

【現場報告】

# 琵琶湖開発事業と環境保全

水資源開発公団琵琶湖開発総合管理所	中村宣彦*
”	大塚俊匡**
”	山下祥弘***
”	北牧正之****

1. はじめに

約275億 $m^3$ もの豊富な貯水量を誇る琵琶湖は古くから湖国近江はもとより、下流京阪神の人々と深い係わりを有してきた。特に湖周辺地域は、昔より洪水、渇水被害に悩まされてきた。一方淀川下流阪神地域は、急速な都市用水の需要の増大に伴い、琵琶湖を貴重な水源として期待してきた。このような状況下、これら一連の諸問題を解決するため「琵琶湖の恵まれた自然環境の保全と汚濁しつつある水質の回復を図ることを基調とし、その資源を正しく有効に活用するため、琵琶湖及びその周辺地域の保全、開発及び管理についての総合的な施策を推進することにより、関係住民の福祉と近畿圏の健全な発展に資する」ことを基本目標とした琵琶湖総合開発計画が策定された。この計画の特徴は、保全・治水・利水を柱に、近畿圏の広域的な水資源開発事業と琵琶湖沿岸の治水及び地域開発事業とを総合的に推進して行くところにある。水資源開発公団は、これらの事業の一環として治水、利水対策を基幹とした琵琶湖開発事業を実施してきたところである。琵琶湖開発事業は、湖岸堤・管理用道路及び内水排除施設などを新築し瀬田川洗堰の操作と相まって琵琶湖周辺の洪水の防御や淀川下流の洪水流量の低減を図ること及び、大阪、兵庫に対して最大40 $m^3/sec$ の都市用水を供給することを目的とするものである。工事の概要は表-1に示すとおりであるが、琵琶湖湖岸延長の235kmうち、計画高

水位(B. S. L+1.4 m)に対し地盤が低く、浸水の恐れのある一連の地区について約50kmにわたり湖岸堤を築造するなど(図-1)大規模な工事を施工してきた。この事業の完成により、琵琶湖

表-1 工事概要

工 種	概 要
湖岸堤(単独)	約3km
湖岸堤・管理用道路	約47km
内水排除	6地区
湖岸堤関連河川改修	13河川
瀬田川洗堰の改築	1カ所
瀬田川浚渫	約800千 $m^3$
南湖浚渫	約500千 $m^3$
管理設備	1式
その他補償工事	1式

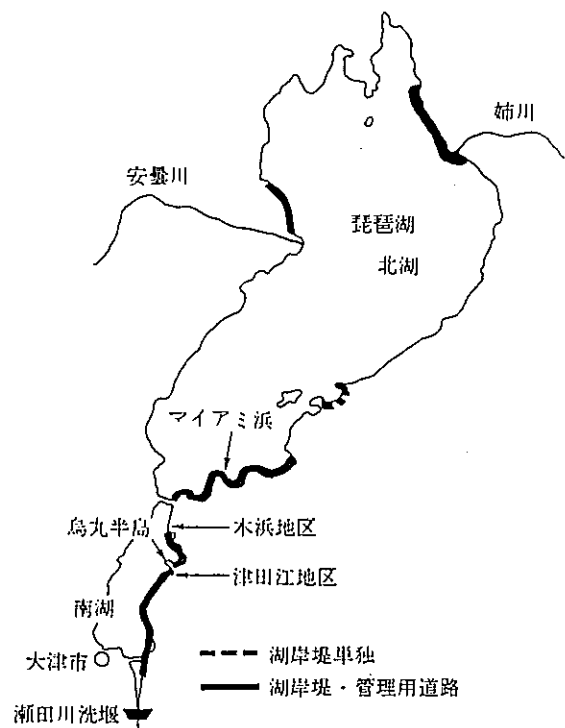


図-1 位置図

\* 所長                    \*\* 副所長  
 \*\*\* 第三管理課係長      \*\*\*\* 第三管理課課員



写真-1 南湖全景

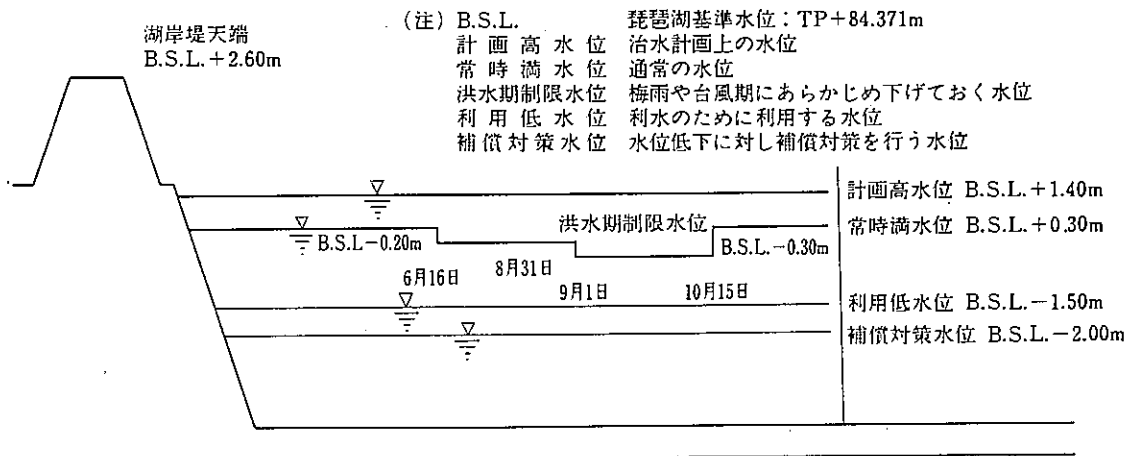


図-2 湖水位の変動範囲

の水位は図-2 に示す範囲で変動することになる。

ここでは、琵琶湖開発事業の多くの施策の中で様々な形で環境保全へのきめ細かな配慮がなされているが、それらのうち、湖岸堤・管理用道路及び浚渫などの事業で実施した水辺環境の保全対策及び創生、さらには人工河川などによる生物環境の保全について述べるものとする。

## 2. 湖岸堤・管理用道路と前浜の環境保全対策

### (1) 前浜の確保

琵琶湖の湖岸堤計画の中で最も特徴的なこと

は、堤防本体と湖の汀線の上に数 10 m の前浜を設け、これの全面的な買収を行ったことである。これにより、従来ややもすれば不明確となりがちであった官民境界を明確にすることができ、湖辺の無秩序な開発の防止や湖辺環境の保全を始めとする琵琶湖の適切な管理を図ることができる。

北湖では湖岸堤は汀線から 20 m~50 m 程度内陸側の位置に設置することにより、従前の湖辺を自然状態のまま前浜として確保した。この前浜は湖辺の環境保全という観点から 2 つの大きな役割を果たしている。

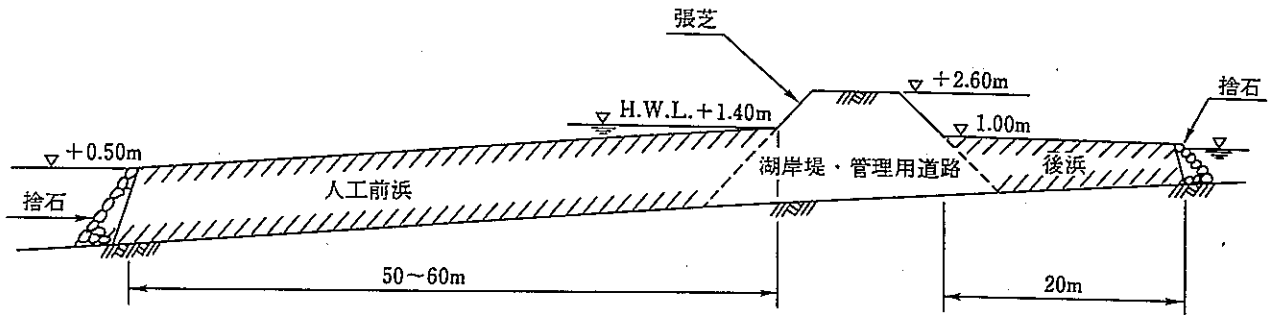


図-3 南湖人工前浜標準断面

ひとつには、この前浜での消波効果により湖岸堤の天端高さを低く押さえるという工学的な効果である。琵琶湖のように大きな、しかも水深の深い湖では、台風などの強い風が吹いた場合には非常に大きな波が発生する。この場合、波浪の打上げ高さにより堤防の天端高さが決まるが、前浜による消波効果で波の打上げ高さを著しく減衰させ、堤防の高さを低く押さえることができる。台風通過時における北湖では、波の打上げによる越波を防ぐには概ね B.S.L.+3.4 m の天端高さを必要とする。琵琶湖の湖辺は湖に向かって 1/20～1/30 程度の勾配を持っており、汀線から 20～50 m 程度内陸に入ると B.S.L.+1 m 程度の地盤高を持つが、湖岸堤法線をこの付近とすると堤防天端高さを B.S.L.+2.6 m (H.W.L. 1.4 m+1.2 m) まで低くすることができる。湖岸堤の天端高さを低く押さえることが持つ環境保全上の優位性としては次の事柄が挙げられる。

- 陸から汀線への連続性が確保でき、湖岸堤・管理用道路による周辺地域の生活と湖の遮断感覚を和らげることができる。
- 湖辺利用の利便性が確保でき、親水機能が高まる。
- 湖岸堤を必要とする地域の地形は、全体として平坦な広がりを持ち、景観上の調和を考える時、できるだけ低い堤防であることが違和感を与えない。

南湖においては、汀線の平面的な出入りが激しいという地形的な制約、遺跡、土地利用、湖辺に広がるヨシ群落の保存もあって、湖岸堤は汀線付近または湖中部（琵琶湖内に入る区間）に設置さ

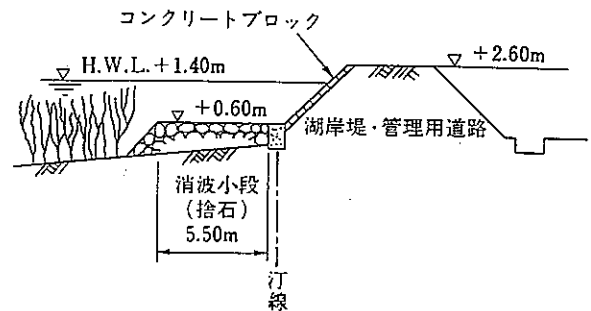


図-4 汀線付近における湖岸堤の消波小段

れることとなった。このため、自然状態の前浜を確保することが困難なことから、湖中部に設置する湖岸堤については、その前面に 50～60 m の人工的な盛土による前浜を造成した。(図-3)

また、汀線付近に設置する湖岸堤については、ヨシ地帯をできるだけ潰さない法線を選定し、湖岸堤前面に幅 5.5 m の捨石による消波小段を設けることにより前浜の機能を代替させてヨシの保全を図った。(図-4)

前浜が持つもうひとつの効果は、前浜そのものが直接的に持つ湖辺環境保全の効用である。前浜は、その周辺環境と調和のとれた整備と適切な管理により、水辺の生態系や景観などの湖辺環境を保全するとともに、ここを訪れる人々に豊かな自然と潤いのある水辺空間を提供することになる。(写真-2)

前浜の整備は、滋賀県が主体となり都市公園、湖岸緑地などの事業の中ですすめているが、琵琶湖開発事業の中でも NTT-A 型事業を積極的に導入するなどして、前浜や土捨場跡地の基盤整備工事を実施している。例えば、北湖のマイアミ浜においては遊歩道や駐車場などの基盤整備を実施

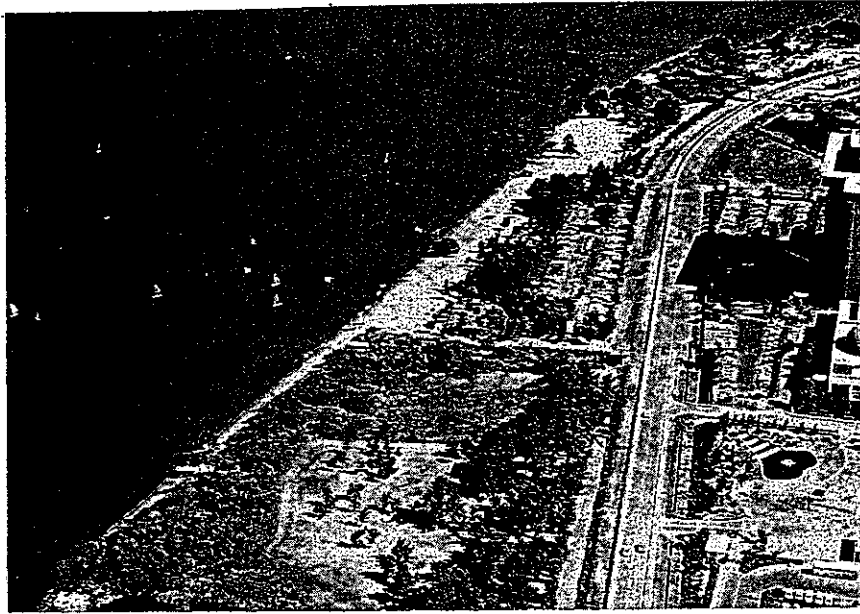


写真-2 湖岸堤・管理用道路と前浜

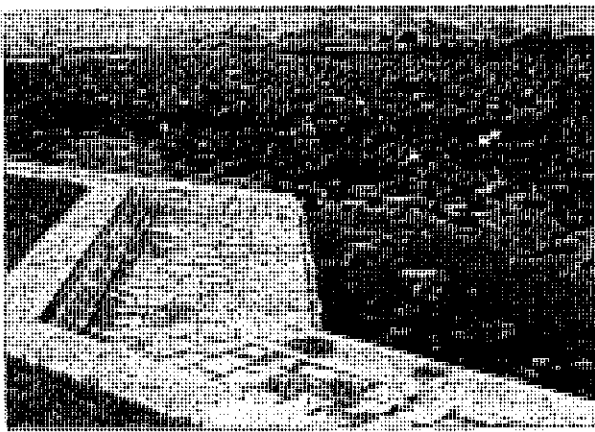


写真-3 烏丸半島石積護岸とハス群落

し、水と緑のレクリエーション空間の創出を図っている。

また、南湖でも事業に伴う残土処分地として利用された烏丸半島の整備を行っている。烏丸半島は周囲を湖辺に囲まれ、ヨシ帯や約6 haに及ぶハス群生地により、良好な水辺空間を保っている。このような優れた環境条件を有効に活用するため、護岸工事においては親水性の高い緩傾斜護岸を採用し、また周囲の状況や地形を考慮して、石積護岸、石張護岸、階段護岸と変化をつけ単調さを解消するなどの配慮がなされている。さらに烏丸半島では県立琵琶湖博物館、草津市水生植物園などの公共文化施設及び民間によるリゾート施設など大規模な多目的利用の計画がある。このた

め基盤工事では、各施設との調和を考え護岸材料は原則として白色を基調とした自然石を使用し、道路舗装も自然色舗装をするなど工夫されている。(写真-3)

## (2) 残存水面对策

南湖東岸部の湖岸堤・管理用道路の法線は部分的に湖中部を通過する区間もあり、木浜と津田江地区では、その背後に残存水面が生じることになった。これらの水面は淡水真珠の養殖場などとして利用されているが、閉鎖性水域となることから水質悪化、水位低下時における湖底の底泥の露出などによる周辺環境の悪化など、様々な悪影響を生じさせる心配があった。このため残存水面の水質保全及び水位低下時の水位維持を目的に、堰と給水施設の組み合わせによる水位保持施設を設置した。また、津田江地区にはこの施設の外、平常時、残存水面と琵琶湖との水交換を図るため、湖中部の堤防(約600 m)に幅60 mの開口部を2箇所(計120 m)設け、ここを水門構造とすることで問題の解消を図った(図-5)。給水量と開口幅及びその位置の決定にあたっては、湖流の解析のみならず、これに希釈効果を加えた化学物質濃度で評価することとし、各々植物プランクトンの発生によりCODが増加するものとした水質モデルによるシミュレーションの結果、現況の水質

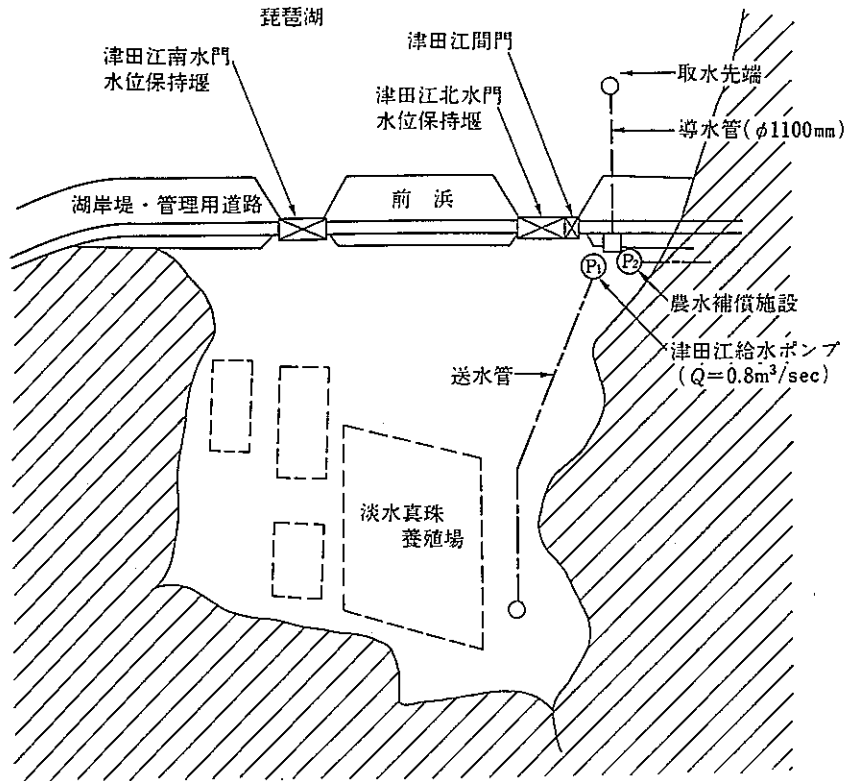


図-5 津田江水門・水位保持施設平面図

(COD 約 6 ppm) が維持できるケースを採用している。

津田江湖中堤が完成して数年経過したが水質の悪化の傾向はみられず、概ね予測された結果となっている。ポンプ給水による水質保全効果は、琵琶湖開発完了後の水位低下時の結果を待たねばならないが、現況の水質が維持されるものと推定される。

### (3) ヨシ地帯の保全と復元

琵琶湖における環境問題に欠くことのできないことのひとつに、近年減少傾向にあるヨシ帯の問題がある。ヨシ帯は、鳥類、魚類、昆虫類などの生物に対して貴重な棲息の場を提供するとともに、湖辺に広がるヨシ原がかもしたす風情は人々に安らぎと落ち着きを与え、生物環境、景観保全上重要な役目を果たしている。湖岸堤・管理用道路築造に当たっては、前浜の確保でも述べたとおりヨシ帯への配慮がなされている。しかし、やむをえず一部ヨシ帯を消失させることに対しては、可能な限りヨシ帯の復元を図るためにヨシ植栽を実施した。ヨシ植栽にあたっては、ヨシ群落の分

布調査を始めとして、生育条件の分析及びその検討、ヨシ苗の育成試験、現地での移植試験など約 10 年間の歳月にわたる調査・試験・研究を重ねた後、本格的な植栽工事を実施した。

琵琶湖におけるヨシの成育条件のポイントは以下に要約される。

- 水中に生えているヨシの成育可能な水深は 80 cm 程度であるが、良好な状態で成育できるのは 60 cm 程度までで、それ以上の水深では成育密度が低い。

- 波浪はヨシの成育を阻害する大きな要因である。

- ヨシの成育に適している地盤は砂質土の卓越した土壌である。

- ヨシ地帯は一般に、陸側から湖に緩やかな勾配を持つ地形の場所に良く発達する。

ヨシ植栽にあたってはこれら条件を満たす必要があり、遠浅な地域に B.S.L. 0 m 前後の緩やかな砂質土壌の人工地盤を造成した。さらに波浪の影響を軽減させるため、植栽先端部に消波施設を設けた。(図-6)

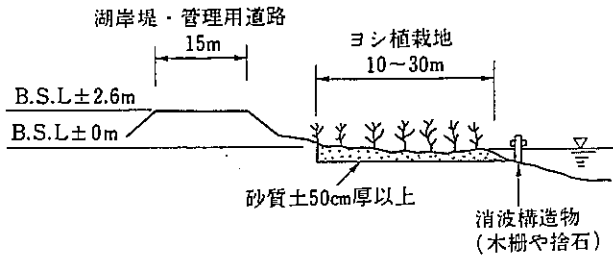


図-6 ヨシ造成地標準断面

琵琶湖開発事業の中では約5haのヨシ帯の復元が図られたが、植栽後2カ年を経過すると、現存量・草丈とも自生ヨシ帯と比べても遜色ない生育状況を示している。また、ヨシ植栽地における鳥類の生息との関係を調べたところ、繁殖期にはオオヨシキリやカイツブリなどの種に営巣地として、その他の季節も渡り鳥の中継地、越冬地として多くの鳥に利用されており、今後ともますます機能を発揮していくものと思われる。

### 3. 施設設計における環境保全対策

琵琶湖開発事業では、湖岸堤・管理用道路を始めとして、水門・樋門、護岸、橋梁、排水機場など、数多くの施設を築造した。これらの施設は大部分が湖辺に設置されるため、琵琶湖という美しく豊かな自然に恵まれた水辺にふさわしい施設設計が求められた。

#### (1) 湖岸堤・管理用道路の護岸、法覆いなど i) 護岸、法覆い

湖岸堤・管理用道路の護岸、法覆いについては、前浜の形状により、それぞれに適したものを採用している。以下に前浜のタイプ別に述べる。

##### (イ) 北湖自然前浜タイプ

十分な長さの自然前浜を確保した区間では、川表法覆いは張芝工とし、自然前浜と堤防とが違和感なく接続され景観的な落ち着きを保持した。

##### (ロ) 南湖人工前浜タイプ(図-3)

南湖の湖中部に設けられた区間の人工前浜先端は、構造的な安定性や経済性だけでなく、生態系、景観、親水性など環境上の所見を考慮したいくつかの試験護岸を設け、その経過などを観察、検討した結果、自然石による捨石護岸を採用し

た。また、人工前浜は、湖岸緑地として別途県事業で整備され、親水公園として利用される計画となっていることから、一部区間については、護岸の平面形状にアンジュレーションをつけたり、階段護岸を設けるなどの工夫を凝らしている。

#### (ハ) 消波小段タイプ(図-4)

前面のヨシ地帯を保全または復元する区間の構造であるが、消波小段は自然石の捨石構造とし、水際線での生態系への配慮と湖辺景観との調和に努めた。また、一部区間では、捨石の中に植樹柵を設け柳類の苗木を植樹した。このタイプの区間では、堤防の表法面に与える波浪の影響が大きいことから、法覆いはコンクリートブロック張りとしたが、疑石模様のブロックを用いるなどのきめ細かい配慮を行った。

#### ii) 植樹帯

管理用道路と管理用通路を区分する分離帯には、全区間にわたって低木の植樹を実施し、とかく単調になりやすい道路景観に緑豊かなアクセントを付けて、車両走行の快適性と安全性に配慮した。

#### (2) 景勝地など

琵琶湖周辺には、湖上に浮かぶ大鳥居が美しい風情を保つ白鬚神社、近江八景で名高い浮御堂など文化的、歴史的に貴重な施設が数多くみられる。これらの施設が、水位低下による基礎部の露出などにより、景勝地としての景観を損なわないように、施設の移設や周辺の浚渫、基礎部の補強などを行っている。(写真-4)

#### (3) 水門等構造物の景観設計

水門の設計は、ゲートの巻上機室を堰柱の上部に設置せず、堰柱の際に別に設けるか、巻上機類を堰柱の内部に組み入れることにより構造物の全高をできるだけ低く抑えたり、石積模様の化粧型枠を使用したりして、景観への配慮を払った。(写真-5)

また同様に、琵琶湖の流出口である瀬田川洗堰の正確なコントロールを可能にするために建設されたバイパス水路も、歴史的景観の復元という意味合いも込めて、レンガ模様の外壁を持つ操作室

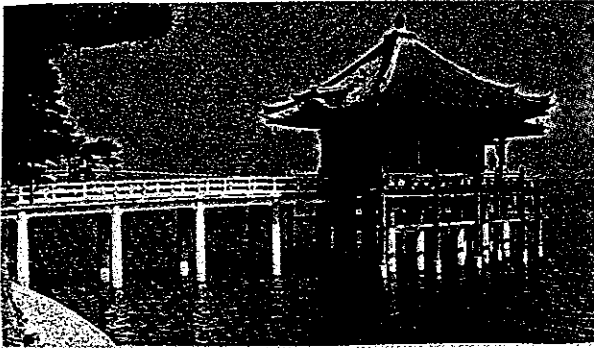


写真-4 景勝地対策（浮御堂）

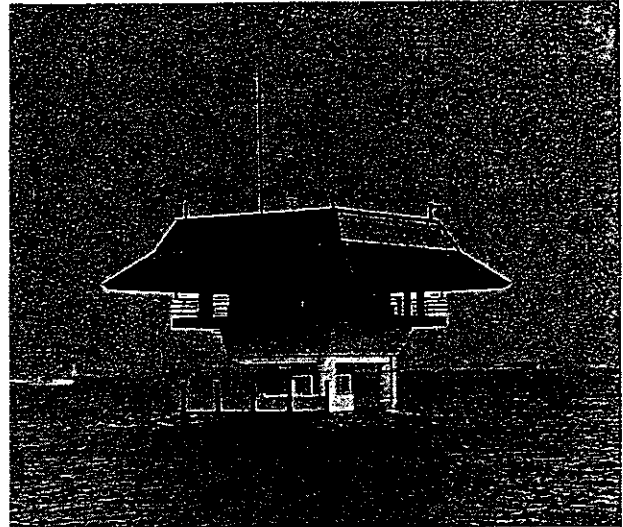


写真-6 南湖総合自動観測所（雄琴沖）

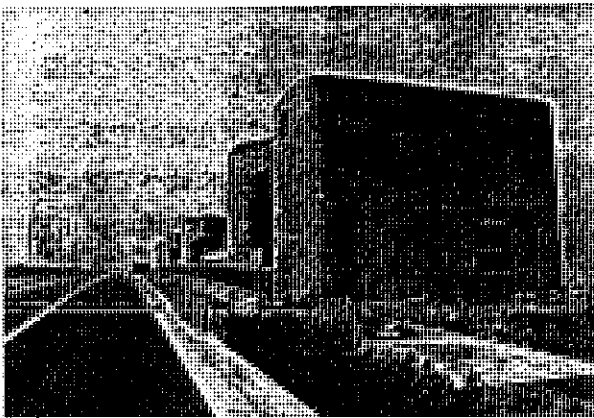


写真-5 水門の景観設計（化粧型枠）

をランドマークとして、付近一帯の整備を図った。

この他、南湖中に設置した水質など総合自動観測所については、浮御堂を模したイメージの局舎として景観を考慮した設計となっている。（写真-6）

なお、水質自動測定局は、雄琴沖を含めて公団で4箇所設置しており、国、県と共に琵琶湖の水質を常時監視している。

#### （4）内水排除施設

内水排除施設での工夫のひとつに、排水機場の試運転を機場施設内だけで水を循環させて行い、施設外に吐出させない方式にしたことが挙げられる。内水排除施設は非常に運転頻度の少ない施設だけに日常の保守管理が重要であるが、排水機を運転する時にはどうしても吐出される流水のため周辺の水域に濁りが生じ、これが湖辺の漁業などに影響を与える恐れもある。そのため、吐出槽と吸水槽をバイパス管路で接続し機場施設内だけで

ポンプの試運転ができる構造とした。

#### 4. 南湖浚渫と環境保全対策

琵琶湖開発事業の計画では、概ね10年に1回の割合でB.S.L.-1.5 m、さらに非常渇水時にはB.S.L.-2.0 mまで琵琶湖の水位が低下することがある。また、水位低下の継続期間についてみると、大幅な低下が予想される時期は主として秋から冬にかけてであり、比較的長期間にわたることになる。水位が低下し始めると、湖岸沿いの浅い湖底は次第に干陸状態になっていく。とりわけ水深の浅い南湖（平均水深約4 m）東岸部ではその影響を強く受けることが予想され、湖に棲息する動・植物の生態系や湖辺の景観などに影響が生じるばかりでなく、湖底の底泥などの露出に伴い発生する臭気などが周辺地域住民の生活環境に与える影響が心配された。

そこで、干陸の恐れのある南湖東岸部のほぼ全域にわたりB.S.L.-2.5 mまで浚渫を行い、水位低下時であっても水面を確保することにより湖辺の環境保全を図ることとした。この計画に関しては「南湖浚渫環境調査委員会（委員長 岩佐義朗）」が設置され、さまざまな視点から討議がなされた。この結果、委員会からは、「生活用水とくに人間の生命、健康に係わる飲料水源としての環境保全」及び「水生生物の環境保全」という観

表-2 目的別浚渫計画

浚渫目的	内容
生物保護	貝類の回復に期待がもてない水域については必要かつ最小限の浚渫が、水位低下対策として有効であろう。
利用施設の機能保全	港湾、航路の機能維持のために浚渫を行い、取水施設については浚渫によらずむしろ施設を改良して水位が低下しても取水できるような地点まで取水管を移動する。
景観維持	景観は総合的に評価すべき問題であるので、湖底の露出による景観変化に限定するのではなく、湖岸堤・管理用道路の築造による景観変化、湖辺利用形態の変化などを含めて検討する事が望ましい。その結果、生活環境、観光価値の観点から必要と判断される水域について浚渫する。
湖底環境改善	湖底環境改善を目的とする清掃浚渫の必要性の高い水域などを対象として計画する。

点からは、南湖東岸を B.S.L.-2.5 m まで一律に浚渫する積極的な理由は見出し難いという結論が出され、景観の維持を含めた幅広い観点から南湖浚渫を実施する場合の提言がなされた。まず、計画にあたっての考え方として、浚渫は環境の下部構造の変化であり、上部構造である南湖生態系に大きな影響を与える恐れがあり、また、影響は長期に及ぶ可能性があるため浚渫面積はできるだけ小さくし、湖岸近くでは浚渫深度もできるかぎり浅くすることが望ましいとされた。また干陸幅が数十メートル程度の狭い部分については特別な事情がないかぎり浚渫の必要がなく、特に東岸の水生物帯は生物環境上重要なのでできるだけ現状を維持する必要があるとされた。さらに、目的別浚渫計画については、表-2 に示すように提言された。

これらの提言の基調にしたがって浚渫計画は、以下の諸点を留意し、当初計画を大きく見直した。

- 浚渫の範囲は、集落に近接し、しかも水位低下時に特に広範囲に干陸化する場所、及び堆泥除去の地元要望が強い特定の場所に限定する。
- 浚渫深は、水生植物の生育が可能な深さで浅とし、水生植物の回復が可能なよう配慮する。
- 自然の湖底形状を急激に変化させないような浚渫形状とする。

## 5. 人工河川によるアユ資源の維持と増進

アユは琵琶湖の最も重要な水産資源である。また、琵琶湖産アユは、海産アユに比べて強い縄張りを持ち定着性も強いので、全国各地の河川放流や養殖の種苗アユとしての需要も多く、全国の需要量の 60~70 % を占め、その供給量は年間 600~800 トンにのぼっている。湖産アユは秋に琵琶湖の主要流入河川を遡上して産卵するため、琵琶湖開発による水位低下の時期と重なると、産卵に影響が及ぶ可能性がある。このため、滋賀県と共同で、アユの人工増殖技術の調査研究を行い、以下の知見を得た。

- 人工河川においては、アユの最適な産卵条件である産卵床としての礫の粒径、水温、水深、流速、親魚の放流密度、他の魚類による食害の防止などの諸条件をすべてコントロールできるため、産卵数は天然河川の約 10 倍 (100 万粒/m<sup>2</sup>) が期待できる。また、孵化率は天然の場合 (約 60 %) に比べ高い率 (90 %) が期待でき、さらに産着卵は天然河川の場合、他の魚類によって約 30 % が食害を受け、減耗が大きいが、人工河川の場合、簡易な装置によりこれを防止できる。
- 夜間の電灯照射により、親アユの産卵時期をコントロールすることにより、1 シーズン 3 回の産卵が可能である。

この調査研究を基に、具体的な構造、規模を決定し、琵琶湖の主要河川である安曇川と姉川の河口近くの湖岸に人工河川が新設された。(写真-



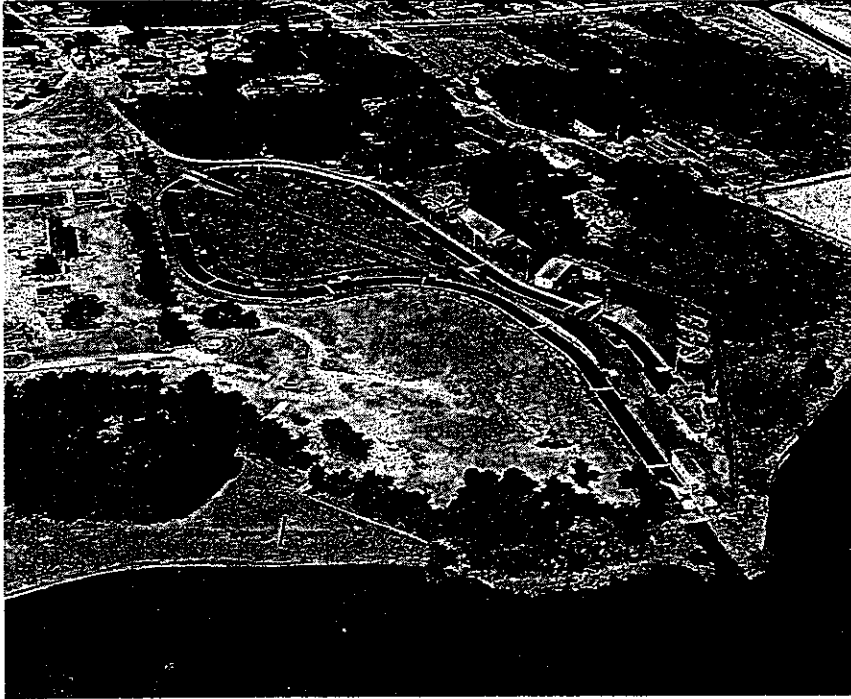


写真-7 安曇川人工河川

表-3 姉川, 安曇川人工河川の諸元

	姉川人工河川	安曇川人工河川
産卵床水路	幅 3.0 m~0.6 m×高 0.8 m 延長 193 m 水路勾配 1/500	幅 7.3 m×高 1.0 m 延長 653 m 水路勾配 1/700
ポンプ施設	斜流渦巻きポンプ 0.092 m <sup>3</sup> /sec×4 台 取水管 φ 700 mm×106 m (温水用) φ 700 mm×251 m (冷水用)	斜流渦巻きポンプ 0.092 m <sup>3</sup> /sec×4 台 取水管 φ 800 mm×170 m (温水用) φ 900 mm×285 m (冷水用)
親魚養成池	円形水槽 φ 11.3 m×H 1.4 m×15 面	円形水槽 φ 11.3 m×H 1.4 m×3 面
設置年月日	昭和 56 年 3 月	昭和 56 年 3 月

7)

ここで、両人工河川の諸元を表-3に、その設計条件、特長を以下に示した。

- ① 水温を 18℃ 前後に保つため取水層を -5 m, -20 m の二層とした。
- ② 流速 50 cm/sec, 水深 20 cm, 勾配を 1/700 とした。
- ③ 産卵用敷砂利は厚さ 20 cm, 粒径 5~25 m とした。
- ④ ヨシノボリ, カジカなどアユ卵を食べる魚が遡上できないよう, 川下に「かえし」を設

けた。

- ⑤ 養成親魚の成熟促進のため養魚池に一面あたり 12 個の照明灯を設けた。
  - ⑥ 産卵後の死魚の処理施設, 停電時の自家発電設備, 水位低下時の遡上水路に配慮した。
- 人工河川が稼働を開始した昭和 56 年度には、人工河川からの流下仔アユ数は、天然河川を含めた全体比 (人工河川/(人工河川+天然河川)×100) で約 26 % を占め, かなりの成果を収めている。昭和 59 年, 60 年には天然アユの流下仔魚数が非常に少なかった (22~30 億尾) が, 人工河川から

は天然河川の約2倍(36~85億尾)の流下仔魚があり、漁獲高も大きな影響をうけなかったとして特に評価されている。人工河川の流下仔アユ数の全体比は、天然河川の流下仔アユ数に左右され5~74%と年度により変動のあるものの平均15%程度の貢献度があるといえる。また漁獲高も人工河川稼働後、増加と安定の傾向(昭和52年~昭和55年の平均1,200トン程度、昭和56年~平成元年の平均1,500トン程度「農林水産統計」)が現れており、人工河川は今後ともアユ資源の安定供給に大きく貢献していくものと期待される。

#### 6. おわりに

琵琶湖開発事業は、昭和48年に公団事業としてスタートして以来約20年、関係行政機関など

や地域の人々の協力にささえられ、平成3年度末の完成を迎え、管理段階に移行した。琵琶湖はこれから、かつてない水位変動を経験することになる。また周辺の開発の急速な進展も予想される。これらのインパクトが湖の姿にどのような影響を与えていくことになるのか、その動向を正確に把握しつつ、的確な管理に努める必要がある。

#### 〔参考文献〕

- 1) 後藤富佐夫：統検証—長良川河口堰、開発選書、琵琶湖の人工河川について、開発問題研究所、1991年4月
- 2) 永末博幸：統検証—長良川河口堰、開発選書、琵琶湖におけるヨシ帯の復旧について、開発問題研究所、1991年4月
- 3) 原 紀男：河口堰—その批判と検証、開発選書、琵琶湖の人工河川によるアユ増殖について、開発問題研究所、1990年9月