

# 湖浜安定化から見た霞ヶ浦湖岸 植生帯緊急保全対策の評価

## EVALUATION OF URGENT MEASURES PROTECTING LAKESHORE VEGETATION IN LAKE KASUMIGAURA IN TERMS OF LAKESHORE STABILIZATION

宇多高明<sup>1</sup>・木暮陽一<sup>2</sup>・銭谷秀徳<sup>3</sup>・三波俊郎<sup>4</sup>・石川仁憲<sup>5</sup>

Takaaki UDA, Yoichi KOGURE, Hidenori ZENIYA,  
Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

<sup>1</sup>正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なぎさ総合研究室長兼  
日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科  
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

<sup>2</sup>関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所長 (〒311-2424 茨城県潮来市潮来3510)

<sup>3</sup>関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所調査課長 (同上)

<sup>4</sup>海岸研究室(有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22ローヤル若葉301)

<sup>5</sup>正会員 (財) 土木研究センターなぎさ総合研究室主任研究員  
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

Urgent measures protecting lakeshore vegetation have been carried out at eleven locations in Lake Kasumigaura since 2000. In these measures, beach nourishment was carried out to create a stable growth zone of lakeshore vegetation along the lakeshore, using wooden offshore breakwaters, submerged breakwaters and artificial berm produced by stones. Aerial photographs were compared to investigate the stabilization effect of the ground by these structures as well as the analysis of bottom sounding data. It was found that in the past restoration method of lakeshore vegetation, the consideration regarding dynamic changes of lakeshore due to wave action was insufficient. To create a stable lakeshore ground, wave action and beach changes at each location must be deeply considered.

**Key Words :** Lakeshore vegetation, Lake Kasumigaura, urgent measures, monitoring survey, beach changes

### 1. はじめに

霞ヶ浦においては、絶滅危惧Ⅱ種アサザを含む湖岸植生帯の衰退が顕著に進んできたため、その対策として湖岸植生の保全および復元、創出を目指し、2000年度に「霞ヶ浦の湖岸植生帯の保全に係る検討会」を設置して様々な検討が加えられた。その結果、図-1に示すように、緊急的対応が必要とされる11地区が選定され、これらの地区において緊急対策が行われた。整備に当たって、湖岸植生帯の衰退原因が十分明らかではなかったことから、モニタリングを行いつつ事業を進めるという順応的管理手法が取られ、2002年からモニタリング調査が開始された。植生帯の復元においては、大規模な堤防工事が行われる前に存在した湖岸植生帯の復元を目標とし、沖

合から続くなだらかな湖底斜面に、沈水・浮葉・抽水植物が棲み分ける姿を理想として、各種対策工による湖浜整備が実施された。本研究は、整備後のモニタリング結果を分析し、植生帯の生育基盤として造成された湖浜の安定性について評価を行うことを目的とする。



図-1 霞ヶ浦における湖岸植生帯緊急対策地区

## 2. 湖岸植生の保全・復元方法

湖岸植生の保全・復元方法としては、次の4タイプが採用された。なお本論文では、各地区のうち詳細に深淺測量の行われた5地区（太字）について取り上げる。

**タイプ1：残されているアサザ等植生の保全**（根田下流、大船津、爪木、梶山、麻生） 沖合に粗朶消波工を設置し、波を弱めることによりアサザ等の植生の保全・復元を図った。

**タイプ2：アサザの実生定着，ヨシ原保護による保全・復元**（古渡，鳩崎） 粗朶消波工により波を弱め，養浜や板柵により植生の生育場を造り，アサザ実生（芽生え）の定着，現存するヨシ原の保護を実施し，植生の保全・復元を図った。

**タイプ3：新しい生育場の創出による復元**（境島，石田，石川，永山，大船津） アサザ等の大規模な植物群落が過去に存在した地区で養浜を行い，湖岸に新しい植生の生育場を創出した。養浜にはシードバンクとして浚渫土を用いた。主な施設としては区域の両端を区切るための不透過突堤（捨石製）のほか，消波構造物として粗朶消波工，コの字形の杭柵，汀線近傍での捨石列からなる。捨石列は，植物が成育するまで捨石列より陸側区域を波から守るために直径10cm程度の石を積んで造られた。植え付け直後の植物は波の作用に対して弱いため木杭を密に並べたコの字形の杭柵で守ることとし，杭柵の内側にアサザ等の植物を植えた。

**タイプ4：多様な湖岸水辺環境の整備**（根田上流） 湖岸の持つ多様な植物の生育環境や生物の生息環境を創出するために，複雑で多様な比高を持つ地形を整備した。沖島（不透過離岸堤）を整備し，その陸側を保全対象地とした。保全対象地では養浜や小島の造成も行われた。

## 3. 保全対策箇所における地形変化モニタリング

### (1) 霞ヶ浦（西浦）南東部の境島地区（タイプ3）

境島地区は霞ヶ浦（西浦）南端に位置する。地区の湖岸線はほぼ南北方向に伸びるため，波は西側から襲来す

る。図-2 は，緊急対策前後の空中写真を示す。2001年には護岸線の隅角部において小規模な植生帯が見られる以外，護岸が水面と直接接していた。2002年には緊急対策工が実施され，約370m離れた不透過捨石突堤間で養浜が行われた。旧湖岸線沖85mには粗朶消波堤がほぼ連続的に並べられ，その岸側にはコの字形の杭柵が千鳥状に配置され，杭柵の内側にはアサザ等の植物が植えられた。さらに旧湖岸線の沖40mには約11mの開口部を残し

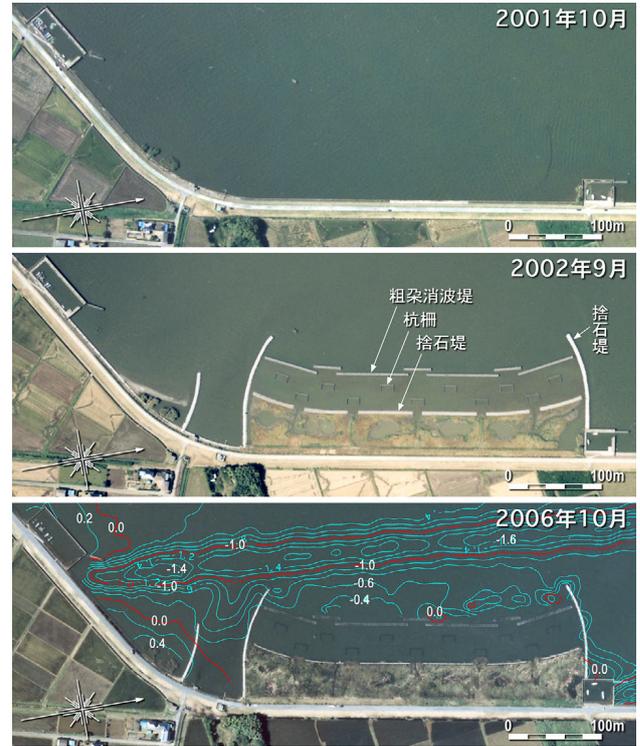


図-2 境島地区の空中写真(2001, 2002, 2006年)

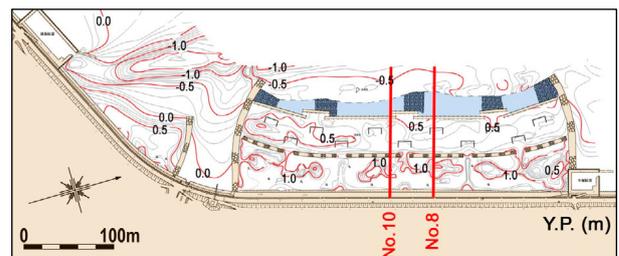


図-4 境島地区の深淺図(2006年8月)

(a) 完成直後:2002年5月25日



(b) 粗朶の流失:2005年10月



(c) 岸側の捨石堤に打ち上げられた粗朶



図-3 境島地区における粗朶消波堤の粗朶流出状況

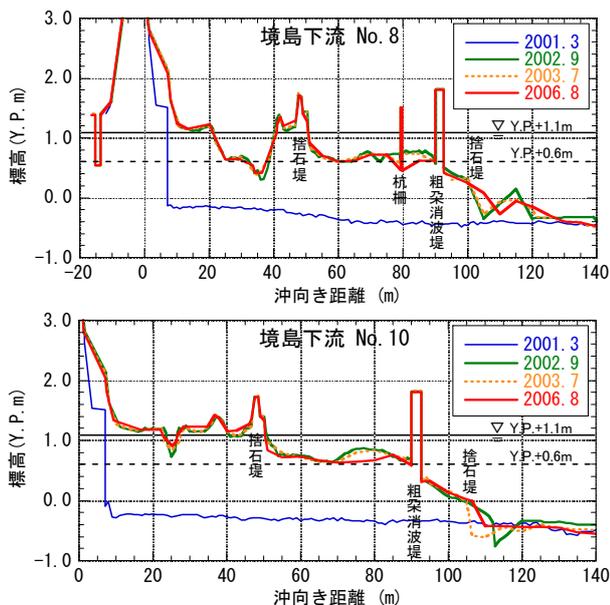


図-5 境島地区の縦断形変化 (測線No. 8, 10)

て捨石堤が並べられ、それらの開口部沖にもコの字形の杭柵が並べられた。一見して分かることは、各種施設で過度に囲い込みが行われ、とくに捨石堤を連ねる線より陸側はあたかも埋立地のようになったことである。

2006年には捨石堤より陸側では植生が密に繁茂し、捨石堤の開口部の岸側に造られたワンドも含めて植生で覆われた。ワンドは波の作用が全くないので急速に陸化が進んだと考えられる。また、コの字形の杭柵の岸側では植生の生育は見られず、当初の目的は達成されていない。さらに、粗朶消波堤は建設時には粗朶密度が高かったが、2006年には粗朶消波堤の密度が小さくなった。例えば、図-3 (a), (b) は境島地区の粗朶消波堤の変化を示す。完成直後の2002年5月25日の粗朶消波堤は、2005年10月には粗朶の大半が流失し、消波堤は機能を失った。流出した粗朶は図-3 (c) のように岸側に運ばれ捨石堤上に打ち上げられた。

図-4 には境島地区の2006年8月の深浅図を測線配置とともに示す。北側区域では上述の施設に加えて、砂の流出防止を目的として粗朶消波堤沖には捨石製の潜堤も設置されている。図-5 は代表測線の縦断形変化を示す。測線No.8では、粗朶消波堤のすぐ岸側のY.P.0.6m以浅が侵食され、杭柵周辺でも地盤高が低下して植生の生育基盤は確保されていない。No.10でも消波堤陸側のY.P.0.6m以浅で侵食が見られるが、それ以外では地形変化はほとんど見られず、投入土砂の損失は起きていない。また、粗朶消波堤のすぐ陸側では2003年まで小山状の高まりがあったが、2006年までにはY.P.0.6m以浅が削り取られた。これは粗朶消波堤の粗朶流失に伴い、消波効果が低下したことにより浅海部で地形変化が生じたためと推定される。

霞ヶ浦 (西浦) の比較的波浪に曝されている地区にお



図-6 永山地区の空中写真 (2001, 2002, 2006年)

ける波による地形変化の限界水深 ( $h_c$ : depth of closure) として、浮島一号樋管ではY.P.0.27m<sup>1)</sup>、大山地区ではY.P.0.5mと得られている<sup>2)</sup>。これらと比較すると、上記のY.P.0.6mはかなり浅いが、これは境島地区にあつては霞ヶ浦で卓越する北または北東風の影響を受けにくく、結果として作用波高が低いためと考えられる。境島地区にあつては、波の作用はほぼY.P.0.6mまでしか及ばず、それより深い部分では有意な地形変化は認められないことから、現況の捨石堤で養浜土砂の流出は十分防ぐことができている。一方、粗朶消波堤は既に粗朶の流出が起きて消波機能をほとんど失っているが、粗朶の流出前後でも沖への土砂流出は起きていないことから、粗朶消波堤自体の存在意義は低いと考えられる。同様に、コの字形の杭柵は波による地形変化の制御には効果がない。

## (2) 霞ヶ浦 (西浦) 南東部の永山地区 (タイプ3)

永山地区は境島地区の北約800mに位置し、湖岸線はほぼ南北方向に走る。図-6 は永山地区の空中写真を示す。半円形に不透過性の捨石突堤が造られ、さらにその中央部に凹状に潜堤が設置された。また半円形領域の内側にあつては、4基の杭柵および3基の捨石堤も設置された。対策工設置以前には、対象区域の北端部に直線状に防波堤が伸びており、その南側にフック状汀線が形成されていた。このフック状汀線の南端部分の方向角はほぼWNWとなる。これはこの地区における卓越波向に近似的に等しい。この入射角を考慮しつつ、図-6 に示す対策工の形状を見ると、北側の曲突堤の遮蔽効果が顕著に現れる配置になっている。空中写真の変遷で見れば捨石堤の陸側のワンド状水域も含めて密生した植生 (ヨシ) で覆われた。この結果、ワンド状水域が狭まっている。

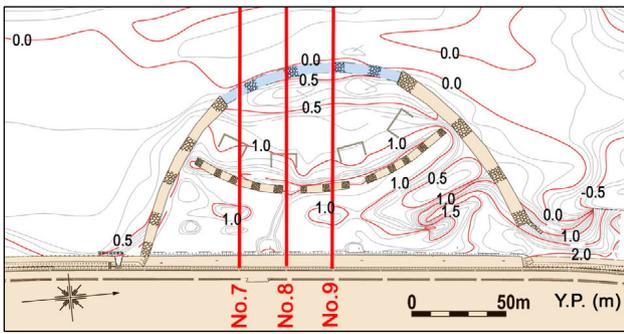


図-7 永山地区の深浅図(2006年8月)

図-7 は平面深浅図を示す。対象区域は半円形に捨石突堤または潜堤で囲まれている。中央部より南側の測線 No.7, 8, 9の縦断形変化を示したのが図-8 である。測線 No.7では、施工当初潜堤から捨石堤の間が約1/80勾配で、捨石堤ののり先標高がY.P.1.4mの緩勾配の一樣斜面が造られた。しかしその後、波の作用により潜堤の岸側直近でY.P.0.5mまで深掘れが生じ、そこから岸側に運ばれた砂が捨石堤の沖側のり面に堆積して、高さY.P.1.75m、前浜勾配1/15のバームを形成した。結果的に潜堤の岸側直近の最大水深から捨石堤の天端（バーム頂）に至る約1/30勾配斜面が形成された。このことは、しばしば自然湖岸としてイメージされる緩勾配の一樣勾配湖底斜面は波の作用下においては形成させることができず、時間経過とともに砂の粒径見合いの勾配に急速に変化することを意味する。一方、潜堤沖では全く地形変化が生じていないので、潜堤は少なくとも砂の沖向き流出を阻止する意味では効果を発揮している。しかし、杭柵には砂移動を阻止する意味では全く効果がない。またNo.7では潜堤の天端高がY.P.0.8mであるのに対し、潜堤の岸側直近の深みの水深がY.P.0.5mと0.3m下がりであって、それによって岸側の地盤が安定していることは潜堤による地盤安定化効果の上で注目される。

測線No.8では、潜堤の岸側は当初からY.P.0.2mと深かったため、その岸側斜面を含めて何も地形変化が見られない。主な地形変化はほぼY.P.0.7m以浅で生じ、当初は杭柵周辺でバームの形成が進み、その後、バームはさらに岸向きに発達を続け、捨石堤の開口部よりわずかに陸側にY.P.1.6mと高いバームを形成して安定化した。2002年9月には杭柵位置にバームが形成されたが、2003年6月にはこのバームは消え、陸側へと進んでいる。

測線No.9では、当初潜堤陸側の急斜面ののり肩付近が削られその砂の大部分が岸向きに運ばれ杭柵付近（沖向き距離70m）にバームを形成したものの、砂の岸向き移動は続き、捨石堤の位置にY.P.1.7mのバームを形成したにとどまらず、捨石堤を超えてその陸側に掘られたワンドを最大0.3m厚で埋めた。以上のように、この場合も杭柵の効果は全く見られず、また捨石堤はバームに埋没したことから捨石堤の存在意味も低いと言える。

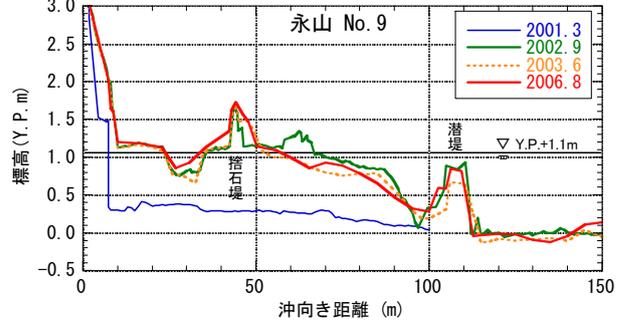
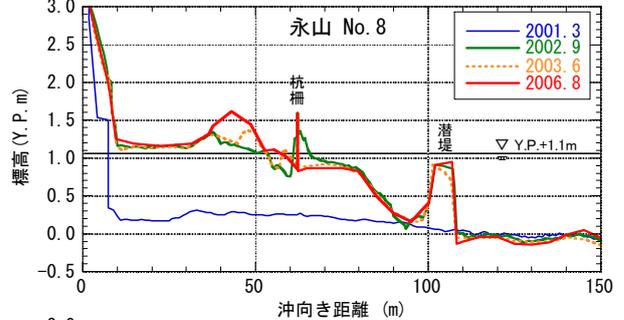
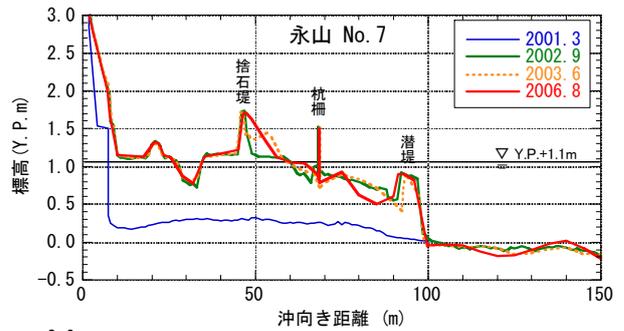


図-8 永山地区の縦断形変化（測線No. 7, 8, 9）

### (3) 霞ヶ浦（西浦）高浜入りの石川地区（タイプ3）

石川地区は高浜入りの最奥部の西岸に位置する。湖岸線はほぼ東西方向に伸びているので、北寄りの風波の作用を強く受ける。図-9 には3時期の空中写真を示す。緩やかに湾曲し、わずかな植生帯を有する湖岸線に沿って、東部ではほぼ直線状に開口幅約17mの粗朶消波堤5基が設置され養浜が行われた。同様に西部地区の東側半分では、沖合に捨石製の潜堤を設置した上、その岸側に杭柵および汀線付近に波形の捨石堤が設置され、その陸側に円形状の池が造られた。これに対し西側半分では汀線付近の捨石堤なしで養浜が行われた。また、全域にコの字形の杭柵が千鳥状に配置された。図-9 に示す区域のうち、詳細測量の行われた西部の地形変化について図-10 に平面深浅図を示す。また、図-11 には代表的な測線 No.27, 37の縦断形変化を示す。No.27では、汀線付近に設置した捨石堤より陸側は埋立地と同様な条件となり、捨石堤の沖側斜面でわずかな変化は見られるものの地形変化はほぼ無視できる。No.37ではY.P.0.8m以浅が侵食され、盛土前面に打ち上げられてバームが形成された。沖の捨石堤や杭柵周辺では地形変化は全く見られない。養浜盛土部分ではY.P.0.6m以浅で湖底面が削り取られ、その砂が盛土の前面にバームを形成して堆積した。石川

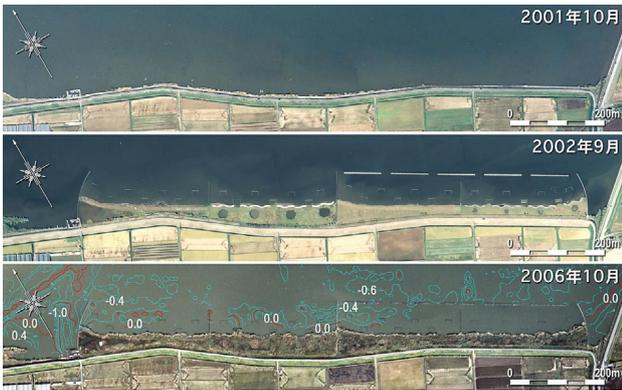


図-9 石川地区の空中写真(2001, 2002, 2006年)

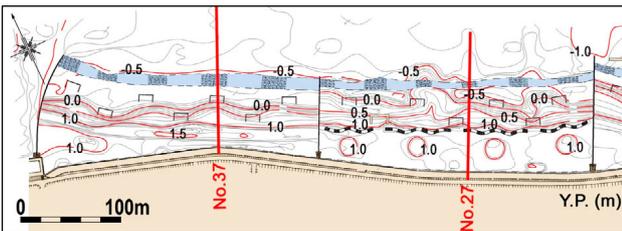


図-10 石川地区(上流部)の深浅図(2006年8月)

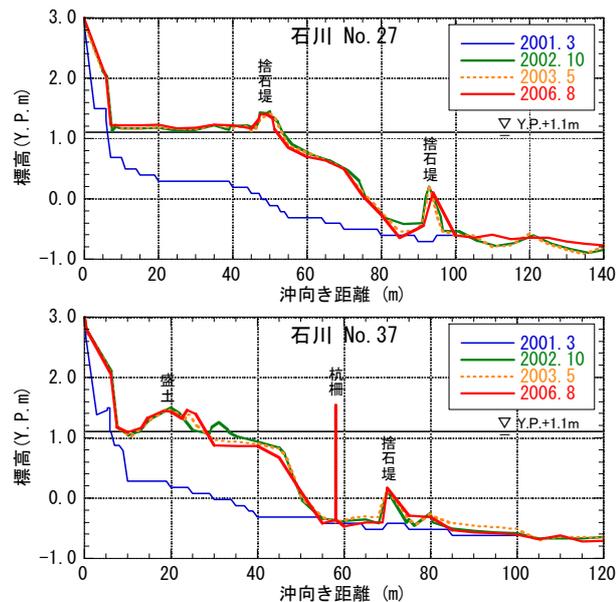


図-11 石川地区の縦断形変化(測線No. 27, 37)

地区は高浜入りの最奥部に位置し、しかも対岸までの距離は最長でも1kmであるから風波の作用は非常に弱い。これに起因して $h_c$ もY.P.0.6mと浅い。このことから考えれば、現況より小規模な波浪対策施設でも十分であったと考えられる。

#### (4) 霞ヶ浦(北浦)の大船津地区(タイプ3)

大船津地区は北浦の南端部近くに位置する。図-12は、大船津地区の上流側地区の空中写真の変遷である。沖合には砂止め潜堤が設置され、その岸側区域にコの字形の杭柵およびY線近傍に捨石堤が造られた。図-13には平面深浅図を示す。また一例として測線No.38の縦断形変

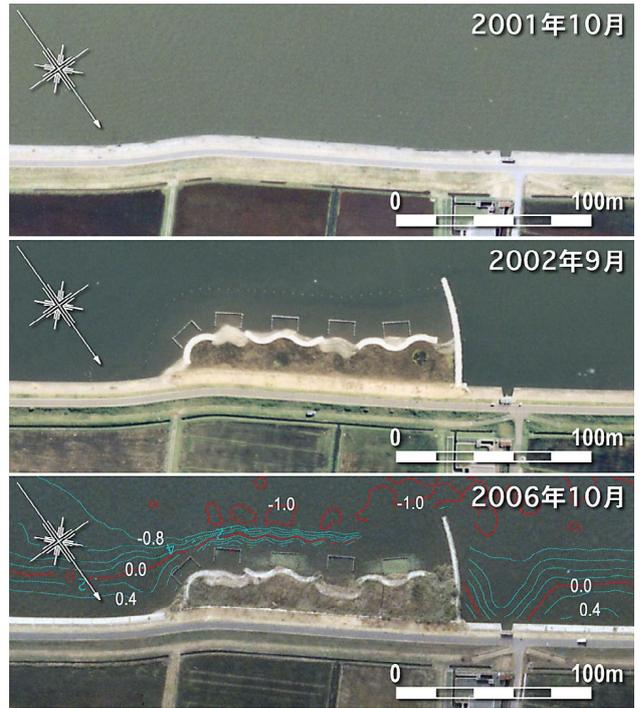


図-12 大船津地区の空中写真(2001, 2002, 2006年)

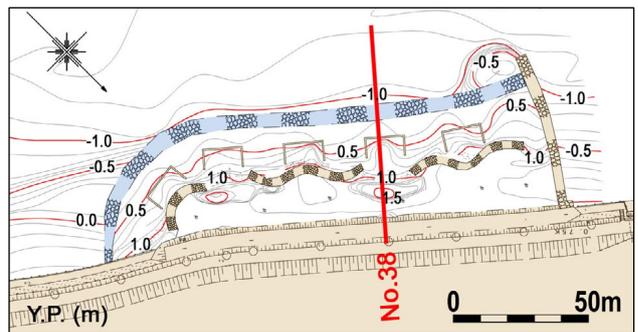


図-13 大船津地区(上流部)の深浅図(2006年8月)

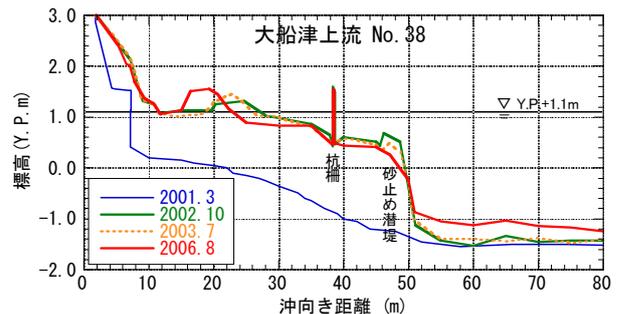


図-14 大船津地区の縦断形変化(測線No. 38)

化を図-14に示す。潜堤岸側のY.P.0.4m以浅が削られ、一部の砂は岸側へ運ばれ高さY.P.1.6mのバームが形成された。この場合、沖合で波の作用が及ばないと考えられる十分深い場所が時間経過とともに浅くなっていることが注目される。これは潜堤を超えて岸側の土砂が沖合へと運び去られたことを示している。同様に潜堤を用いて養浜砂の流出防止を図った永山地区の場合、潜堤の陸側には深みがあって、沖向きに砂の流出はほとんど生じな

かったことを考えれば、大船津地区のように潜堤の天端に養浜地盤面を擦り付けることは問題と考えられる。

#### (5) 霞ヶ浦(西浦)土浦入りの根田地区(タイプ4)

根田地区は土浦入りの北岸に位置する。根田地区にあっては主として2種類の消波構造物が造られた。図-15には空中写真を示す。中央を突堤で区切られた区域の上流部(西部)では、植生や生物の生育・生息環境の創出を目的として、捨石を用いた複雑な形状の不透過離岸堤が造られた。一方下流部(東部)では、残された植生の保全を目的として直線的な形状の粗朶消波堤が造られた。上流部の平面深淺図を図-16に示す。複雑な形状の捨石離岸堤の岸側はワンド状の深みが各所に造られている。

図-16に示す測線のうち図-17には測線No.5の縦断形変化を示す。東側に開口部があるが沖に捨石堤がある測線

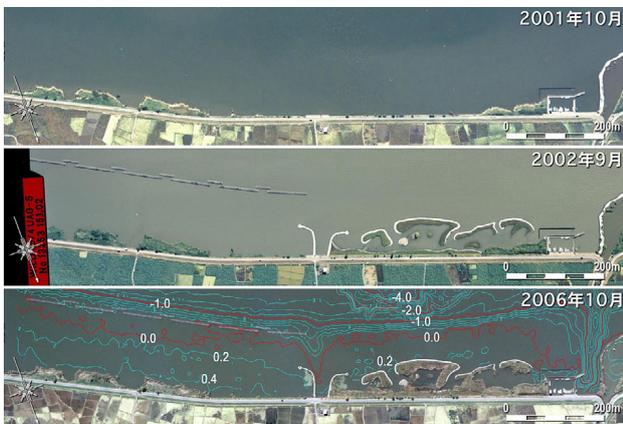


図-15 根田地区の空中写真(2001, 2002, 2006年)

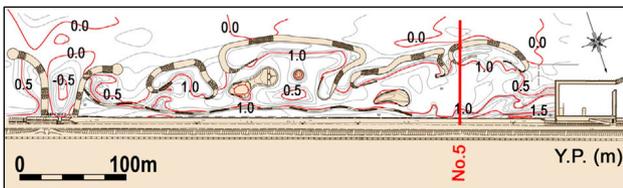


図-16 根田地区(上流部)の深淺図(2006年8月)

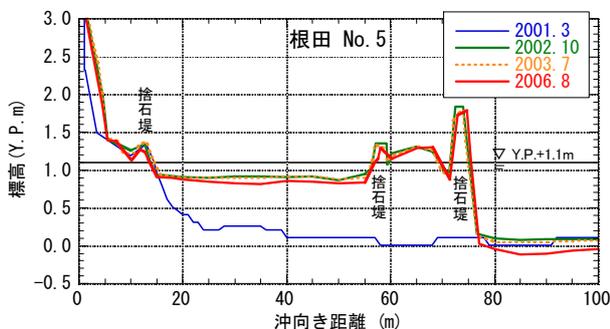


図-17 根田地区の縦断形変化(測線No.5)

No.5では、波浪の侵入がないため地形変化はほとんど見られない。このことから、長さが60m以上と、湖浜で発達する周期2s程度の波の沖波波長6mと比較して、10倍以上と長い大規模不透過離岸堤では、消波効果が高過ぎてその背後域では波の作用は全く期待できないことが分かる。このように、規模の大きな不透過離岸堤で囲い込みを行った場所では波による地形変化はほとんど生じなくなった。このことは消波施設で囲まれた水域は波による攪乱作用を全く受けない空間となったことを示す。

#### 4. まとめ

湖岸植生帯の復元を目的とした対策について、モニタリング結果の分析より、湖浜安定化から見た評価を以下に示す。

- ① 多くの場所では養浜砂は波の作用で岸向きに移動し、バームを形成した。この現象は初期の緩勾配斜面が、より急な平衡勾配(砂の粒径に応じる)になろうとする変化として理解できる。
- ② 杭柵は侵入波浪を防いで湖底の地盤を安定的に保つ上では効果がない。また粗朶消波堤は施工後数年で粗朶の破壊流出が続いて消波効果が急速に失われた。このことから植生保全を行う上で杭柵および粗朶消波堤は有効でないことが分かった。
- ③ 永山地区の地形変化解析によれば、潜堤の天端高 Y.P.0.8m に対し、潜堤の岸側直近の深みの水深が Y.P.0.5m と 0.3m 下がり安定していた。これより、潜堤陸側の地盤面を潜堤の天端高より少なくとも 30cm 下げればその陸側の地盤は安定化できると考えられる。
- ④ 消波施設により過度な囲い込みを行った場所では、囲込み区域内の砂はほとんど動くことができない状態となった。これは養浜砂の安定性の上ではよいという判断にはなるが、前浜での浸透ろ過などによる水質浄化機能の低下を招く。水質環境の向上のためには、適度な波浪の侵入とそれによる攪乱があったほうが望ましいと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 宇多高明・木暮陽一・平野一彦・大内香織・三波俊郎・熊田貴之：霞ヶ浦浮島地区における湖浜再生に関する検討，水工学論文集，第51巻，pp.1325-1330，2007。
- 2) 宇多高明・熊田貴之・三波俊郎・石川仁憲：霞ヶ浦大山地区における湖浜砂位の周期的変動の原因，海岸工学論文集，第54巻，2007。(印刷中)

(2007. 9. 30受付)