

# Wave Response Analysis and Future Direction of Mega-Float



Park Sung Hyeon

Mokpo Maritime University : Park Sung Hyeon

Korea Maritime University : Park Sok Chu

## Contents

1. Summary
2. Background of this Study
3. Introduction of Mega-Float
  - 3.1 Features of Mega-Float
  - 3.2 Future Application of Mega-Float
4. Purpose of this Study
5. Theory of Response Analysis
6. Model of Mega-Float for Analysis
7. Result of Response Analysis
  - 7.1 Result of Response by Wave Length
  - 7.2 Result of Response by Water Depth
  - 7.3 Result of Response by Rigidity of Mega-Float
  - 7.4 Result of Response by Wave Direction
8. Conclusion

## Summary

In the country where the population concentrates in the metropolis with the narrow land, development of the ocean space is necessary.

Recently, mega-float offshore structure is studied as one of the effective utilization of the ocean space. And very large floating structure are now being considered for various applications such as floating airports, offshore cities and so on.

This very large structure is relatively flexible compared with real floating structures like large ships. when we estimate dynamic responses of these structures in waves, the elastic deformation is important, because vertical dimension is small compared with horizontal. And it is necessary to examine the effect of ocean wave external force received from the natural environment.

In this study, the mat-type large floating structure is made to be analytical model.

And the analysis of the dynamic response as it receives regular wave is studied.

The finite element method is used in the analysis of structure part of this model. And the analysis is carried out using the boundary element method in the fluid part.

In order to know the characteristics of the dynamic response of the large floating structures, effects of wavelength, bending rigidity of the structure, water depth, and wave direction on dynamic response of the floating structure are studied by use of numerical calculation.

## Background of this Study

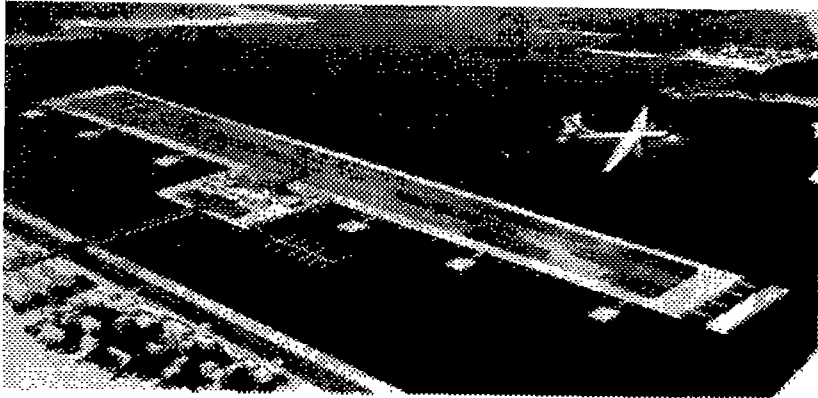
### < Problem >

1. Resources and Space in the Land --> Limitation of Utilization  
Danger of Depletion
2. The Land --> Small, Population Increase, Shortage in the lot,  
High Cost, Pollution of Atmosphere, .. and so on
3. Reclamation of Sea --> High Cost of Construction,  
Very Long Construction Period,  
Limitation of Water Depth  
Destruction of Marine Ecosystem,  
... and so on

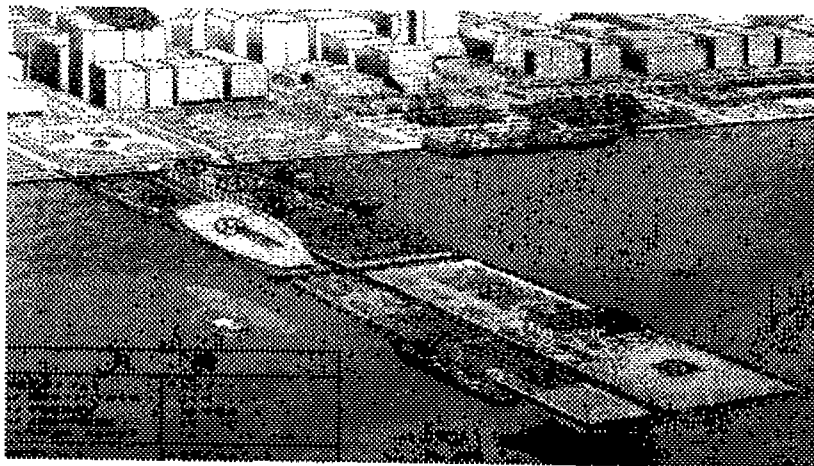
### < Method of Solution >

1. Utilization of Ocean Space
2. Utilization of Very Large Floating Offshore Structures  
( Mega-Float )

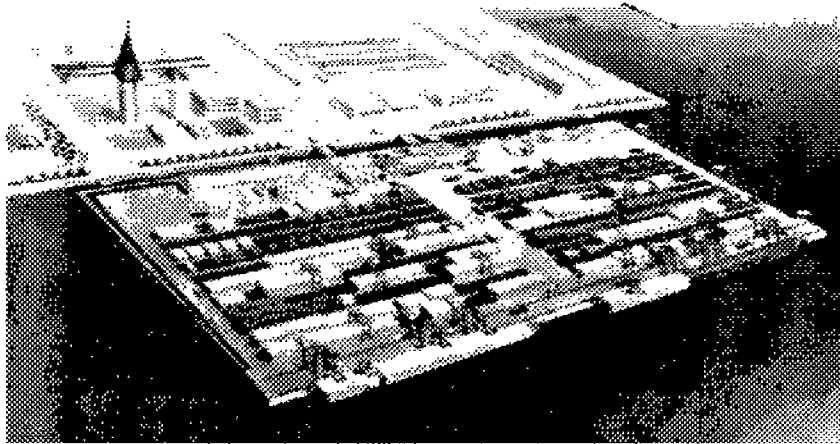
## Future Application of Mega-Float



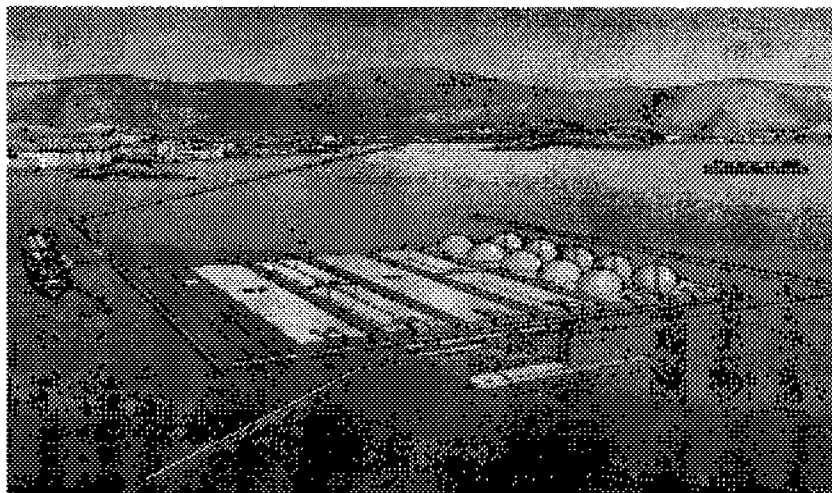
< Offshore Airport >



< Disposal Facility of Waste and Sewage >



< Marine Distribution Center >

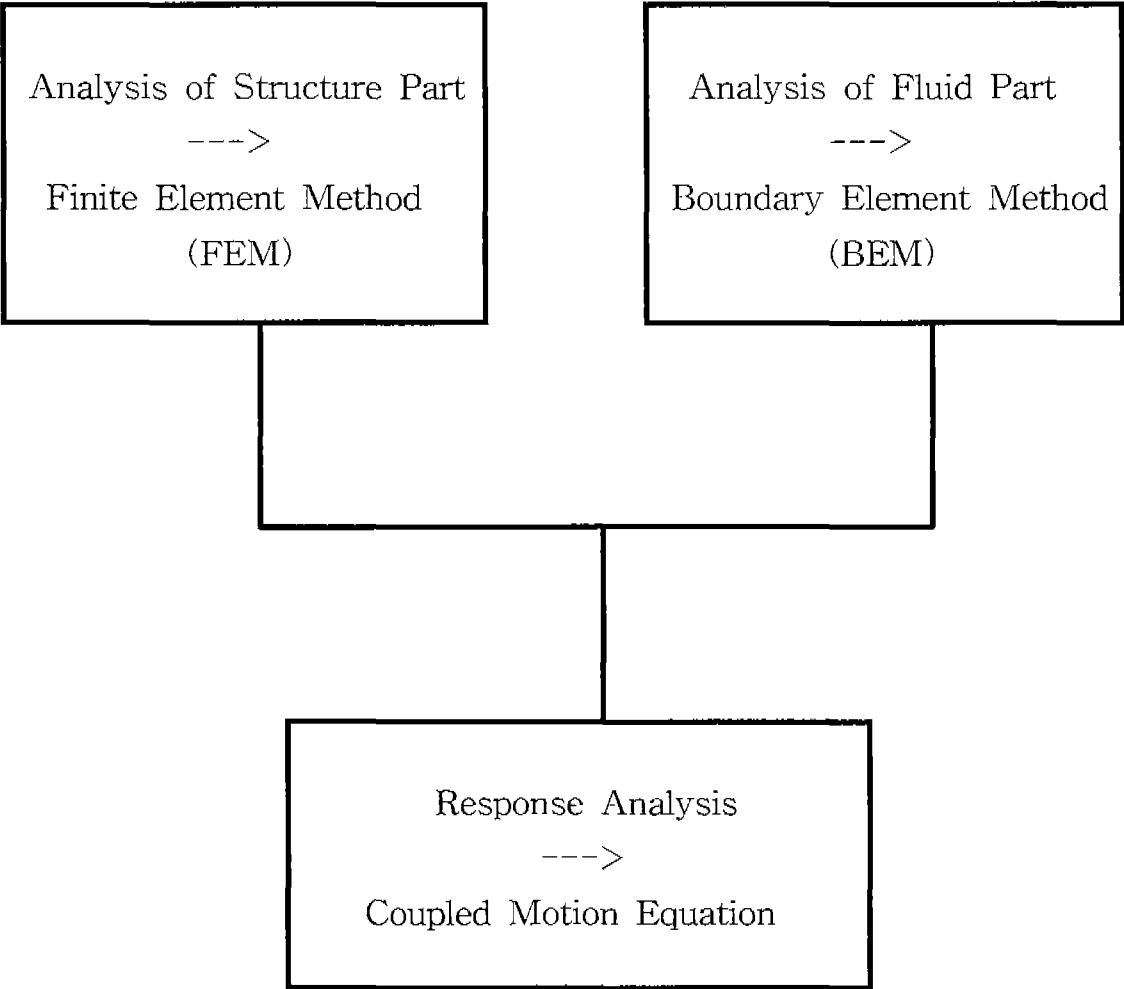


< Marine Stockpiling Base >

## Purpose of this Study

1. Grasp of Dynamic Response Characteristics of Mega-Float by the Wave
2. Grasp of Dynamic Response Characteristics of Mega-Float by the Wave Length  
by Water Depth  
by Rigidity of Mega-Float  
by Wave Direction

**Theory of Response Analysis**

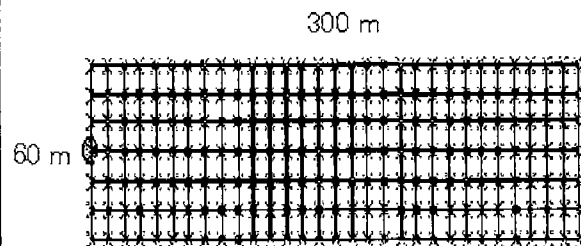




## Model of Mega-Float for Analysis

### Mega-Float Model for Analysis

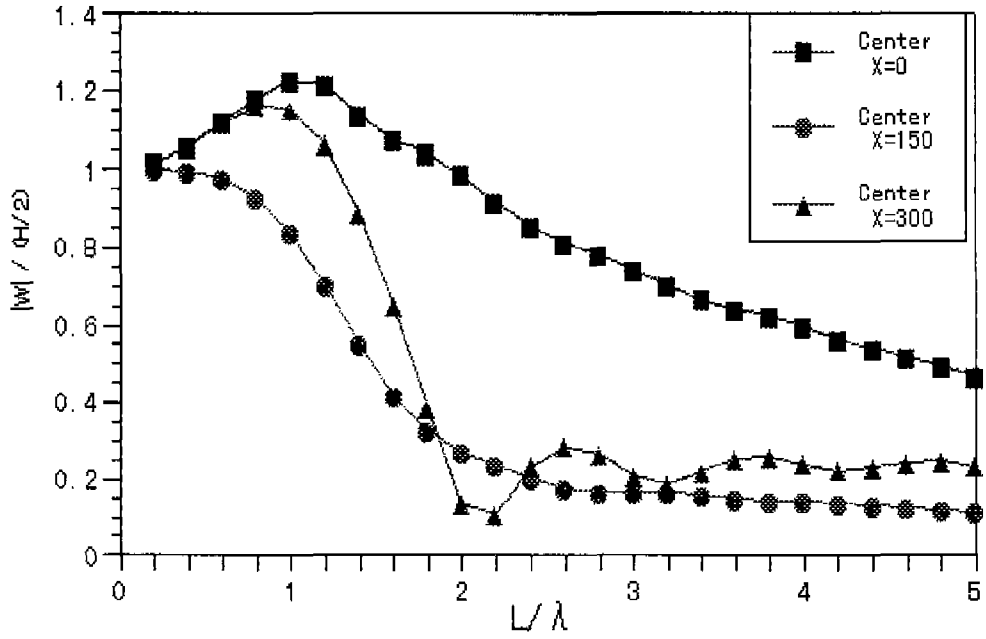
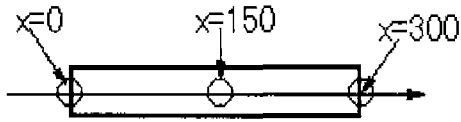
Dimension	Model A
Length (L)	300 (m)
Breadth (B)	60 (m)
Water depth (h)	8 (m)
Flexural rigidity (EI)	4.870E+10 (Nm <sup>2</sup> )
Density of sea water ( $\rho_f$ )	1.025E+03 (kg/m <sup>3</sup> )
Gravity acceleration (g)	9.81 (m/s <sup>2</sup> )
Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.3
Thickness of plate ( $t$ )	2 (m)
Density of plate ( $\rho_b$ )	2563E+02 (kg/m <sup>3</sup> )



## Result of Response Analysis By Wave Length

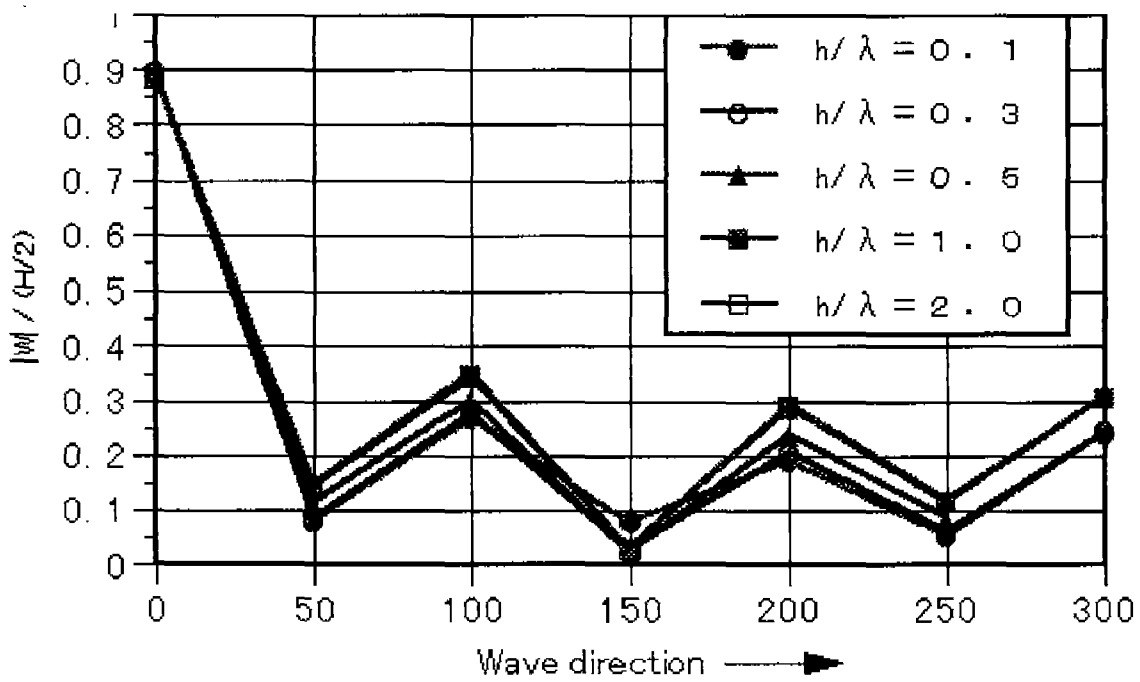
Result of Analysis

Change of Response  
by Wave Length

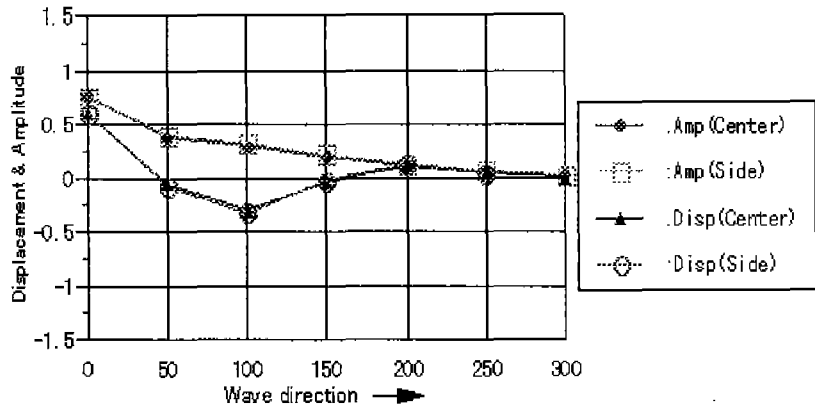
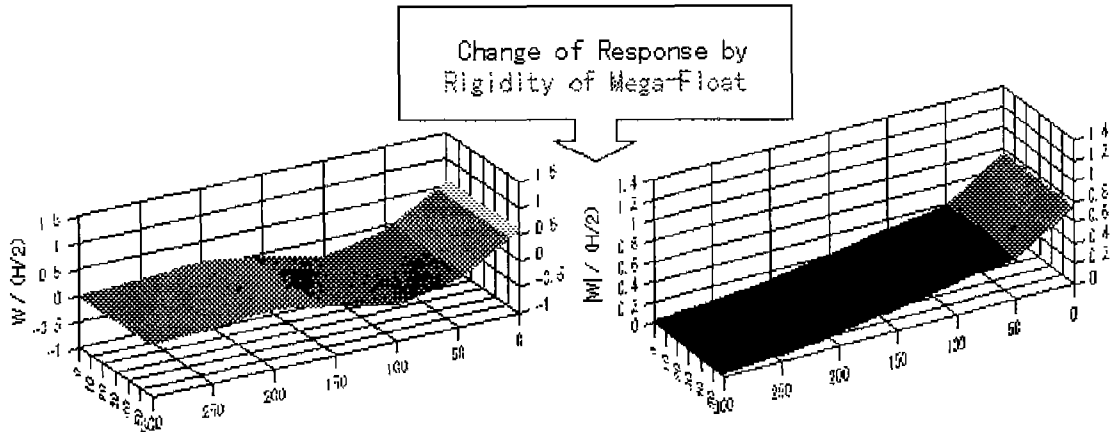


**Result of Response Analysis  
By Water Depth**

Change of Response  
by Water Depth

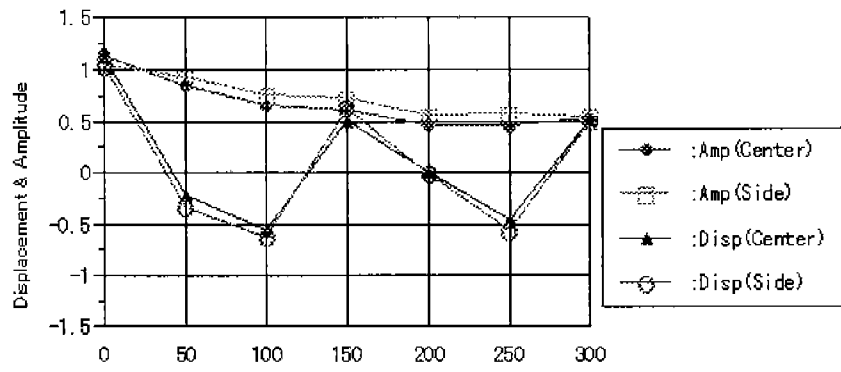
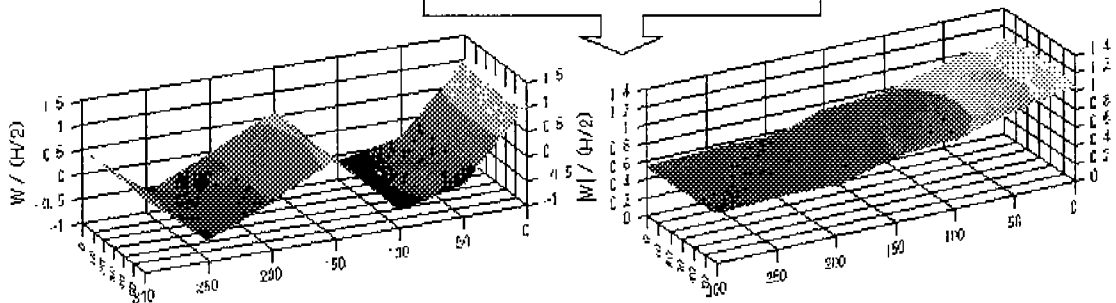


# Result of Response Analysis By Rigidity of Mega-Float



Response of Model A ( $L/\lambda=2.0$ )

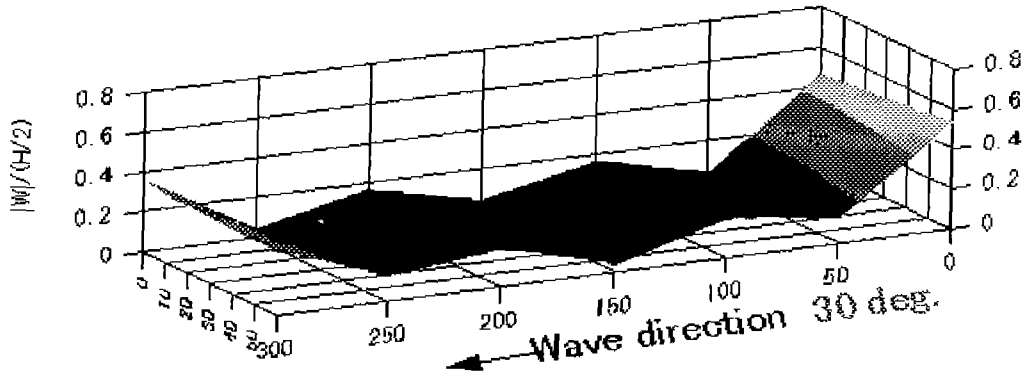
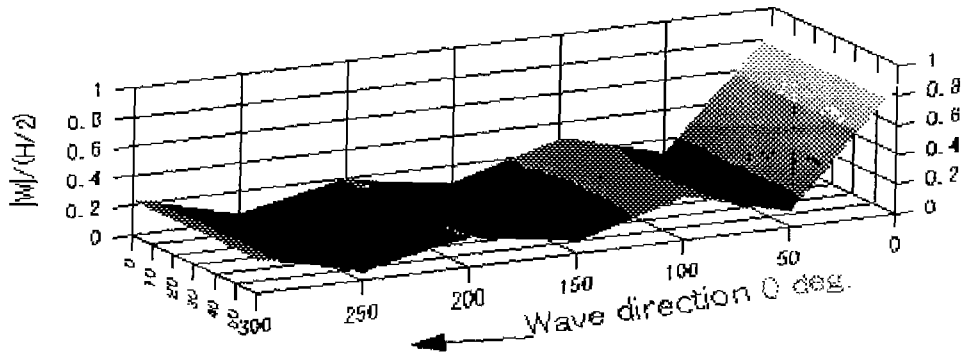
Change of Response by Rigidity of Mega-Float



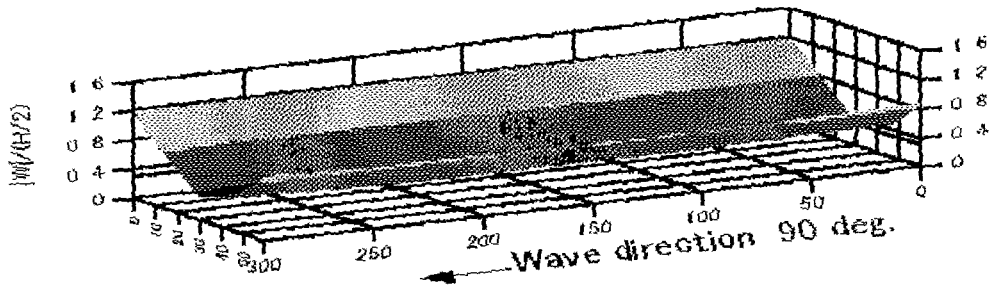
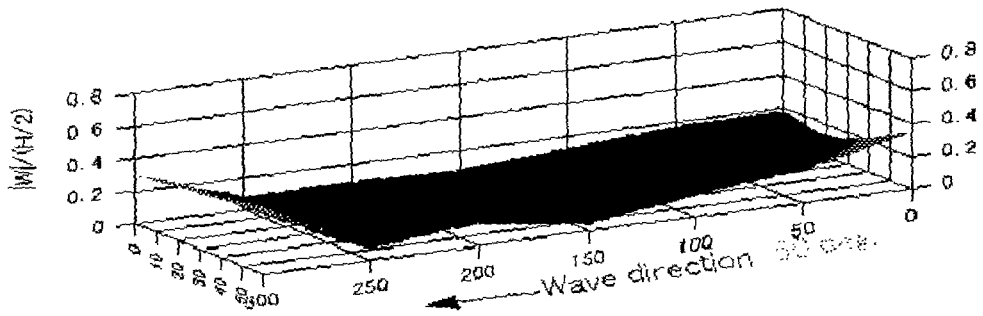
Response of Mode 1B ( $L/\lambda=2.0$ )

Result of Response Analysis  
By Wave Direction

Change of Response  
by Wave Direction



Change of Response  
by Wave Direction



## Conclusion

### 1. Dynamic Response Analysis of Mega-Float

---> Using FEM and BEM

### 2. Response Characteristics of Mega-Float by Various Factor

#### ① Effect of Response by the Wave Length

Length of Wave > Length of Structure

--> About the Same Response

#### ② Effect of Response by the Water Depth is little

#### ③ Effect of Response by the Rigidity of Mega-Float

Increases the Rigidity of Mega-Float

--> Elastic Response Characteristics

#### ④ Effect of Response by the Wave Direction

--> Bending Response, Various Changes of Response

Largest Point of Response Changes



# 船舶避台智能系统的设计与研制

王敬全, 何义, 施平安, 彭小宏

(海军广州舰艇学院, 广州, 510431)

徐祖远, 秦善慈, 李清烈

(广州海运(集团)有限公司, 广州, 510220)

丁炳霖

(广州航海学会, 广州, 510130)

**摘要** 本文集船舶避台实践经验、典型案例和领域科研成果, 用现代科技手段, 设计与研制船舶避台智能系统。它由电子海图、船舶动态管理、台风信息查询和台风路径自动标绘、船-台综合态势实时计算和模拟避台、避台智能决策等五个分系统组成。系统综合运用相似理论、天气图方法、卫星云图分析法、台风数值预报等学科理论[1], 构建船舶避台数据库、模型库、知识库, 实现对船舶和台风路径全过程实时跟踪和监控、船-台态势分析、威胁等级判断、台风路径补充改正和航线天气预报、避台智能决策。

**关键词** 船舶避台 智能决策 自导技术 模拟避台 船-台综合态势图

## 1. 前言

全球每年发生台风约 80—100 个, 主要集中在八大洋区。北半球发生台风最多, 约占 73%。而北太平洋和东经 180 以西的西北太平洋(包含南海)是全球台风最集中的多发地区。

台风是世界上严重的自然灾害之一, 每年死亡的人数众多, 经济损失巨大。历史上遭台风袭击、死亡人数超过 30 万者就有 3 次之多, 1991 年 4 月 29 日侵袭孟加拉湾的台风, 使 12.8 万人丧生。中国是世界上遭台风灾害最为严重的国家之一, 自 1949 年以来, 每年因台风灾害造成的经济损失达 10—100 亿元人民币, 死亡人数在 100—1000 人以上。

为减轻台风造成的损失, 世界气象组织和各国政府加强对台风的监测、分析、预报和警报, 中国、日本、香港、马来西亚、菲律宾、韩国、泰国、越南等亚洲有关国家和地区于 1968 年成立了台风委员会, 加强地区间的合作。随着科学技术的发展, 台风中心实测误差已从过去的几百公里, 提高到 30 公里, 预报精度也大大提高, 为防台避台抗台提供了重要的保证。本课题提出的主要目的是充分利用现代高新技术, 实现台风信息网络化管理和防台指挥与决策智能化, 使避台技术由经验型向知识智能型转变。

## 2. 系统软件组成

### 2.1 数字海图信息显示子系统

除一般海图信息外, 增加我国沿海近 60 个主要避台锚地的资料、沿海气象雷达站、主要推荐航线、台风警戒线、台风安全管辖区、救助区等[2]。

### 2.2 船舶动态管理与航迹自动标绘子系统

人工或自动提供船舶的主要技术性能、位置、航向、航速、现场气象观察资料[7]。

### 2.3 台风信息查询与台风路径自动标绘子系统[7] (图 1)

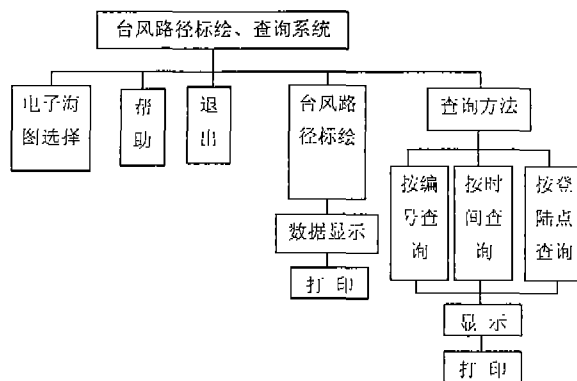


图 1

### 2.4 船—台综合态势实时计算和模拟避台子系统

- 2.4.1 计算船—台之间的方位、距离。
- 2.4.2 计算台风移动速度和方向。
- 2.4.3 计算船—台真运动推算位置。
- 2.4.4 计算船—台相对运动航向、航速和推算位置。
- 2.4.5 计算船—台 DCPAT、TCPAT。
- 2.4.6 计算船—台风圈会遇时间、距离。
- 2.4.7 计算台风危险度等级及报警。
- 2.4.8 判断避台时机及报警。
- 2.4.9 模拟避台
- 2.4.10 船—台相对态势和航线天气预报

### 2.5 避台智能决策子系统

- 2.5.1 台风路径补充改正
- 2.5.2 抗台专家系统
- 2.5.3 避台航线决策

## 3. 系统硬件组成

### 3.1 指挥部避台智能系统 (图 2)

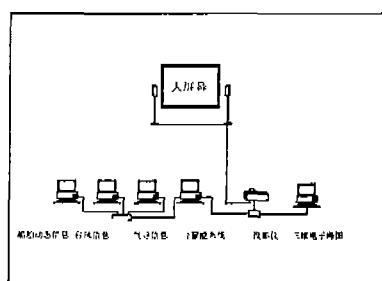


图 2

### 3.2 单船避台智能系统 (图 3)

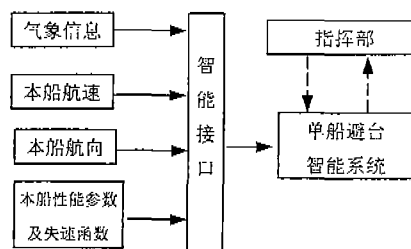


图 3

### 3.3 避台指挥运行机制 (图 4)

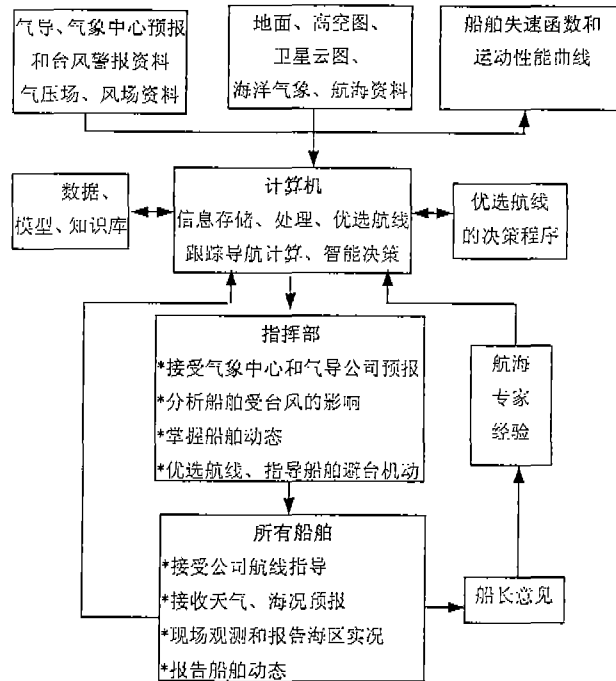


图 4

## 4. 避台航线设计

4.1 设计目标: 设计船-台综合动态模型, 实时解算船-台数据。

4.2 数学模型

4.2.1 计算船-台方位、距离  $F_{ni}$   $D_{ni}$  ( $i=1, 2, 3 \dots n$ )

$$F_{ni} = \arctg [(\lambda_i - \lambda_w) \cos (\frac{\Phi_i + \Phi_w}{2}) / (\Phi_i - \Phi_w)]$$

$$D_{ni} = |\Phi_i - \Phi_w| / \cos F_{ni}$$

4.2.2 计算船-台相对航向  $C_{R0}$ 、航速  $V_{R0}$

$$C_{R0} = C_{W1} + \alpha$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{V_w^2 + V_{R0}^2 - V_T^2}{2V_w V_T}$$

$$V_{R0} = \sqrt{V_w^2 + V_T^2 - 2V_w V_T \cos \beta}$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{V_w^2 + V_T^2 - V_{R0}^2}{2V_w V_T}$$

4.2.3 计算船-台最近会遇距离 ( $D_{CPAT}$ ) 和时间 ( $T_{CPAT}$ )

$$D_{CPAT} = D_{WT} * \sin|F_{WT} - C_{R0}|$$

$$T_{CPAT} = \overline{p_w p} / V_{R0} = D_{WT} * \cos|F_{WT} - C_{R0}| / V_{R0}$$

4.2.4 计算船-大风圈接近时间及距离 ( $T_{R7}$ ,  $D_{R7}$ )

$$T_{R7} = T_{会遇} = \overline{p_w p_0} / V_{R0}$$

$$D_{R7} = \overline{p_w p_0} = \overline{p_w p} - \sqrt{D_{CPAT}^2 + R_7^2}$$

4.2.5 计算避离航向、航速和时间

① 走风尾

避离航向:  $C_{W2} = C_{W1} + \theta'$

$$c_{w1} = c_{R1} + 90$$

$$V_{u1} = V_i * \sin(C_r + 180 - C_{R1})$$

$$\theta' = \arccos \frac{V_{W1}}{V_{W2}}$$

$$\beta' = \arccos \frac{V_{W1}}{V_r}$$

避离航速:  $V_{W2} = V_{W1} + \Delta V$

失速函数:  $\Delta V = k_1 * h + k_2 * h^2 - k_3 * q * k^4 (G - k_i * D * V_0)$

有义波高  $h$  (米)、船首向与波浪夹角  $q$  (度)、实际排水量  $D$  (吨)、静水实测航速  $V$  (节) 和  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、 $k_i$  常系数。

避离时间:  $T_2 = D_{R7} * \cos \theta_1 / V_{R2}$

$$V_{R2} = \sqrt{V_r^2 + V_{u2}^2 - 2V_r V_{u2} \cos(\beta' + \theta')}$$

② 抢风头

避离航向:  $c_{w4} = c_{w3} + \theta''$

$$c_{w3} = c_{R2} + 90$$

$$V_{u3} = V_i * \sin(C_r + 180 + C_{R2})$$

$$\theta'' = \arccos \frac{V_{W3}}{V_{W4}}$$

$$\beta'' = \arccos \frac{V_{W3}}{V_r}$$

避免航速:  $V_{w,4} = V_{w,4} + \Delta V$

避免时间:  $T_4 = D_{WT} * \cos \theta_2 / V_{R,4}$

$$V_{R,4} = \sqrt{V_r^2 + V_{w,4}^2 - 2V_r V_{w,4} \cos(\beta'' + \theta'')}$$

4.2.6 避台航线计算流程图 (图 5)

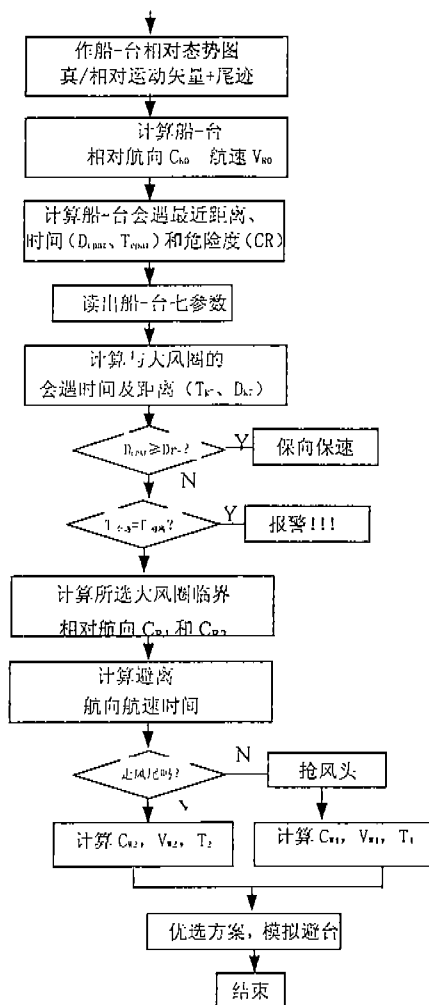


图 5

## 5. 避台智能系统设计

### 5.1 船舶受台风威胁等级判断

用人工神经网络的 BP 算法建立台风威胁等级判断的模型

#### 5.1.1 输入参数选择及其对参数的处理

总结专家知识，本模型选择台风风力 (F)、台风中心气压 (P)、台风大风圈半径 (R)、船-台遭遇距离 ( $D_{R7}$ )、船-台遭遇时间 ( $T_{R7}$ )、浪高 (H) 作为输入参数。为加速模型收敛，对参数进行必要处理。

#### 5.1.2 输出参数

输出参数即为台风的危险度 (CR)、其取值在 [0—1] 范围。

#### 5.1.3 本网络模型的拓补结构

本网络模型采用四层网络结构，经多次对模型调试证实 6—5—3—1 结构较优，网络结构如图 6 所示

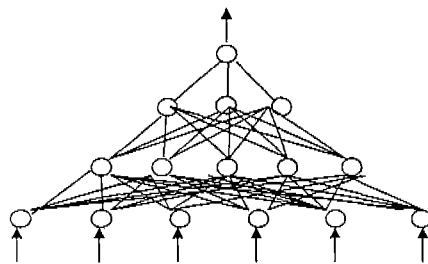


图 6

### 5.2 台风路径补充改正和航线天气预报

船—台在预报时效内的运动轨迹，可为直线或曲线或折线，移速可为匀速、增速、减速或零速。按照船舶机动学原理，各自按自身的运动规律，对 ECDIS 作相对运动。优化组合船舶动态、台风实况路径、预报路径、天气报告、现场实况、构建船—台综合态势模型[5][6] (图 7a、图 7b)

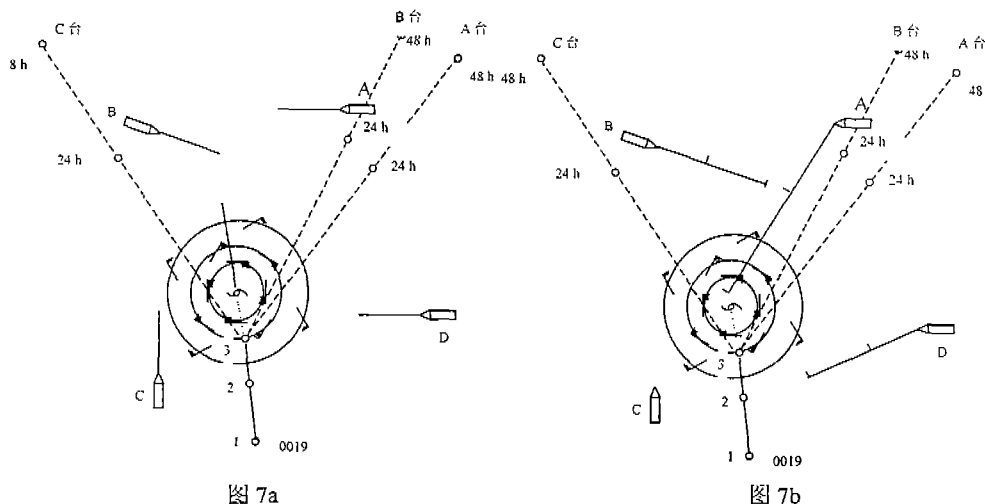


图 7a

图 7b

系统按直线和曲线外推原理、实况路径和天气系统内外因子对台风路径影响的专家经验规则,自动生成台风移动补充改正路径,在实况位置之间实时预报台风的移向移速和每小时的历史位置点,以该补充改正路径作为基准与船舶构成相对运动,实时预报船—台之间的诸项参数,实时预报船—台真运动位置和船—台未来时刻的相对位置

该模型是船舶防台指挥和单舰机动避台的关键环节,为船舶避台自导技术奠定了基础。在该模型里,A、B、C 预报路径是各家气象台的预报成果,也是避台的重要依据。用户可优选作为基准与船舶构成相对运动。多一个气象台,就如同增加一位“气象高参”,共商船舶航线天气预报。该项预报是船舶沿航线连续不断的实时天气预报,它关系着防台指挥部指挥船舶避台行动的成败,图 7 中实况点 1—3 是台风过去位置点,实况点 3 以后的路径为系统外推预报路径。该路径一点外推至下一个台风实况点结束,然后按新的参数重新外推计算,从新的实况点继续外推,直至台风消亡为止。该外推路径用户可人工干预进行改正。

图 7a 中直观显示 A、B、C、D 船与台风的真运动,实时解算船—台七项参数,是避台决策的依据。

图 7b 中为相对矢量显示,直观预报各船航线天气情况。

A 船:顺风航行,航速略增。风力将不断增大达到该台风的最大风力,风向 N、WN—N、WN 逆时针变化,8 小时后该船进入危险半圆的危险象限,气压梯度越来越大,接近该台风的最低气压值 970 Hpa,浪高不断增大,失速严重,12 小时与台风中心相遇。

B 船:8 小时后过台风进路,距台风中心 160 海里,风力 5—6 级,气压 1000Hpa,左舷受风浪,失速较小,12 小时后过台风危险区。

C 船:尾随台风,距台风中心 160 海里,风力 6 级以下,风向 WS。

D 船:过风尾,距台风中心 200 海里以上,风力 6 级以下,风向 NE。

### 5.3 避台智能决策

专家系统是具有大量专门知识,并能运用这些知识解决特定领域中实际问题的计算机程序系统[10],船舶避台技术,长期来靠专家经验和图上作业,随着科学技术的高速发展,航运现代化管理和避台智能化是时代要求,广州海运(集团)有限公司防台指挥部和所属的数百艘大型船舶,几十年来航行在西北太平洋航线上,数千艘船次安全避台,取得了非常宝贵经验和突出的社会效益,硕果累累。构建船舶避台智能系统,就是用新技术、新理论为这一成果注入新的活力,实现船舶避台自导技术科学化、现代化,为避台事业做出新的贡献。

#### 5.3.1 基于 ECDIS 的避台智能决策

随着 ECDIS 的不断发展和日臻完善,避台决策所需的信息可用数字化形式存储在 ECDIS 上。因此,ECDIS 是避台智能决策的最好基础平台。

智能决策支持系统(IDSS)是在决策支持系统(DSS)的基础上集成人工智能专家系统(ES)而形成的,决策支持系统包括(1)人机交互系统(由语言系统和问题处理系统组成)。(2)模型库系统(由模型库管理系统和模型库组成)。(3)数据库系统(由数据库管理系统和数据库组成)。专家系统主要由知识库、推理机和动态数据库三者组成。IDSS 对 DSS 和 ES 的集成,充分发挥了专家系统以知识推理形式解决定性分析问题的特点,又发挥了决策支持系统的模型计算为核心的解决定量分析问题的特征,充分做到定性分析和定量分析的有机结合,使得解决问题的能力范围和范围进入理想境地。

5.3.2 基于 ECDIS 的智能系统是决策系统的高级形态和最佳组合,它是由抗台专家系统和相关模型库系统有机结合而形成的一种智能决策系统、船舶动态信息、台风信息、船—台综合动态模型和 GPS、RADAR、LOG、COMPASS 等集中在 ECDIS 上,由 ECDIS 提供避台决策所需的信息和避台规则库一起作为智能决策的知识库,包括专家系统知识库、推理机、动态数据库以及决策支持系统的核心部件模型库,其结构如图 8 所示

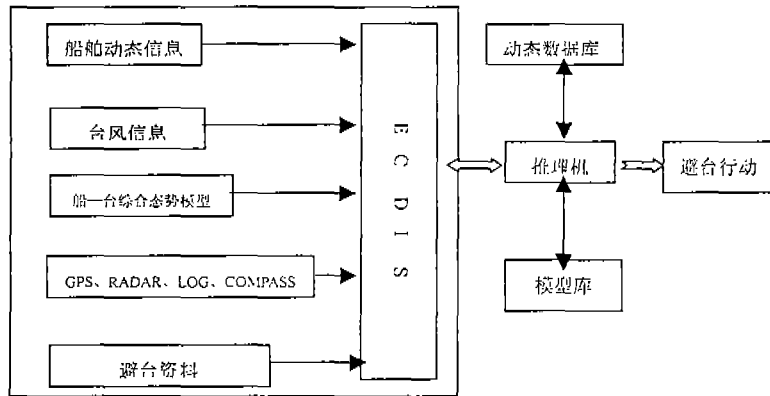


图 8

## 6. 结束语

船舶避台智能系统是继 GPS、ARPA 后, 信息技术用于航海的又一成功实例。它为传统的避台技术注入了新的活力和内涵, 对繁荣我国航海事业, 开拓船舶避台自动驾驶技术的研究和创新具有深远意义。系统的予研成果已在广州海运(集团)有限公司防台指挥部试运行, 以进一步检验技术指标和技术参数的准确性。对系统中台风路径补充改正和航线天气预报仍需优化, ECDIS 的法律地位仍待解决, 才能增强系统的实用价值和推广实用前景。

## 参考资料

- [1] 朱乾根等 天气学原理与方法 气象出版社 2000 年 10 月
- [2] 龚 懿等 最新实用船舶防台 广州航海学会 1992 年 9 月
- [3] 新田尚等 最新天气预报技术 气象出版社 1997 年 6 月
- [4] 龚国庆等译 全球热带气旋预报指南 气象出版社 1995 年 2 月
- [5] 85 国家科技攻关项目 台风预报技术研究 气象出版社 1996 年 3 月
- [6] 吴永芬 船舶自行气象导航 天气与航海安全论文集 1997 年 10 月
- [7] 林明智 海洋气象导航数据库及其应用 天气与航海安全论文集 1997 年 10 月
- [8] 林尔云等 防台抗台经验介绍 防台抗台经验论文集 1998 年 11 月
- [9] 孙凤羽 论西北太平洋船舶防台 天气与航海安全论文集 1997 年 10 月
- [10] 陈文伟 智能决策技术 电子工业出版社 1998 年 6 月