

浚渫土投棄場造成に伴う流れと堆積環境の変化

李 文 沃*・朴 一 欽**・李 三 魯***

1. 緒 言

近年、急激な経済開発の要求に応じ、比較的波浪の来襲に対し安全な内湾では多様な産業団地の造成のための埋め立ての事業が活発に進行している。しかしながら、大部分の内湾は海藻類および貝類の養殖場としてよく知られており、このような埋め立て事業に依って漁場面積が急速に縮小されつつあり、水質は悪化の一路にある。なお、こうした工業団地への大型船舶の出入りが頻繁となり、適切な航路の確保も切実な課題の一つとして対頭してきている。したがって、航路の浚渫時には、漁場環境に対する悪影響を可能な限り最小化できる適切な浚渫土投棄場を近隣海域に確保することによって敷地造成にも寄与するという方案の模索が要求されている。

本研究では、浚渫土投棄場の造成と関連して惹起される流れと堆積環境の変化を予測することを目的とし、長期間の予測に適した水深積分した海水流動モデルと移流・拡散方程式を利用した漂砂移動モデルを用いて検討を行なう。また、1980年代の以来、世界屈指の光陽製鉄所 (POSCO) を筆頭に、多様な産業団地の造成のための埋め立て事業が活発に進行している韓国の南海岸に位置した光陽湾に建設予定の浚渫土投棄場について流れと堆積環境の変化に関する計算結果を提示し、この結果に基づいて浚渫土投棄場の適切な形態を判断する。

2. 数値模型の概要

本研究で用いている数値模型は有限差分法を用いたDIVAST (Depth Integrated Velocity And Solute Transport) モデル (Falconer, 1986; Lee et al., 1994; Lee et al., 1995) を基本とし、その基礎方程式は次のようである。

(1) 海水流動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UH}{\partial t} + \beta \left(\frac{\partial U^2 H}{\partial x} + \frac{\partial UVH}{\partial y} \right) - fVH + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ - \frac{\rho_a C^* W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho} + \frac{gU \sqrt{U^2 + V^2}}{C^2 H^{1/3}} \\ - \varepsilon H \left(2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} \right) = 0 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VH}{\partial t} + \beta \left(\frac{\partial UVH}{\partial x} + \frac{\partial V^2 H}{\partial y} \right) + fUH + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ - \frac{\rho_a C^* W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho} + \frac{gV \sqrt{U^2 + V^2}}{C^2 H^{1/3}} \\ - \varepsilon H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \right) = 0 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、 η は海面変位、 t は時間、 x, y は水平座標、 U, V は x, y 方向の水深平均流速、 H は全水深、 β は運動量補正係数、 g は重力加速度、 f は Coriolis Parameter、 ε は水深平均した渦動粘性係数、 ρ は海水の密度、 ρ_a は大気密度、 C^* は海面における界面抵抗係数、 W_x, W_y は x, y 方向の風速、なお C は Chezy の係数である。

数値計算方法は (1)~(3) のすべての項を空間ならび時間に対して中央差分を取り、ADI 法 (Alternating Direction Implicit Method) で計算し、また空間的には Staggered Grid Scheme を採用する。

(2) 漂砂移動方程式

浮遊砂 flux に関する漂砂移動は式 (4) のような水深積分した移流・拡散方程式を基礎として解を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\partial SH}{\partial t} + \left(\frac{\partial SUH}{\partial x} + \frac{\partial SVH}{\partial y} \right) \\ - \frac{\partial}{\partial x} \left(HD_{xx} \frac{\partial S}{\partial x} + HD_{xy} \frac{\partial S}{\partial y} \right) \\ - \frac{\partial}{\partial y} \left(HD_{yx} \frac{\partial S}{\partial x} + HD_{yy} \frac{\partial S}{\partial y} \right) = E \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここに、 S は水深平均した浮遊砂濃度、 $D_{xx}, D_{xy}, D_{yx}, D_{yy}$ は水深平均した縦分散と乱流拡散係数である。 E は底面で単位面積当たりの純侵食・堆積率で Owens (1987) は式 (5) のように表わした。

$$E = \gamma w_s (S_e - S) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 S_e は水深積分した平衡濃度、 w_s は粒子の沈降速度、 γ は濃度の鉛直分布係数で S と基準点濃度 S_a の比で

* 正会員 工博 麗水水産大学校副教授 海洋工学科
** 工博 麗水水産大学校講師 海洋工学科
*** 工博 麗水水産大学校教授 海洋土木工学科

表わされる。

水深積分した平衡濃度に対してはいろいろな種類の提案式があるが、本研究では計算において、より効率的な Engelund・Hansen (1967) の式を使用する。

$$q_s = \frac{0.051 U_*^5 C^2}{g^3 \Delta^2 d_{50}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 q_s は単位幅当たりの浮遊砂濃度 flux, U_* は流れ方向へのせん断速度, Δ は底質の流体に対する相対密度, d_{50} は底質の中央粒径である。式(6)から平衡濃度 S_e は次のようである。

$$S_e = \frac{q_s}{q} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 q は水深積分した流体の速度である。上記した移流・拡散方程式は ADI 法で解け、各格子点において計算された純侵食・堆積率は次ぎの式(8)を使用して長さの次元に換算する。

$$L = \frac{E}{(\rho_s - \rho)(1 - p)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 L は純侵食・堆積深さ, ρ_s は底質の密度, また p は底質の空隙率である。

3. 流れ環境の変化

(1) 対象海域の流況

図-1 に図示した光陽湾は韓国の南海岸に位置した内湾で、東西の長さは約 17 km、幅は広い所が約 9 km で、南方の水路を通して外海と、また東方の露梁海峡を通して隣接した晋州湾と連結され、湾の北部の蛤津江を通して年平均約 120 m³/s の淡水が流入されている。光陽湾は最終氷期以後の海浸による浸水海岸で、広い潮間帯の堆積層が発達し、多様な形態の堆積環境を造っている (Lee, 1994)。

潮汐現象は表-1 のように半日周潮流が非常に優勢な海域で最大潮差は 3.8 m 程度で、水深は湾の西側と北側

では大体 5 m 以下であるが、東側の水路では 20 m 以上である。内湾では風によって波浪が発達するほど十分な海域がないので波浪はそれほど大きくない。

一方、光陽湾には 1980 年代の以来、図-1 の光陽製鉄所 (POSCO) を筆頭に埋め立ての事業が活発に進行していて、現在、湾の西側ならび西南側の干潟地に大規模な産業団地造成のための埋め立ての事業と航路の確保のため浚渫事業が計画されている。これに伴う浚渫土投棄場は図-5 のように猫島 (Myo Island) の周辺海域にいろいろな形態の計画案で検討されている。

(2) 海水流動の再現

表-1 の A ならび C の潮汐調和定数を図-1 の南側ならび東側開境界の水位境界条件として与えた。また、北

表-1 光陽湾内の重要地点の潮汐調和定数

位置	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
	振幅	遅角	振幅	遅角	振幅	遅角	振幅	遅角
A	103	252	48	282	19	170	14	147
B	108	254	50	282	20	175	13	153
C	107	259	46	291	17	174	11	156

unit=cm or degree

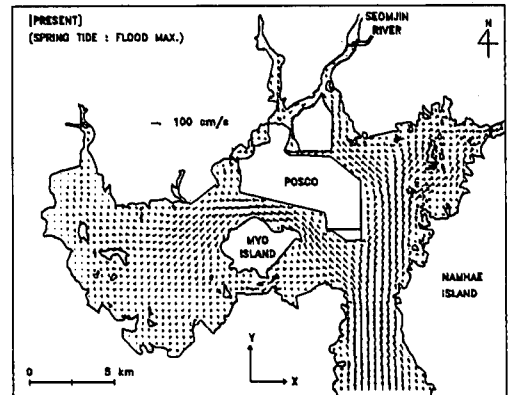


図-1 光陽湾の地形ならび調査定点の位置。

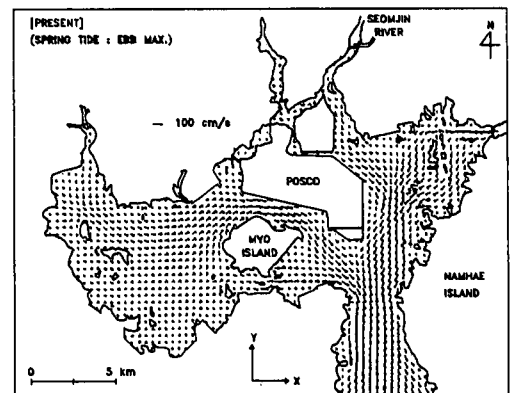


図-2 光陽湾の大潮期における最強流速の分布。

側の蟄津江 (Seomjin River) 下流の開境界では年平均流量を流速境界条件として入力した。再現された海水流動の様子は図-2 のようである。光陽湾では上げ潮時と下げ潮時の流向が互いに正反対となり、地形的な影響で下げ潮時の流れが上げ潮時の流れより優勢に現われる。

一方、図-1 の定点 CS 1~CS 3 で層別に 25 時間連続で流速測定を行い、定点 CL 1~CL 2 の中層水深では 15 日間の連続測流を行なった。このような観測値は海水流動計算の検証資料として使用し、図-3 は 25 時間測流した結果を調和分解してそれを計算値と比較したものの一例である。この結果より、観測値と計算値は流軸と分潮流の振幅が比較的良好に一致していることが分る。また、15 日間の長期観測資料を計算値と比較した結果、計算値は観測値に比べ、流向の分散が小さくなる傾向を示した。

(3) 浚渫土の投棄場による流況の変化

図-4 は 5 つの埋め立て案に対する流況の変化を検討したものである。埋め立ての法線案が猫島の東側の干潟地の周辺に互いに類似な形態で計画されているため、湾の全海域にかけて現れる流況の変化も全般的には類似な様相を示す。しかしながら、部分的に埋め立ての法線が異なっている猫島の南東側海域では流況の変化量が大きく現れる。このような結果は水位が最も高い大潮期の満潮時における潮位変化量として図-5 に、また流速の最も速い大潮期の下げ潮の最強流時における流速の変化量として図-4 にそれぞれ図示した。さらに、より詳しい数値として流況変化に対する最大・最小値ならび流況変動の範囲に伴う変動海域の面積を潮位ならび絶対流速の変化量をそれぞれ表-2 と表-3 に整理した。

全般的な潮位変化において、埋め立ての影響で干潮時

には潮位が下降し、満潮時には潮位が上昇する結果を表す。このような潮位の上昇・下降量は全海域にわたって $-2 \sim +2$ cm 以内であるが、第 3 案の場合、水位変化量の最大・最小値ならび変動面積においてその変化幅が最も小さい結果を示した。

最強流速の変化においては、まず東側の水路では約 $1 \sim 2$ cm/s 程度の流速の減少が発生し、猫島と光陽製鉄所との間の水路では約 $1 \sim 4$ cm/s 程度の流速の増加が現れた。また流速の増減が最も大きく現われる猫島の南側海域では流速の変化も最大 $-50 \sim +30$ cm/s 程度で大きく現われた。特に水路幅が大きく減少する第 1 案と第 2 案では他の案に比べて流速の変化が大きく現われた反面、第 3 案の場合は流速の変化量が最も小さく現われた。

4. 堆積環境の変化

漂砂移動の計算に際しては、底質の種類や粒径分布等の底質特性として猫島の前面海域の 30 個で採取した試料の平均値を用いた。計算結果は、10 潮汐周期 (250 時間)

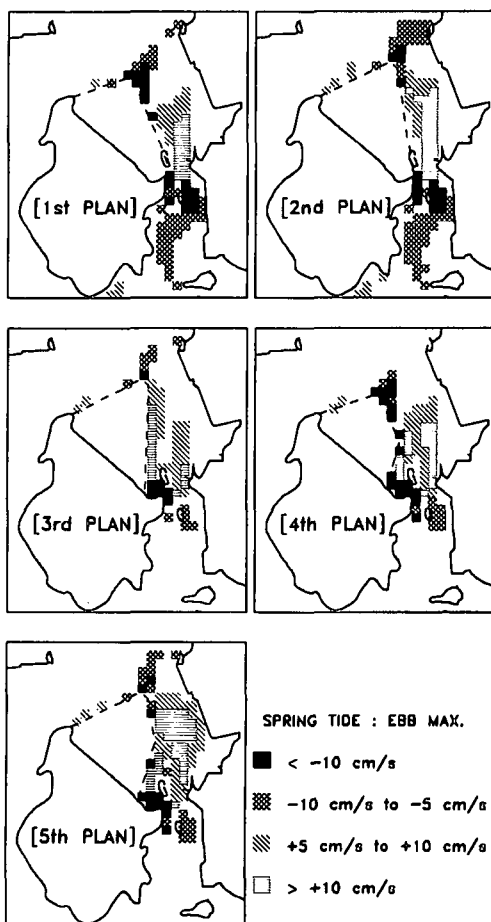


図-4 各埋め立ての計画案に対する最強流速の変化量。

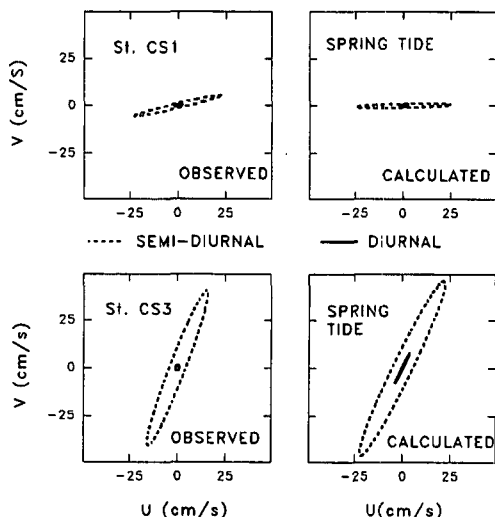


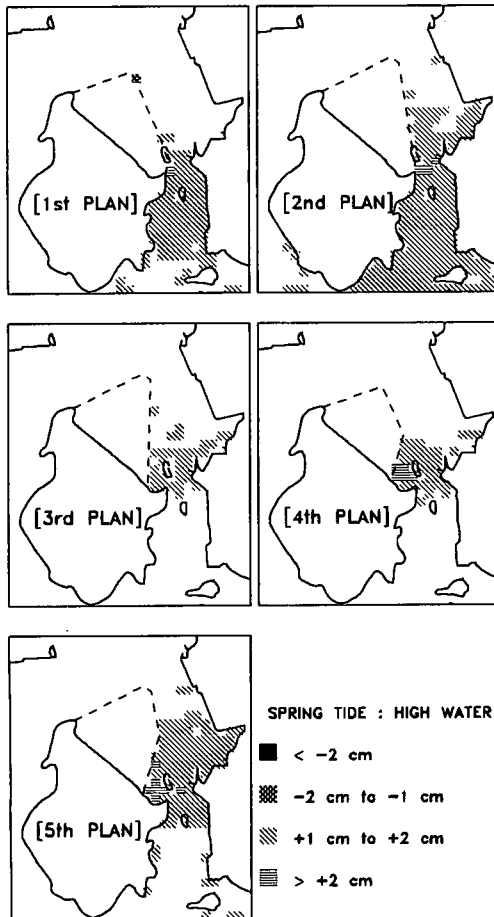
図-3 潮流楕円の観測値と計算値との比較。

表一 水位変化の最大・最小値ならび変動海域の面積

区分	第1案	第2案	第3案	第4案	第5案
最大値	+1.9 cm	+2.2 cm	+1.3 cm	+2.2 cm	+2.0 cm
最小値	-0.5 cm	-0.3 cm	-0.3 cm	-0.4 cm	-0.3 cm
<-2 cm	—	—	—	—	—
-2~-1 cm	0.04 km ²	—	—	—	—
+1~+2 cm	3.32 km ²	6.60 km ²	1.24 km ²	1.24 km ²	3.68 km ²
+2 cm>	0.04 km ²	0.12 km ²	—	0.20 km ²	0.28 km ²

表一 流速変化の最大・最小値ならび変動海域の面積

区分	第1案	第2案	第3案	第4案	第5案
最大値(cm/s)	+34	+33	+36	+29	+35
最小値(cm/s)	-50	-50	-36	-60	-46
<-10 cm/s	0.76 km ²	0.60 km ²	0.28 km ²	0.72 km ²	0.48 km ²
-10~-5 cm/s	1.36 km ²	1.76 km ²	0.44 km ²	0.44 km ²	0.76 km ²
+5~+10 cm/s	0.72 km ²	0.84 km ²	1.08 km ²	0.88 km ²	1.20 km ²
+10 cm/s>	0.60 km ²	0.92 km ²	0.52 km ²	0.72 km ²	1.28 km ²



図一五 各埋め立ての計画案に対する満潮位の変化量。

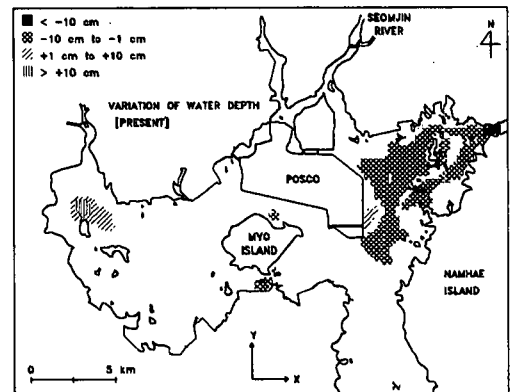
の計算を遂行した後、これを年間変動値に換算して表した。

図一六 は現状に対して年間純堆積・侵食深さを計算した結果であり、図一七 は各計画案と現状態に対する年間純侵食・堆積深さの変動値を图示したものである。図一六で見られるように、比較的強い流速が現れる湾の北東側の水路ならび露梁海峡と、また猫島の南側の水路では大体侵食が発生し、光陽湾の西側では底質が堆積される様子を示した。特に、露梁海峡と、湾の西側の一部の海域では年間 30 cm 以上の侵食と堆積が発生する所もあった。しかしながら、これらの海域を除外した大部分の海域では年間 -5~+5 cm 以内の微小な値を示した。

こうした底質移動の様子は現状ならび各埋め立ての計画案の有無と関係なく、大体類似な侵食・堆積の様子を表すが、埋め立ての法線によって流速の変化が大きく現れる猫島の南側水路でその変化が大きく現れた。したがって、各計画案に伴う年間純侵食・堆積深さの最大変化量を調べてみると、次の表一四 のようである。比較的埋め立ての面積が広い第1案と第2案では純侵食・堆積深さの変化が他の場合より大きく現れるが、猫島の南側水路の断面積の変化が比較的小さい第3案~第5案ではその変化が小さく現れた。特に第3案の場合、その変化幅が最も小さくなる結果を示した。

表一四 堆積深さの最大・最小値ならび変動海域の面積

区分	第1案	第2案	第3案	第4案	第5案
最大値	+2.7 cm	+2.9 cm	+0.9 cm	+1.2 cm	+1.5 cm
最小値	-1.9 cm	-1.6 cm	-0.5 cm	-0.6 cm	-0.3 cm
<-2 cm	—	—	—	—	—
-2~0 cm	0.16 km ²	0.16 km ²	0.04 km ²	0.04 km ²	—
0~+2 cm	0.16 km ²	0.20 km ²	0.20 km ²	0.24 km ²	0.20 km ²
+2 cm>	0.04 km ²	0.04 km ²	—	—	—



図一六 光陽湾の純侵食・堆積深さ。

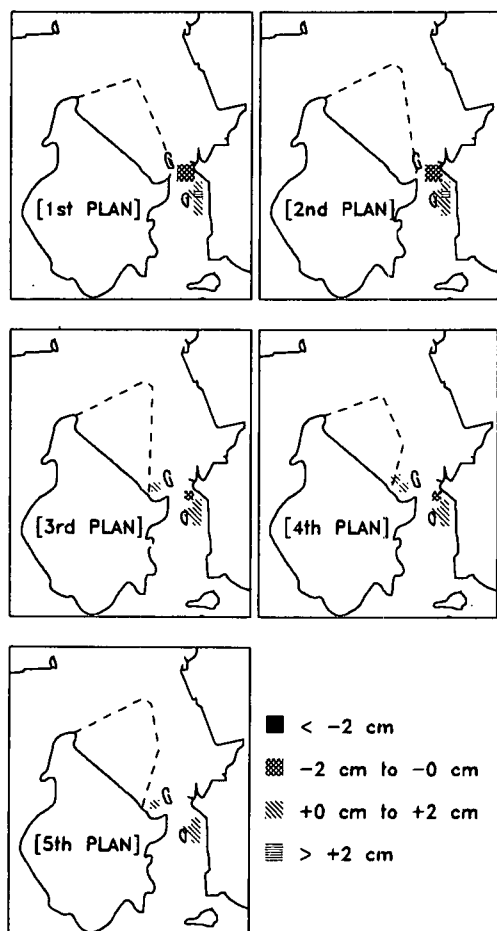


図-7 各計画案の年間純侵食・堆積深さの変化量。

5. 結 言

浚渫土の投棄場の造成と関連して惹起される流れと長

期的な堆積環境の変化を予測するための海水流動と漂砂移動の数値計算を行って検討した。そして、韓国の光陽湾に建設予定の浚渫土投棄場における異なる5つの形態の埋め立て法線案に対して詳細な数値実験を行った。数値実験の結果、光陽湾の全般的な流れならび堆積環境の変化は互いに類似していたが、埋め立て地の周辺では局所的にその影響が大きく現れた。満潮位の最大変化は $-0.3 \sim +1.3$ cm, 最強流速の最大変化は $-36 \sim +36$ cm/sであった。そして年間純堆積深さの最大変化は $-0.5 \sim +0.9$ cmで、第3案の埋め立ての法線案が最もよい結果を表した。以上の結果は、将来、水産生物学的な検討をも追加し、海洋環境に最も適合な案として最終的に採択する予定である。

謝辞：本研究の一部は韓国学術振興財団の'95 新進研究人力研究奨励金によって行われたことを付記する。

参 考 文 献

- Engelund, F. and E. Hansen (1967): A monograph on sediment transport in alluvial streams, Teknisk Forlag, Copenhagen.
- Falconer, R. A. (1986): A two-dimensional mathematical model study of the Nitrate levels in an inland natural basin, Proc. ICWQM, BHRA, Fluid Eng., pp. 325-344.
- Lee, J. S., I. H. Park and M. O. Lee (1995): Evaluation of flow variation by aquaculture facilities using by a numerical model, Proc. 26 th Cong. IAHR, HYDRA 2000, Vol. 1, pp. 591-596.
- Lee, M. O., J. S. Lee and I. H. Park (1994): The impact of reclamation on physical environment for culture ground in a small bay, Proc. ICHD'94, China, pp. 567-573.
- Lee, S. W. (1994): Hydraulic memos in Korean harbors, Chipmoondang, 254 p.
- Owens, P. H. (1987): Mathematical modelling of sediment transport in estuaries, Ph. D Thesis, Univ. Birmingham, 220 p.