

宮津港海岸（天橋立）における侵食対策に関する検討

Countermeasures against Erosion at Amanohashidate in Port of Miyazu

西山貴大*・小谷野喜二**

NISHIYAMA Takahiro, KOYANO Yoshiji

* (財) 沿岸技術研究センター 企画部 研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第一調査部長

Amanohashidate is famous as one of the most beautiful sites in Japan. But tens of years ago, it was exposed to the crisis of the persistence because of the erosion. Now it is protected by groins with submerged mounds and sand bypass(recycling). There are four kinds of submerged mounds constructed at the edges of groins. In this paper, we verify the effect of them and examined the validity of sand bypass(recycling). And we propose the maintenance policy in the future.

Key Words : erosion, submerged mound, sand bypass(recycling)

1. はじめに

日本三景の一つとして有名な天橋立（宮津港海岸）（写真-1）は、かつて砂浜の侵食により、存在そのものが危ぶまれる状態であった。その後、突堤の設置や、サンドバイパス（リサイクル）工法^{1),2)}の実施により、砂浜を維持できるようになったものの、漂砂方向に対して突堤の上流側にしか砂が堆積せず、汀線形状はノコギリの歯のような形となり、景観上、好ましくなかった。

そこで、突堤下手側にも砂を堆積させ汀線の連続性を確保するため、突堤の先端に潜堤を設置することとなった。現在は、4箇所の大突堤の先端に、試験的に形状の異なる潜堤を配置している。

本論文は、それら潜堤の効果及び土砂収支量を検討し、今後の整備方針を示すものである。



写真-1 天橋立全景

2. 潜堤の設置状況

潜堤の設置は1991年から始まり、模型実験や現地調査など^{3),4)}の検討を経て、現在はNo. 20からNo. 32の4箇所の突堤（図-1）に、図-2に示すような形状の潜堤が設置されている。ここで、No. 20の潜堤を改良型半扇型潜堤、No. 24を扇型潜堤、No. 28を半扇型潜堤、No. 32をL型潜堤と呼ぶこととする。

改良型半扇型潜堤とL型潜堤は、以前は天端が静水面に対し水平であったが、潜堤の効果を上げるため、2002年に現在のような、突堤に向かって天端を静水面にすりつけるような形状に改良された。その際、改良型半扇型潜堤は、5m程度沖側へ拡張されている。

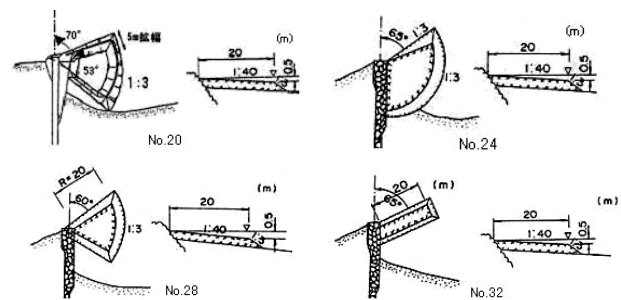


図-2 各潜堤の形状

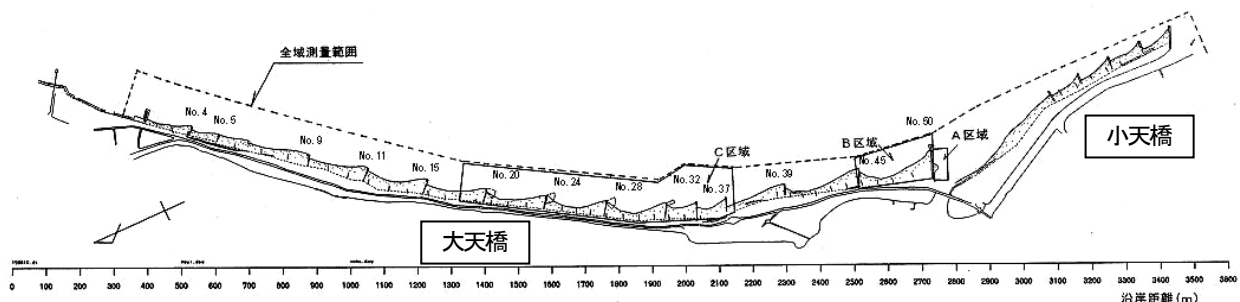


図-1 突堤位置

3. 気象・海象出現状況

風況は、気象庁アメダスデータ（1985年1月～2004年12月）を用いて、波浪観測点および調査対象地点に最も近い間人（たいざ）と宮津について整理した。間人は日本海側に位置し、通年では全方位での風が同程度の頻度で発生しており、北風を中心に比較的強い風が多く、季節別では冬季にNW系で強風の頻度が高く、夏季の風は弱いことがわかった。宮津は港奥に位置するため、海上風の影響を受け難く、全体的に強風の発生頻度は低いことがわかった。

波浪については、当地点周辺では、柴山（国土交通省港湾局）及び経ヶ岬（気象庁）において波浪観測が行われている。外洋での波浪の発生状況は、通年では、波高1m以下の発生頻度が全体の56.9%、2m以下で83.2%を占めており、波高3m以上の頻度は5.6%である。周期は、4～8sの頻度が高い。また、季節別では、夏季で低波浪、冬季で高波浪の発生が顕著であり、波浪エネルギーで見ると冬季は夏季の10倍以上であった。

4. 潜堤の設置効果

潜堤は、突堤下手側の汀線位置を前進させ、汀線形状をなめらかにすることを目的として設置されている。

そこで、各潜堤毎に、汀線位置がどのように変化しているか、また、汀線形状がどの程度なめらかであるかということを検証することとする。

4.1 潜堤背後の汀線変化状況

図-3は、潜堤を設置しているそれぞれの突堤の下手側における汀線変化量を示したグラフである。現地測量を開始した1991年10月時点の汀線位置を基準としている。各値は潜堤下手2測線（20m区間）の平均変化量である。

グラフには、潜堤を設置した時期又は改良した時期を記載しており、そのほとんどにおいて、汀線が前進しているため、潜堤設置・改良による効果が確認できる。その効果を定量的に把握するため、潜堤設置・改良後、汀線位置が安定していると考えられる期間で、汀線変化量の平均値と標準偏差を示した。グラフから、以下のことが言える。

- 改良型半扇型潜堤は、2002年に潜堤の改良をした後、汀線が前進している。また、計測期間は短いものの、汀線位置の変動も小さくなっているため、近年は、非常に安定している。
- 扇型潜堤は、汀線の前進量が大きく、また、長期に亘り、他の潜堤と比較して汀線位置の変動が小さい、安定している。
- 半扇型潜堤は、汀線の前進は見込めるものの、汀線位置の変動は扇型潜堤に比べて大きくなる。

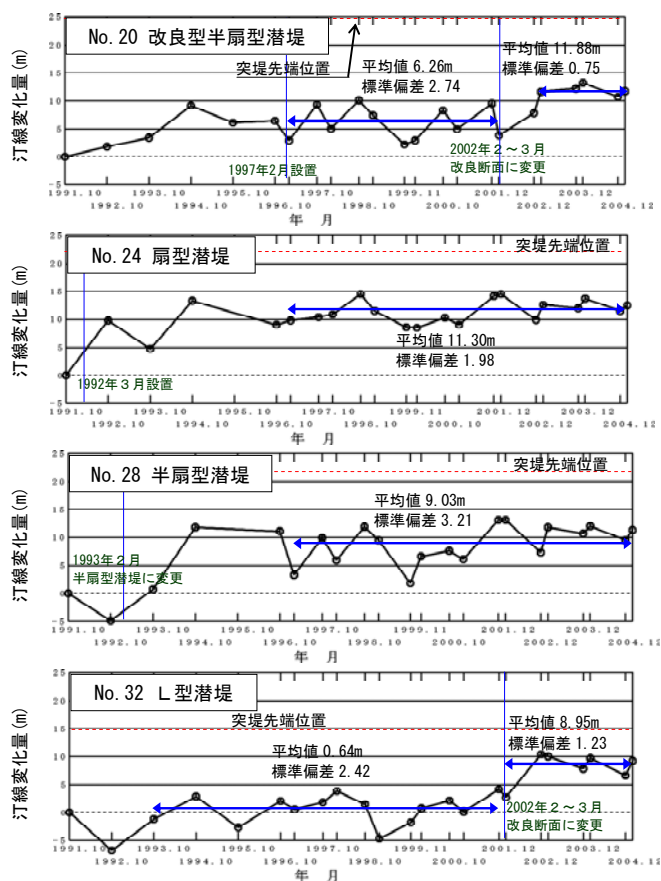


図-3 各潜堤背後の汀線変化量

- L型潜堤は、2002年の改良により、汀線は前進したものの、変動は改良型半扇型潜堤に比べると大きい。これは、入射波向に対する天端幅の違いが影響していると考えられる。よって、L型潜堤では、時期によって汀線が後退し、安定した汀線位置を維持出来ないと考えられる。

以上より、汀線の変化量からそれぞれの潜堤の性能を比較すると、扇型潜堤の効果が一番大きく、次いで改良型半扇型潜堤と半扇型潜堤が同程度の効果であり、L型潜堤は水深を浅くしても、他と比べて若干劣るということがわかった。

4.2 汀線形状の検証

汀線形状をなめらかにする潜堤の効果を検証する。なめらかさを表現するため、潜堤を設置した各突堤から下手側への距離を横軸、1991年10月を基準とした汀線変化量を縦軸として、2003年12月と2004年2月の結果を折れ線グラフとして示した（図-4）。

図-4より、L型潜堤は他の潜堤と比較して、全体的に汀線の前進量が小さいということがわかる。また、それ以外の潜堤は、突堤直近では同程度の位置である。しかし、改良型半扇型及び半扇型については、20m付近で汀線位置が下がる傾向にあり、なめらかさという点では、扇型潜堤が最も優れているということがわかる。

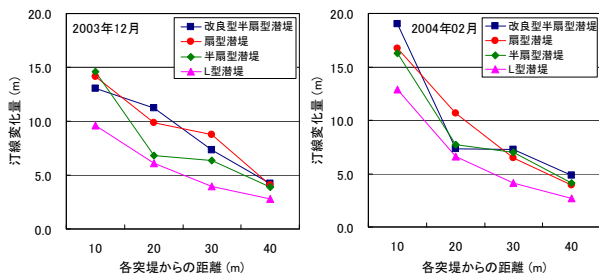


図-4 突堤下手側の汀線形状

5. 土砂収支量の検討

サンドバイパス（リサイクル）量の妥当性を検証するため、大天橋での土量変化を検討する。ここで、深浅測量は潜堤設置区間のみでしか実施されていないため、深浅測量と汀線測量の関係を用いて、大天橋全域での土砂量を推定することとする。

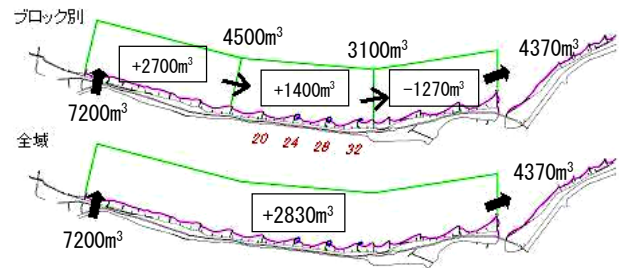
それぞれの測量結果を1次式で近似した結果、汀線変化量 ΔY と断面土量変化 ΔA の関係は式(1)となった。

$$\Delta A = 1.69 \Delta Y \quad (\text{相関係数 } 0.56) \quad (1)$$

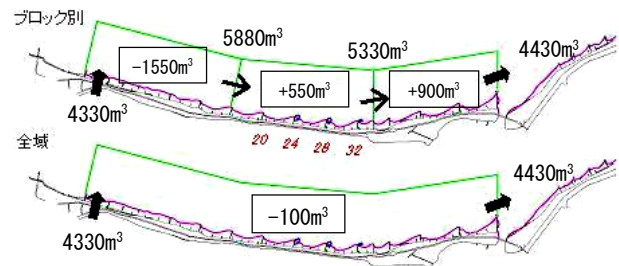
汀線測量は、全域で実施されているため、式(1)の結果を用いて土砂収支量を算出することができる。図-5に代表期間毎に大天橋を3ブロックに分けたものと、大天橋全域のものについて土砂収支を示す。図に示す数値は、それぞれの期間での収支を平均して1年分の収支としたものである。また、図-6は大天橋全域の土量変化を1991年10月を基準として示したものである。図より、以下のことが言える。

- 1991年10月～1994年10月の期間では、やせてしまった砂浜を回復するために、大量の土砂を供給している。そのため、上流側から堆積が生じている。
- 1994年10月～1998年10月の期間では、大天橋全域の土量は一旦減少し、しばらく安定した後、増加しているが、この期間全体で見ると、供給量4,300m³程度で比較的安定している。
- 1998年10月～2000年10月の期間では、大天橋の下手から流出する土量が7,000m³程度とやや多く、全体の土砂量も大幅に減少している。原因としては、対象期間中に来襲した波浪が他の期間に比べて大きかったことが考えられる（例えば、経ヶ岬で2000年2月に最大有義波高8.18m等が観測されている）。
- 2000年10月～2004年2月の期間では、前期間までに減少した土砂量が回復しているため、全域の土量としては若干増加しているが、概ね4,500m³のサンドバイパス（リサイクル）を実施することで各ブロックの土砂量は安定傾向にあると言える。

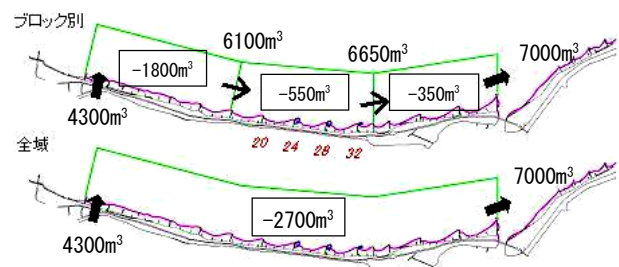
以上より、大きな波浪が来襲しない限り、年間4,500m³程度のサンドバイパス（リサイクル）を実施すれば大天橋全域の土量としては、安定するということがわかる。



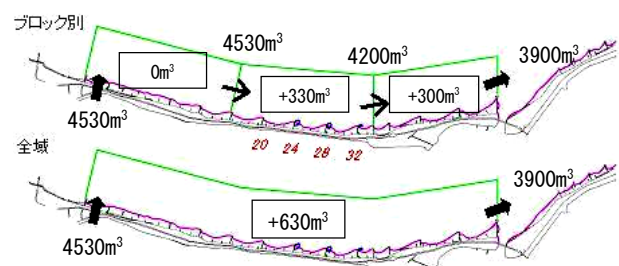
(a) 1991年10月～1994年10月



(b) 1994年10月～1998年10月



(c) 1998年10月～2000年10月



(d) 2000年10月～2004年2月

図-5 土砂収支

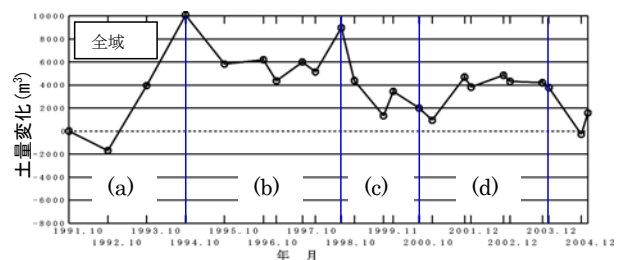


図-6 大天橋全域の土量変化

6. 今後の整備方針

6.1 潜堤整備方針の提案

潜堤の設置効果が認められるため、今後、大天橋の各大突堤に潜堤の整備を行うことが想定される。なお、大天橋の上手側に位置するNo. 4～No. 6の突堤付近は、サンドバイパス砂の投入箇所であり、比較的、汀線形状がなめらかであることより、潜堤整備の優先度は低くなる。

整備順序については、突堤の上手・下手での不連続性がやや大きくなる大天橋の下手側より、順次上手へと整備を行うことが提案される。ただし、末端に位置するNo. 45突堤については、その下手側のNo. 50突堤との間隔が広く、また、汀線の法線方向が変化し、他の突堤とは波の入射角度が異なること等から、別途詳細な検討が必要と考えられる。

最も効果の大きい潜堤形状は扇形潜堤であるが、汀線のなめらかさで若干劣るものの、改良型半扇形潜堤でも十分な効果があると考えられる。また、整備にかかる費用は、改良型半扇型潜堤では、扇型潜堤の6割程度に抑えることができる。このことから、改良型半扇形潜堤と半扇型潜堤は、効果としてはどちらが優位とは言えないが、改良型半扇形潜堤の方が小型であるため、経済性で僅かに有利である。

以上より、整備方針としては、改良型半扇型潜堤を基本として整備を行い、設置場所の条件等で、効果が少ないというモニタリング結果が出た場所については、適宜、扇型潜堤の断面に改良を行っていくことが提案される。

6.2 サンドバイパス（リサイクル）量の提案

土砂収支の検討結果より、約4,500m³のサンドバイパスを実施することで土量変化は概ね安定することがわかった。ただし、高波浪の影響が見られたときは、大天橋全域の土量が減少する。従って、年間の土砂投入量については、現在実施されている約4,500m³を基本として、汀線の後退が見られた時期（高波浪の影響が大きい時期）には、投入量を増やす調整を行うことが望ましい。

また、今後、潜堤を各突堤に整備した場合に、新たに整備する潜堤背後に土砂が補填されるために、一時的にその下手側への土砂移動量が減少することとなる。よって、潜堤整備時には、サンドバイパス量を増やすことで、大天橋下手側の汀線の後退を防ぐ必要がある。その後、汀線形状が安定したら、4,500m³を目安とした土砂投入に戻すことが提案される。

6.3 その他の提案

(1) 平均汀線によるサンドバイパス量管理

今後の土砂管理を行う上で、目安となる汀線位置を決めておく和管理が容易である。汀線データより試算した大天橋全域の土量変化は、近年安定する傾向が見られることより、2000年10月～2004年2月の汀線データの平均値を目安の汀線位置とすることが提案される。この目安となる汀線と毎年実施される汀線測量結果とを比較して、4,500m³に若干の変動を許容することが可能と考えられる。増減量については、今後データを蓄積することで対応できるものと考えられる。

(2) モニタリング

今後実施される潜堤整備による汀線改良効果を把握する際の基本となるものは、汀線及び深浅測量である。よって、測量回数の調整を行うことは想定されるものの、事業実施中における測量は、継続する必要がある。

また、天橋立海岸の汀線形状を簡易的に把握する方法として、固定位置で定期的に撮影したカメラ画像を比較することも提案される。

(3) No. 45 突堤の詳細検討

突堤間隔の広いNo. 45突堤については、波高や流速分布等を詳細に計算するシミュレーション等を用いて、潜堤規模及び潜堤形状を検討することが提案される。

また、No. 45突堤とNo. 50突堤の間は、海水浴場としても利用されていることを考えると、砂の質（粒径等）にも配慮した整備を行う必要がある。

7. 謝辞

本稿は、京都府港湾事務所より受託した調査の一部をとりまとめたものであり、検討に当たっては、「第9回天橋立海岸整備研究会」（委員長：岩垣雄一 京都大学名誉教授）を設置し、多数のご助言やご提案を頂いた。

改めて、委員長をはじめ各委員、関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 矢島道夫・上藺晃・矢内常夫・山田文雄：天橋立におけるサンドバイパス工法の適用，土木学会第29回海岸工学講演会論文集，1982.
- 2) 陳活雄・山田稔・土屋義人：天橋立海岸におけるサンドバイパス工法による動的安定海浜の形成，土木学会海岸工学論文集，第40巻，1993.
- 3) 鈴木康正・平石哲也・富樫宏次・高羽泰久・南将人・岩垣雄一：潜堤を用いた海浜安定工法の現地観測と模型実験，土木学会海岸工学論文集，第42巻，1995.
- 4) 平石哲也：小型潜堤を用いた海浜安定工法に関する模型実験，港湾技術研究所，港湾技研資料，No. 896，1998.