

揖斐川河口部でのなぎさ再形成に伴う地形変化の再現モデル

田中慎一郎*・宇多高明**・平光文男***
木村秀治***・奥村賢二***・斐 義光****

1. ま え が き

筆者らは、コンクリートで固められた河口部の環境を改善し、護岸前面になぎさを復活するための養浜工を、揖斐川および長良川河口部で行ってきた(藤芳ら, 1995; 田中ら, 1996)。これにより潮間帯の面積を広げ、各種生物の生育が盛んな空間を広げることに成功した。この養浜では、長良川の河道内の浚渫土砂を養浜材料として用いたが、この材料による養浜工を護岸近傍で行ったとき、どのような移動状況を示すか、そして沖方向に土砂が急速に流出する恐れがないかなどが問題とされた。現地実験によれば、養浜砂は護岸と直角方向の移動を伴いながら、河口からの入射波の作用により主として河川の上流方向に護岸と平行に移動することが確かめられた。このように、現地実験自体からは興味ある結果を得ることができたが、初期勾配が1/1あるいは1/2と急勾配で養浜された土砂の広がり予測については、モデル化のための基本的考え方を整理したもの、実際に予測計算の可能なモデルの構築は、今後の問題点として残された。本研究は、田中ら(1996: 以下、前報と呼ぶ)の基本的考え方を発展させ、実際に現地海浜の地形変化を予測可能なモデルを構築することを目的とする。

2. 揖斐川河口部での養浜実験時の地形変化

前報で述べたように、揖斐川右岸の城南地区の下流側160 mで養浜の現地実験が行われた。養浜は、長良川の河道浚渫により発生した中央粒径が約0.2 mmの土砂を用いて行われた。図-1に養浜の平面形状を示す。第1回養浜では、護岸線と平行に800 m³の土砂が、また第2回養浜では5320 m³の土砂が投入された。初期勾配は第1回が1/1、第2回が1/2である。第1回養浜では、汀線をあまり沖向きに突出させず、したがって沖向き漂砂による地形変化を調べることに主眼が置かれた。第2回では養浜域を台形状に大きく突出させて、沿岸漂砂による地形変化が起こる条件とした。

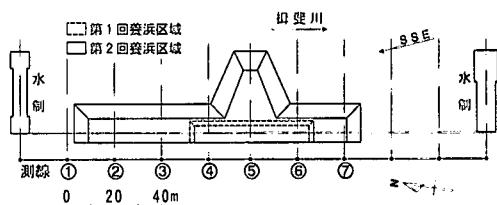


図-1 揖斐川河口部における養浜の平面形状

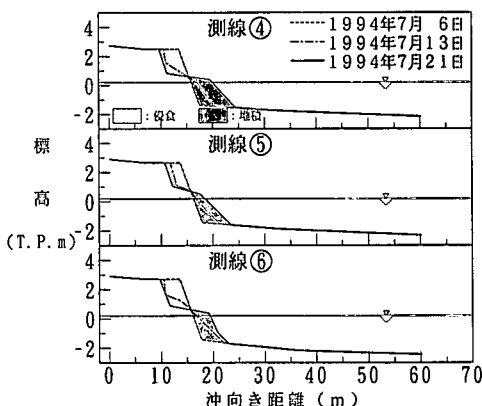
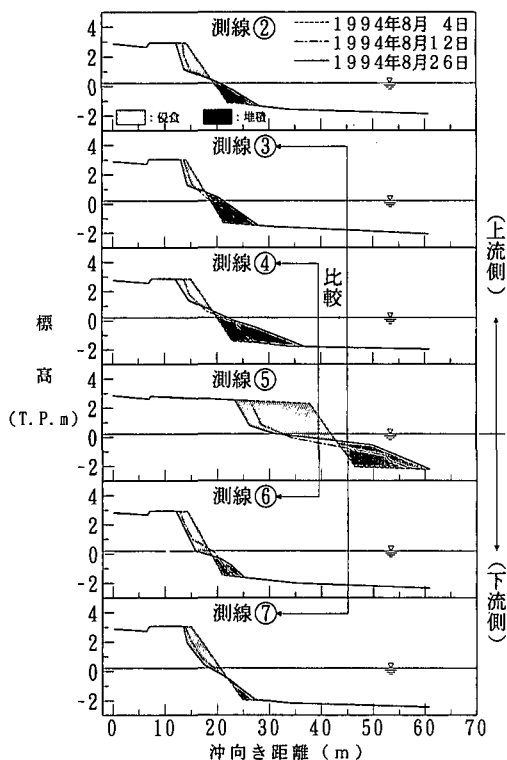


図-2 第1回養浜実験時の縦断形の変化(田中ら, 1996)

第1回養浜実験における海浜縦断形の変化を図-2に示す。養浜直後の1994年7月6日から15日間の地形変化である。各測線の断面変化はいずれも2次元変形が卓越しており、浜崖を形成しつつ崖面が後退している。

第1回養浜実験と同様にして第2回養浜実験時の縦断形の変化をまとめたのが図-3である。測線配置は、測線⑤が最も汀線が突出した位置であって、沿岸方向の測線間隔は20 mである。図-3によると、各測線の地形変化は基本的には図-2に示した第1回養浜時の地形変化と同様、沖向きの土砂移動が現れている。しかし、測線⑤の断面変化を調べると、陸域の侵食断面面積が堆積面積より明らかに大きい。すなわち、この断面では土砂の釣り合いが成立せず、土砂の欠損が生じている。また、汀線の突出部の上・下流に位置する測線④、⑥を比較すると、上流側の測線④は⑥よりも海面下の堆積面積が大きい。これと同様な特徴は測線③、⑦でも見られる。以上のよ

* 建設省中部地建 木曾川下流工事事務所長
** 正会員 工博 建設省土木研究所 河川部長
*** 建設省中部地建 木曾川下流工事事務所 調査課
**** 正会員 工博 日本建設コンサルタント(株)



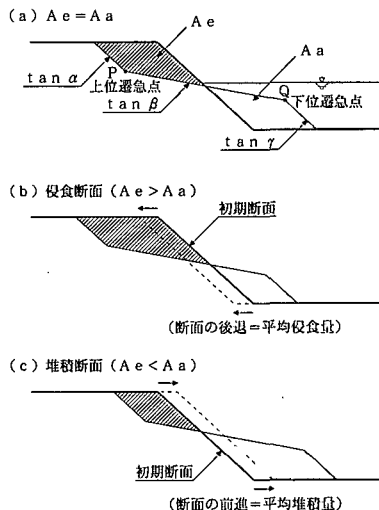
図一3 第2回養浜実験時の縦断形の変化 (田中ら, 1996)

うに、各断面内で土砂収支が成立しない点は、海浜変形が沖向き漂砂によるものだけではなく、養浜砂が沿岸方向にも運ばれたこと、そして上流側の測線で堆積面積が大きいことから、上流方向に卓越した沿岸漂砂が作用したことを意味する。

3. モデル化の基本的考え方

前報では、以上の現地データをもとに、地形変化機構を図一4の模式図のようにまとめた。すなわち、護岸線と平行に汀線をあまり突出させずに養浜した場合 (図一4(a))には、養浜後波の作用下で急勾配の養浜断面は養浜砂の持つ汀線付近の安定勾配となるよう、陸域の土砂が沖向きに運ばれ、海底に堆積する。沖に運ばれた土砂が堆積するにしがいい汀線付近の勾配は次第に緩やかになるので安定化に向かう。この場合、地形変化は、上・下位遷急点の標高、汀線付近の勾配、浜崖の勾配、下位遷急点以深の限界勾配を与え、土砂収支が成立するようにすれば地形変化の予測ができると考えられる。

一方、第2回養浜実験のように汀線を大きく突出させることにより、沿岸漂砂移動が卓越するような養浜条件では、岸沖モードの地形変化に沿岸漂砂による地形変化が重なる。このとき、沿岸漂砂による地形変化がなく、沖向き漂砂のみが起こる場所では、図一4(a)と同じであ



図一4 養浜時縦断形の変化のモデル (田中ら, 1996)

る。一方、沿岸漂砂により土砂が削り取られる場所では図一4(b)のように、その土砂量に釣り合う分だけ初期断面を平行に後退させ、その上に沖向き漂砂による地形変化を起こしたような形となる。逆に沿岸漂砂により土砂が堆積する場所では、図一4(c)のように、その土砂量に釣り合う断面積分だけ初期断面を前進させ、それに沖向き漂砂による地形変化を起こした形となる。ただし、上・下位遷急点の標高は既知の条件として設定する必要がある。

4. 計算モデルの検討

養浜時海浜変形のモデル化に際しては、陸上部を含む海浜縦断形の変化予測も行いたいために、宇多・河野 (1996) の開発した等深線変化モデルを用いる。このモデルは、沿岸漂砂による海浜地形変化を予測するモデルであるために、今回のように急勾配で養浜した場合における、縦断形の安定化に伴う勾配の変化を表すための、沖向き土砂移動のモデル化が必要になる。しかしながら、等深線変化モデルにおいては、ある等深線間の勾配が限界勾配より急になった場合、土砂の連続性を満足した上で沖向きの土砂移動を生じさせる機構が既に含まれている。したがって、基本的考え方は等深線変化モデルの場合と同様であって、相違点は、上位・下位遷急点の間の海浜勾配が安定勾配に漸近するのであって、勾配変化点が水深方向に移動しないことにある。

以上の沖向き漂砂による地形変化は、初期の急勾配が安定な勾配に移り変わる過程と考えられる。その場合の地形の時間応答特性については、すでに前報で調べているが、汀線付近の勾配 $\tan \beta$ が限界勾配に収束していく過程である。いま、初期勾配を $\tan \beta_0$ 、十分時間が経過し

表-1 計算定数

陸上部における 地形変化の限界高さ	h_R	T.P.+1.0 m
水中部における 地形変化の限界水深	h_C	T.P.-2.3 m
漂砂量係数	f	0.217

表-2 計算条件

上位選急点の標高	T.P.+1.0 m	
下位選急点の標高	T.P.-1.0 m	
浜崖の勾配	60°	
水中での安息勾配	30°	
汀線付近での勾配	初期	1/2
	最終	1/6

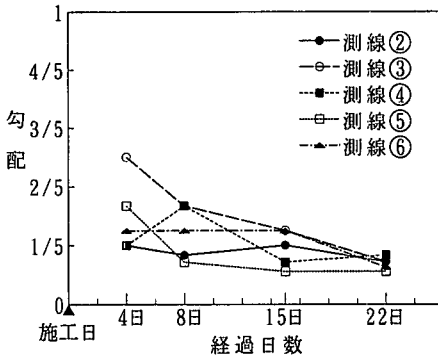


図-5 勾配の変化

た後の安定勾配を $\tan \beta_*$ とすると、海底勾配は、

$$\tan \beta = \tan \beta_* + (\tan \beta_0 - \tan \beta_*) \exp(-kt) \quad \dots (1)$$

とおける。ここに、海底勾配 $\tan \beta$ は、上位選急点と下位選急点の間の勾配、 k ：時間定数であって、 k が十分大きければ式 (1) の第2項は無視でき、瞬間的に安定勾配に移移することになる。前報の場合には養浜後約3週間で安定勾配に達したことから時間定数は計算できる。

海浜変形の予測計算では、冲向き・沿岸漂砂による地形変化の繰り返し計算を行う必要があるために、まず式 (1) による機構で冲向き漂砂による地形変化を起こし、それに引き続いて沿岸漂砂による地形変化を起こして、これらを繰り返す。等深線変化モデルにおける計算定数は表-1に示すようである。また、図-5には、現地データを参考として定めた勾配の時間変化を示す。この場合の時間定数は $k=2 \times 10^{-6}$ (1/s) である。

5. 計算結果と実測値との比較

5.1 2次元計算の結果

最初に、沿岸方向に一樣に養浜した場合の2次元的地形変化の数値計算結果について述べる。計算では上位・下位選急点の標高、浜崖の勾配、水中での安息勾配、汀線付近の勾配を与える必要がある。これらについては、表-2に示す計算条件を設定した。初期形状としては、天端高2.5 mから-0.5 mまで、1/2の一樣勾配を与え、この初期地形条件のもとで計算を行った。図-6が計算結果である。1/2の初期海浜は、上位選急点より上部には浜崖が形成されて後退する。崖が後退することにより生産

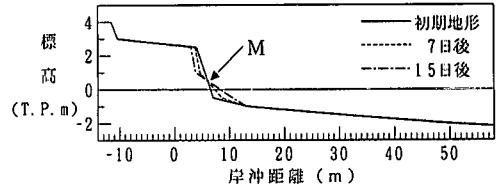
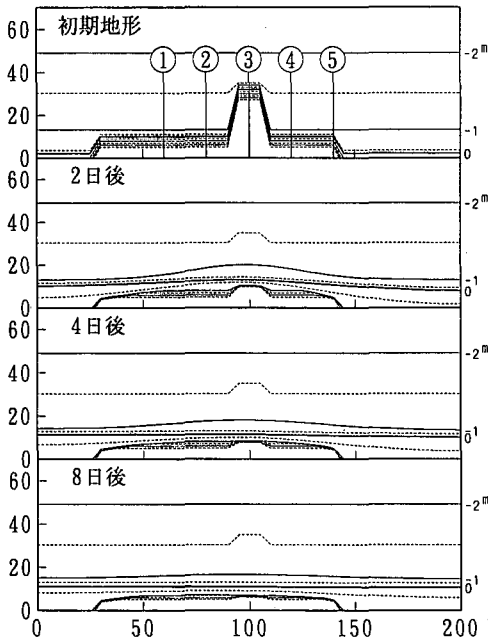
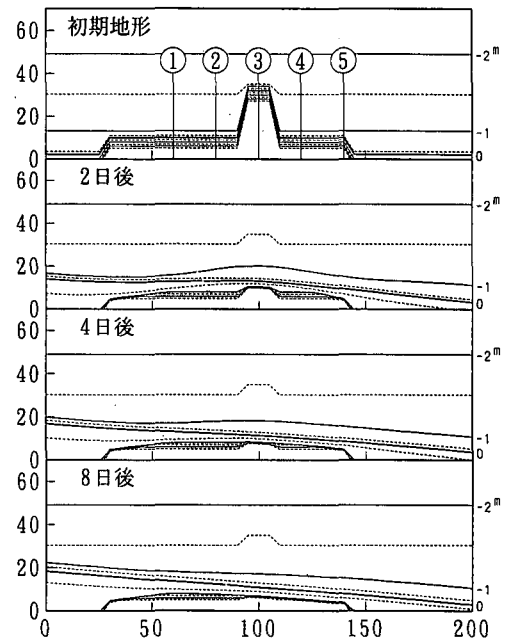


図-6 2次元地形変化の計算結果

された土砂は冲向きに移動するが、上位選急点と下位選急点の間は仮定により一定勾配を保ち、下位選急点より深い場所では水中の安息勾配を保って土砂が堆積する。全体に侵食面積と堆積面積は等しく、土砂収支は完全に満足される。なお、堆積・侵食の境界点は汀線と常に一致する訳ではなく、土砂収支が満足されるようにして交点Mが定められる。したがって図-6の場合には汀線よりわずかに上方にM点にくる。以上に述べた海浜縦断形の変化は、図-2に示した現地における縦断形変化をよく説明している。

5.2 3次元計算の結果

前報で述べた揖斐川河口部での養浜実験では、河口から侵入して養浜区域に斜め入射する波の作用が生じていることが見いだされた。しかしながら斜め入射条件のみの計算では現象の理解が困難と考えられるために、ここでは直角入射と斜め入射条件における両者の計算を行い、それらの比較を通じて現象の理解を深めることにする。まず、直角入射の場合の計算結果を図-7に示す。前報の実験条件を考えて、台形状に養浜を行った場合である。現地では、 $x=0, 200$ mには不透水制があり、沿岸漂砂の移動は阻止されている。初期地形と、その後2, 4, 8日後の平面等深線の変化を示す。初期に台形状に養浜した区域では、波の作用で汀線の突出部が大きく削り取られる。その場合、波による地形変化の限界水深より深い部分に投入された土砂はほぼ投入時の形態をそのまま保ち、また陸上部の浜崖形成が及ばない場所の等高線もそのままの形態を保つ。時間経過とともに養浜区間から土砂が削り取られ、養浜区間外に堆積して汀線が前進する。土砂の堆積域では波のうちあげ高相当までしか土砂が堆積しないから、初期の急勾配斜面と堆積域の間には明瞭な勾配急変点ができる。


 図-7 沿岸漂砂+沖向き漂砂による地形変化の計算結果(直
角入射)

 図-8 沿岸漂砂+沖向き漂砂による地形変化の計算結果(斜
め入射)

波が護岸線に対して斜め入射する場合の同様な計算結果を図-8に示す。ただし護岸前面における波向は測定されていないために、ここでは5°の角度で斜め入射すると仮定する。波が斜め入射するために、沿岸漂砂は全体的に上流方向へ向かう。このため、養浜区間から見て上流側での土砂堆積量のほうが多くなる。また、 $x=30\sim 140\text{ m}$ の間で緩やかな養浜区間のうち、下流端側の $x=100\sim 140\text{ m}$ 区間が集中的に侵食され、養浜区間の上流端側は土砂が堆積して養浜区間を守るために、そこでの地形変化は小さい。

5.3 縦断形の比較

縦断形の比較は、前報と同様に台形状に突出して養浜した区間を挟んで上下流で対照的な測線で行うこととする。まず、図-9には、図-7, 8に示す測線①, ⑤における縦断形の変化を示す。比較のために現地データを示すとともに、直角入射と斜め入射波条件の両者の計算結果を示す。測線①の実測値では、上流側に位置するため断面全体では堆積土砂量のほうが大きく、逆に測線⑤では侵食土砂量のほうが大きい。これらの点は、沖向き漂砂による地形変化に加えて沿岸漂砂により上流方向へ土砂が運ばれたことを示している。一方、計算結果を見ると、直角入射条件では断面①, ⑤は同じ変化であって、いずれも浜崖が形成され、侵食土砂が沖向きに移動して堆積した結果、侵食堆積断面積はほぼ等しい。この計算結果は実測値と異なることが明らかである。一方、斜め入射

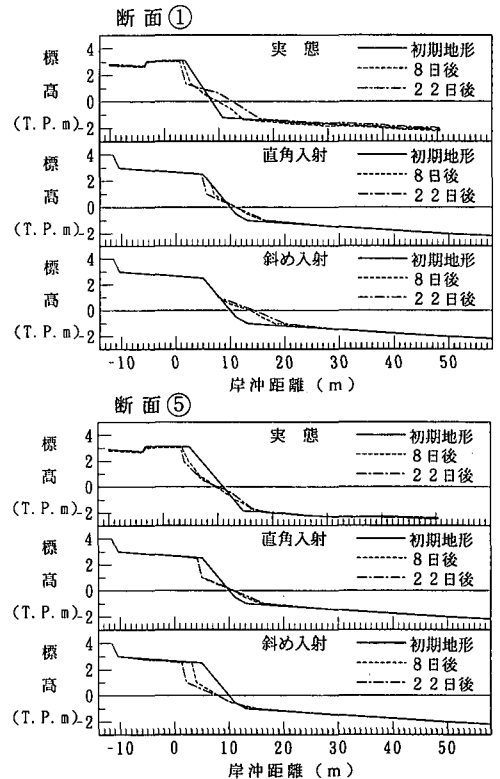
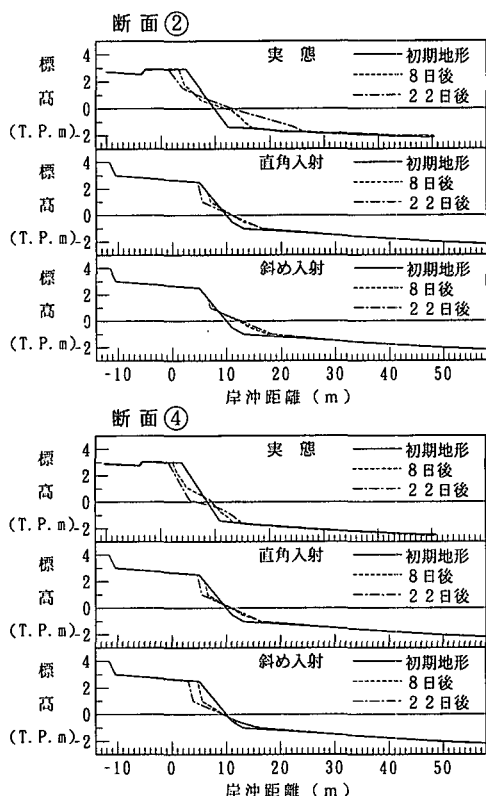
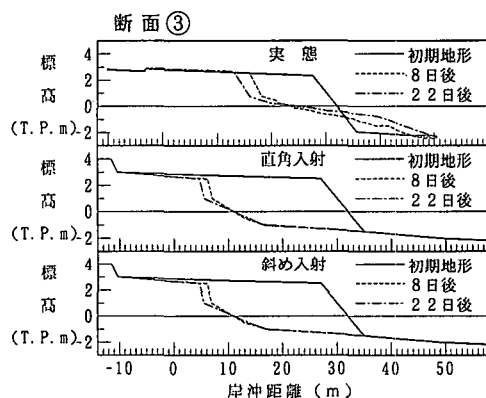


図-9 測線①, ⑤における縦断形の比較



図一10 測線②, ④における縦断形の比較



図一11 測線③における縦断形の比較

波条件では、測線①では全て堆積、測線⑤では全て侵食であり、断面内での沖向き土砂による地形変化量が過小である。結局、実測値は、直角入射と5°の角度での斜め

入射条件の両者の中間程度の波向条件で適合すると考えられる。

同様にして、台形状に大きく突出させて養浜した区域に近接する測線②, ④における縦断形変化を図一10に示す。ここでの実測値においても図一9と同様な特徴が見られる。これに対して、計算結果は斜め入射の場合に再現性が高いことが明らかである。図一11には、測線③における縦断形変化を示す。大きく突出させて養浜したために、実測値では侵食断面積が圧倒的に大きい。しかし、一部の土砂は沖合にも堆積している。これに対して、計算結果は波の斜め入射の効果の差はなく、浜崖を形成しつつ大きく侵食されている。浜崖と汀線付近の海浜断面形の変化はよく再現されている。実測値における沖合部での一部の土砂堆積については再現性があまりよくないが、これは養浜工事中における沖への土砂移動があったがそれを計算では無視したことによると考えられる。

6. 結 論

上位・下位選急点間での海底勾配の安定化に伴う、沖向き漂砂による地形変化機構を等深線変化モデルに組み入れることにより、モデルの拡張を行った。そして、揖斐川河口部で1995年に実施したなぎさ再形成のための養浜実験の観測データに対して適用したところ、計算結果は現地データをかなりよく説明することができることが判明した。

なお、本研究では上・下位選急点の標高を沿岸方向に一定として計算を行っている。これに対して実測値ではこれらの値は沿岸方向に緩やかに変化している。しかし、その原因は不明であった。したがってさらに精度の向上を図るには、この点の解明が必要と考えられる。また、安定勾配は養浜砂の粒径に依存すると考えられるので、今後は異なる粒径材料を用いた場合などについての検討が必要である。

参 考 文 献

- 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.
- 田中慎一郎・宇多高明・山内 博・瀬谷貞一・細野貴司・裏 義光 (1996): 揖斐川河口部における養浜実験—沖向き漂砂と沿岸漂砂による地形変化の分離—, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 606-610.
- 藤芳素生・宇多高明・松原充幸・東 智徳・前野 宗・裏 義光 (1995): 揖斐川および長良川河口部におけるなぎさ再形成のための養浜実験, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 631-635.