

波による粒径の淘汰を考慮した養浜時海浜変形モデル

宇多高明*・小杉俊夫**・平岡孝恵***

加藤憲一****・山形 宙*****

1. ま え が き

一般に、わが国で行われている養浜では、離岸堤や突堤など砂の流出防止施設に囲まれた区域で土砂の投入が行われることが多い。このため、養浜工の計画においては、海浜の利用や養浜砂の安定性の面からの海浜縦断形の検討が主となる。すなわち、入射波のうちあげ高から後浜の高さが、また波高・周期と海浜材料の中央粒径から前浜勾配の設定が行われる。一方、海浜材料の選択については、James (1974) をもとに細粒分の損失割合などが検討されている。この方法は、養浜前の汀線付近の海浜材料の粒度分布を考慮し、その中に存在しない細粒分を損失とするものであるが、実際には底質粒径は水深方向に大きく変化するから、汀線付近での粒度分布を考慮するのみでは不十分である。

ところで、沿岸漂砂が卓越する海岸における侵食対策としての養浜工について考えると、この方法はいくつかの海岸での現地実験は行われているものの、養浜工の効果を定量的に予測する方法については明らかではない。すなわち、土砂投入により形成された砂浜は、沿岸漂砂の作用により直ちにその形が変化するから、後浜の高さや前浜勾配などの初期設定値自体があまり意味をもたず、むしろ下手側海浜の養浜効果から投入位置や形状が定められるべきであるが、そのような視点からの研究は行われていない。以上の点より、本研究では沿岸漂砂の卓越する神奈川県の中湘海岸で養浜工の現地実験を行うとともに、沿岸漂砂が卓越する海岸において波による粒径の淘汰作用も考慮しつつ下手側海浜の養浜効果を予測するモデルを開発する。

2. 西湘海岸における養浜工の現地実験

現地実験を行った西湘海岸は、大磯港から小田原市の早川の間に伸びる延長約 17 km の砂浜海岸であり、主として酒匂川起源の土砂が東向きの沿岸漂砂により運ばれ

堆積してできた海浜である。この海岸の前浜勾配は約 1/10 と急勾配である。西湘海岸の二宮地先では、1995 年 12 月から 1996 年 2 月の間に約 21,000 m³ の土砂による養浜が行われた。土砂投入は 3 時期に分かれ、1995 年 12 月 4 日～15 日には 5,598 m³ ($d_{50}=1.0\text{mm}$) が、1 月 10 日～2 月 7 日には 12,000 m³ ($d_{50}=6.0\text{mm}$) が、そして 2 月 13 日～2 月 23 日には 3,440 m³ ($d_{50}=0.2\text{mm}$) が前浜上に投入された。この間、波浪観測、底質調査、深浅測量などが繰り返し行われた。実験期間においては、実験区域の東約 8.5 km に位置する平塚沖の波浪観測によれば、1 月 16 日～17 日に最大有義波高 2.3 m の高波浪が、また 1 月 9 日には 1.9 m の、そして 12 月 25 日には 1.8 m の高波浪が作用している。

観測結果の一例として、養浜前の 1995 年 11 月 29 日の測量データを基準として、2 月 10 日までの等深線の水平方向変位をまとめて図-1 に示す。また、図-1 に示す養浜区間の中央を通る測線 No. 12 における海浜縦断形の変化を図-2 に示す。土砂はほぼ連続的に投入されたが、それと同時に波浪の作用を受け、養浜域の海浜地形変化が生じた。図-1 によれば、測線 No. 9～No. 15 の前浜上に投入された土砂が、顕著な波の作用を受ける T.P. 1 m から海側の領域において東(図中左側)、西側両方向へと拡散しつつ移動していることが分かる。-1 m 以深に一部岩礁があるためデータが途切れているが、図-2 と合わせて見れば、投入土砂は -4 m 付近まで落ち込みつつ

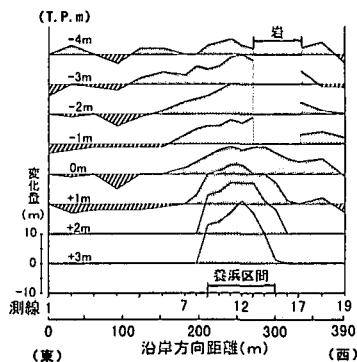


図-1 西湘海岸二宮地先での養浜に伴う等深線の変化

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
 ** 神奈川県土木部河港課
 *** 神奈川県平塚土木事務所
 **** 正会員 工修 日本建設コンサルタント(株)
 ***** 日本建設コンサルタント(株)

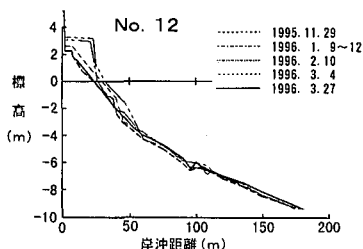


図-2 養浜に伴う海浜縦断形の変化

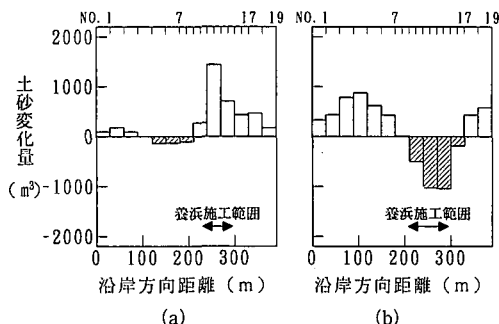


図-3 海浜土砂量の沿岸方向変化

左右へ移動したことが分かる。また、縦断図によれば、前浜上標高3mまで高く盛られた養浜砂の海側斜面には浜崖が形成されるとともに、汀線付近の勾配は約1/5と投入前の1/7より急になった。図-3は、顕著な地形変化の見られる-4m以浅の区域について、各断面ごとに海浜土砂変化量をまとめたものである。図-3(a)は1995年11月29日～1996年1月12日の、図-3(b)は1996年2月10日～3月4日の地形変化量である。これによれば、図-3(a)に示す時期には主として西向きに、また図-3(b)に示す時期には東向きの土砂移動があったことが分かる。結局、養浜実験の行われた時期には一方の沿岸漂砂は卓越せず、沿岸漂砂の方向は最初は西向き、その後東向きに変化したことが分かった。

3. 養浜時海浜変形モデル

3.1 波による粒径の淘汰作用を考慮しない場合

沿岸漂砂が卓越した海岸において養浜を行う場合、波による粒径の淘汰作用を考慮しなくてよければ、宇多・河野(1996)の等深線変化モデルが適用可能である。養浜に際しては、一般にその効果は養浜土砂が下手側海浜に対してできるだけ長い時間にわたって砂を供給できるかどうかにかかっている。例えば、高波浪以外の波浪の作用が及ばない後浜を中心として養浜を行えば、養浜土砂は高波浪が来襲しない限り移動しないから下手側海浜への養浜効果は生じない。また、砂を沖合の、波による地形変化の限界水深(宇多, 1997)より深い海底に投入

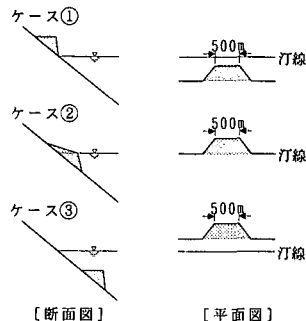


図-4 計算モデルの概要

した場合、投入土砂はその付近に長く留まるものの、汀線付近での養浜効果は当然存在しない。一方、汀線から碎波帯の間に土砂を投入する場合には、投入土砂は下手側を養う効果は高いものの、その効果は長続きしないはずである。以下ではこのような点を数値モデルにより検討する。

土砂投入場所の水深を変えた3ケースの条件を考える。ケース①は、西湘海岸での現地実験と同様、図-4に示すように、前浜上で養浜を行うものであり、1/10の一樣勾配の海浜において、三角形に養浜する。標高2m位置で最も厚く3m厚さで土砂を敷くため、標高5mの等高線が最も突出する。それより陸側の初期勾配は1/40、海側の勾配は1/3とする。また、沿岸方向には台形状の養浜形状とし、延長500mの養浜区間を考える。ケース②では、ケース①と養浜形状は同一として、汀線位置で等深線が最も突出するように養浜を行う。ケース③では-5mの等深線が最も沖向きに突出するような形態で養浜を行う。

両側を突堤等の不透過性構造物によって挟まれた3000m区間を考え、やや右側の領域で養浜を行うこととし、波は右側から5°の斜め入射波条件とする。計算に用いる波浪条件は、地形変化に伴う波高の変化は小さいとして、沿岸方向に一定の碎波波高 $H_b=3m$ の条件とし、地形変化は宇多・河野(1996)と同様、 $-h_c$ から h_R の範囲で起こるとする。そして、沿岸漂砂量の水深分布も宇多・河野と同じ式を用い、 $h_c=2.3H_b$, $h_R=1.0H_b$ とする。また、陸域と海面下での限界勾配に対応する角度はそれぞれ60°, 30°とする。

図-5にはケース①の計算結果を示す。初期、5日、10日後の等深線の平面的変化である。汀線近傍に急傾斜で土砂を盛った条件のもとで波が斜め入射すると、沿岸漂砂により盛土の右側端部付近が著しく削り取られ、浜崖が形成される。侵食された土砂は沿岸漂砂によって下手方向へと運ばれる。5日後には左側の境界壁の右側で土砂が堆積し、汀線が三角形に前進する。この状況は10

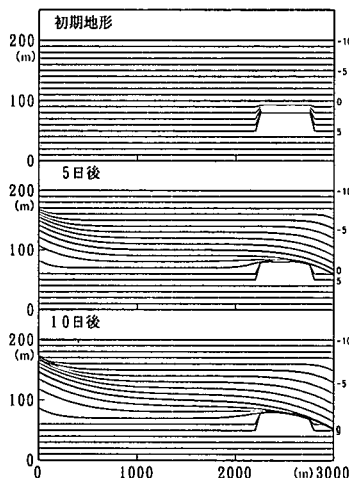


図-5 ケース①の等深線の変化

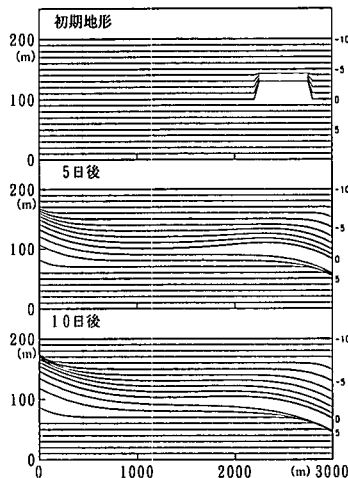


図-6 ケース②の等深線の変化

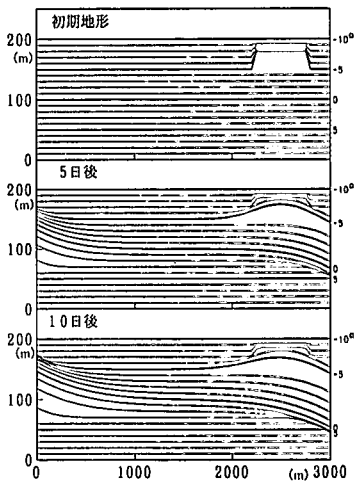


図-7 ケース③の等深線の変化

日も継続し、三角形の堆積域の面積は増大する。この養浜条件では、左右の不透過壁間の汀線は波の入射方向とほぼ直角な安定条件に近づくことから、養浜砂には波の作用が次第に及ばなくなり、標高が高い部分における養浜砂はほぼそのまの形状を保つ。

図-6 には、ケース②の計算結果を示す。初期状態では汀線が著しく突出した条件である。この条件では、5日後にはすでに養浜による等深線の突出はなだらかなものに変化し、10日後には土砂投入箇所付近では投入時の突出した等深線は全く残されていない。このタイプの養浜では下手海岸への養浜効果は高いが、土砂の投入地点では投入砂は急速に失われることを意味する。

図-7 には、ケース③の計算結果を示す。初期状態では-5mの等深線が最も突出する条件である。この場合には、波による地形変化の限界水深-6m以浅でのみ地形変化が生じ、それより深い部分では初期形状がそのまま残される。したがって時間経過とともに、-6m以浅の等深線の沿岸方向の曲率が次第に緩くなる。深い部分から削られた土砂は沿岸漂砂によって下手側に運ばれ堆積するが、前浜面積の増加にはほとんど寄与せず、ケース①とよく似た変化となる。

ケース①～③の10日後の汀線形状を比較すると、汀線付近で養浜を行ったケース②の汀線はその他のケースと比較して明らかに汀線の後退量が小さいことが分かる。ここで、以上の3ケースの計算における養浜区間の中央を通る断面の海滨縦断形の変化をまとめて図-8に示す。ケース①では、汀線側から浜崖侵食が進んでいるが、10日後においても大部分の土砂は投入点に残されている。汀線を最も突出させたケース②では、養浜砂は急速に下手方向へと運び去られる。ケース③では、-6m以浅が侵食されて次第に丸みを帯びた形状となるが、波によ

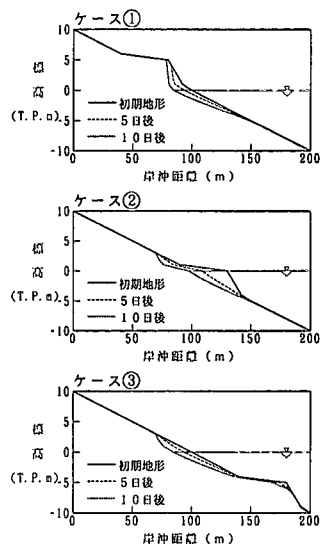


図-8 ケース①, ②, ③の海滨縦断形の経時変化

る地形変化の限界水深より深い部分の土砂はそのまま残留する。

3.2 波による細粒分の損失を考慮した場合

前節では、波による粒径の淘汰作用のない場合についてのモデル化を行ったが、実際の養浜においては、現地海岸の汀線付近の粒径よりも小さな粒径材料により養浜が行われることがしばしばである。沿岸漂砂が卓越した海岸において、このような材料を用いて養浜を行った場合の海滨変形について考える。

宇多 (1997) は、全国各地の海岸において底質材料の水深方向分布を調べ、比較的緩勾配の砂浜海岸においては、汀線付近での粗な粒径は水深の増加とともに急激に減少し、波による地形変化の限界水深付近では d_{50} が 0.2

mm 程度で、水深によらないほぼ一定値を有することを明らかにした。このことは、 d_{50} で見たとき、波による地形変化の限界水深より深い部分はこれより小さな粒径で占められていることから、逆にこの限界粒径より中央粒径が小さな砂は沖へと流出し、波による地形変化の限界水深以浅での海浜変形にはほとんど無関係としてもよいことを意味している。ここではこの結果の応用を考える。いまある海岸での養浜材料の粒径加積曲線が図-9 のようであったとし、0.2 mm に対応する割合が図示するように、 $a\%$ であったとすると、0.2 mm がちょうど d_{50} と見なせる $2a\%$ の範囲を沖合への損失土砂量と見なすことができる。したがって投入土砂のうち、 $(100-2a)\%$ が正味の土砂として海浜変形計算を行えばよい。ただし、土砂の損失が起こるのは、沿岸漂砂によって土砂が削り取られる場合に限られるから、陸上部で波の作用が全く及ばない場合、あるいは波による地形変化の限界水深より深い部分で土砂投入を行った場合にはこのような変化は考えなくてよい。

具体例として、 $h_R \sim h_C$ の間で土砂投入を行ったケース②を対象として粒径の淘汰を考慮した計算をケース④として行ってみる。いま $a=20\%$ としてケース②の場合

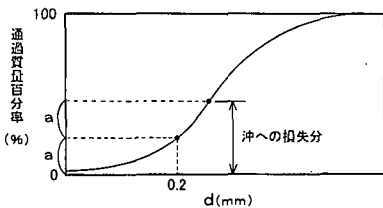


図-9 細粒土砂の損失分の計算方法

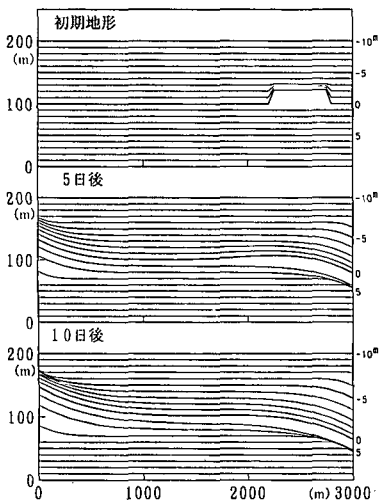


図-10 細粒土砂の損失がある場合 (ケース④) の等深線の変化

と同様にして等深線の平面的変化を示したのが図-10 である。投入土砂の 40% は沖合への損失として消失するから、初期における等深線の突出量が減少するため土砂投入域での養浜効果がそれだけ低下している。

宇多ら (1997) は、西湘海岸のいくつかの地先において、 d_{50} の水深方向分布を測定した。宇多らのデータに、本研究で新たに測定した 3 地点の d_{50} の分布を加えて図示すると、図-11 となる。これによると、西湘海岸でも汀線付近で粗な粒径が水深方向に急に減少し、波による地形変化の限界水深-7 m 付近 (宇多ら, 1995) では 0.4 mm となって、水深によらずほぼ一定となる点は他の比較的緩勾配の海岸と同一であるが、勾配が急なために限界粒径が 0.4 mm と大きい。このことから、前述の計算では限界粒径を 0.2 mm としたが、西湘海岸では限界粒径を 0.4 mm とする必要があると考えられる。

3.3 波による細粒分の損失と混合粒径成分の各水深域への配分を考慮する場合

前節では、細粒分の損失を考慮した計算を行った。しかし、 d_{50} の水深方向分布が測定されている場合、細粒分の損失だけではなく、混合粒径の各成分が、 d_{50} の水深方向分布において、それぞれ的水深帯へと分離されて移動したあと、沿岸漂砂によって下手側へと運ばれると考え

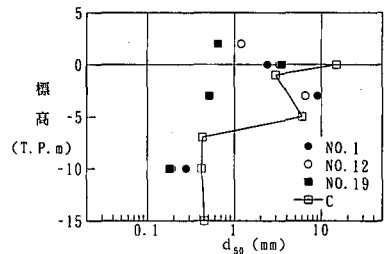


図-11 西湘海岸における底質中央粒径の水深方向分布

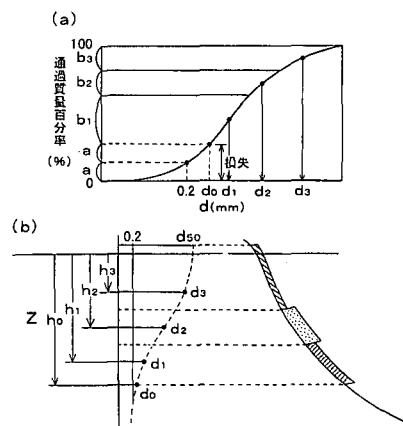


図-12 養浜土砂の水深方向への配分法

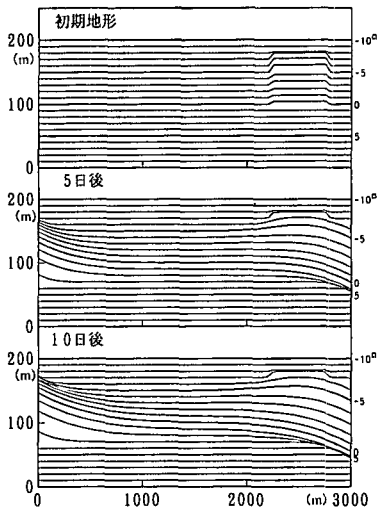


図-13 細粒土砂の損失と沖方向への粒径淘汰がある場合 (ケース⑤) の等深線の変化

れば、混合粒径からなる養浜砂の沿岸漂砂による移動のモデル化が可能である。ただし、混合粒径の各成分は、 d_{50} の水深方向分布に対応して水深方向に配分されると仮定する。また、実際には沿岸方向に移動しつつこの配分が起こると考えられるが、それに要する時間は十分短く、したがってまず沖方向への移動が起きたのち沿岸方向の移動が起こると仮定する。

図-12を参照したとき、まず d_{50} の下限値 0.2 mm に対応する割合を $a\%$ として、 $2a\%$ が損失分とする点は前節の場合と同様である。残りの部分について、具体例として3成分に配分する場合を考える。図示するように、 $b_1, b_2, b_3\%$ の範囲を定めたとき、それぞれの粒径分布における中央の粒径を d_1, d_2, d_3 とする。一方、図-12(b)に示すように、 d_{50} の水深分布において、 d_{50} がそれぞれ d_1, d_2, d_3 に等しくなる水深を h_1, h_2, h_3 とすれば、 $b_1\%$ の養浜砂を h_0 から $(h_1 + h_2)/2$ の水深に、 $b_2\%$ の土砂を $(h_1 + h_2)/2$ と $(h_2 + h_3)/2$ の水深帯に、そして $b_3\%$ の砂を $(h_2 + h_3)/2$ 以浅の水深帯に均一に敷きならべたあと、沿岸漂砂による海浜変形を生じさせればよいことになる。具体例として、 $a=20\%, b_1=30\%, b_2=15\%, b_3=15\%$,

$(h_1 + h_2)/2 = 5\text{ m}$, $(h_2 + h_3)/2 = 3\text{ m}$ において行った計算の結果を図-13に示す。投入土砂は岸沖方向に広く分散しており、初期状態における汀線の前進量はごくわずかなのである。図-6に示したケース②と比較すれば汀線付近の侵食が進んでいることが分かる。このことから、沿岸漂砂が卓越する場において、その海岸に存在する底質の岸沖方向分布に対応して粒径の淘汰作用が働くと考えると、細粒分の沖への損失などが無理なく説明できる。

4. 結 論

沿岸漂砂の卓越する海岸において、侵食対策の一環として養浜工を行う場合の海浜変形予測について、西湘海岸で現地実験を行うとともに、等深線変化モデルを用いて、①波による粒径の淘汰を考慮しない場合、②波による細粒分の損失を考慮した場合、③波による細粒分の損失と混合粒径成分の各水深域への配分を考慮した数値モデルを開発した。波による粒径の淘汰を考慮しない場合、養浜を行う場所を後浜とすれば、投入地点で養浜効果を際立たせ、汀線とすれば下手側への養浜効果が最大になり、さらに波による地形変化の限界水深に近い、沖合で養浜を行うことは効果から考えて最も不経済となることが示された。波による細粒分の損失は、 d_{50} の水深方向分布を考慮して、波による地形変化の限界水深より深い部分の細粒分を損失土砂と見なすものであって、これにより当該海岸で沿岸漂砂によって移動しているより細粒分は養浜材としては意味がないことが示された。

参 考 文 献

- James, W. R. (1974): Borrow material texture and beach fill stability, Proc. of the 14th ICCE, ASCE, Vol. II, pp. 1334-1344.
- 宇多高明・河野茂樹 (1996): 海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539/II-35, pp. 121-139.
- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 460.
- 宇多高明・川崎俊太・見附敬三 (1995): 西湘海岸小八幡地区に建設された突堤の漂砂阻止率の検討, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 671-675.
- 宇多高明・高橋 豊・青木 豊・加藤憲一 (1997): 西湘海岸の海浜堆積物の分布特性—森戸川河口沖の海底谷周辺に注目して—, 地形, Vol. 18, pp. 37-52.