

(2) 相模川河口からヘッドランド

相模川河口では汀線が1954年～1973年に最大約100 mも後退した。一方、茅ヶ崎漁港の西側では1973年に以降漁港防波堤により沿岸漂砂が阻止された結果前浜が広がり、2005年までの漁港上手の汀線前進量は最大約50 mに達した。X=8.1 km付近には汀線変化のない不動点があるが、空中写真の判読によれば、この地点は1954年において海岸線の方向が折れていた場所であり、相模川河口テラスの東側終端部に相当していた。

茅ヶ崎漁港の東側隣接部では1973年までに汀線が最大約50 m後退した。その後の防波堤延伸に伴い、養浜前の1985年までに防波堤の東側隣接部では侵食がさらに進み最大で64 mの後退量となった。茅ヶ崎漁港を挟んで西側で汀線前進、東側で後退という汀線変化は、この地点の沿岸漂砂の卓越方向が東向きであることを示している。

また、茅ヶ崎漁港の防波堤とヘッドランドが建設された後、それぞれの施設の西側の汀線は、設置前と比較していずれも時計回りに回転する変化を示した。このことは、当海岸では長期的には東向きの沿岸漂砂が卓越することを意味する。茅ヶ崎漁港上手と下手側における1954年の汀線を基準とした2005年汀線の回転角を調べるとそれぞれ 4° 、 2° となる。茅ヶ崎漁港上手側では漁港防波堤が沿岸漂砂をほぼ完全に阻止していると見なせるため上記の 4° の方向角はほぼ静的安定汀線を与える波の方向角となる。さらに、ヘッドランド建設前後の1985～1996年では、ヘッドランド背後の遮蔽域に大量の砂が堆積した一方で、ヘッドランドの西側海浜(茅ヶ崎中海岸)での侵食量が小さい。この期間中、茅ヶ崎中海岸において養浜が行われたことがその理由である。

(3) 菱沼海岸から江ノ島

ヘッドランドのすぐ東側に位置する菱沼海岸では局所的に汀線が後退しているが、菱沼海岸より東側の江ノ島に至る区間ではいずれの場所でも汀線が前進傾向にある。汀線前進量は東側ほど大きくなり片瀬西浜では2005年までに最大約60 mの汀線前進が生じている。江ノ島までの全域において東向きの沿岸漂砂が広域で堆積している。

3. 前浜勾配の沿岸方向分布

大磯港から境川河口までに配置された測線に沿う深浅データから前浜勾配を算出した。ここに前浜勾配はT. P. ± 1 m 範囲の平均勾配とした。図-3には1986年と2005年の測量データに基づく前浜勾配の逆数の沿岸方向分布を示す。横軸は測線番号である。局所的变化を除けば、いくつかの特徴が見られる。まず大磯港の隣接部では前浜勾配が緩いことが見てとれる。一般に前浜勾配と砂の粒径の間には比例関係があることを考慮すれば、このことは大磯港の隣接域には細粒分が多く堆積してい

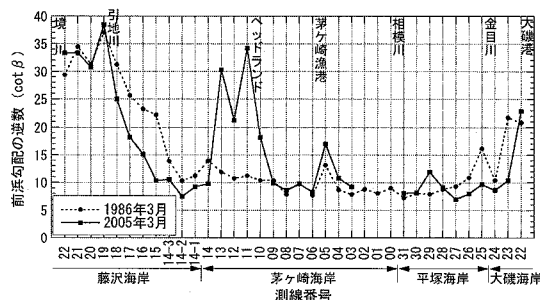


図-3 前浜勾配の逆数の沿岸方向分布

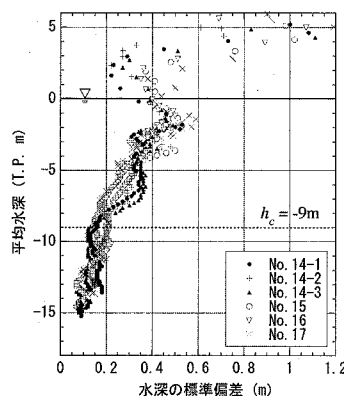


図-4 海底地盤高の標準偏差の水深方向分布
(藤沢海岸 No.14-1～No.17)

ることを示唆する。これに対し相模川河口から茅ヶ崎漁港までは前浜勾配が相対的に大きく、粗な土砂で前浜が構成されている。また、茅ヶ崎ヘッドランド周辺では過去には前浜勾配が1/10程度と急であったが、ヘッドランドの建設後前浜勾配が1/30程度にまで緩くなった。これも同様にヘッドランド周辺に細砂が多く堆積していることを意味すると考えられる。

藤沢海岸では1986年当時と比較して2005年では全体に前浜勾配が急になりつつある。この区間では図-2に示したように堆積傾向にあることから、従来藤沢海岸に堆積していた砂よりも粗い粒径が堆積しつつあることを示唆する。また全体として前浜勾配の沿岸方向分布は、図-2に示した汀線変化図ともよい対応を示し、前浜勾配が小さい場所は汀線変化量の大きい区域と対応が見られる。

4. 波による地形変化の限界水深

湘南海岸における1971～2005年の水深データをもとに、同一測線における海浜縦断形の比較、および海底地盤高の変動量の水深方向分布を算出した結果、いずれの縦断形においても明瞭な形で海底地形が収束する限界の水深(波による地形変化の限界水深 h_c)を読み取ることができた。例えば、図-4は藤沢海岸のNo. 14-1～17

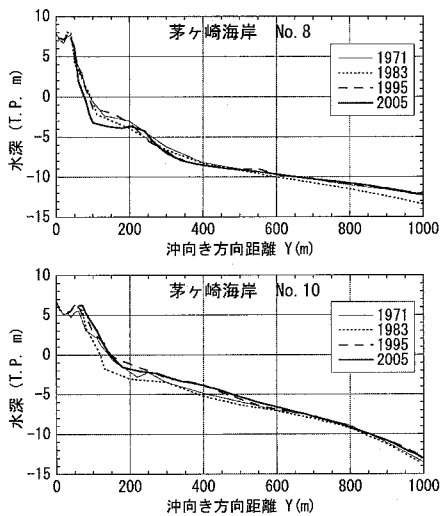


図-5 海浜縦断面形の重ね合わせ (茅ヶ崎 No.8, No.10)

(図-3 参照) における海底地盤高の標準偏差の水深方向分布であるが、 -9 m 付近で海底地盤の変動が収束し、標準偏差が 0.2 m 以下のほぼ一定値に収束している。このことから同地点における h_c は 9 m であることが分かる。同様な整理によれば、大磯・平塚海岸 (No. 24~30) の h_c は 8.5 m 、茅ヶ崎海岸 (No. 3~12) では 9 m 、藤沢海岸 (No. 18~22) では 8 m となった。平均的に見ると湘南海岸における h_c はほぼ 9 m にある。

5. 茅ヶ崎中海岸での海浜変形 (詳細検討)

(1) 海浜縦断面形の比較

茅ヶ崎中海岸 (茅ヶ崎漁港～ヘッドランド間) の主要な測線について 1971, 1983, 1995, 2005 年の 4 時期の縦断面を重ねて図-5 に示す。茅ヶ崎中海岸では、近年前浜の後退にともない護岸工が被災し、対策として養浜 (山砂, 工事発生土砂, 浚渫土砂) が継続して行われている。被災箇所に対応する No. 8 では 1995 年以降前浜が後退し、汀線付近の勾配が次第に急になった。同時に沖の緩斜面 ($-5\sim-8\text{ m}$) でも地盤高の低下が起きている。これに対しヘッドランドに近い No. 10 では前浜は拡大傾向にあり、沖の緩斜面でも堆積が見られる。これらは、No. 8 付近の汀線付近と沖合の 2 領域から No. 10 方向へと砂が沿岸方向に流出したことによる。岸沖漂砂であれば汀線の侵食 (堆積) と沖合での堆積 (侵食) がセットで起こらなければならないからである。

(2) d_{50} の水深方向分布

宇多 (1997) は、海浜底質データより求めた海浜材料の中央粒径 d_{50} の水深方向分布について、 d_{50} は前浜から汀線付近で最大値を示したのち、水深方向に減少し波による地形変化の限界水深 h_c 以深では 0.15 mm 程度の

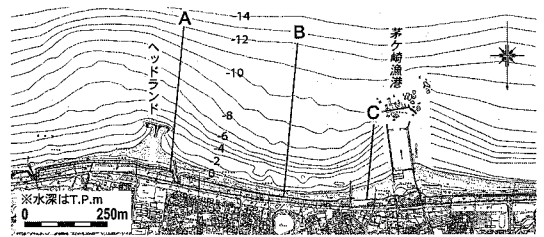
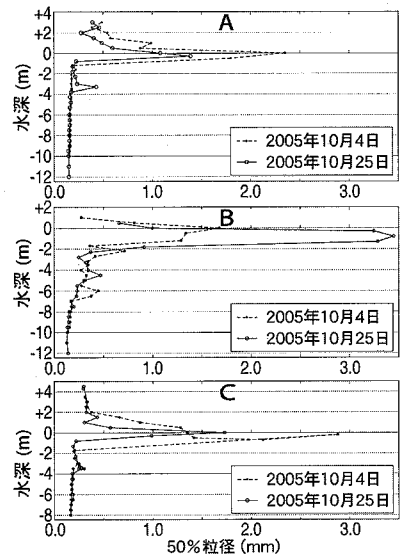


図-6 茅ヶ崎中海岸の底質調査の測線配置

図-7 d_{50} の水深方向分布

一定値となることを示し、この特徴から逆に波による地形変化の限界水深の推定が可能なることを示した。そこで図-6 に示す 3 測線に沿って水深方向に 0.5 m 間隔で標高 3 m から -12 m までの範囲について底質採取を行って d_{50} の水深方向分布を算出した。結果を図-7 に示す。これによれば茅ヶ崎漁港の防波堤とヘッドランドによる波の遮蔽域内となる測線 A と C では顕著な粒径変化が収束する限界の水深が -4 m と浅いが、中央の測線 B では -9 m がほぼ限界水深となっている。この値は水深変動量の水深方向分布から求められた値と一致する。またヘッドランドに近接する測線 A のデータによれば、先端水深が約 4 m のヘッドランド沖には 0.2 mm 以下の細粒径が堆積していることが見て取れる。

(3) 水深変動量の平面分布

茅ヶ崎中海岸において 1987 年から継続して測量されてきた深浅データをもとに、海底地盤高の変化量 (水深変化量) を算出した。各時期の深浅データをメッシュ化し、各メッシュ上における海底地盤高の差を算出し平面分布として整理したのが図-8, 9 である。各図では比較を行った 2 時期のうち、新しい時期の等深線形状を重ね

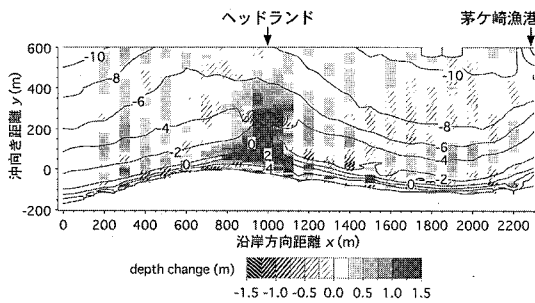


図-8 水深変化量の平面分布 (1987~1991 年)

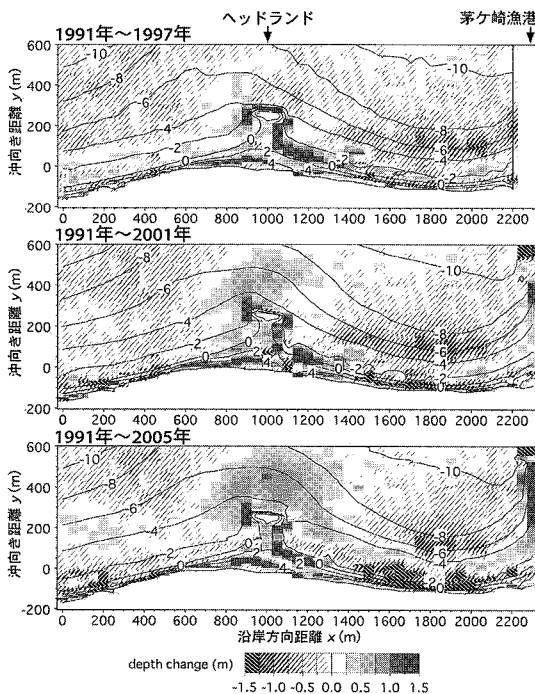


図-9 水深変化量の平面分布 (1991 年基準)

で示す。ヘッドランドは1986~1990年に整備されたので、1987~1991年の水深変化量分布を示す図-8は、ほぼヘッドランド建設期間内の地形変化を示す。図-8ではヘッドランド背後で顕著な堆積が起り、トンボロが形成されたことが分かる。

ヘッドランド完成後の1991年の測量データを基準とした1997, 2001, 2005年までの海底地形変化(図-9)を比較すると、 $x=1.4$ km付近から茅ヶ崎漁港の東側隣接部までの約0.8 km区間で侵食傾向が著しい。とくに前浜付近と沖合の緩斜面上(-4~-8 m)で顕著な侵食が見られるが、当初は沖合で顕著な侵食であったものが、時間経過とともに激しい侵食域が沖合から汀線付近へと移ってきている。この区間は護岸の被災が最も激しい区域に対応しており、これとよく調和している。

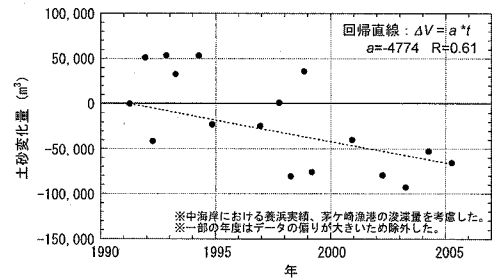


図-10 1991年3月を基準とした土砂変化量(net)の変化

対照的に、ヘッドランドの西側隣接部と沖合では堆積が進んでいる。とくにヘッドランドの沖合では時間経過とともに堆積が顕著となっている。ヘッドランド沖の等深線は、もともと沖へと突出しつつ蛇行するが、堆積域は、この蛇行した等深線に沿って分布しているように見える。この付近は水深が4 m以上と大きく、図-7によれば d_{50} が0.2 mmの細粒土砂で覆われている。したがって上述のヘッドランドと茅ヶ崎漁港に挟まれた侵食域のうち、沖側緩斜面を構成する土砂の一部が、茅ヶ崎中海岸での養浜砂に含まれた細粒分が選択的に運ばれて堆積した可能性が大きい。このことは、養浜を行う場合、養浜砂の選択が非常に重要なことを強く示唆する。

(4) 茅ヶ崎中海岸の海浜土砂量の変化

図-8, 9に示す区域の水深データより、1991年3月を基準とした各年の土砂量を算出し、その変化を調べた。茅ヶ崎中海岸では、この間養浜や航路浚渫がたびたび行われているので、これらを考慮してnetの土砂変化量を算出した。養浜砂や浚渫土砂は全量が対象範囲の地形変化に寄与するものと仮定した。netの土砂変化量を時間変化として示すと図-10となる。ばらつきはあるものの、対象区域の土砂量は時間経過とともに減少傾向にある。土砂量の減少を回帰直線に当てはめると、減少速度は約 $4,800 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。これは計算対象区域外への土砂の流出速度を表すと考えられる。実際、茅ヶ崎漁港の防波堤を横切る西向きの沿岸漂砂は存在しないので、この量はヘッドランド先端を越えて計算対象区域から東側へと流出した沿岸漂砂量にほぼ等しいと考えられる。

6. 沿岸漂砂量の推定

大磯港から境川までの汀線変化量データを用いて、沿岸漂砂量の沿岸方向分布を推定した。沿岸漂砂量は、大磯港および茅ヶ崎漁港での漂砂量が1973年以降は0と仮定し、大磯港から東向きに、茅ヶ崎漁港から東および西向きに汀線変化量を積分し漂砂の移動高を乗じ、さらに対象年数で割ることで期間内の平均値として概算した。漂砂の移動高については宇多(1997)が示したように、 $(1.0 \sim 1.3) h_c$ で与えられることから、 h_c を9 mとして

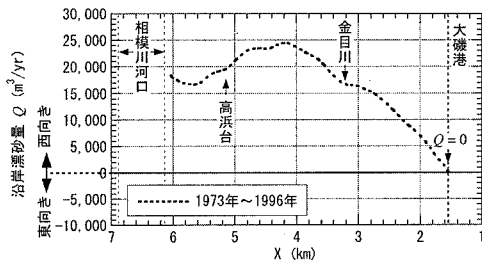


図-11 沿岸漂砂量の沿岸方向分布(大磯港～相模川河口)

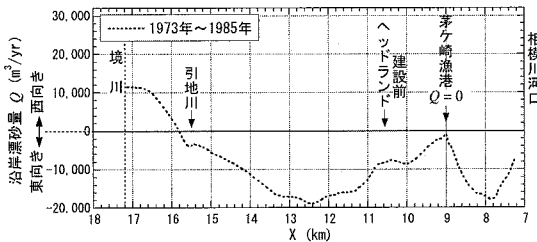


図-12 沿岸漂砂量の沿岸方向分布(相模川河口から江ノ島)

移動高をほぼ10mとした。相模川河口以西の沿岸漂砂量の分布が図-11である。1990～1996年には高浜台($X=5.2$ km)で約 5.6 万 m^3 の養浜が行われており、その影響が多少含まれてはいるが、これによると平均 $2.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の西向き漂砂が生じていた。

同様に相模川河口以東について整理したのが図-12である。境川近傍を除くほぼ全域で東向きの沿岸漂砂となった。茅ヶ崎漁港の西側隣接部では防波堤の延伸に伴って汀線が前進したが、茅ヶ崎漁港の西側から相模川河口部では東向きに最大約 $1.8 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の漂砂量が生じている。また茅ヶ崎漁港の東側についても、漁港の東3.5 km地点で約 $1.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の漂砂量である。なお、茅ヶ崎漁港西側($X=7.9 \sim 9.0$ km)における1973年から1985年までの砂浜の増加面積は約 $22,000 \text{m}^2$ であったが、防波堤は1975年以降の10年間に大きく延ばされて沿岸漂砂が阻止されたので、計算期間を10年と短縮すると、沿岸漂砂量は $2.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ と増大する。

7. 湘南海岸における過去の浚渫量

表-1に示すように、浚渫量は相模川河口部が突出しており約 $66 \times 10^4 \text{m}^3$ である。片瀬漁港、平塚漁港では新港建設工事に伴って発生した浚渫の影響でやや量が多い。これらに対して大磯港、茅ヶ崎漁港、腰越漁港での浚渫量はいずれも数万 m^3 以下と比較的少ない。最終的に、6箇所における浚渫総量は $1,004,024 \text{m}^3$ であり、海浜からはほぼ 100 万 m^3 の土砂が消失したことが分かった。

相模川河口部では、1960年から平塚漁港(須賀港)

表-1 浚渫の場所と実績

	地区	浚渫量 (m^3)	実施年	管理者
1	大磯港	8,705	1995～1996	神奈川県
2	平塚漁港(新港)	85,541	1993～2002	平塚市
3	相模川河口	658,779	1960～2002	国土交通省(河川) 平塚市(漁港)
4	茅ヶ崎漁港	26,803	1954～2002	茅ヶ崎市
5	片瀬漁港	194,195	1983～2006	藤沢市
6	腰越漁港	30,001	1964～2003	鎌倉市

の航路維持浚渫が、1975年からは治水目的の河口浚渫が行われている。航路浚渫は1980年ごろまでは毎年 $1 \sim 2$ 万 m^3 のペースで行われていたが、1990年代に入ってから減少傾向にある。これは相模川の流出土砂量の激減と、繰り返しの浚渫により河口砂州が縮小し河道内へ後退したことによる。河口浚渫は建設省により1975年から1989年まで行われた。両者を合計した累積量でみると、1967年頃から1989年頃までの約20年間に急速に増加し 60 万 m^3 以上に達している。航路維持浚渫で発生した土砂は、近年を除きそのほとんどが海中投棄と土地造成に、河口浚渫土砂は高水敷と築堤に利用され、いずれも海浜形成には寄与しない形で処理された。

8. 結 論

- ① 1973～1996年(相模川河口以西)または1985年(相模川河口以東)の汀線変化に基づく分析によれば、相模川河口以西では西向きに平均 $2.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂が生じていた。また茅ヶ崎漁港の西側では東向きに最大約 $1.8 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の漂砂量が、さらに茅ヶ崎漁港の東3.5 km地点では東向きに約 $1.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂量が生じていた。
- ② 波による地形変化の限界水深はほぼ9 mにある。
- ③ 茅ヶ崎漁港とヘッドランドに挟まれた中海岸では侵食が進んできているが、海岸中央部の汀線付近と沖合の水深4～8 m付近が集中的に削られている。
- ④ 削られた土砂の多くがヘッドランド沖に運ばれ堆積している。またヘッドランドを超えて東側へと約 $4,800 \text{m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂の流出が起きている。ヘッドランド沖に堆積した砂の粒径は0.2 mm以下の細粒分である。
- ⑤ 過去に湘南海岸でなされた浚渫の総量は $1,004,024 \text{m}^3$ であり、海浜からはほぼ 100 万 m^3 の土砂が消失したことが分かった。近年を除き、浚渫土砂の多くは海浜形成には寄与しない形で処理された。湘南海岸の侵食には、この影響を見過ごすことはできない。

参 考 文 献

宇多高明(1997):「日本の海岸侵食」, 山海堂, p. 442.