

有脚式離岸堤周りの初期洗掘の現地観測

宇多高明*・中村瑛佳**・村井禎美***・松永博史****

1. ま え が き

近年、外洋に面した沿岸域において波浪や流れを制御することのできる海域制御構造物の研究開発が進められている。この海域制御構造物は、従来の離岸堤よりも設置水深や規模が大きくなるので、構造物の安定性に十分な配慮が必要である。海域制御構造物としては種々のタイプが考えられ、その1つに有脚式構造物がある。このタイプの構造物の安定性には構造物周りの洗掘が大きく関与する。更に、これには通常見られる杭周りの局所洗掘だけでなく、構造物を中心とした大規模な洗掘(宇多ら, 1988)の可能性もある。このため、構造物の安定性を検討するには、これらの洗掘現象を十分調べる必要がある。しかし、洗掘現象に関しては実験的検討が難しく、したがって十分な検討が不足しているのが現状である。そこで本研究では現地観測によって洗掘の実態調査を行った。

建設省では駿河湾に面した静岡県大井川町の海岸沖約200mの地点に、有脚式の新離岸堤(以後離岸堤と呼ぶ)を建設した(浦田ら, 1989)。これは、鋼管杭と鉄筋コンクリート部材でできており、海域制御構造物と類似の構造を持つ。そこで、この離岸堤周りの洗掘をモデルケースとして実態調査を行った。

2. 観 測 方 法

離岸堤周りの洗掘形状は波浪条件に応じて空間的、時間的に変化する。したがって、現象を明らかにするには、時間的、空間的に密に観測を行う必要がある。しかし、このような観測を行うことは実際上大層困難である。このため、代表時期に深浅測量を行って空間的な広がりを調べ、また、光電式砂面計を用いて海底面の経時変化を調べた。更に、離岸堤直下の地盤高を時間的に密

に測定し、深浅測量や砂面計測定の結果を補完した。

各測定項目の実施日と測定期間を図-1に示す。深浅測量の沿岸方向の測線間隔は20mである。砂面計は、6月には4地点、8月には1地点に設置した。砂面計・流速計の測点配置を図-2に示す。離岸堤直下の地盤高は、レッドを用いて離岸堤上から深さを測定する方法と、ダイバーがスタッフを用いて構造物下端面からの深さを測定する方法で求めた。底質調査としては採泥器でサンプリングした資料を粒度分析した。流速は単管パイプで組んだ櫓に固定した電磁流速計を用いて2地点で測定した。

洗掘を起こす外力としては波浪と潮流が考えられる。波浪データは、静岡河川工事事務所が離岸堤の南約150

観測項目	1987												1988											
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.								
深浅測量																								
砂面計・流速計の設置																								
底質調査																								
底盤高調査																								

図-1 観測項目の実施日と観測期間

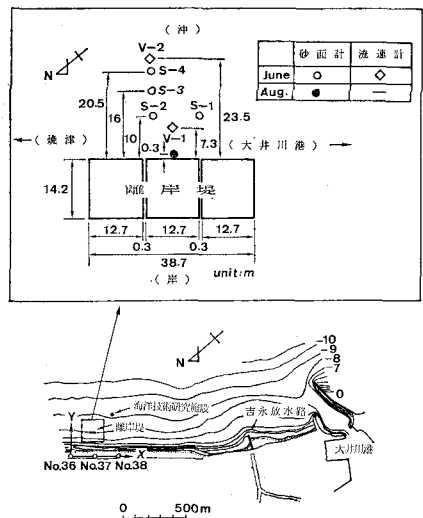


図-2 新離岸堤の位置と砂面計・流速計の配置

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
** 正会員 建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所調査課長
*** 正会員 工修 建設省河川局海岸課技術第一係長
**** 正会員 工修 (元)建設省土木研究所海岸研究室 部外研究員(東洋建設)

mにある海洋技術総合研究施設(図-2 参照)において電波式波高計を用いて実施している定時観測のデータを用いた。波向は、大井川港管理事務所が大井川港防波堤上において実施した目視観測のデータを用いた。

離岸堤の1構造体は、12本の鋼管杭と14本のブロック部材で構成され、沿岸方向に12.7m、岸沖方向に14.2mの規模を持つ。観測時、この構造体が0.3mの間隔で3構造体築造されており、延長38.7mであった(浦田ら, 1989 参照)。

3. 観測結果

3.1 離岸堤周辺の地形変化

解析に際して、基準座標系(X, Y)の原点は、測量基準点 No. 36(図-2 参照)に定めた。また、水深の基準はT.P. 0mとする。工事開始以前、この海域の等深線は、沿岸方向に単調でほぼ汀線に平行であり、離岸堤設置予定地点の地盤高は、約-6.5mであった。離岸堤最下部ブロックの下端は、地盤に接して建設されており、工事終了時(1988年3月9日)の地盤高は-7mであった。

離岸堤建設後の深淺図を図-3に示す。6月1日の深淺図によると、-7mの等深線が離岸堤付近で岸側に大きく湾曲し、また、離岸堤南端部を中心に-7.5mの閉じた等深線が見られる。離岸堤建設以前の海底面が平坦であった点を考慮すると、離岸堤の南端部を中心に洗掘が生じたことがわかる。6月29日の深淺図によると、離岸堤北端では-7mの等深線が構造物に接近し、一方、

離岸堤南端部では逆に岸方向への湾入度が大きくなった。すなわち、北端では洗掘の程度が減少し、南端では拡大したことになる。南北方向に非対称な地形変化が生じたことがわかる。8月6日と10月4日の深淺図によると、離岸堤付近における-7mの等深線の岸方向への湾曲度はそれ以前のデータに比較してはるかに大きい。また、構造物直近における-7mの等深線は離岸堤の北半分を中心として現われ、6月1日や6月29日に観測された南半分を中心とした洗掘状況と著しく異なる。更に、8月6日と10月4日における-7mの等深線形は、離岸堤沖で大きな湾曲あるいは閉曲線を形成しており、この区域で土砂の堆積が生じたことがわかる。以上の議論をもとに、洗掘の範囲を-7mの等深線によって囲まれた部分と考えると、洗掘範囲は離岸堤から最大で35~40mの地点までであった。

次に、離岸堤周辺の地形変化をより詳細に調べるために、1987年9月7日を初期地形として地盤高の変化を算出し、侵食・堆積図として図-4にまとめた。この海域の海底は、9月7日の地形を基準とすれば全域で侵食傾向にある。6月1日と6月29日では、離岸堤の南端部を中心に洗掘が起きた。また、周辺より地盤が高い区域(斜線部)が、構造物の南端部の沖に生じた。8月6日には、離岸堤の中央から北端部を中心に洗掘が進んだことが明らかであり、また、周辺より地盤の高い区域(斜線部)は、著しく洗掘された北端部の沖合に移った。10月4日にも同様な変化が見られたが、更に南端部沖にも周辺より地盤の高い区域が生じた。周辺より地盤の高い区域は、洗掘が最も著しい箇所の沖合(10月4日は2箇所)で毎回見られ、離岸堤からその領域の中心までの距離は、35~40mであった。これは、水深7~7.5mの海域に入射する周期9~10sの波の半波長分に相当する。また、周期9~10sの波は、この海域に襲撃する波群の中で、波高の大きな場合に多く含まれる。これらのことから、離岸堤沖では入江ら(1984)が実験的に示した、構造物からの反射波により形成された重複波の腹部分に土砂が堆積するタイプの地形変化が生じたものと考えられる。

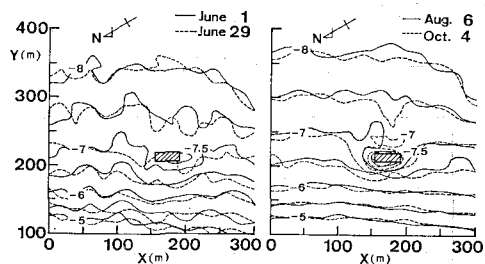


図-3 離岸堤周辺の深淺図

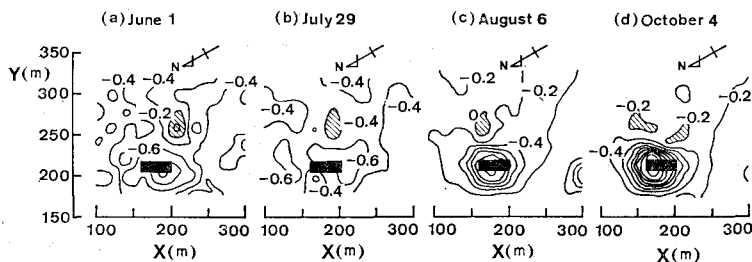


図-4 離岸堤周辺の侵食・堆積図

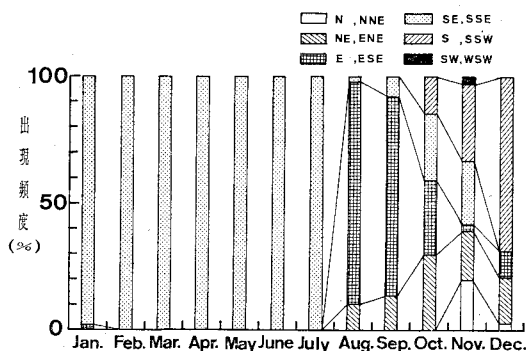


図-5 月別波向出現頻度分布(1988年, 大井川港沖)

上述のように, 6月29日と8月6日の間で洗掘の中心は大きく移動したが, その原因として波向の変化が考えられる。そこで, 大井川港沖で測定された波向の頻度分布を図-5に示す。波向は7月と8月の間で方向が大きく変わった。7月以前には, $S 60^\circ E$ 方向を向いた離岸堤の法線に対して時計回りの方向から入射する SE または SSE 成分が多かったが, 8・9月には, 反時計回りの方向から入射する E または ESE 成分が多くなった。また, 10月以降に再度波向が変化し, S または SSW 方向の波が高頻度となった。このような波向変化を考慮すると, 離岸堤周辺の地形変化を良く説明できる。6月1日と6月30日に構造物南端部にあった洗掘の中心は, 8月6日, 10月4日には北端部に移った。この間, 波向は構造物法線に対し, 時計回りの方向より反時計回りの方向へ変化しており, 洗掘中心位置と波向とがかなり良い対応を示すことが明らかである。すなわち, 入射波が最初に作用する離岸堤の端部を中心に洗掘されることがわかる。また, 周辺より地盤が高い区域は, 6月30日~8月6日の間に南端部沖から北端部沖へ移動した。これも, 反射領域が南側から北側へと移動したためと考えられる。更に, 10月では離岸堤に対し, 時計回りおよび反時計回りの方向から入射する波がほぼ同じ割合で存在するが, このとき離岸堤沖では周辺より地盤が高い区域が2箇所存在し, これも波向と良い対応が見られる。

以上のように, 離岸堤周りの洗掘形状は, 来襲波浪の波向の影響を強く受け, 波が構造物に最初に作用する側の端部で最大洗掘が生じることが明らかになった。

3.2 離岸堤直下の地盤高変化と波浪条件の関係

離岸堤の4つの隅角部の地盤高と波浪との関係を図-6に示した。離岸堤直下の地盤高は, この期間中洗掘・埋戻しを繰り返しつつ次第に低くなった。最大洗掘深は工事終了時の地盤高(-7m)を初期地盤高とすると1.7mである。地盤高の変化は3月4日~3月25日, 6月30日~8月6日, 8月6日~10月4日の期間で大きい。これらの変化の大きな期間には, 波高の大きな波群が多く

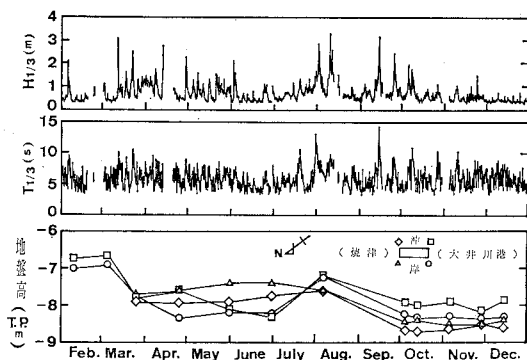


図-6 離岸堤直下の地盤高変化と波浪条件の関係

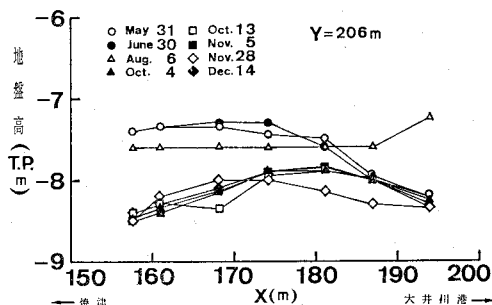


図-7 離岸堤直下の地盤高の沿岸方向分布

来襲した。離岸堤直下全域ではないが, 3月25日と5月31日の間でも南側の地盤高の低下が見られるが, この時にも波高の高い波群が来襲した。しかし, 他の期間(5月31日~6月30日, 10月4日~12月14日)のように, 来襲波群の波高の低いときには地盤高変化は小さい。結局, 離岸堤直下の地盤高は, 来襲する波群の波高が高いと変動量大きい。

大きな地盤高変動の見られた期間の中で, 6月30日~8月6日の観測データは他との違いが大きく, 高波浪が来襲したにもかかわらず, 南側が大きく埋戻された。このような地盤高変化には, 上述の波向変化が係わっていたと考えられる。8月初旬に来襲した波高の大きな波群の波向は, E または ESE 方向であり, 構造物に対して反時計回りの方向からであった。このため, 波の入射方向から見てやや下手側となる離岸堤の南端部では逆に土砂が堆積したと推定される。

次に, 離岸堤直下の地盤高の沿岸方向分布を調べるために, 離岸堤の岸側側面に沿う代表点の地盤形状を図-7に示した。6月30日以前では離岸堤の南端部に著しい洗掘が見られたが, 8月6日にはそれ以前より離岸堤の北側半分の地盤高が低く, 南側が高いという南北方向に逆モードの変動が見られた。また, 10月4日以後には, 離岸堤の両端部で洗掘が著しい。これらの変化は, 3.1節で述べた波向変化と良い対応関係を持つことが明らか

である。

図-7では離岸堤の岸側側面に沿う代表点における地盤変動を示し、それより南北モードの変動について論じたが、測線は離岸堤の沖側、岸側の2測線あるので、岸沖モードの地盤変動についても調べることができる。いま、各測点の地盤高(z)より全データの平均値($\bar{z}$)と変動分($\Delta z = z - \bar{z}$)を求め、離岸堤の岸側、沖側の測線上の各点での変動量の相互関係を調べた。 $\bar{z}$ は、時間的には5月31日~12月14日までの8組、空間的には離岸堤の沖側(7点)、岸側(7点)の合計14組のデータを全平均して求めた。計算によると、 $\bar{z}$ は -7.98m であった。洗掘の規模が構造物の規模よりはるかに大きい場合、各地点の変動量はほぼ同一となり、場所的相違は生じないはずである。逆に、いずれか一方の側の変動量が大きければ、各地点の変動量には場所ごとに特徴的な変化が見られる。このような視点のもとでデータを調べた。図-8のデータは全体的に見ると1:1の直線の周りに分布しており、岸側と沖側の侵食・堆積は全体にほぼ同時に生じていることがわかる。しかし、詳細に見ると、南端部($X=194.1\text{m}$)のデータは1:1の直線より上方に、北端部($X=157.6\text{m}$)のデータはこの直線より下方に位置している。この状態を模式的に示すと図-9となる。北端部では、沖側測点の方が岸側測点より常に地盤が低くなるのに対し、南端部では岸側測点の方が常に地盤が低くなる傾向がある。

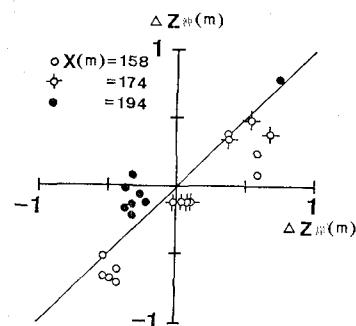


図-8 離岸堤沖側と岸側の地盤変位量の関係

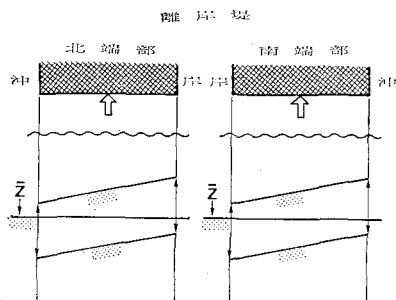


図-9 離岸堤沖側と岸側の地盤変化の模式パターン

3.3 砂面計による海底地盤高変化の観測

波浪と海底面の変動の関係を図-10 (1988年5, 6月)、図-11 (1988年8月)に示す。5, 6月の観測期間中、海底面変動は各測点とも波高1m以上の時顕著であった。ところで、海底面の地盤高は5月31日に大きく増加した。砂面計はジェット・ポンプを用いて設置したが、この時砂面計周りに洗掘穴が形成された。5月31日の急激な地盤変化は、この洗掘穴が埋戻されたことを表わしていると考えられる。それ故、6月1日の地盤高を初期高と考える必要がある。6月3日~5日の間、波高が1~2m、周期6~8sの高波浪が来襲した結果、各測点には大きな変動が生じたが、6月5日以降、ほぼ安定状態となった。このとき、各測点の最終砂面高は、6月1日を基準とすれば -10cm (S-1), 0cm (S-2), -2.5cm (S-3), -5cm (S-4)と全体に低下した。5月31日~6月11日の期間では、洗掘は離岸堤の南端部を中心に生じた。それ故、南端部に隣接するS-1地点では洗掘の影響を強く受けて海底地盤高が低くなったと考えられる。また、周期6~8sの波が入射したとき生じる重複波の節近くに位置するS-3, S-4では地盤高の低下が見られた。

次に、8月のデータ(図-11)によると、波高が1.4m以上となった時、海底地盤は最大で30cm、最終的には20cm上昇した。8月時点での砂面計の設置位置は離岸堤の沖側直近であった(図-2参照)。一方、離岸堤周りの深浅図から求めた地形変化量分布(図-4)に

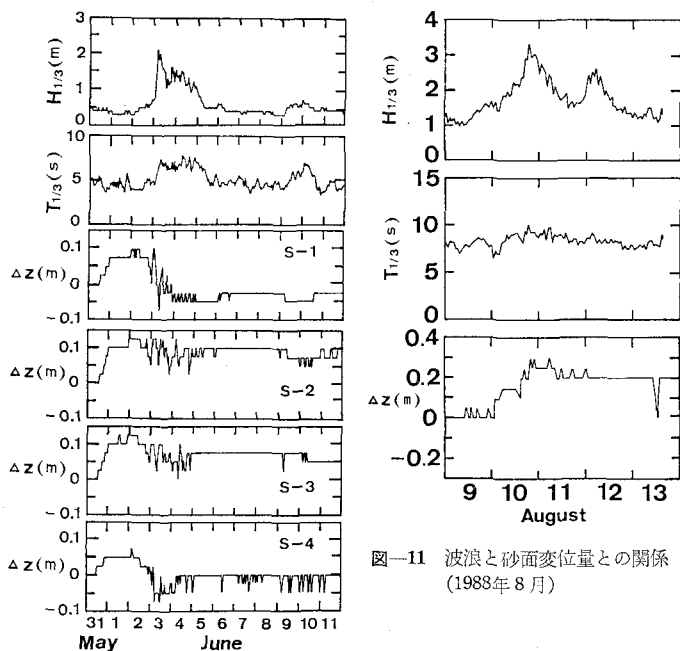


図-10 波浪と砂面変位量との関係 (1988年6月)

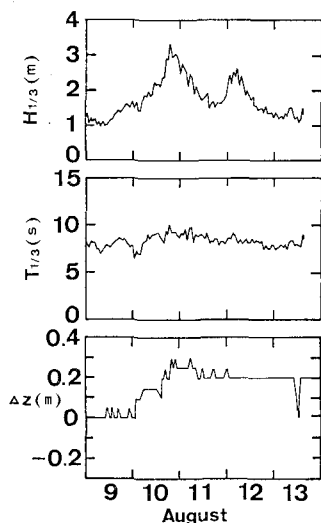


図-11 波浪と砂面変位量との関係 (1988年8月)

よると、構造物周りでは全体的に洗掘傾向を示し、砂面計データとは相反する。しかし、図-4 は長期的な地形変化傾向を示すものであるから、ごく短期間での地盤変化については何ら有効な情報を含まず、一方、砂面計は広い空間の中の1点のデータであって、土砂の堆積区域の広がりにはわからない。これらのことから、図-3 と図-11 の特徴の差違についての物理的説明は今後の調査に待たなければならない。

ところで、来襲波群の波高のピークは2つあり、最初の波高のピークは約 3.3m、次は約 2.6m と両者ともかなり高い。しかし、地盤変動は最初のピーク時には大きい、次のピーク時には変化はない。以上のように波高の大きな波浪が来襲した後に、それより小さな波が来襲しても砂面変動は生じないことが分かる。

3.4 流速による流向・流速の観測

流向の頻度分布を図-12 に示す。頻度の高い流向は、V-1 および V-2 ともに SW~SSW および NNE~ENE 方向と沿岸成分が卓越する。また、堤体近くと沖では大きな差違は存在しなかった。

流速の出現頻度分布を図-13 に示す。V-1 では低流速成分の出現頻度が高いのに対し、V-2 では高流速成分の出現頻度が高い。結局、構造物近くの方が潮流流速の低減が大きい。

3.5 底質特性

この海域のいくつかの代表点で採取された底質の中央粒径は、5月31日の粒度分析の結果では 0.11~0.2mm、6月30日では大半が 0.11~0.22mm であり、かなり細かい粒径の砂が大部分であった。5月31日と6月30日に行われた底質採取の結果得られた離岸堤周辺の底質粒径の平面分布を図-14 に示す。5月31日には底質特性に大きな差異は見られなかったが、6月30日には、離岸堤中央部と南側の測線上の岸側域で、他の地点よりも粗粒成分が多くなった。これらの粗粒成分の多い地点は、洗掘域の端部に当たる。離岸堤の端部では洗掘により細粒分が流出し、粗粒分が残された結果、アーモアコートが生じたと考えられる。

4. 結 論

① 離岸堤周りの洗掘は、来襲波浪の波向の影響を強く受け、最大洗掘は、波が構造物に最初に作用する側の端部

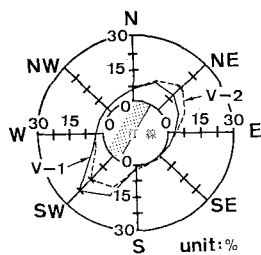


図-12 潮流の流向出現頻度

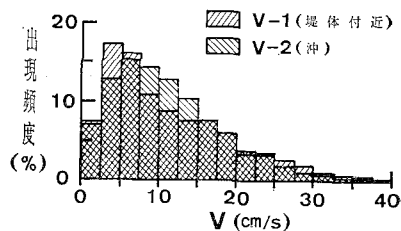


図-13 潮流の流速出現頻度

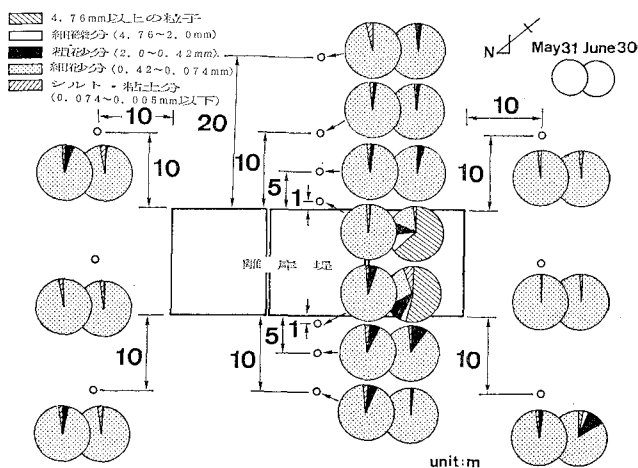


図-14 底質粒径の平面分布

を中心として生じることが明らかになった。

② 離岸堤沖側では入江ら(1984)が実験的に示した、構造物の反射波により形成された重複波の腹部分に土砂が堆積するタイプの地形変化が生じた。

③ 最大洗掘深は工事終了時の地盤高(-7m)を初期地盤高とすると 1.7m であった。また、洗掘範囲は時期により大きく異なるが、離岸堤からの距離は 35~40m であった。

④ 離岸堤の端部では洗掘により細粒分が流出し、粗粒分が残され、アーモアコートが生じた。

謝辞：本研究を実施するにあたり、大井川港管理事務所が観測した波向データを使用させていただいた。ここに記して謝意を表わします。

参 考 文 献

- 入江 功・近藤隆道・赤石正廣・寺崎健次 (1984)：重複波による防波堤前面での海底洗掘—底質の移動機構に着目した研究—, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 350~354.
- 宇多高明・堤 博志・村井慎美・藤原隆一 (1988)：杭式海洋構造物周りの洗掘実態調査, 海洋開発論文集, Vol. 4, pp. 123~128.
- 浦田健一・中村葵佳・大石英男・宇多高明・村井慎美 (1989)：駿河海岸における新型離岸堤の建設とその後の追跡調査, 海洋開発論文集, Vol. 5, pp. 309~314.