

台風 8911, 8912 号による高知海岸の海岸欠壊

山口 修*・宇多高明**・原 俊哉***
田中金春***・土居寛幸***

1. まえがき

波による海岸施設周りでの海浜変形の問題は、構造物の機能を保持し、海岸の保全を図る上で重要な問題である。種々の海岸施設のうち海岸堤防・護岸の前面での洗掘に関しては構造物からの反射波が本質的に重要であるとの記述が多くなされている（例えば、樺木，1982）。多くの現地海岸では、侵食の結果広い前浜が消失したとき、侵食の進むのとほぼ同時に護岸や消波工が設置されるので、侵食状況のみから判断すれば構造物を設置したことによって侵食が生じたように思われる。しかし、いくつかの実例を調べると他の原因により侵食が進んだ結果として前浜が消失し、それへの対策として護岸が設置される例が非常に多いことが注目される（宇多，1989）。このことは従来小規模な移動床模型実験によって得られてきた護岸前面の洗掘に関する解釈をそのまま現地海岸へ適用することに問題があることを示している。本研究では高知海岸を例として台風に伴う高波浪来襲時の海浜変形の実態を通じて、上述の問題を考察する。

2. 台風 8911, 8912 号による波浪の来襲状況

高知海岸は土佐湾に面し、東を手結岬により、また西を萩岬によって区切られた延長約 30 km の砂浜海岸である（図-1）。近年、この海岸では離岸堤の工事が進められており、1988 年末までに物部川から西に 27 基と、高知港寄りの十市地先において 43～51 号堤の合計 39 基の離岸堤が完成している。

この海岸では 1989 年の 7 月末に台風に伴う高波浪が来襲した。台風 8911 号は図-2 に示すように 7 月 23 日に北緯 16°、東経 137° 付近で発生し、勢力を強めつつ北西に進路を取り、7 月 27 日に九州の大隅半島に上陸した。その後、九州南部を横断して再び東シナ海へと進んだ。最低気圧は 7 月 26, 27 日の 940 mb である。一方、台風 8912 号もこれとほぼ同じ時期に北緯 21°、東経 133° 付近に発生した。初めは北東方向に進んでいたが、その

後大きく反時計回りに回転し、沖縄方面へと進んだあと、東シナ海で消滅した。このように、1989 年の 7 月末には 2 つの台風が四国沖を並走したために高波浪が発達した。

高知海岸の手結岬の近傍にある住吉観測所（図-1 参照）の水深 11.5 m 地点で測定された有義波高 ($H_{1/3}$)・周期 ($T_{1/3}$) の経時変化を図-3 に示す。 $H_{1/3}$ は 7 月 26 日よ

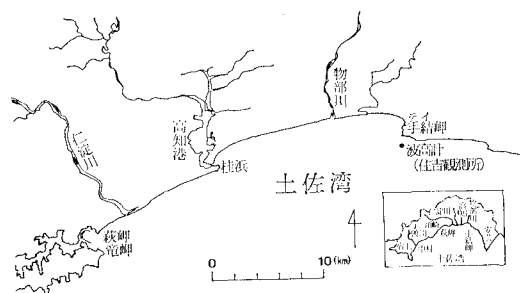


図-1 高知海岸の位置図

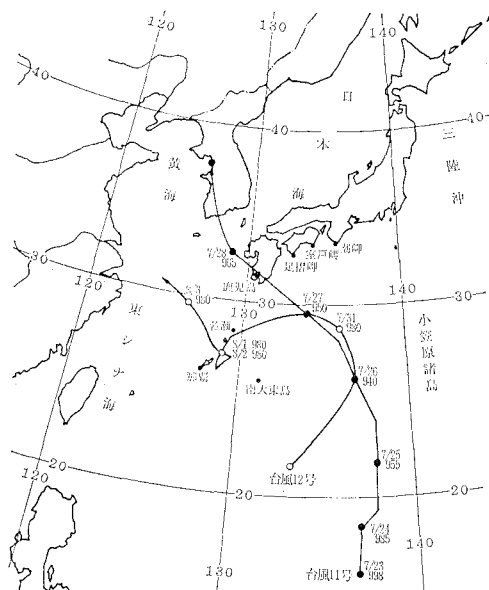


図-2 台風 8911, 8912 号の進路

* 正会員 工修 建設省四国地方建設局高知工事事務所長
** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
*** 正会員 建設省四国地方建設局高知工事事務所

り高まり始め、7月27日16時には最大値の $H_{1/3}=5.29$ m の高波浪が観測された。また、波浪はうねり性であり、 $T_{1/3}$ が約 14 sec と、かなり周期が長い波が来襲したことが特徴である。また、長い周期の波の発生時は、高波高の発生時より全般に早かった。その後、高波浪は7月28日まで継続し、その後は静穏な条件となった。

3. 海浜地形変化状況

3.1 汀線変化

台風来襲前の 1989 年 1 月と台風来襲直後の 1989 年 8 月 16 日の汀線形を測線配置とともに図-4 に示す。沖向き距離の基準は海岸護岸の法線位置とした。汀線形は 200 m 間隔に並んだ測線に沿って測定されているため、沿岸方向にはやや不規則な変化となっている。図には汀線形のみではなく、既設の離岸堤 (27, 43, 44 号堤) の位置も示した。汀線形は全体的に見ると 27 号堤より西側、東沢放水路付近では全体に凹んでおり、それより西、測線 No. 28 付近で最も突出した後、再び前浜幅は狭くなる。

海岸災害を受ける前の 1989 年 3 月 8 日の高知海岸の状況を写真-1 に示す。写真中央に見える突堤状の構造物が東沢放水路である。放水路の東側には異形ブロックが置かれているが、放水路の西側の汀線の方がわずかに後退傾向を示している。また、写真下部の汀線が大きく湾曲しているのは、手前側に 27 号離岸堤があり、その背後で舌状砂州が発達しているためである。また前方に数多く並んでいるのは、43~51 号離岸堤である。

台風後、東沢放水路の西側では汀線が大きく後退し、

最大汀線後退量は放水路西側側面における約 26 m であった。汀線の後退量は放水路からの沿岸方向距離とともに減少し、測線 No. 26~No. 30 の間の汀線後退量は 3 m 以下である。ところが、43 号離岸堤の背後域では汀線が最大約 18 m も前進している。さらに、27 号堤西側の汀線の湾曲部分でも汀線は後退傾向を示すが、東沢放水路の東側隣接部では局所的な堆積が見られる。台風後の 8 月 21 日に撮影された海岸の全体状況を写真-2 に示す。東沢放水路の西側で汀線が後退し、上方に見える 43 号堤の背後付近で土砂が堆積している状況が見てとれる。

以上のように、今回の台風時の高波浪による汀線変化は、沿岸方向に堆積・侵食特性が変化することが特徴である。高波浪に伴う沖向き漂砂によって前浜の侵食が生じたとすれば、沿岸方向にはほぼ一様に侵食が生ずるはずであり、図-4 に示したような侵食、堆積箇所の極端な相違は生じないと考えられる。このことから、台風に伴う高波浪による海浜変形の原因として、斜め入射波による西向きの沿岸漂砂が重要であったことが指摘される。

3.2 海浜断面形の変化

台風に伴う高波浪による急速な地形変化を分析するに際しては、海浜の長期的変動について十分理解した上で短期的変動特性を調べる必要がある。そのため宇多・武中(1989)と同様な方法により、まず代表的に 3 測線 (測線 No. 22, 24, 28) を選び、それらの断面における 1985 年~1989 年の断面変化を図-5 に示した。地形変動が最も顕著に表われている測線 No. 24 に注目すると、前浜付近の勾配は約 1/10 と非常に急であるが、その沖では勾配が緩くなり、バー・トラフ地形の発達が見られる。1985 年では比高 2.6 m のバー・トラフ地形が発達してい

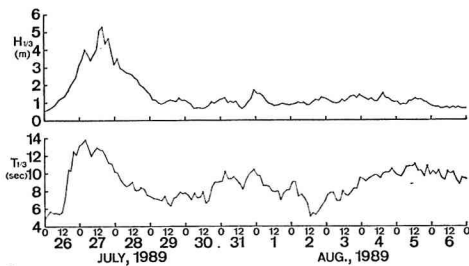


図-3 台風時の有義波高、周期の経時変化

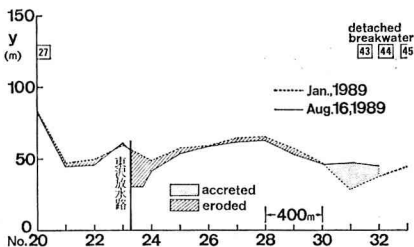


図-4 離岸堤、東沢放水路の配置と汀線の変化

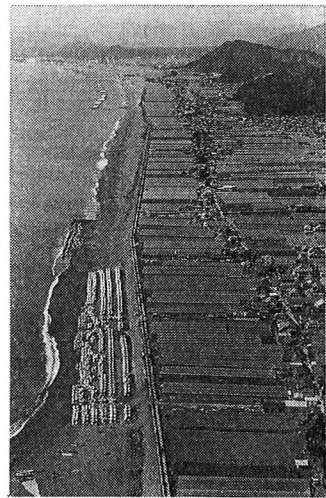


写真-1 東沢放水路を中心として西方を望む (1989.3.8 撮影)

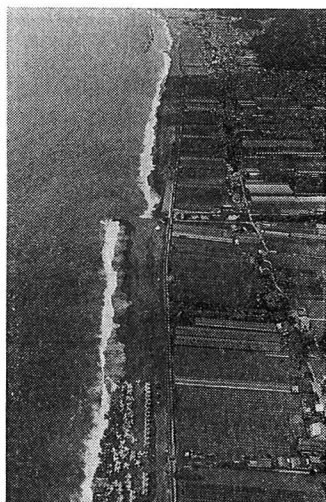


写真-2 東沢放水路を中心として西方を望む
(1989.8.21 撮影)

たが、経年的にトラフは埋め戻され、バーが削られた結果、1989年1月にはバー・トラフ地形は消失した。この間の地形変化は時間的意味において非常に緩やかに生じたことが特徴である。また、沖合でのバー・トラフ地形の大規模な変動はあったものの、前浜上ではこれに対応した地形変化がほとんど見られない。バー・トラフよりも沖合の地形変化量は水深の増加とともに減少し、ほぼ-11mにおいて各年の断面形は重なりを示す。深浅測量には誤差が伴うことを考慮しても断面形の一致度はかなり良好である。このことより、この断面における1985年～1989年間の漂砂の移動限界水深はほぼ11mにあったことが結論される。

測線 No. 24 より東に 400 m 離れた No. 22 や西に 800 m 離れた No. 28 においても、No. 24 で見られたと同様な特徴が見られる。しかし、No. 22, 28 とも 1985 年におけるバー・トラフ地形の発達 No. 24 ほど顕著ではなく、比高も 1.7 m (No. 22), 0.8 m (No. 28) と低くなっている。一方、漂砂の移動限界水深は共に約 11 m であって、図示した 3 断面でいずれも移動限界水深は一致を見ている。長期的に見れば海浜断面形は水深約 11 m 以浅で変動していたと言える。

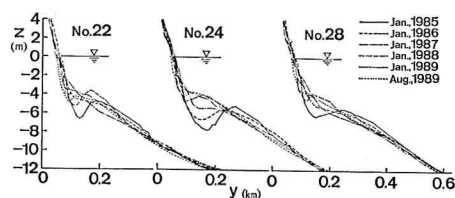


図-5 測線 No. 22, 24, 28 における海浜断面形の長期的変化

図-5 では、沖合の移動限界水深より深い水深までの範囲の海浜断面形を示した。一方、台風時には比較的浅海域で地形変化が生じたために、図-5 と同じスケールでは台風前後の断面形の変化を明瞭に示すことはできない。このため、それ以深では顕著な地形変化が見られないことを確認した上で、移動限界水深近傍の -10 m より浅い範囲の断面形の変化を示した(図-6)。また台風をはさんだ 2 時期のデータのみを示し、侵食域と堆積域を区別した。図-4 の汀線変化図において汀線の最も後退した地区に近接する測線 No. 24 では、汀線付近の急斜面を形成する -4 m ~ -3 m の範囲で大きく侵食された。一方、その沖合の緩勾配斜面上では変化量はそれほど大きくないものの、-7 m 付近までの広い範囲で土砂が堆積した。汀線付近の侵食域とその沖合の堆積域の断面積は各々 89 m³, 67 m³ となり、沖合の堆積域の面積は侵食域の約 2/3 を占める。その隣に位置する測線 No. 25 においてもほぼ -4 m 以浅が侵食され、その沖合には一部堆積域が存在する。この場合も侵食・堆積域の面積を求めると、それぞれ 97 m³, 51 m³ となり、堆積域の面積は侵食域の約 1/2 となった。このように、いずれの測線においても各断面内での沖向き漂砂を考えただけでは土砂収支が成立しないことになる。図-6 には堆積域を代表する測線 No. 31 の断面形も示した。この断面では侵食域の面積はほとんど無視しうる量であり、断面内で大量の土砂が堆積している。このことは測線 No. 24, 25 において土砂量の欠損があることと良い対応を示す。以上の点より、今回の高波浪では主として沿岸漂砂による地形変化が生じ、それに部分的に沖向き漂砂が重なっていたと推定される。

4. 写真による海浜変形の把握

写真-3 は海岸災害後の 1989 年 7 月 28 日に撮影された東沢放水路の西側の状況を示す。海岸堤防の海側にあった工事用道路の下部が激しく侵食され、急な浜崖が形成された。このような侵食状況のみから判断すると、侵食土砂は沖方向へ移動したように見える。しかし、図-5 に示したようにこの断面では沖方向への土砂移動量もあるものの、沿岸漂砂による土砂の西向き移動量も大

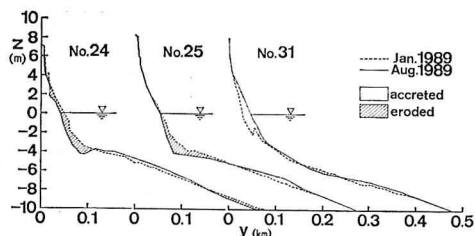


図-6 台風前後での海浜断面形の短期的変化

きかったことが特徴といえる。

東沢放水路の東側、写真—3 と対照的な位置の海岸状況を写真—4 に示す。放水路の東側でも浜崖が形成されているものの、海浜の侵食量は写真—4 の場合より明らかに小さい。この位置のすぐ西側には放水路があり、それにより西向き漂砂移動が阻止されているため放水路の東側では侵食量が小さく、西側では侵食が著しくなったと考えられる。

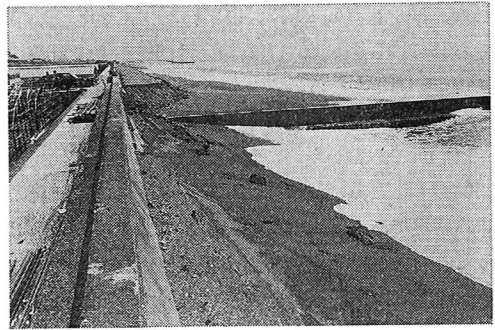
1989年8月5日に撮影された東沢放水路の全景を写真—5 に示す。放水路の西（手前）側では基礎の矢板が露出しているのに対し、東側では天端上にまで土砂が堆積しており、放水路を挟んで左右の地盤高が全く異なっている。このことは、構造物周辺での地形変化が主として沿岸漂砂によるものであったことを示している。

東沢放水路の東側の8月5日における海岸状況を写真—6 に示す。写真—3 とほぼ同じ場所の1週間後の状況である。高波浪の作用により、写真—3 で見られた海岸護岸前面の工事用道路は完全に流失し、海岸護岸がむき出しになった。海岸堤防のパラベット下部における災害前の地盤高と高波浪後の地盤高とを比較すると、生じた地形変化がいかに大きかったか理解できる。

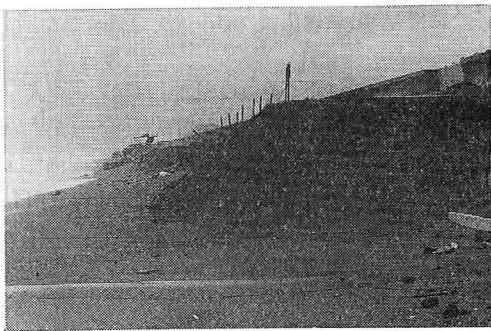
東沢放水路より1.6 km 西の43号離岸堤の背後では、放水路周辺の変化と顕著な相違が見られ、前浜には大量の土砂が堆積した。8月1日に撮影した海岸状況を写真

—7 に示す。写真の中央付近に見える消波ブロックは、高波浪によって沈下したのではなく、打ち上がった土砂の中に埋没したものである。また、写真左端に見える根固工の前面の段差の下にあるのは、根固工基礎のフトン籠である。同年の3月末にはもう少し広い範囲が表面に出ていたが、ほとんど埋没した。

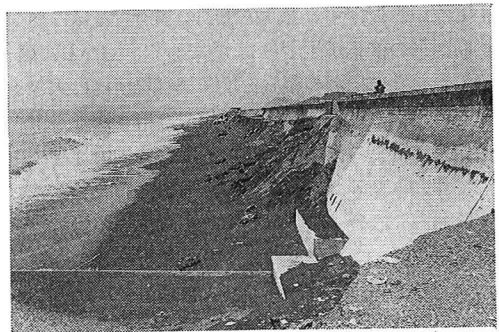
このように、東沢放水路付近と43号離岸堤周辺では同じ時期において、互いに逆モードの現象が生じたことが分かった。これらのことから、高波浪によって海浜が著しく侵食されたからといって、それがただちに沖向き漂砂によると判定するのは誤りであることが理解できよう。



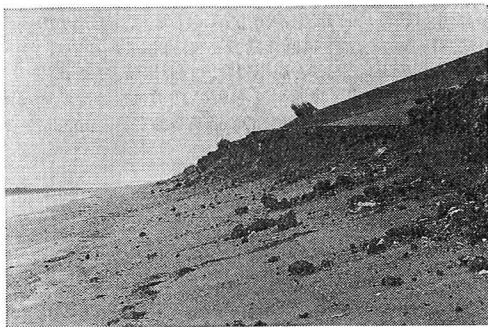
写真—5 東沢放水路の状況 (1989.8.5 撮影)



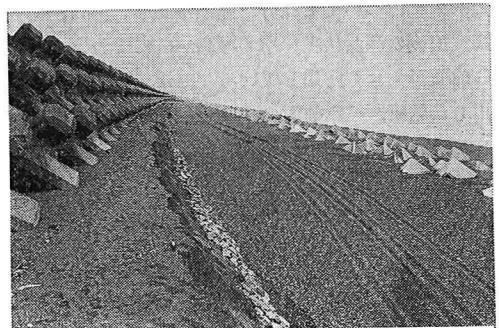
写真—3 東沢放水路の天端上より西方を望む
(1989.7.28 撮影)



写真—6 東・沢放水路の西側の海岸侵食状況
(1989.8.5 撮影)



写真—4 東沢放水路の東側の海岸状況 (1989.7.28 撮影)



写真—7 43号離岸堤の東端背後の土砂の堆積状況
(1981.8.1 撮影)

5. 考 察

岸沖方向漂砂による2次元海浜断面変化に関しては、過去にかなり多くの研究が行われてきている。その中で堀川ほか(1973)は、前浜の侵食・堆積の判別式を提案した。堀川らによれば、前浜が侵食されるタイプⅠは、式(1)において $18 \leq C$ の条件を満足する場合とされている。

$$C = (H_0/L_0)(\tan \beta)^{0.27}(d/L_0)^{-0.67} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 H_0 : 沖波波高, L_0 : 沖波波長, $\tan \beta$: 海底勾配, d : 底質粒径である。高知海岸において高波浪時に生じた海浜変形に関し、式(1)の適用を試みる。

高知海岸の前浜中央粒径に関しては1975年に分析が行われ、No. 8, 16, 24, 32の平均で4.8mmという値が得られている。また、前浜勾配は図-6より計算すると $\tan \beta \approx 1/10$ となる。さらに、図-3より最も高波浪となった7月27日16時のデータによれば、 $H_0 = 5.3\text{m}$, $L_0 = 248\text{m}$ であるから、これらの値を式(1)へ代入すると、 $C \approx 17$ となる。この値は前浜が侵食され、沖合に堆積する状況である $C \geq 18$ の限界値に非常に近い。したがってこの条件は前浜の侵食が生じ始める限界となる。図-6によれば、前浜の侵食と対応して沖合に一部の土砂が移動しているから判定結果は実測値と一致する傾向にある。しかし、海底勾配や底質粒径が沿岸方向に余り変化しないと仮定すると、いずれの場所でもほぼ同様な海浜断面形の変化が生ずるはずである。しかし、図-4に示したように前浜の侵食・堆積域は場所的に大きく変化する。以上の点より、高知海岸では第1次モードとして沿岸漂砂による地形変化が生じ、これに第2次モードとして沖向き漂砂が重なっていたと考えられる。式(1)による沖向き漂砂の判別結果は、実測値との対応を示すことから、式(1)自体の有効性はあるものの、今回の高知海岸での海岸決壊は波が斜め入射する効果が著しかったために、前浜の侵食を式(1)によってのみ判定することは困難といえる。結局、現地海岸で前浜の侵食、堆積原因を考える際に式(1)を適用する場合には沿岸モードの地形変化についても充分な配慮が必要である。

高波浪後の海浜状況を示す写真-6によれば、海岸護岸の前面が大きく露出している。したがって、高波浪が作用した結果、護岸前面の土砂が沖向き漂砂によって運ばれたかのように思われる。しかし、一連の砂浜海岸の

西端では土砂の堆積が生じたことは既に述べた通りである。したがって、写真-6のみから漂砂の動向を判定することはできず、沿岸方向の他の地点の海岸状況と併せて判定すべきである。少なくとも、高知海岸の場合、写真-6のような海岸決壊の主因は沖向き漂砂ではなく、沿岸漂砂といえるから、写真-6は結果を示しているに過ぎない。結局、海岸侵食災害の調査においては、局所の災害状況に目を奪われることなく、海岸全体を見つめるべきことが指摘される。その際、沿岸にある種々の構造物の左右の海浜変形状況に差がないかどうかに着目する必要がある。もし、構造物周りで地形変化が非対称であれば沿岸漂砂が関与する可能性が高く、構造物との相対位置によらず沿岸方向にほぼ一様な変化が見られる場合は沖向き漂砂が関与していると考えられる。

6. 結 論

本研究での主要な要点を以下に示す。

- ①台風8911, 8912号に伴う高波浪により、高知海岸の東沢放水路付近では激しい侵食が生じた。一方、一連の砂浜海岸の西端付近にある43号離岸堤付近では堆積が生じた。このことから、海浜変形の主因は沿岸漂砂によるものであることが判明した。
- ②東沢放水路の西側では激しい侵食により海岸護岸の前面が露出したが、このことのみから構造物の反射による沖向き漂砂が発生したと判断することの誤りを指摘し、漂砂の動態を知るには広域の海岸状況を調べることの重要性を示した。
- ③堀川ほか(1973)による前浜の侵食・堆積の判定式を適用させたところ、 $C \approx 17$ なる値が得られ、これが限界条件($C=18$)にほぼ等しいことから、選ばれた測線では沖合部での土砂の堆積、前浜の侵食を定性的には説明し得た。しかし、海浜変形の沿岸方向での非一様性の見地より、現地海岸への判定式の適用性については疑問が残された。

参 考 文 献

- 宇多高明・武中信之(1988): 高知海岸における大規模なバー・トラフ地形の形成, 第43回年講概要集, pp. 754~755.
- 宇多高明(1989): 海岸護岸や消波工の存在は前浜消失の誘因となり得るか?, 第44回年講概要集, pp. 42~43.
- 樫木 亨(1982): 漂砂と海岸侵食, 森北出版, 195p.
- 堀川清司・砂村継夫・鬼頭平三(1973): 波による海浜変形に関する一考察, 第20回海岸工学講演会論文集, pp. 357~363.