

中小港湾埋没機構解明に向けての長期連続現地観測の試み

松 本 朗*・松岡道男*・中山哲厳**
山 本 潤**・灘岡和夫***・八 木 宏****

1. ま え が き

中小規模の漁港・港湾は、港口部が碎波点近傍や以浅に位置し、多量の浮遊砂が港内に流入し易くなるため埋没問題に直面しており、頻繁な維持浚渫を余儀なくされている港も少なくない。この問題には風波や海浜流だけでは説明できない未解明の部分が数多く残されており、施設の適切な運用のためには、現地のメカニズムをより広範な外力との関係で明確にし、それらを数値モデルや埋没対策に充分反映させることが必要である。この点について松岡ら（1991）は、長周期の水理特性を考慮した計算モデルの試算を行っている。

本研究は、埋没現象を理解する上で重要となる異常波浪時の観測を含む長期連続現地観測を行うことにより、埋没過程に関わる港口部周辺での水理現象、特に長周期流速変動やそれに伴う防波堤先端部での大規模渦の生成と浮遊砂輸送の関連を明らかにすることを目的とするものであり、千葉県飯岡漁港を対象事例として平成4年9月7日から10月14日までの約1カ月にわたって実施した水位、流速、浮遊砂濃度の観測のうち、高波浪時における連続観測の結果および、防波堤先端で形成される渦による底質のまきあげの可視化実験結果について報告する。

2. 現地観測の対象地点と観測項目

調査対象とした千葉県飯岡漁港は、房総半島の九十九里海岸の北端、屏風ヶ浦と九十九里浜の接点に位置している。屏風ヶ浦は、高度10～60 mの断崖が続く海食崖で九十九里浜への漂砂供給源となっている。九十九里海岸は、比高数mの砂丘を有する砂浜海岸である。水深5 m以浅の海底勾配は、屏風ヶ浦前面で1/200、飯岡漁港前面で1/100～1/200である。また、漁港周辺海域においては中央粒径0.125～0.25 mmの極細砂が比較的均等に分布している。図-1に観測点の位置を、表-1に観測項目と測定モードを示す。表-1中、タイプ欄に記したAは自

* 正会員 工修 日本テトラポッド（株） 応用水理研究所
** 正会員 工修 水産庁水産工学研究所 漁港水理研究室
*** 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科
**** 正会員 工修 東京工業大学助手 工学部土木工学科

記式の計測器であることを示す。Bはケーブル式の計測器であることを示し、仮設した観測室でデータを収録した。計測器設置時の水深はST. 2～ST. 5がそれぞれ3.7 m, 3.9 m, 2.1 m, 2.0 mとなっている。ST.1では港外での入射波特性を把握するために水位、流速の測定を行った。また、浮遊砂濃度が港口部から港内に向かってどの様に変化するかを調べるとともに、鉛直方向の濃度分布の検討を行うために、ST. 2～ST. 5にそれぞれ海底面から30 cm, 150 cmの高さに濁度計を配置した。また、流速と浮遊砂濃度の時間変化の関連性を検討するた

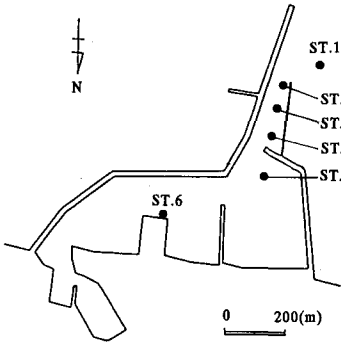


図-1 現地観測実施地点位置図

表-1 観測項目と測定モード

地点	観 測 項 目	測 定 モ ー ド	タイプ
ST.1	水位(水圧, 超音波) 流速(2成分)	偶数時毎20分間, 0.5秒間隔	A
ST.2	流速(2成分)	偶数時毎20分間, 0.5秒間隔	A
	浮遊砂濃度(2層)	偶数時毎26分間, 0.1秒間隔	B
	流速(2成分)	9月25, 26日は偶数時毎80分間	
ST.3	水位(水圧) 流速(3成分)	偶数時毎10分間, 1.0秒間隔	A
	浮遊砂濃度(2層)	偶数時毎26分間, 0.1秒間隔	B
	流速(2成分)	9月25, 26日は偶数時毎80分間	
ST.4	浮遊砂濃度(2層)	偶数時毎26分間, 0.1秒間隔	B
ST.5	浮遊砂濃度(2層)	偶数時毎26分間, 0.1秒間隔	B
ST.6	水位(水圧)	9月25, 26日, 24時間連続, 0.5秒間隔	A

めに, ST. 2, ST. 3 には濁度計に近接させて海底面から 150 cm の高さに電磁流速計を設置した。ST. 6 では荒天時における長周期の水位変動特性の検討を行うために, 9 月 25, 26 日に水位の連続観測を実施した。タイプ A の計測器のセンサーの海底面からの高さは, ST. 1 が 60 cm, ST. 2, ST. 3 が 30 cm である。なお, 設置時の破損および計測器の不調により ST. 4, ST. 5 では十分なデータが得られなかったため, 以下で述べる解析結果からは除外している。また, 同様の理由により浮遊砂濃度の鉛直分布の検討は実施していない。

3. 観測結果と解析

3.1 集中観測実施時における波浪条件

飯岡漁港の東方約 10 km に位置する名洗港における, 観測期間中の沖波の波高と周期の経時変化を図-2 に示す。この図からわかるように, 本観測期間中においては沖波の有義波高が 2 m を越えるような比較的高波浪の時期が 3 度ほどあった。飯岡漁港においても, 9 月 25, 26 日の両日は波高の増大が見られ, 表-1 に示したように流速, 浮遊砂濃度の測定を長時間連続モードで実施するとともに, ST. 6 において水位の 24 時間連続観測を実施した。以下の検討はこの 2 日間の解析結果について行ったものである。

この期間の港外の ST. 1 における入射波の有義波高,

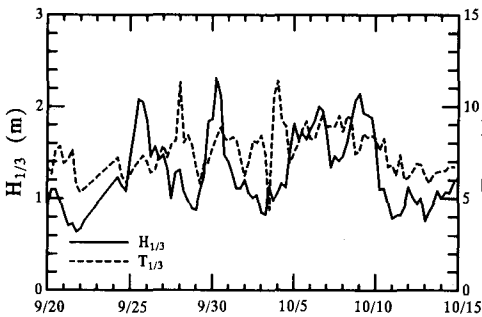


図-2 名洗港における沖波の波高・周期の経時変化

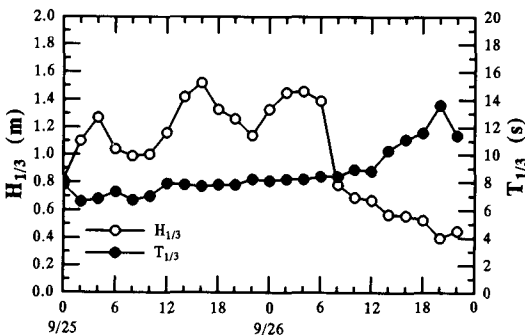


図-3 有義波高および有義波周期の経時変化

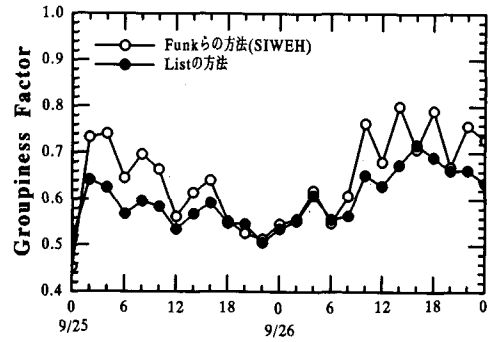


図-4 Groupiness factor の経時変化

周期の経時変化を図-3 に示す。波の発達と減衰の状況, およびそれらに伴う周期の変化が表されている。図-4 は同じ期間の ST. 1 での Groupiness factor (G. F.) の変化を示している。Funk・Mansard (1979) および List (1991) の方法により算定したものであるが, 観測期間の後半にはうねりに伴い G.F. が増大しているのがわかる。

3.2 港口部における流速エネルギーおよび浮遊砂濃度の変動特性

a) 流速エネルギーの周波数特性

ST. 1 および ST. 2 で 9 月 26 日 0 時に観測された, N-S 方向流速の周波数スペクトルの解析を MEM により行った。その結果を図-5 に示す。これより, 風波の成分に相当する 10 秒程度の周期の他に, 周期 1~3 分および周期 10 数分の周波数帯にも明瞭なピークが存在し, エネルギー的にも同程度の大きさを有していること, およびこれらの低い周波数帯のピークは, 港外の ST. 1 での値より港口部の ST. 2 で観測されたものの方が 10 倍程度大きくなっていることがわかる。ここで観測された周期 1~3 分の波浪については, 山本 (1982) による銚子沖での観測によって, 当該海域において高い出現頻度を有することが, 報告されている。

このことを詳細に検討するために, ST. 1~ST. 3 の流速変動のうち, 周期 10 秒前後と周期 1~3 分のスペクトルのピーク値の経時変化について調べた。この際, 周期 10 秒前後のスペクトルは, 図-5 に見られるように大きな変動を示すため, 予測誤差フィルターの項数を小さめに取り安定度を向上させて計算して得られた結果からピーク値を求めた。結果を図-6, 図-7 に示す。図-6 から, 風波のエネルギーは, 港外で最大であり港内に伝播するに従い減少しているのがわかる。これに対して図-7 に見られるように, 周期 1~3 分前後のエネルギーは, 港口部に位置する ST. 2 で最も大きく, ST. 3 では小さくなるが, なお港外の ST. 1 よりも大きな値となっている。

次に, 港奥の ST. 6 で 9 月 25 日に観測された水位変動の, 低周波数側のスペクトル解析結果を図-8 に示す。こ

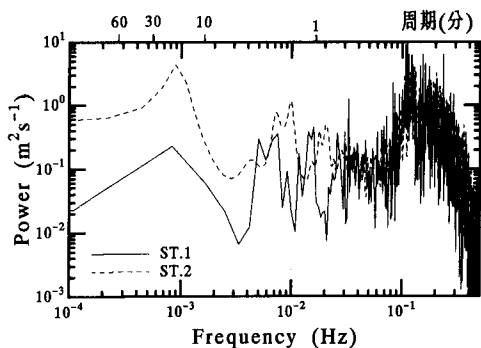


図-5 流速スペクトル

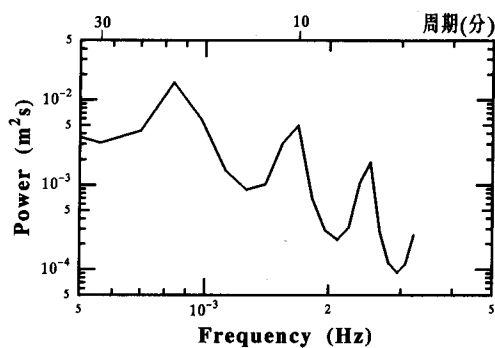


図-8 水位変動のスペクトル

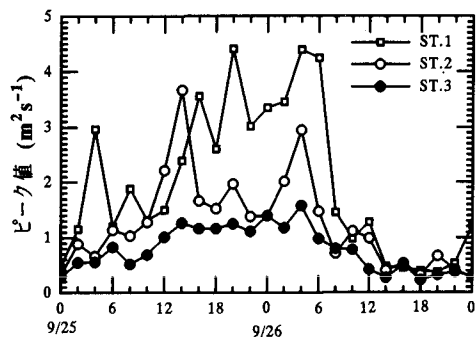


図-6 10秒前後のピーク値の経時変化

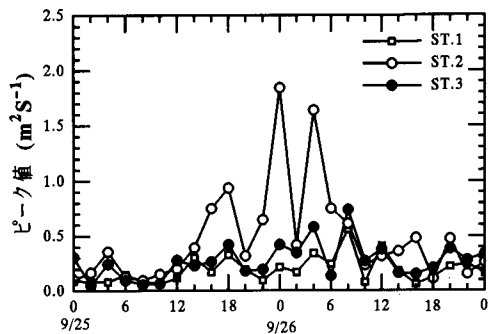


図-7 1～3分前後のピーク値の経時変化

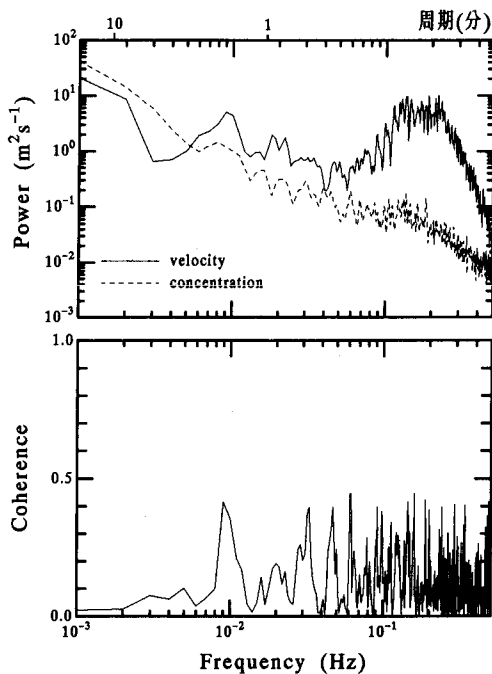


図-9 流速と浮遊砂濃度のクロススペクトル

の図から、周期10数分の周波数、およびその2倍、3倍の周波数にエネルギーのピークが存在することがわかる。

Chen・Mei (1974)の方法を用いたHybrid F.E.M.による港の振幅増幅率の計算を、一様水深(ここでは5.0mとした)の条件で行った結果、飯岡漁港は周期10数分前後の波に対して大きな振幅増幅率を示すことがわかった。したがって、飯岡漁港の副振動は周期10数分程度で見られる振動モードが最も卓越していること、およびこの振動モードは風波に比べて低い波高でもかなり大きい軌道振幅を有することから、現地ではこの10数分程度の

振動モードが、港口部付近の浮遊砂を港内側に輸送するのに十分な外力となるものと考えられる。

b) 流速エネルギーと浮遊砂濃度のクロススペクトル

図-9にST.2において9月25日に測定されたN-S方向流速と浮遊砂濃度のパワーおよびクロススペクトル解析結果を示す。これらの図から、流速スペクトルにピークが見られる風波の成分に対応する周波数帯には浮遊砂濃度はピークを持たないこと、および周期1～3分前後の周波数帯でコヒーレンスが高いことがわかる。これは、周期1～3分前後の流速変動が、港口部における浮遊砂の高濃度領域の形成に寄与していることを示唆しているものと考えられる。

4. 防波堤先端で形成される大規模渦による底質のまき上げの可視化実験

現地では、観測期間中に防波堤先端部で形成される渦により、高濃度の浮遊砂領域が存在することが観察された。また、上述したように現地観測データの解析によれば、港口部では周期1～3分前後の流速変動が、浮遊砂濃度との相関が高いことが明らかとなっている。したがって、現地での高濃度の浮遊砂領域発生メカニズムの1つとして、1～3分前後の長周期の流速場が防波堤先端で大規模渦を形成し、この渦により生じられる上昇流により底質のまき上げが起こり、浮遊砂の高濃度域が形成されるというプロセスの存在が考えられる。

そこで、それら高濃度の浮遊砂領域の発生に関わる現地のメカニズムを実験で模擬し、現地現象の理解の手がかりとすることを目的として実験を実施した。ただし、相似則を厳密に満足する実験は不可能であるため、現地の底質がかなり粒径の細かい極細砂であることを考慮して、ここでは比較的浮遊しやすい人工粒子を底質として用いた。また、現地での渦の生成には先述のように長周期波が直接の引き金になっていると考えられるが、ここではより単純に通常の規則波を入射させることにより渦を生成させた。検討した項目は、渦の挙動、底質のまき上げの状況、および渦周辺に流速変動の3つである。

4.1 実験方法

実験は、長さ50m、高さ1.3m、幅1mの造波水路に防波堤模型を設置して行った。図-10に概要を示す。底質としてポリスチレンビーズ（積水化成成品工業、 $\rho=1.04$, $d=0.85$ mm）を用いた。水深を15cmとし、周期4.0秒の微小な水面変動を作用させ、防波堤先端部の渦および底質のまき上げの様子を可視化するとともに、電磁流速計により流速の測定を行った。

4.2 実験結果

写真-1に防波堤先端部で形成された渦の状況を示す。目視観察によれば、生成された個々の渦は入射波の

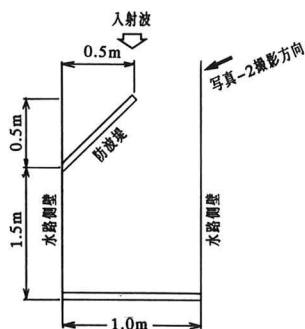


図-10 実験概要

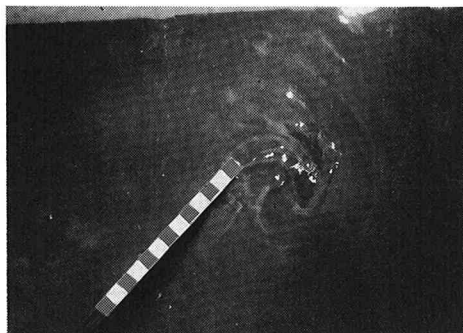


写真-1 防波堤先端部の渦の状況



写真-2 渦による底質のまき上げ

周期の2～3倍の時間存在することが確認された。

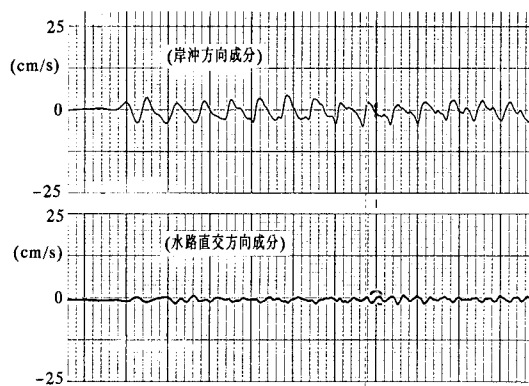
写真-2に渦による底質のまき上げの様子を示す。写真から明らかなように、底質が渦により生じられる上昇流によって、水面付近までまき上がっているのがわかる。このまき上げられた底質が、波の位相にしたがって港内、港外に運ばれる様子が確認された。

図-11に電磁流速計により測定された水平2成分の流速変動の時系列を示す。図-11(a)は防波堤の存在の影響が小さいと思われる先端部から2m沖側のデータであり、波による岸沖流速のみが示されている。図-11(b)は防波堤先端部のデータであり、渦の発生による水路直交方向の流速成分が現れていることおよび、岸沖流速の振幅の絶対値が入射波の軌道流速に比べてかなり大きな値となっていることがわかる。これは、現地においても、防波堤等の構造物の先端で流れが不連続となり渦が発生した場合、それが浮遊砂のまき上げの外力として充分寄与し得ることを示唆するものである。

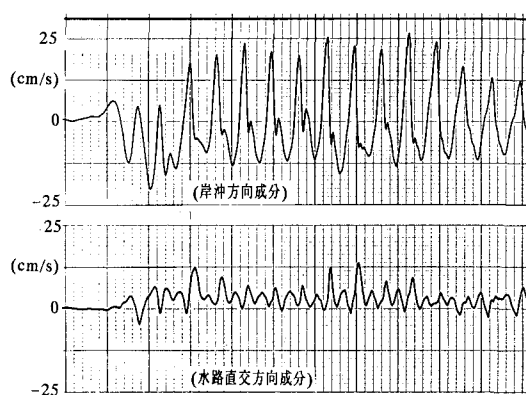
5. 結 論

以上述べた結果から、本研究で対象とした飯岡漁港の埋没過程に関わる水理現象について、以下のことが明らかとなった。

(1) 港内外で観測された岸沖流速のスペクトルは、風波の成分に相当する10秒程度の周期の他に、1～3分、10数分前後の低い周波数帯にも明瞭なピークを持



(a) 防波堤先端から2 m 沖



(b) 防波堤先端部

図-11 流速時系列

ち、エネルギー的にも同程度の大きさを有していることが明らかとなった。

(2) 岸沖流速と浮遊砂濃度のクロススペクトル解析結果から、流速スペクトルにピークが見られる風波の成分に対応する周波数帯には浮遊砂濃度はピークを持たないこと、および周期1～3分程度の周期帯でコヒーレンスが高いことが見い出された。このことは、数分オーダーの長周期流速変動が防波堤先端付近での底質浮遊に寄与していることを示している。

(3) この1～3分程度の周期を有する流速変動のエネルギーは、港口部に位置するST. 2で最も大きく、ST. 3では小さくなるが、なお港外のST. 1よりも大きな値を保持していることが明らかとなった。

(4) 港口部で卓越する10数分周期の流速変動エネルギーは、エネルギーレベルが高く、低い波高でも風波に較べてかなり大きな軌道振幅を有するため、浮遊砂の港内側への輸送外力として十分な大きさを持つものと考えられる。

(5) 飯岡漁港では、防波堤先端部で渦による高濃度の浮遊砂領域の存在が観察されたが、これを模擬した比較的浮遊しやすい材料を底質として用いた可視化実験によっても、先端で発生した渦によって現地に見られるような高濃度の浮遊砂領域が形成される状況が確認された。この時の渦周辺における流速測定結果によれば、渦の回転速度は入射波の軌道流速に比べかなり大きい値を示した。このことより、現地においても発生した渦の回転速度が浮遊砂のまき上げの外力として充分寄与し得ることが示唆された。

(6) これらのことから、漁港埋没メカニズムの一つとして、上記の港口部で大きな長周期流速変動に起因して防波堤先端で発生した大規模渦が、底質を連行して高濃度の浮遊砂領域を形成し、それが長周期の輸送外力によって移流される結果、港内に多量の浮遊砂が運び込まれる、という機構の存在が強く示唆された。

謝辞：本研究を行うに当たって、有益な助言を頂いた運輸省港湾技術研究所水工部加藤一正漂砂研究室長に深く謝意を表します。最後に本研究は文部省科学研究費一般研究(C) (課題番号：04650453, 研究代表者：灘岡和夫) の研究成果の一部であることを付記します。

参 考 文 献

- 松岡道男・木下勝彦・山本正昭・森口朗彦 (1991): 長周期水理特性を考慮した港内堆砂モデルの適用性の検討, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 416-420.
- 山本正昭 (1982): 銚子漁港の長周期波観測, 水工研技報, 水産土木3, pp. 65-82.
- Chen, H. S. and C. C. Mei (1974): Oscillations and wave forces in an offshore harbor, Ralph M. Parsons Lab., Report No. 190, MIT.
- Funk, E. R. and Mansard E. P. D. (1979): On the synthesis of realistic sea states in a laboratory flume, Nat. Res. Council. Can., Hydraulic Lab. Tech. Rep., LTR-HY-66.
- List, J. H. (1991): Wave groupiness variations in the nearshore, Coastal Engineering, Vol. 15, Nos. 5, 6, pp. 475-496.