

流砂系における堆積物調査手法に関する研究

山本幸次* ・鳥居謙一**・佐藤慎司***
田中 晋****・宮野正実*****

1. はじめに

日本の海岸侵食の実態をとりまとめた宇多 (1997) は, 海岸侵食問題の解決のための今後の展望のなかで, 河川からの土砂供給量の減少を問題としてあげ, 流砂系の確保の重要性について述べている. そして, 河川では砂礫分より数倍も多くのシルト・細砂が運ばれており, それらの細粒底質の流出が阻止されると沖合の海底地盤の低下を招き, 長期的にはかなり大きな影響となる可能性があるとして指摘している. また, 海岸環境と流砂系土砂管理の必要性について論じた磯部 (1998) は, 海岸地形が特に基本的な環境要素となり, 海岸の土砂管理を通じて地形の安定化を図ることが, 海岸環境全体の向上のために非常に重要であるとしている. 特に生態系に対しては, 地形そのものとともに, 土砂の粒径が支配的な要因となると示唆している. すなわち, 宇多 (1997), 磯部 (1998) ともに, 流砂系における一貫した土砂管理のもとでの海岸保全の必要性を説いており, 河川から海岸に供給される土砂の質の把握が重要な課題であることを指摘している.

このような流砂系や漂砂系の観点からの, 海岸における土砂の移動特性や堆積物特性に関する研究はまだ少なく, 最近になって李ら (1999), 山下ら (2000a, 2000b) によって広域的調査が行われるようになった. また, 佐藤ら (2000a, 2000b) や山本ら (2000) も, 利根川と鹿島灘沿岸の南側に位置する波崎海岸において堆積物特性や波浪特性に関する広域的調査を行っている. 以上のように, 海岸における土砂移動特性や堆積物特性の調査・解析に関する研究事例が集積されつつあるが, 流砂系や漂砂系を対象とした場合には調査範囲が広域にわたるため, 効率的で経済的な調査手法の開発が望まれている. そこで, 本研究では, 流砂系における土砂の移動特性と

堆積過程を反映する堆積物特性に着目して, 鮫川が流入する勿来海岸 (ポケットビーチ) でいくつかの方法を用いて調査した結果をもとに, それらの組み合わせによる流砂系における堆積物調査手法を検討する.

2. 鮫川・勿来海岸流砂系の概要

勿来海岸は南端に鵜ノ子岬, 北端に竜宮岬が位置する延長約 6 km の弧状のポケットビーチで, その中央部よりやや北側に中規模河川の鮫川が流入する. 鵜ノ子岬は凝灰岩質シルト岩, 竜宮岬は砂岩質塊状シルト岩の固結堆積物からなる海崖である. 鵜ノ子岬のさらに南側は突出した大津岬に連続しており, その海底地形も突出した等深線形状となっていることから, 南側の大北川が流入する北茨城海岸からの沿岸漂砂は遮断されていると考えられる. また, 竜宮岬の海底地形も突出した等深線形状となっていることから, 北側からの沿岸漂砂は遮断されていると推定できる. 以上のことから, 勿来海岸は大津岬と竜宮岬により境界が閉じられた漂砂系と設定できる.

福島県 (1995) によると図-1 に示すように, 勿来海岸に流入する鮫川の河口から約 6.5 km の中流部には, 細粒～中粒砂岩および珪質・砂質の緑色片岩などからなる半固結・固結堆積物の丘陵地が点在する. 鮫川はこの河口から約 6.5 km 地点で四時川と合流し, 鮫川の上流部

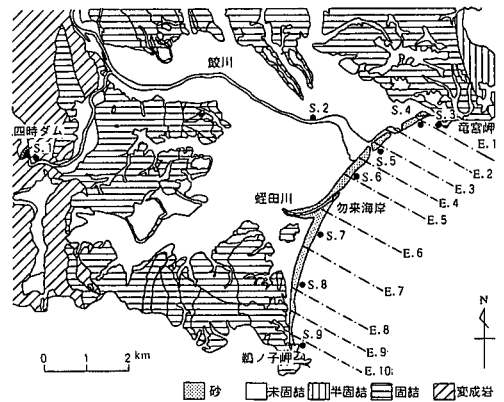


図-1 鮫川・勿来海岸流砂系の概略地質と調査位置

* 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室
** 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長
*** 正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科 社会基盤工学専攻
**** 日本ミクニヤ株式会社
***** 国際航業株式会社

は緑色片岩・黒色片岩を主とする変成岩からなり、合流地点から約4 km 上流に高柴ダムが1962年に建設されている。一方、四時川の上流部は緑色片岩・黒色片岩を主とする変成岩、そのさらに上流部は深成岩である角閃石黒雲母花崗閃緑岩からなり、合流地点から約3 km 上流に四時ダムが1984年に建設されている。

ここでは、以上で述べた鶴ノ子岬から竜宮岬までの勿来海岸(閉じた漂砂系)と鮫川の流域を、鮫川・勿来海岸流砂系と設定する。この流砂系で事前に現地踏査を行い、堆積物調査地点の選定を行うとともに、関係機関から鮫川・勿来海岸流砂系の土砂動態に関する資料収集を行った。その資料解析は梶村ら(投稿中)によって行われ、勿来海岸の土砂移動機構は、高波浪時の北向きの沿岸漂砂量による漂砂系外への土砂流出と河川出水による土砂供給の両者のバランスで決まると指摘されている。そして、梶村ら(投稿中)は漂砂系内の土砂総量は近年減少傾向にあり、その量は鮫川上流の2つのダムにおける堆砂量と同程度であるとしている。また、河口周辺で実施された大規模な土砂採取も、勿来海岸の土砂量減少の原因の一つに挙げている。

3. 海岸堆積物の供給源把握のための調査

前節において鮫川・勿来海岸流砂系を設定するとともに、この流砂系での土砂動態の問題点として、ダム堆砂と勿来海岸での土砂量の減少を指摘した。以下では、鮫川・勿来海岸流砂系において、数地点で堆積物の採取を行うとともに、それらを粒度分析および鉱物組成分析し、海岸堆積物の供給源を推定した結果について述べる。鮫川・勿来海岸流砂系では図-1に●印のS.1~9で示す地点で堆積物の採取を行うとともに、供給源の一つと考えられる龍宮岬側の海崖の状況を観察し、それに層状に分布する半固結の砂岩を採取した。また龍宮岬基部でも堆積物を採取した。そして、採取した堆積物を粒径2.0 mm以下の砂粒子と、粒径2.0 mm以上の砂礫に分別して、砂粒子については拡大写真による鉱物組成観察を行った。

拡大写真観察によると、鮫川に合流する四時川の四時ダム下流(S.1)で採取した堆積物と、鮫川の河口から約1 km 上流地点(S.2)で採取した堆積物に含まれる砂粒子は、粒径に若干の差があるもののほぼ同じ鉱物組成であった。上流のS.1で採取した砂粒子は写真-1に示すように角張っており、下流部のS.2で採取した砂粒子は比較的に丸みを帯びていた。勿来海岸の汀線付近で採取した堆積物に含まれる砂粒子の鉱物組成は、河道内で採取した堆積物の砂粒子の鉱物組成とほぼ同様であり、河口部で粒径が大きく、河口から離れると粒径が小さくなっていった。また、北側と南側で採取した堆積物の砂粒子を写真-2に示すが、南側の砂粒子の粒径が大きいこ

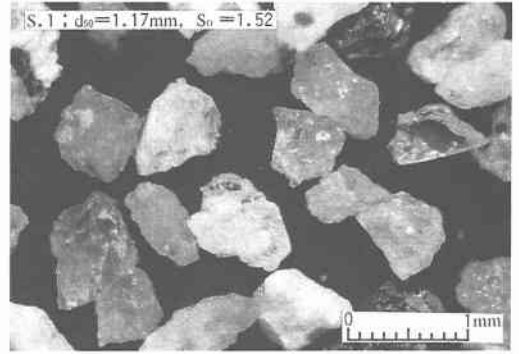


写真-1 鮫川河道内 (S.1) の砂粒子

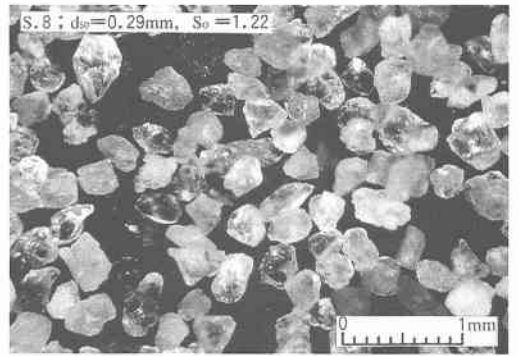
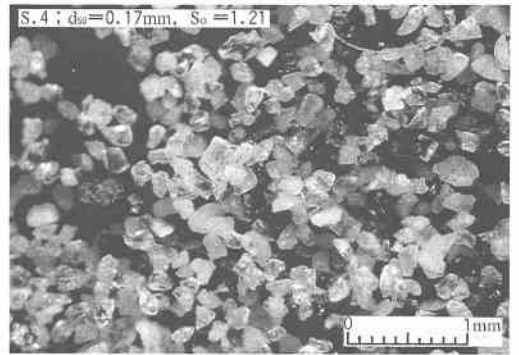
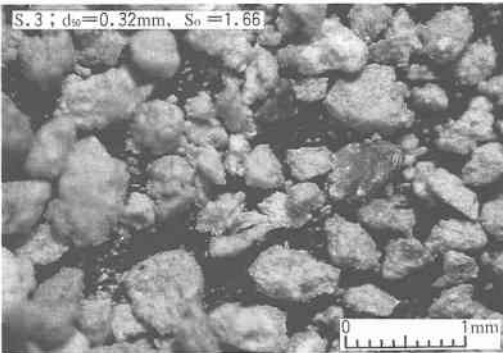
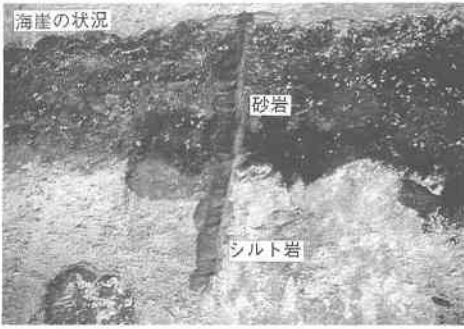


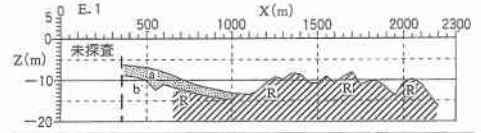
写真-2 勿来海岸の北側 (S.4) と南側 (S.8) の砂粒子

とが分かる。

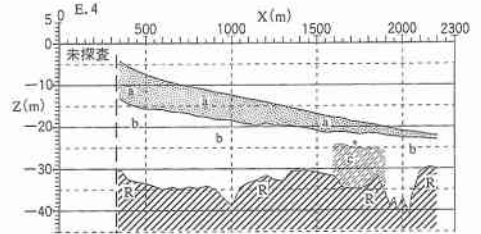
竜宮岬側の海崖は写真-3の上段に示すように砂岩とシルト岩の互層からなり、海崖の基部にはシルト岩が崩壊した40~60 cm四方の岩屑が点在していた。この海崖の砂岩は脆く、砂粒子の採取が可能であったので拡大写真による観察を行った。その観察によると砂岩の鉱物はほぼ2種類であり、細長い方形のものがほとんどで、勿来海岸の汀線付近で採取した砂粒子の鉱物とは異なるものと判断された。写真-3の下段には海崖基部で採取した砂粒子を示すが、鉱物はほとんど含まれておらずシルト岩起源の砂粒子と推定される。以上の砂粒子の拡大写真観察から、鮫川の河道で採取した堆積物と勿来海岸の



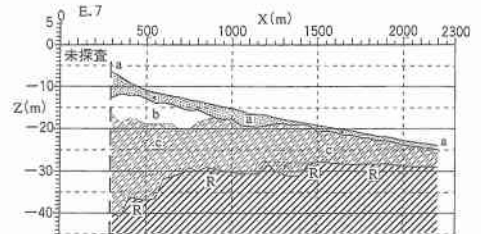
写真—3 竜宮岬側の海崖の状況と周辺堆積物の砂粒子



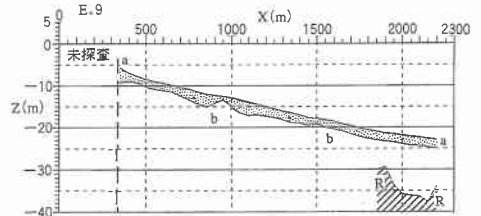
図—2 音波探査から判読した測線 E.1 における地層構造



図—3 音波探査から判読した測線 E.4 における地層構造



図—4 音波探査から判読した測線 E.7 における地層構造



図—5 音波探査から判読した測線 E.9 における地層構造

汀線付近で採取した堆積物に含まれる砂粒子の鉱物組成に類似性が見られ、それらと海崖周辺の堆積物に含まれる砂粒子の鉱物組成は異なることが分かった。したがって、勿来海岸を構成する堆積物のほとんどは、鮫川流域の深成岩や変成岩が浸食されて鮫川から供給されたものと考えられる。

このように、堆積物粒子の拡大写真観察により定性的に海岸堆積物の供給源が推定できるが、梶村ら(投稿中)は堆積物粒子を簡易試料に加工し、それを偏光顕微鏡により鉱物分析して海岸堆積物の供給源を推定している。それによると、勿来海岸では隣接する他の海岸よりも堆積物の中に角閃石が多く含まれていること、北側のポケットビーチにも角閃石や黒雲母が一定量含まれていることが示されている。そして、角閃石は鮫川から供給される特徴的な鉱物であることから、勿来海岸の堆積物のほとんどは鮫川を供給源とし、勿来海岸からその一部が流出し、北側のポケットビーチの形成に寄与していると考えている。したがって、海岸堆積物の供給源に関する推定では、堆積物粒子の拡大写真観察による定性的な方法と、梶村ら(投稿中)が提案した簡易鉱物組成分析による定量的な方法でほぼ同様な結果が得られたことになる。このことから、流砂系内での堆積物採取とその堆積物粒子の拡大写真観察でも、海岸堆積物の供給源の推定が定性的に可能と言える。

4. 海岸における堆積過程把握のための調査

海域部と陸上部での音波探査は図—1に示す測線 E.1~E.10に沿って行うこととし、海域部での音波探査はスパーカーとソノストレータの2種類の装置を用いることにより、海底面からの浅部と深部の地層構造の把握を試みた。海域部での音波探査結果の一例として、図—1の測線 E.1, E.4, E.7, E.9に沿う推定地層構造を図—2~5に示す。勿来海岸の北端の測線 E.1では現成の堆積物からなると考えられる a 層が約 3m と比較的薄く、X=1000m 沖側では岩盤である R 層が露出する。河口部の測線 E.4では X=300m で a 層が約 8m と厚く、水深が深くなると徐々に薄くなり X=2200m で a 層は約 2m と薄くなる。また、a 層と R 層の間には層厚が約 15m の

別の堆積物 (b, c 層) が見られる。測線 E.7, E.9 でも同様の層序を示すが, a 層が約 3~1 m と平均的に薄いのが, 測線 E.4 との違いとして挙げられる。鮫川の河口部で現成の堆積物からなると考えられる a 層が厚く, 南北側で a 層が深度によらず薄いことから, まず, 鮫川から供給された土砂が河口部前面に堆積し, それが来襲波浪により均等に運ばれて南北端岬周辺まで(漂砂系全域)堆積したと推定できる。

次に, 動的回転式サウンディング試験装置(以下では, DSPT 試験装置と呼ぶ)による地盤特性値の調査について述べる。堆積構造を示す地盤特性値 (N 値) を調査する手法としては, 標準貫入試験が一般的であるが, この手法では比較的規模の大きな装置を使用することになり, 多数地点でこれを行うことは, 非効率で経済的ではない。DSPT 試験装置は図-6 の左側に示すような地盤特性値を計測するための簡易貫入試験装置で, スクリューポイント, ロッド, ノッキングブロック, ガイドロッド, ハンマーなどからなる。また, 先端部のスクリューポイントをミニサンプラーに換えれば, 地盤面からの必要な深度で堆積物の採取も可能となる。すなわち, 標準貫入試験装置に比較して規模の小さい DSPT 試験装置による地盤特性値の調査が確立されれば, 海岸域において効率的な堆積構造の把握が可能となる。そこで, 図-1 の測線 E.9 における陸上部の 1 地点で DSPT 試験装置による地盤特性値 (N' 値) 調査と, 標準貫入試験による地盤特性値 (N 値) 調査を行い, 両者の値を比較することにより DSPT 試験装置の有効性を検討した。

標準貫入試験では地表面からの深度 1.8 m で N 値が 10, 深度 3.3 m で N 値が 15, 深度 4.2 m で N 値が 29 と 3 つのピークを示す地盤特性であった。また, 地表面から深度 4.2 m までは細砂で, 深度 4.2 m で 20~30 cm の砂礫混じりの砂であることがボーリング結果から確認され, 堆積物特性が変化すると地盤特性値である N 値が変化することが分かった。したがって, 地盤特性値 (N 値) を調査してから堆積物のボーリングを行えば, 堆積物特性の把握が効率的に行えることになる。DSPT 試験によると地表面から深度 3.7 m までは N' 値が 2~6 に徐々に大きくなり, 深度 4.0 m 付近で N' 値が 23 と大きくなる (図-6, 右側の実線)。また, 深度 4.0 m より深い部分では N' 値は 10~20 の間でばらつき, 深度 6.9 m で N' 値が 45 と大きくなる。標準貫入試験の結果は N 値を 0.24 倍した N1 値として■印で図-6 の右側に示してあり, N1 値と N' 値はほぼ同程度の値となっていることが分かる。したがって, DSPT 試験装置を用いても標準貫入試験とほぼ同じ精度の地盤特性値を得られることになり, 効率的な堆積物特性の把握が可能と言える。

DSPT 試験装置により比較的簡易に地盤特性値を

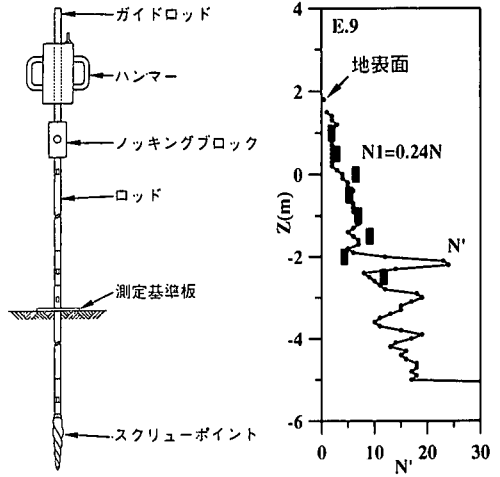


図-6 DSPT 試験装置と試験結果の比較

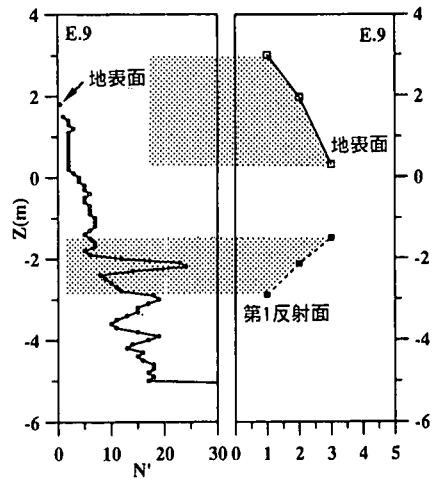


図-7 地盤特性値 (N' 値) と反射面位置の関係 (測線 E.9)

調査できる可能性を示したが, 任意地点での情報を得るにとどまる調査手法であり, 線的または面的情報を得るためには地層探査を行うことが有効である。しかし, 海岸における陸上部や波打ち帯で地層探査が行われた事例はほとんどない。そこで, 前浜部において電歪方式のミニストレータを用いた音波探査を 1~5 地点で行い, DSPT 試験装置による地盤特性値 (N' 値) と比較した。図-7 に測線 E.9 における地盤特性値と反射面の位置を示すが, 図の縦軸は標高とし, 左側を DSPT 試験装置で得られた地盤特性値の調査結果, 右側をミニストレータの探査結果とした。なお, ミニストレータによる探査結果の判読を最初に行い, その後に DSPT 試験装置により地盤特性値を測定したため, 地盤特性値の測定結果は地層の反射面の判読に反映されておらず, それぞれ独立性を有する。

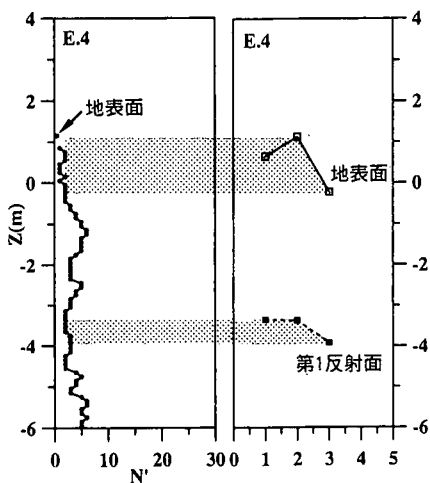


図-8 地盤特性値 (N'値) と反射面位置の関係 (測線 E.4)

ミニストレータによる探査結果から、測線 E.9 では図-7 のように地表面から 2~6 m の深度に一つの反射面が判読され、この反射面の位置は DSPT 試験で地盤特性値 (N'値) が急激に大きくなる位置と一致する。このことから、地表面の波浪条件等による変化を考慮すると、測線 E.9 の陸上部においては T.P. -1.5~-3.0 m 付近に堆積物特性が変化する地層の反射面が存在すると推定できる。ところで、海域部に厚い堆積物の層が見られる測線 E.4 の陸上部においては、ミニストレータによる音波探査では地層の反射面が T.P. -4 m に判読された (図-8 参照) が、DSPT 試験では地盤特性値は深度方向にほぼ一定で堆積物特性の変化は確認されなかった。これは、測線 E.4 では均一の堆積物が陸上部においても厚く堆積しており、河口部に近いことから地下水位面などが反射面として判読されたためと考えられる。したがって、ミニストレータによる音波探査と DSPT 試験装置による地盤特性値調査を効率的に組み合わせた手法の確立が望まれる。また、海岸域における DSPT 試験結果と標準貫入試験の地盤特性値の相関関係がまだ不明であることや、ミニストレータの性能では地表面からの深度 10 m までの探査が限界であることから、これらの装置のさらなる改良と取得データの検証が必要とされる。

5. おわりに

流砂系における堆積物特性の調査手法について、鮫川・勿来海岸流砂系を対象に検討した結果を以下に示す。

(1) 鮫川・勿来海岸流砂系における堆積物粒子の拡大写真観察および粒度分析から、勿来海岸の堆積物の主な供給源は鮫川流域であると推定された。一方、南北端

の海食崖から供給されるシルト質の堆積物や砂質の堆積物は、岬周辺に局所的に分布していた。また、梶村ほか (投稿中) も鉱物組成分析により同様な結果を示しており、海岸堆積物の供給源把握のための調査手法の確立に向けての知見が得られた。

(2) 海域部での音波探査によると、勿来海岸の南北端では砂層厚が薄く岩盤となるが、勿来海岸の中央部では砂層厚が 10 m 以上あることが明らかになった。そして、現成の堆積物からなると考えられる a 層の分布特性から、鮫川からの流出土砂は河口周辺に一旦堆積し、その後の波浪の作用により、勿来海岸の沖合を含めた漂砂系内に平均的に堆積するものと推定された。

(3) 海岸域における堆積構造を調査する新しい手法として、DSPT 試験装置による地盤特性値 (N'値) 調査、およびミニストレータによる陸上部の音波探査を試みた結果、さらに装置の改良やデータの検証を進めれば、効率的な調査手法として期待できることを示した。

謝辞：鮫川・勿来海岸流砂系における調査を進めるにあたっては、福島県土木部河川課、福島県いわき建設事務所から、勿来海岸の深淺測量結果およびダムの堆砂量などの資料を提供していただいた。また、東京大学の磯部雅彦教授ほかによる勿来海岸での現地踏査と観測、および観測に参加された方々との議論は有意義であった。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 磯部雅彦 (1998): 海岸環境と流砂系土砂管理, 河川, No. 628, pp. 24-31.
- 宇多高明 (1997): 「日本の海岸侵食」, 山海堂, 442 p.
- 梶村 徹・佐藤慎司・中村匡伸・磯部雅彦・藤田 龍 (投稿中): 鮫川・勿来海岸流砂系の土砂動態と長期海浜過程, 土木学会論文集.
- 佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・山本幸次 (2000a): 利根川河口部の漂砂機構と波崎海岸への土砂供給の実態, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 656-660.
- 佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・鳥居謙一・山本幸次 (2000b): 鹿島灘南部海岸の地形形成機構に関する現地調査, 土木学会論文集, No. 663/II-53, pp. 89-99.
- 福島県 (1995): 「土地分類基本調査一川部・小名浜一」, 福島県農林水産部農地計画課, 65 p.
- 山下俊彦・新山雅紀・菅沼 剛・早川哲也 (2000a): 石狩川から供給された粒径別土砂の河口沿岸域での堆積特性と土砂収支の試み, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 676-680.
- 山下俊彦・宮下将典・山崎真一・渡邊康玄 (2000b): 河川から供給された物質の河口沿岸域での挙動, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1026-1030.
- 山本幸次・鳥居謙一・笠井雅広・佐藤慎司 (2000): 柱状コア採取と音波探査に基づく鹿島灘沿岸の堆積物特性の把握, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 651-655.
- 李 在炯・入江 功・小野信幸・村上啓介 (1999): 底質分析による広域の漂砂特性調査法について, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 656-660.