

暴波浪による構造物周辺の 海浜地形と底質の変化

CHANGES ON BEACH TOPOGRAPHY AND SEDIMENTS CAUSED BY STORM AROUND COASTAL STRUCTURES

吉河秀郎¹・根元謙次²

Shuro YOSHIKAWA and Kenji NEMOTO

¹学生会員 理修 東海大学 連合大学院理工学研究科 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1)

²非会員 理博 東海大学教授 海洋学部海洋資源学科 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1)

The study area has been suffered from intensive retrogression of the coastline since early 1990's. Numerous coastal structures have been built and nourishments have been performed for protection and preservation of the coastline, however, it has not become a fundamental solution so far. It is very important to evaluate effects of countermeasure works of coastal erosion. We examined the effect of these structures on the basis of changes on beach topography and also facies change of sediments around these coastal structures at before and after a storm. Examination of airphotos during last 13 years are also studied and help our understanding of the erosion.

Key Words : beach topography, sediment, coastal erosion, coastal structure, storm

1. はじめに

静岡県静岡市清水海岸(図-1)は海岸侵食の典型的な例である。同地域の砂礫の主要な供給源である安倍川河床で多量の土砂が採取されたことにより、海岸への土砂供給量が減少し、その結果、1970年頃から安倍川河口付近が侵食され始めた。その後、侵食域は北東に伝播し、静岡海岸・清水海岸をへて、1994年には三保半島の基部、1998年には羽衣の松前の海岸に及んだ¹⁾。調査域周辺(図-1)では、1989年頃から侵食防止対策としてヘッドランドの設置等が実施されている。同地域では宇多ほか^{2,3) 4,5)}、佐藤ほか⁶⁾、吉河ほか⁷⁾により海岸侵食の現状、ヘッドランドの効果、漂砂等について、深淺測量や底質調査等の結果から検討されている。

適切な海岸侵食対策を実施するには、現在の海岸の状況やその変化を把握するとともに、現在まで実施された侵食対策の効果をj知る事が重要である。本研究では、設置後あまり追跡調査が実施されていない離岸堤型ヘッドランド、及びその周辺の消波堤に着目し、それら構造物が果たす役割の把握を目的に、暴浪時(台風)の前後に地形及び、底質調査を実施し、航空写真による過去13年間の汀線の変化と合わせて検討した。

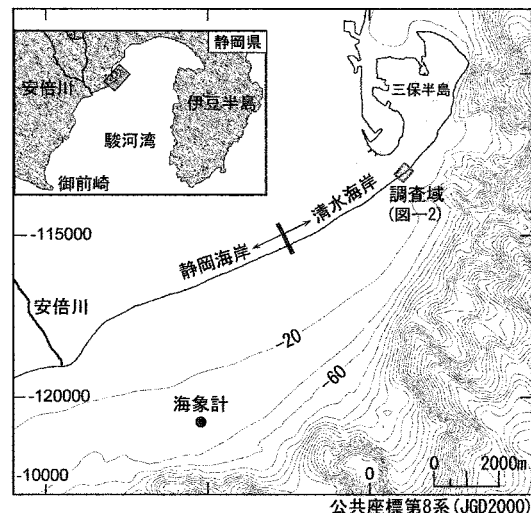


図-1 調査域と海象計の位置

2. 調査概要

(1) 調査域

研究域は、静岡県静岡市三保半島基部の海岸と、その沖の消波堤(以下、沖消波堤)周辺である(図-1, 2)。静岡県静岡土木事務所によると、調査域の南西端(図-2)に離岸堤型ヘッドランド(3号ヘッドランド)が1995年に設置された。その結果、ヘッドランドのす

ぐ北側（漂砂下手側）で海岸侵食が急速に進行したため、1997年に消波堤がヘッドランドの北側の海岸と海底に設置された。さらに、侵食対策として調査域とその周辺には養浜が実施され、2005年は1～3月の間に約13000m³の土砂が投入された。しかし、調査域北端部No50付近（図-2）では侵食が特に激しく、暴波浪により約半年間で海岸遊歩道の基礎が露出した（写真-1）。

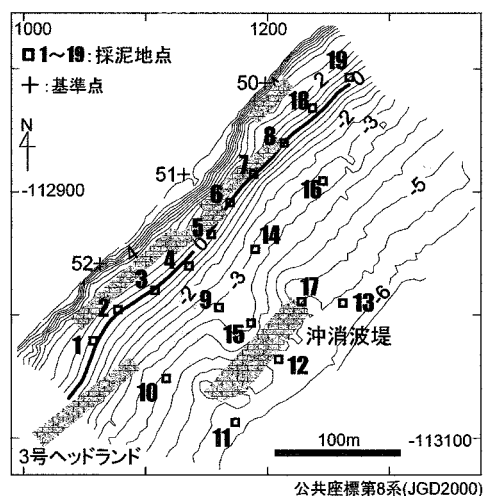


図-2 調査域と採泥地点

0.5m間隔の等高線・等深線図は06年第2次調査結果による



写真-1 海岸侵食の現状（図-2のNo50前面から北東を見る）

上：05年2月28日 下：同年9月15日

(2) 調査方法

2005年と2006年の暴浪時の前後に、地形・底質調査を海岸と海底で実施した。本稿で用いる海岸とはT.P.0m（汀線）より陸側を示し、海底とはT.P.0mより海側を示す。調査実施日は05年第1次調査（暴浪時前）が05年10月14日、15日、05年第2次（暴浪時後）が同年10月21日、06年第1次が06年9月28～30日、06年第2次が

同年10月12日である。

海岸測量の基準点は静岡県静岡土木事務所による海岸線沿いの工事基準点No51、52（図-2）を用い、座標系は平面直角座標第8系（JGD2000）とし、光波測距儀（トプコン社製GTS-310F II）により水準測量を実施した。

海底地形調査には浅海用精密音響測深機PS-20R（カイジョー社製）を使用した。同測深機の測深精度は±（3cm+深度×1/1000）である。また、水深の基準はT.P.=0.0を使用し、測位はD-GPSで決定した。海岸線と平行に長さ約350mの測線を15～20m間隔に、それと直交する長さ約80mの測線を約50m間隔に配置した。

沖消波堤より陸側は水深5m以浅であり、沖消波堤から汀線までの最短距離が80mと狭いため（図-2）、大学保有の小型船舶（約20t）での計測は困難である。そこで、カナディアンカヌー（全長4.9m、幅0.9m）2艇を角材とロープで固定し調査機器を取り付け、人力で走行した（写真-2）。

なお、調査を海象条件の良い日、時間帯を選定して行った事と、沿岸方向と岸沖方向の測線の各接点において、水深の整合性を確認している事から、水深資料の誤差は軽微といえる。

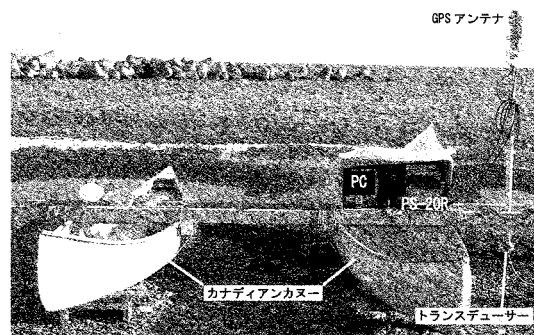


写真-2 調査艇と調査機器

底質調査はD-GPSにより地点測位をし（図-2）、表層5cm程度の堆積物を採取した。海岸（汀線付近）では05年第1次・2次ともに8点、06年第1次・2次が7点、海底（水深約3～6.5m）では05年第1次に7点、第2次に9点、06年は第1次・2次ともに9点である。採泥地点16、17は05年第2次から、18、19は06年第1次から採取を実施した（図-2）。その他の地点は05、06年ともにほぼ同一地点である。採取した試料は、それぞれ2mm（-1φ）と1/16mm（4φ）メッシュで篩い分けをし、含礫率、含砂率、含泥率を求めた。また、砂質堆積物の粒度分析は、エメリー管法⁹⁾を採用した。粒度階区分はWentworth⁹⁾、試料の分類方法はFolk¹⁰⁾に従った。

(3) 調査域の波浪条件

調査域の波浪について、静岡県土木部河川海岸整備室が管理・運営する海象計の調査期間中の観測資料を検討した。海象計は調査域の南端から南西に約10km、海岸線から4.5km沖の水深30mの位置にある（図-1）。

本域では年間を通し南～南南東方向の波浪が卓越し、台風が多く来襲する夏と秋を中心に有義波高が高くなり、長周期波が増加する。

05年第1次と2次調査の間に台風20号が調査域に接近し、最大波高が3.8m、最大有義波高が2m、最大有義波周期13秒となった(図-3上)。06年第1次と2次調査の間には、台風16号と17号が続けて接近し、最大波高が2.6m、最大有義波高が1.7m、最大有義波周期12.5秒となった(図-3下)。また、デジタル台風(台風画像と台風情報) <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>によれば、05年台風20号は半径150km以内に接近し、最低気圧が935hpであるのに対し、06年台風16号は半径500km以内の接近、最低気圧990hp、台風17号は半径1000km以内の接近、最低気圧985hpであったことから、調査域に影響を及ぼした暴波浪の規模は05年の方が大きいと推測できる。05年、06年ともに台風来襲時の主な波向は南～南南東であり(図-4)、海岸線の向きが南西～北東方向であることから、卓越沿岸漂砂は北東方向である。しかし、05年の最大有義波来襲時の直後約一日は波向がほぼ東であり(図-4上)、主な沿岸漂砂とは逆に、南西方向に漂砂が発生していたと考えられる。また、05年は波浪の変化が急激であるのに対して、06年の変化は緩やかである(図-3)。

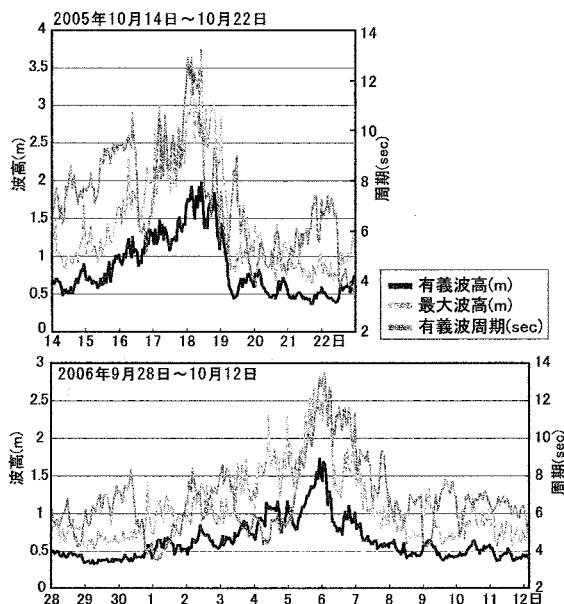


図-3 05年と06年の調査期間中の波浪。

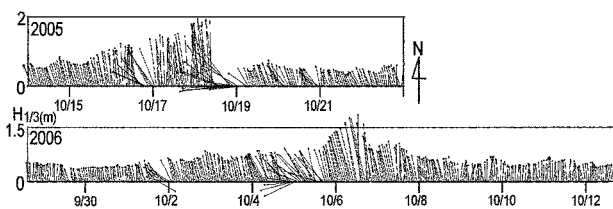


図-4 05年と06年の調査期間中の有義波の波向。

3. 航空写真による汀線の変化

静岡県静岡土木事務所による1992, 1993, 1995,

1997, 1999, 2005年の航空写真から、消波堤や離岸堤型ヘッドランドの設置等により変化する汀線の様子を示す(図-5)。

92年に2号ヘッドランドが設置された時点では、ヘッドランドの北東側のNo55前面を除き、最大約160mの浜幅が北東側に広がる。しかし、その翌年の93年には、2号ヘッドランドの漂砂下手側の汀線が最大約30m後退し、その北東側も浜幅は徐々に狭くなる。さらに、95年までに北東側へ3号ヘッドランド・4号ヘッドランドが設置され、No50周辺の汀線は急激に後退する。そのため、97年に急遽、沖消波堤が設置されたが、99年まで状況はほぼ変わらない。また、4号ヘッドランド北東側の浜幅も急激にやせ細る。95～99年にかけて、No45とNo50前面の侵食が顕著である。沖消波堤の設置後もNo50周辺の汀線がほとんど回復しない要因として、2号ヘッドランド、3号ヘッドランドにより漂砂下手(No50)側への供給土砂が激減した事があげられる。No45周辺の汀線の後退も、漂砂上手側に土砂が集積したためといえる。99～05年にかけては、トンボロ地形を構成する各ヘッドランドの背後には土砂が集積するため、汀線の大きな後退はみられず、No45周辺の汀線もやや前進する。一方、沖消波堤の設置により波浪が減衰するためその背後の汀線はやや前進するが、波浪の遮蔽域でないNo50前面の侵食は著しい。

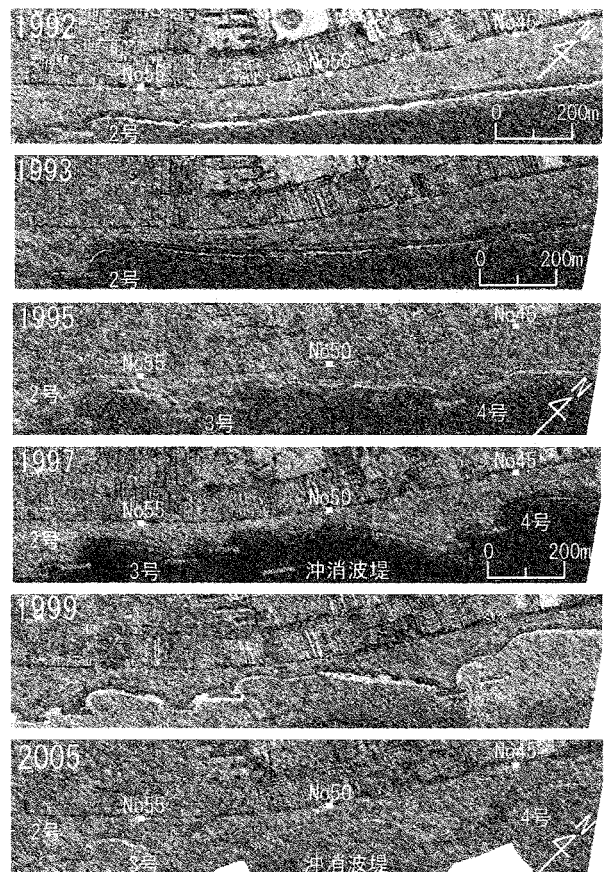


図-5 ヘッドランドの設置と汀線の変化。

2号～4号：離岸堤型ヘッドランド。

No45, 50, 55は静岡県静岡土木事務所による工事基準点。

4. 地形変化

05, 06年のそれぞれ第1次, 2次調査間の変化, つまり, 暴浪時を境とした海岸と海底の地形変化を, 5m間隔の格子点資料から算出し, 各年の第2次地形調査結果による地形図と重ね合わせて図-6 (上段, 中段) に示す. また, 05年第1次と06年第2次調査結果による地形変化を, 一年を通じた変化とし図-6 (下段) に示す. なお, 図のスケールはすべて統一している.

(1) 2005年の変化

主な侵食域 (図-6上段左) は海岸であり, 汀線付近の侵食が顕著であり最大約0.7m侵食され, 海岸の消波堤 (T.P.1~2m) より陸側では0.3m以下の侵食となる. また海底には最大約1.8mの局所的な侵食が数箇所みられる (図-6上段左). 侵食量は海岸で800m³, 海底で800m³である.

主な堆積域 (図-6上段右) は水深2m以深であり, 海岸に大きな堆積はない. 海底では全体に0.2~1mの堆積域が広がり, 基準点52の南東50m, 及び基準点51の東80mの水深1~2mで, 最大約2mの局所的な堆積がみられる. 堆積量は海岸で500m³, 海底で19200m³である.

05年の海岸総変化量は300m³の侵食であり, 変化は小さい. 一方, 海底総変化量は18400m³の堆積, 1平方メートルあたり約70cm海底が浅くなり, 海岸の侵食量に対する海底の堆積量が著しく大きい.

海底での大規模な堆積傾向の要因として, 05年に調査域とその周辺で実施された養浜の影響が考えられるが, 海岸 (養浜地域も含む) での変化は小さいため, 主な供給源は南西からの沿岸漂砂といえる.

(2) 2006年の変化

侵食域が海岸と海底の大半を占め, 最も顕著な侵食域はNo51以北の汀線~水深2.5mで, 最大約1mの侵食である (図-6中段左). 海岸の消波堤周辺より陸側では0.4m以下, 海底では主に0.2m以下の侵食域となる. 侵食量は海岸で1200m³, 海底で4700m³である.

堆積域は海岸の消波堤より陸側で0.1~0.5m, 海底ではNo51の南側の水深1.5m付近で0.6m以下の堆積, 沖消波堤周辺で0.6m以下の局所的な堆積となる (図-6中段右). 堆積量は海岸で1000m³, 海底で1700m³である.

06年の海岸総変化量は200m³の侵食であり, 05年と同様に変化が小さい. 海底総変化量は3000m³の侵食, 1平方メートルあたり5~10cm海底が深くなり, 05年より地

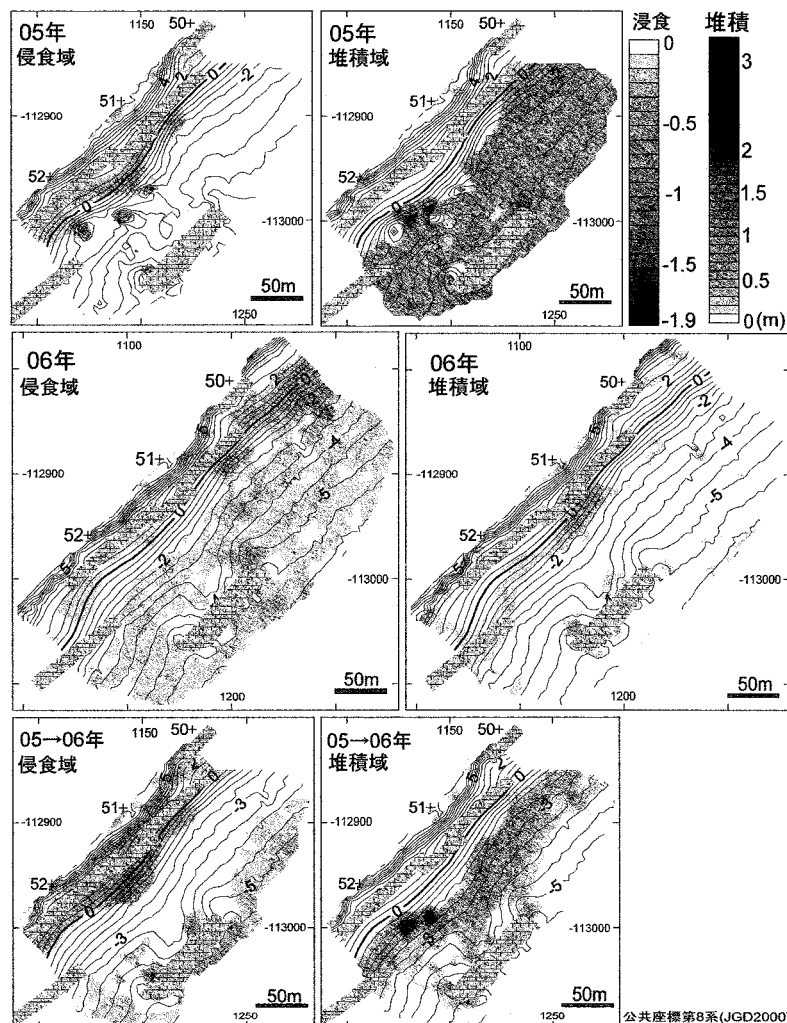


図-6 上段: 05年暴浪時の地形変化. 中段: 06年暴浪時の地形変化. 下段: 年間を通じた地形変化.

形変化の規模が小さく、侵食堆積傾向が逆転する。この違いの理由として、05年の方が06年より暴波浪の規模（波高、周期）が大きい事と、最大有義波来襲時直後の入射波向の違いによる沿岸漂砂の方向の違いがあげられるが、具体的な要因は不明である。

また、05、06年ともに調査域全体（水深6.5m以浅）で地形変化が起きている事から、暴浪時における波浪作用限界水深は水深6.5m以深である。

(3) 年間を通じた変化

主な侵食域はT.P.-2～+5mで0.2～1m、水深4.5m以深で0.1～0.4mの分布であり、汀線付近で最大1.2m、沖消波堤周辺で最大1.6mの局所的な侵食となる（図-6下段左）。侵食量は海岸で2000m³、海底で2800m³である。

堆積域は沖消波堤より岸側の水深2～4m付近が主であり、0.2～1mの堆積、局所的に最大約3mの堆積がみられ、海岸ではほとんどみられない（図-6下段右）。堆積量は海岸で300m³、海底で8200m³である。

05～06年の年間を通じた海岸総変化量は1700m³の侵食、海底総変化量は5400m³の堆積となり、沖消波堤背後の海底には漂砂が留まるものの、汀線付近では供給土砂不足といえる。

5. 底質変化

暴波浪による各採泥地点の含礫率・含砂率・含泥率（図-7）、及び砂質堆積物の粒度組成（図-8）の変化を示す。それぞれ左側が第1次（暴浪時前）、右側（②）が第2次（暴浪時後）である。

含礫率（図-7）は、海岸で05年第1次、2次ともに高く、沖消波堤により南南東方向からの波浪の遮蔽域となる採泥地点3、4、5を除き、暴浪時における含礫率の変化が顕著である。06年の海岸も05年と同様に礫が主体であるが、暴浪時の含礫率・含砂率の変化は06年の方が大きい（図-7）。

海底では、05、06年ともに採泥地点17を除き含砂率が90%以上を占め、暴浪時における含礫率・含砂率・含泥率の変化はほとんどみられない（図-7）。この事は、波浪規模に関係なく暴浪時に海底で移動する主な物質が砂質堆積物である事を示す。

砂質堆積物の粒度組成（図-8）は、海岸では05、06年第1次、2次ともに極粗粒砂～中粒砂がほぼ80%以上を占め、暴浪時の変化は明瞭である。また、05年に比べて06年の方が全体的に粗粒物質が多い。

海底では05、06年ともに細粒砂～極細粒砂の分布が主体であり、ほとんどの地点で細粒砂が50%以上を占め、沖消波堤周辺の一部で極粗粒砂と粗粒砂を最大約20%含む（図-8）。また、05年に比べ06年の方が全体的に極細粒砂の割合が高い。暴浪時における粒径変化の傾向は海岸海底ともに一様ではない。

6. 議論

長期的にみると、ヘッドランド背後（漂砂上手側）

の海岸では土砂が集積するため汀線は安定するが、一方、その土砂量が多い場合、漂砂下手側の海岸では供給土砂不足により大規模な侵食を起こす。本域の場合、そのような場所（漂砂下手側）に対し、急遽沖合に消波堤（沖消波堤）が設置された。過去13年間の航空写真からみた沖消波堤の役割は、海岸へ来襲する波浪を減衰させ汀線の後退を防ぐ目的だが、その効果はすぐ背後の海岸に限られ、漂砂下手側の海岸の侵食は続く。

1回の暴波浪による海岸地形の（短期的な）変化は、05年が300m³の侵食、06年が200m³の侵食であり地形変化は小さい。沖消波堤周辺の海底（水深6.5m以浅）では、05年が18400m³の堆積、06年が3000m³の侵食となり、海岸の地形変化量（土砂移動量）と比べ規模の違いは明確である。年間を通してみると、海岸では1700m³の侵食、海底で5400m³の堆積、主な侵食域が汀線付近（T.P.-2～+2m）、堆積域が沖消波堤背後の水深2～4m付近であることから、沖消波堤背後の海底には多少の漂砂が留まるものの、汀線付近では供給土砂不足である。

以上の長期的・短期的な地形変化から調査域の汀線付近には、養浜により供給土砂不足を補う必要がある。また、調査域の漂砂上手側のヘッドランド（3号ヘッドランド）の削減により、漂砂下手側の汀線付近への供給土砂量を増加させる方法も考えられる。ただし、この対策は海岸から海底までの詳細な土砂移動実態の把握と、地形変化の予測をもとに実施する必要がある。

土砂移動実態の把握や地形変化の予測には、土砂の粒径分布や、粒径変化と地形変化との関連について知る事が重要である。

海岸（汀線付近）では05年、06年ともに礫を主体とした粗粒堆積物の分布であり、暴浪時の変化は大きい。一方、海底（水深3～6.5m）では05年、06年ともに暴浪時における含礫率、含砂率、含泥率の変化がほとんどみられず、含砂率が90%以上を占める事から、沖消波堤周辺（水深3～6.5m）では波浪規模に関係なく、暴浪時に海底で移動する主な物質が砂質堆積物である事を示し、そのうちの50%以上が細粒砂である。また、本調査結果からは底質（粒径）変化と、地形の侵食域と堆積域との対応は一様ではなかった。

7. おわりに

現在までに実施された構造物設置等の侵食対策の効果を知る事は重要である。本研究では、台風による暴波浪時の前後に、離岸堤型ヘッドランドと消波堤周辺で地形・底質調査を行い、それら構造物の役割について、過去13年間の航空写真と合わせて検討した。その結果、沖消波堤の役割はすぐ背後の海岸の汀線の後退を防ぐ応急処置的なものであった。よって、養浜により汀線付近の供給土砂不足を補う対策や、漂砂上手側のヘッドランドの削減により、漂砂下手側への供給土砂量を増加させる対策が必要である。ただし、後者の対策は十分な現地調査と詳細な地形変化の予測をもと

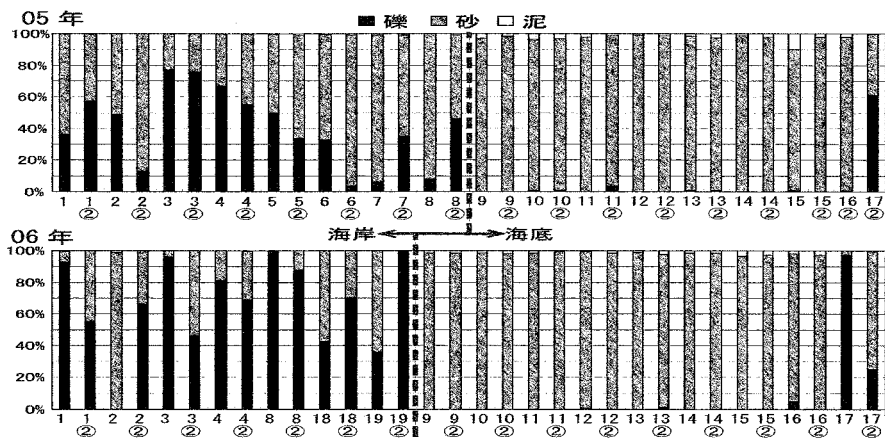


図-7 暴波浪による含礫率，含砂率，含泥率の変化（採泥地点は図-2を参照）

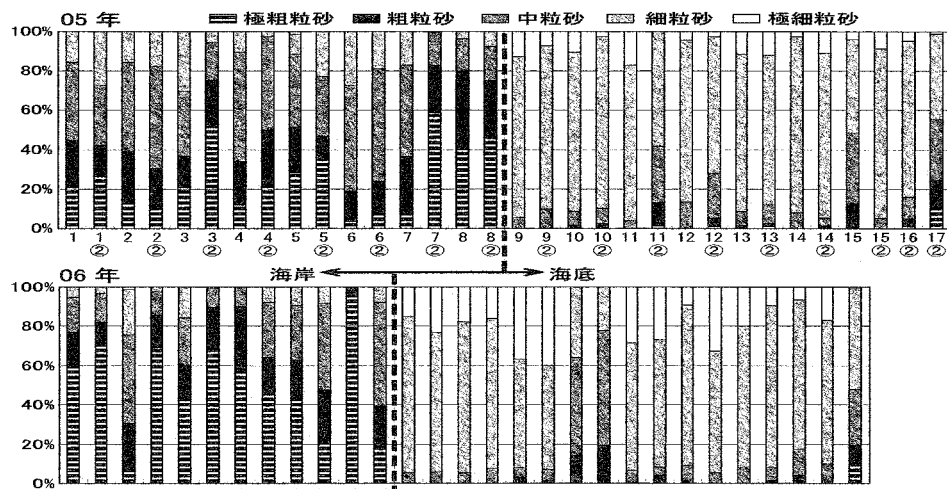


図-8 暴波浪による砂質堆積物の粒度組成の変化（採泥地点は図-2を参照）

に実施する必要がある。

また、波浪規模の違いや、最大有義波来襲時直後の入射波向の違いによる卓越沿岸漂砂の方向の差異が、海底地形変化の傾向に影響を与えていると推測できたが、暴浪時の沖消波堤周辺における土砂移動機構を明確にするには至らなかった。詳細な土砂移動を把握するには、本域の漂砂の大半が細粒砂である事から、同粒径の蛍光砂による調査を流速資料の観測とともに行う必要がある。

謝辞：元東海大学海洋学部海洋資源学科の佐藤武教授には清水海岸の変化についてご討論して頂いた。東海大学大学院生、東海大学海洋学部学生には現地調査・室内実験において多大な協力を受けた。静岡県静岡土木事務所の方々には航空写真や養浜資料等を、静岡県土木部河川海岸整備室の方々には、海象計の観測資料を提供して頂いた。また、査読者の方々には的確な助言を頂いた。以上の方々に深謝する。

参考文献

- 1) 佐藤武：清水市折戸海岸の侵食について—礫・粗粒物質の移動—，東海大学紀要海洋学部，46，pp.107-117，1998。
- 2) 宇多高明，山本幸次，河野茂樹：砂嘴地形周りの海浜変形—三保松原を例として—，地形，12，2，pp.117-134，1991。

- 3) 宇多高明，鈴木忠彦，山本幸次，板橋直樹：三保松原の危機的海岸侵食状況，海岸工学論文集 40，土木学会，pp.441-445，1993。
- 4) 宇多高明，鈴木忠彦，大石守伸，山本吉道，板橋直樹：離岸堤群式ヘッドランドの漂砂制御効果の現地実測，海岸工学論文集 41，土木学会，pp.581-585，1994。
- 5) 宇多高明，石井隆，杉山喜一郎，西谷誠，荻原智，芹沢真澄，石川仁憲：動的平衡海浜に建設されたヘッドランド群の漂砂制御効果の定量的評価，海岸工学論文集 53，土木学会，pp.661-665，2006。
- 6) 佐藤慎司，鈴木忠彦，瀬戸尾勝，松浦吉洋，山本吉道，花田昌幸：清水海岸海底谷周辺の波・流れと漂砂機構，海岸工学論文集，46，pp.671-675，1999。
- 7) 吉河秀郎，根元謙次，横山心一郎，鬼頭 毅，木村賢史：三保半島海浜から内側陸棚における碎屑物の移動と堆積，海洋調査技術18 (1)，pp.3-15，2006。
- 8) EMERY, K. O. : Rapid method of mechanical analysis of sands, J. Sed. Petrol., 8, pp.105-111, 1938.
- 9) WENTWORTH, C. K. : A scale of grade and class terms for clastic sediments, J. Geo., 30, pp.377-392, 1922.
- 10) FOLK, R. L. : The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature, J. Geo., 62 , pp.344-359, 1954.