

清水海岸北部における2006年以降の海浜変形の実態

Beach Changes of Northern Shimizu Coast since 2006

宇多高明¹・三波俊郎²・石川仁憲³・平田邦夫⁴・大橋則和⁴・岩本仁志⁴

Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI, Toshinori ISHIKAWA, Kunio HIRATA
Norikazu OHASHI and Hitoshi IWAMOTO

Beach changes of the northern Shimizu coast were investigated on the basis of the bathymetric survey data collected since 2006 between the artificial headland No. 4 south of L-shaped groin and transect No. 1 crossing Shimizu Port breakwater. Maximum longshore sand transport of $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ was measured at a location of $X=1.5 \text{ km}$ of the coast. Because of the steep slope, all these sand transports were found to be discharged offshore with the rate of $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ between 1998 and 2002, $6.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ between 2002 and 2006 and $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ between 2006 and 2009. Offshore sand loss also occurred in an area between $X=0$ and 0.3 km behind the Shimizu Port breakwater.

1. まえがき

安倍川からの流出土砂が堆積して形成された三保松原砂嘴の外縁をなす清水海岸では、河床掘削に伴う流出土砂の激減に起因して侵食が発生した(宇多, 1997)。その後上手側から侵食対策として設置された離岸堤群が北向きの沿岸漂砂を阻止したため、砂嘴の先端部まで侵食域が到達しつつある。砂嘴は沿岸漂砂により砂が連続的に供給され続ける条件においてのみ動的に安定な姿を持つことができるが、三保松原砂嘴ではこの条件を満足することがもはや不可能な状態となっている。このような三保半島北端付近の海浜変形に関し、宇多ら(2008)は清水海岸のL字突堤から半島北端部に位置する三保飛行場までの区域の海浜変形について分析し、L字突堤の北1.4kmに位置する4号消波堤付近では約 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂が北向きに通過していること、またこの漂砂の大部分が飛行場前面の急勾配斜面を経て水深75mまで落ち込んでいることを示した。一方で、現況においてはL字突堤の北側には1～4号消波堤が設置されて汀線の安定化が図られているものの、1～3号消波堤間では汀線の後退が著しく、高波浪時堤防からの越波も生じている。このように三保半島北端部の海浜は依然として急激に変化しつつあり、対策の必要箇所が増加しつつあるのが現状である。

そこで、本研究ではこの区域の2006年以降における海浜変形について調べることとした。前報(宇多ら, 2009)では、清水海岸における沿岸漂砂の卓越方向が北向きで

あることを考慮し、図-1に示すようにL字突堤から3号消波堤まで、L字突堤から下手側に長さ1kmの狭い区域の地形変化に着目し、とくにL字突堤先端からの斜め冲向きの細砂の流れについても分析した。本研究では、L字突堤南側の4号ヘッドランド(HL)から清水港防波堤背後を通る測線No.1まで調査区域を広げるとともに、沿岸漂砂量の沿岸方向分布を算出することにより、沿岸漂砂量の変遷を明らかにする。

2. 汀線変化

宇多ら(2007)は、1983年を基準として2006年以前における清水海岸北部の汀線変化を示した。本研究では、重複を避けるために2006年と2009年の汀線変化に着目する。ただし長期的な汀線変化傾向も理解する必要があるので1990年までの汀線変化も併せて示す。図-2は1983年の汀線を基準とする1990, 2006, 2009年の汀線変化を示す。比較期間が3年と短いため大部分の区域での汀線変化は大きくないが、いくつかの場所では無視できない汀線変化が生じている。南側から汀線変化の著しい場所を調べると、4号HL下手のNo.45では18mの汀線後退が起きた。その北側の1号消波堤までの間の汀線は安定しているが、1, 2号, 3, 4号消波堤間、および4号消波

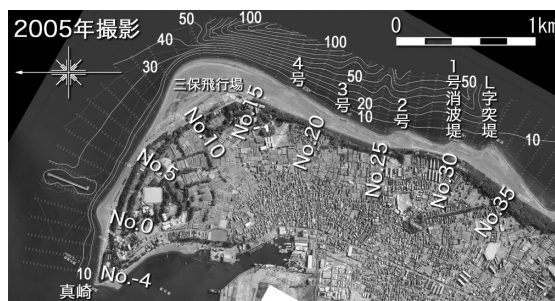


図-1 清水海岸北部における測線配置

1 正会員	工博	(財)土木研究センター常務理事 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		海岸研究室(有)
3 正会員	工修	(財)土木研究センターなぎさ総合研究室
4		静岡県静岡土木事務所

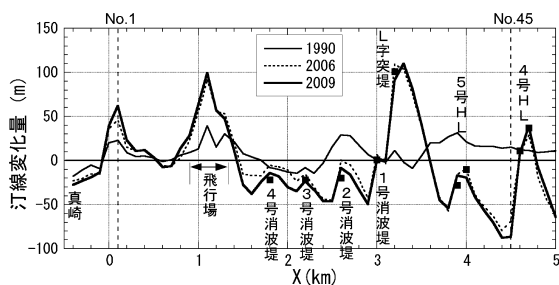


図-2 1983年を基準とする1990, 2006, 2009年の訂線変化

堤の下手ではそれぞれ最大11m, 19m, 21mの訂線後退が起きている。一方、飛行場前面の舌状砂州部分では、中心から北側部分では訂線が前進し、さらに清水港防波堤背後のNo.1では16m訂線が前進している。このように2006年以降でも対象地区では侵食傾向が続き、従来から過剰に砂が堆積してきた飛行場以西では依然として堆砂が継続していることが分かる。

3. 縦断形変化

L字突堤の南1.4kmに位置する測線No.45から清水港防波堤付近を通る測線No.1まで10測線を選び、2006年以前の縦断形変化と2006～2009年の縦断形変化を比較しつつ最近の海浜変形について明らかにする。とくに海浜変形が収まりつつあるのか、従来と同じ速度で侵食が進んでいるか、あるいは加速しているのかを明らかにすることを検討の目的とする。また各測線とHLまたは消波堤との相対位置が重要なことから、各対象区域の2005年と2008年撮影の空中写真を拡大し縦断形とともに示す。

(1) L字突堤南側のNo.45とNo.38

図-3はL字突堤南側の測線No.45とNo.38の配置を示す。既往研究で明らかにされているように、この付近の沿岸漂砂の卓越方向は北向きである。No.45は4号HLの直下手で、4, 5号HLに挟まれたポケットの上手端に位

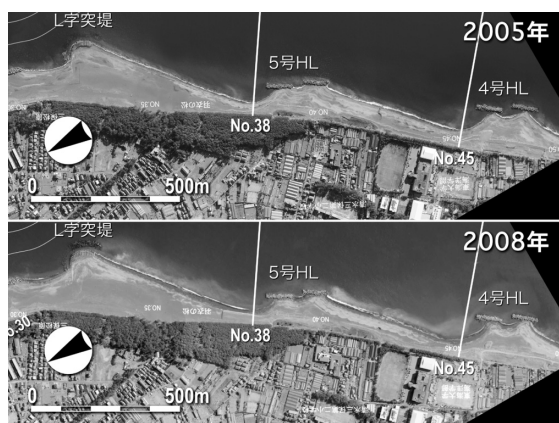


図-3 4号HL～L字突堤間の空中写真(2005年, 2008年)

置する。同様にNo.38は5号HLの直下手で、5号HLとL字突堤に挟まれたポケットの上手端に位置し、両者とも浜幅が最も狭く危険度の高い場所である。L字突堤と5号HL間、および4, 5号HL間のポケットの中央で訂線に法線を立てるとその方向角はN141°E, N138°Eとなり、離岸堤式HLに対して右斜めからの入射となる。このためHL部分では北向きの沿岸漂砂が緩やかに通過する条件下にある。2005年と2008年の比較では、4号HL周辺で侵食が進んでいることが見てとれる。

No.45とNo.38の縦断形変化を図-4に示す。No.45では、1989年以降の著しい侵食により凸状であった断面形が2001年までには凹状となり、1989～2001年での訂線後退量は86mに達した。2001年と2006年の比較では、陸上の+5m付近で浜崖形成が進む一方、浅海域では砂が薄く堆積した。しかし浜崖部分を除けば地形変化量はそれほど大きくないので、2006年までのデータを参照する限り、No.45付近では比較的安定化が進んだと判断できる。しかし2009年までには侵食が進み、-3mから7m間が著しく削り取られ訂線が17mも後退した。図-3の空中写真によれば、測線No.45の下手端には5号HLがあり、このHLが北向きの沿岸漂砂を阻止することから、それより南側に位置するNo.45付近の海浜は安定化しつつあると考えられたが、実際には5号HLを超えて漂砂が下手側へと流出しているため侵食が進んだことが分かる。

5号HLのすぐ下手側を通るNo.38でも過去にはNo.45とよく似た縦断形変化が起きた(図-4)。1989～2001年で80mもの訂線後退が起き、凸状の断面形が凹状へと変化した。しかし2006年と2009年の比較では、No.45での

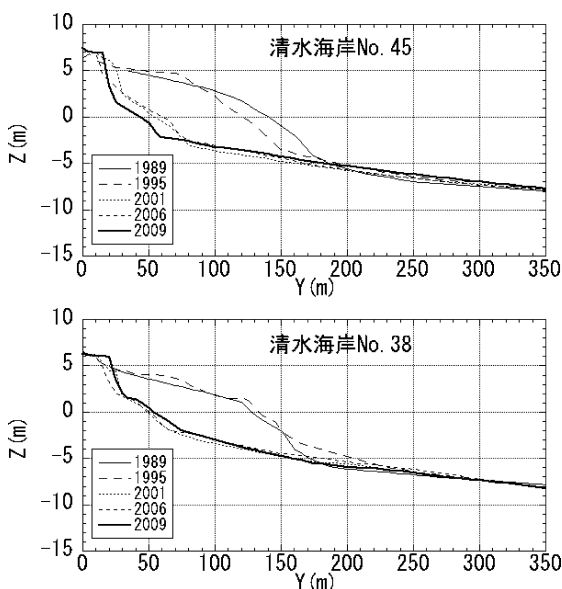


図-4 縦断形変化(測線No.45とNo.38)

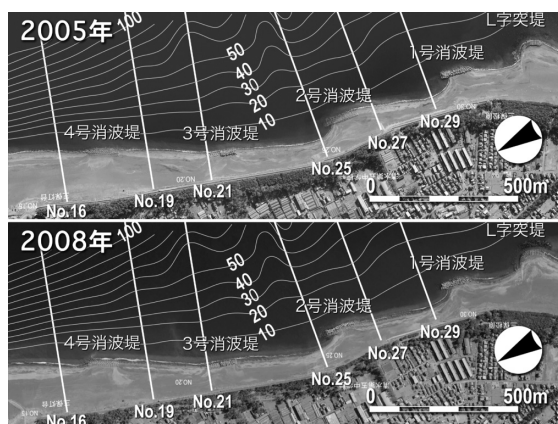


図-5 L字突堤～4号消波堤間の空中写真(2005年, 2008年)

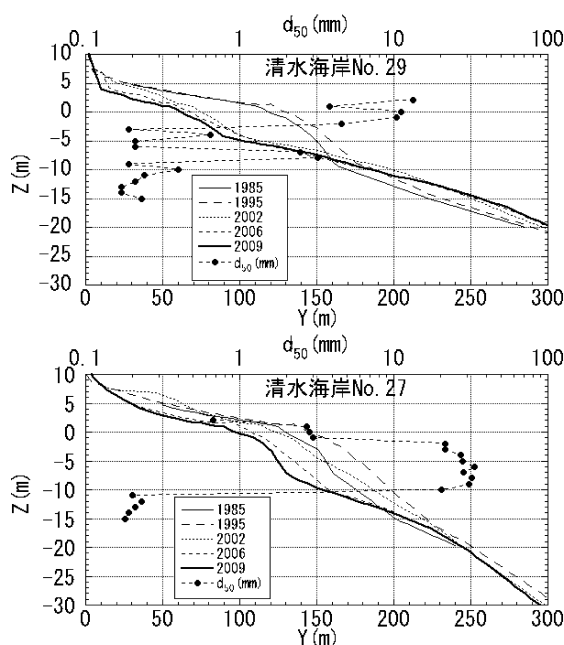


図-6 縦断形変化(測線No.29とNo.27)

侵食と対照的にはほぼ-4m以浅で砂が堆積している。この測線では盛土養浜が行われていることから、その効果が出たものと考えられる。またNo.45とNo.38で共通の特徴として、-7mではいずれの時期の縦断形も重なりを示すことから、この付近での波による地形変化の限界水深はほぼ-7mにあることが分かる。

(2) 1, 2号消波堤間のNo.29とNo.27

図-5はL字突堤から1～4号消波堤間の空中写真と2006年測定の深浅図を示す。L字突堤の北側では、1～4号消波堤により汀線の固定化が図られており、汀線が階段状となっている。このスケールの写真では汀線変化は明確ではないが、2号消波堤の上手側区域や4号堤の下手側で汀線の後退が起きているのが分かる。

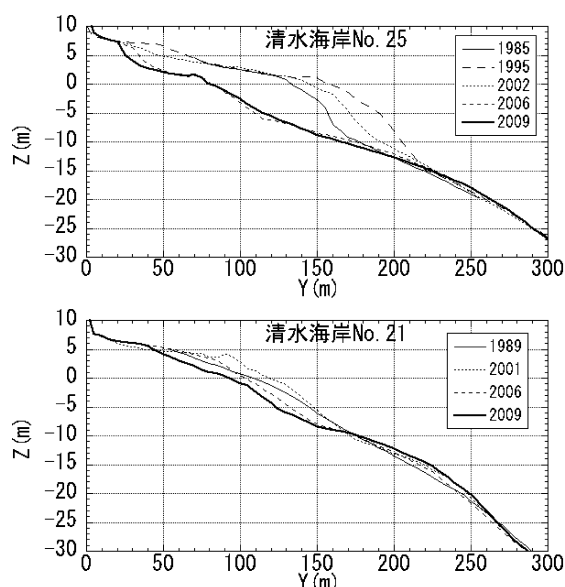


図-7 縦断形変化(測線No.25とNo.21)

図-6には1, 2号消波堤間を通る測線No.29とNo.27の縦断形を示すとともに、宇多ら(2009)で示した2006年測定の底質の d_{50} の水深方向分布も示す。1号消波堤のすぐ北を通るNo.29では、-8m以浅では礫が集中的に堆積し、また $Y=200\text{m}$ より沖では $d_{50}=0.25\text{mm}$ 程度の細砂が徐々に堆積しつつある(宇多ら, 2009)が、この測線で注目されるのは2006～2009年に前浜部分で侵食がさらに進み汀線が6m後退したことである。このことは2号消波堤を超えて沿岸漂砂が依然として流出していることを示すからである。

同様にして2号消波堤上手側を通るNo.27の縦断形を調べると、ここでは汀線後退量が11mとNo.29と比較して一層大きく、また-7m付近で著しく侵食が進んでいる。測線No.27とNo.29はともに2号消波堤の上手側に位置し、2号消波堤による北向きの沿岸漂砂の阻止効果により汀線が維持されているが、下手側に位置するNo.27での侵食量が上手側のNo.29のそれより大きいことは、2号消波堤の沿岸漂砂阻止効果が2006年以降大きく低下し、2号消波堤上手側に堆積していた砂礫が一挙に下手へと流出したことを表している。図-5の空中写真によれば、2005年には2号消波堤が沈下しており、その後2008年には高上げされたことが2号消波堤の機能低下を裏付けている。

(3) 3号消波堤を挟むNo.25とNo.21

前出の図-5に示したように測線No.25は2号消波堤の、No.21は3号消波堤の下手側直近に位置し、両者により3号消波堤は挟まれている。図-7にはNo.25とNo.21の縦断形変化を示す。No.25では、1985年以降1995年までは汀

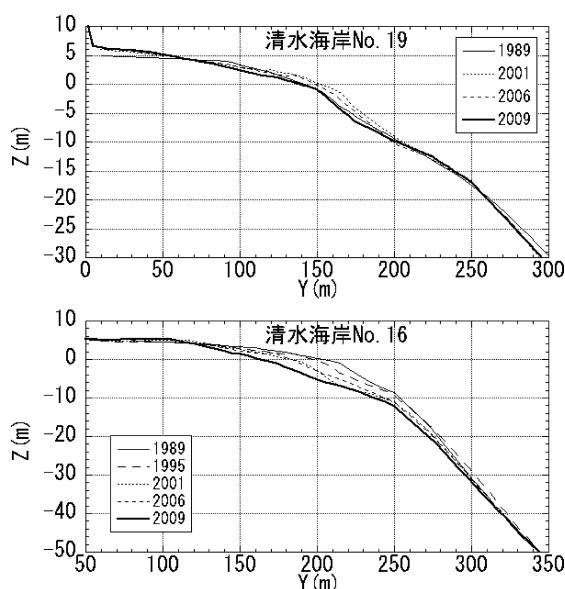


図-8 縦断面形変化(測線No.19とNo.16)

線が25m前進し、沖向きに大きく膨らんだ縦断面形が形成されていた。しかしその後侵食傾向に変わり、2002年までには-12m以浅が大きく削り取られた。2006年までには堆積が起こる前の1985年当時の断面をはるかに越えて侵食され、1/10のほぼ様な縦断面形となった。このような変遷を受けた縦断面形であるが、2006年以降注目されるのは後浜が標高7mに至るまで侵食され浜崖形成が進んだことである。前浜が消失すると同時に勾配が1/10と一様勾配となれば、高波浪時の打ち上げ高が高まることから、侵食の結果堤防まで波が打ち上がる危険度が増したと考えられる。図-5でNo.25付近の海岸線形状を調べると、この測線は2号消波堤のすぐ下手の汀線湾入部に位置する。したがって回折波の強い作用を受け、浜幅も狭いことから堤防への越波が懸念される状態となっている。

3号消波堤の下手側直近のNo.21では、1989年から2001年までは汀線付近で堆積が見られ堆積傾向にあったが、その後2006年までに-8m以浅で断面形が平行移動する形で後退した。2009年になっても侵食は継続し、2006～2009年には汀線がさらに12m後退した。この測線も消波堤(3号)の直下手に位置するが、図-5からNo.25とNo.21の浜幅を調べると、No.25では75m、No.21では93mと、No.25では18m狭い。一方、汀線付近の勾配は1/7 (No.25)、1/8 (No.21)といずれも急である。このことから当面越波の危険度はNo.25で大きい、上手側からの漂砂供給が減少している以上、いずれはNo.21もNo.25と同様に危険な状態に移移すると考えられる。

(4) 4号消波堤を挟むNo.19とNo.16

図-5に示したように、4号消波堤は清水海岸に設置さ

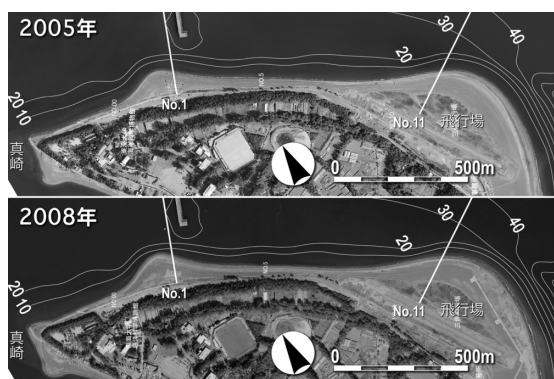


図-9 飛行場から真崎間の空中写真(2005年, 2008年)

れた各種施設のうち最北端に位置する。上手側からの沿岸漂砂があるために従来は堆積空間にあった場所に消波堤が設置されている。しかしながら、図-5で4号消波堤両側の汀線形状を比較すると、2005年には両側の汀線が消波堤を挟んで滑らかに繋がっていたが、2008年では北側の汀線が後退し段差ができつつある。

図-8には4号消波堤を挟むNo.19とNo.16の縦断面形変化を示す。No.19では1989年から2001年には砂礫が堆積し汀線が前進傾向にあったが、その後後退傾向となった。しかし2006～2009年では縦断面形変化はほぼ見られず、ほぼ安定形となっている。これに対して、No.16では、1995年以降侵食が継続的に起きており、2008年までに35mの汀線後退が起きた。これら2測線は4号消波堤を挟んで直線状に伸びた汀線の上手・下手に位置しており、4号消波堤が北向きの沿岸漂砂を阻止しているためNo.19では地形変化が小さく、下手側のNo.16で大きかったと考えられる。

(5) 飛行場前面のNo.11と清水港防波堤背後のNo.1

図-9に示すように、測線No.11は清水海岸北端で大きく突き出た砂浜(その基部には飛行場がある)を通り、No.1は清水港防波堤背後を通る測線であって、防波堤による波の遮蔽効果によって規模の大きな舌状砂州が形成されている。図-9で北端部の汀線形状を調べると、2005年から2008年の間で飛行場前の突起には大きな変化が見られないが、防波堤背後では舌状砂州の規模が増大したことが見て取れる。

図-10には測線No.11とNo.1の縦断面形変化を示す。既往研究によれば、No.11では土砂の落ち込みが報告されているが、土砂落ち込みは2006年以降も継続し、1/2の急斜面を形成しつつ土砂の落ち込みが起きている。この測線では汀線前進量は7mと小さいが、-30mと深い海底面まで土砂が落ち込むことによって大量の土砂の消失が続いている。

清水港防波堤の背後を通るNo.1でも、既往研究によれ

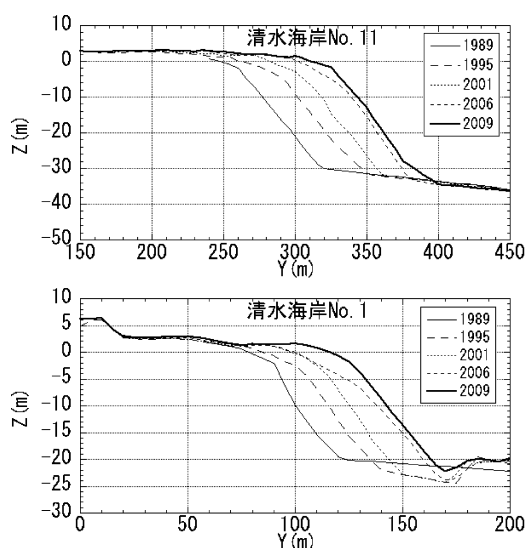


図-10 縦断形変化（測線No.11とNo.1）

ば砂の落ち込みが起きているが、この測線では土砂堆積に伴って汀線付近を中心に丸みを帯びた縦断形となっており、ここでも-20mと深い海底面に至るまで土砂の落ち込みが2006年以降も継続している。

4. 沿岸漂砂量分布の変化

図-1に示したように砂嘴の先端には真崎が位置するが、真崎を回り込んだ場所の地形変化量はごくわずかなことから、真崎を通過する沿岸漂砂量はほぼ0と見なせる。この条件のもとで、1998、2002、2006、2009年の深浅測量データより南向きに地形変化量の累積値を求め、2時期の差を経過年数で除すことにより年間の沿岸漂砂量を算出した。

図-11には3時期の比較から算出した沿岸漂砂量 Q の沿岸分布を示す。1998～2002年ではL字突堤の存在により沿岸漂砂量が $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と小さくなり、その北側では3号消波堤付近での $7.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ まで急激に増大し、飛行場北端付近で0に減少するという分布形を有していた。このことから2002年当時、L字突堤と3号消波堤間では侵食が、また3号消波堤の北側では堆積が著しかったことが分かる。2002～2006年では、L字突堤の通過沿岸漂砂はほぼ0となったが、1998～2002年当時著しい侵食が起きたL字突堤と3号消波堤間では沿岸漂砂量が減少し、逆にその北側の従来は沿岸漂砂量が小さかった場所で沿岸漂砂量が増大し、最大値は $X=1.4\text{km}$ での $8.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ となった。その際、とくに $X=0.8 \sim 1.4\text{km}$ 区間では沿岸漂砂量の場所的急減が著しいが、この位置は飛行場前面の急勾配斜面部分に相当し、そこで急斜面を経た砂の落ち込みがあることに対応している。2006～2009年でもほ

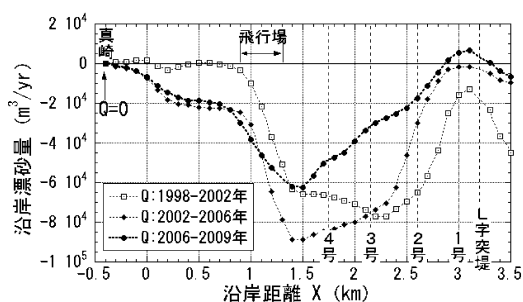


図-11 沿岸漂砂量分布

は同様な変化が見られ、沿岸漂砂のピーク位置は $X=1.5\text{km}$ とほぼ同一であるが、上手からの供給土砂量が減少傾向にあるために沿岸漂砂量は $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と減少している。

いずれの比較時期においても、 $X=0.8 \sim 1.4\text{km}$ 区間では北向きの沿岸漂砂量の場所的急減が起きているが、これは急勾配斜面を経た沖への土砂損失に対応しており、区間の両端での沿岸漂砂量の差（ $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ ：1998～2002年， $6.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ ：2002～2006年， $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ ：2006～2009年）が毎年沖合への損失となっている。同様な特長は、 $X=0 \sim 0.3\text{km}$ 間の清水港防波堤の背後でも起きている。

5. まとめ

図-11に示した沿岸漂砂量分布によれば、上手端のL字突堤を横切る沿岸漂砂はほぼ0である。一方、飛行場前面と清水港防波堤の背後では急斜面を経た砂の落ち込みが続いている。このことは、清水海岸のL字突堤より北側区域では人為的な砂供給（養浜）がなければ時間経過とともに土砂総量は徐々に減少することを意味する。しかも養浜を行ったとしても、その土砂はやがて急勾配斜面を経て深海へと失われることから、その意味が問われることになる。清水海岸北端付近の砂浜は、元々砂嘴として連続的な砂供給があつてこそ存在した地形であるが、その条件を満足させることが現状では非常に困難となっている。現在唯一可能なのは、その量には限りはあるとしても、養浜のコスト軽減と資源の有効利用の面から飛行場前面に堆積した砂礫をサンドリサイクル材料として利用することであろう。

参考文献

- 宇多高明（1997）：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442.
- 宇多高明・西谷 誠・大橋則和・三波俊郎・石川仁憲（2008）：清水海岸北端部の土砂動態と前浜掘削後の埋め戻し観測，海岸工学論文集，第55巻，pp. 671-675.
- 宇多高明・大橋則和・芹沢真澄・三波俊郎・石川仁憲・宮原志帆（2009）：清水海岸北部の侵食実態と対応策の検討，海岸工学論文集，第56巻，pp. 641-645.