

台風 9109 号による高知海岸（長浜・戸原地区） の海岸災害の分析

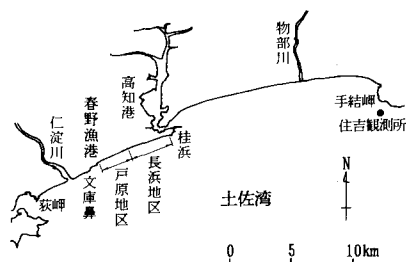
宇多高明*・上森千秋**・門田時廣***・岡本俊策****

1. ま え が き

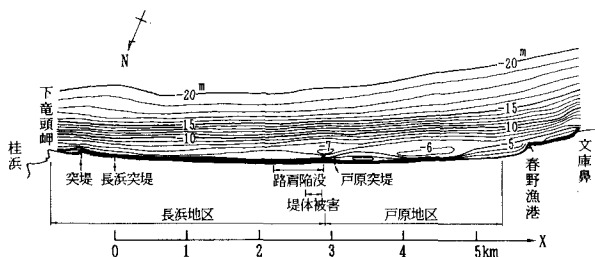
高知海岸の桂浜から甲殿漁港の間、約 6 km に広がる長浜・戸原地区は、近年侵食傾向が著しい。ここでは、1991 年 7 月 28 日から 30 日にかけて来襲した台風 9109 号の高波浪により、海岸護岸の一部が崩壊し、護岸上の道路の路肩が陥没する被害が発生した。被害の直接的原因は、護岸前面が波によって洗掘され、堤体が吸い出しを受けたことによる。しかし、より根本的原因としては、当海岸の漂砂源である仁淀川からの供給漂砂量が減少するとともに、春野漁港の防波堤により沿岸漂砂が阻止されたことにより当地区の前浜が次第に減少する傾向にあったこと（宇多ほか，1985）があげられる。また、海岸に侵食対策として設置された突堤の間隔が広過ぎたため、海浜の安定化に十分役立たなかったことも指摘される。さらに、深浅データの分析によれば、災害区域沖合の水深 10 m 付近で海砂利採取のために海底掘削が行われてきており、それが入射波浪に変化をもたらしたことも指摘される。このように当地区での海岸災害は複合的要因により発生しているが、こうした状況は全国各地でしばしば見られるところである。したがって、高知海岸の侵食原因の分析を進めることは、複合的要因による海岸侵食の機構を調べる上でよい事例になると考えられる。そこで本論文では、この災害時における海浜地形変化の分析を試みる。

2. 台風 9109 号による海岸災害の概要

高知海岸は土佐湾の湾奥に位置し、西は土佐市萩岬より東は手結岬に至る延長約 30 km の砂浜海岸である（図—1）。このうち本研究の対象とするのは、桂浜の西側に位置する長浜・戸原地区である。まず、この地区において、図—2 に示すように桂浜近傍にある 2 基の突堤のうち西側にある突堤に原点をとり、ここより汀線にほぼ平



図—1 高知海岸の長浜・戸原地区の位置図



図—2 長浜・戸原地区の深浅図と座標系の設定

行、西向きに X 軸を定める。この X 座標を用いると、下竜頭岬から $X = 2.9$ km までが長浜地区、 $2.9 \text{ km} \leq X \leq 5.33 \text{ km}$ が戸原地区に区分される。そして、 $X = 0.0$ 、 3.03 km に位置する突堤をそれぞれ長浜突堤、戸原突堤と呼ぶこととする。図—2 には、1988 年 11 月の深浅図も併せて示す。戸原地区の西端より 0.35 km には春野漁港が、さらにその西 0.75 km には文庫鼻がある。これら 2 地点では海岸に突堤状の構造物または岬があるために、そこで沿岸漂砂が阻止され、その東側の海岸線がフック状になっている。このことは、この付近での沿岸漂砂の卓越方向が東向きであることを示している。そしてこのような沿岸漂砂の卓越方向は、同じ区域において汀線変化より示された漂砂の卓越方向（宇多ほか，1985）ともよい一致を示す。また、甲殿川河口と戸原突堤の間では、 -6 m 付近にかなり広いステップが存在するが、このステップの幅は東側ほど狭く、長浜突堤沖ではほぼ見られなくなる。さらに、沖合の $-7 \text{ m} \sim -17 \text{ m}$ の間の勾配は約 $1/30$ 、 -17 m 以深の勾配は約 $1/160$ である。

高知海岸で大きな災害をもたらした台風 9109 号は、

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長（前海岸研究室長）

** 正会員 農博 高知大学名誉教授

*** 高知県土木部河川課

**** 技研興業（株）（元建設省土木研究所海岸研究室室外研究員）

図-3に示すように1991年7月24日、北緯14.3°、東経132.0°の地点で発生し、その後NNW方向へ進み、7月27日には中心気圧が955 mbに発達したあと、沖縄本島の南西でNNEに進路を変え、7月28、29日には940~970 mbの勢力を保ちつつ、対馬海峡を日本海に抜けて7月30日には温帯低気圧となった。この台風により、高知海岸ではかなりの高波浪が来襲した。手結岬の近傍にある住吉観測所(水深11.5 m、図-1参照)で測定された有義波高($H_{1/3}$)、周期($T_{1/3}$)および入射波高(θ)の経時変化を図-4に示す。ここに、波高 θ はX軸を基準として反時計回りの方向にとった角とする。 $H_{1/3}$ は7月27日より高くなり始め、7月29日の15時には最大値3.89 mに達した。しかし、7月30日の18時頃には台風来襲前の波高レベルに戻った。一方、 $T_{1/3}$ は7月28日にはうねり性の波で11~12 sの値を有していたが、 $H_{1/3}$ が最大となる29日には10 s程度の値となった。次に、 θ は、25°~35°の狭い範囲より入射している。台風が高知海岸の西側を通過したことで、まず $H_{1/3}$ が2~3 m、 $T_{1/3}$ が11~12 sのうねり性の波浪が来襲し、その後 $H_{1/3}$ が3~4 m、 $T_{1/3}$ が10 s前後の波浪となったことが分かる。また波の入射方向と海岸線とのなす角を考えれば、台風9109号の来襲時には東向きの沿岸漂砂が著しく卓越したことが明らかである。

台風に伴う高波浪により、長浜地区の2.2 km $\leq$ X $\leq$ 2.8 km区間で道路の路肩が陥没し、X=2.6 km付近では海岸護岸の堤体が崩れ落ちた。堤体の崩壊部分では、

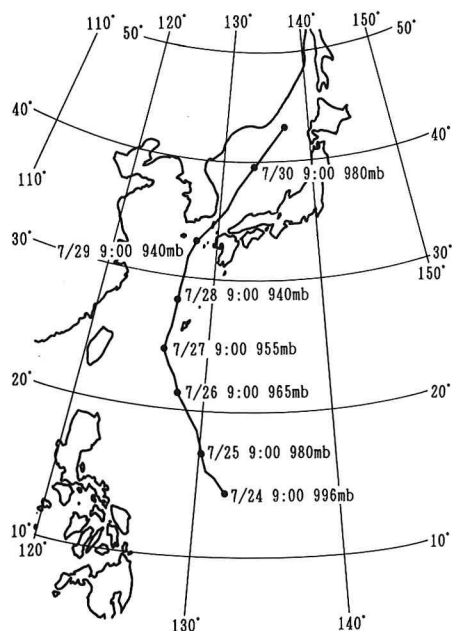


図-3 台風9109号の進路

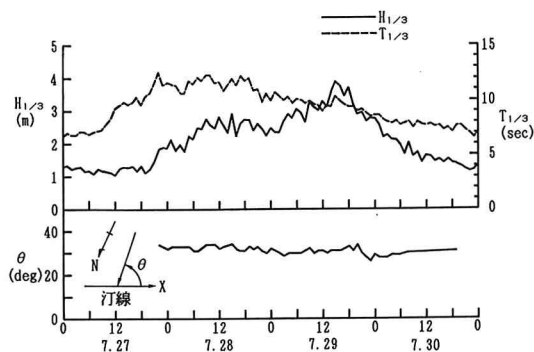


図-4 台風時の有義波高、周期および波向の経時変化

7月20日の時点で既に写真-1に示すように前浜が減少傾向にあり、護岸下部の砂で覆われていた部分が露出し、白っぽく見えている。7月29日になると、写真-2のように堤体前面の前浜が消失し、波が堤体脚部に直接当たり基礎矢板が露出するようになった。その結果、7月30日には写真-3のように堤体脚部からの吸い出しを受け堤体が全面的に崩壊し、路肩が崩れ落ちた。災害前後にほぼ同じアングルより海岸護岸と海浜状況を撮影した写真-1、4を比べると、被災前後における前浜の減少状況がよく分かる。護岸の直接的な被災原因は前浜の減少により高波浪が直接堤体に作用したことであり、汀線の後退が被災を招いたといえる。



写真-1 被災現場(7月20日、被災前)

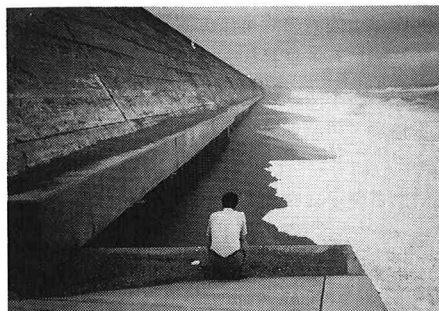


写真-2 海岸護岸の堤脚部(7月29日、被災前)



写真-3 海岸護岸の被災状況（7月30日）



写真-4 被災現場（7月30日，被災後）

3. 汀線変化

以下では汀線変化データをもとに前浜の変化状況を調べてみる。汀線変化調査は、長浜地区と戸原地区で別々に行われているため、まず長浜地区における1990年8月から1991年8月までの汀線変化を図-5に示す。図-5によると、過去1年間、長浜突堤の西側隣接域では汀線が最大36mも前進し、これと逆に、 $2.5\text{ km} \leq X$ の区域では最大31m後退した。特に台風9109号の来襲前後の7月13日と8月7、8日の汀線を比較すると、2つの突堤周辺での汀線の前進・後退が著しくなった。図-5に示した汀線変化は、長浜地区において過去1年間東向きの沿岸漂砂が卓越していたことを示す。また、このことから写真-1に示した1991年7月20日の段階で既に戸原突堤の東側隣接部で侵食が進んでいたことが理解される。

同様に、戸原地区における1988年7月より1991年8月までの汀線変化を図-6に示す。この区間には $X \approx 3\text{ km}$ に戸原突堤があり、また $X \approx 5.23\text{ km}$ より西側には消波工が連続的に設置されている。これら2種類の構造物は共に沿岸漂砂をほぼ阻止するため、構造物周辺で特徴ある汀線変化が見られる。1988年～1989年では、戸原突堤の東側で汀線が前進したとき、突堤の西側隣接域では後退し、そして消波工の設置区間に隣接する $X \approx 5\text{ km}$ 付近では汀線が大きく前進している。山口ほか（1990）

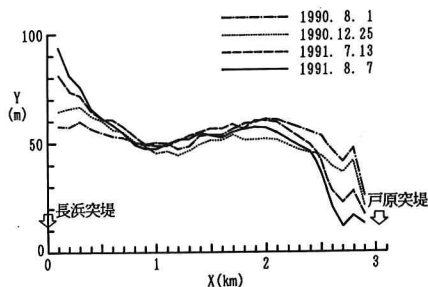


図-5 1990年8月～1991年8月の汀線変化（長浜地区）

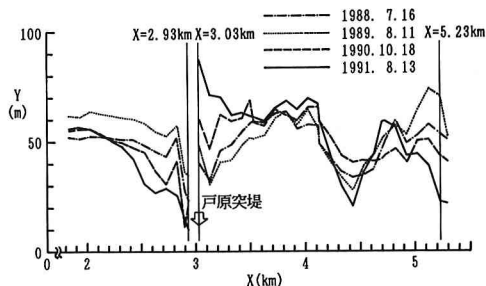


図-6 1988年7月～1991年8月の汀線変化（戸原地区）

は、高知海岸の東沢放水路周辺において、同じ時期西向きの沿岸漂砂が卓越し、放水路の西側隣接部で汀線が大きく後退したことを明らかにしたが、この結果と、長浜・戸原地区におけるこの期間の西向き漂砂の卓越とは非常に一致を示す。その後、1989年～1990年では汀線変動はまったく逆転し、さらにそうした状況が1991年8月まで継続して構造物周辺での汀線変化が著しくなった。以上の点より、この地先では少なくとも1989年以前の1年間と、それ以降では沿岸漂砂の方向が反転し、前者では西向きの沿岸漂砂が、そして後者の期間では東向きの沿岸漂砂が卓越したことがわかる。

図-6に示した汀線変化では突堤等の構造物周辺での汀線の詳細な時間的变化は理解しにくい。そこで、図-6に示す3測線（ $X=2.93, 3.03, 5.23\text{ km}$ ）を選んで汀線の経時変化図として図-7にとりまとめた。1987年より1988年中頃までの期間では、3測線とも汀線の変化は大きくない。その後、1988年中頃～1989年中頃では3測線とも汀線が前進傾向を示したが、1990年以降、 $X=2.93, 5.23\text{ km}$ では汀線が大きく後退を示した。一方、 $X=3.03\text{ km}$ では大きく前進しており、互いに対照的な変化を示す。こうして突堤を挟んで互いに隣り合う地点の汀線がシーソーのような動きを示したことは、この付近で東向きの沿岸漂砂が明らかに卓越したことを表わしている。そして、 $X=5.23\text{ km}$ 測線の汀線が、 $X=2.93\text{ km}$ 測線のそれと同じ変化を示すのは、戸原地区の西端より甲殿川河口の間に設置された消波工が戸原突堤と同

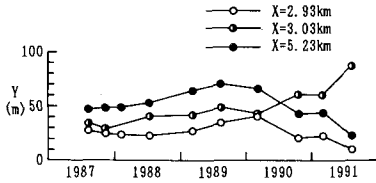


図-7 代表地点における汀線の経時変化
($X=2.93, 3.03, 5.23$ km)

様に沿岸漂砂の移動を阻止したためである。

台風 9109 号の来襲時には入射波向 θ が汀線に対して 30° 前後であったことから、東向き漂砂が卓越したことはまちがいないが、図-5, 6 の汀線変化よりこのことは更に裏付けられる。ところで、図-5 より $0 \leq X \leq 2.9$ km 間における前浜面積の変化量を求めると、1990 年 8 月 1 日～1991 年 8 月 7 日の間での前浜の増加面積は $8.7 \times 10^3 \text{ m}^2$ 、減少面積は $1.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ となる。同様に、1991 年 7 月 13 日より 8 月 7 日までの間で、 $1.8 \text{ km} < X$ の侵食域での前浜減少面積を求めると、 $6.0 \times 10^3 \text{ m}^2$ となる。

4. 海浜断面変化

沿岸漂砂による海浜断面形の変化を調べるために、長浜地区より $X=0.8, 2.1, 2.45, 2.55$ km の 4 断面を選び、図-8 に示す。長浜地区の $X=0.8$ km, 2.1 km 断面は汀線変化は少なく、堤体が被災した区域の東側にある。また、 $X=2.45$ km, 2.55 km 断面は汀線が後退し、堤体が大きく被災した箇所に相当する。全体的な特徴として、 $100 \text{ m} \leq y \leq 300 \text{ m}$ の $Z=-6 \sim -7$ m 付近にはステップが形成されており、これより陸側ではほぼ $1/10$ 勾配、沖側では $1/20 \sim 1/30$ 勾配の斜面となっている。

$X=2.45$ km, 2.55 km 断面に注目すると、地形変化はステップより浅い部分と、 $y \approx 300 \sim 400$ m 付近とで生じている。ステップ以浅での汀線変動と一体的な断面変化は、図-5, 6 に示した汀線変化と対応した海浜変形であり、沿岸漂砂に起因すると考えられる。そしてその場合の地形変化の限界水深は 6 m 付近にある。山口ほか (1990) は、台風 8911, 8912 号による高知海岸の海浜変形を調べ、これらの台風では -7 m 以浅で著しい海浜変形が生じたと述べているが、上述の限界水深はこれよりわずかに浅い。台風 8911, 8912 号の来襲時における高波浪の継続時間は今回の台風時とほぼ同様、約 2 日間であったが、出現波浪は最大値が 5.29 m と高かった。このため今回調査時の限界水深がやや小さくなったと考えられる。ところで、図-9 には仁淀川河口沖における底質中央粒径の水深方向分布を示すが、これによると、汀線から -5 m までは中央粒径が $1 \sim 10$ mm 程度の粗砂もしくは礫であるのに対し、 -10 m 以深では $0.1 \sim 1$ mm の細砂と

なっており、 $-5 \sim -10$ m の間で底質中央粒径が大きな変化を示す。現地海岸では、底質中央粒径の水深方向分布と、波による地形変化の限界水深はよく対応すること (例えば、宇多・野口, 1990) が示されているが、図-9 によれば地形変化の限界水深は水深 $5 \sim 10$ m の間にあると推定され、断面変化より推定された限界水深約 6 m と矛盾しない。

一方、 $y \approx 330 \sim 390$ m の沖合には 1990 年 10 月から 12 月の間に大きくぼみが形成されているが、これは海砂利採取のための海底掘削が行われたことによる。この穴は $X=1.9 \sim 2.7$ km 区間の沖合に存在し、その後 1991 年 7 月までに岸側・沖側斜面が侵食され、ステップの肩に相当する -6 m 付近が約 30 m 岸側へ近づいた。いわば埋め戻しが生じたことになる。宇多ほか (1985) は、仁淀川沖で行われた海底掘削で形成された掘削穴の変形を調べたが、その場合も埋め戻しが見られた。さらに、前回の調査では掘削穴背後の汀線の後退が見られたことを考慮すると、図-5 に示した汀線の著しい後退の一部は、掘削穴の形成にもよると考えられる。

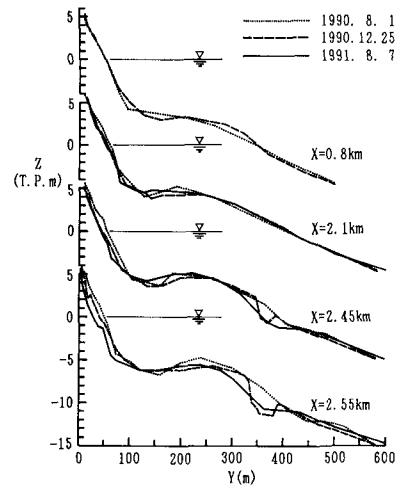


図-8 長浜地区の断面図 ($X=0.8, 2.1, 2.45, 2.55$ km)

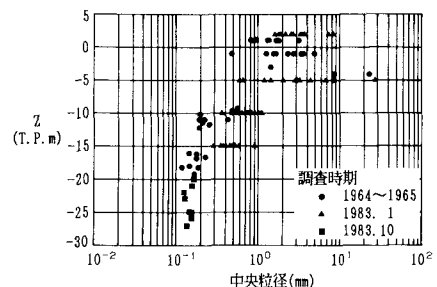


図-9 仁淀川河口付近の底質中央粒径の水深方向分布

5. 移動高と沿岸漂砂量の推定

$X=2.55$ km 断面では顕著な変化が見られたので、この測線のデータより漂砂の移動高を求めてみる。1990 年 8 月と 1991 年 8 月の断面を比較すると、陸上の約 6 m から -6 m までの断面積変化量は $1.8 \times 10^2 \text{ m}^2$ 、また汀線変化量は約 21 m である。これら両者の比は近似的に漂砂の移動高に等しいので、比を求めると、移動高は 8.6 m となる。さらに、前節で求めた前浜の面積変化量にこの移動高を乗じて土砂移動量を求めると、戸原突堤の東側に隣接する侵食域での土砂減少量は約 $1.4 \times 10^5 \text{ m}^3$ となる。戸原突堤の先端水深は約 6 m であって、断面変化図より判断すれば沿岸漂砂を十分阻止する能力を持っている。したがって戸原突堤を横切る漂砂量はほぼ 0 と近似できるので、長浜地区の中央部を東向きに移動した漂砂量は $1.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。同じく、台風前後の 1991 年 7 月 13 日より 8 月 7 日までの期間に戸原突堤の東側隣接区域より流出した土砂量は $5.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ となる。

6. 考 察

以下では海底掘削が波浪変形に及ぼす影響を調べることにする。台風 9109 号が来襲した 7 月 29 日 15 時に観測された有義波高の最大値より $H_{1/3}=3.89 \text{ m}$ 、 $T_{1/3}=10.3 \text{ s}$ を入射波とし、これより換算沖波波高 H_0' を求め、波形勾配 H_0'/L_0 を計算すると、0.024 となる。また沖浜勾配を $1/30$ とすると、 $h_0/H_0'=1.56$ となるので、 $h_0=6.1 \text{ m}$ と求められる。この値から判断すると、入射波はちょうどステップの肩付近で碎波することになる。したがってこの海底掘削により、碎波点は約 30 m 岸側に前進したと考えられる。そしてこのことは、堤体への波力の増大をひき起こしたと考えられる。

以上より、長浜地区では東向きの沿岸漂砂による土砂流出と海底掘削により、 $2.4 \text{ km} \leq X \leq 2.9 \text{ km}$ 区間で汀線が後退し、堤体前面の前浜が減少したことで波が直接堤体に当たったことが被災の原因であると言える。そして、海底掘削により堤体に作用する波力が増大したことも被災の一因になったと思われる。

ところで、長浜・戸原地区では侵食対策として突堤が

設置されていたが、図-5 に明らかなように、突堤間隔が広過ぎたため十分効果的でなかった。図-5 の長浜突堤の西側の汀線形を見ると、漂砂の上手側約 800 m の区間では汀線が前進し、戸原突堤の東側約の 800 m 区間では著しい汀線の後退が見られる。図-5 の汀線変化のうち、汀線の前進域と後退域とを接続して考えると、その場合の汀線変化は突堤間隔が約 1600 m の場合と同様である。このように突堤間隔が 1600 m と広いため約 70 m の汀線変動が見られたのであるから、この間を 2 分し、例えば約 800 m 間隔で突堤を建設すれば、同じ入射波条件でも汀線の全変動量は現況の $1/2$ 以下すなわち 35 m 以内でできると考えられる。

7. 結 論

本研究の主要な成果は以下のようである。

① 高知海岸の長浜・戸原地区では、台風 9109 号によって海岸護岸が被災した。その主な原因は、東向きの沿岸漂砂が突堤により阻止されて護岸前面の汀線が後退し、前浜が減少した条件で台風の高波浪が堤体に直接作用したことにある。

② 被災現場の沖合で行われた掘削により、台風 9109 号の来襲時には碎波点が約 30 m 岸側に接近し、波力が増したことも被災の一因である。

③ 1990 年～1991 年での海浜変形では、長浜・戸原地区での沿岸漂砂による地形変化の限界水深は約 6 m であった。また 1990 年～1991 年での沿岸漂砂量は $1.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定された。

④ 長浜・戸原地区の侵食災害を防ぎ、汀線の全変動量を現況の $1/2$ 以下にするには、突堤間隔を少なくとも 800 m 以下にすべきことが示された。

参 考 文 献

- 宇多高明・上森千秋・中條徳翁 (1985): 海底掘削にともなう海底変形, 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp. 410-414.
- 宇多高明・野口賢二 (1990): 富山県東部宮崎・境海岸における海浜変形の実態, 地形, Vol. 11, No. 4, pp. 337-347.
- 山口 修・宇多高明・原 俊哉・田中金春・土居寛幸 (1990): 台風 8911, 8912 号による高知海岸の海岸欠陥, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 464-468.