

高水位・高波浪重合時の突堤越流に伴う 湖浜変形の現地実測

FIELD INVESTIGATION OF LAKESHORE CHANGE INDUCED
BY OVERFLOW ON GROINS IN HIGH WATER LEVEL
AND ROUGH WAVE CONDITION

西 寫照毅¹・狩野俊男²・宇多高明³・中辻崇浩⁴

Teruyoshi NISHIJIMA, Toshio KANO, Takaaki UDA and Takahiro NAKATSUJI

¹正会員 工修 滋賀県道路公社道路部道路整備課(〒520-0807 滋賀県大津市松本 1-2-1)

²滋賀県土木部河港課(〒520-8577 滋賀県大津市京町 4-1-1)

³正会員 工博 国土交通省土木研究所河川部長(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

⁴(株)建設技術研究所マネジメント事業部(〒540-0008 大阪府中央区大手前 1-2-15)

Field investigation of lakeshore change induced by overflow on the groins was carried out at the Minamihama Beach in Lake Biwa. In this lake, the water level rises and rough waves are generated in winter. During this season, overflow often occurs on the groins, which were installed to stabilize the shoreline, and longshore sand transport occurs at the shoreward end of the groins, inducing beach erosion of the updrift beach of the groin. This situation was investigated by the field measurement.

Key Words : Lake Biwa, lakeshore, longshore sand transport, groin

1. まえがき

近年, 地球温暖化に伴う海面上昇が予測されているが, これによって突堤等の施設の沿岸漂砂阻止機能が低下し, それまで安定していた海浜が急速に侵食されることが危惧される。宇多ら¹⁾は, このような問題について等深線変化モデルを用いた予測計算を行った。しかしそれを検証する現地データは十分ではなく, さらなる検討が必要であった。このことから, 本研究では, このような条件下における突堤の漂砂制御効果の低減について現地実測により検討することとし, 冬季に水位が高く, 同時に高波浪が作用する琵琶湖北湖の南浜を対象として, 突堤周辺の湖浜地形変化について調べることにした。突堤周辺での詳細深浅測量は, 1996年10月, 12月, 1997年3月に行い, これらの実測データを分析し地形変化特性を明らかにする。調査地としては琵琶湖(北湖)の姉川河口に隣接する南浜を選定した。

2. 調査区域の概要と湖水位・波浪条件

調査対象の南浜は, 図-1に示すように琵琶湖(北湖)の北部に流入する流域面積367.8km²の姉川の河口デ

ルタ南側に広がる延長約0.7kmの湖浜である。図-1には南浜に来襲可能な風波の吹送距離を示す。南浜は南側を向いているので吹送距離は南側に長く, SWが39.8kmと最も長く, それにSSW, WSWが続いている。また図-1には波浪推算を行う際必要となる気象データの観測点である彦根地方気象台の位置も示す。

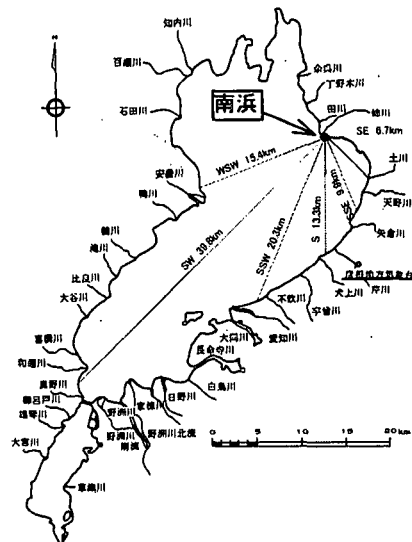


図-1 琵琶湖南浜の位置と吹送距離

図-2は、観測期間中の推算波浪・周期および琵琶湖水位を示している。調査期間内では、1996年12月に大きく琵琶湖水位が上昇し、B. S. L. -0.2m程度からB. S. L. +0.1m程度まで一気に上昇している。また、風浪についても、1996年12月から波高が若干高くなっている。以上から、1996年12月以降、水位上昇および湖岸に影響を与える波浪の頻度、波高の増大が同時に起こっており、湖岸に与える影響が大きいものと推測される。

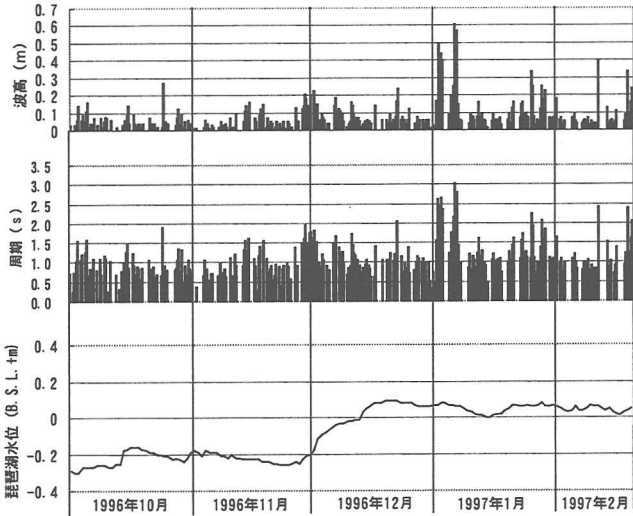


図-2 観測期間中の推算波高、周期
および湖水位の経時変化

3. 深淺測量データの分析

図-3は1996年12月測量の南浜の深淺図である。図の右端にはアユのふ化場の人工河川があり、さらにこの人工水路の西350mには姉川河口が位置する。また図示する区域の東端には南浜漁港の防砂突堤があり、そこから西130mに1号突堤が、さらにその西65mには2号突堤が位置する。また西端の人工河川から東90mには3号突堤がある。これらの突堤は、厚さ約3mmのゴムの膜体に砂礫を詰めた構造を有する。さらに3号突堤の東100mには透過性の栈橋がある。

図示する範囲の湖岸線は沿岸方向に方向が大きく変化しており、人工河川から栈橋までは凹状に、栈橋付近から1号突堤までは凸状に、そして1号突堤から

南浜漁港の防砂突堤までは凹状である。一方、湖底地形の特徴を調べると、人工河川のすぐ沖には非常に急勾配の湖底斜面が迫っており、ほぼ-2m以浅の1/5に対して、-3m以深では1/3と非常に急である。しかしそのすぐ東側の-4m以浅には広い棚状の湖底面が広がり、棚状の湖底面は東向きに次第に狭くなる。上述の湖岸線形にも沖合の湖底地形との対応が見られ、3号突堤付近では凹状であるがその東側では凸状になり、さらに1号突堤付近からは再び凹状となる。図中には深淺測量の27測線の位置を示す。測線は西側から東向きに基準点No. 1~No. 7を配置し、それらの間にも補点を配置し、基準点に対する相対沿岸距離をm単位で示している。

4. 現地写真による湖岸侵食状況の調査

南浜において1996年10月17日と1997年2月19日の2回、湖岸侵食状況に関する現地踏査を実施した。10月17日は侵食前、2月19日は侵食後の調査である。以下では現地状況写真により侵食状況を調べるが、図-3には写真撮影位置を①~⑧で示す。

写真-1は測点①から西向きに湖浜の侵食状況を撮影したものである。写真のほぼ中央に見えるのがコンクリート製用水路である。侵食により用水路左岸側のコンクリート壁が露出しており、また湖浜に立てたポールから高さ約50cmの浜崖が形成されていることがわかる。用水路は不透過構造であるために、その東側隣接部で著しい浜崖が形成された。

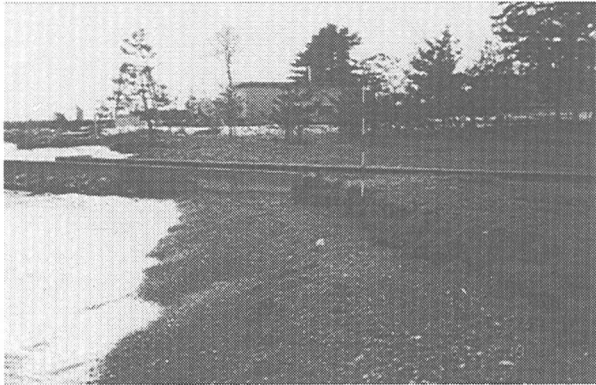


写真-1 測点①から用水路左岸の浜崖の形成状況
(1997年2月19日)

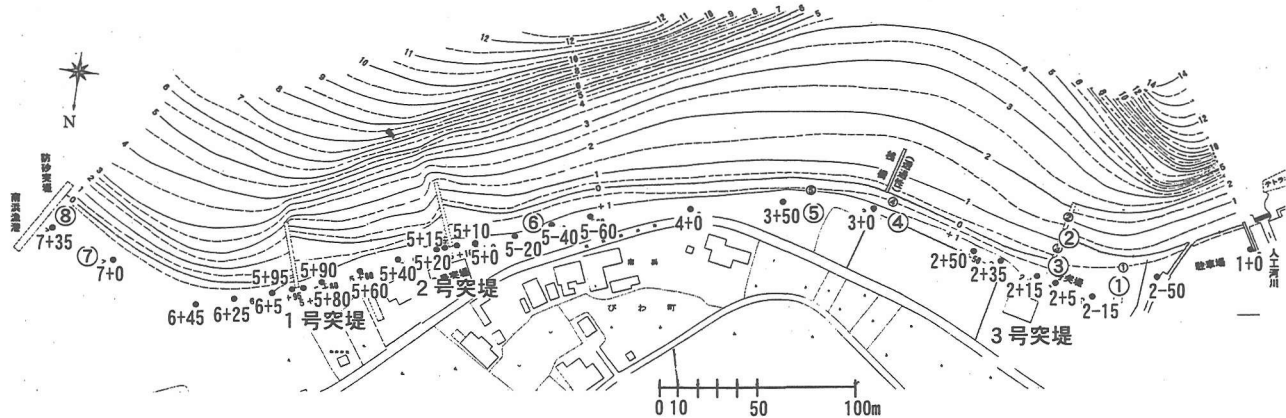


図-3 琵琶湖南湖全域の深淺図 (1996年12月測量)

写真-2は3号突堤の先端から湖浜状況を岸向きに撮影したものであり、侵食前後の地形変化が良好に観察される。侵食前では突堤の左（西）側の汀線が右側の汀線より大きく前進しており、また西側では礫がバームを形成して堆積しているのに対して、東側では浜崖が形成されている。これらのことから、この付近では東向き（写真では左から右方向）の沿岸漂砂が卓越していることがわかる。また、1996年10月の段階ですでに沿岸漂砂阻止の効果・影響が出ていた点は、突堤の建設（1996年8月）後すでに突堤の効果・影響が現れつつあったことを示している。侵食直後の1997年2月では、浜崖の形成を伴いながら突堤の右（東）側の汀線が大きく後退する一方、西側では汀線が前進している。さらに突堤上には西側から運ばれてきた砂礫が突堤上にのっており、しかも西側から突堤の頂点までの間はほぼ水平に堆積したあと、頂点から東側では突堤の面が急角度となるため砂礫は突堤の面上から滑り落ちた状況を呈する。また、突堤西側で堆積した砂礫は分級された上、写真左端から斜め岸向きに並んでいるように観察され、あたかも東向きの沿岸流の存在を示唆している。以上の点より、1997年2月は西側から運ばれてきた沿岸漂砂が突堤の西側に堆積したあと、湖浜の地盤高が突堤の天端高（BSL+1.0m）と同じになったため沿岸漂砂が東向きに流出したことを示している。この場合、1997年2月の写真の突堤から西側の後浜に注目すると、低い浜崖が形成されていることから、突堤の先端部だけでなくその付け根部分からも東向きに土砂が流出したことが分かる。

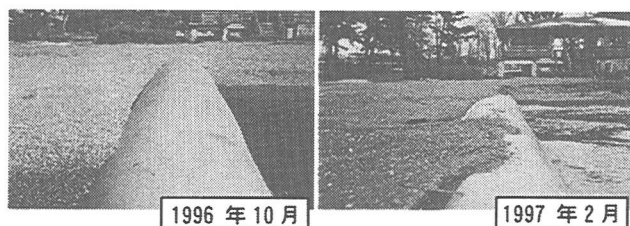


写真-2 3号突堤両側の湖浜状況（測点②）

写真-3は3号突堤上の測点③から突堤の西側を撮影したものである。わずかに撮影方向が異なるが、写真前方に見える柵と汀線の相対的關係を調べると、10月17日には柵の先端は前浜上にあつたが、2月19日ではこの部分は湖内となった。このことから図-3に示したように調査区域西端の用水路および柵付近では侵食が進んだことは明らかである。しかしそこより手前側では突堤による漂砂阻止のため、一部汀線は前進傾向となる。

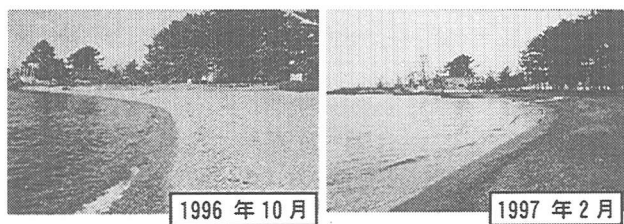


写真-3 3号突堤上から西側の湖浜状況（測点③）

写真-4は同じく測点④から写真-3と逆方向を望んで撮影したものである。写真の前方に見えるのは棧橋である。汀線背後の建物と汀線との相対的關係を調べると、10月17日には建物前面に広々とした砂浜があつたが、2月19日にはこの砂浜が大きく削り取られて浜崖が形成された。測点④から侵食が著しい区域における浜崖の状況を撮影した写真-5でも家屋前面に高さ約0.5mの浜崖が連続的に形成され、湖浜に埋め込んで設置されていた排水パイプが露出して壊れている。さらに写真-6は測点⑤から写真-5と同じ方向を望んで撮影した湖岸状況である。写真上方に見えるのが棧橋であつて、そこでは図-3に示したように湖岸線の変化点には一部護岸があるためにそこで汀線後退量は小さくなるが、その東側では写真-6のように再び浜崖侵食が進んでいる。

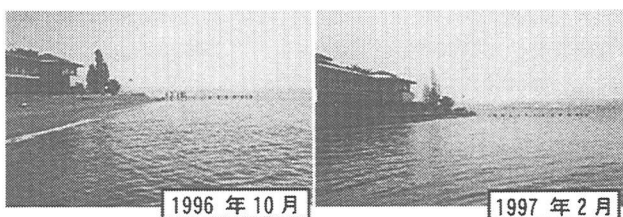


写真-4 3号突堤上から東側の湖浜状況（測点④）



写真-5 棧橋付近から西側に湖浜状況（1997年2月）



写真-6 測点⑥から西側の湖浜状況（1997年2月）

写真-7は測点⑥から西向きに湖岸状況を撮影したものである。写真に示すように、この付近にはポプラの木があり、これと湖浜との相対關係から湖浜状況の変化が分かる。この付近では他の場所と大きく異なり、汀線は大きく前進している。図-3に示したようにここより約100m西側は湖浜は堆積傾向になる。

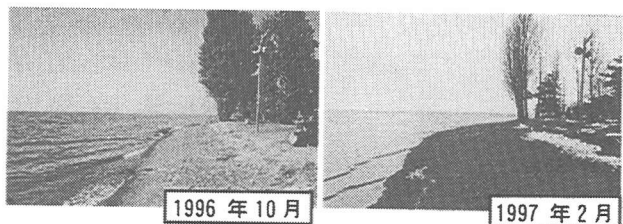


写真-7 測点⑦からポプラの木付近の湖浜状況

南浜の東端には南浜漁港の防砂突堤がある。写真-8は測点⑦からこの防砂突堤を望んで撮影したものである。防砂突堤の岸沖端には長い杭が立っている。写真ではそれが見にくいので、矢印を付けている。この2本の杭を基準として突堤周辺の汀線形状を調べると、10月から2月の間で突堤付け根の汀線が前進したことが明らかである。

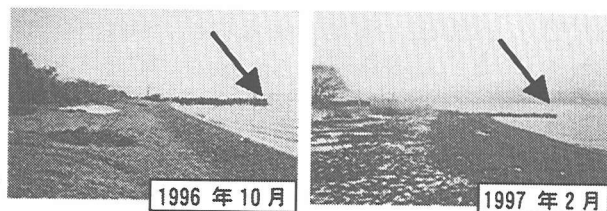


写真-8 測点⑧から砂防突堤を望む

以上の観察結果は次のように要約される。まず、南浜西端部近傍の3号突堤の西側、用水路付近では東向きに沿岸漂砂が流出したために侵食され、その結果浜崖が形成された。3号突堤自体はある程度沿岸漂砂を阻止したが、天端高が低かったため東向きの沿岸漂砂の一部は東向きに流出した。しかし3号突堤の東側隣接域は東向きの沿岸漂砂が阻止されたために侵食が進み、浜崖が形成された。東向きに運ばれた沿岸漂砂は2, 3号突堤の中央付近より東側で堆積するとともに、南浜東端に位置する防砂突堤では東向きの沿岸漂砂が突堤によって阻止されたためその西側で堆積が起きた。

5. 深浅測量データの詳細分析

この区域の深浅測量は3回行われているが、著しい地形変化が観察された区域を抽出して詳細分析を行った。図-4には3号突堤周辺区域の等深線の変化を示す。1996年10月22日～1997年3月14日の地形変化である。この間、3号突堤の西側で汀線が前進、東側で後退し、突堤を挟む左右岸の汀線位置の差は、8m（10月22日）、12m（12月24日）、16m（3月14日）と時間経過とともに拡大している。また突堤東側隣接部の汀線付近の等高線形状を調べると、10月では0～1mの等高線は沿岸方向にほぼ平行に伸びていたが、3月には背後地との間のフェンス近くまで大きく後退している。さらに12月までは突堤西側の0.5mの等高線は汀線に対して斜行しており、ここまで波の作用が及んでいなかったが、3月には0.5mの等高線も大きく前進するとともに、新たに突堤基部を通して西側へと楔状に侵食域が伸びた。これらの点は突堤を越えて東向きに沿岸漂砂が流出したことを示している。その原因として、図-2に示したようにこの期間中に高波浪が作用しただけではなく、湖水位が高かったことがあげられる。

図-4において顕著な侵食が見られた3号突堤の東側区域から5測線を選んで海浜縦断形の経時的变化をまとめたのが図-5である。10月からの侵食量が最も多いのはNo. 2+35測線であって、ここではほぼ-0.8m～1mの間で湖浜が削り取られ約0.5mの浜崖が

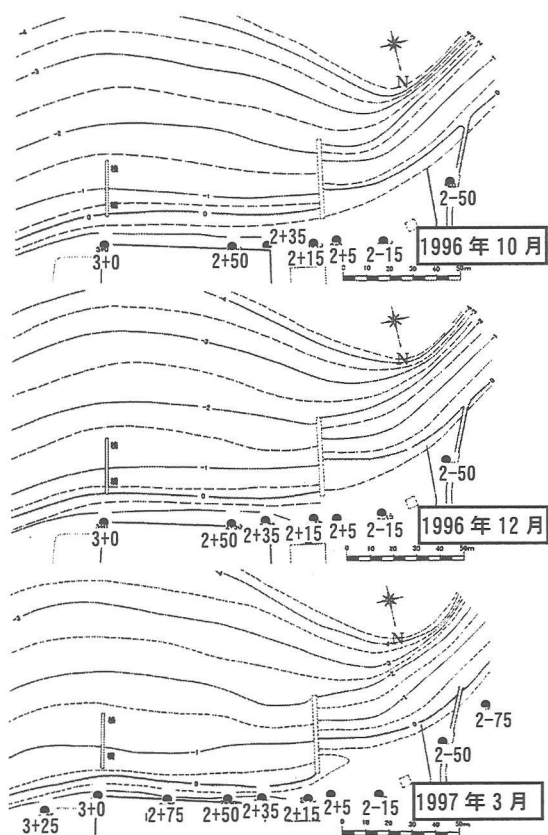


図-4 3号突堤周辺の深浅図の比較
(a: 1996年10月, 12月, 1997年3月)

形成された。侵食に伴う湖浜縦断形の変化はいずれもよく似ており、いずれも沿岸漂砂によって土砂が運び去られたときの特徴をよく示している。侵食は沖合方向にはある限界水深で浅でのみ生じており、それより沖合での地形変化量は少ない。図-5によれば、ほぼ-0.9m以浅が削り取られている。さらに図-5によれば侵食量は突堤から離れるにしたがい減少し、No. 3+50ではわずかな侵食量となる。また浜崖が沿岸漂砂によって土砂が削り取られた時形成されるものであることがよく分かる。

図-6は1, 2号突堤周辺の深浅図の比較である。この区域では西側から斜めに深みが伸びてきている。このため1, 2号突堤の沖合では湖底勾配が1/4, 1/5と急である。突堤周辺で10月～12月の変化を調べると、1, 2号突堤の西側隣接部でほぼ平行に汀線が前進したが、これと同時に2号突堤の東側隣接部でも汀線の前進が見られる。波向の変化に対応した汀線変化であれば、突堤の片側で汀線が前進する場合には必ず他方では汀線が後退しなければならない。このことは10月～12月の汀線変化は通常の間隔での汀線変化では説明できないことを意味する。同様に12月～3月の汀線変化を調べると1号突堤の東側で汀線が大きく前進する一方、西側では汀線が4m後退している。また1, 2号突堤の間では12月時点で汀線が凹状となっていたNo. 5+40付近で大きく汀線が前進している。さらに2号突堤の西側でも汀線がやや後退して、全体に1号突堤から西側の汀線がなだらかな形状になった。

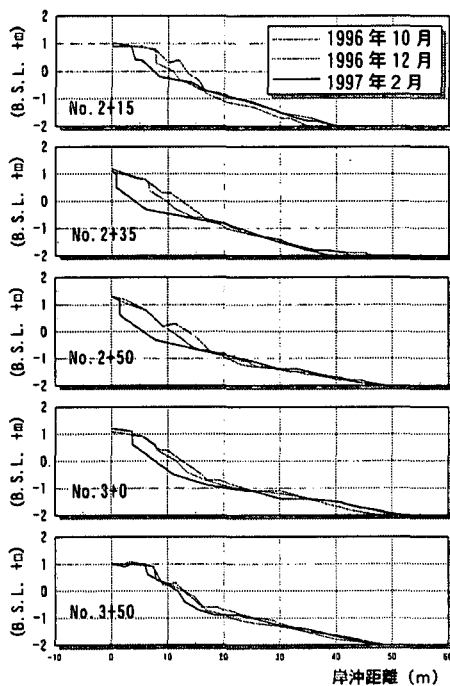


図-5 3号突堤周辺における湖浜縦断形比較

しかしながら2号突堤では汀線を始めとして、0.5～-1.5mの等深線が突堤の左右岸で連続的であって、12月までに明瞭であった各等深線の不連続は消失している。

図-7には2号突堤周辺の湖浜縦断形の変化を示す。No. 5-60ではほぼ-0.9m以浅で堆砂が見られるが、突堤に近づくにしたがい堆積量は減少している。そして突堤のすぐ西側のNo. 5では前浜上のわずかな堆積を除けば断面積の変化量は小さい。ところが2号突堤の東側に最も近接するNo. 5+15では10月には侵食されて凹状であったが、その後土砂が堆積して高さ1.3mのバームが形成され、その高さは時間経過とともに増加している。No. 5+20でも同様な堆積が見られる。

以上の地形変化は、2号突堤を沿岸漂砂が阻止したことによるものではなく、湖水位が上昇したために一部の土砂が突堤上を越えて東向きに流出したことによると考えられる。その証拠としては、2号突堤を挟んで等深線が滑らかに伸びていたこと、また突堤の東西両区域で土砂の堆積が生じ、しかも突堤の東側の当初は侵食されていた区域で大量の土砂堆積が見られたからである。

同様にして図-8には1号突堤の周辺の湖浜縦断形を示す。この場合も1号突堤の西側から2測線、東側から3測線を選んでいる。突堤の西側では全体に堆積傾向を示す。とくにNo. 5+90では-1m以深の湖底勾配が約1/6と非常に急である。このため土砂の堆積時、深い部分まで土砂の流出が見られる。突堤の東側に隣接するNo. 5+95では3月までに大量の土砂が堆積し、しかも少なくとも-3mまで土砂が落ち込んでいる。しかし突堤から東向きに距離が長くなるにしたがい堆積量は小さくなり、No. 6+45では有意な地形変化は見られなくなる。以上の点は、1号突堤においてもまた東向きの沿岸漂砂が突堤を越えて東向きに流出したため地形変化が生じたと言える。

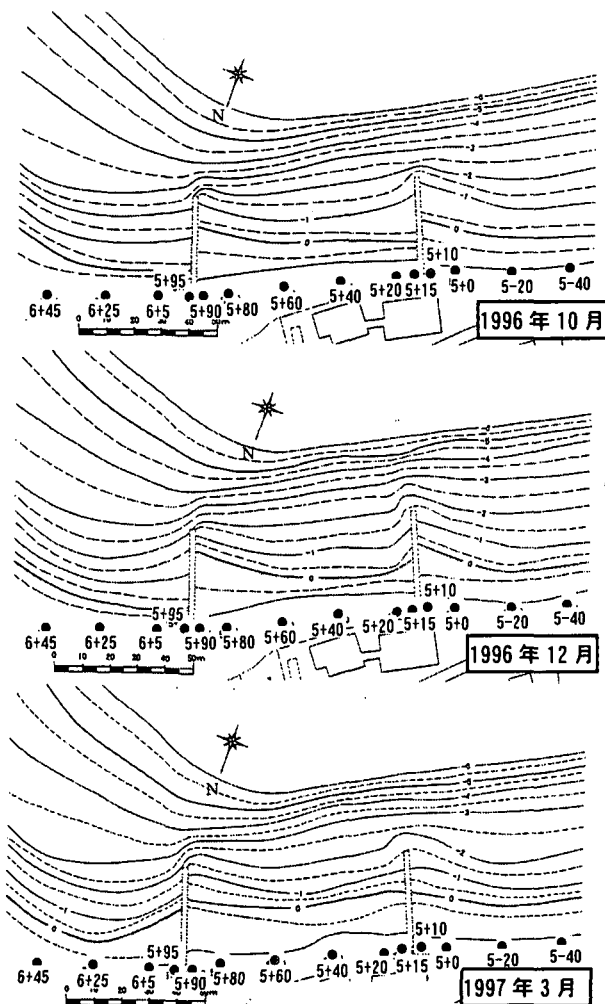


図-6 1, 2号突堤周辺の深浅図の比較
(a: 1996年10月, b: 12月, c: 1997年3月)

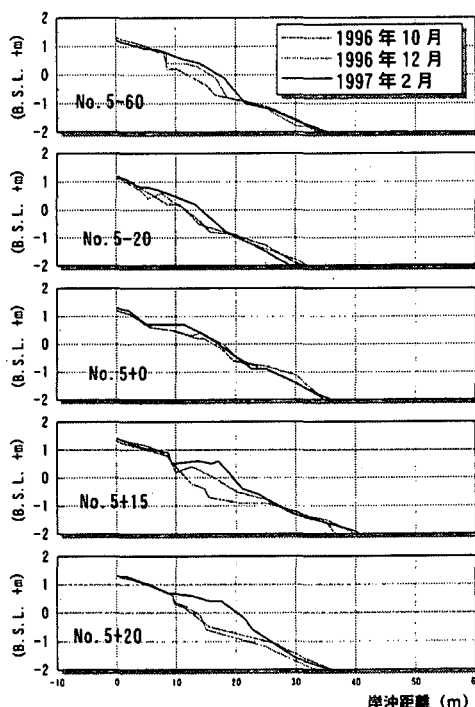


図-7 2号突堤周辺における湖浜縦断形の比較

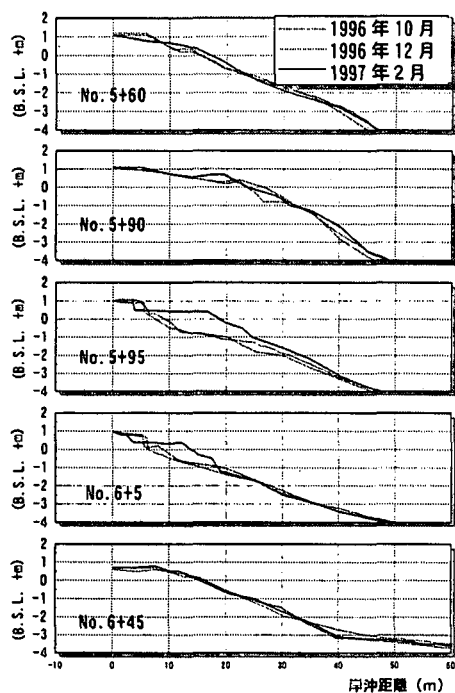


図-8 1号突堤周辺における縦断形の比較

6. まとめ

水位変化の大きい湖内での湖浜変形について、琵琶湖の姉川河口の南側に広がる南浜での現地観測によって調べた。この結果侵食対策として造られたロングガードチューブ製の突堤を越えた東向きの沿岸漂砂の流出が高水位時に起こり、突堤の漂砂上手、下手側に堆積するという現象が観察された。これは宇多ら¹⁾が等深線変化モデルによって予測した現象が現実にも起こり得ることを示している。その意味から温暖化に伴う海面上昇時には、既設突堤(ヘッドランド)の効果の低減が起こる可能性が高いことに注意する必要がある。

参考文献

- 1) 宇多高明・加藤憲一・見附敬三・山形 宙・赤松直博(2000):突堤の陸側端を沿岸漂砂が通過する場合の海浜変形モデル-現地実測に基づく等深線変化モデルの拡張-, 海洋開発論文集, 第16巻, pp. 589-594.