

宮崎海岸における台風による 砕波帯内の波・流れと土砂移動

佐藤 慎司¹・村上 啓介²・諏訪 義雄³・西 隆一郎⁴・松田 博貴⁵・
大野 正博⁶・杉浦 幸彦⁷・高島 創太郎⁸・石崎 公康⁸・近藤 竜二⁹・
竹林 秀基¹⁰・竹下 真治¹⁰・堤 宏徳¹⁰・下田 勝典¹¹・上野 正弘¹¹

¹フェロー会員 東京大学大学院教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail: sato@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 宮崎大学准教授 工学部社会環境システム工学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1)

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

⁴正会員 鹿児島大学学術研究院教授 農水産獣医学域水産学系 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4-50-20)

⁵熊本大学大学院教授 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2-39-1)

⁶正会員 いであ株式会社 沿岸・海岸事業部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2)
E-mail: on20405@ideacon.co.jp

⁷いであ株式会社 沿岸・海岸事業部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2)

⁸いであ株式会社 環境調査・化学部 (〒812-0055 福岡県福岡市東区東浜1-5-12)

⁹株式会社高崎総合コンサルタント 地理空間情報部 (〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-7-5)

¹⁰国土交通省九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 (〒880-8523 宮崎県宮崎市大工2-39)
E-mail: tsutsumi-h8912@qsr.mlit.go.jp

¹¹ (前) 国土交通省九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 (〒880-8523 宮崎県宮崎市大工2-39)

2014年に5つの台風が連続して来襲した宮崎海岸において、砕波帯内外の波浪・海浜流と地形変化を分析した。台風時には、主として南からの波浪により、北向きの強い沿岸流が観測されるとともに、30~300sの周期を持つ長周期変動が発達し、その発達特性は台風経路と密接に関連していた。波・流れの観測値から沿岸漂砂量を算出したところ、平均的には南向きの沿岸漂砂が卓越する同海岸において、50万m³を超える北向きの沿岸漂砂が発達したと推定され、これは、台風期前後の地形測量結果と整合的であった。台風時の沿岸漂砂量から、台風の特性に応じて土砂移動特性が大きく変動することが確認された。台風後に三次元的な地形が発達した大炊田海岸において、地形変化と沿岸方向に進行するエッジ波との関連が示唆された。

Key Words : waves and currents, longshore sand transport, infragravity motion, alongshore rhythmic nearshore topography, edge waves

1. はじめに

宮崎海岸は、宮崎港の北側と一ツ瀬川の間にある約10kmの直線状の海岸であるが、現在海岸侵食が進行しており、養浜、突堤の設置、埋設護岸の設置等の侵食対策が実施されている¹⁾。侵食対策の実施と併せて、モニタリングのための外力把握を目的として宮崎海岸の沖と大炊田海岸(宮崎海岸内の石崎川より北側の区間)の砕波帯内で波浪、流況、潮位の観測が実施されている。こ

の観測の中で、2014年は夏から秋にかけて5つの大型台風による高波が連続して来襲し、砕波帯内外の波浪、海浜流、平均水位上昇の各種データを取得することができた。砕波帯内では地形変化が顕著であるが、地形変化が顕著となる高波浪時の観測データはほとんどない。そこで本研究では、ほぼ欠測なく取得された貴重なデータを分析して、台風時の砕波帯内外の動力学過程を把握するとともに、台風による土砂移動と地形変化の特徴を解明した。

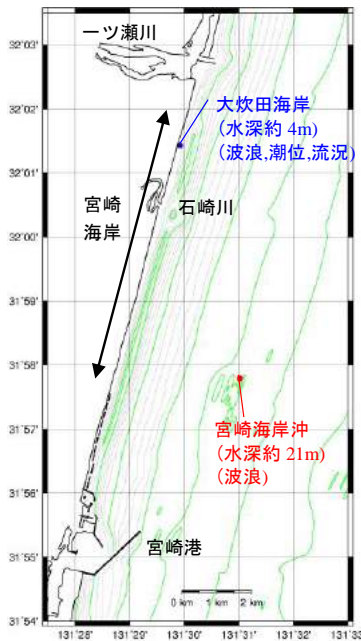


図-1 観測地点

2. 観測概要

観測は図-1に示す宮崎海岸沖（通称ネダノ瀬）と大炊田海岸の2地点で実施されている。宮崎海岸沖は、宮崎海岸の約4km沖合、水深約21mの地点に位置しており、2010年2月から超音波式波高・波向計により0.5s間隔で波浪の連続観測が実施されている。大炊田海岸は、図-2に示すように2014年の台風来襲前の測量ではバーの岸側で水深約4mの砕波帯内の地点に位置しており、2013年5月から水圧式波高計により毎正時前後10分について0.5s間隔で波浪と潮位の観測を実施、電磁流速計により10分毎に1s間隔で1分間の流況観測が実施されている。

3. 砕波帯内外の外力の特徴

(1) 観測結果の概要

図-3に、2014年6月～12月の時系列を示す。図に掲載している項目は上から順に、宮崎海岸沖の有義波高、有義波周期、宮崎海岸沖と大炊田海岸の長周期変動、宮崎海岸沖の平均波向、大炊田海岸の流速と沿岸方向流速、大炊田海岸と宮崎港の潮位差（以後、平均水位上昇）を示している。宮崎海岸沖では連続観測を実施しているが、大炊田海岸との比較をするために毎正時前後10分のデータから演算した諸元を使用している。長周期変動は、水位変動のエネルギースペクトル密度の周期30～300sにおける積分値である。平均水位上昇では、正の場合は大炊田海岸の方が潮位が高いことを意味している。

図-3より、7月に台風8号、8月に台風12号、11号、10月に台風18号、19号の5つの台風が来襲し、台風時には大炊田海岸では1.5m/sを超える強い沿岸流速、最大0.3m

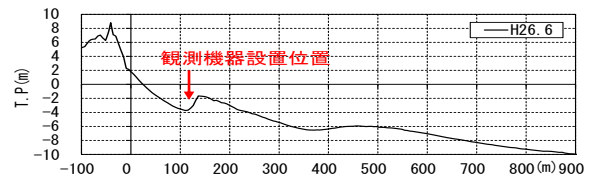


図-2 大炊田海岸の断面図

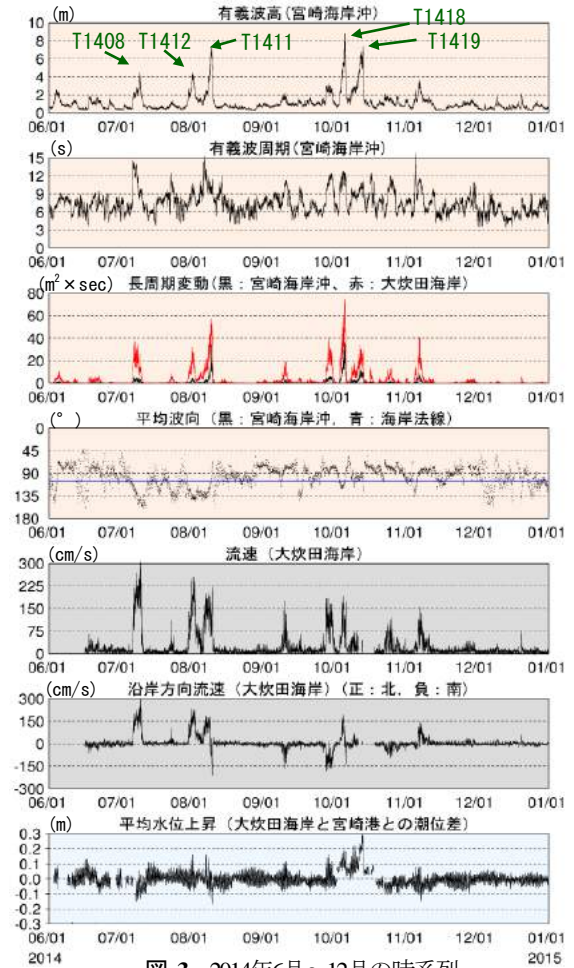


図-3 2014年6月～12月の時系列

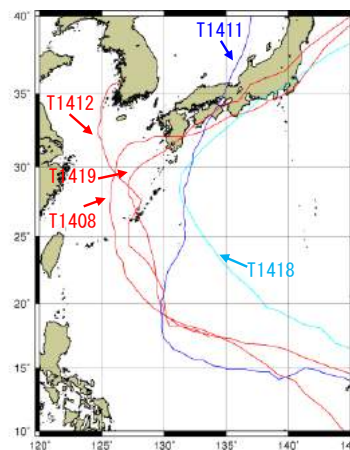


図-4 台風8号、11号、12号、18号、19号の経路

程度の平均水位上昇を観測した。また、長周期変動は台風時に卓越し、大炊田海岸の振幅は宮崎海岸沖の振幅の2倍程度であること、台風11号と18号来襲時は他の台風より振幅が大きいことが確認された。図-4に5つの台風

の経路図を示すが、台風11号、18号は、九州南方から宮崎海岸沖を北上したため、他の台風より太平洋上でうねりが発達しやすい状況にあったと考えられる。このような経路の違いが、台風11号と18号来襲時の長周期変動の振幅が他の台風より大きかった要因であると考えられる。

(2) 台風時の外力の特徴

台風時の外力の特徴を把握するために、台風11号を例に整理した。図-5に台風11号来襲時を含む2014年8月6日～8月11日の時系列を示す。図に掲載している項目は上から順に、宮崎海岸沖の波向、宮崎海岸沖と大炊田海岸の有義波高、有義波周期、大炊田海岸の流速ベクトルと流速を示している。波向の欄には宮崎海岸の海岸法線方向(105°)を併せて示しており、波向が法線より下にプロットされていると宮崎海岸に対し南から波が来襲することを意味する。図より、8月9日6時頃までは宮崎海岸に対し南から波が来襲し、大炊田海岸では最大2m/sをこえる北向きの流れが発生していたが、8月9日6時以降は宮崎海岸に対し北から波が来襲するようになり、ほぼ同じタイミングで大炊田海岸では南向きの流れが発生しており、波向と沿岸流の向きに対応関係があることが確認された。

図-6に図-5と同期間の大炊田海岸における波高と潮位の散布図を示す。図より大炊田海岸では、潮位により波高の上限が制限される傾向にあった。これは大炊田海岸の観測地点はバーの岸側に位置しており、バー頂部水深に応じた碎波の影響を受けたものと考えられる。

4. 漂砂量と地形変化

(1) 深浅測量による地形変化の特徴

図-7に、2014年6月と12月に実施されたナローマルチビームによる深浅測量結果と両者の差分から算出した4

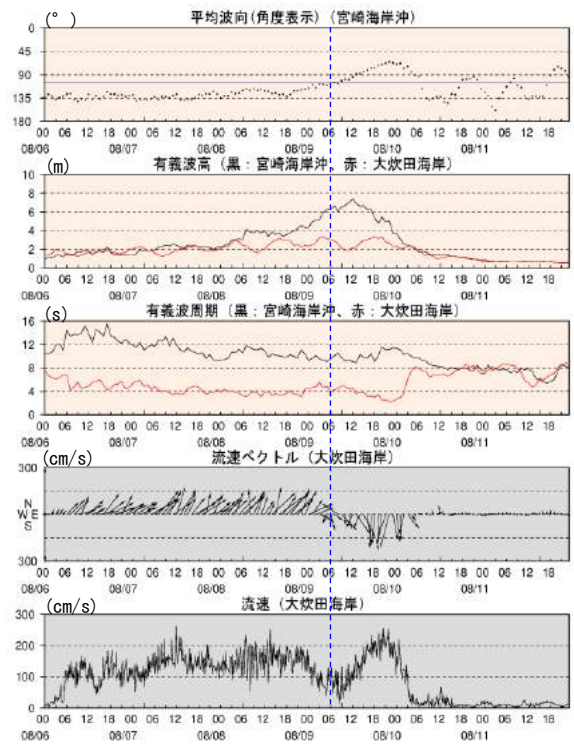


図-5 台風11号来襲時の時系列

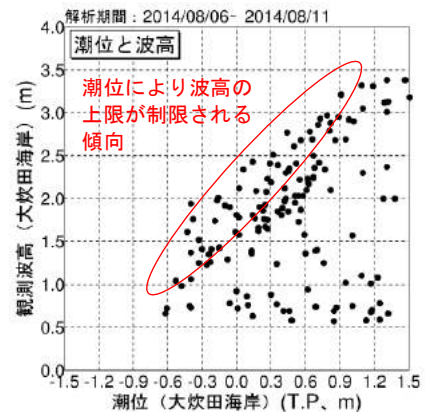


図-6 波高と潮位の散布図

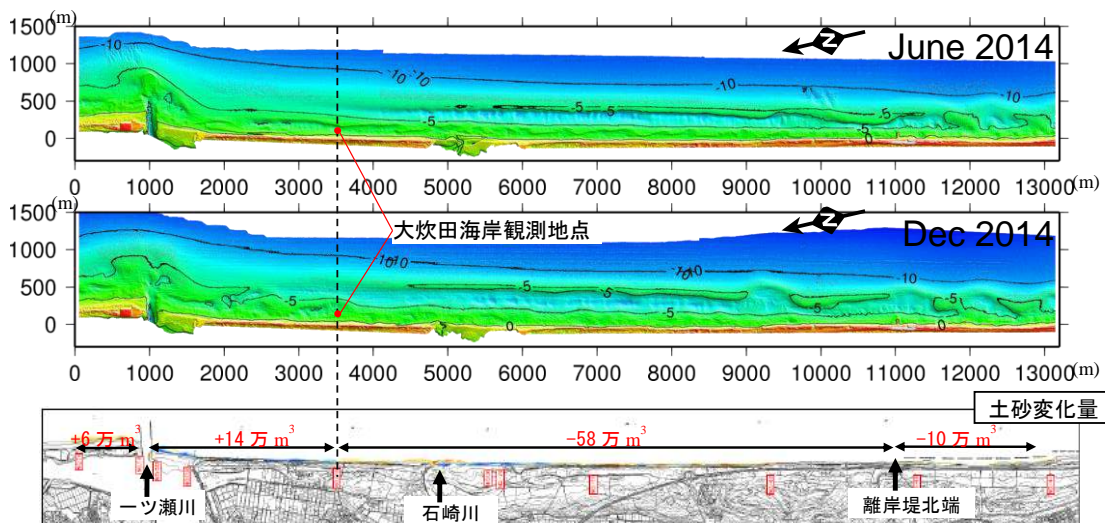


図-7 深浅測量結果と土砂変化量(2014年6月, 2014年12月)

つの領域における土砂変化量を示す。深浅測量結果はTP基準で示している。土砂変化量は、一ツ瀬川導流堤の北側、一ツ瀬川導流堤～大炊田海岸観測地点、大炊田海岸観測地点～離岸堤北端、離岸堤北端から南側の4つのエリアで算出しており、正は堆積、負は侵食を意味する。

図より大炊田海岸観測地点の南側では約58万m³の侵食、北側では約20万m³の堆積が確認できることから、2014年6月～12月の期間は北向きの沿岸漂砂が卓越、沿岸漂砂量は数十万m³のオーダーであったと推察される。

(2) 2014年6月～12月の漂砂量の推定

宮崎海岸沖と大炊田海岸の観測値を用いて2014年6月～12月の期間において大炊田海岸を通過した沿岸漂砂量を推定した。ここでは大炊田海岸で流況観測を実施していることをふまえ沿岸漂砂量Qは、Krausら²⁾の式(1)により推定した。

$$Q = \frac{A}{\gamma \cdot \tan \beta} \cdot H_b^2 \cdot V \quad (1)$$

ここに、A：定数 (=3.8×10⁴)，γ：波高水深比，tanβ：海底勾配 (図-2より1/100と設定)，H_b：砕波波高，V：沿岸方向流速である。砕波波高は宮崎海岸沖の観測波高と合田の式³⁾により算出した。沿岸方向流速は、大炊田海岸の観測流速から算出するが、大炊田海岸の流速が欠測している時は式(2)⁴⁾にて沿岸方向流速を推定した。ただし、波高が小さいときは誤差が生じるため、砕波波高2m以上の時に適用することとした。また、砕波波高2m以上の時の大炊田海岸での観測流速と適合するように、式(2)の値に0.6を乗じることとした。

$$V = 1.17 \cdot \sqrt{gH_b} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

ここに、g：重力加速度，H_b：砕波波高，α：砕波帯の波向 (宮崎海岸沖の波向とスネルの法則から推定) である。表-1に、2014年6月～12月の沿岸漂砂量の算出結果を示す。表より、2014年6月～12月の沿岸漂砂量の収支は北向きに約58万m³となっており、深浅測量から推定した漂砂の向きや漂砂量のオーダーと合致している。

(3) 台風時の漂砂量の推定

前節と同様の手法で5つの台風来襲時 (台風を含む6日間) の沿岸漂砂量を推定した。図-8に、各台風時の沿岸漂砂量を算出した結果を示す。図より沿岸漂砂量収支は、台風8号、12号、18号では25～39万m³の北向き、19号では16万m³の南向きと推定された。一方台風11号では、台風の通過とともに沿岸流の向きが逆転したため、沿岸漂砂量収支はほぼ0と推定された。宮崎海岸の平均的な沿岸漂砂量は、南向きに約20万m³/年と考えられている¹⁾。一方、2014年に来襲した台風の沿岸漂砂量は、上記の平

表-1 2014年6月～12月の沿岸漂砂量算出結果

| 月 | 北方向(万m ³) | 南方向(万m ³) | 収支(万m ³) |
|-----|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 6月 | 1 | -3 | -2 |
| 7月 | 44 | 0 | 44 |
| 8月 | 49 | -24 | 25 |
| 9月 | 0 | -24 | -24 |
| 10月 | 40 | -35 | 5 |
| 11月 | 10 | -1 | 9 |
| 12月 | 1 | 0 | 1 |
| 合計 | 145 | -87 | 58 |

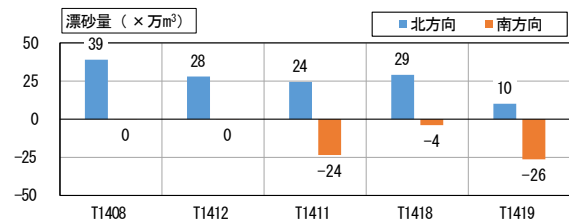


図-8 台風時の沿岸漂砂量

均的な漂砂量を超えるものがあり、それらの多くは北向きの沿岸漂砂であった。台風のみによる沿岸漂砂量の合計は、北向きに76万m³であり、6か月間の総沿岸漂砂量とオーダーが整合している。したがって、宮崎海岸の土砂移動において、台風の役割は極めて大きく、宮崎海岸の土砂移動は台風の特性に応じて大きく変動していることが確認された。

5. 地形変化特性

(1) 地形変化特性

図-7に示した深浅測量を対象に、岸沖方向座標の0～1000mの範囲について100m毎に沿岸方向の水深分布を整理した結果を図-9に示す。図より、2014年6月は南部 (沿岸方向9000～13000mの範囲) では沿岸方向にも水深が変化する三次元的な地形が発達していることがわかる。中部 (沿岸方向5000～9000mの範囲) は、岸沖方向400mの水深が300m、500mより浅くなっており、バーが連続する二次元的な地形であることがわかる。北部の大炊田海岸 (沿岸方向1000～5000mの範囲) では、中部ほどバーが明瞭となっておらず、また南部ほど三次元的な地形が発達していないことがわかる。

5つの台風が通過した後の2014年12月には、沿岸方向4000～7000m付近では岸沖方向400mの水深が深くなり、500mの水深が浅くなったことから、バーが侵食され、その土砂が沖合へ移動したことがわかる。岸沖方向0m (海岸線付近) では沿岸方向5000m付近 (石崎川河口付近) にあった標高の低い箇所が北へ移動し、沿岸方向4500m付近 (サンドバック変状箇所⁵⁾) に近づいたことがわかる。また、大炊田海岸付近では南部のように三次

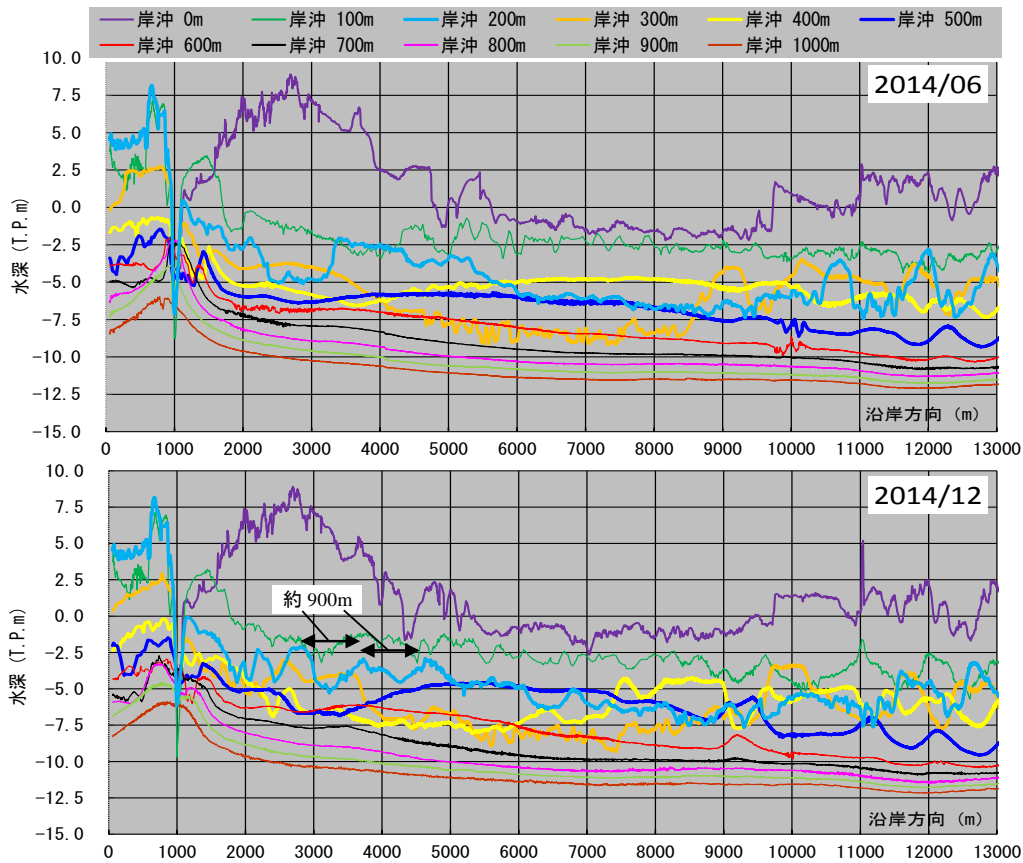


図-9 沿岸方向の水深分布 (2014年6月, 2014年12月)

元的な地形が発達し、岸沖方向200mの水深が波長900m程度で変化していることがわかる。

(2) エッジ波との関連性

台風時に発達した三次元的な地形についてエッジ波との関連性を確認した。図-10に宮崎海岸沖と大炊田海岸について5つの台風ピーク時のスペクトル図を示す。図-10より、大炊田海岸では周期5~15s付近のスペクトルが宮崎海岸沖より減少していること、周期30~300sの長周期変動成分は逆に増加していることがわかる。また、長周期変動成分の内、周期100s以上に注目すると、台風18号のスペクトルが他の台風より大きいこと、台風18号のスペクトルのピークが周期250s付近にみられることがわかる。同周期帯の変動が沿岸方向に進行するエッジ波によるものであると仮定すると、その波長は式(3)⁹⁾で算出できる。

$$L_e = \frac{g}{2\pi} \cdot T^2 \cdot \sin \beta \quad (3)$$

ここに、 L_e : エッジ波の波長、 g : 重力加速度、 T : 周期、 $\sin \beta$: (図-2より1/100と設定)。

算出した波長は約970mとなり、これは前節で示した大炊田海岸付近の三次元的な地形の波長と概ね一致している。このことから、台風18号では特に、大炊田海岸付

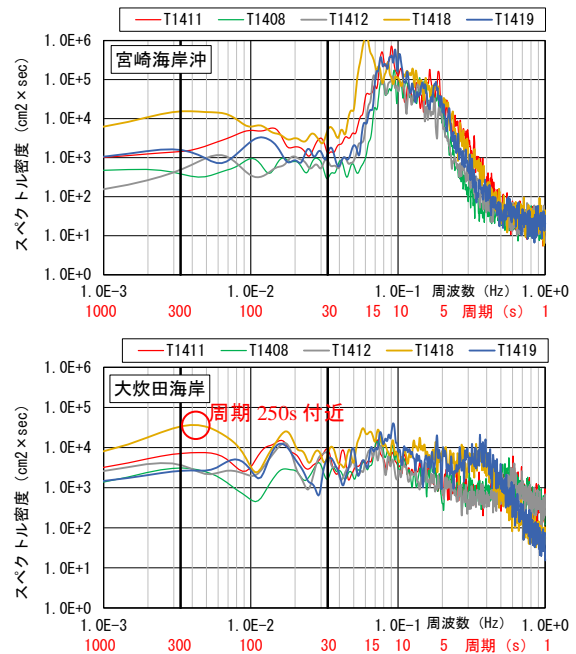


図-10 台風ピーク時のスペクトル

近 (沿岸方向1000~5000mの範囲) ではエッジ波が卓越していた可能性があり、これが三次元的な地形形成に関係していることが示唆された。

6. おわりに

本研究では、宮崎海岸で取得された台風時の砕波帯内外の波浪・海浜流データを分析し、2014年に来襲した特性の異なる5つの台風による砕波帯の動力学過程と土砂移動の関連性を解明した。主要な結論は以下の通りである。

- (1) 台風時に砕波帯内では、平均水位上昇と波向きに応じた強い沿岸流が観測された。
- (2) 波・流れの観測値から沿岸漂砂量を推定し、これが深浅測量による地形変化と整合することを確認した。また5つの台風来襲時の沿岸漂砂量を推定したところ、6か月間の土砂移動において台風による寄与分は大きいこと、および、台風の特성에応じて、土砂移動特性が大きく変動することが確認された。
- (3) 砕波帯内では周期30~300sの長周期変動が発達する。長周期変動の発達は、台風経路と密接に関連していることが明らかとなった。
- (4) 台風期後に観察された三次元的な地形変化について、台風毎のスペクトル特性を整理し、砕波帯内で発達するエッジ波との関連性を分析した。

これらの結論をふまえると、台風による侵食性の地形変化と平常時の堆積性の地形変化の関連性を分析することや、偶発的な台風時の土砂移動が支配的な同海岸で進められている各種侵食対策の役割を再整理することなど

が、今後の課題である。

謝辞：本研究で使用した宮崎港の潮位データは、国土交通省九州地方整備局宮崎港湾・空港整備事務所よりご提供頂いた。また、(株)東京建設コンサルタント橋本氏、堀口氏には地形変化解析について助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国交省宮崎河川国道事務所: 宮崎海岸 Publication, <http://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki/html/kasen/sskondan/>, 参照 2015-05-20.
- 2) Kraus, N.C., M. Isobe, H. Igarashi, T. Sasaki and K. Horikawa: Field experiments on longshore sand transport in the nearshore zone, *Proc. 18th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp.969-988, 1982.
- 3) 合田良実: 耐波工学, pp.65-66, 鹿島出版会, 2008.
- 4) 佐藤慎司: 沿岸域における波・流れと海浜変形, 海岸実務講義集, pp.35-48, 1998
- 5) 村上啓介, 佐藤慎司, 西隆一郎, 松田 博貴, 諏訪義雄, 渡邊国広, 橋本新, 堀口敬洋, 後藤英生, 八木裕子, 竹林秀基, 竹下真治, 堤宏徳, 下田勝典, 上野正弘: 宮崎海岸におけるサンドバック埋設護岸の浜崖後退抑止効果, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No.2, 2015. (印刷中)
- 6) Huntley, D.A. and A.J. Bowen: Beach cusps and edge waves, *Proc. 14th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp.1378-1393, 1978.

(2015.3.18 受付)

THE ANALYSIS OF WAVE, CURRENT AND SEDIMENT TRANSPORT AFFECTED BY TYPHOON IN THE SURF ZONE OF MIYAZAKI COAST

Shinji SATO, Keisuke MURAKAMI, Yoshio SUWA, Ryuichiro NISHI, Hiroki MATSUDA, Masahiro OHNO, Yukihiko SUGIURA, Soutarou TAKASHIMA, Kimiyasu ISHIZAKI, Ryuzi KONDOH, Hideki TAKEBAYASHI, Shinji TAKESHITA, Hironori TSUTSUMI, Katsunori SHIMODA, and Masahiro UENO

Field data of waves and nearshore currents were obtained in Miyazaki Coast due to 5 typhoons which consecutively impacted the coast in 2014. Strong northward currents as well as infragravity motions with periods 30-300 seconds were generated by typhoon waves incident mainly from the south. The characteristics of the motions were closely related to typhoon tracks. Longshore sand transport was estimated on the basis of breaker heights and longshore current velocities. The northward transport of more than 500,000m³ estimated by waves and currents was consistent with bathymetry surveys but in the opposite direction to the long-term southward transport. It was confirmed that the characteristics of sediment transport largely depended on the typhoon property. Alongshore rhythmic nearshore topography developed after 5 typhoons was suggested to be related to the edge waves propagating alongshore.