

揖斐川河口左岸の白鷄地区におけるなぎさ造り現地実験

篠田 孝* ・宇多高明** ・鈴木信広*** ・大塚康司****
松山康忠***** ・日下部千津子***** ・加藤憲一***** ・平山禎之*****

木曾三川河口部では、1965 年以降濃尾平野一帯で著しく進んだ地盤沈下およびそれに伴う高潮堤防の補強等により干潟面積が急速に減少した。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出できれば環境改善上大きな効果がある。そこで、河岸に水制(突堤)を設置して護岸前面に土砂を投入し、波の作用により安定な砂浜を形成させるなぎさ造りを実施した。この結果、急勾配で養浜された土砂は沖向きかつ沿岸方向に移動したが、最終的に約 1/10 の勾配を有する干潟を形成させることができた。また生物活動が非常に活発な潮間帯の面積を広げることができた。

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 1965 年頃以降、濃尾平野一帯で著しく進んだ地盤沈下により干潟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出できれば、環境改善上大きな効果があると考えられる。そこで、河岸に水制(突堤)を設置して護岸前面に土砂を投入し、波の作用により安定な砂浜を形成させる計画を立て、揖斐川右岸の城南地区においてなぎさ造りの現地実験を実施した(藤芳ら, 1995)。また田中ら(1996)では実験区域を拡大するとともに、沿岸漂砂の作用が著しく現れるように初期養浜形状を大きく突出させた場合の変形について調べた。またこの現地実験データを用いて沖向き・沿岸漂砂の生じる場での砂浜変形予測モデルの構築を行い、かなりよい精度で地形変化が予測可能であることを明らかにした(田中ら, 1997)。その後城南地区でのなぎさ造りの成功を受けて、対岸の白鷄地区でも同様な河道内浚渫土砂を用いたなぎさ造りを進めた。本研究ではこのなぎさ造りにおける各種追跡調査の結果について述べ、河道内の浚渫土砂を用いた養浜によって干潟の回復が可能なことを明らかにする。

2. 実験地域の地形・気象特性

伊勢湾湾奥に流入する揖斐川と長良川河口部の位置を図-1 に示す。揖斐川と長良川は河口基準点より約 3 km 上流で合流しており、右川が揖斐川、左川が長良川である。本研究でなぎさ造成の現地実験を行ったのは、揖斐川左岸 2 km 付近の白鷄地区であり、藤芳ら(1995)がなぎさ造りの試験施工を行った城南地区の対岸に位置する。白鷄地区は河口近傍に位置するため潮位変動が大きい。河口から 4.2 km に位置する吉之丸水位観測所での観測によると、朔望平均満潮位は T.P.1.2 m に、平均潮位は T.P.0.2 m に、平均干潮位は T.P.-0.9 m にある。

図-1 に示したように白鷄地区は緩く右に湾曲した河道の内岸側に位置し、河口部の陰に入るため、伊勢湾で発達する高波浪は作用しにくく、通常時は河道内で発達した風波が主に作用する。河口右岸に位置する城南観測所における 1987~1993 年の気象データをもとに風向風速をまとめたのが図-2 である(藤芳ら, 1995)。図には白鷄地区の河岸線の方向も示す。春・秋には W, WNW, および NNW が卓越するが、夏には SSE または SE 方向が著しく卓越する。また冬には W~NNW 方向の風向が

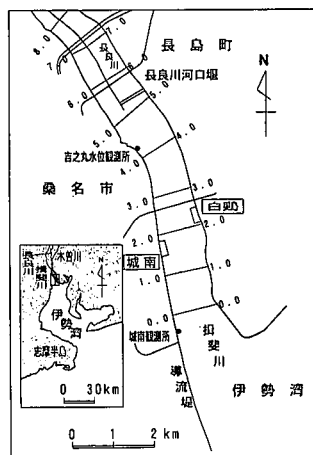


図-1 揖斐川河口部におけるなぎさ造り実施区域の位置

* 正会員	国土交通省中部地方整備局木曾川下流工事事務所所長
** 正会員 工博	国土交通省国土技術政策総合研究所研究総務官
*** 正会員	国土交通省中部地方整備局木曾川下流工事事務所副所長
****	国土交通省中部地方整備局木曾川下流工事事務所調査課長
*****	国土交通省中部地方整備局木曾川下流工事事務所調査課
***** 正会員 工修	日本建設コンサルタント(株)
***** 工修	日本建設コンサルタント(株)

卓越する。白鷺地区では NNW~SSE 方向に走る河岸線の左半平面に水域があることから春、秋、冬に卓越する W~NNW 方向の風が風波の発達に大きく関与する。これに対して夏の SE または SSE 方向の風は対岸の城南地区では風波の発達の主要な外力であったが、白鷺地区においては陸風となって風波の発達には関与しない。以上の風向は、河岸線に対する法線方向に対して時計回りの方向に 22.5° (W), 45° (WNW), 67.5° (NW), 90° (NNW) 傾いているから、白鷺地区にあつては河岸線に沿って下流方向へのエネルギーフラックスが発達する条件下にある。

図-3 には 2001 年測量による河床形状を示す。河床掘削に伴い、河床のみお筋は長良川より緩やかに右に蛇行した後、河口から 2.5 km 付近より右岸側へと移る。白鷺地区はみお筋が左岸から右岸へと変わる場所で、洪水の主流に対しては水裏に位置する。

3. 養浜工の概要

城南地区をはじめとして揖斐川河口部で行われている養浜工は次の意義を有している。

- ①砂浜造成により堤防と水面に繋がりができ、親水性が向上すること。
- ②シラウオやヤマトシジミなどの魚介類や鳥類の繁殖の場となること。
- ③潮の干満によって干潟面を通じて河川水と空気が出入りすることにより浄化機能が発揮されること。また干潟に生息する底生生物の貝類、ゴカイ類、カニ類の食餌によって栄養分が吸収され、陸からの流入する栄養分を取り除くフィルターの役割を果たすこと。
- ④干潟に集まる鳥や、干潟の環境に巧みに適応した生物・植物を観察し、自然の営みを知る上で身近な環境教育の場となること。

白鷺地区では 3 基の水制(突堤)を建設し、その周辺で養浜を行った。養浜工には河口部での浚渫土砂を用いた。粒径特性は図-4 に示すようであつて、 $d_{50}=0.32$ mm である。養浜前の 2 km 付近の現地粒径 ($d_{50}=0.72$ mm) に対して、養浜材の d_{50} は $1/2.3$ と小さい。図には城南地区での材料特性(藤芳ら, 1995) も示すが、この場合の養浜材の d_{50} は 0.45 mm と現地の $1/1.6$ であつて、白鷺地区の場合よりも養浜材の相対的粒径比が大きい。このことは城南地区での養浜に対して白鷺地区では養浜砂の安定度が相対的に低くなることを示唆する。

図-5 には養浜区域の平面図を示す。養浜区域では主として北寄りの風的作用によって養浜砂が下流方向へと沿岸漂砂によって運び去られる可能性が高かつたために、砂の流出防止を図るために 3 基の水制を建設した。水制の長さは下流側から順に 35.5 m, 44.5 m, 24.2 m である。

また水制の天端高は下流から順に T.P.+1.7 m, 1.4 m, -0.1 m である。上流端の水制は他と比較して長さが短く天端高も低い。1994 年 9 月の第 1 回養浜では延長 200 m 区間において、また 1995 年 8 月の第 2 回養浜では

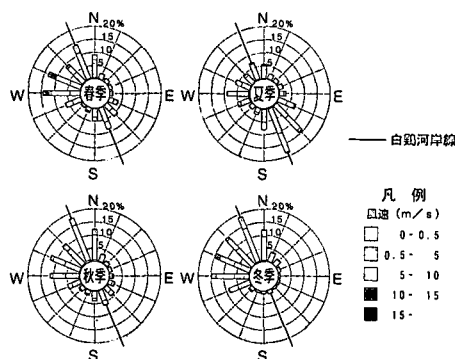
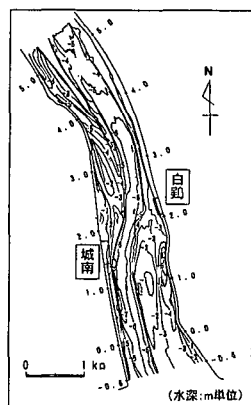


図-2 城南観測所における 1987~1993 年の風向風速



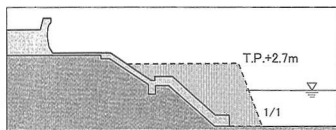


図-6 養浜縦断面 (第2回養浜時)

表-1 養浜時期と養浜土砂量

第1回養浜 (1994年9月)	2.03 km~2.13 km	2,500 m ³
	2.25 km~2.35 km	2,500 m ³
第2回養浜 (1995年8月)	2.15 km~2.25 km	3,500 m ³
	2.35 km~2.50 km	3,500 m ³
合 計		12,000 m ³

延長250 m区間で養浜を行った。図-6には第2回養浜時における縦断面形を示すが、砂浜高さはT.P.2.7 m、初期勾配は1/1とした。表-1には養浜箇所と養浜土砂量をまとめて示す。

4. 砂浜変形の追跡調査

養浜後砂浜の変形を深浅測量によって調べた。図-5に示したように水制を下流側から①、②、③とした時、水制①、②の間隔は175 m、水制②、③が200 mである。測量は試験区域全域で行われているが、以下では水制②、③の間を選んで詳細分析を行う。ここでの横断測線は15本である(図-5参照)。まず代表時期の砂浜の平面形状を示すのが図-7である。水制周辺で矩形状に養浜された砂浜は、主に風波の作用によって大きく変形した。平面深浅測量は延べ4回行われているが、図の煩雑さを避けるために1997年2月と2000年2月の深浅図を比較して示した。第2回目の養浜が行われた1995年8月以降18カ月が経過した1997年2月時点ですでに矩形状の砂浜は沿岸方向に広がり、なだらかな砂浜河岸が形成された。水制②の両側の等深線形状を比較すると、等深線形状は左右非対称であり、上流側の等深線が下流側よりも大きく突出している。写真-1は水制②の中心線上から2001年3月9日に撮影した砂浜状況であるが、中心線より上流(右)側の砂浜地盤高が下流側より高い。これらは白鷺地区で卓越する時計回りの方向からの入射波によって下流方向への沿岸漂砂が発達したことを示している。また水制②の先端部に大きな局所洗掘が見られるが、これは1999年9月15日の洪水(最大流量5,900 m³/s)によって形成されたものである。さらに最上流端の水制③の北側に形成されていた砂浜は経時的に狭まっている。写真-2は水制③のやや上流側から撮影したものであるが、この水制の天端高はT.P.-0.1 mと低いために、水制上流側に堆積した土砂の一部が水制を超えて下流側

へと流出していたことが分かる。

図-5に示したように水制②、③の中心(2.3 km)に関し測線は左右対称に配置されている。水制間の地形変化の分析において作用外力の方向性を調べるには上述のように構造物間で左右対称な位置にある測線同士を比較し、非対照的地形変化が起きているかどうかを確認することが有効である(田中ら、1996)。そこで以下では図-8に示すように水制から同一距離にある測線の横断面形を比較した。この場合水制から同一距離にある下流側測線をa~dで、上流側測線をa'~d'と表す。図-9[a]は水制から5 mの測線比較[1]である。a、a'測線とも高さ約2.7 m、天端幅12 mで養浜が行われた。養浜後波の作用を受けて急勾配の初期断面は浜崖を形成しつつ侵食され、沖合には初期と比較して緩勾配の斜面が形成された。この斜面の勾配はT.P.0~-1 mで約1/10の一定勾配となっている。また-1.0 m付近には勾配急変点を有している。水制先端部の局所洗掘を除いて沖合河床にすり付く地点より浅い部分で1995年9月~2000年2月での堆積・侵食断面積を求めると、それぞれ25.8 m²、20.9 m²(測線a)、6.1 m²、37.2 m²(測線a')であり、ネットの堆積量は4.9 m²(測線a)、-31.1 m²(測線a')となって測線aの堆積量が大きい。

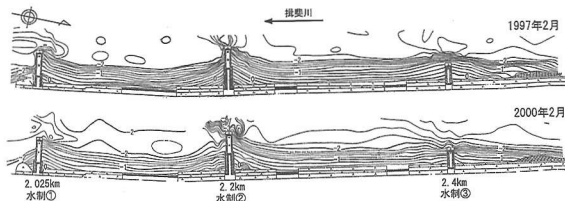


図-7 養浜後の砂浜形状

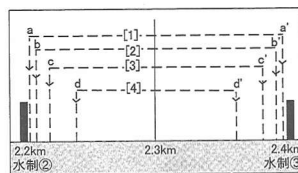


図-8 水制②、③間における比較測線の配置



写真-1 水制②の中心線から2001年3月9日に撮影した砂浜状況

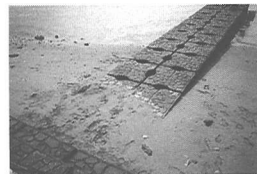


写真-2 水制③のやや上流側から撮影した水制

水制から10 m離れた測線比較 [2] が図-9 [b] である。b, b' 測線でも初期の急勾配断面は浜崖を形成しつつ緩勾配化した。この場合も図-9 [a] と同様な期間で堆積・侵食断面を求めると、それぞれ 16.9 m^2 , 20.9 m^2 (測線 b), 4.6 m^2 , 39.6 m^2 (測線 b') となる。またネットの堆積量は -4.0 m^2 (測線 b), -35.0 m^2 (測線 b') であって測線 b' では欠損土砂量が大きい。水制から20 m離れた測線比較 [3] が図-9 [c] である。水制から5, 10 m離れた測線 a, b と比較してこれらの測線では初期に投入した土砂量の多くがこの断面内から消失している。特に上流側測線では侵食量が大きい。さらに水制から40 m離れた測線比較 [4] が図-9 [d] である。水制からの距離が大きくなったために測線 d, d' での違いが小さくなっている。

測線 a~d, a~d' 全てについて養浜直後の1995年9月を基準として、1996年5月と2000年2月までの侵食・堆積断面積とネットの断面積変化量を算出したのが図-10である。これによれば時間経過とともに単調な変化が見られ、全体的に侵食傾向へと変化したことが分かる。また上流側測線では侵食が著しく、全体として養浜土砂は沖向きの移動とともに下流方向への移動が卓越したことが分かる。

図-11 は養浜直後の1995年9月を基準として養浜区間全域 (2.0~2.5 km) の総土砂量の変化を調べたものである。総土砂量は経年的に減少しているが、約2年経過後土砂量はほぼ一定値を示す。すなわちこの時期をもって干潟はほぼ安定化したことが分かる。さらに主として T. P. 0 m ~ -1.0 m 付近の緩勾配区域が干潟の主要部を

占めることから、養浜前の1995年5月と2000年2月の測量結果をもとにこの区間の干潟面積の変化を調べたのが図-12である。図示するように干潟面積は大幅に増加している。

表-2には2000年2月の測定値をもとに各測線ごとに T. P. 0 m ~ -1.0 m 間での勾配算出結果を示す。これによれば平均値は約 1/10 である。城南地区の場合には形成された干潟の勾配は約 1/6 であったから城南と比較して約 1.7 倍勾配が緩くなった。白鷺での養浜砂の d_{50} は約 0.32 mm であったのに対し、城南地区での養浜砂の d_{50} は 0.45 mm であったから、両者の比は約 1.4 となって粒径が小さくなったことに対応して勾配が小さくなったと考えられる。

5. 環境条件の追跡調査

過去に出現が確認されているゴカイ・シジミ・ハゼ類・カレイ類に加え、環境条件から出現が期待されるヨシヤ・コメツキガニの6種類を指標生物として追跡調査を行っ

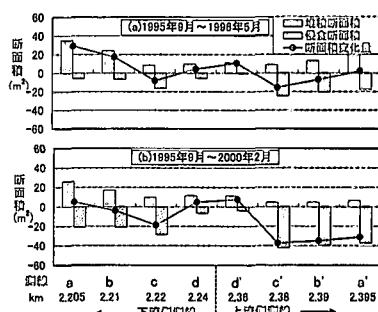


図-10 各測線における侵食・堆積断面積とネットの断面積変化量

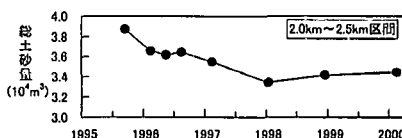


図-11 養浜区間全域 (2.0~2.5 km) の総土砂量の変化

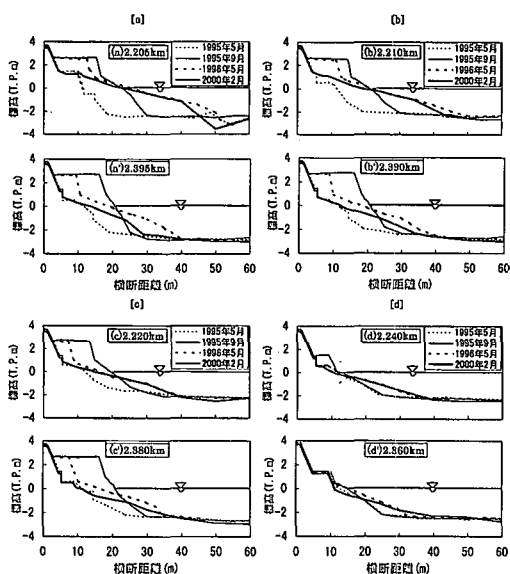


図-9 各測線における横断形比較

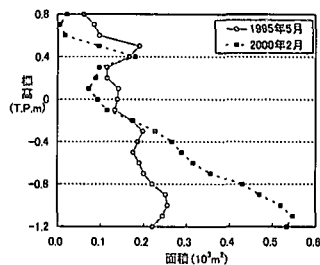


図-12 T. P. 0 m ~ -1.0 m 区間の面積変化

表-2 各測線におけるT.P.0
m～1.0 m間の勾配

測線	勾配
a(2.205 km)	0.08
b(2.210 km)	0.08
c(2.220 km)	0.09
d(2.240 km)	0.08
d'(2.360 km)	0.11
c'(2.380 km)	0.11
b'(2.390 km)	0.10
a'(2.395 km)	0.13
平均	0.10

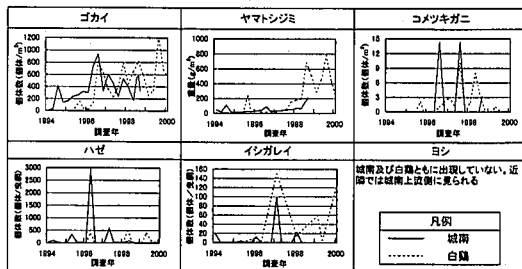


図-13 指標生物の出現状況

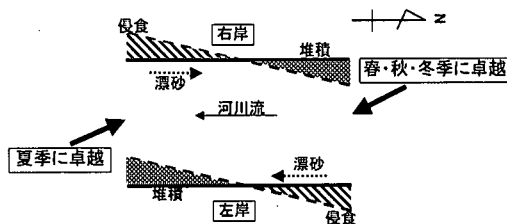


図-14 揖斐川河口部河岸線の変化模式図

た。白鷺地区では水制①、②間の干潟上に4定点を設定し、年4回の底質および底生動物調査を行った。また干潮時に地曳網(間口約5m、袋網目合2mm)1回と投網(網丈3.1m、目合12mm)10回行って魚類を調査した。比較対象とする城南地区においては底質および底生動物調査の測点数を5点とした以外、魚類調査などは同一の方法・時期で行った。2地区における指標生物の出現状況は図-13のとおりである。周年的に干潟で生息しているゴカイ・ヤマトシジミは干潟が安定した施工後3年目から増加傾向にあり、コメツキガニは活動期の春～秋に、ハゼ・カレイ類は産卵や稚魚の生育の場とするため冬～春に出現が見られた。また造成したなぎさでは物理条件の違いによって様々な粒径の底質となり、その底質に応じた底生生物の生息が確認された。例えば、細砂が卓越している水制の上流側にはコメツキガニが多く見られた。

6. まとめ

(1) 河岸に働く rotation 作用

揖斐川河口部の河岸線は図-1に示したようにやや右に湾曲している。このような河岸線に対して、この地域の風向は右岸(城南)側では夏季の南寄りの風が上流方向への沿岸漂砂を引き起こす。一方左岸(白鷺)側では春・秋・冬に卓越する北寄りの風の作用によって下流方向へと向いた沿岸漂砂の発達を促進させる。この結果は図-14の模式図に整理される。上下流端において固定境界条件を考えると、左右岸では図示する方向の沿岸漂砂が生じることによって全体として時計回りの rotation が生じ、河岸線が回転しようとする営力が働く。したがって今回採用したような小規模な水制の周辺域でのミ

クロな地形変化にのみ注目するのではなく、ここで述べたマクロな変化について理解することも重要である。

(2) 干潟造成の成果

揖斐川河口部での養浜実験によれば、急勾配で養浜された土砂は冲向きかつ沿岸方向に移動して約1/10の勾配を有する干潟が形成された。この場合沿岸方向の土砂移動を抑える上で水制が役立った。またこのような干潟が安定するまでには約2年間を要した。養浜工により、平均潮位～平均干潮位の間で生物活動が非常に活発な潮間帯の面積を広げることができた。

参考文献

- 田中慎一郎・宇多高明・山内 博・瀬古真一・細野貴司・ペイ義光(1996): 揖斐川河口部における養浜実験—冲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.
- 田中慎一郎・宇多高明・平光文男・木村秀治・奥村賢二・ペイ義光(1997): 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, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.576-579.
- 藤芳素生・宇多高明・松原充幸・東 智徳・前野 宗・ペイ義光(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.
- 藤芳素生・宇多高明・松原充幸・東 智徳・前野 宗(1996): 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, 沿岸海洋研究, 第33巻, 第2号, pp.99-111.