

岸沖漂砂を考慮した等深線変化モデルによる 護岸周辺の地形変化予測

宇多高明*・山本幸次**・岡本俊策***

1. ま え が き

移動床模型実験により海浜地形変化を予測する場合、一般には底質粒径を幾何学的縮尺により縮小することができないために、模型実験の粒径・波高比が現地海岸のそれと比べて極端に大きくなってしまい、この結果現地海岸と著しく異なる模型実験固有の岸沖漂砂による地形変化が生じることが問題となる。沿岸漂砂による地形変化を調べるための実験において、このような実験固有の岸沖漂砂が重なれば、本来目的とすべき地形変化の予測が困難となる。実験の精度を向上させるには、実験固有の岸沖漂砂を評価し、実験結果から分離することが必要とされる。

本研究では、まず模型実験固有の岸沖漂砂量を評価する方法を示し、次に護岸前面での岸沖漂砂量の助長量とその分布形の変化を評価する方法を示す。そして、筆者らが開発した等深線変化モデル(宇多ら, 1990, 1991a, 1991b)による地形変化の予測結果に、岸沖漂砂による地形変化を重ね合わせることにより、沿岸漂砂と岸沖漂砂とが重合した場合の海浜地形変化を予測する手法を開発する。そして計算結果と実験結果を比較することにより、計算モデルの妥当性を確認する。

2. 実験方法

沿岸漂砂が卓越した条件下における護岸周辺での海浜変形データを得るために、26 m×26 m×0.6 mの平面水槽を用いて移動床模型実験を行った。まず、中央粒径 0.22 mm の粒度調整砂により、図-1に示すように波の入射方向に対し 70°傾いた平行等深線を持つ様斜面を整形した。初期斜面勾配は $i=1/10$ 、水槽底面を基準とした水深は 30 cm である。護岸は直立型とし、その法線を初期汀線と重ね、16 m ≤ x ≤ 24 m の区間に設置した。この初期形状に対し、換算沖波波高 $H_0'=4.6$ cm、周期 $T=1.27$ s の規則波を 2 時間作用させた。実験波の条件は、入

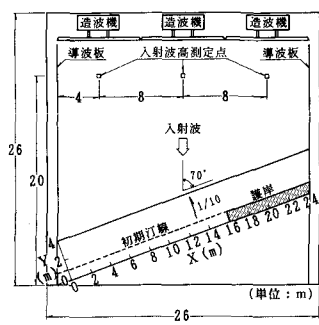


図-1 実験装置と模型海浜

射波条件と底質粒径を組み合わせた時、漂砂の移動限界水深が実験水深の約 1/2 の 15 cm 程度となることを条件として設定した。この場合、移動限界水深は過去に筆者が実施した同種の移動床実験の波浪条件と移動限界水深の関係を参考にするとともに、佐藤・田中の移動限界式による検討を行って波浪条件を選定した。

海浜形状は、実験開始前と造波開始後 2 時間の 2 回、スタッフにより 1 mm 単位で測定した。沿岸方向の測線間隔は 0.5 m、岸沖方向の測点間隔は 10 cm である。砕波波高および砕波波向は、造波開始直後と 2 時間後に測定した。砕波波高は沿岸方向に 0.5 m 間隔で波高計を手で直接支持して測定した。また、砕波波向は分度器により 1° 単位で読み取った。

3. 実験結果

造波開始後 2 時間の海浜形状を図-2 に示す。初期海浜が平行等深線を有することを考慮しつつ図-2 を参照すると、漂砂の下手側の境界に隣接する $X=0\sim4$ m では 2 cm から -12 cm までの範囲で等深線が前進し、逆に護岸の下手側隣接域では偶角部を中心として侵食が進んだ。また、漂砂の上手側境界付近では漂砂の供給量が不足したことにより、護岸前面から -12 cm までの範囲が侵食され、等深線間隔が広がった。また、自然海浜区間では -2 cm ~ -4 cm と、-8 cm ~ -10 cm で等深線間隔が大きく広がったのに対し、護岸前面では -4 cm ~ -12 cm の範囲で全体的に等深線間隔が広がったことが特徴

* 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 建設省土木研究所海岸研究室研究員
 *** 技研興業(株)(元建設省土木研究所海岸研究室部外研究員)

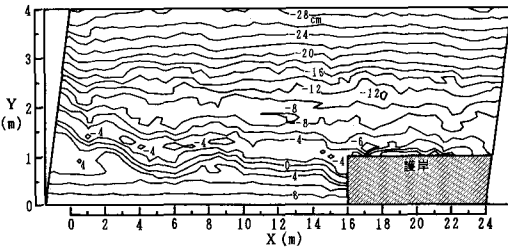


図-2 造波後2時間の海浜地形

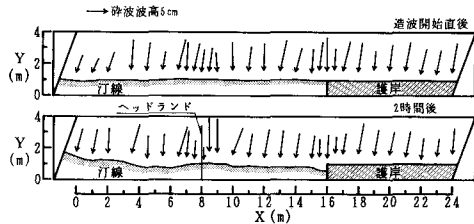


図-3 碎波波高と碎波点における入射角の沿岸方向分布 (造波開始直後および2時間後)

である。自然海浜部と護岸前面での等深線形の相違は、沿岸漂砂の作用のみでは説明できず、岸沖方向漂砂による土砂移動が自然海浜部と護岸前面とで異なることを示唆している。

図-3には、造波開始直後と2時間後の碎波波高と碎波波向の分布を示す。図中の矢印はその位置により碎波点を、方向により碎波点の入射角を、長さにより碎波波高を示した。2時間後には別の実験のために侵食対策工として $X=8.0\text{ m}$ にヘッドランドを置いたので、その周辺で一部波高分布に変化が見られたが、全対的には0、2時間とも良く似た分布形となった。

4. 岸沖漂砂による地形変化のモデル化

移動床模型実験で生ずる岸沖方向漂砂については、波の半周期間の岸向き、沖向き漂砂量を算出して net の漂砂量を求める方法が広く検討されてきている (例えば、渡辺, 1981)。しかし、この手法では陸上部をも含む海浜断面変化を定量的に予測することはできない。そこで、本研究では模型実験において発生する岸沖漂砂量を経験的な方法により評価することを考える。模型実験における海浜変形は、第一次近似としては沿岸漂砂と岸沖漂砂による地形変化の重ね合わせと考えることができ、海浜断面は一般に図-4のように表わされる。図-4の左端は、沿岸漂砂のみによる海浜変形であり、上から順に堆積、中立、侵食域の断面形変化のパターンである (Uda・Yamamoto, 1991)。このような地形変化に岸沖方向漂砂による地形変化が重なると考える。岸沖方向漂砂による海浜変形パターンは、堀川ら (1975) によれば、3 タイ

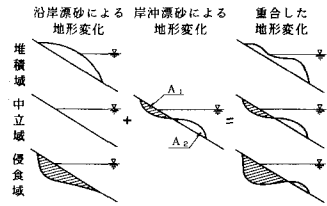


図-4 海浜断面図の変化の模式図

プに分類されることが分かっている。例えば、沖向き漂砂によりタイプ I の変形が生じたとすれば、実験結果はこれらを重ね合わせた断面と近似的に等しくなる (図-4 参照)。この場合、沿岸漂砂によって地形変化が生じたあとでの、岸沖漂砂による地形変化形態は沿岸方向に一樣になるとは限らないが、ここではその変化は無視し、変化分は誤差として取り扱う。図-4 に示した堆積、中立、侵食域の断面形に着目し、断面内での侵食面積を A_1 、堆積面積を A_2 とすると、堆積域の断面では $A_1 < A_2$ となり、侵食域の断面では $A_1 > A_2$ となる。また、中立域では $A_1 = A_2$ である。

沿岸漂砂による海浜変形を考えたとき、漂砂の上手、下手側の境界付近では漂砂の出入りがないので、上手側境界付近では堆積が起こる (図-5 参照)。このとき、B-B' と C-C' で挟まれた中立域では沿岸漂砂は単に通過するのみであり、沿岸漂砂による地形変化は生じない。この中立域では岸沖漂砂による地形変化は $A_1 = A_2$ となるはずである。例えば、平面実験において中立域を求めるには、沿岸漂砂による海浜変形の影響を受けず、汀線が初期形状とほぼ同一形状を保つ中央部の区域において、各測線における侵食断面積 A_1 と堆積断面積 A_2 を求め、 $A_1 = A_2$ となる断面を選定すればよい。選定された断面の地形変化より、岸沖漂砂による水深方向変位量の分布を求めることができる。

一方、護岸前面においては、護岸の存在により岸沖漂砂量が助長される可能性がある。その増加分の評価を行うために、まず護岸設置区域内の測線においても沿岸漂砂による地形変化が生じないと思われる断面の選定を行う。そして護岸前面における堆積断面積 A_2' を求め、自然海浜部の中立域での堆積断面積 A_2 に対する比を求め、その比が1より増大する分を護岸による岸沖漂砂量の助長割合とする。この場合、岸沖漂砂による水深方向変位量の分布割合は変わらず、絶対値だけが增加するものとす

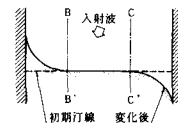


図-5 沿岸漂砂のみによる汀線変化の模式図

る。以上より求めた岸沖漂砂量を沿岸漂砂による地形変化に重ね合わせれば、最終的な地形変化量が求められる。

5. 中立断面の選定法

中立断面を求めるために、実験における汀線変化を図-6に示す。図-5と比較した場合、護岸部分を別として沿岸漂砂による地形変化が生じないと思われる区域でも、汀線の前進および後退が見られ、実際には入射波向が必ずしも一定でなく複雑な海浜変形が生じたことを示している。図-6より中立断面が存在すると思われる範囲で、図-4の中立域に見られるような断面変化を示し、侵食断面積 A_1 と堆積断面積 A_2 がほぼ等しくなるような測線を選ぶと、 $X=10.0\sim11.5$ m断面がそれらの条件を満たす。また、この区域では断面形状がほぼ一定であり、図-6に見られるように、初期汀線に対して汀線がほぼ平行に後退している。このことから、 $X=10.0\sim11.5$ m断面の区域を沖向き漂砂のみにより変形を受ける中立域とすることができる。 $X=10.0\sim11.5$ m断面での初期断面に対する変化量の平均より、沖向き漂砂による断面変化の分布を表わすこととし、中立域の平均初期断面と沖向き漂砂によって形成された中立域断面の形状を図-7に示す。これによると、中立断面における侵食断面積 A_1 と堆積断面積 A_2 はそれぞれ 0.014 m^2 となり、断面内で土砂収支が成立していることが明らかである。

次に、護岸による沖向き漂砂の助長量について考える。本研究の場合は、 $Y\leq 1$ mに護岸があるために、護岸の存在により本来侵食されるべき前浜の土砂の一部が侵食されなくなる。またそれだけではなく、波が護岸前面で反

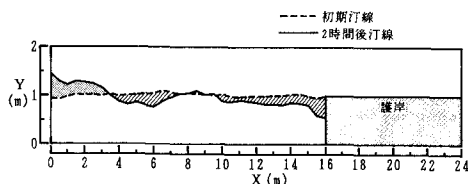


図-6 0~2時間の汀線変化

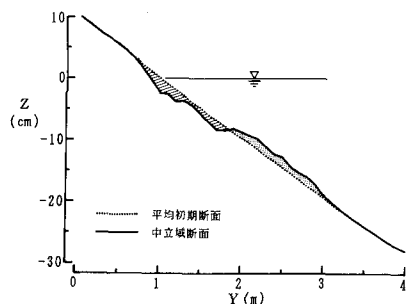


図-7 中立域の断面図 (自然海浜区間)

射されることにより侵食が助長されると思われる。この沖向き漂砂の助長量を、護岸を含む測線の中で沿岸漂砂による上手境界の侵食の影響が最も少ないと思われる $X=16.5\sim18.5$ m断面の区域において求めることとする。各測線で堆積断面積 A_2 を求めると、いずれも A_2 の値はほぼ一定していることから、それらの平均を A_2' とすることが妥当である。この時、 $A_2'=0.022\text{ m}^2$ であり、先に求めた中立断面での $A_2(=0.014\text{ m}^2)$ に対する比 $k=A_2'/A_2$ を求めると、 $k=1.6$ となる。ゆえに、護岸前面の沖向き漂砂による水深方向の変化量は護岸の影響により、1.6倍にする必要がある。

さらに、沖向き漂砂による侵食と堆積が生じた場合の土砂収支は一致させる必要があるため、護岸によりカットされる侵食断面積の残りの侵食断面積 0.016 m^2 に加えなければならない。この時、侵食量は護岸前面で最も著しく、沖ほど小さくとなると考え、カット分の変位量が護岸面に底辺を持ち断面内の侵食・堆積域の境界に頂点を持つ三角形状に分布するものとする。結果を図-8に示す。図中の破線が護岸による侵食の助長分を考慮した中立域断面を示しており、実線が護岸によるカット分を補正した断面である。

6. 沿岸漂砂と沖向き漂砂が重合する場合の地形変化計算

沿岸漂砂による海浜変形の計算は、等深線変化モデル(宇多ら, 1990, 1991a, 1991b)を用いて行なう。計算には実験的に得られた碎波波高および碎波波向の測定値(図-3)を用いることとし、宇多ら(1991a)の方法と同様に、初期と2時間後の値を時間に関する3次曲線で内挿して用いた。ただし、図-3に示した2時間後の碎波波高・波向の分布は、侵食対策工(ヘッドランド)を設置した $X=8.0$ m部分の前で大きな変化が見られるので、ヘッドランド設置位置とその前後の3点のデータは外側のデータより補間した。また、漂砂量係数 f はサベージ式より $f=0.217$ と設定し、また沿岸漂砂量の水深方向分布等は全て宇多ら(1991a, b)と同様とした。沿

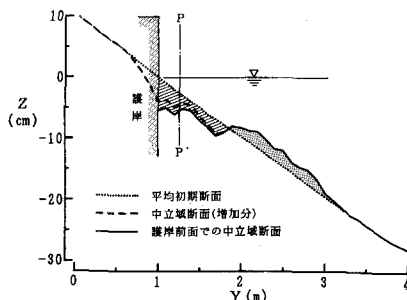


図-8 中立域の断面図 (護岸設置区間)

岸漂砂のみによる地形変化の予測結果を図-9に示す。実験では下手および上手側境界は測線方向に対して20°傾いているが、計算では $X=0$ mおよび24 mの測線を境界としているため、境界条件が若干異なる。しかし、両境界付近では境界条件の相違による影響は小さく、両者はほぼ一致をみている。自然海浜部では下手側ほど全体に等深線の前進量が大きいこと、また波向変動に対応した沿岸砂州状の地形が形成されたことなどはほぼ実験と対応を示す。しかし、実験における $Z=-2\sim-4$ cmおよび $-8\sim-10$ cmでの等深線間隔の広がりや、護岸下手側隣接域の侵食による $Z=-2\sim-4$ cmの等深線の後退は見られない。また、護岸前面においても等深線が全体に後退傾向を示すが、 $Z=-4\sim-12$ cmの等深線の間隔の広がりは見られない。また実験では護岸前面に $Z=-2\sim-4$ cmの等深線はほとんど存在しないのに対し、計算では存在することから、護岸前面での侵食量が小さ過ぎると言える。

図-9に示した沿岸漂砂による地形変化に、中立域断面における地形変化(自然海浜: 図-7, 護岸前面: 図-8)を重ね合わせれば、沿岸漂砂と沖向き漂砂が重なった場合の地形変化が求められる。重ね合わせ手順として、まず自然海浜部では沿岸漂砂のみによる地形変化計算を行って断面形を予測し、次にこの断面形の各水深ごとに図-7に示した鉛直変位を重ね合わせる。このとき、沿岸漂砂のみによる変形が生じたあとの断面形は図-7の初期断面形のように一様でなくなるため、厳密には土砂収支は成立しないが、その量は小さいとして無視する。一方、護岸の設置区間では図-8に示す分布形より鉛直変位量

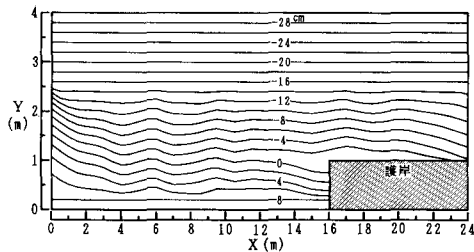


図-9 2時間後の予測等深線 (沿岸漂砂のみ)

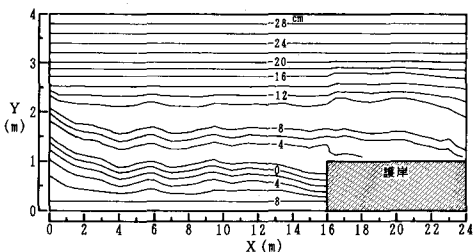


図-10 2時間後の予測等深線 (沿岸漂砂+沖向き漂砂)

を求め、予測断面形に重ね合わせる。ただし図-8において汀線は護岸位置にあるが、沿岸漂砂のみによる地形変化計算を行った段階で護岸位置では地盤高が海面下となるはずである。その場合は、図-8の護岸とP-P'間の断面面積変化は生じなくなるので、全侵食断面面積に対するこの部分の断面面積の割合により沖合の堆積量を分布形に応じて減ずることとする。以上の方法で計算した結果を図-10に示す。実測値(図-2)と比較すると、自然海浜部分では $Z=-2\sim-4$ cmおよび $-8\sim-10$ cmで等深線間隔が広がるとともに、護岸下手側隣接域でも $Z=-2\sim-4$ cmの等深線の後退が見られ、実験結果が良く再現されている。また、護岸前面においても $Z=-12$ cmまでの等深線間隔の広がりと、 $Z=-4$ cmまでの等深線の後退により示される護岸直前での侵食が再現されている。

海浜断面形を比較するために、自然海浜部分では $X=0.0, 10.0, 16.0$ m断面の海浜形状を図-11に、護岸部分では $X=16.5, 20.5, 24.0$ m断面の海浜形状を図-12

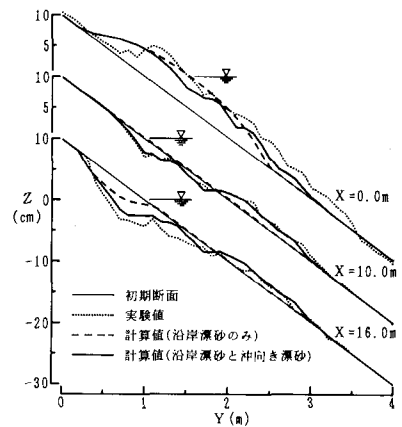


図-11 実測断面形と予測断面形の比較 ($X=0, 10, 16$ m断面)

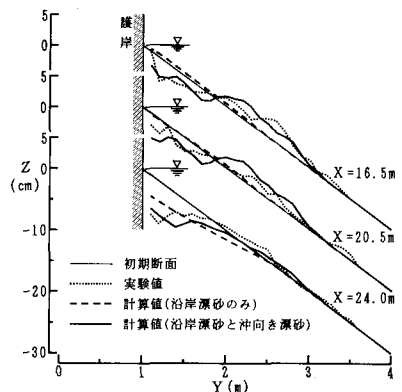


図-12 実測断面形と予測断面形の比較 ($X=16.5, 20.5, 24$ m断面)

に示す。実験における初期断面は計算に用いた勾配 1/10 の一様勾配斜面と必ずしも一致せず、各断面でもわずかな違いがあるために、図示した実験値には実験における地形変化量を計算に用いた初期断面に加えたものを用いている。図-11 より、下手境界にある $X=0.0\text{ m}$ 断面では単調な堆積が生じており、計算結果の方が堆積範囲が浅い方向にややずれているものの、沖向き漂砂を考慮することにより断面形状がより実験結果に近づいていることが分かる。 $X=10.0\text{ m}$ 断面は中立域にあり、計算において沿岸漂砂による断面変形はほとんどなく、沖向き漂砂を考慮した計算結果と実験結果とは良好な一致を示す。護岸下手側隣接域にある $X=16.0\text{ m}$ 断面では、 $-5\sim-8\text{ cm}$ での侵食と $-8\sim-19\text{ cm}$ での堆積が沖向き漂砂により良く再現されている。同様に、図-12 では自然海浜部に比較すると変動が大きいものの、いずれの断面においても護岸前面から、水深 -8 cm までの侵食と $-8\sim-19\text{ cm}$ の堆積が再現されている。

本研究で提案した方法では、沿岸漂砂による地形変化については予備実験を必要としないが、岸沖漂砂による地形変化は経験的に定められていることから、実験固有の地形変化をあらかじめ調べておく必要がある。この場合、本研究では平面実験の結果を利用したが、断面変形は 2 次元造波実験により調べることが可能であるから、平面実験データなしで地形変化の予測計算を行うことが可能となる。

7. 結 論

本研究の結論は以下に要約される。

① 沿岸漂砂が卓越する条件のもとで移動床実験を行い、構造物の影響を受けない海浜中央部では沿岸漂砂による地形変化が生じない中立断面が存在することを示し、そこでは岸沖漂砂のみによる海浜断面変化が生じることを明らかにした。

② このような実験固有の岸沖漂砂が沿岸漂砂に重合した場合の地形変化を予測するモデルとして、等深線変化モデルに岸沖漂砂による地形変化を組み込むことにより、両方向の漂砂がある場合に護岸周辺で生ずる地形変化を予測可能な 3 次元海浜変形モデルを開発した。このモデルと移動床平面実験の結果を比較したところ、両者は良い一致を示した。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1990): 沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮した海浜変形モデル, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 304-308.
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991a): 沿岸漂砂による 3 次元海浜地形変化の予測法, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 386-390.
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991 b): 等深線変化モデルによる護岸周辺の地形変化予測, 第 46 回年次学術講演会講演集, pp. 1036-1037.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する実験的研究, 第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 329-334.
- 渡辺 晃 (1981): 海浜流と海浜変形の数値シミュレーション, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 285-289.
- Uda, T. and K. Yamamoto (1991): Spit formation in lake and bay, Coastal Sediments '91, Vol. 2, pp. 1651-1665.