

水理模型実験による諫早湾干拓潮受け堤防の影響の評価

Evaluation of Influence of Isahaya Wan Sea Dike by Hydraulic Model Test

桐 博英¹・白谷栄作²・高橋紀之³・丹治 肇⁴・中田喜三郎⁵

Hirohide KIRI, Eisaku SHIRATANI, Noriyuki TAKAHASHI, Hajime TANJI and Kisaburo NAKATA

Influences on the tidal current off the coast of Shimabara due to the construction of the sea dike in the Isahaya wan land reclamation project was evaluated by a hydraulic model test. The results of hydraulic model test were as follows. On the line connecting Ariake and Nagasu, strong currents occurred near the Shimabara Peninsula. Tidal current changed complexity at a point near the Shimabara Peninsula at the ebb tide, especially in the spring tide. Tidal current decreased approximately 5% due to the construction of the sea dike in average on the Ariake-Nagasu line, which corresponds to the amount of decrease of tidal discharge by the closing of the Isahaya bay.

1. はじめに

有明海的环境改善に向けた取り組みを行うには、潮流の正確な把握が重要である。観測体制の整備や現地観測技術の進歩に伴い、有明海の潮流に関しては、過去には得られなかった種類や数のデータが収集されている。また、数値解析モデルや計算機容量の進歩に伴い、実測とシミュレーションといった手法により有明海的环境改変における諫早湾干拓事業の影響について評価が試みられている。しかし、観測データの対比の困難さや計算格子および解析モデルの精度の点で、数値シミュレーションは、必ずしも十分であるとはいえない。

一方、有明海における干拓事業の影響評価のために、干拓事業の初期段階には水理模型実験が行われたが、それから多くの時間が経過している。そのため、観測技術、数値解析技術の進歩に伴い顕在化してきた現象の把握を困難にしている。本研究では、現地観測や数値解析を補いつつ、有明海的环境改善に向けた有機的な取り組みができるよう、有明海全域を再現した水理模型を製作し、潮受け堤防の建設に伴う潮流の変化を検討した。

2. 有明海潮流に関する研究

表-1 に過去に実施された有明海を対象とする模型実験を整理した。このうち、農林省熊本農地事務局・長崎海洋气象台 (1963) および九州大学 (高田・戸原, 1963a, 1963b) で実施された実験は、それぞれ、有明海域総合開発計画、長崎干拓による締切り堤の影響評価を目的としている。また、農業土木試験場の実験 (山

口・満田・大西, 1967; 山口・満田, 1970) は、長崎干拓の締切り堤の周辺域の流れを対象としており、実験範囲も限られている。一方、京都大学防災研究所で実施された実験 (樋口・杉本, 1967) は、大牟田沖における工場排水の拡散現象を対象としており、他の実験と比較して模型の歪みが小さいものの、対象が島原と菊池川を結ぶ線より北側となっている。

一方、現地観測による有明海の潮流の変化に関する研究では、西ノ首ら (2004) および小松ら (2006) は、有明～長洲ライン上の P61, P62 ならびに島原沖の P41, P43 地点において行った観測結果と 1993 年の観測結果 (西ノ首・山口, 1996) を比較し、M2 分潮の長軸長が、P61 および P62 地点では 25.2%～32.3% 減少、P41 および P43 地点では 7.8%～27.5% 減少し、流向が南北方向に変化していることを示すとともに、潮受け堤防の建設による入退潮量の減少率より潮流速の減少率が大きいことから、潮受け堤防建設の影響が島原半島沿いに集中して生じていることを示唆している。しかし、有明海の潮流は、様々の地形変化や気象・海象の攪乱を受けるため、現地観測によって潮流の変化要因とその影響量を正確に把握するのが困難な場合がある。このような場合に、数値シミュレーションや水理模型実験による解析が有効である。

表-1 有明海を対象にした水理模型実験一覧

実施機関	縮 尺		歪み	対象範囲
	水平	鉛直		
農林省熊本農地事務局 長崎海洋气象台	40,000	250	160	有明海全域
九州大学	8,000	250	32	有明海全域
農業土木試験場	1,000	50	20	諫早湾周辺
京都大学防災研究所	2,000	200	10	島原～菊池川 ライン以北

1 正 会 員 (独法) 農業・食品産業技術総合研究機構
2 博 (農) (独法) 農業・食品産業技術総合研究機構
3 農林水産省農村振興局
4 正 会 員 農博 (独法) 農業・食品産業技術総合研究機構
5 工博 東海大学海洋学部環境情報工学科

3. 水理模型実験の概要

(1) 水理模型

本実験では、有明海全域を含む東西約 50 km、南北約 80 km を再現した模型を用いた。模型の概要を図-1 および写真-1 に示す。模型の縮尺は、フルード相似則にもとづき、水平方向 1/5,000、鉛直方向 1/250 であり、20 倍の歪みをもつ。有明海海域環境調査（農林水産省他，2003）の海底地形データをもとに、10 m 間隔の等深線を滑らかに補間した海底地形を作り、更に、諫早湾口については、マイヤの州を含む詳細な地形を再現した。模型はモルタル製で、海域の表面は刷毛仕上げとした。潮汐は、模型の下流端に設けた貯水槽から整流水槽へ常時ポンプで給水を行いながら、幅 500 mm の潮位調節ゲートを制御し、口之津地点の水位を設定した。ただし、潮位設定位置は、測定のため都合上、口之津観測所から 1 km 沖合の地点とした。実験は、屋内において淡水を用いて実施し、河川からの流入は考慮しなかった。なお、本論文では、特に断らない限り、実物に換算した流速や水位を示す。

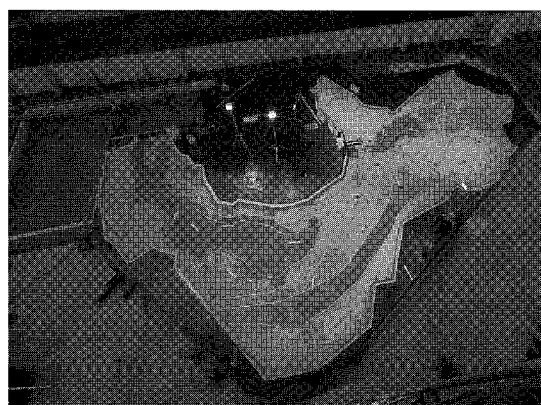


写真-1 水理模型全景

表-2 実験で与えた潮汐

潮 汐	満潮位 (m)	干潮位 (m)	振 幅 (m)	平均水位 (m)	発生日 (2003 年)
大潮	5.41	1.61	3.80	3.51	11 月 25 日
中潮	4.81	2.65	2.16	3.73	1 月 1 日
小潮	4.14	3.89	0.25	4.02	9 月 21 日

表-3 流速測点位置座標

地 点	緯 度	経 度
P61	32° 51' 58"	130° 20' 58"
P62	32° 52' 23"	130° 21' 54"
中央	32° 53' 15"	130° 23' 48"

(2) 実験条件および計測項目

実験で与えた潮汐は、周期 12 時間 25 分の正弦波とし、振幅は表-2 に示すように、2003 年の口之津検潮所での実績潮位から抽出した。ここで、大潮、中潮および小潮の振幅および平均水位は、それぞれ、2003 年の最大潮位差、平均潮位差および最小潮位差を記録した潮汐のものとした。実験では、実験開始後、潮汐の安定を確認してから 10 潮汐について、浮子の移動状況をビデオおよび写真撮影するとともに流速を 2 方向電磁流速計により計測した。写真およびビデオ撮影は、模型脇（写真-1 下側）に設置した高さ 8 m の架台にカメラを固定して行った。流速の計測点は、潮受け堤防の建設による入退潮量の減少率（小松ら，2006）が諫早湾を除く有明海でもっとも大きい有明～長洲ラインで評価するのが適切と判断し、西ノ首・山口（1996）の観測点とあわせて、図-1 および表-3 に示す P61、P62 地点および有明～長洲ラインの中央（以下、「中央」とよぶ）とした。

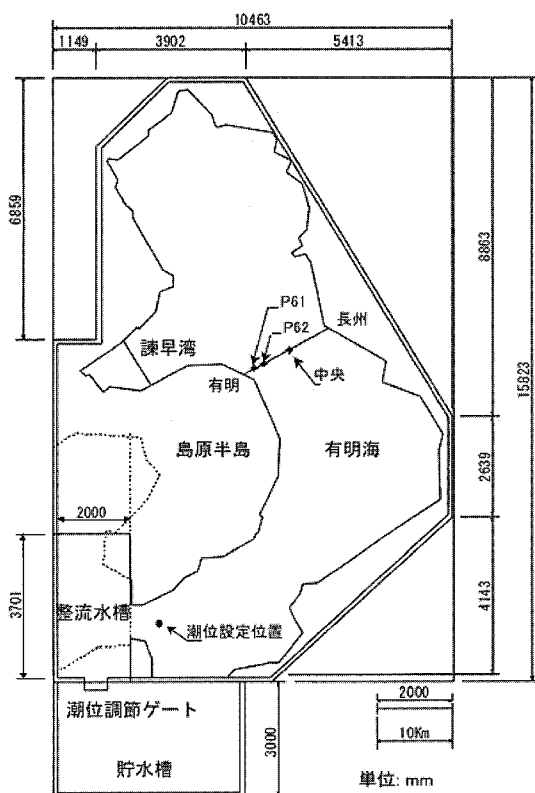


図-1 水理模型の概要と流速計測位置（寸法は模型実寸）

4. 有明海全域の潮流現象

諫早湾干拓に伴う潮受け堤防がない場合とある場合の有明海全域の大潮における1潮汐分の潮流の移動状況をそれぞれ、図-2, 3に示す。図-2, 3は、発光ダイオードとボタン型のリチウム電池を取り付けた直径3cmのプラスチック製浮子を浮かべ、カメラのシャッターを開放して撮影された写真から浮子の軌跡をトレースしたものである。ただし、もとの写真は、模型の斜め上方より撮影されている。このため、浮子の軌跡は、写真にレンズ補正および遠近法補正を施し、できるだけ正面上側から撮影した画像に近くなるよう変換した後、トレースした。

図-2から、投入された浮子は、ほぼ直線上を往復している。また、湾奥部の浮子の軌跡は、樋口・杉本(1967)の実験結果とほぼ同様の傾向を示し、1潮汐後の浮子の位置が始点に戻らないのは、一種の恒流を表すと考えられる。実験では、潮汐の安定が確認された後に浮子を投入するため、浮子投入のタイミング、位置を同一にすることは困難である。しかし、浮子の軌跡が密な有明海中央部に関しては、図-2と図-3を比較して、潮受け堤防の有無による潮流の変化は認められなかった。

5. 有明～長洲ラインの潮流現象

潮受け堤防がない場合の大潮におけるP61の流速変化を図-4に示す。図-4では、南北方向流速の値をもとに北向きを正、南向きを負として示した。このため、上げ潮時には流速値が正に、下げ潮時には負に表示される。図-4から、下げ潮時には、すべての潮汐において、流速の明瞭なピークが2度あるのが読みとれる。この原因を明らかにするため、流れを観察したところ、下げ潮時に島原沖において剥離渦が発生することがわかった。この剥離渦がP61地点付近を通過する際に逆向きの流れが作用することにより下げ潮時の潮流速を小さくさせると考えられる。今回使用した模型は20倍の歪をもつため、現地ではどのような剥離渦が発生するかは慎重に判断

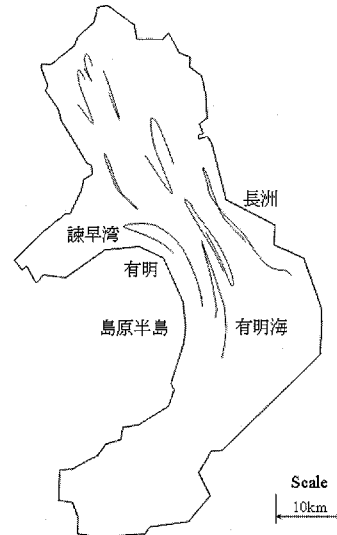


図-2 潮汐に伴う浮子の軌跡（大潮，潮受け堤防なし）

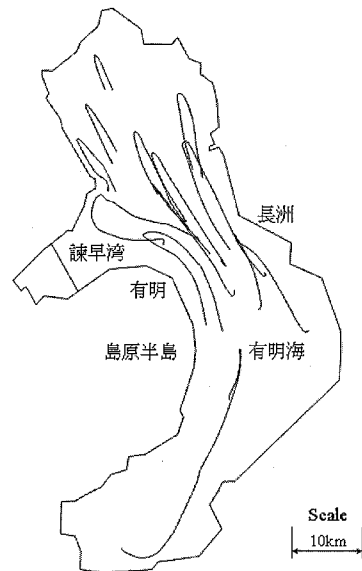


図-3 潮汐に伴う浮子の軌跡（大潮，潮受け堤防あり）

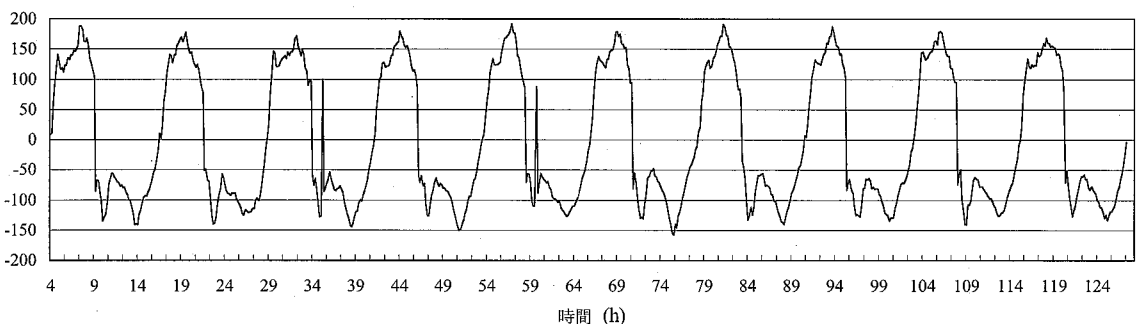


図-4 P61地点の流速変化（潮受け堤防なし，大潮）

する必要があるが、P61 地点付近では大潮時に潮流が複雑に変化すると考えられる。

図-5～7 は、それぞれ、大潮、中潮および小潮の各計測点における 1 潮汐の流速をプロットしたものである。

実験の結果、流速は、大潮、中潮および小潮のいずれも P61 から中央にかけて次第に小さくなる傾向にあった。これは、有明～長洲ラインでは、島原半島の岸側に強い流れが生じているという小松らの現地観測結果(小松ら、

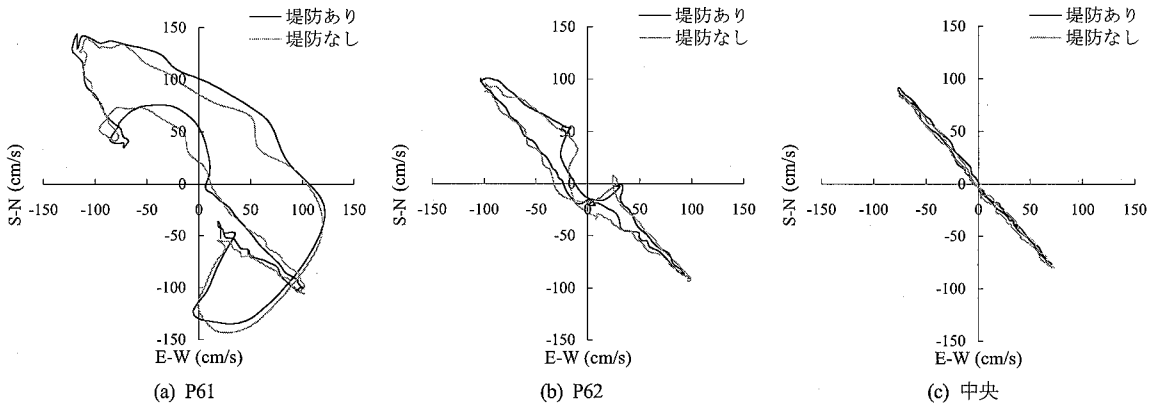


図-5 潮受け堤防建設前後の潮流の比較 (大潮)

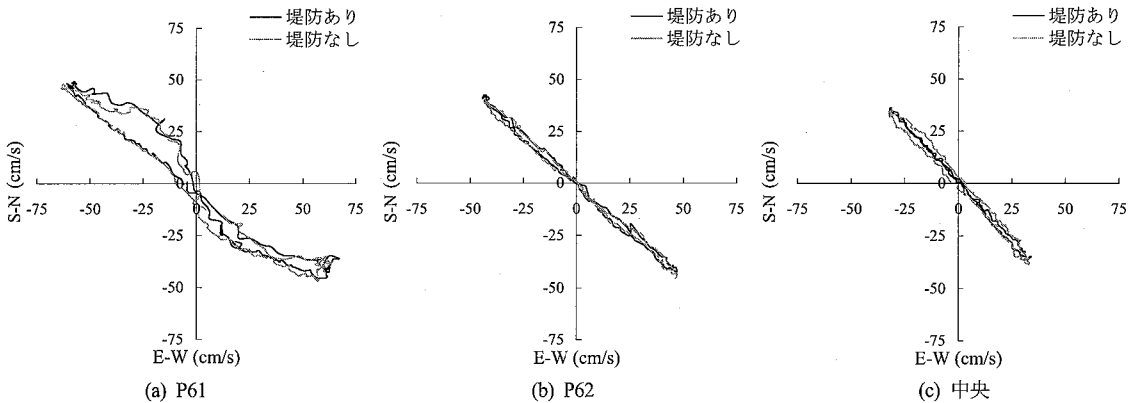


図-6 潮受け堤防建設前後の潮流の比較 (中潮)

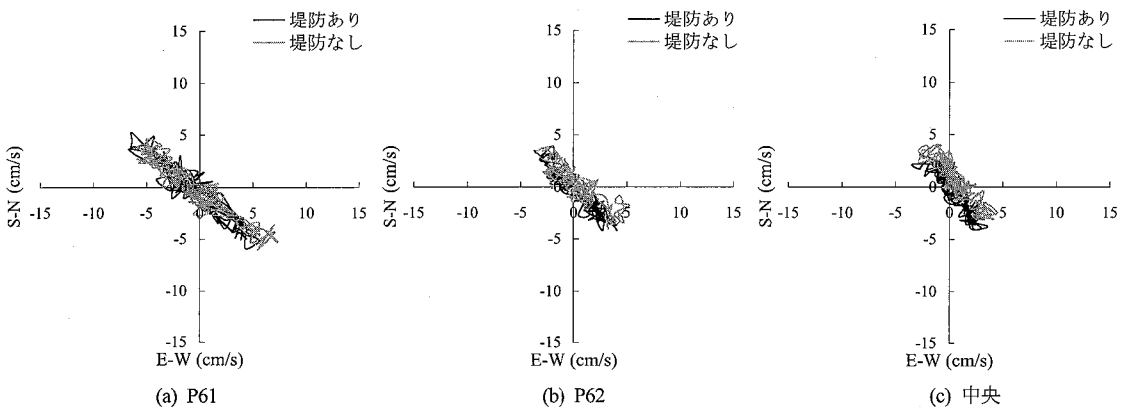


図-7 潮受け堤防建設前後の潮流の比較 (小潮)

表-4 潮受け堤防建設による潮流速の変化量の比較 (単位 cm/s)

地 点	条 件	大 潮			中 潮		
		10 潮汐平均	上げ潮最強	下げ潮最強	10 潮汐平均	上げ潮最強	下げ潮最強
P61	潮受け堤防なし	103.78	181.68	140.97	44.68	74.17	76.81
	潮受け堤防あり	101.94	172.82	152.27	42.58	72.86	75.84
	変化率	-1.8	-4.9	8.0	-4.7	-1.8	1.3
P62	潮受け堤防なし	75.69	134.11	120.43	33.22	60.01	58.56
	潮受け堤防あり	73.41	127.68	121.56	32.07	57.98	60.09
	変化率	-3.0	-4.8	0.9	-3.4	-3.4	2.6
中央	潮受け堤防なし	59.22	112.71	98.86	27.30	47.37	49.44
	潮受け堤防あり	57.20	106.66	98.87	26.40	47.53	49.53
	変化率	-3.4	-5.4	0.0	-3.3	0.4	0.2

2004)と一致する。図-5からもP61地点では、潮汐により発生する流れ以外の成分が加わっており、その影響がP62にも及んでいると考えられる。一方、図-6に見られるように、P61では、中潮においても若干ではあるが、島原沖で発生した乱れの影響が現れているのが確認できる。なお、小潮については、潮汐の傾向は確認できるものの、模型での流速が小さいのと潮位調節ゲートから発生していると思われる微少な擾乱の影響が大きく出ている。

6. 諫早湾干拓締切りの影響

潮受け堤防を設置した場合と対比した結果、大潮、中潮および小潮のいずれの場合も、流速・流向の変化は小さいと判断された。

潮受け堤防の建設が潮流の速度に与えた影響を表-4にまとめた。潮受け堤防の建設による10潮汐平均潮流速の減少量は、大潮で1.8%~3.4%、中潮で3.3%~4.7%であり、地点間で大きな差は見られなかった。平均潮流速には、流れが複雑になる下げ潮時の流速も含まれるため、影響の少ない上げ潮最強時の潮流速を比較した結果、潮受け堤防の建設による影響は、3.3%~5.4%であった。この潮流速の減少量は、潮受け堤防の建設による有明~長洲ラインの入退潮量の減少量とはほぼ一致する。

なお、小潮については、模型上の流速が小さく、電磁流速計の計測結果だけをもとに潮受け堤防の影響を評価するのは適切でないと判断した。

7. ま と め

水理模型実験により諫早湾干拓潮受け堤防の建設に伴う島原沖の潮流への影響を検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 有明~長洲ラインにおいては、島原半島側に強い流れが生じている。
- (2) 島原半島に近い地点では、大潮時には潮流が複雑に変化する。
- (3) 潮受け堤防の建設に伴う潮流速の減少量は約5%で

入退潮量の変化量とはほぼ等しく、有明~長洲ラインで大きな変化は見られなかった。

本研究では、水理模型実験による諫早湾干拓潮受け堤防の建設が有明海の潮流に与えた影響を検討した。しかし、現地観測や数値シミュレーションと同様に、水理模型実験にも種々の制約があり、さらに詳細に検討しなければならない事項が残されていると考える。今後の有明海の再生に向けては、他の手法との密な連携を図っていくことを期待するものである。

参 考 文 献

- 小松利光・矢野真一郎・齋田倫範・松永信博・鶴崎賢一・徳永貴久・押川英夫・濱田孝治・橋本彰博・武田誠・朝位孝二・大串浩一郎・多田彰秀・西田修三・千葉 賢・中村武弘・堤裕昭・西ノ首英之(2004): 北部有明海における流動・成層構造の大規模現地観測, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 341-345.
- 小松利光・矢野真一郎・齋田倫範・田井 明(2006): 有明海の潮流ならびに物質輸送の変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 326-330.
- 高田雄之・戸原義男(1963a): 有明海の水理模型実験について(1), 第10回海岸工学講演会論文集, pp. 70-74.
- 高田雄之・戸原義男(1963b): 有明海の水理模型実験について(2), 第10回海岸工学講演会論文集, pp. 75-79.
- 西ノ首英之・小松利光・矢野真一郎・齋田倫範(2004): 諫早湾干拓事業が有明海の流動構造へ及ぼす影響の評価, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 336-340.
- 西ノ首英之・山口恭弘(1996): 島原湾及び橘湾の海水流動特性, 雲仙普賢岳火山活動の水産業に及ぼす影響調査事業報告書, pp. 10-15.
- 樋口明生・杉本隆成(1967): 潮流による拡散の水理模型実験について, 京大防災研年報, 10B, pp. 343-363.
- 農林省熊本農地事務局・長崎海洋气象台(1958): 有明海域総合開発計画模型実験報告書(有明海の潮汐に関して), pp. 1-67.
- 農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省(2003): 平成14年度国土総合開発事業調整費有明海域環境調査報告書
- 山口英太郎・満田雅男(1970): 湾口締切りに関する潮セキ模型実験 長崎干拓潮汐実験報告(Ⅱ), 農業土木試験場技報E, 第7号, pp. 1-24.
- 山口英太郎・満田雅男・大西亮一(1967): 長崎干拓潮汐実験報告(Ⅰ) 高潮および洪水発生機構について, 農業土木試験場技報E, 第3号, pp. 1-31