

七里御浜海岸の鵜殿港周辺における 海浜変形の素過程

BEACH PROCESS AND WAVE DEFORMATION AROUND UDONO HARBOR AT SHITIRI-MIHAMA COAST

和田 清¹・水谷 法美²・村上 宗隆³
Kiyoshi WADA, Norimi MIZUTANI and Munetaka MURAKAMI

¹正会員 工博 岐阜工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣郡真正町上真桑)

²正会員 工博 名古屋大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

³正会員 工博 玉野総合コンサルタント(株) 設計第1部 (〒464-0076 名古屋市千種区豊年町9-20)

This paper is intended to estimate beach process and wave deformations at the Shitiri-mihama coast in Mie Prefecture. Field investigation by using an aerial photography technique is conducted along the Shitiri-mihama coast from the Kumano river mouth to the Onigashiro cape. It is clear that almost regions occurred beach erosion, especially Udono harbor region located on the left bank of the Kumano river, as the coastal line faced to sea, the beach protection works were struck by strong storms. Based on bottom sounding survey, maximum shoreline retreat was 100 meters for 5 years immediately after extend construction of breakwater around Udono harbor. It is necessary to predict water deformation for erosion control around coastal protection facilities. It is presented a time-depend mild slope equation for estimating wave deformation. Some simple calculations were conducted for modeling breakwater at the worst beach erosion area where located northern Udono harbor. The numerical model has well explanations for generation of partial standing waves, drop of mean sea level behind breakwaters.

Key Words : beach process, sediment transport, erosion control, detached breakwater, wave deformation, time-depend mild slope equation

1. はじめに

近年, わが国の海岸では, 大型港湾構造物による沿岸漂砂の遮断, ダムによる堆砂や大量の川砂利採取による供給土砂量の減少などによって海岸侵食が深刻化している¹⁾. 三重県南端に位置する熊野川河口の鵜殿港北側の井田海岸においても海岸侵食が著しく, 堤防などが被災し, 侵食原因の解明と総合的な海岸保全計画の立案が早急に求められている.

そこで本研究では, 七里御浜海岸の鵜殿港周辺を対象に, その侵食原因を解明する第一歩として, 航空写真や深浅測量, 波浪観測データなどから, 経年的な海浜地形の堆積・侵食状況をマクロ的かつ定量的に明らかにして, 海浜変形の推移と主因を把握しようとするものである. さらに, 構造物周辺の海浜変形を精度よく予測するためには, 波浪変形の予測が必要であり, 非定常緩勾配方程式を用いた数値シミュレーションを離岸堤周辺に適用して, 対象海岸

に來襲する波浪条件に応じた波浪変形特性についても考察した.

2. 七里御浜海岸の概要

七里御浜海岸は熊野灘に面し, 熊野川河口から鬼ヶ城まで約20kmにわたってほぼ直線的に連なる砂礫浜海岸である. この海岸は吉野熊野国立公園内にあり, なぎさ百選やアカウミガメの産卵地, 「御浜小石」の産地としても知られる景勝地である.

この海岸の南端には流域2360km²の1級河川熊野川が流入している. それ以外の中小河川は洪水流量も少なく, 砂礫を河口まで運搬する掃流力は小さいものと考えられる. 海岸地形の特徴としては, 岩礁が点在しているので, 汀線付近から碎波帯内の沿岸漂砂の連続性に影響を与えるものと思われる. また, 海底地形の特徴は, 海岸線と水深40mの等深線はほぼ平行であるが, 水深20m以浅になると急に変化が

みられるので、浅水変形・屈折などの波浪変形に影響を与えることが予想される。縦断勾配については、概ね水深6～8m付近までは勾配1/10程度、それよりも深くなると約1/100であって、前浜付近の勾配が急で沖浜勾配が緩く、勾配急変点が存在することが大きな特徴である。その底質中央粒径は、水深4～7m以浅では2～40mmと粗粒成分が多くみられるが、それより以深では0.2mm以下の細粒のみが分布する。このように、底質中央粒径の粗粒から細粒へと変化する変曲点の水深と、海浜勾配の急変点の水深はほぼ対応することが、建設省土木研究所の調査により確認されている^{2) 3)}。

七里御浜海岸に建設されている主な海岸構造物は、熊野川河口左岸の鵜殿港、七里御浜北端の木本港であり、北向きの沿岸漂砂を遮断する鵜殿港の北側の井田海岸では侵食が著しく、また、鬼ヶ城の南側に位置する木本港では、北向きの沿岸漂砂による港内埋没が問題とされている。さらに、鵜殿港と木本港周辺や両港の間に位置する井田地区、阿田和地区の各海岸では災害復旧事業として人工リーフ（既設14基、10基計画中）の整備が進められており、総合的な海岸保全計画の立案が急がれている。

3. 熊野川流域からの土砂供給量の変遷⁴⁾⁵⁾

(1) 洪水流量とダムの堆砂量

熊野川は、わが国でも有数の多雨地帯である大台ヶ原山系を流域にもつ、山地比率が100%に近い大河川である。台風時の降雨量の多いことと相まって流況の変化が同規模の河川に比べて大きい（河状係数：十津川278、北山川400）のが特徴である。なお、両河川が合流した下流地点における洪水時の最大流量は、17,000m³/s(1975年8月)、13,500m³/s(1968年7月)、12,000m³/s(1982年8月)などを記録している。

熊野川流域における主要なダム群（6基）は1958～1965年の間に随時築造されている。図-1は熊野川水系の主要ダムにおけるダム堆砂量の経年変化を1967～1985年の約20年間について示したものである。同図から、ダムの堆砂量の合計値はダムの竣工後から1977年頃まで漸増し、それ以降は大洪水期の1982年などを除いて増加量が少なくなっていることがわかる。また、その内訳は十津川水系のダム群（2基）による堆砂量が全体の約70%を占めていることもうかがえる。なお、1966～1975年の10年間におけるダム堆砂量は約1200万m³、1976～1985年の堆砂量は約500万m³である。

(2) 砂利採取と河床変動

熊野川下流部における砂利採取は、1955年頃から公共事業および民間建設事業による著しい川砂利

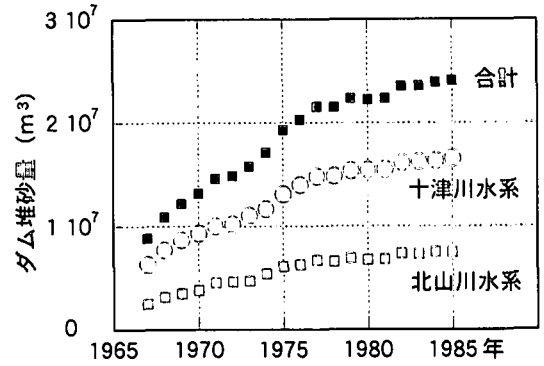


図-1 主要ダム群における堆砂量の経年変化

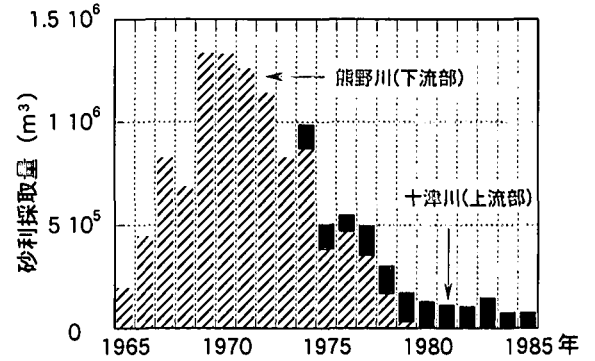


図-2 熊野川流域における砂利採取量の経年変化

需要の増加に伴い開始された。砂利採取量については、和歌山県、三重県ともに治水・利水面および河川管理上支障のない範囲に限って許可を行っており、砂利採取行為に対して指導監督を行っている。1965～1985年までの20年間の熊野川下流域（北上川・十津川合流点より下流側：11箇所）における砂利採取量を経年的に表したものが図-2である。1960年代に大規模な採取が行われ、1969年に砂利採取量のピーク（133万m³/年）を迎えた後、採取量は年々減少し、下流域では1980年以降は採取量0となっている。一方、十津川の2地点では1974年以降砂利採取が開始され、熊野川下流域に比べれば少ないものの年間8～14万m³程度の採取が1985年まで継続している。

十津川水系は、合流点より上流側において河床変動は大きい。特に敷屋地点(合流点より10km上流)では川幅が広く流路が出水ごとに変化しやすい傾向にある。一方、北山川水系の両岸は堅硬な岩盤が露出しており、大きな支川流入もないため、河床変動は小さい。合流点より下流側においては、河口から14 km地点で、1968年に比べて最深河床高が6m以上も低下する著しい河床変動が1975年にみられる。各地点とも1975年までは河床は徐々に低下し、それ以降大きな変動はみられない。したがって、上流側のダム堆砂量が急増せず、下流側で大規模な砂利採取が行われなくなった1980年以降、河床変動は少なくなり安定状態に至っているものと考えられる。

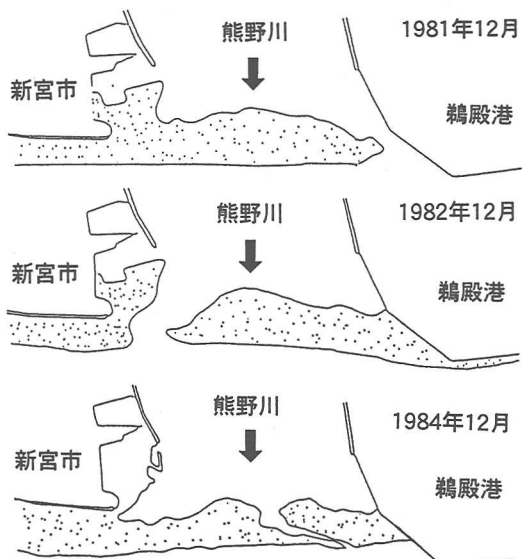


図-3 熊野川河口部の沿岸砂州形状の経年変化

(3) 河口砂州形状の変化

熊野川河口では、外洋から来襲する波浪によって大規模な河口砂州が形成されている。この砂州の形状は、波浪条件や河川の洪水頻度などによって変化しやすく、常に変動しているために、砂州の開口部の位置は一定していない。図-3は冬季（12月）における河口砂州の形状変化の一例を示したものである。1981年では開口部は左岸側に位置していたが、1982年には右側に移動している。これは1982年8月の大洪水のフラッシュによる影響であり、その後2年を経過して徐々に変化し、1984年には再び開口部は左岸側に移動していることがわかる。

4. 航空写真による海岸地形の変遷

七里御浜海岸における広域的で長期的な汀線地形の変動を把握するために航空写真の解析を行った。その撮影年代は、1947年(米軍)、1966、1976、1985、1989年(国土地理院)の最大42年経過分である。

写真-1は鵜殿港を含む熊野川河口部の経年変化を示したものである。鵜殿港の築造が始まっていない1947年には広大な河口砂州や前浜が形成されているものの、1966年には徐々に縮小傾向となり、鵜殿港が建設されている1976年には、鵜殿港の北側で汀線後退が著しい。鵜殿港防波堤の建設経緯は、南防波堤が1974年以降本格化し、それまでは海岸線とほぼ平行であったが、1979年には斜め沖へ延長され現在の形状にほぼ近くなっている。また、1981年には北防波堤、1989年に一文字堤が完成し現在に至っている。1985年の写真では北防波堤が完成し、以北の汀線の後退がさらに加速されていることがうかがえる。

写真-2は鵜殿港の北防波堤付近の堤防が被災を受

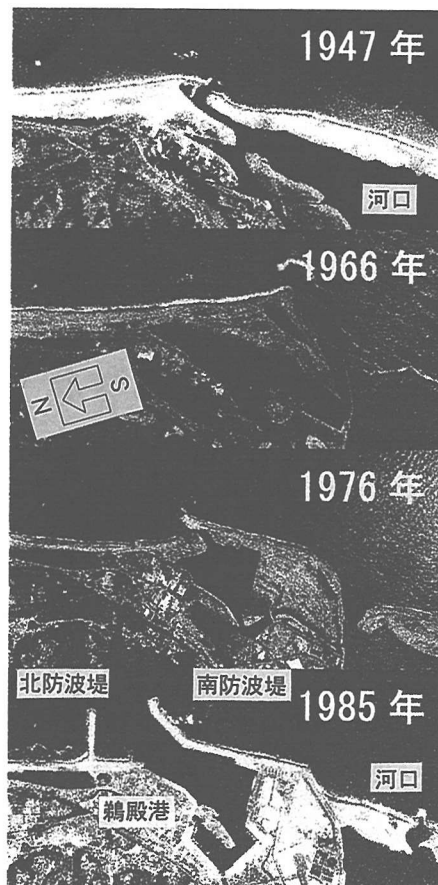


写真-1 熊野川河口部・鵜殿港周辺の汀線変化

けた井田地区の経年変化を示したものである。鵜殿港建設以前の1966年頃までは、自然の砂浜である。河口から約1.5km離れた場所に梶ヶ鼻の岩礁があり、そこではトンボロ地形が形成されるとともに、その北側の汀線はフック状に湾入している。これは、梶ヶ鼻の南側が滑らかな海岸線であるのに対して北側がフック状である点は、井田地区における沿岸漂砂の卓越方向が北向きであることを示している。1976年には北防波堤が海岸線と直交する方向に延長されているが、その突出長はまだ短いものの梶ヶ鼻背後の砂浜が狭くなっており、延長工事が完了した1985年には、完全に沿岸漂砂が遮断されて、梶ヶ鼻背後のトンボロ地形が消失している。なお、写真には示されていないが、1985年には鵜殿港北側の侵食域は1976年よりも北側に拡大している。井田地区では著しい海岸侵食のため砂浜が消失し、護岸に直接波浪が作用して、越波が激しくなったので、消波ブロックが海岸に沿って配置され、自然の砂浜から人工海岸へと急速に変化した経緯である。

前述したように、ダムの堆砂量の増加量は1977年頃まで徐々に増加していること、砂利採取量が1969年にピークを迎えた後、採取量は年々減少し1980年以降は下流域で採取量0となっていること、1974年頃までは沿岸漂砂量を著しく阻止するよう

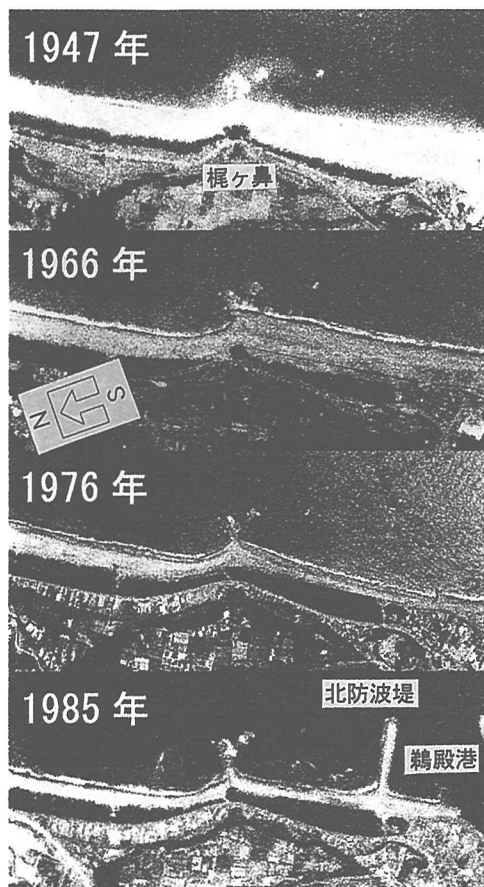


写真-2 鵜殿港北側の汀線変化

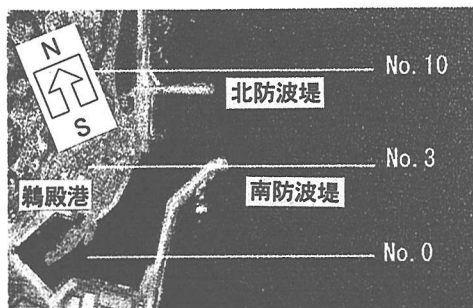
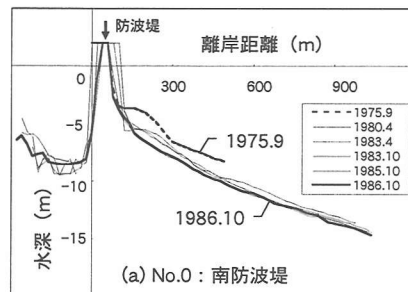
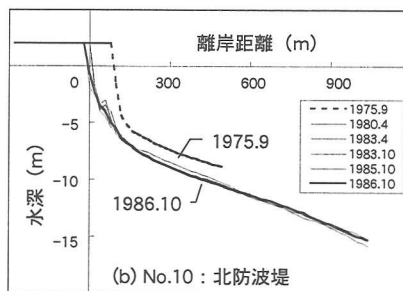


図-4 鵜殿港周辺の代表的な測線



(a) 測線No. 0（南防波堤側）



(b) 測線No. 10（北防波堤側）

図-5 海浜断面形状の経年変化

な防波堤の延長工事はなかったことなどから、鵜殿港の南防波堤の延長工事が開始された1976年頃までの汀線後退の主因は、ダム堆砂や砂利採取による河川からの土砂供給量の急激な減少が考えられる。それ以降、供給土砂量の減少に加えて、南北防波堤延長工事による沿岸漂砂量の遮断の影響が相まって、漂砂の動的な平衡状態が崩れたものと推察される。

5. 鵜殿港周辺の海浜地形変化

(1) 海浜断面形状の経年変化

鵜殿港周辺の深浅測量データ（1967～1990年）を用いて、図-4のような測線における海浜断面の経年変化を示したものが、図-5 (a) (b) である。(a)：南防波堤（測線No.0）、(b)：北防波堤（測線No.10）の測線であり、図中、太い破線は防波堤の延長工開始直後の1975年、実線は防波堤が完成した後の1986年の海浜断面である。図(a)から、熊野川河口の左岸側の南防波堤沖合いでは、水深5m付近に形成されていた沿岸砂州の堆砂高が年々低下してやがて消失したこと、その結果、2m程度も海底面が低下したことなどがうかがえる。また、北防波堤側を示す図(b)では、海底面の低下に加えて、1975年～1980年の5年間で約100mの汀線の後退がみられる。

(2) 侵食・堆積土砂量の経年変化

海浜地形の侵食・堆積土砂量の経年変化を求めるために、防波堤の延長工事がほぼ完了した1985～1986年について季節的な海浜地形変動量を再整理した。具体的には、図-6のように、対象領域をa：熊野川河口～南防波堤先端部、汀線～沖合い260mまで、b：沖合い260～1040mまで、c：北防波堤側、汀線～沖合い1040mまで、d：鵜殿港内に分割し、全領域をA（面積：0.98km²）として、季節的な侵食・堆積状況を定量的に把握した。

図-7は1985年1月を基準にして、全領域Aを対象に各時期の堆積・侵食量の推移を示したものである。同図から、1985年1月から6月にかけては堆積傾向、1985年6月から10月にかけて侵食傾向となり、全体的な変化量としてはほぼ同年1月の状態に回復したことがわかる。その後は堆積・侵食が等しくほぼバランスがとれた状態で推移している。このように、季節的にみると土砂量の変動に大きな違いがみられる。

図-8は、各領域a～dについて土砂変化量を示したものである。詳細にみると、河口テラス～南防波堤前面（領域a）では常に堆積傾向にあり、季節的

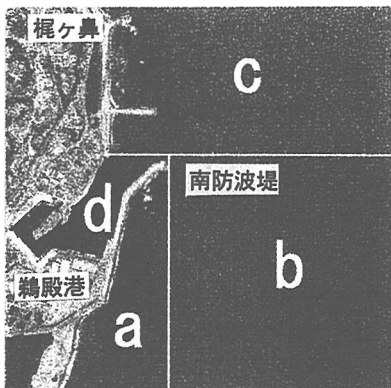


図-6 鵜殿港周辺の対象領域の設定

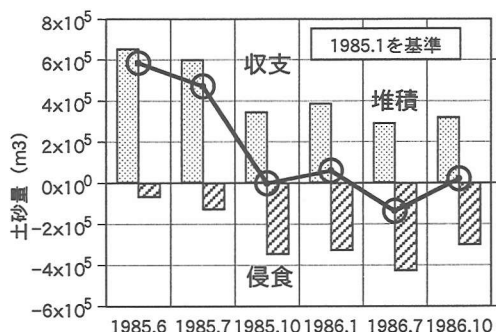


図-7 全領域Aにおける土砂収支量の推移

に大きな変動はみられない。これは南防波堤によって北向きの沿岸漂砂が遮断され、その沖合いの領域bまでその影響が及んでいることを示している。北防波堤側（領域c）では、1～6月にかけて若干堆積傾向にはあるものの、10月から翌年7月ではほぼ一定の侵食量となり、1年間でかなりの侵食量（約20万 m^3 ）が生じている。これは、年平均ダム堆積量（約50万 m^3 /年：1976～1985年）の40%，十津川上流部で行われた年平均砂利採取量（約11万 m^3 /年：1980～1985年）の約2倍に相当する量である。なお、領域bとcの変動は類似しており、かなりの北向きの沿岸漂砂量が生じていることを示唆している。

6. 海岸構造物設置に伴う波浪変形予測

(1) 計算条件

防波堤などの海岸構造物の設置が周辺の海浜地形に及ぼす影響を予測する場合、一般に3次元的海浜変形モデルが適用されている。その精度向上のためには、まず平面的な波浪場を精度よく計算する必要がある。以下では、現在提案されている平面波浪場の計算手法の中で最も適用範囲が広いモデルの一つである非定常緩勾配方程式を、海岸侵食が著しい鵜殿港北防波堤周辺に適用して、基本的な波浪変形特性を把握した。

図-9に示すように、海底勾配1/15（0～100m，底質の中央粒径 $d=20\text{mm}$ ），海底勾配1/100（100m

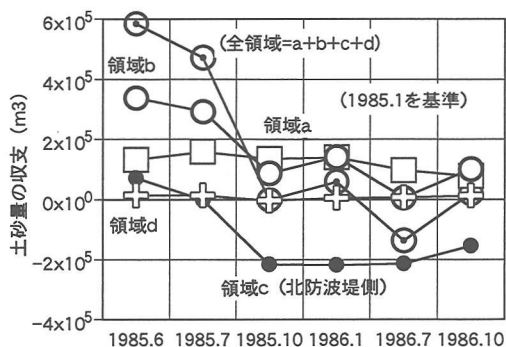


図-8 各領域abcdにおける土砂収支量の推移

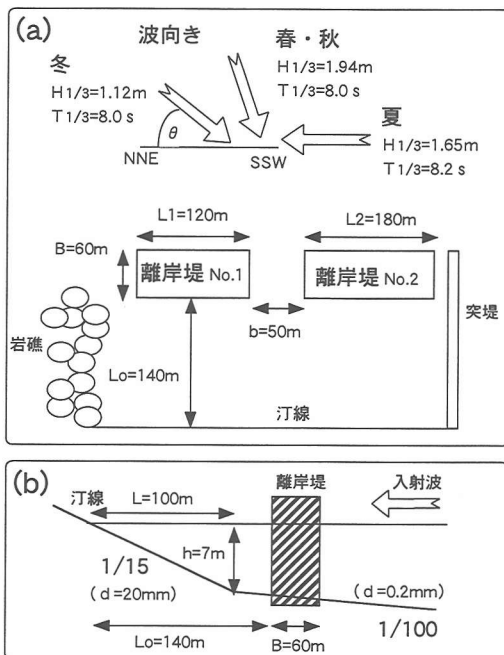


図-9 数値モデルの境界条件（非定常緩勾配方程式）

以深、 $d=0.2\text{mm}$ ）の海岸において、水深7.4m地点に2基の離岸堤（幅60m×長さ120m，60m×120m，開口幅50m）を設置した場合を想定した。入射波の条件は、季節によって波向きと有義波の波高・周期を変化させた。

(2) 波高と平均水位の空間分布

図-10は非定常緩勾配方程式の計算結果を波高の平面分布として示した一例であり、(a)直角入射、(b)斜め入射（ $\theta=22.5^\circ$ ）の場合である。同図(a)から、離岸堤の前面より沖側の黒塗りの領域では、入射波と反射波が重なった部分重複波によって波高が増大していることがわかる。また、離岸堤背後では波高の減衰がみられ、左右開口部からの回折波の位相干渉によって消波が行われている。一方、斜め入射の場合には、部分重複波の影響は離岸堤前面のごく一部に限られ、波高の大きい領域はパッチ状に分布していることがわかる。これは離岸堤からの反射波が入射波と交差する角度が異なるためである。

図-11は各点の水位変動を1周期間で時間平均し

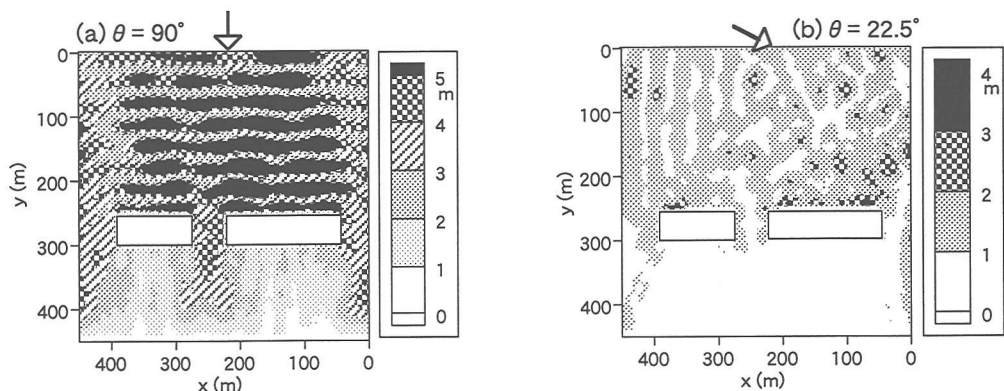


図-10 波高の平面分布

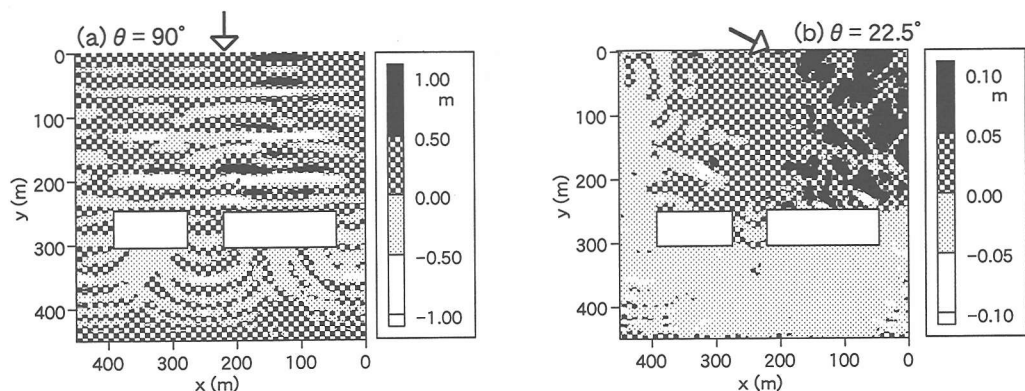


図-11 時間平均水位の平面分布

た平均水位の平面分布である。この平均水位の空間分布は、海浜流や離岸流などの流れ場の駆動力となる。同図から、直角入射する場合（同図(a)）には、平均水位の低下と上昇が沖側で離岸堤に沿って平行に生じていること、岸側では離岸堤開口部からの回折波の波峰に沿っていることなどがうかがえる。特に、離岸堤背後では平均水位は常に低下しているので、汀線から離岸堤背後に向かう流れの発生を定性的に説明できる。また、斜め入射の場合には、沖側で平均水位の上昇する領域がパッチ状の波高分布とほぼ対応していることなどがうかがえる。

7. おわりに

以上、七里御浜海岸の鵜殿港周辺を対象に、そのマクロ的な海浜変形について、航空写真や深浅測量などから考察し、ダム堆砂や砂利採取による供給土砂量の減少、防波堤延長に伴う汀線の後退速度（約100m/5年：1975～1980年）や侵食土砂移動量（約20万m³/年：1985～1986年）など、かなりの土砂量が移動していることが示された。また、海浜変形の予測精度に関連する海岸構造物周辺の波浪変形についても考察し、非定常緩勾配方程式を用いた解析は、浅水域で考えられる主要な波の変形である浅水変形、屈折、回折、反射をすべて同時に取り扱うことができる適用性の広いモデルの一つであるこ

とが確認された。今後、海浜流場や漂砂量公式についても検討を行い、海浜変形モデルの精度を高めると同時に、対象海岸の総合的な土砂マネジメントについて考える所存である。

最後に、本研究は土木学会中部支部平成12年度研究調査委員会の研究助成（通称：熊野川・七里御浜リサーチグループ、研究者代表：和田 清）の一貫として行われたことを付記する。

謝辞：本研究の遂行に際して、現地調査資料提供は、三重県県土整備部河川課のご協力を賜った。さらに、「七里御浜海岸侵食対策検討会（座長：名古屋大学大学院工学研究科 岩田好一朗教授）」の適切なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，442p.，1997.
- 2) 宇多高明・後藤康長・山本幸次：三重県七里御浜海岸の海浜変形機構に関する一考察，海岸工学論文集，第39巻，pp. 351-355，1992.
- 3) 山本幸次・佐藤慎司・野口賢二・宮野正実：熊野川を土砂供給源とする海岸の海浜変形と砂礫層厚，海岸工学論文集，第46巻，pp. 666-670，1999.
- 4) 三重県熊野土木事務所：七里御浜海岸設計業務委託報告書，94p.，1991.
- 5) 三重県熊野土木事務所：平成9年度井田地区海岸国補海岸高潮対策工事（汀線および底質地層の調査解析）報告書，89p.，1998.