琵琶湖の鴨川河口部と近江白浜の湖浜変形

LAKESHORE CHANGES AROUND KAMO RIVER MOUTH AND OHMI-SHIRAHAMA REGION IN LAKE BIWA

山崎彰吾¹・引山 誠¹・宇多高明²・星上幸良³・
小澤宏樹³・清水達也⁴・野志保仁⁵

Shogo YAMAZAKI, Makoto HIKIYAMA, Takaaki UDA, Yuki Yoshi HOSHIGAMI,
Hiroki OZAWA, Tatsuya SHIMIZU and Yasuhito NOSHI

¹滋賀県高島土木事務所 (〒520-1621 滋賀県高島市今津町今津1758)

²正会員 工博 (財) 土木研究センター常務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)

³正会員 博 (工) 国際航業株式会社河川環境部 (〒183-0057 東京都府中市春日町1-24-1)

⁴正会員 修 (工) (有) アイコムネット環境コンサルティング部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

⁵正会員 博 (工) (有) アイコムネット環境コンサルティング部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

Lakeshore changes around the Kamo River mouth and Ohmi-shirahama Region in Lake Biwa were investigated. River improvement was carried out in the Kamo River as a countermeasure against floods by excavating the riverbed to widen the river channel. After the river improvement, sand discharge from the river was significantly reduced and shoreline recession occurred around the river mouth. Such situation was investigated by comparison of past aerial photographs. Longshore sand transport was also estimated from the shoreline changes.

Key Words : Lakeshore changes, Lake Biwa, river improvement, sand discharge, longshore sand transport

1. はじめに

琵琶湖では流入河川の治水対策の一環として河道掘削や新放水路の開削が各地で行われてきた。この結果、河川改修の行われた河川では琵琶湖への流入土砂が激減し、河口からの土砂流入を前提として形成されてきた湖浜において沿岸漂砂とのバランスが失われ、河口部を中心とする湖浜で著しい侵食が起きている。例えば、琵琶湖（北湖）南部に流入する野洲川河口では、河口付け替え工事に伴って旧野洲川河口部で侵食が進んだ¹⁾。同じく琵琶湖東岸に位置する旧野洲川河口の東、約5kmに流入する日野川河口でも河口部掘削が要因となって河口デルタ縮小が起きており、播磨ら²⁾は1960年代以降の日野川河口域湖岸の変遷を空中写真の比較により明らかにした。一方、安東・倉茂³⁾は、琵琶湖東岸に流入する犬上川においても1992-1993年に洪水制御の目的で10万m³を超える土砂が河口部で掘削され、これによって河口デルタの大部分が消失するとともに、掘削によって生じた凹地を埋積して平衡状態に達しようとする地形変化が起きたことを明らかにした。ま

た波浪の現地観測と数値計算により河口部の地形変化過程について考察した。琵琶湖中央部、安曇川河口デルタの一部をなす鴨川河口部においても、旧野洲川、日野川および犬上川河口と同様な原因により侵食が進んできており、現在隣接の近江白浜での湖浜復元が課題となっている。湖浜の侵食に対し、杉村ら⁴⁾は、播磨ら²⁾が明らかにした日野川河口デルタの縮小に伴う右岸側海浜の侵食対策として養浜実験を行い、突堤群による養浜汀線の安定化策を示した。本研究は、同様な主旨より鴨川河口部の変遷を調べ、また湖浜縦断形の測定などをもとに湖浜変形の定量データを取得し、下手側に位置する近江白浜の湖浜復元方策検討のための基本資料を得ることを目的とする。

2. 調査対象地区の特徴

研究対象の鴨川は、比良山系武奈ヶ岳の八淵ノ滝に源を発し、琵琶湖へ注ぐ流域面積207.7km²、流路延長33kmの二級河川である。安曇川は比良山地から

図-1 鴨川の位置

図-2 鴨川河口とその西側に位置する近江白浜および菰の浜の空中写真（2010年撮影）

大量の土砂を輸送してきたため河口部に規模の大きな河口デルタを発達させている。現況の鴨川は、図-1に示すように安曇川河口デルタの南端部において南向きに流入している。鴨川河口の西側には長さ約1,400mの砂浜（近江白浜）が広がるが、この海浜の東部で侵食が進んできており、有効な手立てが必要とされている。

図-2は、鴨川河口とその西側に位置する近江白浜、および菰の浜の空中写真（2010年撮影）を示す。現況の鴨川河口は南南西へ向き、河道幅約60mで緩やかなカーブを描いて琵琶湖に流入している。河口部汀線は琵琶湖に大きく突出しているが、河口に規模の大きな砂州は存在せず、河口両岸では護岸が露出している。これは河川改修の一環として河口掘削が行われたことによる。河口の西側には近江白浜の砂浜が、またその南西側には菰の浜が延びる。菰の浜の湖浜は5基の突堤群で区切られており、汀線が階段状となっている。これらの突堤群では突堤の南西側の汀線が北東側より張り出していることから、菰の浜では近江白浜方面への沿岸漂砂が発達する条件にあることが見てとれる。一方、東端の鴨川河口部汀線も琵琶湖に大きく突出していることから、河川流出土砂量が潤沢であった時期には河口から近江白

(a) 風向頻度

(b) SSW～SE方向の波エネルギー比

波向: S9.7°E 波高: 0.66 m 周期: 2.8 s

図-3 南小松気象観測所における風配図

浜方向への砂供給があったと考えられる。これらのことから、近江白浜はその両端から砂供給を受けて発達してきたと考えられる。

近江白浜の南東10.6kmに位置する南小松気象観測所（図-1参照）における2005年1月から2010年3月までの観測データをもとに作成した風配図を図-3(a)に示す。南小松地先では冬季に発達するWまたはWNW方向の風が卓越し、そのほかEおよびS方向にもピークがある。しかし近江白浜では、東側は鴨川河口によって塞がれ、また西側は琵琶湖西岸が延びているため風波の作用範囲はSSW～SE間となる。この間ではSが最も卓越している。図-3(b)にはSSW～SW方向の波エネルギー比の分布と、エネルギー平均波の入射方向を示すが、卓越波向はS9.7°E、波高は0.66m、周期は2.8sである。図-2に示した近江白浜の空中写真と考え合わせると、卓越波浪により誘起された沿岸漂砂は近江白浜中央部への堆砂を促す。

3. 各地域の湖岸の経年的変化

図-2に示した調査対象区域は、その特徴から見て鴨川河口域（A）、近江白浜（B）、および菰の浜（C）に区分される。以下ではこれら小区域の1961、1990、2010年における湖岸状況の変化を調べた。

(1) 鴨川河口部

図-4は鴨川河口部の変遷を示す。1961年には鴨川の流路は河口部で乱れ、河口デルタは南西方向に発達していた。河口の最突出点をPとすると、当時の河口デルタはデルタ外縁の点Q、Rを結ぶ線上に載り、PQ間では汀線勾配が急で、PR間ではなだらかにすり付く汀線形状であった。Q点の東側の突出した汀線もまた鴨川からの流出土砂が堆積した結果円弧状に湖内へと突出したものである。また1961年には河口を含む東西両側の湖浜が連続的に繋がっていたことが注目される。このことから1961年当時鴨川から土砂供給を潤沢に受けていたことが分かる。

1990年になると、1961年当時のPQ間に新たな直線河道が掘削された。河道掘削に伴い土砂が除去され川幅が広がって掃流力が減少したために、新河口での汀線の前進はあるものの、湖岸への土砂供給量が減少したと考えられる。Q点以東では河道の乱流によって直接湖岸に土砂が供給されていたが、新河道の開削により土砂供給が途絶え、また新河口方面からの土砂供給も減少したため、汀線の著しい後退が始まった。さらに1961年には大きく突出していたP点以西でも土砂供給量が大きく減少したため汀線の後退が起きた。一方、1961年当時の右岸砂州の一部は樹林帯に変わり、直線QRを超えて南側最大35mまで植生帯が発達した。

2010年では、1990年当時と河道形状には変化がないが、河口部の掘削が行われ、河口両岸の砂浜は消失した。鴨川からの土砂供給が途絶えたために、河口左岸では汀線が著しく後退した。右岸側では近江白浜との接点R以西で1961年当時より汀線の後退が起きた。なお点Rには捨石突堤が設置され、この点より河口側では礫養浜が行われている。突堤建設により点Rで汀線が不連続となり、Rの西側では汀線が約10m後退した。

(2) 近江白浜

図-5は明川から鯉川付近（区域B）の湖岸変遷を示す。1961年の近江白浜は緩やかに湾曲した砂浜であり、最も砂浜幅が広い場所では約40mの湖浜があった。1990年には近江白浜の大部分で汀線が前進し、とくにえり本川河口左岸付近では最大15mの汀線前進が起きた。これと対照的に、鯉川河口右岸では汀線が10m後退した。汀線前進量が明川河口からえり本川方面へと増加する一方、鯉川河口右岸では後退していた汀線が河口左岸では前進傾向へと変化することから、近江白浜は両側からの沿岸漂砂が集まる区域で、漂砂の会合点はほぼえり本川河口左岸付近にあることが分かる。2010年では1990年と大きな変化は起きていないが、鴨川河口方面から始まった侵食が明川にまで到達して汀線後退が始まった。しかし1961年から1990年の間に汀線後退が著しかった鯉川河口方面では汀線変化はほぼ終息した。

図-4 鴨川河口部の変遷

図-5 明川から鯉川付近（区域B）の湖岸変遷

(3) 萩の浜

図-6は萩の浜（区域C）の湖岸変遷を示す。1961年当時萩の浜では砂浜が連続しており、湖岸では沿岸漂砂の連続性が保たれていた。また湖浜沖には3列の沿岸砂州の発達が見られた。1990年には鯉川河口右岸の湖岸で掘削が行われ、約2,500m²の湖浜が消失した。また鯉川河口の西350mには突堤が伸ばされた。最も大きな変化が現われたのは萩の浜西端部である。そこでは1961年には和田打川の河口デルタが突出していたが、この両側の湖浜は侵食により消失した。また萩の浜中央部でも全体的な汀線後退が起きた。2010年までには萩の浜では連続的に繋がった砂浜は消失し、5箇所に設置された突堤の西側のみ砂浜が残されるという静的安定な湖浜の姿へと変化した。1961年には沿岸漂砂が連続的に流れる動的平衡状態にあったが、2010年には沿岸漂砂が突堤位置で切断された静的平衡状態に近づいたことが分かる。

4. 汀線変化

人工的改変が行われる前の1961年を基準とした汀線変化を算出した（図-7）。その際、汀線変化を理解しやすくするため1995年までと2010年までの汀線変化に分けて整理した。図-7(a)によれば、鴨川河口左岸のQ点以東では河口デルタの縮小に伴って汀線が後退した。河口右岸でも、鴨川からの供給土砂量の減少に伴い汀線の後退が起きたが、明川河口以西では堆積傾向を示し、明川河口の西480m（鯉川河口の東250m）の点Mで汀線は最大の前進量をとる。一方、萩の浜では4箇所に設置された突堤により階段状の汀線が形成され、とくに東端の突堤G1では突堤建設後その西側では16m汀線が前進する一方、東側では38mの後退が起きた。図-7(b)に示す2001～2010年の変化では、各地域の汀線変動量が小さくなり、捨石突堤～明川など一部区間を残して全体として河川改修に伴う土砂供給量の減少による湖浜地形変化が終息状態に近づいたことが分かる。

5. 波向の沿岸方向分布

図-8に示す2010年の空中写真においては、汀線がほぼ静的安定状態にあることから、5地点において波向角の推定が可能である。これらは鴨川河口左岸の地点①、えり本川河口近傍の沿岸漂砂の会合点②、萩の浜の突堤上手側の地点③④⑤であり、いずれの地点でも汀線への法線を定めれば波の入射方向が得られる。なお地点①では砂州上に繁茂した植生帯が直線状に切られていることからこの直線は波向とほぼ直角になっていると考えられる。図-9はこれら5地点におけるSから反時計回りを正として測った波向の沿岸方向分布を示す。波向はほぼ線形的に変化

図-6 萩の浜（区域C）の湖岸変遷

図-7 1961年を基準とした汀線変化

図-8 2010年の空中写真

図-9 波向の沿岸方向分布

図-10 試験突堤の配置

し、捨石突堤 (R) と沿岸漂砂の会合点 (M) までの間では $S6.2^{\circ}W$ から $S8.1^{\circ}E$ の間で変化していることが分かる。

6. 縦断形変化と漂砂の移動高

近江白浜東部の捨石突堤 (R) と明川間の270m区間では6基の土嚢製試験突堤が設置され、それらの漂砂制御効果が調べられている。試験突堤の配置は図-10のようであり、突堤長は約7m、突堤間隔は東側では23mと狭く、西側では65mと広い。2010年7月9日、これらの試験突堤を挟む7測線に沿って縦断形を測定した。図-11, 12, 13にはNo.1, 2, No.3, 4 およびNo.5, 6の縦断形の重ね合わせ図を示す。なお、琵琶湖の平均水面B.S.L.0mはT.P.84.371mに等しい。これらによると、突堤の東側に位置する測線ではいずれも砂の堆積により鉛直上方に凸な縦断形となり、両断面には差異が認められる。これらの差異は突堤による沿岸漂砂阻止に起因すると考えられることから、これらの縦断形より断面積変化量 (ΔA) と汀線変化量 (Δy) を求めた。また全7断面は図-14に示すように+1mから陸側と、-0.6mより沖合の縦断形が重なりを示し、この間で波による地形変化が起きていることを示唆する。このことから縦断形変化の時間-空間の入れ替えの考え方⁵⁾に基づいて断面形の場所的変化を時間的変化に置き換え、凸な縦断形 (No.1, 3, 5, 7) と凹んだ縦断形 (No.2, 4, 6) の組み合わせで断面積変化と見かけの汀線変化を算出し、それらの相関を調べれば移動

図-11 No.1, 2の縦断形の重ね合わせ図

図-12 No.3, 4の縦断形の重ね合わせ図

図-13 No.5, 6の縦断形の重ね合わせ図

図-14 全7断面の重ね合わせ図

高の推定ができる。図-15は以上の検討結果を示すが、 ΔA と Δy の比例係数は漂砂の移動高 h を与えるので、 h は1.2mとなる。

杉村ら⁴⁾は、日野川河口右岸での試験養浜において2005年3月の縦断形を基準として2007年2, 4, 10月までの ΔA と Δy を求め、両者の相関より漂砂の移動高を1.17mと算定した。これを参照すると鴨川河口での漂砂の移動高は、日野川河口での値とほぼ一致する。

7. 沿岸漂砂量分布の推定

図-7の汀線変化に示したように、明川と鯉川間の点Mでは汀線が経年的に前進し、同時に汀線の最大前進量が見られることから、点Mは鴨川から近江白浜への西向き沿岸漂砂と萩の浜からの東向き沿岸漂砂のほぼ会合点を与える。沿岸漂砂の会合点ならばそこでの沿岸漂砂量は0となるので、M点を中心に汀線変動量を沿岸方向に積分し、それに漂砂の移動高を乗じることにより沿岸漂砂量分布が定められる⁵⁾。また鴨川からの土砂流出条件は1995年頃から大きく変化したこと、2001年までと2010年までの2時期に分けて沿岸漂砂量を算出した。

図-16(a)は2001年までの沿岸漂砂量分布を示す。鴨川河口と漂砂の会合点Mまでの区域での最大沿岸漂砂量は1975年には $X=920\text{m}$ 付近にあり $33\text{m}^3/\text{yr}$ であったが、鴨川河口で新河道が造られた1990年には、河道が広げられたことにより河口隣接部で局所的に $45\text{m}^3/\text{yr}$ と漂砂量が著しく増大した。しかし1995年までには流出土砂量の減少に伴い沿岸漂砂量も減少し、 $X=900\text{m}$ で $25\text{m}^3/\text{yr}$ となった。これに対して萩の浜では突堤群が建設されたことにより、各突堤で沿岸漂砂量が0で西側に増加するという階段状分布を持つ沿岸漂砂量分布となった。同じく図-16(b)は2003年以降における沿岸漂砂量分布を示す。流出土砂量の減少が起きてから時間が経過したため沿岸漂砂量の絶対値が減少している。

8. あとがき

本研究によれば、琵琶湖（北湖）に流入する鴨川における河川改修によって流下土砂量が急減し、これによって河口部の汀線後退が、さらに隣接の近江白浜の侵食が起きたことが分かった。今後の河川改修においては、このような河口周辺海岸への影響も十分考慮して進めること、また影響が予測される場合には、突堤などを用いた湖浜安定化が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 宇多高明, 吉田隆昌, 西島照毅, 富士川洋一: 琵琶湖の野洲川放水路の開削に伴う旧河口周辺での湖浜変形, 地形, Vol. 16, pp. 157-175, 1995.
- 2) 播磨光一, 杉村重憲, 宇多高明, 中辻崇浩: 琵琶湖に流入する日野川河口域の地形変化とその要因, 海洋開発論文集, 第22巻, pp. 421-426, 2006.
- 3) 安東新吾, 倉茂好匡: 滋賀県犬上川河口部の掘削凹地における地形の形成過程, 地形, Vol. 28, pp. 143-183, 2007.
- 4) 杉村重憲, 中辻崇浩, 宇多高明: 琵琶湖における試験

図-15 ΔA と Δy の相関

図-16 沿岸漂砂量分布

- 養浜のモニタリング調査, 水工学論文集, 第53巻, pp. 1435-1440, 2009.
- 5) 宇多高明: 海岸侵食の実態と解決策, 山海堂, p. 304, 2005.
- 6) 宇多高明, 古池 鋼, 三波俊郎, 芹沢真澄: 海食崖に続く堆積性弧状海岸線の形成とその変形予測, 地形, Vol. 30, pp. 331-348, 2009.