

拘束模型試験による船体に作用する流体力への浅水 影響に関する研究

茨木, 洋
九州大学大学院工学研究院

古川, 芳孝
九州大学大学院工学研究院

名切, 恭昭
九州大学大学院工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/7173453>

出版情報：日本船舶海洋工学会講演会論文集. 18, pp. 355-358, 2014-05. 日本船舶海洋工学会
バージョン：
権利関係：



拘束模型試験による船体に作用する流体力への 浅水影響に関する研究

正会員 茨木 洋* 正会員 古川 芳孝*
正会員 名切 恭昭*

Study on the Shallow Water Effect on the Hydrodynamic Forces Acting on a Hull
by Captive Model Test

by Hiroshi Ibaragi, *Member* Yoshitaka Furukawa, *Member*
Yasuaki Nakiri, *Member*

Key Words: Shallow water effect, Captive model test, KVLCC2, KCS

1. 緒 言

一般に、航行海域の水深が浅くなるにつれて、船舶の操縦性能が大きく変化することはよく知られており、多くの研究が行われている^{1),2)}。また船型によっては、水深が浅くなるにつれて針路安定性が変化する事が観察されている。そこで本研究では、船型の異なる 2 種類の模型船を対象として、浅水域において回頭角速度・斜航角を変化させて裸殻状態の拘束試験を行なうことにより、船体流体力特性について基礎的なデータを取得し、浅水域における船舶の運動特性を把握することを目的としている。また、著者らが過去に計測した他船型に対する試験結果に基づく流体力微係数の近似式と比較し、船型の相違と水深変化に伴う運動特性の変化について検討を行った。

2. 供試模型船

供試模型船は、タンカー船型の KVLCC2 およびコンテナ船型の KCS である。模型船の主要目を Table 1 に、裸殻状態の模型船の外観を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。

Table 1 Principal particulars of KVLCC2 and KCS models

Ship model		KVLCC2	KCS
Length perpendiculars	L (m)	2.500	2.500
Breadth	B (m)	0.453	0.350
Draft	d (m)	0.162	0.117
Block coefficient	C_b	0.810	0.651
LCB, fwd+	x_G (m)	0.0348L	-0.0148L

3. 拘束模型試験

3.1 試験条件および解析方法

九州大学船舶海洋運動性能試験水槽において、水深 H の条件を変更しながら、拘束模型試験 (CMT 試験、ヒープおよびピッチを固定) 実施し、裸殻船体に作用する流体力 (横力、回頭モーメント) を計測した。流体力計測時に用いた船体中央部を原点とする船体固定座標系を Fig. 3 に、計測条件を Table 2 に示す。また、計測した横

力 Y および回頭モーメント N は (1) 式にて近似した。なお、無次元化は (2) 式に従う。

$$\left. \begin{aligned} Y' &= Y'_\beta \beta + \{Y'_r - (m' + m'_x)r'\} + Y'_{\beta\beta} \beta |\beta| + Y'_{rr} r' |r'| \\ &\quad + (Y'_{\beta\beta r} \beta + Y'_{\beta r r} r') \beta r' \\ N' &= N'_\beta \beta + (N'_r - x'_G m') r' + N'_{\beta\beta} \beta |\beta| + N'_{rr} r' |r'| \\ &\quad + (N'_{\beta\beta r} \beta + N'_{\beta r r} r') \beta r' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



Fig. 1 KVLCC2



Fig. 2 KCS

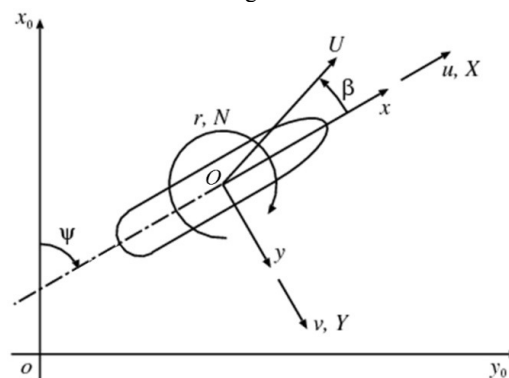


Fig. 3 Coordinate systems

Table 2 Measuring conditions

Water depth to draft ratio	H/d	1.2, 1.5, 2.0, 6.0
Drift angle	β (deg)	0.0, ± 2.5 , ± 5.0 , ± 7.5 , ± 10.0 , 15.0, 20.0, 30.0
Nondimensional yaw rate	r' ($= rL/U$)	0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6
Ship speed	U (m/s)	0.3
Length Froude number	F_n	0.061

* 九州大学大学院工学研究院

原稿受付 平成 26 年 4 月 11 日

春季講演会において講演 平成 26 年 5 月 26, 27 日

©日本船舶海洋工学会

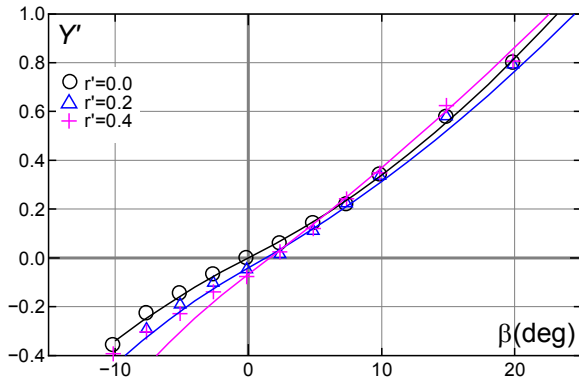


Fig. 4 Lateral force (KVLCC2, $H/d = 1.2$)

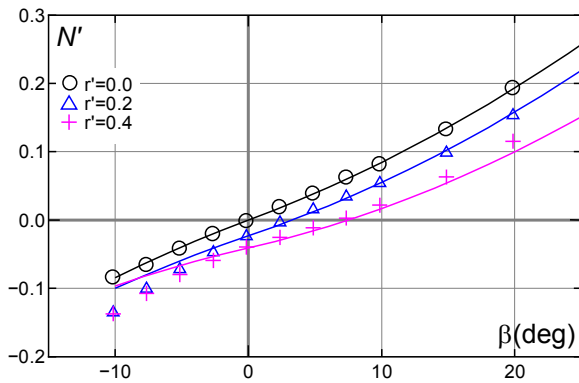


Fig. 5 Yawing moment (KVLCC2, $H/d = 1.2$)

$$\left. \begin{aligned} Y' &= Y/(1/2)\rho L d U^2, \quad N' = N/(1/2)\rho L^2 d U^2 \\ m' &= m/(1/2)\rho L^2 d, \quad m'_x = m_x/(1/2)\rho L^2 d, \quad x'_G = x_G/L \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 ρ は流体の密度、 m' と m'_x は、それぞれ船体質量および x 軸方向の付加質量の無次元値である。なお、近似曲線を求める際に解析した旋回角速度の範囲は、 $r' = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ 、斜航角の範囲は $\beta = 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 20.0$ (deg.) である。

3. 2 KVLCC2 の試験結果

水深が極めて浅い場合 ($H/d = 1.2$) および水深が深い場合 ($H/d = 6.0$) において KVLCC2 に作用する横力 Y' と回頭モーメント N' を Fig. 4~Fig. 7 に、各流体力微係数を Table 3 に示す。水深が浅い場合に作用する流体力は、水深が深い場合と比較して斜航角 β に対する変化の割合が大きくなっている。この原因としては、水底の影響により船体周りの流れの流速が速くなることに加えて、水底および水面の鏡像効果によるものと考えられる。また、水深が浅い場合には、旋回角速度 r' および斜航角 β が大きい範囲において、実験点に対する近似曲線の一致度がやや悪くなる傾向がある。

3. 3 KCS の試験結果

水深が極めて浅い場合 ($H/d = 1.2$) および水深が深い場合 ($H/d = 6.0$) において KCS に作用する横力 Y' と回頭モーメント N' をそれぞれ Fig. 8~Fig. 11 に、各流体力微係数を Table 4 に示す。KVLCC2 と同様に、水深が浅い場合に作用する流体力は、水深が深い場合と比較して斜航

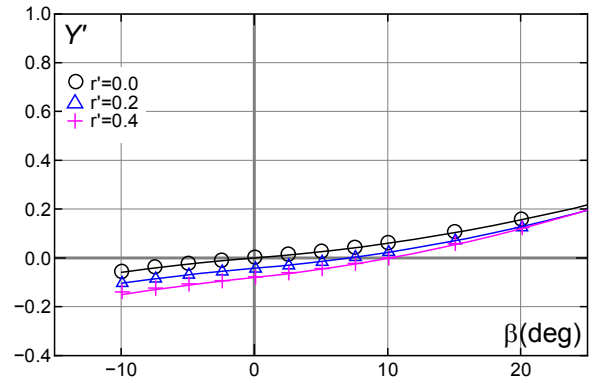


Fig. 6 Lateral force (KVLCC2, $H/d = 6.0$)

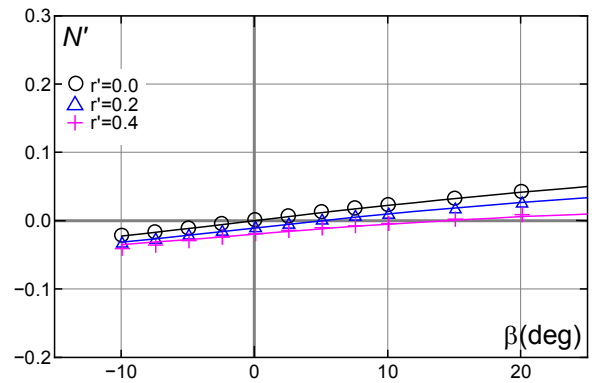


Fig. 7 Yawing moment (KVLCC2, $H/d = 6.0$)

Table 3 Hydrodynamic derivatives (KVLCC2)

H/d	1.2	1.5	2.0	6.0
Y'_β	1.5448	0.3967	0.2895	0.2387
$Y'_r - (m' + m'_x)$	-0.2375	-0.2266	-0.2480	-0.2265
$Y'_{\beta\beta}$	2.2887	2.6175	1.3714	0.5928
Y'_{rr}	0.1802	-0.1190	0.0830	0.0661
$Y'_{\beta\beta r}$	-3.3485	-1.0456	-0.2533	0.2844
$Y'_{\beta\beta r}$	4.9100	3.3114	1.0562	0.5367
N'_β	0.4146	0.3032	0.2129	0.1377
$N'_r - x'_G m'$	-0.1271	-0.0827	-0.0627	-0.0580
$N'_{\beta\beta}$	0.3998	-0.1186	-0.0944	-0.0533
N'_{rr}	0.0635	0.0154	-0.0144	0.0214
$N'_{\beta\beta r}$	0.0620	-0.0274	-0.2691	-0.0228
$N'_{\beta r}$	-0.9993	-0.6768	-0.1102	-0.2666

角 β に対する変化の割合が全体的に大きくなっている。また、Fig. 8 および Fig. 9 に示した水深が浅い場合における横力 Y' と回頭モーメント N' を見ると、 Y' については直進時 ($r' = 0.0$) に斜航角 β に対して実験点がやや S 字状に変化しており、また、 N' については $r' = 0.4$ において斜航角 $\beta < 5$ (deg.) 付近で実験点の変化が 3 次曲線的な傾向を示している。従って、KCS の船体周りの流れの複雑さが推察される。また、(1) 式による今回の解析条件では、推定精度が十分でない可能性がある。

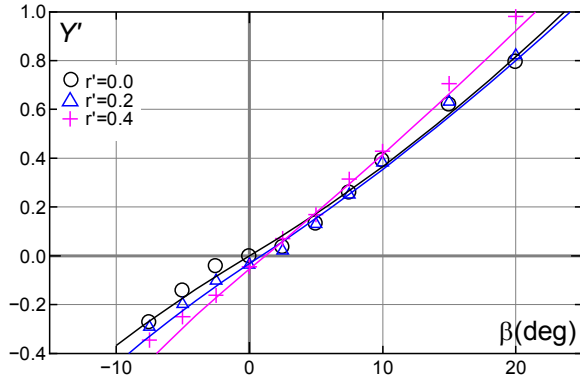


Fig. 8 Lateral force (KCS, $H/d = 1.2$)

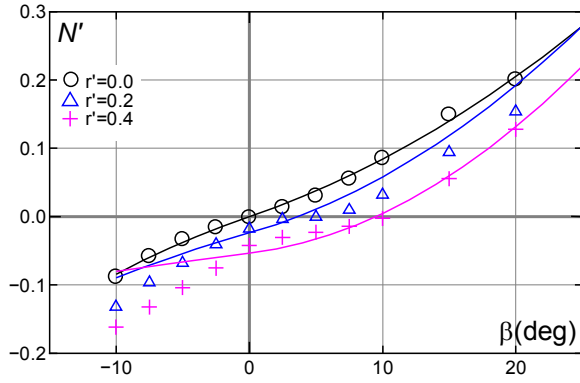


Fig. 9 Yawing moment (KVLCC2, $H/d = 1.2$)

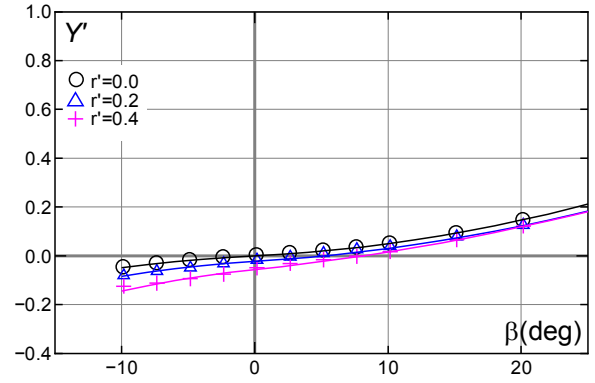


Fig. 10 Lateral force (KCS, $H/d = 6.0$)

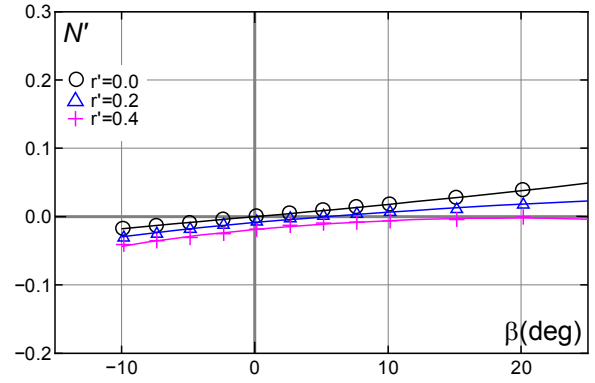


Fig. 11 Yawing moment (KCS, $H/d = 6.0$)

4. 針路安定性

前節の各流体力微係数の線形項を用いて、次式で表される針路安定性指数 Δ を求めた。

$$\Delta \equiv Y'_\beta N'_r - \{Y'_r - (m' + m'_x)\} N'_\beta \quad (3)$$

ここで、 $\Delta > 0$ のとき針路不安定、 $\Delta < 0$ のとき針路安定である。なお、針路安定性指数を求めるに際しては、船体中央部で計測した値を船体重心周りでの値となるよう補正して用いた。

水深喫水比の逆数 $h (= d/H)$ に対する針路安定性指数 Δ の変化を Fig. 12 の実線および Table 5 に示す。KVLCC2 については、深水域から $h = 0.667$ ($H/d = 1.5$) にかけて針路不安定な傾向が増加するが、さらに水深が浅くなり $h = 0.833$ ($H/d = 1.2$) になると、急激に針路安定側に変化している。一方、KCS については全体的に KVLCC2 よりも針路安定側である。深水域から $h = 0.500$ ($H/d = 2.0$) にかけて針路不安定な傾向が増加するが、さらに浅くなると急激に針路安定側に転じている。水深の変化に伴って針路安定性がこのような変化を示す理由を考察することを目的として、続いてヨー減衰力の着点 l'_r および横流れ減衰力の着点 l'_β について調査を行った。

まず、KVLCC2 について水深に対する各着点の変化を Fig. 13 に示す。ヨー減衰力の着点 l'_r については、深水域から $h = 0.500$ ($H/d = 2.0$) の範囲においてほぼ変化は見られないが、さらに水深が浅くなると前方に移動していることがわかる。それに対して、スウェイ減衰力の着点 l'_β については、深水域から $h = 0.667$ ($H/d = 1.5$) にかけて緩やかに前方へ移動した後、さらに水深が浅くな

Table 4 Hydrodynamic derivatives (KCS)

H/d	1.2	1.5	2.0	6.0
Y'_β	1.8656	0.4371	0.1093	0.1468
$Y'_r - (m' + m'_x)$	-0.1892	-0.1607	-0.1976	-0.0863
$Y'_{\beta\beta}$	1.3250	2.8906	1.9990	0.7789
Y'_{rr}	0.1369	-0.0410	0.0871	-0.1348
$Y'_{\beta\beta r}$	-1.8860	-2.1402	-2.4924	-0.6782
$Y'_{\beta\beta r}$	4.5144	3.1012	2.2166	1.099
N'_β	0.3781	0.1478	0.1194	0.0954
$N'_r - x'_G m'$	-0.1023	-0.0570	-0.0312	-0.0396
$N'_{\beta\beta}$	0.5993	0.4179	0.1488	0.0382
N'_{rr}	-0.0794	-0.0196	-0.0407	-0.0194
$N'_{\beta\beta r}$	1.3094	-0.5000	-0.7365	-0.4688
$N'_{\beta r r}$	-1.500	-0.7180	-0.1308	0.0307

って $h = 0.833$ ($H/d = 1.2$) になると急激に後方へ移動している。 $l'_r - l'_\beta$ について見ると、 $h = 0.667$ ($H/d = 1.5$) から $h = 0.833$ ($H/d = 1.2$) にかけて符号がマイナスからプラスへ変化しているために、針路安定となっていることがわかる。

次に、KCS について水深に対する各着点の変化を Fig. 14 に示す。KVLCC2 と比較すると、水深変化に伴い、各着点の位置が複雑に変化していることがわかる。 $h = 0.500$ ($H/d = 2.0$) のときに、 l'_β は最も前方に位置する一方で、 l'_r は最も後方に位置している。そのため、先に

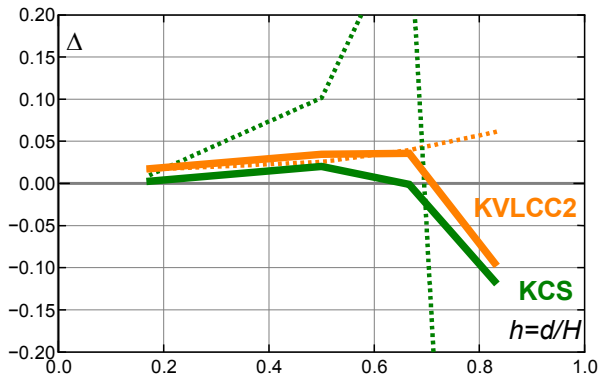


Fig. 12 Course stability index

Table 5 Course stability index Δ

$h (=d/H)$	H/d	KVLCC2	KCS
0.1667	6.0	0.0173	0.0024
0.5000	2.0	0.0346	0.0202
0.6667	1.5	0.0359	-0.0012
0.8333	1.2	-0.0979	-0.1193

示した Fig. 12 において, $h = 0.500$ ($H/d = 2.0$) の場合における針路安定性指数 Δ が大きな値をとることがわかる. さらに水深が浅くなると, l'_β は後方へ移動する一方で l'_r が前方へ移動するため, $h = 0.667$ ($H/d = 1.5$) から $h = 0.833$ ($H/d = 1.2$) にかけて $l'_r - l'_\beta$ の符号がマイナスからプラスへ変化し, 針路安定となる.

最後に, 著者らが過去に計測を行った他船型に対する試験結果に基づいて構築した流体力微係数の近似式³⁾を KVLCC2 および KCS に適用し, 針路安定性指数 Δ を推定した結果を Fig. 12 中の破線および Table 6 に示す. KVLCC2 については, 近似式による計算値は深水域から $h = 0.667$ ($H/d = 1.5$) までは, ほぼ実験結果と同じ傾向を示しているが, さらに水深が浅くなると針路安定側に変化する現象を表現できていない. また, KCS については, 近似式による推定値は, 浅水域において過大に評価する傾向が見られる. この原因としては, 近似式構築の際に用いたデータベースに瘦せ形船型があまり含まれていないことが考えられる.

5. 結 言

肥大船型である KVLCC2 および瘦せ形船型である KCS を対象として, 浅水域において拘束模型試験を実施し, 船体に作用する流体力の計測を行った. 肥大船については, 水深が浅くなるに伴い針路不安定から針路安定な傾向が表れることは知られているが, 今回対象とした瘦せ形船型である KCS についても, 浅水域においてヨー減衰力の着力点とスウェイ減衰力の着力点の位置が水深によって変化することにより, 針路安定性に大きな影響を及ぼすことを明らかにした.

KCS の船型の特徴として, 船首バルブが比較的大きい事や船尾の水線面が幅広である事が挙げられるが, これらの形状が浅水域における船体周りの流れに影響を及ぼしていることが考えられることから, 理論計算等に基づいて, 船体周りの流れ場を精査することが必要である.

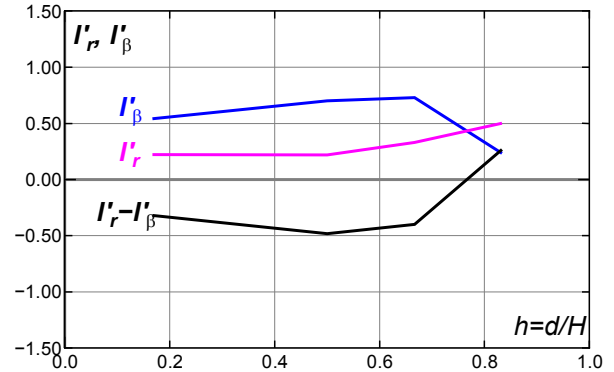


Fig. 13 Yaw and sway damping lever (KVLCC2)

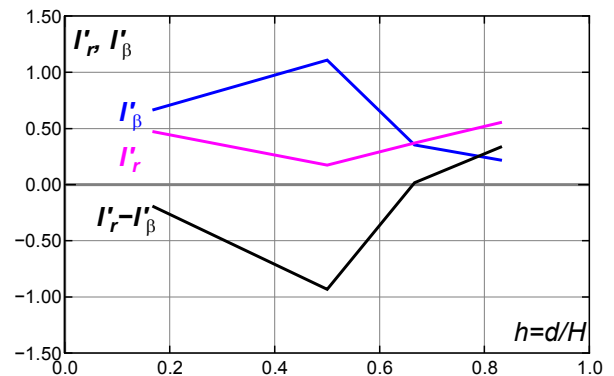


Fig. 14 Yaw and sway damping lever (KCS)

Table 6 Course stability index Δ (Prediction)

$h (=d/H)$	H/d	KVLCC2	KCS
0.1667	6.0	0.0163	0.0081
0.5000	2.0	0.0256	0.1017
0.6667	1.5	0.0397	0.3189
0.8333	1.2	0.0614	-1.5576

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 24360359 の助成を受けたことを記し, 関係各位に謝意を表す. また研究当時に学生として実験作業および解析に携わった井戸本勇君, 林田拓磨君, 大上貴央君, 近藤洋平君, 徳永遠平君に謝意を表す.

参 考 文 献

- 1) 芳村康男: 浅水域の操縦運動数学モデルの検討: MMG モデルの浅水域への適用について, 関西造船協会誌, 第 200 号 (1986), pp.41-51.
- 2) Yasukawa, H. and Kobayashi E.: Shallow Water Model Experiments on Ship Turning Performance, Mini Symp. on Ship Manoeuvrability, West-Japan Soc. Naval Arch., Fukuoka (1995), pp.71-83.
- 3) Furukawa, Y., Nakiri, Y., Kijima, K., Prediction of Linear Hydrodynamic Derivatives in Shallow Water, Proceedings of 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction (STS 2011) (2011), pp.147-152.