

建造中の長方形浮遊構造物にかかる波漂流力

P. S. Renukaradhya*・長 崎 作 治**

1. 概 要

海洋工学を応用した海洋プラットフォーム、海洋プラントなどの開発には最近特に目ざましいものがある。生産、貯油プラットフォームとして重力型コンクリート構造物が水深 70~150m の北海に 1973 年以来設置され、その数は 13 基に達した。

重力型コンクリート構造物はまず仮設のドライドックでいかだ基礎を建造し、ドライドックから曳き出し、水深 60m 程度の沖合に係留し、構造物の浮力を利用しながらスリップフォームを用いたコンクリート打設工法によって全構造物を 1~2 年を要し、建造する。

この建造期間中、浮遊構造物は喫水深の増加にともなうかなり厳しい風、波浪、流れなどの環境外力を受ける。このうち特に波漂流力が大きく係留ラインの引張力にかなり影響する。

本文はこの重力型コンクリート構造物（長方形浮遊構造物）の建造期間中における波漂流力と喫水深との関係モデル実験から求め考察したものである。

波漂流力は深海では十分研究されているが、浅海では十分とはいえない。それは深海から浅海にいたる波浪は規則波から Stokes 波そして Cnoidal 波に変化すること、また構造物の喫水深対水深比が大きくなると浅海の影響を一層大きく受けることなどによる。

したがって、これらの影響に対する波漂流力を調査することが必要である。

本文では特に次の事項について調査した。

a) 波浪進行方向における構造物の幅に対する波長比、波周期、波形こう配と漂流力係数（反射係数）との関係また深海と浅海における喫水深を変えた場合の上記の比較

b) 波漂流力の実験値と理論値を比較し、さらに浅海喫水質量輸送が上述の各ケースについて波漂流力にどのように影響するか求めた。

2. 波 漂 流 力

漂流力の算定式としては波の反射を考慮した丸尾教

授¹⁾の理論式と上下ゆれと前後ゆれとの位相差を考察した田才教授²⁾の理論式がある。

a) 反射波より求める方法

規則波による単位幅あたり漂流力 ΔF は次式で示される。

$$\Delta F = \frac{1}{2} \rho g \bar{A}^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

今、反射波の方向が入射波の方向と正反対で、側面における分散が無い場合、反射波の振幅は

$$\bar{A} = \zeta_a \cdot R \quad \dots\dots\dots (2)$$

本式は深海において有限の喫水を持つ単位幅あたり垂直壁に用いる事が出来る。(1)に(2)を代入すると

$$\Delta F = \frac{1}{2} \rho g [\zeta_a R]^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

反射係数は波の振動数 $1/T = \omega$ の関数で、全構造物に働く力は(3)を幅方向に積分する事によって求まる。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho g B [R \zeta_a]^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

b) 動揺位相差より求める方法

反射波の振幅 $\bar{A}$ は、物体を固定した時の反射波と物体を浮かした時の反射波との合計で示すことができる。

横ゆれが無視でき、上下ゆれと前後ゆれのみ浮体が行う時、幅 B の浮体が受ける漂流力は

$$F_D = \frac{1}{2} \rho g B \zeta_a^2 \cos^2(\varepsilon_z - \varepsilon_x) \quad \dots\dots\dots (5)$$

または

$$F_D = \frac{1}{2} \rho g B \zeta_a^2 C_s \quad \dots\dots\dots (6)$$

c) 浅海における波漂流力

浅海における波漂流力は

$$F_D = n \rho g |\bar{A}|^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで n は浅海係数で

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

h が無限大になると、上述の係数は $1/2$ となる。

上下ゆれと前後ゆれとの位相差 $(\varepsilon_z - \varepsilon_x)$ は井島教授の方法からも求まる。

* 学生会員 東海大学大学院海洋学研究科（博士課程）

** 正 会 員 東海大学教授 海洋学部海洋土木工学科

3. 実験

喫水深を変えた長方形浮遊構造物の規則波による波漂流の実験は2次元水槽（長さ 38 m, 高さ 0.6 m, 幅 1.0 m, フラップタイプ波浪造波機付）と三次元水槽（長さ 10.8 m, 深さ 1.25 m, 幅 4.35 m, プランジャータイプ造波機付）で実施した。

モデル実験条件を表—1 に縮尺 1:200 のモデルの諸特性を表—2 に示す。

a) 波漂流力の測定

波浪進行方向における波漂流力は図—1 に示されるように反対方向においたウェイトで、作用力を釣合わせることによって正確に測定できる。

b) 前後ゆれと上下ゆれとの位相差の測定

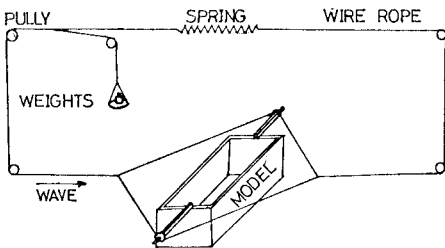
前後ゆれと上下ゆれとの測定は、モデルに加速度計を重心位置に取付け、オシログラフに記録させて求める。深海と浅海における各喫水に対する波浪変数と波漂流力係数（反射係数）を計算し、実験値と比較した。

表—1 Principal particulars of model study

Particulars	Prototype	Model
Size of Structure	98 m×50 m×60 m	98 cm×50 cm×60 cm
Water depths	40 m, 110 m	40 cm, 110 cm
Wave height	0.7 m to 13 m	0.7 cm to 13 cm
Wave period	4 sec to 36 sec	0.4 sec to 3.6 sec
Model drafts	5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m	5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm

表—2 Principal particulars of model

Draft	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
Weight (kg)	24.4	46.5	71.6	98.4	121.4	147.3
Natural period(sec)						
Rolling	1.55	1.72	1.33	1.32	1.26	1.40
Heaving	1.20	1.27	1.42	1.59	1.51	2.00
GM (cm)	25.6	13.4	12.0	11.7	11.8	13.2



図—1 Experimental set-up

4. 結果と考察

(1) 深海条件

a) 波形こう配 H/L との関係

反射係数 R (漂流力) は波形こう配 0 から 3% にか

て急激に増加し, 3% を越えると一定となる. この傾向は全喫水とも 3% までは同一で, 3% を越え, 喫水が深くなると R は少し小さくなる. このことは喫水深が増加すると自重も増加し, 一層安定することによるものと思われる. 係数 C_s の変化は R 曲線とほぼ同一であるが, 波形こう配 0~2.0% で急激に増加する.

位相差の増加は波形こう配が 2% を越えるとあまり大きくならないことでも説明できる. R と C_s はそれぞれ一致した.

b) L/B との関係

L/B が増加するとつまり波浪周期が増加すると反射係数 R は減少する.

この場合波長が 0.5 m から 3.0 m になると反射は 90% から 60% に減少する. この変化は全喫水とも同一である. 係数 C_s は R とほぼ等しくなる.

c) 波浪振動数との関係

反射係数 R は振動数 0.5 sec^{-1} まで, 無視できるほど小さい. 0.5 sec^{-1} と 1.0 sec^{-1} 間では, R は急激に増加する. 1.0 sec^{-1} を越えるとほぼ一定となる. 1.0 sec^{-1} までの変化は全喫水とも同一であるが 1.0 sec^{-1} を越えると喫水深が大きいほどすこし小さくなる. 係数 C_s の変化は R とほぼ同一であるが最小値 1.0 sec^{-1} でなく 1.5 sec^{-1} で得られた.

d) 実験値 R と C_s と理論反射係数 R_T との比較

図—2 は喫水 20 cm における理論値と実験値を比較したもので, 理論値の 0.6 sec^{-1} の小さなピークは実験値のカーブからは求まらなかった. これは実験値がばらつきピークを求めることができなかったためである. R_T と R とはよく一致している. R_T と C_s が少し差があるのは, オシログラフからの位相差を正確に計測, 解析することが難しかったからである.

(2) 中間波および浅海波の条件

a) 反射係数 R と波形こう配 H/L との関係

H/L が 0 から 2.5% まで増加すると, R も急激に増加する. $H/L=3.0\%$ で $R=0.8$ となる. その後は H/L が増加しても R は一定の値を保つ. H/L が 0~2.5% では喫水が大きくなると R は特に大きくなる. H/L が 3.0% 以上となる喫水の影響は見られない (図—3). 係数 C_s も R と同様の変化を示した. 以上のケースから浅水影響のはっきり確認された. 浅水に対する影響は喫水が大きくなるほど顕著といえる.

b) L/B との関係

R は H/L が 2.0%~5.2% の間で増加し, 極大となる. 5.1% 以上になると減少する. しかし喫水が増加すると R の最大値は次第に小さくなり, 横軸 L/B の右側に位置を占め, したがって喫水が大きくなると長周期波の影響をうけるので注意しなければならない (図—4).

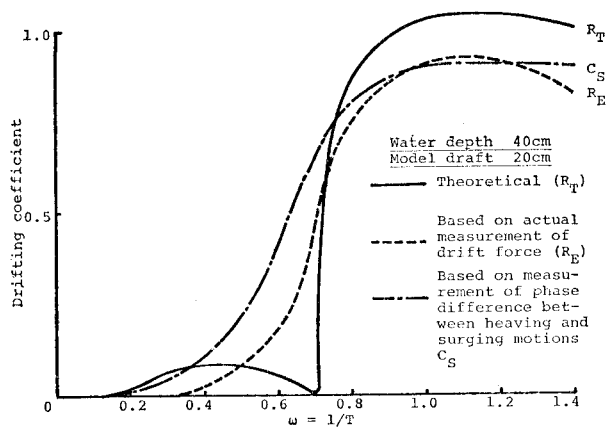


図-2 Comparison of theoretical values of drifting coefficients with experimental values

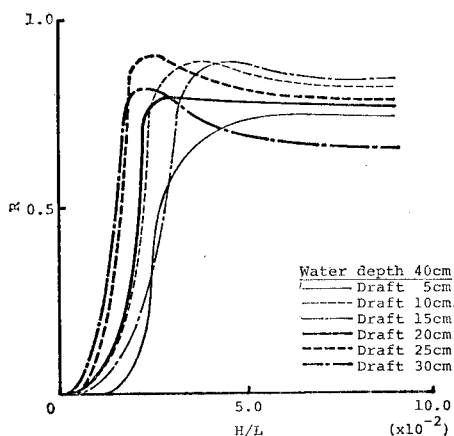
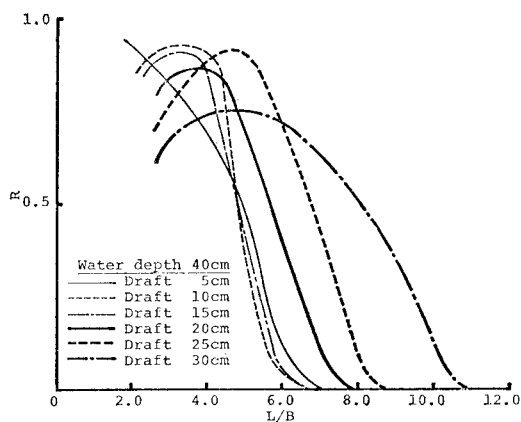
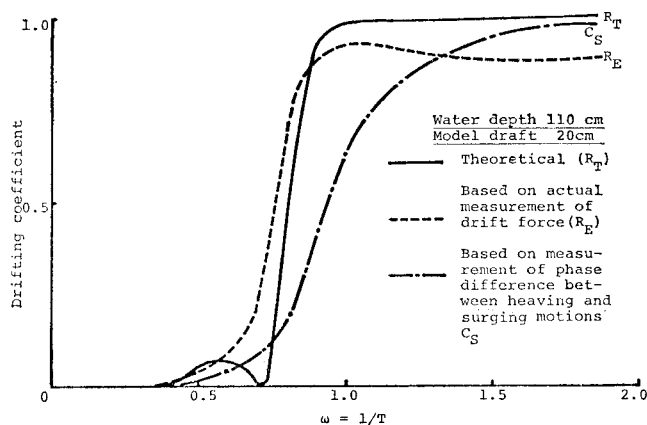
図-3 Reflection coefficient R versus wave steepness H/L 図-4 Reflection coefficient R versus wave length to model width ratio L/B 

図-5 Comparison of theoretical values of drifting coefficients with experimental values

C_S も R と同様となった。

c) 波浪振動数による変化

振動数が小さいと R は無視出来る。振動数が $0.36 \sim 0.80 \text{ sec}^{-1}$ の間で R は急激に増加する。 0.8 sec^{-1} 以上になると R は喫水が浅いほど次第に大きくなる。しか

し喫水の大きいとき、減少してからまた、増加しはじめる。 C_S も喫水の影響はほぼ同様であった。

d) 理論値との比較

反射係数の理論値 R_T と喫水 20 cm 時の実験値 R , C_S との比較を図-5に示す。理論値 R_T の左側の頂点は、

実験ではデータがばらついて求まらなかった。 R_T と R は同一傾向を示した。振動数が大きくなると理論値は実験値よりも大きくなる。喫水の浅い 5 cm, 10 cm の場合は、深海、浅海とも同一傾向を示した。喫水の違いによる漂流力は深海より浅海の方が大きい。なお、構造物の固有周期と波浪周期が一致すると共振状態がみられた。

5. 結 論

a) 深海においては、構造物の喫水は漂流力に影響しない。

b) 浅海では水深と構造物の喫水との関係が大きく漂流力に影響する。

構造物の喫水が水深の $1/4$ より小さくなると、質量輸送による影響は浅水時の影響よりも大きい。しかし、 $1/4$ 以上に喫水がなると、次第に浅水影響が大きな割合を占めてくる。

c) 実測漂流力から計算した係数 R と上下ゆれと前後ゆれとの位相差から求めた係数 C_s とはよく一致し、

さらに理論計算値ともよく一致した。

記 号

F_D =漂流力	ρ =流体密度
g =重力加速度	ω =波振動数
T =入射波周期	k =波数
L =入射波長	B =構造物の幅
H =入射波高	ζ_a =入射波振幅
$\bar{A}$ =反射波振幅	ε_s =上下ゆれと入射波との位相差
R =反射係数	
C_s =漂流力係数	ε_s =前後ゆれと入射波との位相差
h =水深	

参 考 文 献

- 1) Maruo, H.: The drift of a body floating on waves, Journal of Ship Research, Vol. 4, No. 3, December 1960.
- 2) Tasai, F.: On the drifting force for cylinders on waves (in Japanese), Kansai Zosen Kyokai, No. 152, March 1974.