

波浪中抵抗増加の計測における 不確かさ解析とその評価

Uncertainty Analysis for Measurement of Added Resistance
in Short Regular Waves —Its Application and Evaluation—

海上技術安全研究所

粉原直人 辻本勝 深澤良平

濱田達也 横田早織

- ◆ 研究背景
- ◆ 繰り返し試験
- ◆ 不確かさ解析
- ◆ 実海域性能への影響評価
- ◆ まとめ

研究背景

船型開発

省エネ装置
の開発

数値計算法
の構築

水槽試験による評価、検証

定量的精度の把握が必要

不確かさ解析

誤差範囲を明らか
にする

水槽固有の値

誤差の伝搬経路
を把握する

精度向上への手掛かり

水槽試験への不確かさ解析の適用例

平水中抵抗試験への適用

姫野ら(1990)、笠原(1993)

平水中自航試験への適用

西尾ら(1991)、久米ら(2000)

実海域性能への意識の高まり

・・・波浪中抵抗増加の推定、計測

大型船の場合、短波長域の抵抗増加が重要

波浪中抵抗増加計測への適用

・・・Park et al. (2015)

本研究の目的

短波長域の波浪中抵抗増加について、繰り返し試験を実施し、その不確かさを評価する。

不確かさがどの程度まで許容できるのかを実海域性能(船速低下)の観点から考察する。

繰り返し試験



三鷹第2船舶試験水槽
(400m水槽)



三鷹第3船舶試験水槽
(150m水槽)



実海域再現水槽

(長さ) × (幅) × (深さ)
400[m] × 18[m] × 8.0[m]

(長さ) × (幅) × (深さ)
150[m] × 7.5[m] × 3.5[m]

(長さ) × (幅) × (深さ)
80[m] × 40[m] × 4.5[m]

ロードセル容量: 5.0[kg]

ロードセル容量: 5.0[kg]

ロードセル容量: 10.0[kg]

同じスペックの波高計を使用(非接触式)

水温: 16.60[deg.]

水温: 14.50[deg.]

水温: 13.15[deg.]

繰り返し回数: 15

繰り返し回数: 15

繰り返し回数: 10

計測同期システム: 有り

計測同期システム: 無し

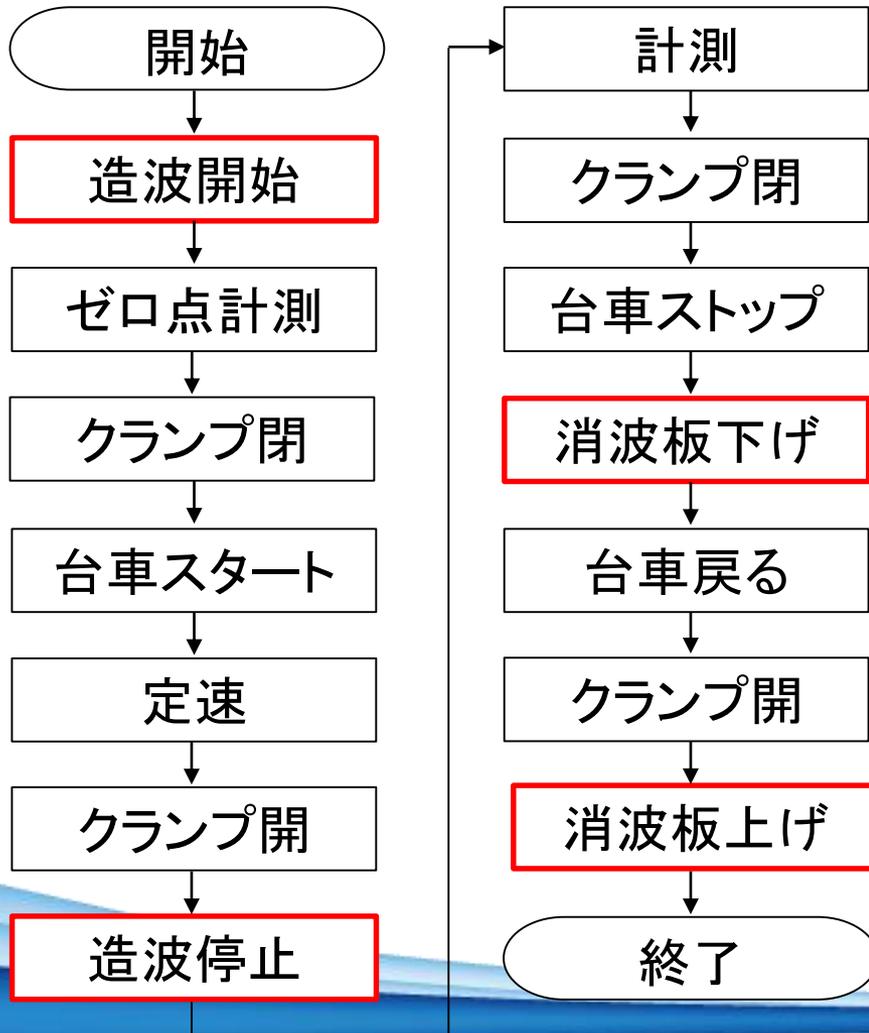
計測同期システム: 有り

(マニュアル同期)

繰り返し試験

計測同期システム

 は、波浪中の場合のみ



左のように、計測中の処理を全てシーケンスとして構築しておけば、1回の計測はシーケンスを開始するだけで全て自動的に実行される。

→処理のタイミングが毎回同じなので、**高い再現性を実現できる**。(後ほど紹介)

400m水槽のルーチン

- 平水中では**15分**、波浪中では**30分**間隔で実施。
- 波浪中の場合、台車のスタート位置は水槽中央。
- 波長が短いため、ゼロ点計測の前に造波を行う。
(ゼロ点計測: 90秒)

繰り返し試験

模型船

| Item | Full-scale | Model |
|--------------|------------|-------|
| L_{PP} [m] | 190.00 | 4.675 |
| B_M [m] | 32.26 | 0.794 |
| d_M [m] | 9.00 | 0.221 |



試験条件

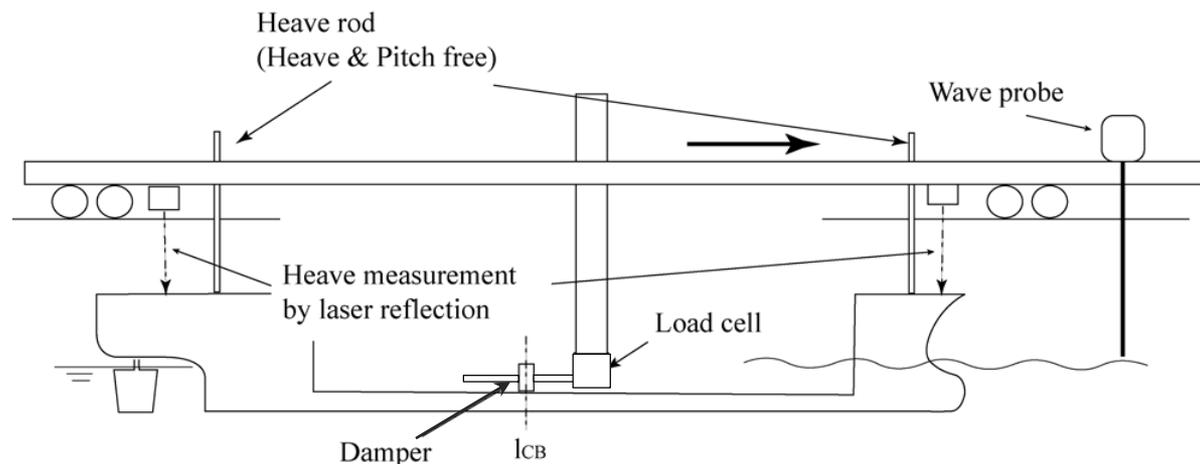
波浪中抵抗試験

$$F_n = 0.238$$

$$\lambda/L_{PP} = 0.4$$

$$\zeta_w = 0.0738 \text{ [m]}$$

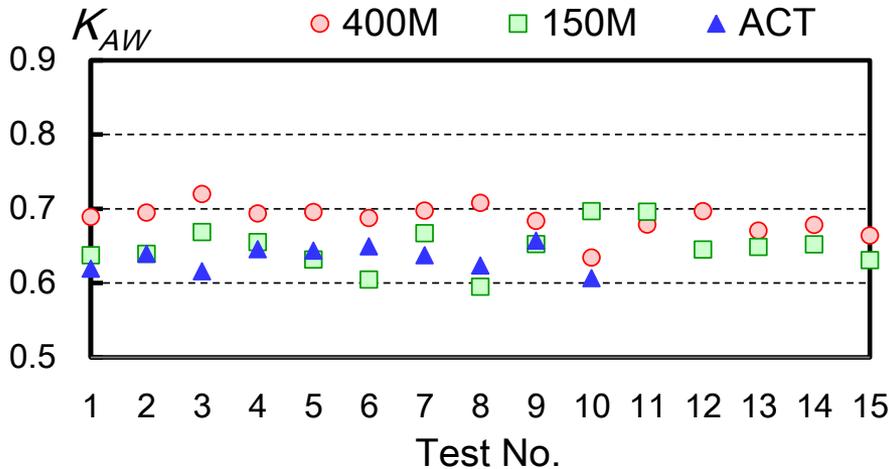
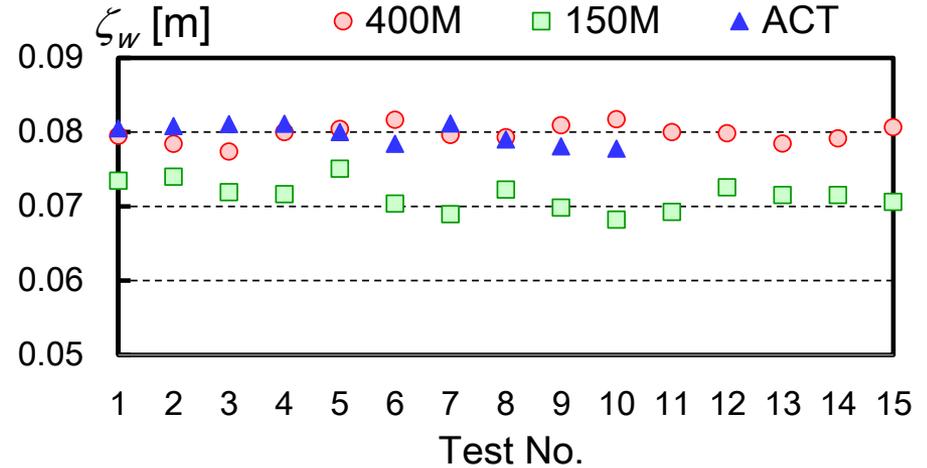
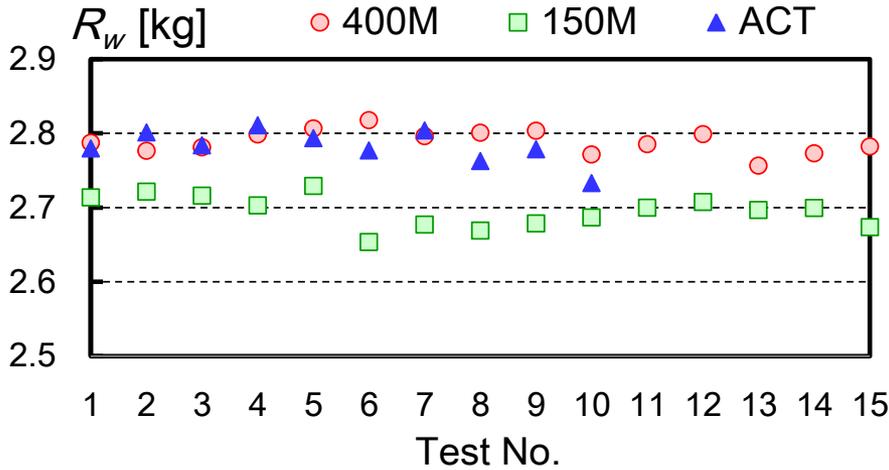
(実船3.0m相当)



短波長域の試験なので、平水中のセットアップで実施

繰り返し試験

試験結果



波浪中抵抗 平水中抵抗

$$K_{AW} = \frac{R_w - R_0}{\rho g \zeta_w^2 (B_M^2 / L_{PP})}$$

出会波高

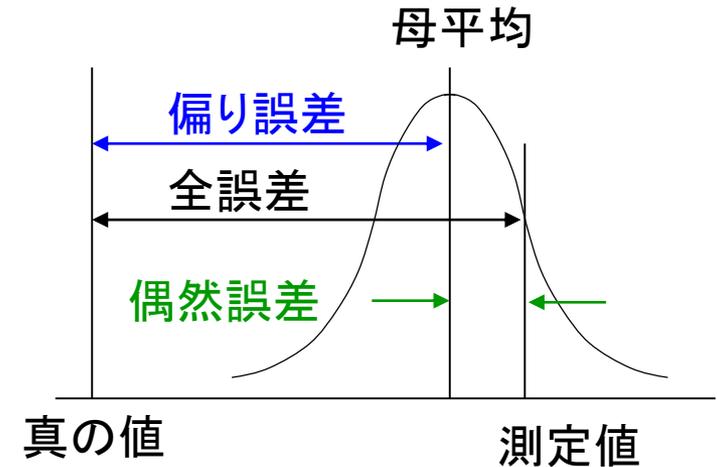
不確かさ解析

アメリカ機械学会性能試験規約 (ANSI/ASME)

- ✓ 真値はただ一つ存在
- ✓ 全誤差を偏り誤差と偶然誤差に分離



真の値は不可知



Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)

- ✓ ISOを中心に取りまとめられた手順書
- ✓ 真値を集合として捉える(真値そのものは不問とする)
- ✓ 全誤差を偏り誤差と偶然誤差に分離しない

不確かさ解析 (GUM)

標準不確かさ

パラメータごとに推定

- Aタイプ評価・・・統計的手法
- Bタイプ評価・・・統計的手法以外の評価
(機器の校正証明書等)

$$u(x_i) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

標準偏差
計測回数
(データ数)

合成不確かさ

各パラメータの標準不確かさを合成

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ データ処理方程式と呼ばれる。波浪中抵抗増加の場合、

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right]^2$$

$$K_{AW} = \frac{R_w - R_0}{\rho g \zeta_w^2 (B^2 / L_{PP})}$$

がデータ処理方程式

不確かさの伝播則

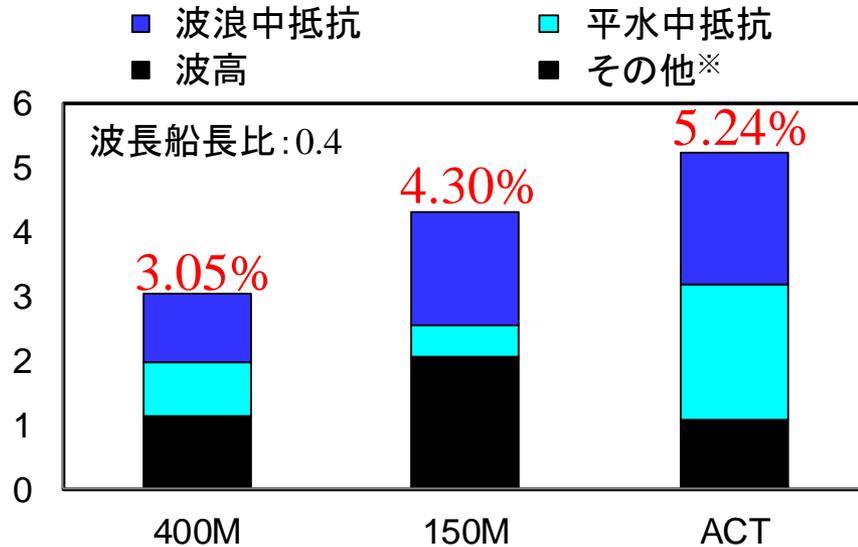
拡張不確かさ

合成不確かさの信頼性を高める

$$U = k u_c(y) \quad k = 2 \text{ とする場合が多い}$$

不確かさ解析 (GUM)

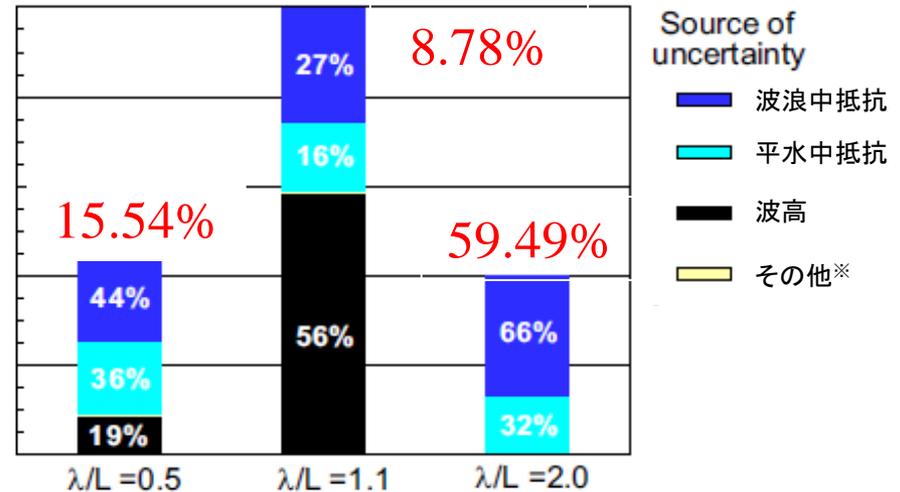
評価結果



※「その他」は、船長、船幅、密度の総和を意味する。

Park et al. (2008)

$u \cdot K_{AW}$



パーセンテージは構成比率

Park et al.の結果に比べ小さな不確かさが得られた。

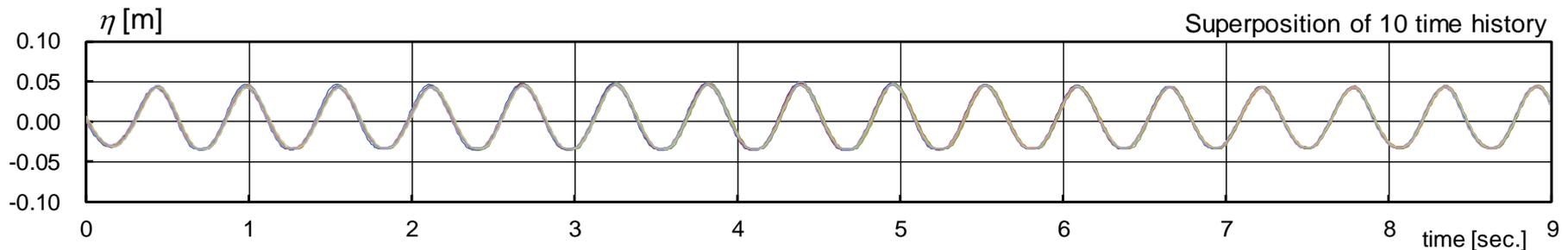
大きい模型船の使用

計測同期システムの効用

不確かさ解析 (GUM)

同期システムの効果

波高時系列 (実海域再現水槽)



相関係数: 0.9842-0.9992, 平均相関係数: 0.9954

抵抗の時系列についても評価し、相関係数: 0.9587-0.9979, 平均相関係数: 0.9855を得た。

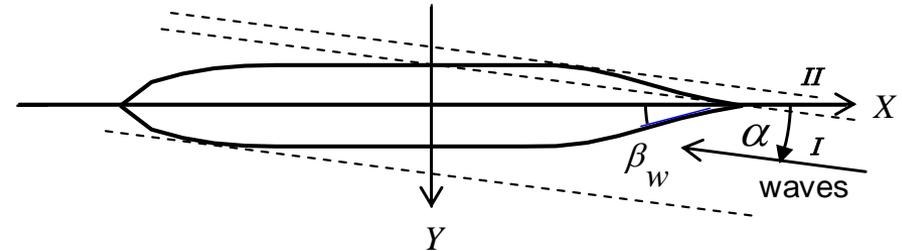
高い再現性を確保→不確かさの抑制に寄与

実海域性能への影響評価

波浪中抵抗増加の推定法

$$R_{AW} = R_{AW_m} + R_{AW_r}$$

運動による抵抗増加 diffraction成分補正項



$$R_{AW_r} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 BB_f \alpha_d (1 + \alpha_U)$$

$1 + \alpha_U = 1 + C_U F_n$

速度影響

速度影響係数

$$B_f = \frac{1}{B} \left\{ \int_I \sin^2(\alpha + \beta_w) \sin \beta_w dl + \int_{II} \sin^2(\alpha - \beta_w) \sin \beta_w dl \right\}$$

$$\alpha_d = \frac{\pi^2 I_1^2(k_e d)}{\pi^2 I_1^2(k_e d) + K_1^2(k_e d)}$$

$$k_e = k(1 + \Omega \cos \alpha) \quad \Omega = \frac{\omega U}{g}$$

Tsujimotoらの手法

$$1 + \alpha_U = \frac{R_{AW}^{EXP} - R_{AW_m}}{\frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 BB_f \alpha_d} = 1 + C_U F_n$$

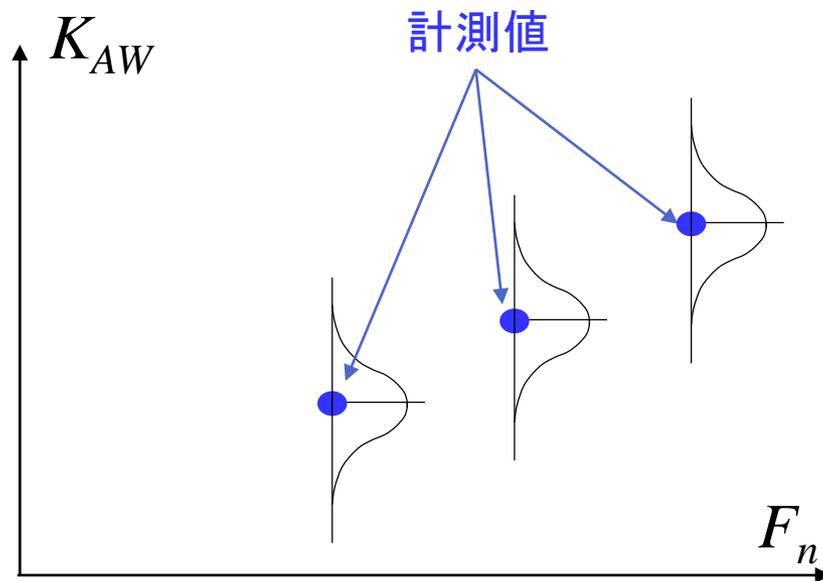
複数の船速で実施

R_{AW}^{EXP} に含まれる不確かさにより、速度影響係数(C_U)も不確かさを有するのでは？

実海域性能への影響評価

速度影響係数(C_U)のばらつき

計測した波浪中抵抗増加係数 K_{AW} が不確かさを標準偏差とする正規分布に従うと仮定(速度に依らず一定と仮定)



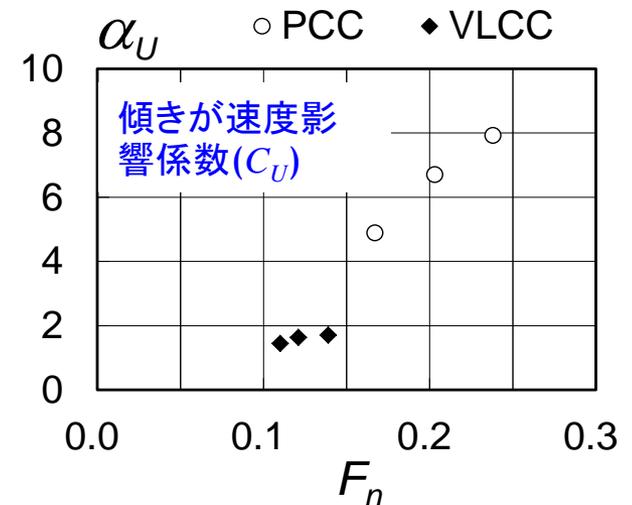
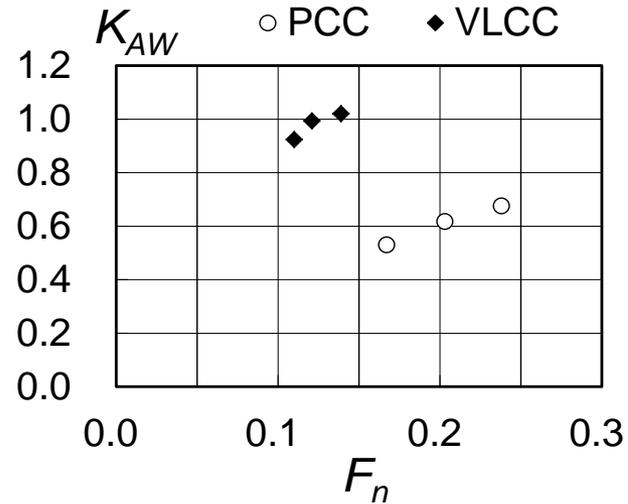
- ✓ 3つの速度で、 K_{AW} を正規分布に従い1000個ランダムに生成
- ✓ それぞれの速度から一つずつ K_{AW} を抽出し、速度影響係数を求める。
- ✓ 1000回繰り返すと、1000個の速度影響係数が求まる。

実海域再現水槽の不確かさ(5.24%)とParkらの示す不確かさ(15.54%)を用いてパラメータスタディを行う

実海域性能への影響評価

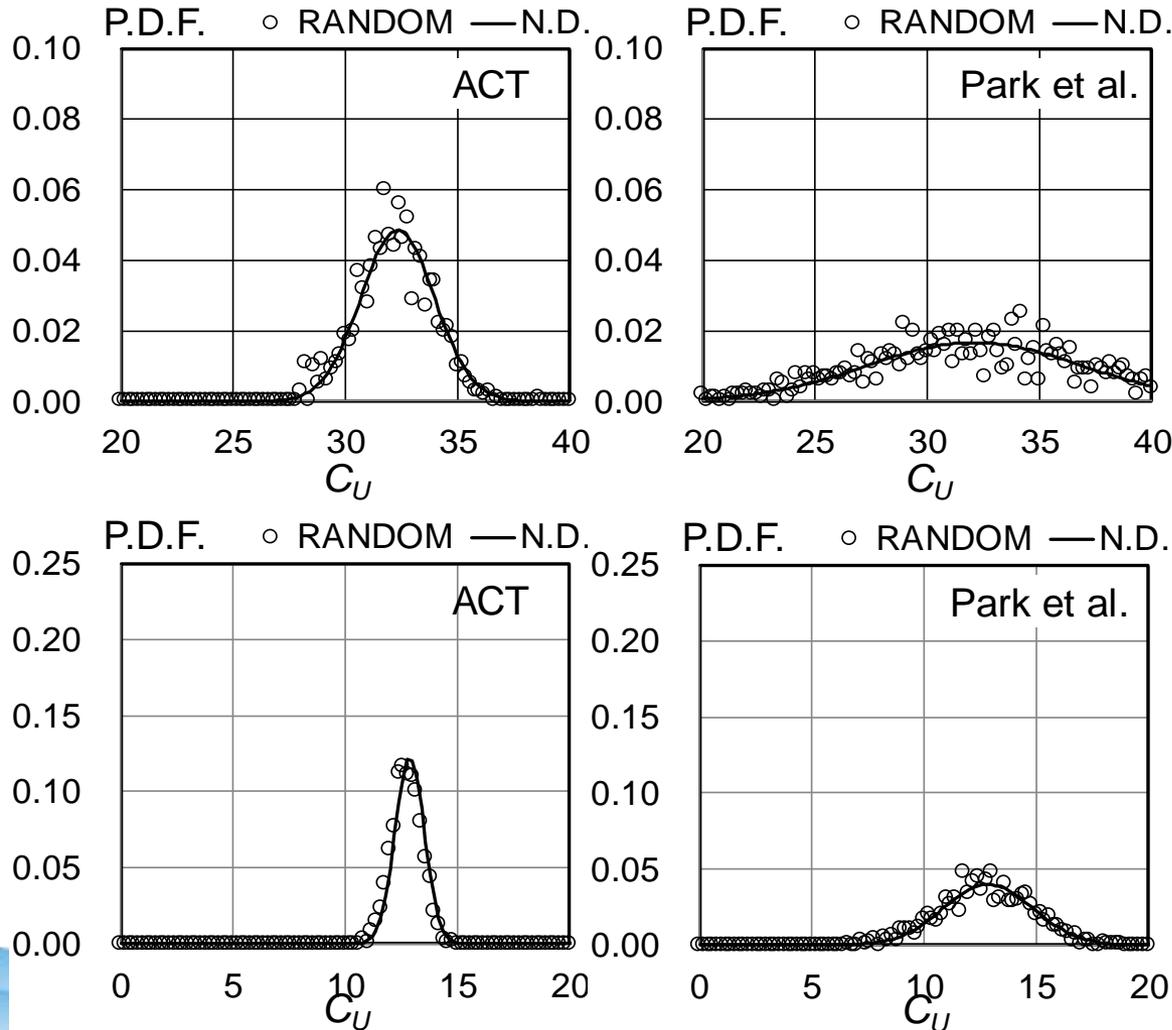
速度影響係数(C_U)のばらつき

| | PCC | VLCC |
|----------------------------|--------|--------|
| L_{PP} [m] | 190.00 | 324.00 |
| L_{PPm} [m] | 4.675 | 4.161 |
| B [m] | 32.26 | 60.00 |
| d [m] | 9.00 | 20.50 |
| C_b | 0.550 | 0.850 |
| B_f ($\alpha=0$ [deg.]) | 0.080 | 0.538 |
| V_S [knot] | 20.00 | 15.20 |
| F_n | 0.238 | 0.141 |
| MCR [kW] | 15920 | 27160 |



実海域性能への影響評価

速度影響係数(C_U)のばらつき (上段:PCC, 下段:VLCC)



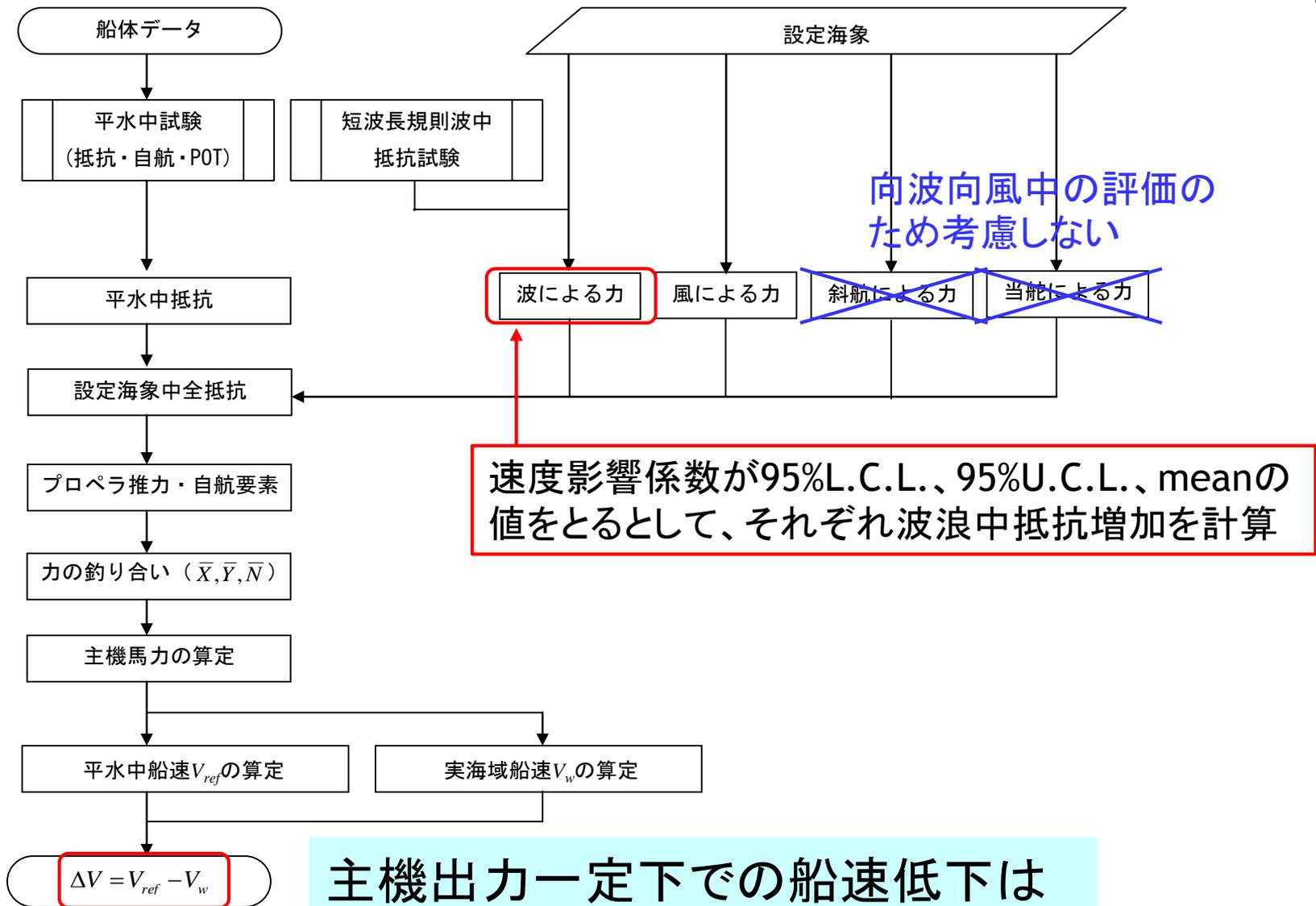
| Basin | | ACT | Park et al. |
|------------------------|------------|------|-------------|
| $U(K_{AW})/K_{AW}$ [%] | | 5.24 | 15.54 |
| PCC | Mean | 32.3 | 32.1 |
| | S.D. | 1.6 | 4.8 |
| | N.S.D. [%] | 5.1 | 14.9 |
| | 95% L.C.L. | 29.0 | 22.6 |
| | 95% U.C.L. | 35.6 | 41.7 |
| VLCC | Mean | 12.9 | 12.9 |
| | S.D. | 0.65 | 2.00 |
| | N.S.D. [%] | 5.1 | 15.5 |
| | 95% L.C.L. | 11.6 | 8.9 |
| | 95% U.C.L. | 14.2 | 16.9 |

N.S.D. → 平均値で無次元化した標準偏差
 95%L.C.L.、95%U.C.L. → 95%信頼区間の下限、上限

速度影響係数のばらつきは、船速低下で見るとどの程度か？

→ 不確かさの許容レベル

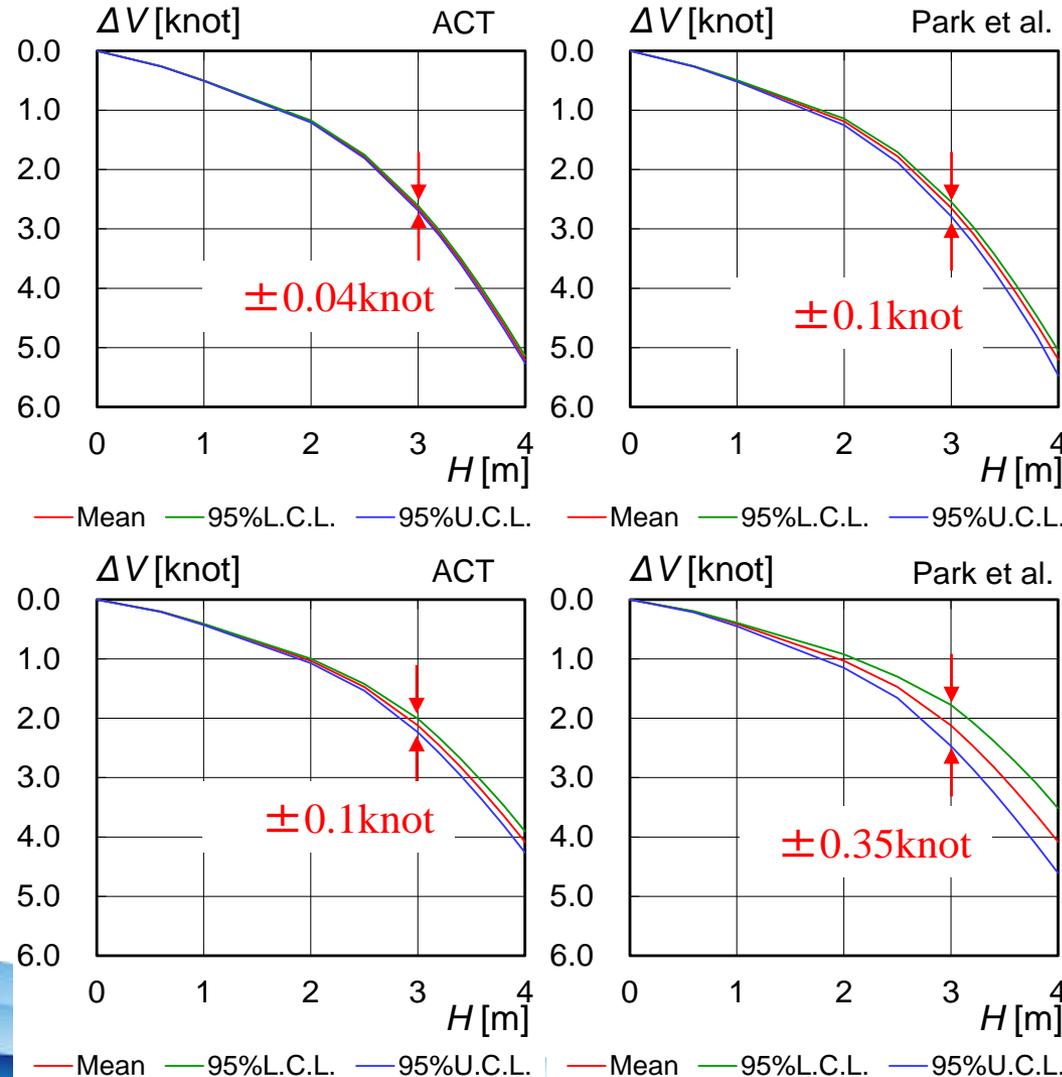
実海域性能への影響評価



主機出力一定下での船速低下はどの程度ばらつくか？

実海域性能への影響評価

実海域における船速低下 (上段:PCC, 下段:VLCC)



- ✓ PCCについては、いずれも ± 0.1 [knot] 以下のばらつき
 - ・運動成分の影響
 - ・主機出力が大きい

- ✓ VLCCについては、Parkらの方法では ± 0.35 [knot] であるが、実海域再現水槽では ± 0.1 [knot] のばらつき
 - ・補正項が支配的
 - ・主機出力が小さい

波浪中抵抗増加について、繰り返し試験に基づき水槽間の不確かさ解析を行った。

- ✓ 海技研の水槽においては、**短波長規則波中抵抗増加の不確かさは5.0%程度**である。
- ✓ 水槽により不確かさの構成比率が異なる。
- ✓ **同期計測システム**は、再現性の高い試験を実現可能であり、**不確かさの抑制に効果的**である。
- ✓ 実海域における船速低下を **± 0.1 [knot]の精度**で推定するには、波浪中抵抗増加の不確かさを**5.0%以下**に抑えることが必要である。

ご清聴ありがとうございました。