

富士海岸沼津工区に設置された人工リーフの効果評価に関する考察

和田一範¹・福濱方哉²・木村嘉富³

富士海岸の東端に位置する沼津工区（通称千本浜海水浴場）では、隣接する沼津港防波堤の影響による沿い波などにより来襲波浪が増大し、砂浜の侵食が生じたことから、人工リーフと養浜を用いた侵食対策が実施され 1999 年度に事業が完了している。事業完了後の地形変化や波浪観測結果を基に、これらの効果を長期的視点から分析したところ、当初計画どおりの保全効果を持続的に発揮していることが確認された。また人工リーフと養浜を複合的に組み合わせることによって、人工リーフの規模の縮小を図れること、5 年以上にわたり維持養浜することなく安定な海浜を維持可能であることが判明し、今後の海岸管理システムについての有用な示唆を得た。

1. はじめに

駿河湾の湾奥に位置する、富士川河口から東延長約 19 km の富士海岸、その東端の沼津港に隣接する海岸（沼津工区、図-1）は、古くから千本浜海水浴場として親しまれ、背後の千本松原と富士山の見える風光明媚な海岸である（写真-1）。当海岸では、東側に隣接する沼津港の防波堤による沿い波などの影響により、来襲波浪が増大し、砂浜の侵食が生じた。このため、背後の海岸堤防老朽化対策とあわせて、1991 年より「なぎざりフレッシュ事業」として、人工リーフの設置、傾斜堤による階段堤防化および養浜を組み合わせ、海岸保全とあわせて利用・景観に配慮した海岸保全計画が策定され、1999 年度末に事業が完了している。人工リーフの堤体材料には本事業の主旨に従い、海岸堤防基部に設置されていた消波ブロックを移設、転用している。また、当初隣接する沼津港防波堤と人工リーフとの間には約 65 m の開口部を設けていたが、モニタリングの結果、開口部での強い沖向き流れによる養浜砂の流出が懸念され、加えて、防波堤反射波の開口部への集中による波高の増大に起因した飛沫問題もあったことから、それらの対応策として開口部にも新たに人工リーフを設置している。

事業完了から約 5 年が経過していることから、ここでは、事業完成後の地形変化や波浪観測結果などをもとに、事業の効果を長期的な視点から評価した。

2. 事業の概要

対象とする事業のうち、ここでは人工リーフとその背後に実施された養浜工について紹介する。まず人工リーフの諸元のうち、天端高については、対象海域では地引



図-1 対象位置図



写真-1 対象位置の事業完了時の状況(1998.2 撮影)

網等の漁業やフィンドサーフィン等の海浜利用が盛んであることから、それらに配慮して朔望平均干潮位から 2.5 m 程度下となる T.P. -3.5 m とした。次に設置位置（離岸距離）であるが、先に述べたように対象海域の利用に支障のないこと、また堤体の安定性を考慮して顕著な水深変化のある水深 6 m 以浅は避けることなどから、平均的な離岸距離として 150 m（設置水深 6~10 m）とした。以上の条件の基、人工リーフの天端幅・養浜規模（浜幅）と堤防越波量の関係を別途実施した水理模型実験の成果（1990）から求め、越波量が整備基準（ $10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s}$ ）以下を満足する範囲を把握した（図-2）。これによると、養浜を実施しない場合は天端幅 100 m 以上の人工リーフが必要となる。この結果と、人工リーフおよび養浜の工事費を考慮して最も経済的な組み合わせである人工リーフ天端幅 50 m、養浜幅 20 m を決定した。なお、現況の浜幅 20 m を加えると目標とする浜幅は 40 m となる。また、堤長は 400 m であるが、背後域の海水交換に配慮して、幅 40

1 正会員 博(工) 愛媛大学防災情報研究センター教授副センター長、前
国土技術政策総合研究所流域管理研究官
2 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研
究室長
3 工修 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所長

m(両側の堤長 180m の約 1/4 に相当), 天端高 T.P. -5.5m(地盤高より約 +1m)の開口部を設けている。

以上の検討経緯のもとに現地に建設した人工リーフの平面配置を図-3に示す。人工リーフは1995年度に完成し, 堤体は捨石とブロックによる被覆構造である。なお, 人工リーフ法線は, 汀線の方向は一致していないが, 人工リーフ設置水深付近の等深線の方向と一致させている。

また, 隣接する沼津港防波堤との間の開口部から侵入する波浪の影響を軽減させるため, その開口部に堤長 65m, 天端幅 50m, 天端水深 T.P.-3.5m の人工リーフを1997年度に設置した(図-3中の破線部)。

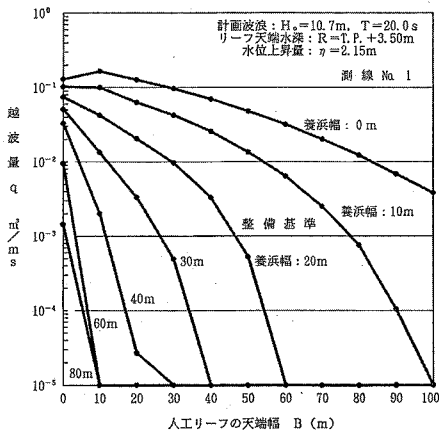


図-2 人工リーフ天端幅別・養浜幅別の越波量

養浜は, 5~25mm 粒径の礫材を用いて, 人工リーフ完成後の1996~1999年度にかけて人工リーフ背後の測線 No.0~No.1+50m に約 78,000 m³実施されている(図-4, 5)。なお, 養浜砂には三重県榑田川の採取土砂を用いている。

3. 波浪低減効果

人工リーフ完成後(開口部対策未実施)に, 人工リーフの沖と岸側に波浪・流速計を設置して波浪の低減効果および流況を調査した(図-5:A, D地点)。観測は

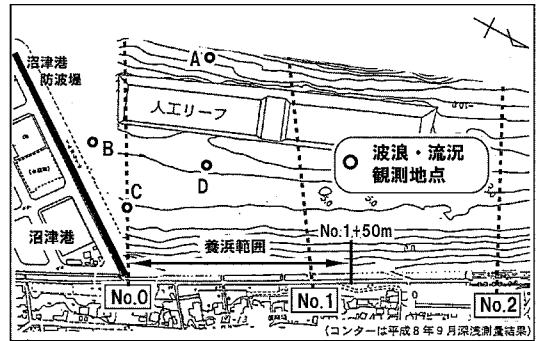


図-5 養浜範囲および波浪流況観測位置

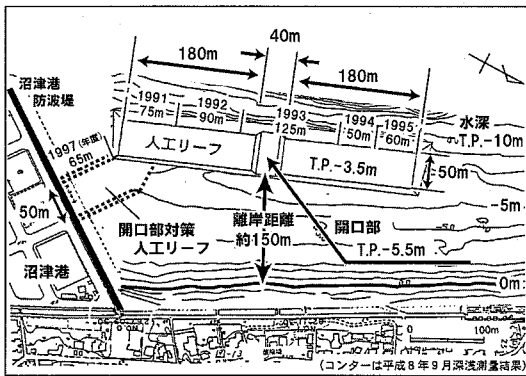


図-3 人工リーフの概要

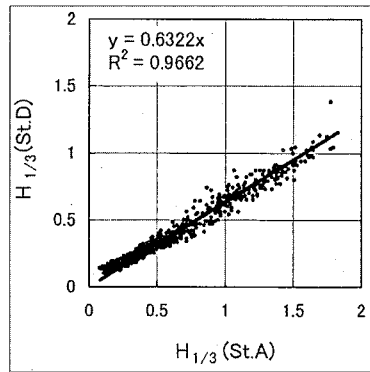


図-6 波高透過率

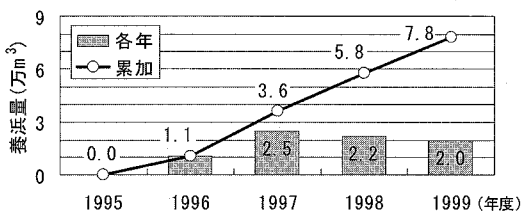


図-4 養浜実績

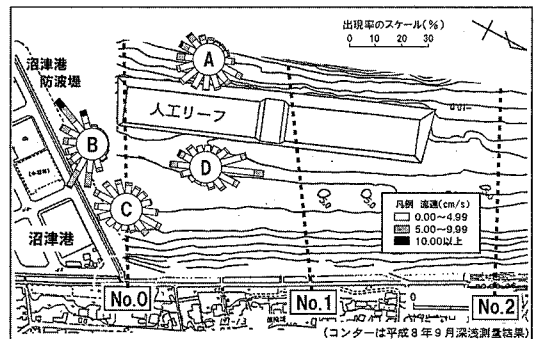


図-7 開口部の流況 (1996.11~1997.2 観測)

1996年11月～97年2月に実施した。その結果、波高の人工リーフ透過率は約0.6であることがわかった(図-6)。この数値は、ほぼ当初計画どおりの数値である。

また、流況観測および養浜地形の変化から、その時点で開口していた沼津港防波堤との開口部から養浜砂が沖へ流出する危険性があり(図-7)、また沼津港防波堤に沿う波が開口部から侵入しそれによる飛沫が問題となったことから、人工リーフを延伸することで開口部を閉じる対応をしている(図-3中の破線の人工リーフ)。

4. 地形変化

(1) 定期深淺測量成果による地形変化

人工リーフの効果として期待している、その背後の養浜地形の安定化について、毎年2月に実施している定期深淺測量成果(測線間隔約250m)から評価した。

a) 断面地形変化

養浜前の1995年と、養浜終了年である1999年以降2年毎の断面地形比較結果より、人工リーフ背後の養浜範囲内にあたる測線 No.1 (図-5中)では、その影響によ

り1999年時点で増加した断面地形(断面方向距離0~50m間)がその後もほぼ安定していることがわかる。また、人工リーフ周辺にあたる測線 No.2 の断面地形も安定しており、人工リーフがその周辺土砂を引込む、あるいはフラッシュする様子も見られない(図-8)。

b) 汀線および土量の経時変化

1995年以降の汀線位置および土量変化について、断面方向に欠測地点が多い1996,1997および1998年のデータを除外して解析した。

人工リーフ背後域(No.1)と人工リーフ背後からははずれるが隣接するNo.2測線での汀線位置の経時変化を図-9左に示す。No.1では、1995年から養浜終了後の2000年まで、養浜に伴う汀線の前進が見られ、ピークの2000年には1995年より25m程度汀線が前進し、その後も20m前後の汀線前進量を保っている。人工リーフに隣接したNo.2測線位置では1995年当時からの汀線位置が変化せず安定していることがわかる。次に、測線 No.0, 1, 2 の地形断面積の変化に測線間隔を乗算して土量の変化を求めた(図-9右)。人工リーフ背後の土

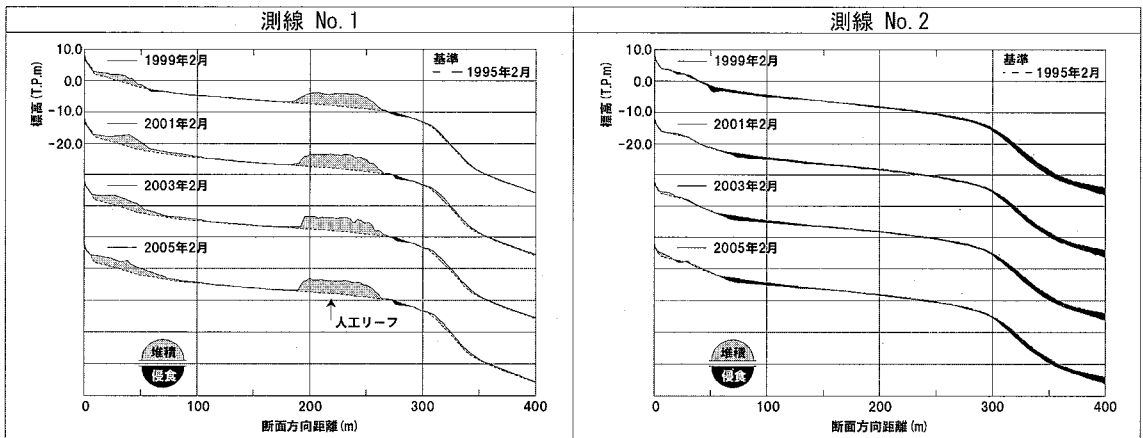


図-8 断面地形変化図

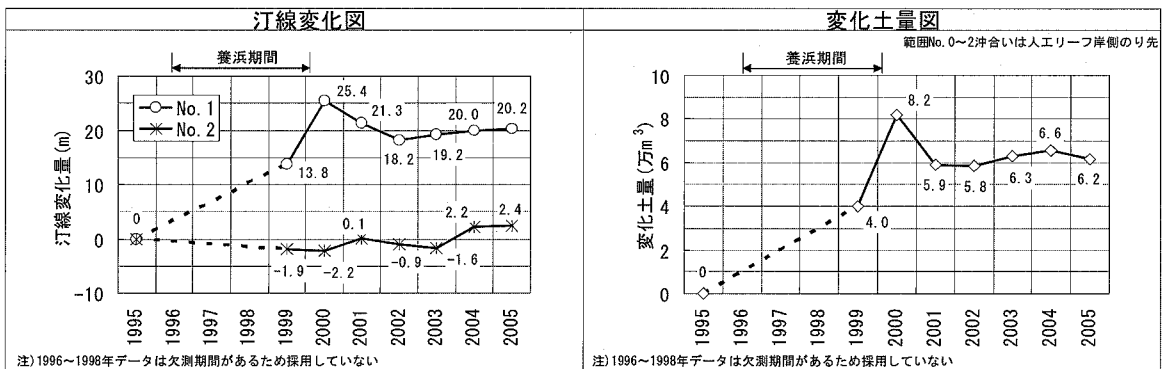


図-9 汀線および土量変化

量時系列変化からも、養浜直後の2000~2001年にかけて約2万m³の土量の減少は見られるものの、その後は初期から約6万m³堆砂した状況が維持されている。養浜土量が7.8万m³に対し、約6万m³堆積が維持されていることから、歩留り率は約77%となる。

c) 平面地形変化

人工リーフ周辺だけでなく沼津工区全域の土量変化を深淺測量成果から算出した(図-10)。岸沖方向は50m毎、沿岸方向は測線毎(約250m)のブロックとした。砂浜および汀線付近に当たる0~100mの範囲は全域で長期的に堆積傾向を示している中、人工リーフ背後にあたる測線No.0~2の堆積量が突出している。このことから、人工リーフおよび養浜による対策の効果が顕著に見てとれる。また、養浜終了後の2000年から5年経過した2005年時点でも堆積量がほとんど減少していないことから、人工リーフと養浜を組み合わせた侵食対策が長期的に効果を発揮していることがわかる。なお、測線No.6~13の水深10~50mに相当する100~200m付近に侵食域が見られるが、この区間は他の領域と比べ海底勾配が1/3~1/5と急であるため、測量誤差の可能性もあり、侵食域と断定するには、さらに詳細な調査が必要である。

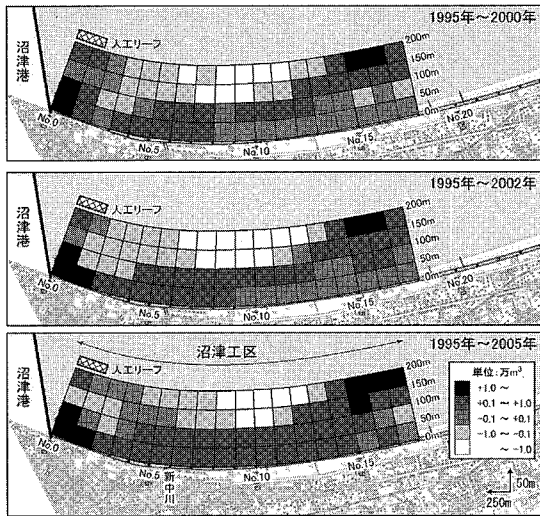


図-10 沼津工区の土量変化

(2) 空中写真による汀線変化

沼津港防波堤基部から東へ1.2kmまでの間の汀線変化を空中写真より把握した(写真-2, 図-11)。人工リーフ背後では、養浜前の1995年から翌年1996年にかけて、No.0~1付近に設置されていた消波堤が撤去されたため汀線が後退したが、1999年には測線No.0~1間で養浜による30~40mの汀線前進が確認できる。養浜終了(2000年)の3年後には約10m、6年後にはさらに約5

m養浜箇所の汀線が後退しているものの、No.1~2間の汀線が前進していることから、養浜砂の一部は測線No.2の方向へ広がっていると考えられる。リーフ背後の測線No.0~2の間では、養浜前と比べ汀線が平均で20m程度前進している事がわかる。2003年2月と2006

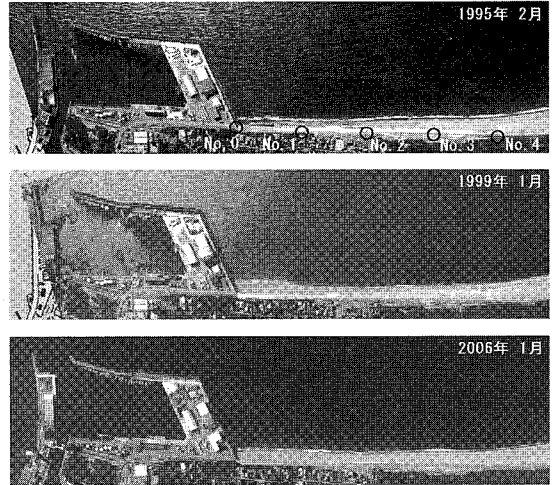


写真-2 対象位置付近の空中写真例

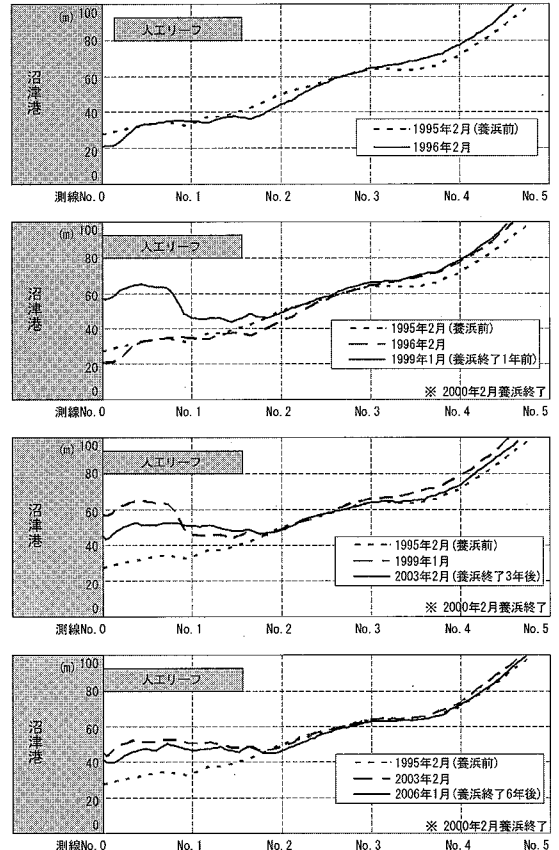


図-11 空中写真からの汀線変化

年1月ではNo.0~2区間での汀線後退はなくなり、養浜前と比較して平均20m程度前進した汀線位置で安定している。

5. 底質の変化

養浜前後の水深方向の中央粒径変化を図-12に示す。採取地点は測線No.0の汀線付近(T.P.+2mのバーム上)~水深T.P.-20mまでデータである。養浜前のデータとして1995年に近いデータがないためここでは1989年8月のデータを養浜前とした。養浜は1996~1999年度にかけて5~25mmの礫材で実施されている。養浜終了直後にあたる2000年12月にはT.P.-5m付近の粒径が粗粒化したものの、それ以外ではほとんど変化していないが、その3年後には養浜前に比べ、水深T.P.-5m以浅の底質が細粒化している。これは、人工リーフにより波高が低減されたことで、それ以前は歩留まることができな

った細粒分が存在しているものと考えられる。

6. 地形変化から見た事業効果について

整備基準として定めた許容越波量以下とするためには、浜幅40m(傾斜堤天端肩から50m)が安定して確保される必要があった。既往のデータを解析した結果、それら事業完成から約5年経過した現在海浜は安定しており、また当初必要とされた汀線位置も確保されている。地形変化の外力である波浪の来襲状況について、隣接する波浪観測所(図-1)での1995~2004年の有義波高および波浪エネルギーに対応する波高の二乗に周期を乗じたものを整理した(図-13)。最大有義波高としては、養浜実施期間中の1997年に9.2mの高波浪が来襲してからは、ほぼ4~6mの範囲であり、有義波高5m以上の発生回数は1998年以降は3回以内とそれほど高波浪の来襲頻度は多くなかったが、2004年に10回と来襲頻度が増加している。また、そのときの波浪エネルギーも養浜投入後の最大を示している。人工リーフ背後の土量は2000.2~2001.2にかけて減少しているが、2004年の高波浪影響を受けた後でも土量がほとんど変化していない。以上から、事業完成から5年の経過ではあるが、ほぼ当初どおりの安定した地形が得られていると考えられる。

7. 結論

(1) 沼津工区において設置された人工リーフは、事業完了後5年を経過して、所定の波浪低減効果を有している。

(2) 礫材によって実施した養浜は、人工リーフの波浪低減効果とあわせて、養浜工完成後5年以上の期間、維持養浜することなく安定な海浜を維持している。

(3) 当海岸で実施された人工リーフ、養浜工などの海岸侵食対策事業は、当初計画どおりの保全効果を、持続的に発揮していることが確認された。

(4) あわせて、人工リーフ背後への礫養浜により海浜断面を増やすことによって、砂礫浜の持つ消波効果と合わせて、波浪の堤防への打ち上げ高が低減出来、結果として人工リーフの規模を小さくすることが可能であることが確認できた。

本研究の資料整理にあたっては、国土交通省沼津河川国道事務所林氏、株式会社アイ・エヌ・エー犬飼氏にご協力いただいた。記して謝意を表する。

参考文献

建設省中部地方整備局沼津工事事務所(現沼津河川国道事務所)(1990):平成2年度富士海岸沼津地区施設検討業務報告書。
 国土交通省河川局砂防部保全課海岸室,国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室(1995~2004):海象年表,第17~26回。

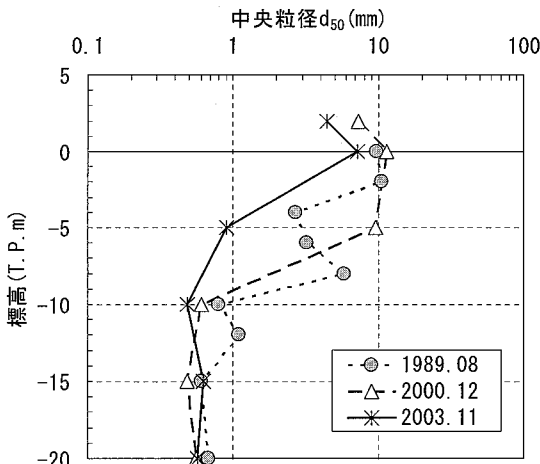


図-12 中央粒径の変化(測線No.0)

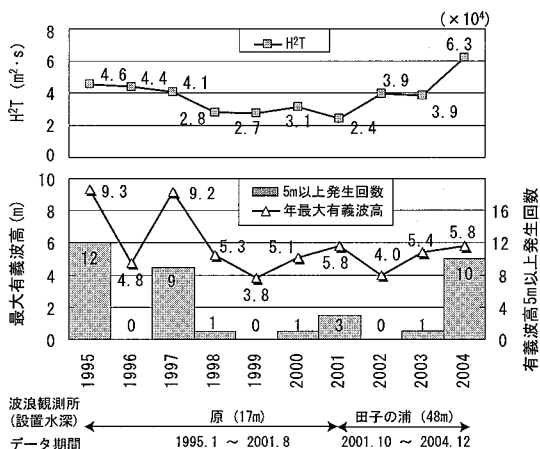


図-13 波浪の来襲頻度