

반잠수식 Rig의 형상 변화에 따른 운동 성능에 관하여

박 노식 · 이 옥규 · 곽 석환

울산대학교 수송시스템공학부

A Study on the Motion Responses about Shape Variety of Semi-submersible Rig

Ro-Sik Park · Ok-Kyu Lee · Suk-Hwan Kwak

School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan

요 약

본 연구에서는 반잠수식 Rig의 형상에 따른 최적 형상을 검토하기 위하여 최근 건조되고 있는 4-Column과 2-Lowhull을 가진 사각 Column에 원통형 Column을 혼합한 혼합형 과 4각 Column형을 공시모형으로 택하여 규칙파중 두 구조물에 작용하는 유체력과 유체력에 의한 운동 응답을 계산하고, 4각 Column을 가지는 구조물의 길이, 폭, 흘수를 변화시킨 Series 에 따른 유체 역학적 특성과 동요 진폭의 관계를 검토하였다. 수치계산은 3차원 특이점 분포법을 이용하여 정상상태에 대하여 실행하였다. 구조물의 형상과 역학적인 간섭의 영향을 이용, 보다 성능이 우수한 형상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

1. 연구 배경 및 중요성

자원의 경제적 가치와 육상에너지 비 보유국들의 자원한계의 극복을 위한 노력으로 해양에서의 원유 시추를 위한 해양 구조물의 수요 증가로 심해 자원의 채취에 적합한 다양한 부유식 해양구조물이 건조되고 있다. 이 구조물들은 설치구역 및 조건에 따라 가동효율이 좋은 구조물을 설치하는 것은 대단히 중요하며 많은 연구가 되어 오고 있다. [1][2][5][6]

이와 같은 반잠수식 해양구조물은 배수용적에 비해 수선 면적이 적기 때문에, 동적 복원력이 작고 파랑 중 안정성에 관한 문제가 제기 되고 있다. 특히, Numata[10]는 동요시 정상 유체력을 알 필요가 있다고 하였고, Takarada[11]는 파랑 표류력이 계류상태에서는 진도 모멘트가 발생하는 원인이 된다고 지적하였다.

본 연구에서는 반잠수식 해양구조물의 운동 성능과 안정성이 좋은 형상을 연구하기 위하여 4-Column과 2-Lowhull을 가진 사각 Column에 원통형 Column을 혼합한 혼합형과 4각 Column형의 반잠수식 해양구조물을 규칙파중 두 구조물에 작용하는 유체력과 유체력에 의한 운동 응답을 계산하고, 4각 Column의 구조물을 길이, 폭, 흘수 변화시킨 Series에 따른 유체 역학적 특성과 동요 진폭의 관계를 검토하였다. 차후에는 Series 형상에 대한 손상시 상태를 가정 대경사시의 동요진폭과 air gap등을 검토하여 계산을 수행 할 것이다.

2. 기초이론

유체력 계산은 3차원 특이점 분포법을 이용하였으며 [2][3][5][6] 본 연구에 주요사항만 간단히 표기한다.

좌표계는 xy평면을 정지수면으로 하고 연직상방을 정(+)방향으로 하는 직교좌표계를 사용한다.

유체는 비압축성, 비점성 완전유체이고, 유체영역은 무한 수심으로 한다. 입사파는 원주기운동을 하며 x축에 대하여 α 의 각도로 입사된다고 생각한다.

2.1 유체력

x축의 정방향으로부터 입사하는 파에 의하여 부체가 동요원진동수 ω 로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 부체주위의 유동장은 속도 potential로 나타낼 수 있다.

$$\phi(x, y, z, t) = Re[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (2.1)$$

ϕ 는 유체내부에서 Laplace방정식을 만족하며, 자유표면 경계 조건, radiation 조건, 물체표면 경계조건 및 수저조건을 만족하고 있다.

이때의 속도 potential을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 + i\omega \sum_{j=1}^6 \xi_j \psi_j \quad (2.2)$$

여기서,

$$\phi_0 = \frac{g\zeta_a}{\omega} e^{Kz + iK(x\cos\alpha + y\sin\alpha)}$$

- ζ_a : 파의 진폭
- K : 파수
- ξ_j : 부체의 운동진폭($j=1, \dots, 6$)
- ϕ_0 : 입사파 속도 potential
- ϕ_7 : diffraction 속도 potential
- ψ_j : j 방향의 부체의 단위 진폭운동에 의한 radiation potential ($j=1, \dots, 6$)

또한, 각 경계조건을 만족하는 속도 potential ϕ 는 Laplace 방정식의 해를 Green함수 $G(x, y, z; x', y', z')$ 라 놓으면 다음과 같이 표시된다.

$$\phi(P) = \int \int_S \alpha(Q) G(P, Q) dS(Q) \quad (2.3)$$

여기서, $P(x, y, z)$ 는 유체 중의 임의의 점, $Q(x', y', z')$ 는 물체 표면(S) 상에 분포시킨 Source의 위치, $\alpha(Q)$ 는 점 Q의 위치에서 source의 강도, $G(P, Q)$ 는 다음 식으로 표시되는 Green 함수이다.

$$G(P, Q) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + 2K \int_0^\infty \frac{e^{K(z+z')} J_0(kR)}{k-K} dk + i2\pi K e^{K(z+z')} J_0(KR) \quad (2.4)$$

여기서

$$r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$$

$$r' = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2}$$

$$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}$$

K : 파수(Wave Number)

J_0 : 0차의 제 1종 Bessel Function

Y_0 : 0 차의 제 2종 Bessel Function

H_0 : 0차의 Struve Function

을 의미한다.

2.1.1 유체력 계수

부유체가 i 모드(Mode)의 운동을 하고 있을 때 단위진폭 속도포텐셜을 ψ_j ($j = 1, 2, \dots, 6$)라 하면 j 방향의 부가질량계수 A_{ij} 와 조파감쇠계수 B_{ij} 는 다음식으로 부터 구하여진다.

$$A_{ij} = -\rho \operatorname{Re} \left[\int \int_S \psi_j n_i ds \right] \quad (2.5)$$

$$B_{ij} = \rho \omega \operatorname{Im} \left[\int \int_S \psi_j n_i ds \right] \quad (2.6)$$

2.1.2 파강제력

규칙파중에서 부체가 고정되어있을 때 반사파의 속도포텐셜,

즉 산란파 속도포텐셜을 ϕ_7 이라 하면 파강제력은

$$\begin{aligned} F_{7j} &= i\omega\rho \int \int_S (\phi_0 + \phi_7) n_j ds \\ &= \rho g \zeta_a \int \int_S (\phi_0 + \phi_7) n_j ds \end{aligned} \quad (2.7)$$

$(j = 1, 2, \dots, 6)$

또한, Haskind - Newman의 관계를 적용하면 파강제력은 다음과 같이 표시된다.

$$F_{7j} = \rho g \zeta_a \int \int_S \left(\phi_0 \frac{\partial \psi_j}{\partial n} - \psi_j \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \right) ds \quad (2.8)$$

2.1.3 운동방정식

파랑중 부체의 6자유도 선형운동방정식은 일반적으로 다음과 같다.

$$[d_{ij}][Y_j] = [F_i(t)] \quad (2.9)$$

여기서

$$d_{ij} = (m_{ij} + M_{ij}) \frac{d^2}{dt^2} + N_{ij} \frac{d}{dt} + K_{ij}$$

m_{ij} : 부유체의 질량 및 관성모멘트

M_{ij} : 부유체의 부가질량 및 부가관성모멘트

N_{ij} : 조파감쇠계수

K_{ij} : 복원력계수

$F_i(t)$: 파 강제력

3. 수치 계산

3.1 공시모형

공시모형은 Fig.1, 2에서 보듯이 GVA4500과 RBS 8M을 모신으로 택하여 형상에 따른 유체 역학적 변화를 검토하였다. 또한 4각 Column을 가지는 구조물의 길이, 폭, 홀수에 변화를 주어 여러 형태의 구조물에 관하여 유체역학적 변화를 검토하였다. 기본 제원은 Table.1로 나타내었다.

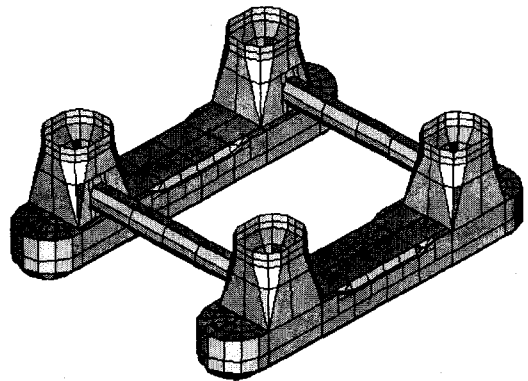


Fig.1. Type of mixed column

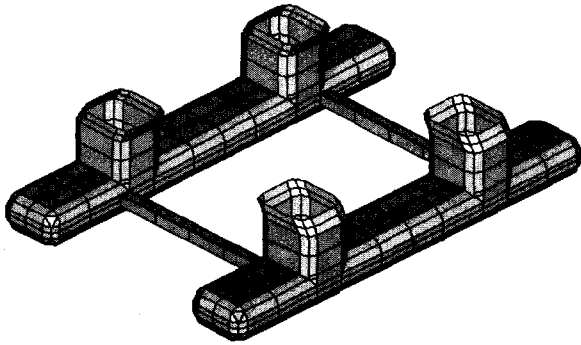


Fig.2. Type of square column

Table.1. Principle dimension

	mixed column	square column	
Length [m]	2	정상상태	2
		L/B=1.7	2.37
		L/B=2.3	3.16
		L/B=2.9	3.95
Breadth [m]	1.365	정상상태	1.365
		L/B=0.5	4
		L/B=0.65	3.08
		L/B=1	2
		L/B=1.5	1.33
Draft [m]	0.4025	정상상태	0.4025
		B/d=3	0.455
		B/d=2.6	0.525
		L/d=3.6	0.56
		L/d=4.0	0.5
Displacement [m]	0.2448	정상상태	0.2448
		L/B=1.7	0.277
		L/B=2.3	0.283
		L/B=2.9	0.41475
		L/B=0.5	0.259
		L/B=0.65	0.254
		L/B=1	0.248
		L/B=1.5	0.244
		B/d=3	0.259
		B/d=2.6	0.278
L/d=3.6	0.2877		
L/d=4.0	0.271		

3.2 수치계산

계산에 있어서 입사파 각은 사파(45°)의 상태에 대하여 $\lambda/L = 0.5 \sim 19$ 사이의 20개의 주파수 상태에 대하여 계산하였다. 요소 분할 수는 혼합형은 806개이고 사각형은 706개로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 두 모델의 비교

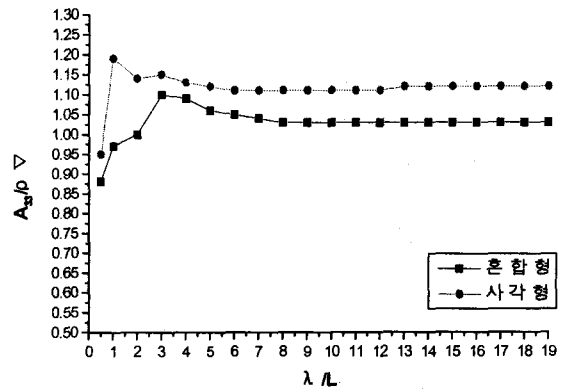


Fig.3. Comparison of heave added mass of two type

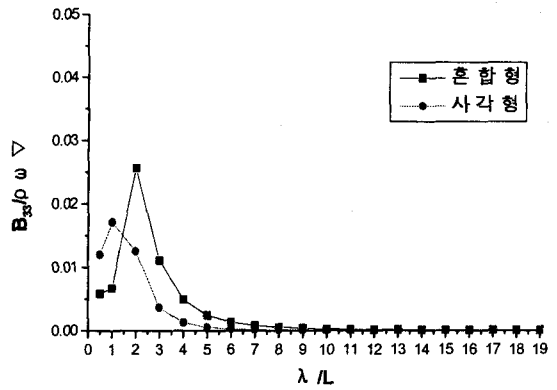


Fig.4. Comparison of heave damping coefficient of two type

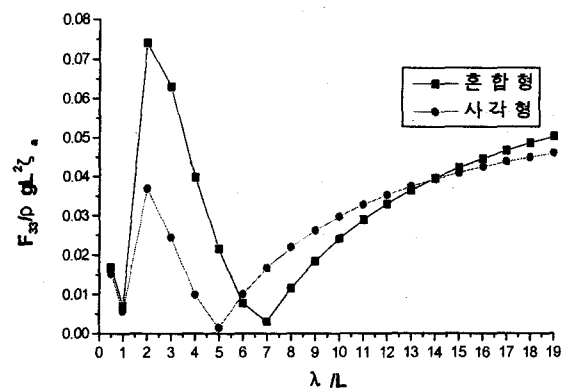


Fig.5. Comparison of heave exciting force of two type

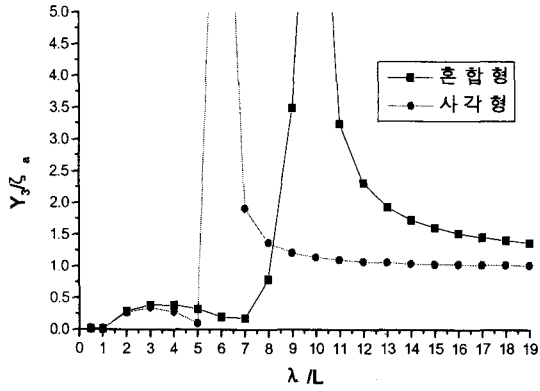


Fig. 6. Comparison of heave amplitude of two type

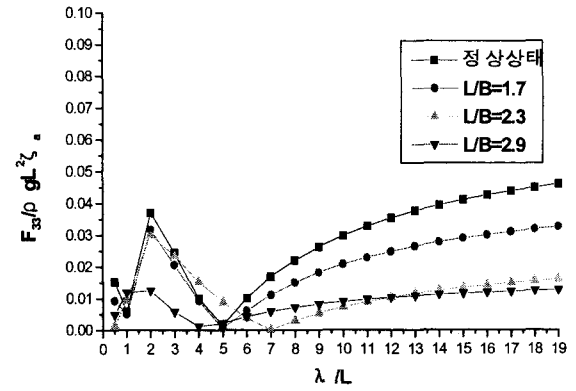


Fig. 7. Comparison of heave exciting force of the length variation

4.2 길이변화에 따른 비교

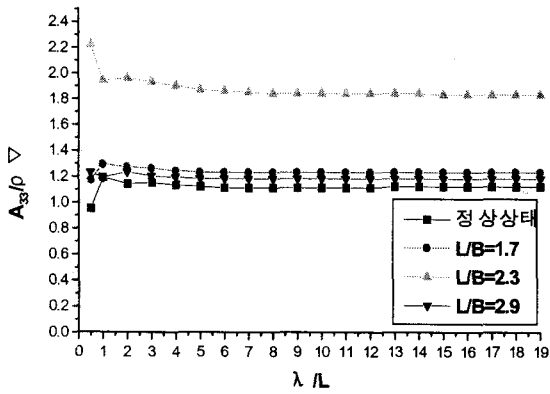


Fig. 7. Comparison of heave added mass of the length variation

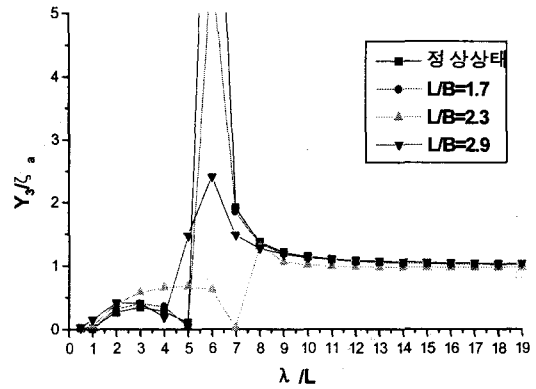


Fig. 8. Comparison of heave amplitude of the length variation

4.2 폭 변화에 따른 비교

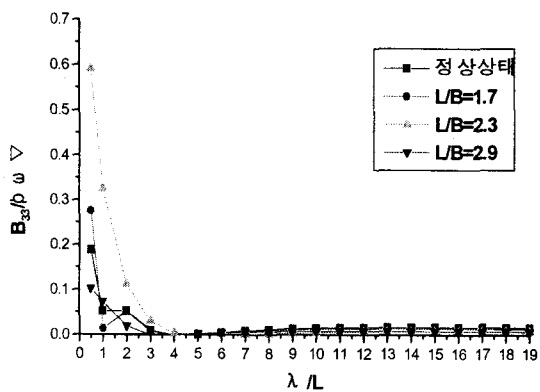


Fig. 4. Comparison of heave damping coefficient of the length variation

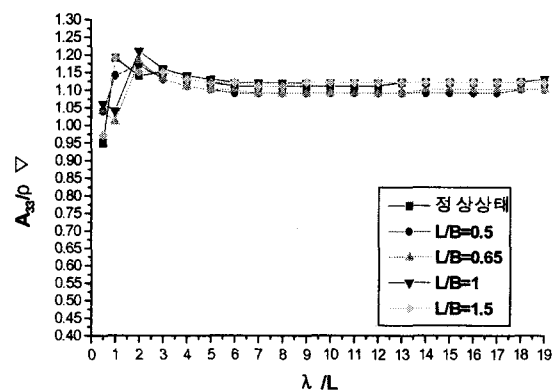


Fig. 9. Comparison of heave added mass of breadth variation

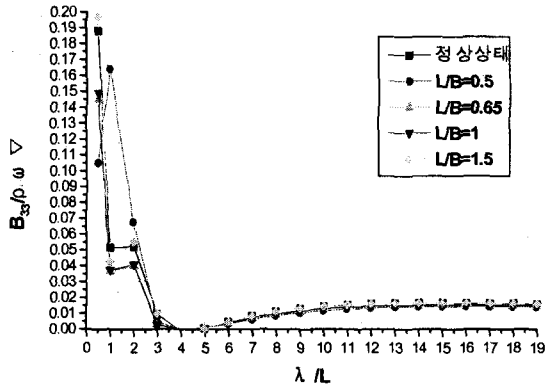


Fig.10. Comparison of heave damping coefficient of breadth variation

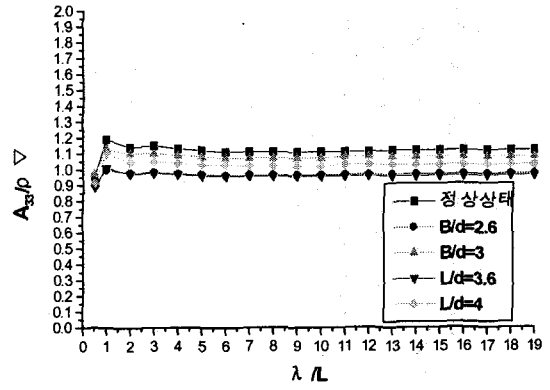


Fig.13. Comparison of heave added mass of draft variation

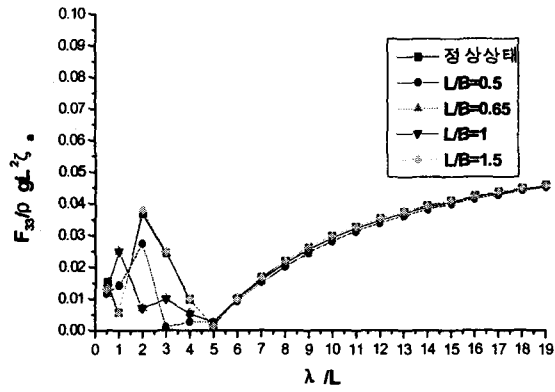


Fig.11. Comparison of heave exciting force of breadth variation

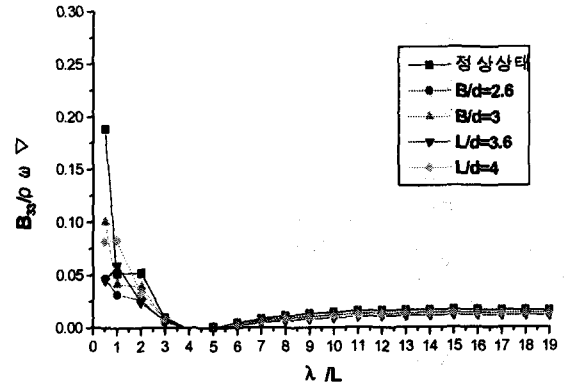


Fig.14. Comparison of heave damping coefficient of draft variation

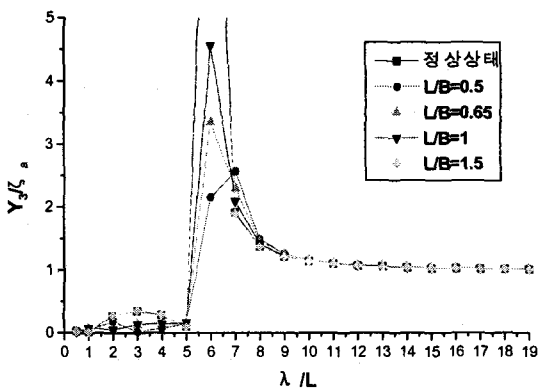


Fig.12. Comparison of heave amplitude of breadth variation

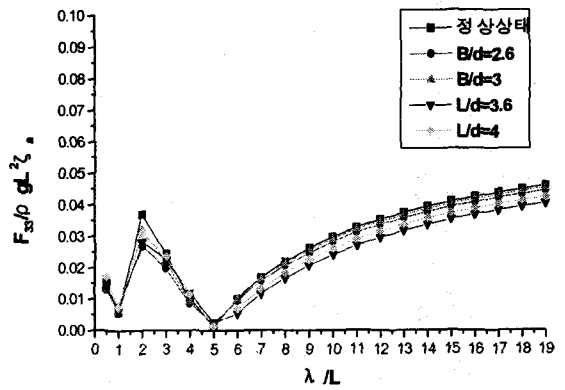


Fig.15. Comparison of heave exciting force of draft variation

4.3 흘수 변화에 따른 비교

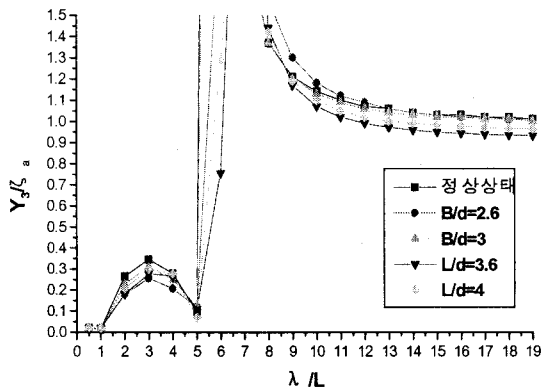


Fig.16. Comparison of heave amplitude of draft variation

5. 결론

계산을 수행한 결과 Fig.6.에서 보듯이 4각 Column을 가지는 경우가 원형 단면과 사각단면의 혼합형 Column을 가지는 경우보다 $\lambda/L=5$ ($T=2.75$) 이전에서 사각Column이 운동성능도 좋지만 공진주기가 빨리 발생하였다. 이러한 것은 형상에 따른 차이로 생각되어 진다. 4각 Column의 구조물의 길이를 변화시킨 Fig.8.에서 $L/B=2.3, 2.9$ 일 때 공진 주기내에서 공진이 현저히 줄어든 결과가 나왔지만 $L/B=1.7$ 일 때 가장 낮은 운동진폭을 보였다. 폭을 변화시킨 경우 Fig.12.에서는 $L/B=0.5$ 일 때 가장 낮은 운동진폭을 보였고, 흘수를 변화시킨 Fig.16.는 $B/d=2.6$ 에서 낮은 운동 진폭을 보였다.

차후에는 Series 형상에 대한 손상시 상태를 가정 대경사시의 동요진폭과 air gap등을 검토하여 계산을 수행하여 적합한 형상을 결정하도록 연구할 계획이다.

참고 문헌

[1] 田才福造

: Semi-Submersible Catamaran Hull의 規則波中의 運動について, 西部造船學會. 第40號, 1970

[2] Faltisen, O. M. & Michelson, F. C

: Motion of large structures in waves at zero froude number, international symposium on the dynamics of marine vehicles and structures in wave, 1974

[3] J. N. Newman

: The drift force and moment on ship in waves, J. S. R.(1965)

[4] Hajime Maruo

: The drift of a body floating on waves, J. S. R. vol.4(1960)

[5] 朴魯植

: 半潛水式 海洋構造物に働く 流體力に 關する 研究, 日本 廣島大學, 學位論文, 1984

[6] 野尻信弘

: 3次元浮體に働く變動壓力および波浪荷重の研究, 日本造船學會論文集, 第148號, 1980

[7] Kudo Kimiake

: The drifting force acting on a three-dimensional body in waves, J. society of naval architects o japan, Vol.141(1977)

[8] Hess, J. L & Smith, A. M. O

: Calculation of nonlift on potential flow about arbitrary three-dimensional bodies, J. S. R(1964)

[9] 日本造船研究協會

: 海洋構造物の 設計外力及び復原性に關する研究(1984)

[10] Numata, E.et al

: Assessment of Stability Requirements for Semi-submersible Units, TSNAME(1976)

[11] Takarada, N. et al

: The Stability on Semi-submersible platform in waves 2nd international conference on stability of ocean vehicle(1982)