

数値シミュレーションを用いたボンド方式による水質改善法の検討 -唐津港を対象として-

九州大学大学院 工学研究科 正会員 ○押川 英夫
九州大学大学院 工学研究科 フェロー 小松 利光
運輸省 第一港湾建設局 正会員 牧野 武人

1. 緒言

現在、佐賀県北部に位置する唐津港では西港における水質の悪化が深刻な問題となっており、佐賀県や唐津市によって水路開削による水質改善対策を含めたウォーターフロント開発が計画されている。これは東港と西港の間に運河（水路）を開削し、海水交換を活発にすることで西港の水質改善を図り、同時に運河を親水空間として市民に提供することを目的としたものである。しかし東港と西港の間の水位差・位相差が比較的小さいと考えられるため、両港をつなぐだけで西港の水質が改善されるとは考えにくく、場合によっては東港の良好な水質までも損なう可能性があることが懸念されている。本研究は、当研究室で提案されている閉鎖性海域の水質改善手法の一つであるボンド方式を数値シミュレーションにおいて唐津港に適用し、その効果を検討したものである。

2. 数値シミュレーションの概要

唐津港に於ける水質改善策による効果を評価するために、図-1に示す計算領域において平面2次元モデルによる潮流・拡散シミュレーションを行った。計算されたケースの間の比較を容易にするため、水路開削やボンドの設置に伴う地形の変更、ゲート操作以外の計算条件は全て共通とした。検討されたケースを以下に示す。

[1] 現況 (Case-1). [2] 図-1中のArea-Cに水路を開削した場合、水路内の水深は（後述のボンド内も）全て5.2mである (Case-2). [3] 水路のほぼ両端をゲート（東港側をGate-A、西港側をGate-Bとする、位置は図-1参照）で仕切り、そのゲート間の水路部分をそのままボンドとしたものである（計算格子で11メッシュ）。唐津港の場合、ボンドと汚染が深刻化している西港湾奥部（Area-B）の容積比を求めると6.84%となる。ゲートの操作は2通りの方法を用いた。一つは開境界において余弦関数で与えられた M_2 潮の周期44700秒を2等分し、上げ潮時にGate-Aを開放（Gate-Bを閉鎖）してボンド内に東港の海水を導入し、下げ潮時にGate-Bを開放（Gate-Aを閉鎖）してボンド内の水を西港に送り込むものである（Case-3A）。もう一つはボンド内に位相の遅れがある場合に備えて行われたもので、 M_2 潮の周期を4等分し、満潮時を中心とした1/4周期および干潮時を中心とした1/4周期を両ゲート閉鎖、最大上げ潮時を中心とした1/4周期をGate-Bを閉鎖、Gate-Aを開放、最大下げ潮時を中心とした1/4周期をGate-Bを開放、Gate-Aを閉鎖とした場合である（Case-3B）。今回の計算ではゲートの厚みはないものとし、ゲート操作は開境界の潮位変動に応じて瞬間的に行われるものとして計算している。[4] Case-3のボンドの横にボンドの容量を増やすために更に矩形的ボンド（貯水池）を設け（ボンドの位置は図-1参照）、ボンドの総容積をCase-3の3倍（33メッシュ）とした場合である。この場合もCase-3と同様にゲートの操作を2通り行い、それぞれCase-4A、Case-4Bとした。[5] Case-4と同様のボンド方式で、ボンドの総容積をCase-3の5倍（55メッシュ）とした場合（Case-5A、Case-5B）。[6] Case-4と同様のボンド方式で、ボンドの総容積をCase-3の7倍（77メッシュ）とした場合（Case-6A、Case-6B）。

潮流計算は図-1に示した計算対象水域において、メッシュ間隔30m（この数値は開削予定の水路幅と一致）、時間格子間隔0.5秒、開境界における潮位振幅を潮汐表²⁾から読み取った大潮時の平均値1.05m、周期12時間25分、渦動粘性係数 $10.0\text{m}^2/\text{s}$ 、海底摩擦係数0.0026、コリオリ係数を $8.02 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ として計算を行った。渦動粘性係数、海底摩擦係数の値は、以前に唐津港の調査¹⁾の一貫として行われている数値計算で用いられた値と同じものを採用した。

拡散計算は潮流計算と同じ計算メッシュにおいて、初期時刻に現在汚染が深刻な西港の港内全域（Area-B）に保存性の汚染物質を一様濃度で瞬間発生させた場合について、120周期（約2ヵ月）間行われた。時間格子間隔は12.5秒、分散係数はElderによって得られた $5.93hu$ を用いた。ここに h は水深、 u は摩擦速度である。

3. 計算結果とその考察

数値シミュレーションによる現況の流れの再現性を評価するには詳細な実測結果等が必要であるが、唐津港における実測データは限られており詳細な検討は不可能であった。しかし数少ない実測結果¹⁾³⁾を基にした流向・流速・潮位変動の実測と計算結果の比較等から判断して、ほぼ妥当な計算結果が得られたものと思われる。

各ケースについて拡散物質の西港湾奥部（Area-B）での残留率の経時変化を図-2に示す。縦軸は西港湾内水の初期濃度 C_0 で正規化された平均濃度 $R(t) (=C(t)/C_0)$ である。ここで $C(t)$ はArea-Bでの平均濃度である。図-2からもボンド方式の有効性は明らかであるが、その効果をより定量的に評価するため、濃度の計算結果から西港湾奥部の平均滞留時間⁴⁾ ($=\tau_r$)を算出した。 τ_r の算出には以下の式(1)を用いたが、拡散計算の最終周期 ($=120$) が終了しても $R(t) > 0.02$ の場合には式(2)の残余関数⁵⁾を図-2にfittingして係数を求めて同定し、それを半無限区間数値積分することにより算出している。ここで t は経過時間、 Δt は1周期、 α 、 p は係数である。

$$\tau_r = \int_0^{\infty} R(t) dt \approx \sum_0^{120} R(t) \Delta t \quad (1), \quad R(t) = \exp(-a t^p) \quad (2)$$

表-1にケース毎の平均滞留時間を示す。水路開削による τ_r の低減幅は23.6%とそれ程大きくはなく、水路開削による水質改善効果はあまり望めないことが分かった。また、Case-3Aの τ_r はCase-2のそれと比較するとわずか3.2%となっており、ポンド方式の海水交換能力が水路開削だけの場合のその30倍以上にも及んでいることが分かる。

次に水質が良好な東港および開削水路内 (Area-A, C) へ西港から流出した汚染物質の初期発生量に対する割合 (≡ $E(t)$) を図-3に示す。但し、Area-Aより外海側の濃度は極端に低いため、 $E(t)$ は水路内および東港全域の汚染物質を代表していると考えても支障はない。図中には、Case-2では全周期の計算結果、それ以外では25周期以降の計算結果に対して求められた近似曲線を併せて記入している。まず水路は開削するがゲート操作を行わないCase-2の場合には、東港への流出量はほぼ経過時間のべき乗則に従って増加している。但し、本計算では初期時刻以外には汚染物質の発生はないため、経過時間が長くなるといずれば $E(t)$ の曲線は減少傾向に向かうはずである。次にゲート操作を施した場合 (図-2中のCase-2以外) には、初期に西港からの急激な汚濁の侵入により汚染物質の流出量はしばらく変動した後、経過時間のべき乗則に従って減少していくことが分かる。従って、ポンド方式は汚染物質の流出の抑制という面でも極めて有効な工法であることが分かる。

最後にゲートの操作法による効果の違いを検討する。Case-3A～6Aの τ_r は3B～6Bの τ_r の各々70%程度となっており、西港の海水交換促進という面ではCase-3A～6Aは3B～6Bより優れている。また、図-3から分かるように東港への汚染水の流出の抑制という面でもCase-3A～6Aの方が3B～6Bより優れている。

4. 結論

本研究では水路開削を伴うウォーターフロント開発が計画されている唐津港において、ポンド方式を用いた水質改善手法の効果を数値シミュレーションを中心として検討した。本研究によって得られた知見をまとめると以下のようである。

- 1) 流れが弱く、また東西両港の水位差・位相差が殆ど生じない唐津港では、東港と西港の間に水路を開削するだけでは大きな水質改善効果は期待できない。
- 2) 唐津港においては、計画されている開削水路両端部に2つのゲートを設けてその中をポンドとして利用するだけでも、西港内の汚染物質の滞留時間を水路開削だけの時の30分の1以下にすることが可能である。
- 3) ポンド方式は潮汐の干満差を利用して、一方向に強制的に導水を行うため、水を送る側の水域の良好な水質を保全するという観点からも非常に優れている。

謝辞：本研究を行うにあたって運輸省第四港湾建設局唐津港湾工事事務所の方々に多大な御協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐賀県他：唐津港ウォーターフロント整備構想調査 海水交換効果検討調査 報告書, 1994.
- 2) 海上保安庁, 平成11年 潮汐表 第1巻, 467号, pp.224-226, 1998.
- 3) 第四港湾建設局唐津港湾工事事務所他：唐津港潮汐観測 観測成果簿, 1999.
- 4) 村上和夫他：強制循環流による海水交換の促進について, 第29回水理講演会論文集, pp.341-346, 1985.

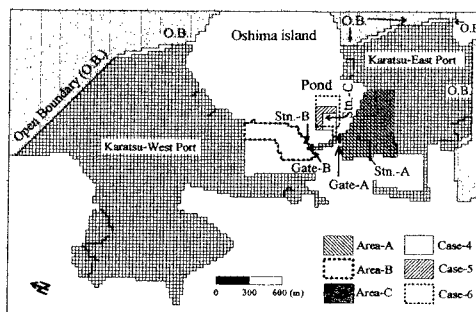


図-1 唐津港計算格子図

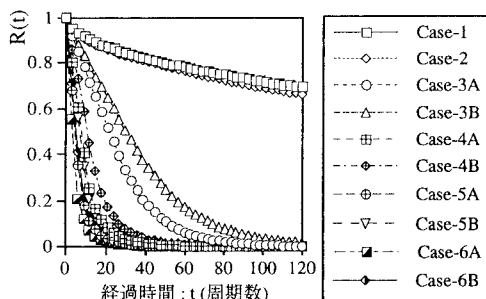


図-2 唐津西港湾奥部の汚染物質残留率の経時変化

表-1 ケース毎の平均滞留時間

Case No.	1	2	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B
τ_r (day)	568	434	13.7	18.8	5.30	7.25	3.51	4.85	2.70	3.81

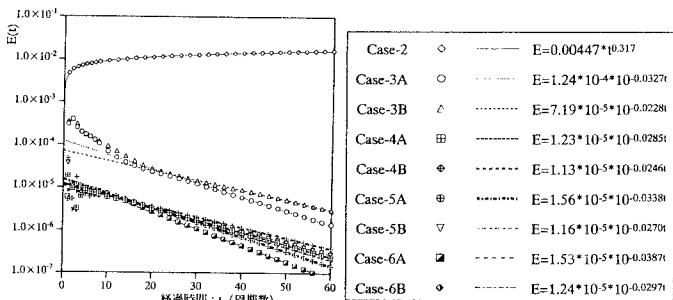


図-3 開削水路内および唐津東港への汚染物質流出率の経時変化