

係留浮体の長周期 Surge 運動に対する付加質量の 波浪中の変化について

正員 木 下 健* 正員 庄 司 邦 昭**
正員 小 浜 広 志***

Low Frequency Surge-Added-Mass of a Moored Semi-Submersible Influenced by Incident Waves

by Takeshi Kinoshita, *Member*, Kuniaki Syouji, *Member*
Hiroshi Obama, *Member*

Summary

Low frequency added mass of a semi-submersible is increased by incident waves, similarly to low frequency damping. It can be 1.6 times value for still water and affects the resonant frequency of the slow drift motion as well as the amplitude of it. This is a very interesting phenomenon and there is no physical explanation to explain this yet. In order to investigate this phenomenon forced oscillation tests in regular waves were carried out not only for a total semi-submersible model but also several constituent models, those being the lowerhull, brace, column, column lowerhull, column brace, column brace of 2/3 narrowed breadth, column brace of 2/3 shortened length. It is important to elucidate this phenomenon on the design of mooring of a floating body.

The experiments show that the brace plays the most important role of the change of added mass of the semi-submersible model, and that the added mass increases proportionally to square of wave amplitude of incident waves rather than the wave amplitude itself.

1. 緒 言

浮体は位置保持のため錨鎖などで係留される事がある。実際の海面に緩係留された浮体は、その質量に比べて水平面内の運動の復原力が小さく固有周期が長い事が多い。波浪外力には波の周期で変動する一次波力と、非常に緩やかに変動する二次波力がある。二次波力は一次波力に比べ小さいが、surge, sway, yaw の係留系の固有周期と同調して大振幅運動を引き起こす。このような大振幅運動をともなう長周期運動は、過大な張力を発生させるため係留索の破断などの事故を引き起こすことになる。そのため係留浮体に作用する波浪中の長周期流体力を的確に把握することが重要課題となり数多くの研究が行なわれている。

長周期運動に関する研究は 1974 年の Pinkster ら¹⁾ によ

る長周期漂流力の研究以来、これまで主に波浪外力について研究が行なわれてきた。一方長周期運動の時系列シミュレーションも盛んに行われているが、定量的に満足できる手法が確立しているとはいえない。その原因の一つは波浪中での長周期運動における減衰力と付加質量の推定にある。本報では長周期運動に対する減衰力を長周期減衰力、付加質量を長周期付加質量と呼ぶことにする。

木下²⁾ は 1988 年にタンカー、箱型バージ、セミサブの三つの模型について、波浪中の長周期流体力を検出する実験を行なった。その実験装置は、一次波力による運動を許し、さらに模型の慣性力の影響を回避して精度良く長周期流体力を計測することができる。この実験により波浪中で長周期運動する係留浮体に働く減衰力と付加質量の特性を調べることができ、セミサブ模型の長周期付加質量は、時には静水中の二倍にも増加し、波の周波数に対して複雑に変化することを示した³⁾。なお長周期付加質量の波浪による変化は、Cao⁴⁾、加藤⁵⁾ も指摘しているが、その原因については明らかにされていない。

そこで長周期運動をする係留浮体の構成要素毎の付加質量の変化とその原因を模型実験によって詳しく調べる必要

* 東京大学生産技術研究所

** 東京商船大学

*** 三井造船(株)(論文作成時東京商船大学修士課程)

原稿受理 平成 4 年 7 月 10 日

秋季講演会において講演 平成 4 年 11 月 9, 10 日

があると考えた。セミサブ模型の波浪中の長周期付加質量の変化の原因となる構成要素を特定し、その構成要素の波浪による長周期付加質量の変化とその現象および原因の解明を試みることにした。

2. 実験および解析方法

2.1 実験方法

本研究に用いた強制動揺実験装置を Fig. 1 に示す。強制動揺実験装置は、サーボモーターとレールに沿って単振動をする動揺台車から構成されている。ワイヤーによって吊された模型は、その運動方向の両端を柔らかいバネを介し

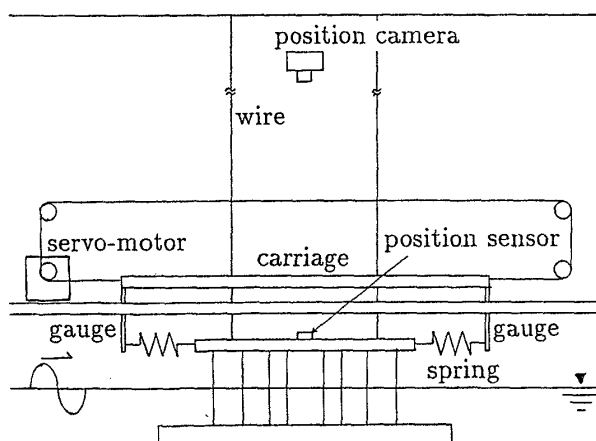


Fig. 1 Experimental equipment of forced oscillation test

て検力計に接続され、その検力計は動揺台車の運動方向の両端に装置されている。実験模型は動揺台車の単振動にもなって強制動揺される。固有周期 ($\approx$ 強制動揺周期) は、模型におもりをのせて調整できる。

この装置は、模型と検力計の接続に柔らかいバネを介することで、一次の波強制力による運動を許すとともに、動揺台車とレールの間などから生じる高周波ノイズが検力計に混入する事を避け、さらに強制動揺周期と模型の固有周期を近づけることで模型の慣性力の影響を回避して高い

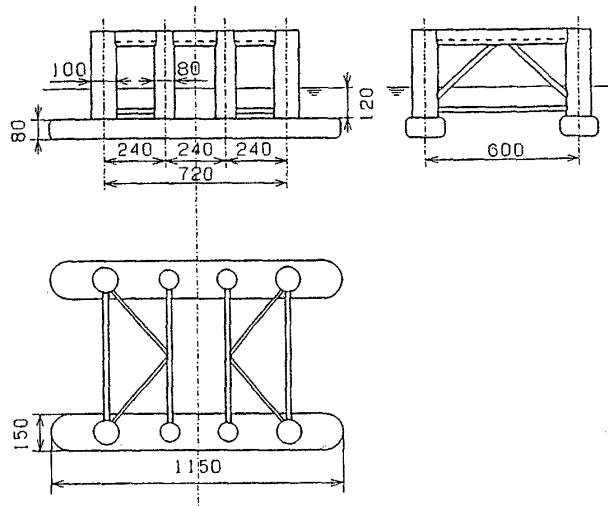
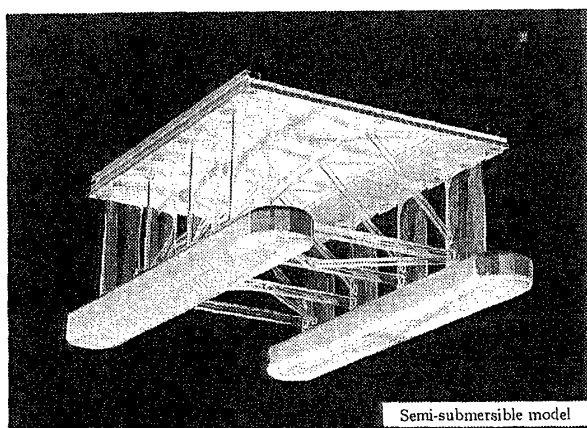
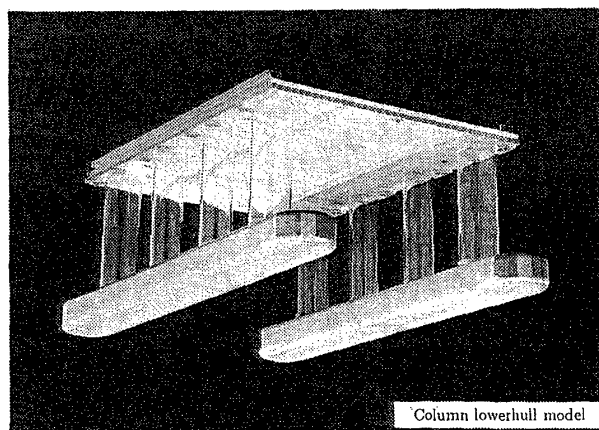


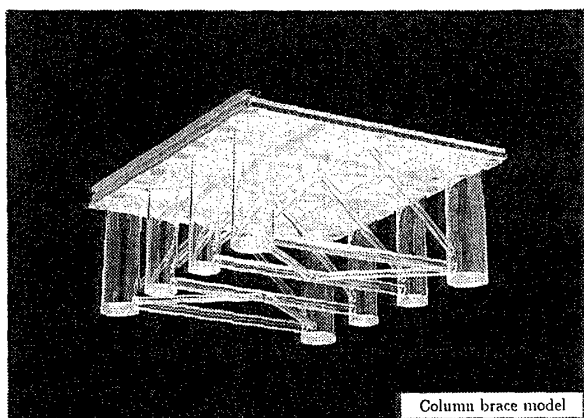
Fig. 2 Dimensions of a semi-sub. model (unit ; mm)



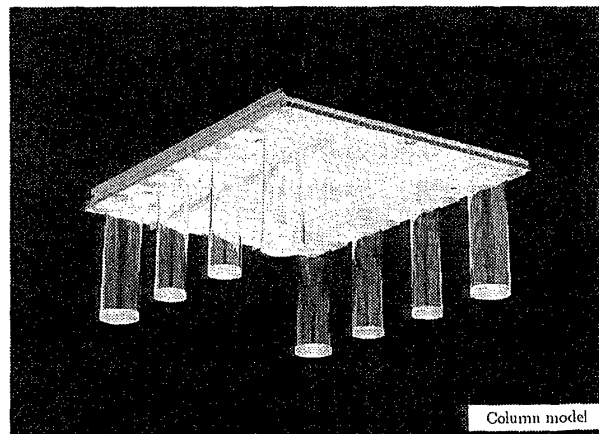
Semi-submersible model



Column lowerhull model



Column brace model



Column model

Fig. 3 Photographs of experimental models (continued)

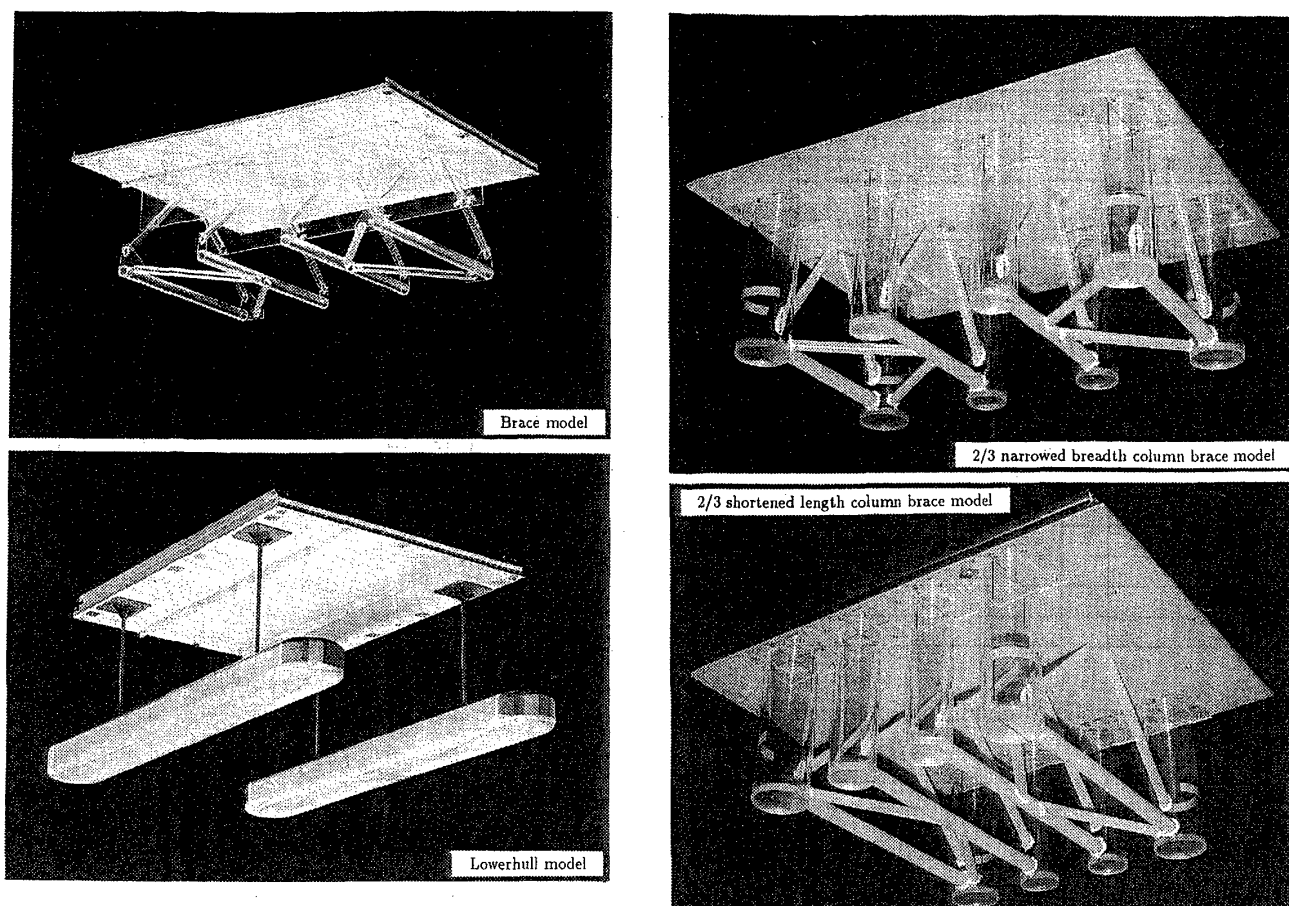


Fig. 3 Photographs of experimental models

Table 1 Principal particulars of each model

model	length: L(m)	breadth: B(m)	draft: h(m)	volume (m ³)
semi-submersible	1.15	0.60	0.20	0.0352
column brace	0.72	0.60	0.12	0.0077
2/3 length column brace	0.48	0.60	0.12	0.0081
2/3 breadth column brace	0.72	0.40	0.12	0.0075
column lowerhull	1.15	0.60	0.12	0.0337
column	0.72	0.60	0.12	0.0062
brace	0.62	0.52	0.10	0.0016
lowerhull	1.15	0.60	(0.20)	0.0276

精度で長周期流体力を計測することができる。実験は東京商船大学の船舶運航性能実験水槽 (54×10×2 m) で行なった。本実験は規則波を使用し、長周期運動を surge 方向だけに制限した。入射波は容量式波高計を、模型の変位は光学式ポジションセンサーを使って計測した。

セミサブの全体模型の詳細寸法は Fig. 2 に、おのこの模型の写真は Fig. 3 に、それらの模型の主要寸法は Table 1 に示す。実験模型として次の八種類を用いた。

(1) セミサブ模型

その構成要素模型として、

(2) コラム・ブレース模型

(3) コラム・ローハル模型

(4) コラム模型

(5) ブレース模型

(6) ローハル模型

構成要素部材の間隔による影響を調べるための、

(7) 2/3 幅コラム・ブレース模型

(8) 2/3 長さコラム・ブレース模型

である。これらの模型の構成要素のスケールは全てセミサブ模型と同一である。

おのこの模型について実験を行った長周期運動の周波数 ω_s と振幅 x_s および波の周波数 ω と振幅 ζ_a の組合せを、Table 2, 3 に示す。計測項目は、波の周波数 ω と振幅 ζ_a に対する長周期流体力の依存性を確認できるように考慮した。

2.2 解析方法

A/D 変換のサンプリング周波数は、エイリアシングと位相差の検出の精度を考え 200 Hz に設定した。

静水中および規則波中の強制動揺実験から適当と考えられた運動方程式は次の通りである²⁾。

$$(M + m + m_\infty + M_v + M_w) \ddot{x} + \int_0^t K(\tau) \dot{x}(t - \tau) d\tau + \frac{1}{2} \rho S (C_d + \Delta C_d) |\dot{x} - u| (\dot{x} - u) + D_w \dot{x} + kx$$

Table 2 Experimental condition of forced oscillation test

model	ω_s (rad/s)	model	ω_s (rad/s)
semi-submersible	0.77	column lowerhull	0.71
column brace	0.78	column	0.77
2/3 length column brace	0.73	brace	0.78
2/3 breadth column brace	0.73	lowerhull	0.78

$x_s=0.1(\text{m})$									
$\zeta_a(\text{m}) \backslash \omega(\text{rad/s})$	4.5	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.3
0.0				•					
0.01				•					
0.015	•	•	•	•	•	•	•	•	•
0.02				•					
0.025				•					
0.03				•					

Table 3 Experimental condition of forced oscillation test

$x_s=0.2(\text{m})$									
model	ω_s (rad/s)	$\zeta_a(\text{m}) \backslash \omega(\text{rad/s})$	4.5	5.5	6.5	7.0	7.5	8.5	
semi-submersible	0.93	0.02	•	•	•	•	•	•	
		0.025	•	•	•	•	•	•	
		0.02	•	•	•	•	•	•	
column brace	1.26	0.025	•	•	•	•	•	•	
		0.02	•	•	•	•	•	•	
		0.025	•	•	•	•	•	•	
brace	0.90	0.02	•	•	•	•	•	•	
		0.025	•	•	•	•	•	•	
brace	0.97	0.02	•	•	•	•	•	•	

$$=F^{(1)}+F^{(2)}+f_m \quad (1)$$

ここで x は運動の変位, M は模型質量, m は調整おりの質量, m_∞ は波周波数が無限大での付加質量のポテンシャル成分, $K(\tau)$ はラディエーション流体力のメモリー影響関数, ρ は水の密度, S は模型の没水部の垂直面への投影面積(ただし重なるコラムは本数分加えている。), u は波粒子速度, k は復原力係数, $F^{(1)}$ は一次の波強制力, $F^{(2)}$ は二次の波強制力, f_m は計測した力である。ここでラディエーション流体力は,

$$m_\infty \ddot{x} + \int_0^t K(\tau) \dot{x}(t-\tau) d\tau$$

であるが, このうち付加質量の項は長周期運動の周波数域での運動周波数に対する依存性は小さいので一定と考え, これを長周期付加質量のポテンシャル成分 M_p とする。また長周期運動において造波減衰力の項は無視できる。

長周期減衰力は静水中の単振動運動に対する粘性抗力係数 C_d , 波漂流減衰力係数(Wave drift damping 係数) D_w , 粘性抗力係数の波浪中増加分 ΔC_d に分けて考えることができる。静水中では,

$$(1) \text{ 粘性抗力係数: } C_d = C_d(t; K_c)$$

波浪中では, 次に示す成分が加わる。

$$(2) \text{ 波漂流減衰力係数 (Wave drift damping 係数): } D_w = D_w(t; \zeta_a, \omega)$$

$$(3) \text{ 粘性抗力係数の波浪中増加分: } \Delta C_d = \Delta C_d(t; \zeta_a, \omega, x_s, \omega_s)$$

長周期付加質量はポテンシャル成分 M_p , 単振動の長周期運動に対する粘性成分 M_v , 波浪中の変化分 M_w に分けられる。静水中では,

$$(4) \text{ 長周期付加質量のポテンシャル成分: } M_p = M_p(t; \omega_s)$$

$$(5) \text{ 長周期付加質量の粘性成分: } M_v = M_v(t; K_c)$$

波浪中では, 次に示す成分が加わる。

$$(6) \text{ 長周期付加質量の波浪中増加分: } M_w = M_w(t; \zeta_a, \omega, ?, \dots)$$

ただし, 先に述べた様に M_p は一定と考えられる。ここで ζ_a は波振幅, ω は波周波数, x_s は長周期運動の振幅, ω_s は長周期運動の周波数である。 K_c 数は $K_c = 2\pi x_s/B$ であり, B としてセミサブ模型の幅(0.6 m)を用いた。静水中では $D_w, \Delta C_d, M_w, F^{(1)}, F^{(2)}$ は存在せず, 規則波中では $D_w, \Delta C_d, M_w, F^{(2)}$ は一定である。したがって長周期強制動揺の運動方程式は静水中では,

$$(M+m+M_p+M_v)\ddot{x} + \frac{1}{2}\rho S C_d |\dot{x}| \dot{x} + kx = f_m \quad (2)$$

波浪中では,

$$(M+m+M_p+M_v+M_w)\ddot{x} + \frac{1}{2}\rho S (C_d + \Delta C_d) |\dot{x} - u| (\dot{x} - u) + D_w \dot{x} + kx = F^{(1)} + F^{(2)} + f_m \quad (3)$$

復原力係数 k は実測値を使った。

計測した運動の変位 x_s , 符号付速度の自乗項 $|\dot{x} - u|(\dot{x} - u)$, 力 f_m を一次のフーリエ係数を用いて表すと,

$$x = A_{k1} \cos \omega_s t + B_{k1} \sin \omega_s t = \mathcal{R}[(A_{k1} - iB_{k1})e^{i\omega_s t}] \quad (4)$$

$$|\dot{x} - u|(\dot{x} - u) = A_{k2} \cos \omega_s t + B_{k2} \sin \omega_s t = \mathcal{R}[(A_{k2} - iB_{k2})e^{i\omega_s t}] \quad (5)$$

$$f_m = A_{k3} \cos \omega_s t + B_{k3} \sin \omega_s t = \mathcal{R}[(A_{k3} - iB_{k3})e^{i\omega_s t}] \quad (6)$$

静水中の長周期付加質量 $M_p + M_v$ は, 次式から求められる。

$$M_p + M_v = \frac{k}{\omega_s^2} - \frac{A_{k1}A_{k3} + B_{k1}B_{k3}}{\omega_s^2(A_{k1}^2 + B_{k1}^2)} - (M+m) \quad (7)$$

波浪中での長周期付加質量の変化分 M_w は, 次のようになる。

$$M_w = \frac{k}{\omega_s^2} - \frac{A_{k1}A_{k3} + B_{k1}B_{k3}}{\omega_n^2(A_{k1}^2 + B_{k1}^2)} + \frac{\rho S}{2} (C_d + \Delta C_d) \frac{A_{k1}A_{k2} + B_{k1}B_{k2}}{\omega_s^2(A_{k1}^2 + B_{k1}^2)} - (M+m+M_p+M_v) \quad (8)$$

右辺第三項は粘性抗力係数によるものでセミサブ模型の場合、波浪中の長周期付加質量の変化分全体の1~2パーセントと小さいため考慮しない。

波浪中の減衰力増加は、ポテンシャル成分である Wave drift damping D_w と粘性抗力係数の波浪中増加分 ΔC_d から成るが、木下²⁾にしたがって分離できる。

3. 実験結果

3.1 構成要素模型

3.1.1 波振幅依存性

セミサブ模型およびその構成要素模型の波浪中の長周期付加質量とセミサブ模型の排水質量 M_s の比を波浪幅を横軸にして Fig. 4 に示す。 L はセミサブ模型の全長 (1.15 m) を使った。おのおのの模型とも入射波の振幅に対して二次曲線的に増加している。なお、図中の曲線は最小二乗法で求めた二次曲線である。セミサブ模型の静水中の長周期付加質量はセミサブ模型の排水質量の約五割に相当するほど大きい。また波浪中のセミサブ模型の長周期付加質量は、 $\zeta_a/L=0.029$ で静水中の 1.6 倍になっている。コラム・ブレース模型の長周期付加質量の変化傾向はセミサブ模型の変化傾向に良く似ており、その大半を成している。またコラム・ブレース模型の構成要素であるブレース模型の長周期付加質量はコラム模型の長周期付加質量より大きく、波振幅に対する増加傾向も大きいことがわかる。

このことからセミサブ模型の長周期付加質量の波浪による変化ではブレースの演じる役割が大きいことがわかる。

高岩⁶⁾ はセミサブ模型の長周期付加質量の波浪による変

化分は波振幅に比例して増加するとした。しかし、より詳しく実験した今回の結果により、セミサブ模型およびその構成要素模型の長周期付加質量の波浪による変化分は波振幅の自乗に比例して増加することが明らかになった。

3.1.2 波周波数依存性

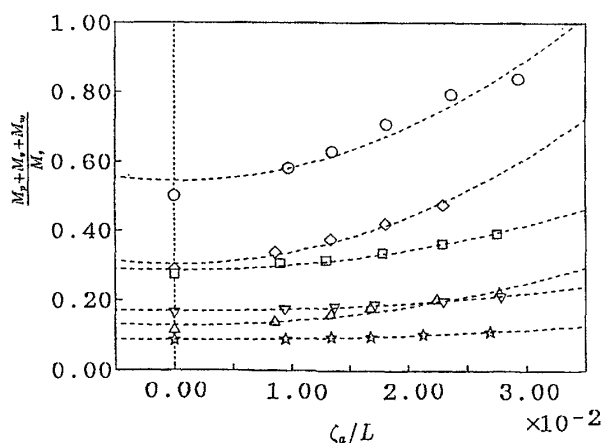
Fig. 5 は長周期付加質量の波浪による変化分を波振幅の自乗を使って無次元化し、波周波数でまとめたものである。コラム・ブレース模型の長周期付加質量の波浪による変化分はセミサブ模型の変化分の大半を形成している。そこでコラム・ブレース模型の構成要素であるコラム模型とブレース模型の長周期付加質量の変化分について比較する。ブレース模型の波浪による変化量はコラム模型の変化量の二倍以上と大きい。さらにブレース模型の波浪による変化分の波周波数に対する変化傾向はコラム・ブレース模型の変化傾向と良く似ている。一方コラム模型の変化分の変化傾向はコラム・ブレース模型の変化傾向と異なっている。

したがって Fig. 5 からセミサブ模型の長周期付加質量の波浪による変化にはブレースが大きな役割を演じていることがわかる。

3.1.3 運動周波数依存性

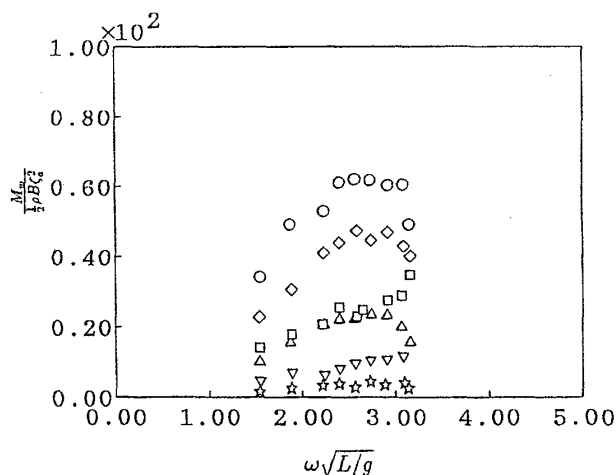
Fig. 6 は無次元化した長周期付加質量の波浪による変化分を運動周波数についてまとめたものである。セミサブ模型とコラム・ブレース模型の長周期付加質量の波浪による変化分は、運動周波数が高くなるにしたがって減少する傾向にある。

3.2 相互干渉影響



$\omega=7.0(\text{rad/s}), K_c=1.047$					
the least squares error parabola					
mark	model	$R_a (\times 10^{-4})$	mark	model	$R_a (\times 10^{-4})$
○	semi-submersible	7.160	▽	column	7.160
◇	column brace	6.927	△	brace	7.218
□	column lowerhull	6.578	☆	lowerhull	7.218

Fig. 4 Ratio of low frequency added mass in waves to mass of the semi-sub. model —wave amplitude dependence—



$\zeta_a=0.015(\text{m}), K_c=1.047$					
mark	model	$R_a (\times 10^{-4})$	mark	model	$R_a (\times 10^{-4})$
○	semi-submersible	7.160	▽	column	7.160
◇	column brace	6.927	△	brace	7.218
□	column lowerhull	6.578	☆	lowerhull	7.218

Fig. 5 Non-dimensional added mass change due to waves of each model —wave frequency dependence—

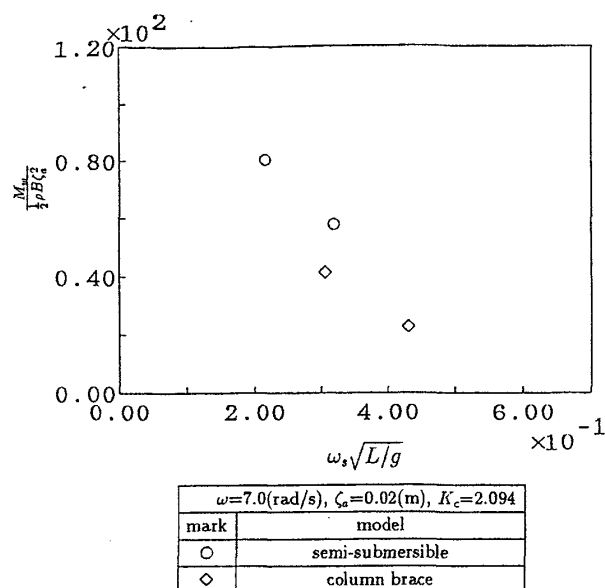


Fig. 6 Non-dimensional added mass change due to waves of each model —motion frequency dependence—

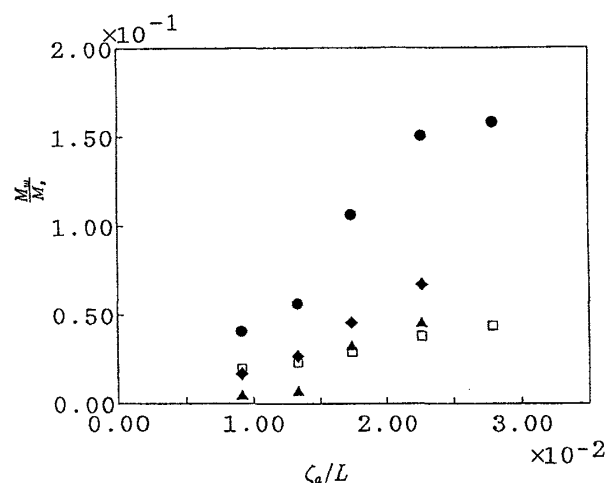


Fig. 7 The interaction among constituent models — wave amplitude dependence—

セミサブ模型の構成要素間の相互干渉影響による長周期付加質量その波浪による変化分を波振幅および波周波数について以下に考察する。

すなわち、実験模型としては、

- 1) セミサブ模型
- 2) コラム・ブレーシング模型
- 3) コラム・ローハル模型

その構成要素模型として、

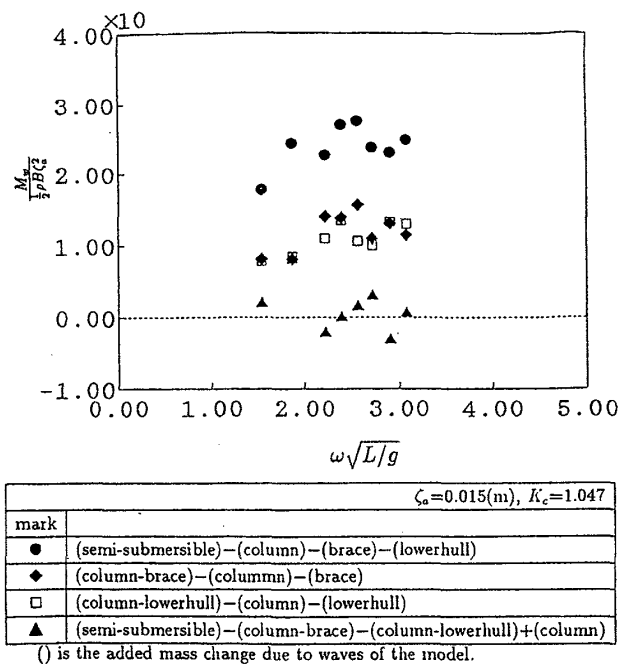


Fig. 8 The interaction among constituent models — wave frequency dependence—

a) コラム模型

b) ブレーシング模型

c) ローハル模型

の6つの模型の実験結果を用いて考察する。構成要素間の相互干渉影響による長周期付加質量の波浪による変化分は、模型1)2)3)の結果からその構成要素模型a)b)c)の結果を差し引いて求められる。ここでは、模型の端部影響は考慮していない。

3.2.1 波振幅依存性

Fig. 7は相互干渉影響による長周期付加質量の変化分を波振幅でまとめたものである。コラムとローハルの組み合わせの相互干渉影響(□)はコラムとブレーシングの組み合わせ(◆)および全部材の組み合わせ(●)の相互干渉影響より小さい。

相互干渉影響による長周期付加質量の変化は、波振幅が小さいときはコラムとブレーシングの組み合わせ(◆)とコラムとローハルの組み合わせの相互干渉影響(□)が同程度に大きく、波振幅が大きくなるにしたがってコラムとブレーシングの組み合わせの相互干渉影響が大きくなる。

3.2.2 波周波数依存性

Fig. 8は相互干渉影響による長周期付加質量の変化分を波周波数でまとめたものである。コラムとブレーシングの組み合わせ(◆)およびコラムとローハルの組み合わせ(□)による相互干渉影響は、全部材の組み合わせ(●)による相互干渉影響の変化傾向と良く似ている。

したがって、波振幅依存性および波周波数依存性の結果からコラム、ブレーシング、ローハルの相互干渉影響の

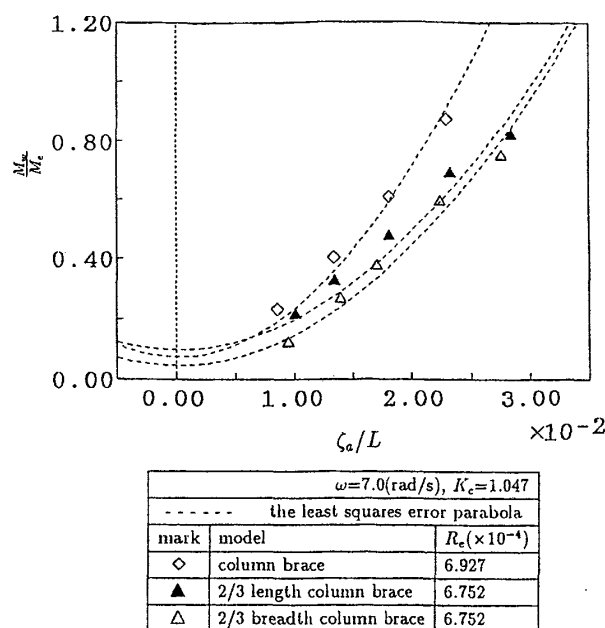


Fig. 9 Ratio of added mass change due to waves to mass of each model —wave amplitude dependence—

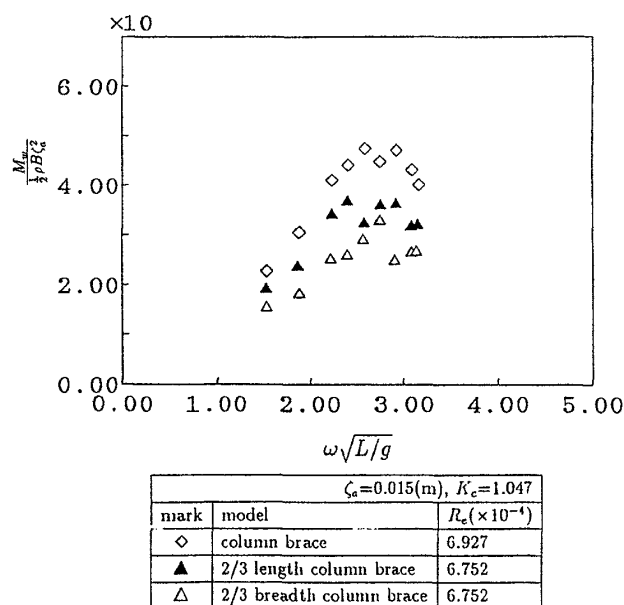


Fig. 10 Non-dimensional added mass change due to waves of each model —wave frequency dependence—

中で大きい波振幅ではコラムとブレーシングの組み合わせによる相互干渉影響が最も大きいことがわかる。

3.3 構成要素の間隔を変化させた模型

以下に長周期付加質量の波浪による変化分に対する構成部材の間隔の影響について述べる。実験には長周期付加質量に最も大きな影響を持つコラム・ブレーシング模型を用いた。ここでコラム・ブレーシング模型をオリジナル模型、2/3 幅コラム・ブレーシング模型を幅狭模型、2/3 長さコラ

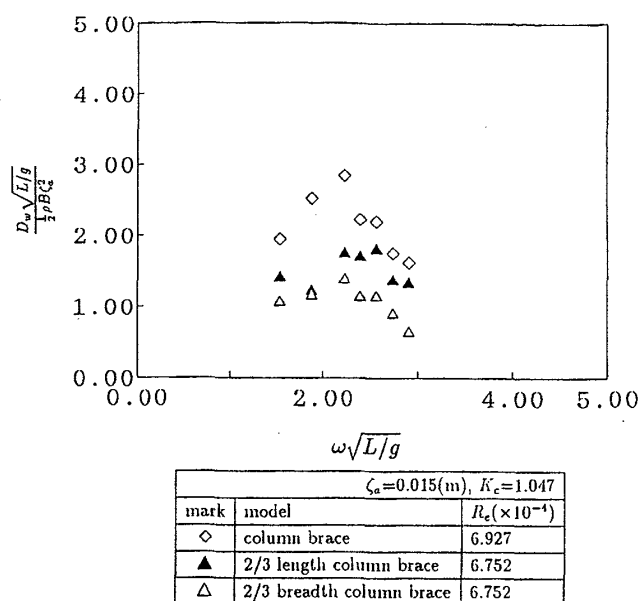


Fig. 11 Wave drift damping coefficient of each model —wave frequency dependence—

ム・ブレーシング模型を縦詰模型と呼ぶ。

3.3.1 波振幅依存性

Fig. 9 におおのこの模型の排水質量 M_e に対する長周期付加質量の波浪による変化分の比を波振幅でまとめたものを示す。幅狭模型と縦詰模型の長周期付加質量の波浪による変化分もオリジナル模型と同様に波振幅の自乗に比例して増加している。また両模型ともオリジナル模型の長周期付加質量の変化分と比べて小さく、その変化傾向は緩やかである。

3.3.2 波周波数依存性

Fig. 10 は長周期付加質量の波浪による変化分を波振幅の自乗を使って無次元化し、波周波数についてまとめたものである。オリジナル模型と幅狭模型はほぼ同じ波周波数でピークを示したが、縦詰模型はオリジナル模型より低い波周波数のところでピークを示している。このように、構成部材の間隔は長周期付加質量の波浪による変化分に影響を与えている。

3.4 Wave drift damping

Fig. 11 は Wave drift damping を無次元化したものを波周波数についてまとめたものである。

オリジナル模型と幅狭模型は同じ波周波数のところでピークを示す。一方縦詰模型はオリジナル模型より高い波周波数でピークを示している。すなわち構成要素の間隔は Wave drift damping にも影響を与えている。

Fig. 12 は無次元化した Wave drift damping 係数を運動周波数についてまとめたものである。Wave drift damping 係数は、セミサブおよびコラム・ブレーシングの両模型とも運動周波数が高くなるに連れて増加傾向にある。

3.5 Kramer-Kronig の関係

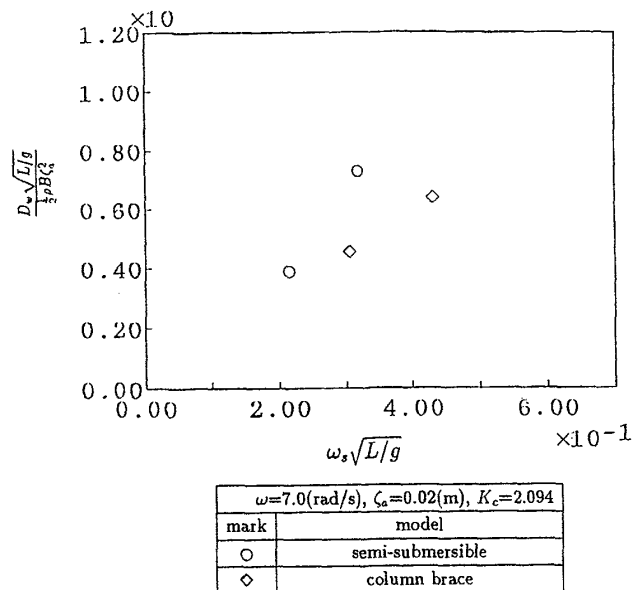


Fig. 12 Wave drift damping coefficient of each model
—motion frequency dependence—

残念ながら, Fig. 6, 12 は二つの運動周波数についてしか示されていないために, Kramer-Kronig の関係

$$M_w(\omega_s) - M_w(\infty) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty D_w(\omega'_s) \frac{d\omega'_s}{\omega_s'^2 - \omega_s^2}$$

$$D_w(\omega_s) = -\frac{2}{\pi} \int_0^\infty \{M_w(\omega'_s) - M_w(\infty)\} \frac{\omega_s'^2}{\omega_s'^2 - \omega_s^2} d\omega'_s$$

($\oint$ はコーシー主値積分を示す。)

を詳しく調べるためには十分ではない。しかしながら長周期付加質量の波浪による変化分には, Wave drift damping が存在する以上, 因果関係から存在しなければならない成分があるはずである。これらは波浪中の浮体運動の線形応答の長周期流体力係数である。この時, 波浪は場の条件になる。なお, それらは波振幅に対しては二次の応答を示す。以上のことから, 波浪中の長周期付加質量の変化分には Wave drift added mass と呼ぶべき成分が含まれていると考えられるであろう。

3.6 運動への寄与

長周期付加質量の波浪中変化の運動への寄与を時系列シミュレーション結果を用いて示す。Fig. 13 は木下ら³⁾ の行った 2 成分波中における時系列シミュレーションと実験の結果である。上段は実験に使用し波のデータで, 中段はすべての長周期流体力すなわち $C_d, M_p + M_v$ の運動振幅影響を考慮し, 波浪中の長周期付加質量の変化分 M_w は, 半波毎の波浪幅と波周波数から時間ベースで計算したものである。下段は $M_w = 0$ として計算したものである。長周期付加質量の波浪による変化分 M_w を取り入れないと位相ずれを生じている。

不規則波中の場合を Fig. 14 に示す。20 分の時系列のパワースペクトルである。半波毎の波振幅と周期により M_w の

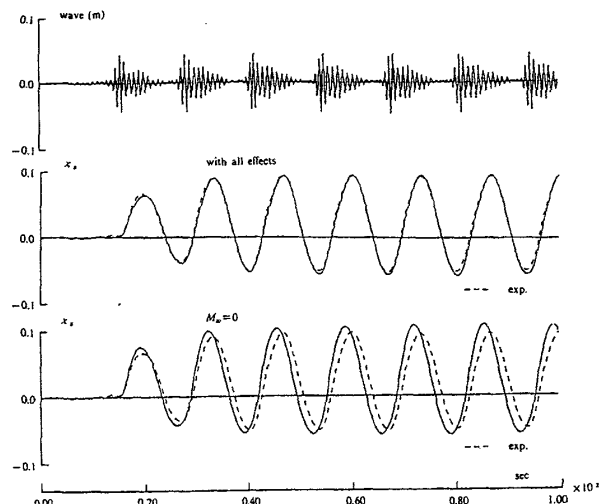


Fig. 13 Simulated time histories of surging motion of a semi-submersible in regular wave groups ($\omega_1 = 7.0, \omega_2 = 7.47 \text{ rad/sec}$)

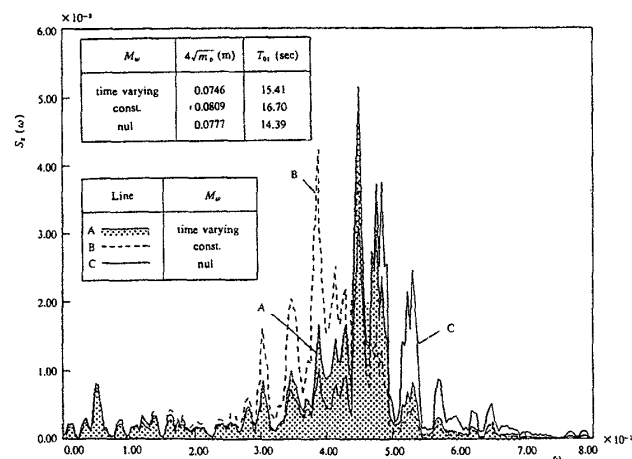


Fig. 14 Spectrum of surging motion of a semi-submersible in irregular waves (JONSWAP, $4\sqrt{m_0} = 0.050 \text{ m}, T_{01} = 0.892 \text{ sec}$)

時間変化を考慮した A の場合と, M_w を考慮していない C の場合では周期とともにパワーにも明らかに差がある。A の場合と, M_w を一定とした B の場合でもパワー, 固有周期に違いが示されている。

4. 結 言

規則波中の長周期強制動揺実験の結果から以下に述べる結論が得られた。

- 1) セミサブ模型およびその構成要素模型の前後揺長周期付加質量は波振幅の自乗に比例した増加傾向を示した。
- 2) セミサブ模型の前後揺長周期付加質量の波浪による変化分はブレーシングが大きな役割を演じている。
- 3) コラム, ブレーシング, ロワーハルの組み合わせによる前後揺長周期付加質量の波浪中変化分の相互干渉影響

は、コラムとブレーシングの組み合わせによるところが大きい。

4) セミサブ模型の構成要素部材の間隔は長周期付加質量の波浪による変化分に影響を与えている。また Wave drift damping にも影響を与えている。

5) 長周期付加質量の波浪による変化の中には、Wave drift damping とともに存在し、因果律から Kramer-Kronig の関係を満足するはずの成分が含まれている可能性がある。しかし実験データが不足しているために、この関係を詳しく確認することはできなかった。なお、左右揺の長周期付加質量についても波浪により同様の変化をするのが予想されるが、詳しくは別の実験を待たねばならない。

参 考 文 献

- 1) Pinkster, J. A.: *Low Frequency Phenomenon Associated with Vessel Moored at Sea*, Soc. of Petroleum engineers of AIME, SPE, Paper No. 4837, (1974).
- 2) 木下 健, 高岩千人: 係留浮体の波浪中強制動揺試験について(第2報), 日本造船学会論文集, 第164号(1988), pp.143-150.
- 3) 木下 健, 高岩千人, 村上高宏, 増田光一: 波標流域衰力と長周期付加質量を考慮した浮遊式海洋構造物の波浪中長周期運動シミュレーションについて, 日本造船学会論文集, 第166号, (1989), pp.151-162.
- 4) Cao, J. Z., Fu, Y. G. and Feng, Y.: *The Low-Frequency Hydrodynamic Coefficients in Surge for a Semi-Submersible*, 5th Tokyo OMAE Symposium, (1986).
- 5) Kato, S. and Ando, S.: *Statistical Analysis of Low Frequency Responses of a Moored Floating Offshore Structure (1st report)*, Papers of Research Institute, Vol. 23, No. 5, (1986).
- 6) 高岩千人: 波浪中で長周期運動する浮遊式海洋構造物に働く減衰力と付加質量に関する実験的研究, 日本大学大学院博士論文, (1989).