

静岡海岸における SAND BODY の移動現象の IGNITION について

宇多高明*・三澤博敬**・松井初男***

1. ま え が き

最近、駿河湾に面した静岡海岸では、砂の集合体（以下、sand body と呼ぶ）が一定速度で沿岸漂砂の下手方向に移動する現象が発見された（宇多ほか，1991；宇多ほか，1994；土屋，1995）。このように波動性を有する現象が明瞭な形で発見されたのは静岡海岸が初めてであって，その現象解明は海岸工学的に非常に興味ある命題である。なぜなら，通常，漂砂現象は拡散方程式系に従うものであるのに対して，ここでは明らかに波動性を示すからである。この現象を取り扱う場合，静岡海岸自体での sand body の移動現象の解明を進めることは重要であるが，それと同時に砂礫の供給源であり，したがって境界条件を規定する，安倍川の河床変動との関係において議論を進めることも必要である。

安倍川では，1967 年以前，建設骨材の採取のため砂利採取が広範に行われて河床高が低下したが，これとほぼ同時期の 1965 年頃から安倍川河口付近より海岸侵食が始まり，1977 年以降，侵食区域は北東方向に急速に拡大し，1982 年には清水海岸まで侵食域が広がった（豊島ほか，1981；豊島，1984）。このことから，以下では，まず安倍川の河床掘削と洪水による河床上昇について調べ，これと静岡海岸での侵食・堆積の関係について考察する。

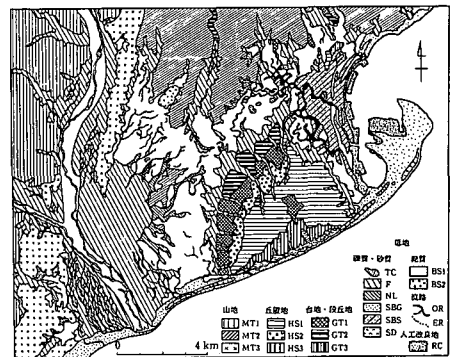
2. 安倍川の概要

安倍川は，静岡県静岡市梅ヶ島の大谷嶺（標高 1999.7 m）に源を発し，22 km 地点で安倍中河内川を，13.5 km 地点で足久保川を，さらに 5.5 km 地点で藁科川を合流して駿河湾に流入する一級河川である。流域の山岳を構成する地質は，主に古第三系の粘板岩と砂岩の互層からなり，一部に輝緑凝灰岩層と塩基性火成岩層を有する。岩石の破砕作用が著しいため，破砕帯地滑りが大谷崩れを始めとして各所で発生している。流域面積は 567 km²，流路延長は 53.3 km であるが，このうち建設省直轄河川

区域は河口より 22.7 km までである。また，少し古いデータではあるが，1956～1974 年での手越観測所（河口より 4.7 km 上流）での平均年最大流量は 2,102 m³/s である。さらに，1975 年測定の河床材料調査によれば，縦断距離 5～22 km 区間での平均粒径は 50～60 mm であり，縦断方向にあまり変化がない（山本・高橋，1993）。図-1 には，安倍川流域の地形分類図を示す。

図-2 には，河口より上流 22 km までの区間において，250 m 間隔で行われた河床横断測量のデータより求めた河床勾配の縦断変化を示す。図中には，1982 年，1985 年，1989 年および 1992 年のデータをまとめて示す。各年のデータにはかなりのばらつきがあるが，平均的に見ると河床勾配がほぼ 1/250 で一定の 0～4 km 区間，河床勾配が約 1/250 より約 1/150 に緩やかに増加する 4～10 km 区間，そしてそれより上流の，勾配が 1/150～1/125 程度を中心として変動している区間に分かれる。

本研究では，安倍川の河床高の変化や土砂変化量を調べるが，その場合各地点ごとにデータを整理するとデー



山地…MT 1：古第三系山地，MT 2：新第三系山地，MT 3：アルカリ玄武岩類山地
丘陵地…HS 1：洪積礫層からなる丘陵地，HS 2：洪積泥層からなる丘陵地，HS 3：侵食の
進んだ丘陵地
台地・段丘地…GT 1：礫質上位面（日本平・小鷹面），GT 2：礫質中位面（馬吉田面），GT 3：
礫質下位面（段丘状）
低地…礫質・砂質…TC：沖積地，F：扇状地・礫質谷底平野，NL：自然堤防・旧中州，
SBG：砂礫州，SBG：砂地，SD：砂丘
泥質…BS 1：後背湿地，三角州低地・高性低地・沼沢地，BS 2：19 世紀の麻機沼の
広がり
流路…OR：旧低水路，ER：天井川
人工改変地…RC：埋立地

図-1 安倍川流域の地形分類図

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川管理総括研究室
** 建設省中部地建静岡河川工事事務所長
*** 建設省中部地建静岡河川工事事務所調査課

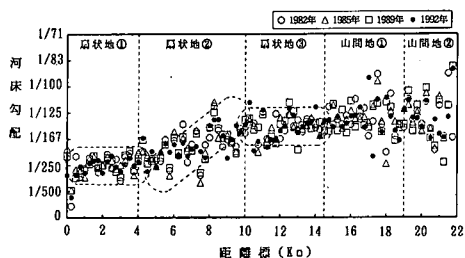


図-2 安倍川の平均河床勾配の縦断変化

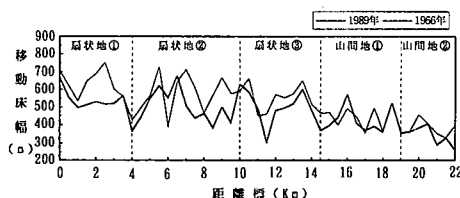
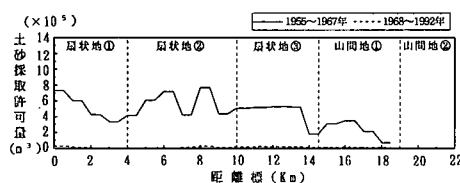
図-3 安倍川の移動床幅の縦断変化
(1966年 vs. 1989年)

図-4 安倍川における砂利採取許可量の変遷

タ量が多過ぎて全体的な変動傾向を見失う恐れがある。このことから、以下では河床勾配の縦断変化などを参考として、河川をいくつかの区間に分けることにする。まず、安倍川上流部は狭窄部が連続した山間地河道であるが、足久保川との合流点付近 (14.5 km) より下流には扇状地が広がる。そこで 14.5 km 地点で区域を大きく二分する。ここより上流では、後述するように、19.0 km 地点より上流は侵食傾向、下流では堆積傾向にある。そこで 19 km 地点を境に区域をさらに二分する。

一方、14.5 km 地点より下流の扇状地河道では、図-2 に示すように河床勾配の変化点が 4 km 地点と 10 km 地点にあるので、これら 2 地点で区間を分ける。結局、図-2 に示すように全体で 5 区間に分け、それぞれの区域を扇状地部分については扇状地①、②、③、山間地河道については、山間地①、②と呼ぶこととする。

1966 年と 1989 年の 2 時期について、移動床幅の縦断変化をまとめたのが図-3 である。これによると、下流部の扇状地河道部では 1966 年と比較して移動床幅は減少傾向にある。また、1989 年のデータによれば、扇状地①での移動床幅は平均 550 m、扇状地②、③では約 500 m とかなり広いが、その上流の山間地①では約 450 m、山間地

②では約 350 m と狭くなる。

3. 砂利採取に伴う河床低下と砂利採取後の河床の変化

安倍川では、1967 年以前、河床からの砂利採取が広範に行われた。図-4 には各区間ごとの砂利採取許可量を 1955 年～1967 年と 1968 年～1992 年の 2 時期に分けて示す。これによれば、砂利採取規制が行われる以前の 1967 年までに採取が行われたこと、そして規制後の砂利採取量はほとんど無視できる量であったことが分かる。また、各区間ごとの掘削量は縦断方向にかなり変動しており、例えば最下流の扇状地①では下流ほど採取量が多かったこと、そして河口に隣接する 1 km 区間では約 $7 \times 10^5 \text{ m}^3$ の土砂採取が行われたことが分かる。この付近の平均移動床幅は図-3 に示したように約 550 m であったから、平均での河床面の低下量に換算すると約 1.3 m であったことになる。

広範に砂利採取が行われる前の 1955 年と、砂利採取規制が行われた後の 1967 年の横断測量データをもとに、河床変動量をまとめると図-5 となる。砂利採取が行われる間にも洪水は発生し、砂礫は移動しているから、砂利採取量と河床の土砂変動量は正比例する訳ではないが、扇状地③と山間地①の区間では両者はかなりよく対応している。しかし、扇状地①、②では相関は見られない。最下流の扇状地①では、平均的に見ると 400～600 m^3 河積が増加したことになる。移動床幅は既に図-3 に示したが、扇状地①での平均移動床幅は約 550 m であるから、移動床部分での平均河床低下量は約 1 m であったことになる。

図-6 には、安倍川の扇状地①、②、③と、山間地①、②の各区間ごとの平均河床高の経時変化を示す。最下流に位置する扇状地①では、1970 年以降、平均河床が単調に増加している。1967 年を基準とした時の、1992 年までの河床高上昇量は約 0.6 m に達した。この区間での移動床河床の平均低下量は約 1 m であったことから、1992 年までに全河床低下量のほぼ 1/2 が回復したことになる。扇状地②では、河床高の上昇が扇状地①より遅れて 1973 年より始まった。ここでも平均河床高の増加はほぼ単調であり、1992 年までに 0.48 m 上昇した。扇状地③では、1973 年頃から平均河床高の増加が始まり、1989 年には 0.6 m の増加となった。しかし、1992 年ではやや減少傾向を示す。いずれにしても、14.5 km より下流の扇状地河道では、1970 年～1973 年以降河床は増加傾向にあった。

これに対して、山間地①では、全体として河床高は増加傾向にあるが、増加率は扇状地河道と比較して緩やかである。一方、さらに上流の山間地②では、一転して平均河床は著しい低下傾向を示す。山間地①での 1967 年か

ら1992年までの河床低下量は約1.1mであるが、近年では減少割合は小さい。

図-7には、1967年を基準とした各区分ごとの土砂量の経年変化をまとめて示す。平均河床高の経年変化はすでに図-6に示したが、川幅は上流方向に狭くなるので、川幅も考慮して土砂量の変化を算出した。これによると、扇状地河道では図-6に示した平均河床高の変化とほぼ同じ傾向が見られる。扇状地①では、1992年までの堆積土砂量は約 $1.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、扇状地②では $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、扇状地③では $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ の堆積となる。一方、例えば山間地②では平均河床高の変化量が大きかったが、侵食土砂量に換算すると、1992年までで約 $9 \times 10^5 \text{ m}^3$ となり、扇状地河道での堆積量と比較するとその量は減少する。

以上のように、土砂量の変化から見ても、少なくとも扇状地河道部分では1970年～1973年以降、河床面には土砂が堆積傾向にあったことがわかる。

4. 静岡・清水海岸の汀線変化

ここでは、安倍川からの流出砂礫が漂砂の供給源と

なっている静岡・清水海岸の海浜変形と、安倍川からの流出砂礫量の関係について考察する。図-8には、静岡・清水海岸の位置を示す。安倍川河口より滝ヶ原川河口までの7.8kmが静岡海岸、そこより三保松原先端までの約10kmが清水海岸と呼ばれる。安倍川からの流出砂礫は駿河湾湾口方向、すなわち南側から入射する波の作用で発達する北東向きの沿岸漂砂によって運ばれ、海岸の北東端には三保松原砂嘴が形成されている。砂嘴先端部の海底勾配は非常に急であり、約1/5の勾配で-400mまで落ち込んでおり、砂嘴先端部では砂礫が深海へと流出している(宇多ほか, 1991)。また、砂嘴の基部から安倍川河口までの区間の沖合、-30m～-10mには緩勾配の大陸棚斜面が発達している。図-8には、以後の解析のために測線配置を示す。測線No.0是三保松原の先端に、No.175は安倍川河口の左岸にあり、測線は東から西方向に100m間隔で配置されている。なお、この海岸の前浜構成材料は、1989年に行われた調査によれば、構成材料の中央粒径は0.3～20mmの間にある。

図-9には、深浅測量データより求めた静岡・清水海岸における各年ごとの汀線変化量の沿岸方向分布を示す(宇多ほか, 1991)。また、図の最下段には調査期間全体での汀線変化量の分布を示す。さらに、図中の矢印は、消波ブロックの設置区間(安倍川河口から海岸線に沿って東側へと設置された)の東端位置を示す。1975年には、No.144～No.159の区域で最初に侵食が始まった。汀線の後退域は時間経過とともに北東側へと移り、1983年には清水海岸に達した。1975年～1983年における侵食域の平均広がり速度は約800m/yrであった。さらに、1988年になると、侵食域はNo.59～No.80の区域にまで達した。1983年～1988年ではそれ以前より移動速度は減少し

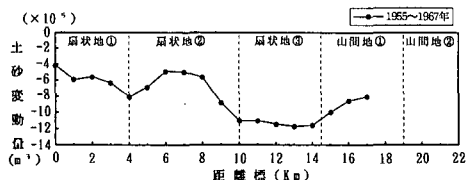


図-5 各区分ごとの土砂変動量 (1955年～1967年)

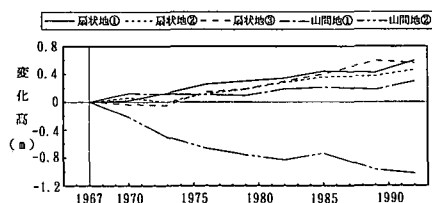


図-6 各区分ごとの平均河床高の経年変化 (1967年～1992年)

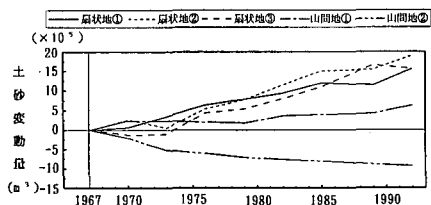
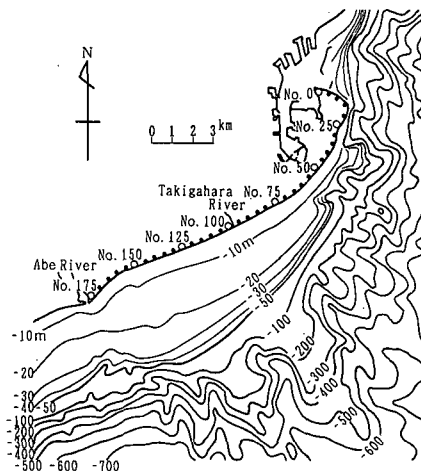


図-7 各区分ごとの土砂変動量の経年変化 (1967年～1992年)



(No.175～No.97: Shizuoka Coast, No.96～No.0: Shimizu Coast)

図-8 静岡・清水海岸沖の海底形状と測線配置

たものの、なお約 500 m/yr の割合で広がりを示した。また、侵食域の広がりとともに、消波ブロックの設置範囲も広がった状況が明らかである。

図-9 において、1975 年より 1980 年まで、各年ごとの侵食・堆積量の比較によれば、図中、2 本の一点鎖線を示すように、各年の侵食区域の先端と後端はほぼ一定速度で進行している。そこで、この進行速度をもとに安倍

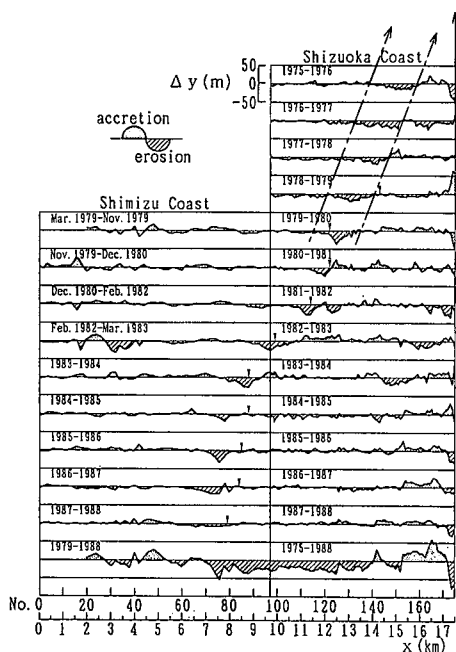


図-9 静岡・清水海岸における各年ごとの汀線変化

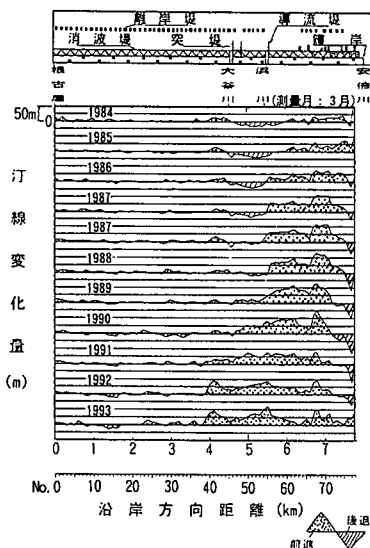


図-10 静岡海岸の汀線変化 (1983 年基準)

川河口で侵食が始まった時期を逆算する。安倍川河口は図-9 の右端の 17.8 km に位置するので、2 本の一点鎖線を外挿し、 $x=17.8$ km 上での交点を定め、さらに図の縦軸に示す各年ごとの変化目盛りにより時間を逆算する。この結果、河口部での侵食は 1969 年～1971 年となる。上述のように、安倍川での砂利採取は 1967 年まで盛んであったこと、また図-5 に示した安倍川の各区間ごとの平均河床高の変化によれば、河口部に隣接する扇状地①では、1970 年まで河床高の増加は見られない。このことは、静岡海岸で侵食が広がり始めた時期は、砂礫の供給源である安倍川で最も河床高が下がっていた時期であることが分かる。これは、安倍川、特に河口に近い部分での砂利採取により海岸への砂礫供給量が急減し、そのため河口部より北側へと侵食が広がっていったことを示している。一方、図-9 によると、1983 年以降には汀線の前進域が北側へと広がりを示す。この区間の状況を詳しく書いたのが図-10 である(宇多ほか, 1994)。図には離岸堤の設置区域も示す。これによると、主な汀線変化は安倍川の河口近傍より始まった。当初は浜川の導流堤を境界として、それ以南で集中的に堆砂が進んだが、1990 年以降、堆砂域は浜川の導流堤の北側へと急速な広がりを示した。しかも、北側への堆積区域の広がりと同時に、当初顕著な前進を示していた区域(例えば 1987 年における No. 66～No. 70 の区間)では、逆に汀線は急速に後退し、全体として sand body が緩やかに変形しつつ北側へ移動した特徴が見られる。

図-11 には、図-10 に示した前浜の堆積域の重心点および各水深に高の堆積域の重心点の、安倍川河口からの沿岸距離の経年変化を示す。これによると、いずれの場合も sand body の重心点は単調に北東側へ移動しており、重心移動速度の平均値は 235 m/yr となる。図-9 では、対策として離岸堤が建設される以前における侵食域の広がり速度を 500～800 m/yr と推定した。この値と比較すると、離岸堤群の設置によって伝播速度が 0.47～0.29 倍まで低下したことが分かる。

一方、手越流量観測所の 1980 年以降の洪水記録を調べると、規模の大きい洪水として、例えば日流量平均が 1000 m^3/s 以上の洪水を選ぶと、1980 年～1993 年の間、表-1 のように 7 回の洪水が発生しており、特に、1982 年 9 月 12 日には最大流量 3856.79 m^3/s の洪水が発生したが、その後は規模の大きい洪水は発生していない。表-1 によると、1982 年と 1983 年には最大流量が約 3000 m^3/s の大洪水が発生したが、そのほかの時期の洪水規模はこれらに比較して小さい。このことから、図-9 に示した静岡海岸での 1983 年以降の汀線の前進はこれらの洪水により河口に大量の砂礫が供給されたことに起因して始まったと考えられる。しかし、1983 年以降再び洪水規模

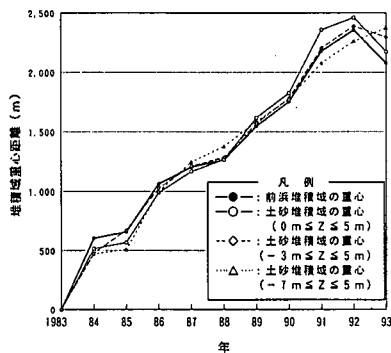


図-11 sand body の重心点の移動

表-1 1980 年以降における洪水記録

DATE	Daily average of flood discharge [m³/s]	Maximum flood discharge [m³/s]
Aug. 2, 1982	1,128.90	3,856.79
Aug. 3, 1982	1,466.31	
Sep. 12, 1982	1,722.64	
Aug. 2, 1983	1,730.89	2,980.91
July 2, 1985	1,523.32	—
Aug. 10, 1990	1,004.95	—
Sep. 2, 1991	1,396.05	2,511.19

が小さくなったため、海岸に供給される砂礫量が減少し、そのため一度前進した汀線が再び後退に転じ、この結果 sand body としての土砂移動形態を示したと考えられる。

5. 考 察

安倍川は、河口部河床勾配が 1/250 という急流河川であり、河床は平均粒径が 50-60 mm の礫で構成されている。このことは、洪水時、wash load 成分は短時間に流下し、河川はこのような細粒の土砂に対しては単なる通過空間となることを意味する(藤田ほか, 1995)。一方、安倍川河口の北東側に広がる静岡・清水海岸は、汀線付近の勾配が約 1/7 と急勾配であって、海浜はほぼ中央粒径 0.2 mm 以上の砂礫で構成されている。このことは、安倍川より供給される土砂のうち細粒分は海岸には寄与せず、河床材料とほぼ近い材料のみが海岸へと移動することを意味する。すなわち、静岡・清水海岸は、砂礫の移動から見ると一つの河川が続いているかのように考えてよいことになる。このため河口からの流出土砂量の減少が、ただちに河口部の海岸侵食をもたらし、それが沿岸漂砂の下手側へと次々と波及したと考えられる。また、河床が上昇して河口から砂礫の流出が再び始めると、そ

の砂礫は沿岸漂砂によって漂砂の下手方向へと移動することになったと考えられる。なお、海岸線には各種海岸施設が並べられたため、最近では土砂の移動速度が低下していると考えられる。

宇多ほか(1991)は、図-8 に示す汀線変化図をもとに、前浜面積の変化量に漂砂の移動高を乗じて海浜土砂量の変化を算出し、さらに、静岡海岸では海岸が侵食されたあと護岸と消波ブロックに覆われ、漂砂の上手側からの沿岸漂砂の連続的の移動ができなくなったことを考慮して、沿岸漂砂量を推定した。計算は、1984 年～1988 年において単調に侵食が進んだ No. 70～No. 85 の区域、および同じ期間に堆積の進んだ No. 151～No. 166 のそれぞれ 1500 m 区間で行われた。この結果、No. 70 を通過する沿岸漂砂量は、 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、No. 166 を通過する漂砂量は $1.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定された。両者の平均は $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。安倍川右岸には海岸護岸と離岸堤がすでに設置されてあって沿岸漂砂の出入りはほとんどないことを考慮すると、上述の漂砂量は安倍川からの砂礫の流出量にほぼ等しい。したがって、安倍川では平均的に見れば、 $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂礫が海へ流入していたことになる。ただし、細粒分は安倍川および静岡・清水海岸に止まっていないことから、細粒分を含む安倍川からの流出土砂量を正確に推定することはできない。

6. ま と め

安倍川の河床変動と静岡・清水海岸の海浜変形を同時に検討することにより、静岡・清水海岸での侵食は安倍川での砂利採取に伴う河口からの流出土砂の激減によって発生したこと、また、砂利採取の禁止のあと 1982 年、1983 年の大洪水により河川から大量の砂礫が河口に供給され、これが静岡・清水海岸方向へ移動することにより sand body の移動が始まったことが明らかにされた。

参 考 文 献

- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本吉道・板橋直樹 (1994): 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・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.
- 豊島 修 (1984): 清水 (静岡) 海岸の侵食防止工法 (1 私家), 海岸工学講演会論文集, pp. 330-334.
- 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. 360-364.
- 藤田光一・宇多高明・服部 敦 (1995): 水系土砂収支分析のための有効粒径集団の考え方の提案, 土木技術資料, Vol. 37, No. 12, pp. 34-39.
- 山本晃一・高橋 晃 (1993): 扇状地河川の河道特性と河道処理, 土木研究所資料, 第 3159 号, p. 339.