（昭和 62 年 11 月　日本造船学会秋季講演会において講演）

側壁近くを航行する船の操縦運動

正員　貴　島　勝　郎*　　正員　何　　　　青**

Manoeuvring Motion of a Ship in the Proximity of Bank Wall

by Katsuro Kijima, *Member*　He Qing, *Member*

Summary

Some Problems on the information to be included in the manoeuvring booklet and on the manoeuvring standard have been discussed at the Sub-Committee on Ship Design and Equipment of International Maritime Organization.

At the same time, the development of prediction method for ship manoeuvrability at the initial stage of design will be expected.

With these points as background, one of the authors has already proposed the calculation method for hydrodynamic interaction forces between ships in meeting and passing conditions in narrow waterways.

By using this calculation method, this paper examines hydrodynamic force acting on a ship in the proximity of non-uniform bank wall such as breakwater and wedge-shaped bank, and furthermore the manoeuvring motion of ship including the effect of this bank wall is discussed.

From these discussions, a ship will be significantly affected on hydrodynamic force, especially by the wedge-shaped bank. The calculation and simulation methods used in this paper will be useful for prediction of ship manoeuvrability at the initial stage of design, for automatic control system of ship in restricted water, for discussion of marine traffic control system and for construction of harbor or canal.

1　緒　　言

国際海事機関（IMO）においては，航行の安全性を確保するという観点から操船者に与える情報を盛り込んだ Manoeuvring Booklet の改正作業を行い，さらには極めて近い将来に向けての操縦性基準の検討に対し，設計の段階で操縦性能を推定し，それを評価するための作業が進められている。ところが一般に，操縦性能が最も重視されるのは港湾内や運河のように，航路や水深などに制限のある場合や多数の船の輻輳する海域においてであると考えられる。したがって Manoeuvring Booklet の中に盛り込むべき情報に関してだけでなく，操縦性基準の検討に際してもこのような海域での操縦性能をいかに的確に推定するかが極めて重要になる。すなわち，本船固有の性能だけでなく，側壁や水深の影響をはじめ，近接して航行する他船の影響まで考慮した性能の推定法を確立することが急務になっている。

著者の一人は，前報[1]において以上の問題を背景に狭水路中を航行する N 隻の船の船体相互間の干渉力を求める計算法を提案した。本報は，前報で提案した計算法を突堤のように側壁が不均一な場合に拡張して，この時の不均一な側壁の近くを航行する船体に作用する流体力の計算例を示し，さらにこの流体力を用いて不均一な側壁の近くを航行する船がどのような運動をするのか，航行の安全上このような海域での航行にどのような制約があるのかを理論的に検討した。

したがって本報では，前報で示した狭水路中での航行に際しての運動推定と合せて考えることにより，いわゆる制限水域における操縦運動推定法の一例を提案している。

2　基　礎　式

本報で取扱う考え方は，前報で提案した狭水路中を航行する N 隻の船に働く流体力の計算法と基本的に同じであるが，ここでは多少の違いもあることから再度述べることにする。

まず，任意形状の側壁の近くを航行する船に働く流体力の定式化を行う。Fig. 1 に示すように，空間に固定さ

*　九州大学工学部
**　九州大学大学院博士課程

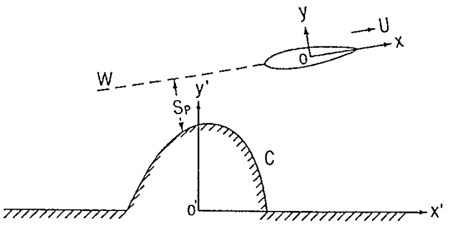


Fig. 1 Coordinate systems

れた座標系 o'-$x'y'z'$ と，船体中心を原点とする船体固定座標系 o-xyz を考える。船は船速 U で垂直側壁 C の近くを直進しており，船体中心線と側壁との側方距離を S_P とする。

今自由表面を固定壁として船体の double model を考え，水深を H とすれば，船体運動による攪乱速度ポテンシャル $\phi(x',y',z',t)$ の境界条件は次のようになる。

$$\nabla^2 V^2\phi(x',y',z',t)=0 \tag{1}$$

$$\left[\frac{\partial\phi}{\partial n}\right]_B=Un_x \tag{2}$$

$$\left[\frac{\partial\phi}{\partial z'}\right]_{z'=\pm H}=0 \tag{3}$$

$$\left[\frac{\partial\phi}{\partial n}\right]_C=0 \tag{4}$$

$$\phi\to 0 \quad \text{at} \quad \sqrt{x'^2+y'^2+z'^2}\to\infty \tag{5}$$

ここで B は船体表面を表わす。また $\vec{n}$ は B と C における内向き単位法線ベクトルであり，n_x はその x 方向成分である。

そこで以下に述べる仮定に従って，船体まわりの流れ場を二つの領域，すなわち内部領域と外部領域に分けて考えることにする。

仮定1　船体は細長体とする。すなわち，ε を slenderness parameter $(\varepsilon\ll 1)$ とすれば，

$$L=0(1),\ B=0(\varepsilon),\ d=0(\varepsilon)$$

が成立する。ただし，L, B, d はそれぞれ船の長さ，幅，吃水を表わす。

仮定2　船長 L に対し，水深 H および船体中心線と側壁間の側方距離 S_P は次の order とする。

$$H=0(\varepsilon),\ S_P=0(1)$$

2.1 内部領域問題

船体にごく近傍の次に示す領域，すなわち内部領域を考える。

$$x=0(1),\ y,z=0(\varepsilon)$$

内部領域における速度ポテンシャルを Φ とすると，(1)，(2)，(3) 式は次のように表わされる。

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}=0 \tag{6}$$

$$\left[\frac{\partial\Phi}{\partial N}\right]_{\Sigma(x)}=Un_x \tag{7}$$

$$\left[\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right]_{z=\pm H}=0 \tag{8}$$

ただし，$\Sigma(x)$ は船体の x 断面，N は $\Sigma(x)$ における内向きの二次元単位法線ベクトルである。

結局，Φ を求めることは二つの平行な壁（水底とその鏡像）の間にある物体の二次元問題に帰着するので，この時の Φ は次の形で表わされる。

$$\Phi(y,z;x;t)=U(t)\Phi^{(1)}(y,z)+V^*(x,t)\Phi^{(2)}(y,z)+f(x,t) \tag{9}$$

ここで $\Phi^{(1)}$ は単位速度の直進運動による速度ポテンシャルであり，$\Phi^{(2)}$ は単位速度の横運動による速度ポテンシャルである。また V^* は横断面 $\Sigma(x)$ における cross flow の速度で，f は Φ が無限遠方での条件を満足しないために生じる定数項である。ここで $\Phi^{(1)}$ に関しては船体内部からの吹出しの総量 $-S'(x)$ で表わされたとし，また二つの壁により制限を受けるとすると，その outer limit は次式で表わされる。

$$\lim_{|y|\gg\varepsilon}\Phi^{(1)}=-\frac{S'(x)}{4H}|y| \tag{10}$$

ここで $S(x)$ は double model を考えた時の船体横断面積を表わす。$(S'(x)=dS(x)/dx)$ 一方，$\Phi^{(2)}$ に関しては Sedov[2] の考えを基にして blockage coefficient $C(x)$ を用いることにより，その outer limit は次式で表わされる。

$$\lim_{|y|\gg\varepsilon}\Phi^{(2)}=y\pm C(x) \tag{11}$$

ただし，本論においてこの $C(x)$ の値は Taylor[3] によって示された矩形断面についての近似式を用いることにする。

以上より (9) 式の内部領域における速度ポテンシャルの outer limit は次式のように表わせる。

$$\lim_{|y|\gg\varepsilon}\Phi(y,z;x;t)=-\frac{U(t)S'(x)}{4H}|y|+V^*(x,t)[y\pm C(x)]+f(x,t) \tag{12}$$

2.2 外部領域問題

次に示す外部領域を考える。

$$x,y=0(1),\ z=0(\varepsilon)$$

ここで，前報の理論計算法に従い，外部領域における速度ポテンシャル ϕ を $z=0$ で展開し，連続の式 (1) に適用すれば，その leading-order term ϕ_0 は次式を満たすようになる。

$$\frac{\partial^2\phi_0}{\partial x'^2}+\frac{\partial^2\phi_0}{\partial y'^2}=0 \tag{13}$$

そこで，船体中心線上に吹出しを，船体中心線とその wake に渦を分布させ，側壁での境界条件を考えた時の吹出しと渦に関するグリーン関数をそれぞれ $G^{(\sigma)}(x',y';\xi',\eta')$，$G^{(\gamma)}(x',y';\xi',\eta')$ とし，それらを用いることによって速度ポテンシャル ϕ を次のように表わすことができる。

$$\phi(x',y',t)=\frac{1}{2\pi}\Big[\int_{L_i}\sigma(s,t)G^{(\sigma)}(x',y';\xi',\eta')ds+\int_{L_iW}\gamma(s,t)G^{(\gamma)}(x',y';\xi',\eta')ds\Big] \tag{14}$$

ただし，ϕ_0 を $\phi(x',y',t)$ と書き換えており，$\sigma(s,t)$，$\gamma(s,t)$ はそれぞれ吹出しと渦の強さを示し，ds は船体中心線上あるいはその延長線上における線素を示す。また，L_i は船体中心線において船首から船尾を，W はその wake を示している。

上式を y について Taylor 展開し，$y\to\pm0$ なる inner limit を考えると，次のように求めることができる。

$$\begin{aligned}\lim_{|y|\ll1}\ &\phi(x',y',t)\\ =&\frac{1}{2\pi}\int_{-L/2}^{L/2}\sigma(\xi,t)G^{(\sigma)}(x,0;\xi,0;t)d\xi\\ &+\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{L/2}\gamma(\xi,t)H^{(\gamma)}(x,0;\xi,0;t)d\xi\\ &\pm\frac{1}{2}\int_x^{L/2}\gamma(\xi,t)d\xi+\frac{\sigma(x,t)}{2}|y|\\ &+\Big\{\frac{1}{2\pi}\int_{-L/2}^{L/2}\sigma(\xi,t)\frac{\partial H^{(\sigma)}}{\partial y}(x,0;\xi,0;t)d\xi\\ &+\frac{1}{2\pi}⨍_{-\infty}^{L/2}\gamma(\xi,t)\Big[\frac{1}{x-\xi}\\ &+\frac{\partial H^{(\gamma)}}{\partial y}(x,0;\xi,0;t)\Big]d\xi\Big\}y\end{aligned} \tag{15}$$

ただし，(15) 式は (14) 式に次に示すような吹出しと渦に関するグリーン関数 $G^{(\sigma)}$，$G^{(\gamma)}$ を代入して求めた結果である。また $⨍$ は Cauchy の主値積分を示している。

$$\left.\begin{aligned}G^{(\sigma)}(x',y';\xi',\eta')&=\ln\sqrt{(x'-\xi')^2+(y'-\eta')^2}\\&\quad+H^{(\sigma)}(x',y';\xi',\eta')\\ G^{(\gamma)}(x',y';\xi'\eta')&=\tan^{-1}\Big(\frac{y'-\eta'}{x'-\xi'}\Big)\\&\quad+H^{(\gamma)}(x',y';\xi',\eta')\end{aligned}\right\} \tag{16}$$

ここで，(x',y') は field point で，(ξ',η') は source point あるいは vortex point である。また，$H^{(\sigma)}$，$H^{(\gamma)}$ は側壁が存在するために付加された調和関数で，次の条件を満たすように定められる。

$$\Big[\frac{\partial G^{(\sigma,\gamma)}}{\partial n}\Big]_C=0$$

実際にここで考えるいるのは垂直側壁であるため，側壁形状の写像関数を用いてグリーン関数を求めることができる。

たとえば，Fig. 2 に示されている楔型側壁を複素平面 ζ における上半平面に写像する関数は，次式で与えられる。

$$\zeta=g(z)=z^\alpha,\quad \alpha=\frac{1}{2-\beta/\pi} \tag{17}$$

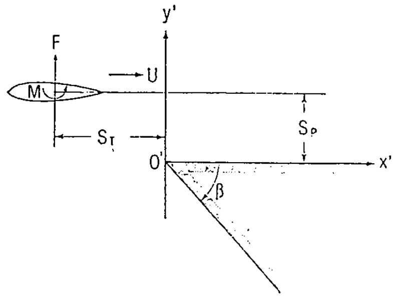


Fig. 2 Coordinate systems for wedge-shaped bank wall

ここで，$z=x'+iy'$ は楔型側壁の存在する複素平面を示し，β は楔型の角度である。

ζ 平面において $\zeta=\zeta_0$ の点に吹出しあるいは渦がある時の複素ポテンシャル $f^{(\sigma)}$，$f^{(\gamma)}$ は，鏡像モデルを考えて次のように表わされる。

$$\left.\begin{aligned}f^{(\sigma)}&=\ln(\zeta-\zeta_0)+\ln(\zeta-\bar{\zeta}_0)\\ f^{(\gamma)}&=-i\ln(\zeta-\zeta_0)+i\ln(\zeta-\bar{\zeta}_0)\end{aligned}\right\} \tag{18}$$

ただし $\bar{\zeta}_0$ は ζ_0 の共役複素数を表わす。上式の実数部を取るとグリーン関数が求まり，さらに $f^{(\sigma)}$，$f^{(\gamma)}$ を z で微分すれば，複素速度 ($w=u-iv$) が求まる。

すなわち，

$$\left.\begin{aligned}w^{(\sigma)}&=\frac{df^{(\sigma)}}{dz}=\frac{d\zeta}{dz}\Big[\frac{1}{\zeta-\zeta_0}+\frac{1}{\zeta-\bar{\zeta}_0}\Big]\\ w^{(\gamma)}&=\frac{df^{(\gamma)}}{dz}=\frac{d\zeta}{dz}\Big[-\frac{i}{\zeta-\zeta_0}+\frac{i}{\zeta-\bar{\zeta}_0}\Big]\end{aligned}\right\} \tag{19}$$

(15) 式に用いられるグリーン関数の y での偏微分は，上式に示された複素速度の y 方向成分であり，次式で与えられる。

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial G^{(\sigma)}}{\partial y}&=-I_m[w^{(\sigma)}e^{i\theta}]\\ \frac{\partial G^{(\gamma)}}{\partial y}&=-I_m[w^{(\gamma)}e^{i\theta}]\end{aligned}\right\} \tag{20}$$

ただし，θ は空間固定座標と船体固定座標とのなす角度を示している。

2.3 Matching と流体力

以上は内部領域と外部領域の二つの領域についてそれぞれ考えたが，それら二つの領域の重なる部分 ($\varepsilon\ll|y|\ll1$) においては，両者の速度ポテンシャルは等しくなければならない。すなわち，matching の条件としては次式が成立する。

$$\lim_{|y|\gg\varepsilon}\Phi(y,z;x;t)=\lim_{|y|\ll1}\phi(x',y',t) \tag{21}$$

ここで，内部領域での速度ポテンシャルの outer limit (12) 式と外部領域での速度ポテンシャルの inner limit (15) 式において同じ性質の項を等しいとおくと，次のような式が得られる。

$$\sigma(x,t)=-\frac{U(t)S'(x)}{2H} \tag{22}$$

$$V^*(x,t)C(x)=\frac{1}{2}\int_x^{L/2}\gamma(\xi,t)d\xi \tag{23}$$

$$V^*(x,t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-L/2}^{L/2}\sigma(\xi,t)\frac{\partial H^{(\sigma)}}{\partial y}(x,0;\xi,0;t)d\xi +\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{L/2}\gamma(\xi,t)\left[\frac{1}{x-\xi}+\frac{\partial H^{(\gamma)}}{\partial y}(x,0;\xi,0;t)\right]d\xi \tag{24}$$

(23), (24) 式より V^* を消去し (22) 式を考慮すると，γ に関する基礎積分方程式が得られる。

$$\frac{1}{C(x)}\int_x^{L/2}\gamma(\xi,t)d\xi-\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{L/2}\gamma(\xi,t)\left[\frac{1}{x-\xi}+\frac{\partial H^{(\gamma)}}{\partial y}\right]d\xi=-\frac{U}{2\pi H}\int_{-L/2}^{L/2}S'(\xi)\frac{\partial H^{(\sigma)}}{\partial y}d\xi \tag{25}$$

したがって，この積分方程式を γ について解けばよいことになる。ただし，この時の γ に関しては次の条件を満足する必要がある。すなわち，船尾後方の wake を横切って圧力は連続であること，また Kelvin の定理，Kutta の条件を満足することである。

すなわち，

$$\gamma(x,t)=\gamma(x),\quad \text{for}\quad x<-\frac{L}{2} \tag{26}$$

$$\int_{-\infty}^{L/2}\gamma(\xi,t)=0 \tag{27}$$

$$\gamma\left(x=-\frac{L}{2},\ t\right)=-\frac{1}{U}\frac{d\Gamma}{dt} \tag{28}$$

ただし，Γ は船体まわりの循環を表わす。

前報に示すように，Bernoulli の定理より船体中心線における圧力差 $\Delta P(x,t)$ が求められると，船体に働く横力 F と yaw moment M を求めることができる。

すなわち，

$$\left.\begin{aligned}F(t)&=-\int_{-L/2}^{L/2}\Delta P(x,t)dx\\ M(t)&=-\int_{-L/2}^{L/2}x\Delta P(x,t)dx\end{aligned}\right\} \tag{29}$$

実際に船体に働く流体力は式 (29) に水深 H を乗じたものである。

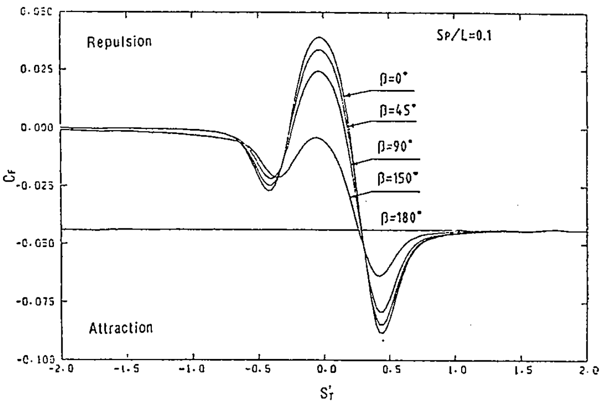
3 数値計算例

前章で導いた計算法に基づき，ここでは突堤や楔型側壁の近くを航行する船に働く流体力を求める。計算対象船は Table 1 に示す一般貨物船型である。

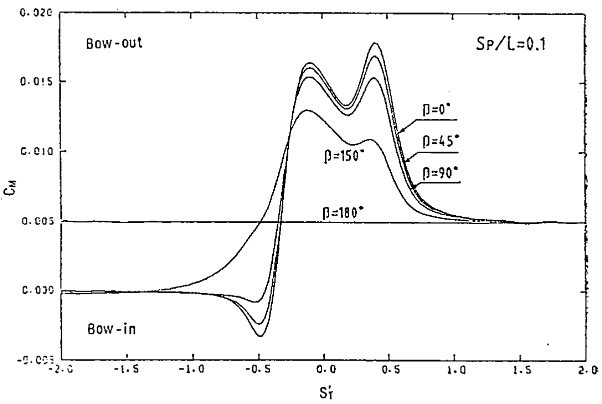
Table 1 Principal particulars of ship for numerical calculation

Length	Lpp	155.0 m
Breadth	B	26.0 m
Draft	d	8.7 m
L/B		5.961
L/d		17.816
B/d		2.988
Block Coeff.	C_b	0.698
Trim	τ/d	0.0

まず Fig. 2 に示すように β の角度を有する楔型側壁を例にとり，側壁先端から船の midship までの長さ方向の距離を S_T とし，船体中心線から側壁までの側方距離を S_P とする。ただし，船速は U で側壁の一辺 x' に平行に S_P を一定のまま航行するとし，x' の負方向から正方向に航行する。また S_T は船体の中央が側壁先端 (y' 軸) に達するまでを負，それ以降を正とする。すなわち船体の中央が側壁先端に並んだ時 $S_T=0$ とする。また水深 (H) と吃水 (d) の比 $H/d=1.2$，船速は実船で 4kt，$S_P/L=0.1$ とした状態における船体に働く横力 (F) と，yaw moment (M) の無次元値 C_F と C_M に対する楔型角度 β の変化による影響を計算したものを Fig. 3 に示している。ただし，



(a)

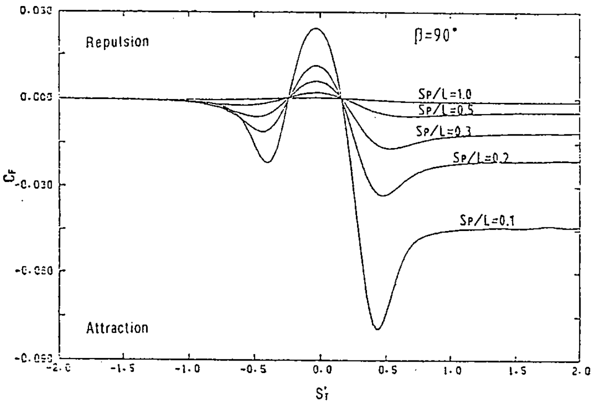


(b)

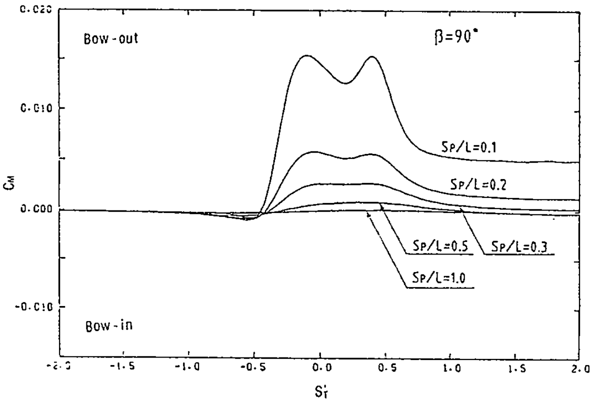
Fig. 3 The effect of angle β on lateral force and yaw moment acting on a ship in the proximity of wedge-shaped bank wall

$$C_F=\frac{F}{\frac{1}{2}\rho U^2Ld},\quad C_M=\frac{M}{\frac{1}{2}\rho U^2L^2d}$$

また図の横軸は S_T の無次元値 S_T' ($S_T'=S_T/L$) で示している。船が側壁に近づくに従って，横力と yaw moment はともに作用し始め，側壁先端付近に至ると



(a)



(b)

Fig. 4 The effect of S_P on lateral force and yaw moment acting on a ship in the proximity of bank wall with wedge angle $\beta=90°$

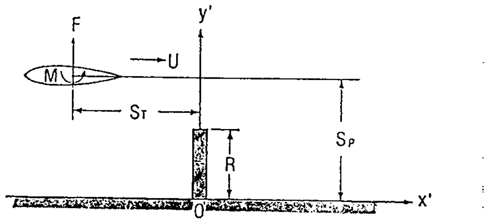
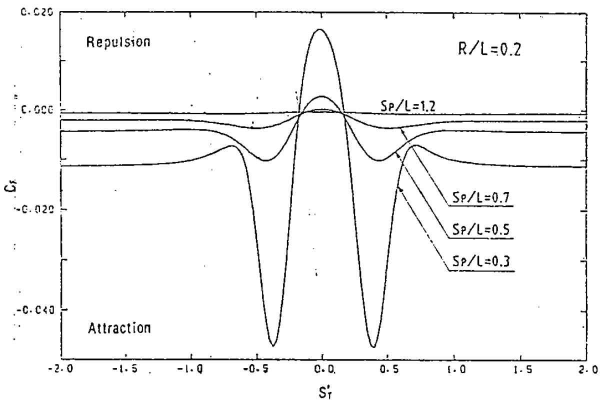


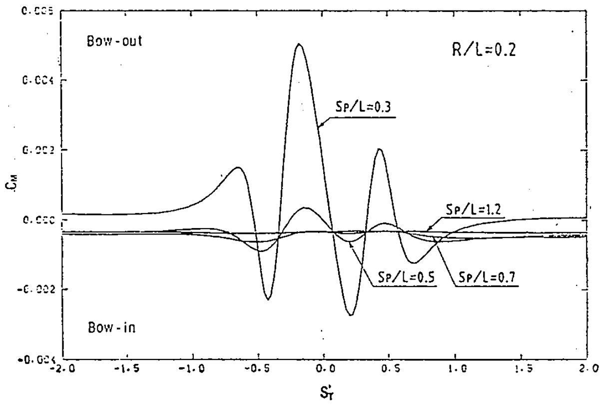
Fig. 5 Coordinate systems for a breakwater

ともに，流体力の最大値を示している。さらに前進すると，横力と yaw moment は次第に連続して側壁が存在するために，いわゆる岸壁吸引力が作用することになる。また角度 β が小さいほど，すなわち尖った楔型側壁の方が船体に大きな流体力が作用している。一方，楔型側壁の場合において，$\beta=90°$ とし，船体中心線から側壁までの側方距離 S_P の変化による影響を Fig. 4 に示している。当然のことであるが，側壁に近接して航行する時大きな流体力が作用している。

次に Fig. 5 に示すような突堤の場合を考える。この時も Fig. 2 の楔型側壁の場合と同じ航行条件とする。今，突堤の長さを R とし，$R/L=0.2$ とした時 S_P による流体力の変化の計算結果を Fig. 6 に示している。また，S_P を一定にし，突堤の長さが流体力にどのような影響を与えるかを示したのが Fig. 7 である。船が突堤の近くを航行する場合，横力の変化は船体中央部が突堤を通過する前後において極めて顕著である。楔型側壁と突堤のいずれも，側壁先端部と突堤の前後 $2.0L$ 以上離れたところでは，ほとんど流体力に及ぼす影響は現われない。



(a)



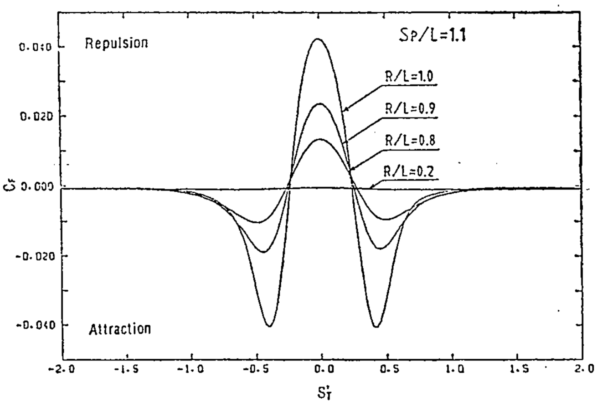
(b)

Fig. 6 The effect of S_P on lateral force and yaw moment acting on a ship in the proximity of a breakwater with length $R/L=0.2$

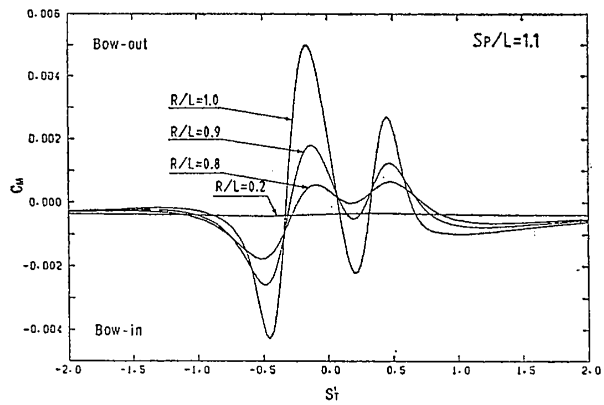
4 考　　　察

突堤などのような不均一な側壁の近くを航行する船の操縦運動を評価する場合，シミュレーション計算による方法が有効である。したがってここでは，前章で求めた流体力を用いて不均一な側壁の近くを航行する船の運動を検討する。シミュレーション計算に用いる数学モデルは，著者の一人が提案している方法[4]を用いることにする。

ここでは不均一な側壁の例として，Fig. 2 に示すような楔型側壁の場合を取上げる。計算条件としては楔型角度 $\beta=90°$ の場合で，船速は実船相当で 4kt，水深は



(a)



(b)

Fig. 7 The effect of R on lateral force and yaw moment acting on a ship in the proximity of a breakwater

$H/d=1.2$ の状態とする。また船は針路を一定に保つように方位角ψ，回頭角速度 r'，側方距離 S_P' ($S_P'=S_P/L$) に比例する操舵を行うものとして，舵角δを次式で与える。

$$\delta=\delta_0-K_1(\psi-\psi_0)-K_2r'-K_3(S_P'-S_{P0}')$$

ここで δ_0 は初期状態での舵角，ψ_0 は原針路の方位角，S_{P0}' は初期状態での側方距離とし，K_1, K_2, K_3 は比例定数である。ただし，δは最大15°と仮定する。

まず船の運動と側方距離 S_P の影響をみるために，舵角δは常に0の状態で全く操舵を行わない場合の船の航

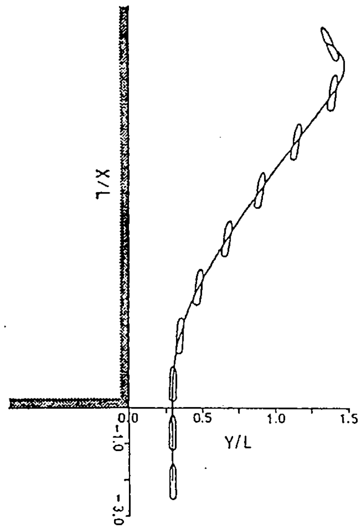


Fig. 8 Situations of wedge-shaped bank wall and ship's path

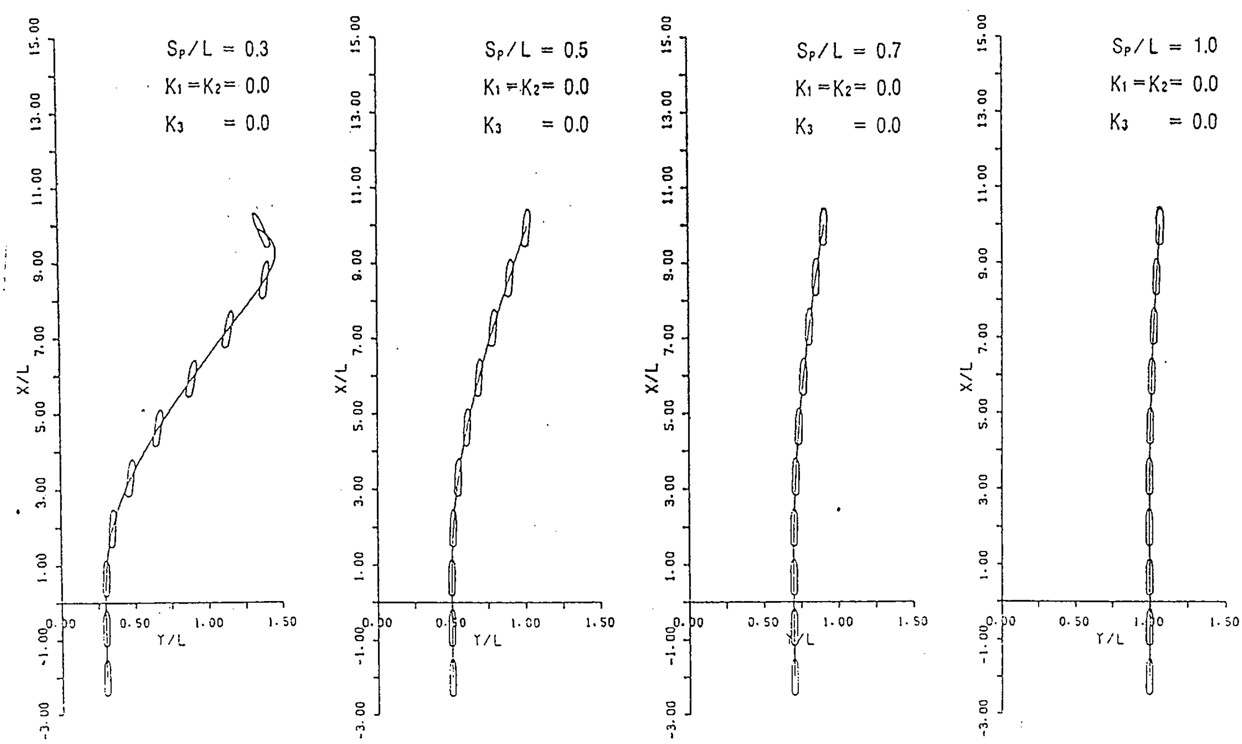


Fig. 9 Ship trajectories without rudder control in the proximity of wedge-shaped bank wall

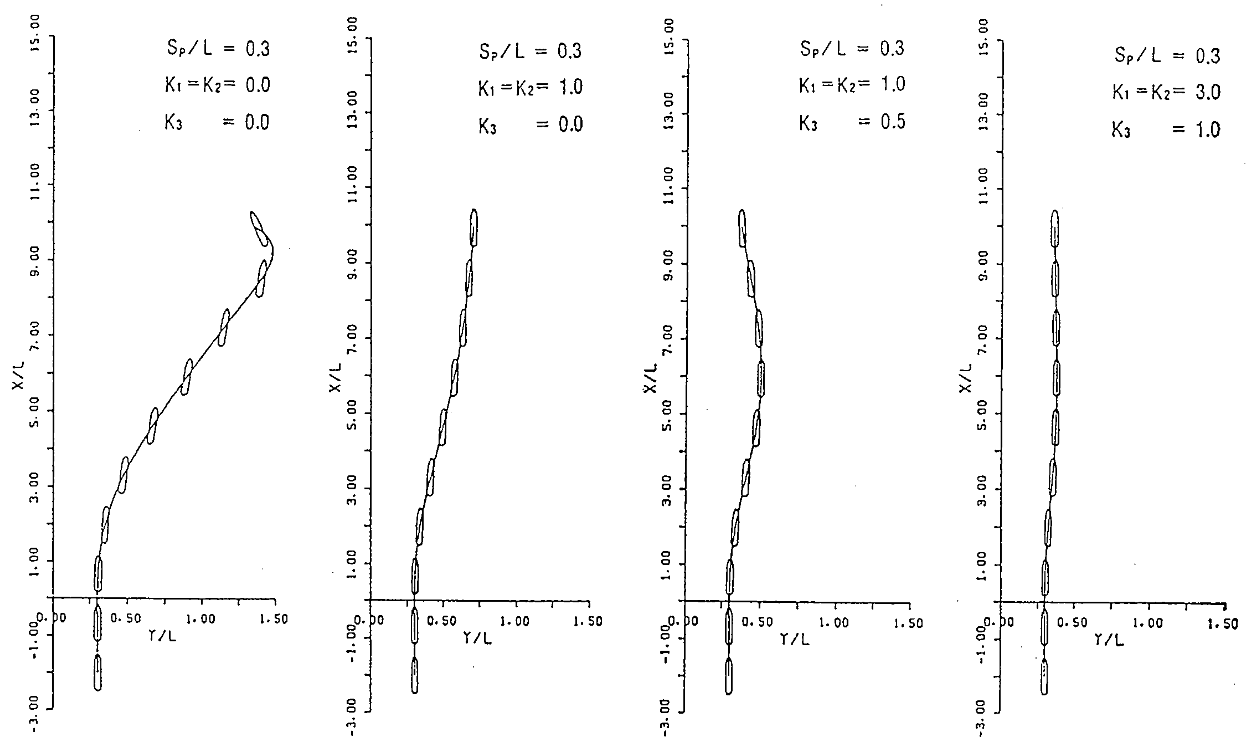


Fig. 10　Ship trajectories with rudder control at $S_P/L=0.3$ in the proximity of wedge-shaped bank wall

跡を Fig. 9 に示している。なお，Fig. 8 には Fig. 9 の $S_P/L=0.3$ の場合を示しており，$\beta=90°$ の楔型側壁はその一辺を Y/L 軸上，他の一辺を X/L 軸上にあるものとする。以下 Fig. 9, Fig. 10 ともに側壁の位置は同様のものとする。Fig. 9 では $S_P/L=0.3$ から 1.0 までの4状態についての計算結果を示しているが，S_P/L の値が小さいほど，側壁の影響を大きく受けて船の航跡は大きな変位を示している。また $S_P/L=1.0$ になると，ほとんど影響がみられない。これらのことは Fig. 4 に示した流体力からも予測できることである。

一方，$S_P/L=0.3$ の場合について，ここで示した操舵を行った時の航跡を Fig. 10 に示す。本計算では常に $K_1=K_2$ とし，$K_1=K_2=0.0$, 1.0, 3.0 および $K_3=0.0$, 1.0 の場合の結果を示している。この結果では，操舵を行うことにより船の運動をかなり制御することができるが，このような海域においては K_3 の項がかなり有効であることが分かる。このことは，たとえば自動運航システムを考えた時自動操舵のみで，このような側壁の近くを航行する場合の針路を保つことと同時に，原針路からの変位を抑えることが最も有効になることが考えられる。一般にはこのような海域では船速も差程大きくとれないし，したがって風などの影響を受け易く，また横方向の変位も制限があるなど厳しい条件下で航行しなければならないことが多く，このような海域では特に原針路をそのまま保つことが要求されることになる。

そこで，原針路から船幅以上の変位が生じた時を仮に

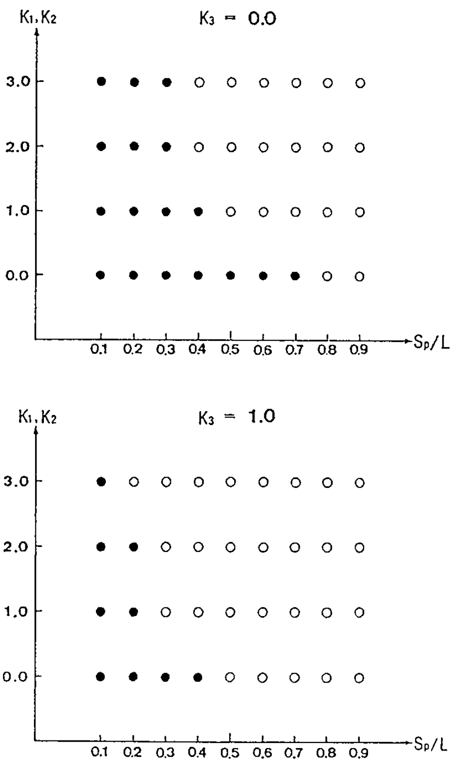


Fig. 11　Lateral deviation in relationship with K_1, K_2, K_3 and S_P/L

許容限界と考えるとした時の，S_P/L と操舵の比例定数の関係を Fig. 11 に示している。この図で黒丸印は許容限界を超えた場合を示している。この結果からも K_3 を考慮することにより S_P/L の値が比較的，小さくとも

原針路の上を航行することができることになる。

5 結 言

前報で提案した狭水路中を航行するN隻船の船体相互間の干渉力の計算法を用いて，不均一な垂直側壁の近くを航行する船体に作用する流体力を求め，さらにこの流体力を用いて，このような海域を航行する時のシミュレーション計算を行い，運動特性を調べた。本報では不均一側壁の例として楔型側壁と突堤の場合についての流体力を求めたが，その結果楔型側壁の場合はその最先端部，突堤の場合は突堤自体の前後で船体に働く流体力に顕著な変化がみられる。さらにこの流体力の変化が船の操縦運動に大きな影響を及ぼしている。また，当然考えられることであるが，本報で用いた操舵法から考えてこのような海域では原針路からの変位を十分に抑えることが安全上有効になると考えられる。

以上，前報で述べた狭水路中での問題と本報での不均一側壁の問題を合せて，いわゆる制限水域での操縦運動の推定に際しては上記の細長体理論を用いた流体力の計算法と，文献 4）で記した数学モデルを用いた操縦運動のシミュレーション計算によって，設計の段階で操縦運動を推定することができると考えられる。また，この計算法は設計の際に適用するばかりでなく，自動運航システムの場合の自動操舵の設計，航行の安全確保の観点から航行帯，船速制限などの海上交通管制やさらには，港や運河の設計に際して船の運動を加味した設計などの面の開発にも，一つの指針を与える一助になるものと期待している。

最後に本論文の図表作成にご協力いただいた九州大学工学部名切恭昭技官に感謝致します。また本研究の一部は文部省の科学研究費補助金により実施されたものであり，また数値計算は九州大学大型計算機センターのFACOM VP-100を使用したことを付記し関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

1） 貴島勝郎，安川宏紀：狭水路中を航行する船の操縦性能，日本造船学会論文集，第156号（1984）.
2） L. I. Sedov : Two dimensional problems in hydrodynamic and aerodynamic, John Willy & Sons, N. Y., (1965).
3） P. J. Taylor : The blockage coefficient for flow about an arbitrary body immersed in a channel, Jour. of Ship Research, Vol. 17 (1973).
4） K. Kijima : Manoeuvrability of ship in confined water, Proceeding Int. Conf. on Ship Manoeuvrability, RINA, Vol. 1 (1987).