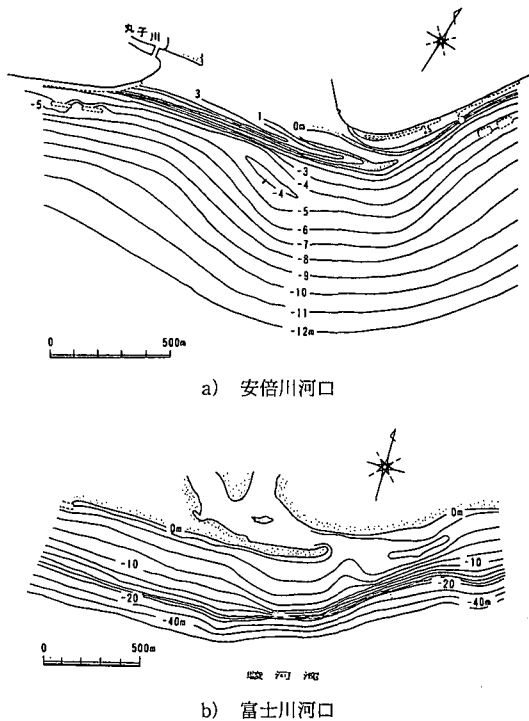


斜め入射波条件下で生じる河口部上手側海浜の 貯砂効果のモデル化

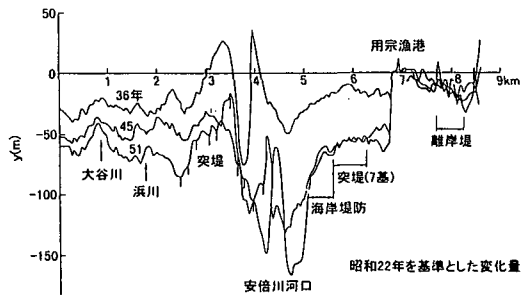
宇多高明*・加藤憲一**・山形 宙***

1. ま え が き

卓越波が海岸線に対して大きく斜め入射する海岸に河川が流入し、これによって河口デルタが形成される場合について考えると、河川からの流出土砂の大部分は沿岸漂砂の下手側方向へと運ばれ、河川流出土砂が過剰に堆積しない限り、沿岸漂砂の上手側には移動しない場合も生じると考えられる。このような河川の実例としては、新潟県西部に流入する姫川、静岡県駿河湾に流入する大井川、安倍川、富士川などがあげられる(宇多, 1997)。例えば、図-1には安倍川と富士川の河口部海浜形状を示すが、これらの河川の河口ではいずれの場合にも、河口の中心線に対して卓越波の入射方向が右(時計)回りの方向からであるために、右側に歪んだ等深線形状となっており、洪水により大量の土砂が流出しない限り、土砂は右向きにのみ移動する。同様に図-2には1947~1976年における安倍川河口部の汀線変化を示す(野田・橋本, 1981)。河口右岸側にある広野海岸では河口デルタの後退と連動して汀線が後退したが、用宗漁港より南西側の区域の汀線は安定している。このことは、用宗漁港の防波堤が北向き、すなわち安倍川河口方向へと向かう沿岸漂砂移動を阻止していること、したがって広野海岸からの侵食土砂は安倍川河口を通過して北向きに流出したことを表している。このように安倍川河口に隣接する広野海岸では、河口右岸側の海浜が貯砂効果を有していたことが明らかである。以上に述べた河川の河口部での土砂移動は、波が海岸線に対してほぼ直角方向から入射し、したがって河口両翼の海岸で河口から遠ざかる方向へと沿岸漂砂によって土砂が運ばれる場合と大きな違いがあると考えられる。そして、この問題は、河川から海岸への土砂供給機構を調べる上で非常に重要と考えられるが、そのような条件下での海浜変形についての検討事例はない。このことから、本研究では、最近開発された等深線変化モデル(宇多・河野, 1996)を利用して、この問題について検討するものである。



図一1 斜め入射波の条件下にある河口デルタの例



図一2 安倍川河口における汀線変化

2. モデル化の方法と計算条件

計算は図-3 に示すモデル海岸を設定して行った。まず、沿岸方向に 30 km の区域において、河口を二等辺三角形の頂点に置く。河口中心を通る二等分線に関して、

- ・ 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
- ・ 正会員 工修 日本建設コンサルタント(株)
- ・ 正会員 日本建設コンサルタント(株)

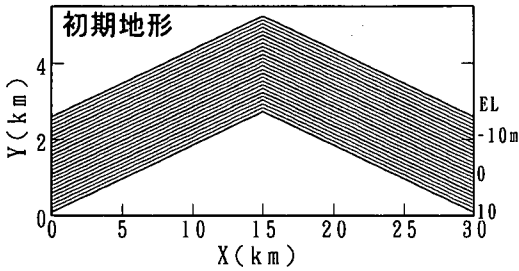


図-3 計算の座標系と計算区域

表-1 計算ケースの一覧

ケース	波向 (θ_0)	河川流入土砂 Q_R (m^3/yr)	備 考
①	0°	0	
②	$R10^\circ$	0	
③	$R10^\circ$	6.0×10^4	
④	0°	$12 \times 10^4 \rightarrow 0$	
⑤	$R10^\circ$	$12 \times 10^4 \rightarrow 0$	
⑥	$R10^\circ$	$12 \times 10^4 \rightarrow 0$	導流堤あり

河口左右の海岸線に対する法線の方向がそれぞれ反時計・時計回りの方向に 10° の角度をなす方向とする。この計算区域で沿岸方向に 0.5 km 間隔の 61 測線を設ける。初期海底勾配は 1/100 の一様とする。波浪条件として、碎波波高は沿岸方向に一律の 3 m とする。また、等深線変化モデルの計算では、波による地形変化の限界水深 h_c と波のうねあがり高さ h_R を設定する必要があるが、これについては、 $h_c = -7$ m, $h_R = 3$ m とし、ともに沿岸方向に一定値とする。計算時間間隔は 300 s として、1 年間で 360 日と近似して 2 年間まで行う。一連の計算では、河口から土砂を流入させる必要があるが、まず海岸線へ 10° の斜め入射波の条件下で生じる沿岸漂砂量を $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ とし、これを基準としてこれと同量を流入させる場合と、この 2 倍を設定する場合とを考える。境界条件として、図-3 の両側は不透過壁を想定し、沿岸漂砂を阻止する条件とする。

全体のケース数は 6 である。表-1 には全ケースの特長を要約して示す。ケース①では、河川流入土砂量 Q_R が 0 で、直角入射条件とし、河口から両方向に土砂が移動することができる。ケース②は、ケース①と波の入射方向以外全て同じ条件であり、河口右岸側の海岸線と直角方向から卓越波が入射する。したがって河口右岸側の海岸線は初期状態では卓越波に対して安定な条件である。ケース③は、波浪条件はケース②と同一であるが、 Q_R として、河口左岸側の海岸で流れている沿岸漂砂量と同じ量 ($6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$) を与える。このケースは、動的平衡状況にある河口部海浜状況について調べることを目的とする。ケース④では、最初の 1 年間は $Q_R = 2Q_0$ の土砂を流

入させ、直角入射条件下での河口デルタの発達を調べたあと、流入土砂をカットし、その後の海浜変形を調べるケースである。ケース⑤は、流入土砂条件はケース④と同一であるが、波を斜め入射させるものである。最後に、ケース⑥では、河口に導流堤を設置して右岸側への土砂の広がりを阻止したこと以外は、ケース⑤と条件を同一にし、河口導流堤が河口周辺の海浜地形変化に及ぼす影響について検討するものである。

3. 計算結果

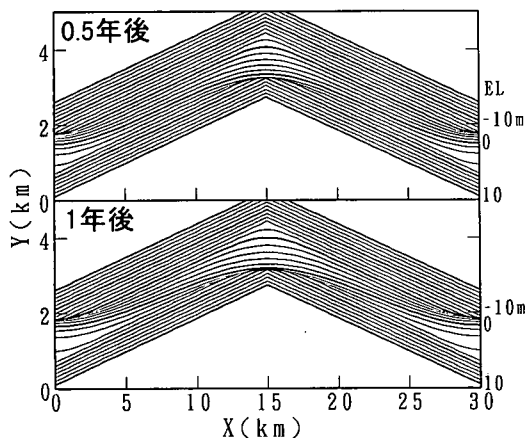
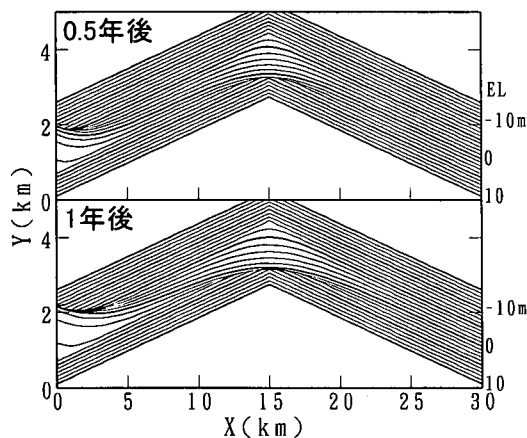
(1) 河川流入土砂量が 0 の場合

図-3 に示すように、河川流出土砂が堆積して形成された、河口を頂点として三角形に等深線が突出した海岸をモデルとして考える。この海岸において、河川流出土砂 Q_R が急減して 0 になったとする。この場合の海浜変形について、まずケース①では直角入射を考え、ケース②では河口より右側の海岸線に対して直角方向、すなわち河口中心を通過して海浜を二等分する線に対して時計回りの方向から 10° の角度で斜め入射する場合を考える。

これらの条件下での計算結果を図-4, 5 に示す。計算期間はモデル的に 1 年間とし、0.5 年と 1 年後の計算結果を示す。ケース①の結果を示す図-4 では河口中央部が侵食され、汀線より陸域には浜崖が形成され、その沖には侵食緩勾配斜面が形成される。侵食範囲は時間経過とともに広がっていくが、侵食形状は河口中心線に関して左右対称である。河口部から削られた土砂は、河口から離れる両方向へ流出し、左右の固定壁により阻止されるため、河口中心線に対して線対称な形の堆積域が形成される。このことは、河口中心に対して、左右岸の土砂はそれぞれ左向き・右向きに移動したことを表している。

図-5 には、斜め入射の場合のケース②の結果を示す。この場合、河口部での侵食状況はケース①と全く同様である。河口の右岸側では、最初ほとんど全域において波は直角入射となるから海浜変形は河口部を除いて起こらないが、時間とともに侵食域が河口から離れた区域へと及んでいく。しかしながら堆積域が左側にのみ存在することから、侵食土砂はまちがいなく沿岸漂砂によって左方向へと運ばれている。以上の点は、河口デルタがその中心線に関して左右対称形に削られたという理由のみから、河口の左右岸の侵食土砂はそれぞれ河口から遠ざかる方向に流出したと判断することはできないこと、そして波が斜め入射する場合には河口を越えて右岸側から左岸側（あるいはこの逆）へと土砂が流出することがあることが注目される。

以上の点は、図-6 の模式図により理解が進むと考えられる。いま基準線に対して左右岸の海岸線がそれぞれ

図-4 河口部の海浜変形 (ケース①: 直角入射, $Q_n=0$)図-5 河口部の海浜変形 (ケース②: 斜め入射, $Q_n=0$)

θ_1, θ_2 傾いていたとする。この海岸線に対してケース①, ②のように、河口中心線方向と、それより時計回りの方向に θ_1 傾いた方向から波が入射するとする。このとき左右岸で生じる沿岸漂砂量を Q_1, Q_2 とすると、ケース①では、

$$Q_1 \sim \tan \theta_1 \sim \theta_1$$

$$Q_2 \sim \tan \theta_2 \sim \theta_2$$

であるから、 $Q = Q_1 + Q_2 \sim \theta_1 + \theta_2$ となる。一方、ケース②では、

$$Q_1 = 0$$

$$Q_2 \sim \tan(\theta_1 + \theta_2) \sim \theta_1 + \theta_2$$

となって両者は等しい。このことから、線形近似が成り立つ範囲においては、侵食土砂量はケース①, ②で等しくなる。

(2) 河川流入土砂量が沿岸漂砂量と等しい場合

ケース③では、ケース②と同じ斜め入射波の条件で、河川流入土砂量が河口左岸側海浜における沿岸漂砂量

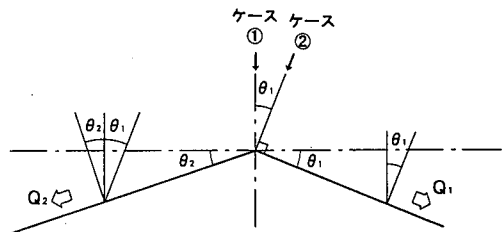
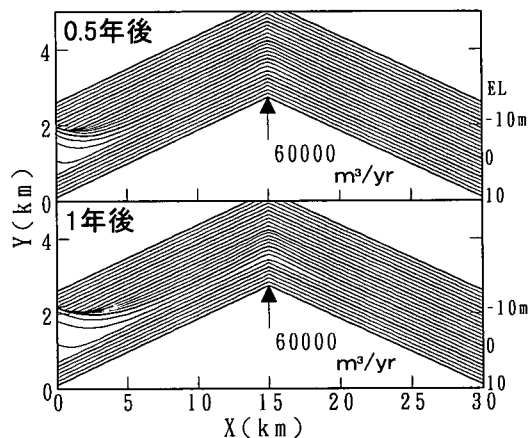


図-6 海岸線の角度と沿岸漂砂の関係

図-7 河口部の海浜変形 (ケース③: 斜め入射, $Q_n=Q_0$)

$6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と同じ場合を想定する。計算結果を図-7に示す。河川流出土砂量と沿岸漂砂量とが等しいために、河口部では侵食は起こらず、動的平衡状況が保たれる。沿岸漂砂によって土砂が運ばれていることは、堆積域の地形変化がケース②の場合と全く同一であることから分かる。

(3) 河川流入土砂量が沿岸漂砂量の2倍の場合

実河川においては、河口部から土砂を運び去ろうとする沿岸漂砂と、河川流出土砂量とが常に釣り合い、したがって河口部海浜が常に動的平衡状況にあることは希であろう。実際には、洪水の発生頻度に応じて、河川流出土砂量は大きく変動するが、大洪水時の流下土砂は一度河口部に堆積し、その後の波の作用で緩やかに流出するため、海岸での沿岸漂砂量にはあまり大きな変動がないと考えられる。そこで、このような状況をモデル化して検討する。

最初に、ケース④では、直角入射条件を考える。初期から1年後まで、沿岸漂砂量の2倍の河川流出土砂量を与え、その後河川流出土砂量を0として2年後まで計算を行う。図-8には、半年ごとに2年後までの海浜変形を示す。1年後までは河川流出土砂量が沿岸漂砂量よりも多いために、新しく河口デルタの形成が進み、河口部周辺の等深線は時間経過とともに突き出る。その後河川流

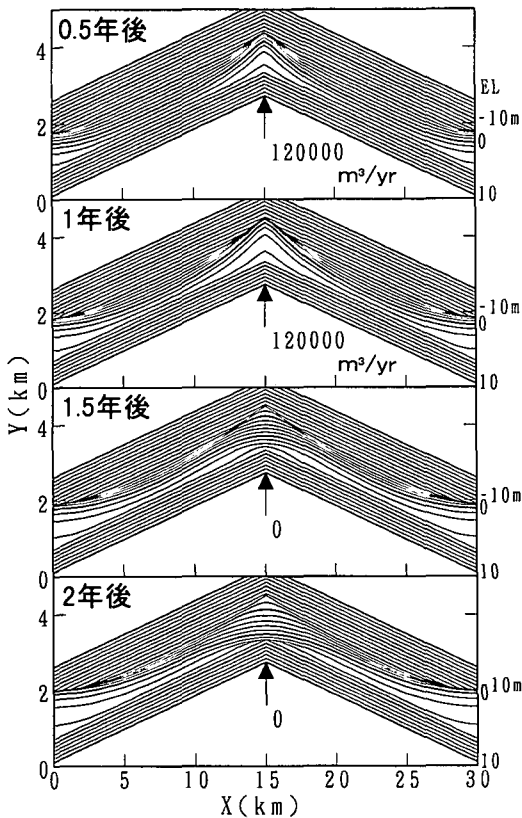


図-8 河口部の海浜変形(ケース④: 直角入射, $Q_R=2Q_0 \rightarrow 0$)

出土砂量が0となると、沿岸漂砂との均衡状態が失われ、直ちに河口部の等深線の後退が始まる。2年後の河口部海浜形状に注目すると、初期に河口デルタが大きく突出した時の痕跡が-8 m 付近の等深線が鋭角状に突出している部分に一部残されている。しかし、-6 m 以浅の等深線は河口前面で緩やかな円弧状となっており、一度堆積した土砂も再び削り取られたことがわかる。このケースでは、波が直角入射するため、河口中心線に関して左右岸に堆積した土砂はそれぞれ左岸・右岸側の海浜を養う意味で有効である。

ケース⑤では、河川流入土砂の条件はケース④と同じであるが、波が河口中心線に対して時計回りの方向に 10° から入射する点が異なる。図-8と同様にして図-9に計算結果を示す。1年後までの河口部海浜変形はケース④と全く同一である。このことは、直角入射、斜め入射の条件で河口デルタの縮小過程を計算したケース①、②で同じ海浜変形が得られたことから理解できる。すなわち、ケース①、②と逆パターンの変化がケース④、⑤で生じている。大きな違いは、1年後に河川流入土砂量が0となった後に見られる。すなわち、1.5年で見ると、河川流入土砂量が0になっても河口の右岸側の20 km 付近で

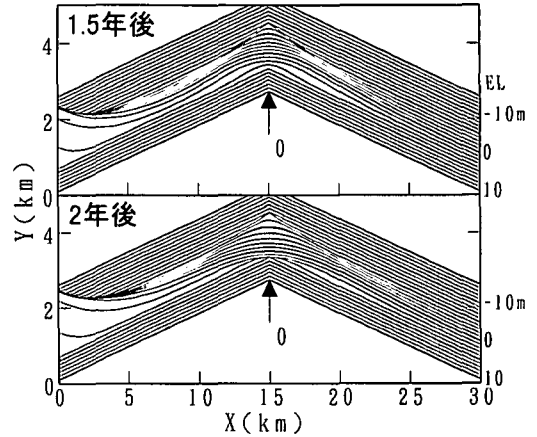


図-9 河口部の海浜変形(ケース⑤: 斜め入射, $Q_R=2Q_0 \rightarrow 0$)

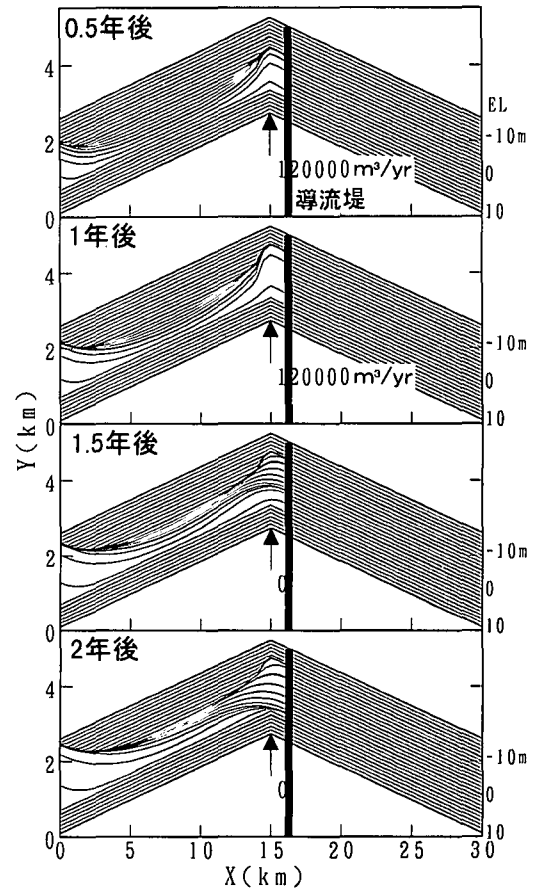


図-10 河口部の海浜変形(ケース⑥: 斜め入射, $Q_R=2Q_0 \rightarrow 0$, 右岸導流堤あり)

は右向きの沿岸漂砂が生じ、等深線が前進している。この土砂は時間が経過すると、さらに右側へと押し込められる。2年後では、左岸側への土砂流出量が大きくなっ

て、河口前面は大きく削りとられるが、それでもまだ一部の土砂は右岸側に残されている。このため、図-8, 9に示す2年後の海浜形状を比較すると、ケース⑤ではケース④よりも等深線の後退量が少なくなっている。すなわち、河口の右岸側は、過剰な土砂の貯砂空間として役立っている。

ケース⑥では、河口の右岸に導流堤が建設されて、右岸側への土砂移動を阻止した場合を考える。なお、導流堤は沿岸漂砂の阻止機能のみ有するとし、波の回折効果は無視する。計算結果を図-10に示す。右岸側への土砂流出が阻止されるため、河口中心から左岸側にのみ土砂が堆積する。河口デルタの突出量はケース⑤よりはるかに大きくなり、河口デルタは冲向きに著しく突出する。この状態において河口流出土砂が0となると、河口部の汀線はケース⑤の場合より後退が激しいことが図-9, 10の比較からわかる。

4. 考 察

一方向の沿岸漂砂が卓越する海岸に流入する河川の河口において、沿岸漂砂の流れる方向に河口導流堤や防波堤が造られれば、これらの施設により沿岸漂砂が阻止され、その種の施設の下手側で侵食が進むことは自明のことである。一方、河口部の沿岸漂砂上手側の海浜は、河川流出土砂の海岸への供給の面から見れば大きな影響を持たないと思われる。しかし、本研究により明らかになったように、河川流出土砂量が著しく多い場合には、

そこが土砂の貯砂空間となって、過剰な土砂はそこに一度堆積したのち、沿岸漂砂によって下手側海浜へと運ばれる。このことは、沿岸漂砂の上手側に隣接して、防波堤や河口導流堤のような施設を建設することは、貯砂空間の喪失につながる恐れがあることを示している。これは従来の研究では全く見落とされていた点である。実河川では洪水は必ず変動を有するから、大洪水時に大量に供給された土砂は河口部におけるこのような貯砂空間に一度堆積し、それによって海岸への土砂供給を平滑化する働きがあると考えられる。

5. あとがき

本研究では、最近開発された等深線変化モデルを用いて、波が斜め入射する海岸に流入する河川に発達する河口デルタ周辺の海浜変形について調べ、漂砂の上手側の海岸が貯砂源として役立つことを明らかにした。今後においては、実河川の河口デルタの縮小過程などにもこのモデルの適用を図っていきたいと考えている。

参 考 文 献

- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, (株)山海堂, p. 442.
- 宇多高明・河野茂樹 (1996): 海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539/II-35, pp. 121-139.
- 宇多高明・松田英明・山形 宙 (1996): 全国17河川のデータによる河口砂州形状のタイプ分類, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 596-600.
- 野田英明・橋本 宏 (1981): 漂砂と海岸保全施設, 技報堂, p. 167.