

河口デルタ海岸の侵食と漂砂源管理について

土 屋 義 人*

1. 緒 言

わが国では、河川流域の開発に伴う漂砂源の減少や海岸構造物の築造による沿岸漂砂の遮断により、著しい海岸侵食が起こり種々の対策がとられてきたが、多くの砂浜海岸は変貌してきた。たとえば、河口デルタの縮小に伴う海岸侵食に対しては海岸堤防、離岸堤などにより海岸線を死守してきたが、ともすればわが国の海岸の形成過程についての認識が欠けていたきらいがあり、漂砂源の確保に基づいた海岸保全を追及しなければ、いたずらにブロックでシールドされた海岸となって外力の増大を一層助長することから、現状の海岸保全に危機感さえ感じる。

一方、わが国では、海岸堤防、護岸、突堤、離岸堤をはじめ、緩傾斜堤、リーフ工法などが開発され、面的防護方式の徹底のもとに海岸線の維持に努めてきたが、アメリカ合衆国や欧州諸国では養浜が主流である。これら両者の方法には、海岸侵食に対して、構造物で海岸線を死守してブロックの基場を残すか、養浜の維持管理に追われながらも砂浜を残そうとするか、そこには思想的に大きなギャップがある。本文では、その根源の1つがわが国とアメリカ合衆国などにおける砂浜海岸の形成過程の相違とその認識にあるものと考え、これまで実施されてきた海岸侵食対策では、海岸線を死守することには成功してきたが、砂浜は消滅し、海浜の安定化は期待できず、むしろ変容の過程を辿っている現状から、改めて海岸侵食に伴う汀線変化の動態を漂砂源の変化との関係で調べ、漂砂源管理の在り方について考察する。

2. わが国海岸の形成と侵食対策の背景

(1) 砂浜海岸の形成

海岸は地殻変動や海水面の変動と深く関係し、河川などからの土砂流出によって形成されるが、その過程は一般に複雑である。地殻変動に基づいた Inman & Nordstorm (1971) による海岸の分類によれば、わが国の海岸は典型的な collision coasts であり、さらに海岸地形に基づけば、mountainous coasts である。とくに、日本列島

はユーラシア大陸の東端にあり、太平洋およびフィリピン海プレートが潜り込んでおり、太平洋に面する海岸は典型的な collision coasts であり、また北アメリカ大陸の太平洋沿岸も collision coasts である。一方、大西洋およびメキシコ湾沿岸は典型的な trailing-edge coasts であり、前者に比べるとそれらの性状は根本的に異なる。たとえば、前者、一例として駿河湾沿岸に位置する静岡・清水海岸では、長期的には地殻変動に伴って形成された海溝等の中に流出土砂が流入していく傾向にあり、陸棚の発達が悪く、狭小で数 km 以下であるが、後者、一例として大西洋沿岸の Long Bay 海岸では、陸棚は発達する傾向にあり、一般に広大であり、50 km から 170 km に及ぶ。したがって、そこに形成されている砂浜海岸の規模は背後地からの漂砂源に関係するとしても大きく異なる。そこには、種々の形成過程を経て砂浜海岸が形成されているが、わが国の場合は、いずれも狭小な陸棚のうえに形成された砂浜海岸であり、両端を岬で囲まれた小規模な砂浜海岸を除いて、一般に、かなり多量の漂砂源が存在してこそ、砂浜海岸が存在できていることに留意しなければならない。

(2) 海岸侵食対策における背景

a) 海岸侵食と砂浜の保全 従来、わが国では海岸侵食に対して構造物による制御方式に依存してきたが、アメリカ合衆国では養浜を主体としている。これらの思想的な背景がどこにあるのかを考えることも有意義であろう。まず、わが国では、国土が狭く、前述したように砂浜海岸も狭長で規模も小さいうえに、その背後地の開発、利用が進んでいるため、海岸線を維持することに主眼が置かれてきた。そのうえ、わが国における海岸がいわゆる collision coasts であり、その形成過程が生かされてきたかどうか疑問である。

一方、アメリカ合衆国の大西洋沿岸は trailing-edge coasts であり、雄大な砂浜海岸が形成されており、構造物によって侵食制御を図るよりも、養浜により砂浜を造成する方が沿岸環境の保全のみならず、利用者の安全性からも優れていると考えている。最近、アメリカ合衆国 (ASBPA, 1996 および Davison, Buckley & Krimm, 1996) では、養浜による砂浜海岸の保全が主体的に実施

されてきたが、多くの場合繰り返し資浜することになり、かなり多額の経費を必要とする。しかし、これにより異常波浪による災害を軽減することができるうえに、多くの観光客が集まるので、両者の経済比較の問題であるとさえいわれている。一方、資浜しなかった侵食海岸は、わが国と同様に護岸された海岸となるため、生態系への影響が著しくなると判断している。

b) 海岸法の立場 わが国の海岸法はいわゆる施設法であり、海岸管理のための管理法ではない。たとえば、沿岸漂砂が存在する砂浜海岸であっても、海岸の所轄が別れていると、海岸侵食対策のために沿岸漂砂の連続性を確保しなければならない場合の法規制はなく、協議事項となっている。一方、アメリカ合衆国(たとえば、Florida State, 1991)では、各州ごとに海岸法があるが、その規範はほとんど同じであり、少なくとも当該州内では漂砂の連続性を確保すべきことが法規制されており、州境界においても同様に取り扱われることが原則となっている。さらに、漂砂のみならず、生態系の保全に対しても法規制され、開発に伴って生態系が損なわれる懸念がある場合には代替地を確保することが義務付けられているなど、海岸法が管理法となっている。

3. 河口デルタの縮小過程と海岸侵食

最近、Inman (1987) の研究に基づいて宇多ら (1994) は土砂の集合体の移動速度から erosion wave の移動速度を見出したが、土屋 (1995, 1996) は静岡および下新川海岸における汀線変化の現象を再検討し、拡散現象として考えられるか、波動現象として取り扱うべきかについて調べた。ここでは、それらの結果から、わが国における河口デルタ海岸の典型である静岡・清水海岸における海岸侵食による汀線変化の実態から、河口デルタの縮小過程としての海岸侵食について考察する。

(1) 静岡・清水海岸の形成と侵食過程

a) 海岸の形成 まず、この海岸は駿河湾の西部に位置して、安部川を唯一の漂砂源とする。駿河湾は南海トラフの北端にあり、そこには狭い陸棚があり、水深 100 m から急激に海溝に入り込んでいる。来襲する主波浪は台風によるもので、その波向はSまたはSEであり、漂砂系として考えれば、安部川からの多量の漂砂源は、一部は前面に形成された河口デルタ部に相当する狭い陸棚を通じて海溝に流失し、NE 向きの沿岸漂砂となって砂浜を形成し、砂嘴、美保の松原を形成するが、最後には海谷へと流出する自然の過程において、ある平衡状態として狭長な砂浜が存在できていたと理解できる。

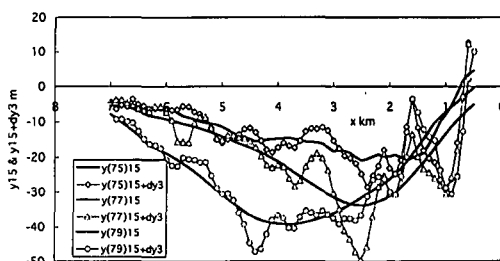
b) 侵食過程 豊島ら (1981) によると、昭和 34 年の伊勢湾台風、昭和 41 年台風 6626 号によって安部川河口左岸が被災したが、昭和 42 年までにはほぼ全域に海岸堤

防が設置された。昭和 52 年ころには侵食が起こったが護岸が決壊するような災害には至らなかった。それ以降では海岸堤防は随所で決壊し、侵食範囲も順次北進した。その後、海岸侵食はさらに著しく、1983 年頃より離岸堤の建設が始まり、現在では、ほとんど全域に設置されている。漂砂源としての安部川では、1968 年以前には、河道における砂利採取が広範囲に行われ、これによる漂砂源の減少により著しい海岸侵食が起こり、その範囲が北進したといわれる (宇多ら, 1994)。

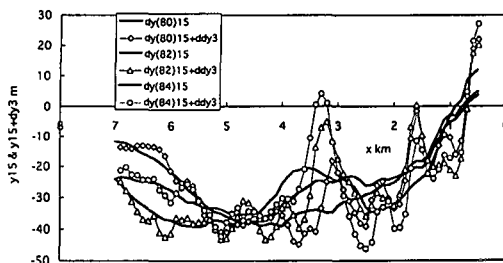
(2) 河口デルタの縮小過程としての海岸侵食

a) 拡散現象としての汀線変化 汀線変化の資料から、数 km に及ぶ汀線変化から数百 m 程度の海岸決壊を含む変動を抽出するために、適当な間隔で移動平均操作により、河口からの汀線変化の時空間変化を調べた結果 (Tsuchiya, 1996) を図-1 に示す。ただし、図中の太い実線は 15 点の移動平均によって求められた汀線変化(たとえば、 $dy(74)15$ で 74 は 1974 年を示す)であり、汀線変化の変動を考慮して 2 年間毎に図示してあり、またマークを付けた細い実線はそれからの変動を 3 点の移動平均した結果である。太い実線で表わした汀線変化は少なくとも 1979 年までは沿岸漂砂の方向に次第に汀線変化が拡大しており、拡散現象としての汀線変化をよく表わしているの、その隔年毎の変化を図-2 に示す。

これらの結果から、まず離岸堤群が建設される以前、1979 年までに注目すると、移動平均された汀線変化は拡散現象として取り扱うことのできる現象であり、河口か

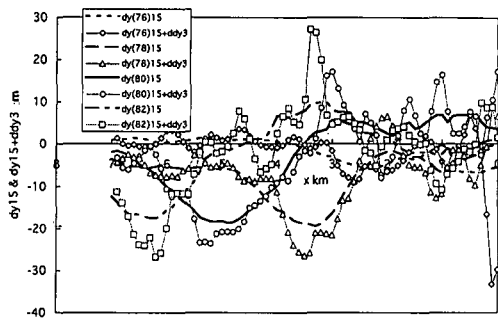


(a) 1975 年から 1979 年

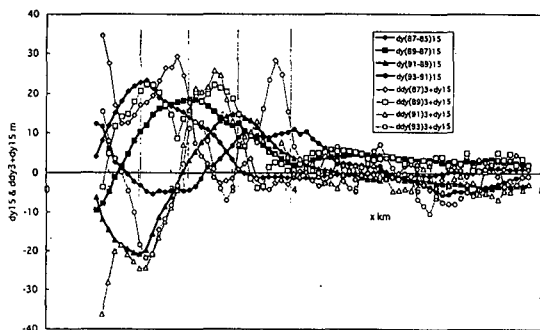


(b) 1981 年から 1985 年

図-1 拡散現象としての汀線の時空間変化と変動



(a) 正の侵食波の伝播 (1976 年より 1982 年)



(b) 負の侵食波の伝播 (1987 年より 1993 年)

図-2 拡散現象としての侵食波の伝播と汀線変動

ら沿岸漂砂の方向に次第に拡大し、その隔年毎の変化は図-2のようにGreen関数表示されるような拡散現象として伝播する侵食波が存在し、図-3のように伝播したので、この侵食波は1972年頃発生したと推定される。ただし、図中erosive wave (DP) および (DN) はそれぞれ拡散現象として伝播する正、負の侵食波を示す。言い換えれば、正の侵食波は1972年頃河口からの漂砂源が減少したことにより、局所的に汀線変化を生じて、それが侵食波となり拡散現象として伝播したものと考えられる。その後、急激な漂砂源の増加により負の侵食波（堆積波）が発生し、伝播したものと理解できる。このように河口デルタ海岸における海岸侵食は、漂砂源の欠如または急増に伴って、正または負の侵食波が発生することによって起こるものと理解される。

b) 波動現象としての汀線変化 図-1および2に示した汀線変化の変動部分を取り出し、3点の移動平均したものにょれば、河口付近では振幅が大きく、沿岸漂砂の方向に次第に減衰し、それぞれの峰が波動現象のように伝播し、そのパワースペクトルを計算すると、単一のピーク波数をもつスペクトルで表わされることがわかっていく (Tsuchiya, 1996)。

このような変動を波動現象としての侵食波と呼び、拡散現象としての侵食波と波動現象としての侵食波の経年

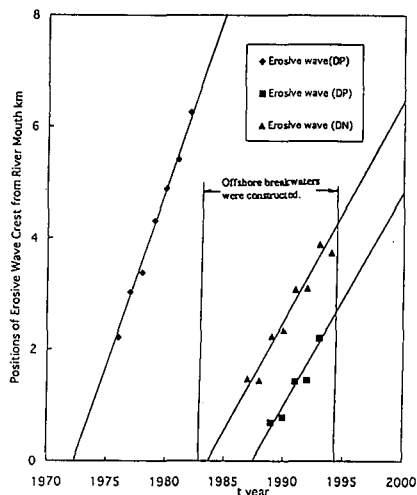


図-3 拡散現象としての侵食波の伝播

変化を調べた結果によれば、拡散現象としての侵食波より、かなり速い伝播速度で波動現象としての侵食波が伝播する。したがって、海岸侵食に伴う汀線変化は、大きな空間変化として現われる拡散現象としての侵食波が沿岸漂砂の方向に拡散していき、それに重なって波動現象としての侵食波がより速い速度で伝播する複合現象として理解できる。

(3) 海岸侵食に伴う海底地形の変化

a) 海浜断面の変化 海岸侵食による汀線の後退に伴って海浜断面は決してそのままではなく、必ず急峻化していくので、碎波波高を増大することになり、海岸侵食を助長する。ここでは、海浜断面の変化とその沿岸方向の変化を考察するために、武内ら (1984) にならって、海岸侵食に伴う等水深線の離岸距離の変化を1969年より5年ごとに1984年までの期間における汀線変化の沿岸方向分布と等水深線の離岸距離の沿岸分布との関係で調べた結果、いずれの水深でも経年的に等水深線は向岸に移動し、その傾向は水深2mの場合が著しく、明瞭であり、とくに河口付近の傾向は1979年までは向岸に移動したが、1984年ではかなり前進している。海浜勾配の変化によれば、水深0m(汀線)を基準として所定の水深までの勾配は、水深2m、4mおよび6mのいずれの場合でも、全体的には海浜勾配は急速に急峻化していき、水深2mおよび4mの場合はとくに著しい。しかし、1984年では、河口付近よりかなり広い範囲で、むしろ緩傾斜化しており、負の侵食波の発生と関係している (土屋ら, 1997)。

b) 河口デルタ地形の変化 河口デルタ部の東側のみを対象として、5年ごとの等水深線の経年変化を調べた結果では、一般的には堆積傾向にあるが、1969年より1974年の5年間はほとんど変化がなく、むしろ減少して

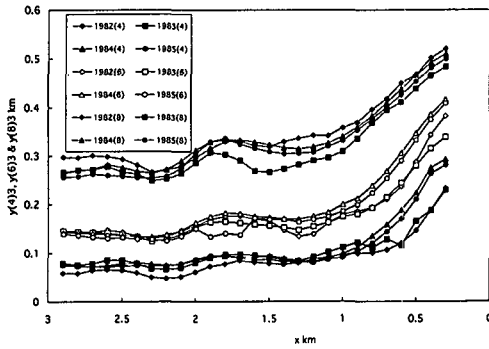


図-4 1982年から1985年の河口デルタ地形の変化

おり、1979年より1984年の間では、広範囲な堆積が起こっていることがわかっている。この事実は前述した侵食波の発生との関係で考察すると、明らかに前者は1972年ころに発生した正の侵食波に対応しており、また後者は1983年に発生した負の侵食波の発生時期である。1983年前後における河口デルタ地形の変化を調べた結果の一例(水深4m, 6m, 8mの場合)を図-4に示す。これによれば、明らかに著しい河口デルタの発達として土砂堆積が起こっており、この地形変化は前述した漂砂源の減少によるデルタ地形の変形と全く異なり、河口部のかなり広範囲に及ぶことが特記される。しかし、河口部から離れると侵食領域に負の侵食波が伝播していくために、等水深線が変動し、岸または沖側へ移動する。

(4) 漂砂源の変化と侵食波の発生

以上述べた河口デルタ地形の変形から、まず1972年前後では河口デルタは縮小し、来襲波浪の変形と関係して正の侵食波が発生したものと考えられる。この時期の漂砂源の変化を知るために、安部川の流量記録を用いて、総流送土砂量が流量の2乗または3乗に比例すると仮定して年間の漂砂源に関係する量($Q^2E-7=10^7 Q^2 m^3/yr$)の経年変化を図-5に示す。ただし、波浪の観測記録がないので、外力については改めて追算しなければならない。これから1972年前後の約10年間は洪水流出も少なく、そのうえ宇多ら(1996)が指摘しているように、1968年以前に実施された多量の砂利採取により、安部川の扇状地河道では年平均河床面の低下量が1.3mに及び、1972年前後では著しい土砂堆積の傾向にあったことから、この期間では漂砂源の著しい減少または欠如が起こっていたといえる。そのため、河口デルタ地形の変化が現われ、それが正の侵食波の発生となり、著しい海岸侵食として拡散し、変動を伴って沿岸漂砂の方向に伝播したものと考えられる。

ついで、1983年前後の約5年間には大洪水が頻発し、宇多ら(1996)も述べているように、著しい土砂供給があったために、図-4に示した河口デルタ地形の変化、す

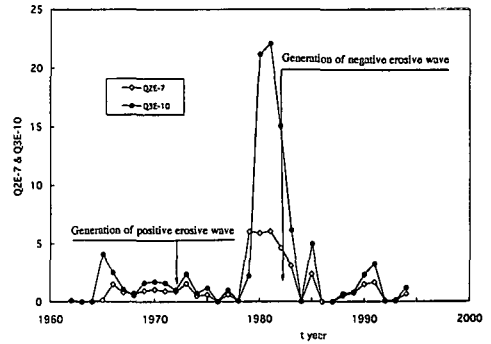


図-5 安部川からの漂砂源の変化

なわち土砂堆積がかなり広範囲に起こり、その漂砂源の変化とそれに伴う汀線変化が初期・境界条件となって負の侵食波を発生させ、図-2(b)に示したように沿岸漂砂の方向に拡散しながら、また変動が加わって伝播していったものと考えられる。

4. 河口デルタ海岸の保全と漂砂源管理

(1) 河川管理と海岸保全

従来、わが国では海岸管理は行政的に所轄が決められて管理されるが、自然現象としての漂砂系の存在は行政的には十分考慮されていない。そこには本質的に3つの問題が存在する。

1) まず、海岸からみれば、河川は主要な漂砂源であり、それにより砂浜海岸が形成されてきたのである。水系一貫した流送土砂管理は、河川流域だけに限定する根拠は存在しない。土砂生産域から流出した土砂が、その移動形態を変えながら、海岸漂砂となり、その終末状態として停滞するまでの全域を包含する広域な土砂流出・漂砂系の存在を認知しなければならない。

2) 海岸では、海岸の開発・利用に伴って所轄の海岸ごとに分担管理されるが、多くの場合漂砂系の存在を行政的に認知することなく、海岸侵食の要因を発生させながらも、沿岸漂砂の下手側への影響を余儀なくしてきているものが少なくない。その結果、自然現象としての漂砂系に著しい変容を余儀なくしてきており、著しい海岸侵食に悩まされ、ブロックでシールドされた海岸に変貌し、その傾向は悪化してきている。

3) さらに、河口デルタ海岸の侵食は河口デルタの縮小過程であり、その漂砂系を考慮して大規模海浜過程として海浜の安定化を図るべきであるが、その形成に必要な漂砂源の推定はいまだ実施されていない。漂砂系を形成する砂浜海岸が要求する漂砂源の量と質の推定こそ、海岸保全のための漂砂源管理の基本である。

(2) 漂砂源の変動と海岸保全

前述したように、静岡海岸の河口デルタは漂砂源の変

化により著しく変動し、それが海岸侵食の要因となって侵食波を発生させたことがわかった。この事実は、河口デルタ海岸では、砂浜を十分涵養できる漂砂源が存在してこそ、砂浜が存在できることを強調している。このような漂砂源の変動に対して、そこに砂浜が形成され、存在するためには、通常の変動に対しては河口デルタ自身が漂砂源を調整し、漂砂系を維持できるが、漂砂源の変動がある閾値を超えると、侵食波が発生するのである。そこには、漂砂源の変動に対して発生した侵食波の拡散、伝播による汀線変化を十分許容できる砂浜の存在が不可欠である。

(3) 海岸保全と漂砂源管理

近年、山地流域からの土砂生産量はかなり減少してきており、また河川流域の開発に伴う河川横断構造物の建設による流送土砂の扞止により、漂砂源は減少する傾向にある。さらに、砂利採取は漂砂源を直接減少させ、河床低下を生じさせたために、漂砂源を一層減少させてきた。これらの事実から、河口デルタ海岸の保全と漂砂源管理における基本事項として、つぎのことを挙げることができる。

1) 土砂流出・漂砂系の確保 河川流域から生産、流送される土砂は、河口デルタ海岸の保全からすれば漂砂源であり、そこには自然が形成する土砂流出・漂砂系が存在する。その系を確保し、適切に管理することが、河川管理、海岸管理の基本の1つである。その系を分断すれば、必ず自然の反作用としての海岸侵食または海岸決壊を起こすことになるので、土砂流出・漂砂系の存在を認識し、その動態を十分把握して、河川・海岸全域の管理に当たるべきである。

2) 土砂流出系の変化による漂砂系の変動予測 近年、土砂流出・漂砂系は著しく変貌してきたが、その過程を知るためのかなりの資料が蓄積されている。まず、河川流域の開発が進むまでの期間について、土砂流出系を再検討し、その実態を調べ、それを漂砂源とした海岸の実態から漂砂系を究明することにより、土砂流出・漂砂系を解明する。ついで、河川流域の開発に伴う土砂流出系の変化を調べ、漂砂源の変化のみならず、漂砂源の変動による漂砂系を究明すべきである。

5. 結 語

以上、本文では河口デルタ海岸の保全に関する基本的事項について考察したが、その根拠は従来海岸侵食対策に当たっては、多くの場合対象海岸の形成過程に関する

認識が十分ではなかったことに対する反省のうえで、まず、わが国の砂浜海岸の形成過程について考察した。ついで、河口デルタの縮小に伴う海岸侵食の実態を汀線変化とその変動として調べ、海岸侵食に伴う海浜地形の変化を明らかにするとともに、これらの結果に基づいて、河口デルタ海岸の保全とその漂砂源管理について考察し、土砂流出・漂砂系の確保を図るべきことを主張した。

最後に、本研究のうち静岡海岸の海岸侵食の研究に当たっては、静岡海岸調査資料の提供をいただき格別のご配慮をいただいた静岡県静岡土木事務所木村係長および海野主任、さらに安部川の流量資料を提供していただいた建設省静岡河川工事事務所永田調査課長に感謝するとともに、この研究は文部省科学研究費基盤研究A1(No. 07555164)および(財)河川環境管理財団河川整備基金助成事業(助成番号8-1-4-9号)によって実施されたことを記して謝意を表明する。

参 考 文 献

- 豊島 修・高橋 彌・鈴木 勲 (1981): 静岡海岸の侵食特性について, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 261-265.
- 土屋義人 (1995): 海岸侵食の波動性について(1)一静岡海岸の場合一, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 551-555.
- 土屋義人 (1996): 海岸侵食の波動性について(2)一下新川海岸の場合一, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 586-590.
- 土屋義人・伊藤政博・石田一弥 (1997): 河口デルタ海岸の保全と漂砂源管理について一臨海都市の海岸保全一, 都市情報学研究, 名城大学都市情報学部, 第2号, pp. 43-67.
- 武内達夫・宇多高明・中島秀樹・青山春男 (1984): 駿河海岸における海浜地形の解析, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 360-364.
- 宇多高明・三沢博敬・松井初男 (1996): 静岡海岸におけるsand bodyの移動現象のignitionについて, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 581-585.
- ASPA Position Paper (1996): On a federal policy for shore protection, Shore & Beach, Vol. 64, No. 4, pp. 3-4.
- Davison, A. T., M. Buckley and R. W. Krimm (1996): Position of the Federal Emergency Management Agency on the report "Beach Nourishment and Protection", Shore & Beach, Vol. 64, No. 4, pp. 5-6.
- Florida State (1991): Chapter 161; Beach and Shore Preservation, pp. 1110-1130.
- Inman, D. L. and C. E. Nordstrom (1971): On the tectonic and morphologic classification of coasts, Jour. Geology, Vol. 79, pp. 1-21.
- Inman, D. L. (1987): Accretion and erosion waves on beaches, Shore and Beach, July-October, 61-66.
- Tsuchiya, Y. (1996): Erosive waves in shoreline change due to the reduction of a river delta, Proc. 25th ICCE, ASCE (in press).