

杭式海洋構造物周りの洗掘実態調査

建設省土木研究所海岸研究室

建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所

建設省土木研究所海岸研究室

東洋建設（株）

正会員 宇多高明

正会員 堤 博志

正会員 村井禎美

正会員 藤原隆一

1. まえがき

建設省では、近年外洋に面した沿岸域の有効利用を図るために、波、流れ、漂砂を制御する海域制御構造物の研究開発を進めている。この種の構造物はその規模が大きくなるために、構造物の安定性に関する十分な検討が必要である。安定性には様々な要素が関係するが、重大な影響を及ぼすものとして局所洗掘の問題がある。

海域制御構造物と似た形態を有する杭式構造物の周辺の洗掘に関しては、石油掘削プラットフォーム周りでの洗掘の例がある¹⁾。これによると、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が生じている。このように大規模な洗掘は構造物の安定性にかかなり重要な影響を持つと考えられる。しかしながらこの種の現象は実験的な検討が難しいために検討が不足しているのが実状である。したがって現地海岸でこの種の現象の調査を行うことができれば、その有効性は高いものがある。

建設省では、駿河湾に面した静岡県大井川町の沖合約250mの地点に海洋技術総合研究施設（以下、海洋施設と呼ぶ）を保有している。海洋施設は、9本の鋼管杭（φ812.8）を7.5m間隔で正方形に配置した杭式構造物である。この海洋施設周りで大規模な洗掘が生じていることは既に報告した²⁾。本研究では、その後実施した追跡調査の結果を加えて洗掘の実態をさらに詳しく検討する。

2. 観測方法

洗掘現象は、時間的、空間的に変化するものであり、両者同時に密なデータを取得することは難しい。従って、互いに補完し合うようにデータを取得する必要がある。そこで、洗掘の空間的な広がりや深浅測量によって調べ、一方、地盤の時間的変動は光電式砂面計によって調べることにした。深浅測量は、沿岸方向の測線間隔を20mとして1987年2月28日、3月26日、6月23日、9月4日、10月3日に行った。砂面計による地盤高測定は、2月27日から3月26日（St.A、B）、8月26日から10月8日（St.1～4）の両期間で毎時1回行った（図-1参照）。海洋施設直下の地盤高に関しては、海洋施設の支持杭に取り付けられたマッドマット下端（T.P.-7.70m）にあわせて各杭間にロープを張り、スタッフを用いて海底までの距離を測定した。海洋施設設置時の海底地盤面はマッドマット下端面であったことから、測定値は洗掘深を表わす。杭の周りでは局所洗掘がみられる場合が多いため、杭根元（24点）と各杭の中間地点（12点）で測定を行った。なお、杭根元の地盤高の平均値は杭と杭の中間地点のそれより最大で20cm程度低かった。底質特性については深浅測量時、観測機器設置および回収時にサンプリングを行い、粒度分析を行った。

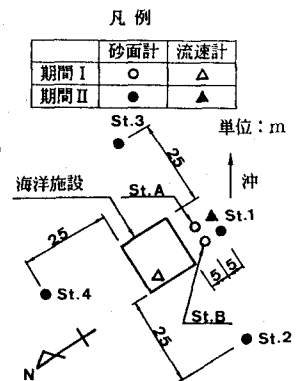


図-1 観測機器の配置

洗掘を引き起こす外力としては波浪、潮流等が考えられる。波浪データについては、静岡河川工事事務所が電波式波高計を用いて定時観測を行っている。また、流況についてはロータ式流速計（2月27日から3月26日）、電磁流速計（8月26日から10月2日）により測定を行った。ロータ式流速計は海洋施設直下にロープで固定した。流速計センサの高さはT.P.-4.9mであり、海底面上約4.5mの位置であった。流速の測定は10秒間に1回行い、20分間の平均を1データとして記録した。電磁流速計は単管を支持杭として海底に固定した。流速計センサの高さは設置時で海底面上約1.5mの位置にあった。測定は10分毎に毎秒1回の割合で64秒間行い、全てのデータを記録した。以後、砂面計、流速計のデータが取得された2月末から3月末、8月末から10月始めの両期間を、それぞれ期間Ⅰ、Ⅱと呼ぶことにする。

3. 観測結果

3.1 構造物周りの洗掘形状

海洋施設の設置されている駿河海岸の海底勾配は、汀線からT.P.-6.0m付近までが約1/15と急であり、それより沖合では約1/100と緩やかになる。海洋施設は、1984年3月末にT.P.-7.5mの地点に設置された。以前の観測に

より、海洋施設を中心として半径約50mの区域では洗掘が生じており、これまでの最大洗掘深は1.75mであったことが分かっている²⁾。

今回の観測で得られた海底形状の中で最も侵食傾向にあった2月28日、逆に堆積傾向にあった9月4日の深浅図を図-2に示す。X、Yはそれぞれ基準点からの沿岸、岸沖方向の距離である。洗掘は前回と同様に、海洋施設を中心とした半径約50mの区域で生じている。

次に、沿岸方向の海底断面形について、地盤高の変化特性が顕著なY=300mの断面の経時変化を図-3に示す。図には1986年5月28日、7月1日の断面形も示した。地盤高の変動は海洋施設の近傍で大きい。また、洗掘形状は海洋施設を中心に沿岸方向に非対称であり、海洋施設より南西側(No.38側)に偏っている場合が多い。

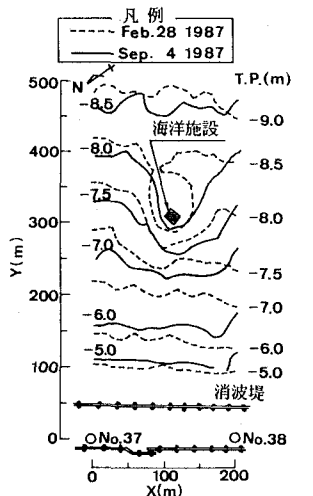


図-2 海洋施設周りの深浅図

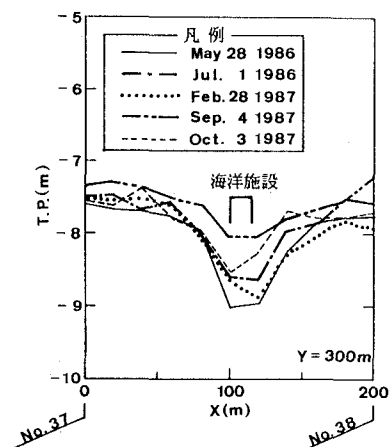


図-3 沿岸方向海底形状の比較

3.2 平均流速と流向

期間Ⅰの流速データはロータ式流速計により測定された20分間の平均値である。これらのうち、3月20日5時40分以降のデータは異常値の発生頻度が高かった。このため、3月20日5時40分以降のデータは除外して解析した。異常値の発生した原因は、流速計回収時にロータ、ベーン軸に海藻がからみついていたことから、これら両軸の作動、回転が鈍っていたことが考えられる。期間Ⅱの流速データは、電磁流速計により測定された64秒間の平均値である。両期間の平均流速の発生頻度を図-4に示す。期間Ⅰの場合、10cm/s以下の平均流速が全データの94.7%を占める。一方、期間Ⅱでは10cm/s以下の平均流速が占める割合は63.7%に減少する。全般に、期間Ⅱの平均流速の方が期間Ⅰに比べて大きい。

次に、流向の頻度分布を図-5(a)に示す。期間Ⅰの場合、頻度が高い流向はSSW~WSWおよびNNEであり、ほぼ施設付近の汀線と平行方向である。期間Ⅱの場合、頻度が高い流向はWSWおよびENEとなっており、汀線方向に対して約30度ずれている。また、両期間とも頻度が高い流向の平均流速は他の流向の平均流速に比べて大きい(図-5(b))。頻度が高い流向の流向別平均流速は、期間Ⅰの場合、5.2cm/s(NNE)、7.3cm/s(SW)であり、期間Ⅱの場合、9.2cm/s(ENE)、13.9cm/s(SSW)である。洗掘形状の非対称性は、南西方向への流れにより生じる可能性が大きいことを前報²⁾で述べた。今回の観測で得られた流況も、この仮定と一致しており、平均流の存在が、洗掘形状の沿岸方向の非対称性を生じさせる一因となり得ると考えられる。

3.3 底質特性

中央粒径(d_{50})の岸沖方向の分布を図-6に示す。堆積傾向にあった1986年5月28日から7月1日の期間では、中央粒径は堆積後の方が小さい。同じ堆積傾向にあった期間Ⅰ(2月28日~3月26日)では、逆に堆積後の中央粒径の方が大きくなっている。また、7月1日から2月28日は侵食傾向にあったが、中央粒径の大きさはほぼ等しい。中央粒径の沿岸方向の分布(図-7)についても同様の傾向を示す。すなわち2月28日と3月26日のデータを比較す

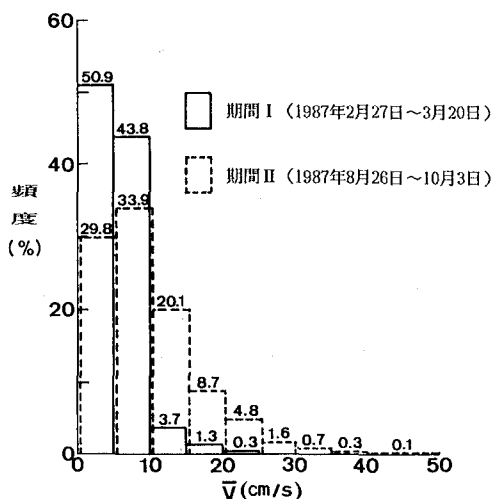


図-4 平均流速の頻度分布

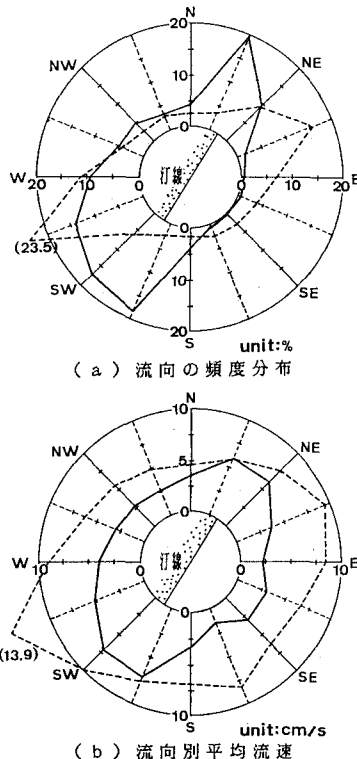


図-5 平均流速の流向頻度分布と流向別平均流速

ると、1点を除いて堆積後の中央粒径の方が大きくなっており、特に海洋施設よりNo.38側でその傾向は顕著である。

一般に、侵食区域では粗な粒径の底質が多くなる。しかし、上述の結果によると、堆積する場合にも粗な粒径が現れており、一般的傾向と逆である。そこでこの点を詳しく調べることとし、粒径が2mmより大きな底質の含有量の質量百分率を算出し、その岸沖、沿岸方向の分布を調べた(図-8,9)。岸沖方向の分布(図-8)によると、礫を含んだ底質は、1986年5月28日から1987年2月28日までは測線上に点在していた。しかし、3月26日になると海洋施設付近を除く区域に広く分布している。沿岸方向の分布(図-9)についても岸沖方向の分布と同様な傾向がみられ、1987年2月28日の場合、底質には礫がほとんど含まれていないのに対し、3月26日にはほぼ全測点で礫が含まれている。特に、海洋施設より南西側(No.38側)で礫の含有量が多くなっている。

以上のように、海洋施設の周辺では底質粒径の著しい時間変化が見られた。波の作用のみではこのような変化は生じにくいことを考慮すると、何らかの人為的影響が及んだと考える方が妥当である。その一つの要因として土砂投棄があげられる。すなわち、1986年には海洋施設の周辺の海域において大井川港の浚渫土砂の投棄が行われた。その量は1年間で約44,000m³に達する。したがってこの投入土砂が移動したと考えれば、底質の粒径変化が生じて良い。しかしながら土砂の正確な投入点が不明なため、この点の詳細な分析については今後の問題点として残されている。

3.4 海底面の波浪に対する応答特性

光電式砂面計を用いた観測の結果について述べる。期間Ⅰの有義波高($H_{1/3}$)、有義波周期($T_{1/3}$)、地盤高の経時変化を図-10に示す。この観測期間中では、日最大有義波高が1mを超える波は15日、2mを超える波浪は1日出現した。また、高波浪条件のとき周期が長くなっている。海洋施設近傍のSt.A、St.Bでは、地盤高の変動傾向は良く一致している。有義波高が1m程度になると、地盤高は顕著な変動を示す。

同様に、期間Ⅱの場合の同じ変数の経時変化を図-11に示す。期間Ⅰに比べると、海洋施設からやや離れた地点の地盤高の経時変化を示している。この期間では9月11日～17日の間、2m以上の高波浪が約7日間継続し、また、8月27日～9月1日の間にも1～2mの比較的高波浪が続いている。図中の地盤高G.H.は、設置開始時刻の高さを基準としている。この場合も有義波高が1m程度になると、地盤高は顕著な変動を示す場合が多い。海洋施設に近い地点(St.A、B：図-10、St.1：図-11)の地盤変動は、波浪条件により以下の3種類に分かれる。

①有義波高が1m未満の場合には地盤高の変動は小さい。

②有義波高が1～2mに増大すると、波高の増大に急速に反応して地盤高は低下する。しかし、波高が減少し有義波高が1m程度になると地盤高は上昇し、波浪作用前の地盤高に戻る。地盤高の上昇する割合は、低下する場合に比べて緩やかである。

③有義波高が2m以上まで増大する場合(1987年3月20日、9月11日から9月18日)、地盤高は大きく変動しつつ上昇し、波浪作用前の地盤高よりも高くなった。

海洋施設から25m離れた地点(St.3、4：図-11)では、9月11日から9月18日の台風による高波浪作用後、海洋施設に近い地点(St.A、St.B、St.1)の場合とやや異なる地盤変動を示す。St.3、St.4の両地点とも9月11日以降の波高増大時にはSt.1の場合と同様に地盤高は上昇したが、その後すぐにほぼ波高増大時前の高さまで低下した。さらに、9月14日以降ではSt.3とSt.4の地盤高の変化状況に差が生じている。まず、St.3の地盤高は再び緩やかに上昇した後、St.1と似た地盤変動を示す。また、St.4の地盤高は、小さな変動は有するものの安定

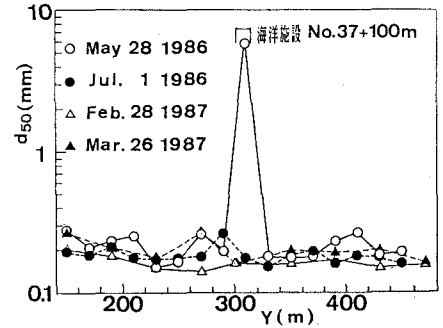


図-6 底質中央粒径の岸沖方向分布

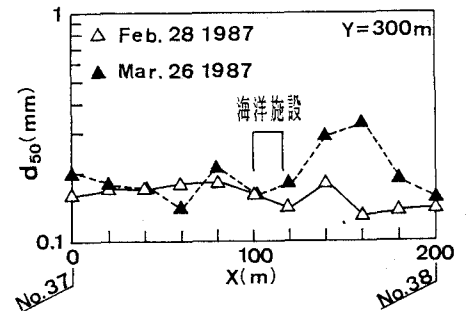


図-7 底質中央粒径の沿岸方向分布

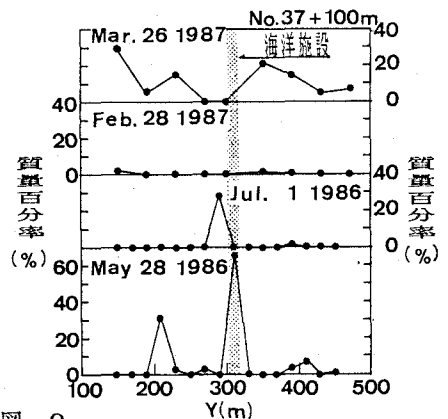


図-8 粒径2mm以上の底質の含有率の岸沖方向分布

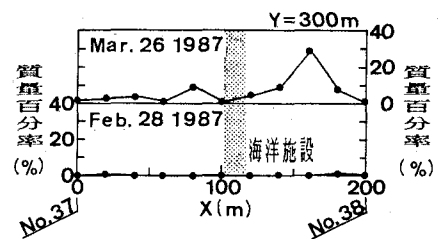


図-9 粒径2mm以上の底質の含有率の沿岸方向分布

している。以上に述べた波高の増大時における急速な地盤高の低下と、波高の減少時における地盤高の緩やかな上昇は、新潟西海岸の観測結果³⁾と良く似ている。

次に、砂面計による地盤高測定結果と、スタッフ測量によって求めた海洋施設内地盤高深淺測量による地盤高の測定結果の差を論ずる。まず期間Ⅰの場合について述べる。砂面計測定によると、St. A、Bの地盤高は、測定終了時の方が各々25、30cm高かったのに対し、スタッフ測量によると、砂面計設置地点に最も近い海洋施設直下の地盤高は、測定終了時23cm上昇が見られ、両者は良く一致した。一方、深淺測量結果においても、海洋施設周りの領域は堆積傾向にあり、堆積傾向は変わらなかったものの、海洋施設周りの地盤高の最大変化量は38cmであって、深淺測量の方が大きい値となった。しかし測量の精度は前2者の方が高いので、前者の方が信頼性が高いと考えられる。

次に、期間Ⅱの場合について述べる。砂面計測定によると、海洋施設に最も近いSt.1の地盤高は、測定終了時の方が42.5cm高く、St.3では、変化がなかった。また、St.4の地盤高は、測定終了時において10cm低下した。スタッフ測量によると、海洋施設内のほとんどの地点で地盤高は低下した（最大39cm）が、St.1に近い南側の地点では地盤高が4～9cm上昇した。深淺測量結果によると、海洋施設を中心に測量領域はほぼ侵食傾向にあり、地盤高の最大低下量は66cmであった。なお、海洋施設の南西側約20mの地点で3～8cmの地盤高の上昇した領域があった。以上3種類の地盤高測定方法の中では、海洋施設の既知点の高さを利用したスタッフ測量の結果を基準値と考えることが妥当である。砂面計による測定結果は、スタッフ測量の結果とよく一致している。深淺測量の場合、侵食、堆積傾向はスタッフ測量、砂面計の測定結果と一致するが、その変化量は大きい。このため、期間Ⅱの場合にみられるような海洋施設近傍（St.1）で生ずる局所的な地盤変動を深淺測量のみにより見出すことは困難であることが分かった。

3.5 移動限界水深

海底における砂の移動形態を表わす佐藤・田中による移動限界水深の式と現地の地盤高の変化を比較した。現地の条件は次のように考えた。底質の粒径 d には実測の中央粒径を用い、0.2mmとした。また、水深 h は砂面計

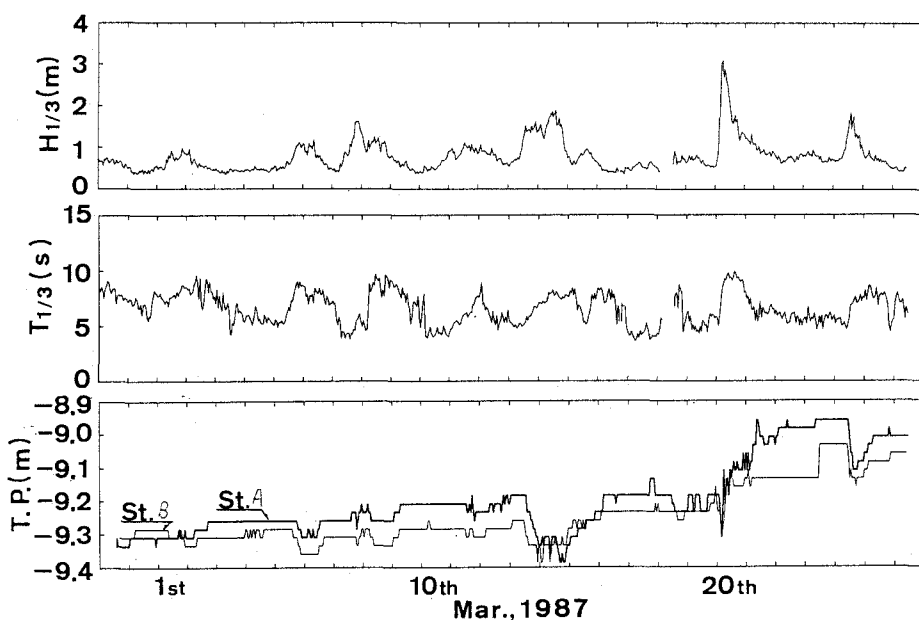


図-10 有義波高、有義波周期、地盤高の経時変化（2月27日～3月26日）

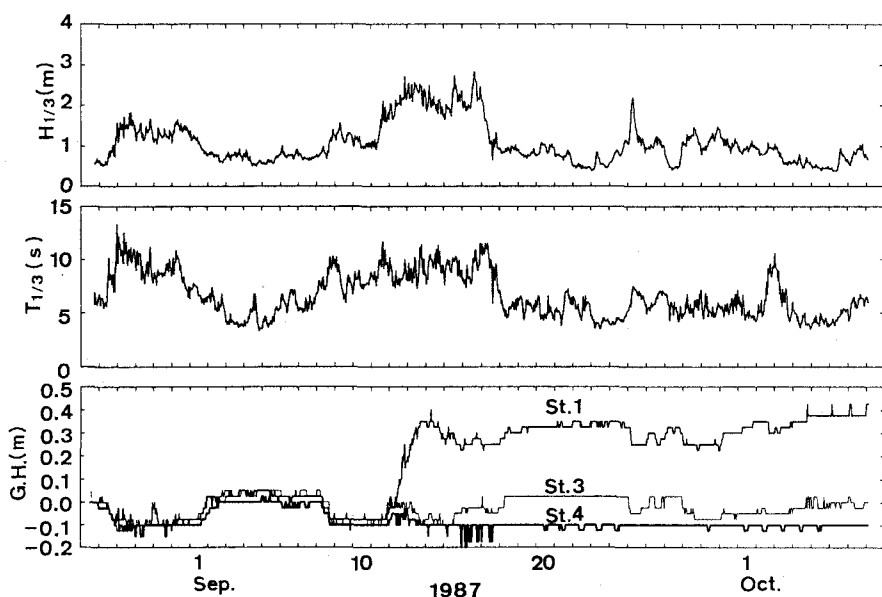


図-11 有義波高、有義波周期、地盤高の経時変化（8月26日～10月8日）

により得られた地盤高からT.P. ±0.0mまでの鉛直距離とし、潮位による補正は行っていない。波高、波長については有義波の諸元を用いた。なお、現地データは、地盤高の変化の有無により区別した。すなわち、すぐ前の時刻の地盤高に対して地盤高が変化した場合のデータを地盤高の変化が有るデータとした。なお、砂面計における地盤高の初期値は、スタッフ測量による海洋施設直下の地盤高または深淺測量結果の内挿計算により与えられる。

本研究では、期間Ⅰの砂面計データについて調べた。St.Aで測定されたデータと佐藤・田中の式を図-12、13に示す。St.BについてもSt.Aと同様の結果であった。地盤高に変化が生じた場合の結果を図-12に示す。現地データの特徴は、地盤高の変化パターンにより以下の4種類に分けられる。なお、凡例の地盤高変化パターンの模式図中、□印は地盤高の変化したデータを表す。

①●印に表される地盤高の変化は、地盤面が砂面計センサのごく近傍にあるため生ずるものと考えられる。したがって、このパターンの地盤高の変化は、他のパターンの地盤高の変化に比べて有意なものではないと考える。データは、表層移動、静止領域に多く分布している。

②△印で表される地盤高の変化は、波高減少時および静穏期に地盤高が上昇する場合表れることが多い。この場合、34例中20例が静止領域、14例が表層移動領域に分布する。

③▽印で表される地盤高の変化は、波高の増大時に多くみられる。このような場合、波の作用により底質の移動は激しくなり、浮遊する底質も現われるものと考えられる。静止領域に分布するデータは22例中5例となり、△印の場合より表層移動領域に分布するデータの割合が多くなる。

④○印で表される地盤高の変化は、有義波高が2m以上まで増大する場合にみられる。このような波浪条件の下では、底質は大量に浮遊していると考えられる。したがって、浮遊状態で移動する底質が増加するため、海底面の変化が激しくなると考えられる。完全移動領域に分布するデータが22例中10例となり、静止領域では1例がみられるのみとなる。地盤高に変化が生じる時の海底面の状況は、完全移動領域に属すると考えられる。実測データによると、表層移動領域においても地盤高が変化している場合が多く見られる。これは、海洋施設の影響で底質が移動しやすい状態にあることを示しているものと考えられる。なお、地盤高が上昇する地形変化の場合、静止領域に分布するデータが多くなるのは、浮遊砂の沈降が地盤高の上昇に重要な役割を果たしているためと考えられる。

次に、地盤高の変化が無い場合を示したのが図-13である。なお、ここでは測定時刻が奇数時の場合のみ示す。これによれば、246例中168例（全測定データの場合、513例中339例）のデータが静止領域に分布している。表層移動領域に分布するデータも表層移動限界に近い領域に多い。この場合、実測データは佐藤・田中の式による移動形態によく対応しているといえる。

佐藤・田中の式は構造物がない状態での砂の移動形態の指標である。しかしながら、佐藤・田中の式は海洋施設近傍の底質の移動状況を良く表していると言える。

4. まとめ

①洗掘は海洋施設を中心とした半径約50mの区域で顕著であり、侵食、堆積を繰り返している。

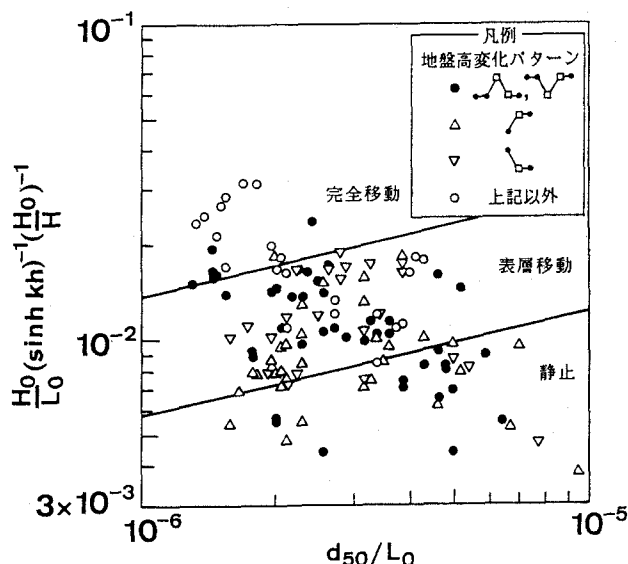


図-12 佐藤・田中の式による底質移動状態の分類
(地盤高の変化有り)

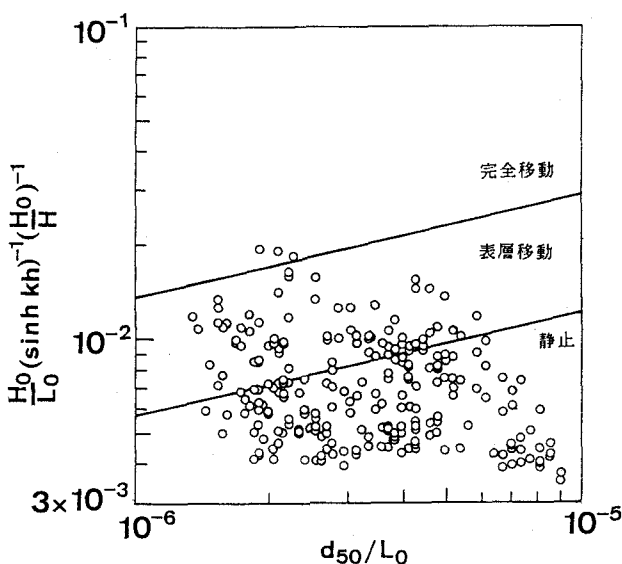


図-13 佐藤・田中の式による底質移動状態の分類
(地盤高の変化無し)

②洗掘形状は海洋施設を中心に南西側に偏っていた。また、平均流の流向の頻度および流速の絶対値はWSW～SSWおよびNNEで大きくなっていた。後者の事実より直接前者を説明することはできないが、潮流等の沿岸方向に沿う流れが洗掘の発生に重要な一因子となっている可能性がある。

③砂面計による地盤高測定によると、海洋施設直下の地盤高の変化は波浪条件により3種類に分けられる。すなわち、i)有義波高が約1m未満の場合には地盤高の変動は小さい。ii)有義波高が1～2mに増大する場合、地盤高の変動は大きくなるが波浪作用前後で地盤高は変化しない。iii)有義波高が2mを越えるようになると地盤高の変動は著しく大きくなり、波浪作用前後で地盤高が変化する。

④佐藤・田中による砂の移動形態の分類は、海洋施設近傍に設置した砂面計による地盤高の変動状況を良く説明する。

参 考 文 献

- 1) Posey, C. J.: Protection against underscour, paper OTC 1304, 2nd Annual OTC Conf., Houston, April, pp.22-24, 1970.
- 2) 宇多高明・堤 博志・村井禎美・藤原隆一: 駿河湾海洋施設周りの洗掘実態, 第42回年講演概要集, pp.622～623, 1987.
- 3) 新井洋一・田村政太郎・岩本博史・川又良一: 新潟西海岸における波浪に伴う海底変動, 第34回海岸工学講演会論文集, pp.357～361, 1987.