

粒径を考慮した土砂収支検討-湘南海岸の例

Sand Budget Analysis Considering Changes in Grain Size - an Example of Shonan Coast

宇多高明¹・青島元次²・鮫島 強³・吉岡 敦⁴・三波俊郎⁵・石川仁憲⁶

Takaaki UDA, Genji AOSHIMA, Tsuyoshi SAMEJIMA, Atsushi YOSHIOKA,
Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

On the basis of bathymetric survey data, aerial photographs and sampling data of seabed materials, sand budget analysis considering changes in grain size was carried out, taking the Shonan coast as an example. A diagram showing sand budget was proposed, in which longshore sand transport, rate of windblown sand, grain sizes not only near the shoreline zone, but also in the offshore zone are shown. The loss and input of sand across the shoreline due to windblown sand and dredging in the ports are also summarized. This diagram can be effectively used for the coastal management of the coast.

1. はじめに

相模湾に面し、相模川河口から江ノ島の間広がる延長11kmの湘南海岸では、相模川上流でのダム建設や過去に相模川の河道において行われた砂利採取により河川流出土砂量が大きく減少するとともに、相模川河口などでの航路浚渫、さらには茅ヶ崎漁港による沿岸漂砂の阻止などにより侵食が進んできた。この結果、相模川河口部では汀線が最大約300m後退し、また茅ヶ崎中海岸においても約50mの後退が起きた。このような湘南海岸における海岸侵食に関連し、1954～2005年の海浜変形については既に宇多ら(2006)によって検討されたが、その検討では移動高の算定など不明確な部分が残されているとともに、漂砂系全体の土砂収支は明らかにされていない。一方、2005年以降も深淺測量等のモニタリングが継続的に行われていることから、本論文ではさらに解析を進め、湘南海岸の近年の海浜変形の実態を明らかにする。ところで、相模川水系土砂管理懇談会(2003)によれば、相模川の流出土砂量はダム建設前の15万 m³/yrより現在の0.5万 m³/yrと約3%にまで激減しているとされる。このように河川からの土砂供給が期待できない状況の中で、経済的かつ長期的に海岸を維持するには、限りある資源である海岸の砂を有効活用する必要がある。この場合、海岸の保全上必要とされる砂の粒径は、その海岸の侵食・堆積状況に依存して場所ごとに異なることから、従来のように土砂量のみでの管理ではなく、粒径についても十分配慮した土砂管理が求められる。このことか

ら、本研究では実態解析結果に基づいて粒径を考慮した近年の土砂動態を把握し、広域の海岸管理に活用できる「粒径を考慮した土砂収支図」を作成した。

2. 近年の海浜変形の実態と沿岸漂砂量

湘南海岸における近年の土砂動態を把握するために、解析期間はヘッドランド建設後の1996～2007年の11年間とする。宇多ら(2006)は、1954年から2005年まで51年間のうち5時期に撮影された空中写真を用いて構造物設置以前から近年までの汀線変化について解析したが、本研究では、1996、2005年の空中写真について解析精度の改善を図り、さらに図-1に示す2007年11月撮影の空中写真を加えて解析を行った。

まず、偏歪修正を行った1996、2005、および2007年の空中写真より汀線を判読し、写真撮影時刻と縦断測量に基づく前浜勾配から潮位補正を行って平均潮位対応の汀線位置を求めた。さらに1996年の汀線を基準として各年の汀線変化量を算出した。結果を図-2に示す。2007年11月21日の撮影前には、台風9号(9月6日襲来)による30年確率規模の高波浪が来襲したが、2時期の汀線には大きな変化は見られない。また、相模川からの供給土砂の激減や茅ヶ崎漁港による漂砂の遮断など沿岸漂砂の不均衡により施設周辺では局所的な変化が生じ、各施設間では、海岸線が時計回りに回転するような汀線変化が生じている。

次に、1971年以降毎年行われている定期深淺測量データ(1971～2005年の35年間)より、1971年を基準とした各年の汀線変化量(Δy)と海浜断面積変化量(ΔA)を求め、両者の相関から漂砂の移動高を算出した。まず対象海岸の構造物条件と漂砂特性を考慮し、対象区域を図-1に示したようにa～eの5ブロックに区分し、ブロックごとに漂砂の移動高を算出した。宇多ら(2006)による縦断測量結果によれば、引地川から境川区間(No.19～No.22)での波による地形変化の限界水深 h_c は

1 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兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科
2 神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾部長
3 神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾課長
4 神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾課海岸研究室(有)
5 正会員 工修 (財)土木研究センターなぎさ総合研究室主任研究員

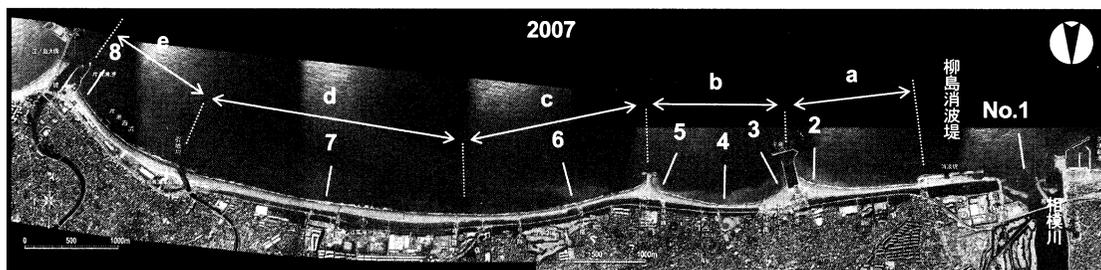


図-1 湘南海岸の空中写真（2007年）と移動高算出のブロック区分（a～e）、底質調査の測線（No.1～8）

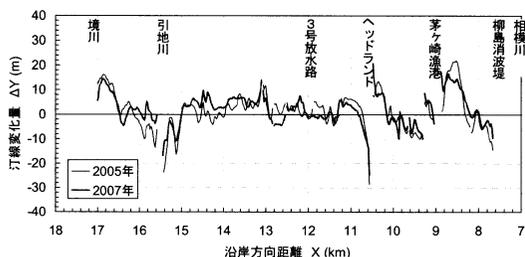


図-2 汀線変化量（1996年基準）

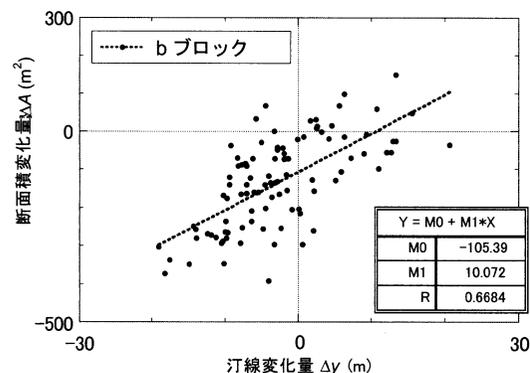


図-3 汀線変化量 Δy と海浜断面積変化量 ΔA の関係

-8m, 引地川以西での h_c はほぼ-9m 付近にあること, また陸上部の+3m 以上では人為改変がたびたび行われていることを考慮し, 海浜断面積を求める際の積分範囲は T.P.+3.0~-9.0m とした. 図-3には一例として茅ヶ崎海岸 (b ブロック) での検討結果を示す. Δy と ΔA の間にはほぼ線形な関係がある. 両変数間の回帰係数は漂砂の移動高 (h) に等しいので, 図-3より $h=10m$ となる. 同様な検討を各区間で行うと表-1が得られる. 漂砂の移動高は, 相模川から中海岸までは10m 程度であるが, 中海岸以東では江ノ島に近づくにつれて移動高が小さくなり, h_c が-8m にある引地川以東では, 江ノ島による波の遮蔽域に入るため6.4m と小さくなる. また, 辻堂海岸の No.14-2~No.18では5.1m と最も小さい値を示すが, この区間は堆積域であって, 汀線前進は見られ

表-1 移動高の算定結果

区間	移動高 (m)	代表値(m)
a	10.7	10
b	10.1	10
c	8.7	9
d	5.1	8
e	6.4	6.5

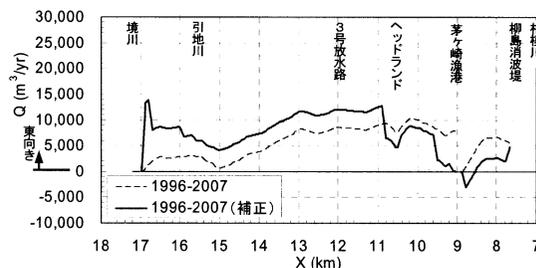


図-4 沿岸漂砂量の沿岸方向分布（1996-2007年）

るものの断面積変化量が小さく誤差が入りやすいことから, この区間の移動高についてはその両側のブロックにおける移動高より内挿することとした. 最終的に各ブロックにおける漂砂の移動高は表-1に示す値で代表した.

図-2の1996~2007年の汀線変化量に表-1の漂砂の移動高を乗じ, 経過年数 (11年) で割れば年間当たりの地形変化量が算出される. その上で, 漂砂下手端 (境川) で $Q=0$ として漂砂上手方向に地形変化量を加算して算出した沿岸漂砂量分布を図-4の破線で示す. これによれば沿岸漂砂をほぼ完全に阻止している茅ヶ崎漁港の下手端で年間約8000m³ 収支が合わない結果となった. このように収支が合わない理由としては, サンドリサイクルなどの人為的原因が関与している. 上記解析期間中では, 片瀬漁港で4.6万 m³ の浚渫, 堆積域から侵食域へ17.4万 m³ のサンドリサイクル・サンドバイパス, 19万 m³ の養浜が行われているので, これら要因を取り除く必要がある. その場合, 海岸域にある砂を活用しているものについては歩留まりを100%とする一方, 浚渫土砂の利用や漂砂系外からの養浜については細粒分を多く含むことを

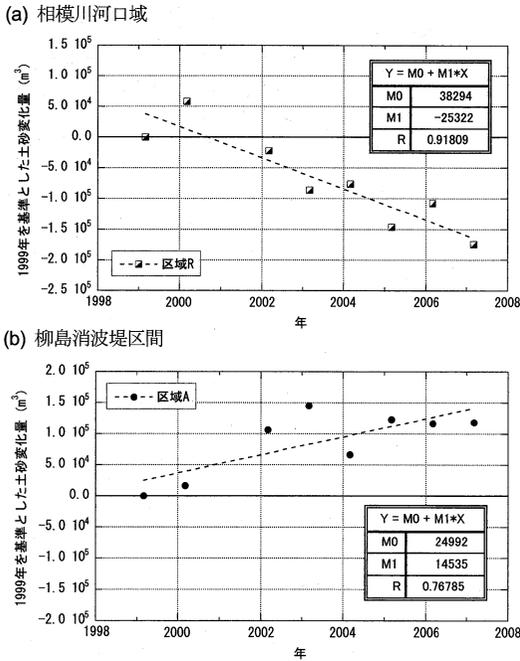


図-5 土砂量の経年変化 (1999年基準)

考慮し、歩留まり率を補正することで土砂収支を合わせた。これらの影響を除いて算出した結果が図-4の実線である。なお、この場合の歩留まり率は、1996~2005年では66%、相模ダムから運んだ粗い粒径を多く含む養浜材が用いられた2005~2007年では83%となり、粒径を考慮した養浜による違いがみられた。図-4より、沿岸漂砂量の最大値はX=11~13km区間で1.2万m³/yr、ヘッドランド(X=10.5km)を下手側に越える漂砂量は0.5万m³/yr、一方、柳島消波堤西側(X=7.6km)より流入する漂砂量は0.46万m³/yrとなる。

一方、これまでの解析では、相模川河口域および柳島消波堤区間での土砂動態は不明であった。このため1999~2007年に実施されたナローマルチビーム測量による5mメッシュ水深データを用いて、1999~2007年の水深変化量の平面分布を算出し、図-5に示すように1999年を基準とした土砂量の経年変化から1年あたりの水深変化量を求めた。この結果、柳島消波堤区間では-2.5万m³/yr、相模川河口域では1.5万m³/yrの変化割合となった。

3. 粒径を考慮した沿岸漂砂量の算出

湘南海岸では、図-1に示す8測線で2006年と2007年に底質調査が行われている。図-6は各測線のT.P.+3~9m間の底質データの平均値を、細砂、中砂、礫の3レンジで区分した断面平均の粒径含有率を示す。これによれば、沿岸漂砂の下手側の堆積域にあるNo.7、No.8では細砂が多く含まれ、相模川河口に近くなるほど中砂の含

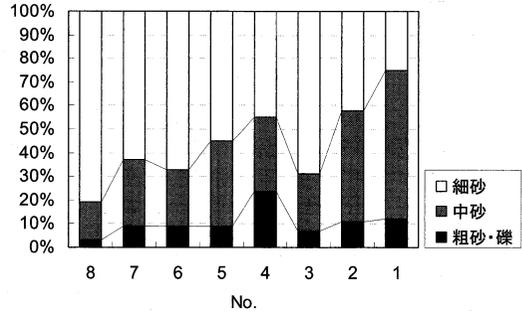


図-6 各測線の断面平均粒径含有率 (T.P.+3~9m)

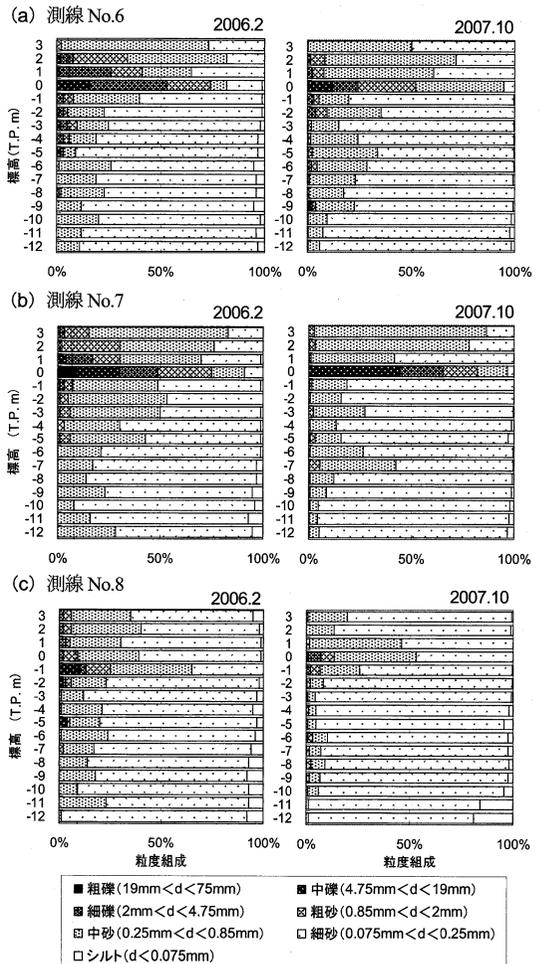


図-7 底質の水深方向分布の2時期の比較

有率が高まる。また、最も侵食が著しい中海岸中央のNo.4では礫分が多い。侵食域では、沿岸漂砂によって砂が持ち去られると粗粒分が残されることから、侵食域での底質特性から沿岸漂砂として運ばれていく底質の含有率を推定することはできないが、堆積域では底質の堆

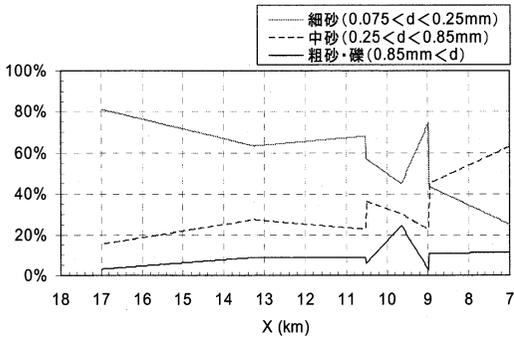


図-8 粒径含有率の沿岸方向分布

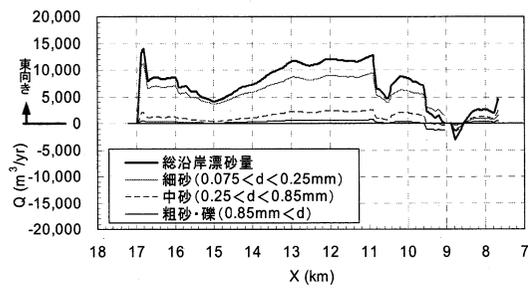


図-9 粒径毎の沿岸漂砂量の沿岸方向分布

積状況が漂砂の履歴を表わすことから、堆積土砂とほぼ同程度の底質含有率の漂砂が供給されたと仮定できる。

図-7は比較期間が1年半と短い、図-1に示す測線 No. 6,7,8における2時期の底質組成の水深方向分布を比較したものである。期間中には先に述べた30年確率規模の高波浪が来襲している。しかしながら各測線とも細砂の割合が増えたようにも見えるが、大きな底質変化は生じていない。このことは、堆積域に存在する底質の含有率と同程度の含有率の砂が、沿岸漂砂によって連続的に運ばれてきたことを強く示唆している。このような考え方のもと、粒径は水深方向に大きく変わるものの、沿岸方向にはほぼ一様に分布するという特徴より測線間の底質データを補間し、細砂、中砂、粗砂以上の3つのレンジの含有率の沿岸方向分布を求めた結果が図-8である。その上で、養浜等の要因を補正した年間単位幅当たりの地形変化量に、図-8をもとに各地点で3レンジの含有率をそれぞれ乗じ、さらに漂砂下手端で $Q=0$ として粒径毎に漂砂上手方向に積分し、それぞれの粒径ごとに沿岸漂砂量分布を算出したのが図-9である。この図は沿岸漂砂量の分布に似ているが、粒径ごとに区分された沿岸漂砂分布であることに特徴がある。

4. 粒径を考慮した土砂収支

粒径を考慮した土砂収支図を図-10に示す。この図には、各ブロックを跨ぐ沿岸漂砂量、各ブロック内における土砂量の変化、およびこれらの粒度分布、また海岸線を跨ぐ海と陸の間の土砂のやり取り（飛砂、養浜、浚渫など）をとりまとめた。粒度分布は、当海岸が主に細砂(0.075~0.25mm)と中砂(0.25~0.85mm)で構成されていることから、細砂 d_1 、中砂 d_2 、粗砂・礫 d_3 の3レンジで区分し、含有率を円グラフで示した。ブロック境界上、ブロック内の円グラフは、それぞれブロックを横切って通過する沿岸漂砂とブロック内の底質の粒径含有率を示す。また、陸域に示す円グラフは飛砂の粒径含有率を示す。なお、飛砂の粒径含有率は田淵(2003)による海浜背後の自転車道に堆積した飛砂の粒度分析結果を用いた。

図-10の作成に当たって各ブロックは構造物、漂砂特性を考慮して表-2に示す理由により設定した。ブロック境界の漂砂量は図-9より抽出し、粒径含有率は粒径毎の漂砂量の比で表現した。ただしDブロックは近年では僅かに侵食傾向にあるので、C-D境界の粒径含有率については上記の方法で設定するのではなく、ヘッドランドの先端水深 T.P.-3m 以深に存在する底質が漂砂により流入すると考え、図-11に示すヘッドランド西側近傍の測線 No.5の底質データの T.P.-4~9mの平均値とした。B~Fブロックの土砂量の変化は、汀線変化量に移動高とブロック延長を乗じたものとし、R,Aブロックについては図-5より求めた水深変化量を用いた。粒径含有率はブロック内の平均値で表現した。また、Rブロックの相模川の流出土砂量は、前述の相模川水系土砂管理懇談会(2003)による $0.5 \text{万 m}^3/\text{yr}$ を用いた。なおこの量には海岸に寄与しないシルト・粘土分は含まれていない。一方、平塚新港の沖防波堤の先端水深は6mであり、 $h_c=9\text{m}$ 以浅であることから、西向き沿岸漂砂による西側海岸への土砂移動が考えられる。したがって、Rブロックで収支が合わない土砂量は沿岸漂砂によって西側へ運び去られたと仮定した。

東側への細砂の移動は波による東向きの沿岸漂砂のほかに、冬季の西風による飛砂がある。この飛砂は、海岸線と風向とのズレによって海岸線方向のみでなく、やや内陸へと移動する。その沿岸方向成分は宇多ら(2008)が示したようにヘッドランド周辺や不動点(3号放水路)より東側の堆積域で大きく、また中海岸から菱沼海岸へヘッドランドを越えても砂が移動する。汀線域から飛砂によって内陸へ運ばれた砂は良く淘汰された粒径が0.25mm以下の細砂である。砂丘(人工含む)に固定され、または除去された場合細粒分の損失を招くが、神奈川県では定期的な堆砂垣の改修工事に後浜上に堆積した砂を汀線まで戻しているため海浜砂の損失にはならない。土砂収支にはこれも考慮した。

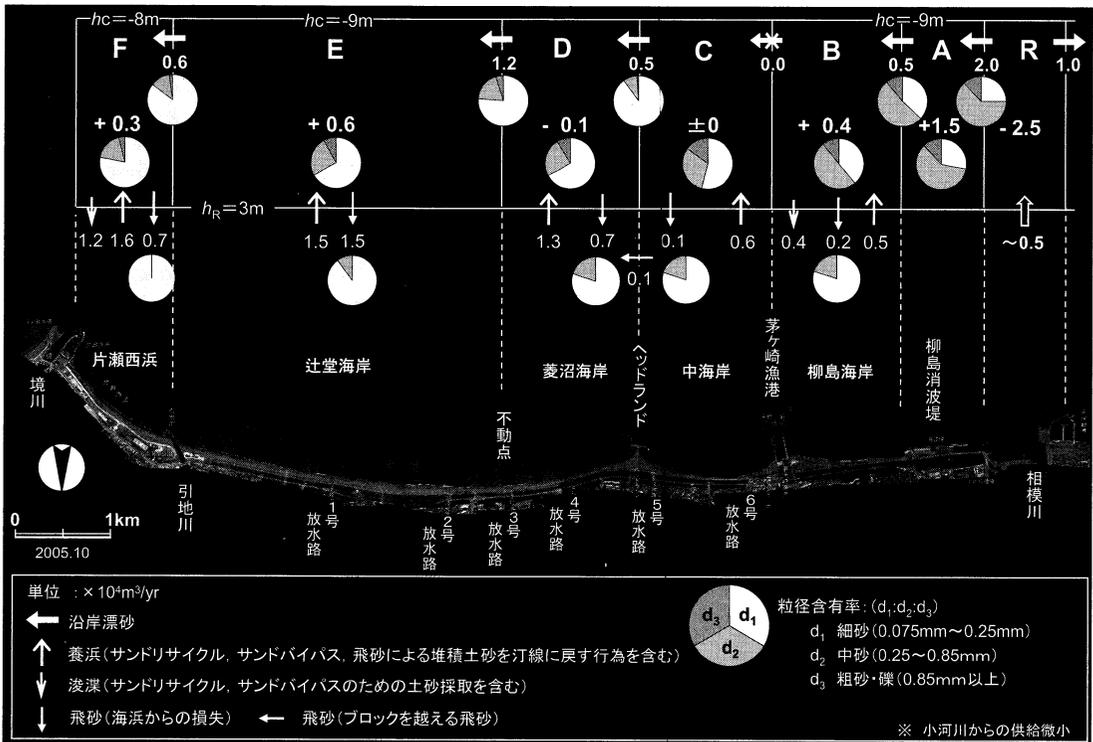


図-10 粒径を考慮した土砂収支図

表-2 ブロックの設定

ブロック	理由	
R	相模川河口域	河口域
A	河口左岸～柳島消波堤	構造物(砂浜なし)
B	柳島消波堤～茅ヶ崎漁港	漂砂境界
C	茅ヶ崎漁港～ヘッドランド	漂砂境界
D	ヘッドランド～3号放水路	不動点
E	3号放水路～引地川	堆積域, 小河川
F	引地川～境川	堆積域, 漂砂境界

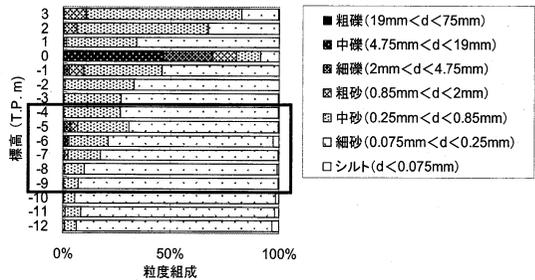


図-11 測線No.5の底質の水深方向分布 (2007.10)

5. おわりに

粒径を考慮した土砂収支図は量と質両方の情報を与えている。したがって従来のように量だけでなく質をも考慮した土砂管理を進める上で役立つと考えられる。本研究では、漂砂の粒径含有率を、現地データを基本に与えたが、沿岸漂砂量は水深方向に分布を持っており、一般に汀線近傍が最も大きい。また汀線近傍の海浜の構成材料は主に中砂、礫である。一方、個々の粒径の動きやすさは粒径に依存し、粒径が小さいほど動きやすい。したがって、厳密に言えばこれらの点を考慮する必要があるが、これらについては今後の課題としたい。

参考文献

宇多高明・青島元次・吉岡 敦・三波俊郎・石川仁憲 (2008) : 湘南海岸における飛砂量の検討, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.1195-1200.
 宇多高明・木下幸夫・山野 巧・吉岡 敦・三波俊郎・壺岐信二・石川仁憲 (2006) : 長期深淺測量データに基づく湘南海岸の海浜変形の実態分析, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.651-655.
 田淵勇哉 (2003) : 湘南海岸における表層砂の粒径分布特性と植生の関係について, 武蔵工業大学卒業研究論文.
 相模川水系土砂管理懇談会 (2003) : 「相模川の健全な土砂環境をめざして 提言書 (参考資料)」.