

第3章 湖岸の保全

| | |
|-----------------------|----|
| 第3章 湖岸保全 | 36 |
| 3-1 侵食現象の基礎知識 | 36 |
| 3-1-1 湖浜に來襲する波の特性 | 36 |
| 3-1-2 砂浜の地形特性 | 37 |
| 3-1-3 湖浜の流れ | 37 |
| 3-1-4 漂砂と底質 | 38 |
| 3-2 湖岸保全計画 | 39 |
| 3-3 計画の基本方針 | 40 |
| 3-3-1 侵食対策において配慮すべき項目 | 40 |
| 3-3-2 湖岸保全対策の配置条件 | 40 |
| 3-4 計画波浪 | 41 |
| 3-5 養浜計画 | 45 |
| 3-6 施設計画 | 48 |
| 3-6-1 突堤計画 | 48 |
| 3-6-2 緩傾斜護岸計画 | 52 |
| 3-6-3 ヘッドランド（人工岬）計画 | 52 |

第3章 湖岸保全

3-1 浸食現象の基礎知識

近年、琵琶湖の各地で湖岸侵食が目立ってきた。水泳場やキャンプ場として利用が盛んな砂浜形成区域において、その侵食被害は著しく、一連の砂浜域に分けて分類すれば、20箇所以上にも及ぶ。その特長としては、フェッチ（吹送距離）が長い湖東の南部および湖西の北岸で汀線の後退が顕著に見られる。湖岸侵食の原因は様々考えられるが、現地海岸における侵食現象をスケールダウンしたものであることから、海岸侵食の考え方を応用し、琵琶湖特有の風浪特性や漂砂特性を十分に解明した上で、自然環境が豊かに残されている琵琶湖に最もふさわしい保全対策を考えていくことが重要である。

まず、この節では、侵食現象の基礎知識を説明し、次節から湖岸保全の計画論について触れることとする。

なお、琵琶湖で発生する「湖岸侵食」と「海岸侵食」とを区別する意味で「侵食」の文字を用いることにする。

3-1-1 湖浜に襲撃する波の特性

湖辺に襲撃する波は、波浪の半波長以下のところに進行してくると、湖底の地形変化や障害物の影響を受け、波高や波長、波速等を変化させ、徐々に波高を大きくさせながら、ある水深に達すると不安定となって砕波するようになる。

ここでは浅水変形として代表的な屈折、回折、砕波等について説明する。

(1) 屈折 (refraction)

波速は水深によって変化するため、波が斜めに入射するときは、光の屈折と同じようにスネルの法則が成立し、波の進行方法（波向き）は変化する。従って水深が徐々に浅くなる砂浜では、波の峰は、汀線に平行になろうと変化する。これを屈折現象といい、波長が長い波は屈折しやすい。

(2) 回折 (diffraction)

波は、光と同様に構造物の背後に回り込んで進入する性質があり、これを波の回折現象と呼んでいる。回折した波は波高を減衰させながら構造物背後に回り込む。

(3) 反射 (reflection)

および伝達 (wave transmission)

波が構造物等に衝突すると波高減衰等を起こしながら反射現象を起こす。もし構造物が透過式であれば一部が反射するものの内部を通過する波が出てくる。これを伝達現象という。回折、反射、伝達を模式的に書いたものが、図3-1である。

(4) 砕波 (wave breaking)

沖から進行してきた波が、ある水深に達すると砕波現象が発生する。波が砕けるには、水深と波高が湖底勾配、波形勾配 (H/L) との間に一定の関係を満たす必要がある。また、砕波条件としては波の峰のところの水平水粒子速度が波速よりも大きくなると砕けるといわれている。

(5) うねり

波の変形とは直接関係ないが、よく使用される用語なので説明しておく。強風域を脱した波は進行を続けながら波高を減少させ、次第に、周期を長く、波形勾配を小さくさせて沿岸に到達する。このような波をいい、一般的に波形が丸みを帯びている。風のない時に沿岸にやってくる波は、このうねりといえる。

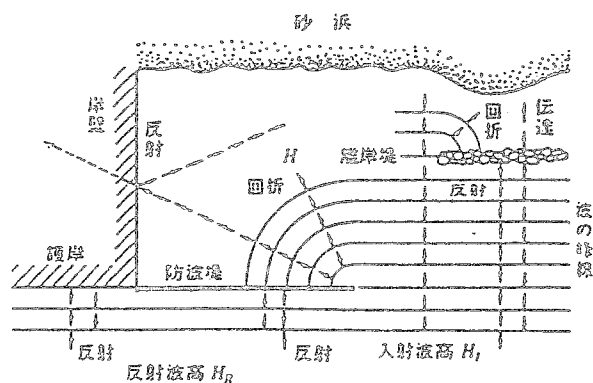


図3-1 波の屈折、回折、伝達

3-1-2 砂浜の地形特性

砂浜の侵食に関連した専門用語として、よく用いられるものにバーム、浜崖等があるが、これらの用語について図3-2を参照しながら簡単に説明する。

① バーム (beach berm)

波の作用により砂等が堆積してできたほぼ水平な浜の部分であり、浜によっては存在しない場合やいくつか出現する場合がある。犬走りとか径浜と訳す。

② 浜崖 (beach scarp)

波の作用で侵食されて出来た浜のほとんど垂直な斜面をいう。

③ 沿岸砂州 (longshore bar) と
トラフ (trough)

沿岸砂州とは汀線とほぼ平行に走る砂州(砂の堆積)をいう。別名、砂堆ともいい、碎波線付近に出来る 경우가多く、湖底の砂粒径が小さくて波形勾配(H/L)が大きい浜でよく発達する。トラフとは沿岸砂州と隣り合わせの深みの部分のことである。

④ 砂漣 (sand ripple)

波により湖底に生じる砂面の起伏をいう。砂漣の波長や高さは砂の性質や水の運動によって異なり、波長や高さは数cm程度のものが多いといわれる。砂のさざなみとも呼ばれ、上記の砂州の表面に砂漣が生じることもよくある。

⑤ 砂波帯 (breaker zone)

湖底が傾斜した湖岸では、岸に寄せてきた波がある深さのところで砕けており、この領域を砂波帯という。砂波した波は急激にエネルギーを失い、波高を減少させながら碎波帯内を進行するが、湖底の勾配が穏やかな砂浜では、一度砕けた波が岸に近づくにつれ再び波形を整え、水深の減少とともに波高が増大し、再び碎波する現象が何回も観察されることもある。

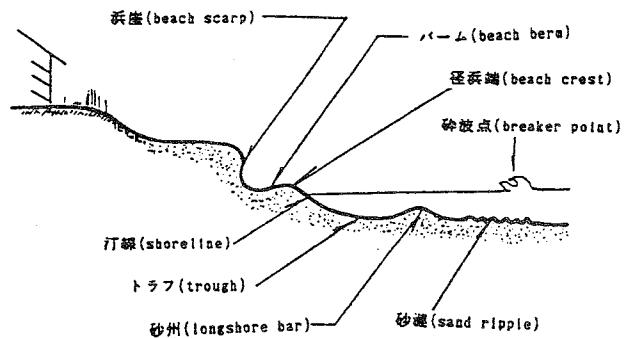


図3-2 砂浜の断面

3-1-3 湖浜の流れ

琵琶湖に生じている水の流れは、大きく分けて「湖流」、「吹送流」、「補流」、「湖浜流」の4つに分類できる。

湖流は、大きな渦状の流れで還流と呼ばれるものであり、秒速数センチから10センチ程度のゆっくりした流れである。従来から3つの渦があると言われていたが、最近の琵琶湖研究所の研究により渦の方向が明らかになってきた。この湖流は、模型実験によると、水温差(水温躍層の形成)や地球自転(コリオリの力)が形成要因であることが琵琶湖研究所で解明された。

吹送流とは、風による接戦応力が引き起こす風下方向への流れをいい、風速の約3.5%の速度で流れると言われており、風が止めば流れは消える。

補流とは、流体の連続性によって発生する流れであり、河口部等の流れがこれに当たる。

最後に湖浜流について説明する。湖浜流には、汀線と平行方向の流れの「沿岸流」、沖側への流れの「離岸流」、波による「質量輸送の流れ」の3つが考えられている。これらは複雑に絡み合いながら流れを形成し、湖岸侵食に影響を与えている。

図3-3に湖浜流の模式図を示すが、これらの流れについて簡単に説明する。

(1) 波の質量輸送 (mass transport due to waves)

水粒子は波の進行方向に少しずつずれながら、かつ偏平な楕円運動をしながら運ばれている。この現象を質量輸送といい、この質量輸送速度は静水面付近および水底上は波の進行方向に生じ、その中間部分は逆方向であることがわかっている。この速度分布を示したものが図3-4である。

この影響で湖底の砂は岸側へ、水深の中間層に浮かぶ細かい浮遊砂は沖の方へ運ばれる。

また、水面に浮いたゴミが陸上に打ち上げられるのもこの流れによるものといえる。

(2) 沿岸流 (longshore current)

波が浜に対して斜めに入射してくると、ある地点で碎波する。このとき波の持つエネルギーは沿岸方向に分散して流れを引き起こすが、これを沿岸流と言っている。沿岸流の最大流速は碎波点のやや岸側に生じることが試算されている。

(3) 離岸流 (rip current)

砂浜に來襲する波の碎波波高は汀線方向に一様ではないため、碎波帯内に輸送された水分子は、ある位置から幅が狭くて流速の大きい離岸流によって冲向きに流出することが確認されている。離岸流の発生間隔は、碎波帯幅の2～6倍程度であることが理論的に説明されている。

なお、離岸流は、岬(岩礁)や構造物の周辺などに現れ、その流速は大きい時には、 1 m/s 以上にもなることから水泳客等にとっては非常に危険な流れである。

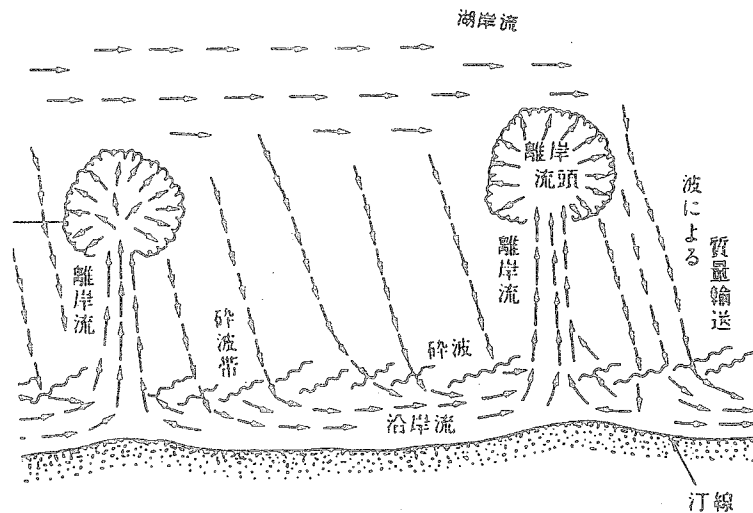


図3-3 湖岸近傍の流れ

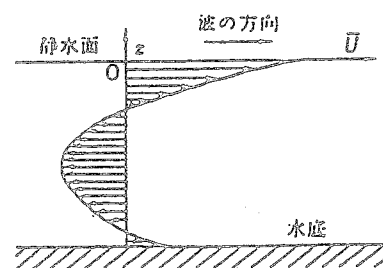


図3-4 質量輸送速度の分布

3-1-4 漂砂 (sand drift 又は sediment transport) と底質

(1) 漂砂

浜を形成している底質が、波や流れによって移動する現象またはその底質そのものを漂砂という。漂砂は一般には波によって浮遊し、流れによって輸送されるが、波高が小さく底質粒径が大きい場合には、浮遊せず湖底近傍を滑動して移動する。前者を浮遊漂砂、後者を掃流漂砂という。砂波帯では、細かい砂は砂波による乱れによって容易に浮遊するが、粒径が大きくなると掃流漂砂の形態をとって輸送される場合が多い。

また、漂砂は沿岸漂砂 (longshore sediment transport) と岸沖漂砂 (cross shore sediment transport) に分けて取り扱うことが多いが、どちらも前述した沿岸流や離岸流と密接に関係している。さらに、岸沖漂砂は台風等の高波浪時における短期的な地形変化をとらえるために、また、沿岸漂砂は長期的な変形を扱うために用いられるものである。

なお、漂砂の力学的機構の研究が現在も進められているが、残された問題は多く、今なお完全には解明されていない。

(2) 底質(砂)特性

一般的に砂浜の岸沖方向の粒径分布は、粒径の大きいところが2つ現れる。一つには最終碎波地点、もう一つは前浜の中間地点である。このことは、現地の浜で確認でき、波の遡上する区域の境界付近や少し沖合に砂利の区域があることから理解できる。また、前浜勾配が $1/10$ よりも急な浜は急速に粒径が粗くなることもわかっている。

さらに、ポケットビーチのような漂砂系が閉じた(砂が動かない)閉漂砂湖岸とそうでない湖岸(開漂砂湖岸)とでは、おなじ底質粒径であれば、一般的に前者の方が前浜勾配は急になる特徴がある。

3-2 湖岸保全計画

湖岸保全計画は、施設計画のための基本的事項の検討（施設基本計画）を行い、続いて具体的な侵食対策計画を策定することが基本的な流れである。湖岸保全対策のフローを図3-5に示す。

風浪災害として災害復旧事業を実施する場合には、湖岸保全計画における「計画」を「被災」に読み替えて対応することになる。フロー図においても同様である。

以下に示すように風浪特性や現場特性等を調査（基本的事項の検討）し、対象区域の自然環境や景観等に配慮した侵食対策計画を策定するものとする。

(1) 基本的事項の検討（施設基本計画）

対象地域における計画外力として、計画水位を設定して沖波波高等の推算を実施し、現在の浜における基本打ち上げ高を算定する。さらに、施設計画に対する計画打ち上げ高や遡上高を算定し、施設の計画天端高、計画汀線を設定する。

琵琶湖岸の場合、湖岸堤の高さはB. S. L+2.60 mであり、この高さ以下に計画打ち上げ高を設定する必要がある。

(2) 侵食対策計画

波浪による湖岸の侵食が進行するか又は進行が予想される湖岸においては、侵食対策計画を策定するものとする。

侵食対策の立案に際しては、対象湖岸の侵食機構の解明が最も重要である。湖岸の侵食原因を明らかにした上で、対策工法の種類、組み合わせ、配置などについて検討する。また、砂浜では対策工法により目標とする計画汀線の維持が可能かどうかについて湖浜変形の予測に基づいて評価する必要がある。

(3) 追跡調査と計画の修正、追加

侵食対策計画の立案から実施計画策定、実施設計を経て、最終的に工事が完了した後も、追跡調査を実施することが重要である。

計画汀線の維持が可能か、あるいは隣接浜への影響が出ないか等について調査し、影響があると判断されるときには、施工された構造物等を有効に利用（取り壊すことなく）しながら、新たな対策を講じる必要がある。

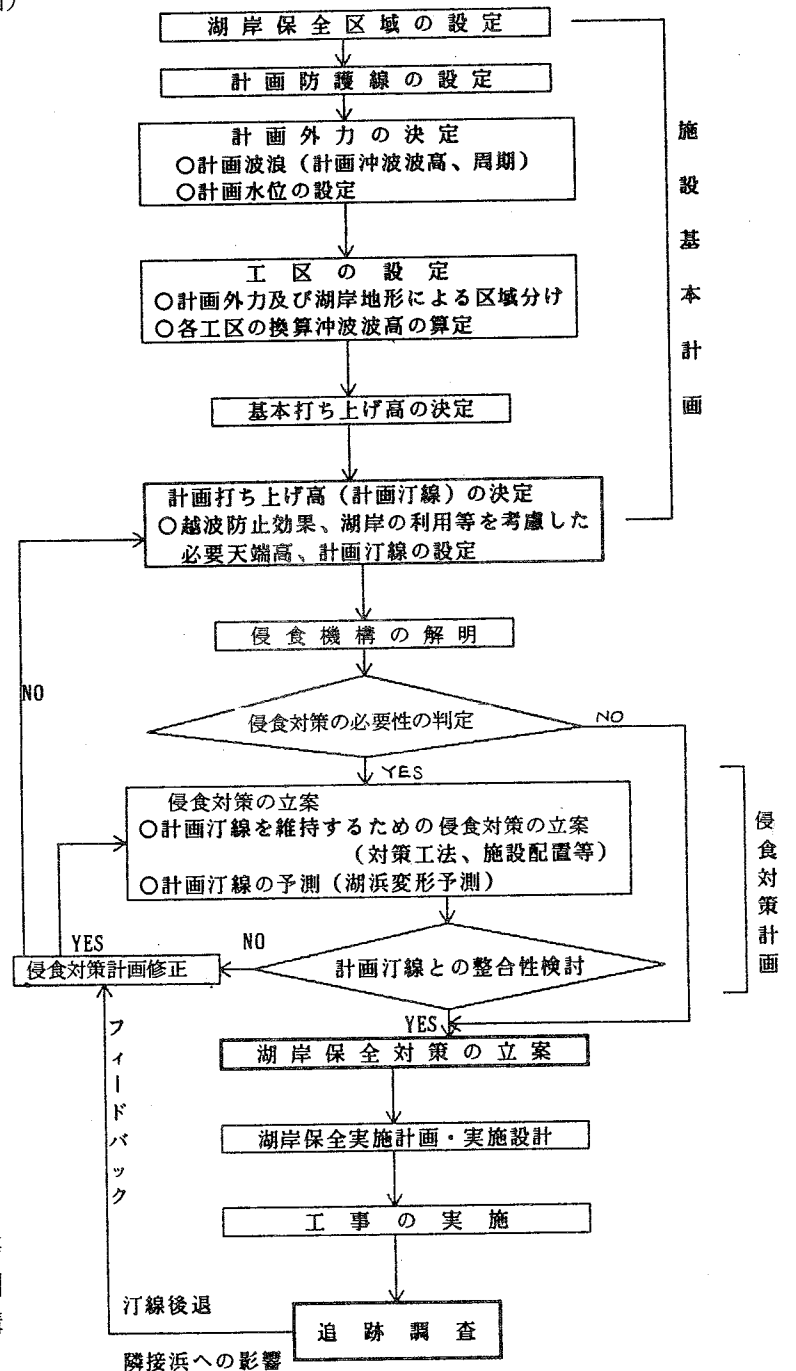


図3-5 湖岸保全対策のフロー図

3-3 計画の基本方針

3-3-1 侵食対策において配慮すべき項目

湖岸保全対策を講じる場合、砂浜の復活や背後地施設の被災を防止するのは当然のことであるが、琵琶湖の自然環境や漁業等の利用、施工性等についても総合的に検討し、計画・設計に反映させることが重要である。

(1) 利用、景観面における良好な湖浜空間の復旧

各湖浜とも、その多くは水泳場で毎年数多くの水泳客が訪れており、背後は松林が林立し、湖浜の砂浜とともに白砂青松の良好な景観を醸し出してきた。このため、各湖浜の利用、景観面における良好な湖浜空間の復旧を図るため、利用、景観面に配慮した計画とする。

(2) 周辺湖浜保全への配慮

湖浜構造物の設置にあたり、周辺環境に与える影響を考慮する必要があるが、このうち湖浜構造物を設置したために沿岸漂砂を阻止し、漂砂系下手側に新たな湖浜侵食が生じることがある。したがって、周辺湖浜保全への影響として、漂砂系下手側の湖浜に対して十分配慮する。

(3) 周辺漁業への配慮

各対象湖岸及び沖合では、多くの追いさで漁やエリ漁が行われている。したがって災害復旧にあたっては、周辺漁業へ影響や漁場の保全に配慮する。

(4) 流入河川計画への配慮

河口閉塞等治水上悪影響がでないよう流入河川の河口処理計画との整合性に十分配慮する。

(5) 経済性、施工性への配慮

復旧計画は、事業費、工事中の施工性、施工期間等に配慮して策定する。

これらを表3-1に整理する。

表3-1 湖岸保全対策において配慮すべき項目

| | 基本方針 | 考慮すべき事項 |
|---|----------------------|----------------------------------|
| 1 | 利用、景観面における良好な湖浜空間の復旧 | ◦利用、景観面に配慮した施設形態 |
| 2 | 周辺湖浜保全への配慮 | ◦漂砂系下手湖浜の保全 |
| 3 | 周辺漁業への配慮 | ◦周辺漁業への影響や漁場の保全 |
| 4 | 流入河川計画への配慮 | ◦対象区域の流入河川の河口処理・河道計画 |
| 5 | 経済性、施工性への配慮 | ◦経済性、施工性、施工期間 ◦材料の入手が容易であること。 |

3-3-2 湖岸保全対策の設置条件

- 砂浜等の維持や回復のためには、河口部等からの漂砂の供給が必要であるが、長期的には、現在の供給土砂量以上を期待することが不可能と予測されるため、今後も継続的に侵食は進行すると考えられる。したがって侵食を抑制するため施設設置が必要となる。
- 背後地の侵食防止や越波防止に対しては、浜の利用や景観上から養浜（復旧盛土）による砂浜の造成が最も有効と考えられる。
- ただし、養浜（復旧盛土）した砂が、沿岸漂砂により流出することを防ぐ必要がある。特に、前節で説明したとおり琵琶湖では漁業、景観、利用等、配慮すべき条件が多いことから大規模な施設の設置は好ましくなく、できるだけ配置間隔を広くかつ突き出し延長が短い、たとえばヘッドランド工法に似たものを配置することが望ましい。
- 琵琶湖における波浪が外洋に比較して小さい（1/5～1/7程度）ことからヘッドランド機能に期待した構造物として突堤を配置することも有効と考えられる。
- 沖出しする突堤等の先端は、琵琶湖の常時満水位（B.S.L+0.30）から突出さないよう配慮する（実績としてはB.S.L.+0.40）ことが望ましい。

- ・ 突堤の沖出長を長くすることが景観等の条件から難しいため、設置区間を広くした場合には、必要な前浜幅の確保が困難な状況が生じる。特に、著しい崩落により大きな浜崖が生じた区域や洗掘により樹木の倒壊が生じた区域、またはそれらの危険性が高い区域については、養浜（復旧盛土）のみでは再度災害のおそれが懸念されるため、緩傾斜護岸を最小限度配置して法面保護を含めた湖岸線の保持に心がけ、全体として面的防護を図るものとする。
- ・ 突堤や緩傾斜護岸等の法面勾配は、反射波の軽減が期待できる3割勾配以上とすることが望ましい。
- ・ 現在、海岸等で用いられている侵食対策工法を別表3-2に示す。
漂砂の制御、砂浜の保全、背後地の侵食防止を兼ね備え、自然環境や景観形成上も最適と考えられる対策工法を選択することが重要である。

3-4 計画波浪

当該湖岸の波浪は、計画水位および風速をもとに、北湖についてはS.M.B.法、南湖については、ブレッドシュナイダー法によって算定を行い、浅水域においては、屈折等の浅水変形を考慮して計画地点の波浪を算定する。なお、計画波浪（推定波浪）は、有義波を用いる。

〔解 説〕

(1) 一般

湖の波は、海岸と同様に不規則な波形をしており、一般にはこれを統計処理した代表波として表示される。計画に用いられる有義波を含めた代表波を以下に示す。

① 最高波（ H_{max} 、 T_{max} ）

ある波群中で最大の波高を有する波をいう。

② 1/10最大波（ $H_{1/10}$ 、 $T_{1/10}$ ）

ある波群中で波高の大きい波から数えて全体の波数の1/10の数の波を選び出し、それらの波の波高および周期の平均を求めたとき、平均値に等しい波高、周期を有する波をいう。

③ 有義波（ $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ ）

ある波群中で波高の大きい波から数えて全波数の1/3の波を選び出し、それらの波の波高および周期の平均を求めたとき、平均値に等しい波高、周期を有する波をいう。

④ 平均波（ \bar{H} 、 \bar{T} ）

ある波群中に含まれる全ての波の波高および周期より平均値を求めたとき、平均値に等しい波高、周期を有する波をいう。

・波向（風向）

湖岸堤防や護岸へのうちあげ高や越波量、および施設の耐波安定性などにおいては、湖岸構造物に対しほぼ直角方向から来襲する波が最も大きな影響を与える。一方、湖浜変形の面からは湖岸線に対する斜め入射角度が大きいほど沿岸漂砂量が多くなるので、入射角の大きい波ほど重要である。したがって波向についてはこうした点についてよく整理した上で定める必要がある。一般に、海岸域の浅海域では波は屈折し、砕波点付近の波の入射角は湖岸線に立てた法線に対して高々 $\pm 20^\circ$ 以内となるのに対し、琵琶湖等の湖水域では、対岸距離（フェッチ）が海岸域に比べ小さく発生する風波の周期が短く浅水域でもほとんど屈折等の影響を受けないため風向きと波向が同じ場合も数多く発生するため、砕波点付近の波の入射角は湖岸線に立てた法線に対して $\pm 90^\circ$ 以内と幅が広く、卓越波向の決定においてはその精度について十分考慮することが必要とされる。

表3-2 各種保全対策工法の概要と琵琶湖湖浜への適用性

| 各種保全対策工法 | | | 琵琶湖湖浜への適用性 | | | | | 総合評価 |
|-------------------|---|--|------------------------------|------------------|--|---------------|------------------------------|--------------------------------|
| 名称 | 特徴 | 事例 | 湖浜の保全 | 周辺湖浜保全 | 漁業への配慮 | 流入の配慮 | 経済性、施工性の配慮 | 総合評価 |
| 離岸堤工法 | 離岸堤は、汀線より沖の方向に築かれてほぼ海岸線と平行に設ける一文字堤構造物である。 機能としては離岸堤背後の静穏域で漂砂の移動を阻止し汀線の維持・砂浜(トンプロ)を形成させ前浜の前進を図る。 | 全国的に多数実施 | 主な漂砂帯は、水深1.5mまでのため、遠浅湖浜では有効。 | 配置、線路を通正に行うことが条件 | 沖合に設置するため若干影響あり | 配置を適正にすれば問題なし | 湖浜にした場合に、消波効果をもたらすには事業費大となる。 | 静穏域の確保、前浜の保全では機能的に有効である。 |
| 突堤工法 | 突堤は、一般に汀線からほぼ直角方向に沖側に向かって設けられる構造物である。 機能としては沿岸漂砂を阻止して突堤上手に砂浜を形成させる。 | 全国的に多数実施 | 突堤間隔を短く配置する。 | 配置、線路を通正に行うことが条件 | 突堤を適正にすれば問題なし | 配置を適正にすれば問題なし | 若干事業費大 | 間隔が狭いと突堤間隔、利用面で問題がある。 |
| ヘッドランド工法(長間隔突堤工法) | ヘッドランド工法は、人工的にヘッドランド(岬)を任意の間隔に設置し、その間の沿岸漂砂の卓越する海岸を消的、動的に交互させる手法である。 ヘッドランドを大規模離岸堤で形成するタイプ(シルベスター型)と突堤で形成するタイプがある。今回は突堤で行う。 | (シルベスター型) シンガポール 2件 (突堤型) 湘南海岸 大野島海岸 2件 | 突堤間隔を適正に設置する。(突堤に比べて間隔は長い) | 配置、線路を通正に行うことが条件 | ヘッドランド間隔を長くすれば問題はないが、ヘッドランド型は少くないが、浜が形成される | 配置を適正にすれば問題なし | 比較的事業費は小さい | 間隔を広く設置し、突堤工と組み合わせると防砂効果が望ましい。 |
| 縦横斜堤工法 | 縦横斜堤工法は、海岸の侵食を遅くし、組度等により波の反射率を低減させる。 | 全国的に多数実施 | 湖浜線の維持が可能であるが、堆砂は確しい | 縦横斜堤に工夫が必要。 | 利用、景観面で配慮が必要 | 配置を適正にすれば問題なし | 事業費が大 | 海岸線の防砂としては最も確実、単独採用は不可 |
| 人工リーフ工法 | 人工リーフ工法は、消波に人工的なリーフ(岩場)を設け水圧を低くして波の砕波を促進し、入射波を減衰させるものである。また、岸沖漂砂の移動を抑制し、さらには漂砂の流出を防止し一定量の漂砂を確保する目的をもった設置される場合もある。 | 新潟海岸 他10件程度 | 人工リーフのような小エネルジーの少ないところでは不適 | 配置、線路を通正に行うことが条件 | 沖合マリンスポーツ等に制約を受ける。 | 配置を適正にすれば問題なし | 事業費大 | 事業費、漁業等に問題あり |
| 養浜工 | 養浜の利用、あるいは防波堤前浜の必要区間が明確にされている場合、人工的に土砂を投入し、利用を促進する。 | 二色の浜 他多数 海岸環境整備事業で多数実施 養浜の浜で実施 | 必要な養浜砂の確保は必要だが、堆砂は確しい | 配置、線路を通正に行うことが条件 | 浜幅が拡大し、利用、景観上好 | 配置を適正にすれば問題なし | 比較的事業費小 | 前浜創成に対し、最も確実である。養浜砂の確保が必要。 |
| サンドバypass工法 | 構造物の漂砂上下流で供給土砂の連続性を保つため、人工的に土砂を移動させる方法である。 | 天の橋立 1件 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | 琵琶湖湖浜では維持管理面等の対応で難しい |

(2) 計画波の決定

計画波の推算フローは、一般に図3-6の手順で行う。

a) 換算沖波

換算沖波は、沖波に波の屈折・回折など平面的な湖底地形変化の効果を補正することにより、うちあげ高、越波等に関する実験結果を利用できるようにする仮想的な波であり、有義波高で表される。換算沖波波高の算定には、原則として微小振幅波理論を用いる。設計対象地点の換算沖波波高は次式で与えられる。

$$H'_0 = K_d K_r H_0 \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、 H'_0 ：換算沖波波高、 H_0 ：沖波波高、 K_d ：回折係数、 K_r ：屈折係数である。

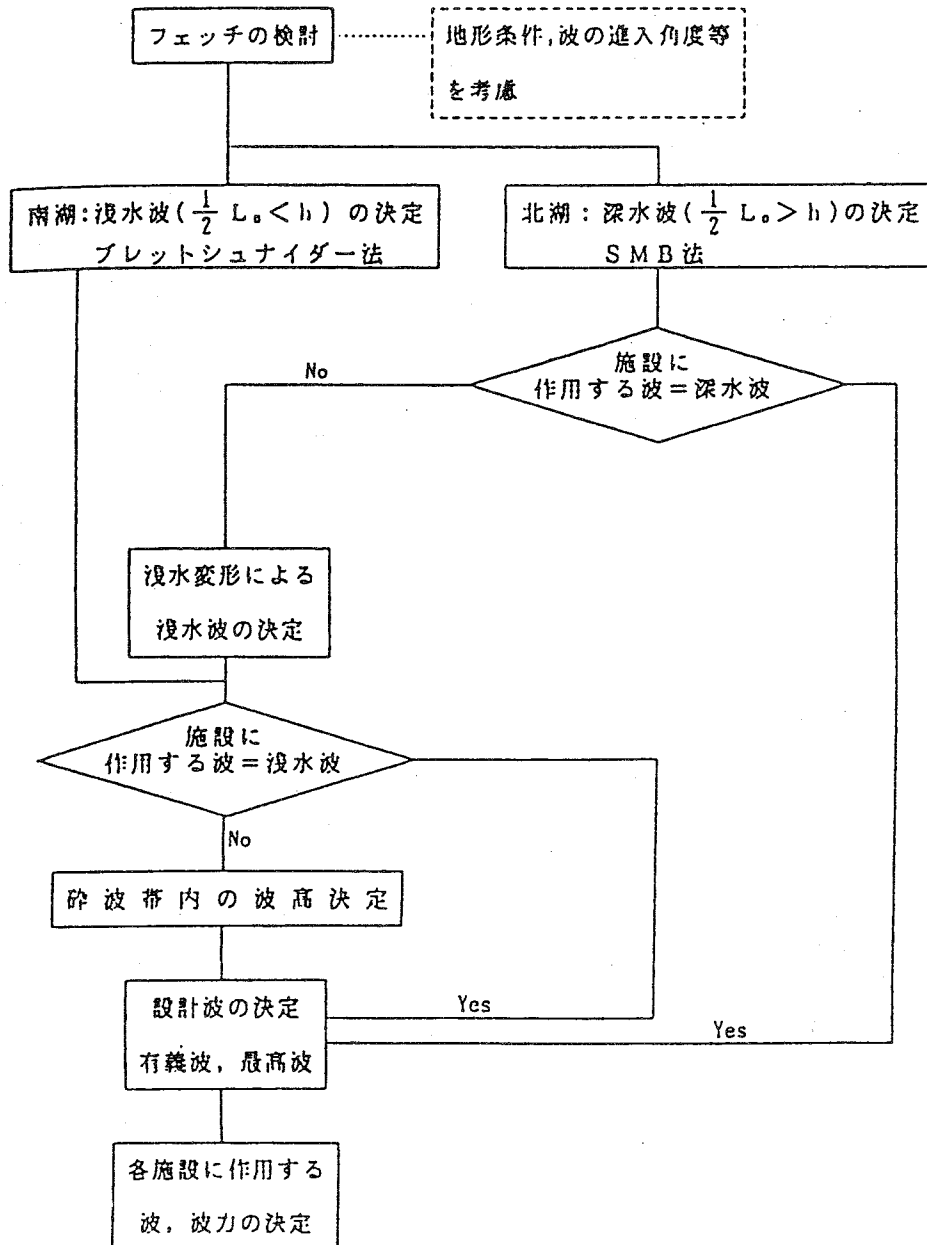


図3-6 計画波の推算フロー

(3) 沖波の推算法

強風時において、北湖は、式(3.2)～(3.4)で示すS.M.B.法、南湖については、図3-7で示すブレットシュナイダー法で浅水域の計画波浪の推算を行う。

S.M.B.法 (willson)

$$\frac{g \cdot H_{0.1/3}}{u^2} = 0.3 \left[1 - \left\{ 1 + 0.004 \sqrt{\frac{gF}{u^2}} \right\}^{-2} \right] \dots\dots\dots \text{波高} \quad (3.2)$$

$$\frac{g \cdot T_{3/1}}{2 \cdot \pi \cdot u} = 1.37 \left[1 - \left\{ 1 + 0.008 \sqrt{\frac{gF}{u^2}} \right\}^{-5} \right] \dots\dots\dots \text{周期} \quad (3.3)$$

$$L_{0.1/3} = 1.56 T_{1/3}^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに、

- $H_{1/3}$: 沖波有義波高 (m) g : 9.8 (m/s²)
- $T_{1/3}$: 沖波有義周期 (m) F : Fetch (m)
- π : 3.1416 (円周率) U : 風速 (m/s)

ただし、彦根観測所の風資料を計算に用いる際には、彦根観測所の観測陸上風と湖上風の対応は、湖上風 = 1.13 陸上風^{*)}より、観測値を1.13倍して取り扱う。なお、以上の検討は、主として構造物の安定計算に用いる計画沖波浪の算定方法を示したが、湖岸保全対策においては、施設の堆砂機能等の検討が必要となり、この場合、各保全施設に対応した波浪を用いるものとする。この中で、堆砂機能については各計画地点における推算波浪の年間上位5波平均波浪(1/5最大波高)と、水位については、平水時B.S.L.±0mを用いることとする。

*)「山口正隆・土屋義人・芝野照夫：波浪の極値統計に関する一考察」、第25回海岸工学講演会集、1978、pp.70-74

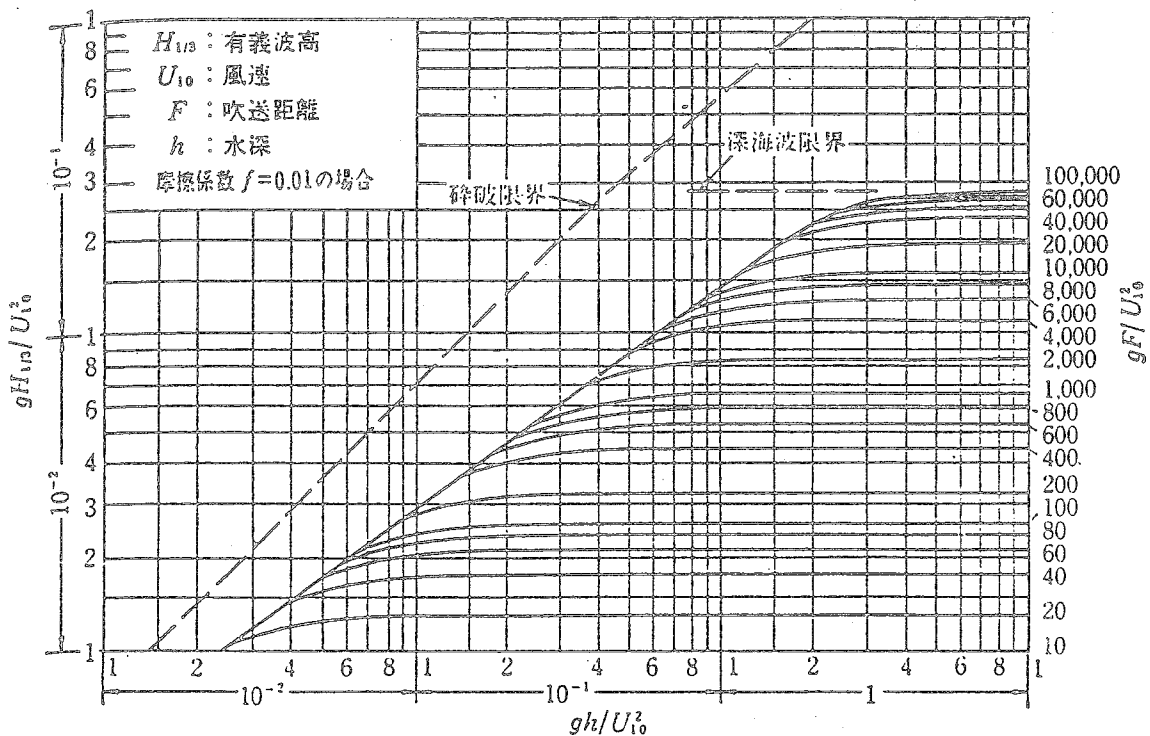
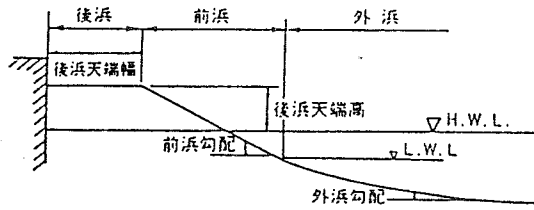


図3-7 一定水深の場合の浅水波高と水深および風速の関係 (ブレットシュナイダー法)

3-5 養浜計画

養浜計画で必要となる計画諸元は以下の項目である。

- ①養浜（後浜）天端高さ ②前浜勾配 ③養浜（後浜）天端幅 ④養浜材料



| | |
|----|-------------------------|
| 沖浜 | 砕波点より沖側の部分 |
| 外浜 | 砕波点から干潮時の汀線までの間 |
| 前浜 | 干潮時の汀線から波が浜に這い上がる上限までの間 |
| 後浜 | 前浜の陸側端より陸側の部分 |

(1) 養浜（後浜）天端高、前浜勾配の推定

計画的に養浜を行う際の断面形状を与える推定公式を表3-3に示す。

・後浜天端高

どの公式も提案者の経験から求められたものであることから、計算値は等しくなるとは限らないので、まず現況の前浜高さ（浜崖の法先高等）を計画高の第一条件として、推定公式は計画高のバックデータ程度とする必要がある。

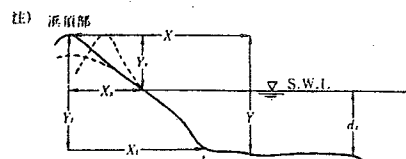
・前浜勾配

琵琶湖岸の前浜勾配は平均値に概ね1/10程度である。

表3-3 断面形状を与える推定公式（経験式）

| 断面形状の諸元 | レクターの提案 | スワートの提案 | 砂村の提案 |
|------------------|---|--|---|
| 後浜高 Y_e | $Y_e/L_0 = 0.18(H_b/L_0)^{0.8}$ for $H_b/L_0 < 0.018$ $= 0.024$ for $H_b/L_0 \geq 0.018$ (図3.18) | $Y_e/M_{50} = 7644 - 7706 \exp A$ $A = (-0.000143 \frac{H_b^{0.002} T^{0.002}}{M_{50}^{0.002}})$ (図3.21) | $Y_e = 1.1 H_b$ |
| 前浜勾配 Y_f/X_f | $Y_f/X_f = 0.3(H_b/L_0)^{-0.3}$ $(M_{50}/L_0)^{0.2}$ $Y_f/X_f = 0.07(H_b/L_0)^{-0.42}$ $(M_{50}/L_0)^{0.1}$ (図3.19) | | $\tan \beta = 0.45(M_{50}/H_b)^{0.3}$ $(H_b/L_0)^{-0.2}$ |
| 地形変化の沖端の水深 d_s | $d_s/L_0 = 3.5(H_b/L_0)(M_{50}/L_0 \times 10^4)^{-0.75}$ (図3.20) | $d_s/L_0 = 0.0063 \exp B$ $B = 4.347 \frac{H_b^{0.472}}{T^{0.451} M_{50}^{0.002}}$ (図3.22) | |
| 備 考 | ○模型実験データによる関係式、実験のスケールは小さく、データの信頼度は低い | ○模型実験および現地データに基づく関係式、実験スケールは大きいものも含まれている | ○現地データに基づく関係式 ○ $\tan \beta$ は小さすぎる値を与える傾向がある |

ここに、 H_b 、 L_0 ：沖波の波高と波長、 M_{50} ：底質の中央粒径、 $\tan \beta = Y_f/X_f$ ：前浜勾配
 Y_e 、 X_e 、 Y_f 、 X_f 、 d_s については注)参照



注) 浜前部

(2) 養浜天端幅（後浜天端幅）

養浜天端幅は、波の遡上（打ち上げ高）が背後地の地盤高以下となる長さ（幅）を基準として決定する。琵琶湖においては湖底勾配が1/30よりも緩いことが多いので、波の打ち上げ高は、中村らの改良仮想勾配法によるものとする。湖底勾配が急な場合にはサビールの仮想勾配法を使用の方がよい。

・改良仮想勾配法

改良仮想勾配法による打ち上げ高の計算手順は、次のとおりである。

次頁以下に計算例を示すので今後の参考とされたい。

- (1) 入力波に対して碎波水深 h_b を求める。
- (2) うちあげ高 R を仮定し、 $\cot \alpha$ を求める。
- (3) 入力波の沖波波形勾配 H_0' / L_0 とのり面勾配 $\cot \alpha$ から、図3-8を用いてうちあげ高 R を求める。
- (4) 仮定したうちあげ高と算定図から求めたうちあげ高が一致するまで、うちあげ高を種々変えて繰り返し計算する。

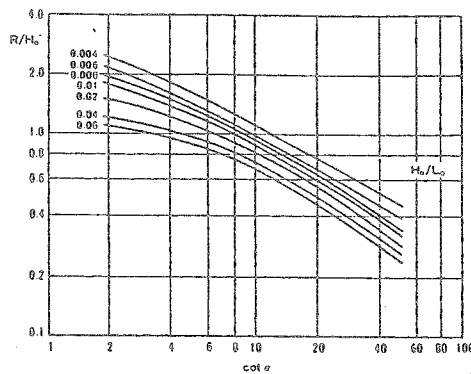


図3-8 改良仮想勾配法によるうちあげ高算定図（中村ほか）

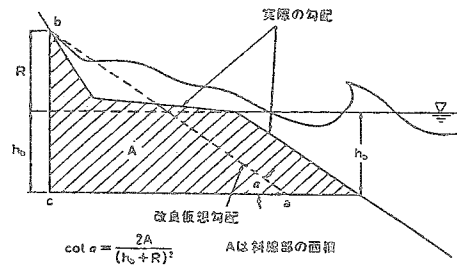


図3-9 改良仮想勾配法の考え方

(3) 養浜材料

養浜材料の材質は、湖浜の安全性、周辺環境に及ぼす影響を考慮して決定する必要がある。

表3-4 養浜材料としての底質の粒度組成に要求される特性

| 要求事項 | 底質の粒度特性 |
|---------|-------------------|
| 砂浜の安定 | 一般に粗い方がよい |
| 湖浜勾配 | 粗いほど急になる |
| 湖浜の浄化機能 | 泥質にならない程度に細かい方がよい |
| 利用者の感触 | 泥質でない程度に細かい方がよい |

湖浜の浄化機能、利用者の感触等を考慮すると一般に粒径は細かい方がよいが、現湖浜の粒径より細くなると砂浜の安定上問題が生じることとなる。

以上より養浜（復旧盛土）の砂質は、砂浜の安定、湖浜の浄化機能および利用者の感覚を考慮し、また、現在各湖浜とも水泳場であるため、現況粒径が望ましい。さらに中央粒径は1~2mm程度であり充分供給可能であり、原則として、現湖浜の砂浜粒径程度以上を用いることとする。

さらに、魚介類の生息環境を考慮し、レキ系材を混合することもある。

【うちあげ高の計算例（改訂海岸保全施設築造基準解説 P.143～p.144）】

以下の図番号等は、原文のまま

① うちあげ高の算定法

波のうちあげ高は2.2.7.に示す算定図またはサビール (Saville) の仮想勾配による方法か、中村らによる仮想勾配の修正方法によって求める。この両者の計算結果を比較すると、サビールによるものが一般に小さな値を示している。

② うちあげ高の算定例

仮想勾配法による計算例を以下に示す。図-3.2.3 はA海岸の断面図であり堤防の表のり勾配を1:2とする。計算条件は次のとおりである。

沖波としての波高； $H_0 = 6.5 \text{ m}$

沖波としての周期； $T = 12 \text{ sec}$

波向 ； ENE

潮位 (H. H. W. L) ； T. P. + 1.43 m

同海岸について屈折図を書き、碎波水深（ほぼ10 m）付近の屈折係数を求める。

この場合、 $K_r = 0.845$ である。

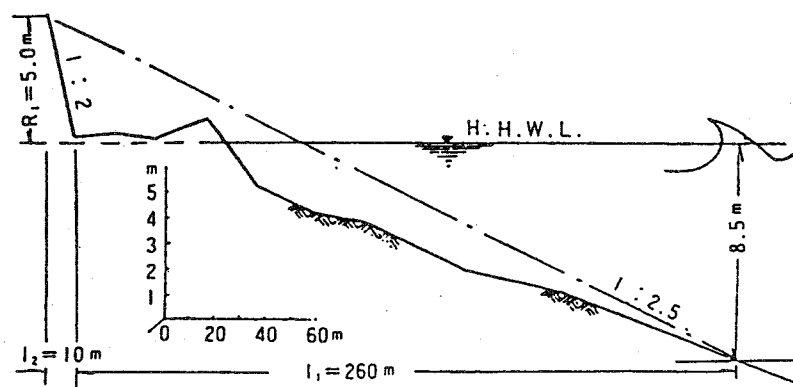


図-3.2.3 A海岸断面図

したがって換算沖波波高は、 $H_0' = K_r \cdot H_0 = 5.55 \text{ m}$ となり、 $L_0 = 1.56 T^2 = 225 \text{ m}$ 、 $H_0' / L_0 = 0.025$ であるから、図2.2.46を用いて $h_b / H_0' = 1.53$ 、したがって $h_b = 8.5 \text{ m}$ となる。図より碎波点から堤脚までの距離は $l_1 = 260 \text{ m}$ である。

最初にうちあげ高 $R_1 = 5.0 \text{ m}$ と仮定すると $l_2 = 5.0 \times 2 = 10 \text{ m}$ となりこのとき、仮想勾配は

$$\cot \alpha = \frac{l_1 + l_2}{h_b + R} = \frac{260 + 10}{8.5 + 5.0} = 20 \text{ である}$$

図-2.2.82 の中村らのうちあげ高曲線を用いると $R / H_0' = 0.53$ を得、 $R = 2.94 \text{ m}$ となる。この値は仮定値 $R_1 = 5.0 \text{ m}$ と異なる。よって次のうちあげ高を $R_2 = 2.94 \text{ m}$ として同様の計算を行うと次のとおりである。

$$\cot \alpha = \frac{265 + 2.94 \times 2}{8.5 + 2.94} = 23.2$$

$$R / H_0' = 0.49, R = 2.72 \text{ m}$$

同様の操作を繰返し、仮定値 R_0 と R が一致したときの R がうちあげ高となる。この場合、 $R = 2.5 \text{ m}$ (T. P. + 3.93 m)を得るが、サビールのうちあげ高曲線を用いれば、 $R = 1.25 \text{ m}$ (T. P. + 2.68 m)となり、サビールによる場合は、中村らによる場合より小さな値を与える。

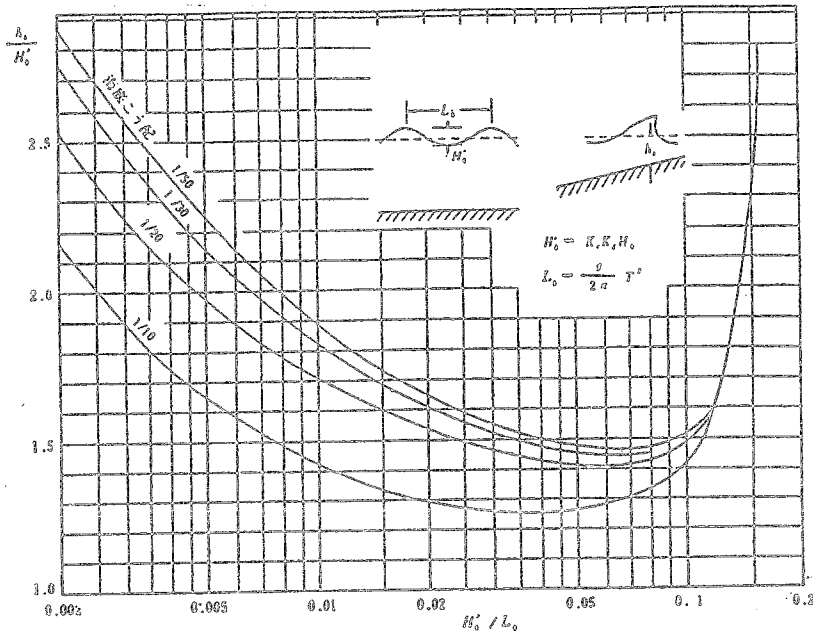


図-2.2.46 波形勾配と碎波水深との関係

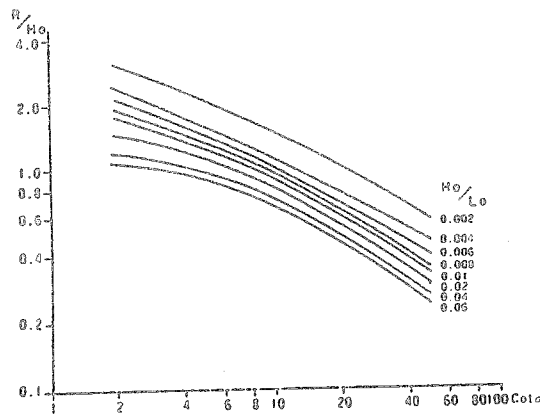


図-2.2.82 改良仮想勾配法によるうちあげ高曲線
(中村、佐々木、山田)

3-6 施設計画

湖岸保全対策施設のうち突堤および緩傾斜護岸、ヘッドランドについて配置計画、構造計画の基準を示す。

3-6-1 突堤計画

(1) 突堤長 (l)

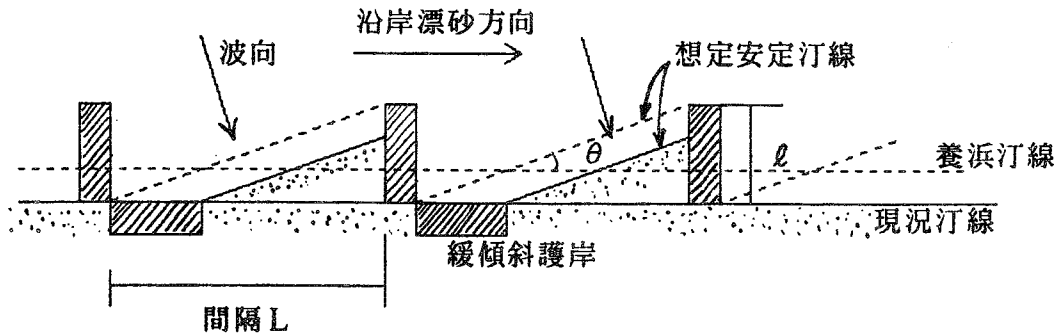
原則として漂砂の移動限界水深まで考慮する。ただし、河口部近傍など、突堤が直接漂砂下手側へ影響を与える場合は、漂砂移動状況を検討の上設定する。

(2) 突堤間隔 (L)

次図を原則として配置間隔を決定する。

- ・ 基本的には現在の汀線よりも後退しない防護線を想定するものとする。
- ・ 河口処理が必要な箇所や汀線形状が変化する地点（地形的に硬い部分がある地点や砂の移動を止めている地点）等が突堤を最初に設置すべき箇所となる。
- ・ 深海域からの屈折計算結果等により求めた碎波角（汀線となす角度 θ ）から法線方向に安定汀線を想定し、突堤長 l と θ の関係式 (3.5) より設置間隔 L を算出するものとする。

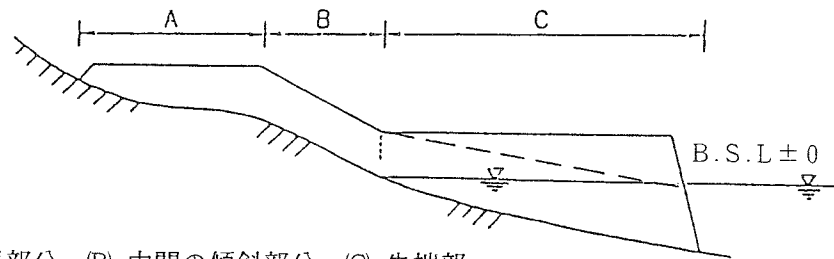
$$\tan\theta = \ell / L \quad \dots\dots\dots (3.5)$$



・養浜砂量が少ない場合は、安定汀線形成後、現状汀線より後退する箇所がでてくるため、その箇所については緩傾斜護岸を設置するか又は想定汀線の形状になるまで養浜量を増やす必要がある。

(3) 天端高

突堤の天端高は、図3-10に示すように、3つの部分に分けて計画するものとする。



(A) 陸側の水平部分、(B) 中間の傾斜部分、(C) 先端部

図3-10 突堤の天端高

(A) 陸側の水平部分

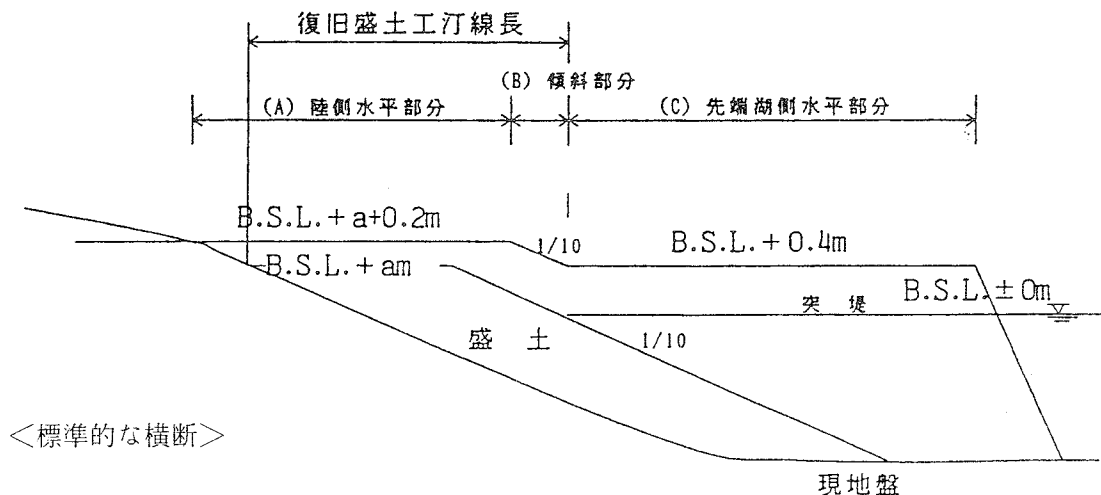
陸側水平部分については、一般海岸では、原則として設計波浪が越波しない程度の高さとするが、琵琶湖岸においては、基本的には養浜（復旧盛土）の流出防止等を考慮して、復旧盛土高天端高+0.2mとする。

(B) 中間の傾斜部分

原則として前浜勾配（養浜勾配）に平行（一般的には1/10）とする。

(C) 先端の湖部分

先端は、捕足すべき漂砂の量、突堤の透過性、波力等を検討して決定する。琵琶湖の常時満水位は、B.S.L.+0.3mであり、突堤先端部をこの水位以上とし、航行の安全等を図るため10cm程度の余裕を考慮して、B.S.L.+0.3+0.1m≒B.S.L.+0.4m以上とすることを原則とする。



(4) 天端高

突堤の天端幅は、利用面（車両等の進入防止等）や琵琶湖の施工事例（萩の浜等）から2.0～3.0m程度とする。

(5) 方向

波向の変動や経済性を考慮して、原則的に汀線と直角方向に伸ばすものとする。ただし、漂砂の域外流出防止や利用上から止むを得ず向きを変えたり曲線等に伸ばす場合は、波高の変化や水質汚濁に注意する必要がある。

(6) 法面勾配

突堤の堤体の法面勾配は、安全な利用や波の遡上抑制、反射波の防止等を考慮して、原則として緩勾配（3割以上）とする。

(7) 堤体材料

堤体の被覆材料は、原則として、琵琶湖の自然環境、景観に配慮したものであることはもちろんのこと水辺の水生植物の生息により空隙等を有するものであることが重要であろう。湖岸では一般的に自然石を用いることが多い。

被覆材料の重量算定には、以下のハドソン公式を用いるものとする。

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{KD \cdot \cot \alpha \cdot (\gamma_r / \gamma_w - 1)^3}$$

W : 被覆材料の最小重量 (t)

γ_r : 被覆材料の空中単位体積重量 (t/m³)
自然石の場合 2.6 t/m³

γ_w : 水中単位体積重量 (1.0 t/m³)

α : 法面が水平となす角度 (3割法勾配の場合 $\cot \alpha = 3$)

H : 設計計算に用いる波高 (m)

KD : 被覆材料によって定まる定数 (下表参照)

ハドソン公式による必要重量に対し、局部的な波の集中や構造物の重要性等から考慮して、5割程度の重量割り増しを行う必要がある。また、隣接区域の保全対策で用いられている材料の所要重量を参考とすることも必要であろう。

なお、被覆材の下に敷く材料の重量は、被覆材重量の1/20以上（港湾の施設の技術上の基準・同解説）を原則とする。

粗石のKD

| 区分 | 層数 | KDの値 |
|--------|------|---------|
| 丸みのある石 | 2層以下 | 2.1～2.6 |
| | 3層以上 | 2.5～3.2 |
| 角ばった石 | 2層以上 | 2.8～3.5 |
| | 3層以上 | 3.1～4.3 |

(8) 沈下に対する検討

突堤の許容沈下量には明確な基準はないが、突発的な沿岸漂砂の発生や波による局部洗掘の影響等から、ある程度の沈下量を勘案し、必要に応じて基礎地盤の置き換えを行うことによって安定を図るものとする。

(9) 端部処理

突堤の沿岸漂砂下手側については、端部の砂の持ち出し流失等が懸念されるため、堤内側への護岸巻き込みや陸側への突堤基部の突っ込み等に配慮すること。

(10) 突堤構造

突堤構造は、場所によって構造物の重要性は異なるため、周辺状況をよく検討し設定する。

突堤の構造例

| | 突堤構造 | 適用 |
|----------|------|--|
| 自然石張突堤 | | <p>堤体の基礎は、中詰め石で構成し、吸出し防止材を施した後、被覆石を敷き詰める。基礎（根入れ）は、移動限界水深まで達しており、非常に強固な構造物である。</p> <p>堤体自体が安定しており安全であるため、水泳場等人が多く集まる場所や浸食対策として非常に重要性の高い場所に適用する。</p> |
| 自然石張突堤 | | <p>不透過構造物とするため、冲向きに鋼矢板等を設置し、その周りに袋詰めの中詰め石を設置後、被覆石を設置する。基本的に現地盤に設置する工法であり、構造的には簡易である。</p> <p>漂砂の下手側では、堤体自体の沈下のおそれがあり、メンテナンスが必要である。石の崩れ等が予想されるため、水泳場等の人が多く集まる場所での設置は、注意が必要である。</p> |
| 木杭中詰め石突堤 | | <p>木杭を設置後、漂砂の下手側に吸出し防止材を設置し、中詰め石を詰める工法である。中詰め石飛散防止のため、上部は中詰め石等の設置が必要である。</p> <p>簡易工法であり、水深の深い場所（B.S.L.-1.0m以深）の設置は構造上困難であるため、補助施設に適用する。また、構造的には安定しており、波の強い場所にも適用できる。</p> |
| 木杭突堤 | | <p>木杭を突堤状に沖側へ設置する工法である。不透過構造物とするため、漂砂の上手側へ吸出し防止材等を設置する。</p> <p>簡易工法であり、水深の深い場所（B.S.L.-1.0m以深）の設置は構造上困難であるため、補助施設に適用する。設置・撤去が容易であり、施工費も安価なため、試験施工等に向いている。</p> |

3-6-2 緩傾斜護岸計画

緩傾斜護岸についても突堤等と同様に、本来の機能とは別に自然環境、景観、親水・利用面等に配慮した機能を有することが重要である。

また、緩傾斜護岸の設置区間と設置していない自然湖岸との接続部分は、沿岸漂砂の不連続性から下手側の侵食が進むこともあり得るため、護岸崩壊の防止対策（巻き込み堤等）と漂砂抑制対策（養浜、突堤等）を、一連の漂砂系の中で検討することが重要である。

(1) 計画天端高

緩傾斜護岸の天端高は、現況の浜に設置した場合のうちあげ高さを基にして決定する。養浜や突堤等により面的に侵食防止を図る場合でも、養浜砂が流失した場合を想定して天端高さを決定するものとする。

天端高＝うちあげ高＋余裕高

ただし、堤内の地盤高よりも高くならないように護岸勾配等を考慮して、天端高を決定する必要がある。

なお、うちあげ高の算定は、中村らの改良仮想勾配法等によるものとする

(2) 根入れ深さ

琵琶湖岸における護岸工の根入れ深さは、近隣施工箇所的事例や過去の施工事例などから1mとする場合が多い。建設省が定めている「緩傾斜堤の設計の手引き」によると海岸でも最低1mは根入れ深さが必要とされている。

(3) 裏込材料と厚さ

河川における緩傾斜護岸工と同様とする。

(4) 被覆石の重量

突堤の被覆材重量と同様とする。

3-6-3 ヘッドランド（人工岬）計画

ヘッドランド工法は、静的に安定した浜を形成する場合において、あらゆる浜のタイプに適用することが可能とされている。この工法の特徴は以下のとおりである。

(1) 長く続く水際線をいくつかのポケットビーチに分割し、浜を安定化させる。

(2) ヘッドランドの先端水深をその浜における地形変化の限界水深とほぼ等しくすれば、ヘッドランドを通過する漂砂をほぼ完全に阻止できる。

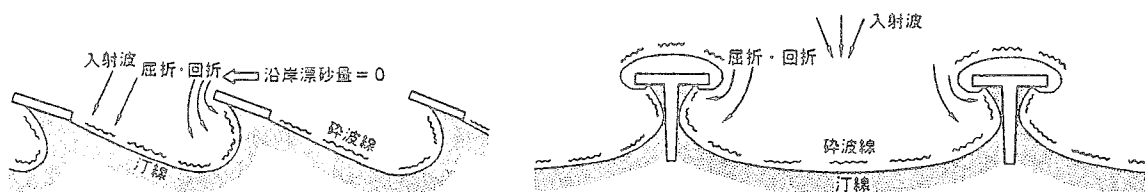
(3) ヘッドランドのヘッド部分が持つ遮蔽効果により、その背後に静穏域を形成させることが出来る。

ヘッドランド工法は土砂供給のとだえた浜を広域にわたって安定化させるのに有効であるが、施工規模が大きく浜の形状も変化することから、その計画・設計に当たっては十分な検討が必要である。

ヘッドランド工法は、形状によって図3-11に示すように非対称型と対称型の2タイプがある。侵食に影響を与える波向きが一定しない場合は、対称型ヘッドランドが有効であると言われている。

ヘッドランド工法の配置計画等については、建設省が平成5年6月に定めた「海岸保全計画の手引き」（既に各土木事務所に配布済）を参考にされたい。

また、堤体の構造計画については、3-6-1の突堤に準じるものとする。



非対称型人工岬による静的な安定海浜の形成

対称型人工岬による静的な安定海浜の形成

図3-11 ヘッドランド工法のタイプ

