

知多湾における海水流動機構に関する実験的研究

和田 清*・中村 俊六**

1. ま え が き

一般に、内湾における流況や恒流をシミュレートする手法としては、水理模型実験あるいは数値解析が用いられるが、いずれの手法も今日なお十分に確立されたものとなっているわけではない。現地観測結果といういわば「正解」を参照しつつ、何らかの試行錯誤による現地との適合性を高めるための補正が、その都度行なわれているのが現状と言ってよいだろう。

もちろん、工学的要請の重要性和緊急性を考慮すれば、そのこと自体は十分容認される。しかしながら、その解析の目的が主として地形をはじめとする何らかの条件変更に伴う流況や恒流の変化およびそれに付随する水質変化過程などの予測にある場合が多いことを考えると、近年とりわけ大きな条件変更が急増しつつあることから、いささかの不安を禁じ得ない。なぜなら、条件変更以前の「正解」に適合したからと言って、条件変更後も「補正」の妥当性が保証されているとは限らないからである。

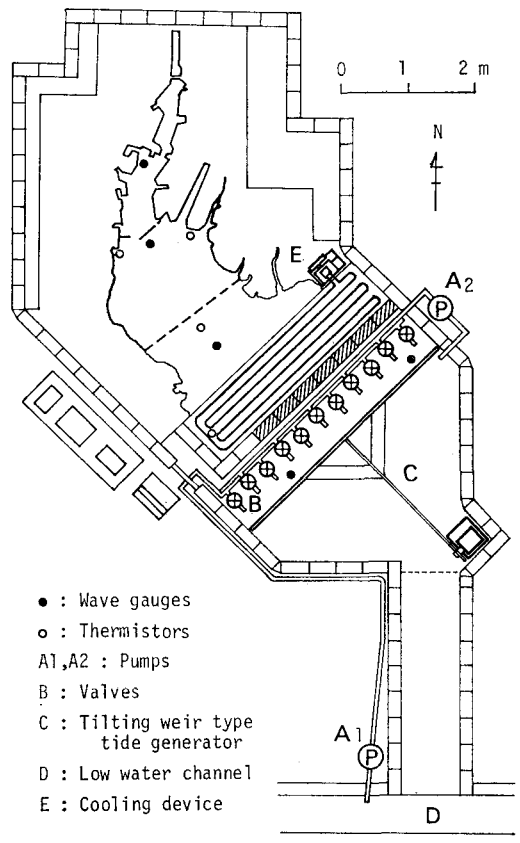
このように考えると、地形をはじめとする条件の変更が流れの諸特性に対して本質的にどのような影響を及ぼすのかを究明したりする努力の重要性は今なおきわめて大きいものと言えよう。

一般に、こうした本質的あるいは基本的検討の手段としては、条件をできるだけ単純化してその条件下での特性を吟味しつつ、順次条件を複雑化していく方法がとられる。ただ、この場合でも検討すべき諸条件の優先順位の決定や、条件の複雑化に従って次第に現地の「正解」に近づくことの保証を確保するためには、現地観測結果との照合がきわめて重要な意義をもつことを忘れてはならないだろう。

本研究は、以上のような観点に立脚して、照合すべき現地として知多湾を設定し、主としてその水理模型実験に基づいて、流況や恒流（今回は潮汐残差流のみ）の形成に及ぼす海底地形などの効果を検討しようとするものである。

2. 実験装置および実験の概要

実験装置全体の平面図を示せば、図—1 のようである。同図からうかがわれるように、装置全体は模型部分と潮汐発生システムとに大別できる。模型部分は、知多湾の縮尺模型であって水平縮尺は 1/5 000、鉛直縮尺は 1/100 となっている。図中の破線は、現地において流速ベクトルがその線とほぼ直交することが観測されている線であって、今回の実験における諸量の観測領域はこの線の北側とした。潮汐発生システムは、いわゆるフラップ式である。模型部分の海底地形は随時着脱が可能であり、知多湾奥の衣浦港も容易に締切ることができる。また、冷



図—1 実験装置平面図

* 学生会員 工修 名古屋大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

** 正 会 員 工博 豊橋技術科学大学助教授 工学部建設工学系

却装置によって水温成層流の実験もできるように工夫されている。

実験は、表—1の実験条件について行ない、流況の観測には浮標を用いた。なお、この他に、中部電力(株)総合技術研究所付属の知多湾潮流模型実験設備(潮汐発生システム:プランジャー式、水平縮尺:1/1 000)を2日間にわたってお借りして、衣浦港を締切り、海底地形をつけた状態での実験も付加した。両模型の縮尺比は表—2のようである。

表—1 実験条件

Case No.	Harbor	Bottom topography	Tidal range(cm)	Temperature distribution
1	open	flat	1.2	uniform
1-1			1.8	
2-1			1.2	
2	close	model	2.0	
2-2			1.2	
3			2.1	
3-1		flat	1.2	
3-2			2.1	
4			2.1	
4-1		model	1.2	stratified
4-2			2.1	
5		flat	1.2	

表—2 縮尺比

Factor	1/1000model	1/5000model	Ratio
Distance	1/1000	1/5000	5
Water depth	1/100	1/100	1
Tidal period	1/100	1/500	5
Velocity	1/10	1/10	1
Diffusivity	$1/1 \times 10^4$	$1/5 \times 10^4$	5
Roughness	1.47	3.28	1/2.23

3. 流 況

実験結果は、1/12周期に相当する時間ごとの浮標の動きとして整理したが、そのままでは流況は一見きわめて複雑で流況特性の把握が困難であるため、種々の再整理を試みた。試みの一例として上げ潮あるいは下げ潮最盛時における流速ベクトル群を同一半径(R)の円周上にあると見なし得るグループごとに分類し、それぞれのグループの中央に半径 R の曲率をもつ大きさ $\bar{v}$ (グループの平均流速)のベクトルとして表現したものの例を示せば図—2のようである。同図中実線ベクトルは上げ潮最盛時、破線ベクトルは下げ潮最盛時のものである。

さて、同図を見ると、

① (a)と(b)の比較から、港の付加がもたらす効果は、港口付近に大きな楕円形の環流を発生させることであり、

② (a)と(c)の比較から、海底地形を付加することの効果は、流れの往復流的性格を強めることにあるが、

③ これらと(d)との比較から、港も海底地形も付加した場合には、単にそれらの効果の重ね合わせにはならない、ように見受けられる。すなわち、(d)の場合の海底地形は、港の付加によって発生した環流を更に拡大強

調する効果を発揮しているように見受けられる。しかしながら、いまの場合、海底地形の最深部は環流楕円の長軸に沿って形成されていることに注意しなければならない。この点に着目すれば、上記②で述べた海底地形の効果は、むしろ導流効果と見直した方が良いように思われる。すなわち、海底地形の存在は流況を必ずしも複雑にするとは限らず、その導流効果によって、流況を単純にする場合(同図(c))も、構造物による環流を拡大強調する場合(同図(d))もある、と言えよう。

4. 潮汐残差流

観測された潮汐残差流の一例を図—3に示す。同図中の破線ベクトルは満潮から次の満潮にかけての残差流であり、実線は干潮から干潮にかけてのものである。また、白ぬきのベクトルは図—2のベクトルから、上げ潮ベクトルと下げ潮ベクトルの和として合成したものである。

さて、同図を見ると、

① まず、白ぬきの合成ベクトルと残差流との比較から、合成ベクトルは、大きさはともかくとして、残差流ベクトルのパターンとよく対応している。

② 同図(a)と(b)の比較から、港の付加は湾全体の右まわりの残差環流に加えて、港口近傍に新しい残差環流(左まわり)を発生させる、

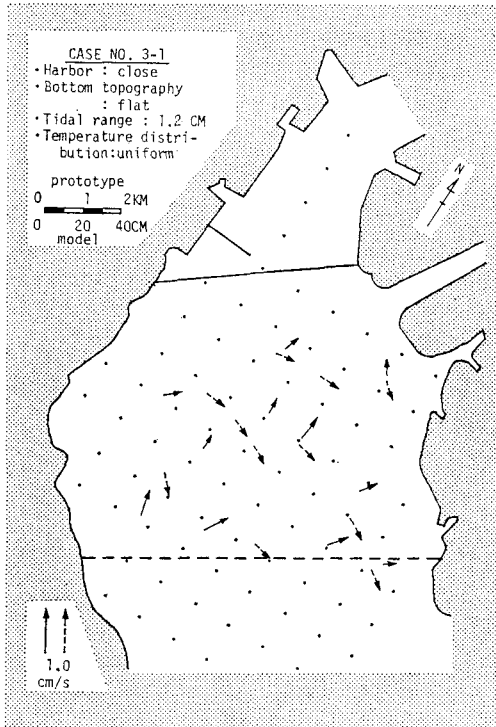
③ 同図(a)と(c)の比較から、このような単純な平面地形の所では、海底地形の設置は流況に及ぼす導流効果を反映して、残差流速を著しく小さくしている、

④ 同図(b)と(d)の比較から、港の出口近傍に発生した残差環流(左まわり)が海底地形の付加によって卓越し、海底地形のない場合の残差環流(右まわり)の方向を一変させている、

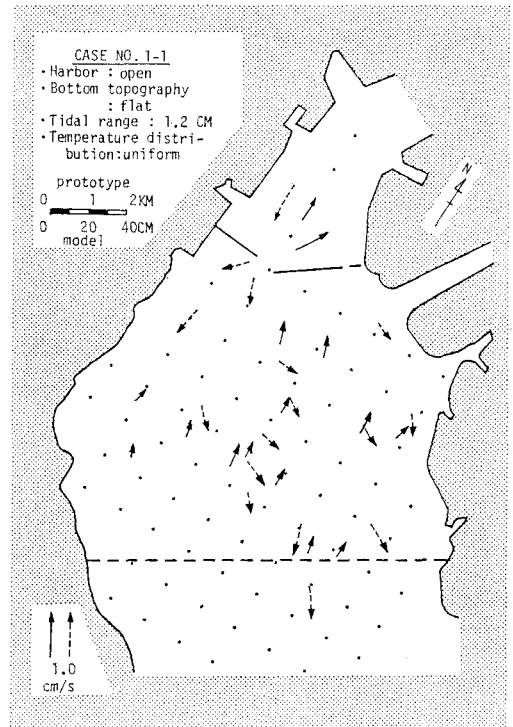
ことなどがうかがわれる。

5. 潮汐残差流における流れの慣性力と地形の効果

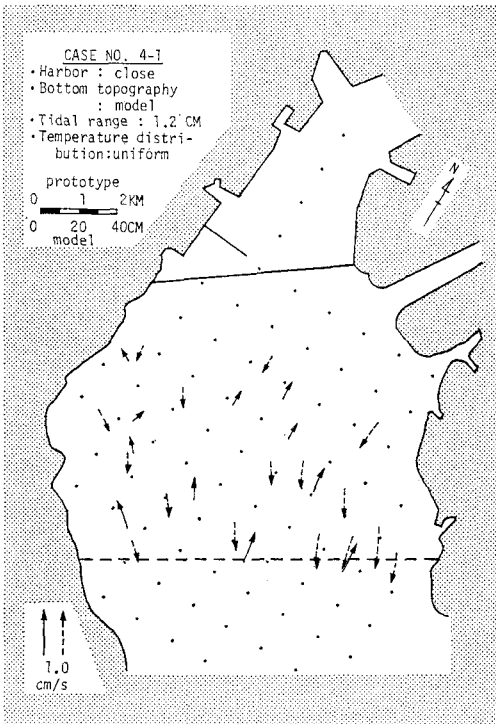
周知のように、潮汐残差流の発生機構については、近年多くの研究が行なわれ著しい成果をあげている。すなわち、水質汚染機構における恒流成分の重要性を指摘した樋口ら¹⁾の実験的研究に始まり、水平地形等に基づく流れの剝離に着目した安田ら²⁾の研究、潮流の振動成分の非線形効果に着目した柳や³⁾、大西ら⁴⁾の研究、潮汐振動流と恒流の相乗効果に関する J. I. Zimmerman⁵⁾、大西ら⁶⁾の研究などによって、単に「非線形効果と地形に起因する潮汐残差流の発生」という漠然とした認識から、「渦度のバランスあるいは渦度の輸送、減衰機構の考察に基づく残差流発生機構の認識」へと進展してきている。しかしながら、これらの成果によってもなおいくつかの疑問を感じざるを得ない。例えば、①渦度の存在は残差流生成に不可欠なのか、②海底地形はいかな



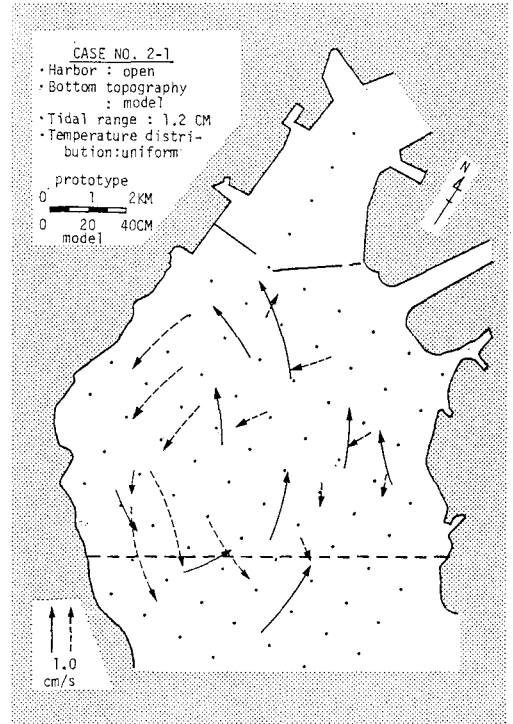
(a) Case 3-1, 海底地形: なし, 港: なしの場合



(b) Case 1-1, 海底地形: なし, 港: ありの場合

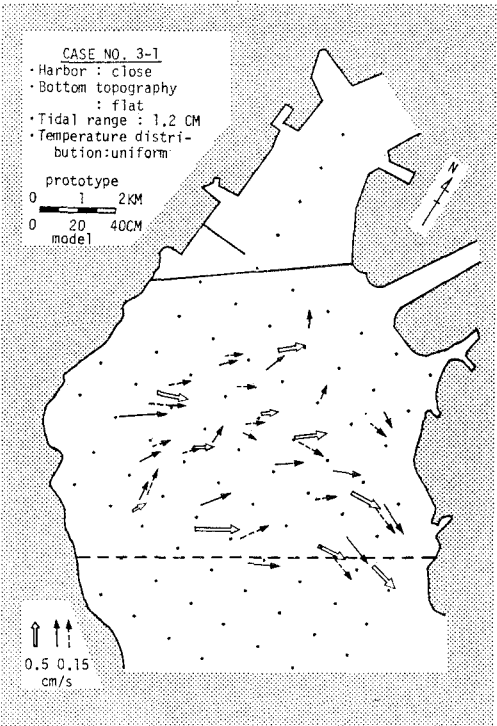


(c) Case 4-1, 海底地形: 有り, 港: なしの場合

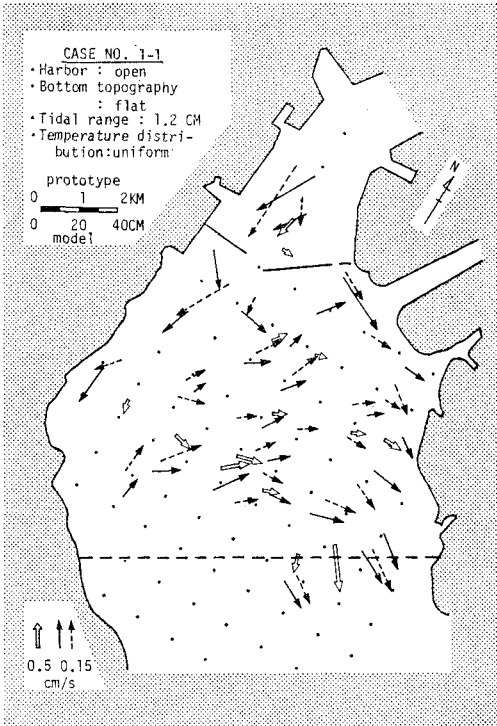


(d) Case 2-1, 海底地形: 有り, 港: ありの場合

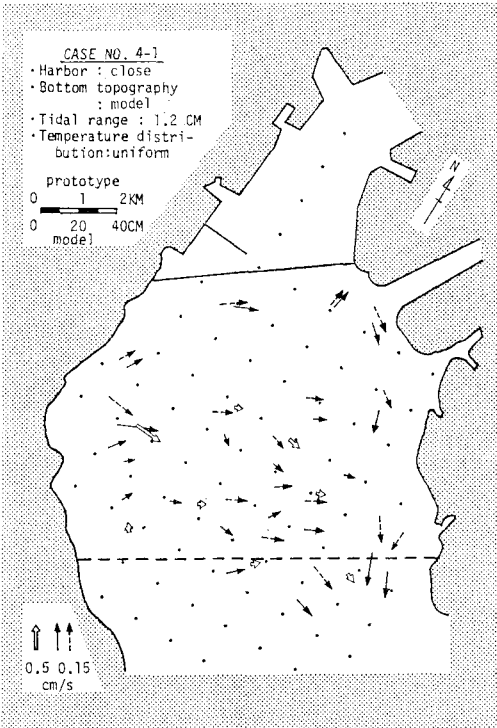
図-2 グルーピングした最盛時の流況 (潮差: 1.2 cm, 実線: 上げ潮)



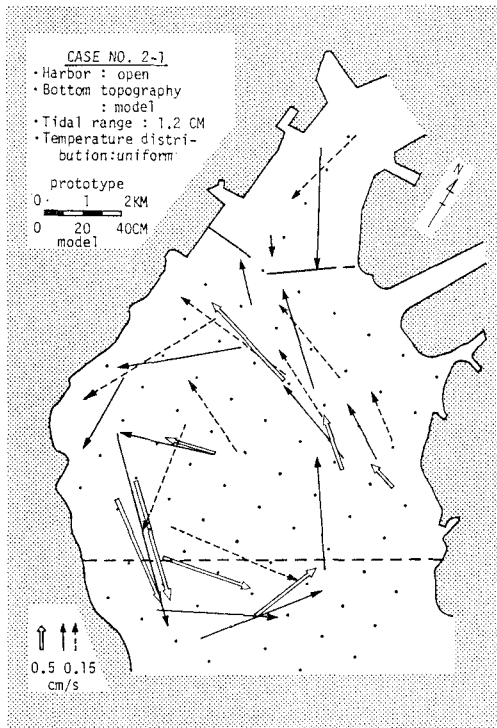
(a) Case 3-1, 海底地形: なし, 港: なしの場合



(b) Case 1-1, 海底地形: なし, 港: ありの場合



(c) Case 4-1, 海底地形: あり, 港: なしの場合



(d) Case 2-1, 海底地形: あり, 港: ありの場合

図-3 潮汐差差流 (潮差: 1.2 cm, 実線: 干潮~干潮)

る役割を果すのか、などの疑問に対しては、必ずしも明確な解答が得られていないように思われる。

こうした現状を考慮しつつ改めて実験結果を見れば、① 残差流の生成には、流況における環流傾向が大きく関与する、② 海底地形の凹凸は、必ずしも残差流を大きくしないが、流況における環流を拡大強調する場合には、残差流をも著しく大きくする、ことなどが注目される。すなわち、残差流の大きさに直接的に関与するのは、曲率をもった流れの強さであるように見受けられる。このことを確認するために、図-2 に示した最盛時の流況ベクトルの曲率と大きさの表現として、仮想平均渦度

$$E = \Gamma / A = \oint_S v_s dS / \pi R^2 = 2\bar{v} / R \dots\dots\dots (1)$$

を定義し、その湾内全体の算術平均値と潮汐残差流速の湾内全体の平均値との対応をみれば 図-4 のようである。なお、上式の Γ は前述した流況の整理における半径 R の円周上に循環を仮想したものであり、従って、 E は渦度の存在を必ずしも前提としないことに注意する必要がある。また、同図中すべての値は現地換算値であり、小さい丸印のみが 表-1 の実験に対応するものであって、他の三角印などは東京湾などの実測、他の模型実験

あるいは数値解析結果からも同様の方法で算出した結果を併記したものである⁷⁻¹¹⁾。中部電力における 1/1 000 模型での結果も併記されている。なお、上記の方法には、とくにグルーピングにおいて個人差が入り込む余地が十分にある。個人差の目安を得るため、本実験の結果のみについては、筆者のグルーピングによるもの（黒丸印）のほかに、筆者の属する大学の学生諸君にグルーピングしてもらった結果を白丸印で併記した。

同図から、残差流速と最盛時の仮想平均渦度との間には、概略直線関係を想定でき、残差流速の大きさに及ぼす流れの曲率と強さの相乗効果（すなわち流れの非線形効果）をうかがうことができる。

6. あとがき

以上、流況あるいは恒流生成の論理構造を究明するための第一歩として海底地形や港などの効果について実験的に検討した結果を報告した。流れの曲率と強さの相乗効果の関数表現にはなお検討の余地があり、また、理論的考察、水温成層の役割、現地の流況との対応などなお未検討の課題も多く、今後さらに研究を続けたいと考えている。

なお、快く実験装置をお貸し下さった中部電力(株)に対し、末尾ながら深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 樋口明生・柳 哲雄・柏井 誠: 潮流による拡散の水理模型実験について (V), 京都大学防災研究所年報第 16 号 B, pp. 619~629, 1973.
- 2) 安田秀一・樋口明生・早川典生: 瀬戸内海水理模型における縮率効果に関する実験的研究, 中国工業技術試験所報告第 1 号, pp. 61~78, 1976.
- 3) Yanagi, T.: Fundamental study on the tidal residual circulation, Jour. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 32, pp. 199~208, 1976.
- 4) Oonishi, Y.: A numerical study on the tidal residual flow, Jour. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 33, pp. 207~218, 1977.
- 5) Zimmerman, J. T. F.: Topographic generation of residual circulation by oscillatory (tidal) currents, Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics, Vol. 11, pp. 35~47, 1978.
- 6) 大西行雄・國司秀明・吉松公公・秋本和典: 内湾の物質分散過程における潮流と恒流の相乗効果, 京都大学防災研究所年報, 第 23 号 B, pp. 319~332, 1980.
- 7) 中部電力(株): 三河湾潮流解析報告書, p. 23, 1977.
- 8) 第三港湾建設局関西国際空港調査室: 大阪湾南部海岸性状調査報告書 (通年報告書), p. 814, 1980.
- 9) 井上尚文: 有明海の物理環境, 沿岸海洋研究ノート, 第 17 巻第 2 号, pp. 151~160, 1980.
- 10) 第二港湾建設局横浜調査設計事務書: 東京湾潮流調査報告書 (第 2 報), p. 111, 1967.
- 11) 村上和男: 有限要素法による潮汐流の数値計算, 運輸省港湾技術研究所資料, No. 404, pp. 22~49, 1981.

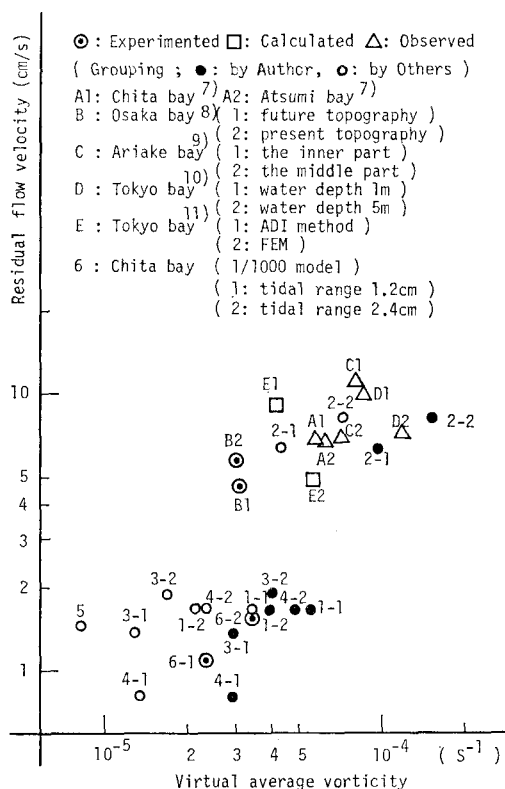


図-4 最盛時の仮想平均渦度と残差流速の関係