

植生を利用した湖浜保全に関する一考察

——琵琶湖を例として——

宇多高明*・吉田隆昌**・西 鳥照毅***・富士川洋一****

1. まえがき

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。熱帯の気候と比較して、我が国の海岸は高緯度にあるため、気象条件が厳しく、作用波高が高いから、植生を外洋に面した海岸で侵食防止に利用することは不可能であろう。しかし、淡水湖では植生が繁茂できるので、場合によっては波浪に対して湖浜の安定化を図る上で有効利用が可能と考えられる。例えば、茨城県東部にある溜沼では樹木の根が突堤の役割を果たしていたが、この木が枯れたことにより土砂の流出が起り、侵食が著しくなった事例が報告されている（宇多ほか，1992）。

我が国第一の規模を持つ琵琶湖では、環境保全や景観保全の重要性が以前にも増して高まる一方、河川から湖への流入土砂量の減少などに起因して河口部周辺で湖浜の侵食が進み、湖浜環境に大きな影響が及びつつある。こうした状況を改善する場合、湖水は淡水であって植生の成育を阻げないから、従来のコンクリートを用いたハードな構造物の代りに植生を用い、自然環境や景観にも配慮した工法を開発することの可能性はかなり高いと考えられる。河川工学では近年多自然型工法が広範に取り入れられているが、この種の問題に達する海岸工学的見地からの研究は皆無と言ってよい。このことから、本研究では植生を利用した自然型湖浜保全と言う新しい視点に立って研究を進めるものである。

2. 現地調査の概要

1993年10月28, 29日に琵琶湖の湖浜や浅水域で植生があたかも突堤や離岸堤などの海岸構造物と同等の機能を有している箇所を選定し、それらの現況調査を行った。また、導流堤効果を持つ樹木群や、湖浜の侵食防止を図る護岸と同等な効果を持つ樹木（群）の状況を調べた。

現地調査では、植物（樹木等）を同定するとともに、樹高や樹径などを計測した。図-1には13箇所の調査地

区（No.1～No.13）の位置を示す。それらの地区名は表-1に示すとおりである。

3. 植生の概況

現地調査結果の概況を表-1に示す。まず、植物は樹木とヨシとに大別されるが、これらのうち樹木の種名分類を行うと図-2となる。また、図-1には各地区ごとの植物の種類も示すが、樹木のうち半数以上がマルバヤナギであり、その他はほぼ10%以下の出現率であった。次に、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に、そしてキヌヤナギが3.5～5.5mの間にある。総じて数mの樹高がほとんどを占める。ヤナギ類の樹径は10～50cmの間にある。北湖の南端部に位置する守山なぎさ公園（図-1のNo.13）で見い出されたマルバヤナギの風倒木を利用し、地上1.5mの位置において幹の中心より異なる3方向について年輪数を数えた結果、このマルバヤナギは樹径20cmが樹齢28年に相当する。この関係を他のマルバヤナギにあてはめると樹齡

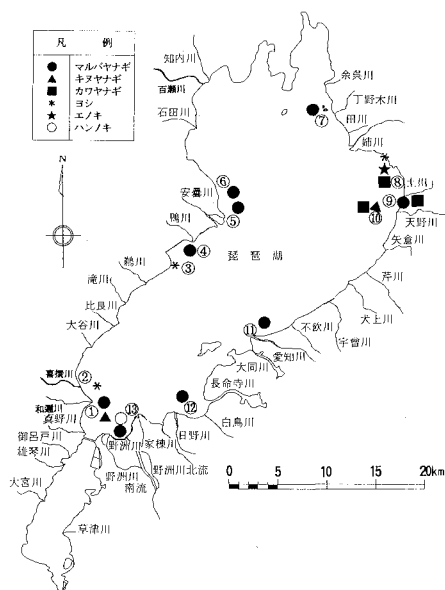


図-1 琵琶湖内における植生調査地点

* 正会員 工博 建設省土木研究所 河川研究室長

** 滋賀県 長浜土木事務所

*** 滋賀県 土木部河港課

**** 正会員 工修 建設技術研究所 大阪支社

表-1 湖浜植生の調査結果の一覧表

地区 No.	地 点	地点 St.	種 名	樹 高 (m)	樹 径 (cm)	根の幅 (m)	年平均波高 (m)	地盤高 (B.S.L.m)	土質条件	地表面からの粘土層の深さ (m)	推定樹齢 (年)
No. 1 (真名川河口)		1	マルバヤナギ	6.0	40	3.5	0.09	+0.19	砂・砂礫土	1m以浅	45
		2	キヌヤナギ	5.5	35	3.0	0.09	+0.19	砂礫土	1m以浅	—
No. 2 (喜撰川河口北浜)		3	ヨシ	2.5	1.5	横20×20縦	0.09	-1.69	細砂	—	—
No. 3 (大溝)		4	ヨシ	2.5	1~1.5	横30×20縦 横75×45縦	0.07	-0.76	細砂, 礫, 泥	1m以深	—
No. 4 (萩の浜)		5	メヒシバ主体, 他にミゾソバ, アカザ, スイバ, セイタカアワダチソウ, シバ, アメリカセンダングサ, グンバイナズナ, カゼクサ, ツユクサ, ススキ, ヨモギ, アキノゲシ, ノチドメ, オオイヌタデ, メリケンカルカヤ, イヌコウジュ, エノクログサ, ヒメムカシヨモギ, キンエノコロ等					+0.50	砂	1m以深	—
		6	マルバヤナギ	9.0	30	7.0	0.07	+0.2~+0.5	砂	1m以深	33
		7	マルバヤナギ	10.0	25	6.0	0.07	+0.55	砂	1m以深	28
No. 5 (元口川)		8	マルバヤナギ	7.0	30	5.0	0.10	+0.08	砂, 礫	0.6~0.8	33
No. 6 (新旭園地)		9	マルバヤナギ	8.0	30	7.0	0.11	+0.29	砂質(細かい)	0.6~0.7	33
		10	マルバヤナギ	6.0	40	4.0	0.11	+0.19	砂質(細かい)	0.6~0.7	45
		11	マルバヤナギ	6.5	40	11.0	0.11	+0.09	砂質(細かい)+泥	0.6~0.7	45
No. 7 (海老川沖合)		12	マルバヤナギ	8.0	35	9.0	0.14	-0.01	土, 砂(細かい), 礫	—	39
		13	マルバヤナギ	5.3	20	6.0	0.14	-0.21	砂, 礫	—	23
No. 8 (さいかち浜)		14	カワヤナギ	6.0	20	5.0	0.22	+0.19	土, 砂	0.6	—
		15	エノキ	4.5	15	4.0	0.22	+0.49	砂, 礫	0.6	—
		16	ヨシ	3.8	1~1.5	10×6.5	0.22	-0.21	砂, 土	0.6	—
No. 9 (寺川)		17	カワヤナギ	8.0	40	6.0	0.21	+0.19	砂, 土	—	—
		18	マルバヤナギ	7.0	30	6.0	0.21	+0.19	砂, 土	—	33
No. 10 (天野川地区排水)		19	キヌヤナギ	3.5	8	3.5	0.21	+1.79	捨石の上(土)	—	—
		20	カワヤナギ	3.5	10	4.0	0.21	+0.09	砂, 土	—	—
No. 11 (新海浜)		21	マルバヤナギ	8.0	50	9.0	0.21	+0.39	砂礫	0.5~0.6	56
No. 12 (日野川河口)		22	マルバヤナギ	8.5	50	13.0	0.21	+0.19	砂質	—	56
No. 13 (守山なぎさ公園)		23	マルバヤナギ	8.0	25	6.0	0.16	-0.81	砂	0.4	28
		24	マルバヤナギ	5.5	30	8.0	0.16	-0.01	砂質(細かい)	0.4	33
		25	ハンノキ	11.0	40	9.0	0.16	-0.11	砂	0.4	—

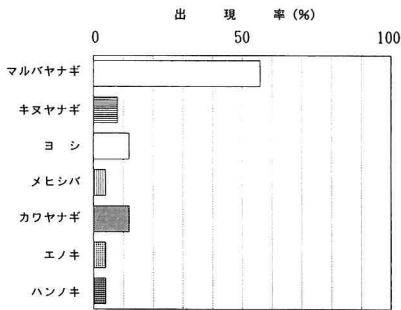


図-2 植生の分類

が推定される。表-1には推定結果をまとめて示す。最も古い樹齢が56年であり、平均では38年の樹齢を有している。また、表-1によるとヤナギ類の根の幅は樹高と同程度であり、それによってかなり広い範囲で湖岸を守る効果を有している。

4. 琵琶湖湖岸における具体的事例の検討

(1) ヨシ群落による湖浜安定化効果

密生したヨシ群落は、かなり高い消波効果を持つとともに、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、かなり高い湖浜安定化効果を有している。実例

として写真-1には湖東に位置する喜撰川河口付近で見られたヨシ群落を示す。ここは写真-2に示す空中写真によれば、河口部の汀線の後退が近年進んだ場所であり、



写真-1 ヨシ群落と背後のフック状汀線 (喜撰川河口)

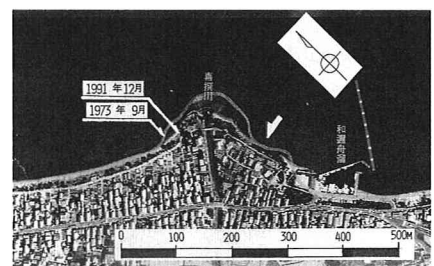


写真-2 喜撰川河口の空中写真と汀線変化



写真-3 ヨシ群落とその背後の舌状砂州 (大溝地区)



写真-5 樹木群の護岸効果 (日野川河口近傍)

しかも撮影地点では汀線変化状況より南 (右) 向きの沿岸漂砂が卓越することがわかる。写真-1 ではヨシ群落の漂砂下手側が侵食されてフック状の汀線が形成され、汀線より沖では粗粒の底質によるアーマーコートが形成されていた。このヨシ群落はいわばヘッドランドと同様な効果を有していることになる。また、写真-1 でヨシ群落のうち最も沖側のもは明らかに湖水面下で成育しており湖浜のバーム上より湖面下まで連続的にヨシ集落が広がっており、漂砂を阻止する上で非常に効果的である。

第2の実例は、大溝地区 (図-1 の No. 3) で見られるヨシ群落の背後の舌状砂州の形成である。写真-3 に一例を示す。湖面下で密集したヨシ群落が離岸堤と同様の波浪減衰効果を有することは、ヨシ群落背後で汀線が穏やかに突出して舌状砂州が形成されるとともに、前浜上の植生の繁茂が良好なことからも見て取れる。

(2) 樹木による湖浜安定化効果

湖浜にしっかりと根を張って成育する樹木も湖浜の安定化効果を有している。第1の実例は、樹木群が持つヘッドランド (突堤) 効果である。写真-4 は、萩の浜 (図-1 の No. 4) で撮影された植生突堤と下手側に形成されたフック状汀線の状況である。数本の広葉樹 (マルバヤナギ) が根を張り、それが全体として沿岸漂砂の移動を阻止するために、その南西側には砂が堆積して広い前浜が形成され、対照的に北東 (写真手前) 側では湾入汀線が形成されている。樹木群に漂砂が阻止されていることから漂砂の下手側では湖浜勾配が急になったことが、汀線に沿ってピーチカスプができていく状況より理解される。



写真-4 樹木群のヘッドランド (突堤) 効果と下手側のフック状汀線 (萩の浜)

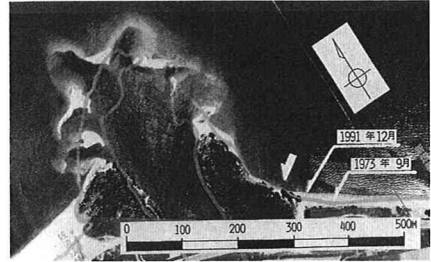


写真-6 日野川河口の空中写真と汀線変化

第2の実例は樹木群が護岸効果を持つ場合である (写真-5)。この写真は、湖東に流入する日野川河口 (図-1 の No. 12) の右岸側で撮影された。樹木群が根を張り、湖岸の侵食を防いでいる。日野川河口部では写真-6 に示すように、河川の流下土砂が河口部に複雑な形状で堆積している。日野川河口では河川流出土砂の変動に応じて砂州の形状が大きく変化する。これに伴い写真-5 に示す湖岸の前面は、湖浜の形成、消失により全体として変動が激しいが、写真-5 に示す樹木群は湖浜の後退防止の上で高い効果を有している。樹木の根の一部は波にさらされているが、ちょうど海食崖におけるノッチと同様な窪みが下部にでき、波力が弱められている。

(3) 樹木 (群) の導流堤効果

写真-7 は、湖東に位置する寺川の河口 (図-1 の No. 9) の樹木群である。右岸側に2本の木があり、その根が左 (南西) 方向への沿岸漂砂を阻止している。また、河口の左岸側にある樹木とともに全体として河口が波に対して遮蔽されているため湖内への河川流の流入がスムー



写真-7 樹木群の導流堤効果 (寺川河口)



写真-8 湖中の孤立した樹木 (守山なぎさ公園沖)

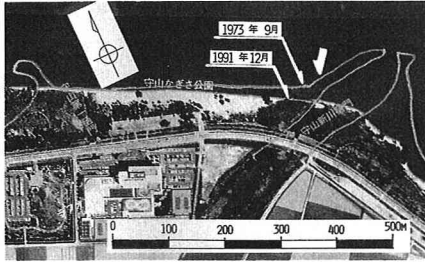


写真-9 守山なぎさ公園の空中写真と汀線変化

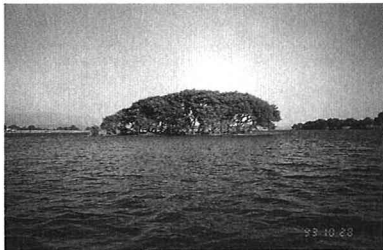


写真-10 沖合島と植生 (海老江)

ズである。ここで述べた導流堤効果は、(2)の湖浜安定化効果と同様、樹木(群)の根が漂砂の移動を阻止することによって得られるものである。

(4) 湖内で育成する樹木の景観形成および生態環境保全効果

琵琶湖の湖内にはしばしば樹木が育成し、それが湖の景観形成上および生態環境保全上非常に有効な働きをしている。第1の事例は守山なぎさ公園(図-1のNo.13)で撮影された湖内に孤立して育成するマルバヤナギである(写真-8)。汀線から30mも沖合の水深1.0mにおいて湖水面に浮かぶようにして立つ樹木は優れた景観を創りだすとともに、魚類や他の小動物の格好のサンクチュアリとして役立っている。しかしながらこの木は湖内で成長したものではなく、もともと写真-9に示すように、野洲川放水路の建設とともに旧野洲川南流河口の砂州が大きく侵食され、湖内に樹木が取り残されたものである。

第2の例は琵琶湖北部にある海老江沖合島(図-1のNo.7)の樹木群である(写真-10)この沖合島は粘性土および砂でできており地盤高はB.S.L.0m以下にある。

しかし、島の上にはヤナギやハンノキなどの樹木群が良好に育成している。この事例では写真-8の場合と異なり、樹木群の基礎はシルト層で固く締まっており、そこに根が張っているため植物が枯れることなく育成している。

5. 湖浜保全等への植生の利用

前節で述べた具体例は図-3に要約される。効果から見て全体で6タイプに分かれる。これらのうち、タイプ①、②はヨシ群落に対応し、タイプ③~⑤はヤナギ類の樹木によるものである。そしてタイプ⑥はヨシ群落と樹木両者に対応する。タイプ①、②ではヨシ群落の育成範囲が異なり、タイプ①では湖浜から汀線と直角方向に群落広がるがゆえに漂砂移動を効果的に阻止してヘッドランド効果を発揮する。タイプ②では汀線より沖合に、汀線と平行方向にヨシ群落が広がり、入射波を弱めるために離岸堤効果が創出される。樹木(群)による湖浜安定効果を示す③~⑤では、いずれも樹木は陸域にあるが、樹木が湖面下まで固く根を張ることにより種々の効果が発揮される。タイプ③と⑥はともに沿岸漂砂の阻止効果をもつ点で似ている。タイプ④は樹木の根が護岸と同様な効果を持つ点に特徴がある。一方、タイプ⑥は植生が湖岸の景観形成上および湖の生態環境保全上有効であることから、タイプ①~⑤のような漂砂制御効果とは別のカテゴリーに分類される。琵琶湖においてはこの効果も決して無視することはできない。

図-3の模式図に示すように、ヨシと樹木では育成域

タイプ	湖浜保全のパターン	効果	植種類
①	ヨシ群落、波、SHORELINE	ヘッドランド	ヨシ群落
②	ヨシ群落、波	離岸堤	ヨシ群落
③	波	ヘッドランド	ヤナギ類
④	波	護岸	ヤナギ類
⑤	沿岸漂砂	導流堤	ヤナギ類
⑥	波	景観形成 生態環境保全	ヨシ群落 および ヤナギ類

図-3 植生を利用した湖浜保全工法の模式図

が異なり、ヨシ類は平均湖面下で成育できるが、樹木はタイプ⑥で扱う特異な例を除けば一般的には陸上に成育する。図-4に植生の地盤高の分布を示す。St. 3, 4および16はヨシで成育域はB. S. L. -0.8 mにあるのに対して、ヤナギ類の平均生息域の地盤高はB. S. L. +0.3 mである。したがって図-3のタイプ③, ⑤のようにヤナギを植えて漂砂制御効果を創出するとしても、平均湖水位付近に直接植えることは不可能であり、その周辺を捨石等で覆った土壌の上に植えることが必要である。そして平均地盤高はB. S. L. +0.3 m以上にすべきことがわかる。

一方、ヨシ類の成育には湖内の波浪条件が大きく関与していると考えられる。表-1には、安川ほか(1988)が求めた琵琶湖内の14地点における波浪推算結果より今回の調査地点近傍の値を示す。ここに、波浪推算は1973年~1985年の彦根の風資料をもとにSMB法により行われた。これによると、湖東側は冬季風浪を直接受けるため湖西側と比較して波高が2~3倍も高い。しかも、表-1と図-1を参照すると、ヨシ群落が見られるのは、湖西側か北湖の北端部の作用波高が低い場所であり、湖東で冬季風浪を強く受ける所では成育しない。このことは、図-3のタイプ①, ②の利用は風浪の作用の弱い場所に限定されることを意味し、むしろ樹木を利用したタイプ③, ④の工法の方が利用の可能性が高い。また、表-1に示した波浪推算値と図-1の植生分布図を比較すると、琵琶湖東岸の冬季風浪を強く受ける愛知川~矢倉川の間には樹木(群)もあまり見られないことも明らかである。この地区では波浪も高く、漂砂量も大きい(安川ほか, 1988)ので樹木(群)による安定化効果の発揮は困難であろう。

湖内に成育する樹木(群)が景観形成上および湖の生態環境保全上有効なことは既に述べたが、海老江沖合島の例を除けば、ほとんどの場合もともと河口部の砂州上で成育した樹木が湖浜の侵食の結果として湖内にとり残されたものである。そしてこれらの樹木(群)は根がシルト層に入っているため成育を続けている。したがってタイプ⑥のようにして湖面下に樹木を植えることは事実上不可能でありタイプ③, ⑤の場合と同様、捨石等で基礎を造りその上でヤナギ等を植える必要がある。

一方、図-4に示したように湖面に最も近い所で成育するヤナギ類の地盤高は平均でB. S. L. +0.3 mで、それより低い地盤上での成育は実際上困難と考えられる。

全体として見ると、琵琶湖では風浪の平均波高は数十cmであるが、波浪がやや低い場所ではヨシが十分成育ししかも風波の周期は1~1.5 s程度と短い(安川ほか, 1988)から、密生したヨシがかなりの消波効果を発揮することができる。また、入射波高のオーダーから考えて

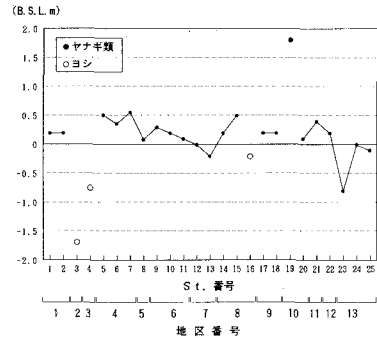


図-4 植生の成育地点の地盤高の分布

湖浜への波のうちあげ高も数十cmと低く、湖岸近傍に成育する樹木の根の深さとそれほど違わない。

6. 結 論

本研究の主要な結論は次のようである。

① 琵琶湖での植生調査によると、植生を湖岸保全に利用しうる可能性は6タイプに分かれる。それらの内訳は、ヨシ群落のヘッドランド効果、および離岸堤効果、樹木(ヤナギ)類のヘッドランド効果、および護岸効果、同じく樹木の導流堤効果、そしてヨシ群落や樹木の景観形成および湖の生態環境保全効果である。

② ヨシ類はB. S. L. -0.8 m程度で成育可能であるから平均湖面下に植えて漂砂制御効果を図るのに利用可能であるが、琵琶湖での成育地を調べると入射波の平均波高が10 cm以下の静穏な場所で見られる。琵琶湖東岸のように強い冬季風浪を受ける場所での利用は難しく作用波高の低い場所でのみ利用すべきであろう。

③ ヤナギ類を中心とする樹木は、平均地盤高B. S. L. +0.3 m程度の場所に成育する。したがって湖面下に植えることはできないが、漂砂を阻止してヘッドランド効果や導流堤効果を発揮させたい場合には、まず捨石等で基礎を造り、その中に土壌を入れそこに河川でいう柳枝工のようにしてヤナギを植えれば利用が可能である。

④ 琵琶湖内に残された樹木(群)は、多くの場合もともと湖浜上に成育していたが、湖浜侵食の結果として湖内にとり残されたものである。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次・畑中達也(1992): 瀬沼北岸観沢鼻砂嘴の1983年~1990年における変化特性, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 386-390.
- 安川 歩・宇多高明・田村徳郎・加本 実・富士川洋一(1988): 琵琶湖における風波による湖浜変形の実態, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 472-476.