

浚渫土砂を利用した湾口部地形改変による 海水交換促進工法

HYDRAULIC MODEL EXPERIMENTS ON WATER EXCHANGE
ENHANCEMENT BY TOPOGRAPHY MODIFICATION BY UTILIZING
DREDGED SEDIMENTS

山崎宗広¹・村上和男²・松本英雄³・出路康夫⁴・森田真治⁵・和田 誠⁵
Munehiro YAMASAKI, Kazuo MURAKAMI, Hideo MATSUMOTO,
Yasuo IZURO, Shinji MORITA and Makoto WADA

¹正会員 (独法)産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 (〒737-0197 広島県呉市広末広2-2-2)

²正会員 工博 武蔵工業大学 工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

³正会員 工修 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 (〒730-0029 広島県広島市中区三川町2-10)

⁴非会員 中国地方整備局 宇野港湾事務所 水島港事務所 (〒713-8103 岡山県倉敷市玉島乙島8234-13)

⁵非会員 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 (〒730-0029 広島県広島市中区三川町2-10)

Dredging is carried out for maintenance of navigation channel. By the dredging, a large amount of sediments are produced. In the paper, we studied the utilization method of the dredged sediments. Hydraulic model experiments on water exchange enhancement of Hiroshima Bay were carried out by using the technique of bay mouth topography modification utilized the dredged sediments. From the study, followings are obtained. The topography modification of bay mouth is very effective to strengthen the residual circulation in Hiroshima Bay. And it is also highly effective to enhance water exchange of the bay water.

Key Words : Topography modification, dredged sediment, water exchange enhancement, hydraulic model experiment

1. 緒言

流れの遅い停滞域では、外海との海水交換が小さく、そのために水質環境が極度に悪化する傾向がある。そのような水質環境の悪い停滞域は、広島湾を代表する瀬戸内海の閉鎖性海域に多く見られる。閉鎖性内湾の海水交換促進を考える場合、湾口部の深みを埋め込む海底地形の改変が有効であることが山崎らによって提案されている¹⁾。

一方、瀬戸内海沿岸の港湾では、入港船舶の大型化により、航路・泊地等の水域施設の大水深化が港湾利用者から求められている。これまでは、浚渫工事により発生する浚渫土砂は、港湾関連用地造成に再利用されてきたが、近年、港湾関連用地の新規着工が困難な状況にあり、用地造成に変わる新たなリサイクル手法の確立が求められている。

そこで著者らは、浚渫土砂の新たなリサイクル手法として、閉鎖性内湾の海水交換を促進する湾口部

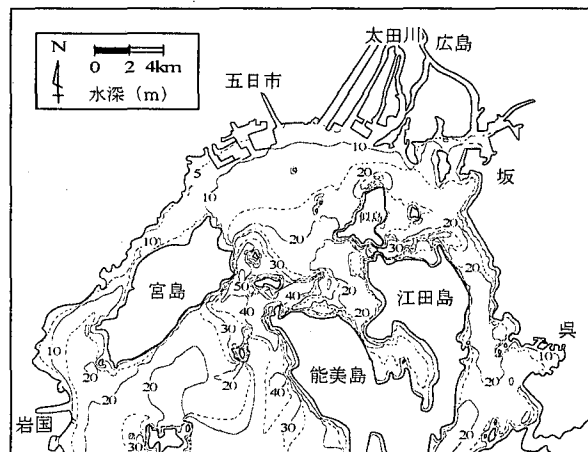


図-1 広島湾奥部の地形形状と水深図

の地形改変(埋め込み)に活用することを提案する。本実験では、その第一段階として浚渫土砂を地形改変に活用することを前提とした場合において図-1に

示す広島湾奥部の現地適用性について、瀬戸内海大型水理模型を用いて検討した。

2. 水理模型実験

(1) 実験ケース

実験に使用した瀬戸内海大型水理模型はフルードの相似則に従い、水平縮尺1/2000、鉛直縮尺1/159の歪み模型であり、海底地形は瀬戸内海の詳細な海図により再現されている²⁾。実験は、潮汐を現地と同様に再現させるため、紀伊水道、豊後水道および響灘の3ヶ所の起潮装置に、瀬戸内海で卓越する半日周期 (M_2 潮) を与えて行った。海水交換促進を目的とした地形改変のケースは、図-2に示す広島湾奥部の奈佐美瀬戸 (最大水深56m) 及び宮島瀬戸 (最大水深66m) の湾口部地形をそれぞれ水深40m、水深30mに改変した場合と、両瀬戸とも水深30mに改変した場合とした。また海底地形の改変は、硬質塩化ビニール板で作成し、周辺をパテで固めて行った。広島湾においては、太田川の河川流量が多いため、太田川の年平均流量 $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ (模型流量 $1,081 \text{ cc}/\text{min}$) を流して行った。実験項目は、図-2に示す位置に設置したサーボ式水位計による潮汐測定実験 (4測点)、二次元電磁流速計による潮流測定実験 (4測点) 及び湾内に412個設置した浮標による流況測定と海水交換測定実験を行い評価した。

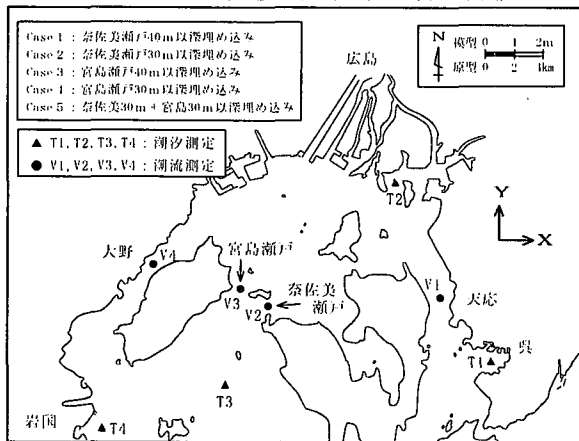


図-2 潮汐・潮流の測定位置図

(2) 実験結果

a) 潮汐・潮流測定実験

潮汐の調和解析で得られた各測点での基本周期成分の振幅と現状地形に対する振幅変化率の値を表-1に示す。湾外部にあたるStn. T3で、地形改変による若干の振幅の減少 (現状地形に対して1~5%減少) が認められるものの、湾内にあるStn. T1 (呉), Stn. T2 (広島), Stn. T4 (岩国) の潮位については顕著な差が認められなかった。なお、潮汐の位相遅れの値についても地形改変による変化は認められなかった。

図-3は、Stn. V3の位置における宮島瀬戸の水深30m以深を埋め込んだとき (Case4) と現状地形 (Case0) の場合の1周期間における南北方向の潮

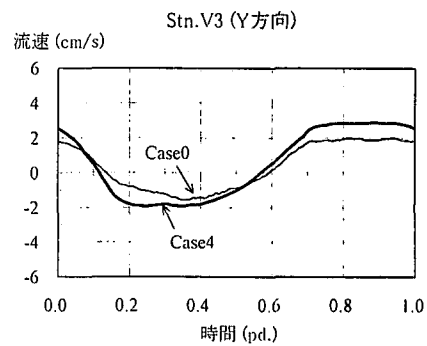


図-3 宮島瀬戸の地形改変による潮流の変化

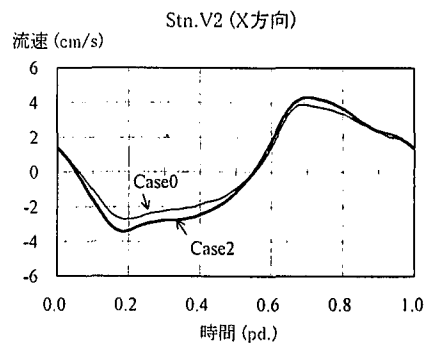


図-4 奈佐美瀬戸の地形改変による潮流の変化

表-1 潮汐の振幅と変化率の測定結果

	Case0 現状地形		Case1 奈佐美 40m		Case2 奈佐美 30m		Case3 宮島 40m		Case4 宮島 30m		Case5 奈佐美・宮島 30m	
	振幅 (mm)	変化率	振幅 (mm)	変化率	振幅 (mm)	変化率	振幅 (mm)	変化率	振幅 (mm)	変化率	振幅 (mm)	変化率
Stn. T1 (呉)	6.0	1.00	6.0	1.01	6.0	1.01	6.0	1.00	6.0	1.00	6.1	1.02
Stn. T2 (広島)	6.0	1.00	5.9	0.98	6.1	1.01	6.0	1.00	6.1	1.01	6.0	1.00
Stn. T3 (湾外)	6.0	1.00	5.9	0.99	5.6	0.94	5.7	0.95	5.7	0.95	5.8	0.97
Stn. T4 (岩国)	5.7	1.00	5.7	0.99	5.7	0.99	5.7	1.00	5.7	1.00	5.7	1.00

表-2 下げ潮期間における平均流速と増幅率

	Case0 現状地形		Case1 奈佐美 40m		Case2 奈佐美 30m		Case3 宮島 40m		Case4 宮島 30m		Case5 奈佐美・宮島 30m	
	流速 (cm/s)	増幅率	流速 (cm/s)	増幅率	流速 (cm/s)	増幅率	流速 (cm/s)	増幅率	流速 (cm/s)	増幅率	流速 (cm/s)	増幅率
Stn.V1 (天応)	0.4	1.00	0.4	0.98	0.4	0.91	0.4	0.89	0.4	0.97	0.4	0.91
Stn.V2 (奈佐美)	1.9	1.00	2.1	1.10	2.3	1.25	2.0	1.09	2.0	1.04	2.5	1.33
Stn.V3 (宮島)	1.2	1.00	1.2	0.98	1.3	1.06	1.6	1.30	2.1	1.65	2.3	1.88
Stn.V4 (大野)	1.0	1.00	1.1	1.17	1.1	1.13	1.1	1.17	1.0	1.00	1.1	1.16

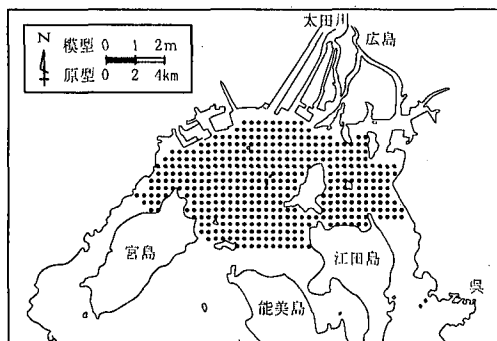


図-5 浮標ボールの初期配置図

流時系列変化の比較を示したものである。現状地形と比較して、地形改変を行うことにより湾口部の潮流速が増大していることが確認できる。このことは、図-4に示すStn. V2の位置における奈佐美瀬戸の水深30m以深を埋め込んだとき (Case2) と現状地形 (Case0) の場合の1周期間における東西方向の潮流時系列変化の比較からも確認できる。なお、流速縮尺は1/12.6であり、模型流速2cm/sは現地に換算すると25.2cm/sになる。

表-2は、下げ潮期間における平均流速値と地形改変による平均流速値の増幅率を示したものである。下げ潮期間における平均流速は、どの実験ケースも地形改変を施した場所での流速が増大しており、水深が浅くなるほどその効果が大きいことが分かる。なお、上げ潮期間における平均流速値も同様な結果が得られている。

b) 浮標ボールによる流況測定実験の結果

湾口部の地形改変による湾内全体の流れおよび海水交換の大きさを調べるために、浮標追跡実験を行った。湾内の流況は、水面に浮かべた浮標ボール (比重0.92, 直径6cm) の移動を、模型上面に設置したCCDカメラで捉えて映像をビデオテープに録画し、電子計算機により解析を行った。

図-5は、浮標ボールの初期投入位置を●印で示したものである。湾内に浮標ボールを等間隔に412個配置し、湾内中央部の海水交換を評価するために浮標ボールの色を変えて配置した。

浮標ボールの追跡より得られた上げ潮および下げ



図-6 流れの最強時における湾内流速分布 (図中の塗り潰しは埋め込み部分)

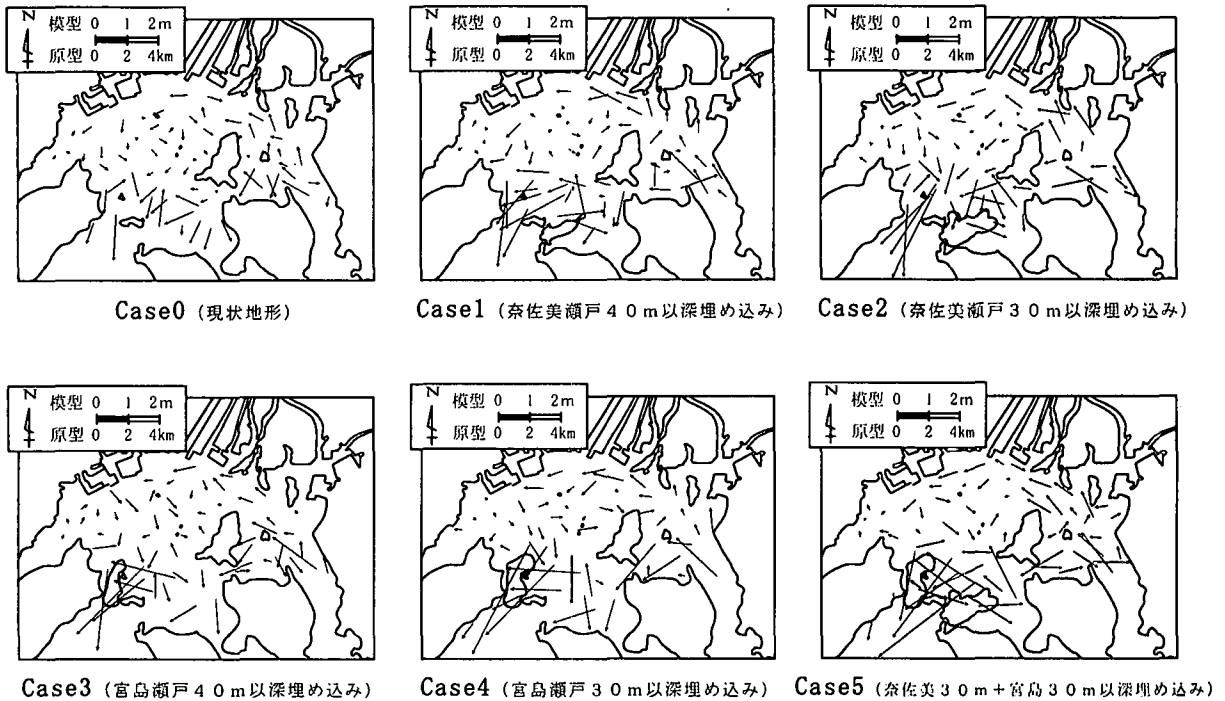


図-7 地形改変による潮汐残差流の変化 (図中の塗り潰しは埋め込み部分)

潮最強時における湾内の流速分布のうち、現状地形 (Case0) と奈佐美瀬戸、宮島瀬戸を水深30mに埋め込んだケース (Case5) を図-6に示す。図が示すように地形改変を行うことにより、湾内の流れが大きくなり、また湾口部で形成される渦の規模、強さも大きくなっている。

図-7は、浮標ボールの追跡より得られた一潮汐周期間の浮標の変位 (ここでは潮汐残差流と呼ぶ) を示したものである。これまでの基礎水槽実験より、湾口部地形改変は、湾口部で形成される渦度の発達、輸送、減衰の変化などの現象として現れ、この渦度の変化の違いが潮汐残差流の大きさの違いとなり海水交換促進につながる事が分かっている³⁾。広島湾の水理模型実験の結果、湾口部地形改変を行うことにより湾内の潮汐残差流が大きくなっている。また、湾内全域における潮汐残差流は、湾口部の水深が浅くなるにつれて大きくなっている。地形改変を施したケースの中では、奈佐美、宮島両瀬戸を埋め込んだCase5が最も大きな潮汐残差流となっており、海水交換も最も大きいことが推測される。

c) 海水交換の評価

これまで述べてきた湾内の流動が、湾内水と湾外水との交換にどのように寄与しているのかを調べるために海水交換実験を実施した。海水交換実験の方法としてはいくつか提案されているが、ここでは初期に湾内 (評価領域内) に存在した浮標の数の残存率から海水交換の大きさを算定した。なお湾奥部に初期配置した浮標ボールは、すぐ近くの水深の浅い場所や沿岸部に近づく浮標ボールが模型に付着して動かなくなり、浮標ボールの残留個数から海水交換を評価すると誤差が生じる。このため、図-8に示

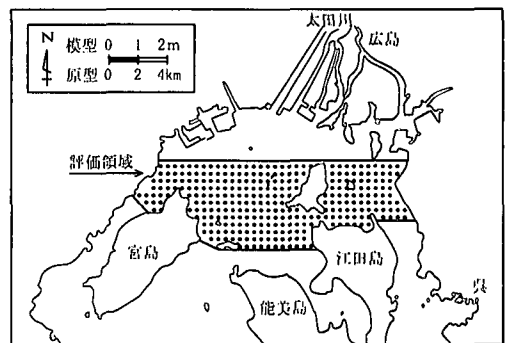


図-8 海水交換の評価領域と浮標ボールの初期配置図

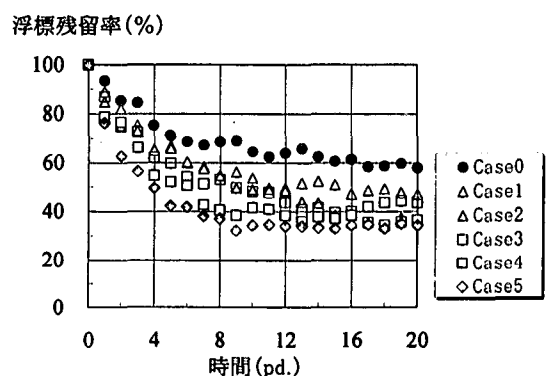


図-9 評価領域での浮標残留率の時間変化

す湾中央部に配置した289個の浮標ボールに対する20周期間における湾内残留率により、各地形改変ケースでの海水交換効果の評価を行った。

図-9は、初期状態の浮標ボールの個数で基準化された評価領域内での浮標ボールの残留率の時間変化である。実験の結果、地形改変を施すことで残留率

の値は小さくなっており、また湾口部の水深が浅くなるにしたがい浮標ボールの残留率が低下している。奈差美瀬戸と宮島瀬戸の地形改変工法による海水交換促進効果の比較では、僅かではあるが残留率の値は、奈佐美瀬戸に比べ宮島瀬戸を改変したほうが小さく、事業化にあたっては、宮島瀬戸の地形改変を優先することが望ましいと推測される。

これらの残留率の時間変化より海水交換速度の尺度となる平均滞留時間を算出した。平均滞留時間は残留率の時間変化を指数関数 $exp(-at)$ 、(t は潮汐周期、 a は定数) で近似し、 $0 \sim \infty$ まで積分して得られる値である⁴⁾。表-3に平均滞留時間と50%交換時間の値を示す。湾口部地形改変の海水交換促進に対する効果は、平均滞留時間が現状地形Case0では約30潮汐周期、Case1, 2, 3, 4, 5では、それぞれ21, 16, 17, 15, 13潮汐周期と評価され、現状地形に比べて海水交換が2倍以上に促進されているケースも認められた。本実験では、浮標ボールの模型への付着により湾奥部の海水交換を評価することが出来なかったが、潮汐残差流の結果から地形改変により湾中央部と湾奥部の海水の移動が促進されていることから、湾奥部についても湾口部地形改変を行うことにより海水交換が促進されることが推測される。

d) 河川水拡散実験

地形改変による太田川河川水の拡散の違いを把握するために河川水拡散実験を行った。実験は、水理模型の太田川河口から年平均流量 $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ (模型流量1,081cc/min) に相当する河川水を連続的に放流した。拡散状況を把握するために、河川水を青色染料インジゴカルミン (染料濃度25ppm) で着色し、模型上面より拡散状況をビデオにより撮影した。実験ケースは現状地形Case0と地形改変Case2, 4, 5の計4ケースとした。

実験の結果、太田川河川水は時間とともに南下し、大野瀬戸や呉方面ではなく、主に奈佐美瀬戸や宮島瀬戸を通して湾外に流出している。この流出パターンは、どの実験ケースでも同じである。しかし、河川水の拡がり、現状地形と比較して湾口部地形改変を施した実験ケースの方が大きく、なかでも奈佐美、宮島両瀬戸の両方を改変したCase5が最も拡散している。このことから湾口部地形改変は、河川水の拡散を速めることが推測される。

3. 考察

今回の水理模型実験により、湾口部地形改変工法は地形改変の規模を大きく (水深を浅く) することにより湾口部の潮流を増大させ、湾内の流れや循環流の強さ、規模を大きくし、海水交換を促進するとともに、河川水の拡散を促進させることが確認でき

表-3 残留率より求めた平均滞留時間と50%交換時間

	平均滞留時間 (pd.)	50%交換時間 (pd.)
Case0	29.5	20.4
Case1	20.7	14.4
Case2	16.3	11.3
Case3	17.3	12.0
Case4	14.5	10.1
Case5	13.1	9.1

た。また広島湾奥部の海水交換の促進については、奈佐美瀬戸よりも宮島瀬戸を地形改変する方が、その効果が高いことが推測された。これらのことから、地形改変工法は湾内の海水交換促進に有効な手段であることが確かめられた。

瀬戸内海には広島湾以外にも地形改変工法を適用できる可能性のある海域が複数存在しており、地形改変された湾口部は、港湾工事などで発生する浚渫土砂等の受け入れ先として利用できる。その投入可能土量は今回の広島湾の実験ケースでは、Case2及びCase4でそれぞれ $4.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、 $5.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ の土砂量を投入することが可能である。これらの浚渫土砂量は、中国地方整備局管内の瀬戸内海沿岸各港湾における航路・泊地整備で発生する $2.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ 以上の浚渫土砂を受け入れるだけでなく、開発保全航路である備讃瀬戸航路や関門航路、シルテーションによる航路埋没現象が発生している周防灘沿岸部の各港湾の浚渫発生土量を受け入れることが可能である。

今後は事業化にあたっての課題を検討する計画である。現在考えられる課題として、経済面では事業実施による各種コストの算出、施工面では浚渫土砂投入時における土砂の拡散を防ぐ技術、航行する船舶への影響を低減する施工方法の検討が必要である。また、環境面についても地形改変による海水交換促進が水質環境、生物の生息環境への影響など課題がある。これらの課題を解決することで地形改変工法を事業化し、港湾整備事業を円滑に推進すると共に、海域環境改善を促進する海洋環境に配慮した港湾整備を実現することを目標に検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 山崎宗広, 宝田盛康, 上嶋英機, 朝位孝二: 湾口部地形改変による停滞性海域の流況改善に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1026-1030, 1998.
- 2) 中国工業技術試験所: 瀬戸内海大型水理模型-その施設と設備-, 中国工業技術試験所大型水理模型資料, p. 94, 1976.
- 3) 山崎宗広, 村上和男, 早川典生: 流況制御による環境修復技術の現地への適用性について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1271-1275, 2002.
- 4) 武岡英隆: 沿岸海域の海水交換, 沿岸海洋研究ノート, 第21巻, pp. 169-182, 1984.