

洪水による河口砂州の変形と 植生域の変化について

CHANGE OF VEGETATION AREA ON SAND BARS
DEFORMED BY SEVERAL FLOODS IN AN ESTUARY

鈴木幸一¹・門田章宏²・黄国梁³

Koichi SUZUKI, Akihiro KADOTA and Kok Leong OOI

¹正会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790 愛媛県松山市文京町3)

²正会員 工博 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科

³学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科土木海洋工学専攻

Large sand bars which had been fixed for a long time in the estuary of the Shigenobu river in Matsuyama city were deformed intensively by several large floods which occurred successively in a short period in 1993. And the bars above sea level at mean tide became diverse, which resulted in the change of vegetation (reed) area on the bars. This two-dimensional morphological change in the estuary is surveyed and numerically simulated with the finite difference method for the two-dimensional shallow water equations, and the scale of tidal marsh at both low and high tides is discussed from the view point of vegetation area on the bars. The vegetation area four years after the floods changed and diverged according to the deformation of the sand bars above sea level at the tide of T.P.1m.

Key Words : morphological change, estuary, vegetation area, the Shigenobu river

1. はじめに

愛媛県西部の一級河川である重信川の河口部は渡り鳥の重要な中継地となっており, その感潮部河床における干潟や砂州およびその上の植生の保全が必要である。しかし, 1993年の7月から9月までの短期間に図-1に示すような6回の大きな出水により, 河口付近に長年固定され植生が繁茂していた砂礫堆が洗掘された。このような植生をとまうような砂礫堆の変動は河口部における植生域の変化, ひいては渡り鳥の中継地としての機能に障害となる可能性がある。

本研究では, 1993年の短期間の出水による河口部付近の河床変動の実態を示し, それを数値シミュレーションで解析する。また, その河床変動によって生じた出水直前と出水4年経った現在の植生域の変化について検討する。

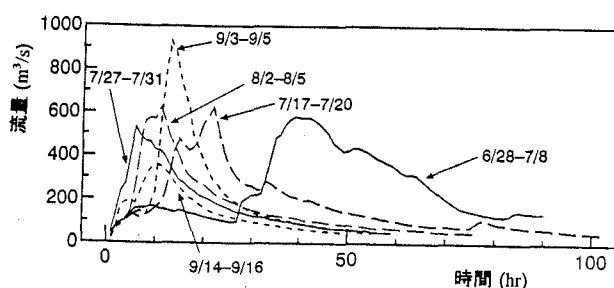


図-1 1993年の主な出水のハイドログラフ

重信川はその水源を愛媛県温泉郡重信町東三方ヶ森に発し, 図-2に示すように表川, 拝志川, 砥部川, 内川, 小野川および石手川などの大小74の支流を合流し, 道後平野を貫流して伊予灘に注いでいる。流域の形状は放射状のパターンを示し, 流域面積は445km²である。幹線流路延長はわずか36kmと比較的短く,

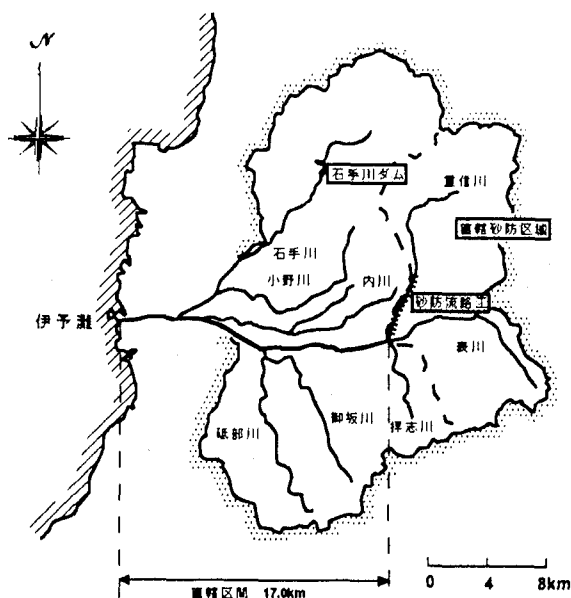


図-2 重信川流域

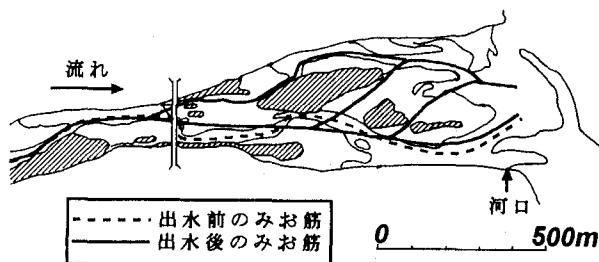


図-3(a) 洪水前後のみお筋の変化

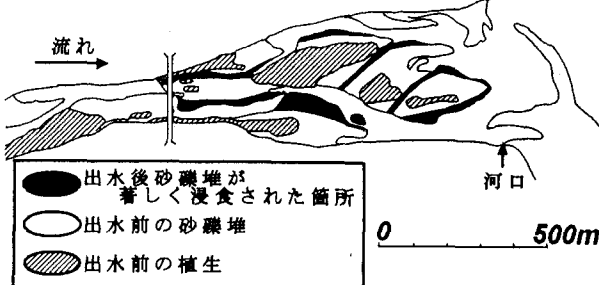


図-3(b) 洪水前後の砂礫堆の侵食および植生の状況

河床勾配は上流部において 1/10~1/110, 中流部では 1/110~1/230, 下流部では 1/390~1/940 程度であり, 急流河川と称される部類に属する。重信川の最近の一次元河床変動傾向は, 上流域の砂防施設の建設によって流入土砂が少なくなっているため, 河口から 9km 地点より上流側で河床低下傾向にある。一方, 河口~9km 区間の河床は, 支川砥部川からの流入土砂等によりほぼ平衡状態である¹⁾。

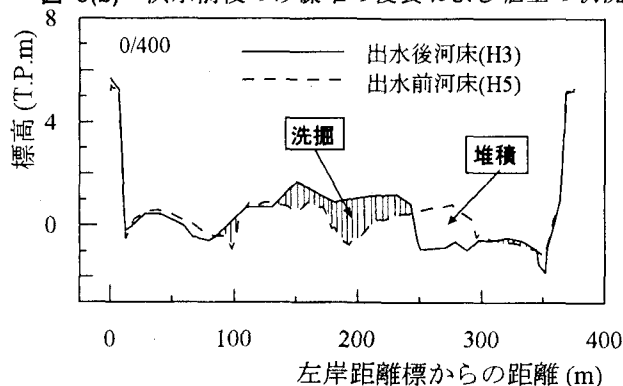


図-4 1993洪水前後の横断河床形状

2. 1993年出水による河口部河床変動²⁾

(1) 河床変動の実態

図-3 (a) には 1993 年 6 回の大きな出水前後の河口部 (0km~2km) の低水時のみお筋の変化を, また図-3 (b) には出水前後の砂礫堆の侵食状況および植生の規模を示している。河口から約 1.0km 地点の川口大橋より下流側は川幅が下流に向かって徐々に広がるものの直線河道となっており, 河道中央部には大きな中州が形成されている。出水前はみお筋が右岸側に寄っており, 河口から約 0.3km 地点より上流側の中州上には植生が繁茂していることから, この砂州が長期間にわたって固定されていたことが推定される。1993 年の出水後には図-3 (b) の黒く示している部分が大きく洗掘されたため, 河口部の砂州はそれまでの交互砂州がやや網状に変わった。すなわち図-3 (a) に見られるように河道中央部の砂州を横断するような流れが生じるようになり, 河口付近では左右岸近くにみお筋ができ, 低水時の主たる流れはより右岸に移動している。図-4 は一例として河口から 400m 断面での横断河床形状を出水前

(1991 年) と出水後 (1993 年) で比較したものであるが, 中州が幅 100m にわたって最大 2m 程度侵食されており, また右岸よりに土砂堆積が見られ, みお筋の幅が半分の 50m 程度に減少していることがわかる。

(2) 河床変動の数値シミュレーション

a) 計算手法および初期条件

流速場として二次元浅水流方程式を差分法で解くことによって平面二次元の河床変動数値計算を行う。すなわち, 流量の変化に対応する水流の応答速度が, 河床変動速度に比して無限に大きいと仮定し, 微小時間 Δt 内で一定流量を与え定常流として, 計算格子上的の流れ場 (水位, 流速) を計算する。この流れ場に対して平衡流砂量を計算し, 各格子間の流砂量の差を用いて時間内の河床変動量を計算する。一方, 下流端においては境界条件として水位一定の条件を与えるが, 基本的には流量ハイドログラフに対応する時刻の潮位記録より与える。このとき, 時間流量から求められる下流端での等流水深より潮位が低い場合は, 等流水位を下

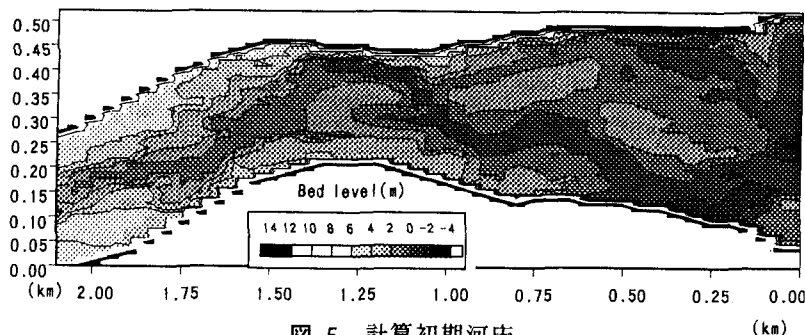


図-5 計算初期河床

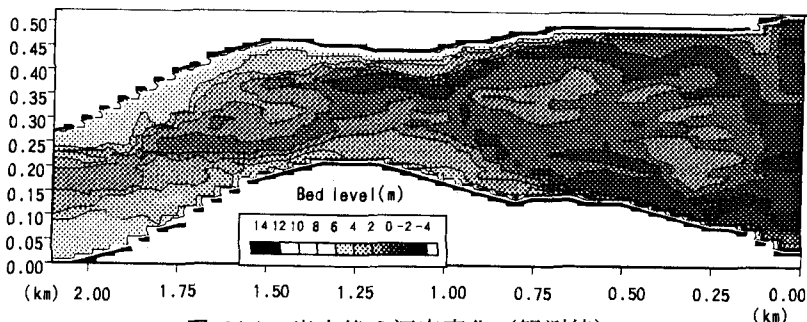


図-6(a) 出水後の河床変化 (観測値)

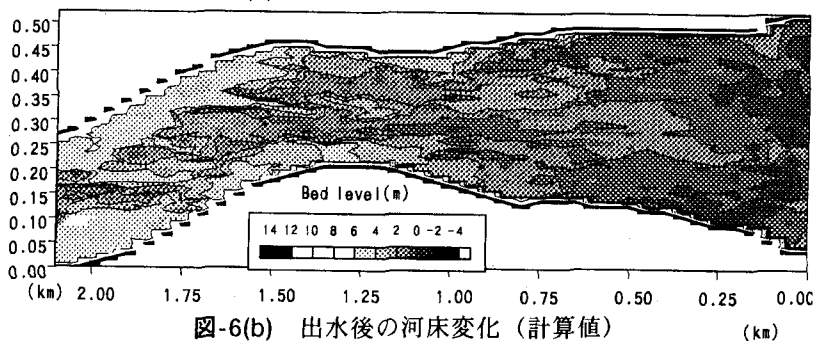


図-6(b) 出水後の河床変化 (計算値)

流端の水位条件で置き換えた。

計算の対象とする区間は河口(0km)から上流の2kmまでを流下方向に $\Delta x=50\text{m}$ 間隔、横断方向に $\Delta y=10\text{m}$ 間隔に分割して計算格子を作成し、各格子点上での河床変動を求める。流量は上流端断面において与えるが、流れを定常流として計算するために、ハイドログラフを微小時間 Δt 内で流量が一定になるよう適当な時間ステップで階段状に分割する。このとき、図-2を参照して上流端断面($x=2\text{km}$)では河床変動がないものとして、その地点での流量が流し得る平衡流砂量を与えた。初期河床高については、1991年(H3)測定の200m間隔の横断測量結果および航空写真などから推定される河床高を、各格子点上に内挿して与え、河床砂礫径については、場所的に大きく異なるが、便宜的に平均粒径の15mmの均一砂とした。Manningの粗度係数 n を厳密に設定するのは困難であるが、低水路内では重信川で通常用いられている係数 $n=0.030$ とした。また、高水敷上および植生域では低水路内より大きい値を取ると考えられるため、建設省による観測結果⁴⁾を参考にして、0.035と設定したが、この値については今後検討する必要がある。なお、粗度係数を大きくし

た植生域は図-3の斜線部分で示されている。

b) 基礎式の差分化および計算条件

計算は基礎式を離散化し、適切な境界条件の下で定常解に収束するまで繰り返し行う。差分化については中川³⁾による差分スキームを使用する。すなわち、空間差分については2次精度を有する風上差分法を使用し、時間差分についてはLeap-Frog法を用いている。また、壁面での接線方向流速成分については流速値をもつSlip条件とし、法線方向の流速成分を0とした。また、重信川河口部では平水時から出水時にかけて砂州の浮沈が見られることから、非定常計算においては、計算中の水位変動状況に応じて格子点上の河床を水没あるいは露出させる判定条件を取り入れた。すなわち、周囲の平均水位が計算する格子点の河床位を上回る場合はこの格子点を水没させ、逆に下回る場合は露出させて、次の時間ステップでの計算対象領域を変化させた。

c) シミュレーション結果

図-5は計算初期河床の平面図を示し、図-6(a)および(b)はそれぞれ6回全ての出水終了後の実測および計算の平面河床形状を示している。図-7では一例とし

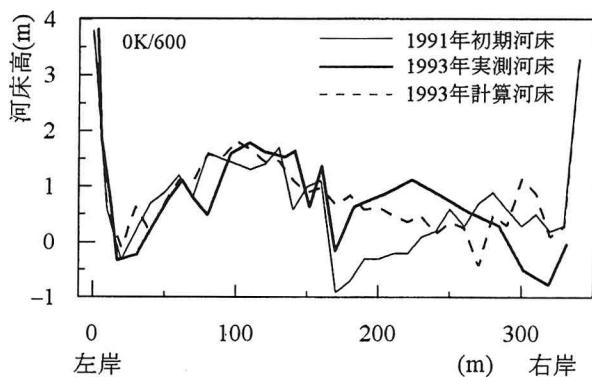


図-7 出水前後の河床横断形状 (0.6km 地点)

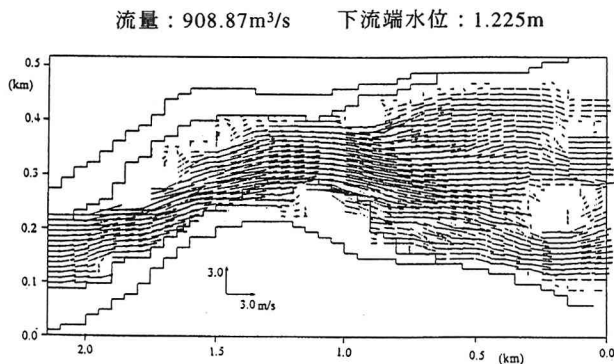
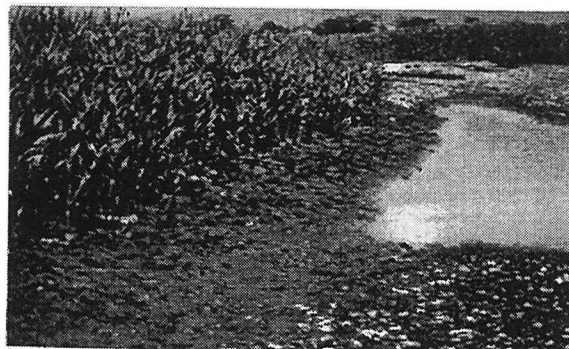


図-8 流れの計算結果の一例



(a) 図-10の A 地点の概観



(b) 図-10の B 地点の概観



(c) 図-10の C 地点の概観



(d) 図-10の D 地点の概観

図-9 1997年における植生領域と湿地帯との境界

て0.6km地点での、出水前後の横断河床形状の実測値と計算値の比較を行っている。なお実測の河床形状については、出水終了後の横断測量図および航空写真などを参考にして、前述の初期河床形状と同様の手法で求めている。比較すべき各洪水後の実測結果がないためここでは図に示していないが、計算では $300\text{m}^3/\text{s}$ 以下の流量では河床の変動はそれほど小さくなく、 $500\text{m}^3/\text{s}$ の流量を越えると河床の変動が顕著になる。最も河床を変化させたのは9/3-9/5の最大ピーク流量 $908\text{m}^3/\text{s}$ であった。計算結果は実測結果と細かいところではかなり異なっているが、河床変動の顕著な両岸付近の低水路形成や河道中央部の砂州の形成はある程度再現していることが分かる。たとえば、河口部(0~1.0km地点)では、右岸側および河道中央部の中州の河床変動が顕著であり、出水前に0.75km地点右岸側に存在していた砂州が、出水後には実測・計算結果

共に消失している。0.9km地点左岸側は、実測では河床が洗掘され、出水後に新たなみお筋が形成されている。計算の左岸側の洗掘傾向は実測ほどにはなっていないものの洗掘傾向は同じである。1.0km地点より上流側では、洪水後の実測河床が全体的に平坦化している傾向は計算によって示されているが、平坦化の程度は計算値の方が大きい。なお、図-8には一例として最も流量が大きかったときの流れの結果を示したが、河道中央部の中州上にもかなり速い流れが生じている。以上、実測値と計算値では河床変動状況にかなりの相違が見られるものの、実測値の推定において詳細なデータが得られなかったことや、流れの計算を微少時間内で定常流と仮定して行ったことなども考慮すると、このようなシミュレーション法では河床変動の傾向はある程度再現できたと考えられる。

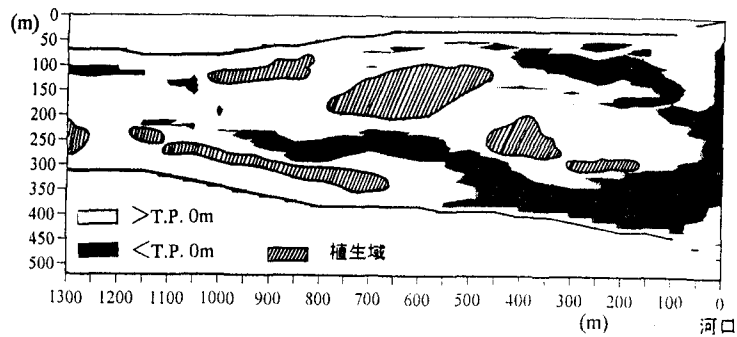


図-10(a) T.P. 0m のときの干潟の大きさ (洪水前)

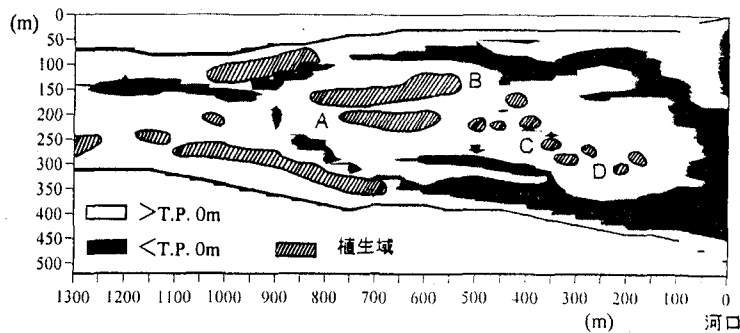


図-10(b) T.P. 0m のときの干潟の大きさ (洪水後)

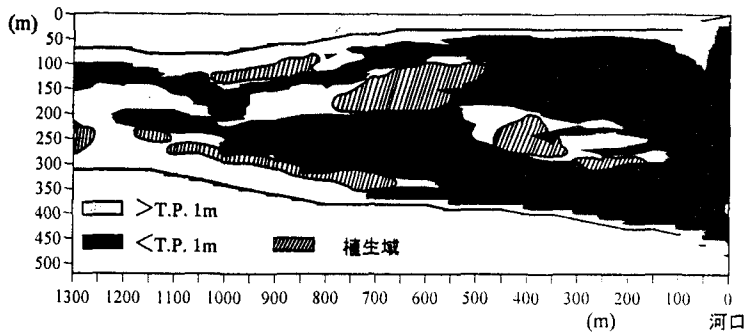


図-11(a) T.P. 1m のときの干潟の大きさ (洪水前)

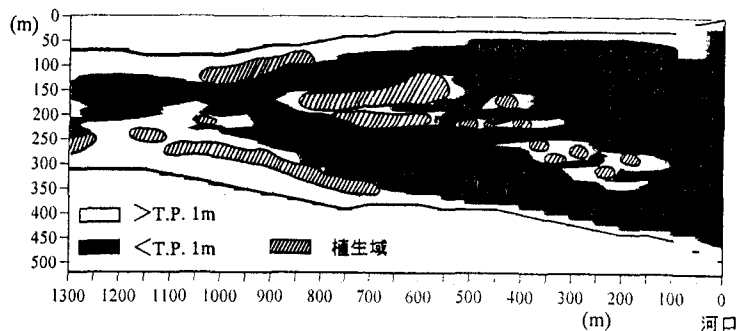


図-11(b) T.P. 1m のときの干潟の大きさ (洪水後)

3. 感潮部の植生域の特性

感潮部干潟における大きな砂州上の一部には主としてヨシが繁茂しているが、この植生域は干潟の河床変化によって変わる。すなわち、潮位変化によって長時間海水に浸される砂州上では植生域は広がることはできない。図-9は1977年7月(洪水4年後)における植生(ヨシ)域と裸地干潟の境界(図-10(b)のA, B, CおよびD地点)の写真である。上流の図(a)および図(b)にみ

られるように河床高のわずかな違いが植生域を変化させていることがわかる。一方、図-9(c)および(d)のように、河口に近い部分の植生境界では干潟が急勾配であり、そこでの植生は砂州の頂部付近のみに育成している。図-10と図-11は、それぞれ潮位がT.P. 0mおよびT.P. 1mのときの干潟の大きさを示している。なお、図(a)および(b)は、それぞれ洪水前および洪水後のものである。図中、斜線部は高さが1m~2mのヨシの生育域を示している。干潟の河床変化と植生域の変化との

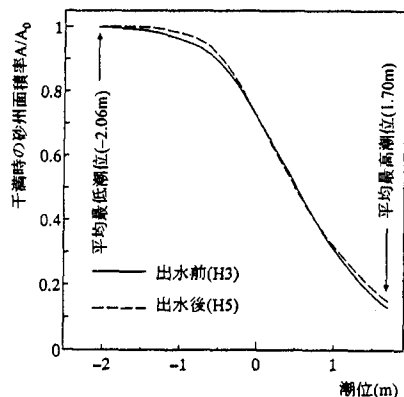


図-12 潮位(z)と干潟の大きさ(A)

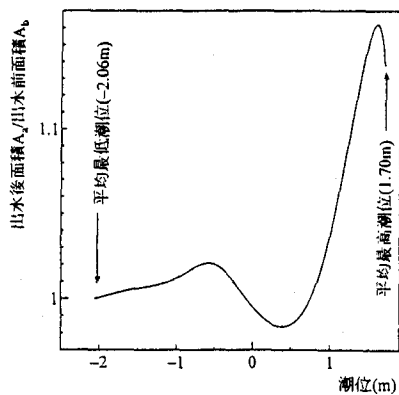


図-13 干潟面積比 A_0/A_b

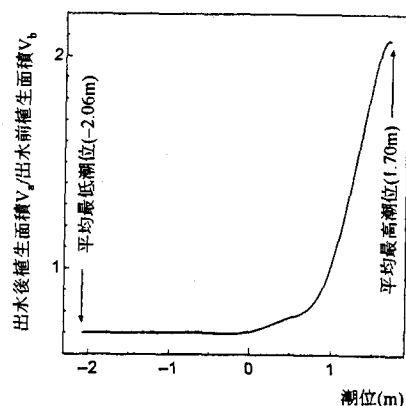


図-14 出水前後の植生面積

対応がこれらの図からわかるが、植生域はほぼ T.P.1m 以上の砂州上の領域に対応しているようである。なお、重信川河口での平均最大潮位および平均最小潮位はそれぞれ T.P.1.70m および T.P.-2.06m 程度であって、T.P.1m 以上の植生域が全く海水に浸されないわけではない。河口から 0km~1.3km 区間では、平均最小潮位のときはほぼ全域が干潟となるが、平均最大潮位ではほとんどの砂州は海面下となる。1993 年の洪水によって砂州の一部は洗掘されたが、土砂の堆積も同時に生じた。洪水によって低水路がより右岸側に移動するとともに、砂州を斜めに横切る数本の浅い水路が形成され、4年後の植生域はこれらの水路によって多くの場所に分離させられている。

図-12 は潮位(z)と河口から 0km~1.3km 区間の干潟の大きさ(A)との関係を示している。なお、 A_0 は洪水前の平均最小潮位(T.P.-2.06m)時の干潟の大きさである。潮位 T.P.0m 前後で干潟面積が急激に変化しているので、T.P.0m の干潟河床勾配が緩やかになっていることがわかる。また、T.P.1m 以上の干潟は約 20% 程度である。干潟の面積特性は洪水前後で大きく変化しているわけではないが、各潮位に対する洪水後の干潟面積 A_a と洪水前のもの A_b の比は詳細にみると図-13のようになっている。洪水後 T.P.1m 以上の干潟がやや増加している。このような河床高のわずかな変化が植生域の規模に影響を及ぼすことが考えられる。ただし、T.P.1m 以上の干潟の面積だけでなく、砂州・干潟の形状も植生域特性を決める要素であろう。

図-14は各潮位に対する出水後植生面積 V_a と出水前植生面積 V_b の比を示したものである。図-13と対応するように、T.P.1m以上で植生が増し、T.P.0m~T.P.1mの間で減少している。感潮部における植生域は、図-15の模式図に示すように、植生の根の位置、洪水の地下水位、海水位あるいは海水に浸る時間頻度等によって決まると考えられ、これらとの関係は今後の研究課題である。

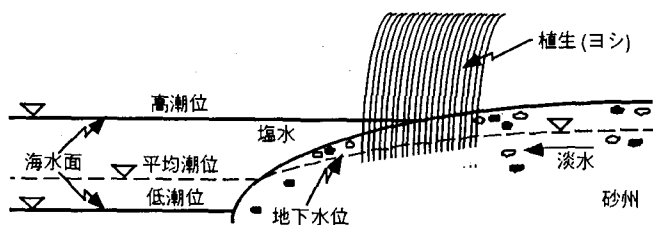


図-15 感潮部における植生域モデル

4. おわりに

重信川の河口付近の砂礫堆やみお筋が短期間の大きな出水によって大きく変形したことを数値シミュレーションによって検討した。すなわち、1993 年(H5)には 6 回の大きな出水があり、長年固定して植生が繁茂していた砂州が移動するほどの河床変動が生じたが、二次元河床変動シミュレーションによって再現計算を試みた結果、局所的には計算と実測とはかなり異なるところもあったが河床変動の顕著な部分の変動傾向はある程度再現できることが分かった。また、その出水後 4 年間の植生領域の変化特性についても考察したが、河口部における最近の 4 年間の植生領域は、砂州の地形的な変化に応じて変化していることが認められた。

謝辞

建設省松山工事事務所から重信川の河床縦横断面測量のデータをいただくなど、多大な協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 鈴木・渡辺・山上：重信川の河床変動について、愛媛大学工学部紀要，11巻4号，pp.167-175，1989。
- 2) Suzuki, K. and Yamamoto, H. : Proc. 27th Congr. of IAHR, vol.B-1, pp.731-736, 1997。
- 3) 中川一：洪水および土砂氾濫災害の危険度評価に関する研究，京都大学学位論文，1989。
- 4) 建設省河川局治水課：第42回建設省技術研究会河川部門指定課題論文集，1989。

(1997.9.30 受付)