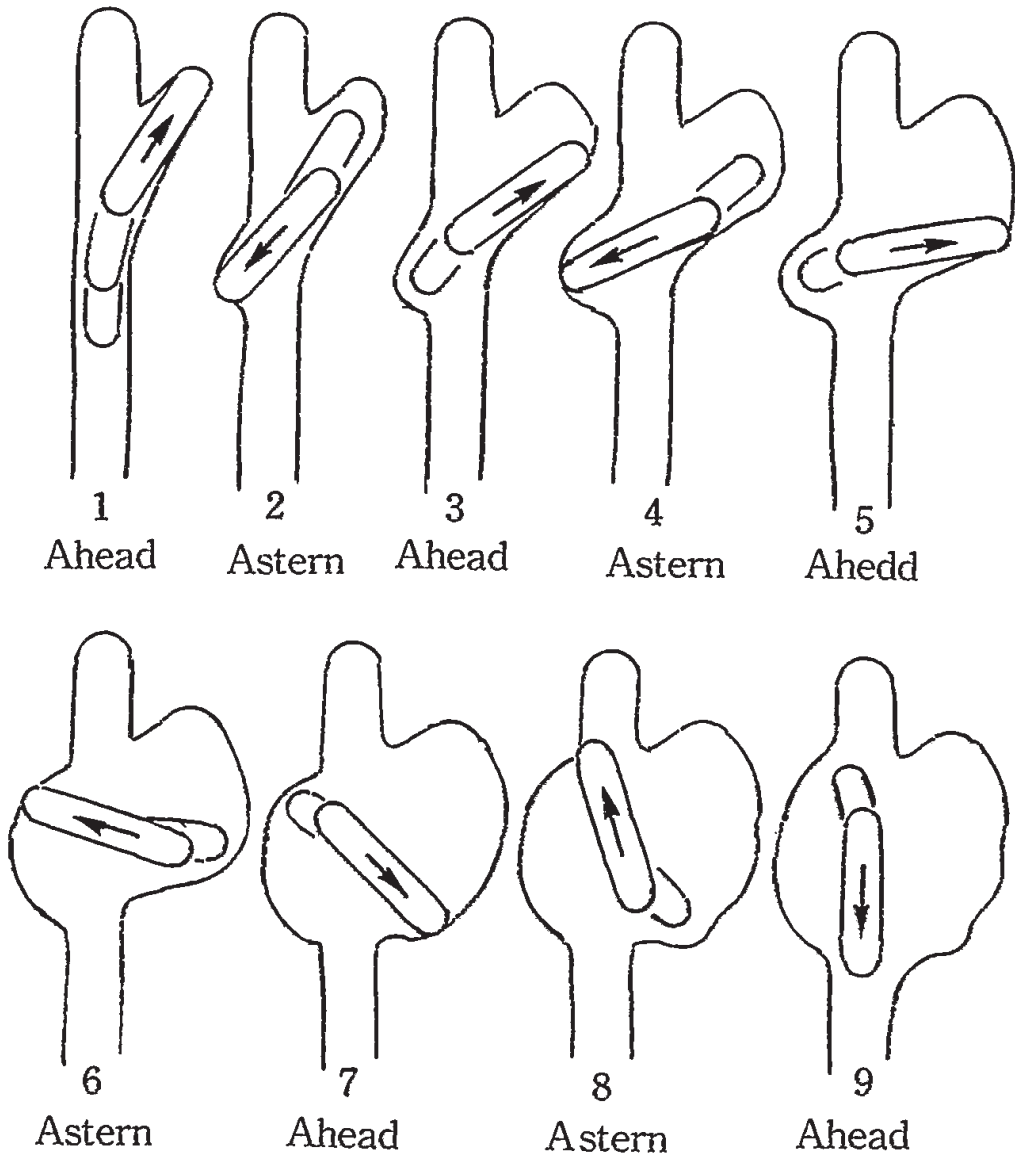


(b) 船首と船尾で砕氷する場合

砕氷船の"ひとで"式方向転換, 順序: I → IX

Captain's Maneuver

Modified Captain's Maneuver



Ahead: 前進, Astern: 後進

氷中の方向転換 (Kigoriak の実船実験)

Open channel

Pictures from lecture note of Prof.Kai Riska in NTNU



<- ARAON's icebreaking performance test in the Antarctic sea ice.
(出典, Sea Ice in Polar Region, ISBN: 978 -89-94242-21-7)



Swedish icebreaker is escorting ice tanker
(Reference: lecture note of Prof.Kai Riska in NTNU)



巡視船「そうや」
Japan Coast Guard ウェブページより



American icebreaker Healy
(Credit: Henry Dick Woods
Hole Oceanographic Institution / NSF)

Ice management in pack ice

- 大きな氷 (板氷)
 - 砕氷 (Breaking)
- 小さな氷 (氷片)
 - 氷片の排除 (Clearance)
- 風や潮流 (波) の影響
 - 氷の移動 (Drifting)

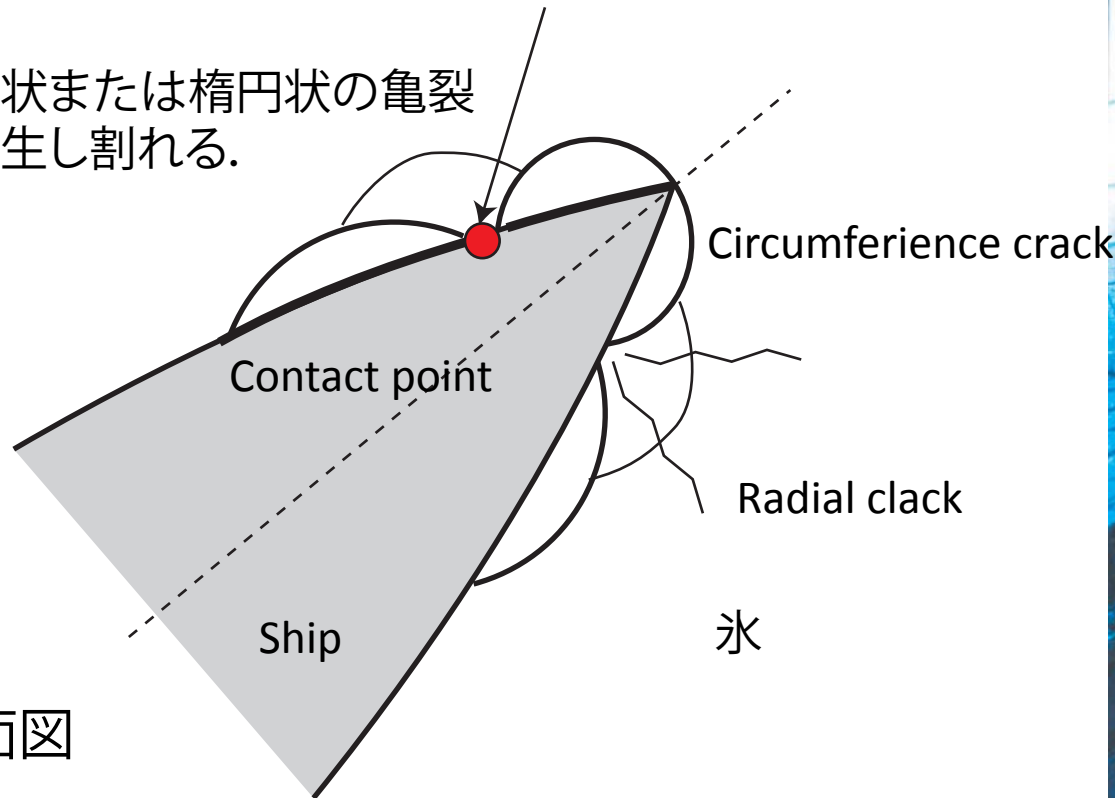
→ **アイスチャンネル?**
氷荷重?



板氷(Level ice) の割れ方

氷は船との接触点で氷の先端が崩壊し、その後、曲げられる。

放射状または楕円状の亀裂が発生し割れる。



上面図

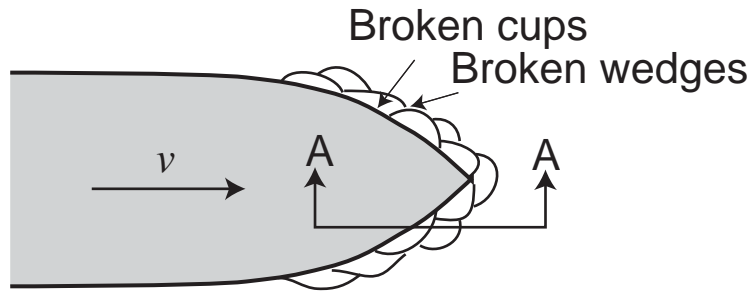
なぜ、半楕円(円?, 三日月?)に割れるのか???



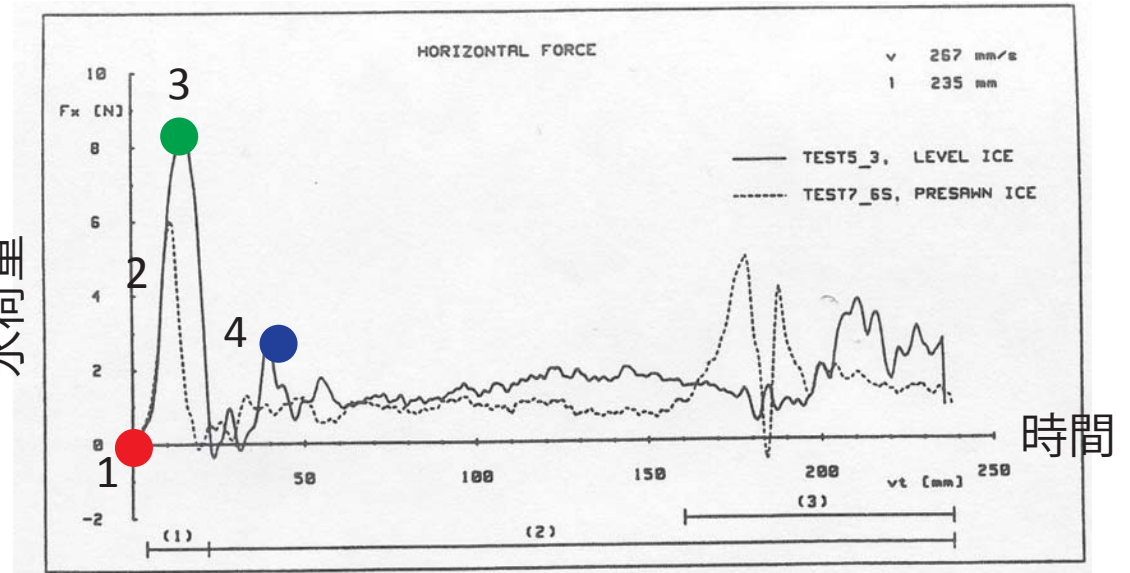
Forming the breaking pattern

氷荷重の発生原因

氷との衝突, 氷の破壊, 氷の運動, 流体影響

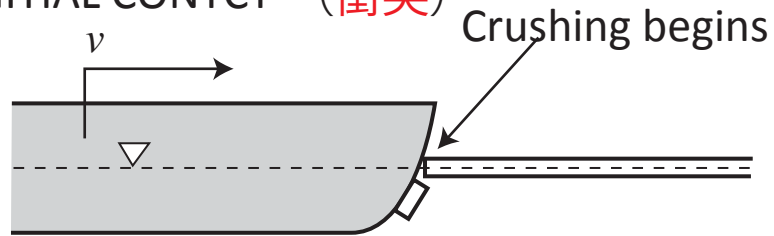


氷荷重

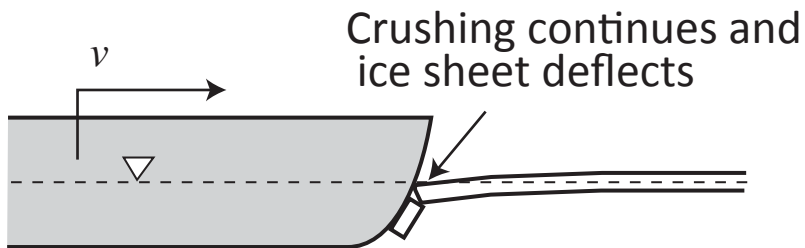


(Model test data of ice breaking force (horizontal force) during ice breaking cycle (Valant,1992))

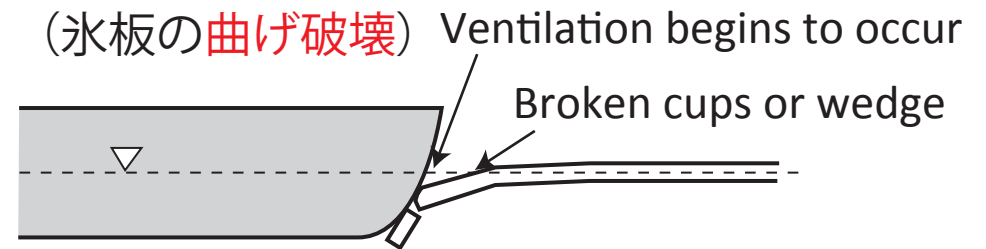
1) INITIAL CONTACT (衝突)



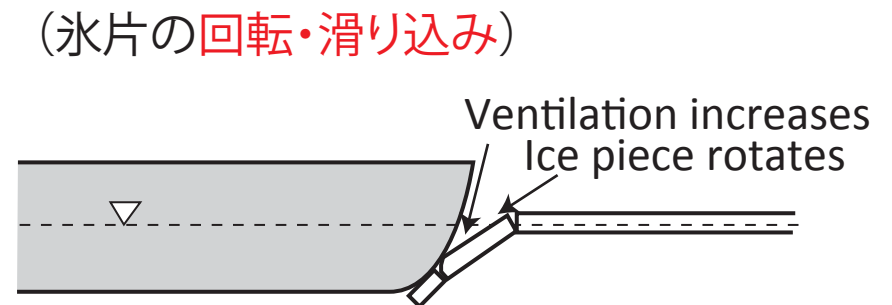
2) CRUSHING AND DEFLECTION OF ICE (氷端の局部破壊と氷板の曲げ)



3) CUPS AND WEDGE FAILURE (氷板の曲げ破壊)

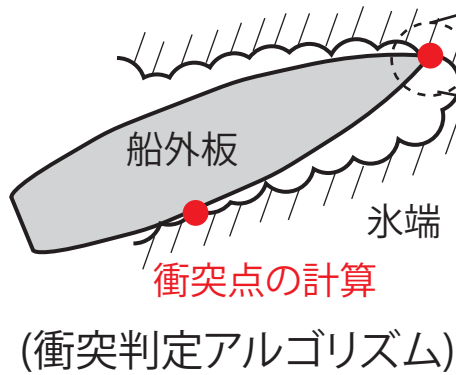


4) CUPS AND WEDGE ROTATION (氷片の回転・滑り込み)



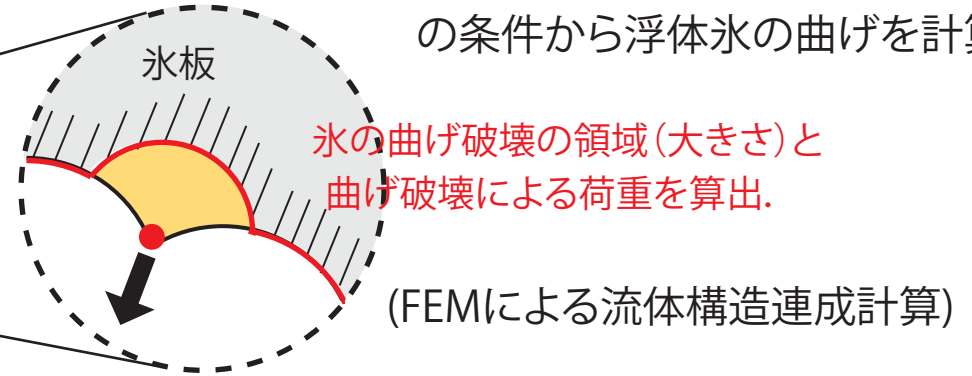
氷荷重の数値計算

1) 船外板と氷の衝突点の計算

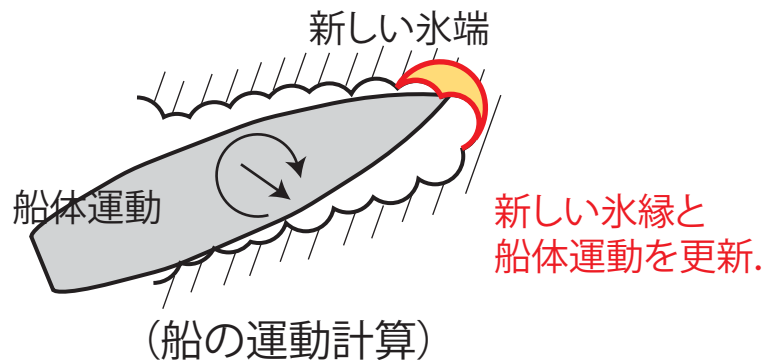


2) 氷板の曲げ破壊の計算

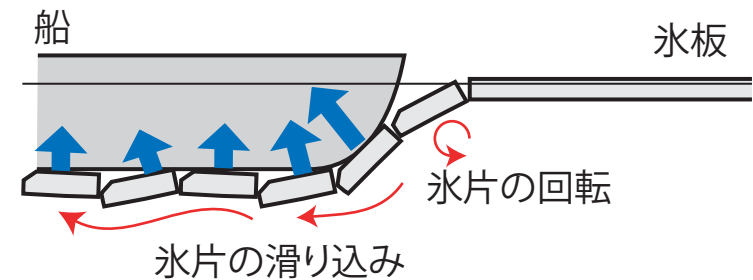
衝突点での 1) 船の速度
2) 船の外板形状
3) 氷端の形状,
の条件から浮体氷の曲げを計算.



4) 船体運動と氷端形状の更新



3) 氷片ブロックからの氷荷重の計算



氷片の運動により発生する荷重(衝突, 摩擦,
流体影響など)を計算.

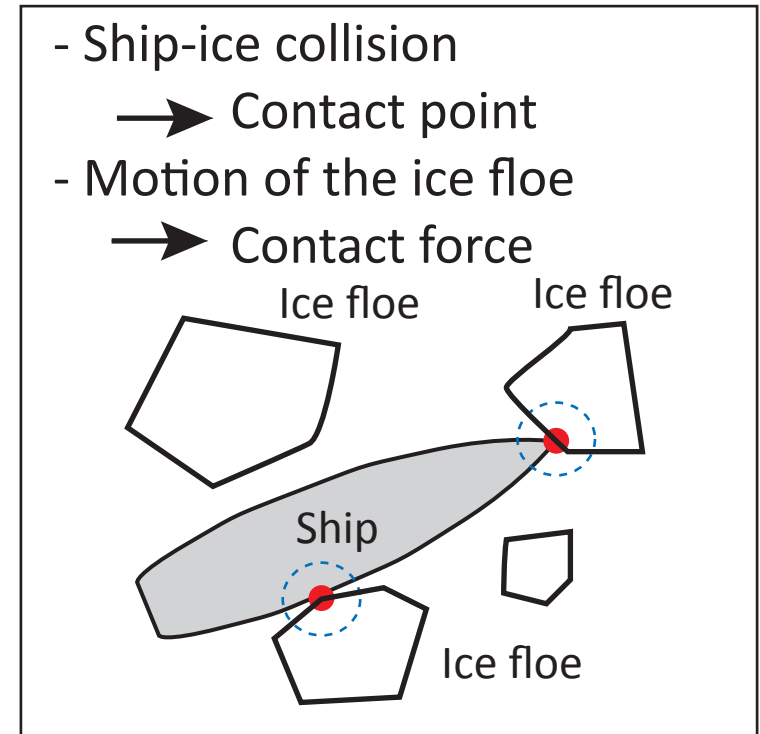
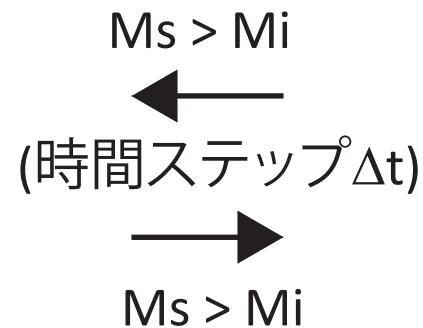
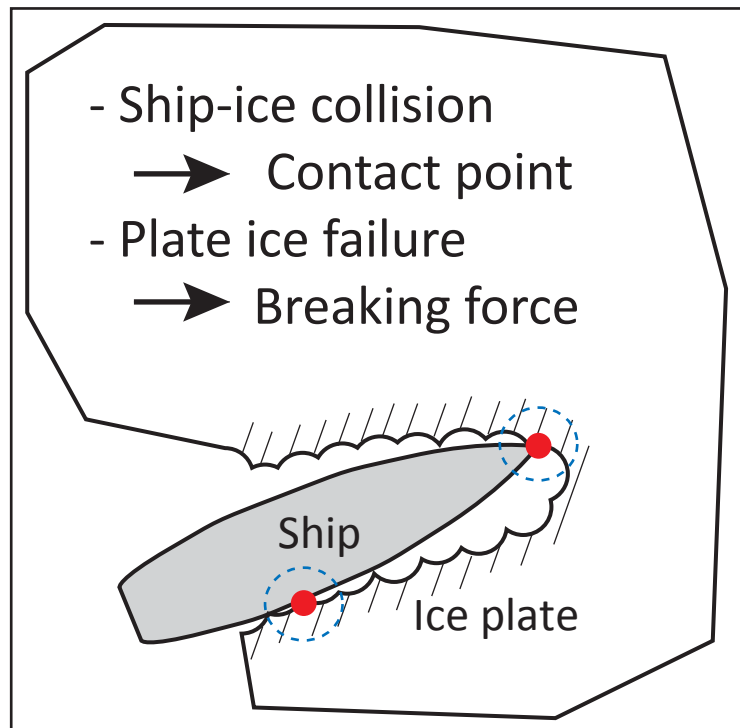
(衝突判定アルゴリズム+剛体運動シミュレーション)

Ice breaking and Ice clearance

- 砕氷 or 排除の判定基準 → 船(M_s)と氷(M_i)の質量の大小

- 大きな氷 (板氷) → 砕氷(Breaking)

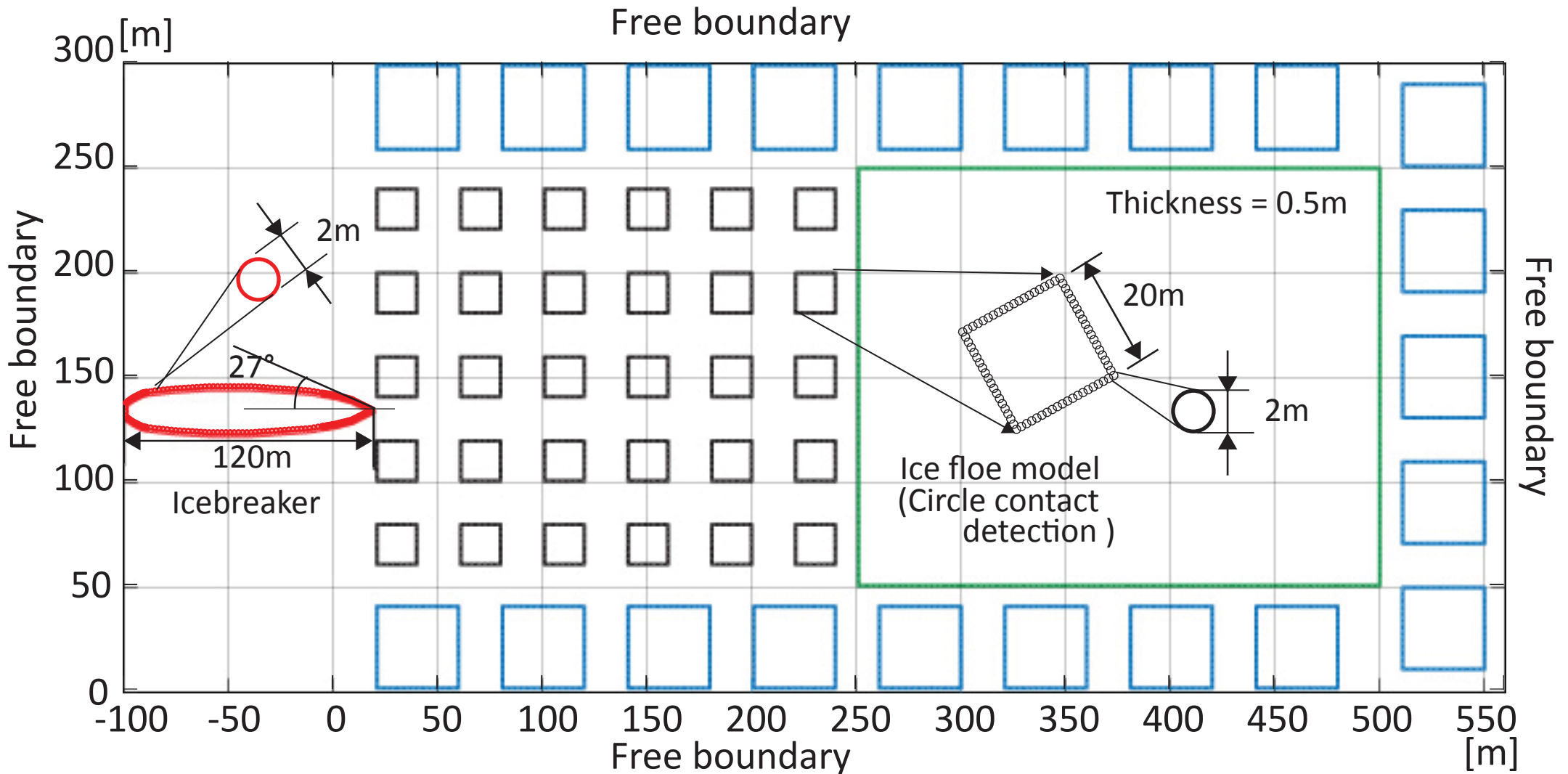
- 小さな氷 (氷片) → 氷片の排除 (Clearance)



- 氷荷重 = 砕氷荷重 + 氷の排除荷重

- 風, 潮流 (波) の影響 → 氷の移動 (Drifting) は考えない.

数値計算モデル



■ Ship model

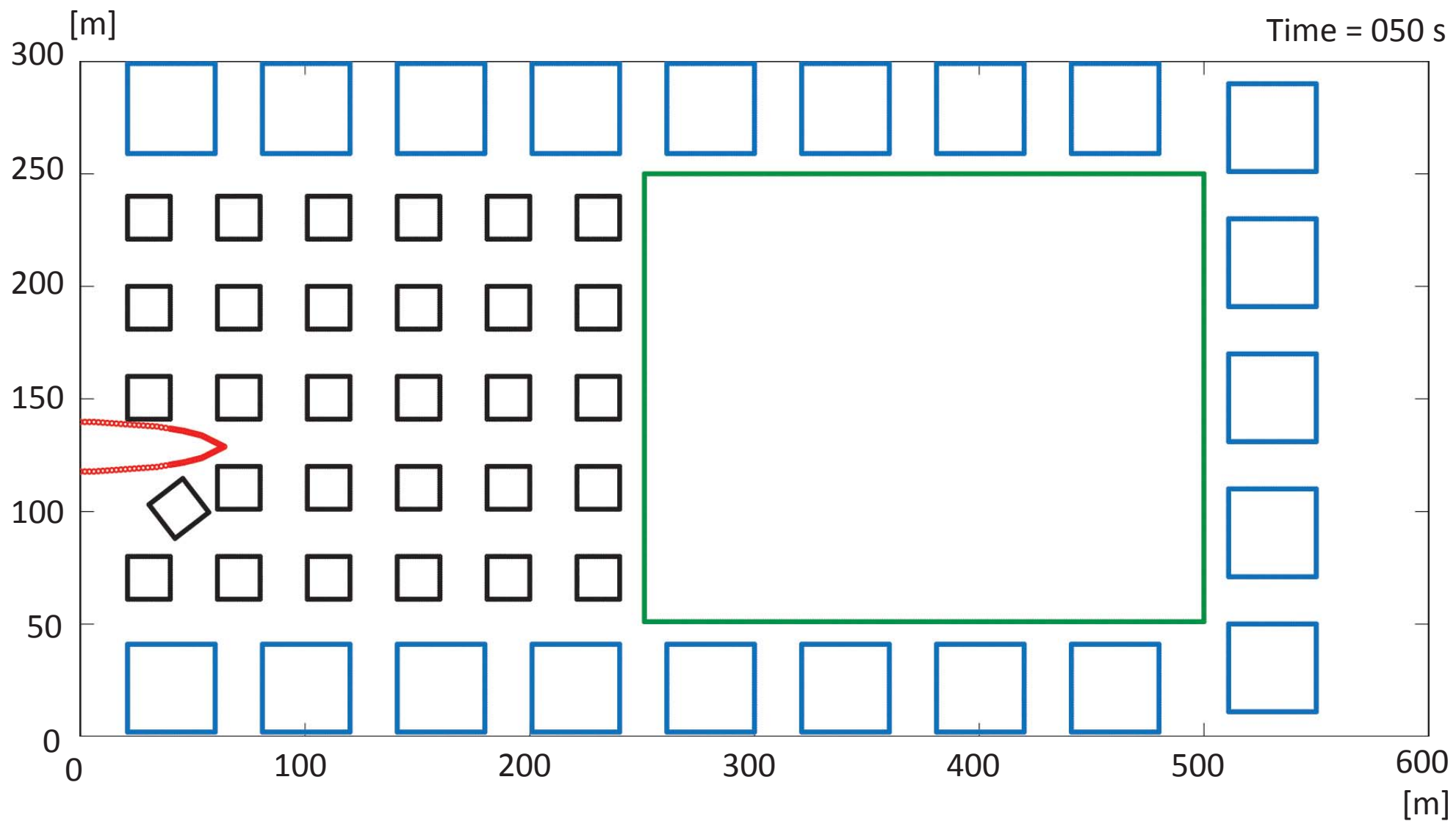
A virtual icebreaker model : $L \times B = 120\text{m} \times 24\text{m}$
 The water entry angle and bow angle = 27°
 The icebreaker advancing speed = 1.0 m/s.

■ Ice condition

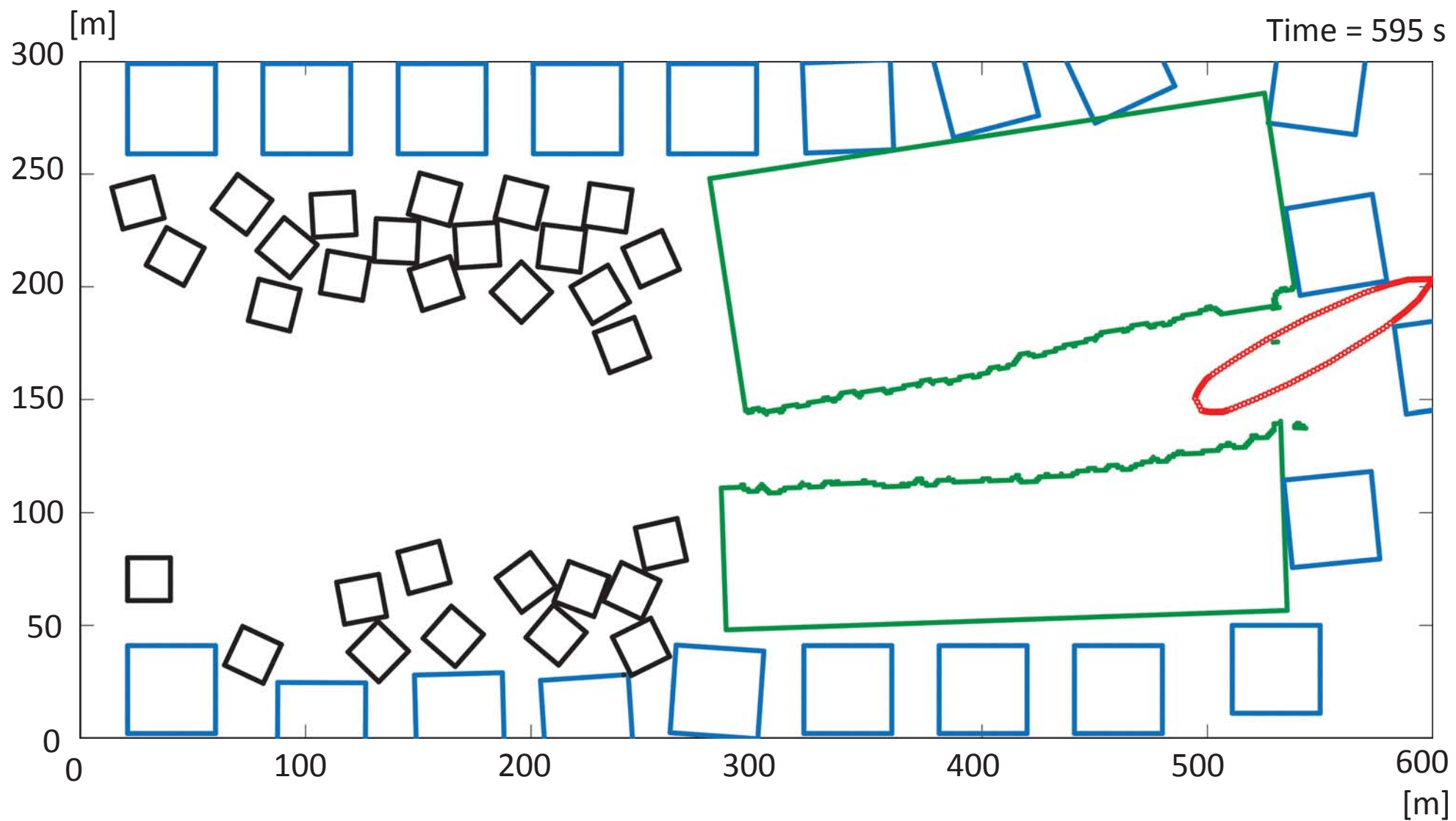
Ice thickness $s = 0.5\text{ m}$
 Young's modulus $E = 5.4\text{GPa}$
 Flexural strength = 1.0 MPa
 Compressive strength $\sigma_c = 2.8\text{ MPa}$.

The friction coefficient $\mu = 0.1$.
 The coefficient of a restitution $\epsilon = 0.3$ (ship-ice)
 and 0.01. (ice-ice)
 The density $\rho = 900\text{ kg/m}^3$ (ice)
 and 1000 kg/m^3 (water)

計算結果 (54 ice floes)



計算結果 (54 ice floes)



計算結果 (54 ice floes)

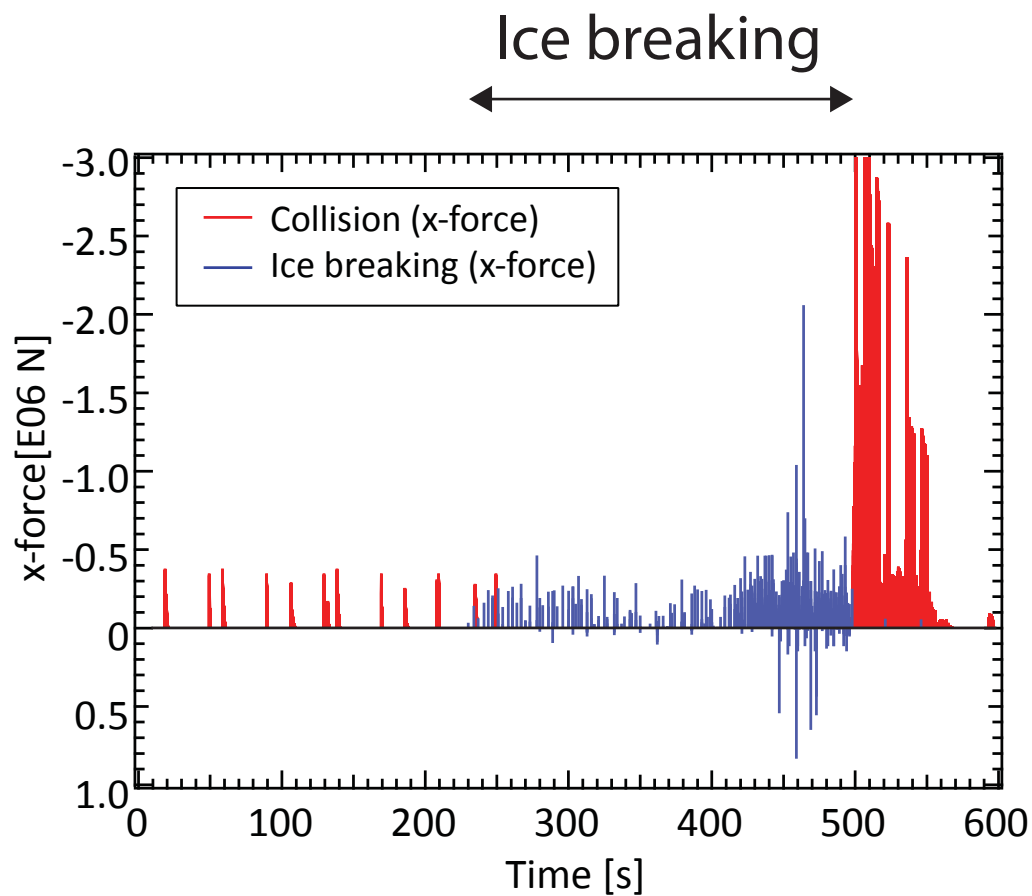


Fig. Surge force

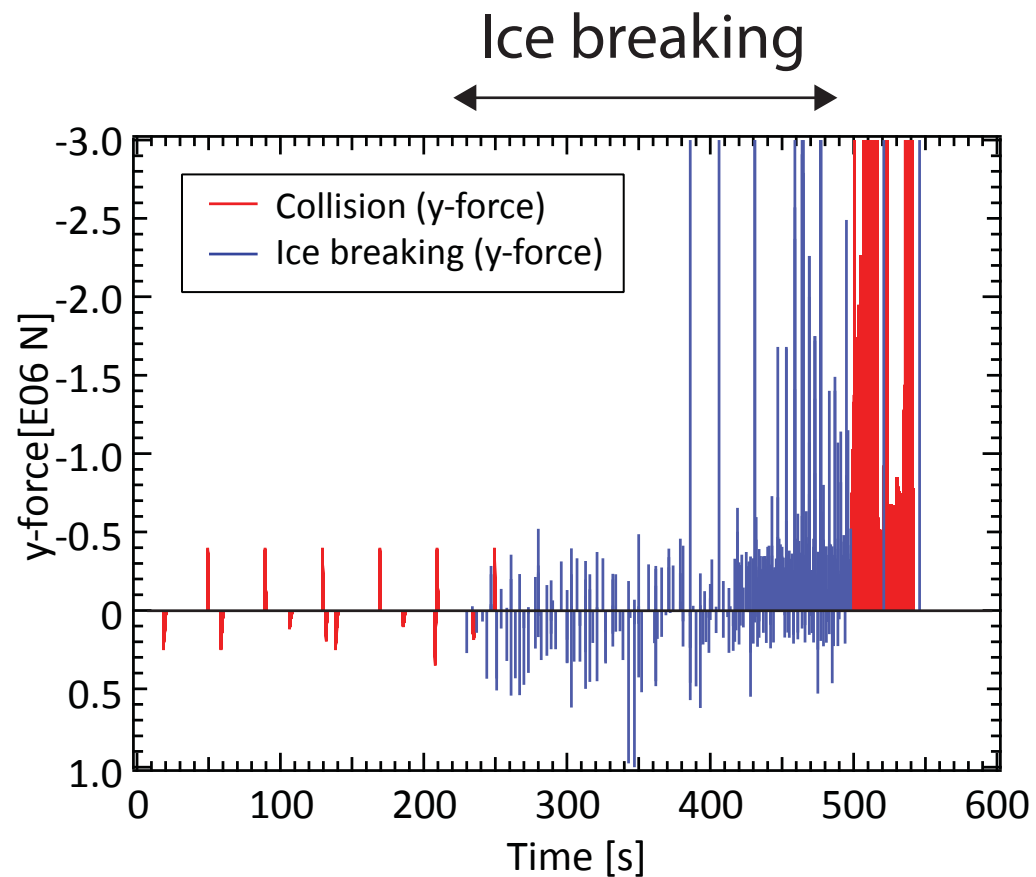
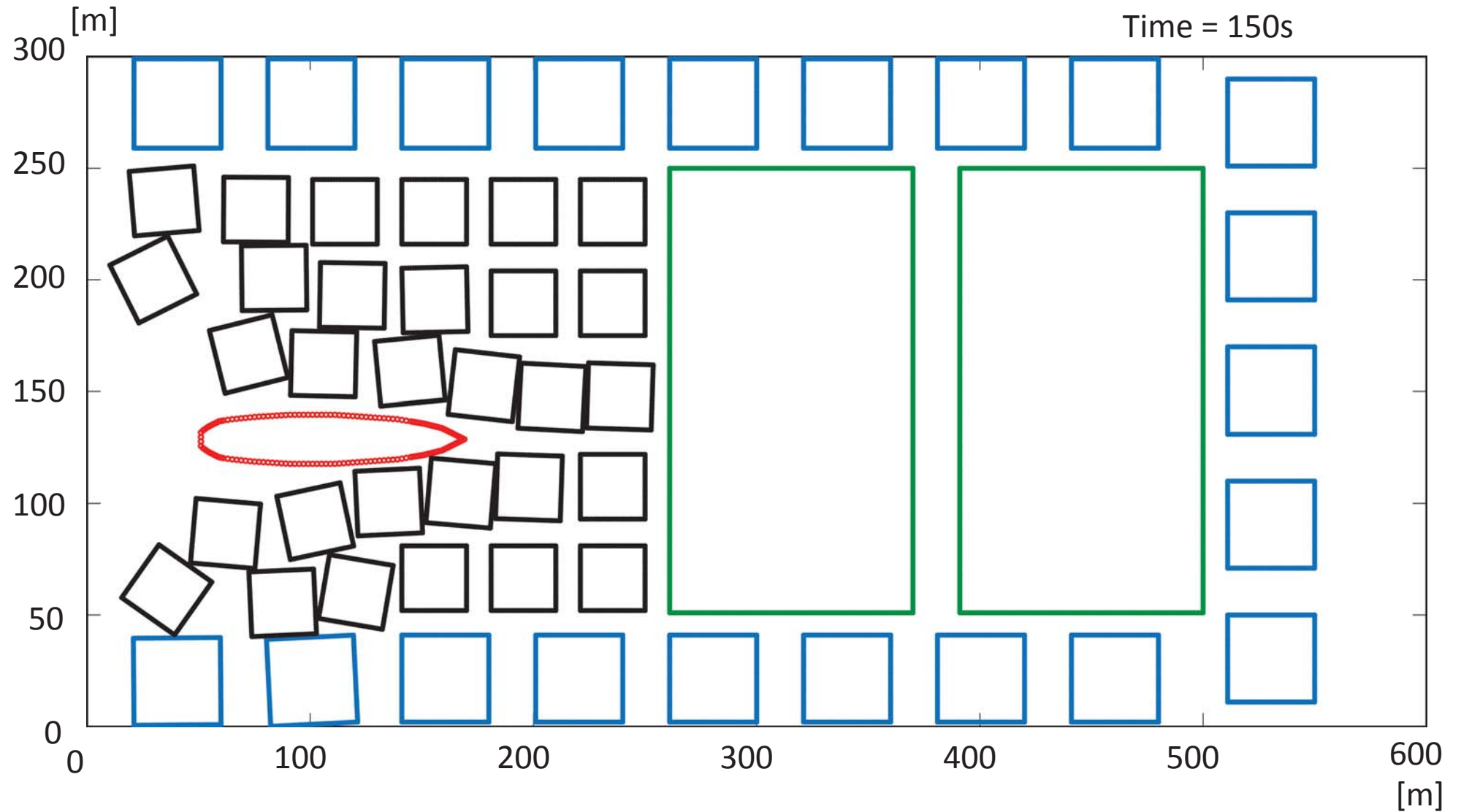


Fig. Sway force

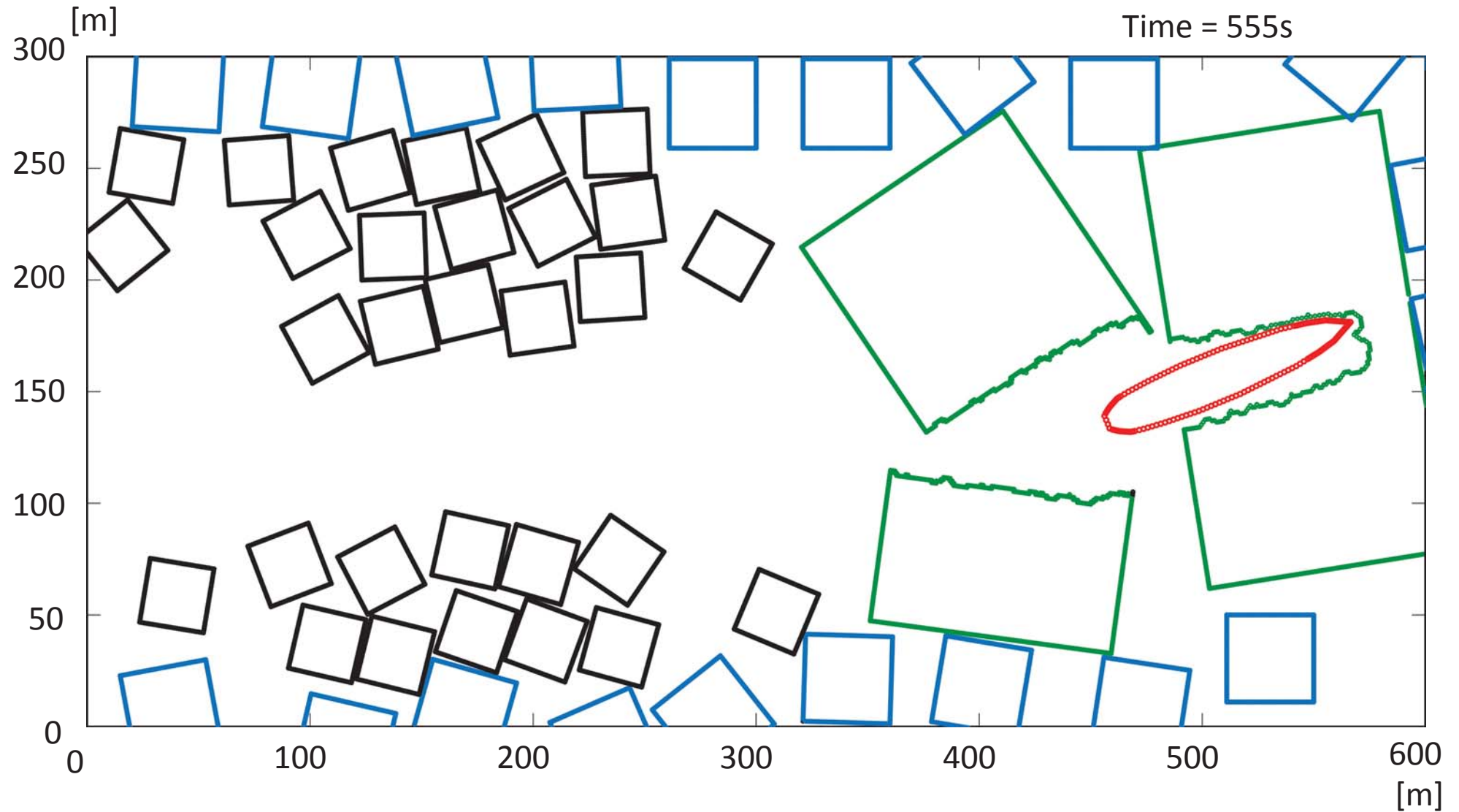
計算結果

30×30m (30), 40×40m (21), 110×200m (2)



計算結果

30×30m (30), 40×40m (21), 110×200m (2)



計算結果

30×30m (30), 40×40m (21), 110×200m (2)

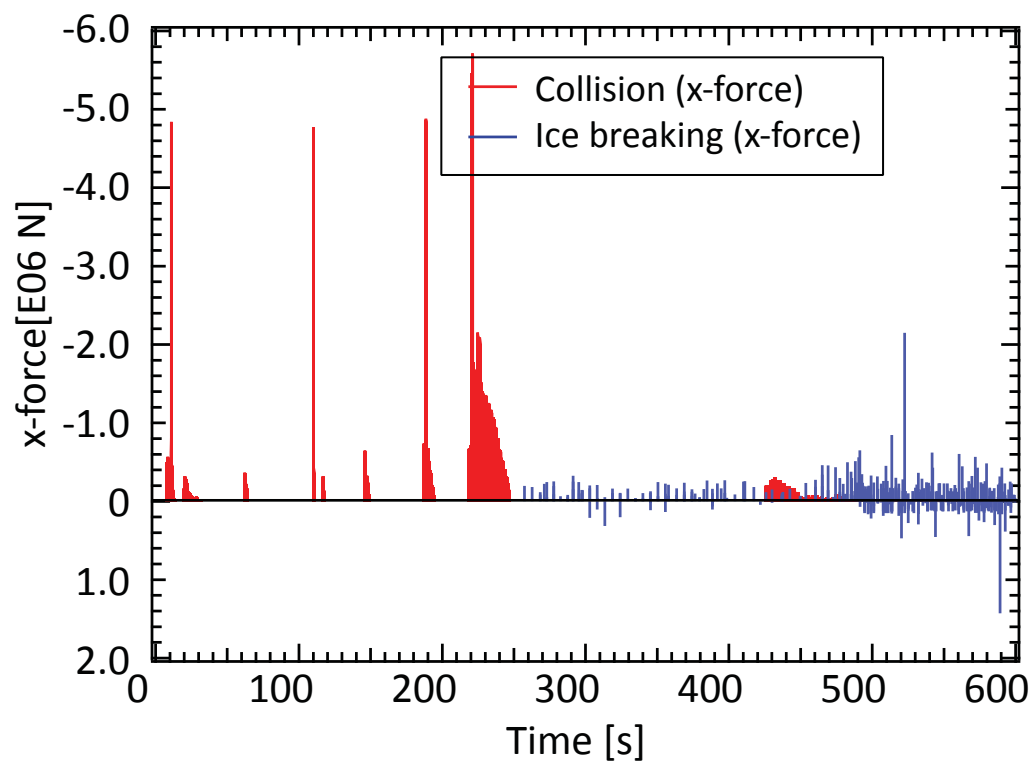


Fig. Surge force

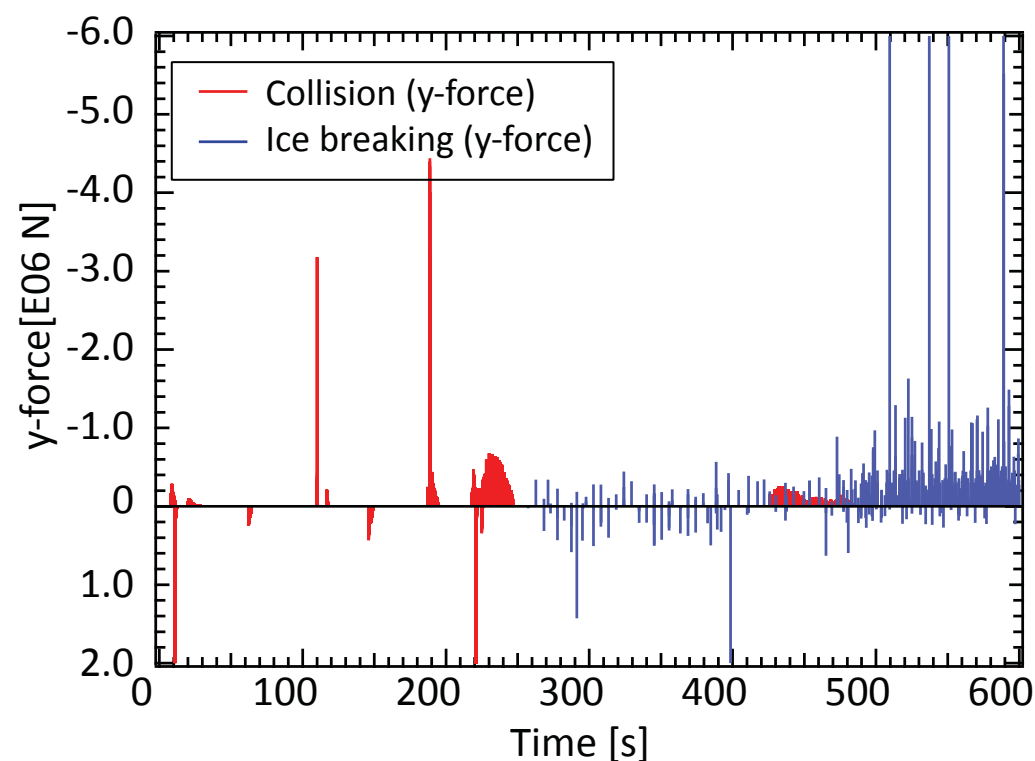
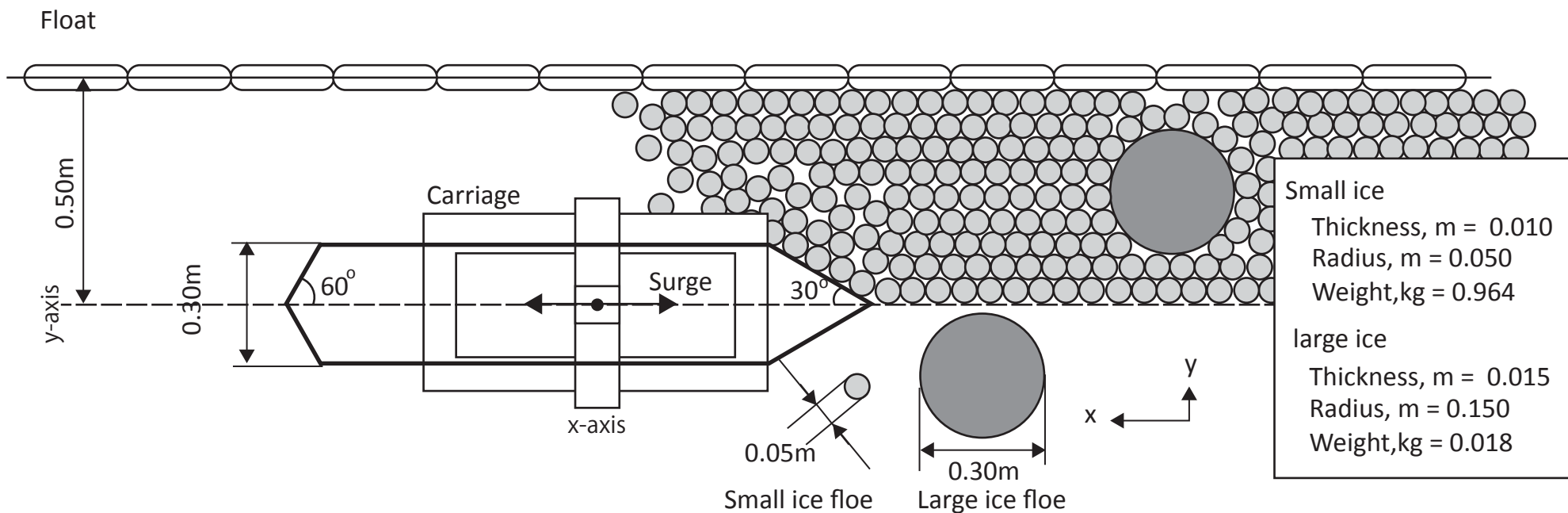
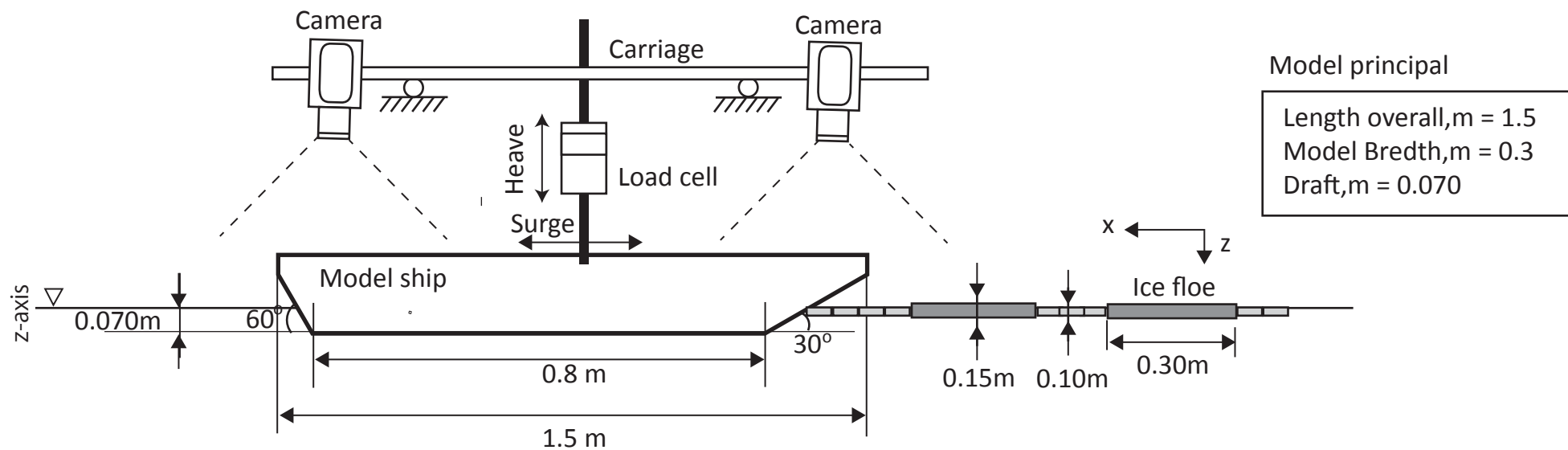


Fig. Sway force

アイスマネージメントの数値計算

1. 流氷中を砕氷船が氷板を**排除**または**砕氷**しながら航行する時の氷板の分布 (アイス・チャンネルの様子) と, 船体周りに作用する氷荷重分布が計算できる.
2. アイスチャンネル (氷板分布) と氷荷重は, 砕氷船が排除または砕氷する氷板の大きさと, **周囲の氷板の氷密節度や氷板の大きさに依存する**.
3. 提案するプログラムを用いて, **アイス・マネージメントのための, 砕氷船の航行条件を決定**(本研究の目標).
 - **数値計算の検証**.
氷の割れと排除の判定条件 (氷の質量, 氷の氷密節度など.).
氷の割れ方 (完全な板氷とは異なる.).
3次元効果 (氷の沈み込み, 重なり).
 - 実用計算に向けての課題.
実氷海モデル (**流氷分布**, **風**, **潮流**, **波**) における数値計算方法の確立.

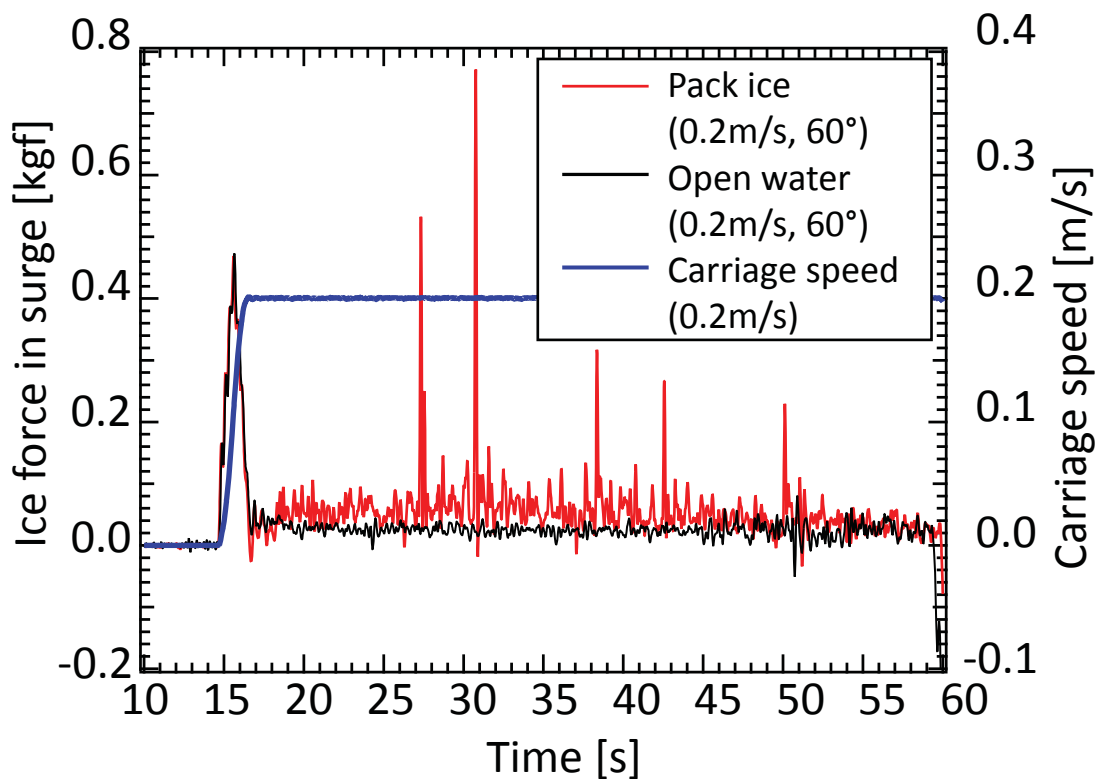
模擬氷を用いた流氷域中模型船実験



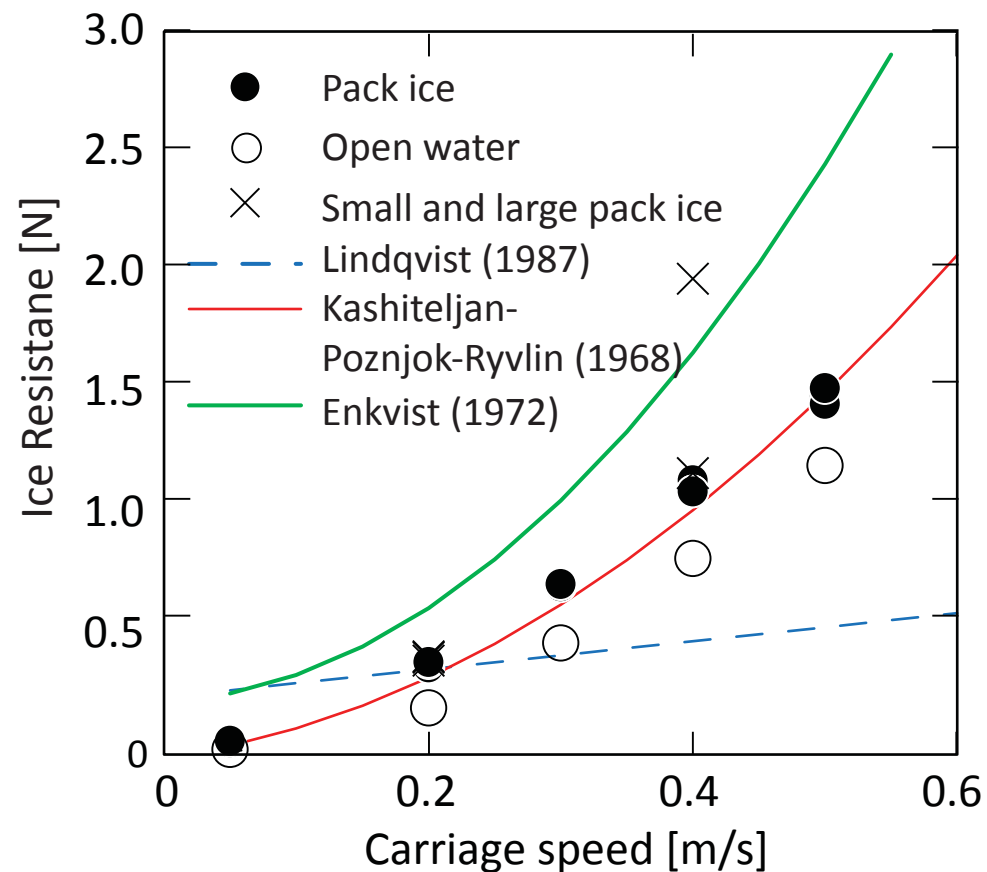


2015/05/12
09:28:21

模擬氷を用いた流水域中模型船実験



流水中(模擬氷)の氷荷重の時系列分布
(Water entrance angle $\alpha = 60^\circ$, Stem angle $\phi = 60^\circ$)



流水抵抗と速度の関係(計算式との比較)
(Water entrance angle $\alpha = 30^\circ$, Stem angle $\phi = 30^\circ$)

Kashiteljan-Poznjok-Ryvlin (1968) : Broken ice 中の碎氷抵抗式

まとめ

1. 耐氷船舶の安全航行には砕氷船によるアイスマネージメントが重要.

- 氷の減少に伴い, Level ice から Pack ice へ (+波の影響).
- 砕氷船のエスコートの有無に関係なく, Pack ice への対応は必要(?).

2. Pack ice 中の開放水面, 氷荷重の推定には, 氷板の砕氷と氷片の排除と風, 潮流 (+波の影響) を考慮.

- 現在のアイスマネージメントは経験に依存する部分が多い.
- 数値計算による, アイスマネージメントのための, 砕氷船の航行条件を決定.
(流氷域での耐氷船単独航行時の安全な航行ルートを指示.)

3. 数値計算の実用化への課題.

- 数値計算の検証 (実船実験, 模型船実験).
- 実氷海モデル (流氷分布, 風, 潮流, 波) における数値計算方法の確立.