

デッドシップ状態の同調横揺れ



国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科

地球総合工学専攻 船舶工学講座 教授 梅田 直哉

第2世代非損傷時復原性基準

1. 追波中復原力喪失現象
2. パラメトリック横揺れ
3. ブローチング現象
4. デッドシップ状態の同調横揺れ
5. 過大加速度

デッドシップ状態

- ▶ 主推進装置、ボイラー、補機が動力の欠如により作動しない状態（SOLASの定義）→操船者は全く無力
- ▶ 船体の前後対称性が顕著でなければ、横波、横風中を横漂流
- ▶ この状態で転覆しないこと：復原性基準の最低限の要求

デッドシップ状態

具体例

☆波浪により船橋の窓から浸水→船橋機能の喪失→主機停止

▶やまと丸 (1997)

風力11、有義波高10m以上

⇒転覆せず

▶Bremen (2001)

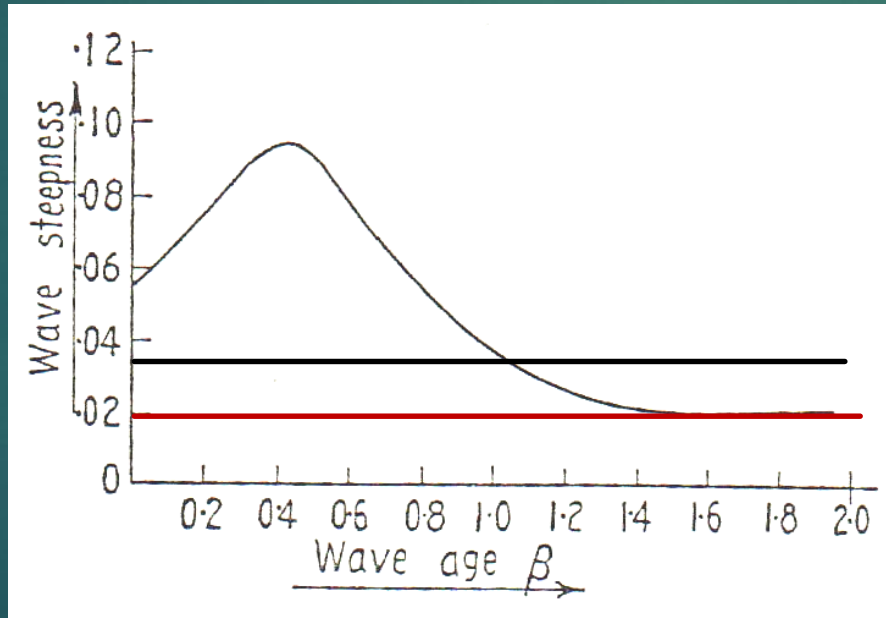
▶Caledonian Star (2001)

デッドシップ状態の同調横揺れ



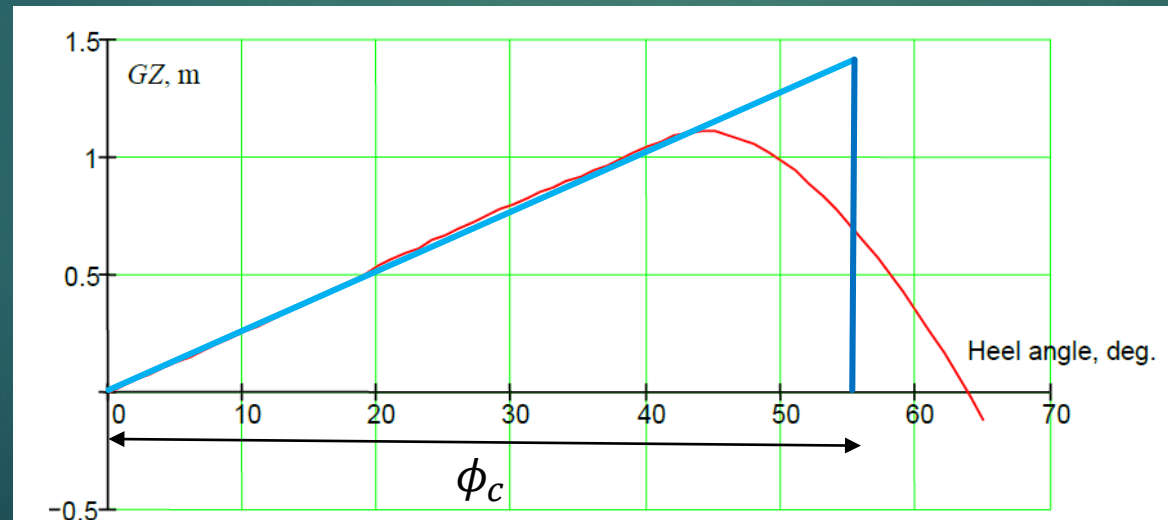
デッドシップ状態：第1段階簡易基準

- ▶ 現行のウェザークライテリオン
ただし、波岨度と横揺れ周期の関係の表
は、波岨度0.02まで延長。



デッドシップ：第2段階簡易基準

- ▶ GZ曲線: 直角三角形近似
 - ▶ 近似GZのGM、は一定風に対する平衡角、 ϕ_e での原GZの接線勾配
 - ▶ 原GZの面積（直立時から復原力消失角まで）が近似GZの面積と一致するように、限界角、 ϕ_c 、を設定



デッドシップ：第2段階簡易基準

- ▶ GZ曲線: 直角三角形近似
 - ▶ 近似GZのGM、は一定風に対する平衡角、 ϕ_e での原GZの接線勾配
 - ▶ 原GZの面積（直立時から復原力消失角まで）が近似GZの面積と一致するように、限界角、 ϕ_c 、を設定
- ▶ 横波横風中の線形横揺れ運動方程式の周波数応答
- ▶ 横波：Bretshneiderスペクトル
- ▶ 横風：Davenportスペクトル

デッドシップ：第2段階簡易基準

$$\ddot{x} + 2 \cdot \mu_e(\sigma_{\dot{x}}) \cdot \dot{x} + \omega_{0,e}^2(\phi_s) \cdot x = \omega_0^2 \cdot m(t)$$

$$\mu_e(\sigma_{\dot{x}}) = \mu + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \beta \cdot \sigma_{\dot{x}} + \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot \sigma_{\dot{x}}^2$$

$$m(t) = \frac{M(t)}{W \cdot GM}$$

x : 横揺れ角 (定常風による横傾斜角 ϕ_s から)

μ, β, δ : 横揺れ減衰係数

$\omega_{0,e}$: 横揺れ固有周波数 (横傾斜時)

ω_0 : 横揺れ固有周波数 (直立時)

M : 波と変動風による横揺れモーメント

$\sigma_{\dot{x}}$: 横揺れ角速度の分散

統計的等価線形化された減衰係数を持つ線形常微分方程式

⇒ 解析解の逐次近似法で解ける

デッドシップ：第2段階簡易基準

- ▶ 横揺れ振幅が狭帯域でRayleigh分布に従うとして、限界角を越える振幅の1秒あたりの発生率 r_{EA} を計算

$$r_{EA} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}} \int_{\phi_c}^{\infty} \frac{\phi}{m_0} \exp\left(-\frac{\phi^2}{2m_0}\right) d\phi \quad m_i: \text{横揺れスペクトルの}i\text{次モーメント}$$

- ▶ 横揺れ角が近似復原力消失角を1時間のうちに超える短期確率 C_{si} を計算

$$C_{si} = 1 - \exp(-r_{EA} \cdot 3600)$$

- ▶ 北大西洋の波浪頻度を用いて、 C_{si} を重み平均し、横揺れ角が近似復原力消失角を1時間のうちに超える長期確率 C を計算
- ▶ $C < 0.06$ ならば、合格

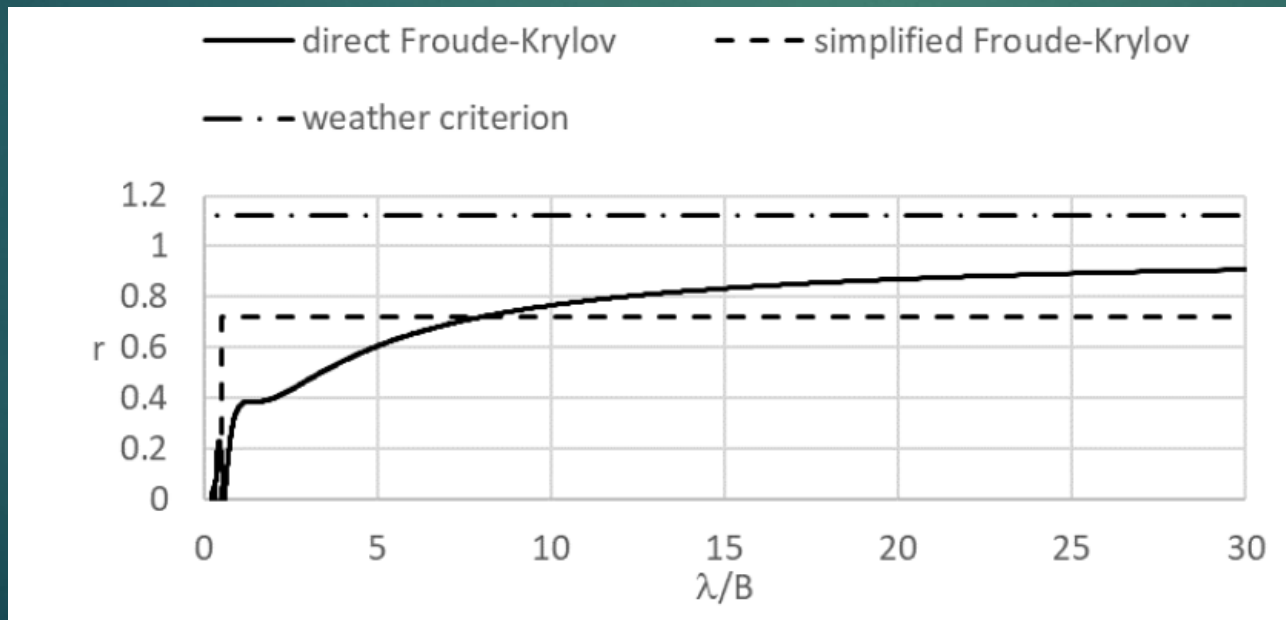
(weather criterionとの整合性より)

デッドシップ状態：第2段階簡易基準

▶ 流体カパラメータの推定法

▶ 有効波傾斜係数:

各横断面を矩形断面近似したうえフルードクリロフ成分の厳密計算を標準とする



N.Umeda & I. Tsukamoto:
OC2008
(塚本泉：阪大卒論2008)

デッドシップ状態：第2段階簡易基準

▶ 流体カパラメータの推定法

▶ 有効波傾斜係数:

各横断面を矩形断面近似したうえフルードクリロフ成分の厳密計算を標準とする

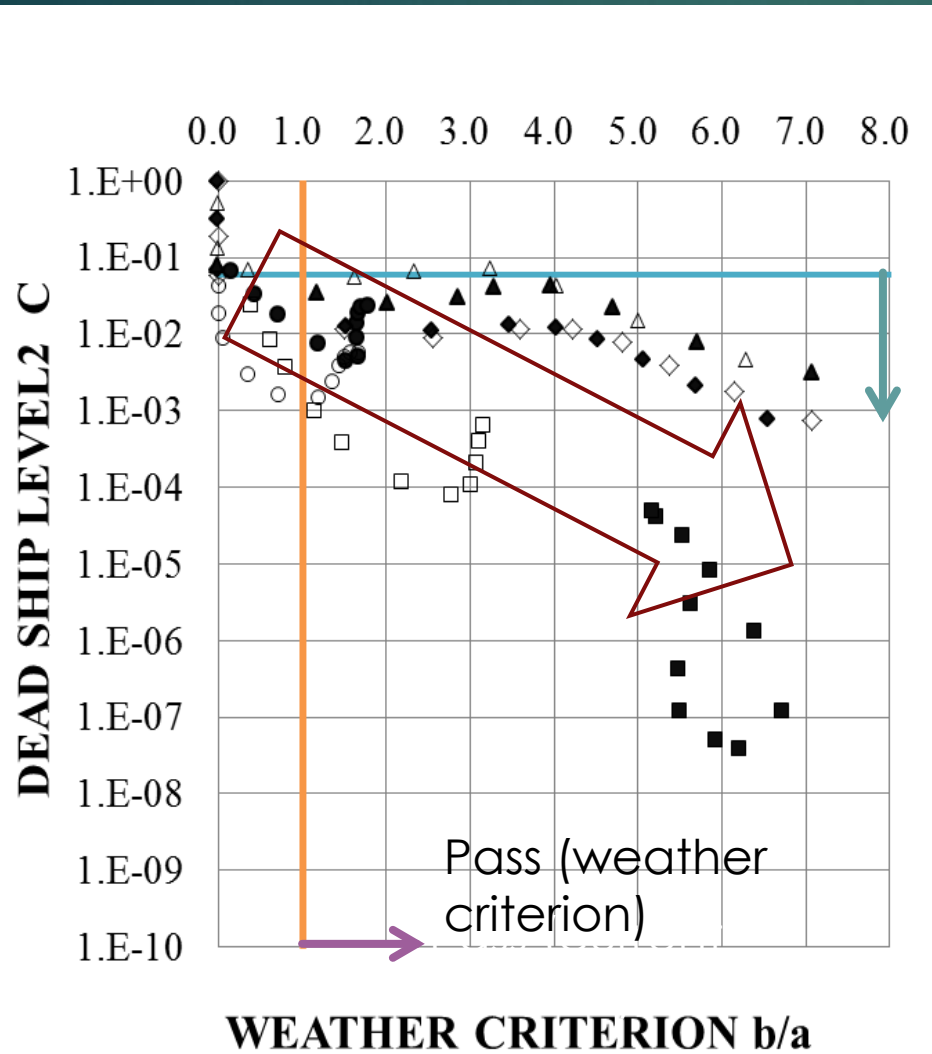
▶ 横揺れ減衰力:

池田の簡易推定式（池田の組み立て推定法結果から作成した主要目について回帰式）を標準とする

▶ 風圧力：ウエザークライテリオンと同じ

▶ 水圧反力：ウエザークライテリオンと同じ

デッドシップ状態：第2段階簡易基準

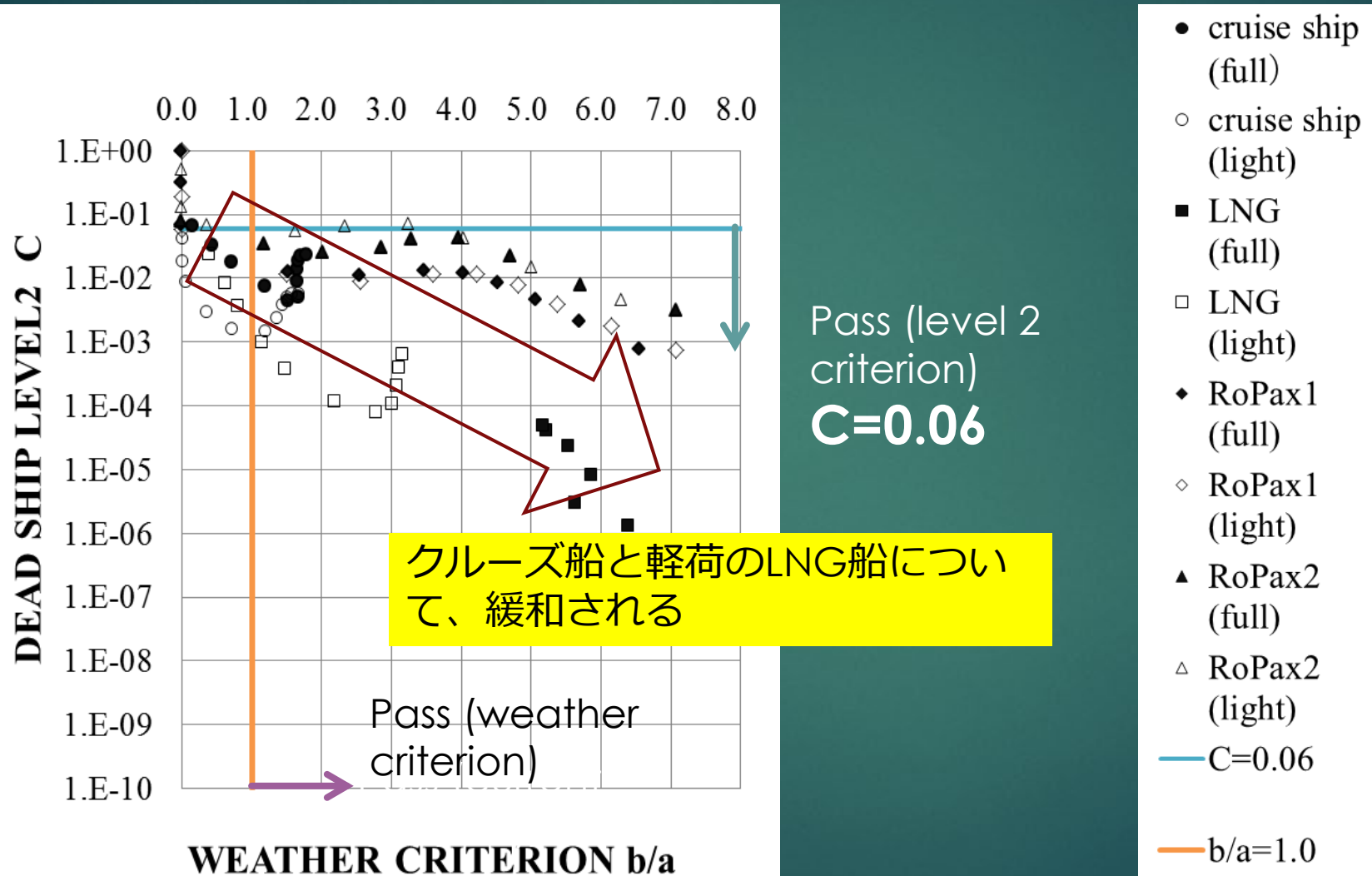


Pass (level 2 criterion)
C=0.06

- cruise ship (full)
- cruise ship (light)
- LNG (full)
- LNG (light)
- ◆ RoPax1 (full)
- ◇ RoPax1 (light)
- ▲ RoPax2 (full)
- △ RoPax2 (light)
- C=0.06
- b/a=1.0

N. Yamashita, N. Umeda & M. Sakai, Proc. of Design for Safety 2016
(山下奈穂：阪大修論 (2017))

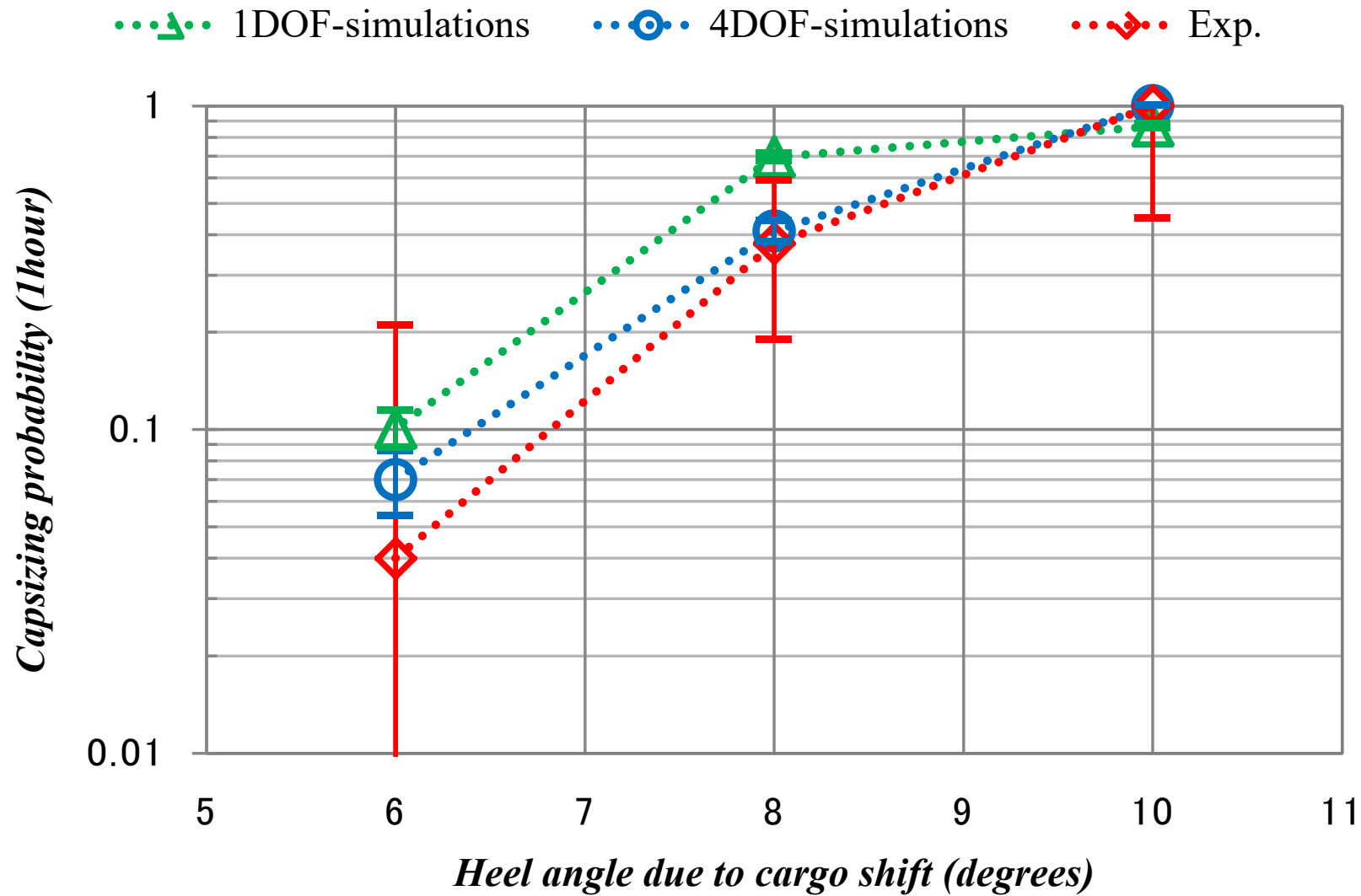
デッドシップ状態：第2段階簡易基準



直接復原性評価（阪大）

- ▶ 長波頂不規則波 + 変動風中の時間領域シミュレーション
- ▶ 4自由度 (sway-heave-roll-pitch)
- ▶ 横漂流力と流体反力がバランスする横傾斜状態を考える。
- ▶ 高周波数であるため、横傾斜状態でのストリップ法ベース
- ▶ 浮力成分は波面まで、フルードクリロフ成分は静止水面まで時々刻々の船体姿勢を考慮して圧力積分。
- ▶ ラディエーション成分は、縦運動は出会い波ピーク周波数、横運動は横揺れ固有周波数に対して計算。ディフラクション成分はSTFM。いずれも船体姿勢は直立。
- ▶ 平水中の横揺れ減衰力や風圧力は模型実験による

直接復原性評価の実験的検証



T. Kubo, N. Umeda et al.: Fluid Mechanics and its Application, Springer, 119, 2019

(久保巧：阪大修論 (2012))

デッドシップ基準の設計への影響

- ▶ 現在のウェザークライテリオンに合格する船には無関係。
- ▶ 大型クルーズ客船など現在のウェザークライテリオンに適合が容易でない船も、第1段階簡易基準の波岨度の修正で、適合可能、あるいは客室数の10%増設可能へ。(Francescutto, Umeda et al., Design for Safety, 2004)
- ▶ 第2段階簡易基準でも、クルーズ船や軽荷のLNG船は緩和される方向。