

堆積性海岸における粒径毎の飛砂特性

WIND BLOWN SAND CONSIDERING GRAIN SIZE ON ACCRETED BEACH

北 賢二¹・小林昭男²・宇多高明³・野志保仁⁴・和田信幸⁵
Kenji KITA, Akio KOBAYASHI, Takaaki UDA, Yasuhito NOSHI and Nobuyuki WADA

¹ 斎九工業株式会社 (〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-2)

² 正会員 工博 日本大学助教授 理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³ 正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なごさ総合研究室長
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

⁴ 学生会員 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

⁵ 株式会社奥村組 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)

Damages of wind blown sand were investigated at Makuhari artificial beach in Chiba Prefecture, the Chigasaki coast in Kanagawa Prefecture and Nakatajima Sand Dune in Shizuoka Prefecture. Fine sand was transported by wind and deposited on the promenade behind the beach, causing obstruction against traffics. In order to study these phenomena, field study on wind blown sand considering grain size effect was carried out at Kujukuri beach. It was confirmed that selective transport of fine sand is important and this results in sorting effect in an extensive area.

Key Words : Wind blown sand, grain size, Kujukuri beach

1. はじめに

わが国各地では海岸侵食が進んできているが、対策としての養浜工も各地で行われてきた。しかしながら、いくつかの現地海岸の状況を調べると、多額の経費をかけて養浜が行われたにもかかわらず、養浜砂のうち細粒分が飛砂により後背地へと運ばれ、それが新たに障害となるという事例も多く見られる。例えば千葉県幕張人工海浜においては、海浜後背地に飛砂によって大量の砂が運ばれ、管理用通路の通行障害が起きている。

一方、飛砂に関する研究は、Bagnold¹⁾以来、風速に応じた飛砂量公式の確立に重点が置かれてきた。しかし上述の幕張海岸の例では、瞬間値として運ばれる飛砂量の算定法に問題があるというよりも、むしろ粒径分級を受けつつ運ばれる砂の総量が養浜量と比較して無視できないこと、また細粒分が選択的に運び去られた結果、砂が運び去られた海浜表面が粗粒化して景観・利用の悪化をもたらすなどの質的变化が問題となる。しかし、汀線と後背地全体を含んで土砂収支を考えながらこの種の現象を捉えるという研究は十分ではない。野志ら²⁾は、千葉県南九十九里浜で前浜材料の沿岸方向の粒径分布を明らかにしたが、それらの調査は汀線付近のみを対象としており、飛砂を含んだ漂砂の特性を解明するまでに至っていない。そこでまず飛砂被害の実態調査を

行って問題点を把握した後、海浜構成材料の粒度組成まで考慮した現地調査を行った。飛砂被害の実例としては、千葉県の幕張人工海浜、神奈川県茅ヶ崎海岸、静岡県遠州灘海岸の中田島砂丘で現地踏査を行い、その上で海岸における飛砂の詳細調査を千葉県南九十九里浜で実施した。

2. 現地海岸における飛砂被害の実例

(1) 千葉県幕張海岸(人工海浜)

東京湾北部に位置する幕張では養浜により人工海浜が造られた。しかし海浜の北端付近では南南西方向の風により海浜砂が飛砂により運ばれ後背地で障害が発生している。2004年8月21日この状況を現地調査によって調べた。写真-1は、海浜背後の管理用通路から海側を望んだものであるが、飛砂により小規模な砂丘が形成され、砂丘背後には海側から運ばれた飛砂の堆積が見られる。写真左下に見えるのが管理用通路と海浜とを分けるフェンスであるが、その前面に小高い山ができています。飛砂はフェンスの内側にとどまらず外側にまではみ出している。このため踏査時には写真-2のように重機により砂がかき集められていた。写真-3は砂が排除された後の状況である。幕張人工海浜では、飛砂が後背地へと運

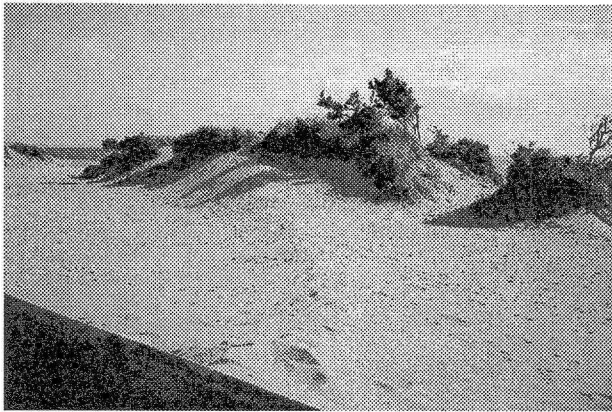


写真-1 幕張人工海浜に形成された砂丘背後での砂の堆積

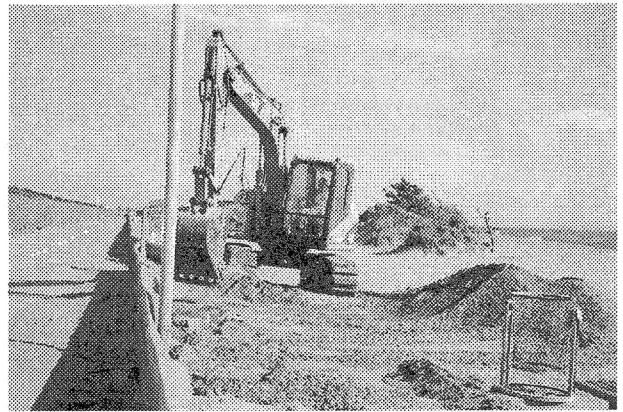


写真-2 フェンスと背後の遊歩道に堆積した砂の除去作業



写真-3 フェンス前面・背後の堆砂を除去した後
の状況

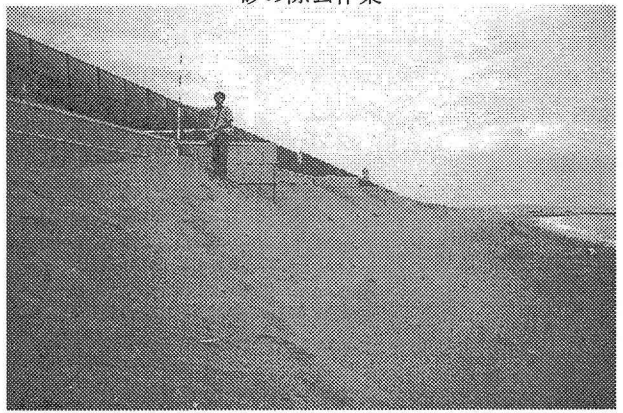


写真-4 茅ヶ崎海岸の堆砂垣前面での堆砂



写真-5 堆砂垣先端まで堆積した飛砂

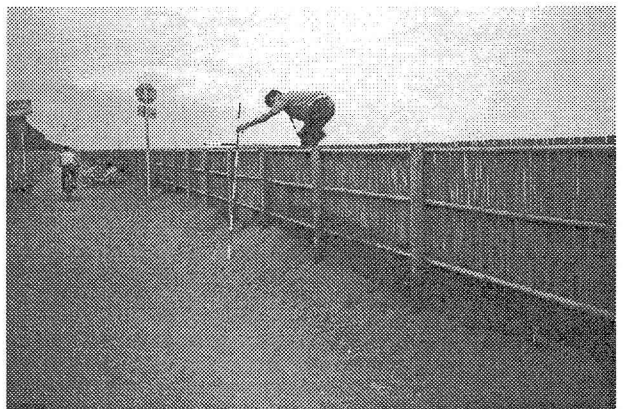


写真-6 堆砂垣の裏側の遊歩道へと侵入した飛砂

ばれることは単にそれが障害となるだけではなく、貴重な養浜材の損失にも繋がる恐れがあることから、海浜の維持管理上も問題となっている。

(2) 神奈川県茅ヶ崎海岸

神奈川県茅ヶ崎海岸では、侵食対策の一環として養浜が積極的に実施されてきた。しかし養浜砂が冬季の西風的作用により背後地へと運ばれ、遊歩道を埋めるなどの障害を引き起こしている。この状況を2003年9月14日に調査した。写真-4は、海岸線から背後地へと運ばれる飛砂を防止するための堆砂垣である。この位置では、写真のように堆砂垣の天端近くまで砂が堆積している。この場所からさらに東（写真前方）へと移動すると写真-5の状況が見られ

た。堆砂垣の天端を越えてその内側にまで大量の砂が運び込まれていたのである。また写真-5の東側では、写真-6のようにヨシズで編んだ堆砂垣の隙間から遊歩道へと砂の侵入が見られた。遊歩道はかなり狭いので、そのたびに土砂の除去が必要となっている。この場合もまた堆積した砂はもともと養浜砂であることから、堆積土砂の損失は海浜土砂量の減少を招く意味から問題となる。

(3) 静岡県遠州灘海岸の中田島砂丘

遠州灘に面した中田島砂丘は規模の大きな砂丘として全国的に有名である。この砂丘は天竜川からの流出土砂が西向きの沿岸漂砂によって運ばれて汀線付近に堆積した後、冬季季節風（西風）の作用によ

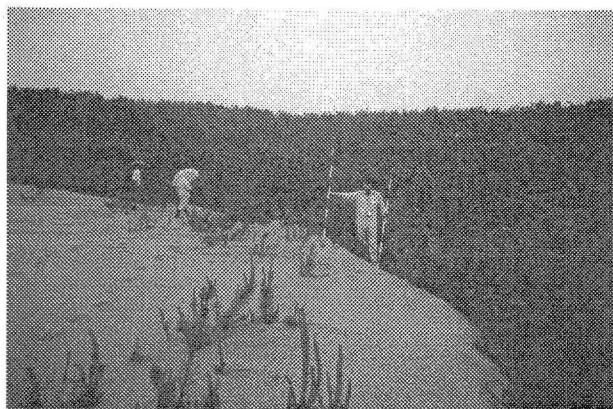


写真-7 中田島砂丘東部において
保安林を埋める堆砂

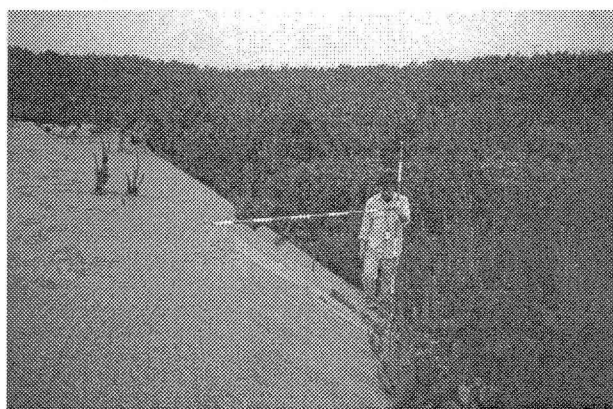


写真-8 安息角をなして堆積する飛砂

り細粒分が内陸へと運ばれて形成されたものである。近年、天竜川からの流出土砂量の減少によって中田島砂丘前面の海岸も侵食が著しく、現況では砂丘への砂の供給は枯渇状態にある。しかし砂丘東部では、もともと砂丘を形成していた砂が過剰に運ばれ保安林（松林）の埋没被害を起こしている。2003年5月13日、この状況を現地踏査によって調べた。写真-7は砂丘東端部での堆積状況である。高さ数mまで生育した松の枝先と同じ高さまで大量の砂が堆積していた。砂の堆積は当時も進んでおり、写真-8のように安息角斜面をなして保安林区域へと侵入していた。

(4) 現地踏査結果の整理

3海岸のうち、幕張海岸と茅ヶ崎海岸にあつてはいずれも養浜砂が飛砂として背後地へと運ばれ、管理用通路や遊歩道を埋めるという障害が起きていた。堆積した砂はいずれも養浜砂であるがゆえに、再び海浜へと運ぶ作業が必要となる。また障害物となる砂を別の場所へと運び去れば海浜土砂量の減少を招く。同様に、中田島砂丘にあつては現況で汀線からの砂の補給がほぼ絶たれているので、砂の偏在は保安林の生育障害となるだけではなく、砂丘自身の構成材料の減少原因となる。これらを考慮すれば、風速と飛砂量の関係など基礎的な検討のみならず、粒径成分まで考慮した上でmassとしての砂移動について検討することが必要である。このことから本研究では、九十九里浜においてこのような視点からの調査を行った。

3. 南九十九里浜における飛砂の現地調査

(1) 南九十九里浜の概要

飛砂特性の把握のための現地調査は、千葉県南九十九里浜の片貝海岸（堆積域）と南白亀川河口左岸（中立位置）で行った。南九十九里浜の位置を図-1に示すが、この海岸は南北約60kmの長さを有する九十九里浜の南部にあり、片貝漁港付近より太東岬の間に広がる。海岸線背後には幅約10kmの広大な海岸平野を有する。九十九里浜は、北端の屏風ヶ浦

と南端の太東崎の海食崖が波蝕により削られ、流出土砂が沿岸漂砂によって運ばれ堆積して形成されたものであり、背後に広がる総面積約660km²の海岸低地はこのような作用のもと約6,000年をかけて形成されてきたものである。南九十九里浜は過去に最大で100m近い海浜幅を有する広大な砂浜があった³⁾。しかし、ここ数十年間の侵食により海浜幅は急激に狭まり、かつての広大な砂浜は失われた。

図-2は、1947年基準での2003年までの汀線変化である。この区域にあつては北（図左）向きの沿岸漂砂が卓越している。このため、南端の太東漁港の隣接部では防波堤による波の遮蔽域形成に伴って局所的に汀線が前進しているものの、その北側の一宮川河口の両岸では侵食が進んでいる。これと対照的に、沿岸漂砂の下手側である片貝漁港付近では汀線が大きく前進している。主な侵食原因は、南九十九里浜への供給土砂量の減少である。砂の供給源である太東岬の侵食に対して、陸地の防護のため消波工が海食崖の基部に沿って設置された結果、南九十九里浜への砂の供給量が大きく減少した。同時に、太東漁港の防波堤により北向きの沿岸漂砂が阻止され、また過去には港内に流入した土砂が浚渫後沖合に投棄されていたことなどが侵食原因となった。現在、侵

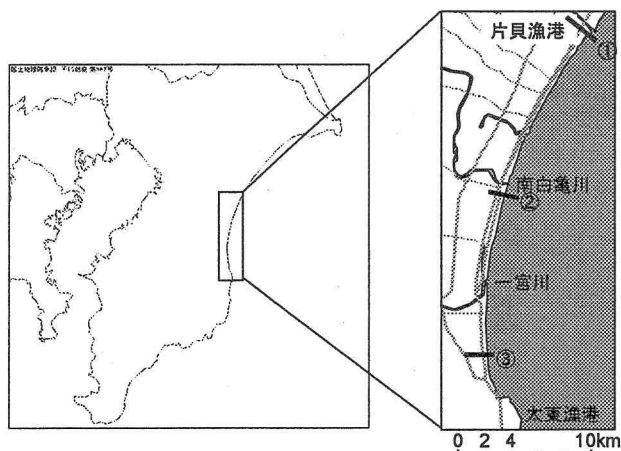


図-1 千葉県九十九里浜の位置

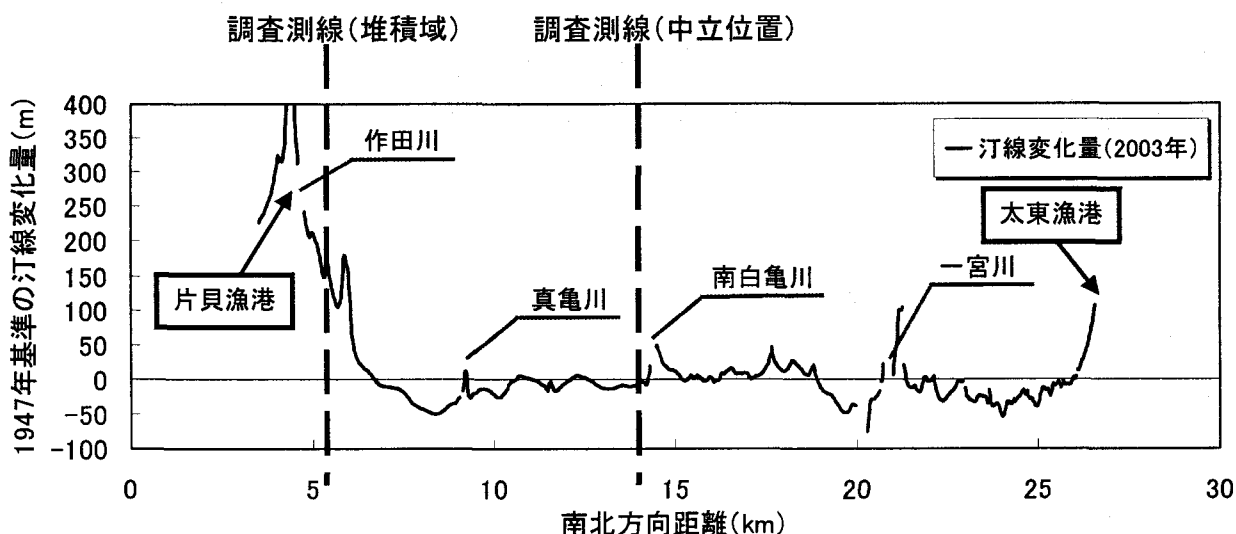


図-2 南九十九里浜の汀線変化と測線位置

食の激しい海岸ではヘッドランド群などによる対策が進められている。一方、片貝海岸付近では顕著に砂が堆積し、海浜幅は250m近くまで広がっており、陸側には飛砂が堆積して砂丘が形成されつつある。

このことから、本研究では飛砂の影響が顕著に現れている片貝海岸と、南白亀川河口左岸において海浜縦断形測量と砂のサンプリング調査を行った。

図-2には測線位置を破線で示す。調査は保安林付近から汀線までの区域で行った。

(2) 現地調査結果

堆積域に位置する片貝海岸と、ほぼ侵食・堆積の中立位置にある南白亀川河口左岸の測線毎に平均した粒径スペクトルを図-3に示す。片貝海岸においては、粒径 $d=0.11\text{mm}$ を中心とした砂で構成されており、スペクトルが鋭く尖っていることから非常に淘汰度が高いことが分かる。これに対し南白亀川左岸においては、スペクトルのピークは粒径 $d=0.25\text{mm}$ にあり、片貝海岸に比べ粗く淘汰度も高くない。これは南白亀川河口付近にある砂の粒径レンジが広いことを意味している。すなわち片貝海岸には、沿岸漂砂によって漂砂上手側から運ばれてきた、ある粒径レンジの粒径集団のうち粒径 0.11mm の砂が選択的に堆積したと考えられる。

図-4は片貝海岸の海浜材料について、測定した全粒径毎の含有率の岸沖分布を示したものである。堆積域に位置する片貝海岸を形成している粒径砂は 0.11mm の砂の含有率が圧倒的に高く、それに 0.25mm の砂がわずかにのりのみである。そこで工学的に有意な含有率を示す3粒径(0.25mm , 0.11mm , 0.075mm)を選び、改めて海浜縦断形とともに含有率の岸沖分布として再整理したのが図-5である。これによると、汀線近傍を除き粒径 0.11mm の砂の含有率が圧倒的に高い。これは図-3の粒径のスペクトルからも分かるように、片貝海岸には沿岸漂砂によって粒径 0.11mm の細砂が大量に運ばれてきたためと考えられる。一方、粒径 0.25mm の砂は汀線付近で相対的に含有率が高いことから、 0.25mm の砂

も一部沿岸漂砂によって運ばれてきていることも分かる。さらに、粒径 0.11mm の砂は汀線付近から陸向きに含有率が増加傾向にあり、また粒径 0.075mm の砂もわずかではあるが砂丘付近で含有率のピークを有している。このような分布となった理由としては飛砂の作用が考えられる。すなわち、今回の調査地点においては、粒径 0.11mm 以下の細粒砂が飛砂の作用を強く受けて陸向きに運ばれていると推定される。これによって粒径 0.11mm の砂の含有率が高い片貝海岸においては、汀線付近のみが粗粒化し、後

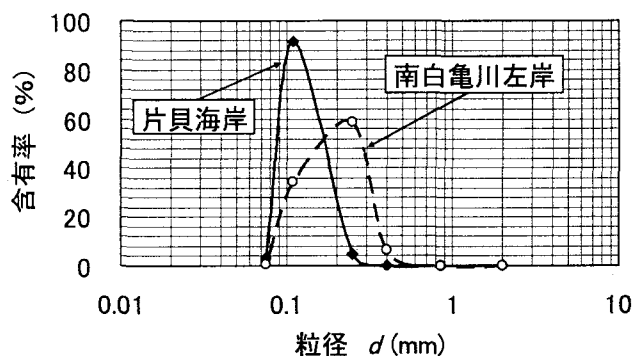


図-3 粒径のスペクトル

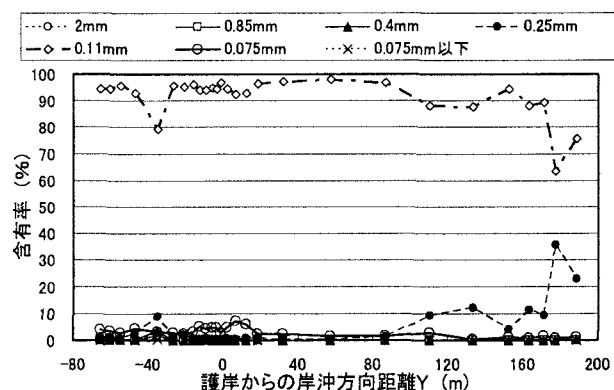


図-4 全粒径の含有率の岸沖分布
(片貝海岸：堆積域)

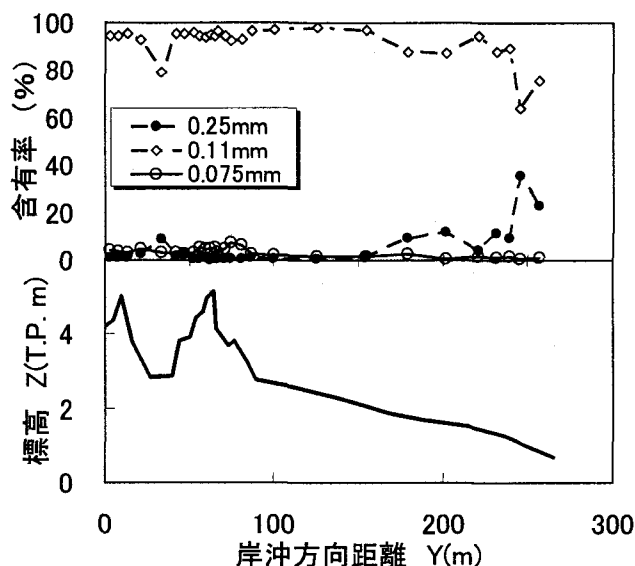


図-5 代表粒径の含有率の岸沖分布と縦断形
(片貝海岸：堆積域)

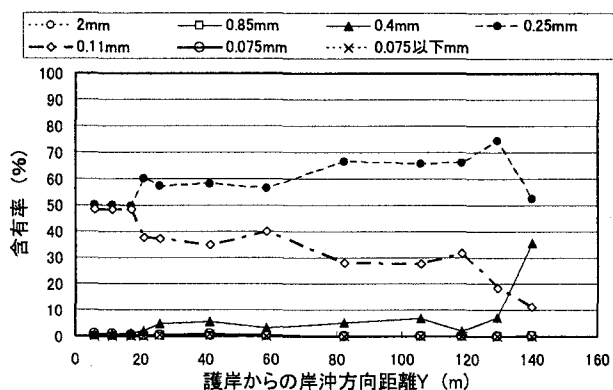


図-6 全粒径の含有率の岸沖分布
(片貝海岸：堆積域)

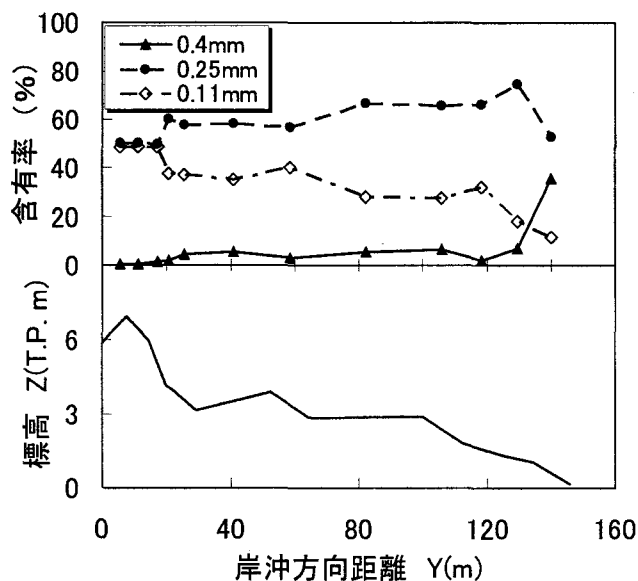


図-7 全粒径の含有率の岸沖分布
(南白亀川河口：中立域)

背砂丘では粒径0.11mm以下の砂で構成されたと考えられる。

図-6は南白亀川河口左岸で採取した海浜材料の全粒径について、含有率の岸沖分布を示したものである。この位置では、0.25mmの粒径砂の含有率が50～75%と高いが、粒径0.4mmおよび0.11mmの砂も無視できない大きさの含有率を有する。しかしそれ以外の粒径の含有率は0である。そこで有意な含有率を示す3粒径(0.425mm, 0.25mm, 0.11mm)成分を選び、海浜縦断形とともに含有率の岸沖分布を図-7に示した。これによれば粒径0.4mmの砂は汀線へと含有率が急激に増大し、粒径0.25mmの砂も汀線へと緩やかな増加傾向を有するという特徴が見られる。これに対し、粒径0.11mmの砂の含有率は汀線から陸方向に含有率が増大するという逆の傾向が見られる。粒径0.4mm, 0.25mmなど、比較的粗な砂は粒径0.11mmの砂に比べて飛砂によって運ばれにくいいため汀線付近により多く残され、粒径0.11mmの砂は容易に飛砂により運ばれたためにこのような結果となったと考えられる。

調査結果から、堆積域に位置する片貝海岸と、ほぼ侵食・堆積の中立位置にある南白亀川河口左岸では、海浜構成材料の粒径集団は異なるが、粒径0.25mm以上の粗粒分は汀線付近で含有率が高く、逆に粒径0.11mm以下の細粒分は陸側ほど含有率が高まるという岸沖分布の特徴はよく一致している。このことからこの海岸では粒径0.11mm以下の砂が選択的に飛砂の強い作用を受け、後背地に飛ばされて砂丘を形成していることが明らかとなった。

4. 結論

本研究によれば、飛砂の作用も考慮し南九十九里浜を広範囲に捉えた漂砂機構は模式的に図-8のように整理できる。太東崎の侵食対策工事および太東漁港防波堤建設を機に、以前は安定した海浜幅をもった南九十九里浜への砂の供給がなくなったことで太東漁港の北側区域では侵食が進んだ。この結果、漂砂上手からは細砂が選択的に沿岸漂砂により下手側へと流出した。また、運ばれた砂の中の粒径0.25mmの砂は南白亀川河口付近に堆積し、更に粒径の細かい粒径0.11mmの砂は片貝海岸に集中的に堆積したと考えられる。堆積域に選択的に運ばれた粒径0.11mm以下の砂は、飛砂の作用を受けて容易に岸側に運ばれ砂丘を形成した。このように主として細砂からなる九十九里浜にあっては、飛砂と沿岸漂砂の作用を同列で論じる必要がある。飛砂の生じやすい海浜で変形予測を行う場合には、波による作用のみでなく、飛砂についても十分な配慮が必要であり、粒径条件によっては土砂収支が合わなくなることもあり得る。また、最近の養浜ではサンドリサイクルとして浚渫土砂を用いた養浜もしばしば計画されるが、この場合合の浚渫土砂が養浜に用いら

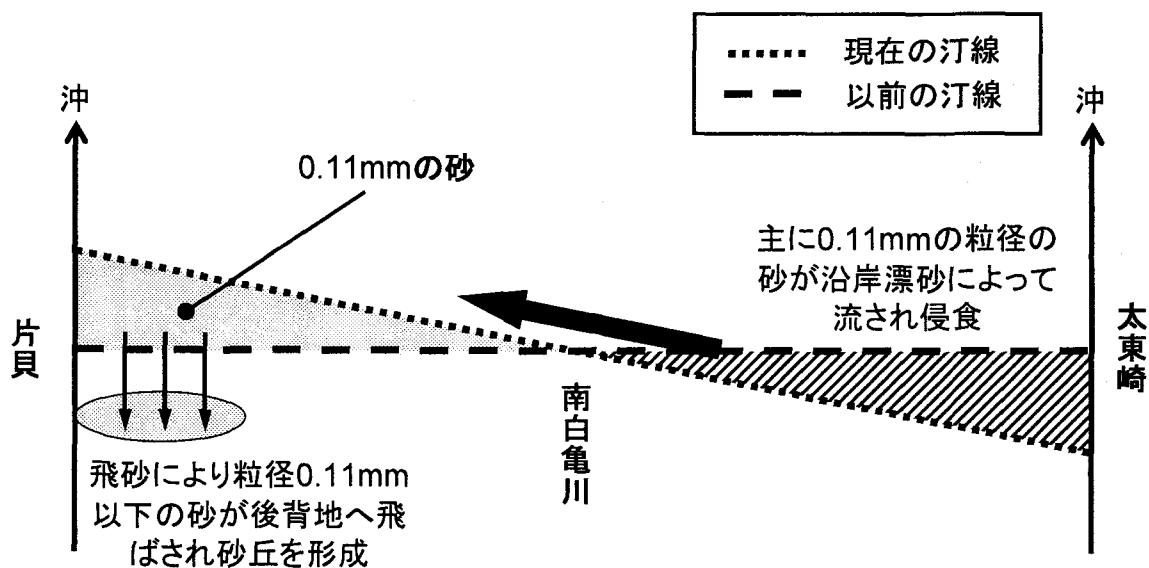


図-8 南九十九里浜の汀線変化と測線位置

れるとそのような土砂は一般に粒径が小さいので、汀線付近の海浜安定化に役立たないのみではなく、本研究で述べた飛砂問題を引き起こす可能性も大きいことも留意点の一つである。

謝辞 本研究に際しては海岸研究室（有）の芹沢真澄氏には論文取りまとめの際多くの支援を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Bagnold, R. M. (1954): The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen & Co. Ltd., London, 265pp.
- 2) 野志保仁・熊田貴之・宇多高明・小林昭男・星上幸良・和田信幸(2004)：侵食域の前浜に見られる砂鉄高含有率砂層の形成機構，海洋開発論文集，第20巻，pp.416-420.
- 3) 宇多高明 (2004)：「海岸侵食の実態と解決策」，山海堂，p. 304.