

II-64 鵜川河口部の海浜変形に関する実験的研究

室蘭工業大学大学院 学生員 薄木 琢 嗣
 室蘭工業大学工学部 正 員 藤間 聡
 室 蘭 開 発 建 設 部 正 員 今 日 出 人

1. はじめに

鵜川河口は太平洋に面しており、苫小牧東港と沙流川河口のほぼ中央に位置している。鵜川河口は河口砂州と広大な干潟を有していたが、漁港の建設に伴う沿岸漂砂の減少に起因する干潟及び河口砂州の消失などの海岸侵食が現在進行している。

本研究は、移動床模型実験により鵜川河口及び河口干潟における消長過程の履歴を再現し、既往現地観測結果との比較検討を行う。さらに、沿岸漂砂の移動特性を把握し沿岸漂砂量の推定を行う。また、どのような機構で侵食が進行しているかを、地形変化及び汀線変化の概要から考察し、保全対策工法の基礎資料に供するものである。

2. 実験方法

実験模型の対象範囲は、図-1に示す河口を中心として砂州及び干潟を十分に含む沿岸方向1.5km、岸沖方向2.5kmとした。実験には幅6m、長さ10m、深さ0.6mの水槽を使用し、模型縮尺は水槽の規模や造波水深を確保する必要性から、水平方向1/250、鉛直方向1/25とした。海底地形は、図-2に示すように1982年の深淺測量に基づきモルタルで再現し、底質材量を入れる範囲は水深5m以浅とした。底質材量はモルタル仕上げ面を基準高より5cm低くし、モルタル上に敷き均した。漂砂実験の相似則は未だに確立されていないが¹⁾、漂砂は波と流れの作用により砂が移動する現象であることから、各水理量はフルード則を適用して求めることにした。また、現地との相似性を考えれば、実験に用いる底質材料はできる限り細砂であることが求められる。しかし、粒径は単純にフルード則に従って決定すると小さくなりすぎる。本実験では、砂粒の沈降速度について予備検討を行った結果、現地の砂（中央粒径0.257mm、比重2.808、沈降速度1.27cm/s）と同程度の比重を有した中央粒径 $d_{50}=0.1\text{mm}$ の珪砂（比重2.67、沈降速度1.02cm/s）を用いる。

波高は容量式波高計を用い、入射波高は造波板前面で測定する。碎波点における波向は写真撮影により、また、流速及び流況はフロートを追跡する方法を取り、上方からのビデオ撮影により可視化を行った。地形は等深線を水系で引き、それを写真撮影により測定する方法を取り、沿岸及び岸沖方向ともに10cm間隔メッシュの格子点上で読み取った。漂砂量は、漂砂移動方向の下手側に設置したサンドトラップを用い、一定の捕砂時間間隔で測定を行った。

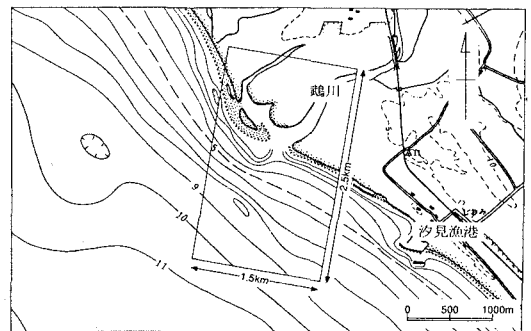


図-1 鵜川河口位置及び実験対象領域
河川流

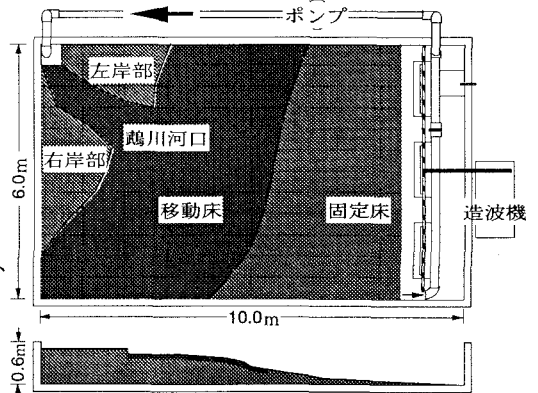


図-2 実験水槽

本実験は、河口周辺の海浜変形現象について検討を行うので、波浪条件として、波高については代表波高、波向きについては卓越波向きを用いる。実験波は苫小牧沖水深50.7m地点における1980～1984年の5年間に亙る6～8月の月別平均有義波高0.8m及び周期6.5秒を使用する。波向きは、苫小牧沖検潮所における1987～1988年の資料を調べた結果、全年を通してS-SSEの波が卓越しており、漂砂に対してはこれらの波による影響が最も大きいと考えられる。実験では、1970, 1981, 1983年に撮影された鷗川河口周辺の航空写真より読み取った値 $S10^{\circ}W$ を用いる。

沿岸流は、年間を通じて卓越方向があり、西向きが全体の3/4を占め、6～8月で最大となる²⁾。実験ではこの西向きの沿岸流を対象として流速は実測値の最大流速60cm/sを採用する。鷗川の流況に関しては、1974～1988年の15年間の年平均流量36.5m³/sをもって再現した。

地形変化の時間縮尺は、漂砂量が波や流れの特性及び輸送される物質の特性や漂砂の移動方向に大きく依存する。本実験における波の作用時間は、フルード則から導かれる現地30日間に相当する14時間とする。

3. 実験結果

実験は、初期地形をできるだけ正確に再現することが重要であるが、底質を敷き均す作業には人為誤差が入る。そこで、形成状態が履歴実験の再現性に与える影響を確認するため、実験は波高2.9cm、周期0.6秒の同一条件のもとで3回行った。地形変化のデータ収集は、上記の測定方法により一回の実験で初期地形及び造波開始後は2時間おきに14時間まで計8回で行った。

3.1 河口部平面形状変化

図-1に示す深淺測量図から、初期地形の特徴としては、河口を境に右岸側の等深線が左岸側のそれより沖側に突出している。さらに河川の流軸が東側に向いており、右岸砂州の東側への伸長の度合いが左岸砂州の西側への度合いより大きい。この結果、本実験で海浜地形を再現する際に用いた等深線図は観測された季節は不明であるが、東向きの沿岸流が卓越する冬期に測量されたものと思われる。

上述の初期地形を用い、西向きの沿岸流を発生させる卓越波向

を用いて実験を行っているため、図-3に示すように造波開始直後から初期地形の汀線は急激に侵食を受ける。汀線後退量の大きい0～6時間における右岸砂州先端付近6断面での汀線後退量は平均56.3m/6hであり、右岸端0断面では平均29.6m/6hであった。また、汀線後退量の小さくなる6～14時間においては、それぞれ20.9m/6h、10.4m/6hとなり、後退量が0～6時間における値のほぼ1/2となる。図-4において現地左岸側で汀線後退量の大きい断面n-n'についてみると、1978～1985年の7年間の汀線後退量は27.3m、1985～1991年の6年間の後退量は8.8mとなる。これらは実験に於ける左岸砂州の汀線後退量20.9m/6h、10.4m/6hと比較するとほぼ等しい値となり、汀線の後退量から見ると、現地で7年間の履歴現象は、模型では6時間に相当するものと推察される。

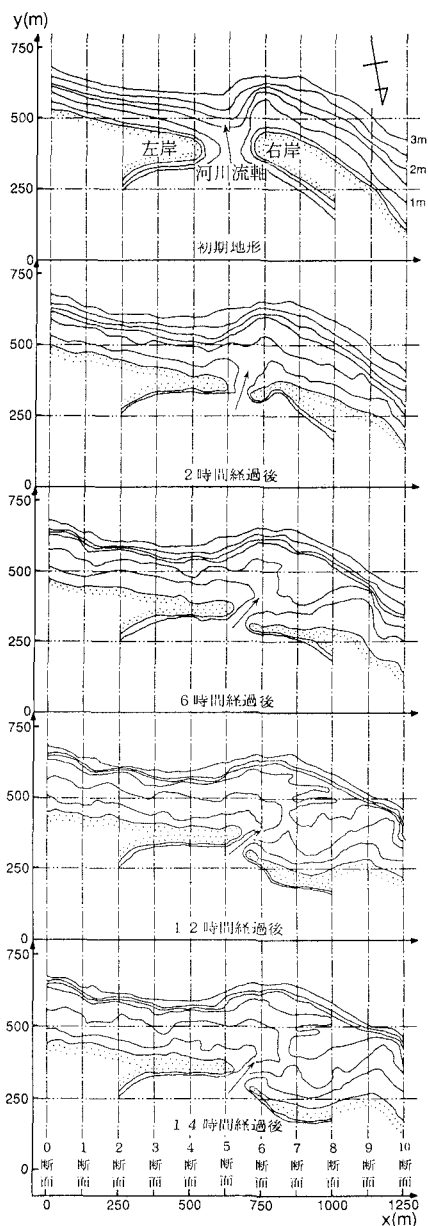


図-3 平面形状変化

砂州の伸長については、図-3に示すように左岸砂州の先端部は西側に伸長し、右岸砂州の先端部は狭小化が進み岸方向への後退がみられる。左岸砂州は初期地形の持つ不安定さから、造波開始後2時間で砂州は最も大きな伸長を示し、初期状態から平均42.8mの伸長を示す。これは初期地形に上述のように、沿岸流の卓越方向が東向きと推測される深浅測量図を用いているため、汀線付近が大きな侵食を受け、その砂が沿岸流の流下方向に移動するためと考えられる。沿岸流の流下方向に沿って左岸砂州は西側に伸長し、2~12時間の間は平均1.6m/hの速度で伸長し、12~14時間の間は平均2m/hの速度で消失が見られた。右岸砂州先端部沖側では、左岸側で発達した沿岸流と河川流との合流点となり、複雑な渦運動が生じていることが観測されている。そのため先端部付近では沿岸流の作用を直接受けなくなるため、砂州は波の作用により岸方向への移動が生じているものと推察できる。また、等深線の変動特性から砂の沿岸流下手側への移動は水深0~2.0mの範囲にまで及ぶことが分かる。特に移動が激しいのは0~1mの範囲であることが推察される。

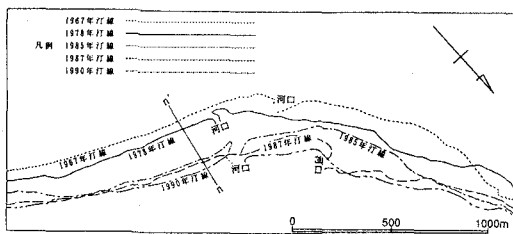


図-4 現地汀線後退状況

図-3から初期地形における造波開始直後の河川流の流軸はS方向である。その方向が、2時間後にはS25°Wの方向へ転流する。これは河川流が造波開始直後は沿岸流の向きと反対方向の成分を持っているのに対し、時間経過とともに沿岸流の影響を受け西向きに転流していくものと推察される。その後は6時間後にS59°Wまで転向し、その後はその値でほぼ安定した流軸を維持している。

3.2 海浜断面形状変化

海浜断面形状はその変形特性から、大別すると図-5 侵食に示すIタイプ(0~4, 6, 7断面)、IIタイプ(9, 10断面)、I, II混在タイプ(8断面)、その他(5断面)の合計4つの断面に分類される。Iタイプの特徴は初期断面との交錯点が一つであることが上げられ、その点を境に岸

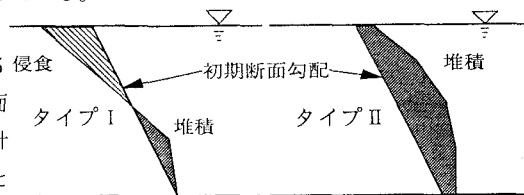


図-5 断面タイプ

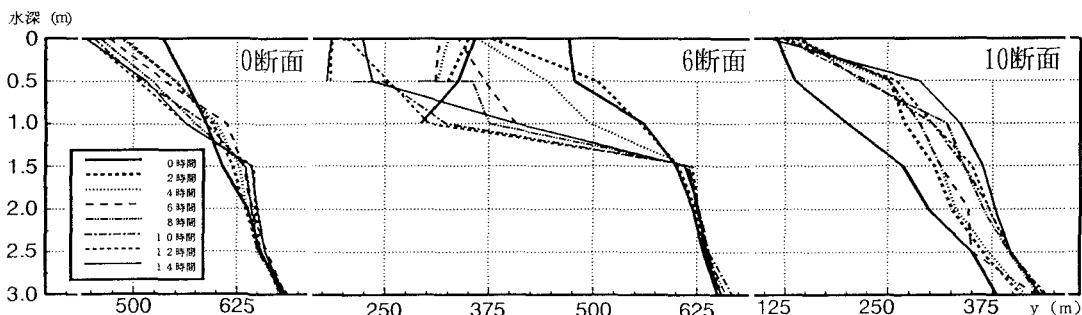


図-6 海浜断面変化

側では侵食、沖側では堆積断面となっている。IIタイプの特徴は汀線位置の前進を伴い断面の増加がある断面である。その中でそれぞれのタイプの特徴がよく出ているIタイプの0, 6断面、IIタイプの10断面の合計3断面について実験結果を図-6に示す。0断面は測定範囲の中で沿岸流の最も上手側に位置する断面で、特徴は交錯点の水深が1.26mであり、それ以浅での断面変化が大きい。これより、侵食された底質の一部は交錯点より沖側で堆積されるが、そのほとんどが沿岸流の下手側へ移動していることが分かる。また、左岸砂州先端付近に位置する4断面では0断面と異なり、水深0.5mの交錯点以深での断面変化の方が大きい。0及び4断面の特徴の違いより、沿岸流上手側にあたる0断面で侵食された砂の多くが沿岸流下手側の4断面方向へ移動し、底質移動の激しい断面は等深線の沖側への移動が大きい水深1.0~1.5mの範囲にあるものと推察され

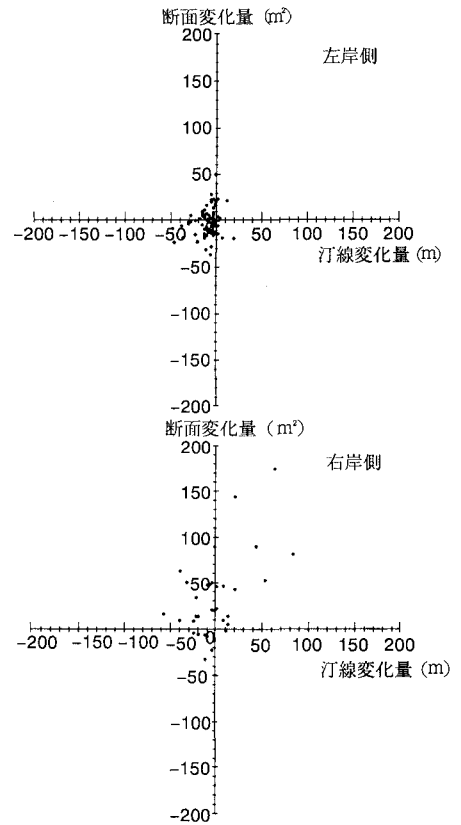
る。また、断面形の海底勾配がほぼ一定となるのが6時間以降であることから、初期地形に対する造波直後の影響は6時間程度まで及んでいるものと思われる。6断面は右岸砂州先端付近の断面であり河川流と沿岸流の両方の作用を受ける断面である。交錯点は水深1.46mであり、それ以深の断面変化は小さくそれ以浅での変化が大きい。また、水深0.5～1.5mの範囲では他の断面では見られない勾配の緩やかな断面が存在している。これは河川流の掃流力により沖側へ掃流された砂が、沿岸流の作用により右岸側へ移動するために形成されていると思われる。従って、河川による掃流作用は水深0.5～1.5mの範囲まで及んでいるものと推察される。10断面は測定範囲の中で沿岸流の最も下手側に位置する断面である。そのため、この断面は初期断面から侵食を受けることなく断面は常に堆積状態の断面である。8断面はⅠタイプとⅡタイプの混在タイプであることからⅠからⅡへの遷移過程にある断面であることが伺われ、両方の特徴を持ち合わせている。以上の結果から実験における右岸断面変化には、侵食及び堆積作用を受ける両方の断面が存在することが認められる。

ここで、断面－汀線変化特性を用いて沿岸漂砂の移動高の推定を試みる。海面下の海浜断面積の変化と汀線移動距離の変化について両者の関係を求めた結果を図－7に示す。左岸側及び右岸側についての両者の関係から、相関係数はそれぞれ0.02、0.28となり有意な相関が見られず沿岸漂砂移動高の推定までには至らなかった。これは、本海岸が汀線の後退する暴風海浜に分類さ侵食れるものの、それ以上に沿岸漂砂量の減少による侵食を受けているために有意な相関が得られなかったものと推測される。更に、一般の計算では汀線より岸側での地形変化を考慮するのに対し³⁾、本計算ではそれが考慮されていないうえ、断面測定が0.5m毎の等深線を用いているために近似的な断面変化量になったことが考えられる。

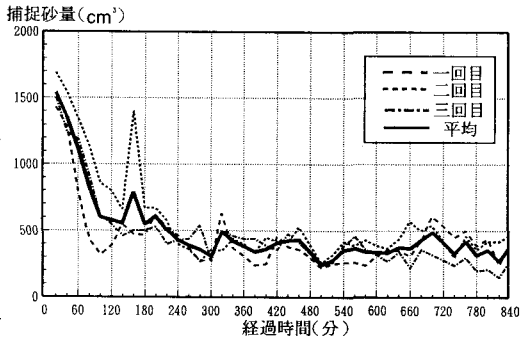
3.3 漂砂量

漂砂量はサンドトラップに捕捉された砂を20分毎に除去し、捕捉砂の容積計測を行った。捕捉砂量の経時変化

を図－8に示す。捕捉砂量は実験開始後20分で平均1540cm³と最も多く、実験開始後100～140分間で、その値は急激に減少する。その後は増加、減少を繰り返すが変化量はほぼ一定となる。しかし、観測データにはばらつきが大きく、変動傾向が把握し難い。そこで、移動平均を用いて検討を行うと、NO.1, NO.2では減少を続けた後、それぞれ520分、380分を境に増加し、NO.3では常に減少傾向を示していることが分かった。平均すると360分までは減少傾向を有し、その後は平均364.3cm³前後の値で推移している。本実験で再現される現象は、沿岸流の上手側に建設された漁港によって沿岸漂砂が遮断された海浜である。漂砂供給の断たれた鶴川河口周辺海浜では急激に汀線の後退といった海岸侵食が進み、その侵食速度は次第に緩やかになる。上記の結果から、沿岸漂砂についても同様に漂砂量は急激に減少し、その後次第に緩やかになり、ある一定



図－7 断面－汀線変化特性



図－8 捕捉砂量経時変化

値に近づいていくものと思われる。

3.4 波向きの経時変化

図-9は波向きの経時変化を0~10断面について示したものである。波向きは、碎波波向きと水深0.5mの等深線の法線とのなす交角とし、法線方向から反時計回りを正にとり西向きの沿岸流を発生させる向きとした。水深0.5mの等深線を基準に設定したのは、本実験では断面によって汀線が測定されないこと、また汀線と水深0.5mの等深線とがほぼ平行であるためである。波向きは河口兩岸に位置し河川流の影響を受ける断面5,6及びサンドトラップの影響を受けていると思われる断面10を除くと左

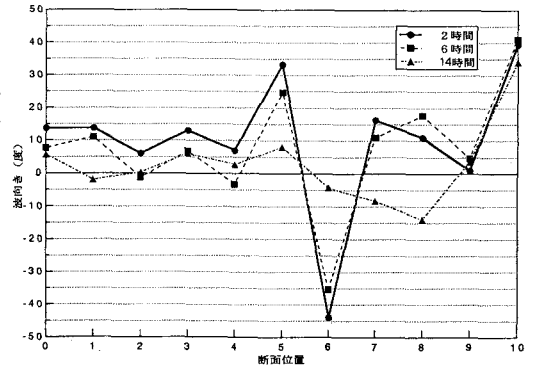


図-9 波向の経時変化

岸側では $-3.3^{\circ} \sim 13.7^{\circ}$ 、右岸では $-14.0^{\circ} \sim 17.7^{\circ}$ の範囲で変動している。左岸側における0~4断面では2時間後が最も大きく平均 10.7° 、次いで6時間後 4.2° 、14時間後の 2.5° となり、波向は時間経過とともに等深線に対し直角方向に近づく。7,8断面では2,6時間内では平均 14.0° であるのに対し、14時間では平均 -11.2° と負になり、東向きの沿岸流を発生させるような波向きへと変化している。9断面では各時間とも変化が小さく汀線に対し直角方向に近い値となる。現地における波向きは1981年5月5日、1983年7月6日の航空写真から左岸側でそれぞれ 13.5° 、 8.5° となる。これは、海底模型製作に1982年の深浅測量図を用いていることを考慮すると、実験開始2時間の左岸における平均波向と 10.7° とほぼ等しい値となる。

3.5 流況及び流速

流況及び流速は、時間経過とともに図-10のように変化する。流況図から左岸側においては各時間ともに西向きの沿岸流が認められる。河口においては、時間経過とともに河川流軸の西向きへの転向が見られ、4時間では一部が東向きへ流出し、6,12時間では河口沖側での渦の発生が見られる。右岸側では4時間で河口付近は河川流に伴い沖に出る傾向が見られ、その後は時間とともに西向きの沿岸流に沿って西側へ流れ出る。流速は左岸において最大となり西向きで 50cm/s となる。平均流速は時間とともに変化し、2,6,12時間後の値はそれぞれ 25.5cm/s 、 46cm/s 、 16cm/s となり、一度増加した後に減少することが分かる。河口では平均流速 40cm/s となる。右岸においては最大流速 40cm/s であり、平均流速は2時間後が 10cm/s 、6,12時間後では 19cm/s となりほぼ一定した値となる。

る。1993年9月25,26両日に観測された亀川河口周辺における沿岸流調査の結果を図-11に示す。水深4m以浅での沿岸流は西向きで平均流速は 32.6cm/s である。また、水深5m以深では東向きで岸から沖へ向かう流れが観測されており、平均流速は 18.1cm/s である。これは、東流と西流の逆転時期が概ね5~6月頃と9~10月頃にあり、夏季は西流、冬季は東流にな

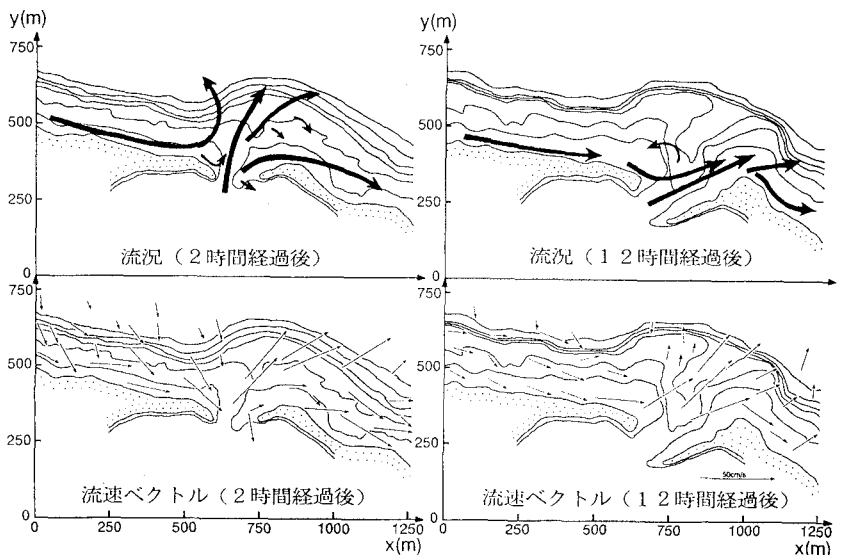


図-10 流況及び流速ベクトル図

る⁴⁾傾向が見られることから、東流への逆転時期に観測を行ったため、東向きの潮流成分を多く含むものと考えられる。現地において西向きの沿岸流に東向き潮流成分が含まれていることを考慮すると、実験は現地の流速をほぼ正しく再現しているものと思われる。

4. 考察

鶴川河口部周辺の海岸は、1980年の汐見漁港の建設工事以来、急激な汀線の後退を伴う海岸侵食が進行し現在に至っている。これは、西向きの沿岸流が卓越する当海浜において、漁港が河口より東側に位置するため、漁港防波堤で西向きの漂砂が遮断され当河口に流下する沿岸漂砂量が急激に減少したことに起因するものである。本

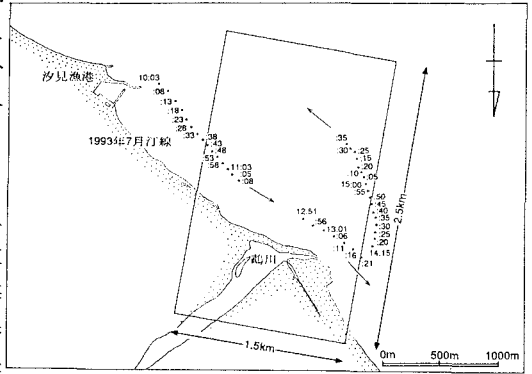


図-1 1 現地沿岸流調査(1993.9.25, 26)

実験では、極端な例として漂砂供給の無い条件下で履歴現象の再現を行ってきた。

実験結果と現地調査を比較検討すると、次の結果が得られる。左岸砂州は狭小化が見られ漂砂の西方向への移動に伴い伸長する。右岸砂州は狭小化とともに波の作用により岸側へ後退する。河口砂州形状の現地との相違点は、模型では河口である位置が現地では河道となっている点であり、模型より現地での砂州の伸長の度合いの方が大きい。これは、現地では広範囲からの漂砂の供給があるのに対し、実験では水槽内の限られた範囲からの供給しかないためである。模型での等深線は水深3m以深ではほとんど変化が見られず、岸沖方向への底質の移動が小さいことが伺える。しかし、ほとんどの断面が侵食を受けていることから、当海浜では海岸侵食が進行する原因として沿岸漂砂が大きく寄与していると推察される。漁港建設開始直後の沿岸漂砂の移動特性について、実験での捕捉砂量経時変化を用いると、現地においても急激に漂砂量が減少し、ある数年の期間の後、漂砂量は安定するものと推察される。

以上より、保全対策工法を講ずる際には岸沖漂砂を制御するよりも沿岸漂砂を制御可能な工法が望まれる。この点を考慮すると、突堤により沿岸漂砂を直接捕捉するするのが最良であるが、当海浜のように沿岸漂砂の影響が大きい海浜では、その下手側での侵食が危惧される。そのため、工法としては岸沖漂砂及び沿岸漂砂の制御が可能な人工リーフ工法、又は汀線後退を物理的に阻止する緩傾斜護岸工法が上げられる。今後はこれらの工法を用いた模型実験により、汀線後退防止効果、海浜断面に与える影響の評価を行い、最適な工法を決定する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、資料収集等には河川環境財団、(株)日本データサービス関係各位の多大なるご協力を頂いた。また、実験には本学4年生の高松大助、成田望、村上茂樹君の協力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 須賀堯三: 水理模型実験, 山海堂, pp. 277-278, 1990.
- 2) 薄木琢嗣・藤間聡・近藤徹郎・中田満洋: 鶴川河口周辺の汀線変化に関する数値解析, pp. 745-750, 1993.
- 3) 例えば, 富谷雄・宇多高明・酒井佳治・山本武司: 浜名湖今切口導流堤周りの海浜変形, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 367-371, 1987.
- 4) 室蘭開発建設部: 苫小牧東港海岸変形解析業務報告書, pp. 105, 1987.