

浮体式海上空港設置に伴う 周辺環境への影響調査

AN ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF
FLOATING OFFSHORE AIRPORT BY NUMERICAL SIMULATIONS

福本 正¹・森山厚夫²・田中昌宏³・新保裕美⁴・西原 潔⁵・田中ゆう子⁶
Tadashi FUKUMOTO, Atsuo MORIYAMA, Masahiro TANAKA, Yumi SINBO
Kiyoshi NISHIHARA and Yuko TANAKA

¹博(工) 西松建設株式会社 技術研究所 (〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間2570-4)

²工修 日本鋼管株式会社 コンセプトエンジニアリングセンター (〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-1-2)

³正会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

⁴正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

⁵正会員 株式会社竹中工務店 環境ビジネスプロデュース本部 (〒104-8182 東京都中央区銀座8-21-1)

⁶正会員 東亜建設工業株式会社 技術開発部 (〒102-8451 東京都千代田区四番町5)

A floating offshore airport has been proposed in Tokyo bay to reduce its environmental impact on the ecosystem of the bay. A new airport called Umi-Hotaru airport is proposed in the south of the Kisarazu man-made island (Trans-Tokyo bay highway : Tokyo Wan Aqua-Line) located in the center of Tokyo bay. Numerical simulations of flow and water quality covering the whole bay were conducted to assess its environmental impact on the bay. To investigate the local impact of this airport on the near field, a special attention was given on the environment of Banzu tideland located on east side of the airport. Its shoreline change caused by the new airport was simulated, and the impact on the habitat of benthos was evaluated. The new airport will little impact on the environment of Banzu tideland as far as this study. The results of this study must give us the basic information on the environmental impact of the new airport on the bay, though the further detailed environmental studies will be necessary.

Key Words : *Floating offshore airport, environmental impact assessment, numerical simulation, water quality, BANZU tideland*

1. はじめに

関西空港, 中部空港および神戸空港など埋立人工島による海上空港の建設が進んでおり, 周辺海域への環境影響対策や新たな環境創造技術の重要度が高まっている. このような中, 海洋環境への影響が少ないとされる浮体構造物を用いた海上空港も数多く提案されている¹⁾. また, 東京湾のような閉鎖性内湾に設置する際は, 環境負荷の軽減策として, メガフロート技術研究組合を中心とした浮体式海上空港の調査・検討がなされている²⁾.

本論文で提案する東京湾海上空港は, マリンフロート推進機構が首都圏第3空港を目標に「東京湾海上空港検討委員会」を設置し, 平成12年度から詳

細検討を進めている「海ほたる空港」である. 空港へのアクセスの利便性も考慮した上で, 湾央のアクアライン木更津人工島の南部に隣接している. コンセプトは, 埋立による人工島(ターミナル機能)と浮体(滑走路機能)の組み合わせであり, 従来の防波堤付き浮体でもなく, 浮体だけのものでもない内容となっている.

前述したように, 東京湾海上空港の検討に際しては環境への配慮が重要な要件の1つである. そこで, 空港設置に伴う環境影響について検討した. 主として流れに関する数値シミュレーションを行い, 環境影響に関する予測と評価を行った. また, 空港設置予定地の東側近傍に存在する盤洲干潟への影響を評価するため, 海岸の汀線変化の検討と生物分布の予測を行った.

2. 流れや水質に及ぼす影響

(1) 数値計算の概要および予備検討結果

図-1に示すように「海ほたる」に隣接する海域に海上空港を設置した場合の流況および水質の予測計算結果に基づいて、環境への影響を評価する。なお、空港島の規模は、離発着施設等を含む浮体構造部590haと旅客ターミナル等の埋立部95haからなる(図-1中の上図参照)。

数値計算には、メガフロート技術研究組合で開発された3次元流況予測プログラム^{3)・4)}を用いている。表-1に計算条件を示す。また、開境界における水温と塩分の初期値は表-2に示す剣崎と洲崎での値を補間して与えた。なお、周辺海域への空港島の影響を明確にするため、吹送流は考慮していない。まず、計算格子を1000m×1000mとして、東京湾全体における流況および水質の再現計算を実施し、計算結果の妥当性を確認した。次いで、同メッシュを用いて、空港島が存在する場合の予測計算を実施した。その結果、空港島周辺における流況および水質については、その存在による表層流速の急変と、それに伴う水質の水平分布の変化が確認された。しかしな

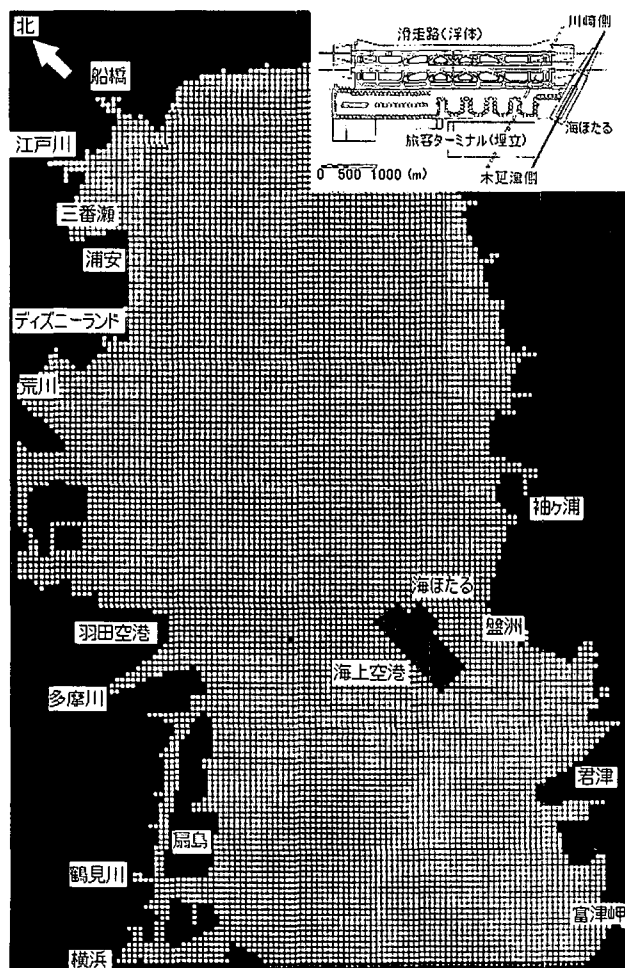


図-1 「海ほたる空港」案の位置と計算格子および空港島の概要

がら、東京湾全域においては、空港島が無い場合の結果と比べて、ほとんど差が無いことも明らかとなった。すなわち、「海ほたる」に隣接した海上空港が東京湾全域の流況に及ぼす影響は、その周辺に限られるものと推察された。

(2) 詳細検討

空港島の周辺の流況および水質について、詳細に検討することを試みた。計算格子を250m×250mと再設定して数値計算を実施し(図-1参照)、海域環境への影響について評価する。

a) 流れと水温

流れの計算結果の一例として、空港島が無い場合(現況再現結果)および空港島がある場合(予測結

表-1 計算および外力条件

鉛直方向の層分割	1層: 0~ - 2 m 2層: - 2~ - 5 m 3層: - 5~ - 10 m 4層: - 10~ - 50 m 5層: - 50~ - 200 m 6層: - 200 m 以深
タイムステップ	$\Delta t = 5.0$ s
コリオリ係数(外力)	$F = 2 \omega \sin \phi$, $\omega = 2\pi / (24 \times 60 \times 60)$, $\phi = 35.32^\circ$
渦動粘性係数	水平: $50 \text{ m}^2/\text{s}$, 垂直: $0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$
渦動拡散係数	水平: $30 \text{ m}^2/\text{s}$, 垂直: $0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$
強制水位(外力)	剣崎 ~ 洲崎 振幅: $0.38 \sim 0.373$ m 位相: $0.0 \sim 1.52$ deg
河川流量, 水温(外力)	隅田川: $3,500,000 \text{ m}^3/\text{day}$, 23.6°C 中 川: $5,740,000 \text{ m}^3/\text{day}$, 23.0°C 江戸川: $10,000,000 \text{ m}^3/\text{day}$, 23.2°C 荒 川: $8,710,000 \text{ m}^3/\text{day}$, 24.5°C 多摩川: $2,890,000 \text{ m}^3/\text{day}$, 23.1°C 鶴見川: $850,000 \text{ m}^3/\text{day}$, 23.9°C
計算初期値の水温, 塩分	1層 : 20.8°C , 27.80 ‰ 2層 : 20.0°C , 29.81 ‰ 3層 : 19.0°C , 31.62 ‰ 4層以深: 16.8°C , 33.24 ‰
気温	22.0°C
風向・風速 日射量(外力)	SE・ 0.0 m/s $703.2 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$
大型浮体	$L \times B \times d = 4,300 \times 1,700 \times 1.2 \text{ m}$

表-2 開境界における水温, 塩分の初期値

	剣崎		洲崎	
	水温 ($^\circ\text{C}$)	塩分 (‰)	水温 ($^\circ\text{C}$)	塩分 (‰)
1層目	21.6	33.78	21.5	32.88
2層目	21.3	33.96	20.5	33.42
3層目	20.8	33.96	19.0	33.96
4層目以深	19.8	34.66	16.9	34.69

果)の残差流をそれぞれ図-2(a)および(b)に示す。各図は1層目(水深:0~2m)における15日目の結果である。空港島北側の流況は空港島が無い場合よりある場合の方が大きくなっている。特に、強い西向きの流れが、空港島を回り込むようにして南向きの流れとなっている。これに対して、空港島の南西側では、現況の流れとほぼ同様な流況を示している。また、空港島から盤洲までの浅海域においても、両者とも流速は小さいことが確認される。

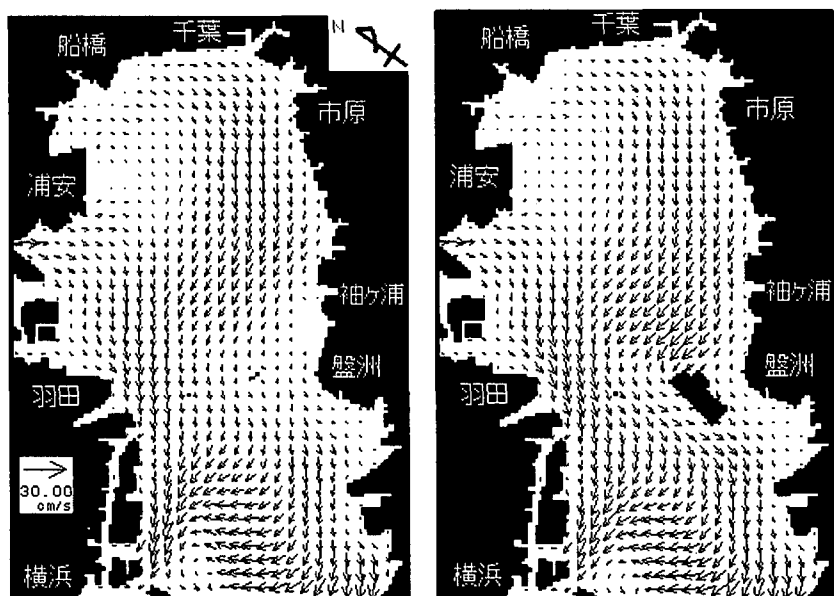
一方、図-3は空港島の有無による水温差を示したものである。成層が発達し、湾内の水質に対しての寄与が大きいと考え、夏季の計算結果を整理したものである。空港島の北側で+1℃、南側で-1℃程度の差が生じているものの、現況との差は小さいことが分かる。

b) 水質

流況予測計算結果を用いて、化学的酸素要求量(COD)、溶存酸素量(DO)および植物プランクトンなどに関する計算を実施した。計算開始後15日目の結果について考察する。

図-4(a)および(b)には、それぞれ1層目における植物プランクトンの現況および予測結果を示す。空港島が存在する場合は、空港島の北西側における南向きの流れに連行され、河川水の羽田沖から空港島まで広がっていることが分かる。

図-5は空港島が存在する1層目のDOの分布を示したものである。植物プランクトンの計算結果と同様な傾向となっている。植物プランクトンが酸素の供給源の1つであるため、DOの分布と相関が高いものと判断される。



(a) 空港島なし (現況) (b) 空港島あり (予測)

図-2 流況計算結果 (ベクトルの表示は間引いている)

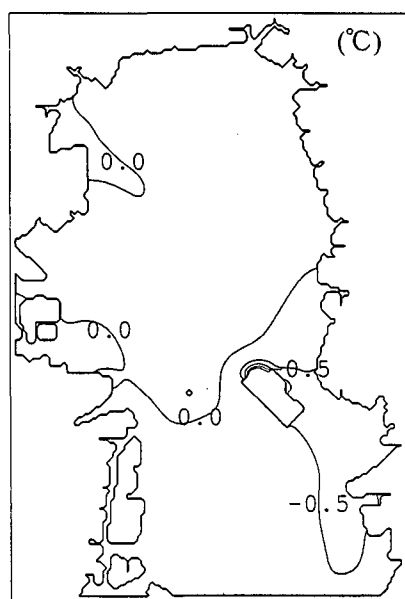
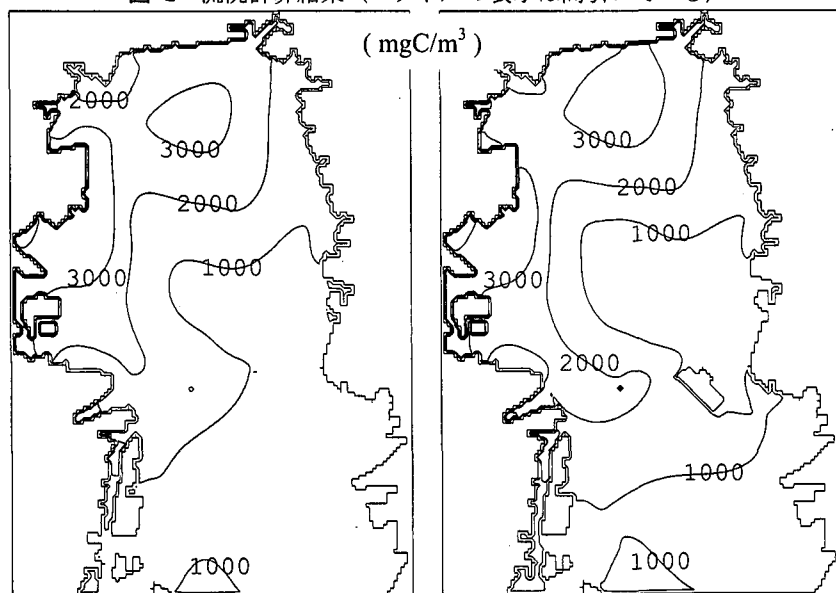


図-3 水温の計算結果 (空港島あり-空港島なし)



(a) 空港島なし (現況) (b) 空港島あり (予測)

図-4 植物プランクトン計算結果

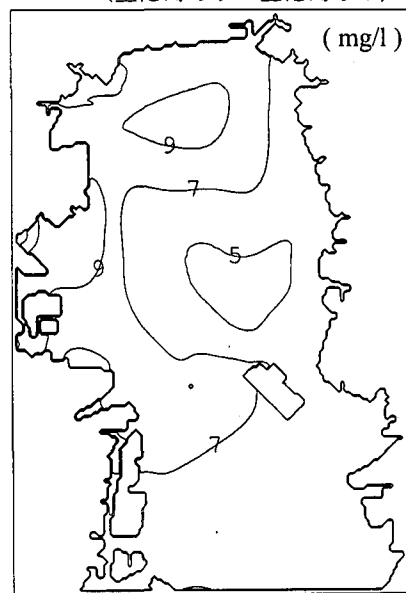


図-5 DOの計算結果 (空港島あり)

3. 盤洲干潟への影響

(1) 盤洲干潟の概要^{5), 6)}

東京湾内湾に位置する盤洲干潟は東京湾に残る数少ない自然干潟の一つである。同干潟は、小櫃川河口部に広がる前浜干潟であり、海岸線延長約9km、面積約12km²、底質は粒子径が均一な細砂により構成されており、中央粒径はおおむね0.2mmである。

コアマモやオゴノリの繁茂もみられるなど、多様な動植物の生息が認められている。また、アサリの漁獲が水・底質の浄化に大きく役立っていることが指摘されており、アサリ漁場の良好な維持が大きな課題の一つとなっている。

盤洲干潟における干潟上の水の流れは、潮汐流や吹送流、沿岸流、小櫃川からの河川水の流入などが複雑に影響を及ぼしあって形成されている⁷⁾。過去の観測結果では、干潟海面上を吹き抜ける風が干潟直上水の流れに大きく寄与していることが示唆されている。また、風速が7~8m/sを越えるとき、風に起因する波浪により底泥が再懸濁され、浮遊懸濁物の移送方向は吹送流による影響を強く受ける過程が明らかにされている。

(2) 影響評価方法

地形変化の観測結果によると、小規模な変動を繰り返しながらも長期的には安定しており、平成10年頃からは堆積傾向にある。海上空港の予定地から盤洲までの浅海域における流れは、現況の流れとほとんど変わらないことが、数値計算結果から明らかになっている。以上のことから、空港島の存在による流れの変化が、盤洲の地形変化に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

一方、風およびそれに起因する波浪場が、空港島の存在によって変化することも考えられる。盤洲干潟は風の影響を受けやすいこと、水質および底質の浄化に大きく寄与しているアサリの生息場であることなどを踏まえると、このことが地形変化に及ぼす影響を明確にする必要がある。

(3) 波浪および汀線変化予測

まず、東京湾の対象地点周辺における5年分のアメダスデータを収集し解析した。この中から、浮体式空港を設置した場合の影響は西よりの風が影響すると判断し、横浜のデータを用いることにした。横浜の記録を図-6および図-7に示す。

次に、西よりの風に対する有効フェッチを5°毎に求めた。これらの値を基に、SMB法により波向、波高および周期を計算し、波浪変形計算に用いる諸元を算出した。表-3にその結果を示す。

この波の諸元をもとに回折計算を行い、各地点での波高分布を求めた。その結果を図-8に示す。図中

横浜の風向頻度

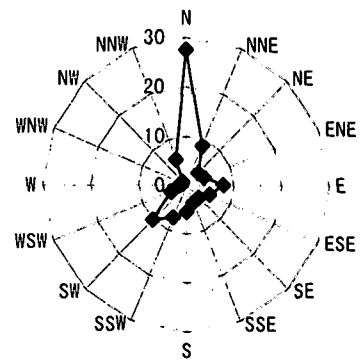


図-6 横浜の風向頻度

横浜の風速分布

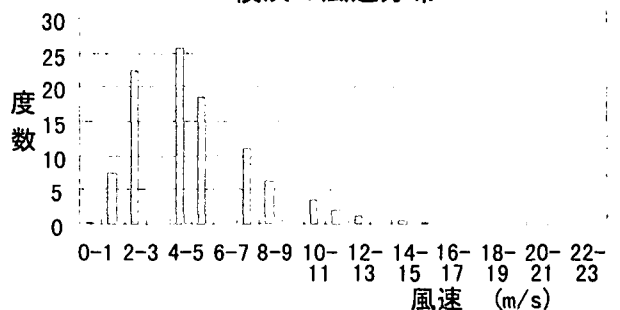


図-7 横浜の風速分布 (海上風)

表-3 波浪変形計算に用いる波の諸元

波高(m)	周期(s)	波向
0.26	0.96	N-57°

数値は波高(単位はm)を示している。また、最も汀線側の結果を南側からプロットしたものが図-9である。これらによると、浮体の後ろ側ではその他の領域と比べて波高は低くなっていることが確認される。

盤洲周辺の粒径分布を調べ、5年後の汀線変化を計算した。その結果を図-10に示す。図-9と比べると浮体の後ろ側では1m程度汀線が前進(沖合に成長する)しており、浮体の外側では2m程度汀線が後退していた。

(4) 外力条件による生物(アサリ)分布の変化

盤洲干潟の代表的な生物であるアサリを対象に、波浪場の変化がその生息環境に与える影響を評価する。アサリの生息密度は、波や流れの強さと密接に関係しており、波や流れの強さが小さすぎても、大きすぎても生息密度が減少する傾向がみられる。

そこで、波・流れの強さの尺度として底面摩擦速度を求め、水深との関係からアサリ生息密度について考察する。

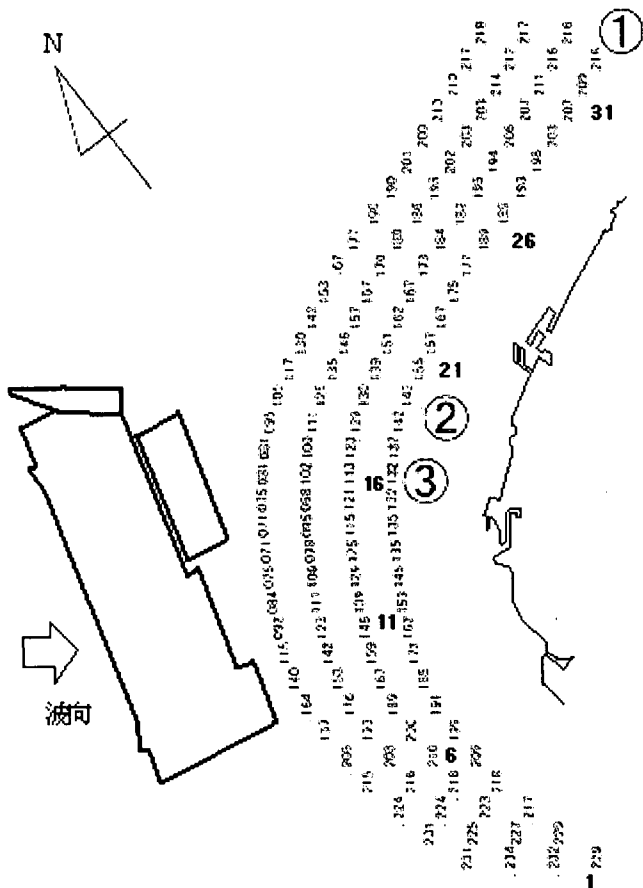


図-8 波高分布図

求める底面摩擦速度は、以下の式から算出した。

$$u_b = \sigma \cdot \eta / \sinh kh \quad \dots (1)$$

ここで、 u_b : 海底面における水粒子の水平速度成分、 σ : 角周波数(= $2\pi/T$)、 T : 波周期、 k : 波数(= $2\pi/L$)、 L : 波長、 h : 水深、 η : 静水面からの高さ(= $H/2$ と仮定)、 y : 対象とする水粒子の水深($-h \leq y \leq \eta$)。

$$\tau_b = f\rho u_b^2 \quad \dots (2)$$

ここで、 τ_b : 海底面における波の応力、 f : 摩擦係数(=0.01とした)。

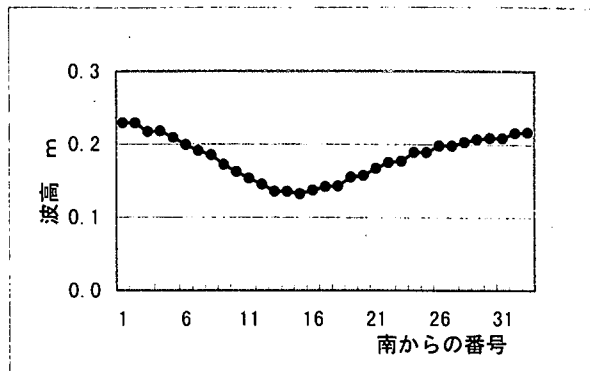


図-9 汀線での波高分布

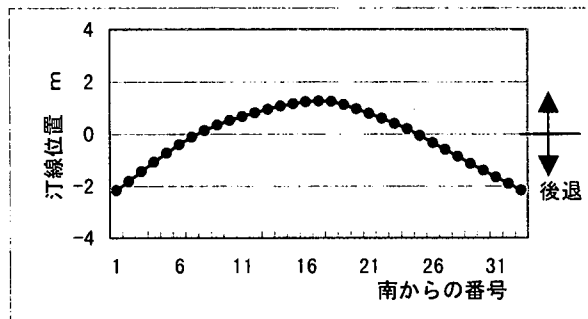


図-10 汀線での波高分布(5年後)

$$u_* = \sqrt{\tau_b / \rho} = \sqrt{f\rho u_b^2 / \rho} = \sqrt{f} u_b \quad \dots (3)$$

ここで、 u_* : 波の底面摩擦速度。

君津と姉崎における大潮升の値から、盤洲干潟でのそれを平均値2.0mと仮定し(水深域: 1.6-2.0m)、図-8に示す①~③の地点での底面摩擦速度を算出した。計算条件および結果を表-4に示す。なお、表には空港島がない場合の値も記している。

地点①~③における底面摩擦速度と水深の関係を図-11に示す。これより、アサリの生息密度が高い水深1.6~2.0mの場所では、海上空港がない場合には概ね0.005~0.026cm/sとなる。この底面摩擦速度の範囲がアサリの生息に最も適していると仮定すると、波高の低減率が最も高い③において、この範囲となる水深域は概ね1.40~1.85mである。すなわち、空港島の存在に伴う波浪変化によって、アサリの生息量の多い水深帯が浅くなるものと考えられる。

表-4 底面摩擦速度の計算条件

海上空港	場所	水深(m)	波高(m)	砕波水深(m)	波長(m)	H/L	底面摩擦速度(cm/s)
無い	*	1.60	0.26	0.33	1.56	0.17	0.0259
有る	①	1.60	0.22	0.28	1.56	0.14	0.0216
	②	1.60	0.14	0.18	1.56	0.09	0.0143
	③	1.60	0.13	0.17	1.56	0.08	0.0132
無い	*	2.00	0.26	0.33	1.56	0.17	0.0052
有る	①	2.00	0.22	0.28	1.56	0.14	0.0043
	②	2.00	0.14	0.18	1.56	0.09	0.0028
	③	2.00	0.13	0.17	1.56	0.08	0.0026

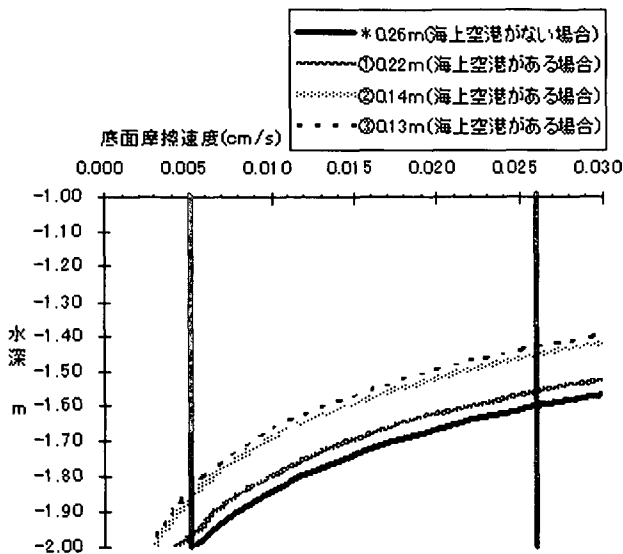


図-11 水深と底面摩擦速度の関係

4. おわりに

今回の環境影響評価に関する検討の主眼は、空港施設を東京湾中央の「海ほたる」に隣接して設置し、流況シミュレーションによって流れや水質に及ぼす影響を概略把握することであった。また、東京湾に残された数少ない自然干潟の一つである盤洲干潟が直近に存在することから、盤洲干潟への影響についても考察した。

流況シミュレーションの結果では、「海ほたる空港」設置予定場所は東京湾内で最も対岸距離が短い所であること、現況での流れの向きが変化する位置と空港島の位置が重なることなどのため、西向きの流れが増強されている。このため、北西岸に点在する河川からの流入が助長されて南向きの流れを呈する結果となった。この流れに連行されて、水温、COD、DOならびに植物プランクトンの分布は空港島を境に北側の湾奥部と南側で変化が生じていた。また、植物プランクトンの平面分布はCODおよびDO水質の分布と類似しており、相関が高いことが確認された。

盤洲干潟に及ぼす影響評価では、空港島設置による波浪変化を検討し、盤洲干潟の海岸線変化と生物分布の変化を予測した。空港島から盤洲干潟に向かう波向きの下流域では波高が小さくなり汀線は少し沖合に前進する結果となった。

また、波浪による底面摩擦速度と水深の関係から、アサリの生息量が多い水深帯が変化するものと推察された。なお、荒天時における底面摩擦速度が概ね4cm/sのときにアサリに生息密度が多いことが確認されている^{8),9),10)}。今回は、平均的な波浪場における波浪推算結果に基づいて汀線変化とアサリの生息への影響を考察したが、詳細検討を行う場合には荒天時での波浪場についても解析を行う必要がある。

さらに、アサリの再生産を考える上で、流れや波浪が浮遊幼生の輸送に及ぼす影響は重要であり、今後の検討が必要となる。さらに、このような物理的要因ばかりでなく、生物化学的観点からの影響評価が重要となる。

実際に事業を進める上ではより詳細な検討が必要であるが、今回の検討結果が、設置場所や全体の形状などを含め、今後の空港設置検討の参考資料になれば幸いと考えている。

謝辞：本研究は、マリンフロート推進機構 東京湾海上空港検討委員会 環境小委員会において、平成13年度の成果を取りまとめたものである。関係各位には多大なるご尽力を賜った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 田中昌宏, J. van KESTER, 池谷 毅, 滝本邦彦: 大規模海洋構造物の環境影響評価モデルの開発, 海洋開発論文集, 第15巻, pp.113-118, 1999.
- 2) 藤野正隆, 多部田 茂, 北澤大輔, 曾 一非: 超大型浮体の海洋物理環境への影響に関する一検討, 日本造船学会論文集, 第183号, pp.267-280, 1998.
- 3) 経塚雄策, 胡 長洪, 長谷美広行, 肥海昭男: 超大型浮体式海洋構造物が東京湾の水質と生態系に及ぼす影響について, 日本造船学会論文集, 第181号, pp.151-160, 1997.
- 4) 中川寛之, 大森英行, 肥海昭男, 中川憲一, 内野和博: メガフロート設置による流況・水質の変化予測, 第14回海洋工学シンポジウム, pp.299-306, 1998.
- 5) 風呂田利夫: 東京湾の生物誌 (沼田眞・風呂田利夫編), 築地書館, pp.45-55, 1997.
- 6) 古川恵太・藤野智亮・三好英一・桑江朝比呂・野村宗弘・萩本幸将・細川恭史: 干潟の地形変化に関する現地観測—盤洲干潟と西浦造成干潟—, 港湾技研資料, NO.965, 25p., 2000.
- 7) 姜 関求・高橋重雄・奥平敦彦・黒田豊和: 自然・人工干潟の地形および地盤に関する現地調査—前浜干潟の耐波安定性に関する検討—, 港湾空港技術研究所資料, NO.1010, pp.15-47, 2001.
- 8) 柿野 純, 中田喜三郎, 西沢 正, 田口浩一: 東京湾盤洲干潟におけるアサリの生息と波浪との関係, 水産工学, Vol.28, NO.1, pp.51-55, 1991.
- 9) 千葉県土木部企業庁, 「市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について」(要約版), 336p., 1998.
- 10) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷 毅, 越川義功: アサリを対象とした生物生息地適性評価, 土木学会海岸工学論文集, 第47巻, pp.1111-1115, 2000.