

荷重度変更法における 自航要素推定精度向上の検討

第85回実海域推進性能研究会

海上技術安全研究所

横田早織, 黒田麻利子, 粉原直人,
深澤良平, 濱田達也, 辻本勝

発表内容

1. 背景
2. 荷重度変更法
3. 水槽試験
4. 解析結果
5. 波浪中自航要素
6. まとめ

背景

船舶の推進性能評価

馬力カーブ



抵抗曲線（抵抗試験） + 自航要素（自航試験）

自航要素の解析手法

以前までの手法

計画速力付近を対象とした自航試験を実施

自航点における自航要素を計測

速度影響

速度影響なし or 計画速力付近で線形近似

低速では実際の値とは不一致となる可能性がある

波浪中影響

考慮しない

波浪の影響は荷重度変更法が効果的

ITTCの手法

荷重度を考慮(ITTC RP 7.5-04-01-01.1 (2017).)

CTの平方根型関数として表示

足達の手法を用いて、船舶推進推定性能の向上を目的とした荷重度変更法を用いた自航要素の推定モデルを検証する

荷重度変更法

自航要素の表現方法(足達の手法)

荷重度変更法に基づく自航要素の推定法は足達・菅井(1978)、足達・日夏(1983)、足達(1983)、溝口・田崎(1983)によって開発された。

足達により、運動量理論から伴流係数(1-w)および船体とプロペラの干渉による抵抗増加係数 C_G が $(C_T)^{0.5}$ 型で表現できることが示され、次の式で表される。

$$1-w = U_{a0wc} + \underline{C_0(F_r)} \times \left[-U_{a0wc} + \sqrt{C_T + U_{a0wc}^2} \right] \quad (1)$$

$$C_G = \underline{B_0(F_r)} \times \left[-U_{a0wc} + \sqrt{C_T + U_{a0wc}^2} \right] \quad (2)$$

$$U_{a0wc} = \underline{U_{a0}(F_r)} + \Delta U_{a0wc}(\omega, \alpha, \zeta_a, F_r) \quad (3) \quad : \text{スラスト0のときの有効伴流係数}$$

波浪により船尾流場が変化する影響

パラメータ B_0 、 C_0 、 U_{a0} はフルード数 F_r により変化する

$$1-t = 1 - C_G/C_T \quad (4)$$

$$C_T = \frac{T}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2/4} \quad (5)$$

$$C_G = \frac{G(T)}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2/4} = \frac{R(T) + T - R_C}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2/4} \quad (6)$$

荷重度変更法

実船自航点でのCTの求め方

実船自航点：船舶に係る抵抗 $R(T)$ とS.F.Cが一致する点

$$R(T) = S.F.C. \quad (7)$$

$$S.F.C. = \{(1+k)(C_F - C_{Fs}) - \Delta C_F\} \times 0.5\rho S V^2 \quad (8)$$

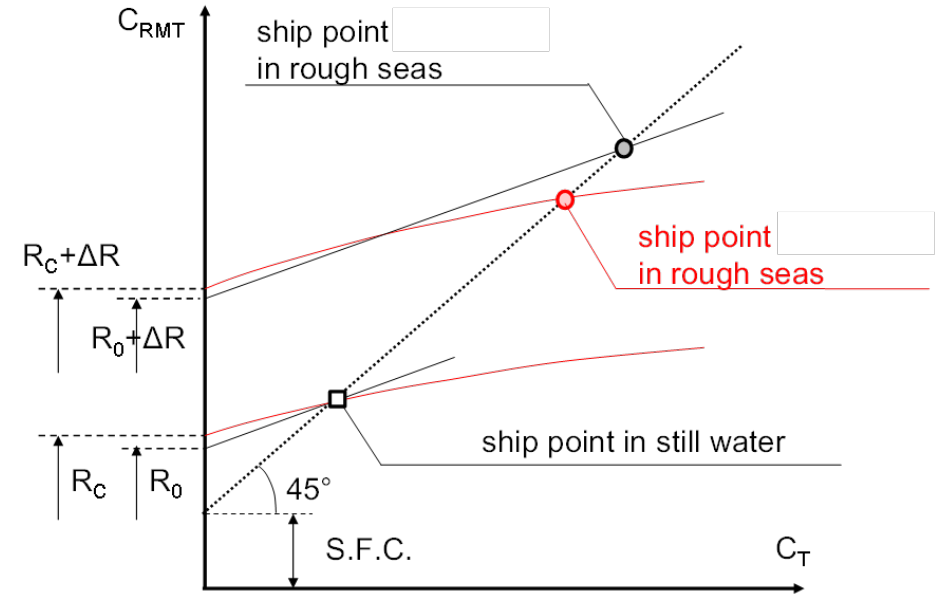
(2)(6)(7)式を連立させると

$$C_T = \frac{1}{2} \left[B_0 \left\{ (B_0 - 2U_{a0wc}) + \sqrt{(B_0 - 2U_{a0wc})^2 + 4C_{Rc}} \right\} + 2C_{Rc} \right] \quad (9)$$

$$C_{Rc} = \frac{R_{c0} + R_{waves} + R_{wind} - X_D - X_R - S.F.C.}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2 / 4} \quad (10)$$

$$C_T = \frac{C_{R0}}{1 - t_R} \quad (11)$$

$$C_{R0} = \frac{R_{0m} - SFC}{0.5\rho_m A_{Pm} V_m^2} \quad (12)$$



R_c を用いる場合

R_0 を用いる場合

荷重度変更法

自航要素の表現方法(足達の手法)(再)

$$1 - w = U_{a0wc} + \underline{C_0(F_r)} \times \left[-U_{a0wc} + \sqrt{C_T + U_{a0wc}^2} \right] \quad (1)$$

$$C_G = \underline{B_0(F_r)} \times \left[-U_{a0wc} + \sqrt{C_T + U_{a0wc}^2} \right] \quad (2)$$

$$U_{a0wc} = \underline{U_{a0}(F_r)} + \Delta U_{a0wc}(\omega, \alpha, \zeta_a, F_r) \quad (3)$$

$$1 - t = 1 - C_G / C_T \quad (4)$$

$$C_T = \frac{T}{0.5 \rho V^2 \pi D_p^2 / 4} \quad (5)$$

$$C_G = \frac{G(T)}{0.5 \rho V^2 \pi D_p^2 / 4} = \frac{R(T) + T - R_C}{0.5 \rho V^2 \pi D_p^2 / 4} \quad (6)$$

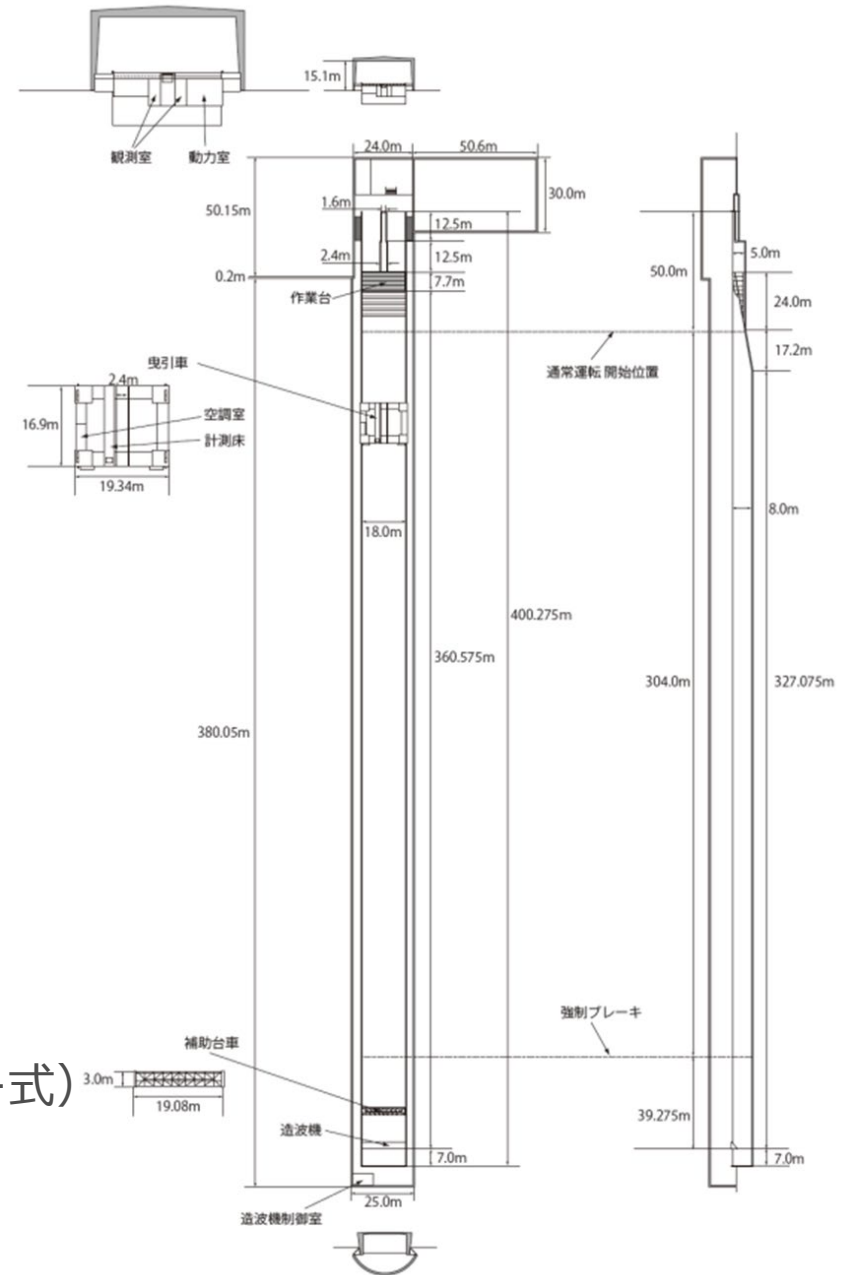
パラメータ B_0 、 C_0 、 U_{a0} は
フルード数 F_r により変化する

荷重度変更試験によって求める

自航要素のパラメータについて
複数速度の荷重度変更試験から速度影響を確認する

水槽試験

平水中自航試験 試験水槽



海上技術安全研究所
 三鷹第2船舶試験水槽
 (長さ400m、幅18m、深さ8m、造波機-プランジャー式)

水槽試験

自航試験 対象船 (JBC)

7.0m模型



Item	Unit	JBC	
		designed full load	ballast
Condition	-		
Length between perpendiculars L_{pp}	m	280.0	280.0
Breadth B	m	45.0	45.0
Draft at midship d_m	m	16.5	8.6
Stern trim t	m	0.0	2.8

Item	Value
Diameter D_p	0.203
Pitch ratio P/D	0.750
Expanded area ratio a_E	0.50
Blade's number Z	5
Boss ratio $B.R.$	0.18

水槽試験

自航試験 対象船 (DTC)

8.0m模型



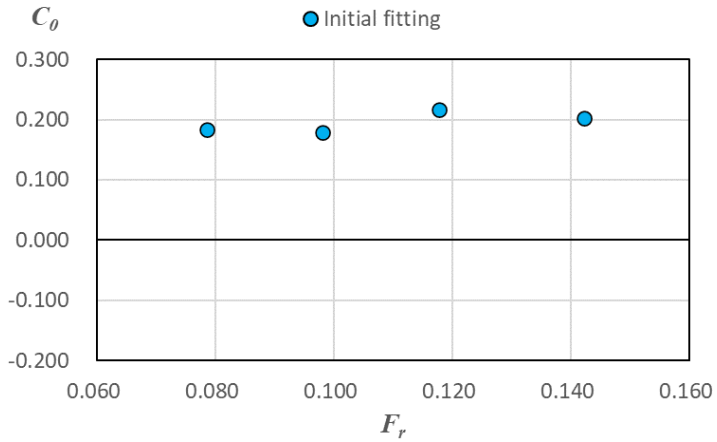
Item	Unit	DTC
Condition	-	designed full load
Length between perpendiculars L_{pp}	m	355.0
Breadth B	m	51.0
Draft at midship d_m	m	14.5
Stern trim t	m	0.0

Item	Value
Diameter D_p	0.200
Pitch ratio P/D	0.959
Expanded area ratio a_E	0.80
Blade's number Z	5
Boss ratio $B.R.$	0.176

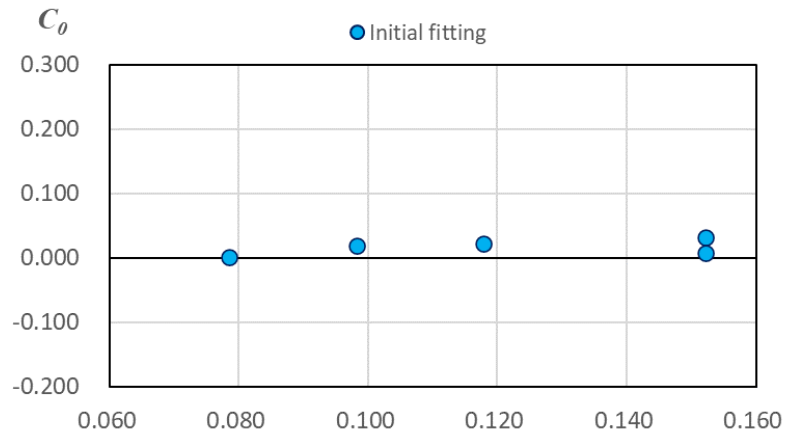
解析結果（平水中自航試験）

荷重度変更法におけるパラメータ C_0

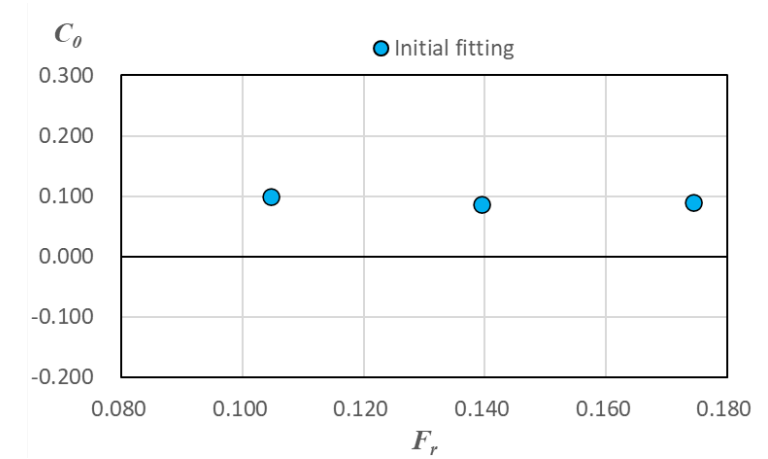
JBC（満載）



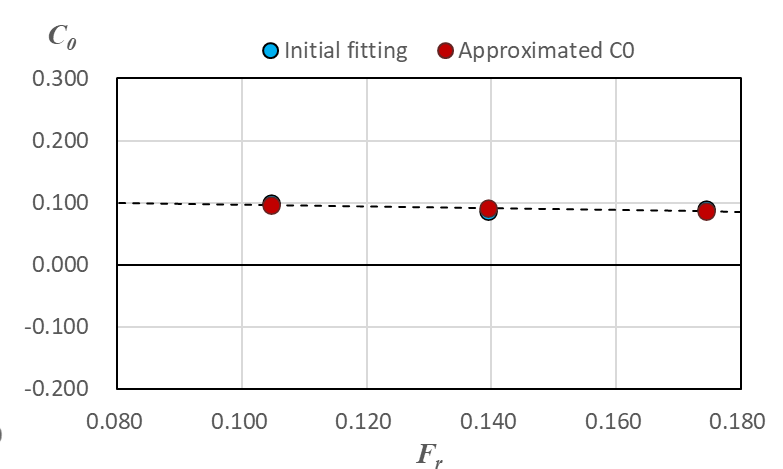
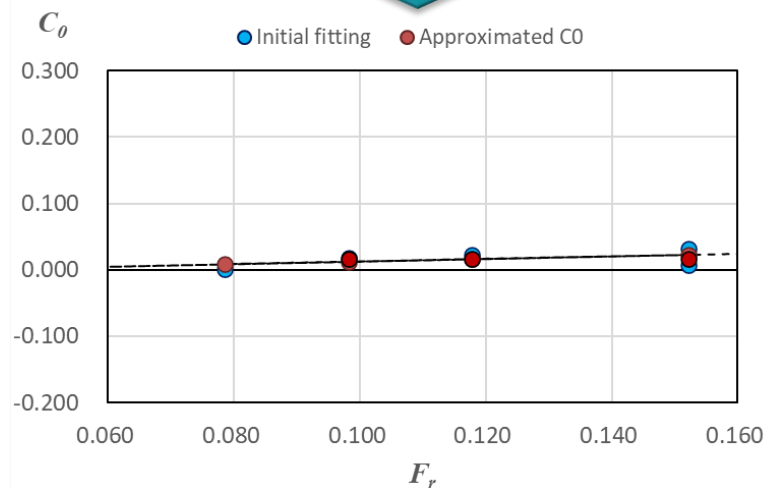
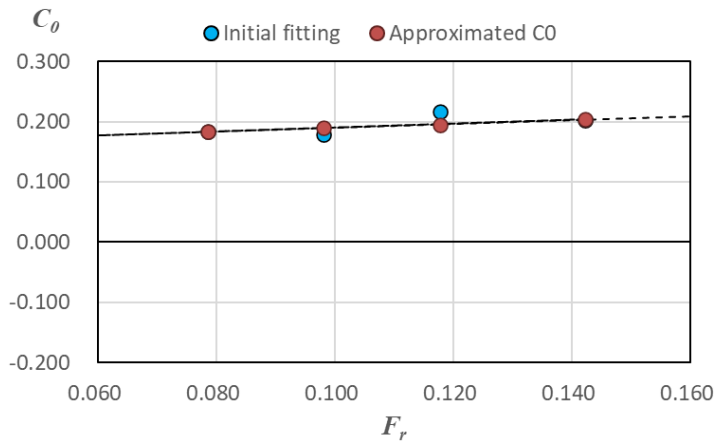
JBC（バラスト）



DTC



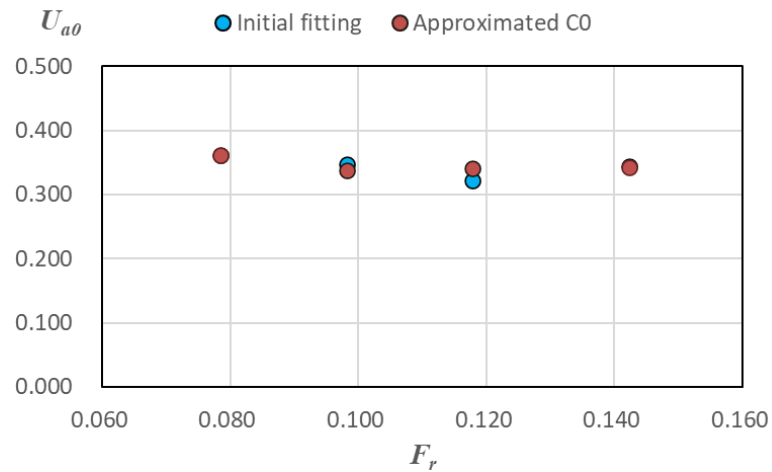
C_0 を速度に対して線形近似



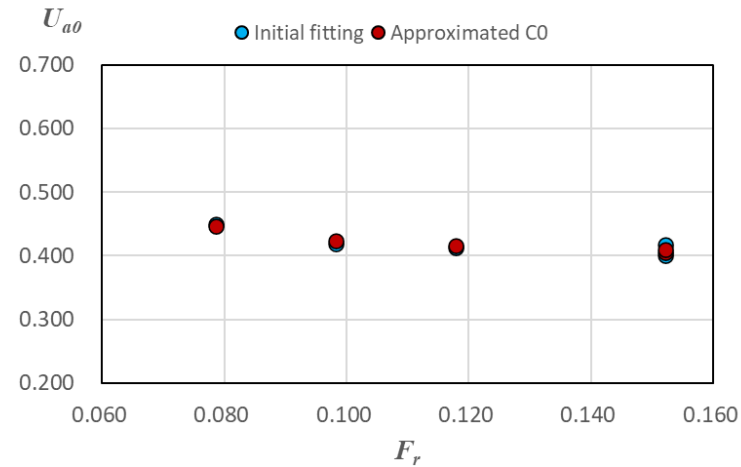
解析結果（平水中自航試験）

荷重度変更法におけるパラメータ U_{a0}

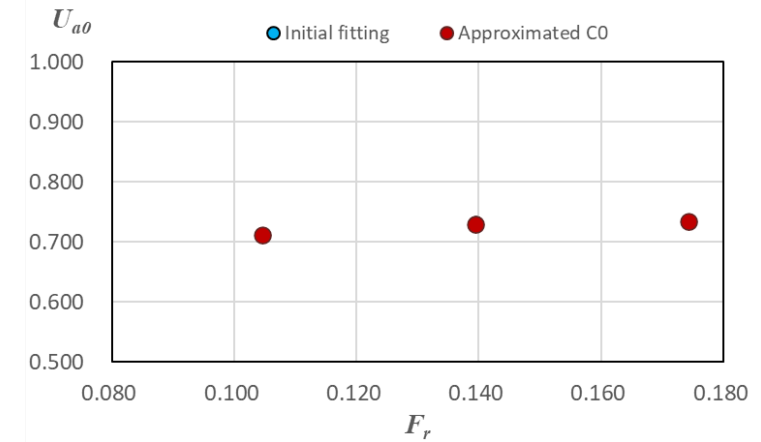
JBC（満載）



JBC（バラスト）



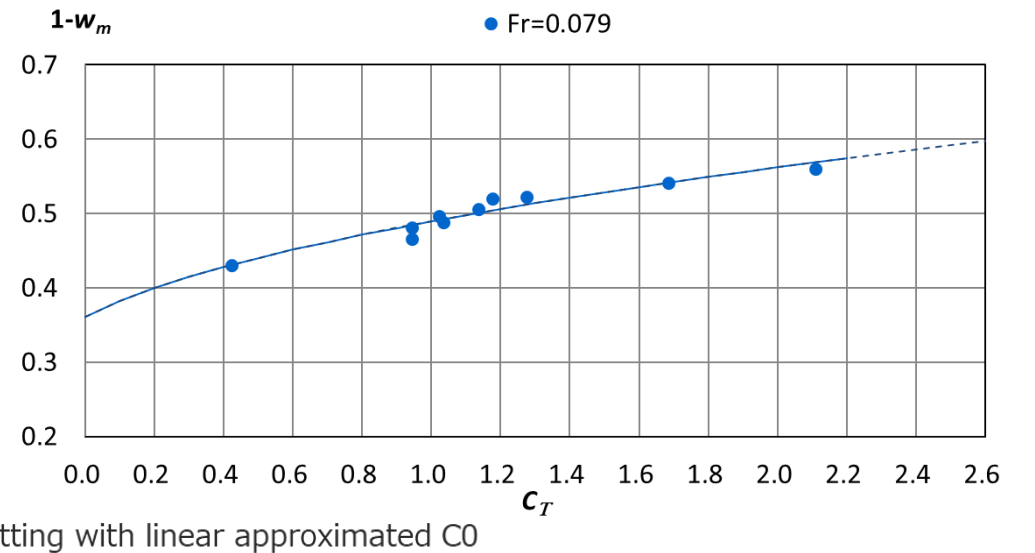
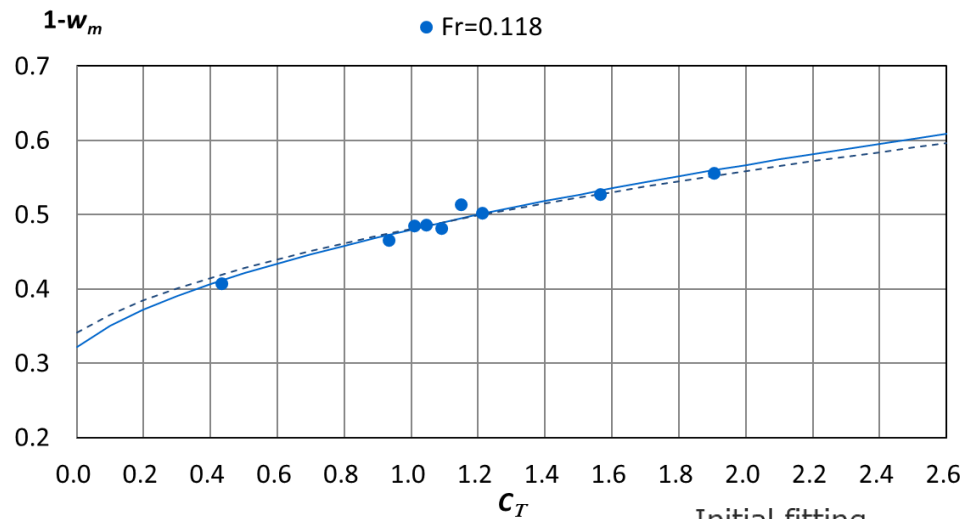
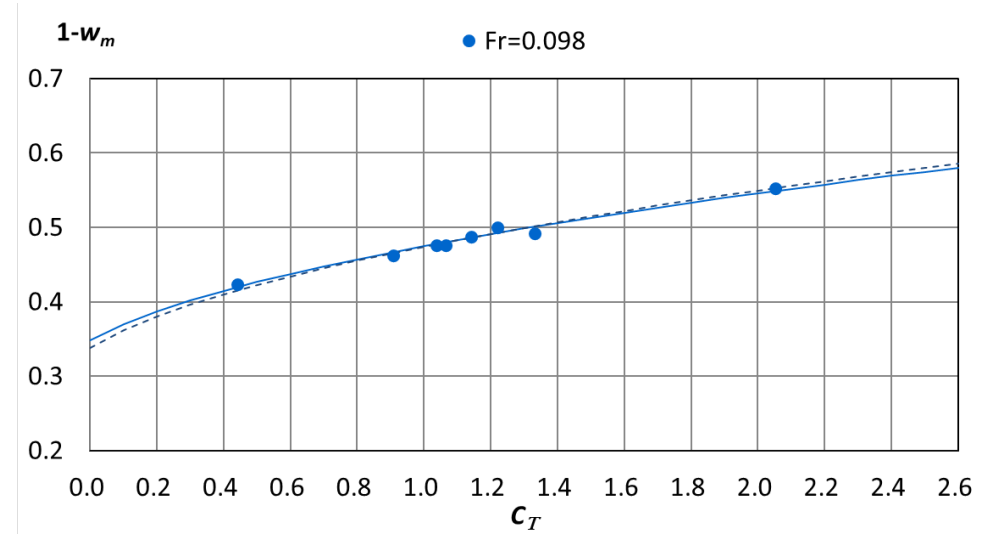
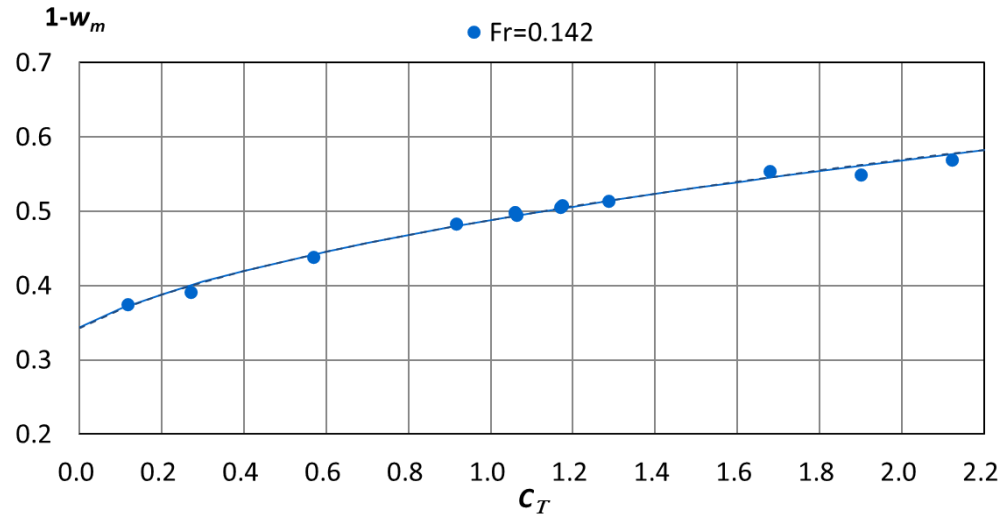
DTC



- U_{a0} も値がまとまっており、C0を速度に対して線形近似としても問題ない

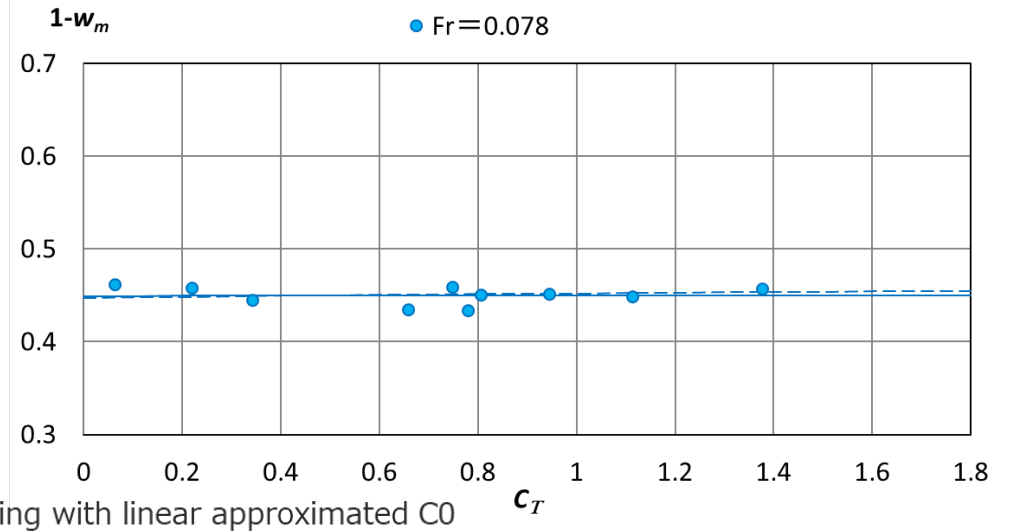
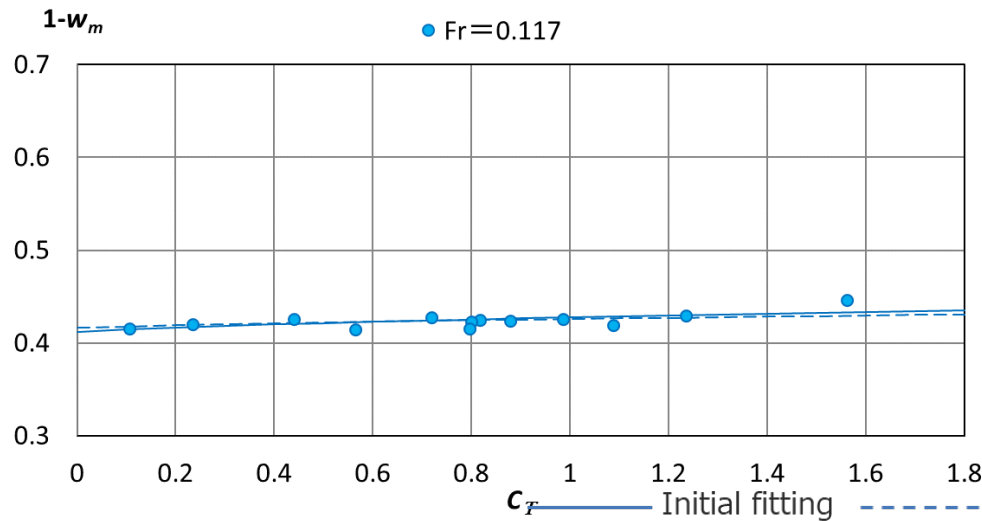
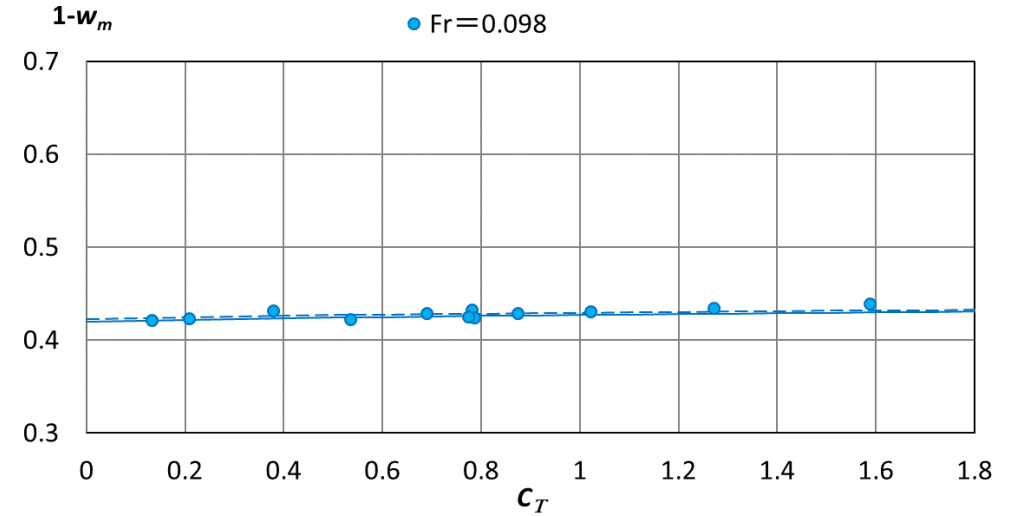
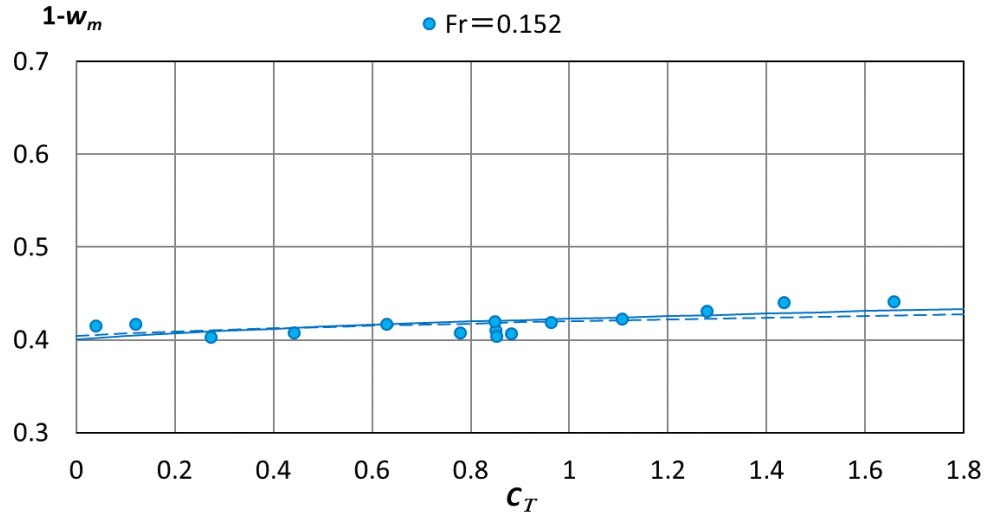
解析結果 (平水中自航試験)

JBC (満載)



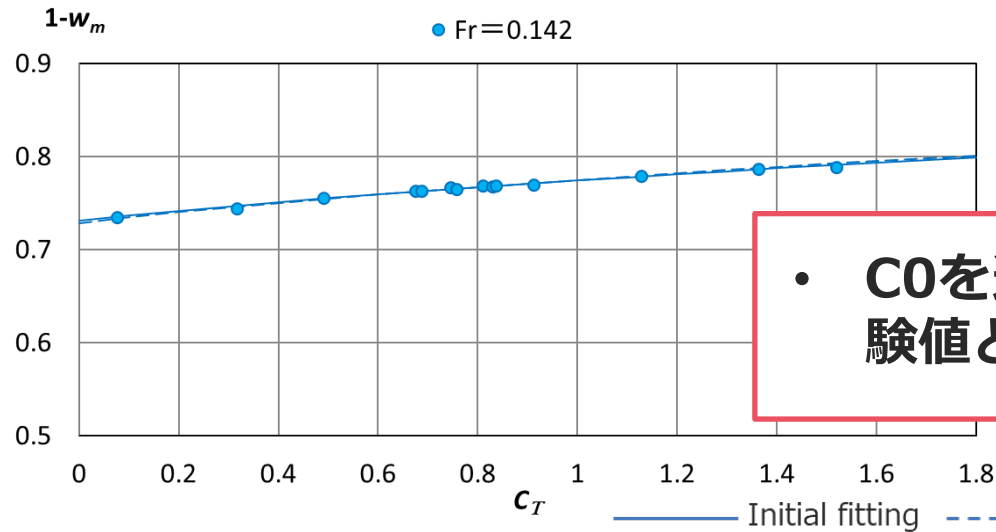
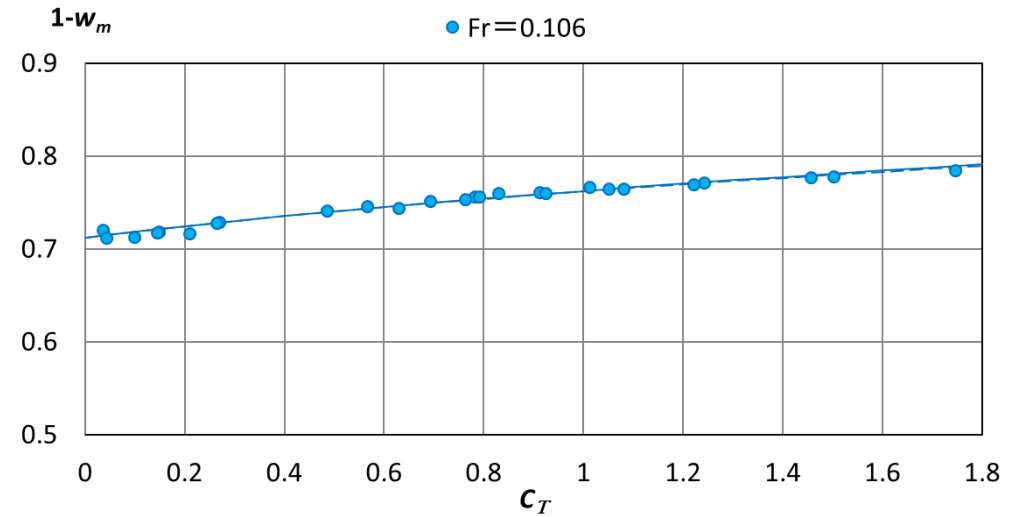
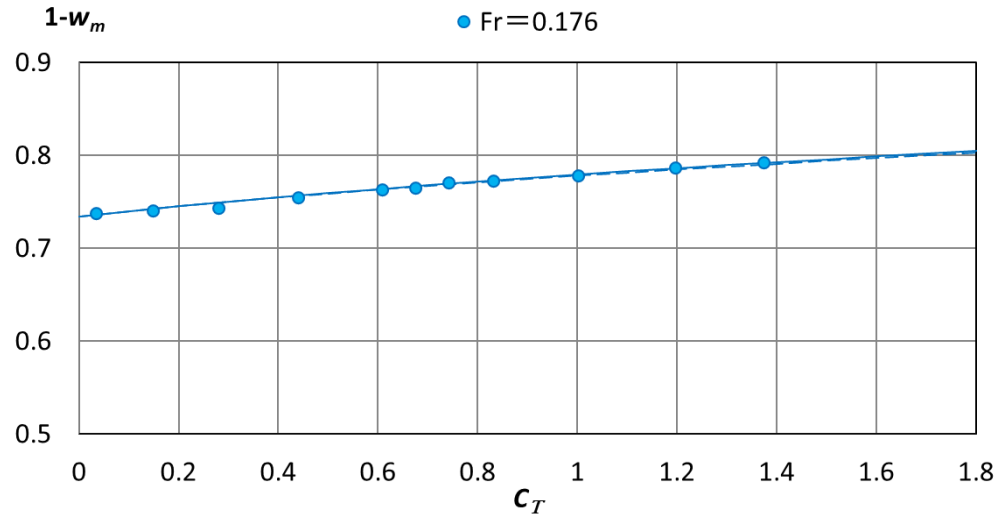
解析結果（平水中自航試験）

JBC（バラスト）



解析結果 (平水中自航試験)

DTC

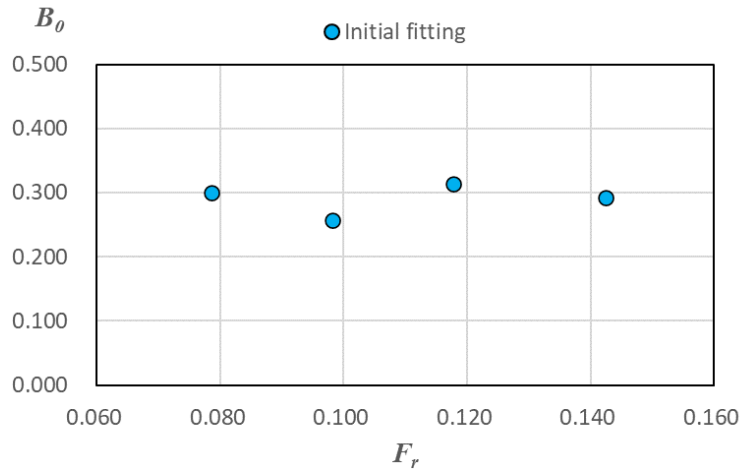


- C_0 を速度に対して線形近似としても、伴流係数が実験値と大きく乖離することはない

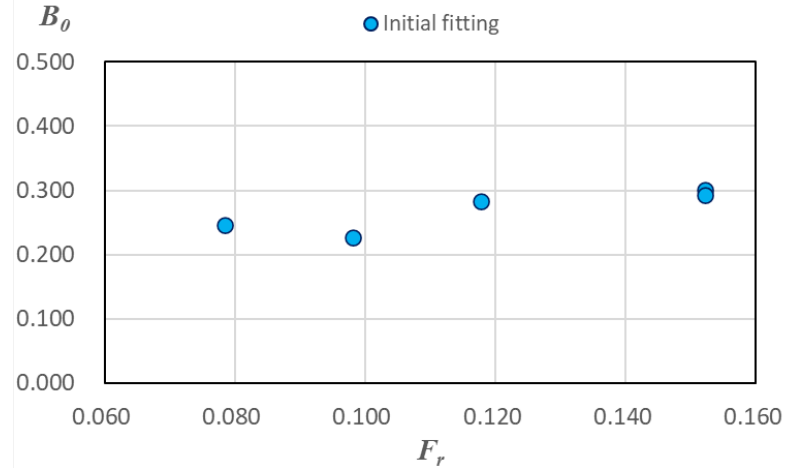
解析結果（平水中自航試験）

荷重度変更法におけるパラメータ B_0

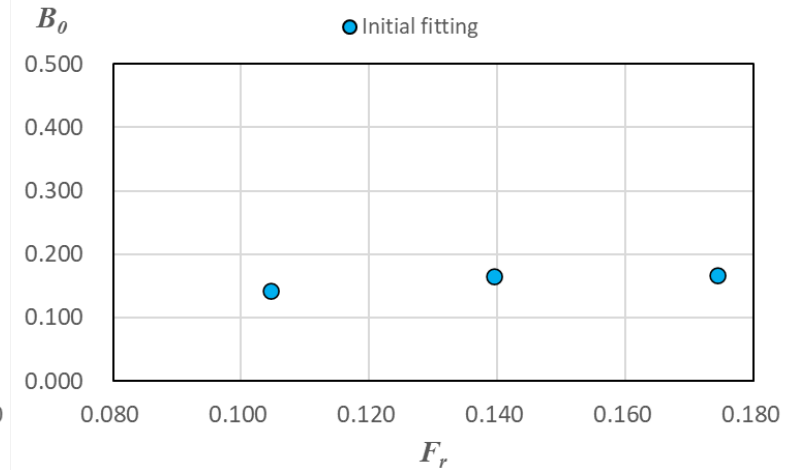
JBC（満載）



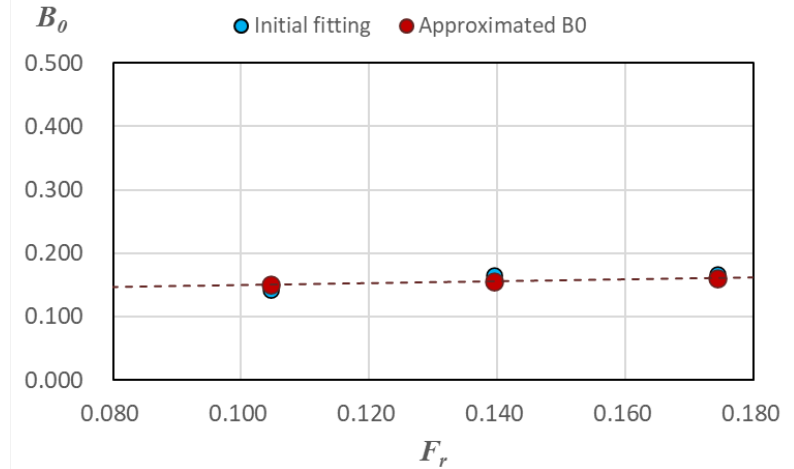
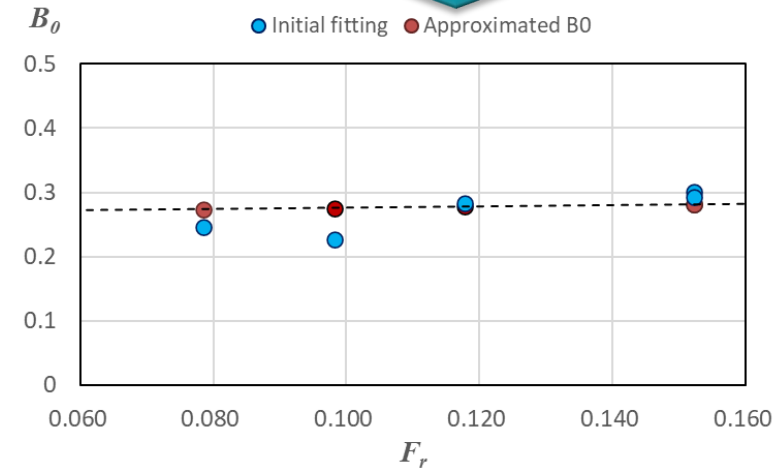
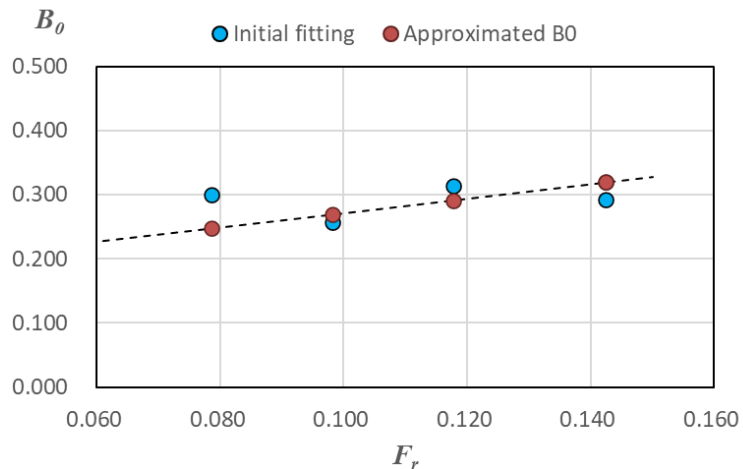
JBC（バラスト）



DTC

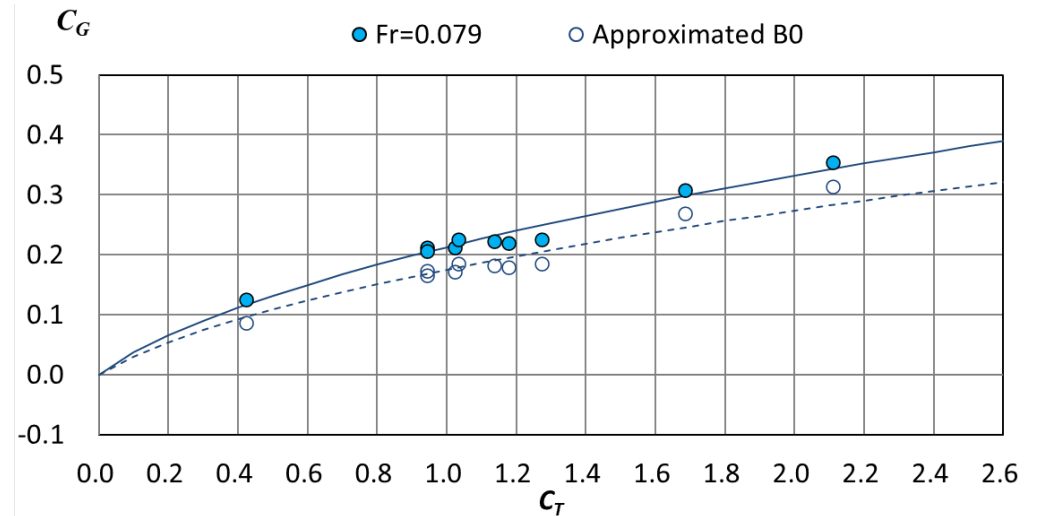
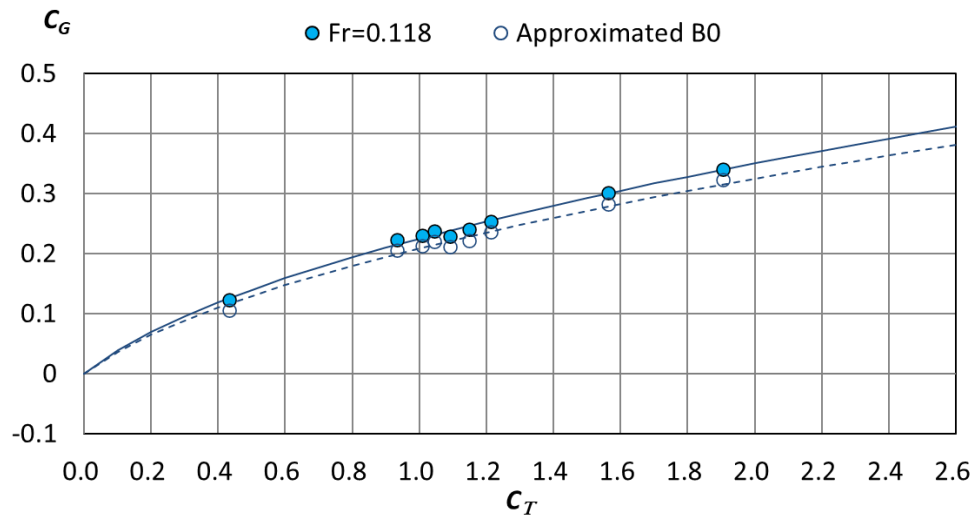
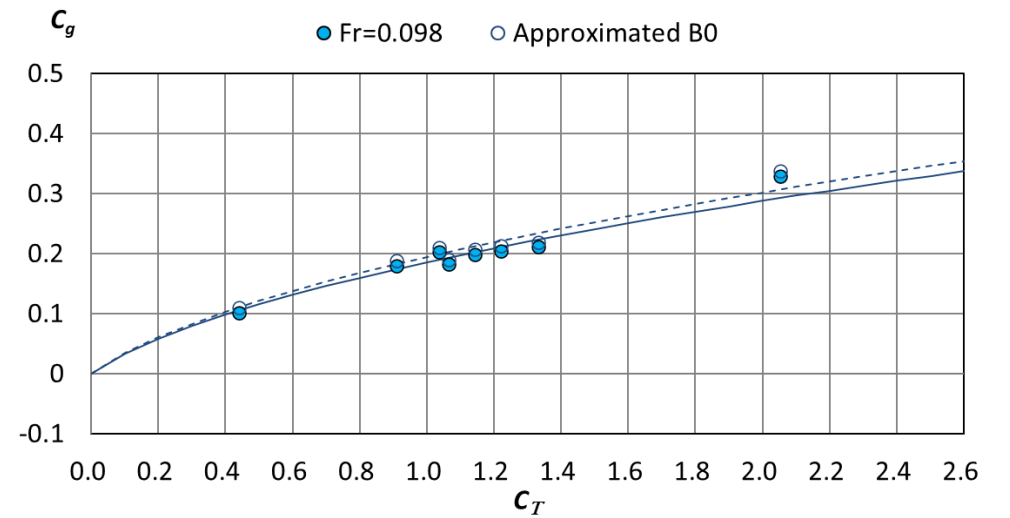
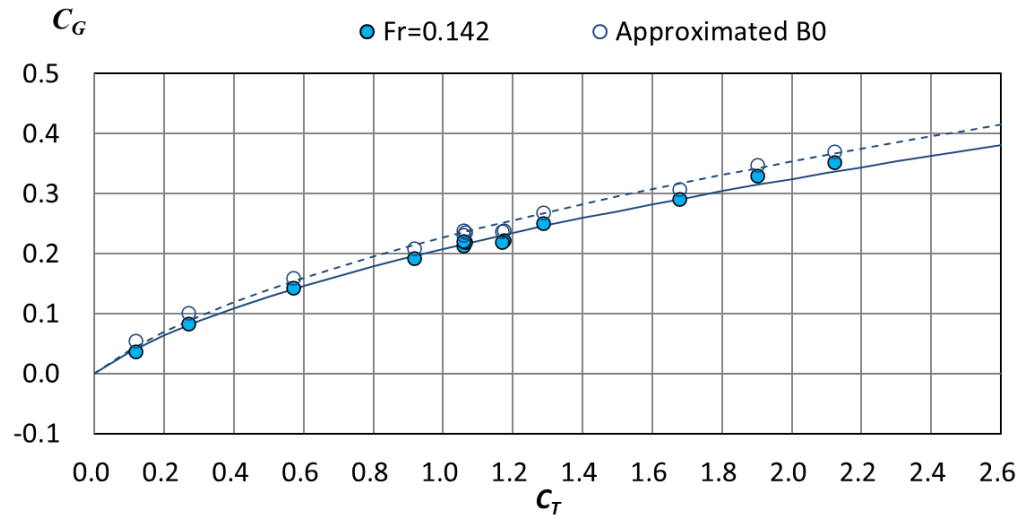


B_0 を速度に対して線形近似



解析結果 (平水中自航試験)

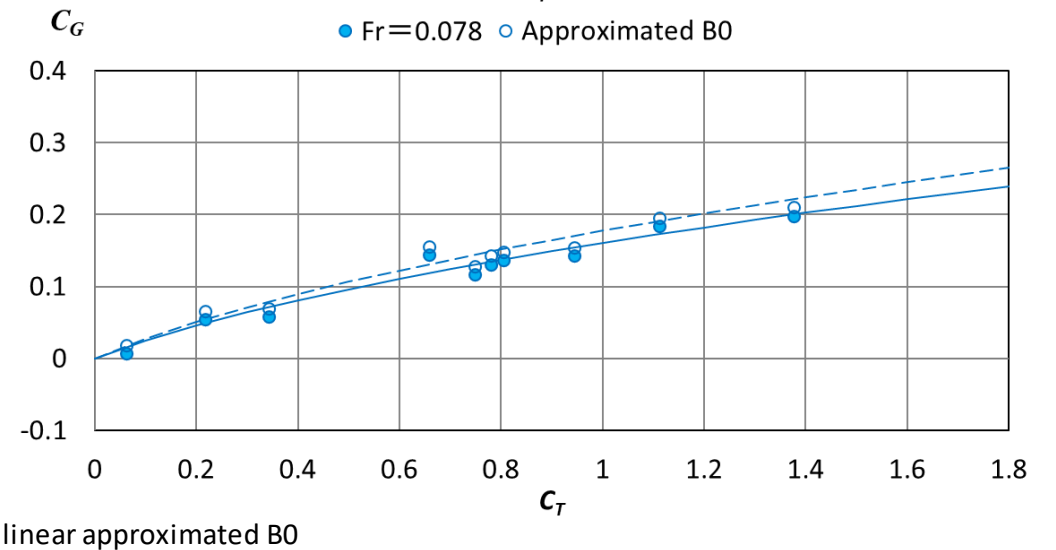
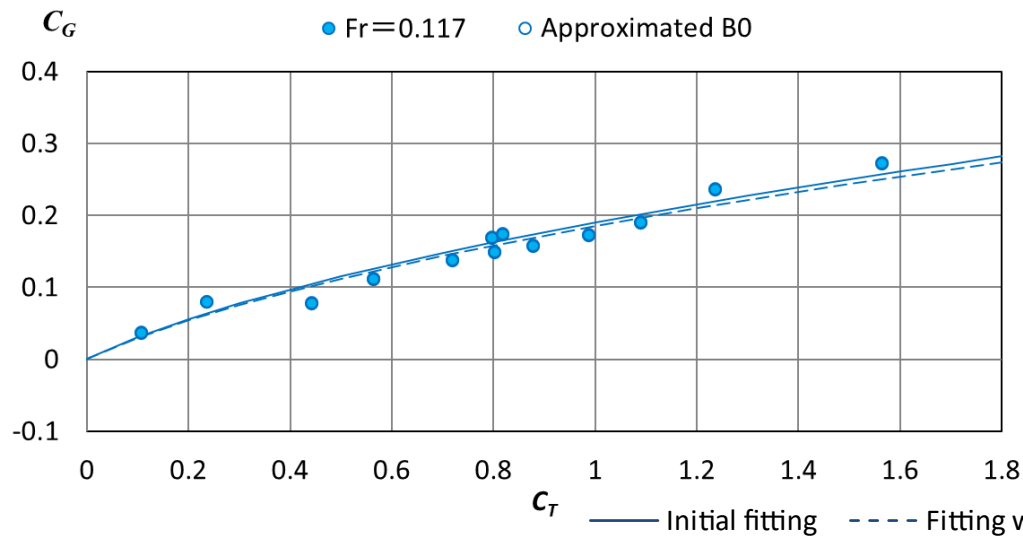
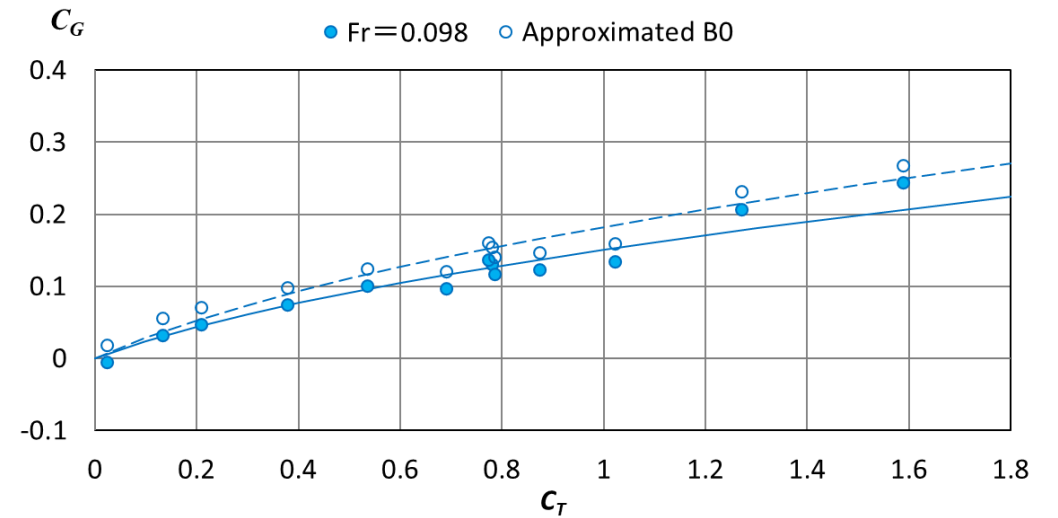
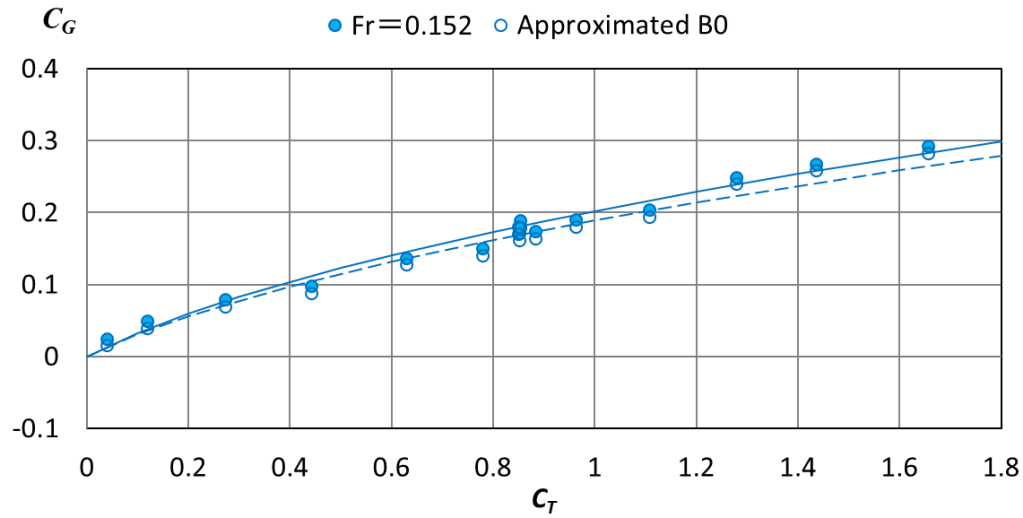
JBC (満載)



— Initial fitting - - - Fitting with linear approximated B0

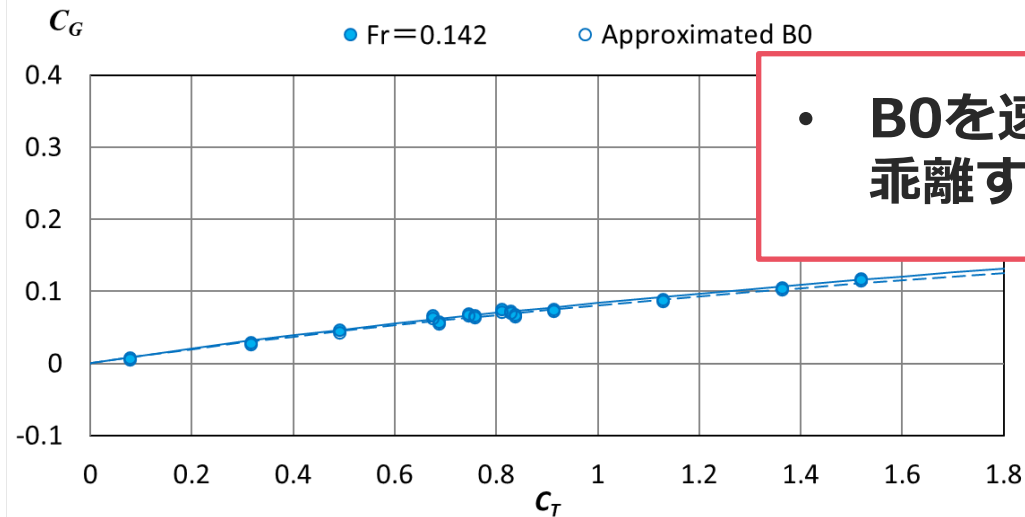
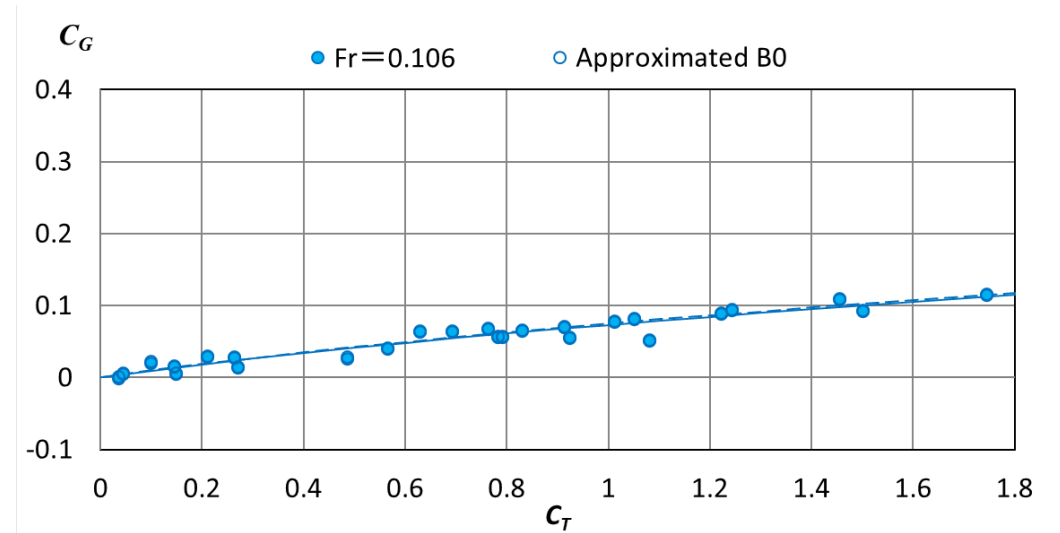
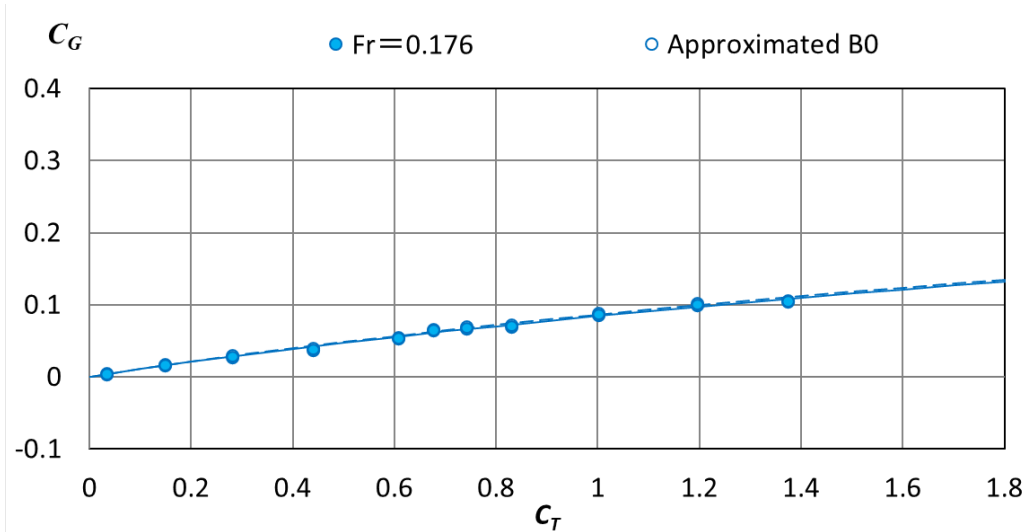
解析結果（平水中自航試験）

JBC（バラスト）



解析結果 (平水中自航試験)

DTC



- B0を速度に対して線形近似としても、実験値と大きく乖離することはない

発表内容

1. 背景
2. 荷重度変更法
3. 水槽試験
4. 解析結果
5. 波浪中自航要素
6. まとめ

波浪中自航要素

自航要素の表現方法（波浪中）

規則波中の波によるスラスト0の時の有効伴流係数増加量

$$\Delta U_{a0}' = \frac{U_{a0} - U_{a0s}}{2\zeta_a / d_a}$$

プロペラ断面での船体底部の
変動水圧振幅

プロペラ軸高さの
波粒子速度振幅

$$\Delta U_{a0}' = A(\alpha) \frac{P_a(\alpha, \omega)}{\rho g \zeta_a} + B(\alpha) \frac{v_a(\alpha, \omega)}{\rho \sqrt{g / L_{ps}}}$$

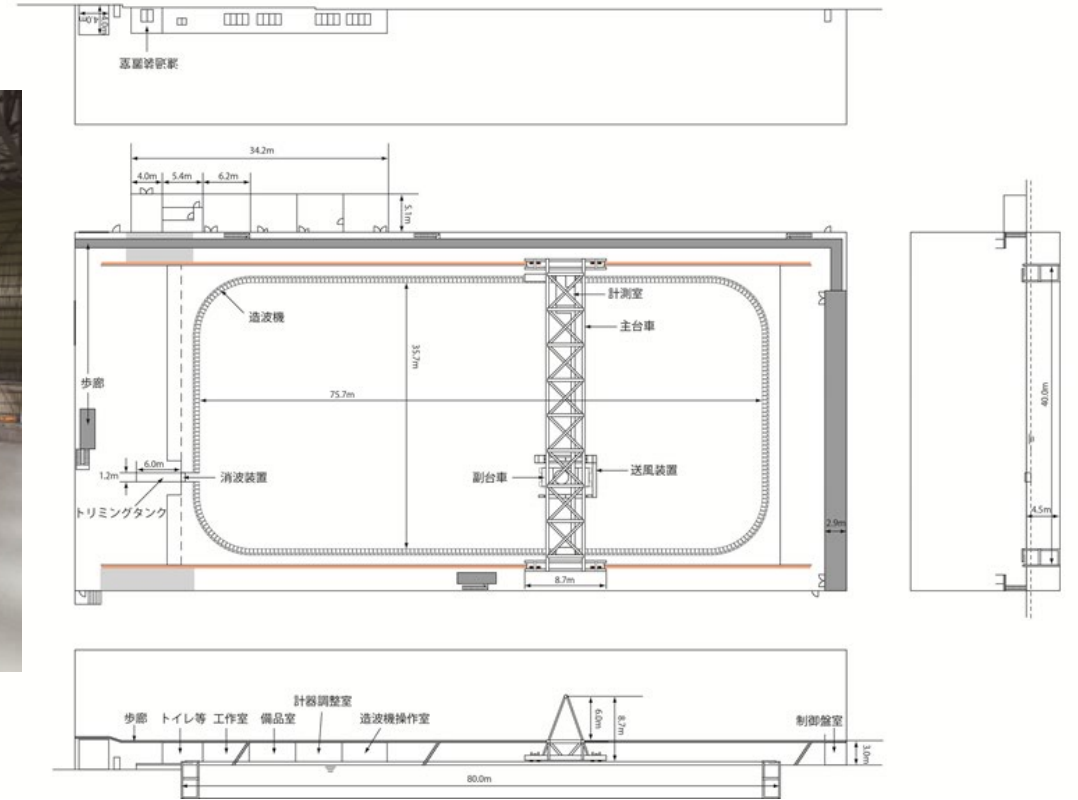
$$A(\theta) = A(0) - \Delta A(\theta) = \boxed{A(0)} - \left(\boxed{C_1} \sin \theta + \boxed{C_2} \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$B(\theta) = \boxed{B(\pi/2)} \times \sin \theta$$

$A(0), C_1, C_2, B(\pi/2)$ について
回帰分析を実施することにより求める

波浪中自航要素

波浪中自航試験 試験水槽



海上技術安全研究所

実海域再現水槽

長さ80[m]、幅40[m]、水深4.5[m]

造波機：多分割吸収式フラップ型

波浪中自航要素

回帰分析 波浪中自航試験から得られた $\Delta Ua0'$ を用いて、回帰分析を行った。

回帰式のベースとした船種と船長

船種	船長
PCC	約190m
VLCC	約310~330m
コンテナ船	約300m
BC	約160~180m
一般貨物船	約50m



280m BC 355m コンテナ船

JBC、DTCでの波浪中自航試験の結果も用いて回帰分析を行う

回帰分析によって得られた式

$$A(0) = 0.644 + 0.412C_B - 0.491C_{wa} - 0.406C_{VP} - 0.189 \frac{h_s}{d_{aft}}$$

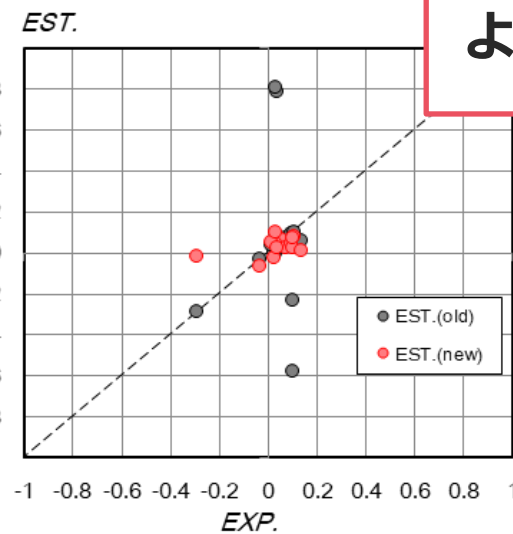
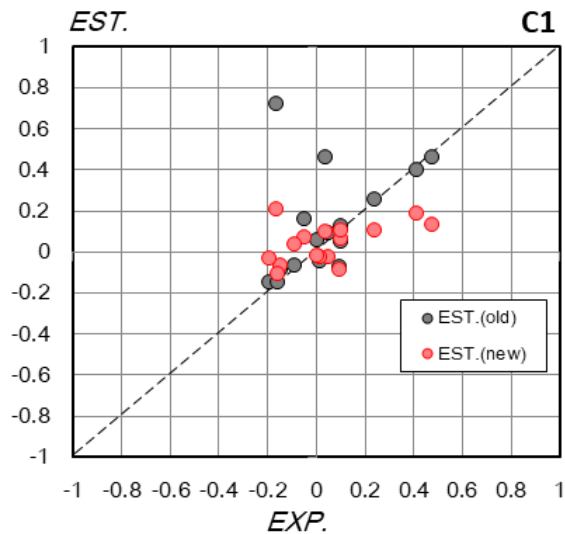
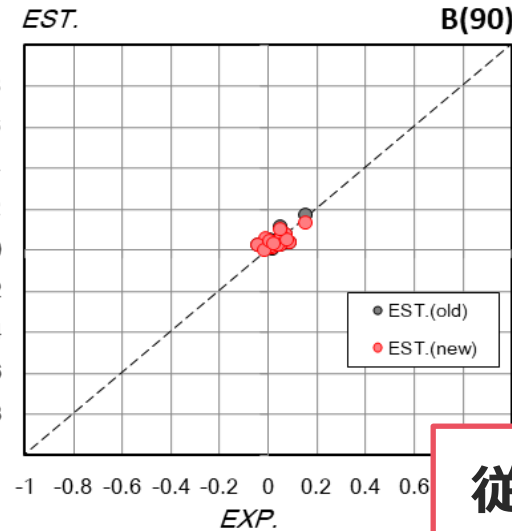
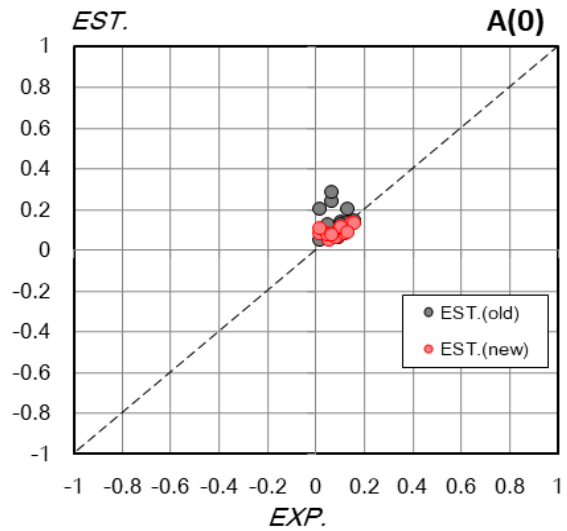
$$B(\pi / 2) = 0.858 - 0.049 \frac{B_{max}}{d_{mid}} - 0.668C_{VP} - 1.780(1 - C_B) \frac{d_{mid}}{B_{max}} + 0.038\sigma_a \frac{B_{max}}{d_{mid}}$$

$$C_1 = 1.928 - 0.949C_B - 0.358e_a' - 2.210K_m + 1.269C_B\sigma_a - 0.009 \frac{d_{aft} - d_{fore}}{d_{mid}}$$

$$C_2 = -0.240 + 0.101\gamma_a - 1.553C_B \frac{B_{max}}{L_{ps}} + 1.290 \frac{2d_{mid}}{L_{ps}} - 0.070 \frac{d_{aft} - d_{fore}}{d_{mid}} + 0.720 \frac{h_s}{d_{aft}}$$

波浪中自航要素

各係数の検証結果

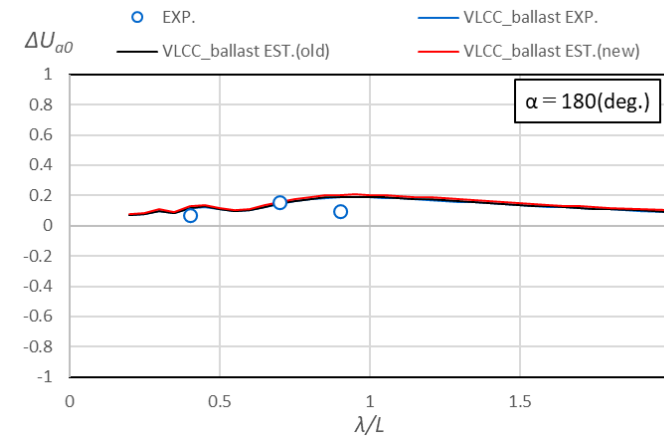
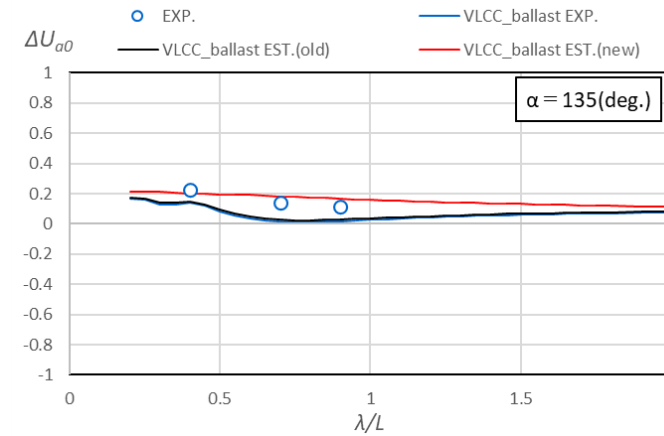
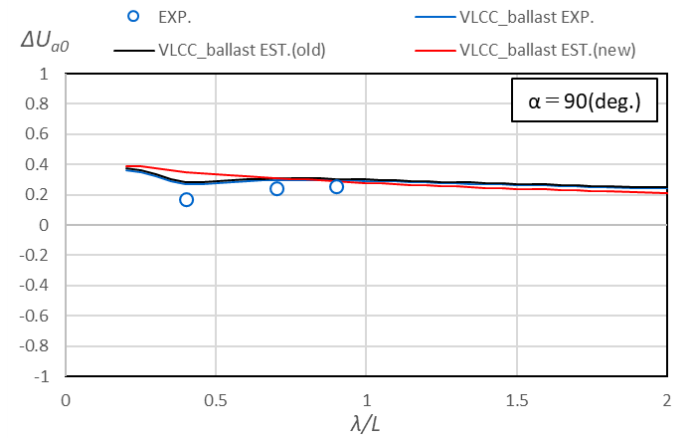
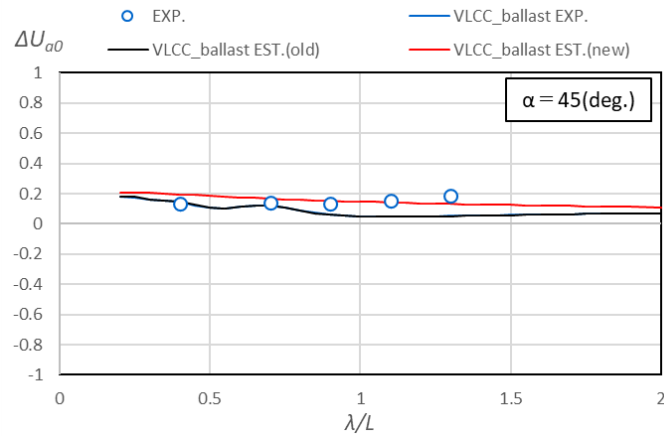
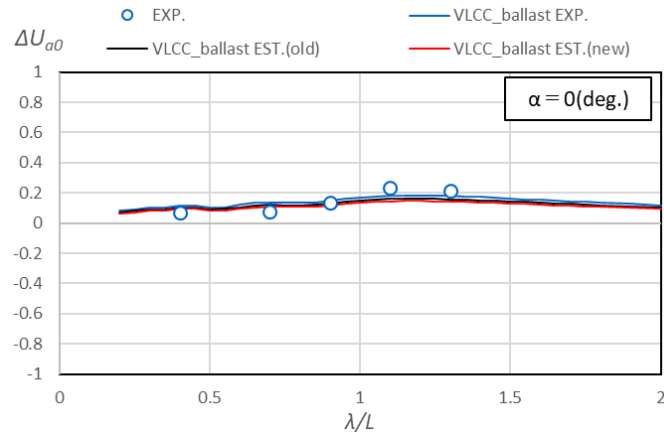


従来の方法よりまとまりがよくなり、
より多種の船型に対して精度が向上

波浪中自航要素

実験値との比較

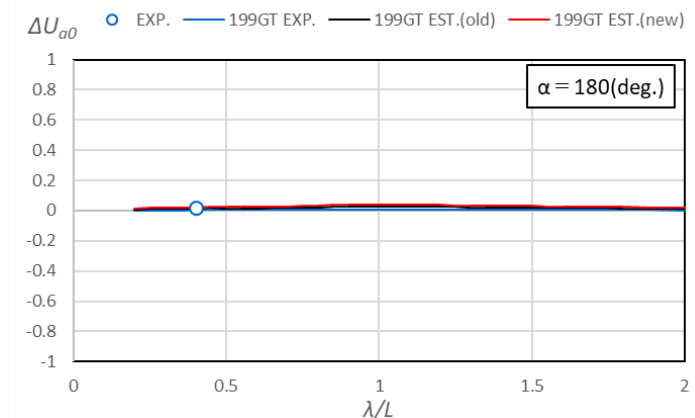
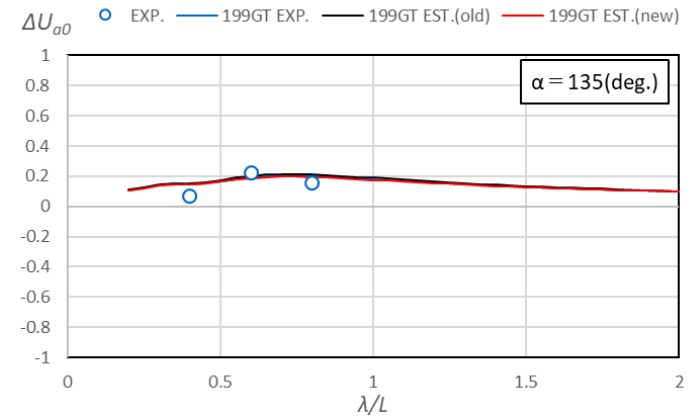
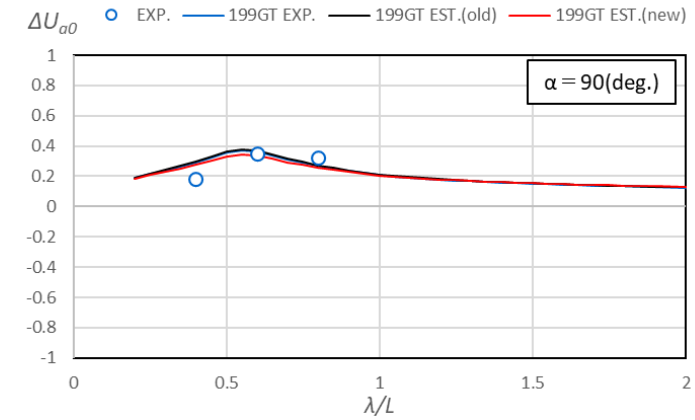
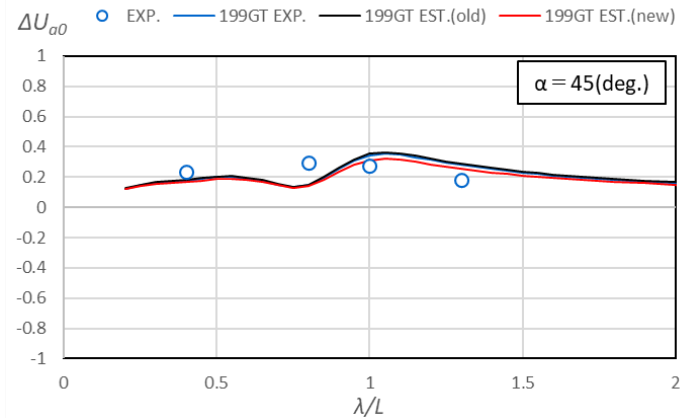
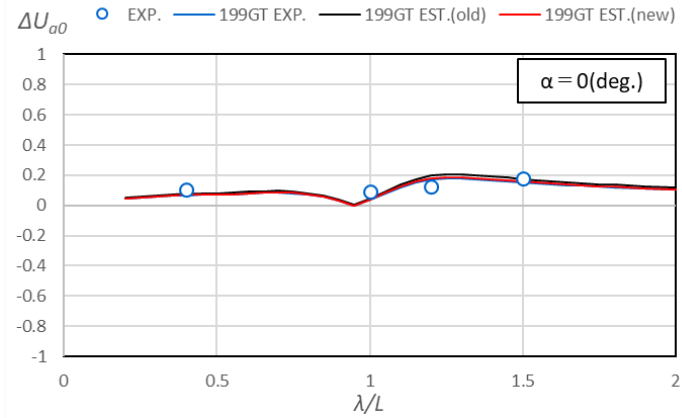
VLCC (バラスト)



波浪中自航要素

実験値との比較

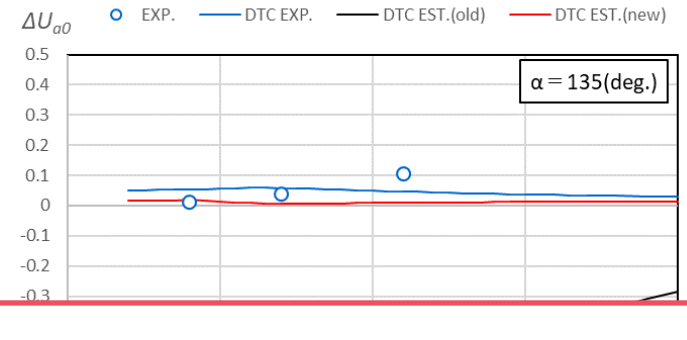
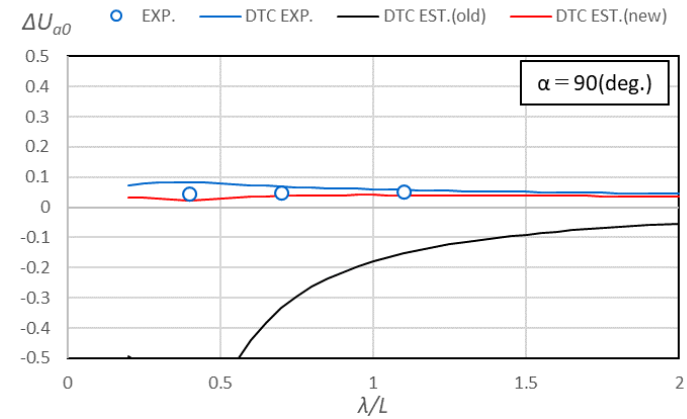
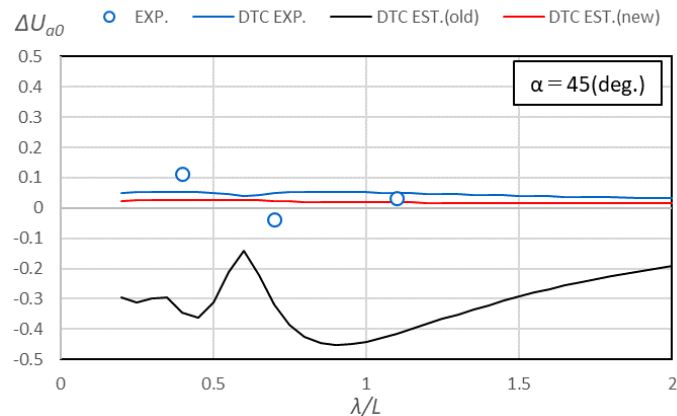
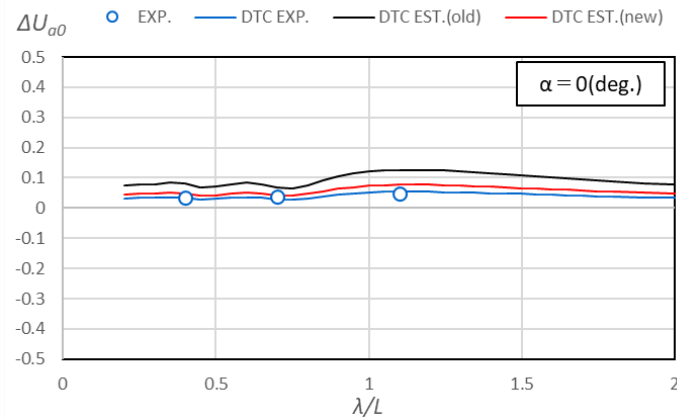
199GT



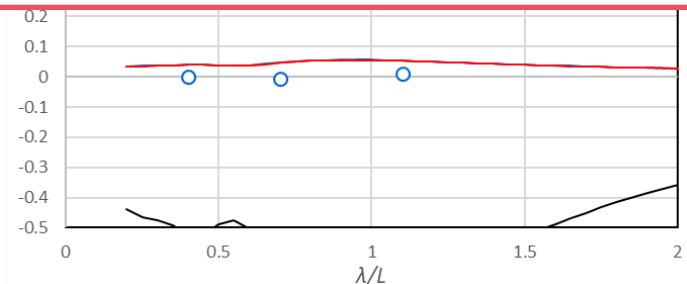
波浪中自航要素

実験値との比較

DTC



- どちらの船型においても、実験値から大きく外れた推定結果はない
- ΔU_{a0} の推定精度が向上した



まとめ

荷重度変更法について、水槽試験を実施し、試験結果を解析・調査した。結果を以下にまとめる。

- 伴流係数に関するパラメータ C_0 を速度に対して線形近似とすると、 U_{a0} および伴流係数 $1 - w_m$ もまとまりの良い結果となった。
- 推力減少係数に関するパラメータ B_0 を速度に対して線形近似とすると、 C_G もまとまりの良い結果となった。
- 本試験結果を含めて回帰分析を行うことで、 ΔU_{a0} の推定精度が向上した。