

# 志布志湾押切海岸の侵食とその対策

## —侵食ホット・スポット地形を伴う特異な海浜変形について—

宇 多 高 明\*・西 隆 一 郎\*\*

鹿児島県東部に位置する志布志湾で志布志港に隣接する菱田川から安楽川に広がる海岸中央部では、防波堤による波の遮蔽効果や長期的な海岸過程の傾向のみからは十分説明できない特異な海岸侵食が台風 0111 号により生じた。そこで、一種の侵食ホットスポット地形と考えられる当海域の海岸過程について空中写真解析、深淺測量・波浪観測データの解析、および現地踏査にもとづいて考察した。また今後の防災対策について検討し、高波浪の制御のために低天端リーフを提案した。

### 1. 砂丘侵食研究の概要

図一に示すように、鹿児島県高山町高崎から宮崎県串間市荒崎にまたがる志布志湾には、国定公園に指定され南東方向に開いた長さ約 16.5 km の白砂青松の海岸が広がっている。この海岸には、北から順に前川（流域面積 47.2 km<sup>2</sup>）、安楽川（141.3 km<sup>2</sup>）、菱田川（394.4 km<sup>2</sup>）、田原川（66.5 km<sup>2</sup>）、持留川（28.9 km<sup>2</sup>）、肝属川（485.0 km<sup>2</sup>）が流入している、一方、海岸北部には志布志港の防波堤が 1968 年より順次拡張されてきた。また海岸南部には、東西約 1.5 km、南北約 1.5 km、面積 192 ha を有する石油備蓄基地が建設され、1986 年にはその外郭施設がほぼ完成した。このような地域開発が本格化する以前の海浜変形と漂砂特性について、長友ら（1979）は、安楽川から菱田川間にかけての領域が決壊性で、菱田川以南の領域は堆積性とした。

志布志港および国家石油備蓄基地の建設は、鹿児島県および地域住民の経済活動に大きく貢献している。一方、当時の新全国総合開発に伴う湾岸開発の経済的なメリットに対して、自然海浜が減少するという海岸侵食の問題も顕在化し、南部の柏原海岸では侵食対策として大規模

養浜を施工した経緯がある（西ら、1998）。また、北部海岸においても、防砂突堤や汀線付近への消波工の設置などが行われてきている。

志布志湾南部では、石油備蓄基地背後で砂の堆積が、そしてその北部隣接海浜で最大 100 m を越える汀線の後退が生じたが、このような地形変化は、一般に石油備蓄基地の波に対する遮蔽効果、つまり式（1）に示す沿岸漂砂量公式の第 2 項に起因するものと、人工島沖合の土砂浚渫領域の不規則な海底地形による波の収斂作用が原因と考えられる。

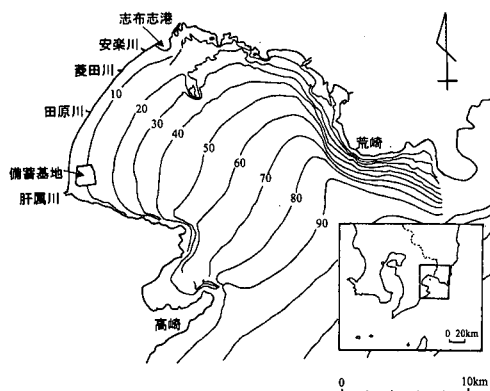
$$Q=(H^2C_g)_b\left(a_1\sin 2\theta_{bs}-a_2\cos 2\theta_{bs}\frac{\partial H}{\partial x}\right)_b\cdots\cdots(1)$$

ここに、 $Q$ : 沿岸漂砂量、 $H$ : 波高、 $C_g$ : 群速度、 $b$ : 碎波条件を表す添え字、 $\theta_{bs}$ : 碎波角である。一方、柏原海岸のように沖合構造物による波の遮蔽効果による海浜侵食と類似の現象が志布志港防波堤延伸によっても生じること、工学的には容易に推測される。しかしながら、本報告で主な研究対象とする菱田川から安楽川に広がる海岸中央部では、波の遮蔽効果および長期的な海岸過程のみからは十分説明できない特異な海岸侵食が台風 0111 号により生じた。そこで、一種の侵食ホットスポット地形と考えられる当海域の海岸過程について、空中写真解析、深淺測量・波浪観測データの解析、および現地踏査にもとづいて考察し、今後の防災対策について検討した。

### 2. 調査地域の概要

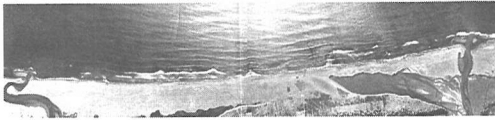
1/5 万地形図（国土地理院、1987）によれば菱田川と田原川の間地点から南側の肝属・持留川河口にかけては幅が広く比高の高い砂丘が発達している、一方、北部海岸では砂丘高も 10 m 程度と低く、しかもその幅が狭い。とくに、菱田川と安楽川の中央部以北では、砂丘の高さと砂丘幅が急激に減少し、背後地の越波・浸水被害に対し脆弱性を有している。そこで北部海岸で海岸砂丘が未発達である原因について考察するために、1948、1970、1981 年に国土地理院により撮影された空中写真を分析した。

写真一(a) に示す 1948 年の菱田川と安楽川の新・旧

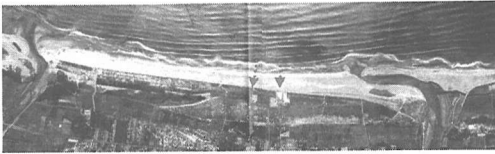


図一 調査対象海岸

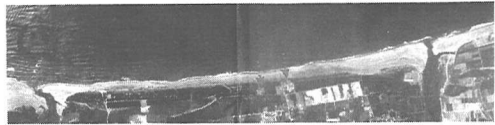
\* 正会員 工 博 国土交通省国土技術政策総合研究所研究総務官  
\*\* 正会員 博(工) 鹿児島大学助教授 工学部海洋土木工学科



(a) 1948年の旧河道と新河道の状況



(b) 1970年の旧河道と新河道の状況



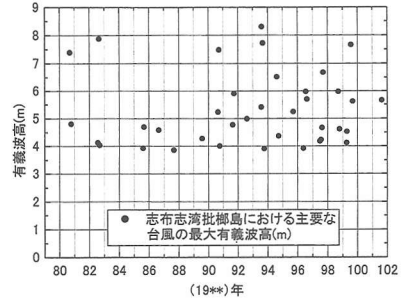
(c) 1981年の旧河道の埋戻し状況と新河道の状況

写真—1 安楽側と菱田側河口付近の地形変化と背後地利用の変遷状況

河道付近の状況によれば、現在押切海浜と呼ばれる部分は旧河道の海側に形成された河口砂州状の地形であった。また、この旧河道は現時点における官民境界のすぐ海側に存在していた。少なくとも1940年代までこの区域は河川流および波の作用をともに受ける区域にあった。しかし写真—1(b)に示す1970年ではこの官民境界のすぐ海側に植栽工が施され、そこに飛砂による砂堆(小砂丘)が形成された。しかしながら砂丘を成長させる飛砂の供給源としてのドライ・ビーチ幅は狭く、しかも砂浜の砂が乾燥し飛砂が発生しやすい条件となる冬季の季節風は、北西～北北西つまり陸風となるために、海岸植生や堆砂垣に多量に飛砂がトラップされることはない。この結果、この領域では1947年以降、1981年(写真—1(c)参照)まで34年以上経過しても第1砂丘が未発達であった可能性が高い。しかも、1981年では1970年と比較して侵食により前浜幅が減少している。

### 3. 海象条件の概要

2001年8月20日の台風0111号により押切海岸で生じた海岸侵食および越波災害は、台風時の高波浪が直接の外力として生じた。そこで、志布志湾枇榔島沖において1980年以降観測された主要な37台風の最大有義波高の経年変化を図—2に示す。1980年以降、有義波高が8, 7, 6mを超える台風はそれぞれ2, 6, 8個来襲している。1980年と1982年に有義波高が7.39m, 7.88mの台風8013と8216号が来襲したのに対し、1983年～1989年では有義波高が5mを超える台風は来襲せず比較的静穏な時期が続いた。一方、1990年代は1993年に有義波高



図—2 主な台風の有義波高の経時記録(枇榔島)

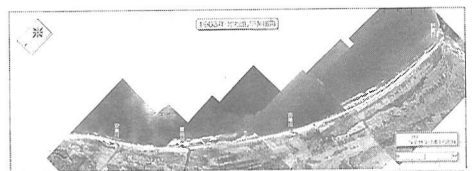
8.30m(周期12.8s)の台風9307号が来襲したほか、観測全期間の上位10位までの台風のうち8個が1990年代に来襲するという、台風時の波が比較的高い時期が続いた。その後、2000年は観測史上初めて台風が県本土に来襲しなかったために4m以上の高波浪が記録されていないが、2001年には波高4m以上の継続時間が約26時間と長い台風0111号が、8月20日に来襲している。

### 4. 海岸過程に関するデータ解析

押切海岸には菱田川と安楽川が流入している。日本の地質(国土地理院CD-ROM版, 1997)によれば、河川流域の地質構成は鹿児島湾内の噴火に伴う火砕堆積物が堆積したシラス地帯となっており、海岸底質も当然ながらシラス性の底質となっている。この海岸の長期的な汀線変動を空中写真により、そして中・短期的な汀線変動および縦断形変化を測深データにもとづき以下に考察する。

#### 4.1 空中写真の判読

当海域は、写真—2に示すように1963年までは沿岸域に人工構造物が存在しない自然海岸であった。その後1976年では、写真—3に示すように志布志港の最も北側の防波堤建設が終了し、引き続き2番目の防波堤が1987年に完成した(写真—4)。また1986年には石油備蓄基地(人工島)の外郭施設が完成し、内部の埋め立て後、備蓄施設の供用が始まった(写真—5)。これらの大規模な沖合構造物設置後の海浜侵食を制御するために、柏原海岸では養浜工と防砂突堤の築造が行われ、安楽川河口部では導流堤と突堤が建設されたことが1996年撮影の写真—6から分かる。



写真—2 志布志湾内の自然海岸の状況(1963年)

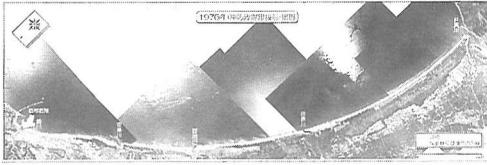


写真-3 志布志湾内海岸の状況 (1976年)



写真-4 志布志港拡張の状況と湾内海岸の状況 (1984年)

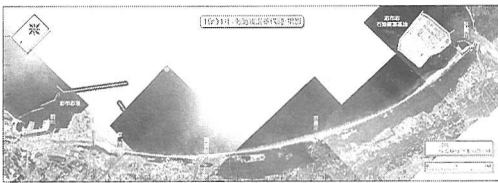


写真-5 石油備蓄基地建設と湾内海岸の状況 (1991年)

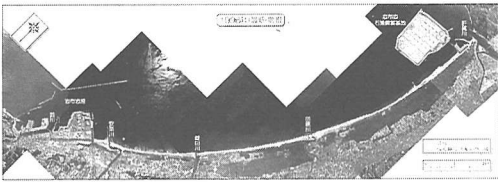


写真-6 石油備蓄基地および志布志港建設に伴う侵食対策工と湾内海岸の状況 (1996年)

## 4.2 汀線変動

志布志湾沿岸は、外洋に面しながらも湾奥にあるために、海岸構造物設置以前の自然海浜は長期的に安定していたと考えられる。しかし湾内の南北両端境界付近での大規模な沖合構造物の建設に伴う波浪場の変化と、境界条件の変化は必然的に汀線変化を引き起こす。また、台風による高波浪にも数年以上の気象変動がある。このため数年に1回程度来襲するような台風時の高波浪により顕著な沖向き漂砂が生じる一方、その後数年にわたる岸向き漂砂による緩やかな海浜回復が生じているとも考えられる。そこでまずは長期間にわたる海浜変形状況を定量化するために、1963～1996年に生じた汀線変動状況を湾内全域にわたり国土地理院撮影の空中写真をもとに調べた。

図-3は、このうち志布志港南端から田原川河口左岸にかけての経年的な汀線変化をまとめたものである。図上段の1963～1970年の汀線変動を見れば、安楽川河口を中心とする約2.3 km区間と菱田川河口の南側の約1.5

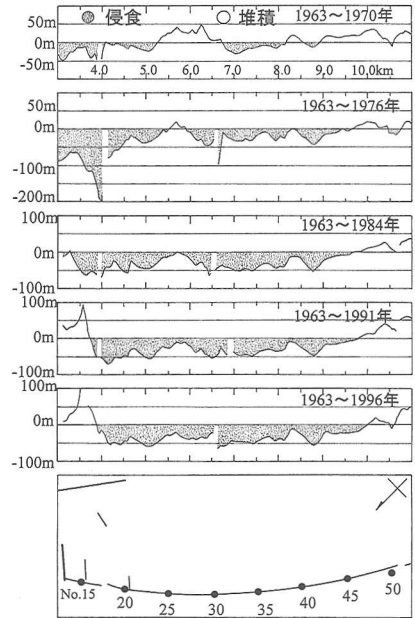
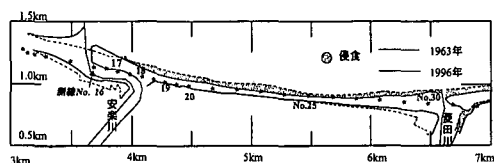


図-3 押切海岸における汀線変動拡大図 (1963～1996年)

km 区間が侵食傾向にあったが、菱田川河口左岸側約1.4 km 区間や田原川河口左岸側の約2 km 区間では堆積傾向にあった。よって、田原川と菱田川からの土砂供給がこの期間中は豊富であったと推定される。しかし1976年以降、1984年頃までは田原川河口周辺部を除いて広い範囲で侵食が生じている。とくに安楽川河口左岸側での汀線の後退が著しい。また、南側の4.0 km 付近に流入していた安楽川は3.5 km 地点での防砂突堤の建設に伴って河道が北東側に蛇行し、そして河口が砂防突堤に沿って沖を向いている。この過程で、河口が約0.5 km 北東側(志布志港側)に移動している。安楽川河口周辺では局所的に堆積が見られ、その結果汀線が最大で100 m 前進している。しかし防砂突堤の南西側3.9 km 以南では菱田川河口を含んで広い範囲で汀線が後退しており、汀線の最大後退量は測線23で約60 m に達している。なお、このように菱田川河口を中心として南北に約6 km 区間で著しい汀線の後退が見られるが、海浜面積の変化から見ると侵食面積に対して堆積面積は釣り合っておらず、明らかに欠損量が多い。

図-4に示す志布志港南端から菱田川における汀線と保安林の変動の拡大図から、志布志港南端の約3.2 km (測線12) から安楽川右岸川の約3.7 km (測線17) までは堆積し、導流堤左岸側では最大100 m 汀線が前進している。安楽川右岸側の測線17から菱田川河口右岸にかけては曲率を持ちながら平均で約40 m 汀線が後退している。また、安楽川および菱田川河口周辺部を除いて保安林の外縁線位置の変化は小さく、九十九里浜で見られる



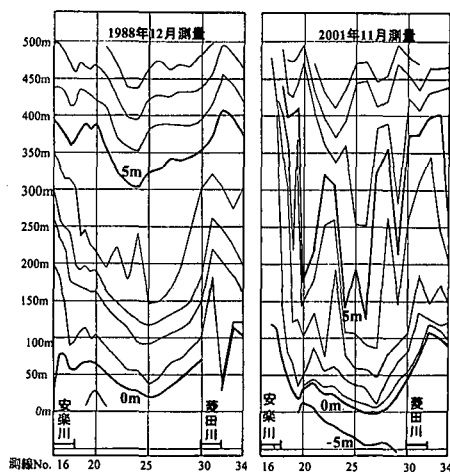
図一4 志布志港南端～菱田川における砂浜および保安林の変化状況 (1963～1996年)

ような保安林の海側への前進に起因して砂浜幅が狭まったものではないことが分かる(市川ら, 2001)。このような侵食・堆積状況は主に波の遮蔽効果に伴うものであり、遮蔽域測へのさらなる沿岸漂砂の流入を防ぐために、1996年～1998年に3.9 km (測線 17.5) に防砂突堤が設置された。ところが台風 0111 号により、顕著な越波被災の生じた 5.7 km (測線 26) 付近は平均よりも小さな約 20 m の汀線後退となっている。したがって今回の被災は、経年的に侵食が著しく、予測のし易い個所で生じたのではなく、どちらかと言えば経年的な侵食量の最も小さかった個所で生じた特異な海浜侵食と越波被災であることが分かる。

#### 4.3 深浅図による浅海域の海底地形変化分析

被災の大きかった測線付近で、長期的な汀線変動が隣接海浜よりも小さいという特異な結果となった。この原因を明らかにするために、図一5には1988年12月と2001年11月の深浅図を示す。図中、水深を5 m 毎に太い実線で示す。

図一2で示したように1988年は、1983年から1989年まで継続した台風の静穏期の後半であり、長期的な海岸過程の中では比較的海浜回復が進行したステージに属す。一方、2001年11月測定の深浅図は、1990年代の台風活発期の影響を受け、長期的に海浜底質が沖側に移動し



図一5 浅海域の地形変化の状況

たことによる地形変化と、志布志港防波堤延伸にともなう遮蔽域側への沿岸漂砂による地形変化が重畳し、台風 0111 号により背後地の浸水被害が生じた後のものである。1988年の深浅図では、5 m 等深線は平均して離岸距離 300 m から 400 m の間で凹状に屈曲して存在している。一方、2001年11月の深浅図では 5 m 等深線が、150 m から 450 m 区間で大きな曲率を伴いながら凹状に海側に屈曲している。しかも、1 m から 4 m 等深線は志布志港の遮蔽域境界に相当する側線 19 付近より港湾側で沖側に急激に前進しており、遮蔽域に多量の土砂が堆積している事を示す。逆に、この時期凹状地形の中心部においては、5 m 等深線が 150 m 以上も後退している。また、全体的に沖合の 5 m 付近の等深線と連動してその他の等深線も陸側に後退し、その結果、汀線付近の等深線の曲率が大きくなるという現象が認められる。このことは北側に志布志港の防波堤が延びたことにより波の遮蔽効果が出るとともに、安楽側左岸の防砂突堤および志布志港南端岸壁等の境界条件の変化に合わせて、等深線の沿岸方向の曲率が増大したことを意味している。このような現象は巨視的には、防波堤建設の影響であろうと考えられる。

2001年11月測定の地形では、台風時の高波浪が沖合で碎波せず、前浜近傍までエネルギーを余り消散させずに入射する事を意味している。また、1988, 2001年の4, 5 m 等深線位置を比較すると、2001年では、安楽川右岸の防砂突堤沖合、安楽川と菱田川中央部の沖合、そして菱田川左岸沖合でこれらの等深線が約 1000 m の波長を持ち波状地形になっている。また、0 m 等深線は安楽川と菱田川中央部で約 40 m 後退している。一方、志布志港防波堤の遮蔽域に入る安楽川前面では 0 m 等深線が最大約 40 m 前進し、この領域で多量の堆積が進行している。この堆積は 5 m 等深線でも明瞭に表れており、安楽川沖合の遮蔽域で 5 m 等深線が最大約 80 m 前進している。

#### 4.4 海底縦断地形の変化

図一6には1988年以降の各測線での経年的な縦断形変化を示す。測線 16 では1989年は防波堤の遮蔽域および非遮蔽域の境界付近にあったために、顕著な堆積あるいは侵食は生じていない。しかし、その後特に水深 1.5 m 以深の領域で防波堤延長に伴う波の遮蔽効果による沿岸漂砂で堆積が顕著に進行しており、2001年11月においては測量範囲の海浜勾配は非常に緩やかな約 1/400 勾配になっている。また1995年には河口砂州がフラッシュされ一旦消滅している。ただしこのフラッシュされた河口砂州も1997年2月では完全に回復している。

測線 23 の縦断形は1993年12月から1994年12月の間で、離岸流域(リップチャネル)地形から向岸流域地形へと変化している。

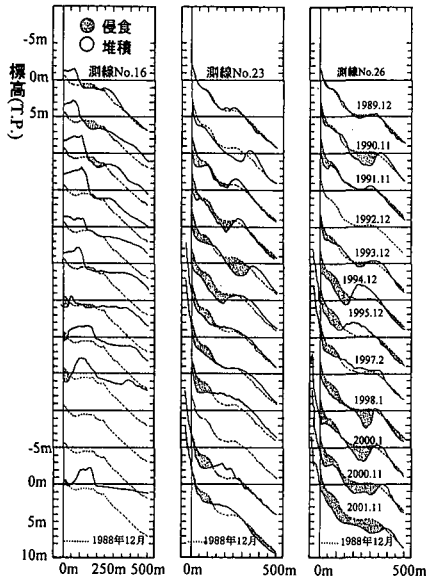


図-6 海浜断面地形の変化 No. 1 (測線 16, 20, 23)

台風 0111 号による海岸背後地の台風被災が最も大きかった測線 26 の縦断形変化は、沿岸砂州の成長(沖測への移動)と消滅(岸測への移動)が、各年度の高波浪の入射条件に最もよく対応している。台風時期の高波浪が大きければ砂州が沖へ移動し比高も高くなるが、高波浪が比較的低い年では砂州が陸測に移動し、その過程で砂州の比高が低くなる。例えば、1993 年 12 月～1997 年 2 月には砂州が陸測に移動しながら明瞭な砂州地形が消滅していく過程が読み取れる。そして 1997 年の台風 9719 号が来襲した後の 1998 年 1 月の縦断形では、比高約 2.5 m の明瞭な砂州地形が形成され、その後頂部が約 5 m 水深にあったこの砂州が来襲波浪により沖に移動するにしたがい比高が減少し、その後台風 0111 号では砂州頂部が 6 m 水深という通常では考えられないような水深にまで低下している。しかも砂州の頂部水深の増大に伴い来襲波浪の碎波が低減したために碎波帯内水深および遡上域水深が全体的に増大している。

なお、被災個所の沖合に存在するトラフ地形が形成された原因は明らかではないが、このトラフ地形は、そのままでは侵食や越波を増大させることは明らかであり、波浪および砂移動を制御する対策が必要である。このため、現時点において考えられる恒久的な侵食対策としては、高波浪来襲時の侵食を軽減するような対策が望ましく、具体的には、高波浪だけをカットするような人工リーフ(高波浪カット型人工リーフ)が考えられる。

## 5. あとがき

本研究で以下の結論が得られた。

- ・対象海岸では、保安林前縁位置の海測への前進はなかったことから、砂浜の減少は波と流れによる侵食である。
- ・空中写真による長期的な汀線変化を見ると、2001 年の被災個所(測線 26 周辺)の後退量は比較的小さく、港湾構造物の遮蔽域に入る安楽川から菱田川に向かい後退量が增大する傾向が認められる。
- ・2001 年の被災個所(測線 26 周辺)の前面に存在するトラフ地形は、6～7 m を超えるような高波浪が作用する時に形成され、その後高波浪が経年的に入射しなければ徐々に消滅する。したがって直接的には防波堤の延伸に伴って移動してきたものでないと考えられる。
- ・ただし、安楽川～菱田川では、1993 年以降から、海岸線の曲率の変化および被災個所周辺におけるパー・トラフ地形の発達と岸近くの侵食が顕著となっている。
- ・1993 年以降の侵食ホットスポット地形の形成に伴う地形変化と防波堤の延伸との関係は認められない。
- ・これまでの解析結果によると、昨年の被災個所の侵食と防波堤の延伸等との直接的な因果関係は明確ではない。志布志港の建設に伴う海浜地形の安定形状の変化(海岸線の曲率の変化)、すなわち沿岸漂砂の変化に加えて、高波浪による浜崖の侵食や沖向き漂砂が関係していると考えられるが、現時点では砂移動のメカニズムは不明である。

**謝辞：**本技術報告をまとめるに当たり、鹿児島県土木部牟田神(元)河川課長、福元課長、および(株)アイ・エヌ・エー海岸部大谷(元)部長、ならびに堀口氏を始めとする関係諸氏には図面作成等でお世話になり、紙面を借りて謝意を表させていただきます。

## 参 考 文 献

- 市川慎一・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・木戸浩彦・星上幸良(2001): 外洋に面した海岸における河口処理と河口地形の応答—九十九里浜南部に流入する南白亀川および一宮川河口の例—, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 621-625.
- 工業技術院地質調査所監修(1996): コンピュータグラフィクス 日本列島の地質, 丸善株式会社発行, p. 139.
- 国土地理院(1997): 数値地図 50 m メッシュデータ(標高) 日本—III, (2 刷).
- 長友文昭・副島 毅・鶴谷広一・田中則夫(1979): 志布志海岸の海浜変形と漂砂, 第 26 回海岸工学講演会論文集, pp. 257-261.
- 西 隆一郎・宇多高明・佐藤道郎・大石靖郎・堀口敬洋・脇田政一(1998): 沖合人工島建設に伴う海浜変形過程と侵食対策工法, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 561-565.