

茨城県下桜井海岸での異常な斜め入射波による 急激な侵食

BEACH EROSION CAUSED BY EXTRAORDINARY OBLIQUE WAVE INCIDENCE ON SHIMOSAKURAI COAST IN IBARAKI PREFECTURE

宇多高明¹・大木康弘²・住谷迪夫³
Takaaki UDA, Yasuhiro OKI and Michio SUMIYA

¹正会員 工博 (財)土木研究センター理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部
海洋建築工学科(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

²(株)水圏科学コンサルタント(〒145-0064 東京都大田区上池台1-14-1 明伸ビル)

³正会員 (財)土木研究センター専門調査役(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

Beach erosion of the Shimosakurai coast located in the north part of Ibaraki Prefecture and facing the Pacific Ocean were investigated on the basis of the aerial photographs and field observation. In February 2007, extraordinary oblique waves attacked this coast, resulting in collapsing of the seawall. The direct cause of the collapsing of the structures is due to the attack of the storm waves, but the decrease in the ground level is the indirect cause which was caused by the development of the southward longshore sand transport under the condition that detached breakwaters were installed and waves were incident obliquely. The shoreline next to the detached breakwaters significantly retreated, and the seawall was severely damaged.

Key Words : Shimosakurai coast, longshore sand transport, seawall failure, beach erosion, oblique wave incidence

1. はじめに

茨城県北茨城市に位置し、太平洋へと注ぐ大北川の河口から南に延びる延長2.3kmの地先海岸である下桜井海岸では、2007年2月23日から2月27日に発達した低気圧に伴う高波浪により著しい侵食が発生し、海岸防護施設が約1kmにわたって大規模に破壊された。災害が起きた時期の波浪条件を調べると有義波高5.27mの高波が作用したものの、波高自体はそれほど高いものではなかった。司代ら¹⁾によれば、この付近の海岸では波の入射方向の変動に応じて海岸線がシーソーモードで変動することが明らかにされたが、今回の災害を調べると、海岸防護のために設置された離岸堤を境界条件として著しく傾いた方向からの入射波が作用したことが要因と推定される。このような波向変動による地形変動は地球温暖化に伴う異常気象時に各地で起こる可能性があることから、本研究では下桜井海岸の実例をもとに分析する。

2. 下桜井海岸の概況

下桜井海岸は、図-1 に示すように茨城県北茨城市に位置し、太平洋へと注ぐ大北川河口から南に延

びる延長2.3kmの地先海岸である。この海岸では、2007年2月23日から2月27日に発達した低気圧に伴う高波浪により著しい侵食が発生し、海岸防護施設が約1kmにわたって破壊された。

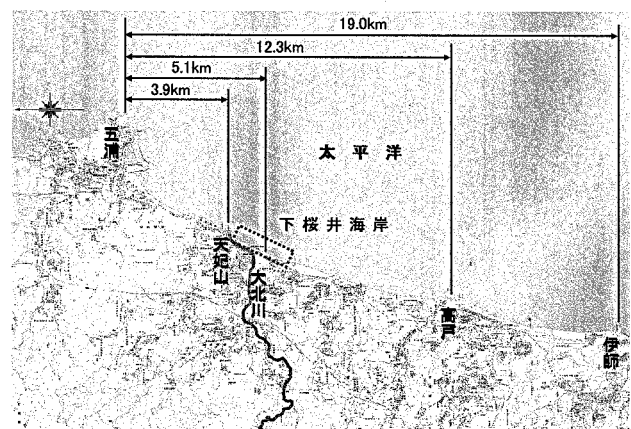


図-1 下桜井海岸の位置

周辺地形は図-1 に示すようであり、五浦海岸の岬を起点としたとき、南12.3kmには高戸の岬があり、そこは沿岸漂砂の固定境界を与えている。また五浦海岸の南3.9kmには天妃山(岩礁)があり、こもほぼ固定境界に近いが、岩礁の先端水深は約

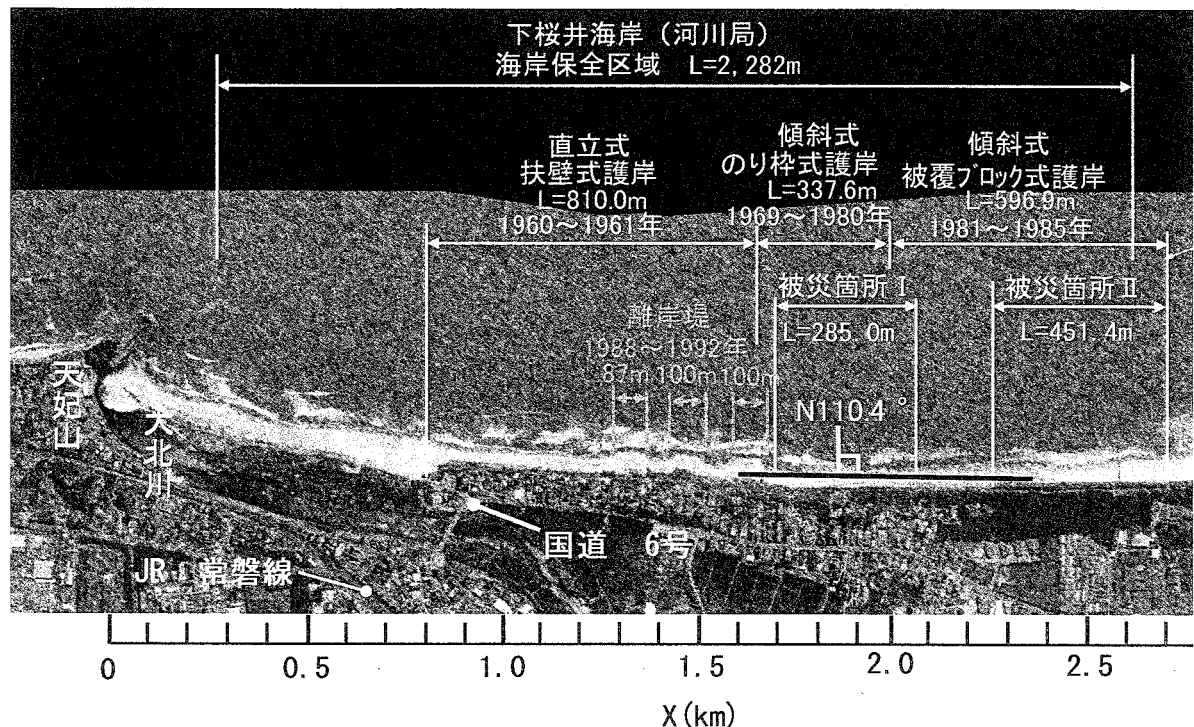


図-2 下桜井海岸周辺の海岸状況 (2006年5月撮影)

3. 被災実態

7m 程度なので高波浪の作用時には一部の沿岸漂砂は岬の先端を回り込む条件下にある。しかし常時波浪においてはこの岬もほぼ固定境界を与えている。したがって下桜井海岸は漂砂系から見れば天妃山から高戸海岸の岬まで延長 8.4km のポケットビーチの北端部に位置することになる。このポケットビーチへの主な漂砂源は大北川である。なお、高戸海岸の岬の南側 6.7km には伊師海岸の岬があって、ここもポケットビーチとして独立した漂砂系となっている。図-2 は 2006 年 5 月撮影の大北川河口および下桜井海岸周辺の空中写真であるが、下桜井海岸は河口部で北向きに長さ 1.3km にわたって蛇行する大北川の河口砂州の付け根付近から南側の区域を指す。大北川河口左岸には天妃山（岩礁）があり、そこは固定境界となっているため、河口はこの位置に固定されている。現況では河口から南約 800m 区間は河口砂州として幅約 200m の海浜幅を有する。下桜井地区はこの砂州のすぐ南側に位置し、集落が海岸線近傍まで発達し、前面の砂浜幅は約 30m と狭いのが特徴である。従来から波浪災害に対する脆弱性を有していたため、集落の外側に沿って護岸が設置されただけでなく、集落の中心部に 3 基の離岸堤（堤長 100m、開口幅 45m）が設置され、これによって集落は防護されている。今回被災を受けたのはこれらの離岸堤群の南側の区域である。本報告では、下桜井海岸の被災実態を明らかにした上で、空中写真や深淺測量データ、さらには波浪データなどをもとに被災原因を明らかにし、今後の方策について論じる。

下桜井海岸は、傾斜式的り枠護岸と傾斜式被覆ブロック護岸によって防護されていたが、これらの護岸が 2007 年 2 月 23 日から 2 月 27 日までの間に来襲した高波浪の作用で被災し、原形をとどめないほどに破壊された。高波の作用のもと護岸前面地盤が大きく低下した結果、傾斜式的り枠護岸と傾斜式被覆ブロック護岸がその背後の管理用通路とともに延長 736m にわたって崩落した。あわせて汀線付近に設置されていた消波堤も延長 285m にわたって沈下した。図-2 には被災範囲を示す。

被災後の 2007 年 3 月 10 日には現地調査を行った。以下ではこの踏査時に撮影した写真により被災状況を明らかにする。まず図-3 は離岸堤群の南端付近から南向きに海岸状況を撮影したものである。海岸線に沿って並ぶ異形ブロックは、侵食前には砂で埋っていたが、侵食によって表面に現れた。これらの異形ブロックの陸側には浜崖が連続的に形成されており、前浜の砂が大きく削り取られたことが明らかである。図-4 は、図-3 の○で囲んだ付近の状況を示す。傾斜式的り枠護岸が陥没し、海側に滑っている。のり枠護岸が海側に滑った後には土羽が現れた。このような状況となったのは、のり枠護岸の下部にあった大量の土砂が侵食により運び去られたことに起因する。図-5 は、被災したのり枠護岸の天端の管理用通路から汀線を見下ろすように撮影したものである。陥没したのり枠堤ののり先は水面下に没している。またのり先に沿って並べられている多数の消波ブロックの沈下も著しい。

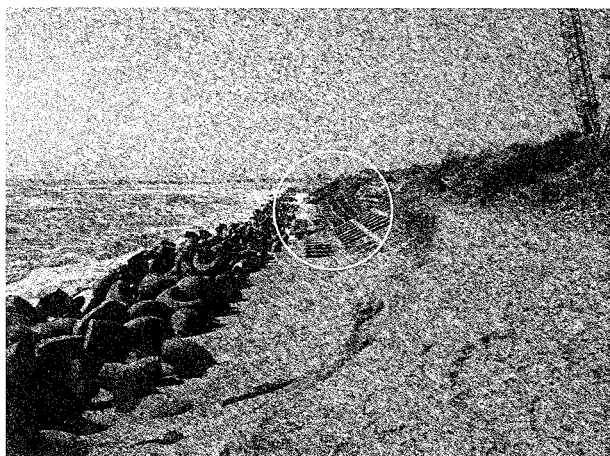


図-3 離岸堤群の南端付近から南向きに望んだ海岸状況



図-4 図-3の○印で囲んだ付近の海岸状況

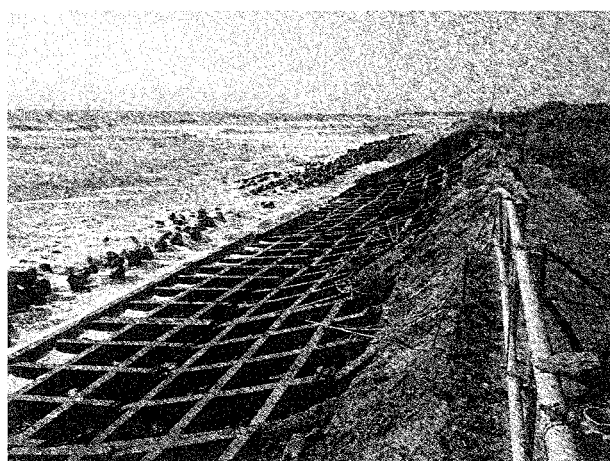


図-5 図-4の南側の海岸状況

4. 空中写真による海岸の変遷調査

下桜井海岸では1984年以降ほぼ3年おきに空中写真撮影が行われてきた。ここではこれらの写真の中から顕著な変化が観察される7時期を選んで海岸の変遷を調べた。なお、いずれの写真においても大北川河口の北側にある天妃山の中央を通る線上に原点を設け、そこから南向きにX軸を定めた。また図示

する離岸堤群の両側に測線A-A' (X=1.05km) とB-B' (X=1.7km) を定め、これらの測線上における前浜幅の変化を読み取った。表-1には測線A-A' とB-B' における前浜幅の変化を一括して示す。

表-1 前浜幅の変化

測定日	前浜幅 (m)	
	A-A' (X=1.05km)	B-B' (X=1.7km)
1987年10月13日	27	55
1990年11月16日	24	47
1993年12月2日	26	27
1996年12月24日	28	49
1999年12月27日	57	41
2002年10月31日	50	30
2006年5月17日	39	35

図-6(a)は、1987年の離岸堤築造以前の下桜井海岸の状況を示す。大北川河口の砂州部分では前浜幅が200mと広がったが、下桜井地区のA-A' (X=1.05km) での前浜幅は27mであって、このほぼ一様幅の砂浜が南側へと続いていた。下桜井地区 (X=0.84~1.56km) の集落周辺の海浜幅は、集落の南側および北側の前浜幅と比較して狭く、そこに人家が集中していた。このためこの地区を波浪災害から防護するために1988年から離岸堤が造られ始めた。1993年には図-6(b)のように3基の離岸堤が完成した。注目されるのは3基の離岸堤群の南端と北端の汀線形状がほとんど同一であって、非対称性が全く見られないことである。これは離岸堤群の建設後、波が平均的に見て海岸線と直角方向(N110.4° E) から入射していたことを示す。

2002年には、図-6(c)のように離岸堤群の北では北側から延びてきた汀線が離岸堤に覆いかぶさるように伸びている。これと全く対照的に、離岸堤群の南側ではフック状の汀線が形成され始めた。この状況は図-6(d)に示す2006年でも変わらず、離岸堤群の南側隣接区域ではフック状汀線となったままである。

表-1に示した前浜幅は測定年によりばらつきがあることから、1987年と1990年の平均値により過去の被災前の状況を、また2002年と2006年の平均値を被災直前時期の平均前浜幅とすると、測線A-A' においては25m(1987-1990年)から45m(2002-2006年)へと増加したのに対し、B-B' では51m(1987-1990年)から32m(2002-2006年)へと約40%減少した。さらに2節で述べたように、被災直後に護岸前面の前浜は完全に消失していた。これらより離岸堤群の北側では前浜が増加傾向であったのに対し、南側では時間経過とともに汀線が後退傾向にあり、とくに被災時には極端な汀線後退が生じて前浜が完全に消失していたことが分かる。

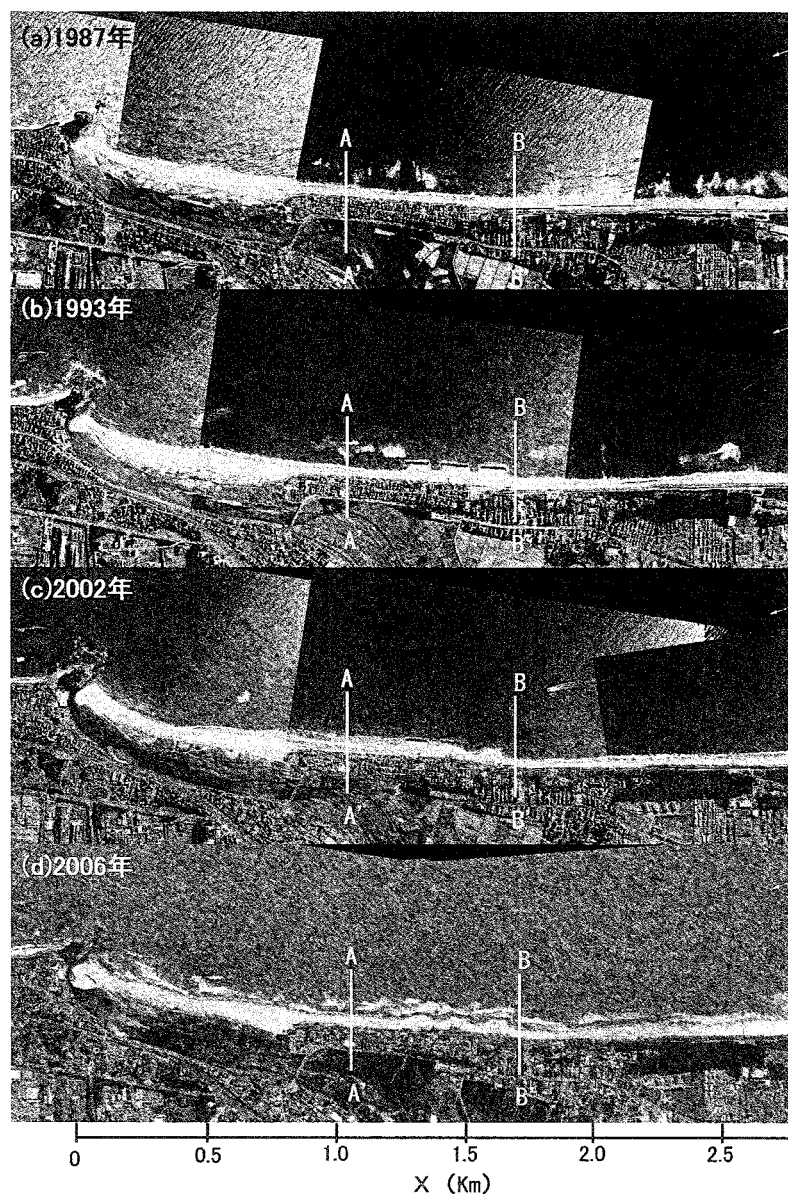


図-6 下桜井海岸の空中写真

写真撮影時の潮位と前浜勾配 (1/10) を用いて平均潮位時の汀線位置を定め、これをもとに汀線変化を調べた。1987年10月13日撮影の空中写真を基準とした、近年の2002年10月31日および2006年5月までの汀線変化量の分布を図-7に示す。

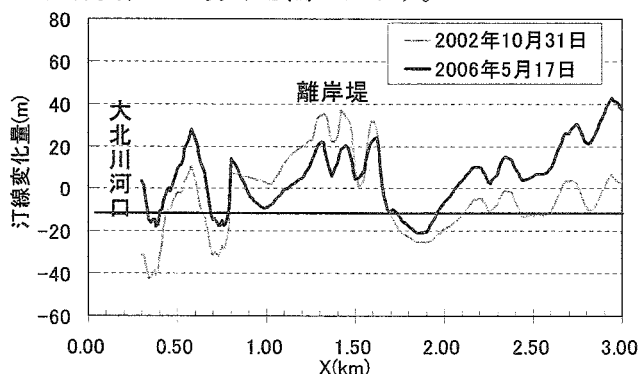


図-7 1987年を基準とした2002年および2006年までの汀線変化

まず2002年まででは、大北川河口と離岸堤の間の汀線は後退傾向であったのに対し、離岸堤群の北側直近では堆積し、さらにこれと全く対照的に離岸堤の南側では汀線が後退していた。これは大北川河口と離岸堤群位置で沿岸漂砂が阻止された条件で北寄りの入射波が作用した場合の典型的な汀線変化状況を示しており、北寄りの入射波の作用を強く受けた結果と考えられる。しかし2006年5月では夏季の南寄りの波浪の作用の影響により、大北川河口と離岸堤の間では変動成分のみとなって偏りが消失し、また離岸堤の南側では汀線の前進も見られる。すなわち、2002年には北寄りの入射波の作用を強く受けたのに対し、2006年は夏季であったことから沿岸漂砂の方向の反転も生じている。このように下桜井海岸では近年になって、変動を有しつつも北寄りの入射波の作用を受けやすい状況となっていた。

5. 侵食前後の縦断形比較

X=1.86km、2.26kmおよび2.68kmの3断面では、被災後の2007年3月14日に深淺測量が行われた。一方、被災前には同じ3測線では測量は行われておらず、わずかにX=2.68km断面でのみ同一測線で縦断測量が行われた。このことから、著しい侵食が起こる前の縦断形が沿岸方向にほぼ一様であったと仮定し、X=1.86kmと2.26km断面については侵食前の縦断形がX=2.68km断面のそれとほぼ同一であったとしてそれぞれの断面形にX=2.68kmの縦断形を重ね合わせて描いた。図-8にはこれら3測線における縦断形変化を示す。

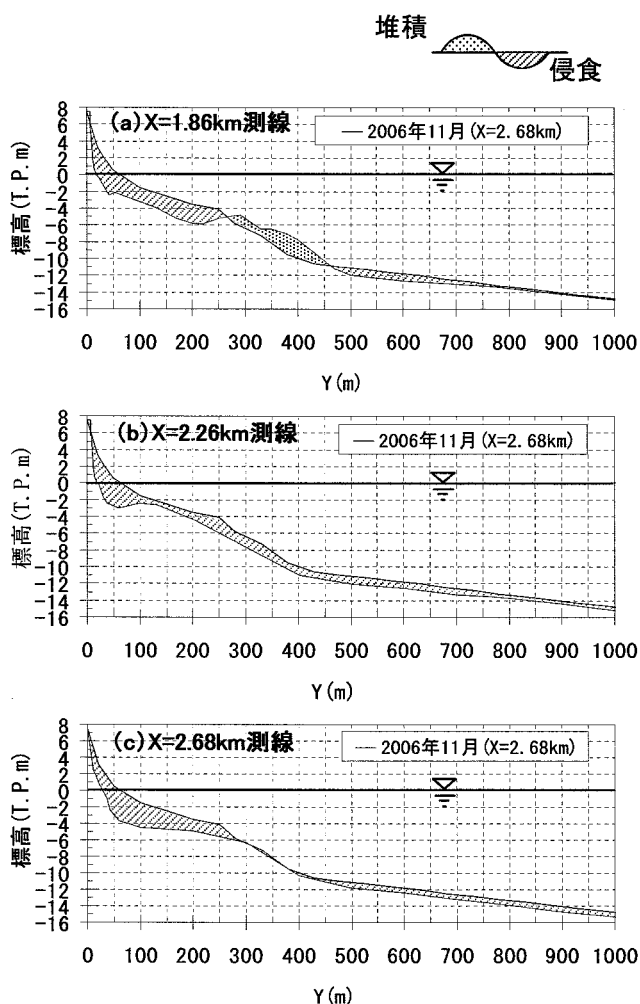


図-8 3測線における海浜縦断形の変化

離岸堤直近のX=1.86km断面では、侵食前後で汀線が45m後退するとともに、水深6mまでが大きく侵食されて鉛直上方に凹状の縦断形となり、汀線から標高2m間の勾配は侵食前の1/15から1/4と非常に急になった。X=2.26km断面でも汀線は45m後退し、侵食前の汀線付近の水深は3mにまで増加した。ここでは顕著な地形変化はほぼ10m付近まで見られる。X=2.68km断面にあっては、旧汀線付近は水深4mにな

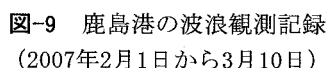
るまで著しい侵食を受け、前浜の勾配は1/15から1/8まで急になった。3測線のうち同一測線で測量が行われたX=2.68km断面では厳密な意味での縦断形変化を議論できるが、ここでは水深6m以浅で集中的な侵食が起き、沖合でも堆砂は見られないことから、このような地形変化が沿岸漂砂によって引き起こされたもので、しかも離岸堤の南側で著しい地形変化が生じたことから、沿岸漂砂の向きは南向きであったことが分かる。

6. 考察

今回、下桜井海岸では海岸防護のために設置されていた離岸堤群が沿岸漂砂を阻止する働きを発揮したため、その南側隣接地で著しい侵食が発生した。このように考えると離岸堤群がなければ著しい侵食は生じなかったとも推定できる。しかし一方で、下桜井地区の集落は元々海側に接近した場所に形成されていたことから波浪災害に対する脆弱性を有し、従って地域を波浪から防護する必要性があった。このような場所にあつては、前浜を確保し、波の侵入を防ぐことが最もよい手法となるが、そのような場合従来から用いられてきた手法が離岸堤である。このような視点から消波目的として過去に離岸堤が造られた。

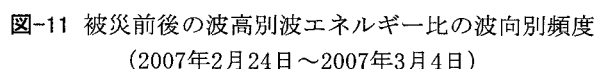
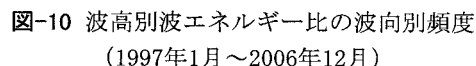
離岸堤の築造後、空中写真の比較によれば離岸堤群の両端では非対称的な汀線変化はそれほど見られず、離岸堤の南端の今回被災を受けた場所にあっても少なくとも35m(2006年5月当時)の前浜は存在した。このことから著しく反時計回りに傾いた方向からの入射がなければ被災は起きなかったと推定される。

海岸護岸の被災原因を調べる上では波浪観測データが必要である。このため近隣の波浪観測所の観測データを収集、整理した。波浪観測は下桜井海岸の南97kmに位置する鹿島港ではデータの欠測もなく、良好なデータが取られていた。下桜井海岸と鹿島港では距離がかなり離れているが、災害は2007年2月23日から27日まで4日間継続的に作用した波浪が原因であり、長時間の波の作用であったことを考慮すれば局所波浪が問題ではなく、波浪の平均場の変化として捉えられる現象こそが大事である。このことから、鹿島港の波浪観測データを用いて平均波浪場の変化について検討した。図-9は、鹿島港における2月1日から3月10までの有義波高と周期、および波向の観測結果である。これによると、2月1日から2月23日まで波高は3m未満であった。しかし2月23日から3月5日まで最大有義波高5.27mという高波が襲来し、同時に周期も12.9sと長くなった。この間に被災が生じた。注目されるのは波の入射角である。図の下段には下桜井海岸の平均海岸線に立てた法線方向を基準とし、時計回り(右回り)からの入射方向を+として読み取った波向を示す。これを見ると高波浪の襲来時、海岸線へ



一方、波向の異常性は被災前後の波浪データのみでは明確にならず、他の時期のデータとの比較が必要である。そこで鹿島港の水深 22m で行われた波浪観測データをもとに、逆屈折計算によっていったん入射波を沖へ戻し、この沖波を下桜井海岸沖の海底形状を与えて屈折計算を行った。使用した観測データは 1997 年 1 月から 2006 年 12 月までの観測値である。さらに、この結果をもとに、N から時計回りに 1° 刻みの入射方向ごとに、かつ波高ランク別に波浪エネルギーを算出し、全波浪エネルギーで割った値を波エネルギー比と定義して結果を図-10 に示す。なお図-2 で下桜井海岸の離岸堤付近への平均海岸線への法線の方向はほぼ $N110.4^\circ E$ である。

結論的に言えば、高波浪と著しく反時計回りに傾いた方向からの波が続いて襲来したことが侵食の、そして著しい被災の原因と判断できる。



本研究で対象とした下桜井海岸の事例は、いずれの海岸も長期的に見れば波向変動に応じて汀線が変動すること、その際前浜幅に余裕がない海岸では本研究と同様な現象が起こり得ることを示している。その意味から海岸計画においては、前浜の余裕幅と波向変動について予め調べておくことが大事である。また下桜井海岸のように既に構造物が造られてしまっている場合には、ポケットビーチ全体を安定化させる視点から施策を施すことが必要となる。局所対応の積み重ねは海岸の人工化を急速に招くことは明らかである。

1) 司代 明・川村哲也・田中正博・大熊義夫・宇多高明：茨城県北部大津漁港～高戸海岸における広域海浜地形変化の現地観測，海岸工学論文集，第 44 巻，pp.656-660, 1997.