

透水層埋設と養浜の組合せ工法による海浜安定の現地実証実験

笹田 彰* ・村上 裕幸** ・長谷川 準三***
柳 嶋 慎一**** ・栗山 善昭*****

津松阪港海岸の香良洲地区では、砂浜の狭い海岸中央部に養浜が計画され、岸沖漂砂の制御施設として海岸環境と海浜利用に適した透水層埋設工法の採用を検討している。透水層埋設工法の養浜地形の安定性に対する効果を現地で検証するために実験海浜を造成し、波浪観測、地下水位観測及び地形測量を実施した。調査結果を解析すると透水層埋設による地形に対する効果として、侵食性波浪による侵食量が少なく、その後の回復も速い侵食軽減効果が認められた。調査開始から約 1 年半が経過した後も、初期養浜量は減少せず、養浜海浜が維持されていることが判明した。

1. はじめに

伊勢湾西側にある津松阪港海岸の香良洲地区(図-1)では、護岸の老朽化と地盤沈下および地震時の液状化対策として護岸改修が実施されている。改修護岸の法線位置は旧護岸より海側へ前出しされるため、護岸前面の砂浜幅が減少する。特に、砂浜幅の狭い海岸中央部では、護岸前出しによって減少する砂浜を確保し、安定させるために養浜を計画している。養浜砂の安定を目的とした付帯施設には、沿岸漂砂に対して突堤を、岸沖漂砂の制御施設として、海岸環境と海浜利用に適した透水層埋設工法の採用を検討している。そこで、透水層埋設工法の養浜地形の安定性に対する効果を現地で検証するため、試験施工を行い、現地調査を実施している。

本研究は、試験施工された透水層埋設工法に対する約 1 年半の調査結果に基づいて、湾内における透水層の効果を検討するものである。

2. 施工概要

透水層埋設工法の養浜に対する効果を確認するため、図-2 に示すように 100 m 区間に 3 列の矢板砂止め工を打設し、養浜のみの区域(A 区域と略記)と養浜と透水層埋設区域(B 区域と略記)の 2 区域に分けた実験海浜を造成した。写真-1 に実験海浜を示す。実験海浜には、護岸改修工事の発生残土と雲出川の河床掘削土を用いた約 7200 m³の養浜砂を 100 m 区間に平均養浜層厚約 0.7 m で投入した。当海岸の平均粒径は 0.4 mm であるのに対して、養浜砂の粒径は 0.1~0.8 mm で平均的にはほぼ同程度の粒径であった。

養浜断面(図-3)は、香良洲地区に年数回発生する波

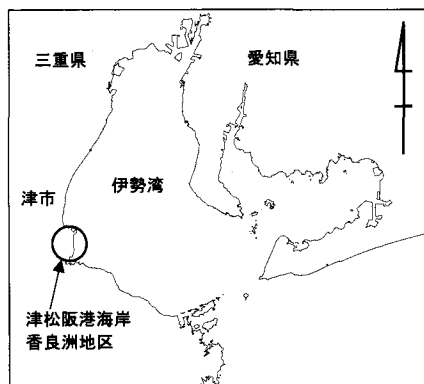


図-1 調査位置図

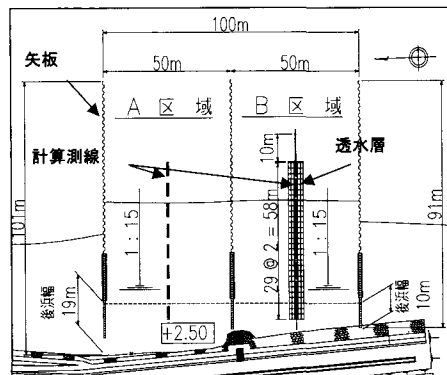


図-2 現地実験平面図

浪条件、 $H_{1/3}=1.5\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=5.0\text{ s}$ を対象に、勾配 1/15、天端高 T.P.+2.5 m (D.L.+3.66 m)とした。後浜幅は、台風来襲時に遡上高が T.P.+2.5 m を越えることも考慮して、最小幅 10 m 程度を確保した。透水層の埋設深さは、従前の海浜測量結果に 1 m 程度の断面変化が確認されたため、余裕深さを考慮して 1.5 m とした。透水層の岸沖方向設置位置は、Kanazawa ら (1996) の方法を参考にして、養浜陸側端部から L.W.L.水際線の真下までの全長 58 m とし、透水層の勾配は養浜断面と同じ 1/15 とした。透水層により集水した浸透水は、一本の排水管で

- * 前国土交通省中部地方整備局 四日市港湾事務所 所長 (現国土交通省中部地方整備局 港湾空港部 事業計画官)
- ** 国土交通省中部地方整備局 四日市港湾事務所 企画調整課
- *** 正会員 株式会社エコー 調査解析部
- **** 正会員 (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 主任研究官
- ***** 正会員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 漂砂研究室長

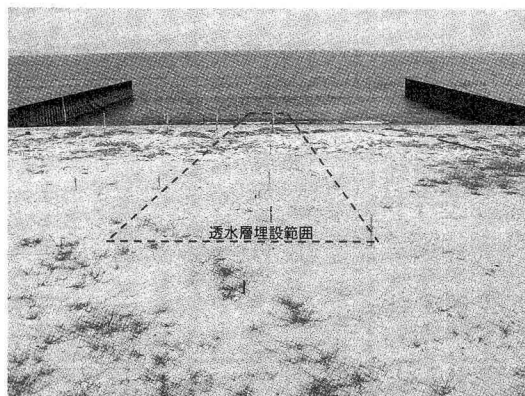


写真-1 現地実験状況 (B 区域)

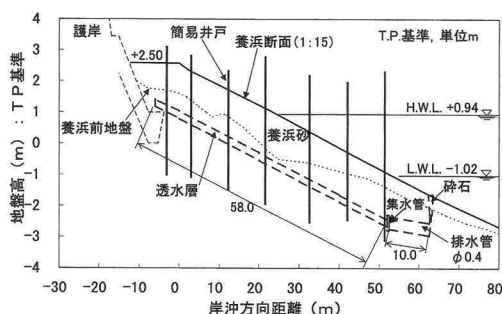


図-3 透水層施工位置断面図

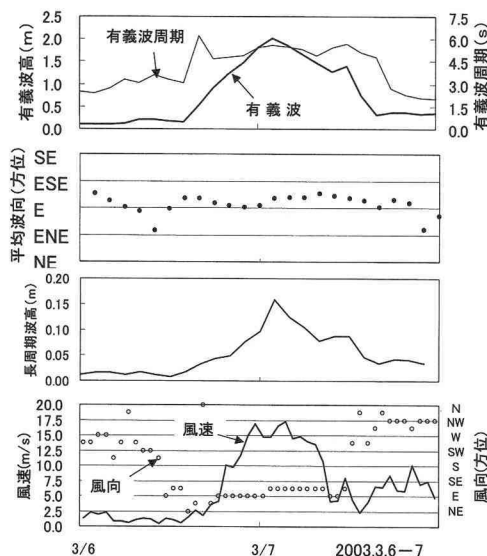


図-4 2003年3月6日から7日の海象・気象

海側に流出させ (塩見ら, 1995), 排水管の先端位置は, 集水管から沖側 10 m とした (柳嶋ら, 2003)。透水層は, 防食塗装を施したエキスパンドメタルのまわりに防砂シートを巻いた幅 1 m, 長さ 2 m, 高さ 0.2 m を基本単位

とする箱型構造とした (柳嶋ら, 1995)。

3. 調査方法

実験海浜及び前面海域で以下に示す調査を実施した。

(1) 波浪観測

実験海浜前面の水深 10 m 付近の海底に, 電磁流速センサー付き超音波式波高計を設置し, 水位, 水圧及び 2 成分流速を 2 時間毎に測定した。

(2) 地下水位観測

図-3 に示すように両区域中央の断面方向に各 7 ヶ所と B 区域の北側沿岸方向に 12 ヶ所の合計 26 ヶ所に簡易井戸を設置し, 地下水位を測定した。調査は 1 回/月を基本とし, 荒天時には随時実施した。

(3) 地形測量

平面的な地形変化が検出できるように, 区域毎に測線間隔 11.5 m とする 5 測線を測量した。測量は地下水位観測と同時にを行った。

4. 荒天時の海象状況

図-4 は発達した低気圧が当海域付近を通過し, 調査期間中に最も大きな地形変化を発生した冬期風浪時の海象・気象状況を示す。気象データは, 当海岸北側に位置する津地方気象台より入手したものである。この時の最大波は, $(H_{1/3})_{\max} = 2.03 \text{ m}$, $(T_{1/3})_{\max} = 5.6 \text{ s}$ であり, 当海域の 5 年確率波 (波高 2.2 m, 周期 5.0 s) に近い波浪であった。高波浪時の波向はほぼ東と一定であるが, 真東よりもやや南に傾く傾向を示す。長周期波高は最大で 0.16 m であり, 発生時刻は最大有義波高と同じとなった。風向が W 系から反時計回りに E 系になると風速が増大し, 波が急速に発達した。低気圧通過後, 風向が NW 系になると風速が低下し, 波も急速に減衰した。当海域の高波浪時には, 図-4 に示すような海象・気象の変化が多く観測された。

外洋では低気圧が通過した後に残るうねり成分により徐々に波高が低下するのに対して, 当海域では最大波高が観測された後に急激に波高が小さくなる。当海域はうねりの影響度合いが外洋に比べて小さいものと考えられる。

5. 地下水位の変化

図-5 に波浪静穏時の A, B 両区域の地下水位と中央測線上の前浜地形の比較を示す。両断面の前浜地形には, T.P. +1.6 m 付近に顕著なバームが認められ, 前浜を比較すると A 区域よりも B 区域がやや急勾配である。A 区域の地下水位 (■印) は陸側で T.P. +0.6 m 程度から徐々に低下し, 汀線に近づくにつれて地下水面の勾配が急になって海面と一致する。これに対して B 区域の地下

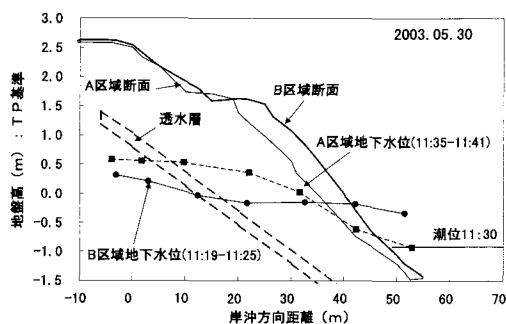


図-5 波浪静穏時の地下水位と前浜地形

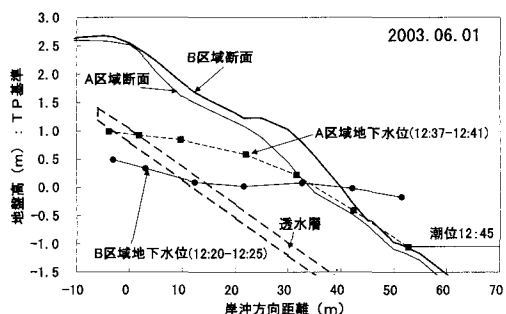


図-6 台風 0304 号通過翌日の地下水位と前浜地形

水位(●印)は、陸側で T.P. +0.3 m 程度から透水路埋設部に向かって地下水面が急速に低下するものの、透水路より海側になると地下水面はほぼ平坦になる。透水路埋設区域の地下水位は、明らかに低下したことがわかる。

B 区域で最も海側となる測点での地下水位は、海面よりも高く、この原因は透水路自体の排水能力は維持されているものの、浸透水を含めた地下水の排水が十分に行われていないために起きたと考えられる。排水能力の低下原因として、①排水口に取り付けている透水板の目詰まり、②排水管内への土砂流入による排水機能低下などが考えられる。安定した排水能力の確保は当工法の重要な課題であり、原因究明のため今後調査する予定である。

図-6 は、台風が通過した翌日の A・B 区域の地下水位と前浜地形の比較を示す。高波浪が来襲すると両区域ともに前浜が侵食され、波浪静穏時に比べて緩勾配となった。A 区域の地下水位は陸側で T.P. +1.0 m 付近であり、静穏時に比べて 0.4 m 程度上昇している。これに対して B 区域では陸側で T.P. +0.5 m 程度であり、静穏時に比べて 0.2 m 程度上昇しているものの、A 区域よりも上昇量が少ない。これは透水路埋設により、地下水位の上昇抑制効果が現われた結果である。

6. 前浜地形変化

(1) 短期的な地形変化

図-7 は、図-4 に示す高波浪来襲前後の地形変化であり、調査期間中最大の地形変化である。なお、最大波高は 2003 年 3 月 7 日に発生しており、その後の測量が 11 日になったことから、侵食後の堆積過程が含まれた断面形状となった。両区域ともに高波浪来襲前には T.P. +1.8 m 付近に顕著なバームが認められたが、高波浪時にバームが侵食され、水深 0 m 以深に顕著な堆積となって緩勾配となった。前浜地形の侵食箇所に着目すると、A 区域に対して B 区域の侵食量が少ないことから、次に高波浪前後の両区域の変化土量を比較する。

図-8 と 9 は、図-2 に示す測線の測量結果を用いて測量期間毎に変化土量を算出し、地形変化の特徴の違いを便宜上堀川ら (1975) の C 値を用いて分類し、 $C > 18$ と $C < 18$ について A 区域と B 区域を比較したものである。図-8 に示す侵食性波浪来襲時の両区域を比較すると、A 区域で土量が減少した場合に B 区域では逆に増加する場合が多い。次に図-9 に示す中間もしくは堆積性波浪来襲時に両区域を比較すると、A 区域で土量が増加した場合に A 区域に比べて B 区域の増加量が多い。このような結果から、B 区域では海岸に侵食性波浪が来襲した場合に侵食が軽減され、中間もしくは堆積性波浪が来襲した場合に堆積が促進されることがわかる。なお、変化土量を比較すると侵食の軽減効果に比べて堆積の促進効果が小さい。当海岸に対して構造が同じ透水路を埋設する波崎海岸では、高波浪時に侵食されるものの、その後の堆積促進効果が顕著に現われる(柳嶋ら, 2003)。この地形変化の違いは、当海域では外洋に比べて波高が小さいとともに、最大波高が発生した後に急激に波高が低

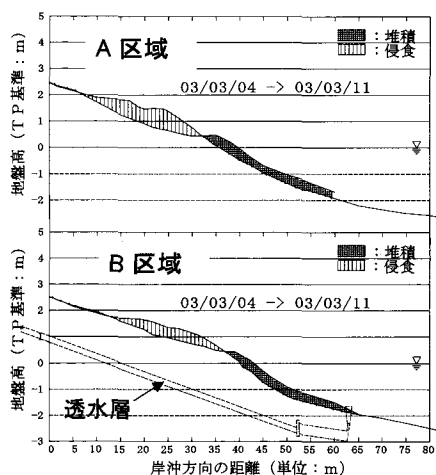


図-7 測量毎の A, B 区域の断面変化

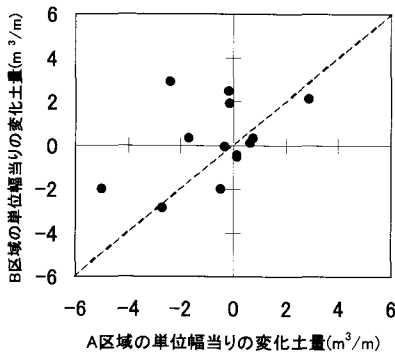


図-8 測量毎の変化土量の比較 (C>18)

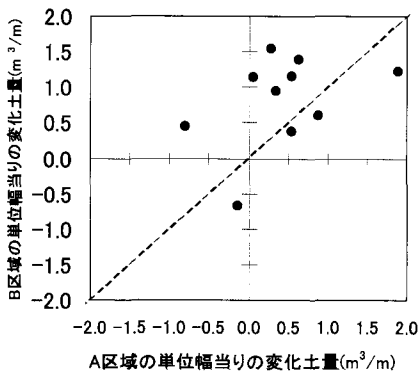


図-9 測量毎の変化土量の比較 (C<18)

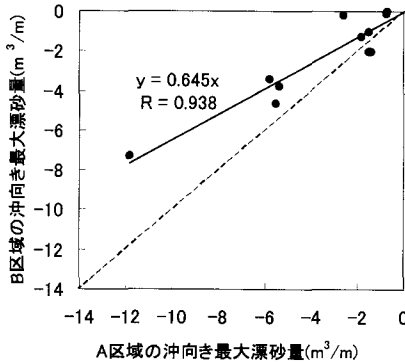


図-10 沖向き最大漂砂量の比較

下することによるものと考えられる。

図-10は、図-2に示す計算測線の測量結果を用いて、測量毎に岸沖漂砂量を求め、C値より侵食性波浪が来襲した場合の沖向き最大漂砂量を両区域で比較した図である。なお、岸沖漂砂量は岸向きを正とした。A区域に比べてB区域では、沖向き最大漂砂量が低減され、平均的にA区域の6.5割程度となった。沖向きの最大漂砂量が低減されることは、侵食軽減効果を示すことになる。

(2) 長期的な地形変化

図-11の上段に、図-2に示す計算測線上の透水層埋設部58m間の測量結果から2002年8月9日を基準とする単位幅当たりの断面土量の変化を示す。図-11の下段は、香良洲沖の波浪データから田端ら(1980)の方法を用いて2時間毎に求めた波エネルギーフラックスの経時変化図を示す。図-11の矢印に示すように年数回波より高波浪が来襲するとA区域では土量は減少し、その後ゆっくりと回復するものの、回復前に高波浪が来襲するとさらに土量が減少する。これに対してB区域では、高波浪が来襲するとA区域よりも土量の減少が少ないとともに、その後の回復も早く、長期的には堆積・安定傾向にあり、侵食軽減効果が現われている。約1年半の断面土量変化を追跡した結果、A区域では土量が4 m³/m程度減少するのに対して、B区域は10 m³/m程度増加した。なお、2003年11月25日に高波浪が来襲しているが、高波浪時間が干潮時に重なったことから、顕著な地形変化が発生しなかったものと考えられる。

次に調査開始初期と約1年半経過後の断面比較を図-12に示す。A区域では前浜にやや侵食が認められ、水深2mより深い場所に堆積域が認められるのに対して、B区域の前浜では顕著な堆積域が認められ、透水層先端沖側の水深1~2m付近にかけて侵食が発生している。

図-13は、図-12と同じ測量期間を比較した平面的な地形変化を示す。平面的にも断面地形の変化と同様な傾向が認められ、A区域では水深1mよりも岸側でやや侵食され、水深2m以深に顕著な堆積が認められる。これに対してB区域では、水深0mより岸側で顕著な堆積域となり、水深1~2mで侵食となった。このように約1年

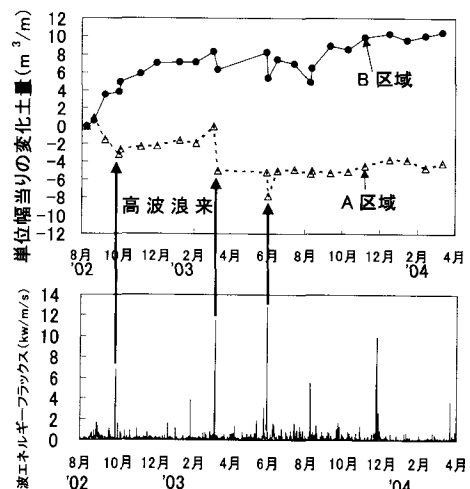


図-11 断面土量と波エネルギーフラックスの経時変化

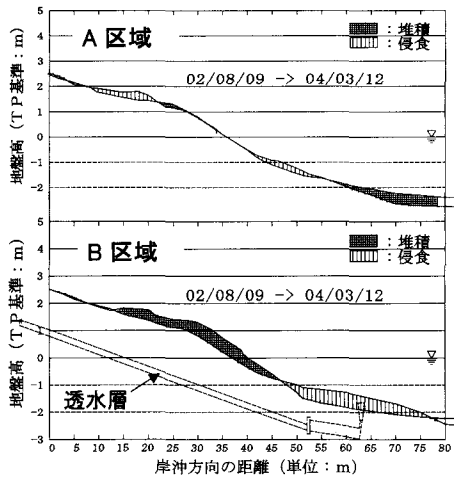


図-12 A, B 区域の断面変化

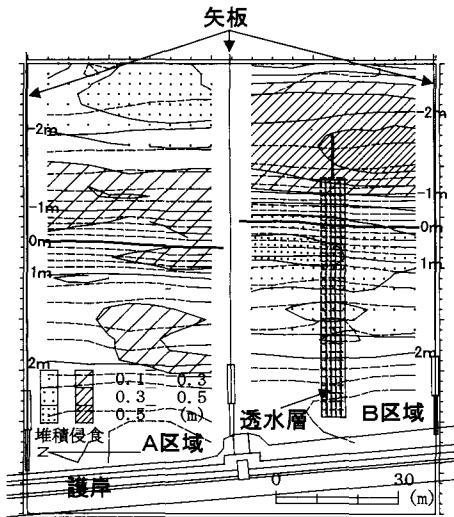


図-13 平面的な地形変化 (T.P.基準) (2002 年 8 月 9 日と 2004 年 3 月 12 日の比較)

半の間に透水層の有無による地形変化に明確な差が現われ、透水層埋設により養浜を維持することが可能である。

次に、B 区域内の水深 0～1 m 付近の地形変化は、透水層埋設部より南側に比べて北側で堆積度合いが強い傾向を示す。これに対して、A 区域も同様に比較すると南側が侵食域に対して北側は地形変化が±0.1 m 未満であ

る。両区域の水深 0 m 線は北側がやや前進しており、図-4 に示すように当海域の高波浪来襲方向が真東よりもやや南に傾くためと考えられる。

7. おわりに

現地に養浜を行い、養浜のみの区域と透水層埋設区域の海浜地形と地下水位の変動調査結果から、以下の透水層埋設工法の効果が明らかとなった。

① 透水層埋設範囲の地下水位は低下するとともに、高波浪時に地下水位が上昇した場合にも上昇量を抑制する。

② 透水層の有無による測量毎の変化土量を比較すると、透水層埋設範囲では侵食性波浪来襲時に侵食されるものの侵食量が少なく、その後の回復速度も速いことから、侵食軽減効果が認められた。ただし、侵食の軽減効果に対して堆積の促進効果が小さい。

③ 構造が同じ透水層を埋設する波崎海岸では、高波浪時に侵食されるものの、その後の堆積促進効果が顕著に現われる。この地形変化の違いは、当海域では外洋に比べて湾内の波高が小さいとともに、高波浪時の波高は最大波高が発生した後に急激に低下することによるものと考えられる。

④ 透水層埋設区域では約 1 年半が経過した後も、初期養浜量は減少せず、養浜海浜を維持させていることが判明した。

参考文献

- 塩見雅樹・戸引 勲・松川文彦・津川昭博・長谷川巖 (1995): 透水層埋設による海浜安定化効果の定量的評価, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 721-725.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第 22 回海講論文集, pp. 329-334.
- 柳嶋慎一・加藤一正・天坂勇治・名城 整・望月徳雄 (1995): 現地海岸に埋設した透水層の排水流量と前浜地形変化, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 726-730.
- 柳嶋慎一・佐藤勝弘・原 隆・齋藤正文・岩佐直人・堀 謙吾・長谷川巖・長谷川準三 (2003): 透水層埋設による海浜安定化工法の開発, 港空研報告, 第 42 巻, 第 1 号, pp. 1-113.
- Kanazawa, H., F. Matukawa, K. Katoh and I. Hasegawa (1996): Experimental study on the Effect of Gravity Drainage System on Beach Stabilization, Proc. of 25th ICCE, pp. 2640-2653.