

柏崎港の防波堤建設に伴う周辺海岸の海浜変形

宇多高明*・野口賢二**・大澤 正***

1. ま え が き

防波堤のような波の広い遮蔽域をもつ構造物の周辺では、遮蔽域内での土砂堆積と遮蔽域外での侵食がしばしば同時に起こることで特徴付けられる。そして各地で規模の大きい防波堤の建設が進められるにしたがい、この種の海浜変形が全国各地で見られるようになった。新潟県の直江津港に隣接する大潟海岸では近年著しい侵食にさらされたが、その機構について宇多・野口 (1990) は、当海岸では入射波向が季節的に変動するが、その変動に係わらず防波堤の遮蔽域内へ一方的に土砂が堆積することを模式図により説明し、さらに宇多・山本 (1992) は、移動床模型実験により波向変動に伴う防波堤周辺の海浜変形の機構を明らかにした。この種の現象は、防波堤等の人工構造物の規模が増大しつつある現在、周辺海岸への影響を考える上で無視し得ない重要性を有している。ところで、この問題に関する実験的検討は、種々の制約条件があることから、現象の再現性から言えばやはり現地海岸のデータを調べることが最も望ましい。周辺海岸への影響を未然に防止する、あるいは影響を極小化する策を検討する上ではこうした事例検討が有効なことはまちがいない。同じ新潟県内にあり、直江津港の北東 29 km に位置する柏崎港でも直江津港の場合とよく似た海浜変形 (防波堤の遮蔽域での大量の土砂堆積と隣接海岸での侵食) が見られる。そこで、柏崎港とそれに隣接する荒浜海岸を選び、現地データの分析を試みることにし、防波堤等の遮蔽域周辺での海浜変形を明らかにするものである。

2. 柏崎港～荒浜海岸の自然条件

本研究の調査区域は、新潟県中部に位置する柏崎港とそれに隣接する荒浜海岸である (図-1)。この沿岸は、北側を新潟県柏崎市の観音岬により、南側を同市番神岬に囲まれた延長約 15 km の砂浜海岸である。そしてここで取り上げる区間は、この沿岸南部の柏崎港と鯖石川に

挟まれた延長 2.4 km の区間である。調査区域の一部である荒浜海岸での平均的な海岸線方向は N 37°E である。また、図-1 に示すように、柏崎港は砂浜海岸の南端付近を中心として発達してきており、現在では延長約 2400 m の防波堤が延びている。さらに、柏崎港の北東約 6 km には柏崎刈羽原子力発電所とそれに付属する港湾がある。この港湾は観音岬～番神岬の海岸線のほぼ中央に建設されているから、漂砂の系は発電所の港湾施設によりほぼ 2 分された形となっている。この海岸へ流入する主要な河川は、鯖石川と鶴川であり、流域面積はそれぞれ 312 km²、112 km² である。また、図-1 に示した地形分類図によれば、当沿岸の鯖石川以北には幅約 2 km で古砂丘が広がり、その海側に新砂丘が伸びている。特に鯖石川の南側での新砂丘の幅は広い。日本海側の低地で典型的に見られるように、これらの砂丘の背後には沖積低地が幅広く広がっている。

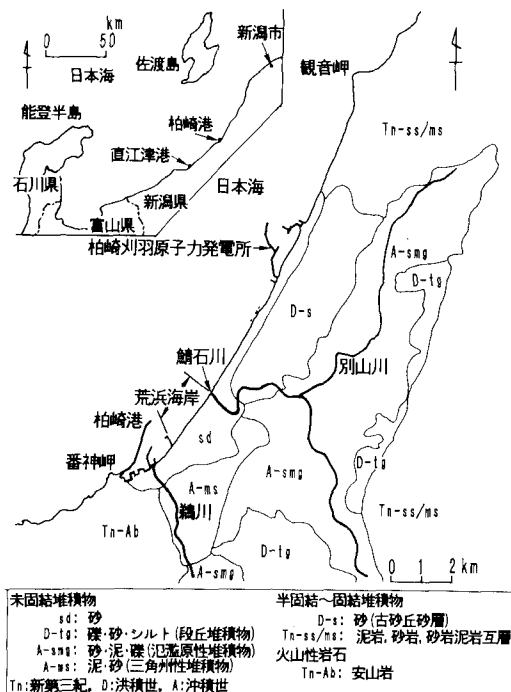


図-1 柏崎港と荒浜海岸の位置および周辺の地形分類

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長
 ** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室
 *** 新潟県土木部河川課

柏崎刈羽発電所の沖合1.5 kmの水深15 m地点で1979年8月21日より1992年3月31日の間に観測された波浪データより、波高階級別の波向分布をまとめると

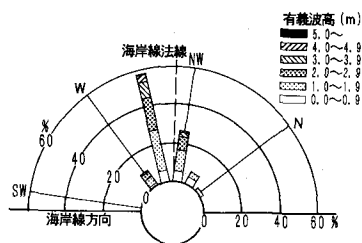


図-2 波向の波高別出現頻度分布 (柏崎刈羽原子力発電所)

図-2となる。柏崎刈羽発電所は鯖石川河口の北東約5 kmにあって荒浜海岸に近接しており、また海岸線方向もほぼ同一なので、波浪条件は両地点でほぼ同一と考えられる。図には荒浜海岸の海岸線方向とその法線方向も示した。図-1に示したように、当海岸に対しN~NNW方向は佐渡島により遮蔽される。したがって当海岸での卓越波の入射方向はNNWより西寄りとなる。図-2に示すように、卓越波はWNW方向を中心としてNWまたはW方向から入射する条件となっている。柏崎港の防波堤は卓越波の入射方向であるWNWの方向からの入射波を遮蔽するよう延ばされているが、頻度は少ない

もののNW方向からの入射波もある。このためこの付近の海岸線では海岸線に立てた法線に対して反時計回り(WNW)および時計回り(NW)の方向から波が入射する条件にある。

3. 柏崎港～荒浜海岸の深浅図の比較

柏崎港～荒浜海岸の調査区域では1979年10月より現在に至るまで毎年2回の割合で深浅測量が行われてきている。ここでは短期的変動は無視し、長期的な海浜変形に注目して1980年より1992年の間の4回分の深浅測量データを選んでそれらの相互比較を試みる。

まず、1980年4月の深浅図を図-3に示す。NE方向に向いていた西防波堤がN15°W方向に曲げられた点から750 m延びた状態である。この時点では荒浜海岸には前浜はまだ残されていた。防波堤背後の航路部分を除けば、-10 m以深の等深線は南西～北東方向へなだらかに延びている。それに対し、-9 m～-6 mの間の等深線は柏崎港の防波堤の遮蔽域で冲向きに突出し、防波堤から北東側に距離が離れたとともに汀線に隣接し、 $0.3 \text{ km} \leq x \leq 1.2 \text{ km}$ の範囲では等深線が凹状となって深くなっていることが分かる。以上の地形特性は、防波堤の遮蔽域外の $0.3 \text{ km} \leq x \leq 1.2 \text{ km}$ の範囲が侵食され、その土

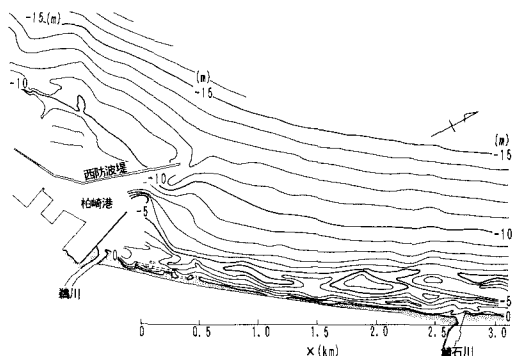


図-3 柏崎港～荒浜海岸の海底地形 (1980年)

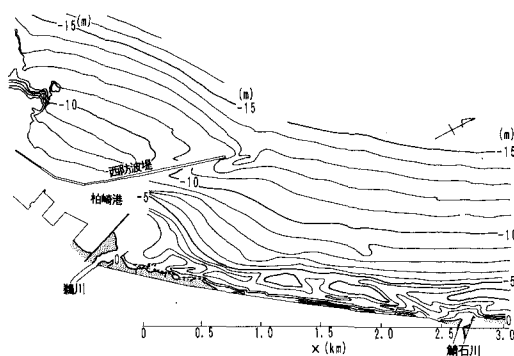


図-4 柏崎港～荒浜海岸の海底地形 (1985年)

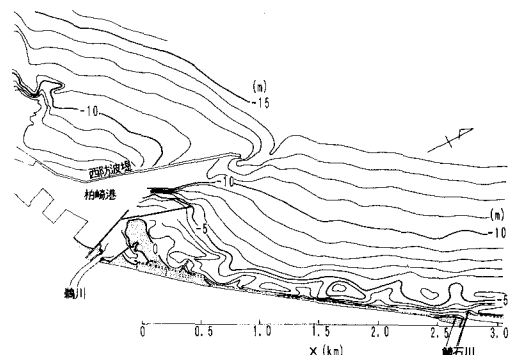


図-5 柏崎港～荒浜海岸の海底地形 (1990年)

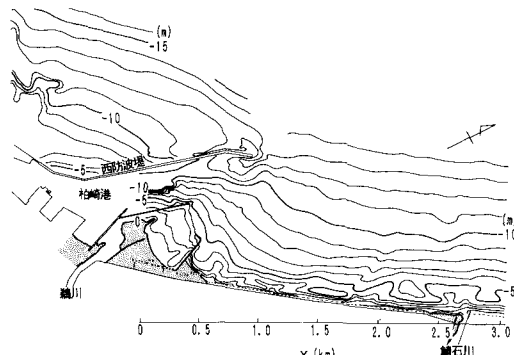


図-6 柏崎港～荒浜海岸の海底地形 (1992年)

砂が防波堤背後へと移動したかのようである。また-5 m~-6 m 付近には多数のバー・トラフの発達が見られる。西防波堤がさらに 350 m 延ばされ 1100 m となった 1985 年 4 月では(図-4 参照)、鵜川の河口前面より $x = 0.5$ km の区間では-5 m 以浅の等深線が大きく突出し、河口付近に扇状の浅い部分が形成された。また 1980 年の深浅図(図-3)と比較すると、-5 m~-9 m の等深線も防波堤背後で大きく突出するとともに、これらの等深線が海岸線に最も接近する位置がいずれも北東側へと移動した。これは防波堤の遮蔽域が広がったこととよい対応を示している。1990 年には西防波堤の N 15°W 方向の延長は 1230 m となり、さらに防波堤は 20°E 方向に 95 m 延ばされ、全体で 1325 m となった(図-5)。1985 年(図-4)と比較すると、-5 m~-10 m の等深線の防波堤背後での膨らみは益々大きくなり、これと対照的に各等深線が海岸線に最も接近する位置が北東側へと大きく移動したことが分かる。1990 年では荒浜海岸の前浜はほとんど消失し、-5 m の等深線も岸に近づいている。最後に、1992 年の深浅図が図-6 である。1990 年と比較すると防波堤はほぼ NE 方向に向けて 110 m 延長された。また、この段階では防波堤の遮蔽域内に延長約 410 m の防砂突堤が建設されている。防波堤の先端部は現況の海岸線とはほぼ平行に延ばされたため、波の遮蔽効果が著しく表れ、例えば-10 m の等深線の湾入度が大きくなった。特に-5 m~-7 m の等深線の湾入度は非常に大きく、防波堤の遮蔽域では等深線が大きく沖方向に突出しているのに対し、 $x = 1$ km 付近では海岸線より 120 m と大きく接近している。1980 年の深浅図(図-3)と比較すると、荒浜海岸の沖合が急深となったことは明らかである。そして荒浜海岸では侵食と越波が激しくなったため護岸と消波工で守られた海岸となり、自然の砂浜海岸は失われるに至った。

4. 堆積・侵食域の平面分布

柏崎港周辺での海浜変形をより定量的意味より調べるために、図-7 に示すように 1 辺が 50 m の正方格子によ

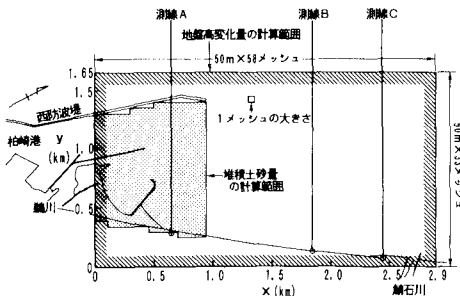


図-7 海浜の土砂量計算のための測線配置

り南北方向に 58 メッシュ、東西方向に 33 メッシュの計算範囲を設け、海底地盤高の変化量と防波堤背後の堆積土砂量の計算を行った。岸沖測線の方向は、深浅測量の測線と同一である。地盤高の変化量は 1980 年を基準として求めるとともに、結果の表示においては、0, -5, -10, -15 m の等深線を基準年(1980 年)については破線で、当該年については実線で示すこととする。まず、1980 年~1985 年の地盤高変化を図-8 に示す。防波堤背後の広い範囲で-10 m 付近まで土砂堆積が生じている。一方、鵜石川河口の両側の汀線付近や-5 m 以深では侵食が進んでいる。ただし、水深-5 m 付近では一部地盤高の上昇した部分がある。図-9 に示すように、1990 年との比

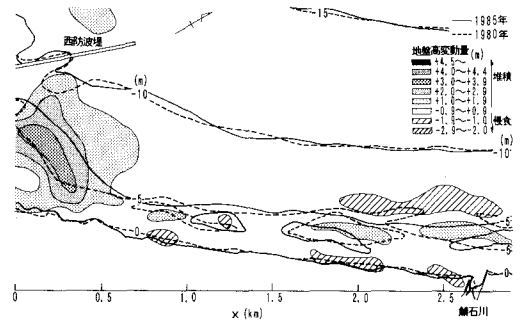


図-8 柏崎港~荒浜海岸の堆積・侵食変化 (1985 年)

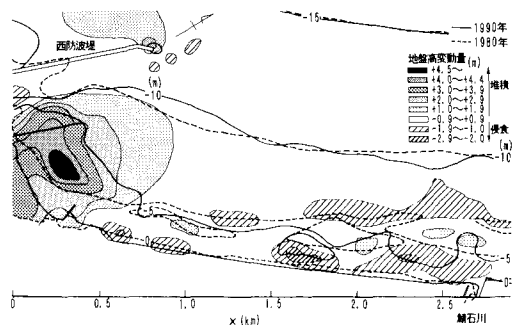


図-9 柏崎港~荒浜海岸の堆積・侵食変化 (1990 年)

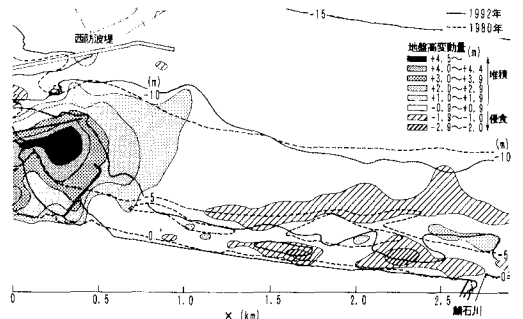


図-10 柏崎港~荒浜海岸の堆積・侵食変化 (1992 年)

較では、防波堤背後の地盤高の上昇した区域と、防波堤北東側の海底地盤高の下降域とがよい対照を示している。図-10に示す1992年との比較では、図-9に示した特徴がより顕著となり、防波堤背後では全域で土砂が堆積する一方、鯖石川河口付近では-5m~-10mの広い範囲で侵食が生じた。また図-8~10を比較すると、防波堤の延長とともに防波堤背後の堆積域が単調に北東側へ広がりを示した状況がよく分かる。さらに、図-10によれば、湾内の防砂突堤は土砂の堆積域に完全に含まれた形となっている。このことは、この防砂突堤の位置および長さが、この地区での大規模な侵食・堆積の防止にはほとんど役立たないことを示している。防砂突堤の長さ

が同一であったとしても、その位置が現況より北東約0.7kmにあれば沿岸漂砂の阻止効果はより高かったと思われる。

次に、図-7にハッチで示すように、明らかに防波堤の遮蔽域に入る区域を定め、その範囲内での土砂量の変化を調べた。基準年として1980年を取り、50mメッシュごとに地盤高の変動量を算出し、これに1メッシュの面積(2500m²)を乗じて土砂変化量を求めた(図-11)。防波堤の遮蔽域内の土砂量は単調に増加しており、1980年より1992年の平均で土砂量の増加割合は $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。鵜川からの供給土砂量はほとんど無視されることから、この土砂は北東側より沿岸漂砂により運ばれたとすることができる。したがって柏崎港の防波堤の延長に伴って年間平均で約15万m³の沿岸漂砂が遮蔽域内へと流入したこと、そして1980年との比較では防波堤の遮蔽域での堆積土砂量は約160万m³にも及んだことが分かる。

5. 海浜断面形状の比較

以下では、代表3測線を選び、断面形状の時系列変化を調べてみる。代表測線は、防波堤背後で徐々に堆砂が生じた測線A、侵食域と堆積域のほぼ中央に位置する測線B、侵食域にある測線Cである。防波堤背後の測線Aの経時的断面変化を図-12に示す。この測線では汀線はあまり変化しないが、-5m以深において堆砂が進み、1980年より1992年までに最も厚く土砂が堆積した場所

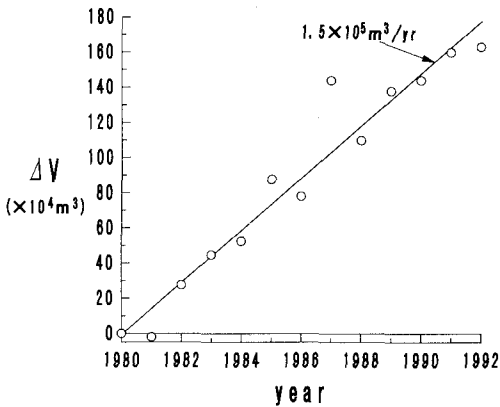


図-11 柏崎港の防波堤背後への堆積土砂量の経年変化

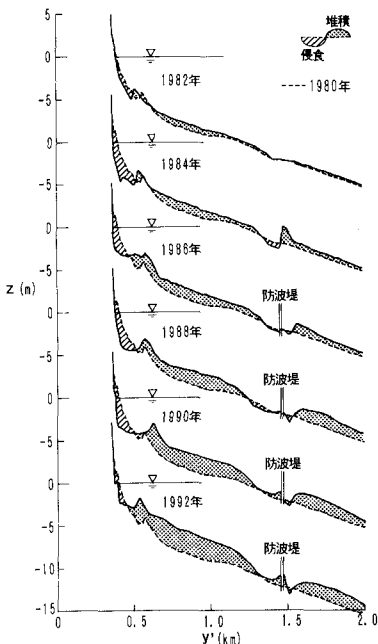


図-12 海浜断面変化(測線A)

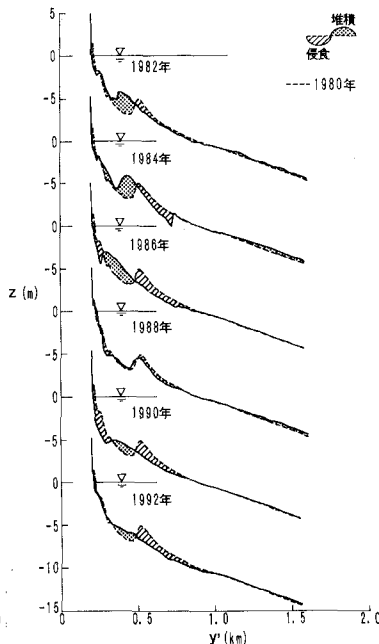


図-13 海浜断面変化(測線B)

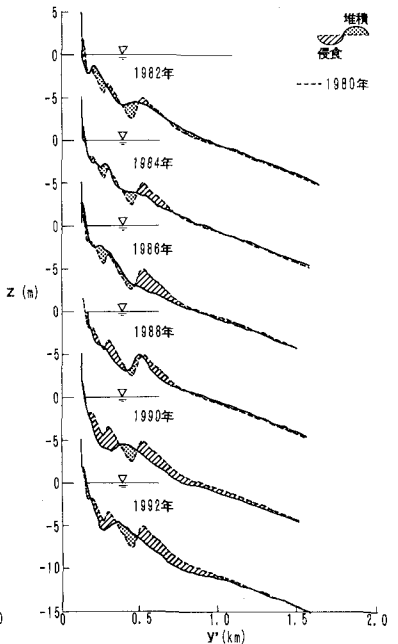


図-14 海浜断面変化(測線C)

での層厚は3mにも達した。また、防波堤の岸側だけでなく、沖側でも経年的に土砂堆積が進んだ点は興味深い。なぜなら、防波堤背後の波の遮蔽域で発達する海浜循環流の作用により土砂が運び込まれたのであれば、その作用は防波堤の沖側の海域まで及ぶことはないからである。この土砂堆積は、その後の調査によると柏崎港の西側に投棄された航路浚渫土砂の一部が防波堤沖へ移動し、堆積したものである。

同様にして測線Bの断面変化を図-13に示す。この断面では1980年当初-5m付近に比高約2.3mのバーが発達していたが、近年ではバーの規模が次第に小さくなり、1992年にはバー・トラフのない滑らかな断面形状となった。汀線より-5m付近まで勾配約1/20で急に深くなった後、沖浜では勾配約1/140のほぼ一様斜面となった。また、堆積・侵食断面積はあまり差が無いことから、この測線では沿岸漂砂が通過するのみの条件にあったといえる。また、各年の断面形の相互比較によると、波による顕著な地形変化の見られる沖側限界を定める水深(地形変化の限界水深)は9~10mにある。

図-14には、荒浜海岸の北端にある測線Cの断面形状変化を示す。この断面でも1988年まではバー・トラフの位置が変化するのみであり大きな地形変化はみられず、また地形変化の限界水深は8~9mにあった。ところが、1990年、1992年にはほぼ水深11mにまで侵食が生じるようになった。この測線は、防波堤が短かった時にはそれほど影響を受けなかったが、防波堤が大きく延長されるとともに侵食域に含まれるようになり、断面内で土砂の欠損が生ずるようになったのである。以上のように、防波堤の遮蔽域内に位置するA断面内での土砂堆積と、防波堤より離れたC断面内でのネットの侵食は、みごとに対照を示しており、この海浜変形が防波堤の遮蔽域外より内へと向いた沿岸漂砂によって生じたものであることをよく表している。

結局、柏崎港~荒浜海岸の区間での海浜変形は、波向

が変動する場において長大な防波堤が延ばされて遮蔽域が形成されたために、波向の変動とともに遮蔽域へと一方的に土砂が移動し、堆積することによって生じたものであって、その機構は筆者らが直江津港の隣接海岸の海岸侵食に関して示したもの(宇多・野口, 1990)と同一と言える。

6. 結 論

本研究の主要な成果は以下に要約される。

① 柏崎港~荒浜海岸での卓越波の入射方向は、WNWおよびNWである。これらの方向は平均海岸線に立てた法線に対してそれぞれ反時計、時計回りの方向となる。この条件の下で、防波堤が大きく延ばされたため、柏崎港の防波堤の遮蔽域では土砂堆積が、そして隣接の荒浜海岸では激しい侵食が生じた。このような海浜変形過程は、既に筆者らが示した直江津港の隣接海岸で生じた現象とまったく同一である。

② 1980年より1992年までの間で、柏崎港の防波堤背後の遮蔽域には約 $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ の土砂が堆積した。この土砂は、沿岸漂砂により北側より流入したものであり、年平均の沿岸漂砂量は $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。

③ この海岸では波による顕著な地形変化が収束する限界水深(地形変化の限界水深)はほぼ10mにあった。なお、この値は防波堤の前面など、大規模な構造物周辺で反射波の強い影響を受ける区域における地形変化の限界水深を与えるものではなく、自然海岸に近い場所での限界水深を与えるものである。

参 考 文 献

- 宇多高明・野口賢二(1990): 大渦海岸の侵食機構に関する一考察, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 474-478.
宇多高明・山本幸次(1992): 波向が周期的に変化する場における防波堤周辺の海浜変形, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 436-440.