

操縱運動이 誘發하는 橫傾斜모우멘트의 不安定舉動에 關한 研究

尹 点 東 · 孫 景 浩

On the Unstable Behavior of Roll Moment due to the Manoeuvring of a Ship

Yun Jum Dong · Son Kyoung Ho

.....〈目 次〉.....	
Abstract	3. 計算例 및 現象의 說明
1. 緒 論	4. 結 論
2. 力學的 解析	參考文獻

Abstract

In order to evaluate rolling characteristics of high speed container carrier the author developed yaw-sway-rudder coupled roll equation, which is likely to be 5th order differential equation

The free rolling time history with particular reference to automatic steering, was computed upon the base of the yaw-sway-rudder coupled roll equation.

The computed result explained effects of C_1 and C_2 on rolling behaviors and furthermore the effect of C_2 proved to be very effective where C_1 and C_2 are yaw gain constant and yaw-rate gain constant of auto-pilot respectively. Computation was carried out using Matsumoto's data of hydrodynamic force derivatives of 5 meter long container model.

1. 緒 論

지금까지의 操縱性的 研究는 大部分 平面 위에서의 2次元運動만을 取扱해 왔으나, 高速콘테이너 船 및 高速艇 等の 大量 出現은 橫傾斜를 考慮한 操縱運動, 또는 操縱運動을 考慮한 橫搖運動의 研究를 必要하게 만들었다.^{1), 2), 10)}

高速콘테이너 船의 橫傾斜모우멘트의 不安定舉動이 大西洋에서의 實船航行中 最初로 Taggart¹⁾에 依해서 確認되었고, 그後 Eda²⁾는 水槽實驗을 通해서 現象糾明에 對한 理論의 根據를 提示했다. 그

* 正會員 韓國海洋大學

** 正會員 韓國海洋大學

러나 數學的 解析, 또는 安定性 判別에 必要한 運動方程式의 同定法에 關係서는 아직 發表되어 있지 않다.

本 論文에서는 高速콘테이너船의 操縱運動이 誘發하는 橫傾斜 모우먼트의 不安定學動에 對한 基礎的 研究로서 橫搖運動의 數學的 모델을 確立하고, 操舵의 樣相이 橫搖運動에 미치는 影響을 調査했으며, 連成運動(coupled motion)에 依한 船舶固有의 安定性에 對해서 考察했다.

安定性檢討의 試計算으로서는 松本³⁾의 流體力學的 導函數에 의한 資料를 利用했으며, 計算結果는 Eda²⁾의 論文과 一致한 傾向을 確認할 수 있었다.

Nomenclature

<p>A_R = rudder area</p> <p>B = ship beam</p> <p>C_1 = yaw-gain constant of auto-pilot</p> <p>C_2 = yaw-rate gain constant of auto-pilot</p> <p>C_b = block coefficient</p> <p>C_p = prismatic coefficient</p> <p>d = ship draft</p> <p>D_p = propeller diameter</p> <p>F_N = rudder normal force</p> <p>F_r = Froude number</p> <p>H = rudder height</p> <p>I_x, I_z = moment of inertia of ship about x & z-axes respectively</p> <p>J_x, J_z = added moment of inertia of ship about x & z-axes respectively</p> <p>$I'_x, I'_z, J'_x, J'_z = I_x, I_z, J_x, J_z / \frac{1}{2} \rho L^4 d$</p> <p>$K$ = total roll moment</p> <p>$K' = K / \frac{1}{2} L^2 d V^2$</p> <p>$K_x$ = radius of gyration of ship about z-axis</p> <p>L = ship length (between perpendiculars)</p> <p>m = mass of ship</p> <p>m_x, m_y = added mass of ship in x & y-axes respectively</p> <p>$m', m'_x, m'_y = m, m_x, m_y / \frac{1}{2} \rho L^2 d$</p> <p>$N$ = total yaw moment</p> <p>$N' = N / \frac{1}{2} \rho L^2 d V^2$</p> <p>$\rho$ = propeller pitch ratio</p> <p>u = ship speed in x-axis direction</p> <p>V = ship speed ($= \sqrt{u^2 + v^2} \doteq u$)</p>	<p>v = ship speed in y-axis direction</p> <p>R = damping moment of pure roll motion</p> <p>r = yaw rate ($= \dot{\phi}$)</p> <p>$r' = r / \left(\frac{V}{L} \right)$</p> <p>$W$ = displacement of ship</p> <p>X = total force in x-axis direction</p> <p>Y = total force in y-axis direction</p> <p>$Y' = Y / \frac{1}{2} \rho L d V^2$</p> <p>$\overline{GM}$ = vertical distance between center of gravity and metacenter</p> <p>\overline{KG} = vertical distance between keel and center of gravity</p> <p>\overline{KM} = vertical distance between keel and metacenter</p> <p>\overline{OG} = vertical distance between water line and center of gravity</p> <p>ρ = density of water</p> <p>A = aspect ratio of rudder</p> <p>∇ = volumedisplacement of ship</p> <p>β = drift angle ($\doteq \sin^{-1} \frac{v}{V}$)</p> <p>$\phi$ = roll angle</p> <p>ψ = yaw angle</p> <p>$\phi(s), \psi(s)$ etc. = Laplace transform of ϕ, ψ etc.</p> <p>δ = rudder angle</p> <p>α = normalized equivalent linear damping coefficient of pure roll motion [$= R / \frac{1}{2} (I_x + J_x)$]</p>
--	--

$\omega_R = \text{ship's natural frequency of pure roll}$	$N_\delta = \partial N / \partial \delta$, $N'_\delta = \partial N' / \partial \delta$	
motion(= $\sqrt{W \cdot \overline{GM} / I_x + J_z}$)	$N_r = \partial N / \partial r$, $N'_r = \partial N' / \partial r'$	
$K_\beta = \partial K / \partial \beta$, $K'_\beta = \partial K' / \partial \beta$	$Y_\beta = \partial Y / \partial \beta$, $Y'_\beta = \partial Y' / \partial \beta$
$K_\delta = \partial K / \partial \delta$, $K'_\delta = \partial K' / \partial \delta$	$Y_\phi = \partial Y / \partial \phi$, $Y'_\phi = \partial Y' / \partial \phi$
$N_\beta = \partial N / \partial \beta$, $N'_\beta = \partial N' / \partial \beta$	$Y_\delta = \partial Y / \partial \delta$, $Y'_\delta = \partial Y' / \partial \delta$
$N_\phi = \partial N / \partial \phi$, $N'_\phi = \partial N' / \partial \phi$	$Y_r = \partial Y / \partial r$, $Y'_r = \partial Y' / \partial r'$

2. 力學的 解析

Fig 1(a), (b)의 座標 및 記號를 使用할 때 橫傾斜를 考慮한 操縱運動의 基本方程式은 一般力學의 知識으로부터 다음 式과 같이 나타낼 수 있다.

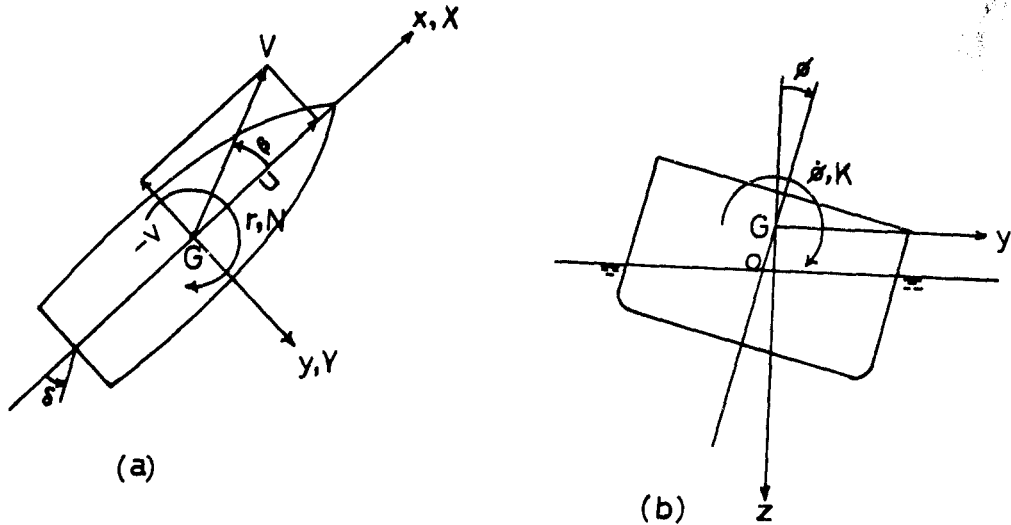


Fig.1 Coordinates and Notations

$$\left. \begin{aligned}
 m(\dot{u} - vr) &= X \\
 m(\dot{v} + ur) &= Y \\
 I_x \dot{r} &= N \\
 I_x \dot{\phi} &= K
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

操縱運動에 따르는 Surging은 (1)式의 첫째式으로 表示되지만, β 의 小角度 範圍만을 생각할 때 前進速力의 變化는 無視할 수 있으므로 本 論文에서는 Surging은 考慮하지 않는다.

(1)式을 附加質量 및 附加慣性 모우멘트를 考慮해서 다시 쓰면 다음 式과 같다.

$$\left. \begin{aligned}
 (m + m_s)\dot{v} + (m + m_s)ur &= Y \\
 (I_x + J_x)\dot{r} &= N \\
 (I_x + J_x)\dot{\phi} &= K
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

靜水中에서의 小角度範圍의 操縱運動을 取扱할 경우($u \doteq V, \beta \doteq -\frac{v}{V}$), 流體力 및 모우먼트는 線型으로 假定할 수 있고, Taylor 展開에 依해서 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} Y &= Y_{\beta}\beta + Y_r r - Y_{\delta}\delta + Y_{\phi}\phi \\ N &= N_{\beta}\beta - N_r r + N_{\delta}\delta - N_{\phi}\phi \\ K &= -R\dot{\phi} - WGM\phi - K_{\beta}\beta + K_{\delta}\delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

(3)式에서 流體力微係數들 正(+)의 값으로 나타내기 위해서 “-” 記號를 使用했으며, (3)式의 行列式에서 Rolling에 미치는 r 의 影響은 極히 적으므로 無視했다. (2) 및 (3)式을 結合하면 다음과 같다.

$$(m + m_s)\dot{u} + (m + m_s)ur = Y_{\beta}\beta + Y_r r - Y_{\delta}\delta + Y_{\phi}\phi \dots\dots\dots(4)$$

$$(I_x + J_x)\dot{r} = N_{\beta}\beta - N_r r + N_{\delta}\delta - N_{\phi}\phi \dots\dots\dots(5)$$

$$(I_x + J_x)\dot{\phi} + R\dot{\phi} + W \cdot \overline{GM}\phi = -K_{\beta}\beta + K_{\delta}\delta \dots\dots\dots(6)$$

舵의 作用은 自動操舵(Auto-pilot)를 考慮해서 다음과 같이 數式表示된다고 假定한다.

$$\delta = -C_1 \int_0^t r dt - C_2 r \dots\dots\dots(7)$$

(4), (5) 및 (6)式에서 $u \doteq V, \beta \doteq -\frac{v}{V}$ 의 關係式을 利用하고, 流體力微係數들 無次元化해서 整理하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{L}{V}\right)(m' + m'_s)\dot{\beta} + Y'_{\beta}\beta - \left(\frac{L}{V}\right)(m' + m'_s - Y'_r)r + Y'_{\phi}\phi - Y'_{\delta}\delta = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$\left(\frac{L}{V}\right)^2(I'_x + J'_x)\dot{r} + \left(\frac{L}{V}\right)N'_r r - N'_{\beta}\beta + N'_{\phi}\phi - N'_{\delta}\delta = 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$\dot{\phi} + 2\alpha\phi + \omega^2_R\phi + \frac{K'_{\beta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^2(I'_x + J'_x)}\beta - \frac{K'_{\delta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^2(I'_x + J'_x)}\delta = 0 \dots\dots\dots(10)$$

(10)式에서 操縱運動을 無視한 普通의 純粹橫搖運動方程式은 다음과 같다.

$$\dot{\phi} + 2\alpha\phi + \omega^2_R\phi = 0 \dots\dots\dots(11)$$

(7), (8), (9) 및 (10)式을 Laplace 變換하고 初期條件을 Zero로 놓으면 다음과 같다.

$$-(C_1 + C_2 S)\phi(s) = \delta(s) \dots\dots\dots(12)$$

$$\left\{ \left(\frac{L}{V}\right)(m' + m'_s)s + Y'_{\beta} \right\} \beta(s) - \left\{ \left(\frac{L}{V}\right)(m' + m'_s - Y'_r)s \right\} \phi(s) + Y'_{\phi}\phi(s) - Y'_{\delta}\delta(s) = 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$\left\{ \left(\frac{L}{V}\right)^2(I'_x + J'_x)s^2 + \left(\frac{L}{V}\right)N'_r s \right\} \phi(s) - N'_{\beta}\beta(s) + N'_{\phi}\phi(s) - N'_{\delta}\delta(s) = 0 \dots\dots\dots(14)$$

$$(s^2 + 2\alpha s + \omega^2_R)\phi(s) + \frac{K'_{\beta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^2(I'_x + J'_x)}\beta(s) - \frac{K'_{\delta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^2(I'_x + J'_x)}\delta(s) = 0 \dots\dots\dots(15)$$

(12), (13), (14) 및 (15)式에서 $\beta(s), \phi(s)$ 및 $\delta(s)$ 를 消去하고 $\phi(s)$ 에 關해서 풀면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \left\{ s^5 + \left[\frac{N'_\delta}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (I'_x + J'_x)} C_2 + \frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right) (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \left\{ 2\alpha \left(\frac{L}{V}\right) (m' + m'_y) (I'_x + J'_x) \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. + (m' + m'_y) N'_r + (I'_x + J'_x) Y'_{\beta} \right\} \right] s^4 + \left[\frac{N'_\delta}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (I'_x + J'_x)} C_1 \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \left\{ Y'_{\beta} N'_\phi + Y'_{\phi} N'_{\beta} + 2\alpha \left(\frac{L}{V}\right) (m' + m'_y) N'_r \right\} C_2 \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \left\{ Y'_{\beta} N'_r - (m' + m'_x - Y'_r) N'_{\beta} + 2\alpha \left(\frac{L}{V}\right) \right. \right. \\
 & \left. \left. \times \left\{ (m' + m'_y) N'_r + (I'_x + J'_x) Y'_{\beta} \right\} + \omega^2_R \right] s^3 + \left[\frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \right. \right. \\
 & \left. \left. \times \left\{ Y'_{\phi} N'_{\beta} + Y'_{\beta} N'_{\phi} + 2\alpha \left(\frac{L}{V}\right) (m' + m'_y) N'_\delta \right\} C_1 + \left(\frac{2\alpha}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \times (Y'_{\beta} N'_{\phi} + Y'_{\phi} N'_{\beta}) + \frac{N'_r \omega^2_R}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (I'_x + J'_x)} - \frac{N'_{\phi} K'_{\beta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^4 (I'_x + J'_x) (I'_x + J'_x)} \right] C_2 \right. \\
 & \left. + \left[\frac{2\alpha}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \left\{ Y'_{\beta} N'_r - (m' + m'_x - Y'_r) N'_{\beta} \right\} + \frac{\omega^2_R}{\left(\frac{L}{V}\right) (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \right. \right. \\
 & \left. \left. \times \left\{ (m' + m'_y) N'_r + (I'_x + J'_x) Y'_{\beta} \right\} - \frac{Y'_{\phi} K'_{\beta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \right] \right] S^2 \\
 & \left. + \left[\left(\frac{2\alpha}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} (Y'_{\phi} N'_{\beta} + Y'_{\beta} N'_{\phi}) + \frac{N'_r \omega^2_R}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (I'_x + J'_x)} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{N'_{\phi} K'_{\beta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^4 (I'_x + J'_x) (I'_x + J'_x)} \right] C_1 + \left(\frac{\omega^2_R}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} (Y'_{\phi} N'_{\beta} + Y'_{\beta} N'_{\phi}) \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right)^5 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x) (I'_x + J'_x)} \left\{ K'_{\beta} (Y'_{\phi} N'_{\phi} - Y'_{\phi} N'_{\beta}) - K'_{\phi} (Y'_{\beta} N'_{\phi} + Y'_{\phi} N'_{\beta}) \right\} \right] C_2 \\
 & \left. + \left[\frac{\omega^2_R}{\left(\frac{L}{V}\right)^2 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x)} \left\{ Y'_{\beta} N'_r - (m' + m'_x - Y'_r) N'_{\beta} \right\} \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{K'_{\beta}}{\left(\frac{L}{V}\right)^4 (m' + m'_y) (I'_x + J'_x) (I'_x + J'_x)} \left\{ (m' + m'_x - Y'_r) N'_{\phi} + Y'_{\phi} N'_r \right\} \right] \right] S
 \end{aligned}$$

$$+ \left\{ \frac{\omega^2 R}{\left(\frac{L}{V}\right)^3 (m' + m'_y) (I'_{xz} + J'_{xz})} (Y'_{\delta} N'_{\beta} + Y'_{\beta} N'_{\delta}) + \frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right)^5 (m' + m'_y) (I'_{xz} + J'_{xz}) (I_{xz} + J_{xz})} \right. \\ \left. \times \left\{ K'_{\beta} (Y'_{\delta} N'_{\phi} - Y'_{\phi} N'_{\delta}) - K'_{\delta} (Y'_{\beta} N'_{\phi} + Y'_{\phi} N'_{\beta}) \right\} \right\} C_1 \phi(s) = 0 \dots \dots \dots (16)$$

(16)式과 同等한 方程式을 다음과 같이 簡單히 表示한다.

$$\{s^5 + AA s^4 + BB s^3 + CC s^2 + DD s + EE\} \phi(s) = 0 \dots \dots \dots (16-1)$$

(16-1)式에서 AA, BB 등은 (16)式的 s의 各次數에 對한 係數를 意味한다.

(16-1)式을 Laplace逆變換하면 橫搖運動의 自由振動微分方程式을 얻을 수 있고, 다음 式으로 表示된다.

$$\frac{d^5 \phi}{dt^5} + AA \frac{d^4 \phi}{dt^4} + BB \frac{d^3 \phi}{dt^3} + CC \frac{d^2 \phi}{dt^2} + DD \frac{d \phi}{dt} + EE \phi = 0 \dots \dots \dots (17)$$

(17)式은 外力이 作用하지 않는 경우, Yawing, Swaying 및 Rudder의 作用이 포함된 自動橫搖 運動方程式이다. 橫傾斜를 考慮한 自動操縱運動系의 簡單한 Block線圖는 Fig.2와 같다.

本 論文에서는 (16) 및 (17)式에 注目하여 어떤 外亂이 作用했을 때, 外亂의 時間的 變化, 또는 特性方程式의 根軌跡를 調査함으로써 連成運動에 依한 船舶固有의 安定性을 考察할 수 있다. (16)

式의 特性方程式(s에 關한 5次式)의 5個의 根中에서 單 1個의 根이라도 根의 實數部가 正(+) 이면 系는 不安定하게 되어 外亂은 時間과 함께 發散하게 되고 根의 實數部가 負(-) 이면 系는 安定하게 되며 根의 位置에 依해서 安定의 程度를 把握할 수 있다.⁵⁾

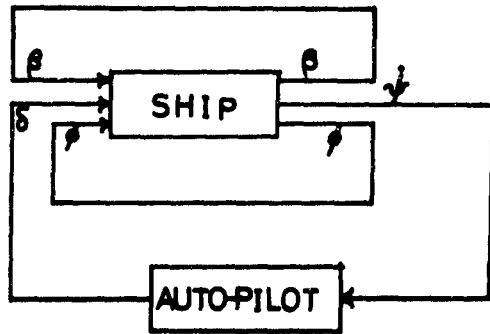


Fig. 2 Block diagram of self-exciting manoeuvring system taking coupling effects due to rolling into consideration

3 計算例 및 說明

3-1 計算에 利用한 船舶의 明細

安定性 檢討의 試計算에 利用한 船舶은 큰테 이너 模型船(SR108)이다. SR 108 模型船에 對한 操縱性 試驗結果가 最近 松本³⁾에 依해서 發表되었으므로 文獻(3)을 參考하여 平面運動에 對한 流體力微係數를 計算하고, 3次元運動에 對한 流體力微係數는 推定計算에 依存한다.

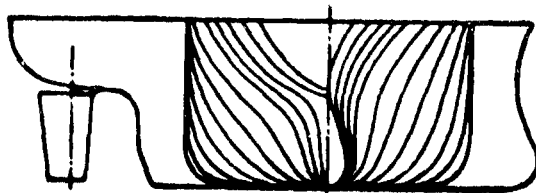


Fig. 3 Body plan and profile of SR108

Table 1 Principal particulars of SR108

Hull			Propeller	
L		5.00(m)	D_P	0.1857(m)
B		0.726(m)	P	1.055
α	fore	0.2286(m)	No. of blades	5
	mid	0.2429(m)		
	aft	0.2571(m)	Blade section	TROOST
Δ		0.495(m ³)	Rudder	
C_b		0.5617	A_R	0.0265(m ²)
C_p		0.5821	Δ	1.827
K_z		0.24L	H	0.22m

3-2 流體力微係數의 計算方法 및 計算結果

- ① $m, m_x, m_y, Y_\beta, Y_r, Y, N_\beta, N_r$ 및 N 는 文献 3)의 實驗結果로부터 直接計算한다.
 - ② $I_x + J_x = m \times (0.38 \times B)^2$ 의 關係式⁹⁾으로부터 $I_x + J_x$ 를 計算한다.
 - ③ $I_z = m \times K_z^2, J_z = 0.6I_z^{7/8}$ 의 關係式으로부터 $I_z + J_z$ 를 計算한다.
 - ④ $\overline{GM} = 0.015m$ 로 假定한다.
 - ⑤ $\alpha = 0.05\omega_R^3$ 로 假定한다.
 - ⑥ β 에 基因하는 y 方向의 力 $Y_\beta\beta$ 가 흘수의 1/2의 位置에 作用한다고 假定하면 $-K_\beta \cdot \beta = -(1/2d + \overline{OG}) Y_\beta\beta$ 의 關係式이 成立하므로 K_β 가 Y_β 및 \overline{GM} 의 函數로 表示된다.
 - ⑦ 舵의 直壓力이 舵의 높이의 1/2의 位置에 作用한다고 假定하면 $K\delta = F_N \cos\delta \times (KG - 1/2H)$ 의 關係式이 成立하므로 K 가 F_N 및 \overline{GM} 의 函數로 表示된다.
 - ⑧ $N\phi$ 는 文献 2)의 Fig. 17을 參考하여 推定計算한다.
 - ⑨ Y_ϕ 는 文献 10)의 實驗結果를 參考하여 推定한다.
 - ⑩ KM 는 文献 11) 및 文献 12)의 略算式으로부터 計算한다.
- ①~⑩의 方法에 依해서 式 (16) 및 (17)에서 必要로하는 流體力微係數의 값을 전부 計算하면 Table 2.와 같다.

但, 文献 3)의 實驗結果는 $Fr = 0.2$ 에 對한 資料이지만, 本 論文에서는 無次元化한 流體力 微係數가 船速의 影響을 받지 않는다고 假定하고 $Fr = 0.35$ 로 하여 安定性의 檢討를 한다.

3-3. 橫搖舉動의 安定性에 對한 檢討

舵의 作用에 依한 橫搖運動의 舉動을 調查하기 爲해서 우선 (16)式의 特性方程式의 根軌跡¹¹⁾을 그려보면 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. Fig. 4는 C_2 가 0, C_1 이 變數인 경우의 根軌跡이며, Fig. 5는 C_1 이 3, C_2 가 變數인 경우의 根軌跡이다.

Table 2. Hydrodynamic force derivatives of SR 108.

\overline{KM}	0.30 (m)
\overline{GM}	0.015 (m)
L/V	2.04082 (sec)
$m' + m'_x - Y'_r$	0.118156
$m' + m'_y$	0.308127
$I'_x + J'_x$	0.000496
$I'_z + J'_z$	0.015025
Y'_β	0.253191
Y'_ϕ	0.0
Y'_δ	0.054253
N'_β	0.07719
N'_r	0.045698
N'_ϕ	0.010247
N'_δ	0.026419
K'_β	0.008282
K'_δ	0.001527
α	0.069517
ω^2_r	1.933018

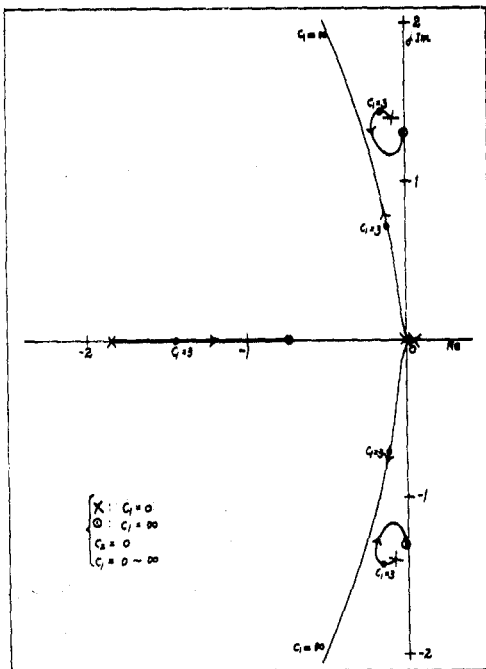


Fig. 4 Root locus diagram of characteristic equation of rolling showing the effect of yaw gain constant C_1

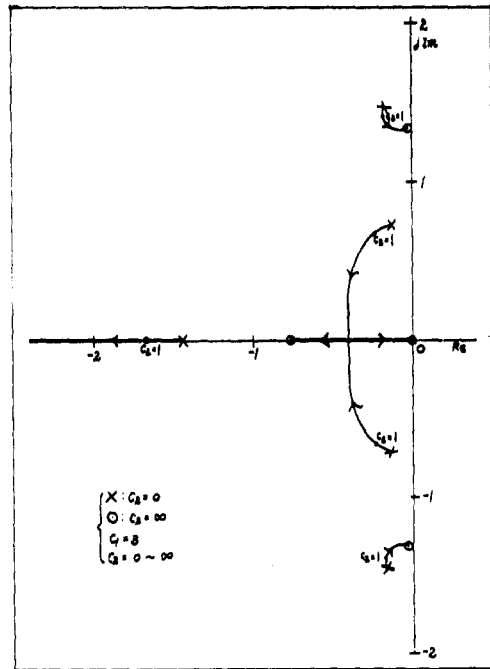


Fig. 5 Root locus diagram of characteristic equation of rolling showing the effect of yaw-rate gain constant C_2 .

Fig.4에서 安定化에 미치는 C_1 의 影響, Fig.5에서 C_2 의 影響을 把握할 수 있다. 根의 實數部가 負(-)이면 系는 安定하지만 虛軸(縱軸)에 가까울수록 減衰의 程度가 弱하다.⁵⁾ Fig.6은 操縱運動을 考慮하지 않은 純粹橫搖運動方程式[式(11)]의 解로서, 初期의 外亂을 靜的 橫搖角 10° 로 假定했을 때의 外亂의 時間的 變化를 나타내고 있다.

Fig.7, Fig.8 및 Fig.9는 操縱運動을 考慮한 橫搖運動方程式 [式(17)]의 解로서, 初期의 外亂을 마찬가지로 靜的 橫搖角 10° 로 假定했을 때의 外亂의 時間的 變化를 나타내고 있다.

純粹橫搖運動과 操縱運動을 考慮한 橫搖運動과를 比較해 보면 振幅, 周期 및 減衰의 程度가 현저하게 다르며, 操縱運動을 考慮한 경우라도 操舵의 樣相에 依해서 減衰의 程度가 현저하게 름을 알 수 있다.

Fig.7 및 Fig.8의 比較로부터 yaw-rate gain(C_2)을 1로 함으로써 減衰가 현저하게 빠름을 알 수 있고, 安定化에 미치는 C_2 의 役割이 重要함을 確認할 수 있다.

Fig.9는 Yawing에 對한 操舵에 位相지연이 있는 경우로서 荒天時에 人間이 操舵하는(Manual Steering)舵의 움직임이라 추측할 때, 初期外亂의 減衰現象이 상당히 弱하며, 계속되는 外亂에 의해서 매우 不安定한 狀態에 處할 수 있다고 看做된다.

安定化의 見地에서 볼 때, Yawing에 對한 舵의 位相이 앞서는(phase leading) 操舵法이 바람직하다고 말할 수 있다. 이와같은 見解는 Eda³⁾의 實驗結果와 一致하는 傾向을 나타낸다.

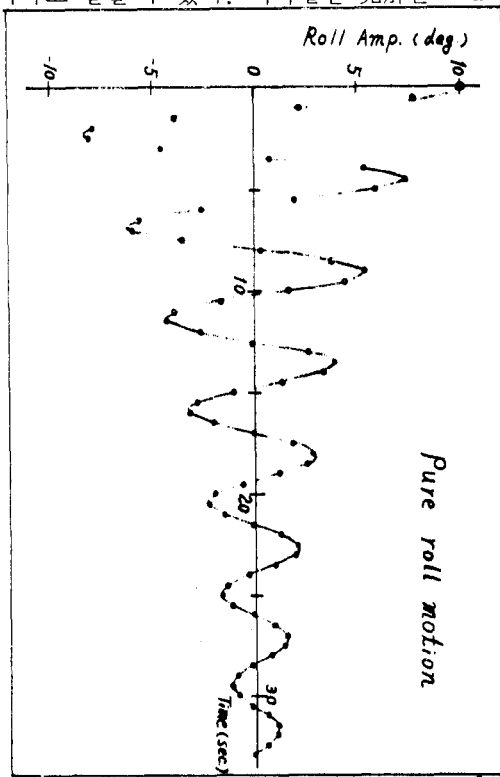


Fig. 6 Time history of pure rolling.

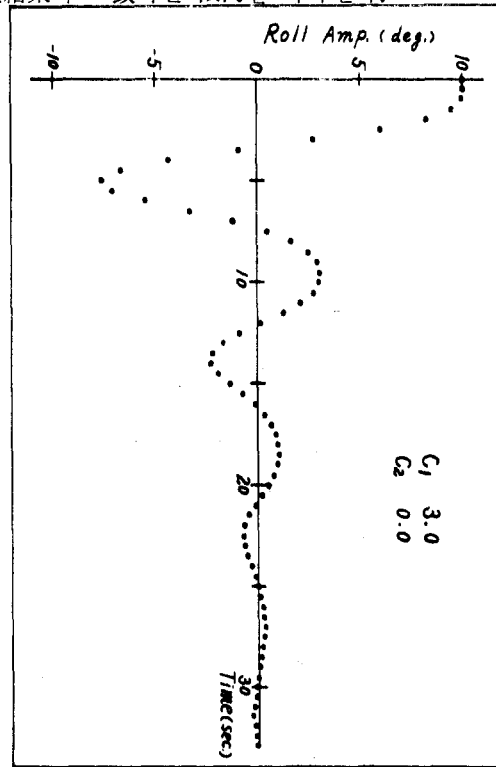


Fig. 7 Time history of rolling for yaw-gain 3 & yaw-rate gain 1.

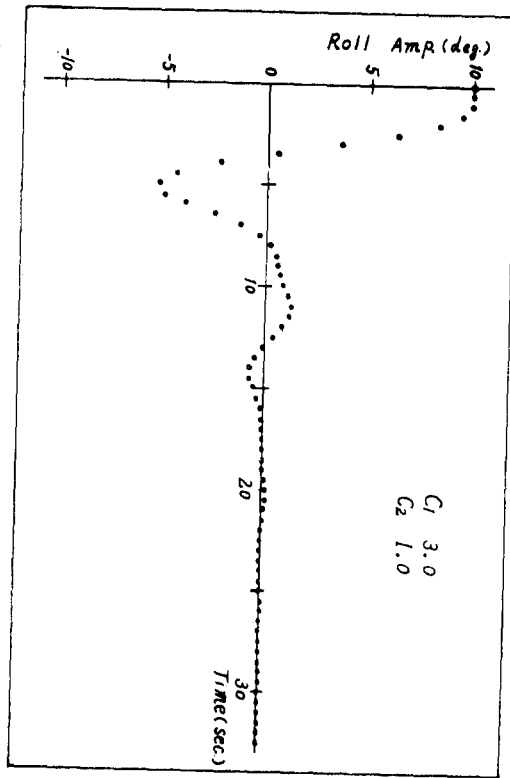


Fig. 8 Time history of rolling for yaw-gain 3 & yaw-rate gain 0.

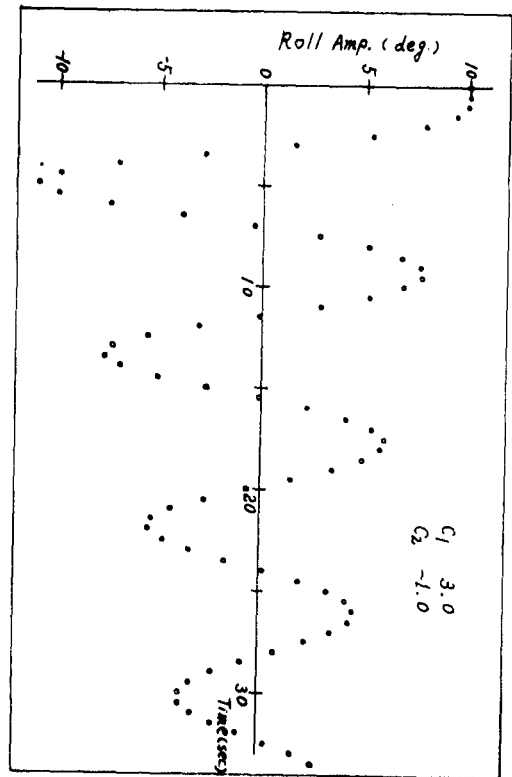


Fig. 9 Time history of rolling for yaw-gain 3 yaw-rate gain 1.

3-4. 現象의 說明

大部分의 高速콘터이너船의 特徵은 \overline{GM} 가 작고, L/B 가 크며, 球狀船首와 比較的 큰 舵를 갖고 있음으로, 船首尾의 非對稱의 程度가 현저하다. 이러한 特殊한 條件은 操縱運動에 依해서 橫搖運動이 크게 影響을 받도록 作用한다.

本 論文의 數學的 同定의 計算結果를 좀 더 具體的으로 現象解明하면, 外亂에 의해서 어떤 橫搖가 일어났다고 假定했을 때, 그 橫搖는 船首尾形狀의 非對稱으로 因해서 쉽게 Yawing을 誘發한다.

예를 들면 右舷方向의 橫傾斜 모우먼트는 左舷方向의 Yawing을 誘發하고, 左舷方向의 Yawing은 自動操舵(Auto-pilot)에 依해서 舵를 右舷쪽으로 움직이며, 右舷操舵는 右舷方向의 橫傾斜 모우먼트를 誘發함으로써 橫搖의 不安定舉動을 나타낸다.

이것은 不安定狀態의 경우이지만 操舵의 樣相에 따라서 安定 不安定은 크게 左右되며, 더우기 自動操舵機의 yaw-rate gain에 의해서 크게 影響을 받는다고 말 할 수 있다.

4 結 論

- 1) 操縱運動을 考慮한 橫搖運動의 새로운 數學的 同定을 얻었다.
- 2) 操舵의 樣相이 橫搖에 미치는 影響을 考察했으며, Yaw-rate gain에 依한 橫傾斜 모우멘트의 顯저한 增減現象을 알 수 있었다.
- 3) 高速콘테이너船의 水槽實驗에 依한 船型學的 考察은 앞으로의 研究課題이다.
- 4) 本 論文에서 提示한 運動方程式을 基礎로해서 外力(波浪)에 對한 橫搖慮答의 數學的 解析 및 傳達函數를 利用한 應答特性的 研究가 可能하다.

參 考 文 獻

- 1) Taggart, Robert, "Anomalous Behavior of Merchant Ship Steering Systems". Marine Technology, Vol. 7, No. 2, 1970.
- 2) H. Eda, "Ship Maneuvering Safety Studies", SNAME, Vol. 87, 1979.
- 3) 松本憲洋, "拘束模型船試驗による 操縱性の 豫測", 日本關西造船協會 秋季論文發表資料 1979(11月).
- 4) K. Nomoto, "Response Analysis of Manoeuvrability and its Application to Ship Design", JSNA, both Anniversary Series, Vol. 11, 1966.
- 5) B. C. KUO, "Automatic Control Systems", Prentice-Hall, 1967.
- 6) 元良誠三, "船體運動力學" p. 68, 共立出版社, 1964.
- 7) 元良誠三, "船體運動に 對する 附加質量 及び 附加慣性モーメントについて(其の1)", 日本造船協會論文集 第105號 1959.
- 8) S. Motora, "On the Measurement of the Stability Derivatives by means of Forced Yawing Technique, JSNA, Vol. 118, 1965.
- 9) 高石敬史, "船體に 働く 橫搖れ 減衰力に について(第1報)", 日本船舶技術研究所報告, 第16卷 第5號, 1979.
- 10) 平野雅祥, "橫傾斜を 考慮した 旋回運動の 計算", 日本 西部造船協會 秋季論文發表資料 1976(11月)
- 11) C. S. Moore, "Principles of Naval Architecture", p. 74~p. 75, SNAME, 1967.
- 12) 大串雅信, "理論船舶工學(上卷)", p. 84, 海文堂, 1976.