

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—

田中慎一郎*・宇多高明**・山内 博***
瀬古真一***・細野貴司***・裴 義光****

1. ま え が き

木曾三川の河口部では、1970年頃までは干潮時に広大な干潟が現れ、これらの干潟にはヨシが繁茂するとともに野鳥や魚が集まり、多様で豊かな生態系が保たれていた。しかしその後の地盤沈下により干潟の面積は急速に減少し、さらに地盤沈下に伴う高潮対策として進められた高潮堤防の補強により、残された貴重な水辺もコンクリート護岸に変貌した。こうした状況で、失われた干潟を治水上支障のない範囲で復元し、多様な水辺空間を創造できれば、環境改善上大きな効果があると考えられる。このことから、藤芳ら(1995; 前報と呼ぶ)は、護岸前面に土砂を投入し、それにより砂浜と干潟を復元させる計画を立て、揖斐川右岸の城南地区において現地実験を行った。この結果、護岸前面に安定な砂浜・干潟の形成に成功した。このことから、水深がさらに深く、河川の水衝部に近い自然条件の厳しい地区でもなぎさ再形成を計画し、さらに広い区域の環境改善を図ることとした。本研究では、この現地実験の結果について報告する。

2. 養浜実験の概要

養浜実験は、前報でなぎさ再形成の現地実験を行った揖斐川右岸の城南地区の下流側160mで行った。この区域は図-1に示すように河口から2kmに位置しており、SSE方向に長いフェッチを有するため、風波により河口から上流方向へ遡る漂砂移動が卓越している。前回の現地実験では、養浜区域の上下流端に砂の移動を阻止する施設を新たに設置せずに土砂投入を行ったが、今回の実験区域は前回の実験区域よりも水深が大きく、また水衝部に近いことから養浜土砂の流出が懸念されたため、実験区域の上下流端に200m離して長さ40mの不透過水制(突堤)を設置し、その間で養浜を行った。養浜砂は、前回同様長良川の河道浚渫により発生した土砂であり、土砂の中央粒径は0.2mmである。図-2に養浜区域の平面配置を示す。

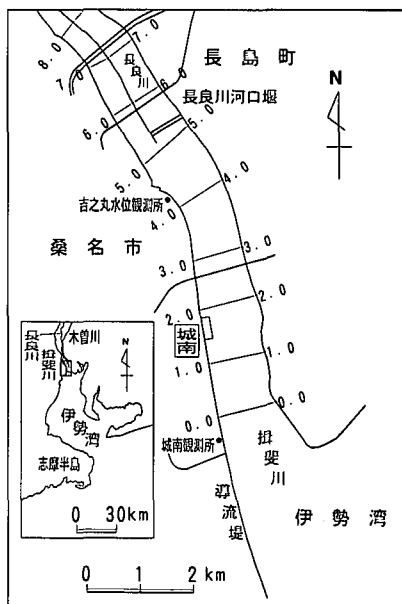


図-1 揖斐川河口部の養浜実験の実施箇所の地形

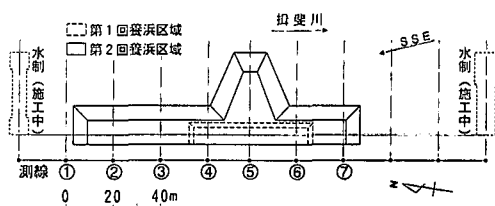


図-2 揖斐川河口部における第1, 2回養浜実験の養浜形状

第1回養浜は1994年7月6日に行い、800m³の土砂を護岸線と平行に敷き出した。これに続く1994年8月4日の第2回養浜では、5,320m³の土砂を投入した。養浜時の初期勾配は、第1回養浜時が1/1、第2回が1/2であり、共にかんりの急勾配である。このため沿岸漂砂だけでなく、沖向き漂砂による地形変化も起こることが予想された。図-2に示すように、第1回養浜区域の岸沖方向の幅は7m、延長は50mである。第1回養浜では投入土砂量が800m³と少ないため、護岸線と平行な区域に土砂を投入し、汀線を沖向きにあまり突出させず、したがって沖

* 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管理総括研究官
*** 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)



写真-1 第2回養浜実験における養浜直後の海浜状況

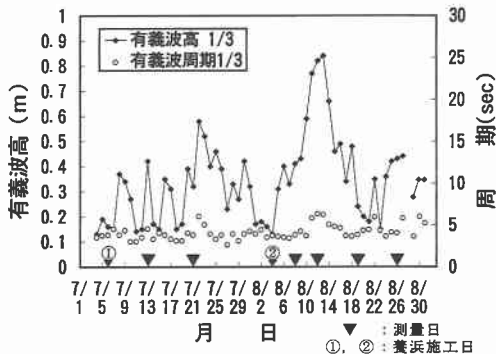


図-3 城南観測所で観測された有義波高・周期

向き漂砂による地形変化を調べることを主眼とした。第2回養浜実験では、逆に沿岸漂砂による地形変化を調べることに主眼を置き、図-2のように養浜区域を台形状に大きく突出させた。写真-1には養浜直後の状況を示す。養浜後、20m間隔の測線に沿って深淺測量を繰り返した。測線は河川の上流より下流へと配置し、台形状の養浜区域の中央を通るのが測線⑤である。また、養浜時の波浪条件については、図-1に示す河口近傍の城南観測所で波浪観測を実施した。図-3には、養浜実験期間中の有義波高・周期の変化を示す。第1回養浜からその後2回の測量日の間での有義波高は0.4m程度と静穏であったのに対して、第2回養浜後の8月12日には0.84mと高波浪が出現した。なお、実験区域での朔望平均満・干潮位は、それぞれT.P.1.2m、-0.9m、平均潮位はT.P.0.2mにある。

3. 第1回養浜実験時の地形変化

第1回養浜実験における縦断面形の変化を図-4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。侵食・堆積域の変化点は平均汀線（標高T.P.0.2m）上約0.4mにあり、その高さは場所的・時間的に一定である（測線④：0.4m、⑤：0.5m、⑥：0.4m）。図-4の断面図より、初期形状を基準として侵食・堆積断面面積を求め、

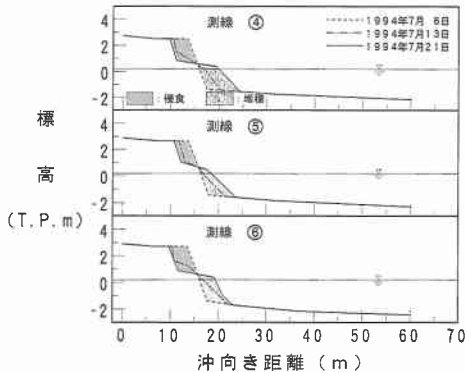


図-4 第1回養浜実験時の縦断面形の変化

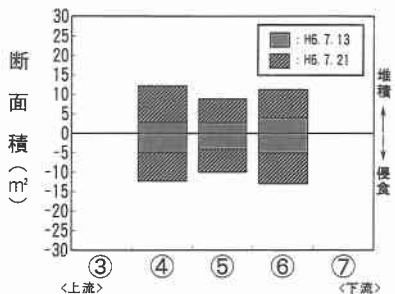
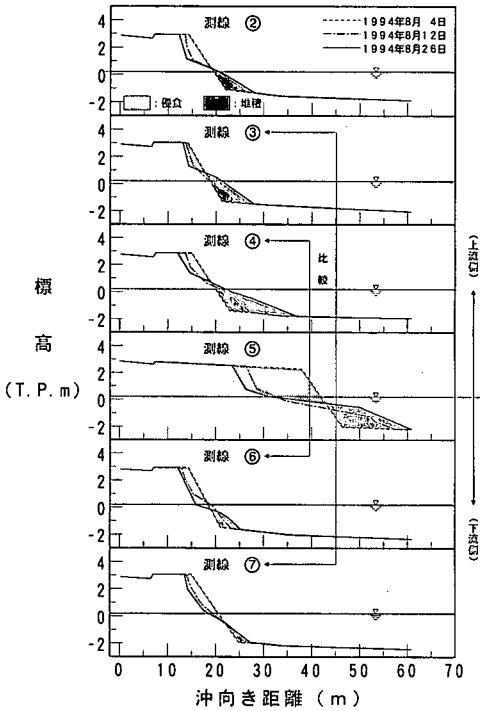


図-5 各測線毎の海浜断面面積の時間空間的变化

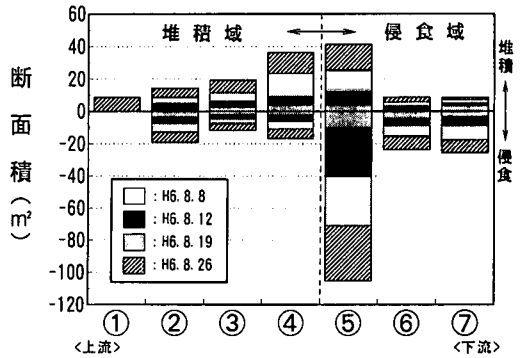
その経時変化を調べたのが図-5である。各断面とも測量時期によらず、それぞれ侵食・堆積面積がほぼ均衡していることから、第1回養浜では明らかに岸沖モードの地形変化が卓越していたことが分かる。

4. 第2回養浜実験時の地形変化

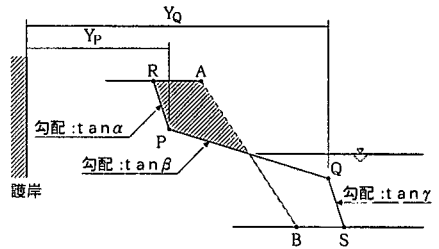
第1回養浜実験と同様にして縦断面形の変化をまとめたのが図-6である。測線配置は、図-2に示したように測線⑤が最も汀線が突出した位置にある。各断面の変化を調べるだけでなく、測線⑤を挟んで左右対称位置にある測線④、⑥あるいは③、⑦の断面形の比較により、沿岸漂砂による地形変化の特徴を調べることができる。なぜなら、突出した養浜区域の形状に関して左右対称位置にある場所で、全く同様な断面変化が観察されるのであれば、沿岸漂砂による地形変化はないことになるし、逆に片側で堆積、他方で侵食が見られるならば沿岸漂砂による地形変化が必ず重合していなければならないからである。図-6によると、各測線の地形変化は基本的には図-3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顕著に現れている。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



図一六 第2回養浜実験時の縦断面形の変化



図一七 各測線毎の海浜断面積の時空間的变化とネットの断面積変化



図一八 海浜断面積変化における各パラメーターの定義

立せず、土砂の欠損が生じている。また、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。以上のように、各断面内で土砂収支が成立しない点は、海浜変形が冲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。ところで、図一②の養浜形状は測線⑤で大きく突出しているから、測線⑤、⑥の間では下流方向への沿岸漂砂が生じると思われるが、実際には河口方面からの卓越波の入射方向が図示するように反時計回りの方向に大きく傾いているため、測線⑤より南側は全て侵食区域となった。

図一⑦には、各測線の侵食・堆積断面積とネットの断面積変化をまとめて示す。測線⑤では、侵食面積が堆積面積よりも圧倒的に大きい。しかも、測線⑤を挟んで、上流側の測線③、④では堆積面積が侵食面積よりも大きく、下流側の測線⑥、⑦では侵食面積が大きい。この特徴は、第1回養浜実験の断面積変化をまとめた図一⑤では見られなかったものであり、養浜汀線を大きく突出させた第2回養浜実験特有の現象である。また、ネットの断面積変化は測線④、⑤を境に上流側で堆積、下流側で侵食となる。

以上のように、第2回養浜実験では冲向き漂砂と沿岸

漂砂による地形変化が重合している。この場合、単に海浜断面積の変化を調べるのみでは特性把握が不十分である。そこで、地形変化を特徴付けるいくつかのパラメータを図一⑧のように定義し、それらの時間空間変化を調べた。初期断面がABの直線で与えられる時、波の作用で陸上では浜崖が形成されて急斜面RPができる。汀線付近の勾配は他の場所と比較して緩やかであり、PQ間は直線で近似できる。Q点より深い部分のQSは再び勾配が急となる。ここで、点P、Qをそれぞれ上位遷急点、下位遷急点と呼び、それらの標高と護岸からの冲向き距離、さらには図示する3つの勾配 $\tan \alpha$, $\tan \beta$, $\tan \gamma$ を測定した。

以上の定義を行った時、まず $\tan \beta$ の時間的変化を図一⑨に示す。これによると、 $\tan \beta$ は測線ごとの変動はあるものの、経時的に単調に一つの値に収束しており、その勾配は約 1/6 である。この勾配が場所によらない一定値を有することは、初期の急勾配斜面が最終的にこの限界勾配まで緩くなって安定化することを示している。またそれに要する時間は養浜後約 22 日である。

次に、上位遷急点までの冲向き距離 (Y_p) の変化を図一⑩に示す。これによると、測線⑤の Y_p は初期は大きく後退したが、1994 年 8 月 19 日にはすでに変化量は非常に小さくなった。これに比べると他の測線での後退量は小

さい。同様にして下位遷急点までの冲向き距離 (Y_q) の変化をまとめたのが図-11である。下位遷急点までの冲向き距離は、上位遷急点のそれと比べて異なり、時間的に逆転現象が発生している。すなわち測線③④に典型的に見られるように、最初は下位遷急点の位置が後退したが、途中からは下位遷急点が冲向きに移動している。測線⑤では下位遷急点の後退が続いているので、上述の下位遷急点の変化は、沿岸漂砂により上流方向へ土砂が運ばれたために生じたものと言える。また、沿岸漂砂による地形変化は、上位遷急点の位置よりも下位遷急点の位置の変化と関係が深いと考えられる。

上位・下位遷急点の標高の時空間変化を図-12, 13に

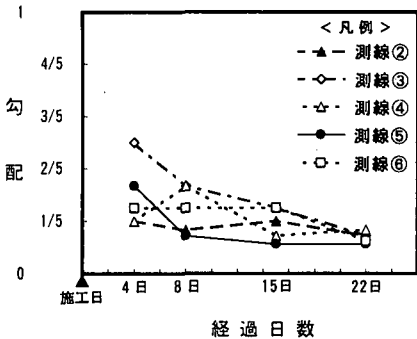


図-9 上位～下位遷急点間の勾配の経時変化

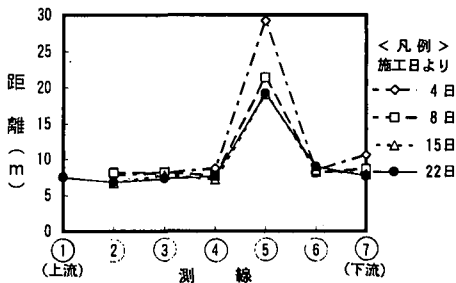


図-10 護岸から上位遷急点までの冲向き距離の変化

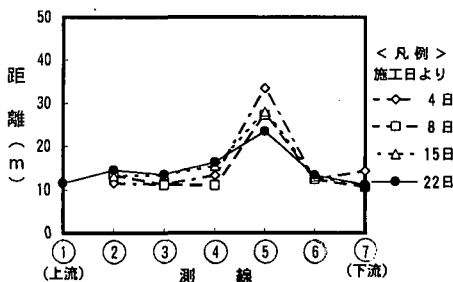


図-11 護岸から下位遷急点までの冲向き距離の変化

示す。上位・下位遷急点の標高は沿岸方向に大きく変化しており、測線⑤より下流側では低く、上流側で高い。ここで波の作用により上・下位遷急点の標高が決定されると考えると、下位遷急点は波による移動限界水深と、また上位遷急点は波の遡上限界に関係すると考えられるので、下位遷急点の水深が大きく、かつ上位遷急点の標高が高いとすれば、そこでは相対的に入射波高が高いことで説明される。しかし、図-12, 13の上・下位遷急点の高さの分布は、場所的に見て互いに平行移動しており、下位遷急点の標高が低いと上位遷急点の標高も低いことから、その変化を波高変化に帰すことはできない。また、沿岸漂砂による地形変化が生じる過程でこのような変化が生じるのであれば、例えば図-13で、時間経過とともに沿岸漂砂によって土砂移動が進むにしたがい変化が明瞭となるはずであるが、経過日数に係わらず下位遷急点の標高の沿岸方向変化はほぼ一定傾向である。一方、図-12, 13の沿岸方向変化は、侵食域では上・下位遷急点の標高が低く、堆積域では標高が高いという特徴を有する。

5. 冲向き漂砂と沿岸漂砂による地形変化のモデル化

まず、地形変化の時間応答特性について調べてみる。冲向き漂砂による地形変化は、汀線付近の勾配 $\tan \beta$ が限界勾配に収束していく過程でもある。その場合の応答

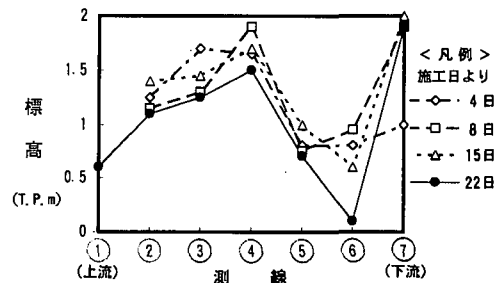


図-12 上位遷急点の標高の沿岸方向変化

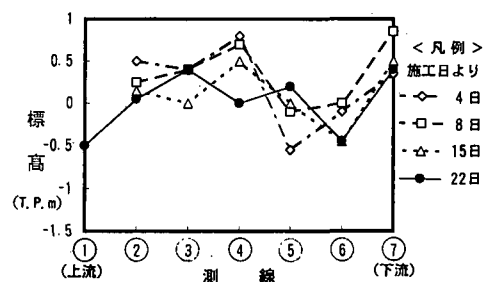


図-13 下位遷急点の標高の沿岸方向変化

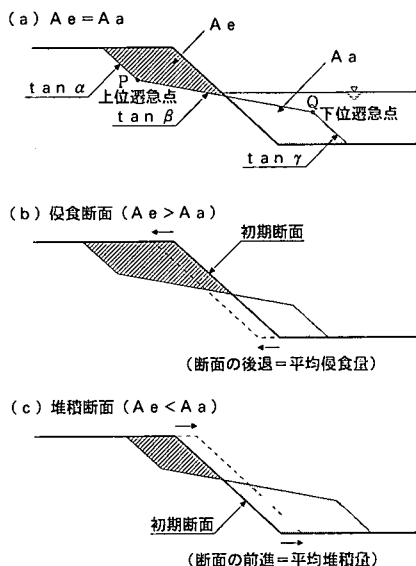


図-14 縦断面形変化の模式図

速度は、図-9の $\tan \beta$ の経時変化によれば、収束に要する日数は約22日である。一方、沿岸漂砂による地形変化については、図-7を参照すると、例えば測線⑤では養浜開始後4、8日においてすでに断面内における侵食土砂量が堆積土砂量を上回っており、その後もこの傾向が続く。このことから、沿岸漂砂による地形変化は冲向き漂砂による地形変化と同時に生じていることが分かる。

地形変化は図-14のようにまとめられる。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-14(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冲向きに運ばれ、海底に堆積する。沖に運ばれた土砂が堆積するにしたがい勾配は次第に緩やかと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、断面内で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。

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、冲向き漂砂のみによる地形変化が起こる場所では図-14(a)と同じである。一方、沿岸漂砂により土砂が削り取られる場所では図-14(b)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平行に後退させ、その後に冲向き漂砂による地形変化を起こした形となる。逆に沿岸漂砂により土砂が堆積する場所では、図-14(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、その後に冲向き漂砂による地形変化を起こした形となる。初期断面を平行移動させる量については、例えば汀線変化モデルなどにより予測可能であるから、それに冲向き漂砂による地形変化を重ね合わせれば予測が可能である。ただし上・下位遷急点の標高は、経験的意味では侵食域と堆積域で変化させればよいが、これらの値が沿岸方向に変化する機構の解明は今後の課題として残されている。

6. まとめ

揖斐川河口部で2回の養浜実験の結果を分析した。河岸近傍での養浜では、養浜砂は冲向き漂砂により移動したが、土砂は河岸近傍に堆積し、比較的緩勾配の斜面を形成しつつ堆積し、なぎさの復元に有効なことが分かった。また、護岸線に対して汀線を突出させて養浜した場合の地形変化は、まず沿岸漂砂による侵食・堆積量に比例させて初期断面を平行移動させ、その後に冲向き漂砂による地形変化を重ね合わせれば予測可能であることを示した。

参考文献

- 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.