

台風期における人工リーフ背後の 海浜変形の素過程

SEASONAL BEACH PROCESS AROUND ARTIFICIAL REEF
AT IDA BEACH IN SHICHIRI-MIHAMA COAST

和田 清¹・水谷法美²

Kiyoshi WADA and Norimi MIZUTANI

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)

This paper is intended to estimate seasonal beach process and wave deformations around artificial reefs at the Ida beach in the Shichiri-Mihama coast in Mie Prefecture. It is clear that almost regions occurred beach erosion, especially Udono port 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. In order to prevent erosion and make a stable beach, the application of beach nourishment behind artificial reefs was examined by Mie Prefectural Government. A series of surveys and studies on sand drift and wave conditions were conducted in order to examine the sand drift process, the possibility of applying beach nourishment and its executive way at the Ida beach. There are the formation of berm and tombolo topography behind artificial reefs. Results were estimated on the sediment volume and the predominant direction of sand transport and the correlation between longshore sand transport volume and wave condition. On the basis of these results, the amount of sediment transport in longshore direction were estimated thirty thousands cubic meters a period of typhoon season at the boundary.

Key Words : beach process, sediment transport, erosion control, artificial reef, wave deformation

1. はじめに

全国の多くの海岸では、海岸侵食が問題化しており、近年特に深刻化している場合が少なくない^{1) 2)}。しかしながら、河川からの供給土砂の量と質、来襲波浪や流れ場の特性、土砂の移動機構についての観測や調査がまだ不十分であり、海岸侵食の機構と原因を特定しにくく、総合的な海岸保全対策を実施することが困難な現状である。

三重県南端に位置する七里御浜海岸は、熊野灘に面した延長約20kmの砂礫浜であり、ここでも海岸侵食が深刻化している^{3) 4)}。特に、熊野川河口の鶴殿港北側に位置する井田地区海岸は、平成9年に来襲した複数の大型台風により、海岸堤防が720mにわたって破堤するなど甚大な被害を受けた^{5) 6)}。その後、災害再発防止のために海岸堤防の嵩上げなどの改良工事を行なうとともに、海岸堤防への来襲波浪の低減と人工リーフ背後への堆砂の促進を図るために、長さ200mの人工リーフの設置が6基建設された。また、継続的な波浪観測を行なうために、超音波式波高計の設置に加えて、全国でも珍しい短波海洋レーダー (HFレーダー) の観測局が運用されて

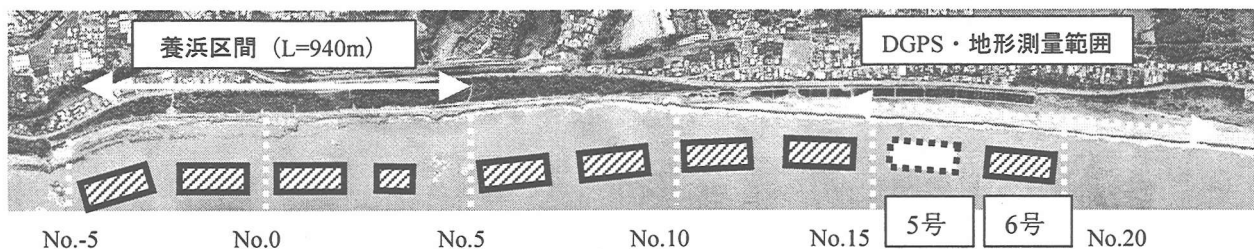
いる。陸上から観測が可能なリモートセンシング方式によって、広域でかつ準リアルタイムな波浪情報が得られる。さらに、三重県によって「七里御浜海岸海岸侵食対策検討会」が組織され、台風期の海浜地形変動や沿岸漂砂量を明らかにするために、人工リーフ背後の養浜工事とモニタリング調査 (汀線・深淺測量, 底質調査) が実施されている。

本研究は、井田海岸を対象にして、台風期における人工リーフ群周辺の海浜変形過程を明らかにするために、既存の資料解析に加えて、DGPSによる汀線測量や地形測量を新たに年数回行い、波浪特性と海浜変動特性について考察を加えたものである。

2. 資料解析および現地調査の概要

(1) 三重県による養浜工およびモニタリング調査

井田海岸における人工リーフ配置の概略を図-1に示す。なお、図中の数値は後述する深淺測量断面である。図中左端の岩礁が梶ヶ鼻であり、高潮対策事業で人工リーフ1基が建設された。その後、平成6年災害復旧事業により3基が増設され、もう一方の岩礁までの区間が完成した。平成9年海岸災害復旧



図－1 調査対象海岸（井田海岸：三重県七里御浜）

助成事業で4基が建設されたが、1基飛ばして6番目の人工リーフ（全長200m,幅80m）が先に設置された。昨年12月によりやく5番目（図中破線）がほぼ完成した。したがって、昨年の調査中は、この人工リーフは完成断面ではなく、波浪が直接消波ブロックに作用して、ブロック前面の前浜が消失した状態となっている。また、昨年の台風によって、消波ブロックは沈下し、背後の保安林の護岸法面が崩壊する状態に至っている。なお、井田海岸の全体計画では、10号までの設置が予定されている。

養浜工の概要は以下のようなものである。図中の養浜区間940m（深淺断面：No.-5～No.5）において、平成13年1月～5月の期間、体積36,460 m³の養浜材（中央粒径： $d_{50}=28\text{mm}$ ）が投入された。投入断面形状は、護岸天端から沖側に幅13m、養浜断面の天端高はT.P.：4.0m、前浜勾配は1：2である。

養浜のモニタリング調査は、養浜直後の平成13年5月28日～6月12日、同年10月10日～11月17日の2回、図中のNo.-5～No.20までの区間約2.5kmを100m間隔に沖合2500mの範囲で、深淺測量が行なわれた。後述するように、その期間に台風が2回来襲しており、簡易測量が同年8月24日～25日、同年9月18日に実施されている。

(2) DGPSによる汀線測量および後浜の地形測量

養浜工のモニタリング調査と並行して、人工リーフ6号を中心とする汀線と後浜地形の測量を実施した。人工リーフ5号は設置されていないので、6号の背後はトンボロ地形が形成されている。

汀線形状の短期的変動を調査するために、DGPSによる測量を、平成12年9月～平成13年11月の期間、計9回実施した。DGPSはGPSに地上波（中波ビーコンとFM多重波）による補正を加えて、位置精度を向上させたものである。なお、この結果は文献^{7) 8) 9) 10)}に記載されているので、本論文では省略する。

さらに、平均海面より陸側の3次元的な海浜地形特性を把握するために、トータルステーションによる地形測量を行なった。後浜の地形測量については、台風11号来襲後の平成13年8月29～30日、台風15号接近後の9月28～29日、11月13～14日の3回行なった。なお、平成12年9月～平成13年2月までの期間、計3回の地形測量を実施している。

(3) 来襲波浪と流れ場の観測網

対象海岸では、鶴殿港の沖合2.1km、水深25mの地点に超音波式波高計と流向流速計が設置され、平成11年度～平成13年6月まで観測された。さらに、

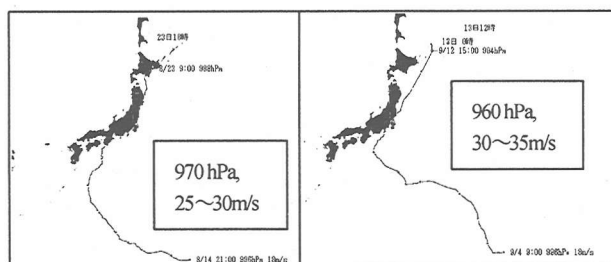
わが国初の本格的なHFレーダー（汀線方向約12km、ビーム間隔7.5°）を用いた波浪観測システムも平成12年度から実施されており、点情報だけでなく面的な波浪場の情報が得られている。台風期の波浪データはHFレーダーのみなので、その時系列データを中心に、波高・周期・波向き of 波浪の基本特性に着目して整理を行った。

3. 来襲波浪の基本特性

(1) 来襲した台風の特性

平成13年8月には台風11号が、また9月には台風15号が相次いで上陸している。図－2は台風の進路と規模を示したものである。台風11号は、太平洋沖で発生し勢力はととも強く広範囲にわたり強風域・暴風域を広げており、強風域は日本列島を覆ってしまうほどであった。台風11号は日本の紀伊半島に進行していたが、進路を変え日本列島を縦断するように東日本の海岸を北上した。この台風の気圧は最も低い時が960hPaであり、日本の紀伊半島に上陸する頃には970hPaである。この台風11号が対象海岸に最も接近したのが8月22日の午前6時である。最大風速は35m/sで対象海岸に近づく頃は25～30m/sである。

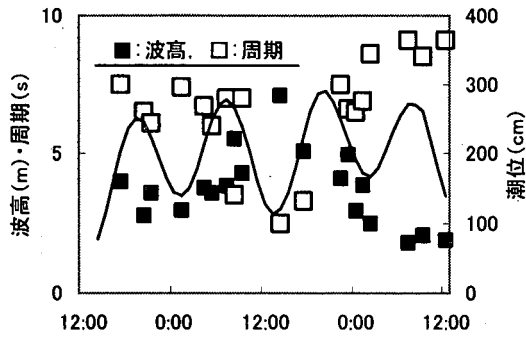
台風15号も11号と同様太平洋沖で発生し勢力が大きく、強風域・暴風域は台風11号に比べ範囲は小さいが気圧は低く風速が大きい。台風15号は日本の紀伊半島に向けて進行していたが、11号同様進路を変え日本列島を縦断するように東日本の海岸を北上した。この台風の気圧は最も低い時が955hPaであり、伊勢湾に近づく頃には965hPaとなり、その後日本列島を縦断するにつれ徐々に勢力は弱まっていった。この台風15号が最も接近したのは9月10日の午後9時から9月11日の午前3時である。対象海岸が強風域に入っている期間は台風11号より長く海岸が大きく影響を受けていたのではないかと考えられる。なお、最大



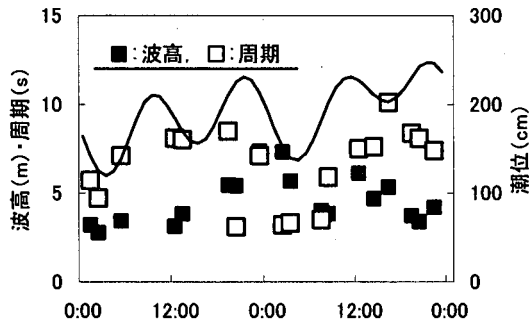
(a) 台風11号（8月）

(b) 台風15号（9月）

図－2 台風の進路と規模（接近時の中心気圧と風速）



(a) 台風11号 (8月20~22日)



(b) 台風15号 (9月9~10日)

図-3 波浪特性と潮位変動

風速は40m/sで対象海岸に近づく頃は30~35m/sであった。台風11号と異なり対象海岸を通過する直前で進路を変えている。台風の勢力は紀伊半島沖では960hPa, 風速35m/s, 遠州灘で970hPa, 風速35m/sであった。上陸している期間は少しの間であったこともあり, 日本に接近しても勢力はあまり衰えることなく台風11号よりも強力な台風であった。

(2) 波浪特性と潮位変動

図-3は, HFレーダーによって得られた台風接近前後の波浪特性(波高および周期)と潮位変動の時系列を示したものである。同図から, 台風11号では, 8月21日14:00に波高7.08mの高波が干潮時に来襲したこと, 台風15号によって9月9日23:00~10日2:00の深夜の下げ潮時に, 波高7.32~7.36mの暴浪が襲ったことがわかる。また, 周期については最大波高時で2.5~3.2sと極端に短くなっている。高波浪時を除くと周期5~10s程度なので通常の風波の領域に近い。図-4は, 7月1日~11月13日の期間における波高と周期の相関を示したものである。図中の破線で囲った領域は, 波高4m以上, 周期約3sの波浪である。同図からわかるように, 波高が4m以上の高波浪時には, 周期は約3秒と6~10sのグループに大別されてしまうので, 台風接近時の暴浪の周期については, 短波海洋レーダーによる分離方法など, 検討すべき課題が残されているといえる。

図-5は, 台風15号来襲前後(9月7~12日)における平均波向と波高の推移を示したものである。対象海岸の汀線の方位角は約14°であり, その法線の角度104°を境にして, 沿岸漂砂の卓越方向が異なることになる。同図から, 台風が接近する以前にはS~SEE方向からの入射が多く(北向きの沿岸漂砂),

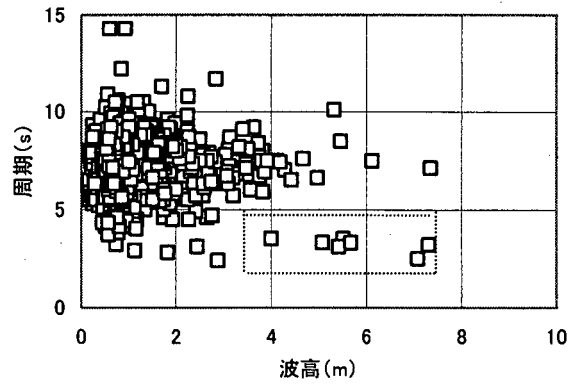


図-4 波高と周期の相関 (7/1~11/13)

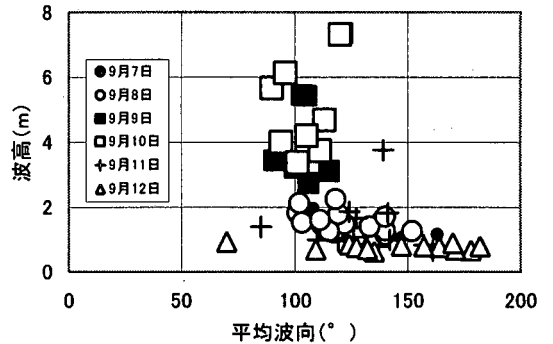


図-5 台風15号接近時の波高と波向きの変移

接近時になると汀線に直角な入射成分(E~SEE成分)が多くなるのがうかがえる。その後, 再びS~SEE方向へ戻るなど, 波向きが台風の接近とともに短期的に大きく変動していることがわかる。

4. 人工リーフ周辺の海浜地形変動

(1) 養浜工と人工リーフ群の海浜断面

三重県によって養浜のモニタリング調査¹¹⁾が行なわれているので, その実測データを用いて台風期前後における海浜断面の違いを見ていこう。

図-6は, 養浜区間(No.-5~5)の代表例として, No.-3における台風期前後の海浜断面の比較をしたものである。養浜材の投入は平成13年1月下旬~5月下旬にかけて行なわれ, 養浜後の第1回目の深淺測量は5月下旬から6月中旬にかけて実施された。したがって, 養浜施工から海浜断面の測定までに時間差が生じており, その間に来襲した波浪により養

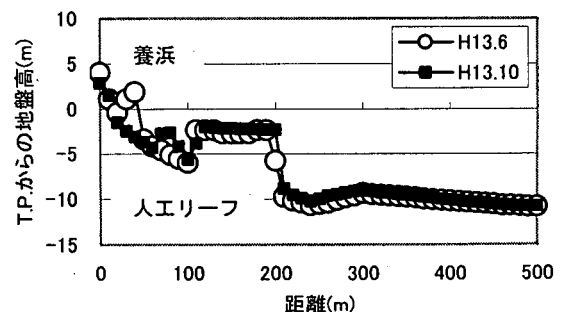


図-6 養浜区間における海浜断面の変化 (No.-3)

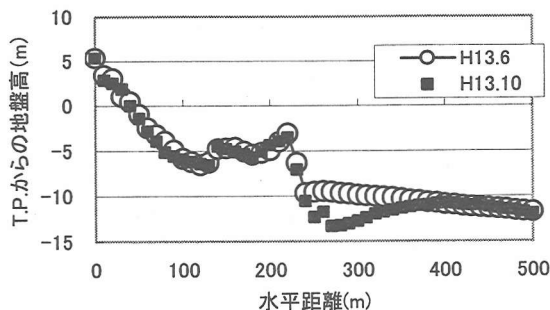


図-7 養浜下手側の海浜断面の変化 (No.10)

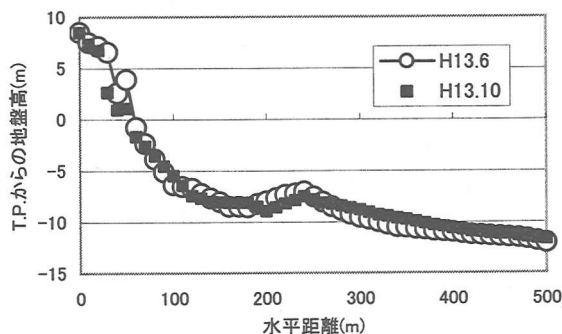


図-8 人工リーフ非設置部の海浜断面の変化 (No.15)

浜断面が若干崩壊している様子がうかがえる。また、人工リーフの背後には侵食された前浜の養浜砂が一時的に堆砂したと考えられる状況が確認できる。

図-7は、養浜が実施されていない沿岸漂砂下手側のNo.10における海浜断面を比較したものである。人工リーフの設置区間であるが、リーフの天端が若干歪な形状となっている。さらに、リーフ前面では大型台風の来襲によって3m以上の局所洗掘が生じており、高波浪時における部分重複波と戻り流れなどの発生が関与しているものと考えられる。

人工リーフ(5号)が設置予定のNo.15における海浜断面を比較したものが図-8である。同図から、陸域で侵食が見られる。これは、人工リーフが完成断面ではなく、波浪が直接消波ブロックに作用する状態となっており、台風期の高波浪によって消波ブロックは沈下し、背後の保安林の護岸法面が崩壊する状態と対応している。また、沖合200m付近に沿岸砂州の形成が見られる。詳細を見ると、砂州の岸側が侵食され、沖側で堆積する様子がうかがえる。

図-9は、人工リーフ6号が設置され、背後にトンボロ地形が形成されている地点である。同図から、人工リーフ沖側では大きな差異は見られないが、人工リーフ背後で堆砂がさらに進展したことなど微地形の変化が見られる。この人工リーフ6号の漂砂下手側境界(No.20)の海浜断面を示せば図-10のようである。同図から、小さな沿岸砂州の存在や後浜におけるバーム地形の形成などがうかがえる。また、このバーム地形は8月の簡易測量によると、No.20より下手側400m以上にわたって形成されていることが確認されており、2次元的な様相を呈している。したがって、人工リーフ6号より下手側では、沿岸

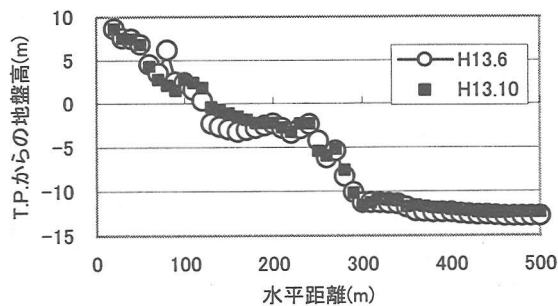


図-9 人工リーフ6号の海浜断面の変化 (No.18)

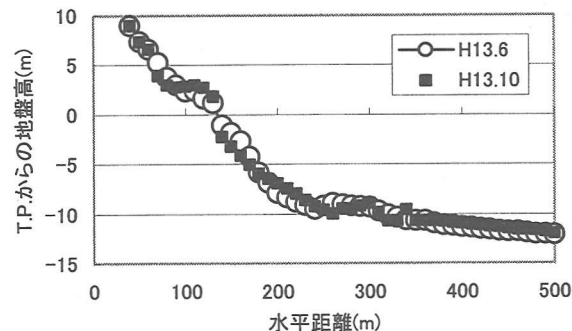


図-10 対象領域境界の海浜断面の変化 (No.20)

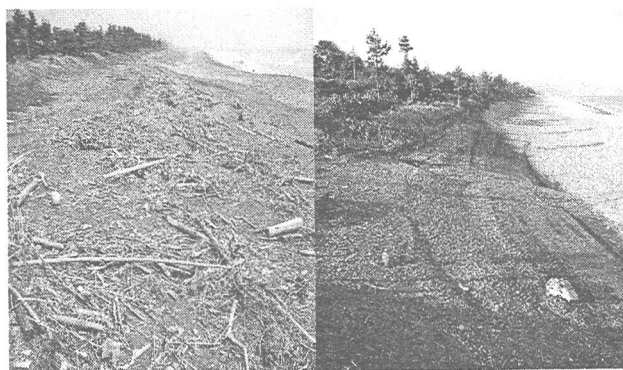
方向に運ばれてきた砂礫の一部が岸向き漂砂によって大量に打ち上げられた可能性を示唆している。

(2) 人工リーフ6号背後の後浜地形

大型台風の来襲によって、海浜断面が大きく変化していることが明らかにされた。以下では、人工リーフ6号周辺の後浜地形の特性について述べる。

図-11は、台風11号および15号来襲後の写真である。人工リーフ6号の背後の護岸先端から、漂砂下手側に相当する熊野市を望む後浜地形の状況である。流木やゴミが、高波浪時の遡上域先端部に集積していることがわかる。一方、台風15号来襲後、流木などは後浜から一掃されてなくなり、さらに、保全林前面に堆積していた土砂を掃流して、人工リーフ背後へと移動させた。

図-12は人工リーフ6号背後の汀線付近より陸側の後浜地形をより詳細に測量した測点を示したものである。図中には、人工リーフ6号(長さ200m×幅



(a) 台風11号通過後(8/29) (b) 台風15号通過後(9/29)
図-11 台風来襲後の後浜の状況

砂輸送の激しさを示唆している。

5. 沿岸漂砂量の推定

七里御浜海岸は砂礫浜であり土砂の粒径が大きいので底質の移動限界水深は小さく、人工リーフより沖側へ土砂が多量に流出することは考えにくい。そこで、4(1)で得られた深浅測量結果(平成13年6月と11月)から、人工リーフ背後の前浜から後浜に至る範囲を設定して、各断面の土砂変動量を算定し、台風期における沿岸漂砂量を見積ることとする。

図-14は深浅測量が行なわれた区間において、同一断面内の土量変化を表したものである。ただし、岸沖方向の範囲については次のように取り扱った。人工リーフの設置された箇所では、T.P.6mから人工リーフ岸側の法尻まで、人工リーフ未設置場所では、人工リーフ沖側の法尻の水深に相当するT.P.-7mまでとした。また、図中の黒塗りは人工リーフが設置されていない場所のデータであることを示している。同図から、養浜区間の土砂はほとんどが流出し、部分的に人工リーフの背後で堆砂されるが、養浜区間で侵食される場所も少なくない。さらに、人工リーフが設置されていないNo.15~16では侵食傾向にあり、その土砂は隣的人工リーフ6号背後にトラップされていることなどがうかがえる。

さらに、この結果をもとにして、累積の土砂変動量(侵食:+)を示したものが図-15である。同図から、養浜を行なった区間(No.-5~No.5)の土砂変動量は $20,650\text{m}^3$ 、養浜を実施してない区間(No.6

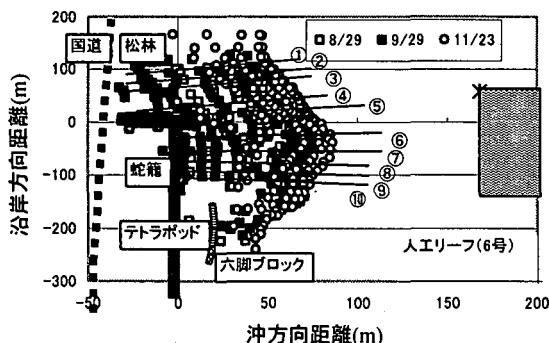


図-12 人工リーフ6号背後の後浜地形測点

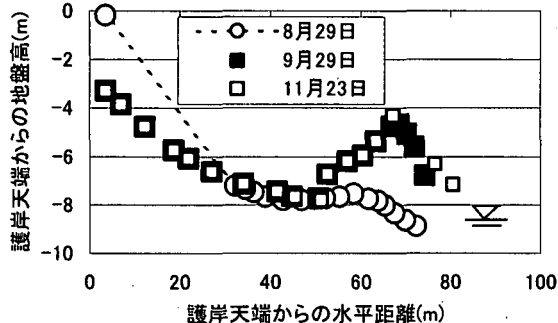


図-13 後浜におけるバーム地形の形成(測線⑥)

80m)を含めた周辺構造物の位置関係が併記されており、x方向を引き伸ばして表示している。同図から、人工リーフ背後では汀線の形状がトンボロ地形となっていることがよくわかる。

さらに、このトンボロ地形のほぼ中央に位置する測線⑥断面において、3回の地形測量結果を重ねて表示したものが、図-13である。同図は護岸天端を原点とし、汀線際よりも陸側の後浜地形を測量範囲としたものである。同図から、台風11号来襲後には護岸天端から8m程度下の汀線付近にバーム地形が形成されていたが、台風15号接近後には、3m近くバーム地形が嵩上げされた。その2ヶ月後、バーム地形の天端から岸側に大きな変動はないが、海側では波浪や潮位的作用によってバーム前面が崩壊し、汀線が前進していく様子が見える。

この嵩上げされた土砂は供給されたのだろうか。台風15号通過後には、保安林の前面(図-12の①測線)が侵食され約2mの崖を形成した。その作用によって松林が自立できず一部が倒壊するなどの被害が出ている。また、国道沿いには、流木やゴミなどが集積しており、高波浪時の遡上波によって台風11号で散乱した流木類を、保安林まで押し上げたものと考えられる。図-12からもわかるように、人工リーフ6号の背後の下側は、蛇籠で保安林が保護されており、前面には異型ブロックによる消波堤が設置されており遡上波による被害を受けにくい。したがって、上側から入射した遡上波は保安林前面の土砂を侵食しながら、トンボロ地形の中央部の凹地へと土砂を輸送することになる。事実、土砂の粒径が異なるフロントが、倒壊した松林からトンボロ地形中央部へと形成されており、遡上波による後浜の土

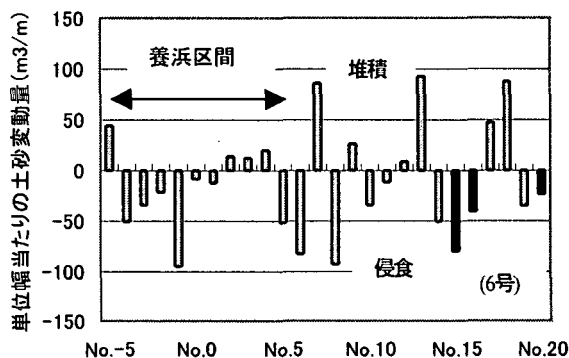


図-14 深浅測量による台風期の土砂変動量

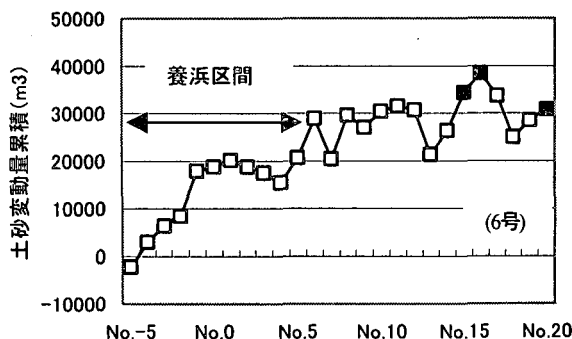


図-15 累積した土砂変動量(深浅測量)

～No.20)では10,200m³、対象区間全体では30,850m³となることがわかる。また、投入した養浜砂の全体積は36,460m³であり、梶ヶ鼻より上手側からの土砂供給量はそれほど多くないので、台風期(6月～11月)では養浜区間で約半分以上の土砂が失われたことに相当する。その後、養浜を実施していない区間でも約1万m³の流出となり、特に人工リーフ5号が設置されていないNo.15～16区間では、1万m³以上の土砂流出となっている。人工リーフ6号によって一部は人工リーフ背後に堆砂されるものの、その下手側(No.19～20)ではさらに5,000m³減少する。したがって、平成13年6～11月(台風期)の対象区間の漂砂下手側境界における沿岸漂砂量は、約3万m³と見積ることができる。

6. おわりに

以上、三重県七里御浜の南端に位置する井田海岸を対象に、DGPSによる汀線測量や地形測量を年数回行い、三重県が行なった養浜のモニタリング調査のデータ解析を通して、台風期における汀線や海浜地形の変動特性を波浪特性と関連づけて考察した。昨年相次いで来襲した台風11号、15号によって保安林や護岸法面の一部が崩壊し、遡上波の作用によって後浜の地形だけでなく、人工リーフ周辺の海浜地形が大きく変動したことが明らかにされた。さらに、人工リーフ6号の背後では、高さ約3mのバーム地形が形成され、その後の汀線を前進させるなどトンボロ地形を進展させた。また、養浜工の深淺測量結果から沿岸漂砂量の境界条件を明らかにし、台風期の沿岸漂砂量は、約3万m³と見積られた。今後、漂砂量公式についても検討を加えながら、海浜変形モデルによる解析を進める予定である。

最後に、本研究は土木学会中部支部平成13年度研究調査委員会の研究助成「水系一環の土砂マネジメントを理念とする熊野川・七里御浜海岸の土砂移動の実態とその予測・対策に関する調査研究委員会RG：リサーチグループ代表 和田 清」の一環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、現地調査資料については、三重県県土整備部のご協力を賜った。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。また、現地調査や結果の整理は、岐阜工業高等専門学校卒業生高島明君(現岐阜県庁)の多大な協力に負うところが大きい。末尾ながら、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，pp.265-275，1997.
- 2) 本間 仁監修・堀川清司編：海岸環境工学，海岸過程の理論・観測・予測方法，東京大学出版会，582p.，1985.
- 3) 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.
- 4) 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.351-355，1999.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 和田 清・中澤真紀・水谷法美・鷲見浩一：熊野灘七里御浜におけるマクロ的な海浜変形と海岸侵食の実態，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，PS-2，pp.3-4，2000.
- 8) 和田 清・水谷法美・村上宗隆：七里御浜海岸の鶴殿港周辺における海浜変形の素過程，海洋開発論文集，第16巻，pp.291-296，2000.
- 9) 和田 清・森岡睦門・伊藤育雄：七里御浜海岸における汀線および後浜の地形変動と波浪特性，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.5-6，2001.
- 10) 和田 清・水谷法美：三重県井田海岸における季節的な海浜変形特性に関する一考察，海洋開発論文集，第17巻，pp.535-540，2001.
- 11) 三重県：第8回七里御浜海岸侵食対策検討会資料，57p.，2002.