

琵琶湖の砂浜保全及び湖辺植生環境の保全・利用に関する研究

PROTECTION AND UTILIZATION OF LAKESHORE AND NATURAL ENVIRONMENT IN LAKE BIWA

*

**

上坂良夫, ○西 篤照毅, 宇 多 高 明

Yoshio KOSAKA*, Teruyoshi NISHIJIMA** and Takaaki UDA**

ABSTRACT: Recently beach erosion is severe on the lakeshore in Lake Biwa and beautiful sandy shores have been gradually disappearing. In order to enhance the effect of the countermeasures against beach erosion on the lakeshore of Lake Biwa with keeping excellent natural environment and scenery it is important to utilize the protection method combining various facilities as well as the beach nourishment instead of the old-fashioned linear method using a seawall. Furthermore the utilization of some vegetations as a way in a system for preventive measures against beach erosion is considered to be useful, since those vegetations growing near the shoreline with deep roots are effective for preventing beach erosion. This study summarizes these preventive works with utilization of natural vegetations.

KEYWORDS: Shore protection, Lakeshore, Vegetations, Lake Biwa, Beach nourishment.

1. はじめに

近年、遊泳、キャンプ等で賑わう琵琶湖の砂浜の侵食被害が著しい。全域で20箇所にも及ぶ白砂青松の砂浜が徐々にその面積を減少させている。琵琶湖の湖岸侵食の特徴としては、冬季における北西からの季節風および夏季から秋季における南東又は南からの台風によって発生する高波浪にほとんど支配されており、フェッチの長い湖東の南部および湖西の北部で汀線の後退が顕著に見られることである。また、侵食被害を受けている砂浜の中には、琵琶湖に特有な現象として、湖辺に植生するヤナギやハンノキ、ヨシ等が汀線の後退を抑えている箇所が存在しており、自然環境豊かな琵琶湖にふさわしい侵食防止のヒントを与えている。

本論文は、琵琶湖に広がる美しい砂浜や湖辺の自然環境を保全、復活していくための湖岸保全手法としての面的防護の考え方、ならびに琵琶湖の湖辺に残存する植生環境を保全し、その植生を利用した新しい侵食防止対策について研究したものである。

2. 琵琶湖湖岸の侵食被害と漂砂特性

琵琶湖で著しい侵食被害が生じている箇所は、北西の季節風の影響を直接受ける湖東南部地区と南東の強風(台風等)の影響を受ける湖西北部地区であるが、年間を通じてエネルギーフラックスの分布を計算すると湖東側の方が大きく、漂砂の移動も顕著である。図-1に侵食被害の顕著な地点として、湖東側の新浜、守山なぎさ公園、湖西側の新圀園地

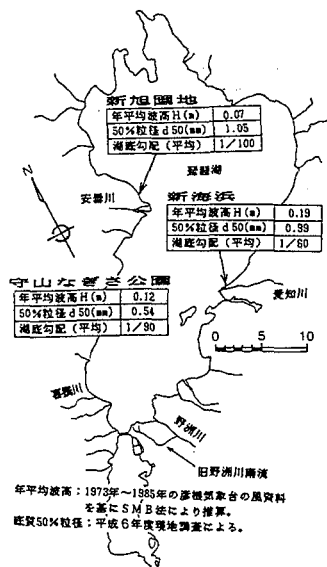


図-1 侵食被害の顕著な3地点の波高、底質粒径および湖底勾配

* , **滋賀県土木部河港課 ***建設省土木研究所河川研究室

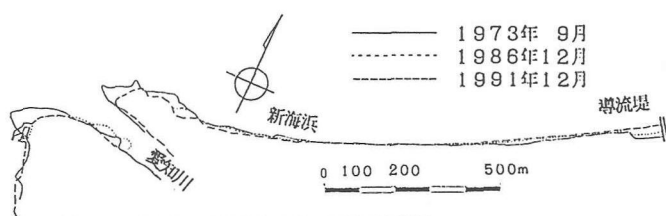


図-2 新海浜（愛知川河口部）の汀線変化状況



写真-1 大規模な侵食による背後地の被災状況
(新海浜)

の位置、平均波高等について示すが、特に新海浜では、来襲波浪が大きく、底質粒径が比較的小さいために大量の沿岸漂砂が生じている。過去の航空写真を比較した図-2に示すように1973年から1991年の19年間で大きいところで100m近くの汀線後退が観測され、浜崖の発生や背後地の松、ヤナギ等の倒木、公園施設の倒壊等、大きな被害が生じた。その被害写真を写真-1に示す。琵琶湖の砂浜で発生している侵食は、現地海岸と同様、波浪によって生じる沿岸漂砂が直接の原因であるが、波浪の来襲方向により湖東側では北から南西に向かう漂砂、湖西側では北東向きの漂砂が、それぞれ卓越する。しかし、図-2に示した新海浜の汀線変化をみると、侵食域の東側の不透過導流堤西側には漂砂の阻止によって堆積域が広がり、導流堤の東側の汀線が後退していることから、この区域の漂砂の移動方向は東向きであることがわかるが、この理由としては、愛知川河口部の砂州が突き出た形状を呈していることにより汀線に対する波浪の来襲方向が変化するためである。この区域の侵食原因としては、近年の宅地造成や流域内の保全等により土砂供給が減少したこと等が考えられる。

3. 琵琶湖の砂浜と自然環境を保全、復元するための面的防護

琵琶湖の風浪特性とそれに伴う漂砂特性を考慮しつつ琵琶湖の自然環境や景観等に配慮した環境保全型の侵食対策を講じる必要から、下記の計画条件を満たす必要がある。

- (1) 汀線後退の防止、砂浜の拡大および漂砂下手側湖浜の保全
- (2) 魚類、ヨシ等の水生動植物の生息環境の保全、復元
- (3) 漁業等の水面利用や景観への配慮
- (4) 砂床による水質浄化への有効性

また、従来より用いられてきた海岸護岸工等に代表される線的な防護方策は、波よけ等対症療法としては有効であるが、長期的には浜の安定にはつながらず、むしろ前浜の消失を促進している場合が多い。さらに前浜の消失と背の高い護岸が、水際へのアクセスを困難にし、水際の植生や底生生物等の生息環境を消失させていることも否定できない。

このような状況に対応するため、近年、線的な防護方策の欠点を補う方法として提案されているのが、いくつかの侵食対策を組み合わせる面的に侵食防止を図るという面的防護の考え方である。自然豊かで多様な生物環境が存在する琵琶湖では、砂浜の保全と動植物の生息環境を保証し得る面的防護の考え方を採用し、湖岸保全計画を策定することが重要であるといえよう。また、工事に用いる素材についても天然材料を使用することが肝要であり、現場に存在する砂の粒径や成分に近いものを養浜するなど、現地の生態系の維持・保全に細心の注意を払うことが必要である。そこで琵琶湖においては、最も消波機能の高い砂浜の養浜をメインとし、沿岸漂砂の抑止と堆砂効果に期待した自然石張りの不透過性突堤、あるいは消波と堆砂機能を有する石張りの不透過性ヘッドランド（人工岬）、さらに堤内地の侵食と越波防止のための緩傾斜石張護岸等を組み合わせることによって複合的に湖辺の砂浜の侵食防止または軽減を図る計画を策定し、現在、試験施工を進めているところである。

具体的な施工事例として、琵琶湖北湖の南端近く、旧野洲川南流の河口に位置する守山なぎさ公園に関する施工前後の漂砂特性や効果等について簡単に考察する。図-3は、1992年11月の地形図を示したものである。この砂浜では、野洲川放水路の開削によって、河川からの土砂流入が停止し、それに伴って河口部汀線が近年大きく後退してきた。深淺図中の数字は、B.S.L±0 (T.P. 84.371m) を基準とした水深を示したものであるが、-1.0m以浅と-2.0m以深の湖底勾配はともに急勾配であり、その中間部の湖底勾配は緩勾配を呈

していることから、波による地形変化の活発な範囲の沖合限界を定める水深（移動限界水深）は、ほぼ-1.0~-2.0mの間にあることがわかる。

この砂浜の復元を図るため、1993年10月、測点NO.7~NO.11区間に延長約400m、幅約30mにわたって、中央粒径0.45mmの砂、約13,000m³を投入し、合わせてNO.11付近に漂砂止めの石張

突堤を施工した。ただし、突堤の天端は景観面や漁業等の水面利用に配慮し、基準水位から0.4m高くするとどめ、突堤内には植樹用の柵を設けている。養浜前後における代表測点の湖浜断面の変化を図-4に示す。養浜後は、0.5m程度の高さのバームが発達し、前浜勾配が1/6の急勾配を呈したものの、-1.2m以深の沖合の平坦域では有意な変化は見られない。また、1992年11月を基準とした汀線変化の沿岸方向分布を示した図-5をみると、NO.11付近に配置した突堤によって東向きの漂砂が阻止され、突堤西側付近の汀線は安定したが、突堤東側の汀線は後退している。また、養浜後に突堤の両側で汀線の後退する箇所（NO.4、NO.12）が観測されているのは、NO.6付近を境界として東西の両方向に流れる漂砂が生じているためと考えられる。この現象は、河口部の漂砂特性とよく似ているが、砂浜全体を安定化させるためには、NO.11の突堤の東西両側に養浜を中心とした面的な対策を継続して実施する必要があることを示している。

一般的に面的防護によって浜の安定化を図った場合でも、構造物等によって沿岸漂砂が阻止されると下手側への供給土砂が減少し、侵食域が下手側に広がる危険性などがある。しかし、統計的には琵琶湖における波高（推算値）が外洋の1/5~1/7程度と小さく、測量結果から予測した沿岸漂砂量も外洋のそれよりもワンオーダー規模が小さいこと、さらには、地形的に安定なポケットビーチ状の湖浜が多いことから、侵食域が湖岸全域に広がる可能性は小さいと考えられる。

4. 琵琶湖の湖辺植生の保全とその利用

熱帯地域では、マングローブやヤシの木が海岸の侵食防止の上で効果を上げていることはよく知られているが、岸辺の植生が侵食防止に役立っている事例が、琵琶湖の各地にも見られる。すなわち、琵琶湖では従来から用いられているコンクリート製の構造物の代りに湖辺の植生を利用し、自然環境や景観にも配慮した侵食防止システムを開発することが可能であろう。ここでは、湖辺に見られる植生について、潜在的な自然植生環境を重視した侵食防止機能という観点から分類し、その特性を活かした対策を提案するものである。

(1) 浜の安定に寄与する湖辺の植生状況

湖辺に見られた植生のうち、あたかもヘッドランドや突堤等の海岸構造物と同等の機能を有している箇所を選定し現地調査したところ、樹木のうち約半数以上がマルバヤナギであり、その他はほぼ10%以下の出

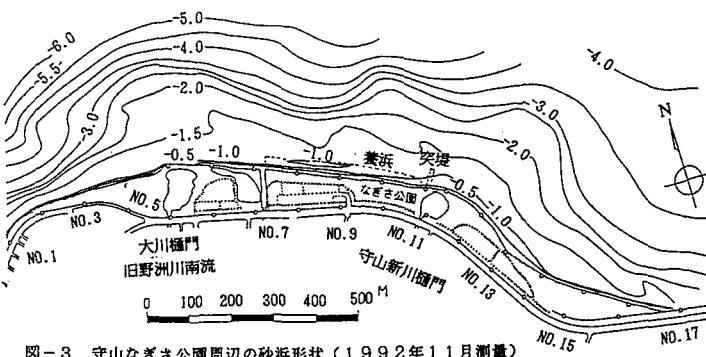


図-3 守山なぎさ公園周辺の砂浜形状（1992年11月測量）

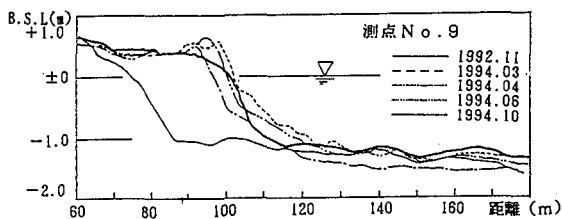


図-4 測点No.9の浜の断面変化（守山なぎさ公園）

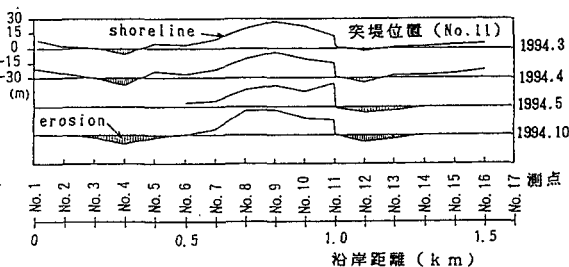


図-5 養浜前後の汀線変化の沿岸方向分布

現率であった。また、樹高はマルバヤナギが5.3~10.0mに、カワヤナギが3.5~8.0mの間にあるなど、総じて数mの樹高範囲にある。また、ヤナギ類の樹径は20~50cmの間にあり、樹齢は23年から56年と推定された。さらに、湖辺の植生が存在する地盤高については、図-6に示すようにヤナギ類は平均地盤高B.S.L+0.3mに生育し、ヨシ群落はB.S.L-0.8m前後を生育限界としていることが現地調査からわかった。写真-2は湖西の喜撰川河口部のヨシ群落を示したものであるが、密生したヨシ群落は、かなり高い消波効果を持つと共に周辺に伸びた地下茎と根は漂砂の移動を阻止するために、ヘッドランドに似た浜の安定化効果を有している。写真-3は湖西の新旭園地に見られる弓状地形であるが、この突端には数本のヤナギが根を張り、全体として沿岸漂砂の移動を阻止しているため、北西側（写真向こう側）には堆砂して広い前浜が形成され、下手側



写真-2 消波及び堆砂機能の高いヨシ群落（喜撰川河口）



写真-3 砂浜の侵食防止に働くヤナギ類とヨシ群落（新旭園地）

（写真手前）は汀線の湾入がみられる。また、ヤナギの沖合側には、ヨシ群落も確認できることから、ヤナギの根が活着する土壤条件が満たされていると考えられる。このように水辺や水中に生育する樹木（群）は、景観形成上および湖辺の生態環境保全上有効な役割を果たしているが、これらの樹木のほとんどは、もともと河口部の砂州上で生育したものが湖辺の侵食の結果、水中に取り残され、粘性土層へ根を張ることによって今なお生育し続けているものである。

(2) 湖辺植生の分類と生育環境

湖辺に現存する植生は、自然植生と代償植生に分類される¹⁾。自然植生とは、地形、土壤、気候、保水条件等、原植生に近い種構成と構造をもった植生をいい、代償植生とは、公園・田園整備、道路改良等の人為的改変によって持続的に存在する植生をいう。したがって、代償植生は、人為が停止した段階でその植生がもつ潜在的な自然植生に帰還する方向性を有している。現存する湖辺植生を保全したり、新たに復元する場合には、このような潜在自然植生に配慮し、琵琶湖の原植生を復元させることが植物生態的に重要であろう。また、湖辺植生はエコトーンとして重要な働きがあり、生態系保全の観点からみた植栽規模や構造等についても配慮する必要がある。例えば、水鳥が多く存在する条件としてはヨシやヤナギの面積が広いことがあられ、植栽幅は最低20~30mは確保する必要がある²⁾。さらにヨシを植栽する場合、生育土壌が細砂の砂質土で、琵琶湖の水位変動幅の概ね-30~+20cmの範囲の地盤高が確保されることによって種の優占頻度を高めることができる^{3) 4)}。また、湖辺に植生するヤナギ類は、平均地盤高B.S.L.+0.30m程度の場所に生育しており、この高さは、琵琶湖でのエネルギー平均高とはほぼ同じオーダーで、波の打ち上げ高と同程度となることから、この高さより低い地盤上での生育は困難であると考えられる。さらに、図-6に示すように現地調査からヤナギ類の幹の基部（地表面）から1.0m以浅には粘土層が存在しており、これが良好な活着条件となっていると考えられる。また、ヤナギ類が耐潤性樹木であることも水際の生育を助けている。

(3) 残存する植生や新たな復元植生を利用した侵食防止システムの考え方

湖辺の現存植生を残し、あるいは潜在自然植生に配慮した湖辺植生の復元を図りながら、面的な侵食防止を進める新しいシステムを提案する。まず、湖辺に残存する植生例を侵食防止の観点から分類すると図-7のようになる。AおよびB型を侵食防止に利用する場合、ヨシの生育条件である波高が小さく、底質の移動が少ない箇所（底質が堆積しやすい静穏地帯）に適している。具体的には、冬季風浪を直接受けることがな

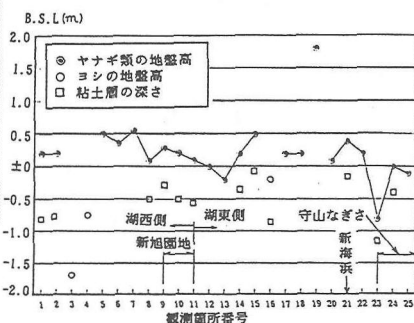


図-6 ヤナギ類の生育地盤高と粘性土層の深さ

い湖西域か北湖の北端部の静穏域がヨシの生育場所としては適当であろう。C～E型を利用する場合、一般的には高波浪の影響を受けない箇所に適しているが、養浜や漂砂止構造物等とワンセットにすれば、捨石等により基礎部を固定することによって植生の安定を図ることが可能であろう。当然の事ながら、このような植生工法を適用する場合、(3)で示した現況の植生条件を満足するとともに潜在自然植生となる植樹等に配慮することが必要条件となる。さらに、陸域と水域のエコトーンとしての機能、風景の連続性、背後地の利用状況等にも配慮した植生環境の創出が重要である。以上の考え方をまとめたものが図-8のフロー図である。

5. 面的防護に湖辺植生を利用する侵食防止計画の提案

ここでは、現在も湖辺にヤナギ類が残存し、砂浜の侵食を抑制している新旭町の新旭園地を例に挙げ、ヤナギの保全とその利用によって侵食防止を図る面的防護計画について考察したい。

(1) 現況植生分布と潜在自然植生

この地区の現況植生は、既存の調査^{4) 5)}を参考にすると、自然植生に位置づけられるものとして、河辺ヤナギ群落、ヨシ優占群落の2つが認められ、代償植生としては、ヨモギ群落やクロマツ群落が確認されている。また、現地調査した結果においても、園地内にはパッチ状にヤナギ林が点在しており、水辺のヤナギに接してヨシ原が分布していることが確認されている。また、この地区の潜在自然植生は、既存資料⁶⁾を参考にすると、タブーイノデ群集、ヨシクラスの2つとなっている。したがって、この地区の植生にふさわしい植生環境は、潜在自然植生であるヤナギ群落およびヨシ群落であるといえる。

(2) 漂砂特性と侵食防止

この区域での漂砂のネットの移動特性を把握するため、Wilson式を用いて、1973年～1993年に至る21年間の風向(波向)別の沖波エネルギーを算定した結果、4月～9月の春・夏季は、南から北向き漂砂移動が卓越し、10月～3月にかけては、逆に北から南方向の漂砂移動が卓越する。年間の平均をとると漂砂の移動は冬季の卓越方向(北から南方向)に少し大きくなる。この地区は、湖西の比較的穏やかな場所であるが、近年、砂浜の侵食が進み、ヤナギの倒木が相次ぎ、最近では公園施設にまでその被害が広がってきた。現在のところ、潜在植生であるヤナギ類がヘッドランド的な役割を果たしているため侵食が抑制されているが、植生の消失とともに急激な汀線後退が発生することが懸念される。

(3) 植生を利用した面的防護計画

従って、これらの植生の流失を防ぐために植生保護工を計画し、さらに、この保護工と養浜工とを組み合わせることによって、この地区全域の侵食防止と砂浜の復元を図る面的防護計画を提案する。新旭園地においては、植生環境や侵食防止機能の観点から、図-9に示す面的防護の方針に沿って計画し、まず、汀線沿いにヤナギ類が多く残っている公園の中央付近の植生の保護と減少

図-7	湖岸保全型式	効果	植生
A	ヨシ / Wave / Shoreline	ヘッドランド	ヨシ群落
B	ヨシ / Wave	養浜堤	ヨシ群落
C	ヤナギ / Wave	ヘッドランド	ヤナギ類
D	ヤナギ / Wave	護岸	ヤナギ類
E	ヤナギ / Wave / 漂砂	導流堤	ヤナギ類

図-7 侵食防止から分類した湖辺植生例の模式図

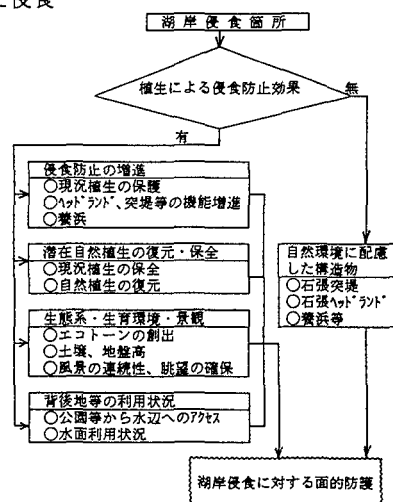


図-8 湖辺植生を侵食防止に利用するための考え方

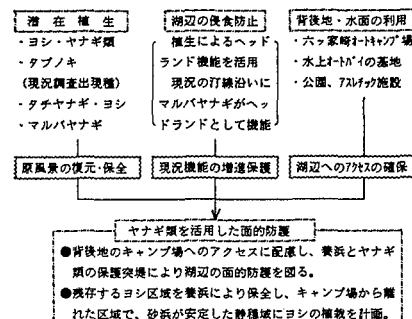


図-9 新旭園地における面的防護の方針

する砂浜の復元を図るため、養浜および沿岸漂砂の変動に適應するT型ヘッドランド（自然石張）を計画する。さらに、汀線付近で根を洗われながらも汀線後退を抑えているヤナギ類の保護と漂砂阻止を図るため、杭柵に捨石を詰めた不透過突堤を計画する。図-10の計画平面図には、養浜、石張ヘッドランド、杭柵突堤を工学的な視点（移動限界水深、推定安定汀線等）と植生景觀に配慮した視点から配置している。また、図-11に植生保護のための杭柵突堤の計画断面を示すが、この構造は、琵琶湖の自然環境（魚類等の生息）にやさしく、かつ工期の縮減と事業費の削減にも効果的であろう。図中の右端の残存ヤナギ類を杭柵突堤で保護し、周囲には潜在植生のカワヤナギを新たに植樹することによって、ヤナギ群落が活着し、汀線後退が止まものと考えられる。やがて、やすらぎと潤いに満ちた憩いの場として、この地区に広大な砂浜と緑の緩衝帯が復活するものと期待される。

6. まとめ

本研究の主要な結論は次のとおりである。

① 自然豊かで多様な生物環境が存在する琵琶湖の侵食対策を進めるには、消波効果の高い養浜をメインに石張の

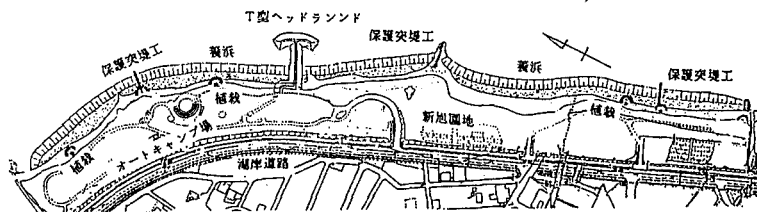


図-10 新旭園地の面的防護計画平面図

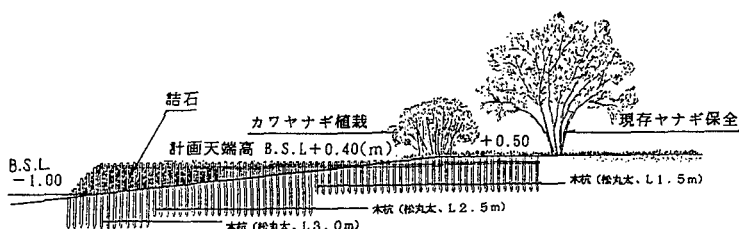


図-11 植生保護のための杭柵突堤計画断面図

漂砂止突堤やヘッドランド等を組み合わせた面的防護の考え方を採用することが有効である。

② 湖辺の植生調査によると植生を侵食対

策に活用しうる可能性としては、5タイプに分類される。つまり、ヨシ群落によるヘッドランドと離岸堤効果、および樹木（ヤナギ類）によるヘッドランド、離岸堤、導流堤効果である。

③ 植生を湖岸侵食対策として活用する場合、その植生が潜在自然植生であることが植物生態的に重要である。また、ヤナギ類を植樹して侵食対策に活用する場合には、恒常的水位変動が最大となる水位（琵琶湖の場合、常時満水位のB.S.L.+0.3m）を植樹地盤高とし、その地盤高より1m以内に粘性土の基盤を設けることが活着の条件である。

④ 潜在自然植生に配慮した植生保護工を漂砂止突堤に活用しつつ養浜等による浜の復元を図る面的防護計画は、琵琶湖の湖岸侵食を防止し、ならびに動植物の植生環境や生息環境を保全するものとして今後推進されるべきであろう。その可能性を新旭町の新旭園地において探ることが出来る。

参考文献

- 1) 滋賀県自然誌編集委員会(1991): 滋賀県自然誌（総合学術調査研究報告）pp. 862～880.
- 2) 工業技術会(1993): 河川・湖沼・水辺の水質浄化、生態系保全と景観設計、p. 191.
- 3) 滋賀県(1992): ヨシ群落現存量等把握調査（ヨシ群落調査編）.
- 4) 滋賀県生活環境部(1988): 琵琶湖北湖のヨシ帯の現状とその保全.
- 5) (財) 日本野生生物研究センター(1988): 自然環境基礎調査、滋賀県現存植生図.
- 6) (財) 滋賀県自然保護財団(1991): 滋賀県潜在自然植生図付図.