

渦と交番流の相乗効果による縦分散に関する研究

滋賀県 企画部

正員 大西 行雄

大阪市

正員 吉松 康公

京都大学 防災研究所

正員 村本 嘉雄

1. まえがき：潮流流が卓越し、水平地形の影響で残差環流が形成されるような沿岸水域における物質分散現象に関して、著者ら^(1,2)は、潮流流（交番流）とそれから二次的に形成する残差流（渦流）の相乗効果の重要性を、数値モデル実験（渦-交番流モデル）によって主張してきた。本報告は、交番流水槽での実験結果から交番流強度と渦流強度の関係を検討するとともに、縦分散現象に対する渦-交番流モデルの適用性を検討したものである。

2. 水槽実験：アクリル製水槽（幅 $W=20\text{cm}$ 、全長 2m ）に非越流型の水制を間隔 $L=20\text{cm}$ で、両側壁に交互に設置し、水深 $H=10\text{cm}$ を一定に保ちながら、周期 T 、半周期毎分流量 V の交番流をピストンによって発生させた。水制長さ δ は $\delta=\frac{1}{4}W$ （ケースⅠ）、 $\delta=\frac{1}{2}W$ （ケースⅡ）、 $\delta=\frac{3}{4}W$ （ケースⅢ）の3ケースを考え、 V と T の幾つかの組み合わせについて、流速分布測定とローダミン染料拡散実験を行った。流速分布測定は、浮子の写真撮影によって行い、一周期につき12位相の流速分布を時間平均して渦流（残差流）分布とした。拡散実験は瞬間点源投入した染料の濃度分布を水槽の54地点で同時採水し、その結果からルーチン法によって分散係数を求めた。実験条件および結果は下のように無次元表示され、表-1に示されている。

交番流強度 $B = \lambda / 2L$ ($\lambda = V / WH$)

渦流強度 $A = 2\sqrt{E_p^* T} / L$ (E_p^* = 渦流の空間平均運動エネルギー)

分散係数 $D_m = D_m^* T / L^2$ (D_m^* = 次元付分散係数)

レイノルズ数 $Re(u) = uW/\nu$ ($u = \pi V / TH(W-\delta)$, $\nu = 0.01\text{cm}^2/\text{sec}$)

渦流の流速分布の例を2つの水制に挟まれたIブロックについて図-1に示す。ケースⅠとⅡでは各ブロックに1個の渦流が、ケースⅢでは各ブロックに2個の逆回転の渦流が形成されている。どのケースでも隣接するブロックには、同様の、しかし逆回転の渦流が形成されている。

水槽実験の結果から、 A と B の関係を図-2、 D_m と B の関係を図-3に示す。図-2が

表-1 実験条件および結果

Run No.	λ (1)	δ (2)	L (3)	u (4)	$Re(u)$ (5)	A (6)	B (7)	D_m (8)
-01	1.54	122.2	2.72	0.791	1530	2.97	0.192	0.540
-11	0.121	120.4	0.598	3.024	125	0.206	0.0150	0.0141
-12	0.490	121.6	0.93	0.207	413	0.804	0.0355	0.3753
-13	0.496	121.4	2.48	0.257	514	1.13	0.0621	0.157
-14	0.739	122.2	4.70	0.433	968	1.97	0.117	0.393
-15	1.26	122.2	6.30	0.647	1290	2.44	0.157	0.482
-16	1.06	122.2	9.30	0.358	1910	3.46	0.232	0.373
-17	2.77	122.2	10.9	1.12	2225	2.7	0.222	0.368
-21	1.56	60.2	7.82	1.63	3250	3.41	0.196	0.247
-22	1.57	79.8	7.05	1.64	2470	3.15	0.156	0.252
-23	1.56	99.6	7.75	0.280	1960	3.00	0.194	0.256
-24	1.56	140.3	7.70	0.695	1390	2.66	0.194	0.262
-25	1.56	160.7	7.70	0.607	1700	2.85	0.157	0.49
-31	0.199	121.4	0.295	3.103	206	—	0.3219	0.0233
-32	0.306	119.5	1.87	0.161	321	—	0.2243	0.047
0-01	0.775	125.8	4.09	2.249	494	1.37	0.122	0.233
0-11	0.254	122.0	1.25	0.0660	132	0.628	0.0320	0.0146
0-12	0.482	122.8	2.41	0.121	246	2.39	0.0602	0.120
0-13	1.39	121.6	7.245	0.374	747	2.12	0.182	0.343
0-14	1.93	122.1	9.69	0.498	995	2.91	0.247	0.378
0-15	2.91	121.6	14.6	0.756	1510	3.00	0.266	0.349
0-16	3.81	121.8	19.2	0.992	1980	4.80	0.487	0.714
0-21	0.960	79.8	4.78	0.375	752	1.41	0.114	—
0-22	0.925	140.7	4.80	0.318	435	1.38	0.122	0.160
0-23	0.975	159.2	4.88	0.182	385	1.28	0.122	0.160
0-24	0.925	203.4	4.95	—	307	1.37	—	0.170
0-31	0.724	121.8	2.67	0.184	255	0.243	0.0917	0.0162
0-32	0.254	122.8	1.27	0.0412	86.5	0.141	0.0317	0.0136
0-33	0.365	121.9	1.83	0.0624	126	0.268	0.0457	0.0113
0-34	1.39	121.6	6.40	0.139	378	0.131	0.117	0.0302
0-35	1.45	120.7	7.31	0.252	507	0.592	0.183	0.0423
0-36	2.18	120.3	11.3	0.382	753	0.700	0.275	0.104
0-37	2.91	119.4	14.5	0.570	1020	1.15	0.364	0.169
0-38	0.724	60.5	3.67	0.254	508	0.304	0.2917	0.0222
0-39	0.725	79.0	3.67	0.175	354	0.452	0.115	0.0374
0-40	0.734	139.5	4.73	0.112	224	0.491	0.2931	0.0236
0-41	0.734	159.7	5.70	0.2872	194	0.356	0.0927	0.0298
0-42	0.734	203.3	3.67	0.0759	152	0.395	0.0922	0.0263
0-43	1.82	120.6	6.22	0.216	832	—	0.283	0.0556
0-44	1.34	121.1	8.47	0.237	860	—	0.311	0.165
0-45	0.743	99.5	2.40	0.158	413	—	0.2929	0.0351
0-46	0.743	125.0	2.44	0.0695	139	—	0.2517	0.0272

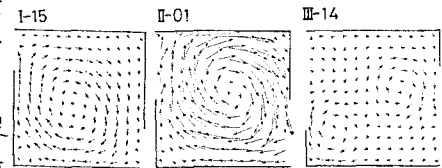


図-1 残差渦流の流速分布図

ら、 A は B にほぼ比例することが見られる。同一の B に対する A の値は、ケース I, II に比べて、ケース III は小さいが、これは図-1 に見られるような渦流形状の違いのためであろう。

3. 数値実験(渦-交番流モデル)：このモデルは、交番流 B と渦流 A の相乗効果による縦分散係数 D_z を検討すべく、 A あるいは B の単独では D_z が 0 になるような流況を仮定して、乱れ拡散を含まないで、水粒子のラグランジュ運動を解析したものである²⁾。その結果から A をパラメータにして、 D_z/B と A/B の関係を図-4 に示す。結果はばらついてはいるが、検討した A, B の範囲では、 D_z は図中に示した回帰式 $D_z/B = 0.015(A/B)^2$ ($A/B \leq 4.17A^{1.235}$)、 $D_z/B = 0.26A^{2.47}$ ($A/B > 4.17A^{1.235}$) に従うとしてよいだろう。

渦-交番流モデルから得られたこの回帰式と、水槽実験で得られた A と B の力学的関係(図-2)とを組み合わせて、 D_z と B の関係を推定したのが、図-3 の影の部分である。 B が大きい範囲では D_z は B に比例し、 B の小さい範囲では D_z は B の約 3.5 乗に比例する。

図-3 で、渦-交番流モデルと水槽実験結果とを比較すると、ケース I, II では、分散係数の大きさや、その B に対する依存性についてモデルは、水槽実験結果をよく説明している。ただし、 $B < 0.1$ の範囲ではモデルは過小評価の傾向であるが、これはモデルに含まれていない乱れ拡散の効果が交番流の効果を卓越するためと考えられる。一方、ケース III ではモデルは全体的に過小評価となる。その点に関して、ここでは紙面の関係で示せないが、水槽実験と数値モデルのそれぞれの拡散パターンとの比較によっても、ケース I, II についてはモデルと水槽との対応がよく、ケース III についてはどうでもないことがわかった。ケース I は、半閉鎖型の水域が海峡を通じて連結された瀬戸内海型の沿岸水域のモデルであり、ケース II は、側壁に凹凸のある感潮水路のモデルであると考えてよいだろう。渦-交番流モデルは水側長が水槽幅の半分以上である前者に対して適当である。結論として、同じ流量の交番流が与えられたときには、半閉鎖型の前者の方が大きな縦分散係数を持つこと(図-3)は重要であるが、このことは渦と交番流の相乗効果によって説明されると言えよう。

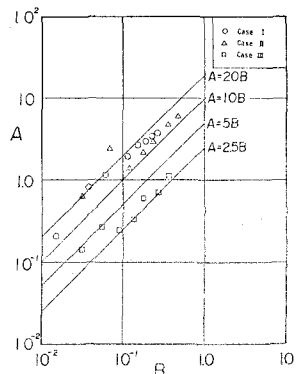


図-2 A と B の関係

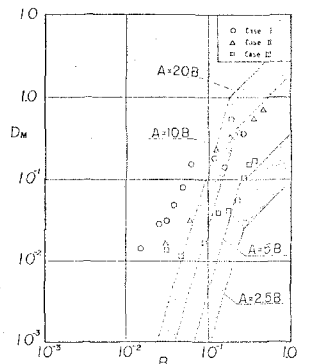


図-3 D_z と B の関係

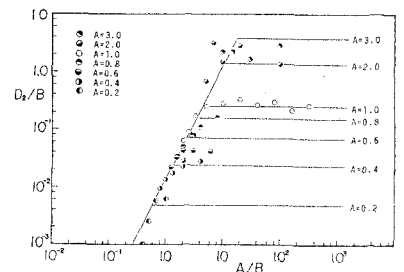


図-4 D_z/B と A/B の関係

参考文献

- 1) Oonishi, Kunishi: Jour. Oceanogr. Soc. Japan, Vol 35, 1979.
- 2) 大西・國司・吉松・秋友: 京都大学防災研究所年報, 第23号B, 1980.