

静岡・清水海岸における侵食・堆積波の伝播

宇 多 高 明*・板 橋 直 樹**

1. ま え が き

最近、波動性を有する汀線変化が注目されている。この現象は、わが国にあっては駿河湾に面する静岡海岸で初めて明瞭な形で観測され、土砂の集合体 (sand body) が沿岸方向に移動するという特徴、すなわち波動性を有しており、見かけ上 soliton の沿岸方向への伝播現象として観察された。筆者ら (1997) は、この現象について、等深線変化モデルの応用により波動性を有する汀線変化が、沿岸に多数基設置された離岸堤群による沿岸漂砂の阻止効果によって発生することを明らかにした。一方、このような正の波の伝播に先だって、静岡海岸では 1975~1983 年には 0.8 km/yr で、また 1983~1988 年には 0.5 km/yr の速度で侵食波が伝わったことも明らかにされている (宇多ら, 1991) が、この侵食波はその後清水海岸へと伝わっていった。宇多ら (1993) は、この侵食波の到達によって三保松原が危機的な状態にあることを述べ、さらに宇多ら (1994) は、有名な羽衣の松が侵食されるまでに約 4 年が残されているに過ぎないとしたが、1996 年 3 月現在、侵食は羽衣の松まであと 0.5 km にまで迫っている。清水海岸では、このように深刻な侵食状況にあるにもかかわらず、沿岸漂砂の上手側である静岡海岸では sand body が北向きに移動しているものの、その移動速度は、初期の侵食波の伝播速度に比較すると小さく清水海岸に到達するには長い年月を必要とすることから、両海岸の漂砂のバランスは著しく崩れていると言える。このことは、静岡・清水海岸をそれぞれ別に取り上げるのでは不十分であって、両海岸全体について総括的に議論する必要があることを示唆している。そこで、ここでは静岡海岸の sand body の移動現象と清水海岸の侵食を同時に取り上げるにより、今後の清水海岸の侵食について考察する。

2. 静岡・清水海岸の概要

図-1 には静岡・清水海岸の位置を示す。静岡・清水海岸は駿河湾西岸に位置する三保松原砂嘴の外縁に沿って

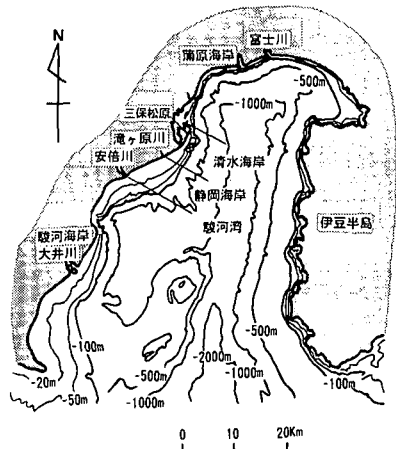


図-1 静岡・清水海岸の位置図

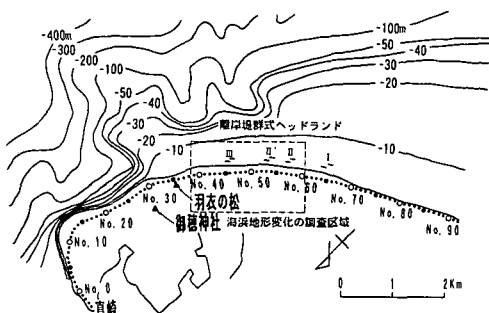


図-2 清水海岸の地形と測線位置

伸びる砂浜海岸である。駿河湾の湾口は南に開いており、高波浪は南側から襲撃するために、静岡・清水海岸では北向きの沿岸漂砂が卓越している。1968 年以前に安倍川では広範に砂利採取が行われた。このため河川流出土砂が激減して、海岸での漂砂バランスが失われ、安倍川河口に近い静岡海岸において海岸侵食区域が 0.8 km/yr (1975~1983 年), 0.5 km/yr (1983~1988 年) の割合で広がっていった (宇多ら, 1991)。現在、激しい侵食区域は北側の清水海岸へ広がっており、また北上する沿岸漂砂の大部分は三保松原の先端部にある海底谷へと落ち込んでいる (宇多ら, 1993)。

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長

** 正会員 工修 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部

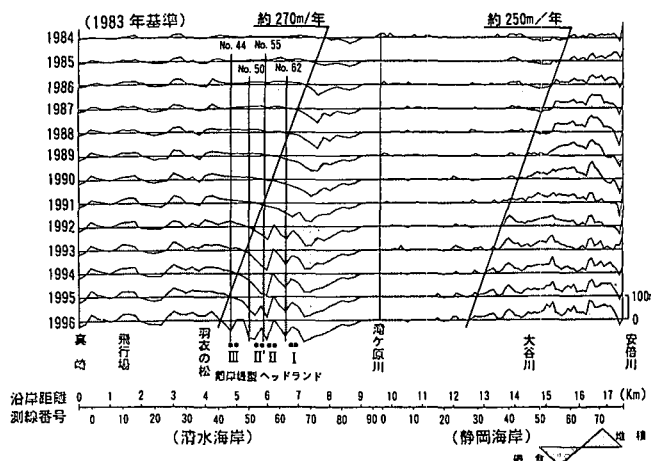


図-3 静岡・清水海岸の汀線変化

図-2には、三保松原先端部の測線番号と海底形状を示す。この区域では深浅測量が1988年以降毎年3月に行われてきている。測線は100m間隔で配置されており、起点は三保松原の先端のNo. 0にあり、ここより南側へと配置されている。砂嘴が鳥のクチバシ状に突き出した位置はNo. 12に、そして羽衣の松はNo. 35に位置している。

3. 静岡・清水海岸における侵食・堆積波の伝播

図-3には、1983年測量の汀線を基準としたときの、静岡・清水海岸全域の汀線変化を示す。図において、滝ヶ原川河口より右側が静岡海岸、左側が清水海岸である。また、右端は静岡海岸への土砂供給源である安倍川河口である。一方、左端は三保松原先端の真崎に相当する。

静岡海岸の汀線変化を調べると、土砂の堆積域 (sand body) が時間経過とともに左方向へと進行していることがわかる。その移動速度を sand body の先端部の広がり速度から読み取ると、図示するように約250 m/yrとなる。この値は、宇多ら (1997) の求めた約233 m/yr よりわずかに大きいとほぼ一致している。移動速度が大きくなった理由は、観測期間が伸びたことによる。sand body の移動が起こる前の静岡海岸は、消波ブロックで覆い尽くされており、前浜は全く存在しないことから、移動する砂がほとんどない状態になっている。そのような海岸に安倍川河口から土砂が供給されたため、消波ブロックに砂が覆い被さりつつ北向きに移動していると考えられる。しかも、この区域にはほぼ全域にわたって離岸堤が設置されており、それらが沿岸漂砂阻止効果を発揮するために sand body の移動現象が生じたことが、離岸堤による沿岸漂砂の阻止効果を取り入れた等深線変化モデルにより再現されている (宇多ら, 1997)。

1996年に静岡海岸で sand body の先端が到達した沿

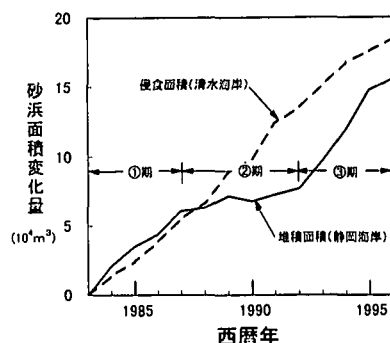


図-4 静岡・清水海岸の侵食・堆積の経時変化

岸距離約12.5 km地点と、滝ヶ原川河口の北約0.5 km地点の間では海岸線は消波工で覆いつくされているので、汀線変化は見られないが、清水海岸では、1983年頃から明瞭な形で汀線の後退区域の広がりが始まった。汀線の後退は最初沿岸距離9 km付近から始まり、時間経過とともに北向きに広がり、1996年には羽衣の松の一手前まで到達している。清水海岸の侵食は、もともと安倍川での砂利採取による河川流出土砂量の急減によって1970年頃発生し、静岡海岸から清水海岸へと伝わったものである (宇多ら, 1996) が、それが三保松原の先端部にまで到達しつつあることを示している。また汀線の後退域が鋸の歯状となっているのは、離岸堤群式ヘッドランドが設置されたことによる。全体的に見ると、侵食域は北側へと単調に広がっており、その広がり速度は約270 m/yrである。この広がり速度は、静岡海岸における sand body の移動速度250 m/yrより約8%大きいと、ほぼ同程度の値である。

1996年現在、侵食区域の先端 (No. 40) と、景勝地である羽衣の松 (No. 35) の間は500 mしか離れていないから、現在の進行速度を保ちつつ侵食域が広がれば、羽衣の松まで侵食が達するまでの残り時間は約2年となる。

宇多ら (1994a) は、1990年3月から1993年3月までの期間において、離岸堤群式ヘッドランド周辺の汀線変化を調べ、侵食域の広がり速度が平均271 m/yrであることを明らかにしたが、侵食域の広がり速度はその後全く同様である。また、1993年当時、侵食域の北端はNo. 46にあって、三保松原 (No. 35) まで1.1 km間を伝えるに約4年としたが、その後の推移は着実に侵食が進んでいることを示している。

図-4には、静岡海岸の堆積域と、清水海岸の侵食域の平面積を算出し、さらにそれらについて1983年からの変

表-1 安部川の洪水流量

年	月	日	日平均流量 (m ³ /s)	最大流量 (m ³ /s)
1982	8	2	1,129	3,857
	8	3	1,466	
	9	12	1,723	
1983	8	2	1,731	2,981
1985	7	2	1,523	—
1990	8	10	1,005	—
1991	9	2	1,396	2,511

安部川水系手越流量観測所

表-2 静岡・清水海岸における沿岸漂砂量

期 間	砂浜面積変化量 ($\times 10^4 \text{m}^2/\text{yr}$)	漂砂の移動高 (m)	土砂変化量 ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$)	海岸区分
1983~1996	1.42	7.2	10.20	清 水
1983~1987	1.53	7.7	11.80	静 岡
1987~1992	0.44		3.40	静 岡
1992~1995	1.98		15.20	静 岡
1983~1996	1.21		9.30	静 岡

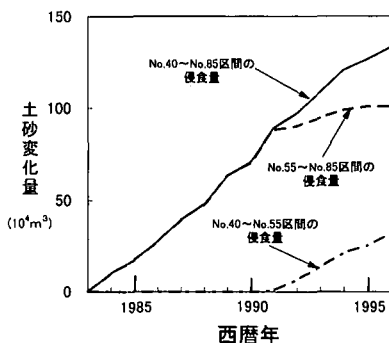


図-5 No. 55~85 および No. 44~55 区域における海浜土砂量の経時変化

化量を求めた結果を示す。静岡海岸では、図示する3時期で堆積面積の増加率が大きく異なる。1983~1987年(第①期)では $1.42 \times 10^3 \text{m}^2/\text{yr}$ で増加していたが、1987~1992年(第②期)では $0.44 \times 10^3 \text{m}^2/\text{yr}$ と増加速度が1オーダー減少したあと、1992~1995年(第③期)には $1.98 \times 10^3 \text{m}^2/\text{yr}$ と第①期よりも増加率が大きくなった。静岡海岸は安倍川に隣接しており、静岡海岸への漂砂供給源は唯一安倍川である。また、堆積域の先端より北側は大量の消波ブロックで覆われており、前浜も存在しないことから、sand bodyの先端が到達するまでは砂浜が存在しない。したがって図-4で堆積面積が増加した原因は、安倍川からの土砂供給があったこと以外には考えられない。安倍川では1982年以降規模の大きな洪水は宇多ら(1997)が示したように、表-1で与えられる。これによれば、規模の大きな洪水は1983年頃と1991年

にあったが、それらの中間期では大きな洪水は存在しない。このことより、図-3における静岡海岸における堆積域の面積増加率の変動は、主として土砂供給源である安倍川の洪水に対応していると考えられる。なお、宇多ら(1997)に述べたように、sand bodyが離岸堤群を通過する際、前浜面積の増加をあまり伴わずに離岸堤の沖合で地形変化が生じることも要因の一つと考えられる。一方、清水海岸では、1983年から1996年まで侵食域の面積は単調に増加しており、その増加率は $1.42 \times 10^3 \text{m}^2/\text{yr}$ となる。この増加率は、静岡海岸の第①期の増加率とほぼ同様である。また、静岡海岸における前浜面積の増加割合は、短期的には変動を有するものの、1983~1996年の平均では $1.21 \times 10^3 \text{m}^2/\text{yr}$ であって、清水海岸での前浜面積の増加率に対して約14%小さいが、ほぼ釣り合っている。以上の点は、河口近傍に位置する静岡海岸では河川流出土砂量の変動に伴って前浜面積も大きな変動を有するが、河口から離れた清水海岸ではそのような変動も小さく、単調な現象が目立つこと、すなわち汀線変動は平滑化されることがわかる。

静岡・清水海岸では、海浜断面面積の変化量と汀線変化量の間に良好な相関関係が成立し、両変数の回帰係数から求めた漂砂の移動高は静岡海岸では7.7m(宇多ら, 1997)、清水海岸では7.2mと求められている(宇多ら, 1994a)。この値を先に求めた前浜面積の増加割合に乘じると、海浜土砂変化量が算出される。さらに、前述のように、静岡・清水海岸の間は消波ブロックで覆われており、前浜が全く存在しないことから、そこを通過する沿岸漂砂はほぼ0と見なせる。このことから、静岡・清水海岸それぞれにおいて、前浜面積の増加・減少割合に漂砂の移動高を乗じた値は、その区間へ流入または流出する沿岸漂砂量に等しい。表-2には計算結果を計算期間とともにまとめて示す。静岡海岸への流入漂砂量は期間によりかなり大きな変動を有し、 $3.4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ から $15.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の間で変化し、平均では $10.1 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ となる。一方、清水海岸では $10.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ でほぼ一定である。清水海岸のNo. 47~No. 72の区間では、1988~1992年の土砂量変化から、No. 47を通過する沿岸漂砂量が $13.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ と推定された(宇多ら, 1993)。これと比較すると、ここで求められた値は17%小さいが、これは土砂量の計算法が直接積分か、前浜面積に移動高を乗じて求めたか、の違いが大きいと考えられる。

図-5には、No. 55~No. 85区域の前浜面積の減少量に漂砂の移動高(7.2m)を乗じて求めた海浜土砂量の経時変化を示す。基準年は図-4と同様に1983年としている。清水海岸の侵食全土砂量は1983年以降単調に増加したことはすでに図-4により明らかにしたが、図-5によれば、No. 55~No. 85区域での侵食土砂量は、1991年ま

では増加したものの、そのあとはほぼ平衡状態に達している。一方、No. 40～No. 55の区域の土砂量は、1991年以降土砂量が増大し、その増加割合は全区域の侵食土砂量の増加割合に等しい。このことは、離岸堤群式ヘッドランドが施工されれば侵食はほぼ止まるが、代わりに侵食範囲が下手側へと広がることを意味する。

図-3において、1996年現在 sand body の先端が到達している沿岸距離 12.5 km 地点から羽衣の松までは約 7.9 km 離れている。この間において静岡海岸における sand body の移動と同じ速度で土砂移動が起こるとすると、sand body の先端が羽衣の松周辺に到達するには約 30 年を要することになる。この間は、清水海岸では沿岸漂砂の供給がほとんど見込めないから、現在砂浜にある砂を有効に活用することが必要である。養浜を行うことはできるが、清水海岸の侵食区域での沿岸漂砂量は約 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と大量であることから、これよりオーダーの低い養浜量では海岸侵食状況を決定的に改善することはできない。ヘッドランドにより海浜を安定化させると同時に養浜を行うことにより、侵食の軽減を図る程度であろう。

4. 海浜縦断形の変化

図-3に示した清水海岸の汀線変化において、顕著な汀線の後退が見られた測線を選んで海浜縦断形の変化を調べてみる。代表測線としては、羽衣の松に最も近接する離岸堤群Ⅲのすぐ北側に位置する No. 44、離岸堤群Ⅱ、Ⅱ'の間に位置する No. 50、離岸堤群Ⅱのすぐ北側の No. 55、さらには最も早い時期に設置された離岸堤群Ⅰの北側に隣接する No. 62を選ぶ。

図-6には No. 44 の海浜縦断形の変化を示す。縦断形の比較のために、1985年の縦断形を採用し、それ以降の

縦断形を目盛りをずらしつつ重ねて描いている。これによれば、汀線変化と対応して1995年までは1985年と比較して堆積傾向にあったが、1996年には-4 m 以浅で著しい侵食が始まった。この測線より南側に0.6 km 離れた No. 50 では、図-7に示すように1992年から激しい侵食が始まった。この場合、図-7の1994年頃の海浜縦断形の変化状況は、図-6の1996年の変化状況と非常に似ていることが特徴として指摘できる。なお、図-7において、標高5 m 以上の部分が欠けているが、これは標高1 m ごとに等高線や等深線の位置を読みとり、それよりプロファイルを選んだことによる。

図-8には No. 55 における海浜縦断形を示す。図-3を参照したとき、この測線の近傍では、離岸堤群Ⅱ、Ⅲの間にⅡ'が設置されたため、1994年までに汀線が大きく後退したあと再び土砂が堆積し、1996年では1993年頃の海浜縦断形に戻っている。このように No. 55 ではその下手側に離岸堤が設置されたためにそれによる堆砂効果が現れて再び土砂堆積が生じた。

図-9は、No. 62 における海浜縦断形の変化である。ここでも図-3の汀線変化とよく対応し、汀線の後退が激しくなった1989年からプロファイルの著しい後退が生じている。著しい侵食が生じた時期は No. 44 より約8年前である。この断面では侵食の結果、-6 m 以浅が削り取られ、侵食前の鉛直上方に凸な断面形から凹状の断面形に変化したことがわかる。以上の測線の海浜縦断形の変化はいずれの場合も非常に似ており、相違するのはそれらが始まる時期のみである。すでに述べたように、羽衣の松まで汀線の後退域が到達するまでには約2年であることから、侵食が激化するにしたがい、図-7, 8, 9に示すような、急深な海浜縦断形へと推移することは間違いない。

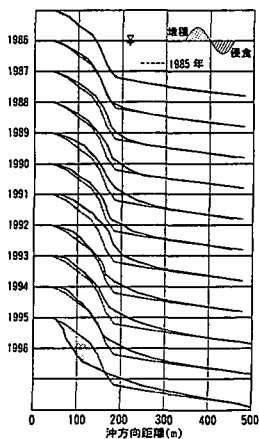


図-6 No. 44 の断面変化

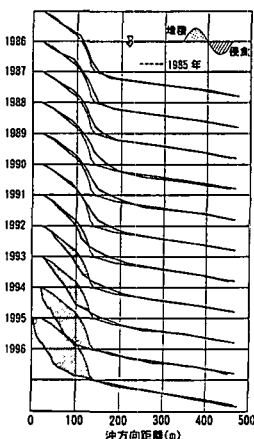


図-7 No. 50 の断面変化

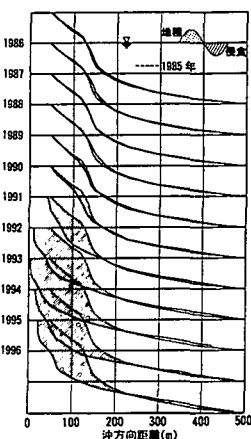


図-8 No. 55 の断面変化

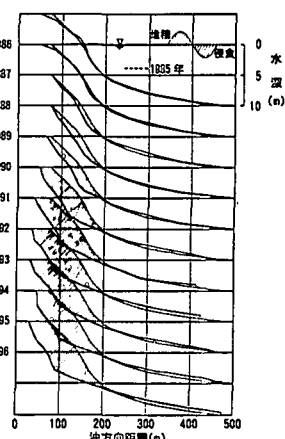


図-9 No. 62 の断面変化

5. 深浅図の比較による離岸堤群周辺の地形変化分析

図-3によれば、清水海岸での海浜変形はNo. 40～No. 60付近で顕著に見られる。そこで、この範囲について深浅図をもとに経年的な海浜地形変化について調べてみる。まず、図-10(a)には1992年3月の深浅図を示す。この当時、No. 57, 58付近に設置されていた離岸堤群IIによって、北東方向へ向かう沿岸漂砂が阻止されたため、離岸堤群の北側端部で-3m以浅の等深線が凹状となっているが、そこより北側の等深線はほぼ直線状に伸びている。一方、離岸堤群の南西側では汀線が離岸堤になだらかに伸びるとともに、離岸堤の沖では-4～-6mの等深線が沖向きに突き出ている。このことは離岸堤が沿岸漂砂を阻止したために、沿岸漂砂の一部が離岸堤の沖合を通過して、下手側へと流出しつつあることを示している。

図-10(b)に示す1年後の1993年3月の深浅図では、No. 55付近の等深線の湾入が著しくなり、海岸護岸の前面が非常に深くなった。この場合、汀線の湾入が最も著しい。図-10(c)に示す1994年3月では、すでにNo. 55付近で護岸が露出し、そこより北側、No. 51までの間には急な浜崖が形成されていることが密集した等高線の状況からわかる。No. 55付近での侵食は非常に激しく、背後の海岸護岸が倒壊する恐れがあったために、1994年3月までには下手側のNo. 46付近の離岸堤群IIIだけでなく、No. 53付近にも離岸堤群IIが設置されることになった。この結果、図-10(d)のように、No. 53付近では前浜が再び広がり、護岸の倒壊は免れた。離岸堤群II'の北側の汀線は離岸堤群IIIによって固定されているが、新たに離岸堤群IIIの北側の汀線の後退が始まった。図-10(e)には1996年3月の深浅図を示す。離岸堤群の設置によって、各離岸堤間の等深線が階段状となった。しかし、離岸堤群IIIの北側は自由境界であるために、等深線の後退が続く状態にある。羽衣の松はNo. 35に位置することから、その下手(北側)にも汀線を固定するような施設を建設し、汀線の安定化を急いで図ることが必要である。

6. ま と め

富士山を望む白砂青松の海岸として全国的に有名な、三保松原の羽衣の松まで侵食が及ぶのに残された時間は約2年である。一方、静岡海岸から清水海岸へとsand bodyとして土砂の集合体移動しているが、その土砂が羽衣の松付近まで到達するには約30年を要する。このことは、今後長い時間、上手側からの沿岸漂砂の供給を期

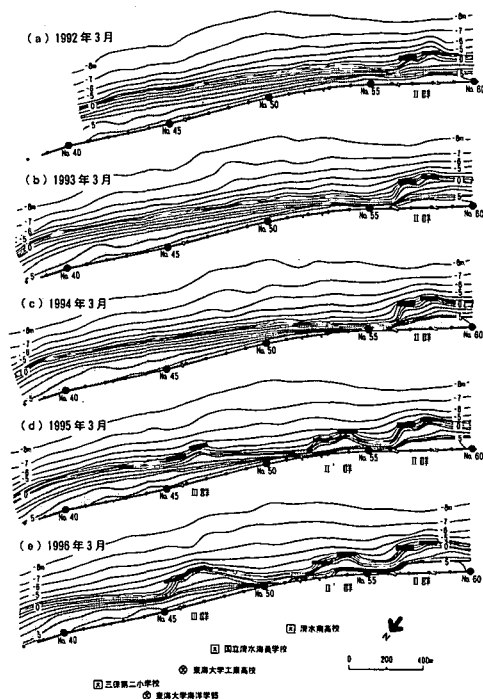


図-10 離岸堤群周辺における海浜地形の経年変化

待せずに侵食対策を進めなければならないことを示している。また、羽衣の松付近の侵食が激化するまではごくわずかであるが、そのような侵食は約30年前の安倍川での砂利採取にその発端があることを考慮すれば、侵食は避けたい状態にあると言える。したがって、現在残されている砂浜をできる限り保存するとともに、養浜を行うなど、いくつかの策を組み合わせた対策を進めなければならない。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991): 砂嘴地形周りの海浜変形—三保松原を例として—, 地形, Vol. 12, pp. 117-134.
- 宇多高明・鈴木忠彦・山本幸次・板橋直樹 (1993): 三保松原の危機的海岸侵食状況, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 441-445.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本吉道・板橋直樹 (1994a): 離岸堤群式ヘッドランドの漂砂制御効果の現地実測, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 581-585.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本吉道・板橋直樹 (1994b): 静岡海岸の沿岸漂砂量およびその分布形の評価, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 536-540.
- 宇多高明・三澤博敬・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.
- 宇多高明・山本吉道・板橋直樹・山路祐祐 (1997): 静岡海岸で観測された sand body の移動とその発生機構, 土木学会論文集, 第558号/II-38, pp. 77-92.