

遠州灘海岸の天竜川河口以西の侵食実態

長島郁夫*・岩崎伸昭**・宇多高明***・有村盾一****

天竜川河口から湖西海岸まで約30 km 区間を対象とし、約40年間にわたって蓄積された深浅データ、空中写真および広域の底質採取データをもとに、海浜縦断面形や海浜土砂量の変化を算出して海岸の長期的変遷を調べた。また、天竜川のダム群での堆砂量や砂利採取量の経年変化も検討した。これらにより遠州灘海岸では現在も侵食が激化しつつあると同時に、離岸堤等で守られた場所では汀線は維持されてはいるものの、沖合では侵食が進み粗粒化が起きていることが分かった。

1. ま え が き

近年全国的に侵食が進んでおり、様々な対策が取られているものの、なお十分な効果が見られるまでには至っていない。天竜川の流出土砂を供給源とする遠州灘海岸でも侵食が著しく、現在その対策に苦慮している状況にある。抜本的な対策案の立案のためには、まず現地海岸での海浜変形の定量的分析が必要である。この海岸に関する主な既往研究として、宇多(1997)は遠州灘海岸の代表地点での沿岸漂砂量の算定を行った。また河田・植本(1998)は、天竜川におけるダム堆砂および砂利採取と海岸侵食の関係を調べ、海岸侵食が河川からの供給量の減少に起因することを明らかにした。また青木ら(2003)は、空中写真や測量データに基づく汀線変化解析、土嚢袋の漂流データから、天竜川河口から伊良湖岬に至る遠州灘西海岸では全域にわたって西向きに沿岸漂砂が卓越していることを明らかにした。本研究は、これらの研究を受けて天竜川河口から湖西海岸まで約30 km 区間を対象として、深浅データ、空中写真および広域の底質採取データをもとに海岸の長期的変遷を可能な限り定量的に探るものである。また、天竜川のダム群での堆砂量や砂利採取量の経年変化も検討する。

なお、海岸の波浪条件として天竜川河口沖の竜洋観測所で得られた波浪観測結果を図-1に示すが、最多頻度の波浪はSSEであり東寄りの波浪の頻度が高い。しかし、波向別の波浪エネルギーの累積値での最多頻度はSSW、エネルギーの重心はN189°Eであり、この海岸では東寄りの波浪の頻度は高いもののエネルギーレベルは低く、SSWから高いエネルギーレベルの波浪が入射し、さらに平均では河口に対しほぼ直角方向からの波の入射となる。

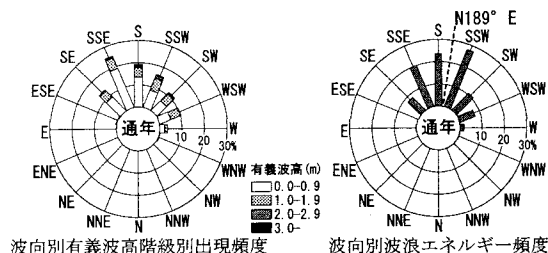


図-1 竜洋観測所で得られた波浪観測結果

2. 天竜川河口から湖西海岸まで約30 km 区間の汀線変化

図-2は、天竜川河口から湖西海岸まで約30 km 区間の1947、1962および2004年の海岸線形状と地先海岸名、主要な施設の配置を示す。図の下段には1962年を基準とし、沿岸方向に10 m 間隔で測定した汀線変化量の沿岸分布も示す。対象区域は大きく湾曲した海岸線であり、左端が土砂供給源の天竜川河口である。この区域では季節の変動を別にすれば、平均的には西向きの沿岸漂砂が卓越している。河口から海岸へと流入した砂は西向きに移動し、東側から順に馬込川、浜名湖今切口を通過して流れていく。この沿岸では、東側より順に、浜松五島海岸にあっては6基の離岸堤群と14基の消波堤群が設置され、汀線維持が図られている。また馬込川河口と今切口には導流堤があり、いずれも一時的には西向きの沿岸漂砂を阻止している。

汀線変化にはいくつかの特徴が見られる。東端の天竜川河口にあっては河口砂州の著しい後退に起因して汀線が最大で約270 m も後退している。浜松五島海岸にあっては離岸堤・消波堤群が設置されたために汀線が固定されているが、対照的に馬込川河口の西側隣接部では時間経過とともに侵食域が西向きに広がりを示す。馬込川河口右岸側では、1962年以降いずれの観測時期にあっても汀線がほぼ平行移動しつつ後退したことがよく分かる。ここでの最大汀線後退量は約210 m にも達した。これと対照的に、沿岸方向距離 = 9 ~ 14 km 区間では変動はあるものの、経年的に単調な汀線の後退は生じていない。

* 静岡県土木建設政策室長(元河川海岸整備室長)
** 静岡県土木部河川海岸設備室 河川海岸整備係
*** 正会員 工博 (財)土木研究センター理事 なぎさ総合研究室長
**** 修(工) (株)アイ・エヌ・エー海岸部

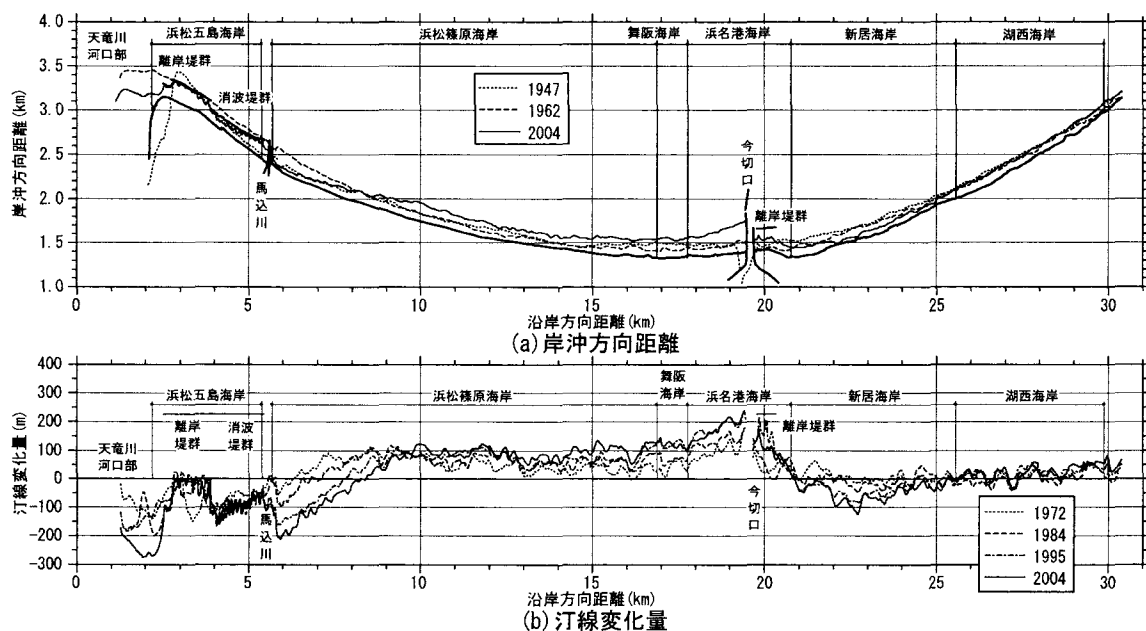


図-2 天竜川河口から湖西海岸まで約30 km 区間の1947,1962および2004年の海岸線形状

今切口に接近すると汀線は前進傾向となる、汀線の前進区間の長さは東側約5 kmに達する。これらを総合すれば、馬込川から今切口までの区間では西向きに沿岸漂砂が卓越していることは間違いない。そして侵食面積に対して堆積面積が相対的に大きい、これは浜名湖今切口を通過して砂が流出したためと考えられる。

今切口導流堤の西側の新居海岸にあっては、今切口の西側に隣接する3基の離岸堤群による波の遮蔽効果によって汀線の前進が見られるが、そこより西側では汀線が後退傾向にある。このような今切口導流堤を挟む汀線の変化状況は、同じ遠州灘に面し渥美半島に位置する赤羽根漁港周辺の汀線変化(三浦ら, 2004)と非常によく似ている。

3. 天竜川河口部の地形変化と天竜川水系の主要ダム堆砂量と砂利採取量

天竜川河口では流出土砂量の減少によって河口部で著しい侵食が起きてきた。この状況を示すために、図-3には河口部の空中写真を示す。図には200 m 間隔で左岸側から並んだ5測線の位置と、1962年の空中写真から定めた汀線位置を示す。図-4には4測線の1984~2001年の海浜縦断面形の変化を示す。測線 No.218では1984年には非常に広い平坦面を有する河口テラスが発達していたが、2004年までにこの河口テラスはほぼ消失した。河口テラス外縁での地盤高低下量は5 mにも及んだ。また地形変化が生じなくなる沖合の限界は、No.216では-14 m, No.218では-15 mである。このように天竜川の河口では汀線が後退するのみでなく、貯砂源であった河

口沖テラスがほぼ完全に消失した。

このことから図-3に示すように沿岸方向に約1.6 km, 基準点から沖方向に約1 kmの区域を定め、その区域内での土砂量の変化を深浅データから算出した。結果を図-5に示す。海浜土砂量の減少は1986~1993年では非常に急速で、ほぼ $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で土砂が消失していた。1993年以降土砂量の減少速度が低下しつつあるが、それでもなお $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の土砂量の減少が続いている。1984~2004年の土砂減少量は総計で $4.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ に達した。

天竜川河口部での侵食原因を調べるために、天竜川水系の主要ダム堆砂量と砂利採取量の経時変化を図-6に示す。天竜川からの土砂供給を漂砂源とする遠州灘海岸にあっては、河川からの土砂供給量の減少とともに河口部から侵食が広がった。その原因は、天竜川に建設されたダム群への砂礫の堆積と砂利採取である。砂利採取量は1970年以降の値が、そしてダム堆砂量は1956年以降の値が示されている。実際には砂利採取量は川砂利採取が禁止された1967年以前に大量の土砂採取が行われ、また砂利採取許可量と実際の掘削量には一般に2倍以上の開きがあることを考慮すれば、図示する量は天竜川の河道における総掘削量とはならない。しかし1970年以降でも、砂利採取量は総計で $2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ に達している。同時にダム堆砂量は $12.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ に達した。両者の合計では $15 \times 10^7 \text{ m}^3$ である。遠州灘海岸への長期的な漂砂供給量はほぼ $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった(佐藤ら, 2004)から、長期的に見た土砂供給量の約300年分相当の土砂流出量が減少したことになる。

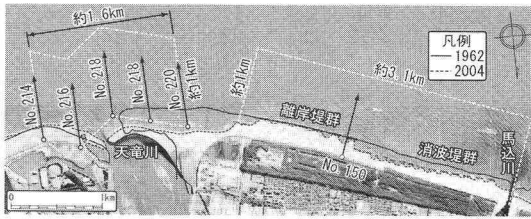


図-3 天竜川河口部の空中写真

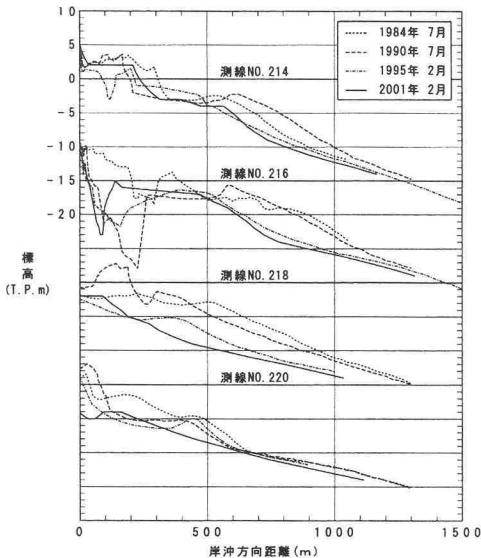


図-4 4測線の1984～2001年の海浜縦断形の変化

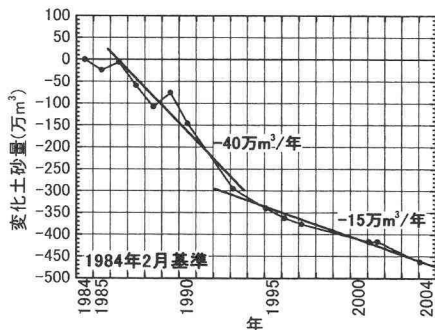


図-5 天竜川河口部の土砂量経年変化

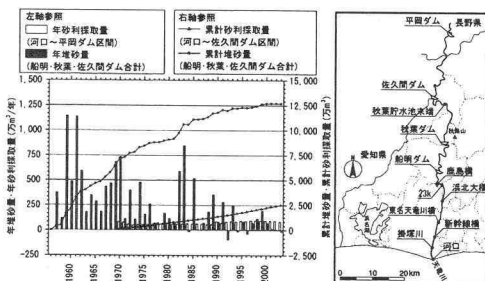


図-6 天竜川水系の主要ダム堆砂量と砂利採取量の経時変化

4. 地先海岸の地形変化

(1) 浜松五島海岸の地形変化

前出の図-3には浜松五島の2004年1月撮影の空中写真も示す。この海岸は天竜川河口の右岸に位置し、従来は天竜川からの潤沢な土砂供給によって汀線が前進してきたが、天竜川からの流出土砂量の激減により侵食が進むようになった。このような侵食に対し、河口隣接部に1970～1989年に8基の離岸堤群とその西側に14基の消波堤群が建設され、汀線の後退が防がれてきた。このため現況ではこれらの施設の背後には最大幅210 mの海浜が広がっている。図には1962年の汀線位置も示すが、これと2004年の汀線の比較によれば、天竜川河口にあっては1962年には河口から西側に滑らかに延びていた汀線が離岸堤群の東端部を境に大きくフック状となった。

このように西側へとなだらかに延びた汀線が東向きにフック状となった点は、1962年には天竜川からの流出土砂が西向きに移動可能であったが、2004年には河口左岸側汀線の後退とともに沿岸漂砂の方向が逆転したことを意味する。

同時に、離岸堤群西側の消波堤群の設置区域においても汀線が階段状となり、西側で後退していることから、ここでの沿岸漂砂の向きは明らかに西向きである。これらを総合すれば、浜松五島海岸にあっては離岸堤群位置をピークとして東西両方向に沿岸漂砂が流出するという条件になったと推定できる。

図-7は、浜松五島地区を代表する測線 No. 150における海浜縦断形の変化である。1971年には沖合にバーが存在したが、このバーは侵食により消失した。縦断形の比較によれば、地形変化がなくなるのは約-12 mで、基準点からの距離では約1 kmである。

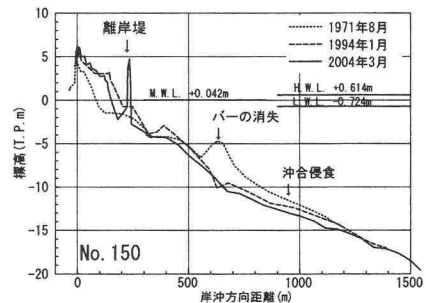


図-7 浜松五島地区を代表する測線 No. 150における海浜縦断形の変化

浜松五島海岸では沖合部で侵食が進んでいるので、天竜川河口右岸から馬込川河口まで約3.1 km 区間を設定し、この区間内で基準点から沖向きに約1 km を取り、その中の1962年基準の海浜土砂量の変化を算出し、時

系列データとして示したのが図-8である。この区域には離岸堤・消波堤群が設置されているので、これらの施設を結ぶ線で区分し、それより岸側沖側で深浅測量データをもとに土砂量の計算を行った。これによれば施設より岸側ではほぼ土砂量は一定であり、施設によって汀線の維持が図られている。しかし沖合の1 km までの区域にあつては長期的に $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で土砂量が減少していることが分かる。

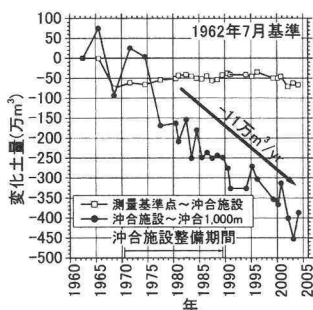


図-8 海浜土砂量の経年変化

(2) 中田島海岸の地形変化

図-9は中田島海岸の2004年1月撮影の空中写真である。図には1962年撮影の空中写真から読み取った汀線位置も示す。1962年には砂浜幅は200 m 以上あったが、現在では馬込川の西側直近では海浜幅が約50 m 以下にまで狭まった。中田島砂丘は馬込川河口の右岸側に位置し、汀線からの飛砂の供給を受けて発達してきたが、近年では逆に侵食傾向が強まり、同時に砂丘の砂が全体として東側へと寄せられている。馬込川河口右岸での2004年までの最大汀線後退量は210 m に及んだ。砂丘東端には浜松市の廃棄物埋立地があったが、2004年10月にはこの部分が著しく侵食されてゴミが露出し、そのゴミが西部へと運ばれ大きな問題となった。



図-9 中田島海岸の空中写真 (2004年1月)

中田島海岸に位置する測線 No. 160 と、その西1.6 km の測線 No. 164 における海浜縦断形の変化を図-10, 11 に示す。馬込川河口に隣接する No. 160 にあつては1971年にはバームが存在したが、汀線付近から大きく削られ、上方に凹状の縦断形へと変わった。3年分の縦断形比較によれば、1990年と2004年では沖合の -12 m で縦断形

がほぼ重なっているが、1971年のみは縦断形が平行移動しているように見え、測量誤差が含まれている可能性がある。これを考慮すれば、この測線での波による地形変化の限界水深はほぼ -12 m にあると推定される。一方、測線 No. 164 では地形変化量は小さくなったものの、No. 160 とよく似た変化が見られる。ここでもバームが次第に消失し、急勾配の海岸へと変わった。

図-10, 11 によれば、縦断形の変化は約 -12 m、基準点からの距離1 km ではほぼ完結している。したがって沖合境界を離岸距離約1 km で区切り、それより陸側での土砂変化量を算出することは十分意味があると考えられる。そこで、この沖合境界線と馬込川河口および測線 No. 167 に囲まれた区域で前浜面積の変化量を算出し、その経時変化を調べた。前浜面積の算出には空中写真と深浅測量データの両者を使用し、空中写真にあつては1972年10月を、深浅データにあつては1971年8月の測定値を基準として変化量を算出した。前浜面積の減少量に漂砂の移動高9.7 m (宇多, 1997) を乗じると変化土砂

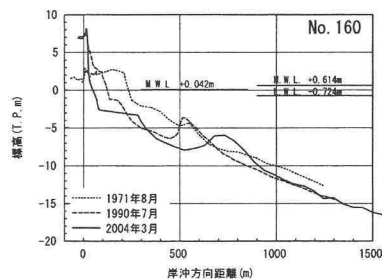


図-10 中田島海岸の測線 No. 160 における海浜縦断形の変化

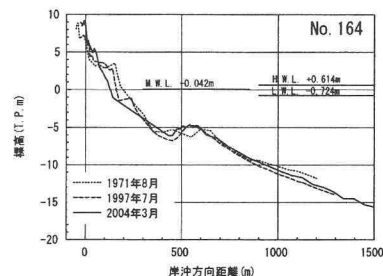


図-11 中田島海岸の測線 No. 164 における海浜縦断形の変化

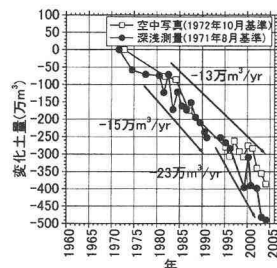


図-12 海浜土砂量の経年変化

量に換算できる。この結果、図-12に示すように空中写真データでは $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の減少量が、また深浅データにあっては1990年までは $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ で、さらに最近では $23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で土砂量が減少傾向にあることが分かった。馬込川河口を通過して西向きに移動する沿岸漂砂量は不明であるが、No.167を通過して西向きに流出する沿岸漂砂量の下限値は図に示す値であったと推定できる。

5. 広域の底質中央粒径分布

1994年、遠州灘海岸の陸上部の2 m から -15 m までの範囲において、ほぼ1 m 間隔で水深方向の底質採取および篩分け分析が行われた。それをもとに中央粒径 d_{50} の水深方向分布が算出された。なお、サンプリングは陸上の2 m から -12 m までは1 m 間隔で、それ以降については-12 m と -15 m で行った。沿岸方向には天竜川河口から湖西海岸までの約30 km 区間に19測線を配置した。なお測線は湖西海岸に測線 No. 1を、天竜川河口に測線 No. 19を配置した。

図-13は d_{50} の平面分布である。一般に、底質粒径は汀線付近では粗であるが、水深方向に減少し、波による地形変化の限界水深（遠州灘海岸では約-12 m）付近では0.2 mm 程度の細粒となる。このことを考慮して図-13を見ると、ほぼ-3 m 以浅ではほぼ0.3~0.5 mm の粗砂が多く見られるが、それも水深方向に減少し-12 m ではほぼ0.2 mm の一様粒径となっており、この一般特性を満足している。しかし粒径の平面分布にはこれ以外にも多くの特徴が見られる。

まず、浜松五島海岸にあっては-5~-8 m の沖合に粗砂が出現している。この付近は図-7に示したように沖合侵食が進んだ場所であり、侵食の結果、粗砂が海底表面を覆うことによって粗粒化が起きたことが分かる。また全体に、天竜川河口近傍では沖合まで比較的粒径が大きいが、河口からの距離が離れるとともに細粒となる傾向が見られる。これはとくに沖合の-10~-6 m 付近の分布に顕著に見られる。この特徴は、河川から流入した混合粒径土砂のうち、細粒分は粗粒分と比較して移動し易いために、河口から離れた場所へと急速に運ばれることに起因すると考えられる。等深線は河口近傍で沖向きに突出しているため、漂砂フラックスが大きく、ここでは細粒分が急速に失われ、逆に移動しにくい粗粒分が残された結果図-13に示す分布になったと推定される（佐藤ら、2004）。

6. 結 論

①天竜川河口部の1984~2001年の縦断形変化によれば、例えば測線 No. 218では1984年に幅約500 m の河口テラ

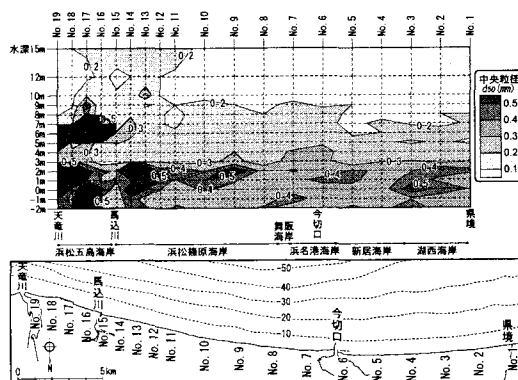


図-13 d_{50} の平面分布

スが発達していたが、2004年までにこの河口テラスは侵食により消失し、テラス外縁での地盤高の低下量は5 m にも及んだ。

②浜松五島地区の約3.1 km 区間で1962年基準の海浜土砂量の変化を算出したところ、離岸堤群の岸側では土砂量は一定であり、離岸堤によって汀線維持が図られているが、沖合では長期的に $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で土砂量が減少していることが分かった。

③深浅データをもとに馬込川右岸側の約3.1 km 区間の海浜土砂量の変化を算出したところ、1990年までは $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ で、さらに最近では $23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で土砂量が減少傾向にあることが分かった。

④天竜川水系の主要ダム堆砂量と砂利採取量の経時変化を調べたところ、1970年以降の砂利採取量は総計で $2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ であり、ダム堆砂量は $12.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ であった。遠州灘海岸への長期的な漂砂供給量は約 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定されるので、長期的に見た土砂供給量の約300年分の土砂流出量が減少し、これが上述の侵食をもたらしたと推定された。

⑤ d_{50} の水深方向分布によれば、浜松五島海岸にあっては-5~-8 m に粗砂が出現していた。この付近は沖合侵食が進んだ場所であり、侵食の結果粗砂が海底表面を覆うことによって粗粒化が起きたことが分かった。

参 考 文 献

- 青木伸一・加藤 弘・宇多高明・大隈 一(2003)：天竜川河口以西での西向き沿岸漂砂の発達の検証とそれに起因する汀線変化，海岸工学論文集，第50巻，pp. 571-575。
- 宇多高明(1997)：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442。
- 河田恵昭・植本 実(1998)：天龍川・遠州海岸系の海浜過程について，海岸工学論文集，第45巻，pp. 616-620。
- 佐藤慎司・宇多高明・岡安徹也・芹沢真澄(2004)：天竜川・遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討，海岸工学論文集，第51巻，pp. 571-575。
- 三浦正寛・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之(2004)：基本資料不足の海浜における汀線変化予測モデルの開発，海岸工学論文集，第51巻，pp. 436-440。