

大村湾の潮汐水理模型実験による水質汚濁予測 に関する研究 (第2報)

中村 武弘*・富樫 宏由**・田中 清裕***

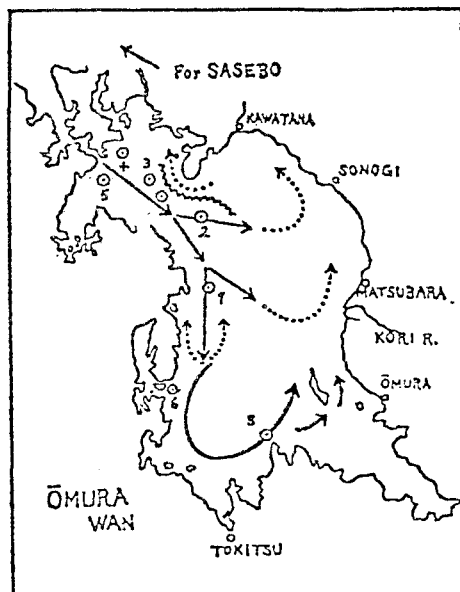
1. ま え が き

大村湾水理模型は、湾内の汚濁物質の混合拡散現象を潮流による水平乱流拡散現象として取り扱い、水質汚濁予測を目的として建造された。模型の概要については第1報¹⁾で報告し、またその中で潮位の再現性は良好であるが、潮流の非周期成分(潮汐残差流)については一説^{2),3)}によれば現地では反時計廻りの環流を形成しているといわれているのに対し、模型では時計廻りとなっていたため、潮流の再現性にまだ問題点があることを報告した。潮汐残差流は長期的な拡散現象において重要な役割を果たすと考えられるので、それを確かめるためにその後の実験は模型に反時計廻りの環流を再現させるべく種々行ってきた。しかしながら模型内には時計廻りの環流が常に存在し、反時計廻りの環流は一度も再現されなかった。他方原型においては、長崎県土木部の委託で日本下水道事業団⁴⁾が現地観測を行い、その結果が近年まとめられ報告された。その観測結果によれば、大村湾内には反時計廻りではなく模型と同じ時計廻りの環流が存在している。この観測結果は、筆者らにとっては朗報ではあったが、逆に原型における環流の把握がまだ不十分であり、基礎的なデータの蓄積が必要であることを示唆している。

本報告は、まず原型における環流の様相を従来の観測結果に長崎県土木部による観測結果を加えて整理し直し、続いて本模型の潮汐および拡散現象の再現性について述べたものである。

2. 原型の潮汐残差流

1949年に辻田⁵⁾は、大村湾内の恒流は図-1のように反時計廻りの環流を形成していると推定し報告した。この推定の根拠はいくつかの局所的な流速測定の結果にもよるが、その多くは赤潮の発生、移動等の生態学的な観測結果によって裏付けされているようである。またこの報告では、定性的な環流の方向だけが述べられ、定量的



The Bay of Omura, showing the currents.

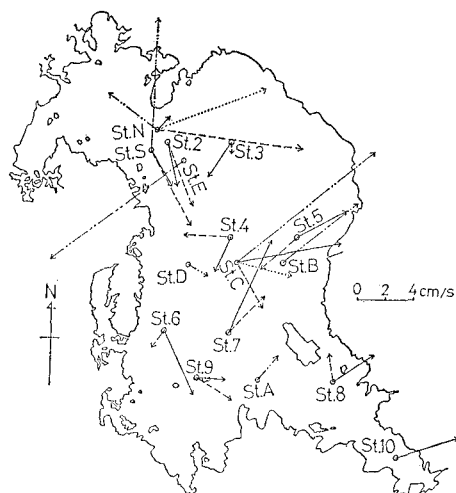
- ~~~~~ Current Rip
- Inward Flow
- Outward Flow
- Anticlockwise Circulation
- ~ ○ Stations of Current-Measurements
- 1 8 1~5 "Shumpu Maru" Station (Hidaka)
- 6 "Cutter" Station (Yasui)
- 7 "Tsuru Maru" Station (Tsujiita)
- 8 "Fishing Vessel" Station (Sakai)

図-1 辻田による原型の環流図²⁾

な流速の大きさについては全く述べられていない。

現地での流速の直接の測定はこれまで、神戸海洋気象台(観測点は図-1中の1~5)等により局所的にはいく度か行われているようであるが、大村湾全域を対象とした観測は1974, 75年に長崎大学水産学部⁶⁾が行った観測と、この度の長崎県土木部⁷⁾が行った観測だけのようである。両観測による結果のうち潮汐残差流の結果をまとめたものが図-2である。

* 正会員 長崎大学助手 工学部土木工学科
 ** 正会員 工博 長崎大学教授 工学部土木工学科
 *** 長崎大学技官 工学部機械工学科



Station	Position of observed station		Water depth of measurement	Date of observation
	N. Latitude	E. Longitude		
St. A	32°53.5'	129°53.6'	→ 2.5m	3-5 Sept. 1974
St. B	32°57.2'	129°51.5'	→ 2.5m	
St. C	32°57.2'	129°52.7'	→ 2.5m → 5m → 10m → 15m	
St. D	32°57.1'	129°50.9'	→ 2.5m	
St. E	33°00.4'	129°50.7'	→ 2.5m	
St. N	33°01.4'	129°49.7'	→ 2m → 6m → 10m → 14m	22-24 Sept. 1975
St. S	33°00.8'	129°49.4'	→ 2m → 6m → 14m	
St. 2	33°01.0'	129°50.0'	→ 5m → 12m	13 Feb.-4 Mar.
St. 3	33°01.6'	129°52.5'		16-17 Feb. 1976
St. 4	32°58.0'	129°52.5'		
St. 5	32°58.0'	129°55.0'		
St. 6	32°55.0'	129°50.0'		
St. 7	32°55.0'	129°52.5'		13 Feb.-4 Mar.
St. 8	32°53.5'	129°56.4'		
St. 9	32°53.4'	129°51.3'		
St. 10	32°51.0'	129°50.0'		16-17 Feb. 1976

図-2 原型の潮汐残差流^{4),6)}

長崎大学水産学部による観測点は 図-2 中の St. A, B, C, D, E, N, S であり、その測定結果によれば表層では辻田の報告した 図-1 の環流を裏付けるものであった。一方長崎県土木部による観測点は 図-2 中の St. 2 ~ 10 であり、この測定結果では湾内北部に時計廻り、湾内南部に反時計廻りの全体として逆 S 字型の環流が形成されていることを示している。しかしながらこれらの観測結果のうち、St. 2 と St. 7 での結果だけが 15 日間連続観測によるもので、他は全て 1 日観測の結果である。1 日観測の測定結果は潮汐残差流の日変化が考えられるため、これら二つの観測結果のうちどちらが正しいかと云う判断は現時点ではできない。ただ湾内南部には反時計廻りの環流が存在していることは、これら二つの観測からも結論できるようである。

3. 大村湾水理模型⁸⁾および実験方法

大村湾水理模型は水平縮尺 1/5 000、鉛直縮尺 1/292 であり、他の物理量はフルードおよび拡散の相似則が満足されるように定められている。現地では M_2 潮が他に比して卓越しているため、実験では平均潮差をプランジャー式造波機で与えている。また付加粗度としては模型底面全域に平均粒径 3.75 mm の砂を貼り付けている。

流速の測定は、厚さ約 4 mm、直径約 15 mm の円形のコルクの裏側に高さ約 10 mm のセルロイドの羽根を十字に取り付けた浮標を水面に浮かべ、浮標の変位を写真撮影により求め、撮影時間で除して求めた。しかしこの方法により求まる流速はラグランジュ的流速であるため、現地観測との比較のために必要なオイラー的流速(潮流楕円と潮汐残差流)を次のようにして近似的に求めた。

(1) 観測地点の周囲に多数の浮標を浮かべ、15 秒(約 1/10 周期)間隔で連続撮影し、1 周期(2 分 33 秒)以上のデータ(写真)を得た。

(2) 連続した 2 枚の写真から同一浮標の東及び北方向の変位を求めて撮影時間間隔で除し、流速を東方向および北方向の成分として求めた。ここで同一浮標としては連続した 2 枚の写真に写っている多数の浮標の中から測定地点の近傍を動いたもの数個を選び、それぞれの流速成分を求め、それらを相加平均したものをその地点その時刻での流速成分と考えた。以上の操作を(1)で得られたすべての写真に対して行い、流速の東方向および北方向の成分の時間的変化を得た。

(3) 流速成分の時間的変化は非周期成分と M_2 潮の周期成分より成ると考えられるから、各流速成分の時間的変化を周期 2 分 33 秒の正弦曲線で最小二乗近似を行い、非周期成分と周期成分の振幅および位相を求めた。

以上の方法で求めた非周期成分が潮汐残差流であり、また二方向の周期成分でリサージュの図形を描いたものが潮流楕円であると考えた。

拡散係数の測定は第 1 報で報告した現地観測で用いたと同じ方法であり、染料(ウランin)を測定地点に投入し、一定時間間隔 Δt でその拡がった面積 $4S$ を測定し、 $K = \frac{4S}{4\pi\Delta t}$ で算出した。面積の測定はカラー写真を撮り、染料の色の最外縁をトレースして求めた。

4. 潮汐現象の再現性

原型と模型の比較のために、模型での値はすべて原型の大きさに換算して示す。

(1) 潮位

潮位の測定点は、図-3 に示される 3 地点で行った。原型との比較を表-1 に示した。各測定地点間の位相差は原型と同様でほとんどなく、湾内水面全体がほぼ一様



図-3 潮位および拡散係数の測定地点

表-1 潮位

	亀ノ浦	彼杵	大村
原型	45.2	46.0	48
模型	47.6	44.4	49.6

(単位: cm)

に上下運動をしている。

(2) 潮流

潮流の測定地点は、原型の図-2における St. 2~St. 8 と対応する模型内の各地点で行った。

(a) 潮流楕円

潮流楕円の比較を 15 日間連続観測の結果が得られている St. 2 と St. 7 で行ったものが図-4である。図よ

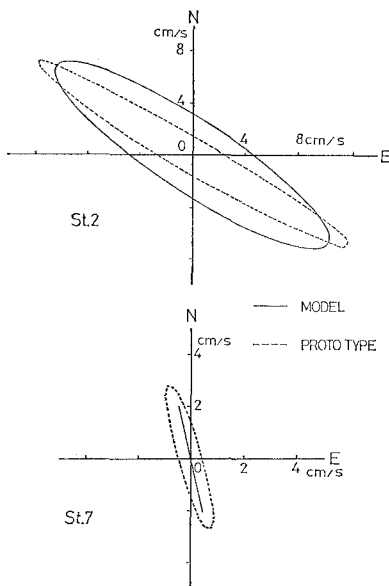


図-4 潮流楕円

り楕円の主軸の方向はよく一致しているが、最大流速の値(長軸の長さ)が原型に比し少し小さく、また楕円のふくらみ具合が違うことから位相のずれがあることがわかる。これらの原因は、再現性ではなく、流速の測定方法にあると考えられる。なぜなら実験で求めた流速は平均流速であるから実際の流速よりも少し小さい値が得られ、またここでの計算において最小二乗近似を簡単に行うために振幅を最大値と最小値の差の $1/2$ で与えたため、このことも値が小さくなった原因と考えられるからである。また位相のずれの原因は、浮標が常に測定地点近傍にあるとはかぎらず、そのような場合やむを得ず測定地点から少し離れた浮標を読み取ったために生じたと考えられる。特に St. 2 のように流速が速く、かつ不等性の強い地点でこのような事が起き易く、ずれが大きくなる原因となっているようである。

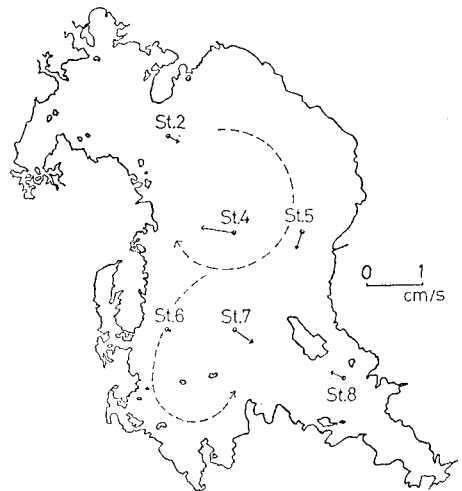


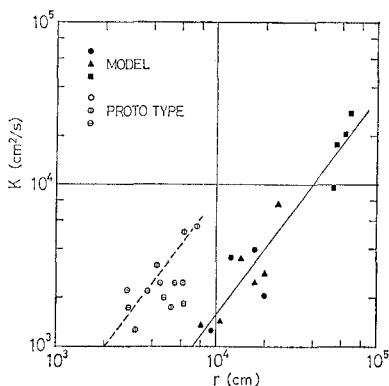
図-5 模型の潮汐残差流および環流の模式図

(b) 潮汐残差流および環流

潮汐残差流の結果を図-5に示す。St. 3 付近の流れは非常に不等性が強かったため、本実験での測定方法では誤差が大き過ぎるため省略した。また同図中に環流の様相を模式的に破線で示した。図より模型内の環流の様相は、長崎県土部の観測結果と同じく逆S字型となっていることがわかる。しかし潮汐残差流の大きさは原型に比して非常に小さい。この原因は明らかではないが、原型では各水深ごとに流向流速が異なっているが、模型ではほぼ一様に流れていることから、模型での流れは原型における流速分布を水深方向に積分したような流れ方をしているのではないかと考えられる。

5. 拡散現象の再現性

点源拡散実験による拡散係数の結果を、染料面積の等価半径 r を横軸にとって図示したものが図-6である。



図—6 拡散係数

測定地点は 図—3 中に 図—6 と同じ記号で示した。また 図—6 中には第 1 報で報告した現地の拡散係数の値も記入した。図より拡散係数の値が $4/3$ 乗の直線によく乗っていることがわかる。しかしその値は原型に比して少し小さく、 $1/5$ 程度となっている。

続いて河川より COD を指標とした汚濁負荷を与えて拡散実験を行なったが、濃度の濃い河川では染料が底に沈んで拡散しなかったり、また採水点の深さによって濃度が異なる等の問題点があり、定量的な結論を得るまでには至っていない。しかし、定性的には染料は潮汐残差流に乗って移動することが確認され、潮汐残差流の再現性が重要であることがわかった。

6. あとがき

大村湾水理模型の潮汐および拡散現象の再現性についての実験を行い次のことを確認した。

(1) 潮位および潮流の周期成分(潮流楕円)については良く再現されていると思われるが、潮汐残差流による環流の向き及び大きさについては、原型における流況

が不明確であるため、現段階では敢えて結論を下さない。

(2) 模型での環流の向きは長崎県土木部が日本下水道事業団に委託して行った現地観測の結果とよく一致し、湾内北部で時計廻り、南部で反時計廻りの全体として逆 S 字型を形成している。しかしその値は原型に比し非常に小さい。

(3) 拡散係数の値はリチャードソンの $4/3$ 乗則に従っているが、原型の値に比して少し小さく、 $1/5$ 程度になっている。

(4) 河川より COD を指標とした汚濁負荷を染料で与えて拡散実験を行ったが、実験方法にまだ問題があるので定量的な結果はまだ得られていないが、定性的には染料は潮汐残差流に乗って拡散することが確認され、潮汐残差流の再現性が重要であることがわかった。

謝辞： 本研究は長崎県環境部の委託を受けて行ったことを付記するとともに、実験に協力を頂いた元長崎大学工学部土木工学科学生長岡裕利・米盛澄則、同じく機械工学科学生植木弘信の諸君に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 富樫宏由・中村武弘・宇都幸一・田中清裕：大村湾の潮汐水理模型実験による水質汚濁予測に関する研究(第1報)，第23回海講論文集，pp. 512~517, 1976.
- 2) 辻田時美：Silicoflagellata による大村湾の赤潮，長崎海岸気象台報告，No. 2, pp. 18~29, 1949.
- 3) 辻田時美：大村湾の海洋生態学的一考察，日本海洋学会誌，第9巻，第1号，pp. 23~32, 1953.
- 4) 日本下水道事業団：長崎県大村湾水質汚濁解析調査報告書，160 p., 1976.
- 5) 前出 2).
- 6) 長崎大学水産学部：大村湾水質汚濁対策総合調査報告書，114 p., 1976.
- 7) 前出 4).
- 8) 前出 1).