

3次元數值모델을 利用한 東支那海의 颱風海溢의 算定

Typhoon Surge Hindcast in the East China Sea Using a Three-dimensional Numerical Model

崔 秉 昊*
Choi, Byung Ho

Abstract

A three-dimensional hydrodynamic numerical model of the Yellow Sea and the East China Sea was developed to investigate the intermediate scale processes in the region. The model was applied to the three-dimensional computation of the typhoon induced currents on the continental shelf for a 5 days period in Summer, 1978. The circulation pattern showing depth and spatial distribution of currents over the Yellow Sea and the East China Sea is presented and analyzed. This initial study has been undertaken in association with the programme of establishment of real-time forecasting schemes based on dynamic principles.

要 旨

黃海 및 東支那海의 動水力學的 3次元數值모델이 이 海域의 潮汐, 海溢, 恒流循環 및 潮境 等の 物理的過程을 研究하기 위해 開發되었다. 本 研究에서 東支那海의 3次元모델은 1978年 夏節의 5日 間, 颱風(웬디號)에 依해 惹起된 海溢에 의한 海流分布를 算定하는데 適用되었다. 算定된 黃海와 東支那海의 地域的 水深別海流分布가 提示되었으며 分析檢討되었다. 本 研究은 力學原理에 立脚한 東支那海의 颱風海溢 豫報體系의 樹立을 爲한 첫 試圖로서 遂行된 것이다.

1. 序 論

過去 10餘年에 걸친 期間동안 暴風海溢算定을 위한 數值모델이 廣範圍하게 成功的으로 利用되어 왔는 데, 특히 歐洲에서는 力學原理에 立脚한 北海의 實際豫報體系가 樹立되어 英國⁽¹⁾, 和蘭⁽²⁾, 西獨⁽³⁾ 및 Denmark⁽⁴⁾에서 活用되고 있다. 有限差分形 數值解析技法을 利用하는 垂直積分된 動水力學的 方程式을 풀이하는 2次元모델은 淺海의 海面變化를 決定하는 데 一般的으로 認定

된 方法이며 그 力學的 根據가 確實하여 豫報體系에 利用하는 데 餘他 統計的인 方法을 包含하는 經驗的인 技法보다 信賴性을 더 賦與하고 있다. 傳統的으로 海溢問題는 暴風 및 颱風에 關聯된 海面風의 應力 및 氣壓勾配에 의한 海面變化의 觀點에서만 主로 다루어져 왔으나, 近年에는 陸棚의 採油施設의 設計를 위하여 海溢에 의한 海流의 垂直分布에 관한 資料를 提供하기 위한 研究가 要求되고 있다. 또한 表層海流에 의한 油類擴散, 浮遊砂의 移動, 底層海流에 의한 海底 摩擦力과 掃流砂移動과의 相關關係 等を 料明하기 위한 研究에 있어서도 海流의 垂直分布에 대

* 正會員·成均館大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

한 資料가 必須的인 事項이다. 現在 暴風時의 海流現場觀測은 많은 難點이 있으므로 海水의 內部摩擦에 對한 適切한 假定을 根據로 한 3次元 流動解析모델이 비로소 適用되기 始作하고 있으며 이의 開發 및 改善을 爲한 研究은 앞으로 繼續될 展望이다⁽⁶⁾.

潮汐과 氣象影響下의 3次元 海水循環을 算定하는 여러 方法⁽⁶⁻⁹⁾들이 있는데 大部分 水深軸을 多層으로 取하거나 垂直格子網을 形成하는 技法을 擇한다. 反面에 Davies^(10,11)는 水深에 따른 海流의 變化를 提示하는 基礎函數들에 의한 Galerkin 方法을 提示하여 北海의 潮汐 및 暴風海溢研究에 成功的으로 適用한 바 있는데, 이 境遇 水深에 따른 海流의 連續的인 分布가 算定될 수 있다. 前回의 一連의 研究에서 上記의 Galerkin 方法을 利用한 東支那海의 3次元모델이 樹立되어 이 海域의 主太陰半日週潮의 分布⁽¹²⁾, 主分潮의 潮流分布⁽¹³⁾, 定常均一風에 의한 3次元의 海水循環⁽¹⁴⁾ 및 季節平均된 氣象條件下의 海水循環⁽¹⁵⁾에 대한 研究가 各各 報告되었는데, 특히 潮流의 境遇는 近年의 美·中共共同海洋觀測 프로그램의 觀測潮流⁽¹⁶⁾가 모델의 檢證을 위하여 利用되었었다. 다음 段階로서 本 研究에서는 東支那海의 3次元모델을 利用하여 1978年 Seasat-A mission 期間中의 颱風웬디(7.28~8.2)에 의한 海溢의 3次元의 海流分布를 算定하여 그 初期結果를 提示하였다.

2. 3次元 數值모델

起潮力, 移流加速項을 無視하며 非線形海底摩擦項을 包含하는 均質海水의 3次元 連續方程式과 運動方程式은 球面座標上에서 아래와 같이 提示될 수 있다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^h u dx + \frac{\partial}{\partial \phi} \int_0^h v \cos \phi dx \right\} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \gamma v = \frac{-g}{R \cos \phi} \frac{\partial \xi}{\partial \lambda} - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial P}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial z} \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \gamma u = \frac{-g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P}{\partial \phi}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left(N \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3)$$

여기서,

t : 時間

λ, ϕ : 東經 및 緯度

ξ : 靜止海面에 대한 海面水位

h : 靜止海面下의 水深

ρ : 海水密度

R : 地球의 曲率半徑

γ : geostrophic coefficient ($\gamma = 2\omega \sin \phi$)

ω : 地球回轉의 角速度

g : 重力加速係數

P : 海面氣壓

u, v : 水深 z 에서의 東向 및 北向 流速成分

N : 垂直渦粘性係數 (coefficient of vertical eddy viscosity)

인데 R, γ, g 는 常數이며 u, v, N 은 λ, ϕ, z, t 의 函數인 變數이며 P 는 λ, ϕ, t 에 따라, h 는 λ, ϕ 에 따라 變한다.

上記式에서 海水位와 海流成分을 求하기 위해서는 海面과 海底에서의 境界條件이 明示되어야 한다.

海面 ($z=0$)에서는

$$-\rho \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right)_0 = F_s, \quad -\rho \left(N \frac{\partial v}{\partial z} \right)_0 = G_s \quad (4a, b)$$

인데 F_s, G_s 는 海面에 作用하는 바람應力成分이며 類似하게 海底 ($z=h$)에서는 下記의 海底滑動條件이 明示된다.

$$-\rho \left(N \frac{\partial u}{\partial z} \right)_h = F_b, \quad -\rho \left(N \frac{\partial v}{\partial z} \right)_h = G_b \quad (5a, b)$$

여기서 F_b, G_b 는 λ, ϕ 方向의 海底摩擦力成分인 바 海底摩擦의 非線形法則에 의하면 下記와 같이 表示할 수 있다.

$$F_b = k \rho u_h (u_h^2 + v_h^2)^{1/2}, \quad G_b = k \rho v_h (u_h^2 + v_h^2)^{1/2} \quad (6a, b)$$

但 k 는 海底摩擦係數이다.

海流의 水深에 따른 分布를 提示하기 위한 Galerkin 方法을 利用한 基本式(1)~(3)의 解를 求하기 위한 方法을 敍述하면 다음과 같다. 流速의 두成分 u, v 를 m 個의 水深從屬的, 連續函數 $f_r(z)$ (基礎函數)와 係數 $A_r(\lambda, \phi, t)$ 와 $B_r(\lambda, \phi, t)$ 로 다음과 같이 提示한다.

$$u(\chi, \phi, z, t) = \sum_{r=1}^m A_r(\chi, \phi, t) f_r(z) \quad (7)$$

$$v(\chi, \phi, z, t) = \sum_{r=1}^m B_r(\chi, \phi, t) f_r(z). \quad (8)$$

垂直方向에 대해 Galerkin 方法을 適用하여 式(2)(3)에 各己 基礎函數 $f_k(z)$ 를 곱하고 z 軸에 대해 0에서 h 까지 積分한다. 또한 垂直渦粘性係數 N 을 包含하는 項을 積分하면 境界條件(4 a, b) 및 (5 a, b)가 插入되어 다음 式이 形成된다.

$$\int_0^h \frac{\partial u}{\partial t} f_k dz = \gamma \int_0^h v f_k dz - \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \xi}{\partial \chi} \int_0^h f_k dz - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial P}{\partial \chi} \int_0^h f_k dz - \frac{F_B}{\rho} f_k(h) + \frac{F_s}{\rho} f_k(0) - \int_0^h N \frac{\partial u}{\partial z} \frac{df_k}{dz} dz \quad (9)$$

$$\int_0^h \frac{\partial v}{\partial t} f_k dz = -\gamma \int_0^h u f_k dz - \frac{g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} \int_0^h f_k dz - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P}{\partial \phi} \int_0^h f_k dz - \frac{F_B}{\rho} f_k(h) + \frac{F_s}{\rho} f_k(0) - \int_0^h N \frac{\partial v}{\partial z} \frac{df_k}{dz} dz \quad (10)$$

但, $k=1, 2, \dots, m$ 이다.

式(9)(10)에서 海面 및 海底境界條件과 $f_k(0)$, $f_k(h)$ 가 各己 곱해지므로 零이 되어서는 안 될 條件이 賦與된다.

$$f_k(0) \neq 0, f_k(h) \neq 0 \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

基礎函數 $f_k(z)$ 의 選擇은 10 個程度의 餘弦函數가 水深에 따른 海流變化를 滿足스럽게 提示하는 것이 北海의 境遇⁽¹¹⁾와 前回の 東支那海의 研究⁽¹²⁻¹⁵⁾에서 提示된 바 本 研究에서도 이를 採擇하였다.

$$f_r = \cos(\alpha, s) \quad (12)$$

여기서 $s = (a-b) \frac{z}{h} + b$ 로서 式(9)(10)의 積分區間 $0 \leq z \leq h$ 를 便宜上 $b \leq s \leq a$ 로서 變換시킨 것이다. $a=1, b=0$ 을 取함으로써 $s = \frac{z}{h}$ 로서 提示되며 適切한 α 의 選擇은

$$\alpha_r = (r-1)\pi, \quad r=1, 2, \dots, m \quad (13)$$

인데 $f'_r = df_r/dz$ 로 表示할 때

$$f'_r(0) = 0 \quad (14)$$

$$\text{및 } f'_r(h) = 0 \quad (15)$$

이다. 垂直渦粘性係數, N 의 選擇은 一次的으로 水深軸 z 에 獨立인 特殊한 境遇를 取하였다. 式(12)의 f_r 은 다음 式

$$-\frac{d}{dz} \{N(\chi, \phi, t) f'_r(z)\} = -\lambda_r(\chi, \phi, t) f_r(z) \quad (16)$$

의 eigenfunction이며 eigenvalue $\lambda_r(\chi, \phi, t)$ 들은 다음과 같다.

$$\lambda_r(\chi, \phi, t) = N(\chi, \phi, t) \alpha_r^2 / h^2. \quad (17)$$

式(9)(10)의 N 을 包含하는 項을 式(16)(17) 및 式(14)(15)를 利用하여 部分的으로 積分하고 式(7)(8)을 亦是 式(9)(10)에 代入하면 ξ, A_r, B_r 을 包含하는 一連의 偏微分方程式이 된다. 仔細한 過程⁽¹⁰⁾은 이미 紹介되었으므로 省略한다. 이 偏微分方程式은 通常의 有限差分技法에 의해 格子化될 수 있으며 初期 및 境界條件을 明示하여 ξ, A_r, B_r 을 算定하기 위한 積分을 遂行할 수 있다. 算定된 A_r, B_r 로 부터 式(7)(8)의 展開를 利用하면 任意水深에서의 海流가 算定된다.

3. 1978 年 夏節의 颱風 웬디號에 의한 3 次元的 海流循環

本 研究에 利用된 球面座標格子體系의 3 次元 東支那海 모델(그림 1)의 格子間隔은 緯度上 1/5 度, 經度上 1/4 度로서 84 個의 行과 48 個의 列의 配列로서 構成되었으며 格子間隔은 北緯 38 度에서 約 12 海里이다. 이 모델의 格子體系는 既報告된 2 次元 東支那海 모델⁽¹⁷⁾과 同一한 體系이다. CFL 安定條件이 亦是 安定된 計算을 위한 指針으로 利用되어 決定된 Δt 는 225 秒를 取하였다. 各 格子點에서의 ξ, A_r, B_r 의 算定은 $t=0$ 일 때 $\xi = A_r = B_r = 0$ ($r=1, 2, \dots, m$)인 初期靜止狀態로부터 出發하였는데 淺海에서는 摩擦消散率 이 높아 初期攪亂效果가 빨리 除去되므로 hind-cast 하려는 海盜期間의 始點보다 24 時間前부터 算定을 始作하였다. 外海境界面은 200 m의 水深을 連結하는 陸棚端인 바 境界條件은 다음과 같이 取하였다. 即 境界面의 海面變化는

$$\xi(\chi, \phi, t) = \xi_T(\chi, \phi, t) + \xi_M(\chi, \phi, t) \quad (18)$$

인데 ξ_T 는 潮汐에 의한 海面變化이며 ξ_M 은 氣象影響에 의한 것이다. 潮汐入力を 爲해서는 2 次元潮汐 모델⁽¹⁷⁾에서 決定된 M_2, S_2, K_1 및 O_1 分潮에 의한 每時間間隔 每開放境界 格子點에서 潮位推定이 遂行되었으며 ξ_M 는 靜水壓法則을 適用하였다. 더불어서 模型內部的 攪亂效果가 外

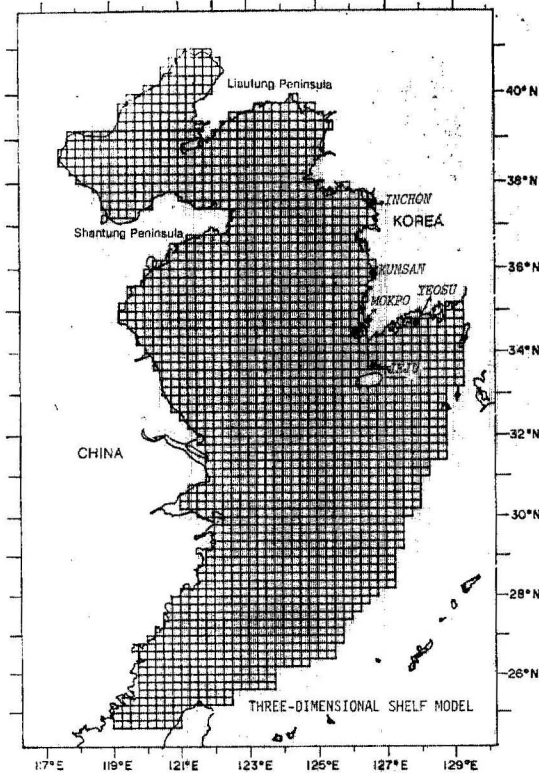


그림 1. 東支那海 三次元모델의 有限差分格子體系

海로 境界面을 통해 波汲되어 나갈 수 있도록 放射條件⁽¹⁵⁾을 考慮하였다.

式(9)(10)의 氣象條件에 의한 外力項인 海面 風의 應力成分 F_x, G_x 와 氣壓勾配 $\partial P/\partial x, \partial P/\partial \phi$ 를 모델에 入力시키기 위해서는 海面氣壓分布를 于先 求할 必要가 있다. 이 海域의 大氣數值豫報 모델에 의한 氣壓資料가 利用可能하지 않으므로 中央氣象臺의 每6時間天氣圖로부터 颱風中心의 移動經路에 따라 每時間別 天氣圖를 導出하고 digitizer를 利用하여 等壓線을 digitizing한 後 gridding 技法을 利用하여 每 $1^\circ \times 1^\circ$ 의 氣壓을 抽出한 後, 이를 다시 Buckingham⁽¹⁹⁾이 提示한 補間法을 利用하여 모델內部的 每格子마다 海面氣壓을 取하는 從屬의인 處理過程을 于先 取하였다. 다음 段階로는 잘 알려진 地衡風算出式을 利用하고 一連의 交換係數를 適用하여 海面 風을 算定하였는데 係數는 Hasse와 Wagner⁽²⁰⁾가 提示한 經驗值를 使用하였다.

$$W_s = A\hat{W} + B \quad (19)$$

여기서 W_s 및 \hat{W} 는 各己 海面風 및 地衡風의 密度이며 $A=0.443, B=2.92$ 이다.

海面風으로부터 海面應力을 算定하기 爲해서 바람의 坑力係數들을 檢討한 結果가 表-1 및 그림 2에 提示되어 있는데 本 研究에서는 風速의 適用範圍가 큰 W_s 의 1980年⁽²⁷⁾ 및 1982年⁽²⁸⁾의 報告值를 利用하였다.

表-1. 海面應力係數

Author	Proposed Form $C \times 10^3$	Magnitude Range(m/s)
Heaps (1965) ⁽²¹⁾	0.565 $-0.12+0.137 W_s$ 2.513	$W_s < 5$ $5 < W_s < 19.22$ $W_s > 19.22$
Wu (1969) ⁽²²⁾	$0.5 \times W_s$ 2.6	$1 < W_s < 15$ $W_s > 15$
Brocks and Krugermuer (1972) ⁽²³⁾	$1.18+0.18+0.016 W_s$	$3 < W_s < 13$
Garratt (1977) ⁽²⁴⁾	$0.75+0.067 W_s$	$4 < W_s < 21$
Large (1979) ⁽²⁵⁾	1.2 $0.49+0.065 W_s$	$5 < W_s < 11$ $11 < W_s < 26$
Smith (1980) ⁽²⁶⁾	$0.61+0.063 W_s$	$6 < W_s < 22$
Wu (1980 ⁽²⁷⁾ , 1982 ⁽²⁸⁾)	$0.80+0.065 W_s$	$0 < W_s < 50$

上記의 一連의 過程에 의해 每時間別 氣壓勾配 및 海面應力分布가 모델의 各 格子點마다 1978年 7月 28日 0時(GMT)부터 8月 2日 23時(GMT)까지 作成되어 氣象入力資料(meteorological data input)의 時系列이 形成되었다. 그림

3은 1978年 夏節에 颱風 8號(Wendy號)가 東支那海를 通過한 後 日本의 九州北端으로 빠져 나갈 때까지의 天氣圖를 提示하고 있으며 그림 4와 그림 5는 各己 7月 30日 9時와 7月 31日 9時的 氣壓分布에 該當하는 海面風의 應力

PUBLISHED SURFACE WIND
STRESS COEFFICIENTS

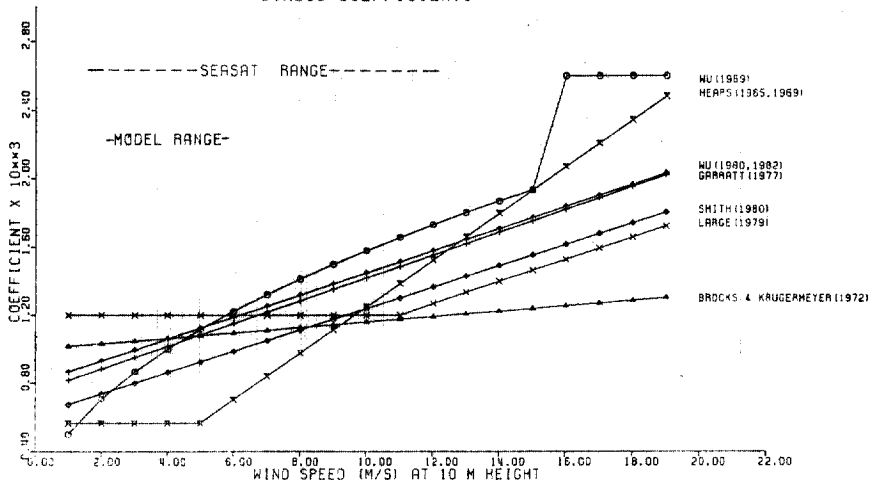


그림 2. 報告된 海面應力係數의 變化圖

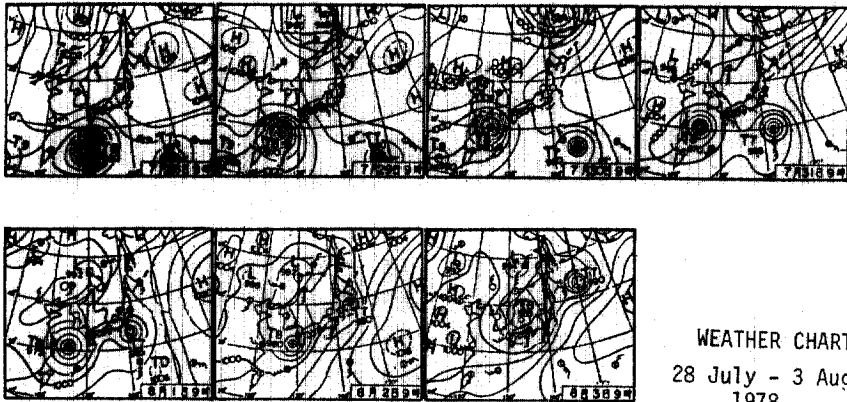


그림 3. 1978년 7월 28일~8월 3일 동안의 天氣圖

分布를 前述한 過程에 의해 算定한 結果인 데 颱風中心圈周圍로 反時計方向의 應力分布가 잘 提示되고 있다. 이 期間의 颱風을 選定한 것은 NASA/NOAA의 SEASAT-A 衛星⁽²⁹⁾의 高度計 (altimeter)資料에 의한 東支那海의 海面變位(sea surface topography)를 糾明하기 위한 研究와 關聯짓기 위해서였다.

모델은 潮汐과 氣象條件을 함께 賦與한 算定과 潮汐條件만을 賦與한 算定이 遂行되어 海溢成分은 前者에서 後者를 每 格子點, 每 時間間隔마다 減해서 抽出하였다. 이 方法은 潮汐과 海溢의 相互作用(interaction)까지 考慮한 것으로서

適合한 接近方法이다. 그림 6~그림 8은 3次元 모델에 의해 算定된 潮汐과 氣象條件에 의해 惹起된 海面의 分布와 表層, 中間水深 및 海底의 海流分布에 對한 磁氣테이프에 收錄된 資料中 7月 29, 30, 31日의 21時資料만을 抽出하여 提示한 것이다. 提示된 바와 같이 底層의 海流強度는 表層, 中間水深의 海流強度와 달리 뚜렷이 弱한 空間的인 分布를 보이고 있다. 前述한 대로 極限狀況의 海洋條件 即 颱風에 의한 海流의 垂直的 分布는 海洋構造物의 荷重條件을 賦與하기 爲해 必須的인 事項이므로 適切히 統計的인 表現을 通하면 有用한 資料가 된다. 表層流의 資

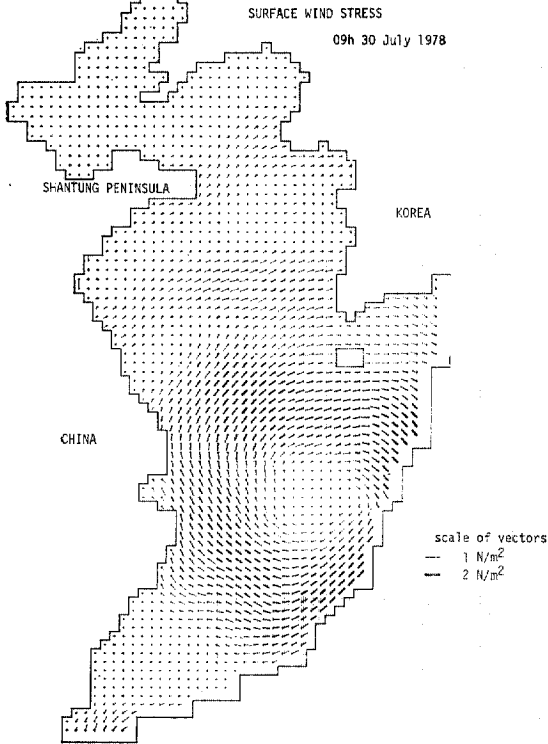


그림 4. 1978년 7월 30일 9시의 해면풍의
응력분포도

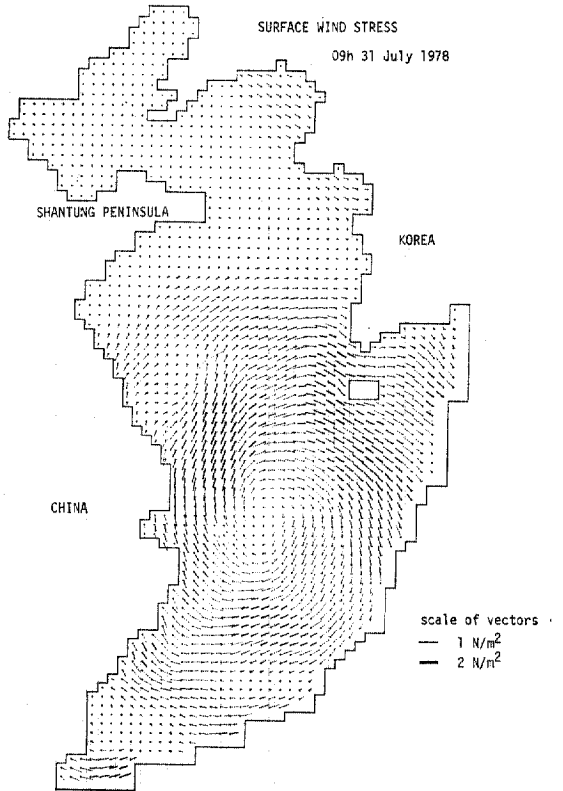


그림 5. 1978년 7월 31일 9시의 해면풍의
응력분포도

料는 極限狀況에서의 油類擴散 및 海難事故에 의
한 海上漂流物의 位置推定에 重要한 基礎資料일
것이다. 또한 陸棚의 動的堆積體系는 颱風과 같
은 極限狀況에서 甚한 變化를 가져와 이 變換된

狀況이 상당期間 持續되는 것으로 알려진 바 海
盜에 依한 底層海流의 資料는 海底摩擦力의 算
定에 必須의이다. 모델의 颱風海盜 算定結果를
觀測資料로서 檢證하기에는 많은 難點이 있는데

表-2. 海面의 觀測值 및 算定值의 比較 (單位: 미터)

檢潮所		7월30일23시	7월31일 1시	7월31일 3시	7월31일 5시	7월31일 7시	7월31일 9시	7월31일11시
인 천	O	4.80	6.78	7.47	6.06	4.04	3.18	4.43
	C	4.00	6.00	6.98	6.23	4.36	3.30	4.45
군 산	O	4.93	5.74	4.80	3.36	2.44	2.80	4.38
	C	4.55	5.40	4.85	3.38	2.27	3.71	4.72
목 포	O	3.31	3.66	3.08	2.06	1.68	2.22	3.02
	C	3.36	2.66	1.82	1.56	2.03	2.85	2.50
제 주	O	2.24	1.88	1.72	1.94	2.22	2.22	1.85
	C	2.12	1.48	1.14	1.35	1.84	1.76	1.12
여 수	O	1.90	1.66	2.04	2.54	2.66	2.22	1.50
	C	1.70	1.17	1.42	2.18	2.68	1.55	0.95

O: 觀測值, C: 算定值

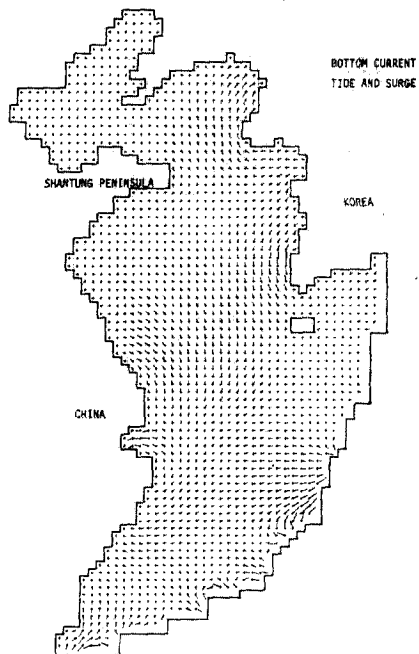
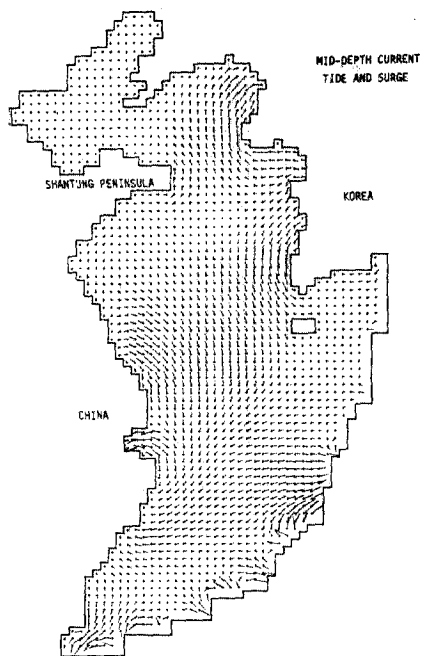
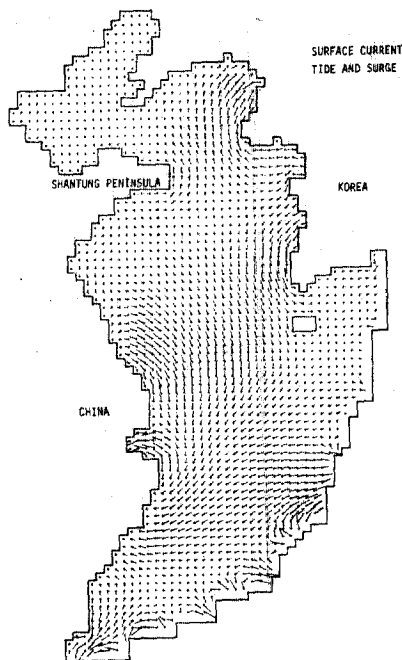
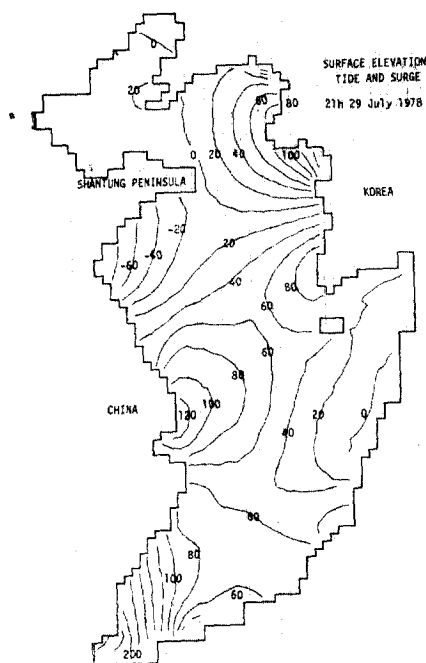


그림 6. 1978년 7월 29일 21시의 해면 및 해류분포

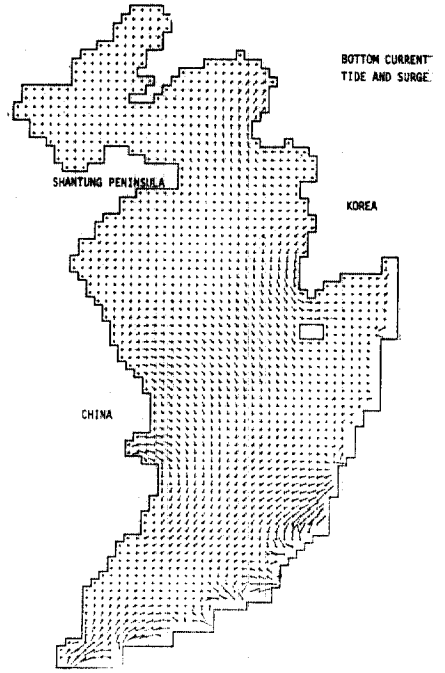
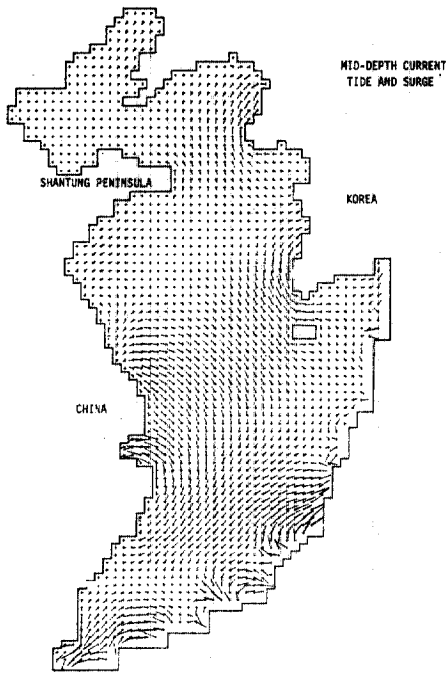
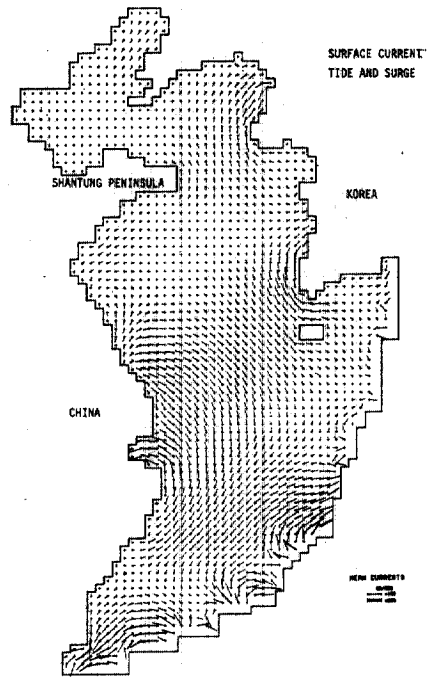
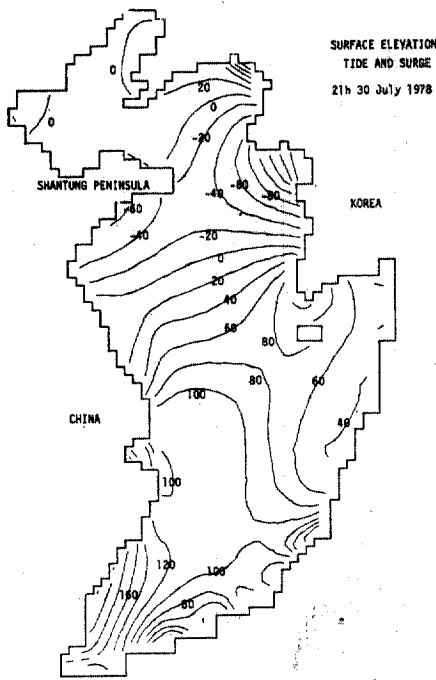


그림 7. 1978년 7월 30일 21시의 해면 및 해류분포

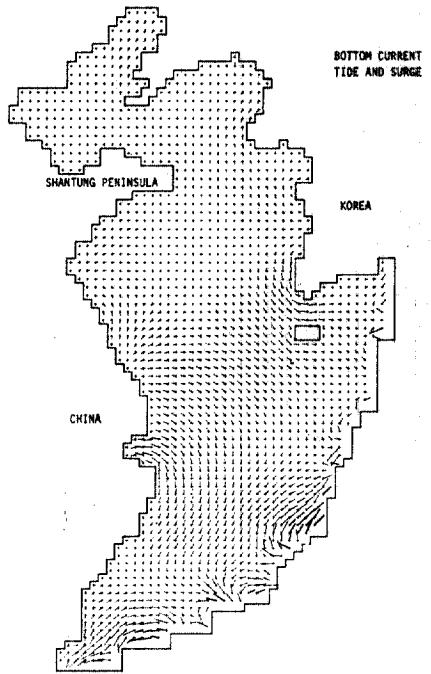
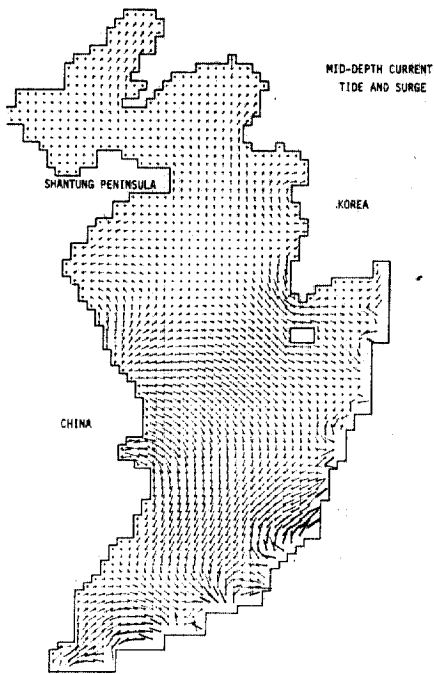
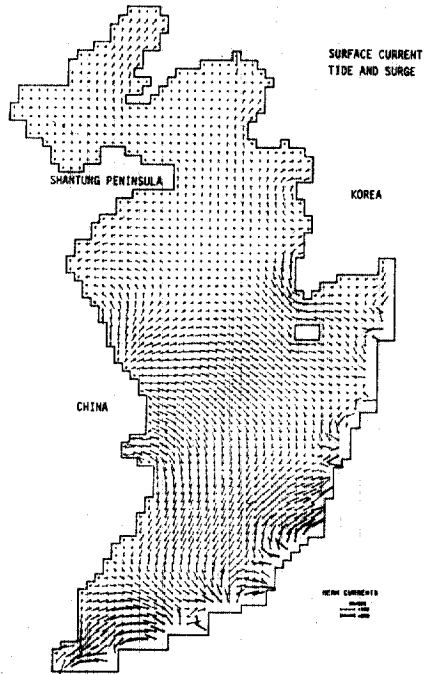
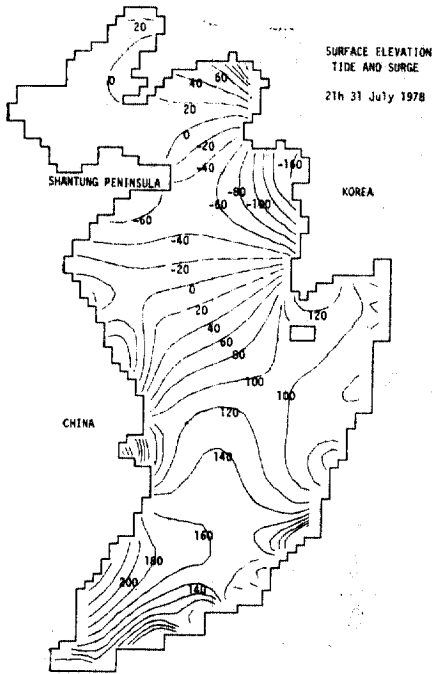


그림 8. 1979년 7월 31일 21시의 해면 및 해류분포

表-3. 海溢의 觀測值 및 算定值의 比較 (單位: 미터)

檢 潮 所		7월 30일 23시	7월 31일 1시	7월 31일 3시	7월 31일 5시	7월 31일 7시	7월 31일 9시	7월 31일 11시
인 천	O	0.23	0.22	0.28	0.25	0.25	0.33	0.45
	C	0.48	0.05	-0.55	-0.02	0.24	0.47	0.58
군 산	O	0.72	0.23	-0.20	-0.10	0.06	0.43	0.67
	C	0.20	0.05	-0.15	-0.06	0.06	0.15	0.05
목 포	O	0.01	0.27	0.32	0.40	0.13	-0.07	0.15
	C	0.05	0.27	0.09	0.32	0.38	-0.03	-0.02
제 주	O	0.26	0.32	0.37	0.41	0.37	0.35	0.34
	C	0.05	0.06	0.20	0.23	0.14	0.02	0.20
여 수	O	0.19	0.24	0.25	0.23	0.28	0.18	0.17
	C	0.25	0.16	0.26	0.33	0.10	0.26	0.18

O: 觀測值, C: 算定值

특히 現場海流觀測資料는 存在하지 않으므로 우리나라 沿岸檢潮所—仁川, 群山, 木浦, 濟州, 麗水港의 海面觀測值와 모델算定值를 一定期間 抽出하여 提示한 것이 表-2에 提示되어 있다. 算定된 海面이 陸棚潮位觀測資料에 依한 入力이 아니고 潮汐圖로부터 類推된 4個分潮에 依한 入力에 依한 것임을 勘案할 때 一般의인 一致를 보인다 할 수 있다. 表-3은 算定된 海溢高와 觀測海溢(檢潮資料—潮位推算值)의 比較值를 提示하는 바 初期結果로서는 그 程度가 비슷한 傾向이나 追後 改善할 餘地가 많다.

4. 討 議

颱風圈의 風速分布를 氣壓分布로부터 算定할 수 있는 信賴性있는 方法이 必要하다. 理論的인 地衡風으로부터 海面風을 算定하는 方法은 氣壓傾度가 緩慢한 低氣壓의 移動에는 比較的 滿足스러우나 傾度가 甚한 颱風의 境遇 그 結果가 疑心스럽다. 個個의 颱風마다의 最大風速을 갖는 半徑을 設定하고 各 地點의 風速을 評價하는 方法⁽²⁰⁾ 亥는 모델海域이 廣域일 때 氣象入力資料를 短時間에 作成하는 方法으로 適合치 않는 것 같다.

本 研究에서는 前者의 方法을 擇하고 颱風中心 周圍의 過度히 算定된 風速을 抑制(suppress)시키는 方法을 于先 取하였으나, 追後 東支那海上의 日本氣象廳의 氣象부이(Ocean Data Buoy St-

ation)의 資料를 徹底히 分析하여 改善시키는 努力이 必要하다. 아마도 前者의 方法을 모델全體에 適用하고 後者의 方法에 依한 颱風中心圈의 風速算定結果를 結合(patch)시키는 方法이 適合할 것으로 思料된다.

모델의 檢證을 爲하여는 中國沿岸의 檢潮資料 및 現場海流觀測資料가 必要하다. 東支那海를 通過하여 우리나라 東海를 經由하는 颱風은 그 反時計方向의 風速分布로 中國沿岸 特別 長江河口, 杭州灣隣近에 큰 海溢을 誘發시키는 것으로 思料된다. 現在 1985年 夏節 및 冬季에 우리나라 沿岸 및 中國沿岸에 長期海流觀測을 美國, 中共과 共同으로 實施할 計劃인 바 이 資料가 確保되면 모델의 改善이 이루어질 것이다.

本 研究에 利用된 모델의 解像度는 約 22 km 인 바 溢風中心圈을 잘 解像시킬 수 있는 移動細部格子技法(moving fine-grid scheme) 및 大格子와 小格子의 動的連結技法(dynamic linkage scheme)을 利用한 모델의 改善 亥는 必要한 事項인 바 高速컴퓨터(vector array processing computer)를 使用할 수 있어야 한다. 本 研究의 모델算定은 大容量의 AMDAHL 5850에서 遂行되었는데 主計算인 潮汐과 氣象條件을 同時에 賦與한 境遇와 潮汐條件만을 賦與한 境遇가 各己 33分의 c.p.u所要時間을 가졌다.

5. 結 論

東支那海의 3次元모델이 颱風海溢에 依한 3

次元의 海流分布를 算定하는 데 利用되었다. 初期結果가 提示되었고 露呈된 問題點들을 叙述하였으며 追後의 改善方向을 討議하였다. 現在 力學原理에 立脚한 모델에 의한 陸棚 海水流動 現象의 徹底한 糾明이 近年에 繼續되는 美·中共 共同海洋觀測프로그램과 聯關하여 遂行되고 있다. 이러한 一連의 研究는 陸棚力學의 糾明이라는 基礎研究로서 遂行되지마는, 그 實用的인 側面은 颱風海溢豫報라는 防災의인 側面, 汚染物質의 擴散을 包含하는 環境工學的인 側面 및 陸棚의 採油施設의 設計에도 重要한 環境資料를 提供한다.

謝 辭

本 研究는 1983 年度 韓國學術振興財團의 研究費支援에 의해 遂行되었다.

參 考 文 獻

1. Flather, R.A., and R. Proctor, *Prediction of North Sea storm surges using numerical models: recent developments in the U.K. in North Sea Dynamics*(ed. J. Sunderman and W. Lenz), Springer, Berlin, 1983, pp.299~317.
2. Timmerman, H., *Meteorological effects on tidal heights in the North Sea.*, Mededelingen en Verhandelingen van het Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut, No. 99, 1977, p.105.
3. Soetje, K.C. and C. Brockmann, *An operational numerical model of the North Sea and the German Bight.* in *North Sea Dynamics*(ed. J. Sunderman and W. Lenz), Springer, Berlin, 1983, pp.95~107.
4. Hansen, W., *Theorie zur Errechnung des Wasserstandes und der Stromungen in Randmeeren nebst Anwendungen.* Tellus, 8, 1956, pp.287~300.
5. Heaps, N.S., Storm surges, 1967~1982. *J. Geophys. R. Astr. Soc.*, 1983, 74, 331~376.
6. Leendertse, J.J., R.C. Alexander, and S. Liu, *A three-dimensional model for estuaries and coastal seas: 1. Principles of computation.* Rand Rep. R-141, M-OWRR, 1973.
7. Freeman, N.G., A.M. Hale and M.B. Danard, A modified sigma equation approach to the numerical modelling of Great Lakes Hydrodynamics, *J. Geophys. Res.*, 1972, 77, 1050~1060.
8. Simons, T.J., Verification of numerical models of Lake Ontario, Part I, Circulation in spring and early summer. *J. Phys. Oceanogr.*, 1974, 4, 507~523.
9. Sundermann, J., Three-dimensional model of a homogeneous estuary. in *Proc. 14th Coastal Engineering Conference*, Am. Soc. Civil Engineers, New York, 1974, 3, 2337~2356.
10. Davies, A.M., *On formulating a three-dimensional sea model with an arbitrary variation of vertical eddy viscosity.* Computer methods in Applied Mechanics and Engineering, 1980, 22, 187~211.
11. Davies, A.M., *Three-dimensional modelling of surges.* in *Flood due to High Winds and Tides* (ed. D.H. Peregrine), Academic Press, 1981, pp.45~74.
12. Choi, B.H., *A three-dimensional model of the East China Sea.* in *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*(ed. T. Ichiye), Amsterdam, Elsevier, 1984, pp.209~224.
13. Choi, B.H., Observed and computed tidal currents in the East China Sea. *Submitted to Journal of Oceanological Society of Korea.*
14. 崔秉昊, 三次元數值모델을 利用한 東支那海의 定常均一風의 應力에 依한 海流의 算定. 韓國海洋學會誌, 第19卷, 第1號, 1984.
15. Choi, B.H., Computation of meteorologically-induced circulation in the East China Sea. *Proceedings of Symposium on Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, June 19~23, Seoul, Korea(in press).
16. Larsen, L.H. and G.A. Cannon, Tides in the East China Sea. *Proceedings of Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf*, April 1983, Hangzhou, China.
17. Choi, B.H., *A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea.* Korea Ocean Research and Development Institute(KORDI), rep. 80-02, pp.72.
18. Davies, A.M. and R.A. Flather, *Application of numerical models of the North West European*

- Continental Shelf and the North Sea to the computation of the storm surges of November to December 1973.* Deutsche Hydrographische Zeitschrift Ergänzungsheft, Reihe A, Nr. 14, 1978.
19. Buckingham, R.A., *Numerical methods.* London, Pitman, 1957, p. 605.
 20. Hasse, L. and V. Wagner, *On the relationship between geostrophic and surface wind at sea.* Month. Weather Rev., Wash., 1974, 99, pp. 351~383.
 21. Heaps, N.S. Storm surge on continental shelf. *Phil. Trans. R. Soc., A*, 1965, 257, 351~383.
 22. Wu, J. Wind stress and surface roughness at air-sea interface. *J. Geophys. Res.*, 1969, 74, pp. 444~455.
 23. Brocks, K. and L. Krugermeyer, *The hydrodynamics roughness of the sea surface. in Studies in Oceanography* (ed. I. Gordon), 1972, 1, pp. 75~92.
 24. Garratt, J.R., *Review of drag coefficient over oceans and continents.* Mon. Weather Rev., 1977, 105, pp. 915~929.
 25. Large, W.G., The turbulent fluxes of momentum and sensible heat over the open sea during moderate to strong wind. *Ph. D. thesis, Univ. of British Columbia*, Vancouver, Canada, 1979.
 26. Smith, S.D., Wind stress and heat flux over the ocean in gale force winds. *J. Phys. Oceanogr.*, 1980, 10, pp. 709~726.
 27. Wu, J., Wind stress coefficients over sea surface near neutral conditions: A revisit. *J. Phys. Oceanogr.*, 1980, 10, pp. 727~747.
 28. Wu, J., Wind-stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane. *J. Geophys. Res.*, 1982, 87, C12, pp. 9704~9706.
 29. National Aeronautics and Space Administration, SEASAT-Global Ocean Monitoring System. *NASA-TM-X-74621*, 1977.
 30. Graham, H.E. and D.E. Nunn, Meteorological considerations pertinent to Standard Project Hurricane, Atlantic and Gulf coast of U.S.A., *U.S. Weather Bureau, N.H.R.P.*, rep. 33, 1979.

(接受 : 1984. 10. 23)