

仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態

望月倫也*・宇多高明**・大類光男***・大谷靖郎****

1. まえがき

近年、全国各地で海岸侵食が問題となっている。海岸侵食箇所は全国に散在しているが、その原因は次の3要因に分類される。①防波堤等の人工構造物によって沿岸漂砂の連続性が断たれ、構造物の下手側海浜で侵食が進む場合、②河川からの流出土砂量が減少し、これによって河口周辺の海岸が侵食される場合、および③沖合に造られた大規模な構造物により波浪場が変化し、波の遮蔽域で土砂が堆積、遮蔽域外で侵食が進む場合である。これらの原因によって起こる海岸侵食については、最近の研究によりかなり実態が明らかにされつつある。例えば新潟県の市振海岸（宇多ほか，1988）での侵食は第1の例であり、また、酒匂川の河口周辺での侵食（宇多・矢野，1987）は第2の例として、また茨城県の大洗港や大津港周辺での海浜変形（宇多ほか，1986）は第3の例である。しかしながら、多くの現地海岸では上記の侵食原因が重なっている場合があり、原因の一つに特定できないために、場合によっては漂砂の卓越方向の判断を誤る場合もある。それゆえ、種々の条件での実態解明を更に進め、海浜変形に関する普遍的認識が得られるよう研究を進めるべきである。こうした立場より、本研究では仙台湾の北部に位置する石巻湾沿岸で生じた海浜変形の実態分析を進め、海浜変形機構について考察する。

2. 調査地域の概要と海象条件

調査地域は仙台湾北部に位置する石巻湾沿岸である（図-1）。この沿岸は、東を牝鹿半島、西を松島に囲まれた東西約 21 km の砂浜から成る。石巻湾には旧北上川が流入しており、また湾の中央部には近年になって石巻港が建設された。石巻湾は仙台湾の中央部と同様に水深 10~50 m の間では約 1/500 と海底勾配が緩く、その沖合では勾配が約 1/200 とやや急になる。仙台湾沿

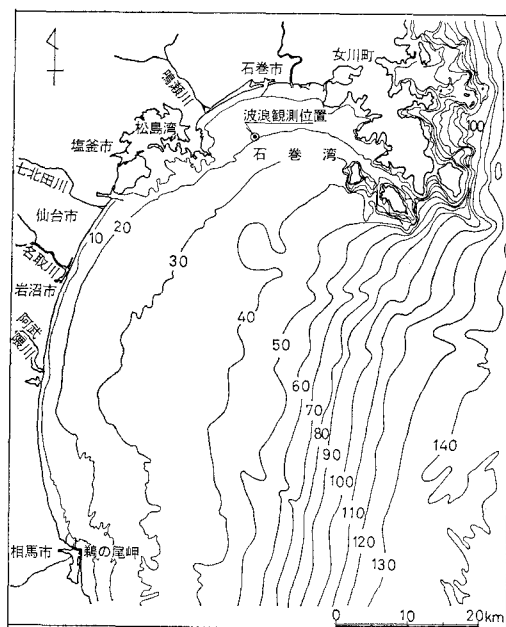


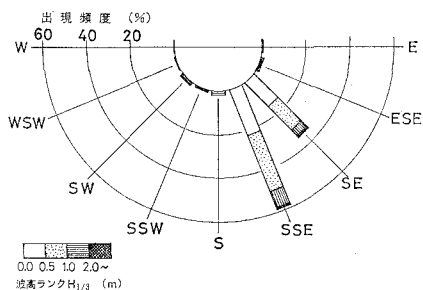
図-1 石巻湾沿岸の位置図および石巻港沖の波浪観測地点

岸のうち松島以南の地域では北向きの沿岸漂砂が卓越し、それにより海岸構造物の南側隣接区域では土砂が堆積し、北側では侵食が進んでいる（野村ほか，1986）。

石巻湾沿岸の波浪条件としては、図-1 に示すように石巻港の沖合約 7 km の水深 20 m 地点で観測されたデータより特性を知ることができる。1985年4月より1989年3月までの4年間のデータをもとに有義波高、周期の出現頻度を調べると、波浪はかなり静穏であり、1 m 以下の波高の出現率が約 86% と高い。また、有義波周期はかなり広い周期帯において出現するが、最多頻度は 7.0~8.0 s にある。

石巻湾沿岸への来襲波浪の入射方向は、図-1 に示した波浪観測地点で同じく観測されている。方向別の波高出現頻度をまとめると図-2 となる。卓越した波の入射方向は SSE と SE であり、これら2方向以外の方向からの波の入射頻度は非常に低い。調査区域は旧北上川河

* 正会員 宮城県土木部河川課長
 ** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 *** 正会員 宮城県土木部河川課
 **** 正会員 (株)アイ・エス・エー新土木研究所



図—2 石巻港沖の水深20m地点における波高・波向の出現頻度

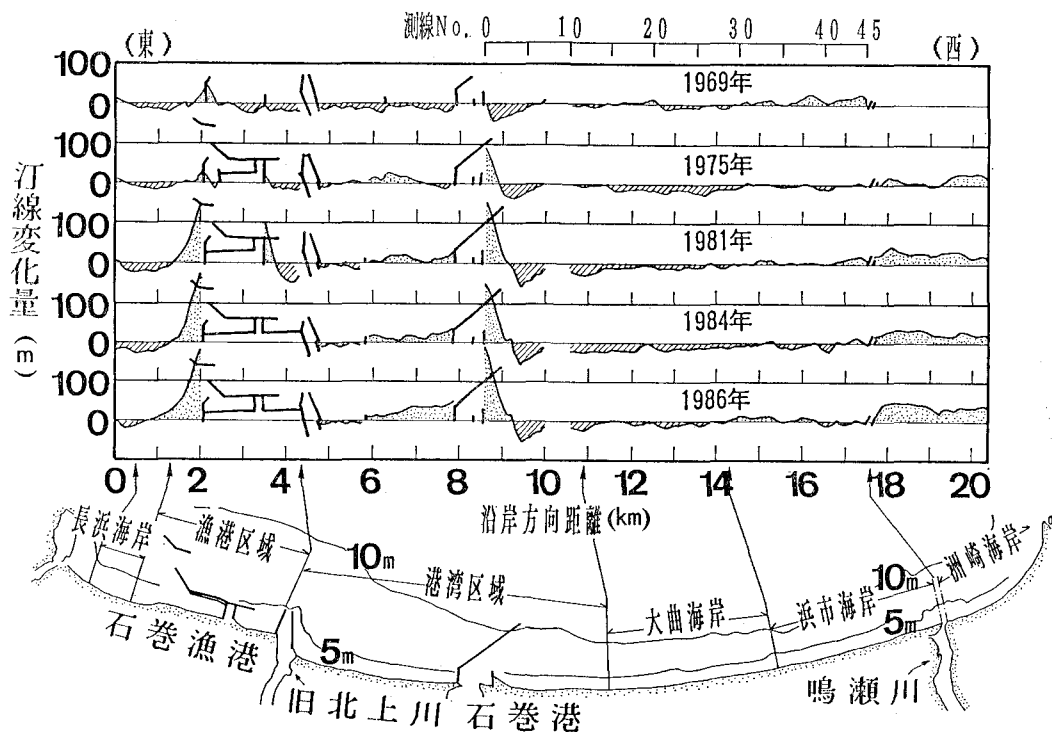
口より鳴瀬川河口まで緩やかな弓状の海岸線形状を有しているが(図—1参照)、この弓状の海岸線の中点において海岸線に対する法線を引き、その方向を時計回りに測ると、N 151° Sとなる。この方向は SE (N 135° S) と SSE (N 157.5° S) の間にあるが、SSE に近い値である。

当海岸の潮位条件として石巻湾の潮位実況を参照すると、平均潮位は T.P. +0.19 m に、朔望平均満潮位が T.P. +0.83 m に、朔望平均干潮位が T.P. -0.66 m にある。ここに、T.P. は東京湾中等潮位 (Tokyo Peil) の略称である。

3. 空中写真による汀線変化調査

この海岸において汀線変化調査に利用可能な空中写真は1947年～1986年の39年間に7組ある。ここではこれらのうち構造物建設に伴う顕著な地形変化の見られた1961年以降の6組の空中写真をもとに汀線変化の解析を進めた。1961年5月に得られた空中写真を基準としたときの各地先の汀線の経年変化をまとめると図—3となる。図には港湾構造物等の形状変遷も示した。各期間での汀線変化をまとめると次のようである。

1969年段階では石巻港の斜め防波堤の長さは短く、石巻漁港の防波堤の規模も小さい。石巻港の東側地区の汀線は全般に後退傾向を示す。石巻漁港の東防波堤の両側では汀線が前進しているが、これは防波堤の両側に遮蔽域が形成され、そこに土砂が堆積したためと考えられる。石巻港の西側隣接区域では汀線の著しい後退が見られ、後退量は防波堤近傍ほど大きく、西側へ距離が離れると減少傾向を示す。1975年段階では、石巻港の斜め防波堤が延長され、全長で 1100 m となった。このため西側の遮蔽域が拡大し、これと同時に汀線の後退域が西側へ広がるとともに、遮蔽域での汀線の前進が顕著になった。一方、鳴瀬川以西に広がる洲崎海岸では全般に土砂が堆積傾向にある。1981年になると、石巻港の防波堤は概成した。また石巻漁港の沖合防波堤の影響による著し



図—3 石巻湾沿岸の汀線形状の変化(1961年～1986年)

い変化が見られるに至った。石巻漁港の東側隣接部では汀線が最大 145 m も前進し、これと対照的に漁港防波堤の東側に位置する長浜海岸では汀線の後退が見られる。このような汀線変化の原因は、沖合防波堤の建設により波の場が変化し、遮蔽域外から域内へと土砂が運ばれたためである。石巻漁港と石巻港の間では旧北上川の導流堤の隣接部で汀線が後退し、石巻港の隣接部で汀線が前進している。このような汀線変化は、この地域で西向きの漂砂が卓越するために、構造物の漂砂下手側では汀線が後退し、上手側では堆積したことを意味する。石巻港の西側隣接部では汀線が後退傾向を示すが、西端の洲崎海岸では次第に汀線が前進している。

1984年までの汀線変化は1981年までの変化とほぼ同様である。1986年では1984年までに見られた汀線形の変化が一層明瞭となった。旧北上川河口と石巻港の間では、汀線の後退域の面積に比較して前進域の面積ははるかに大きい。このことは、旧北上川からの流出土砂が西向きに運ばれ、石巻港の防波堤によって阻止されたことを意味する。旧北上川導流堤と石巻港の防波堤間の海浜面積の増加割合を1969年～1986年のデータより平均値として求めると約 $5200 \text{ m}^2/\text{yr}$ となる。

石巻港の西側地区では遮蔽域での汀線の前進と、遮蔽域外での汀線後退が明瞭に見られ、後退域は大曲海岸と浜市海岸の境界付近にまで達している。また、洲崎海岸では経年的に砂浜面積が増加しており、1975年～1986年の間で砂浜面積の増加割合を求めると、約 $6200 \text{ m}^2/\text{yr}$ となる。このように砂浜面積が増加したのは、鳴瀬川からの流出土砂が堆積したこと、また浜市海岸方面より西向きの沿岸漂砂によって土砂が供給されたことを表わしている。結局、図-3 に示した汀線変化の原因は次の2つに分類される。

①波を遮蔽する構造物が造られたために波の場が変化し、波の遮蔽域外より域内へと土砂が運ばれ侵食・堆積が生ずる（例：長浜海岸、石巻港の西側隣接区域）。

②西向きの沿岸漂砂が阻止され、構造物の上手側で土砂が堆積し、下手側で侵食される（例：旧北上川河口～石巻港防波堤、大曲海岸～洲崎海岸）。

4. 海浜断面形の変化と底質中央粒径の水深方向分布

石巻港の西側隣接地区では近年著しい海浜変形が生じたが、次に海浜断面の変化よりこの点を詳しく調べた。石巻港の西側隣接区域では最初1973年2月に測量が行われているので、この断面形と1984年の断面形を比較した。図-4 は、代表5測線に沿う海浜断面形の変化を示す。測線 No. 0.5 では汀線が約 160 m 前進し、前浜に大量の土砂が堆積した。このとき、土砂堆積の生ずる

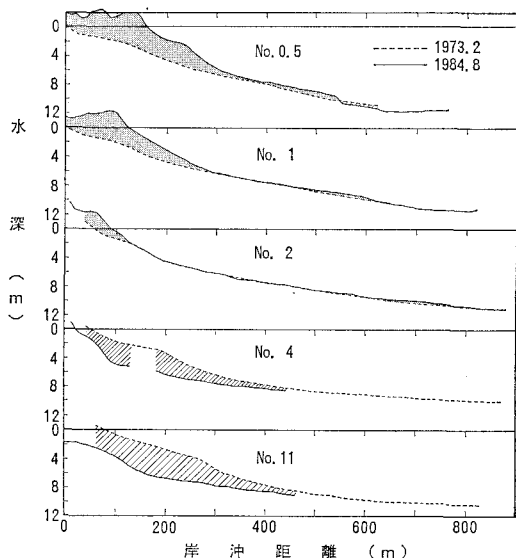


図-4 港湾区域内における海浜断面形の変化の比較

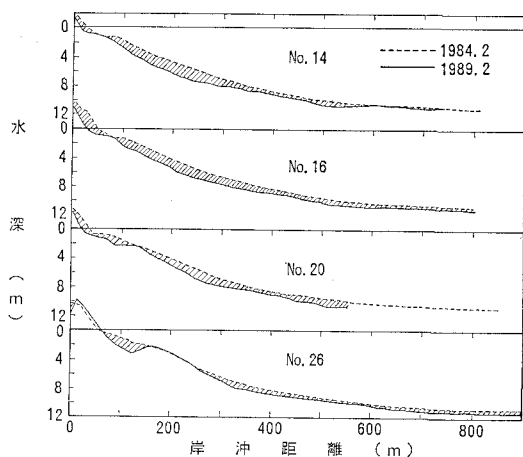


図-5 大曲海岸における海浜断面形の変化の比較

限界水深は約 8 m にある。No. 1 でも汀線が前進し、全体に勾配が急になった。これらと対照的に No. 4, No. 11 では浅海部が大きく侵食され汀線が後退した。その場合の移動限界水深は約 8 m にある。わずかな距離離れたこれらの測線で堆積・侵食特性が大きく変化する原因は、No. 4, No. 11 付近の断面内の土砂が港内方向へと移動し、No. 0.5, No. 1 付近に堆積したことを表わしている。

図-4 に示した区域の西側の地区では1973年の測量データは存在せず、最も古い測量は1984年2月に行われた。そこでこのデータと最新の1989年の断面形との比較を試みた（図-5）。いずれの測線においても海浜は全般に侵食傾向を示す。この区域での侵食原因としては、石

巻港の防波堤により西向きの沿岸漂砂が阻止されたために沿岸漂砂の場所的不均衡が生じて侵食が進んだこと、あるいは土砂の一部が石巻港防波堤の遮蔽域内へと流出した可能性の両者が考えられる。

海浜断面形と汀線の変化は既に明らかになった。そこで汀線の変化量 (Δy) と海浜断面積の変化量 (ΔA) とを求め、両者の相関より、漂砂の移動高 (宇多ほか, 1988) を算出した。回帰分析によれば ΔA と Δy の間には相関関数 $R=0.86$ で次式が成り立つ。

$$\Delta A = 6.14y - 315 \dots\dots\dots (1)$$

ここに ΔA , Δy の単位は m^2 と m である。 ΔA と Δy の回帰係数は漂砂の移動高 (h) を与えるから、式 (1) によれば $h=6.1m$ となる。

一次の回帰式としては式 (1) の関係が得られたが、測線 No. 0~No. 11 のデータを詳細に調べると、汀線の前進する場合は勾配が緩く、汀線の後退する場合には勾配が急な傾向がある。この理由は海浜断面形の変化 (図-4) より説明できる。図-4 によれば、汀線の前進する場合には陸上の T.P. 2m より -8m の間で海浜変形が生ずるものの、三角形の断面変化が生じた。この場合式 (1) の関係を求めれば断面形が平行移動する場合と比較して回帰係数は小さくなる。一方、侵食域では水面下での断面形の変化が大きく、等深線の水平方向の最大変位は T.P. -4m 付近で表われている。このため上述の場合と比較して回帰係数は逆に大きくなる。侵食域を代表する No. 11 などにおいて海面下の地形変化が著しかった理由として、汀線付近にはコンクリート製の護岸があり、そのため汀線はある限界値より後退することができず、したがって構造物の前面が次第に深くなったためと考えられる。

一般に、海浜の底質中央粒径は汀線付近において最大値を示したのち水深方向に減少し、漂砂の移動限界水深付近では細砂~シルト質となる。その実例は、仙台湾沿岸 (野村ほか, 1986)、鈴鹿川河口周辺 (宇多・山本, 1989) などで見られる。したがって底質中央粒径の水深方向分布の調査は、漂砂の活発な範囲や移動限界水深を調べる上でも有効である。そこで本研究においては代表 5 測線において底質調査を行った (図-6 参照)。いずれの測線においても底質中央粒径は汀線付近で最大値をとり、水深方向に減少する。減少割合は汀線より水深 3m の間で大きく、3~7m では減少割合は小さくなる。また、水深 7~8m の間で中央粒径は急変し、8m 以深ではほぼ 0.15mm の単一粒径となる。底質中央粒径の水深方向分布は、同じ仙台湾の阿武隈川河口付近で得られた分布形 (野村ほか, 1986) と良く対応する。ところで、海浜断面形の変化から著しい海浜断面形の変化の生ずる限界水深が約 8m にあることは既に述べたが、この

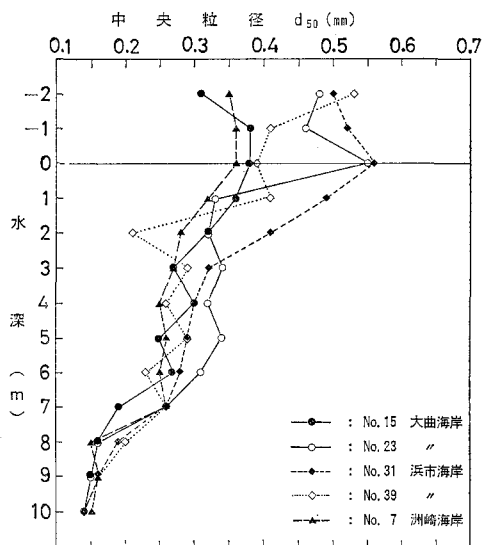


図-6 底質中央粒径の水深方向分布

限界水深は底質中央粒径が粗粒から細粒へと変化する限界水深 (約 8m) と非常に良い対応を示すことが分かる。

波浪・底質条件が与えられたとき漂砂の移動限界水深は計算によって求めることができる。計算公式は種々あるが、佐藤・田中 (1962) の表層移動限界式を選んで適切に選択された波浪条件を代入すれば、実測値とかなり良い一致を示す値が得られる。そこで本研究においてもこの手法により検討した。まず、1985年4月から1989年3月まで4年間の波浪観測データをもとに波高の高い順に並べたときの出現確率が 3, 5, 10% となる波高と、その波高階級のうち最多頻度の周期を求めた (表-1)。さらに移動限界水深付近の底質中央粒径を 0.15mm, 0.2mm, 0.25mm と仮定して、佐藤・田中による表層移動限界水深を求めた (表-1 参照)。一方、石巻港周辺の海浜断面形の変化 (図-4) において顕著な地形変化の生ずる限界水深は約 8m にあるから、図-6 に示した底質中央粒径の水深方向分布において水深 8m における中央粒径の平均値を求めると約 0.18mm となった。一方、表-1 において、3% 確率波高で d_{50} を 0.2mm としたときの限界水深は 7.8m であって、この値は実測の 8m とほぼ一致する。このことから 3% 確率波の場合に実測

表-1 各波高に対する表層移動限界水深

	H_0 (m)	T (s)	表層移動限界水深 h_1 (m)		
			$d_{50}=0.15\text{mm}$	$d_{50}=0.20\text{mm}$	$d_{50}=0.25\text{mm}$
3%	1.53	7.5	8.8	7.8	7.2
5%	1.34	7.5	7.5	6.7	6.1
10%	1.12	7.5	6.0	5.4	4.9

の移動限界水深との対応が良好なことが分かった。ところで、この種の確率波高は他の現地海岸でも求められており、高知海岸では約 10% 確率波が、富山県の宮崎・境海岸では 3% 確率波が良い一致を示した。当海岸で得られた値は、宮崎・境海岸の場合とほぼ同様となった。

5. 沿岸漂砂の卓越方向に関する考察

調査区域の西端近くにある鳴瀬川河口では 1971 年より 1988 年の間に深浅測量が 11 回繰り返されている。深浅図の比較によると、1971、1977～1982、1984 年の 8 回分の深浅図では河口導流堤の東側で汀線が前進し、西側で後退する傾向が見られた。一方、1976 年では特徴が明瞭ではなく、また 1987、1988 年では西側の汀線の方が東側の汀線よりわずかに沖に位置していた。東側の汀線が著しく沖に突出する場合の代表例として 1982 年の深浅図を図一 7 に示す。11 回の測量のうち過半の場合に図一 7 に示した汀線形の特徴が見られたことは、当地点における沿岸漂砂の卓越方向が西向きであることを示している。また、図一 7 によると 5 m の等深線が最も沖向きに突出する位置が河口中心より西側に位置しているが、これは西向きの沿岸流が卓越するとともに、河川流が汀線に対し斜めに流入していることが原因と考えられる。

前節までに述べた汀線変化、河口偏寄の状況などをもとに沿岸漂砂の卓越方向をまとめると図一 8 となる。石

巻漁港の東側に位置する長浜海岸では沖合防波堤の建設に伴って西向きに漂砂が移動した。先に求めた海浜面積の増加割合に移動高を乗ずると、旧北上川からは約 3 万 m^3/yr の割合で湾内へ土砂が流入する。流入土砂は西方向へと移動し、石巻湾の防波堤により阻止される。石巻港の西側の港湾区域と大曲海岸の一部では石巻港の防波堤背後に形成された遮蔽域により東向きに土砂が移動する。大曲海岸の西側区域ではやや西向きの沿岸漂砂が卓越し、鳴瀬川からの流出土砂とともに洲崎海岸において堆積する。ただし、図一 8 の中の大曲海岸において漂砂の方向が東向きと西向きとに分岐する位置は波の入射条件の変化とともにかなり移動するものと考えられる。

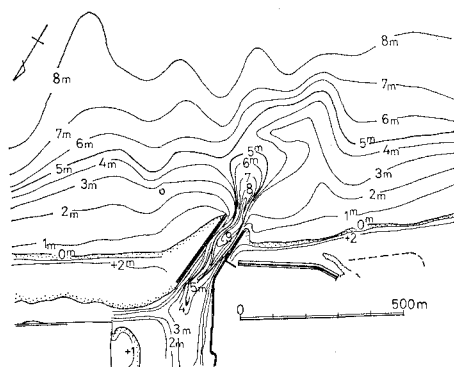
6. 結 論

本研究によって得られた主な成果を以下に要約する。

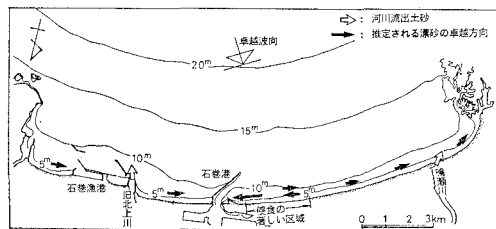
- ①石巻湾沿岸では近年海岸侵食が著しく進んでいるが、その原因は沖合に防波堤等の構造物が造られ、その背後に形成された遮蔽域において波の場が変化して海浜変形が生じた場合と、西向きの沿岸漂砂が阻止されたことによって構造物の上手側で堆積が、下手側で侵食が生じた場合とに大きく 2 つに大別された。
- ②海浜断面形の比較によると、顕著な断面変化の見られる限界水深は平均海面下約 8 m にあることが判明した。この値は、仙台湾の阿武隈川河口周辺で得られた値と良い一致を示した。
- ③底質中央粒径の水深方向分布を代表 5 測線に沿って調査した。中央粒径は汀線付近では 0.35～0.55 mm と粗粒であったが、水深方向に急激に減少し、水深 8 m 以深ではほぼ 0.15 mm 以下の細粒となった。底質粒径がシルト質の細粒へと急変する水深は約 8 m であり、この値は海浜断面の比較により得られた限界水深とも良く一致した。
- ④海浜断面積の変化量と汀線変化量の相関関係より漂砂の移動高を求めた。移動高としては 6.1 m なる値が得られた。

参 考 文 献

- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三 (1986): 茨城県における海浜変形の実態, 地形, Vol. 7, No. 3, pp. 141～163.
- 宇多高明・矢野 滋 (1987): 相模湾西湘海岸の侵食実態について, 地形, Vol. 8, No. 1, pp. 1～19.
- 宇多高明・小林正一・種岡虎男 (1988): 新潟県市振海岸における海岸構造物設置に伴う海浜変形, 地形, Vol. 9, No. 1, pp. 35～52.
- 宇多高明・山本幸次 (1989): 鈴鹿川河口周辺海岸における沿岸漂砂量と漂砂の移動高, 地形, Vol. 10, No. 2, pp. 113～119.
- 佐藤昭二・田中則夫 (1962): 水平床における波による砂移動について, 第 9 回海岸工学講演会講演集, pp. 95～100.
- 野村和正・宇多高明・因幡昭義・宮内利夫 (1986): 阿武隈川河口砂州の変形について, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 267～271.



図一 7 鳴瀬川河口周辺の深浅図(1982年測量)



図一 8 漂砂の移動パターン