

# 涸沼における湖岸植生帯再生の モニタリング調査報告

## MONITORING OF RESTORATION OF LAKESHORE VEGETATION IN LAKE HINUMA

宇多高明<sup>1</sup>・見澤正勝<sup>2</sup>・中村和也<sup>3</sup>・竹廣 学<sup>4</sup>・今村史子<sup>5</sup>・城野裕介<sup>5</sup>

Takaaki UDA, Masakatsu MISAWA, Kazuya NAKAMURA,  
Manabu TAKEHIRO, Fumiko IMAMURA and Yusuke SHIRONO

<sup>1</sup> (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)

<sup>2</sup> 茨城県土木部都市局公園街路課 (〒310-8555 茨城県水戸市笠原町978-6)

<sup>3</sup> 茨城県竜ヶ崎土木事務所 (〒301-0007 茨城県龍ヶ崎市馴柴町35)

<sup>4</sup> 茨城県水戸土木事務所 (〒310-0802 茨城県水戸市柵町1-3-1)

<sup>5</sup> 日本工営 (株) 地球環境事業部環境部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

Field experiment of the lakeshore restoration for creating habitat of animals and vegetations using beach nourishment was carried out in Lake Hinuma. The changes in lakebed topography, grain sizes of bed materials, water level and salinity had been monitored after the beach nourishment. Due to the storm waves caused by typhoon 0709, nourished sand was moved up to the depth of closure of 1.0 m below the mean water level. A barrier island with a 0.25-m-high berm was formed due to the cross-shore sand transport, and the results are in good agreement with the expected results in the previous paper. The grain size sorting of bed materials in the depth zone shallower than the depth of closure was observed. A wetland was formed landward of this barrier, and the lakeshore vegetation was stabilized by the formation of this barrier.

**Key Words :** Lakeshore, restoration, vegetation, Lake Hinuma, barrier island, monitoring

### 1. まえがき

涸沼は、図-1 に示すように茨城県東部に位置する面積9.4 km<sup>2</sup>、平均水深2.1 mの汽水湖であり、汽水性の貴重な生物相を有し、ヤマトシジミなどの漁業生産の場としても知られている。また絶滅危惧種ヒメイトトンボの生息も認められている。茨城県では涸沼の良好な湖岸植生帯の再生を行うとともに、副次的に涸沼における代表的な生物の再生も考慮した計画を策定した<sup>1)</sup>。涸沼での自然再生では、従来の湖岸植生の再生整備等で見られる大規模な人工構造物を極力用いず、現地環境条件を手本として自然の再生力を最大限利用する整備手法とした<sup>1)</sup>。この考え方を具体化するために、宮前地区を対象として選定し、湖浜地形、水位、底質、塩分、植生などに関する総合的な観測を行い、それをもとに湖岸整備法について検討した<sup>2)</sup>。整備計画の概要としては、既存の植生帯の前面に土砂を投入することで浅場を造成し、自

然の営力(波浪)により造成平坦部前面に砂州(以下、バームと呼ぶ)状のバリアーを発達させ、その内部に静穏域を形成することで植生帯の自然の拡大を期待するものである。整備では、基本的に整備箇所と同等の粒径材料を用いることで、波浪によって形成させるバームの高さおよび勾配が整備前と同様になるようにした。盛土平

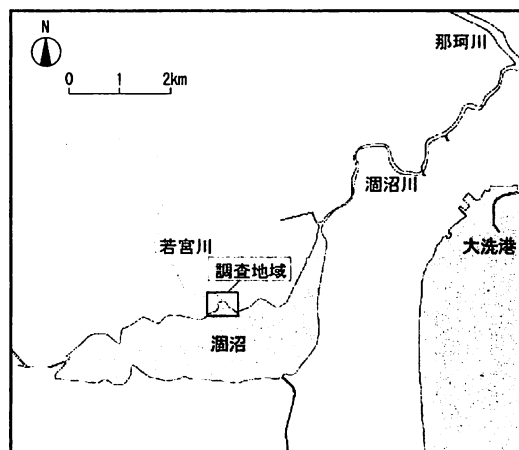


図-1 調査対象位置図

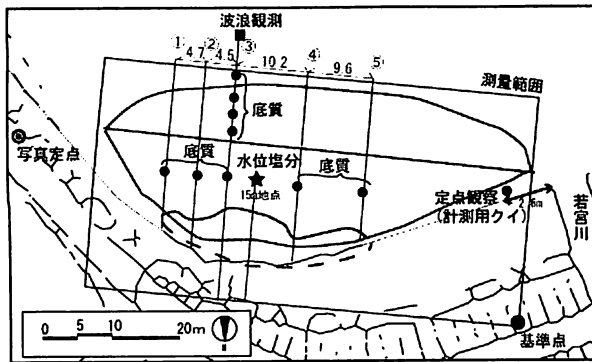


図-2 調査地点図

坦面については、水位、バーム形成に必要な水深およびヒュマイトンボなどの生物の生息が可能となる高さに設定した。この湖岸植生帯再生計画をもとに、2007年5月に湖岸整備を行い、施工後におけるモニタリング調査を開始した。モニタリング調査では、①波によるバームの形成を確認するための測量と波浪観測を行うとともに、②静穏域における植生帯の拡大、および他種の進入を確認するための植物調査、さらには③静穏域の環境変化を確認するための水位・塩分・底質調査を実施した。本報告ではこれらの観測結果について述べる。

## 2. 整備とモニタリング方法

整備は2007年4～5月に実施し、投入土砂は涸沼の流入河川の寛政川から200 m<sup>3</sup>、稲田沢川から400 m<sup>3</sup>、計600 m<sup>3</sup>を採取した。土砂採取地点の選定では、①採取場所が涸沼への流入河川であり、②整備地区と同等の粒径を持ち、③採取による自然的攪乱が小さく、さらに④採取時の施工性が高くなるよう留意した。施工においては湖岸から重機を用いて土砂を撒き出し、植生帯内部については、既存植生へ影響を与えないように人力で土砂を投入した。

モニタリング調査では、対象地区の測量、波高、底質、水位・塩分、植物状況を調査した。調査地点および範囲を図-2に示す。測量は、土砂投入区域において水域では岸沖方向に2 m、横断方向に1 m間隔で、陸域では岸沖方向2 m、横断方向に2 m間隔でレベルと間縄を用いて行った。また、土砂の堆積状況を把握するために若宮川河口付近において定点観測を行った。測線③上の沖合32 m地点（平均水深1 m程度）には水圧式小型軽量波高計を設置し、水位、波高および周期の観測を行った。観測は8月30日～10月24日に実施した。底質は、測線①～⑤上の造成された平坦面部の5点で、測線③上の水深毎に4測点でエクマンバージ採泥器を用いて採取し、粒度分析を行った。調査は7月31日に実施した。水位・塩分は、測線③と④の間（基準点より15 m地点）において通年の連続観測とした。植物状況は、測線①～⑤

上で植物種を確認するとともに、平坦面において整備後発芽した種の種名、確認位置を記録した。調査は5月28日、7月31日、10月24日に実施した。

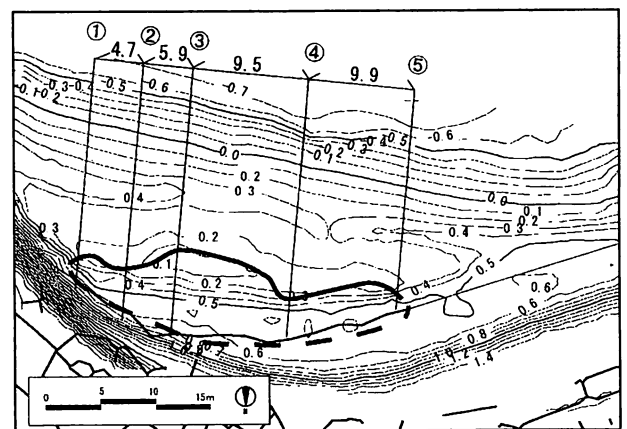
## 3. 観測結果

### (1) 地形変化

対象区域において、整備前の2005年9月10日と、整備後の2007年5月29日、および10月31日に実施した湖底地形測量の結果の一例として、図-3には2007年10月31日の湖岸地形の平面図を示す（整備前の状況は前報<sup>2)</sup>参照）。整備によって凹状の窪地が砂で埋められ、ほぼ東西方向に直線状に伸びた等深線が形成された。また中央部の最大幅が約15 m、高さがほぼT.P. 0.2 mの平坦面が形成された。また、平坦面前面には細長くバームが発達し、バームがバリアー状に細長く伸びた。さらにこの平坦面沖の湖底勾配は約1/10で深くなっている。

平坦面の造成後形成されたバームは、両端部ほど比高が高まり中央部では低い。また中央部の測線④、⑤の間では開口部が自然に形成されており、湖とバームの陸側水域（以下、静穏域とする）の水交換に役立っている。この開口部はバームを乗り越えた湖水が集中的に沖合へ戻るために形成されたものである。また図-3において沖合のT.P. 0.0 mから-0.5 m間の等深線は、その間隔が東部では狭く、西部では緩いことから、湖底勾配が東部では急、西部では緩やかである。また西端部では等深線の沖への膨らみも見られる。これらの点は平坦面沖において、卓越沿岸漂砂の方向が西向きであり東部から侵食された土砂の一部が西端へと移動していることを示す。

さらに、2005年9月10日、2007年5月29日および10月31日の地形測量結果をもとに、各測線の湖浜縦断面を図-4に示す。既に5月29日には丸みを帯びたバームが形成されていたが、10月31日まではその沖側斜面が削られ、侵食土砂の一部が岸方向に運ばれて従来の平坦面上に新たにバームが形成された。この場合、侵食・堆積面積は釣り合わず、侵食面積のほうが大きい。各測線ごとの侵食・堆積面積、およびバーム高を表-1に示す。



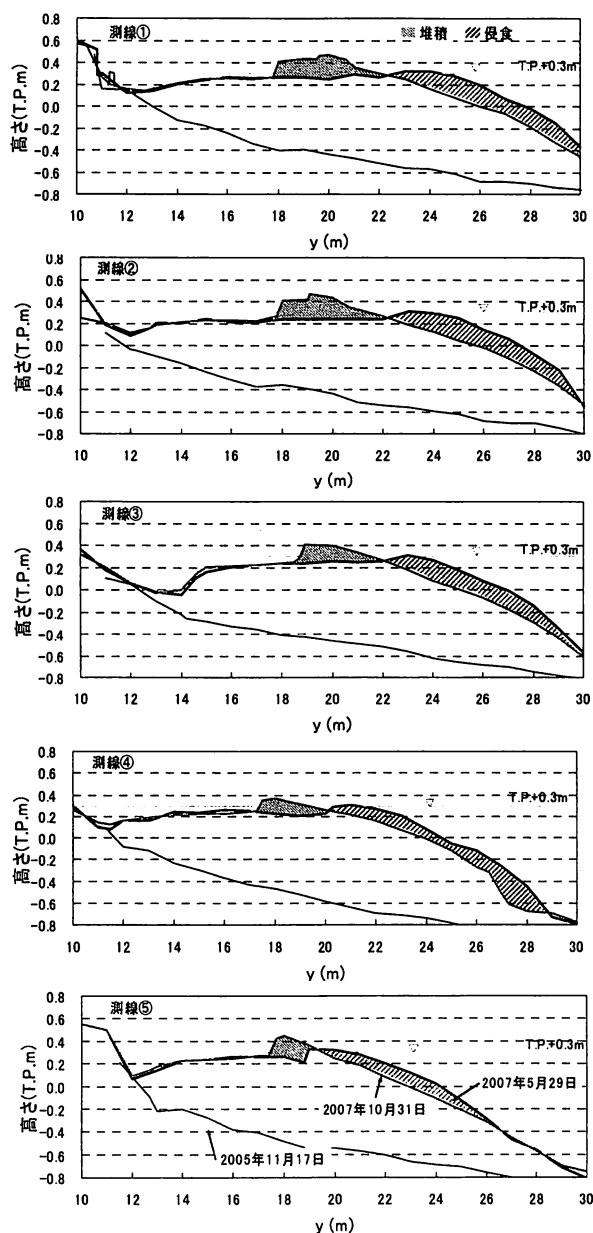


図-4 測量結果(縦断面)

侵食・堆積面積は東側の測線①から西端の⑤へと減少傾向にある。西向き沿岸漂砂が卓越しているため東部ほど侵食されやすいということが、東部ほど侵食面積が大きかった理由と考えられる。またいずれの断面でも侵食面積が堆積面積より大きい、これは次節で明らかにするように、整備時に細粒分が流出したためと考えられる。

一方、バームの陸側斜面の勾配はほぼ1/2であり、急角度で落ち込んでいる。これはバームを乗り越えた水がバーム背後水域に流れ込み、流れのエネルギーを急速に失ったためであり、安息勾配をなして砂が堆積したためと考えられる。このためこの急斜面より陸側の水域では地形変化はほとんど起きておらず安定した水域となっている。

整備計画とモニタリング結果の比較のために、最もバームの発達が早い測線①を例にとって比較したのが

表-1 堆積侵食状況

| 測線 | 堆積面積<br>( $\text{m}^2$ ) | 侵食面積<br>( $\text{m}^2$ ) | バーム高<br>(T. P. m) |
|----|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| ①  | 0.64                     | 1.10                     | 0.47              |
| ②  | 0.65                     | 1.12                     | 0.47              |
| ③  | 0.42                     | 1.06                     | 0.41              |
| ④  | 0.29                     | 1.17                     | 0.37              |
| ⑤  | 0.24                     | 0.65                     | 0.45              |

表-2 整備計画とモニタリング結果の比較

| 項 目     | 整備計画                   | モニタ<br>リング結果(測線①)      |
|---------|------------------------|------------------------|
| バーム高    | 0.45m<br>(T. P. +0.6m) | 0.25m<br>(T. P. +0.5m) |
| 静穏域の幅   | 5.0m                   | 6.0m                   |
| バーム幅    | 6.0m                   | 4.0m                   |
| 平坦面前面勾配 | 1/8                    | 1/10                   |

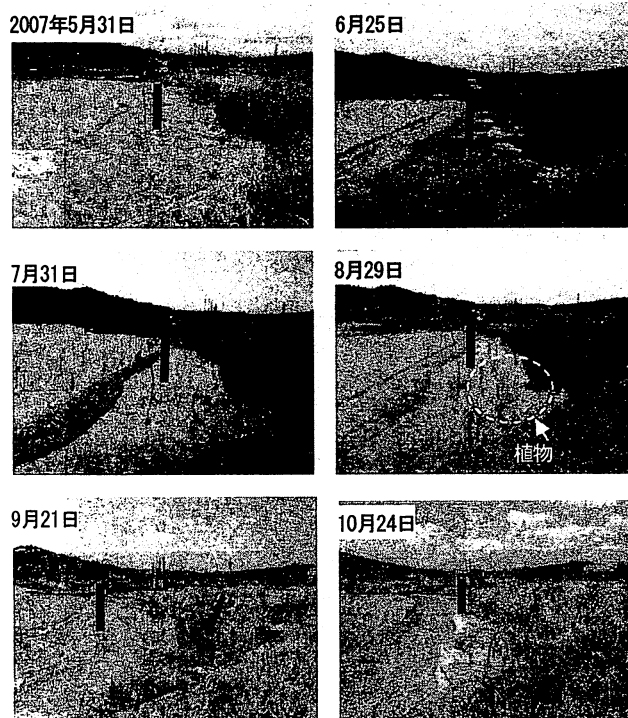
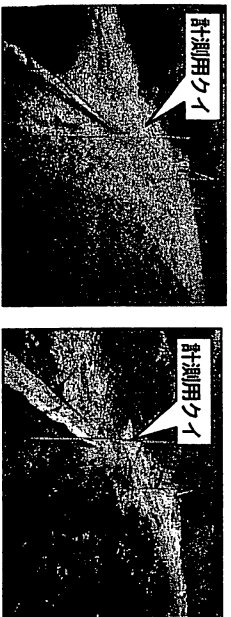


図-5 定点写真によるバームの形成状況の変化

表-2であるが、概ね計画時の地形となっていることが分かる。

## (2) 定点写真によるバーム形成状況調査

整備後のバーム形成状況を調べるために、毎月1回、整備区域東側の堤防上に定めた定点から調査区域をほぼ西向きに望んで写真撮影を行った。図-5は、5月31日から10月24日まで約5ヶ月間の対象地区の変化であり、バームの形成・変形と植物の繁茂状況を示す。各写真には観察用に立てた基準クイを太線で示す。基準クイとバームの相対的關係からバームの岸向き移動が見て取れる。5月31日には細長いバームが既に形成されていたが、バームの陸側端と基準クイは離れていた。この状況



(a) 2007年7月6日  
(b) 2007年10月20日  
図-6 湖浜地盤高の変化の状況

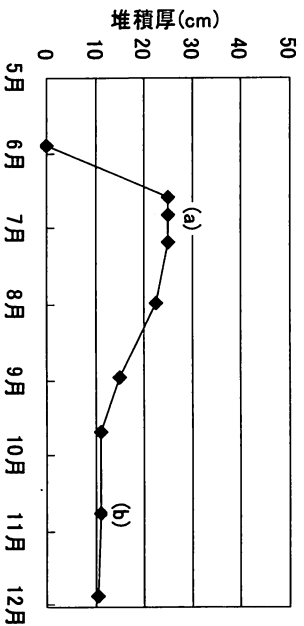


図-7 湖浜地盤高の時系列変化

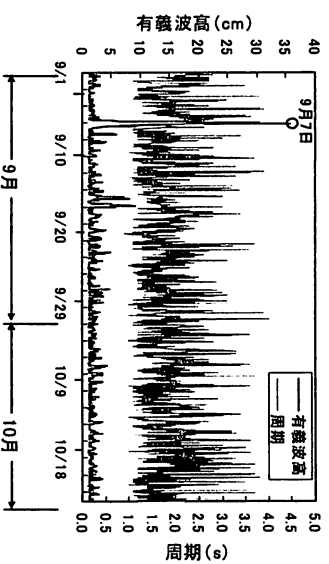


図-8 波浪観測結果

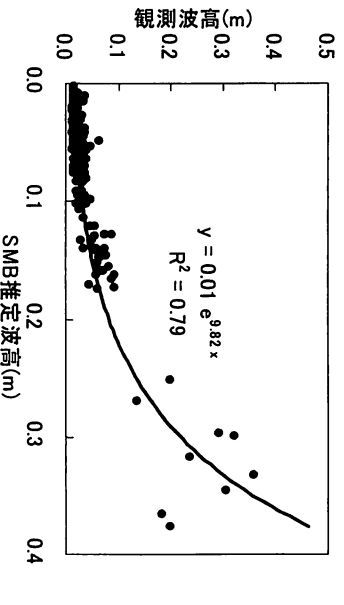


図-9 観測波高とSMB算定波高の関係

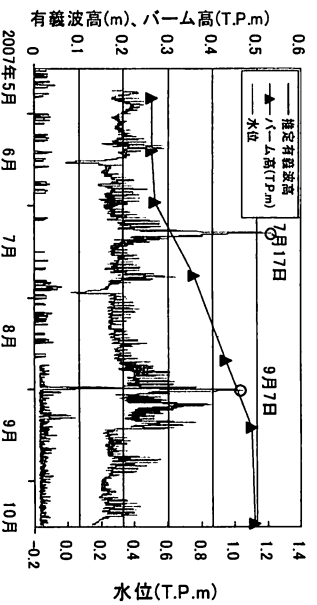


図-10 波高と水位とバーム高の変化

は6月25日でも大きく変化していない、7月31日には水位が高く静穏域に水が入り込んでいるが、バームは依然としてほぼ同じ位置にあった。8月29日もほぼ同様である。この時までには静穏域にはサヤ等の植物の生育が認められる。しかし9月21日では、9月7日に襲来した台風9号に伴う強い波の作用によりバームは陸側へと移動し、バームと離れていた基準クイが砂に埋まった。10月24日と9月21日では、湖浜状況はほぼ同様である。このようにバームは夏季には変化が少なかったが、10月24日までに全体として陸側へと移動したことが分かる。また沼沼の水位変化に伴ってバーム陸側の水域は乾湿を繰り返していることが分かる。

### (3) 同一地点における湖浜地盤高変化

図-2に示したように、若宮川の河口導流堤から東に2.6m離れた地点において5月28日から11月27日まで延べ9回、目盛りを付けた計測用クイを設置し、湖浜地盤高の変化を調査した。図-6は2007年7月6日と10月24日の例を示す。7月6日には計測用クイの陸側にある護岸前面に砂が堆積したが、10月24日にはこの付近に堆積していた砂が陸向きに移動した結果、砂浜の下に埋っていた礫が露出した。これらの写真の比較からも、バームの岸向き移動が起きたことが分かる。図-7は定点における堆積厚の時間的変化である。図のa, bは図-6に示した2時期の写真に対応する。バーム形成は整備直後から1ヶ月以内で急速に進み25cm堆積したが、台風等の影響でバームの岸側への移動することにより観測地点における堆積厚は減少した。

### (4) 作用波浪とバーム高の関係

観測期間の有義波高と周期の変化を図-8に示す。波高のほとんどは0.05m以下であるが、9月7日に襲来した台風9号時には0.36mの有義波高が観測された。また周期は1.0sから3.5sの間で不規則に変動している。対象地区周辺において、茨城県環境放射線監視センター広浦観測局が気象観測を行っていることから、このデータを参照し、風速と対象地区の吹送距離を与えてSMB法により波浪推算を行った。この結果、上記観測期間中の有義波高と推算波高の間には図-9に示す関係が得られ、 $R^2=0.79$ とよい相関が得られた。このことから上記観測期間以外の波高はこの関係式から推算した結果を示すこととし、水位・バーム高の経時変化をあわせて図-10に示す。バームの発達には7月17日のT.P.1.2mまでの水位上昇時と9月7日のT.P.1.0mまでの水位上昇および高波浪により大きく発達したことが分かる。また、9月7日以降は、大きな波浪が発生していないため、バームが変化していないこともわかる。

### (5) 底質粒径

静穏域における底質粒径の変化を調べるために、図-

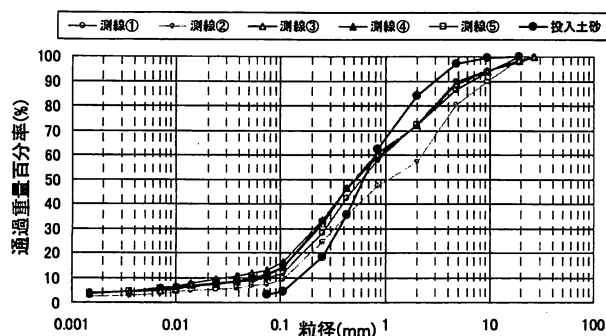


図-11 底質調査結果(静穏域内)

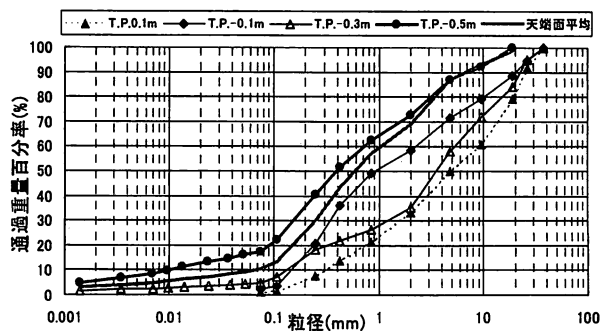


図-12 底質調査結果(測線3)

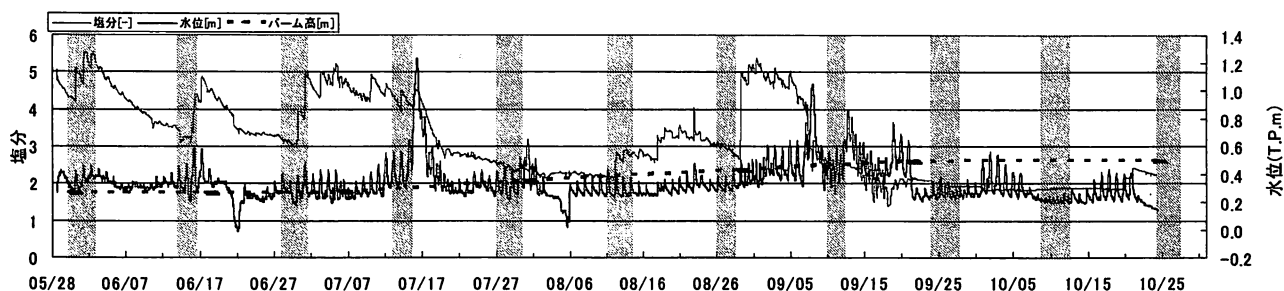


図-13 水位・塩分およびバーム高の時系列変化

図は大潮を示す

11 に各測線で採取した底質の粒度分析結果を示す。あわせて土砂採取を行った稲田沢川の土砂の粒度分布も示す。いずれの測線もほぼ同様な分布を有し、粒径の通過重量百分率は、0.1 mmでほぼ10%，1 mmで60%，10 mmで90%であり、また中央粒径は0.5 mmから1.2 mmに分布する。稲田沢川の投入土砂と比較すると、ほぼ0.7 mm以下の細粒分が増加している。

次に波による攪乱作用を受けるバームの沖側斜面における底質粒径の変化を調べるために、測線③上の標高(平均水深)がT.P. 0.1 m (0.2 m)，-0.1 m (0.4 m)，-0.3 m (0.6 m)，-0.5 m (0.8 m) 地点において2007年7月31日に底質採取を行い、粒度分析を行った。測定結果を図-12に示す。前報<sup>2)</sup>では、対象地区における波による地形変化の限界水深をT.P. -0.3 mと推定したが、図-4の縦断形変化によれば測線③においてT.P. -0.6 m付近で地形変化が収束することから、前報の推定値よりも0.3 m深い場所まで地形変化が生じている。この理由は、9月7日に有義波高0.36 mという当地では異常に高い波が作用したことによる。これを考慮して図-12を参照すると、T.P. -0.5 m地点の値を除く他の測点では全て波による攪乱を受けている。図-12には図-11に示した静穏域での測定結果の全平均値も示すが、波による攪乱を受けた地点ではいずれも粗粒化が進んだことが明らかである。これに対して波による地形変化の限界水深( $h_c$ )に近いT.P. -0.5 m地点では細粒分の含有率が増加によって分級が進み、細粒分は沖へと運ばれたことが分かる。また $h_c$ 近傍の底質粒径は静穏域の波による攪乱作用のない水域の底質とほぼ同様なことも分かる。

## (6) 水位と塩分

塩分水位およびバーム高の変化を図-13に示す。5月28日から7月20日までは大潮期に塩分が5程度まで高まり、その後低下するという変化を繰り返していた。しかし7月14日の台風4号に伴う降雨によって河川水が流れ込んだために塩分が急低下し、塩分が3を切るレベルまで低下した。その後8月末に再び塩分が5まで上昇したが、9月7日の台風9号時の降雨によって再び塩分が低下した。水位変化については7月17日にはT.P. 1.2 mまで、9月7日にはT.P. 1.0 mまで上昇した。

## (7) 植物調査の結果

2007年5月31日、7月31日および10月24日に目視による植物の発芽状況を調査した。表-3には調査結果を示す。春季にはヨシやスイバの発芽が見られ、夏季にはサヤヌカグサ、マコモの生育が確認され、秋季にはケイヌビエやヒメガマ群落が拡大した。また、秋季には特定外来種法において要注意種として指定されているキシュウスズメノヒエの発芽も見られた。整備地区ではこれまで確認されていないことから、埋土種子が波浪の作用によって漂着したものが定着、発芽した可能性がある。

さらに、図-2に示す各測線に沿って植生分布を目視により調べた。植生調査は表-4のように6回行った。表-4には各測線上における基準点から植生帯前縁線までの沖向き距離を示す。整備前の2006年8月26日までの調査では、2006年5月26日までに平均26 cm広がった後、夏季の台風等の外力により平均16 cm後退した。

表-3 平坦部における確認種一覧

| No. | 科名      | 和名        | 帰化・植栽・逸出      | 環境省<br>RL | 茨城県<br>RDB | 春(2007. 5. 31) |      | 夏(2007. 7. 31) |      | 秋(2007. 10. 24) |      |
|-----|---------|-----------|---------------|-----------|------------|----------------|------|----------------|------|-----------------|------|
|     |         |           |               |           |            | 水域<br>天端部      | 整備地区 | 水域<br>天端部      | 整備地区 | 水域<br>天端部       | 整備地区 |
| 1   | タデ科     | シロハナサクラタデ |               |           |            | ●              | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 2   |         | スイハ       |               |           |            | ●              | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 3   |         | ナカバネキキシ   | 帰化            |           |            |                | ●    | ●              | ●    |                 | ●    |
| 4   |         | キキシ       |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    |                 | ●    |
| 5   | イネ科     | イヌビエ      |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    |                 | ●    |
| 6   |         | ケイビエ      |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 7   |         | サヤカグサ属の一種 |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 8   |         | キシュスノメノヒエ | 特定外来<br>種：要注意 |           |            |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 9   |         | クサヨシ      |               |           |            | ●              | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 10  |         | ヨシ        |               |           |            | ●              | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 11  |         | マコモ       |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 12  | カマ科     | ヒメカマ      |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| -   |         | カマ科の一種    |               |           |            |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 13  | カヤツリクサ科 | オオクサ      |               |           | 準絶滅<br>危惧種 |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 14  |         | ヤナギ       |               |           | 絶滅<br>危惧種  |                | ●    | ●              | ●    | ●               | ●    |
| 4科  | 14種     |           |               |           |            | 2種             | -    | 10種            | -    | 8種              | -    |

表-4 植生帯の広がり状況

| 測線          | ①    | ②    | ③    | ④    | ⑤    | 平均<br>(m) | 前回の<br>差分(m) |
|-------------|------|------|------|------|------|-----------|--------------|
| 2005年10月11日 | 12.9 | 12.2 | 13.5 | 11.7 | 12.6 | 12.6      | -            |
| 2006年 5月26日 | 13.1 | 12.4 | 13.9 | 11.8 | 13.0 | 12.8      | 0.26         |
| 2006年 8月26日 | 13.0 | 12.3 | 13.6 | 11.8 | 12.7 | 12.7      | -0.16        |
| 2007年 5月28日 | 13.2 | 13.1 | 14.4 | 12.1 | 13.3 | 13.2      | 0.54         |
| 2007年 7月31日 | 13.4 | 13.1 | 14.4 | 12.1 | 13.2 | 13.2      | 0.02         |
| 2007年10月24日 | 13.7 | 13.1 | 14.4 | 12.1 | 13.2 | 13.3      | 0.06         |

整備後の2007年5月28日以降の調査では、2007年5月28日までに平均54 cm広がり、その後7月31日、10月24日ともにこの状態が維持されている。これは、バームの形成により夏季の台風等の外力から植生帯が守られた結果と考えられ、整備効果が確認できた。

### 3. まとめ

涸沼の宮前地区での湖岸植生帯再生の湖岸整備後におけるモニタリング調査の結果、次の結果が得られた。

- ・整備計画では、前報<sup>2)</sup>においてバームの形成を想定したが、整備後風波の作用で実際にバームが形成され、その位置や規模は、整備計画時の想定とほぼ同程度となったことが分かった。
- ・2007年9月7日に来襲した台風9号により有義波高0.36mの波浪が発生したことで、高さ0.25 m、幅4 mのバームが形成された。また、バーム中央部ではその内側と外側を結ぶ水路が自然に形成され、そこを経由した水交換が可能となった。
- ・植生帯は、沖方向に0.54 mの拡大を確認した。事前調査では台風等の波浪により生育個体が倒伏し、拡大が抑制されていることが確認されている<sup>2)</sup>。本調査では、

バームにより波浪の影響が抑えられたことで倒伏も確認されなかったことから、本整備の効果が確認できた。  
・静穏域での水位・底質に大きな変化はなかったものの、9月の台風以降塩分が減少してきていることを確認した。バーム高がT.P.+0.5 mに対して涸沼の水位T.P.+0.3(±0.2) m程度であることから、水路部(T.P.+0.25 m)以外での静穏域の水交換が減少しているためと考えられる。

なお、2007年の初夏季節調査においてヒメイトトンボが若宮川河口部東側3 m付近(対象地区西側25m付近)の草地において数個体確認された。対象地区では未確認であるが、今後、静穏域内の水質状況を継続的に確認し、良好な状態を維持することで、整備地区への飛来・産卵の可能性が考えられるので継続的な調査を行っていく予定である。

謝辞：本論文は、涸沼植生帯等再生整備検討委員会における検討結果の一部を報告したものである。検討委員および関係各位の多大なご助言、ご協力に感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 宇多高明・照沼孝雄・見澤正勝・熊谷明子・新沢 丘・内田 肇：湖岸植生帯の新しい再生手法－茨城県涸沼の例－，河川技術論文集，第11巻，pp. 511-516，2005。
- 2) 宇多高明・見澤正勝・古川秀一・今村史子・城野裕介：湖岸植生帯の再生手法に関する検討，水工学論文集，第51巻，pp. 1451-1456，2007。

(2008. 4. 3受付)