

湖岸植生帯の新しい再生手法 -茨城県涸沼の例-

A NEW RESTORATION METHOD OF LAKESHORE VEGETATIONS —AN EXAMPLE OF LAKE HINUMA—

宇多高明¹・照沼孝雄²・見澤正勝³・熊谷明子⁴・新沢 丘⁵・内田 肇⁶

Takaaki UDA, Takao TERUNUMA, Masakatsu MISAWA,
Akiko KUMAGAE, Takashi NI-IZAWA and Hajime UCHIDA

¹正会員 工博 財団法人 土木研究センター (〒110 東京都台東区台東1-6-4)

²正会員 (前) 茨城県 土木部 (現) 保険福祉部 (〒310 茨城県水戸市笠原町978-6)

³茨城県 土木部 (〒310 茨城県水戸市笠原町978-6)

⁴工修 三洋テクノマリン株式会社 技術部 (〒103 東京都中央区日本橋堀留町1-3-17)

⁵三洋テクノマリン株式会社 技術部 (〒103 東京都中央区日本橋堀留町1-3-17)

⁶正会員 三洋テクノマリン株式会社 技術部 (〒103 東京都中央区日本橋堀留町1-3-17)

Lakeshore vegetations have been deteriorated in Lake Hinuma with decrease in littoral zone associated with the construction of embankments and revetments. Ibaraki Prefecture plans an experiment on the restoration of natural lakeshore, while utilizing a potential of natural recovery as much as possible. For the selection of experimental site, environmental conditions such as waves and winds were investigated. Aerial photographs were compared in order to study importance of littoral drift condition for the growth condition of vegetations. There is a small habitat on the lakeshore formed by successive accumulation of sand by littoral drift in the selected experimental site. We copy this phenomenon for creating a new lakeshore with vegetations. In this method, we deposit sand and permit beach changes due to wave action, resulting in forming a stable beach. This method has an advantage that environmental impact is small.

Key Words : lakeshore, littoral zone, restoration, vegetation, Lake HINUMA

1. はじめに

涸沼は、茨城県東部に位置する面積9.4km²、平均水深2.1mの汽水湖である。涸沼の位置を図-1に示す。涸沼は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地域産業の拠点となっている。かつて涸沼の湖岸沿いには広大な浅場が存在し、水中には沈水植物、汀線付近にはヨシやマコモ等の抽水植物が繁茂する豊かな植生帯が形成されていた。しかし、大規模干拓事業や農地整備のための堤防整備などによる浅場の減少や、汀線部の人工化により、現在では沈水植物はほぼ消失し、抽水植物も限られた場所で生育するのみである。

こうした状況を受け、茨城県では涸沼の過去の良好な水域環境の再生を計画してきた。涸沼での自然再生の第一歩となる今回の試験整備では、従来の湖岸植生の再生整備等で見られるような大規模な人工構造物を極力用い

ず、現地の環境条件を手本とし、自然の再生力を最大限利用する整備手法の展開を検討した。

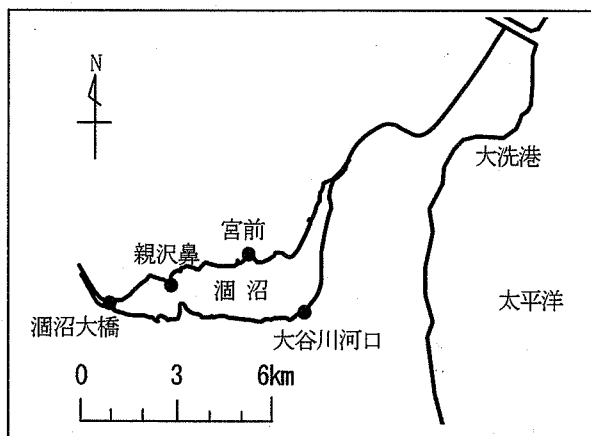


図-1 涸沼の位置図

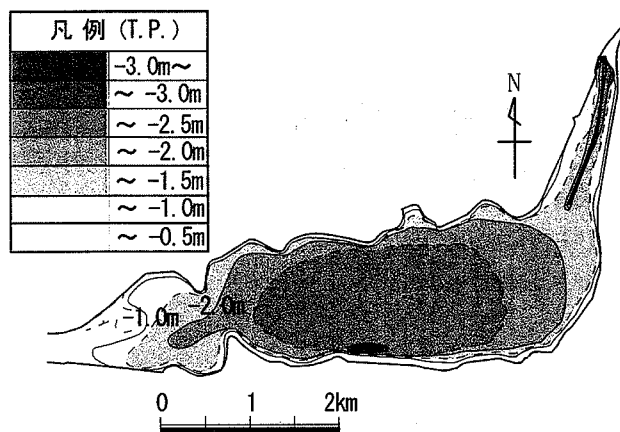


図-2 深浅図(2002年測量)

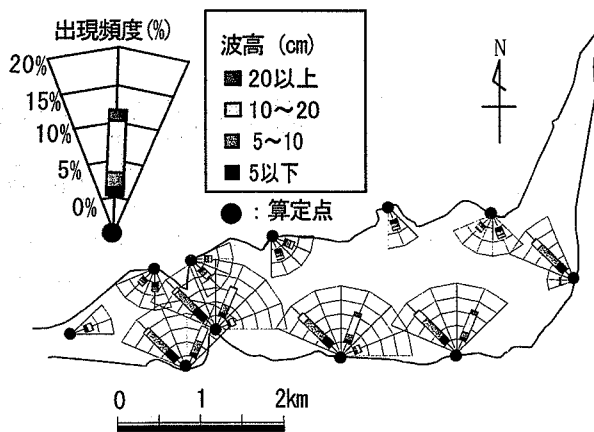


図-4 波浪推算結果

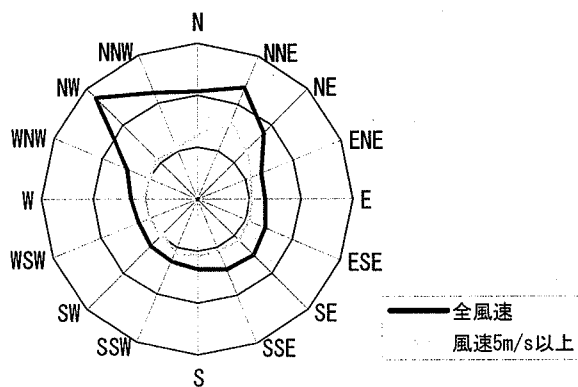


図-3 風配図 (2001年1月～2003年12月観測)

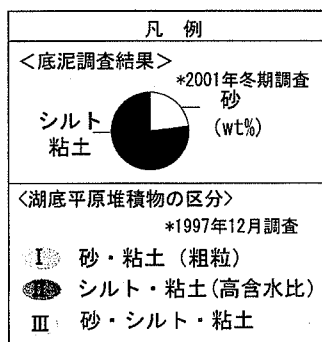


図-5 底質の特性

2. 涸沼の環境特性の概要

2002年測量による深浅図を図-2に示す。涸沼の西部には広い浅場が発達しているが、ここは上流からの土砂流入部にあたり、大量の土砂が堆積していることによる。また、南岸沿いや北東部にも一部浅場が見られる。

涸沼の近隣では風向・風速観測が行われていないため、涸沼の北東約8km、太平洋に面した大洗港の観測データを用いて描いた風配図が図-3である。全風速で見ると北北東と北西が卓越しているが、風速5m/s以上の風の出現頻度では北北東風の出現率が圧倒的に高い。

大洗港で観測された風向・風速データを用い、SMB法を用いて波浪推算を行った。結果を図-4に示す。涸沼では北寄りの風が卓越するため、南岸一帯において波浪の来襲頻度が高い(NW～NE: 約10～20%)。とくに北北東方向は波高10cm以上の波浪の出現頻度が8%前後と高い。

涸沼の底質分布を図-5に示す。底質は、『下流から潮汐によって運搬される懸濁物質』を起源にもつ北東部(I)、『上流から供給された懸濁物質』を起源に持ち、湖内の波の営力によって堆積特性の異なる北部(II)と南部(III)に分けられる¹⁾。底質調査結果²⁾では、波の営力が相対的に大きい南部は砂分、北部はシルト・粘土の組成割合が高く、上記の堆積特性を反映した結果が得られている。

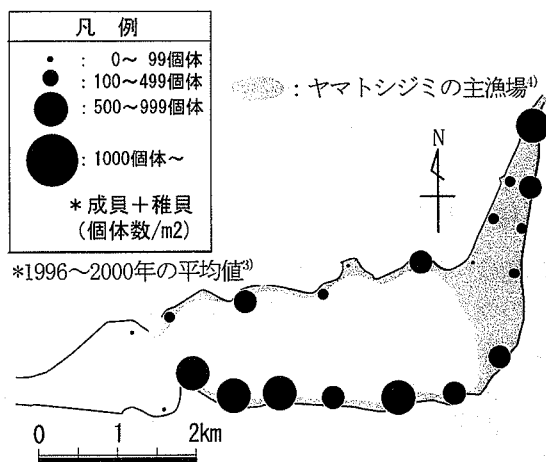


図-6 ヤマトシジミの生息分布

涸沼の主要漁獲物であるヤマトシジミの生息分布と主漁場を図-6に示す。単位面積当たりの個体数をみると、南岸の調査点はほぼ500個体/m²以上と多く、北岸では500個体/m²以下と少ない³⁾。主漁場は、浅場の存在する湖岸線沿い、および塩分交換が頻繁な下流部である⁴⁾。

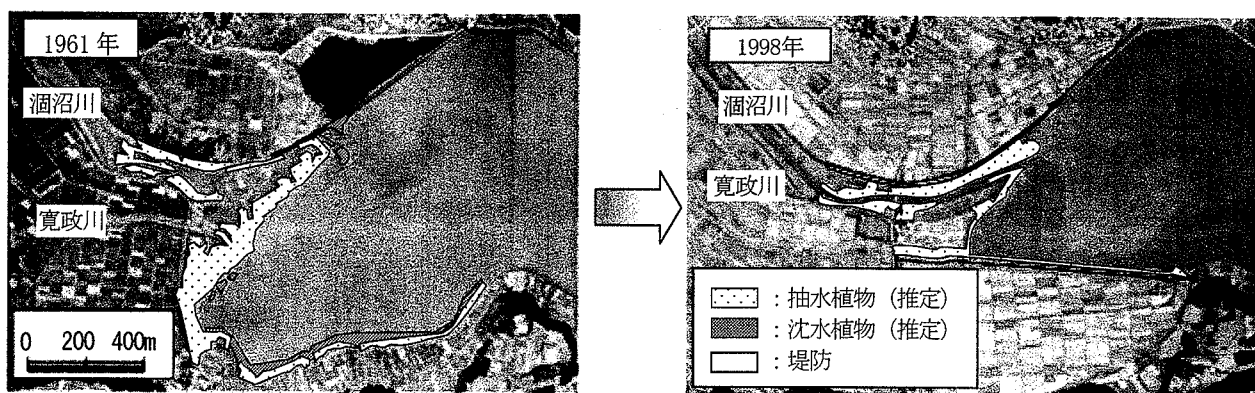


図-6 酒沼大橋付近の比較 国土地理院撮影 (1961年,1998年)

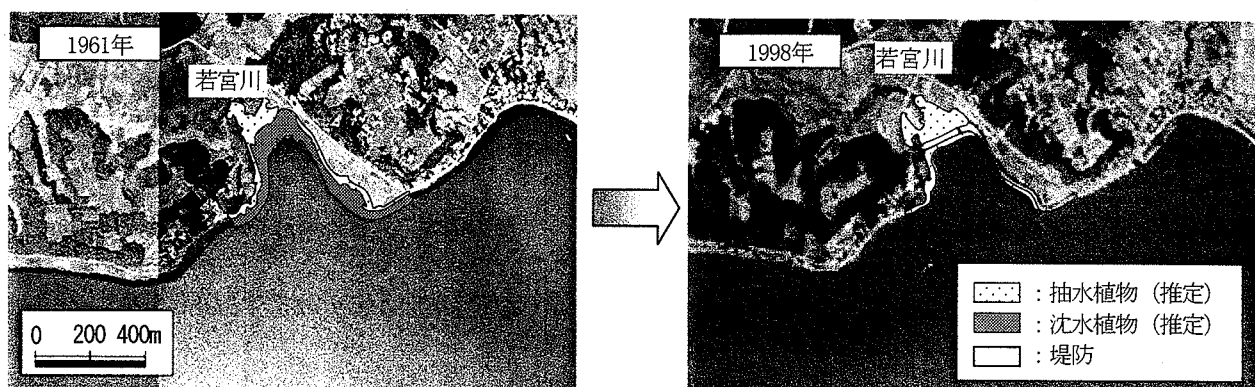


図-7 宮前の比較 国土地理院撮影 (1961年,1998年)

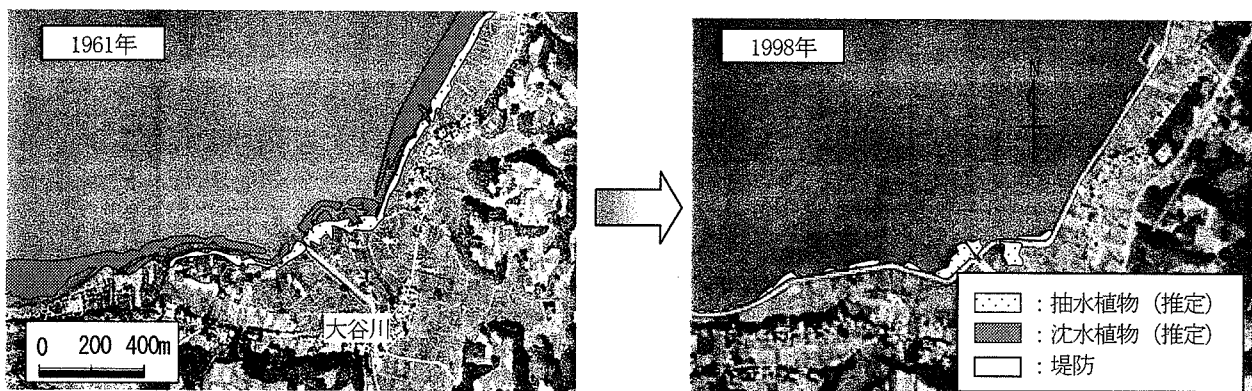


図-8 大谷川河口部の比較 国土地理院撮影 (1961年,1998年)

3. 過去と現在の空中写真比較

湖岸環境の再生に際しては、湖岸環境の変遷を調べ、植生帯の消失要因や湖岸環境の変化を十分に把握する必要がある。現在でも比較的健全な植生帯の見られる3地区を選択し、1961年と1998年の空中写真を用いて37年間の変化を調べた。

(1) 酒沼大橋付近 (図-6)

1961年の空中写真からは、酒沼川の流入部および寛政川の河口部周辺に洲が形成され、大規模な抽水植物群落が存在していたことが分かる。一方、1998年までに、南部において干拓が行われ、抽水植物群落が消失している。

また、酒沼川の河道北側に堤防が整備されたものの、上流から持続的に大量の土砂が供給されるため、植生帯はほとんど減少していない。

(2) 宮前 (図-7)

宮前は湾入地形である。このため強い波浪の影響を受けにくく、1961年には沈水植物、抽水植物が湾奥の湖岸沿いに生育していた。1998年までに、東岸にコンクリート堤防、湾奥に水門が整備された。また、東岸ではほとんど植生帯が見られない。東岸は西寄り方向から入射する波浪の影響を受けやすく、生育基盤が不安定であるため抽水植物の生育が難しかったと推察される。これと対照的に、波浪の影響を受けにくく、土砂の堆積しやすい湾奥部では、生育基盤が安定し抽水植物群落が生育している箇所がある。

(3) 大谷川河口 (図-8)

大谷川河口前面は開放的な地形である。1961年には自然の湖岸であったが、1998年には湖岸一帯に堤防が整備されている。1961年に見られた抽水植物群落は、1998年になると大谷川河口を除けば部分的にしか生育していない。大谷川河口では上流から運搬される土砂によって、生育基盤となる浅場が形成されていると考えられる。

4. 再生整備地区の選定

現在、自然の湖岸が残されている箇所以外で抽水植物群落が見られるのは、涸沼大橋付近、大谷川河口のように土砂の供給源が存在する箇所、宮前のように湾奥に位置し、運搬された土砂が流出されにくく堆積しやすい箇所である。湖岸植生帯の再生には、こうした土砂の堆積特性を十分検討する必要がある。今回の試験整備では、静穏な環境にあるために土砂が堆積しやすく、現在でも植生帯が存在する宮前を再生整備地区として選定した。

5. 現地状況の確認

整備地区である宮前の現地踏査を2004年11月に行った。整備手法を検討するための参考として、自然の湖岸が残されており、整備地区と同じく北岸に位置する親沢鼻の現地踏査も同時に行った。

(1) 親沢鼻の湖岸観察

親沢鼻は湖の西部に位置するため東側に長いフェッチを有している。このため細長く突き出た湖岸(砂嘴)の東岸では西岸と比較して作用波浪が高い。湖岸および植生帯の状況もこれに対応している。図-9に親沢鼻の地形および写真撮影箇所・方向を示す。

写真-1は、親沢鼻西岸の砂嘴の付け根付近の湖岸状況である(ほぼ南向きに撮影)。親沢鼻は湖内で発達する風波の作用によって砂嘴の東面から西面へと回り込む沿岸漂砂が生じ、それによって発達および変形を遂げてきた³⁾。砂嘴が大きく南向きに突出しているため、東側からの風波の作用は親沢鼻の先端を回り込むと急激に低下する。したがって写真-1に示す付近は東岸でいかに波浪が高くても静穏な条件下にあり、砂がこれ以上西へ移動できずに堆積する。このことから湖岸植生の生育に都合がよく、実際、写真-1に示すように汀線付近にヨシの群落を観察された。

写真-1の地点より砂嘴の先端部の汀線付近に見える植生群落に接近して撮影したのが写真-2である。注意深く観察すると、植生帯の前方では汀線に沿って移動してきた砂(細砂)が帯状に堆積しているのに対し、植生帯の手前側では汀線付近に多くの礫が露出している。写真-2の位置から全く逆方向を撮影したのが写真-3である。写

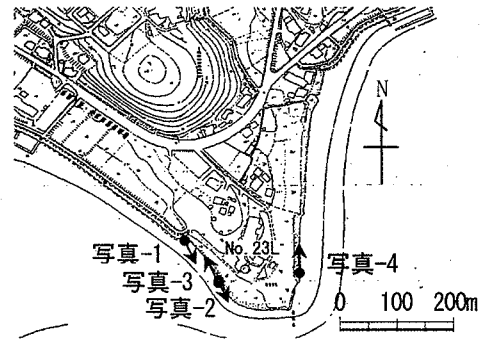


図-9 親沢鼻の地形



写真-1 親沢鼻の付け根(西岸)の湖岸状況



写真-2 植生帯と砂の堆積状況(南向き)



写真-3 植生帯と砂の堆積状況



写真-4 親沢鼻東岸の湖岸状況

真のように波が斜めに入射することによって、写真-2の奥から手前へと砂（とくに移動しやすい細砂）が汀線に沿って移動し、植生帯によりその移動が止められ、結果として写真-3のように植生帯を越えた場所では細砂の供給が不足して汀線が後退していることが見て取れる。

また観察によれば、植生帯の中は細砂が堆積するばかりでなく、浮遊性の有機物がヨシの根に絡むようにして堆積していた。すなわち群落をなしたヨシが、波に対して消波効果を発揮し、群落の中に細砂を蓄えて地盤高を上昇させ、同時にヨシの肥料となる有機物もまた堆積しやすい環境を作り出し、そのことがヨシの群落の発達を促すという正の循環が生じていることが分かった。

写真-4は親沢鼻東岸の状況である。汀線が直線状に延び小高いバームが発達している。バームの高さは平均水面上約30cmにある⁵⁾。湖岸線に沿ってヨシなどの植生は全く存在しない。これは作用波高が大きいことによる。

以上の観察結果より、新たに植生帯を創出する場合には、波浪の作用について十分な検討が必要であり、それと同時に植生帯が自ら発達することができる機構を取り込む必要がある。

(2) 宮前の湖岸観察

親沢鼻が砂嘴として凸状の湖岸線を有するのと逆に、宮前は凹状の湖岸線を有する。したがって宮前は、親沢鼻東岸のような強い波浪を受けにくい条件下にある。図-10に宮前の地形および写真撮影箇所・方向を示す。

宮前は湖沼東部に位置し、西側のフェッチが長いいため湖岸に作用する主な波浪の入射方向はやや西寄りとなる。このため、宮前では西岸沿いおよび湾奥東側の隅角部周辺が植生帯の発達のための必要条件を満している。

最初に、宮前の湖岸線に沿って北向きに望みつつ、東側隅角部を撮影したのが写真-5である。東岸にはコンクリート堤防が整備されていたが、張りコンクリートが吸出しを受けて著しく沈下していた。この付近は南西方向からの波浪が直接作用することから、越波が激しいだけではなく、その戻り流れの作用もあって裏込め土砂が吸い出され、その結果、張りコンクリートが沈下したと推定される。また波は斜めに作用するので、吸い出された砂礫は写真前方へと移動し、奥まった部分に堆積したと考えられる。

湖岸線に沿ってさらに植生帯へと接近して撮影したのが写真-6である。湖岸線を区切るコンクリート壁が曲線を描く部分に着目すると、直立護岸の裏側に大きな窪みが見える。この窪みは、南西方向からの波浪が護岸の曲線部分に集中したために著しい越波が起り、その結果戻り流れによって背後の土砂が流出したと考えれば写真-5の説明と調和的である。これに対し、護岸背後の窪みは植生帯の背後では規模がずっと小さくなる。これは植生帯が生育している部分の水深が浅いこと、また植生帯自身が消波効果を有することから当然の帰結である。

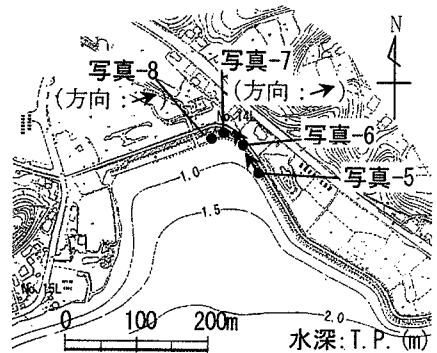


図-10 宮前地区の地形

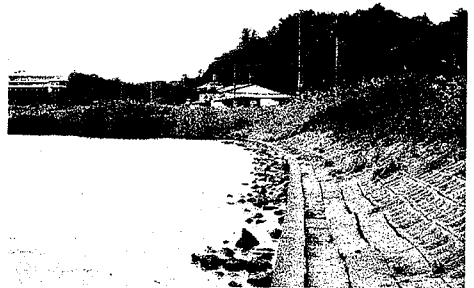


写真-5 整備地区東岸の湖岸状況

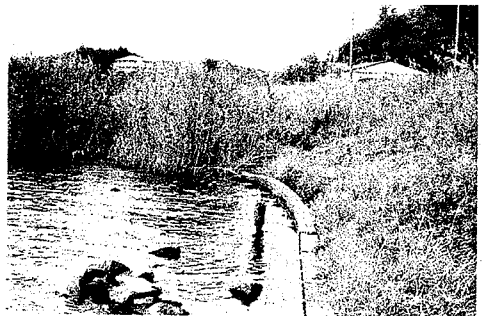


写真-6 波浪の影響

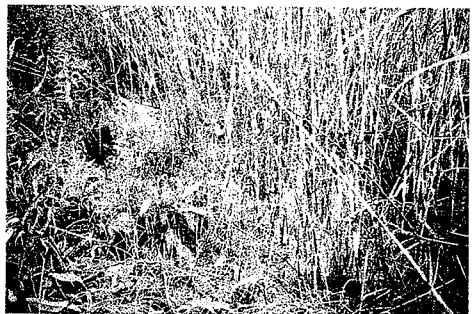


写真-7 植生帯における土砂の堆積状況



写真-8 植生帯の生育状況

写真-7は、繁茂した植生帯の中を撮影したものである。写真ではやや見にくいですが、植生帯は砂浜上に繁茂している。この砂は、既に述べたように東側の護岸背後から吸い出された土砂、および後述するように中央部の護岸背後から吸出された土砂がここに集積したものである。植生帯の背後には陸生植物が近接して生育しており、水生植物と競合しているため、植生帯の生育範囲を平均水面からの絶対標高で正確に知ることが重要である。

植生帯を湾奥の中央部、すなわち若宮川河口側から撮影したのが写真-8である。植生帯は東側隅角部にほぼ三角形に広がっており、中央部に接近するとなくなる。植生帯がなくなった場所では水深も増加しており、ここでは既設のコンクリート護岸が波浪の作用で大きく壊れていた。このことから湖岸の安定性には水深が重要な要素になることが分かる。

6. 再生整備手法の検討

宮前の静穏な湾奥部のうち、現地踏査により確認された湾奥東側の隅角部の植生帯を整備対象とした。現地踏査によれば、整備対象付近は土砂が集積する環境にある。このことから、予想される土砂の集積過程を考慮して捨て砂を行うことにより、植生帯の前面に浅場を形成することが可能と考えた。

捨て砂は植生帯の前面に植生帯から距離をおいて行い、波浪や水位変動などの自然の営力によって浅場の形成を行う。土砂の移動を自然の営力に任せることにより、宮前の環境特性に適合し、安定した浅場が形成されと考えられる。また、短期にはなく時間をかけて緩やかに変化が進むことにより、現在生育している植生帯や生息生物への影響が軽減される。この場合、初めからヨシ等の移植を行うのではなく、現在生育している植生帯の自然な拡大を期待することとした。

整備対象の環境条件を、以下のようにして設計に取り込んだ。

- ①捨て砂により形成される浅場が静穏な環境の範囲内になるよう設定した。静穏環境の範囲は、湖岸の構造物の波浪による破損状況等から判断した。
- ②形成される砂州の高さが高過ぎると陸生植物が繁茂し、水生の植生帯が再生されない。陸生植物の生育する繁茂限界高は、湖岸に形成されるバーム高とほぼ等しいと考えられる。宮前では、詳細な測量は行われていないが、捨て砂に際して形成されるバームの高さは、親沢鼻東岸の値に波高比（宮前/親沢鼻 $=0.14/0.18 \approx 0.78$ ）を乗じることにより求められる。親沢鼻東岸に形成された砂浜のバーム高は平均水面上約30cmであることから、宮前では約23cmと推測される。
- ③一般に波の作用で地形変化が起こる限界の水深

(h_c)は波高と密接な関係を有している。したがって土砂を投入する場合には、この水深で浅に土砂を投入することとする。また、 h_c 以深では、勾配をかなり急とし、浅場の形成に必要な土砂量を極力抑える。親沢鼻東岸における h_c の実測値は、平均水面上約50cmであり、②と同様に波高比を乗じて宮前での h_c は約40cmと推測される。

- ④海底勾配 $\tan \beta$ は底質中央粒径 d_{50} (mm)と次の式(1)

$$\tan \beta = 0.16 d_{50} \quad (1)$$

の関係が成立する⁶⁾。捨て砂の粒径は、植生帯の生育箇所の粒径、生育箇所の勾配から上記の関係式により導き出される粒径によって設定する。

- ⑤整備に用いる捨て砂は、潤沼あるいは流入河川に堆積している土砂を利用することが望ましい。他流域からの土砂の搬入は、生物の遺伝的攪乱を引き起こす恐れがあるためである。

7. まとめ

再生されるべき宮前の湖岸状況（構造物、植生帯の生育、底質の分布ほか）は、現地の環境特性を反映したものである。ここから判断される自然の機構や環境条件を柱として検討することにより、人為的改変を最小限に抑え、環境の再生力を最大限活かした新しい整備手法を検討した。今後は、詳細な検討の後に施工を実施し、モニタリングを行いながら、この手法の実効性を検証したいと考えている。

謝辞：本論文の内容は、潤沼植生帯等再生整備検討委員会において検討されました。検討委員および関係各位の多大なご助言とご協力に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 阿須間幸男・堀江美紀・石井 亮・三浦啓吾・大嶋和雄 (1998)：茨城県潤沼の環境資源，茨城大学地域総合研究所年報，第31巻，pp. 1-21.
- 2) 根岸正美・松本俊一 (2004)：潤沼におけるヤマトシジミの生育環境及び水質浄化機能，茨城県公害技術センター研究報告，第13号，pp. 13-15.
- 3) 根本隆夫 (2001)：潤沼におけるヤマトシジミの繁殖に及ぼす環境条件，第3回全国シジミシンポジウム講演要旨，pp. 35-39.
- 4) 中村幹雄(2000)：日本のシジミ漁場 その現状と問題点，たたら書房，p. 155.
- 5) 宇多高明(1997)：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442.
- 6) 野志保仁・小林昭男・熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄 (2004)：底質粒度構成に応じた局所縦断勾配の算定法，海岸工学論文集，第51巻，pp. 406-410.

(2005. 4. 7 受付)