

k-εモデルを用いた三次元河川ブルームの数値実験

大阪大学大学院 学生員○山見晴三
大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
大阪大学工学部 正 員 室田 明

1.はじめに：従来、三次元数値実験では渦動粘性・渦拡散係数を用いる0方程式モデルが用いられてきた。しかし、係数値の設定に際しては経験則に頼らざるを得ず、淡水と塩水が混ざり合う河口付近の複雑な三次元密度流を正確に再現できるか否かは疑問である。そこで、乱流輸送量を客観的に評価できるk-ε二方程式モデルを三次元河川ブルームの数値実験に適用し、水理実験(西田,1980)と0方程式モデルを用いた数値実験との比較からその適用性を検討する。

2.数値モデルの概要：三次元密度流数値モデルの概要は海岸工学論文集(第36巻,1989)のとおりである。モデル海域は河道部と連結させた河川中心軸から、片側半領域を想定する。河道部は長さ60cm,幅4cm,上流端水深 $H_u=0.9$ cm,河口水深 $H_e=2.8$ cm,海域部は長さ400cm,幅150cm,水深23.8cmであり、放流流量は $Q_f=16.6$ cm³/s,相対密度差 $\epsilon=0.003$ とした。放流密度フルード数は、 $F_{d_f}=2.84$ である。河道部上流端で既往の研究成果に基づき、乱流エネルギー $k_u=0.025U_{\tau}^2$ 、エネルギー逸散率 $\epsilon_u=k_u^{3/2}/H_u$ を与えた。鉛直方向の渦動粘性係数 ν_z と渦拡散係数 K_z は k および ϵ の輸送方程式に基づくk-εモデルを採用した。 ν_z の値は $\nu_z=0.09k/\epsilon$ によって算出される。また、水平方向の両係数は浮力の影響が少ないという従来の考え方に基づき一定値(0.0031cm²/s)とする。一方、0方程式モデルでは一定値の ν_z と $K_z(=0.0082$ cm²/s)を与え、成層化の影響は成層化関数で補正した。ここでは、成層化関数として、 ν_z に対して Webb 式(1970)、 K_z に対して Munk-Anderson 式(1948)を用いる。また、水平方向の両係数は同様に一定値(=0.037cm²/s)とする。

3.計算結果と考察：k-εモデルの計算では河口での淡水層厚 H_f は2.12cm($H_f/H_u=0.76$)、河口密度フルード数は0.99である。また、水面上昇量 η は0.0051cmである。その値は淡水層厚の0.239%であり、0方程式モデルによる結果の0.241%とほぼ同じである。

図2は中心軸上の表層における ν_z の流下方向変化を示す。k-εモデルの ν_z は0方程式モデルに比べて、少し大きな値となっている。これは上流端での k および ϵ の設定値が大きかったことに起因すると考えられる。河道内では上流端で与えられた k および ϵ が鉛直下方に拡がって輸送されるために、 ν_z の値は流下方向に減少していく。しかし、河口に近づくと、浮力の影響を受けて k, ϵ が上方に輸送され、表層での値が大きくなる。その結果、 ν_z の値は大きくなる。河口を出ると k や ϵ は水平方向へ拡がるために ν_z の値は流下方向に減少していく傾向が観られる。一方、0方程式モデルでは全断面で一定値を与えた ν_z が成層化関数により減少するのみである。そのため、表層での値は流下方向に概ね一定値をとる。河道内で観られる ν_z の増減は底面の不連続の影響であると考えられる。

図3は中心軸における ν_z の鉛直分布を示す。図(a)は X/B_0

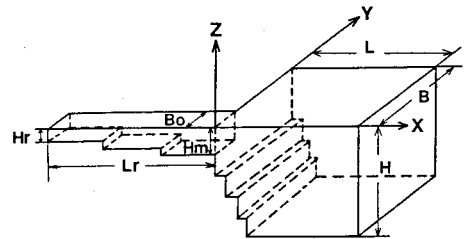


図1 数値モデル図

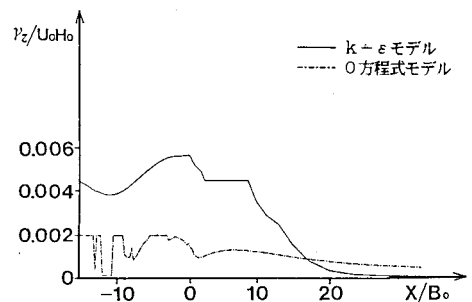


図2 ν_z の流下方向変化

$=0.125$ 、図(b)は $X/B_0=3.538$ である。 $k-\varepsilon$ モデルでは ν_t は淡水層部から鉛直下方に連続的に減少しているのに対し、 ϕ 方程式モデルでは下層部で成層化関数による成層効果が効かず、一定値に近い値を保持している。そのために下層部深くで ν_t の値が増大したと考えられる。

図4は中心軸上の表層での流速と密度の流下方向変化を示す。 $k-\varepsilon$ モデルの結果には河口近傍で加速され、すぐに減速する河川ブルーム特有の加速現象が顕著に現れているのが特徴的である。

図5(a),(b)は密度フルード数 F_d および淡水層厚 H_d の中心軸における流下方向変化を示す。水理実験結果を比較のために掲載した。数値実験では、密度差が初期密度差の2%となる位置を界面と定義した。水理実験では染料の可視化に基づいている。また、 F_d 数は表層の最大流速ならびに H_d を用いて算出した。 $k-\varepsilon$ モデルで得られた F_d 数は ϕ 方程式モデルおよび水理実験に比べて全体的に少し小さい。これは、上流端での k および ε の設定値が大きかったために ν_t の値が大きくなり、鉛直下方への拡がりの過大評価につながったと考えられる。しかし、河口付近での H_d の減少、 F_d 数が沖合いで最大となる位置、および F_d 数の流下方向変化の傾向は、 ϕ 方程式モデルに比べて水理実験に近いものと言える。

図6は密度フルード数の水平方向分布を示す。上図は $k-\varepsilon$ モデルの結果、下図は水理実験結果である。 $k-\varepsilon$ モデルの結果と水理実験結果の密度フルード数の分布形状の傾向は非常によく一致している。

4 おわりに： $k-\varepsilon$ モデルにより乱流輸送量、とくに成層効果の影響下にある鉛直方向の渦動粘性・渦拡散係数を客観的に評価することが可能となり、従来 ϕ 方程式モデルに比べて三次元河川ブルームの流動をより正確に再現できることが確認できた。

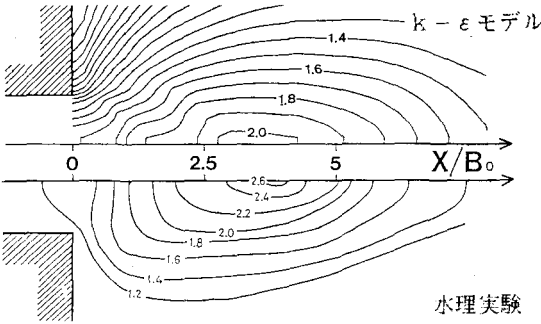
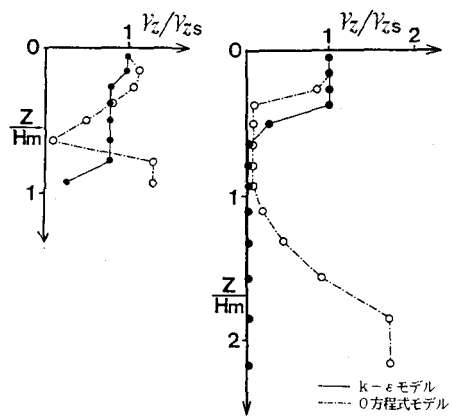


図6 F_d 数の水平分布



(a) $X/B_0=0.125$ (b) $X/B_0=3.538$

図3 ν_t の鉛直方向分布

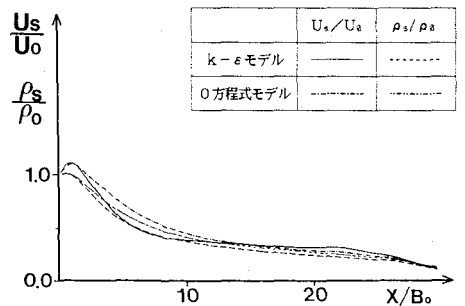


図4 流速・密度の流下方向変化

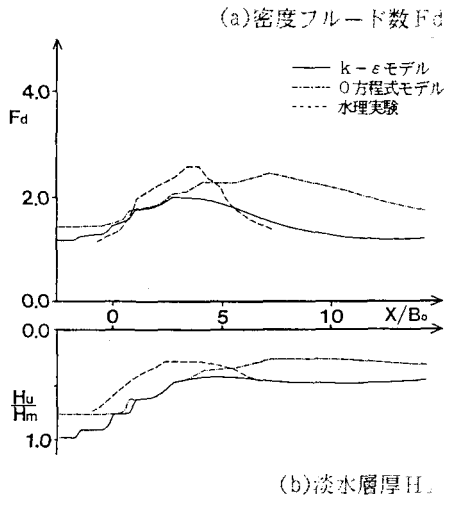


図5 $F_d; H_d$ の流下方向変化

参考文献 西田(1989): 私信, 室田ら(1989): 海岸工学論文集, 第36巻, pp.214-218