

相模川河口部における波・流れ・地形変化

大中 晋*・早川 淳*・諫山 太郎*
太田和男**・山口 菊男***

1. はじめに

相模川河口部では現在、外洋に面した新たな漁港の建設が進められている。河口部周辺の地形変化は、海岸における波・流れの作用とともに、河口流や砂州のフラッシュの影響も加わるために、非常に複雑な現象となる。このような複雑な波浪場において、漁港建設等の人為的作用が加わることにより、予期せぬ地形変化が生じる可能性がある。したがって今後、漁港建設に伴う周辺海浜への影響を検討していく上で、これまでに生じている河口部周辺における地形変化特性を、十分に把握しておく必要がある。

そこで本研究では、漁港建設当初から継続的に行われてきた深淺測量および現地調査により、河口部周辺の波、流れおよび地形変化特性について明らかにするとともに、長期地形変化について、3次元海浜変形予測モデルを用いた再現性の検討を行うことを目的とする。

2. 深淺測量データによる長期地形変化特性

相模川河口部周辺では漁港建設当初の1990年10月から、図-1に示すように導流堤を中心に沿岸方向約2kmの範囲での継続的な深淺測量を実施している。そこでこれらの測量結果を用いてこれまで生じている地形変化傾向について検討する。当地点は図中の等深線に示されるように、水深15m付近まで河口デルタが形成されている。このデルタの突出は、水深5~7m付近で最も顕著となっている。また水深4m以浅においては河口テラスが形成されているが、ここでは複雑な等深線変化を示している。図-2は、各期間における地形変化を示したものである。ここで上段は1990年10月から91年12月までの1年2ヵ月間、中段は91年12月から93年1月までの1年1ヵ月間、下段は93年1月から94年2月までの1年1ヵ月間でのそれぞれの地形変化量を示す。これより、顕著な地形変化はいずれも水深5m以浅の範囲で生じているものの、地形変化パターンは各期間でそれぞれ異

なっている。そこで図-3に示す波浪エネルギーおよび河川流量との関係より、各期間での地形変化傾向について考察する。

・1990年10月~1991年12月の地形変化パターン
この期間は導流堤前面沖側の水深5m以浅の範囲に、ほぼ同心円状に広がる堆砂域が見られる。これは1991年8月から10月にかけて、近年としては顕著な出水が生じ、これにより河道内の土砂および砂州がフラッシュされ、導流堤沖側に堆積したためと考えられる。また河道内のみならず、導流堤左岸側の砂州を形成していた土砂も大量に沖側に流出したため、この堆積域は導流堤左岸側で、より顕著となっている。

・1991年12月~1993年1月の地形変化パターン
前回生じていた導流堤沖側の堆積域は、逆に侵食域に転じている。一方堆積域は、侵食域の岸側、河口両側の汀線付近および河道内に広がっている。この間では河川からの顕著な出水はなく、フラッシュは生じなかった。これより前回のフラッシュにより沖側に堆積した土砂が、その後の波・流れの作用により岸側に移動したものと考えられる。このような地形変化パターンは藤井ら(1988)にも示されている。

・1993年1月~1994年2月の地形変化パターン

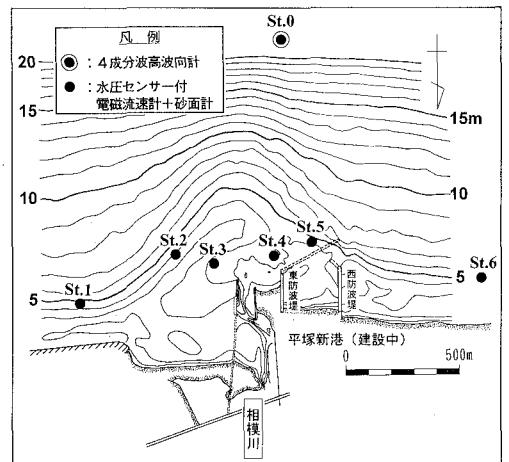
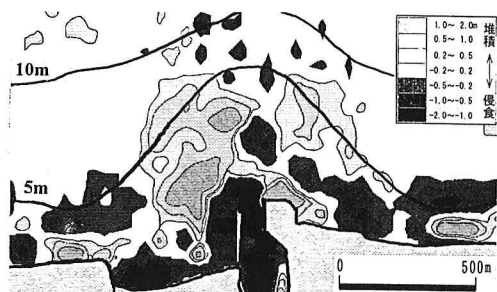


図-1 調査位置図

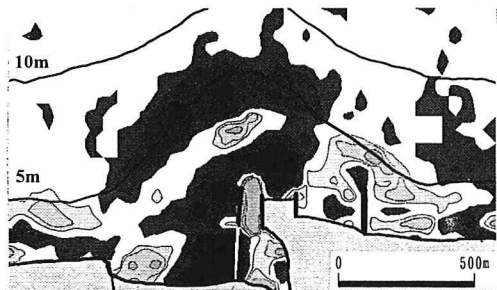
* 正会員 工修 (財)漁港漁村建設技術研究所

** 正会員 (財)漁港漁村建設技術研究所

*** 正会員 平塚市経済部みなと水産課



(a) 1990年10月～1991年12月(1年2ヶ月)



(b) 1991年12月～1993年1月(1年1ヶ月)



(c) 1993年1月～1994年2月(1年1ヶ月)

図-2 各期間における地形変化量

この期間においても顕著なフラッシュは生じておらず、河道内での堆積はさらに進んでいる。一方、導流堤沖側の顕著な侵食域はかなり減少している。また導流堤右岸側の水深10m以浅の範囲では、それ以前には見られなかった顕著な堆積域が広がっている。

つぎにこれらの土砂収支について調べるために、領域全体での土量変化とともに、移動限界水深の10mより岸側の領域と沖側の領域、および導流堤左岸側・右岸側での土量変化を図-4に示す。領域全体ではフラッシュ直後である1991年12月においてもやや減少しており、その後の1993年1月にかけては約30万 m^3 と、著しい減少傾向を示している。河川からの流入土砂分を差し引くと、この2年間に領域外へのかなりの土砂量の流出があったと考えられる。ただしそれ以後は比較的安定しており、1993年10月から94年2月にかけては多少の増加傾向

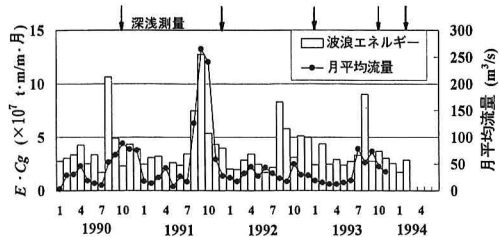


図-3 期間中における波浪および河川流量変化

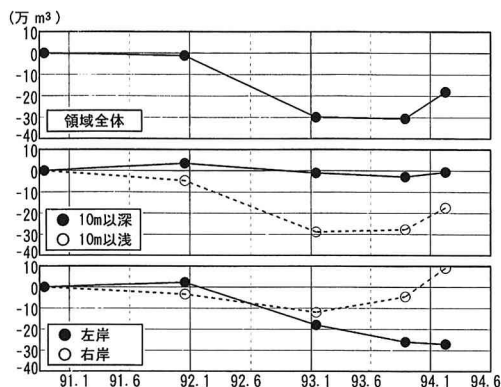


図-4 各領域における土量変化

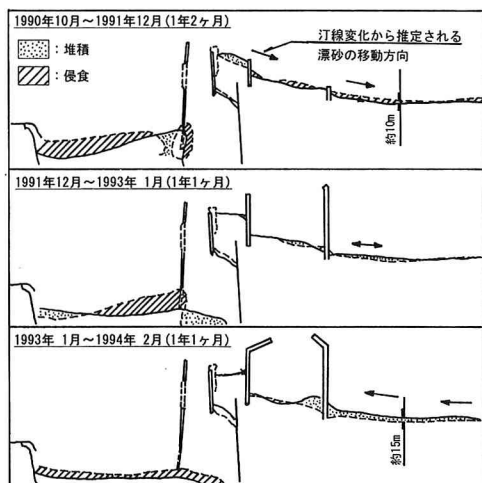


図-5 各期間における汀線変化

向を示している。これらの変化量の大部分は水深10m以浅の範囲で生じており、10m以深の範囲での変化はほとんど見られない。ただし宇多ら(1992)によると、相模川河口部では海底勾配が急勾配であることから沖側への土砂流出もかなり存在することが示されている。今回示した領域はせいぜい水深15m付近までであり、これよりさらに沖側へ土砂が流出している可能性も十分考えられる。また導流堤左岸側では、フラッシュの生じた1990年10月から1991年12月の間に若干の増加傾向が

見られるが、その後はほぼ一定して減少している。一方右岸側においては、1993年1月までは僅かに減少傾向であったが、それ以降増加に転じている。また各期間における汀線変化について示したものが図-5である。これより導流堤左岸側の砂州は常に上流側へ後退しており、1990年以降の後退速度は約30m/年である。ただし平均的な砂州の幅については、1990年から91年にかけて顕著な減少が見られたが、その後は比較的安定しているようである。一方右岸側については当初西防波堤の西側で10m/年程度の汀線の後退が生じていたことから、この時期には西向きの沿岸漂砂が卓越していたと考えられる。しかしその後は安定しており、最近では西防波堤西側での汀線の前進傾向が見られ、東向きの沿岸漂砂が卓越しているようである。このように、河川からの土砂流入を考えなければ左岸側では常に侵食傾向を示し、右岸側では沿岸漂砂方向の時期的な変化に伴い、堆積・侵食傾向が変化する。これらの結果から、河口部周辺の沿岸漂砂の連続性は導流堤を境にある程度遮断されていると考えられる。左岸側については砂州が西側に発達していくこと、およびその付け根付近で顕著な侵食傾向を示していることから、汀線付近では西向きの漂砂移動であるといえる。しかし今回の結果から、左岸側では常に土量の減少傾向を示し、これが右岸側とあまり関連していないことから、沖側での漂砂の移動方向は、汀線付近とは異なっていることも考えられる。

3. 現地調査

(1) 調査の概要

つぎに、このような地形変化を引き起こす外力場の把握と、地形変化計算における波、流れの検証データを得ることを目的とした現地調査を行った。調査は台風時期の高波浪を対象として、1993年8月から10月にかけて行った。各観測機器の設置位置は図-1に示すとおりである。入射波浪の観測は、水深20mのSt.0に超音波波高計、水圧センサーおよび電磁流速計一体型の波高波向計を用いて行った。また河口テラス上の水深3~4m付近のSt.1~6に、水圧センサー付電磁流速計を設置し、各地点の波高・波向および平均流向・流速の観測を行った。計測は2時間毎に各20分間のデータを取得し、サンプリング間隔は0.5秒である。またSt.1~6では、砂面計を用いた底面変化高の計測も合わせて行った。今回の調査期間中に得られた高波浪としては、8月26~27日の台風11号の北上に伴うもので、この時の波浪諸元としては、 $H_{1/3}=3.0\text{m}$ 、 $T_{1/3}=12.2\text{s}$ であった。波高の頻度としては1m未満が約85%程度と最も多く、周期については6~8sの頻度が最も多い。ただし台風襲来時には10sを超える周期も度々見られた。波向については汀線直角

方向であるS方向の頻度が55%と最も多く、ついでSSEおよびSSW方向がそれぞれ20%程度であり、高波浪はSからSSW方向に多く見られた。

(2) 波および流れの場の検証結果

はじめに得られた各地点の波高値について、実測値と計算値との比較を行う。波の場の計算は、多方向不規則波浪場に拡張された磯部(1986)による波向線座標系による放物型方程式を用いて行った。図-6は、高波浪時における波向分布の計算結果の一例を示したものである。また図中に各地点で得られた波向の実測結果も示す。これより河口デルタ上での屈折による波向変化が、計算結果においても十分に再現されている。また図-7は、St.3,5における波高と入射波高との関係について、実測値と計算値を比較したものである。両地点とも実測値と計算値の対応は良好であるが、St.3の碎波後の波高値については計算結果が多少過小評価となっている。これは、計算では波の非線形性による波高の増加を考慮していないことと、実測値については水圧から表面波に換算する際に微小振幅波理論から得られる伝達関数を用いているため、過大評価になっている可能性があることとの2点が考えられる。つぎに高波浪時の海浜流について、計算結果および実測結果の一例を示したものが図-8である。これより実測結果および計算結果とも、河口デルタの影

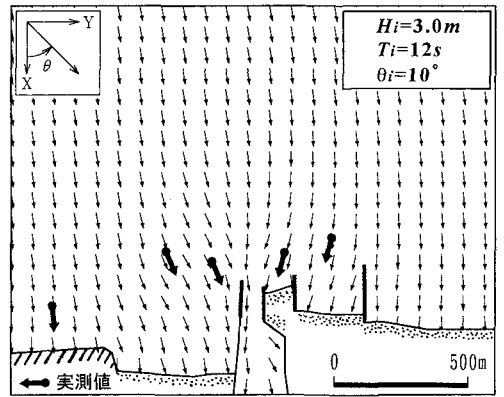


図-6 波向分布の計算値と実測値の比較

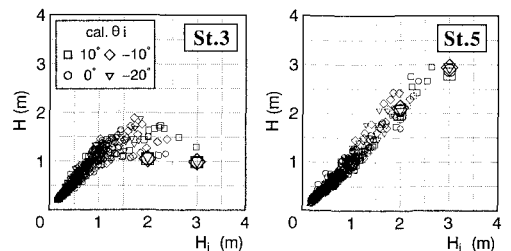


図-7 各地点の波高の計算値と実測値の比較

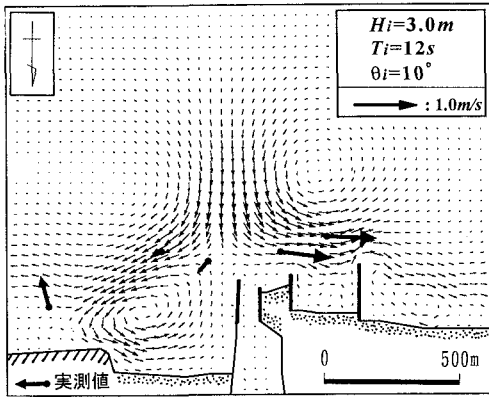


図-8 海浜流分布の計算値と実測値の比較

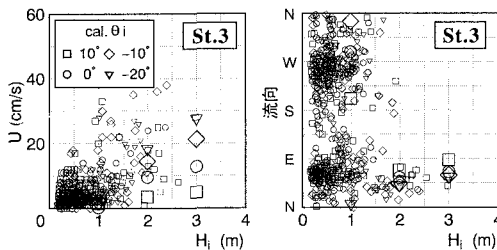


図-9 平均流速、波向の計算値と実測値の比較

響による特徴的な海浜流パターンが見られ、導流堤を中心に両側に向かう循環流が生じている。図-9はこのうち、St.3における平均流速、流向と入射波高との関係について、実測値と計算値を比較したものである。実測結果の流速値は高波浪時においてもデータのばらつきが大きい。一方計算結果においても、波向の多少の違いにより流速値は大きく変化している。これより海浜流の大きさは、波高のみならず、波向にも大きく影響されることがわかる。また流向については高波浪時には比較的一方向に収束しており、計算結果との良好な一致を示している。

4. 長期地形変化の再現性の検討

(1) モデルの概要および計算条件

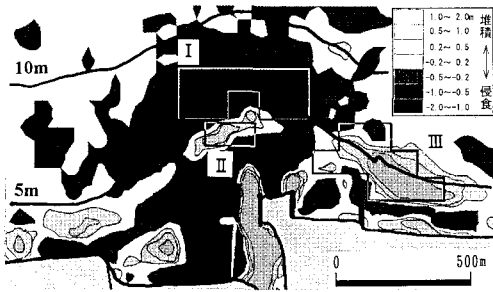
つぎに河口部周辺の長期地形変化について、3次元海浜変形予測モデル(渡辺ら, 1984)を用いて再現性の検討を行った。ただしここでは波・流れおよび地形変化の各計算において、河川の影響は考慮していない。したがってフラッシュの生じていなかった1991年12月から1993年10月までの1年10ヵ月間を再現期間として設定した。

3次元海浜変形予測モデルを用いた長期地形変化の定量的予測手法については、これまでに清水ら(1989, 1992)

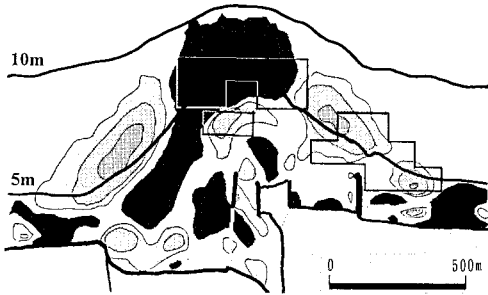
や高木(1991)により、構造物周辺での地形変化予測について行われている。これらは入射波高を変化させたモデル化した時系列波浪を用いて、波浪、海浜流および地形変化の計算を短いステップで繰り返し計算を行うものである。一方3の結果より、河口部周辺の海浜流は波高とともに波向にも大きく左右されることがわかった。そこで本検討では、入射波高とともに波向の違いによる海浜流および漂砂量の違いを考慮するために、波浪の出現頻度分布より波高と波向の異なる幾つかの代表波に分け、それぞれに対して波、流れの計算を行い、漂砂量を算定した。つぎに地形変化計算は、これらの各代表波に対する漂砂量を、入射波浪の季節変動を考慮して1シーズン毎に振り分けることにより行った。これにより地形変化計算は、実現象に沿った非定常計算として行われることになる。なお本検討では、各成分波に対する波・流れと地形変化の干渉効果を無視した場合、すなわち1つの成分波に対する漂砂量は変わらないとして計算を行った場合(Type 1とする)、1シーズン毎に計算された地形を用いて波、流れの計算を行い、波・流れと地形変化の干渉効果を考慮した場合(Type 2)、および1つの代表波諸元を用いて計算を行った場合(Type 3)の、3とおりの方法で比較を行った。各代表波の波高については、地形変化に寄与すると考えられる1m以上の波高を3段階に分け、周期については波高と周期の結合頻度分布より、各波高値に対する代表的周期を設定した。また波向については再現期間内での波向観測結果が得られていないため、他の期間における約2年間の観測結果より得られる波高と波向の結合頻度分布より、各波高値に対して数通りに設定した。その結果、本検討では8つの代表波を用いて計算を行った。よって最も計算時間に影響を及ぼす波・流れの計算は、Type 1の場合には8回、Type 2の場合には 8×7 シーズン=56回、Type 3の場合には1回のみ行うことになる。なお、漂砂量については流れによる漂砂量のみとした。

(2) 再現計算結果

図-10は、Type 1による地形変化の計算結果と実測結果と比較したものである。これより全体的な地形変化パターンは両者で良好な対応を示しており、導流堤前面沖側に広がる広範囲な侵食およびその岸側での堆積、また左岸導流堤外側の侵食および東側の砂州根元付近の堆積が、計算結果においても再現されている。ただし計算結果においては侵食された分がその両側に堆積しているのに対し、実測結果の左岸側については計算で見られるような顕著な堆積域は存在しない。またType 2の結果は、波・流れの相互干渉効果を考慮することによりテラス上での循環流が多少岸側に移動し、その大きさも次第に小さくなる。そのため、導流堤前面沖側の侵食域が多



(a) 実測結果 (’91.12~’93.10)



(b) 計算結果 (Type 1)

図 10 地形変化量の計算値と実測値の比較

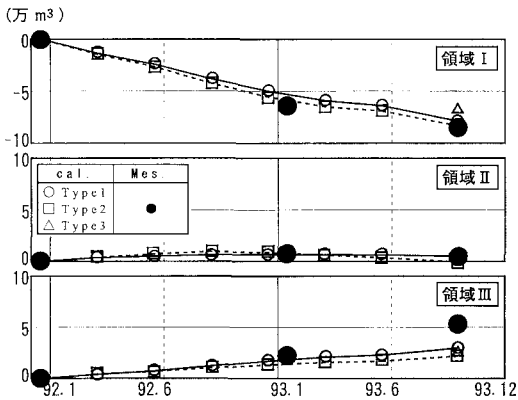


図-11 各領域における土量変化

少岸側にシフトし、変化量も小さくなるが、全体的な海浜流パターンとしては Type 1 とそれほど違いが見られなかった。また Type 3 の地形変化パターンは、Type 1, 2 と比べて実測値との違いが見られた。つぎに図中に示す、特徴的な地形変化の生じている各領域について、実測値と計算値との比較を示したものが図-11 である。図中の○が Type 1, □が Type 2, △が Type 3 の計算結果を示す。また実測結果を●で示す。これより領域 I では Type 1, 2 とともに結果との対応は良好であるが、Type 3 は実測値との違いが見られる。領域 II については変化量が少ないため、明瞭な違いは見られない。また領域 III に

ついては、実測結果に見られるほどの顕著な堆砂が計算では見られない。これは、計算では導流堤前面沖側から流れの作用により運ばれた堆積分のみであるのに対し、実際はこれに加えて東向きに沿岸漂砂による領域外からの土砂供給分が加わっているためと考えられる。Type 1 と Type 2 の違いについては、Type 2 の方が全体的に変化量が小さくなっている。

5. おわりに

相模川河口部において新たな外洋に面した漁港の建設に当たり、河口部周辺での波、流れ、地形変化について、継続的な深浅測量データおよび現地調査により明らかにした。これより、フラッシュにより一度沖側に堆積した土砂は岸側および両側に運ばれ、1~2年のオーダーでほぼ元の状態に戻ることがわかった。また河口部周辺では河口デルタの影響により、周辺とは異なった波、流れの場が形成される。一方地形変化については、導流堤左岸側と右岸側では傾向が異なり、左岸側では常に侵食傾向、右岸側では時期により堆積・侵食傾向が変化する。また河口部周辺の長期地形変化について、3次元海浜変形予測モデルを用いて再現性の検討を行い、河口部周辺での特徴的な地形変化パターンについては、ある程度定量的にも再現されることが示された。

最後に本研究は、「平塚新港漂砂調査検討委員会」における検討内容の一部を取りまとめたものである。研究を行うにあたり、委員長である東京大学渡辺 晃教授をはじめ、各委員および関係諸氏の方々からの貴重な御意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

磯部雅彦 (1986): 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
 宇多高明・山本幸次・永瀬恭一 (1992): 貯砂源としての観点から見た河口部海浜の地形的特性, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 391-395.
 清水琢三・野谷 斎・近藤浩右・西 裕司・山本正昭 (1989): 海浜変形予測手法の現地適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 404-408.
 清水琢三・水流正人・渡辺 晃 (1992): 3次元海浜変形モデルによる長期的な地形変化予測, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 416-420.
 高木利光 (1991): 地形変化を波・海浜流場に考慮した海浜変形予測システム, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 396-400.
 藤井友竝・宇多高明・綿貫布征・鴨下由男・木村慎二: 相模川河口部の地形変化実態, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 447-451.
 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉 (1984): 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.