

新日本製鉄株式会社
京都大学防災研究所

正会員

岡 扶 樹

山 下 隆 男

土 屋 義 人

1. 緒 言 海峡や湾などのように、比較的水深が浅く狭い領域における高潮をシミュレートする場合、外力として海面に作用する風の応力の他に、海底におけるせん断応力を考慮する必要がある。一般にこれらの応力は、流速ベクトルの関数として評価されるため、流れの方向を正確に再現することが、シミュレーションの精度を向上させるうえで必須であろう。すなわち、強風に伴う吹送流の卓越する高潮現象を、いわゆる単層モデルで長波として取り扱うのではなく、流速の鉛直分布を考慮してより次的に流況をモデル化するべきであろう。本研究ではこのような観点から、吹送流の卓越する位層とそれによるもどり流れの位層とで分割される2レベルモデルによる高潮の数値予知法を提案し、これを大阪湾へ適用して、従来用いられてきた単層モデル(1レベルモデル)との比較において、両モデルの特性を検討した結果を述べる。

2. 基礎方程式 図1に示すような座標系において、Coriolis力を考慮した非圧縮性粘性流体の運動方程式および連続式は次式で示される。

$$\partial \mathbf{V} / \partial t + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} = -2\omega \times \mathbf{V} + \mathbf{F} - g/\rho_w \cdot \text{grad } P + \nu \Delta \mathbf{V} \quad (1), \quad \text{div } \mathbf{V} = 0 \quad (2)$$

ここに、 $\mathbf{V}$; 速度ベクトル(u, v, w), $\mathbf{F}$; 外力ベクトル($0, 0, -g$), ω ; 地球自転

の回転ベクトル, P ; 圧力, ν ; 動粘性係数, ρ_w ; 海水の密度および g ; 重力の加速度

である。いま、吹送流の卓越する位層の厚さを R_L とし、この点を結ぶ面を境界とする2レベルモデルを考え、上、下位層ごとに鉛直方向に式(1),(2)を積分平均化すると、基礎方程式として次式を得る。(x方向のみ示す。)

$$(i) \text{ 上位層 } \partial M_1 / \partial t + NL_1 + (uw)_i = -fN_1 - g(A+s) \cdot \partial \zeta / \partial x - 1/\rho_w \cdot \partial P / \partial x + \tau_s / \rho_w - \tau_i / \rho_w + HM_1 \quad (3)$$

$$(ii) \text{ 下位層 } \partial M_2 / \partial t + NL_2 - (uw)_i = -fN_2 - g(R-L) \cdot \partial \zeta / \partial x - 1/\rho_w \cdot \partial P / \partial x + \tau_b / \rho_w - \tau_i / \rho_w + HM_2 \quad (4)$$

$$(iii) \text{ 連続式 } \partial \zeta / \partial t + \partial (M_1 + M_2) / \partial x + \partial (N_1 + N_2) / \partial y = 0 \quad (5)$$

ここに、 NL_1, NL_2 ; 慣性項, $(uw)_i$; 境界面での運動流束項, HM_1, HM_2 ; 水平混合項, M, N ; x, y方向の質量流束, τ_s, τ_i, τ_b ; それぞれ海面、境界面および海底でのせん断応力である。

さらに、式(3)から(5)から境界面における質量および運動量の交換に関する項を除くと、1レベルモデルの基礎式となる。

以上の基礎方程式において、せん断応力は次式で与えられる。(x方向のみ示す。)

$$\tau_s = \rho_a \gamma^2 W_{0x} \sqrt{W_{0x}^2 + W_{0y}^2}, \quad \tau_b = \rho_w \gamma^2 U_L \sqrt{U_L^2 + V_L^2}, \quad \tau_i = 2\rho_w \gamma_L CA (U_U - U_L) / (A+s) \quad (6)$$

ここに、 W_{0x}, W_{0y} ; x, y方向の海面上10mでの風速, U, V ; 平均流速で、サフィックス U, L は上位層、下位層のそれを示し、 γ_L ; 鉛直方向の滑動粘性係数, γ^2 ; 流れに対する抵抗係数で0.0026, および CA ; 境界面での抵抗係数で、ここでは、全流量がゼロの場合の等流状態の吹送流流速分布から1.5とする。

3. 数値モデル化 1レベルおよび2レベルモデルの基礎方程式を、差分法を用いて数値的に解くわけであるが、空間的差分化として中央差分、時間的にはアリティフ法によるexplicitな差分法を用いた。なお、分割格子および変数配列を図2に、計算の経過を図3にそれぞれ模式的に示した。図中、X印はいわゆる流量点を示し、O印は水位点を示す。

4. 数値計算の方法 (i) 計算領域; 江井一東二見を西の開境界、沼島一海南を南の開境界として、大阪湾全域を含む、いわゆる大阪湾の狭領域で、座標原点は東経134°50', 北緯34°04'に設定し、水深は海図から格子内の平均水深を読みとって与えた。(ii) 台風のモデル; 藤田の式において、台風定数を以下に示すように与え、進行速度45km/hrの等速度で室戸台風のコースを通過させた。台風半径200km, 中心気圧0.6m(水柱

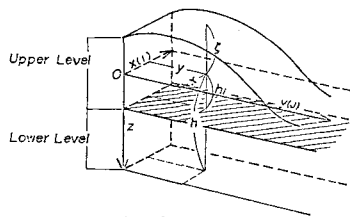


図-1 座標系および記号

換算値), 傾度風および移動風の定数は, ともに 0.6 である。(iii) 計算条件: 空間のさ
 ざみ幅 $\Delta S = 1.5 \text{ km}$, $\Delta t = 20 \text{ sec}$, $\rho_a = 0.00129 \text{ g/cm}^3$, $\rho_w = 1.03 \text{ g/cm}^3$, $f = 8.26 \times 10^{-5} \text{ 1/sec}$,
 $\nu_v = 0.01 \text{ m}^2/\text{sec}$, $k_b = 8 \text{ m}$ および水平方向
 の滑動粘性係数 $\nu_H = 20.0 \text{ m}^2/\text{sec}$ 。(iv) 境界
 条件: 固定境界に対しては完全反射の条件を,
 開境界については, 気圧低下による吸い上げ
 相当水位の時間的变化を与えた。(v) 初期条
 件: 潮汐計算は入れず, 水位, 流速ともにゼ
 ロとした。

5. 計算結果および考察 図4および5は,
 神戸, 大阪, 淡輪, 洲本に対応する水位変
 の両モデルの水位の時間的变化を示してい
 るが, この図から次のようなことが考察さ
 れる。

1 レベルモデルの神戸および洲本にみられ
 水位の2ピークは, 台風の中心が湾に最も接
 近するのが5hrであることから, 水位で与え
 た開境界条件が長波として伝播したためであ
 ると考えられる。一方, 2 レベルモデルの
 場合には, 台風の接近に伴う湾奥方向への吹
 送流のために, 大阪において4hrにすでに
 ピークがみられ, 1 レベルモデルの場合のよ
 うに, 境界近くの水位変で不自然な2ピーク
 は生じていない。図6および7は, それぞれ
 4hr, 5hrでの湾内の流況を示したもので,
 2レベルモデルの上
 位層の流は風に追従して湾奥へ吹き寄せら
 れ, 明石海峡を
 通って播磨灘へ流出しているが, 1レベルモ
 デルでは流れに
 蛇行が生じてお
 り, 複雑な流況
 を程している。

6. 結 語 以上の数値計算結果から, 2レ
 ベルモデルおよび1レベルモデルの特性と
 して次のような結果が得られた。

(i) 2レベルモデルでは, 吹送流のように,
 鉛直方向に流
 速の分布が形成される流れに対して, 海水
 の流動に対する応答性が期待でき, このよ
 うな流況を程すると考えられる高潮現象
 をシミュレートするためには, この種のモ
 デルの導入が必要であろう。

(ii) 1レベルモデルでは, 開境界の条件が
 長波として伝播するという不都合が, モデ
 ルの特性として存在する。

なお, 本研究は文部省科学研究費, 自然
 災害特別研究(302027)による成果の一部
 であることを付記する。

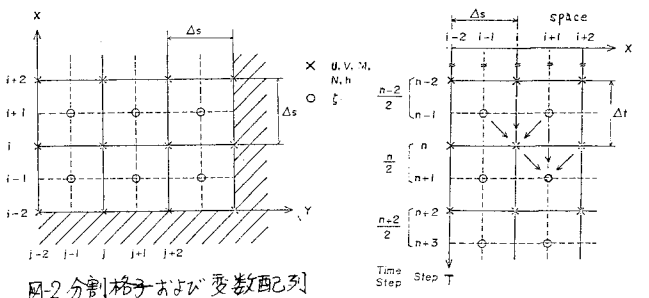


図2 分割格子および変数配列

図3 計算経過の模式図

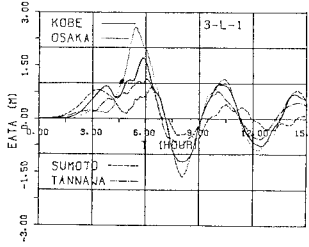


図4 水位の時間的变化(1レベルモデル)

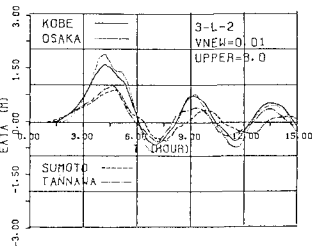


図5 水位の時間的变化(2レベルモデル)

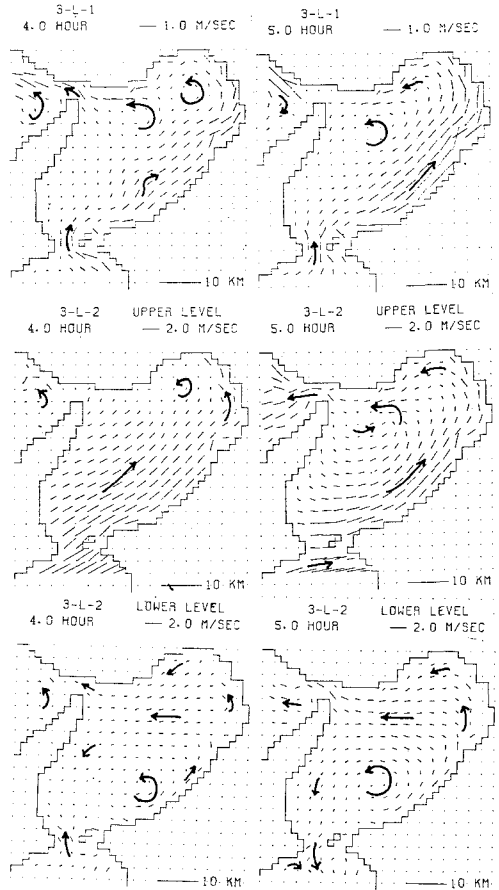


図6 流況図(4hr)

図7 流況図(5hr)