

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

宇多高明*・山本幸次**

1. まえがき

現地海岸ではしばしば波向が周期的に変化し、それに応じた特徴ある海浜変形が見られる。その例として、茨城県北部沿岸(宇多ほか, 1986)や、鹿島灘沿岸(住谷ほか, 1988)などにおける海浜変形をあげることができる。茨城県北部沿岸では岬間で、また鹿島灘沿岸ではヘッドランド間でサイクリックな海浜変形が生じている。こうした沿岸漂砂を阻止する岬(突堤)間の波向変動に応じた海浜変形の機構については、宇多・坂野(1989)により検討されており、沿岸漂砂を阻止する岬(突堤)周辺では、波向変動に応じ侵食と堆積を繰り返しつつ、地形変化が沿岸方向に伝播することが明らかにされている。

一方、防波堤のように広い遮蔽域をもつ構造物周辺では、岬(突堤)周辺の海浜変形とは異なる変形が生じることがある。例えば、新潟県の大潟海岸では波向の季節変動が見られるが、その海浜変形の機構として、宇多・野口(1990)は波向の変動に係わらず防波堤の遮蔽域内へ一方向的に土砂が堆積する機構を模式的に示した。こうした現象は、防波堤の隣接域での侵食原因について考察する際極めて重要であるが、研究は十分に行われていないのが現状である。宇多・野口(1990)の分析においても現象を説明するための現地データは十分ではない。そこで、本研究では波向変動に伴う防波堤周辺の海浜変形を移動床模型実験により調べ、宇多・野口(1990)が模式的に示した海浜変形機構について検討するものである。

2. 実験方法

実験には $30\text{ m} \times 23\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ の平面水槽(図-1 参照)を用い、水槽中央部の幅 16 m 間に中央粒径 0.22 mm の粒度調整砂により模型海浜を造った。初期海浜は

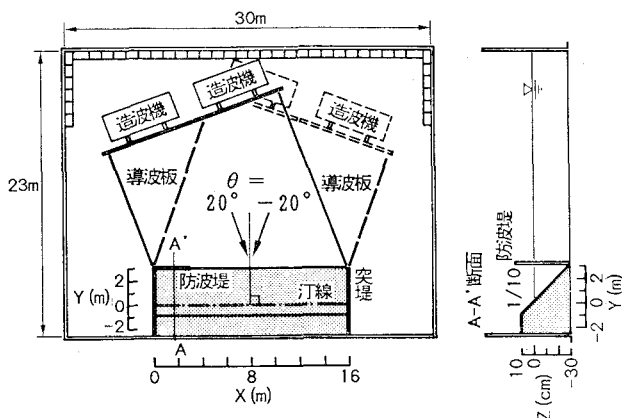


図-1 実験水槽と模型海浜の諸元

海底勾配 $1/10$ の沿岸方向に一樣な断面とした。模型海浜の左端には防波堤模型を、右端には突堤模型を設置し、その間で沿岸漂砂の系が閉じる条件とした。実験は2ケース行った。ケース①では汀線への法線に対し反時計回りに 20° から波が入射する条件とし、ケース②では反時計回りに 20° および -20° からの波が交互に入射する条件とした。したがって両ケースの比較より、波向が変動する場合の防波堤周辺の海浜変形機構を検討することができる。波浪条件としては、入射方向にかかわらず、 $H_0' = 4.6\text{ cm}$, $T = 1.0\text{ s}$ に設定した。以上の底質・波浪条件より佐藤・田中の表層移動限界水深を求めると $h_c \approx 14\text{ cm}$ となる。防波堤の沿岸方向長さ、および汀線からの防波堤・突堤の沖方向長さは 3 m で、沖波波長 ($L_0 \approx 1.56\text{ m}$) の約2倍とした。また、構造物の先端水深は 30 cm であって、先に求めた表層移動限界水深より十分深い。測定は海浜断面形状、碎波波高、碎波波向、海浜流および汀線形状について行った。

3. 実験結果

(1) 碎波および海浜流特性

汀線への法線に対し反時計回りに 20° から波が入射する場合の碎波波高、碎波波向の沿岸方向分布、および海浜流の流況を図-2に示す。長さ 3 m の防波堤の遮蔽域

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室研究員

内 ($X=0\sim4\text{m}$) では回折により碎波波高が低く、また碎波波向が次第に内側へと向かっている。防波堤の遮蔽域外 ($X=4.5\sim15.5\text{m}$) では碎波波高が高く、いずれの場合でも反時計回りの方向より波が入射する。したがって、防波堤の遮蔽域外では右向き強い沿岸流が生じるのに対し、防波堤の遮蔽域内では時計回りの方向の循環流が発生したもの、その流れは弱い。

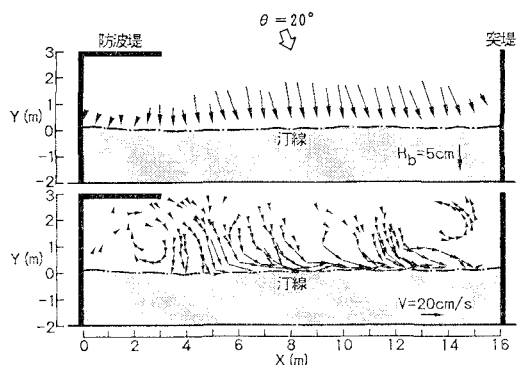


図-2 $\theta=20^\circ$ より波が入射する場合の碎波波高、碎波波向の分布と海浜流の流況

波が -20° より入射する場合 (図-3) には、全域で碎波波向は負となり、碎波波高は防波堤の遮蔽域内で低く、遮蔽域外で高い。したがって、左向き強い沿岸流が生じ、防波堤の遮蔽域内では時計回りの方向に大規模な循環流が発達した。

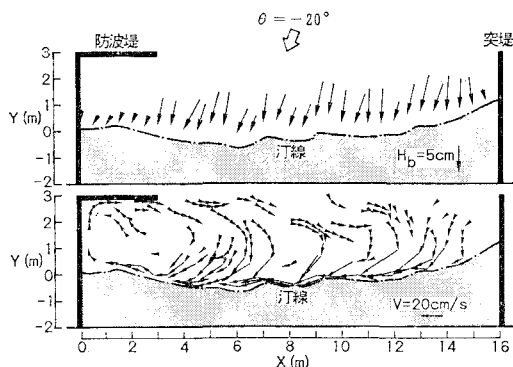


図-3 $\theta=-20^\circ$ より波が入射する場合の碎波波高、碎波波向の分布と海浜流の流況

以上の2ケースとも、防波堤の遮蔽域内では時計回りの循環流が生じるが、 $\theta=-20^\circ$ の場合の循環流の方がはるかに強い。 $\theta=20^\circ$ の場合、防波堤による波の回折によって循環流が誘起されたものの、流れは弱い。これに対し $\theta=-20^\circ$ の場合には遮蔽域外から左向き強い沿岸流がそのまま遮蔽域内へ流れ込んだため循環流は非

常に強くなった。

(2) 汀線変化

汀線の経時変化を図-4に示す。ケース①では $X=2\sim11\text{m}$ で汀線は単調に後退し、 $X=11\sim16\text{m}$ で前進した。一方、防波堤の背後では汀線の前進はほとんど見られない。ケース①では常に $\theta=20^\circ$ 方向より波が入射するので、図-2に示したように防波堤の遮蔽域外では強い右向きの沿岸流が発生し、これによって $X=2\sim11\text{m}$ より砂が運び去られ、その砂が突堤により阻止されて堆積した。防波堤の遮蔽域内では時計回り方向の弱い循環流により砂が運ばれるものの、その流れは弱く、また碎波波高が低く砂の攪乱が小さいことから、汀線はほとんど前進しなかった。

ケース②では、 $t=0\sim6\text{hr}$ の汀線変化はケースの場合とほとんど同様である。 $t=6\sim12\text{hr}$ になると、防波堤背後の $X=0\sim3\text{m}$ で汀線が前進し、 $X=9\sim16\text{m}$ では後退した。この $t=6\sim12\text{hr}$ の汀線変化は $\theta=-20^\circ$ の場合の海浜流の分布とよい対応を示す。すなわち、沿岸流は全域で左向きとなり、 $X=9\sim16\text{m}$ 区間より砂が運び去られ、 $X=0\sim3\text{m}$ の防波堤背後は静穏なため土砂が堆積する。

$t=12\sim18\text{hr}$ では再び $\theta=20^\circ$ の入射波向となり、 $X=2.5\sim10\text{m}$ で汀線が後退し、 $X=10\sim16\text{m}$ で汀線は前進した。しかし、防波堤の遮蔽域内 ($X=0\sim2.5\text{m}$) では汀線は前進したままの状況を保っている。 $t=18\sim24\text{hr}$ では再び -20° の入射波向となり、 $X=3\sim8\text{m}$ で汀線が後退し、 $X=0\sim8\text{m}$ で汀線は前進した。ケース②の防波堤の遮蔽域外のうち、 $X=8\text{m}$ を境界として波向変動に応じて汀線は周期的に前進、後退を繰り返すことは、宇多・坂野 (1989) の実験と同一の結果である。これに対し、防波堤の遮蔽域内では $\theta=-20^\circ$ の入射波向の時には汀線が著しく前進し、 $\theta=20^\circ$ ではほとんど前進は見られなかった。したがって、防波堤の遮蔽域内では波向のサイクリックな変動と歩調を合わせて汀線が次

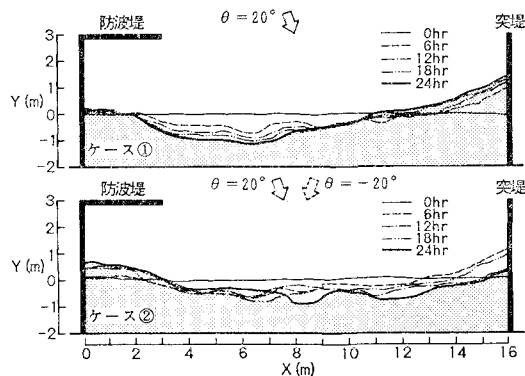


図-4 汀線形状の比較

第に前進し、遮蔽域外では汀線は全面的に後退することとなった。

一方向からの入射波が卓越する条件下でのポケットビーチの安定汀線形状は Hsu and Evans (1989) により式 (1) で与えられる。

$$r/r_0 = c_0 + c_1(\beta/\theta) + c_2(\beta/\theta)^2 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $r_0=PQ$ 、 $\beta=\angle RPQ$ であり、 c_0 、 c_1 、 c_2 は β に依存する係数である (図-5 (a)) 参照)。式 (1) により、ほぼ安定状態に達したケース①の24時間後の汀線形状の計算を試みる。ここで、問題となるのは PR の方向と点 Q の設定である。Hsu and Evans は防波堤の先端での波峰線の角度を波の入射方向と等しいとしているが、実験では $\theta=20^\circ$ とすると測定された汀線形状と大きな違いが生ずる。むしろ波の屈折を考慮して平均砕波波向を PR とする必要がある。また汀線が、砕波波向と直角となって安定している部分のうち、防波堤に最も近い位置に点 Q を定める。式 (1) により $X=2\sim 9\text{m}$ の汀線形状を計算すると図-5 (b) のようになる。 $X=2\sim 16\text{m}$ の汀線形状の実験値と計算値はほぼ対応することがわかる。

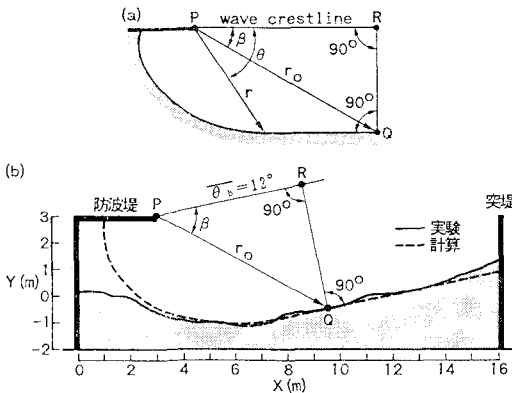


図-5 安定汀線形状の計算結果

(3) 最終海浜形状の比較

ケース①、②の造波24時間後の海浜形状の比較を試みる。まず、図-6 (a) にはケース①の深浅図を示す。防波堤の遮蔽域の境界 ($X=4.5\text{m}$) を中心とし、その左右で大きく侵食されて浜崖が形成され、ここより侵食された土砂が右方向へ移動したことが明らかである。堆積域では $Z=4\sim 6\text{cm}$ の間に広い平坦面が形成され、また海底勾配は突堤に近づくほど急になる。一方、侵食域では $Z=-12\sim -8\text{cm}$ の間に非常に広い侵食緩斜面が形成され、また防波堤背後の $Z=-4\text{cm}$ 以深の等深線形状が初期状態を保っていることと比較すると、一部の土砂は沖向きにも移動したことがわかる。これは、初期勾配が急であったことが主な原因である。

同様にケース②の深浅図を図-6 (b) に示す。図-6 (a) に示したケース①の場合には防波堤の遮蔽域の境界付近が集中的に削られたのに対し、ケース②では海浜の中央部が削られ、侵食された土砂が防波堤背後へと移動した。防波堤直背後の等深線形状を比較すると、ケース②では $Z=-16\text{cm}$ 付近までの等深線が大きく前進したことがわかる。以上のように、一方向からの入射波が卓越する条件と、波向が周期的に変化する場合では防波堤の隣接域での海浜変形は大きな相違を示す。

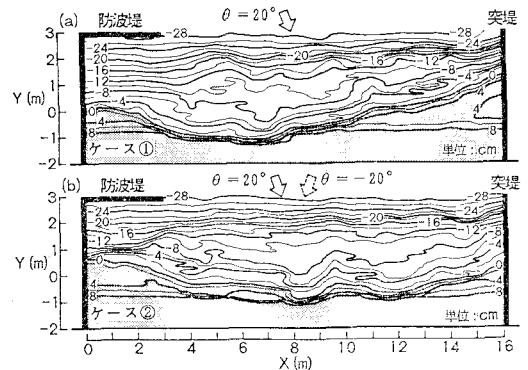


図-6 造波24時間後の海浜形状

(4) 断面形の比較

防波堤の遮蔽域内にある $X=1.5\text{m}$ 測線の断面形を図-7 に示す。これによると、ケース①では地形変化はほとんど見られない。ケース②では $t=12\text{hr}$ および $t=18\sim 24\text{hr}$ に大幅な堆積を繰り返している。そしてケース①と比べて明らかに砂の堆積量が多い。

$X=3.0\text{m}$ 測線の断面形が図-8 である。ケース①では $Z=0\sim 8\text{cm}$ での浜崖の形成と、 $Z=0\sim -8\text{cm}$ での緩斜面の形成が顕著である。ケース②では $t=0\sim 6\text{hr}$ には $Z=3\sim -5\text{cm}$ が侵食されたが、 $t=6\sim 12\text{hr}$ にはこの部分は元の形状に戻り、その沖の $Z=-3\sim -16\text{cm}$ では堆積が生じた。その後も同様な変化が続く。ケース①で明らかに断面全体で侵食が生じたのに対し、ケース②では堆積土砂量の方が大きく、しかもそのほとんどが沖側に堆積したことが特徴である。

実験範囲のほぼ中央に位置する $X=8\text{m}$ 測線の断面形は $t=24\text{hr}$ の最終状態ではケース①、②ともほぼ同じで侵食断面の特徴を示すが (図-9)、ケース②では侵食、堆積、侵食、堆積と周期的な変動を伴う。

$X=15\text{m}$ 測線の24時間後の断面形は、ケース①では堆積域の特性を示し、ケース②では前浜付近 ($Z=5\sim -5\text{cm}$) は0時間と同じで、それ以深では堆積している (図-10)。ケース②では堆積、侵食、堆積、侵食の経時変化パターンを示し、侵食域において沿岸漂砂によって有

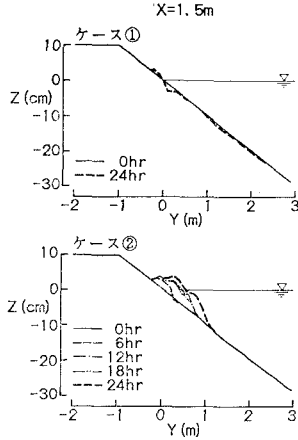
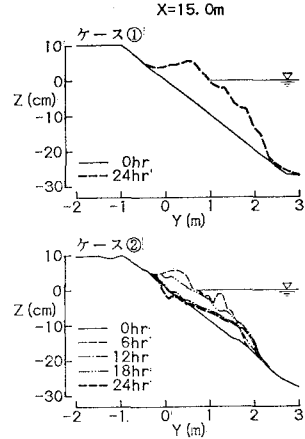
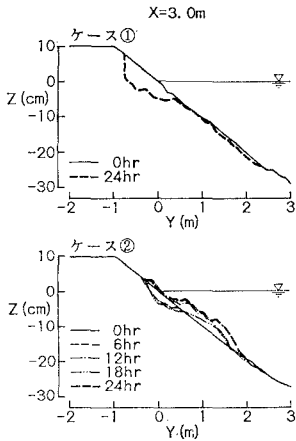
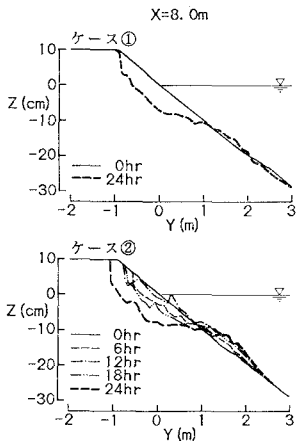
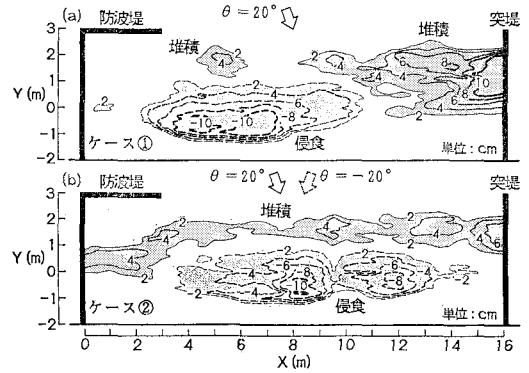
図-7 海浜断面形 ($X=1.5\text{ m}$)図-10 海浜断面形 ($X=15.0\text{ m}$)図-8 海浜断面形 ($X=3.0\text{ m}$)図-9 海浜断面形 ($X=8.0\text{ m}$)

図-11 地形変化量図

(5) 地形変化量の平面分布の比較

初期形状と $t=24\text{ hr}$ の海浜形状より求めた地形変化量の平面分布を図-11 (a), (b) に示す. ケース①ではほぼ中央部で侵食され, 侵食土砂が突堤の隣接部に堆積した. 一方, 防波堤の遮蔽域内では地形変化はほとんど生じていない. ケース②では防波堤の遮蔽域内に砂の堆積が, 遮蔽域外では沖合に細長く堆積が生じた. また侵食域は中央部に止まらず, 突堤の近くまで広がっている. ケース①, ②を比較すると, 波向が周期的に変化する場においては, 防波堤の遮蔽域内への堆砂が著しいことが明瞭に表われている. また, 突堤の上手側で深い部分へと堆積した砂は, 波向が変化してもそのまま深い部分にとり残されることもわかる.

4. 考 察

実験結果をもとに, 防波堤の遮蔽域内への堆砂が一方的に進む機構について考察する. この堆砂には主方向の波浪の回折波よりも, それと反対側より入射する波が大

意な地形変化が生じる限界水深 (地形変化の限界水深) より深い場所に堆積した砂はとり残されることがわかる.

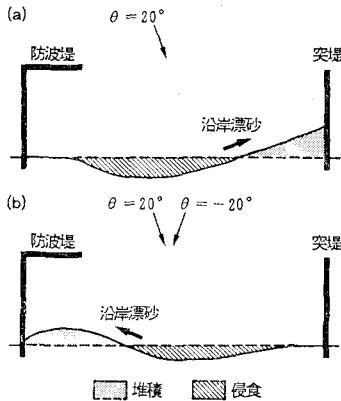


図-12 海浜変形の模式図

きく影響し、周期的に海浜変形が生ずるものの、長期的に見ると防波堤の遮蔽域外より内側へと土砂が移動するのである。模式図としてまとめると図-12となる。このことは、波向が前述のように変動する海岸において防波堤が建設された場合、その遮蔽域内への堆砂のみが進み、遮蔽域外では侵食が著しくなることを示す。この侵食機構は宇多・野口(1990)が大潟海岸を例に模式的に示しており、それが本実験により証明されたことになる。以上の点は、波向が大きく変化する海岸では一方向のみから入射し、したがって一方向の沿岸漂砂が卓越する海岸と違った意味から構造物周辺での海浜変形に注意しなければならないことを示している。図-12をもとに考えれば、(a)に示すように一方向の漂砂が卓越する場合には、漂砂の下手側に位置する突堤状の構造物の漂砂上手側には土砂が堆積するのに対し、波向が周期的に変

化する場合には(b)に示すように突堤の周辺ではほとんど堆積が生じないことが特徴と言える。

5. 結 論

① 波向が変動する海岸に防波堤が存在する場合には、一方向より卓越波が入射する条件よりはるかに大量の土砂が防波堤の遮蔽域に堆積し、防波堤の隣接区域では一方向的に侵食が進むことが実験的に確認された。

② この実験結果は、宇多・野口(1990)が調べた直江津港に隣接する大潟海岸の海浜変形機構とよい一致を示した。

③ 実験結果は、波向変動がある海岸での海浜変形は、一方向の漂砂の卓越する海岸とは違った意味より構造物周辺の海浜変形に注意すべきことを示している。一方向の漂砂が卓越する場合には防波堤背後で大量の土砂が堆積することはないが、波向が変動する場合には防波堤の隣接域より背後へと大量の土砂が移動することを模式図として取りまとめることができた。

参 考 文 献

- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三(1986): 茨城県における海浜変形の実態, 地形, Vol. 7, No. 3, pp. 141-163.
- 宇多高明・坂野 章(1989): 波向が周期的に変化する場における海浜地形変化, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 369-373.
- 宇多高明・野口賢二(1990): 大潟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.
- 住谷勉夫・園部武正・宇多高明・伊藤 隆・猿田正則・横田喜一郎(1988): 鹿島灘沿岸におけるヘッドランドの建設による海浜の安定化, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 437-441.
- Hsu, J.R.C. and C. Evans(1989): Parabolic bay shapes and applications, Proc. Int. Civil Engrs., Part 2, 87, pp. 557-570.