

連雲港西大堤建設工事前後における潮流及び水質変化

包 四 林*・ 虞 志 英**・ 大村 達 夫***

1. 緒 言

連雲港は中国沿岸中部に位置する重要な港であり、中国を東西に走る「大動脈」と呼ばれる臨海鉄線の東終点でもある。1973年から大規模な拡大建設工事に入り、その中心になるのが連雲港西大堤建設である。西大堤建設工事は1987年から抛石で始められ、1991年に完成する計画である。西大堤は全長 6.7 km に及び、完全に海域を分断することになる(図-1 参照)。したがって、建設工事後の連雲港海域の水環境変化を充分に把握し、評価する必要がある。そこで、本研究は西大堤建設後の連雲港海域の潮流及び水質の変化を ADI 法を用いて数値シミュレーションを行い、連雲港内の水質環境への影響を評価したものである(堀江, 1980; 王化桐ら, 1982)。

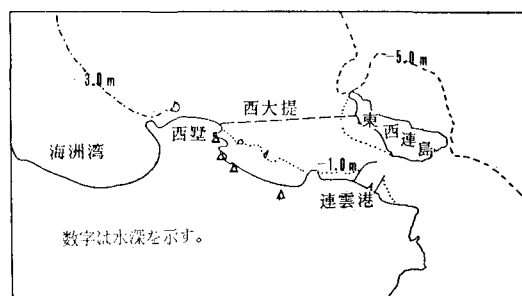


図-1 西大堤工事位置

2. 連雲港海域の潮汐・潮流特徴

連雲港潮位観測所のデータにより、潮位は黄海基準で平均海面 2.94 m, 平均潮位差 3.39 m, 平均高潮位 4.61 m, 平均干潮位 1.28 m, 平均周期 12 時間 25 分であり、典型的な半日潮汐に属する。現場による実測結果から潮流は東西連島という島の存在により、島の内側の海峡部に往復流が卓越するのに対して、外側は反時計の回転流動になっている。さらに特徴的な点は、図-2 および 図-3 に示されるように海峡部において漲潮時に(上げ潮時)

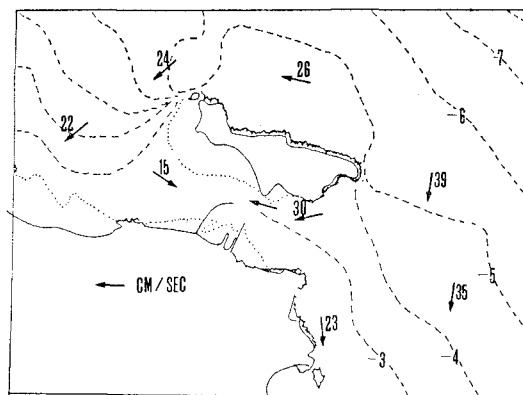


図-2 連雲港海域実測流速(漲潮時)

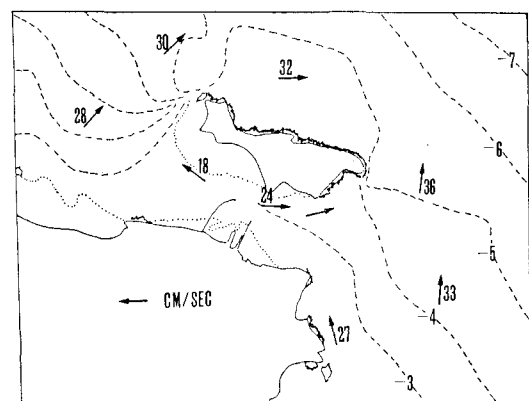


図-3 連雲港海域実測流速(落潮時)

西側の入口から流入して来た流れと東側の入口から流入して来た流れが会合することによって起る「会流」と、落潮時に(下げ潮時)において西側の入口と東側の入口に向って流れ分れて行く「分流」が起る。また、数値シミュレーションの結果で述べるように、満潮時および干潮時に潮流が最大となる進行波形の潮汐型となることが明らかになった。以上の現象は東西連島の存在によるものであると考えられ、これらの特徴的な点を数値シミュレーションによって表現できるかが重要な問題である。

* 理修 岩手大学研究生 工学部土木工学科

** 中国華東師範大学教授

*** 正会員 工博 岩手大学助教授 工学部土木工学科

3. 西大堤工事前後における潮流数値計算

数値計算に用いた基本式は水深方向に平均化された二次元非定常流れの連続式と運動方程式からなる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial[(\zeta+h)x]}{\partial x} + v \frac{\partial[(\zeta+h)y]}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\ &+ g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta+h)^2} = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\ &- g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta+h)^2} = 0 \end{aligned}$$

以上の基本式を ADI 法を用いて差分化して連雲港海峡の潮流数値シミュレーションを行った。

(1) 西大堤工事前の現況潮流シミュレーション

本文の計算域は東経 119°19'30" から 119°23'15"、北緯 32°42' から 32°48'30" で計算面積は約 120 km² になっている。格子間隔とタイムステップはそれぞれ 500 m, 120 秒とした。また境界制御条件としては現地調査で得られた潮流流速データの時系列を用いた。なお、境界制御条件として、実測潮位時系列も用いて試算したが良い結果は得られなかった。

図-4 および 5 にそれぞれ漲潮時および落潮時におけるシミュレーション結果を示す。これらの図は、現場実測結果の図-2 および 3 に対応している。これらの図より、漲潮時および落潮時における「会流」と「分流」の現象を数値シミュレーションにより再現することができた。図-6 には海峡部における流速および潮位の実測値と流速の計算結果を示した。この図より、満潮時および干潮時において最大流速が生ずるような進行波形の潮汐型を表現出来ることも明らかになった。また、海峡部で生ずる流速の計算値は実測値とほぼ一致しており、現場での潮汐流を数値シミュレーションによってほぼ再現出来たものと考えられる。

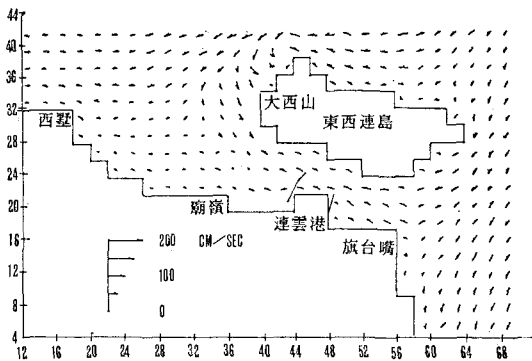


図-4 工事前における潮流計算結果（漲潮時）

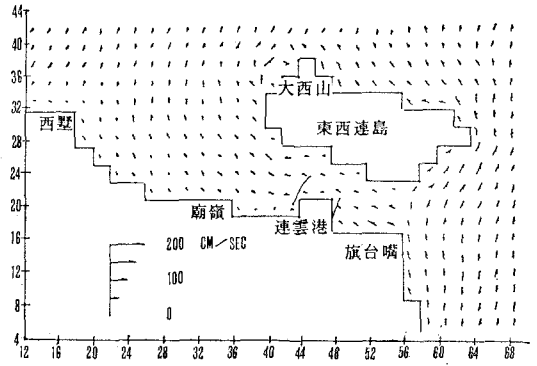


図-5 工事前における潮流計算結果（落潮時）

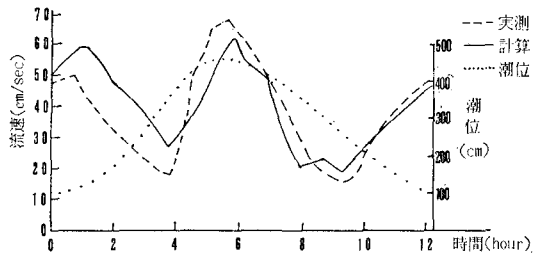


図-6 海峡部 (49, 21) における潮流計算結果

(2) 西大堤工事後における潮流変化

西大堤工事完成後の図-4 および 5 に対応する潮流予測シミュレーション結果が図-7 および 8 にそれぞれ示される。また、図-9 に海峡部における実測流速および潮位と流速計算値を示す。これらの図より、工事建設前の現況潮流計算結果と対比した主な変化は次のように述べられる。

a) 海峡及び海湾区域

図-7 および 8 から明らかなように工事後の最大流速は工事前の 0.7 m/s から、1.0 m/s に著しく増加する。最低値は満潮時に出現する 0.23 m/s で工事前とほぼ同じである。そして工事後において海湾全域で漲潮時の西流、落潮時の東流が発生する。そこで、これらの点から工事後において海峡部では流速が増加するため、現在の連雲港内および航路の水深の維持に有利になる。また、湾の奥においては流速減少によって泥砂が堆積するので浚渫によって水深を保つ必要がある。

次に、工事前において、満潮時および干潮時に流速のピークが出現し、漲潮時に「会流」、落潮時に「分流」が出現することから、典型的な進行波形の潮汐型に属していたが、工事後においては、図-9 に示されるように満潮時および干潮時に転流、漲潮時および落潮時に流速のピークが発生することになり、潮汐型が重複波型に変わる。

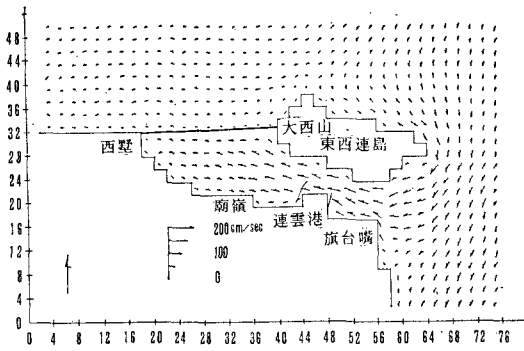


図-7 工事後における潮流シミュレーション (漲潮時)

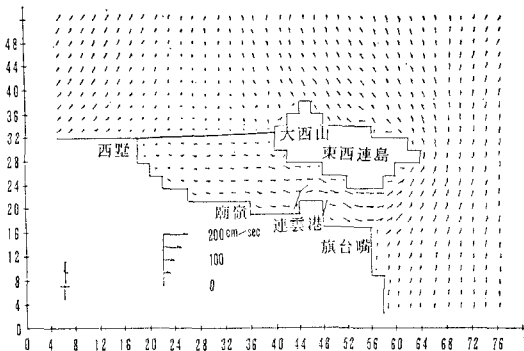


図-8 工事後における潮流シミュレーション (落潮時)

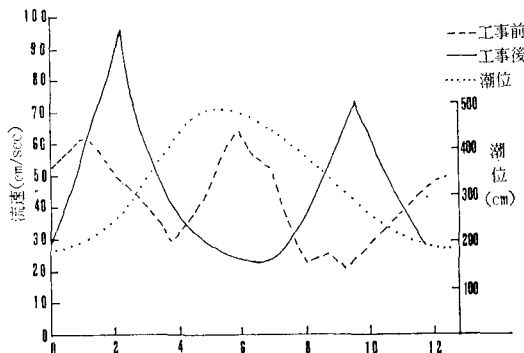


図-9 海峡部 (49, 21) における工事後の流速変化

したがって、干潮時に工事前では全域で西流が卓越するのに対して工事後に転流が起る。

また、工事前の漲潮時で海峡部に発生する会流が工事により消えることになる。この時、海峡全域で西流が発生し、湾の奥に向うほど流速が減って行く。

満潮時においては、工事前の海峡全体で東流が発生し、最大流速が 0.7 m/s であるのに対して、工事後の流

速が最低となり、転流が起る。

落潮時には、工事前の海峡部で「分流」が起るが、工事後ではそれが消え、海湾全域で東に向うほど大きくなる東流が発生する。

b) 海峡、海湾以外の海域

西大堤の北側での流速変化は西大堤附近 (ほぼ 2000 m 以内) に限られている。西大堤により、海峡を通過する流れが止まるのに応じて流速が減少する。

c) 大西山外側および東側の局所的な変化

図-4 および 5 で明らかなように現況の計算結果で大西山の外側の水流が渦を形成しているが、工事後の地形変化のため、流速が減り、渦が消える。

また、落潮時において海峡部を東に向う流れがその東側を北上する流れと合流して東西連島の東側の強い潮流が形成される。

4. 西大堤工事前後における物質拡散計算

連雲港海域は西大堤工事建設によって分断され、元来の非閉鎖性海域から閉鎖性海湾と変わると同時に、工事後の港湾における環境変化、なかでも水質悪化が予想される。本研究では水質として海域における有機性汚染物質の指標である化学的酸素要求量 (COD) を用いた。

まず、非閉鎖性海域である現状の COD 濃度を再現した上で、西大堤完成後の潮流計算結果を用いて、工事後の COD 濃度分布と比較した。

1) 西大堤建設前の COD 拡散シミュレーション

連雲港海域の COD など汚染現状を把握するため、1986 年 7 月に大規模な海域全域の調査と定点連続観測を行った。その結果を図-10 に示す。この図から明らかなように工事前の海域の COD 濃度分布は 3 つの区域に分類され、沿岸域の西側は中国国家環境基準のⅢ類 (4 ppm 以上, 5 ppm 以下)、連雲港内はⅡ類 (3 ppm 以上, 4 ppm 以下)、連雲港東側及び東西連島北側においてはⅠ類 (3 ppm 以下) となっている。

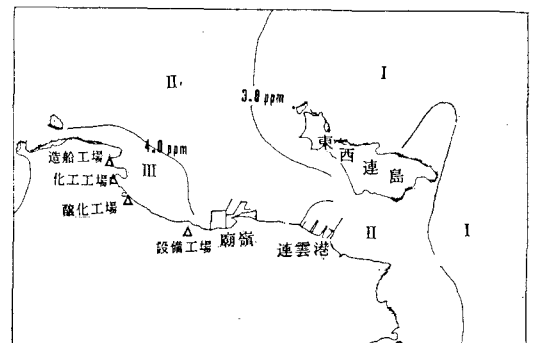


図-10 連雲港海域実測 COD 濃度分布

次に、現況 COD 濃度分布を数値シミュレーションするため、次式の鉛直均一の二次元拡散方程式が用いられた。

$$\frac{\partial[(H+\zeta)c]}{\partial t} + \frac{\partial[(H+\zeta)uc]}{\partial x} + \frac{\partial[(H+\zeta)vc]}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[(H+\zeta)k_x \frac{\partial c}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(H+\zeta)k_y \frac{\partial c}{\partial y} \right] + S_m$$

ここで、 S_m は流入 COD 負荷量である。

そこで、上式を ADI 法を用いて差分化し、計算を行った。なお、上式のうち、COD の自己減衰は小さいものとし、かつ安全側の計算結果となることを考慮して省略した。拡散係数 k_x , k_y は Elder の式で算定した。

タイムステップは潮流計算の場合の 2 倍で 240 秒とした。沿岸部の流入 COD 負荷量データは連雲港環境監測所より提供を受け、漁業港区 107.96 ton/年; 連雲港老港区の 267.5 ton/年、廟嶺の 267.8 ton/年とした。境界濃度の設定は実測した濃度の時系列を与えた。

計算を行うに際して、計算時間について検討を行ったが、10 潮汐以後に各代表点の COD 濃度がほとんど上がらなくなり、ほぼ COD 濃度分布は定常状態となったので拡散計算は 10 潮汐とした。しかし、水深の深くて広い閉鎖的な海湾では、計算 COD 濃度が上がらなくなるつまり平衡濃度を得るには相当長い計算時間がかかり、渤海湾および大阪湾の計算実例で 60 潮汐を超えても上昇した例がある(竇振興ら, 1981; 堀江, 1989)。

図-11 漲潮時における COD 濃度分布の計算結果を示す。この図と現場実測調査結果の図-10 と比較すると、どちらの場合でも COD 濃度分布は三つの区域に分類され、ほぼ一致した結果となった。しかし、現場調査結果の図-10 に現われている東西連島東北域の COD 環境基準Ⅱ類を再現することは出来なかった。

漲潮時における西大堤建設工事の COD 濃度分布の予測結果を図-12 に示す。また、他の潮時における COD 濃度分布は漲潮時の連雲港内の COD 濃度に比べて小さくなり、COD 濃度分布自体あまり差がなかつ

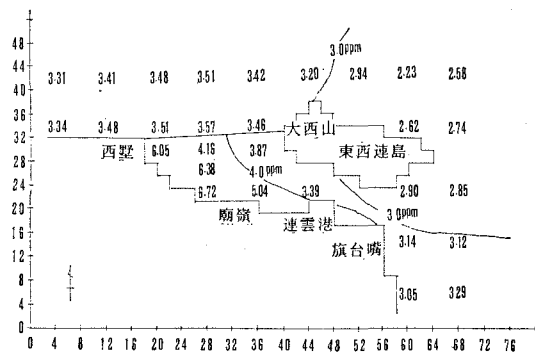


図-12 工事後における COD 濃度分布の予測

た。

そこで、図-12 と図-11 を比較すると、建設後には連雲港内において、環境基準Ⅲ類に属する区域が拡大することが明らかとなり、西大堤建設による連雲港内の汚染の進行が予測される。一方、湾の外域には大きな変化が認められなかった。したがって、建設後においては、連雲港内に流入する汚濁負荷量を削減する施策が必要と考えられる。

5. 結 言

西大堤工事前後における連雲港海域の潮流及び COD 拡散のシミュレーション結果により、下記の結論が得られた。

1) 連雲港潮流の現況調査から、海峡内外で潮流の構造が大きく異なっていることが分かった。海峡部では進行波形の潮汐型で、往復流動になっている。そして漲潮時及び落潮時においてそれぞれ「会流」と「分流」が発生する。また、これらの現況を潮流数値シミュレーションによって表現できた。

2) 西大堤工事後の潮流予測計算結果により、西大堤の存在によって海湾内の潮流が元来の進行波形から重複波型に変わる。そして最大流速も増加する。したがって海峡部では流速が増加するため、現在の連雲港内および航路の水深の維持に有利になる。また、港の奥においては流速減少によって泥砂が堆積するので浚渫によって水深を保つ必要がある。

3) 西大堤建設前における連雲港内の COD 濃度分布をほぼ再現できた。また、建設後の COD 濃度分布予測結果から、連雲港内において環境基準Ⅲ類に属する区域が大きくなり、湾内の汚染の進行が心配される。したがって建設後には、汚染物質の流入負荷量を減ずる何らかの施策が必要である。

本研究において江蘇省連雲港指揮部の指揮官である金鏐先生と華東師大陳徳昌助教授からの指導と協力を得た

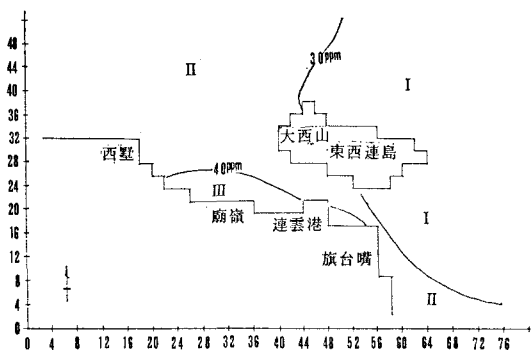


図-11 工事前における COD 濃度分布の再現

ことを記し、ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

堀江 毅 (1980): 沿岸海域の水の流れと物質の拡散に関する水

理学的研究, 港研資料, 360 号, pp. 45~89.

寶 振興・罗 遠詮ら (1981): 渤海湾潮流及污染拡散の数値計算, 海洋学報, 1 巻, 3 号.

王 化桐・方 欣華ら (1982): 膠州湾環流和污染拡散の数値計算, 山東海洋学院学報, 110 巻, 1 号.
