

鵜川河口周辺の海浜変形に関する研究

藤間 聡*・成田 望**・薄木琢嗣***・今日出人****

1. はじめに

鵜川はその源をトマム山に発し、鵜川町にて太平洋に注ぐ流路延長 135 km, 流域面積 1,270 km², 計画高水流量 3,600 m³/s の一級河川である。当河川の河口には砂州と広大な干潟が形成されていたが、沿岸流の上手海岸での漁港の建設に伴い砂州と干潟の狭小化などの海岸侵食が著しく進行し、海岸保全、景観保持の観点から根本的な侵食対策が求められている。このような事例は全国的に見られるが、一般に侵食対策を講ずる上で必要不可欠な波浪観測、漂砂特性などの調査資料が整っていないのが実状である。本報は、移動床模型実験により鵜川河口砂州の消長過程を再現し、漂砂移動の特徴、海岸侵食過程を明らかにするとともに、数値モデルを用いて長期間の海浜変形の予測をするものである。

2. 鵜川河口周辺の海浜変形の概説

鵜川河口位置を図-1に示す。当海浜では図-2に示すように1967～1990年の24年間に不定期に計5回の汀線調査が行われている。1967～1978年における汀線調査から左岸、右岸砂州の後退がみられる。漁港建設開始が1980年であることから、当海浜は暴風海浜であることが推察される。右岸側のm-m'断面において汀線後退量は左岸側の汀線後退量よりも大きいことが認められる。1978年～1985年における7年間の汀線後退量は、左岸側のn-n'断面が右岸側のm-m'断面の汀線後退量よりも大きく後退速度に逆転がみられる。従って、急激な汀線の後退は漁港防波堤が沿岸漂砂を遮断して生じたものと推察される。1985年～1990年では汀線後退量は少ないが、左岸より右岸の後退量が大きく漁港建設以前の汀線変化と類似している。これは、漁港防波堤による沿岸漂砂の貯留量が上限に達した結果である。

3. 移動床模型実験

3.1 実験施設

模型範囲は図-3に示すように、汀線方向1,500 m, 岸沖方向2,500 mとした。実験には図-4に示す、幅6 m, 長さ10 m, 深さ0.6 mの水槽を使用し、模型縮尺は水槽の規模および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。海底模型は、1982年の深淺測量図に基づきモルタルで再現し、底質材料を入れる範囲は水深5 m以浅とした。底質材料はモルタル仕上げ面を基準高より5 cm低くし、モルタル上に敷き均し海底地形を再現した。

3.2 実験諸元

波浪条件に関しては、波高は代表波高、波向は卓越波

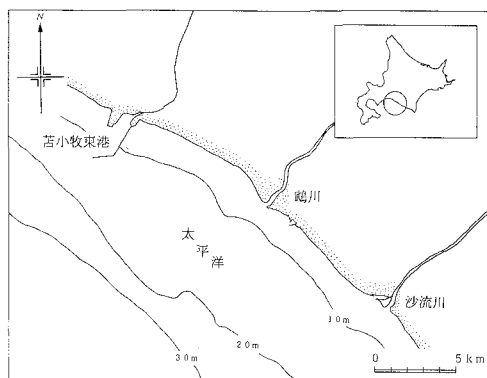


図-1 鵜川河口位置

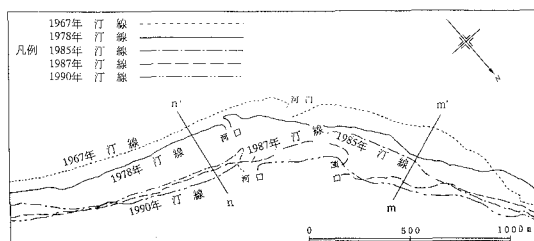


図-2 鵜川河口周辺における汀線の経時変化

* 正会員 工博 室蘭工業大学助教授 建設システム工学科

** 学生会員 室蘭工業大学大学院 建設システム工学科

*** 正会員 工修 (株)大林組

**** 正会員 工修 北海道開発局室蘭開発建設部

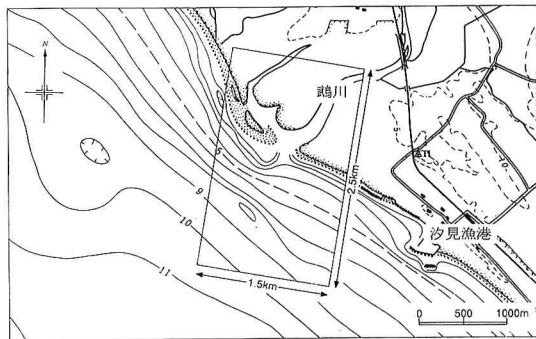


図-3 実験対象領域

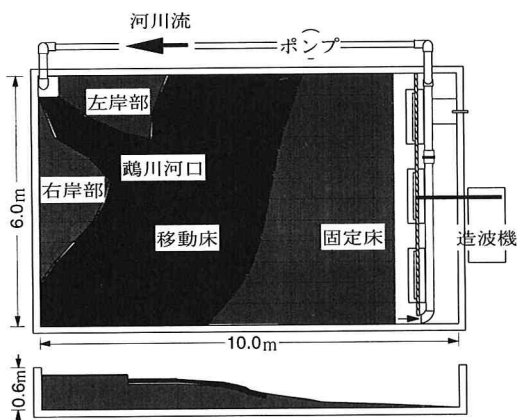


図-4 実験水槽

向を用いる。実験波は、苫小牧港沖水深 50.7 m 地点における 1970~1984 年の 15 年間の月別有義波高 0.8 m および周期 6.5 秒を使用する(菅原ほか, 1986)。波向は、1978, 1981, 1983 年に撮影された航空写真から読取り S10°W とする。沿岸流は、年間の卓越流向が 2/3 を占める西向きとし、最大流速は実海域で 50 cm/s とする。河川流量は 1974~1988 年の 15 年間の年平均流量 36.5 m³/s とする。

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が、フルード相似則に従って決定すると小さくなりすぎ、砂の移動形態が現地と異なったものになってしまう。従って、砂粒の沈降速度について予備実験を行った結果、現地の底質(中央粒径 0.257 mm, 比重 2.808, 沈降速度 1.27 cm/s)と同程度の比重を有している中央粒径 $d_{50} = 0.1$ mm の細砂(市販名珪砂 7 号, 比重 2.67, 沈降速度 1.02 cm/s)を用いる。また、現地海岸での漂砂遮断を考慮して上手側からの漂砂の供給は行わないものとする。

3.3 実験方法

砕波点における波向は写真撮影により、また、流速およ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。地形変形は等深線を水糸で引き、それを写真撮影により測定する方法を取り、沿岸および岸沖方向ともに 10 cm 間隔メッシュの格子点上で読みとった。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、一定時間間隔で測定を行った。

4. 実験結果

4.1 流況および流速

漂砂は波の作用により移動することから、流況観測を行うことは、漂砂の移動特性を知ることになる。ここで、2, 6, 12 時間経過後の流況および流速ベクトルを図-5 に示す。各時間の流況図から、鵜川河口部沿岸では西向きの沿岸流が認められる。2 時間経過後では河川流軸は汀線にほぼ直交する。その後、河川流軸は次第に西向きとなり、12 時間経過後においては沿岸流の流向とほぼ一致する。河川の流軸転向の原因を考えると、2 時間経過後の、左岸側の沿岸流は、河川流によってその流れを妨げられ流速が弱まっていることが分かる。そのため左岸砂州先端部に漂砂が堆積する。一方、右岸砂州側では河川流と波との作用によって大きく侵食する。その結果、河川流軸は転向し左岸側の沿岸流と合流する。各時刻の平均流速は、左岸側で 25.5 cm/s, 46 cm/s, 16 cm/s となり、右岸側ではそれぞれ、10 cm/s, 19 cm/s, 19 cm/s となる。この状況から、河川流によって左岸側の沿岸流の流下が妨げられていたものが、流軸転向とともにその流速を増し、右岸側に流下し河川流が安定してからは、

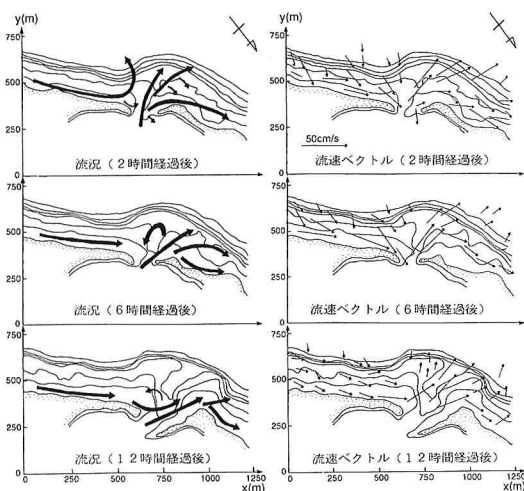


図-5 流況および流速ベクトル図

左岸, 右岸は, ほぼ同じ流速の沿岸流の作用を受ける。

4.2 河口部平面形状変化

河口砂州の経時変化を図-6に示す。初期地形を再現するために用いた1982年の深淺測量図は, 河口を境に右岸側の等深線が突出しており, 右岸砂州の伸長の度合いが, 左岸砂州のそれよりも大きいことから, この深淺測量図は東向きの沿岸流が卓越している冬期のものであると推察される。このような初期地形に, 西向きの沿岸流を作用させたことから, 汀線は急激に侵食される。現地において漁港により沿岸漂砂が遮断され, 汀線が急激に侵食されることから, 侵食速度について比較を行った。0~6時間において, 断面6の右岸砂州先端で平均9.4 m/h, 断面0の左岸砂州端で平均4.9 m/hである。6~14時間においては, それぞれ平均3.5 m/h, 1.7 m/hとなり, 後退量がほぼ1/3となる。図-2においてn-n'断面の汀線後退量は, 1978~1985年で3.9 m/年, 1985~1991年で1.5 m/年となり, 実験における左岸側の汀線後退量4.9 m/h, 1.7 m/h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, 現地との時間縮尺は1年がほぼ1時間に相当すると推察される。また, 平面形状は水深2~3 mで深ではほとんど変化することがなく, 変化が認められるのは水深2~3 m以浅の水域である。このことから, 漂砂移動の移動限界水深は約3 mであると推察される。右岸砂州先端部の1 mの等深線の複雑な形状からも, 右岸砂州は, 河川流の掃流力と波の作用により狭小化を伴って大きく後退する。この作用が, 現地の右岸側干潟消失の原因であろう。河川流軸が安定すると, 左岸側の沿岸流と河川流の流向が一致することにより, 漂砂の移動は連続的なものとなり, 断面8より下手側では大きく侵食されない。

4.3 海浜断面変化

断面形状の経時変化を断面0, 4, 6について図-7に示す。各断面形状より碎波水深は, 漂砂移動の顕著な水深0.5~2.0 mであると考えられる。移動限界水深は, 形状変化が顕著に現れていない水深3 mであると推察される。現地の防波堤が3 m以深まで建設されているために, 沿岸漂砂を完全に遮断するものと考えられる。沿岸流の上手側に位置する断面0では初期断面との交点が平均水深1.26 mであり, それ以浅での断面変化が大きい。一方, 断面4では交点が平均水深0.6 m以深での断面変化が大きい。交点を境に侵食, 堆積を呈していることから, 断面0で侵食された漂砂は, 断面4方向に移動し, 左岸砂州を伸長させると推察できる。断面4では時間経過とともにその堆積量が増加していないことから, 右岸方向に移動していると考えられる。断面6は緩い勾配を有し, 交点が平均水深1.46 m以浅での断面変化が著しい。これは, 河川流の掃流力により緩い勾配を形成して

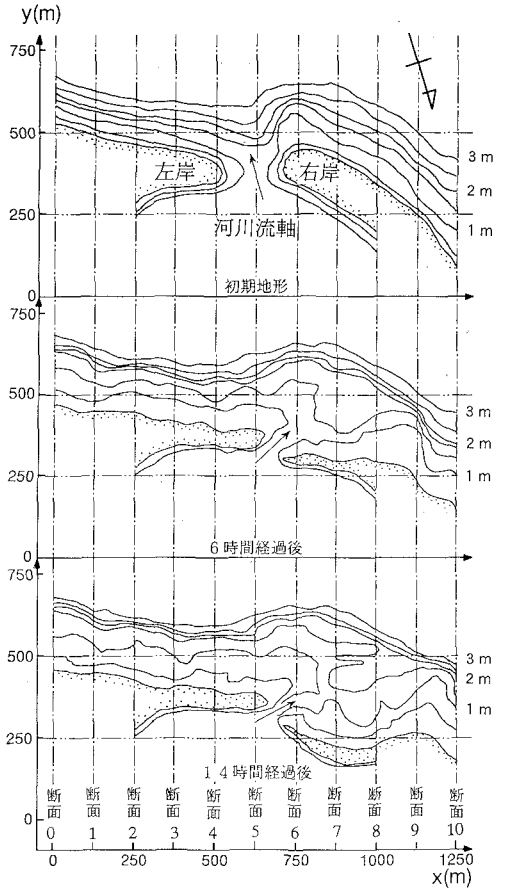


図-6 平面形状変化

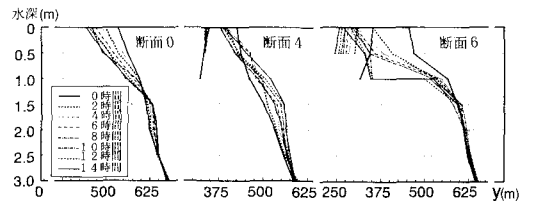


図-7 海浜断面変化

いると推察される。また, 河川掃流力は, 水深0.5~1.5 mの範囲まで及んでいると思われる。

4.4 捕捉砂量変化

漂砂量はサンドトラップに捕捉された砂を20分毎に収集し, そ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1,540 cm³と最も多く, 実験開始から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。平均捕捉砂量は360分までは減少傾向を有し, その後は平均364.3 cm³前後の値で推移

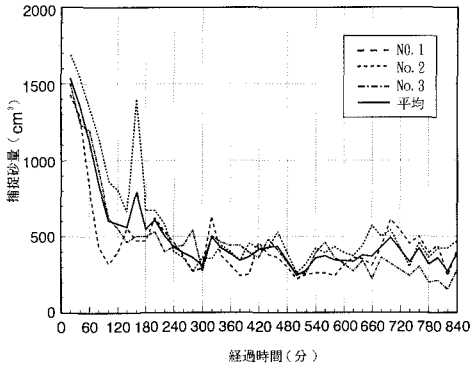


図-8 捕捉砂量経時変化

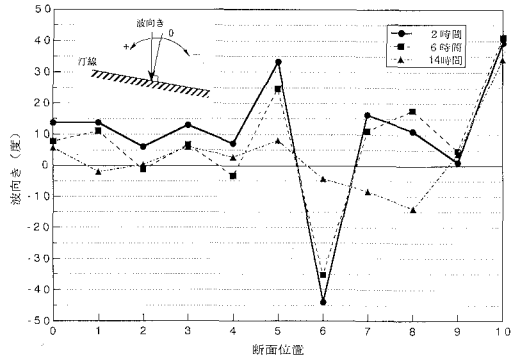


図-9 波向の経時変化

している。現地にお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、ある一定値に近づいていくものと思われる。この値を現地換算すると $Q_p=33,000 \text{ m}^3/\text{年}$ となることから、河口部の沿岸漂砂量は大きいと考えられる。

4.5 波向の経時変化

汀線に対する卓越波の入射角度により沿岸流の卓越方向、流速を把握できることから、波向の経時変化を調べた。図-9に断面0~10の波向の経時変化を示す。波向は、砕波波向と水深0.5mの等深線の法線とのなす交角とし、法線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。ここで水深0.5mの等深線を基準にしたのは、本実験では断面によって汀線が測定されていないこと、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。波向は河川流の影響を受ける断面5、6およ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を除くと左岸側では $-3.3^\circ \sim 13.7^\circ$ 、右岸側では $-14.0^\circ \sim 17.7^\circ$ の範囲で変動している。左岸側における断面0~4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、等深線は時間経過とともに波向に対し直角方向に近づく。一方右岸の断面7、8については、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へと変化している。断面9では各時間とも変化が小さく汀線波向に対して直角方向に近い値となる。現地における波向は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年の深淺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。

5. 汀線変化予測モデル

5.1 基礎方程式

ある海岸線位置 x_s と土砂移動量 Q との関係は、図-10から次式のように表せる。

$$\frac{\partial x_s}{\partial t} + \frac{1}{R+h_m} \left(\frac{\partial Q}{\partial y} - q \right) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q は沿岸漂砂量、 R は浜頂高、 h_m は完全移動限界水深である。また、 q は岸沖方向の土砂量で $q=q_s+q_o$ であり、 q_s は岸側断面、 q_o は沖側断面より流出入する単位幅当たりの土砂移動量である。

沿岸漂砂量 Q を求めるため、本論では Komor・Inman の提示式を小笹・Brampton (1979) が拡張した次式を用いる。

$$Q = a_1 \cdot F_b \cdot \left(\sin 2\alpha_{Bs} - a_2 \cdot \frac{\partial H_b}{\partial y} \cdot \cot \beta \cdot \cos \alpha_{Bs} \right) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 H_b は砕波波高、 β は海浜断面の傾斜角、 F_b は砕波点における波浪エネルギーフラックス、 α_{Bs} は汀線と砕波点における波峰線のなす角である。また、 a_1, a_2 は定数であるが小笹・Bramptonはこれらの値として各々 $0.385/\gamma_s$ (γ_s は底質の水中重量)、 3.24 を与えている。砕波時の波峰線と基線のなす角度を α_B 、汀線と沿岸座標とのなす角を α_s とすると、砕波時の波峰線と汀線との角度 α_{Bs} は次式で示される。

$$\alpha_{Bs} = \alpha_B - \alpha_s = \alpha_B - \tan^{-1} \left(\frac{\partial x_s}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (3)$$

汀線変化の計算は以上 (1)、(2)、(3) の3式を連立して差分法を用いて解くことになる。

5.2 計算結果

5、10年後の汀線変化を予測した結果を図-11に示す。解析対象領域は、鵜川河口の沿岸方向6,000m、岸沖方向4,000mとした。計算時間間隔は60分とし、計算格子間隔は沿岸、岸沖方向ともに20mで行った。

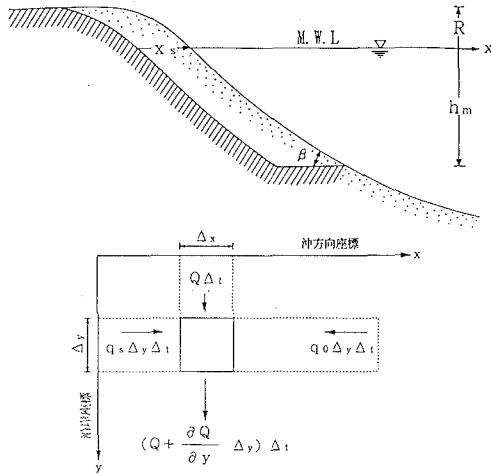


図-10 基礎方程式概念図

河口では、左岸、右岸ともに侵食を受け汀線が後退する。この侵食土砂量は約 15,000 m³/年となる。また漁港東側においては、防波堤先端付近まで汀線が前進しているため、堆積作用を受けていることが分かる。この堆積土砂量は約 20,000 m³/年となる。砕波位置、水深から比較的岸に近く水深 2 m 前後の水深で砕波していることが分かる。砕波波高は平均 0.9 m 前後であるが、漁港西側端および右岸側の一部において小さくなることが分かった。砕波位置での波向は、漁港および河口右岸部においては波の回折により正負が逆転している。

6. 結 論

漂砂遮断による海岸侵食の実態究明のため、模型実験を用いて鵜川河口部沿岸の海浜過程を検討した。得られた成果を要約すると次のようである。

- 1) 漂砂遮断による海岸侵食は水深 3 m 以浅で顕著であり、これより以深では海底地形変動が見られない。
- 2) 左岸側砂州は漂砂が遮断された場合でも沿岸からの補給砂によって河口の横断方向へ伸長し、河川流を右岸へ湾曲させる。
- 3) 左岸砂州の発達に伴い湾曲した河川流は右岸砂州を侵食し、汀線を著しく後退させる。
- 4) 河口部はヘッドランド状を呈しているため、防波

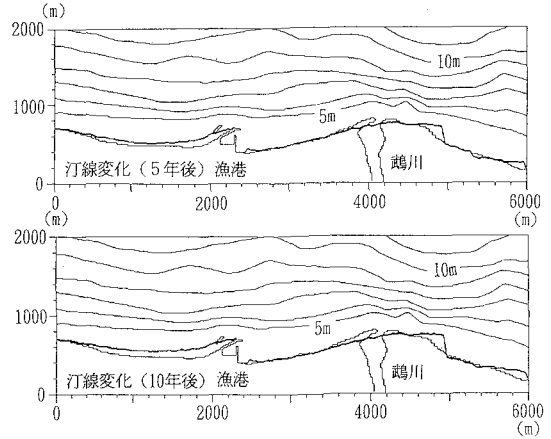


図-11 5, 10 年後の汀線変化

堤による漂砂の貯留が満砂状態に達しても沿岸流による侵食を受け後退する。

以上、鵜川河口部の海浜過程について興味ある若干の結果を得たが、今後侵食対策について検討していきたいと考えている。

参 考 文 献

薄木琢嗣・藤間聡・中田満洋 (1993): 北海道日高沿岸鵜川河口周辺の海浜変形, 土木学会第 48 回年次学術講演会, pp. 896-897.
 宇多高明・北上勝彦・山本孝次・河野茂樹 (1991): 北海道日高沿岸における海浜変形, 海岸工学論文集, 第 38 巻 (1), pp. 276-280.
 菅原一晃・小舟浩治・佐々木弘・橋本典明・亀山 豊・成田 明 (1986): 沿岸波浪観測 15 年統計 (昭和 45 年~59 年), 港湾技術資料 No. 554, 運輸省港湾技術研究所, 872 p.
 合田良実 (1970): 砕波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第 180 号, pp. 33-49.
 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の砕波変形, 港湾技術研究所報告, 第 14 巻, 第 3 号, pp. 59-106.
 小笹博昭・Brampton, A. H. (1979): 護岸のある海浜の汀線変化数値計算, 港湾技術研究所報告, 第 18 巻, 第 4 号, pp. 77-104.
 佐藤昭二 (1991): 表層移動および完全移動限界水深, [新編] 海岸工学 (堀川清司著), 東京大学出版会, pp. 256.
 堀川清司 (1991): [新編] 海岸工学, 東京大学出版会, 239 p.
 Dean, R. G. (1985): Physical modelling of littoral processes, Physical modelling in coastal engineering ed. by Robert A. Dalrymple, pp. 125-127.