

駿河海岸の新型離岸堤の堆砂効果と局所洗掘

佐口光明*・宇多高明**・片岡賢一***・増田裕弘***

1. ま え が き

近年、建設省では外洋に面した海岸を静穏化するための海域制御構造物の研究開発を進めてきており、全体で11種類の消波構造物が開発された(建設省土木研究所, 1992)。それらの多くは堤体をクイで支える構造を有する。このタイプの消波構造物で特に興味があるのは、その堆砂効果と安定性である。なぜなら、両者はともに海底面の変動に関係し、計算や理論展開により最も取り扱いにくい点であるからである。これらの消波構造物は所定の消波効果が発揮されるよう設計されるものであるが、実際、どの程度の堆砂が可能かについては現地海岸で明らかにすることが望まれる。一方、構造物の安定性に関しては、構造物周辺での局所洗掘が大きく関与することはまちがいない。しかも、構造物は群グイ構造を有するために、個々のクイ周りでの洗掘というよりも、むしろ構造全体をとり囲む大規模な洗掘が予想される。しかしながら、洗掘問題は重要であるにもかかわらず、その検討は十分でないのが現状である。海域制御構造物自体の施工例は現在のところまだないが、それらの中でスリット式構造物と類似の新型離岸堤の建設工事が駿河海岸で進められている。したがって駿河海岸での事例分析はこの意味より役立つと考えられる。このため、宇多ほか(1989)はこの新型離岸堤の初期洗掘について調べたが、本研究はこれに続き、新型離岸堤の完成後における堆砂効果と局所洗掘について分析するものである。

2. 新型離岸堤の堆砂効果

新型離岸堤の建設は、駿河湾西岸に位置する駿河海岸(図-1)で進められている。新型離岸堤は、写真-1に示すようにコンクリートブロックを鋼管グイで支える構造(PBS工法)を有しており、堤長が150 m、開口幅が50 mである。建設工事は1987年より開始されたが、工事開始以前における構造物設置地点の海底地盤高は平均でT.P.-7 mであった。

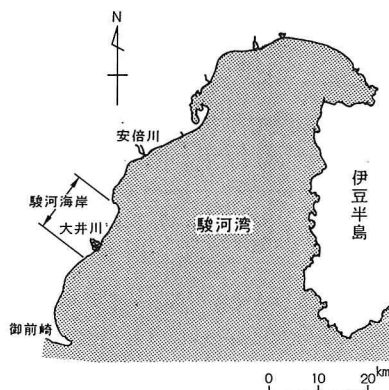


図-1 駿河海岸の位置図

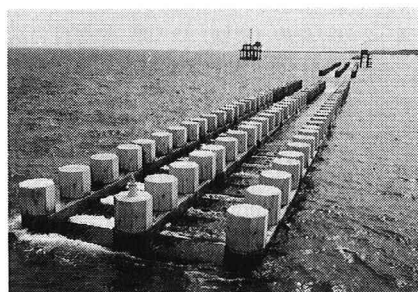


写真-1 新型離岸堤の全体状況(1992年4月31日撮影)

新型離岸堤の建設工事は進められている駿河海岸の波浪条件として、当海岸沖にある海洋技術総合研究施設(位置については後述)で行われている波浪観測によると、1987年10月より1992年2月までの間における有義波高・周期の出現頻度は、表-1に示すようである。1 m以下の波高の出現率が84.3%であるが、2 m以上の高波浪の出現頻度も2.1%ある。周期については、最多頻度が $T=5\sim6$ sにあり、4~5 s, 6~7 sがそれに続いている。

まず、新型離岸堤の建設前後における離岸堤背後の海浜変形について検討してみる。図-2には、新型離岸堤の建設前の1987年10月と、1基目が完成し、2基目の工事に取りかかりつつあった1992年2月の等深図を示す。破線が1987年の、実線が1992年の等深線である。この海岸では、大井川港の南防波堤によって北向きの沿岸漂砂が

* 建設省中部地建静岡河川工事事務所長
 ** 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長(前海岸研究室長)
 *** 建設省中部地建静岡河川工事事務所

表一 駿河海岸の波浪データ

波高 (m)	周期 (秒)	0 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 6	6 ~ 7	7 ~ 8	8 ~ 9	9 ~ 10	10 ~ 11	11 ~ 12	12 ~ 13	計(%)
0.00~0.25		3.5											3.5
0.26~0.50			2.9	10.9	11.2	6.2	2.1	0.4	0.1				33.8
0.51~0.75			3.6	8.7	9.7	3.2	3.4	1.4	0.3				30.3
0.76~1.00			0.8	3.8	3.4	3.8	2.7	1.5	0.6	0.1			16.7
1.01~1.25				1.3	1.2	1.5	1.4	1.1	0.6	0.1			3.5
1.26~1.50				0.1	0.3	0.7	0.9	0.7	0.4	0.2	0.1		3.4
1.51~1.75					0.1	0.3	0.5	0.5	0.3	0.1	0.1		1.9
1.76~2.00						0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1		1.1
2.01~2.50							0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	1.1
2.51~3.00								0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7
3.01~3.50									0.1	0.1	0.1		0.3
計(%)		3.5	7.3	24.8	25.9	15.8	11.4	6.3	3.2	1.0	0.6	0.2	100.0

阻止されたため激しく侵食が進んできている。そして海岸線には消波堤や短突堤が設置され(図-2参照)、汀線の後退が防がれているが、消波堤の前面の海底地盤が次第に低下しつつある。沖合の水深7m付近には離岸堤が設置されているが、中央より右側の2基は32tブロックを用いた従来型の離岸堤で、左側の2基が新型離岸堤である。図-2の等深線(実線)は1992年2月の測定値であるが、この時期には2基目の新型離岸堤は工事中であった。その後約2ヶ月の経過した4月末には離岸堤の工事は既に完了していた。このとき2基目の離岸堤より1基目を望む方向に撮影したのが前出の写真-1である。さて、図-2によると、新型離岸堤の背後では-5m以浅の等深線が冲向きに緩やかに突出し、全体に舌状砂州が形成されていることがわかる。一方、従来型の離岸堤背後では、1987年の深浅データがないので時間経過とともに等深線が突出したと断定することはできないが、これらの離岸堤背後の等深線の突出状況も新型離岸堤背後のそれとよく似ている。以上の点より、いずれのタイプの

離岸堤の場合にも消波効果により構造物の背後に堆砂が生じたと言える。背後の舌状砂州の規模はそれぞれ異なるが、これは離岸堤群の規模が異なるためと考えられる。一方、新型と従来型の離岸堤の間の広い開口部の背後では、特に従来型の離岸堤の北側で-5m以浅の等深線がかなり後退しているのに対し、新型離岸堤の南側隣接部分では前進傾向を示しており、等深線の変動状況が開口部中央を境に明らかに左右非対称である。このことは、当地点における波の入射方向が離岸堤を連ねる線に対する法線方向に対して、時計回りの方向からであったことを示している。この点は従来より指摘されているように、当海岸への卓越波の入射方向がSEである点(宇多ほか, 1986)と一致を示す。

海底地形変化をより定量的に明らかにするために、T.P.0(汀線)~T.P.-4mの等深線の岸沖方向の変化量についてまとめると図-3となる。等深線は、1987年10月を基準とし、それより1991年10月および1992年2月までの変化量として整理してある。図によると、0~-3mの等深線が互いにはほぼ平行移動しつつ25mほど前進している。しかし、沖合の-4mの等深線の前進量はあまり大きくない。このことは、駿河海岸では新型離岸堤の堆砂効果が-4m以浅の浅海域で集中的に表れたことを示している。この理由は、駿河海岸はもとと-6m付近まで急に落ち込み、その沖が1/100勾配と非常に平坦な海岸であって、漂砂の活発な範囲がこの急勾配部分に限られているからである(宇多ほか, 1986)。

次に、断面変化より新型離岸堤背後の土砂堆積の特徴を調べてみる。新型離岸堤を横切り、汀線が最も前進した測線No.36+100m(測線位置については図-2参照)の海滨断面の変化を図-4に示す。1987年には消波堤の前面が急角度で落ち込んだ断面形であったが、その後新型離岸堤の建設が進むにしたがい土砂が堆積し、緩勾配

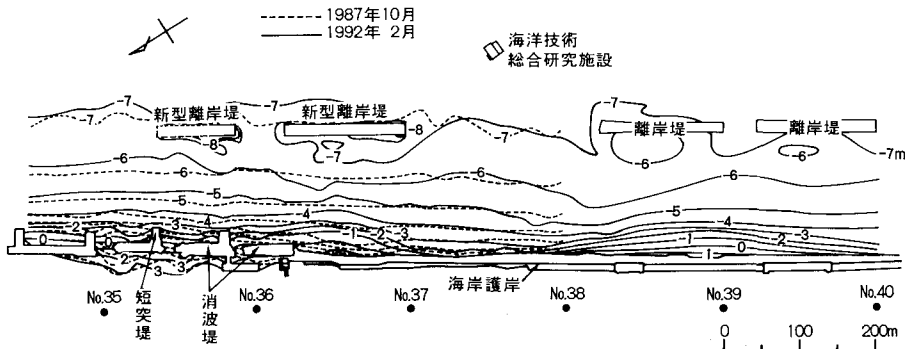


図-2 駿河海岸の新型離岸堤周辺の深浅比較

化しつつあることがわかる。土砂堆積の結果、汀線付近の勾配は1987年の1/5より1992年の1/9まで緩くなった。この新型離岸堤は離岸距離が170 m、堤長が150 mと従来型の離岸堤と比較して長いため、離岸堤の背後にはかなり広い静穏域が形成される。このため徐々に堆砂が進み、緩勾配となったと考えられる。一般に、海岸侵食が進むと急深となり、そこでは越波や波のうちあげが激しくなるが、図-4の断面変化図は、そうした場合でも新型離岸堤の設置によって海底勾配を緩くすることが可能であり、したがって新型離岸堤自体の消波効果に加えて、堆砂効果に伴う越波量や波のうちあげ高の低減にも大いに役立つことがわかる。現在、我が国各地の海岸では沿岸漂砂の不連続により侵食が進んだ結果、急深な海岸が増えており、これらの海岸では越波や飛沫の発生に悩まされているが、こうした場合においても、ここで示したような新型構造物が高い有効性を有することが示唆される。

3. 新型離岸堤周辺の局所洗掘

新型離岸堤の安定性には局所洗掘が深く関与する。ここでは深浅データをもとに局所洗掘について調べてみる。1991年7月5日と10月31日に実施した深浅測量と底質調査をもとに、新型離岸堤周辺の深浅図と底質中央粒径の分布をまとめて図-5、6に示す。図には建設途中にある2基の新型離岸堤を含め、それらの沖合約100 mにある海洋技術総合研究施設の位置も示す。図-4によると、海洋施設の周辺では同心円状の局所洗掘が生じている。また、既に完成している新型離岸堤（第1号）では南側端部を中心として局所洗掘が生じており、洗掘形状は明らかに南北非対称である。建設途中にある新型離岸堤（第2号）では堤長が短いこともあって、海洋施設と同様同心円状の局所洗掘となっている。1991年10月の深浅図（図-6）では、新型離岸堤周辺の局所洗掘がより顕著になった。これは、表-2に示すように、7月の観測以降たび重なる台風の来襲に伴って有義波高2 m以上の高波浪が8回生起しており、これにより著しい地形変化が生じたためである。10月の観測でも新型離岸堤の南端部が大きく洗掘されている点には変わりがない。このことは、波の作用を最も強く受ける点が、ほぼSE方向からの入射波により新型離岸堤の南端部の沖側部分となったためと考えられる。以上の2時期の深浅図でわかることは、①構造物の沿岸方

向の幅が少なくとも40 m以下の場合には構造物周辺では同心円状の洗掘が生ずること、そして②堤長が長くなると、卓越波の作用する側で集中的な洗掘が起ることである。第1の点は既に前報（宇多ほか，1989）で指摘した点である。

図-5、6には底質中央粒径の分布も示すが、2回の調査では変動はあるものの、系統的な変化は少なく、構造物周辺では $d_{50}=0.25$ mm程度の粒径であって場所的、時間的に大きな変化は見られない。宇多ほか（1989）で

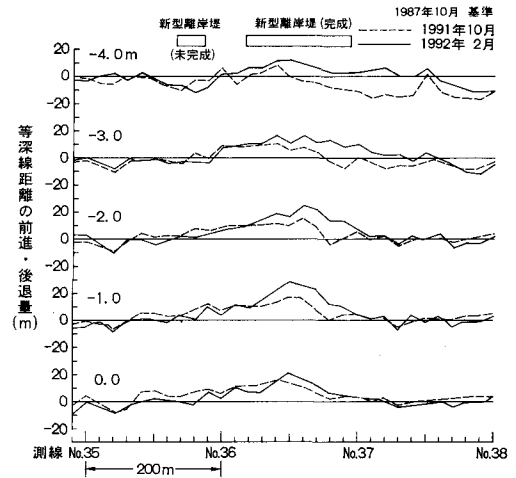


図-3 新型離岸堤背後における等深線距離の変化

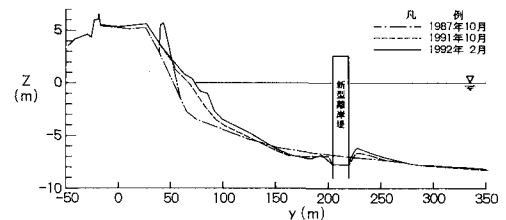


図-4 海浜断面形の変化（測線 No. 36+100 m）

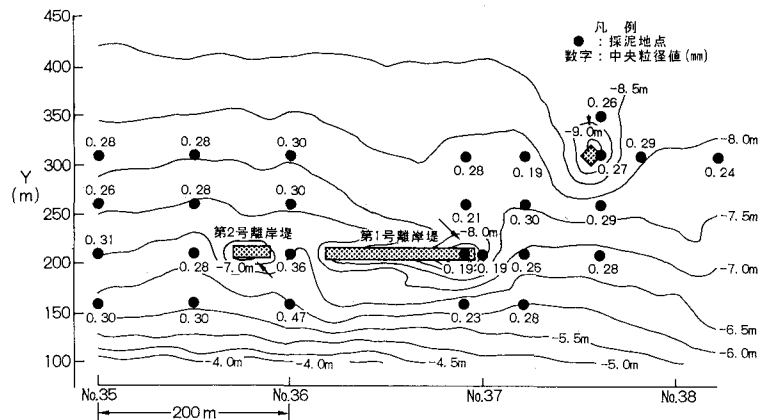


図-5 深浅図と底質中央粒径の平面分布（1991年7月）

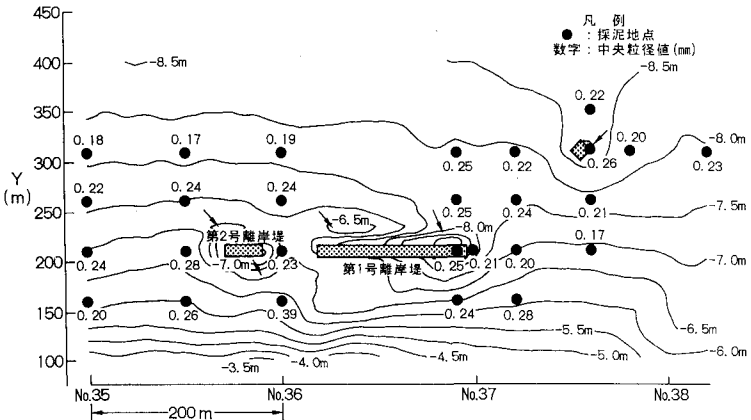


図-6 深浅図と底質中央粒径の平面分布 (1991年10月)

表-2 有義波高2m以上の
波浪の出現日
(1991年7月~10月)

日時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
8月20日	2.24	10.3
8月30日	2.07	8.3
8月31日	3.20	9.3
9月8日	3.28	12.8
9月9日	4.02	12.7
9月19日	3.65	12.4
9月20日	3.34	12.3
9月28日	2.45	9.0

は構造物周辺で底質の粗粒化傾向が見られたが、今回の調査ではそのような特性は明らかではない。

深浅図で明かなように、洗掘形状は沿岸方向にかなり異なる。そこで、新型離岸堤を横切る3断面(No. 36+180 m, No. 36+100 m, No. 36+40 m)の海底形状の変化をまとめて図-7に示す。測線の平面配置は図-3に示すが、No. 36+180 mは新型離岸堤の南端部に、No. 36+100 mは中央部に、そしてNo. 36+40 mは北端部に位置する。まず、No. 36+180 mでは新型離岸堤の基部において約2 m地盤高が低下し、そのすぐ沖合では逆に約1 m地盤高が上昇した。洗掘形状は構造物中心に対して岸沖方向に非対称であり、岸側の方が滑らかな形状である。構造物直下での洗掘とそのすぐ沖合での土砂堆積は、あたかも新型離岸堤の沖合にバーが、そして離岸堤の下部にトラフが形成されたかのようであって、クイ周辺での侵食土砂が沖方向に移動し、構造物直近での小高い堆積部が形成されたと考えられる。

新型離岸堤のほぼ中央を通る No. 36+100 m 断面でも似た状況にあるが、洗掘深が小さくなり、また離岸堤の岸側がやや凹んだ状況を呈する。離岸堤の北端近くの No. 36+40 m 断面では、洗掘深が一層小さくなるとともに、構造物の沖合隣接部の地盤高の上昇量もわずかとなった。

新型離岸堤は多数のクイにより支えられているので、クイ周辺の洗掘状況を正確に調べるためには、細かな測線間隔で測量を行わねばならない。そこで本調査では図-8に示すように、新型離岸堤を時計回りに1周する方向に12.5 m間隔で合計32点の測点を定め、これらの測点での洗掘深の経年変化を調べた。なお、図-8にはクイの位置も示した。洗掘調査は、1990年2月13日より1992年2月12日まで2年間に延べ9回実施した。離岸堤直下の地盤高は、ダイバーがスタッフを用いて構造物

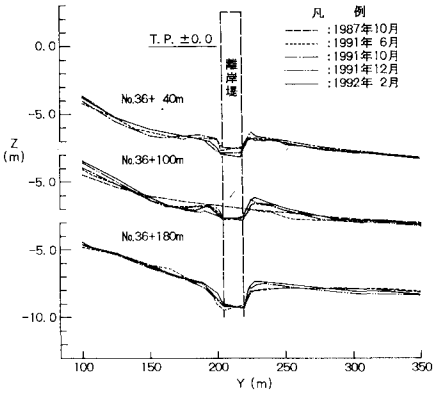


図-7 局所洗掘の横断面 (No. 36+180 m, No. 36+100 m, No. 36+40 m 断面)

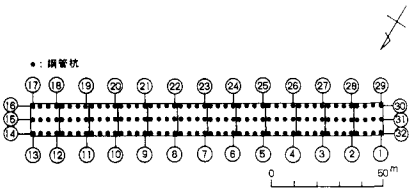


図-8 新型離岸堤周辺の洗掘調査の測点位置

下端面からの深さを測定する方法で求めた。洗掘量の算出においては、新型離岸堤の建設前の平均地盤高が T. P. -7.0 m であったことから、これとの比較における地盤高の低下量を洗掘深とした。測定結果をまとめて表-3に示す。図-8に示したように、離岸堤の南端部の岸側が No. 1 と No. 32 に、沖側が No. 29 と No. 30 に、北端部の岸側が No. 13 と No. 14 に、沖側が No. 16 と No. 17 にある。したがってこれらの地点の洗掘量の相互比較を行うことにより、洗掘状況がより明瞭になると思われる。

表-1 駿河海岸の波浪データ

No.	1990 2.13	1990 8.16	1990 10.15	1991 2.4	1991 6.29	1991 9.6	1991 10.4	1991 12.5	1992 2.12	平均値
1	1.58	1.90	2.80	2.70	2.30	2.70	2.60	2.70	2.50	2.42
2	1.15	—	—	—	2.30	2.20	2.20	2.00	2.00	1.98
3	1.05	1.40	1.60	2.40	2.20	1.80	1.90	1.60	1.60	1.73
4	1.00	—	—	—	1.50	1.40	1.70	1.50	1.50	1.43
5	0.98	1.30	1.00	1.40	2.20	1.00	1.40	1.30	1.30	1.21
6	1.00	—	—	—	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.10
7	0.85	1.10	0.90	0.90	0.90	0.80	0.90	0.90	0.90	0.91
8	0.75	—	—	—	0.80	0.70	0.70	0.80	0.70	0.74
9	0.65	0.80	1.00	0.90	0.90	0.70	0.60	0.60	0.50	0.74
10	0.25	—	—	—	0.80	0.70	0.60	0.50	0.50	0.56
11	0.15	0.40	1.00	0.80	0.70	0.60	0.40	0.70	0.50	0.58
12	0.10	—	—	—	0.50	0.40	0.30	0.70	0.60	0.43
13	0.00	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	0.54
14	0.05	0.40	0.60	0.50	0.50	0.60	0.50	1.10	1.00	0.58
15	0.23	0.40	0.60	0.50	0.60	0.60	0.60	0.50	1.20	0.83
16	0.30	0.30	0.50	0.50	0.40	0.60	0.60	1.20	1.10	0.61
17	0.40	0.30	0.40	0.40	0.30	0.60	0.60	1.10	1.10	0.58
18	0.70	—	—	—	0.60	0.50	0.50	0.50	0.60	0.57
19	0.50	0.70	0.50	0.60	0.40	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50
20	0.60	—	—	—	0.70	0.50	0.60	0.40	0.50	0.55
21	1.08	1.00	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.40	0.50	0.71
22	0.85	—	—	—	0.70	0.80	0.80	0.60	0.70	0.74
23	0.85	1.10	0.50	0.70	0.80	0.80	1.00	1.10	1.10	0.88
24	0.80	—	—	—	0.90	0.80	1.40	1.40	1.30	1.10
25	1.00	1.40	0.60	0.90	1.00	1.00	1.70	1.70	1.40	1.19
26	0.98	—	—	—	1.20	1.30	1.90	1.90	1.70	1.50
27	1.03	1.50	1.10	1.50	1.50	1.90	2.00	2.20	2.00	1.64
28	1.25	—	—	—	2.00	2.30	2.30	2.30	2.30	2.08
29	1.80	2.00	2.70	2.60	2.00	2.40	2.50	2.40	2.10	2.28
30	1.70	2.00	2.70	2.80	2.00	2.30	2.40	2.40	2.10	2.27
31	1.60	2.20	2.80	3.00	2.30	2.50	2.50	2.60	2.50	2.44
32	1.55	2.00	2.70	2.80	2.30	2.70	2.40	2.50	2.40	2.37

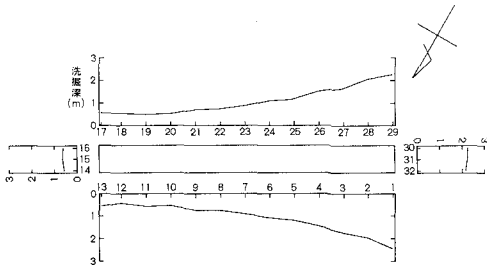


図-9 新型離岸堤周辺の平均洗掘深の分布

例えば、南端部の No. 1 と No. 29 を比較すると、平均洗掘量は、No. 1 が 2.42 m、No. 29 が 2.28 m と、岸側に位置する No. 1 の方が平均的に 0.14 m 洗掘深が大きい。また、No. 1 と No. 13 とを比較すると、No. 13 の平均値は 0.54 m と No. 1 の約 1/4.5 と非常に小さい。同様に No. 17 と No. 29 との平均値の比較でも前者の 0.58 m に対し、後者では 2.28 m と、この場合も北端部の洗掘量ははるかに小さい。平均洗掘量が最も大きいのは、離岸堤の南端部中央の No. 31 の 2.44 m である。また、この

地点の洗掘は、1990 年 2 月 13 日より 1991 年 2 月 4 日まででは単調に増加し、最大値の 3 m に達したが、その後は減少し、2.5 m 付近を中心に変動している。

図-9 には各地点の平均洗掘量の分布を示した。新型離岸堤の沖側と岸側の洗掘量はほぼ同一であり、南向きに単調増加の傾向を示す。また、南北端の洗掘量の比較では No. 11～No. 13 の平均値 0.61 m に対し、No. 30～No. 32 の平均では 2.36 m と南端部が約 4 倍大きい。

4. 結 論

駿河海岸の新型離岸堤の堆砂効果と局所洗掘に関する現地調査の結果は以下に要約される。

① 新型離岸堤の消波効果により、離岸堤背後の汀線付近に前浜が形成された。離岸距離 170 m、堤長 150 m の諸元をもつ新型離岸堤背後の汀線前進量は約 25 m であった。また、駿河海岸は汀線付近の勾配が約 1/7 と急なため、堆砂はほぼ 4 m 以浅で集中的に生じ、堆砂により汀線付近の勾配は 1/5 より 1/9 へと緩やかになった。このことは、新型離岸堤自体の消波効果のみでなく、堆砂効果によっても越波や波のうねり高の低減が図れる可能性を示している。

② 構造物周辺での平均洗掘量は 2.44 m、観測期間中の最大値は 3 m であった。洗掘は新型離岸堤の南端部で最大であり、中央および北端部での洗掘量は南端部に比較して 1/4 以下であった。これはほぼ SE 方向より入射する卓越波の作用が南端部で最も強いことに対応すると考えられる。また、新型離岸堤の沖側・岸側直近での洗掘量はほとんど同一であって構造物の岸側、沖側での差は見られなかった。

③ 構造物直下では侵食が進み、一方、構造物のすぐ沖合では土砂が堆積して浅くなった。全体として見ると、構造物の基礎がトラフに、その沖の海底面の高まりがバーに相当するような海底面形状となった。このことはスリット部での強い乱れの発生が、ちょうどバー付近のそれとよく似ていることを示唆している。

参 考 文 献

- 宇多高明・小俣 篤・山本幸次 (1986): 駿河海岸安定化手法調査報告書, 土木研究所資料, 第 2285 号, p. 67.
- 宇多高明・中村瑛佳・村井禎美・松永博史 (1989): 有脚式離岸堤周りの初期洗掘の現地観測, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 409-413.
- 建設省土木研究所 (1992): MMZ 計画策定の手引き (案), 土木研究所彙報, 第 57 号, p. 997.