

海浜感潮域の地下水位と透水層設置後の影響について

細貝 正治* ・ 澤田 晴彦** ・ 若 崎 賞***
 斉 藤 隆**** ・ 加 藤 一 正*****

1. はじめに

前浜付近の地下水位の変動が、海浜変形に影響を及ぼすことが知られており、最近、揚水による地下水位の強制排水低下及び透水層埋設による自然排水低下等の地下水位制御による海浜安定化工法の研究がなされている。この内、透水層埋設による海浜安定化工法は、海浜中に透水層を埋設し、前浜付近の地下水を排水口から海中に排出して、前浜付近の地下水位を低下させる工法であり、前浜の侵食を抑え、海浜の安定化に効果があることが確認されている（例えば、柳嶋ら、1995、1996；片山ら、1992；塩見ら、1995；佐藤ら、1996）。

この工法は自然に極力近い状態で海浜を保全することを目指すものである。背後に松林などの植生も考慮に入れた施工がなされることになる。そうすると、地下水位を下げて海浜の安定化がはかれたとしても、地下水位が下がったために背後の松が枯れてしまうようでは大きな問題である。従来の検討では、地下水位を低下させた効果が前浜地形変化にどのように表れるかという観点であり、後浜への影響は明らかにされていない。

そこで、現在、透水層が試験施工されている山口県虹ヶ浜において、特に、透水層の埋設が後浜の地下水位に及ぼす影響の観点で調査した。

2. 透水層工法の概要及び調査内容

2.1 透水層施工の概要と自然条件

調査対象の虹ヶ浜海岸は、図-1に示すように、山口県東部に位置する光市にあり、瀬戸内海の周防灘に面した海岸である。ここは、瀬戸内海国立公園第2種特別地域に属し、延長1.6 kmの天然の白い砂浜とその背後に帯状に連なる黒松林が一体となった風光明媚な景勝地である。

ところが、後浜の天端高さがD.L. +5.7 mであり、防災上十分ではない。例えば、1991年9月27日に台風9119

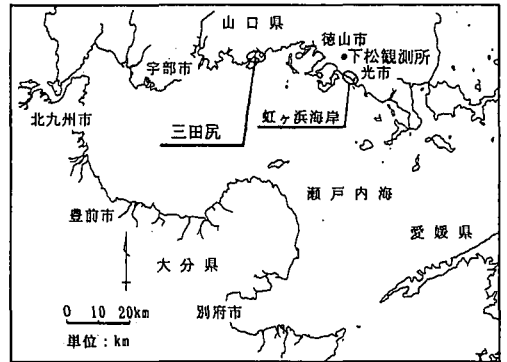


図-1 対象海岸位置図

号が来襲した際には、高潮と高波浪が重なって背後が浸水するという被害を受けている。また、この時には根元が海水に浸かった多数の黒松が枯れるという状況も発生した。このため、自然の景観を保存しつつ防災機能を確保することを目的に、透水層を埋設する工法を試験的に施工することになった。

事前に行った模型実験の結果に基づき、図-2に示した断面を設計し、施工した。図-2には、施工前の海浜断面も示してある。施工前の断面は、前浜勾配が1/8であり、その先は200~300 m沖合までほぼ水平の海底が続いている。施工した透水層の特徴と、波崎海洋研究施設で実験施工されている透水層との違いは以下の通りである。

a) 透水層厚：波崎の0.2 mに対し、その10倍の2.0 mである。これは、既に述べたように本海岸の防災上の問題が後浜の天端高の不十分さにあることを改善するためである。つまり、埋設した透水層の厚さだけ、前浜面

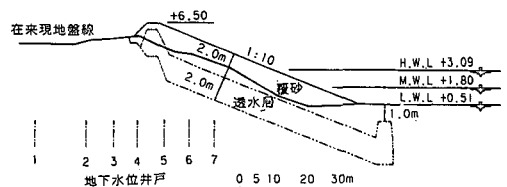
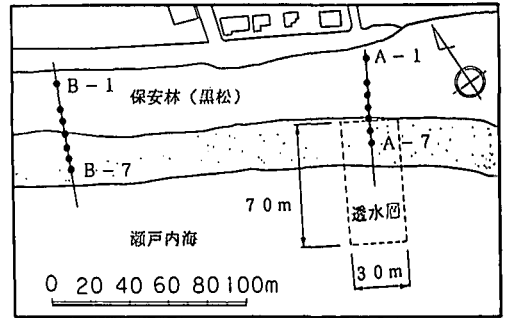


図-2 透水層埋設断面

* (株)日本港湾コンサルタント設計本部副主任
 ** 山口県土木建築部元周南港湾管理事務所主任
 *** 山口県土木建築部元港湾課技師
 **** 正会員 工博 山口大学名誉教授
 ***** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所瀬砂研究室長

表一 虹ヶ浜海岸の自然条件

項目		条件
潮位 (m)		H.W.L.: +3.09, M.W.L.: +1.80 L.W.L.: +0.51
波浪	設計波	$H_0=2.82\text{ m}$, $T=6.5\text{ s}$ (30 年確率)
	荒天時波	$H_0=1.22\text{ m}$, $T=5.1\text{ s}$ (年 1 回生起)
底質	前浜	$d_{50}=2.0\text{ mm}$, $k=0.3\text{ cm/s}$
	後浜	$d_{50}=0.7\text{ mm}$, $k=0.02\sim0.12\text{ cm/s}$



図一3 透水層埋設位置と測線位置

のレベルが上昇し、ひいては後浜の天端も無理なく上げることができるのである。このため、まず必要な後浜天端高を計算し、それを満たすように透水層厚を決めた。

b) 透水層の構造：波崎の中空に対し、5号碎石を使用した。透水層厚が10倍になった結果、必ずしも中空にしくなくてもよくなり、むしろ強度上何かを詰める必要が生じた。現地の砂を用いて行った予備実験の結果に基づいて、もっとも目詰まりしない5号碎石を用いることにした。

c) 沖への排水：波崎では排水管1本で144m沖へ排水している。その出口は水中にある。これに対し、ここでは図一2に示すように透水層の沖側端を台形状に盛り上げて排水口とした。排水口上の覆砂厚は1mである。この様な構造にした理由は、①対象海岸が有名な海水浴場となっていて、遊泳者の安全上、何ら構造物を海底面から上に出すことができない、②もともと背後の松林の地下水位が高いので、荒天時の波の遡上によって地下水位が高くなると海面との水位差が大きくなり、排水口上の覆砂層がクイックサンド状態になり排水が始まる、③通常時には、透水層が機能しなくても防災上の問題は無い、④むしろ、通常時の上げ潮時(潮差：約2.5m)に海水が透水層を逆流して背後の松林に悪影響が及ぶことを防げる、などである。

d) 沿岸方向敷設範囲：波崎の8mに対し、30mである。

なお、対象海岸の自然条件を表一に示しておく。

2.2 調査内容

透水層内の地下水位の岸沖分布を測定するために、図一3に示したように透水層埋設範囲の中心線に測線を設定し、それに沿った7地点に径10cmの観測井戸をつくった(岸沖方向の位置の詳細は、図一2参照)。また、沿岸方向に200m離れた地点(図一3)の自然海浜に、同様な観測井戸7本をつくった。以下では、透水層敷設範囲内の測線を測線A、自然海浜のそれを測線Bと呼ぶことにする。

全ての井戸に、地下水位計(マグネット・フロート・タイプ、FL-107S型、ケネック製)を設置して、バースト間隔10分間で10秒間にサンプリング間隔1sで地下

水位を測定しその平均を計算した。

海面変動については、調査海岸の東に6kmに位置する棧橋において、空中発射型超音波式波高計で測定した。測定されたデータをもとに、潮位は10分間隔で1分間の平均を計算して求め、波浪は1時間間隔で10分間のデータから計算した。

黒松の活性度を調べるために、松林全体から30本の松を選定し、11項目(樹勢、樹形、枝の伸長量、梢端の枯損、枝葉の密度、葉形、葉の大きさ、葉色、ネクロシス、萌芽の時期、芽の大きさ)について5段階評価をし、同じ黒松について赤外線反射強度を測定した。また、枯れた黒松の切株の根の状況を掘って調べた。

3. 透水層埋設後の地下水位

3.1 透水層埋設前の測線A、Bの地下水位の比較

透水層埋設が後浜の地下水位に及ぼす影響を調べるために、透水層が埋設されているところに設定した測線Aと自然海浜の測線Bの地下水位を比較することにした。両測線の表面にある砂の中央粒径と透水係数は同じであることを確認していたが、この比較が可能になるためには、測線Bの地下水位の変動特性が、透水層を埋設していないときの測線Aのそれと同じでなければならない。そこで、透水層を埋設する以前に測線A、Bで測定した地下水位を比較し、確認しておく。

透水層設置前の1994年11月18日(大潮)の潮汐は、2時の干潮(D.L.+0.57)から9時の満潮(D.L.+3.15)を経て15時の干潮(D.L.+1.32)まで変化した。このときは、雨は降っておらず、有義波高15~35cm、周期2.5~4.0sであった。図一4は、同じ時間帯の測線A、Bの地下水位の関係を全測点について、1時間毎に比較したものである。縦軸が測線Bの水位、横軸が測線Aの水位を測点毎にずらして表示してある。プロットされたデータが、直線状の時は同位相の変動を意味し、図中の破線にあるときには同水位であることを意味する。測点2,5,6では、水位データが直線状に、破線近くにプロッ

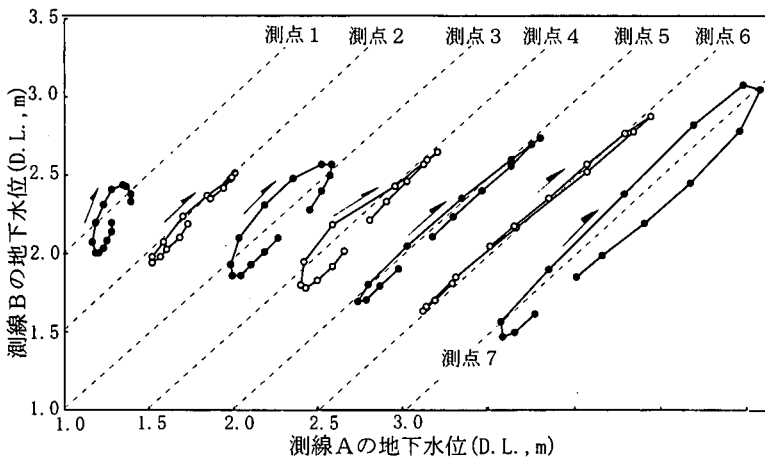


図-4 測線 A, B の地下水位の比較 (透水層埋設前)

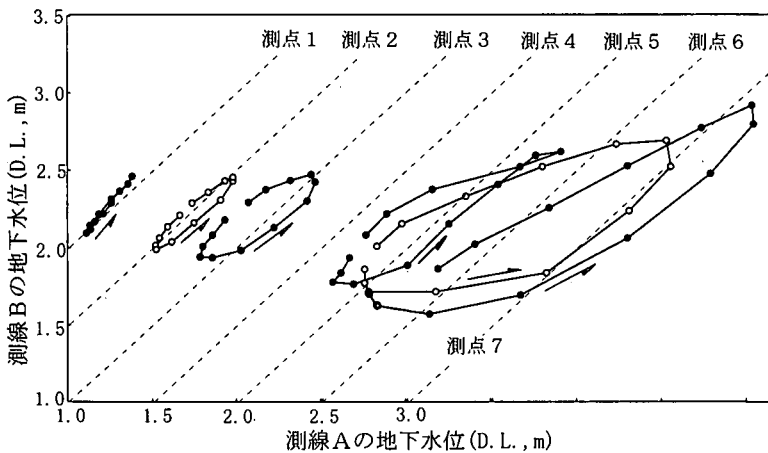


図-5 測線 A, B の地下水位の比較 (透水層埋設後)

トされていて、これらの測点では同位相、同水位で変動していることがわかる。測点 4, 5, 7 では、破線に沿って細長く時計回りにプロットされている。つまり、測線 B のほうの位相がわずかに早い。測点 1 では、時計回りの楕円状にプロットされており、楕円の中心は破線近くにあるものの、楕円の長軸が少し立っている。したがって、測線 B の方が振幅が大きく(ピーク水位も高い)、位相が早い。このように測点によっては、同位相・同水位で変化をしていないが、これは測点の汀線からの相対距離が対応する測点間で必ずしも同じでないことや、浜内部の土質構造が全く同じではないことによるものと考えられる。したがって、以下の解析結果は、このことを踏まえて、検討しなければならない。

3.2 通常時の地下水位

1996 年 10 月 15 日の 4 時～16 時の間の地下水位変動を調べる。この日は図-4 の時と同じように大潮であり、潮汐は、4 時の干潮 (D.L. +0.54 m) から 10 時の満潮

(D.L. +3.12 m) を経て 16 時の干潮 (D.L. +1.07 m) ままで変化した。また、雨は降っておらず、有義波高 12～43 cm, 周期 2.5～3.6 s であった。

図-5 は、図-4 と同様に測線 A, B の地下水位の関係を示したものである(測点 4 は欠測)。縦軸は測線 B の水位であるが、これを透水層を埋設していなかった場合の測線 A の水位とみなすことができる。

測点 2, 3, 5, 6, 7 ではプロットしたデータが、反時計回りに楕円状に変化している。つまり、透水層を埋設することによって、地下水位の上昇・下降ともに早くなった。楕円の長軸が破線より傾いていることは、振幅が大きくなり、ピーク水位も高くなることを示している。この傾向は、特に、透水層を埋設しているところに位置(図-2 参照)する測点 5, 6, 7 で明確である。測点 1 では、データが破線近くに直線状にならんでおり、ほぼ同位相、同水位の変動をしている。透水層埋設前のこの測点の水位変動は、振幅が小さく、ピーク水位が低かった

(図-4 参照) のであるから、同位相、同水位であるということとは上述したことに同じ傾向であり、透水層埋設の影響が測点1まで及んでいるといえる。

結局、透水層を埋設すると、通常時においては地下水位の変動幅が大きくなり、地下水位のピーク値は大きくなる。なお、ピーク水位の高くなる程度は、図-5に示したデータを生データで調べると、測点2で3 cmであり、透水層の埋設範囲内にある測点5では30 cmであった。

3.3 台風時の地下水位変動

1996年8月14日15時過ぎに、台風9612号が徳山市(図-1参照)付近に上陸した。図-6は、上陸時を中心にして1日間の地下水位、潮位、波浪(波高、周期)、雨量の経時変化を示したものである。地下水位は、測線Aの各測点で観測された結果である(測点5は欠測)。しかし、潮位と波浪は、停電のために欠測になった。図中の潮位は、本海岸の西30 kmに位置する三田尻中関港で観測された実測潮位であり、波高・周期は下松観測所で観測された風向・風速を本海岸に補正して適用し、推算した結果である。雨量は、同観測所で観測された1時間当りの量である。

図-6によると、測点1の地下水位は潮汐周期で変動しながら徐々に上昇している。これには、降雨の影響も含まれてるだろうが、もっと大きな要因は海からの海水の流入であると考えられる。というのは、この期間中、測点3の地下水位が常に測点1の地下水位より高いレベルで変動しているからである。このような状況になったのは、台風の接近・通過時に発達した波による wave setup や浜への波の遡上などによって砂浜の地下水位が通常時よりも高くなったためである。例えば、測点6、7について、8月14日15時と15日3時の地下水位を比較すればこのことが理解できる。

さて、図-7は、台風が上陸する直前からの1潮汐間である8月14日14時～15日3時の、測線A、Bの測点1、3、4、6について地下水位の相互関係を1時間毎にプロットしたものである(他の測点は、いずれかの測線におい

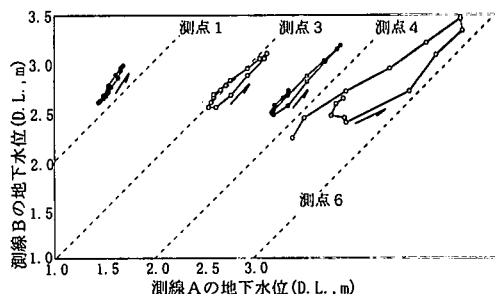


図-7 測線A、Bの地下水位の比較(台風時)

て欠測)。やはり、縦軸の地下水位は、透水層を埋設していなかった場合の測線Aの地下水位とみなすことにする。測線1、4、6においては、全てのデータが破線より上方にプロットされている。つまり、透水層を埋設すると、これらの測点では台風時に自然海浜に比べて常に地下水位が下がっている。そして、測点6についてプロットされたデータは、反時計回りに移動するという透水層の効果が認められる。また、常に地下水位が高かった測点3(図-6参照)を図-7にプロットした結果は破線のわずかに下方にあり、その地下水位は自然海浜と同じかやや上回る。

4. 黒松への影響

黒松は主に地表面付近に這う生活根を通じて水分の吸収を行っており、深く直下に伸びる根(直根)は、水分の吸収の役割もはたすが、黒松が安定するためのものである(図-8、参照)。村井ら(1992)によると、一般に、松類は地表面から50～60 cm深以上に地下水位が高いと直根が発達せず、海岸の黒松の場合、直根が80 cm程度以上に伸びられれば比較的良好な育成が期待できる。

さて、図-9(a)は、30本の黒松について各11項目に渡って5段階評価した結果の平均値(活性度)と赤外線放射強度の関係を示したものであり、両者には相関が認められる。反射強度が強いほど樹木の活性度が良いといわれている(村井ら、1992)ので、本調査で用いた活性度の指標は黒松の状況を良く表しているといえる。そこで、活性度と黒松の生えていた地盤高さの関係を図-9(b)にプロットした。図中の白丸は、本海岸に流入している河川の近くに位置していた黒松である。データはバラつくが、地盤の高い方が活性度がよいようである。黒松の活性には、いろいろな要素が関与しているであろうが、地下水位については低い方がよいようである。

表-2は、切株5本について根本を掘って根系を調査した結果である。表中の用語の定義は、図-8に示されている。直根の長さは、1.2～2.5 mであり、その先端高さはD.L.+3.1～4.6 mの位置にある。透水層埋設前の

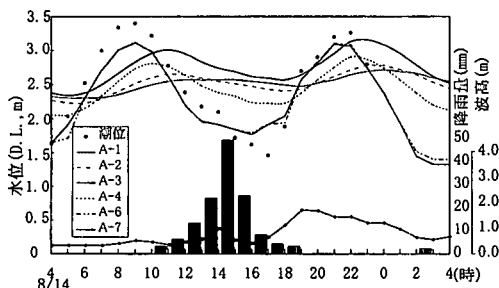


図-6 台風9612号来襲時の、地下水位、潮位、波浪、雨量の経時変化

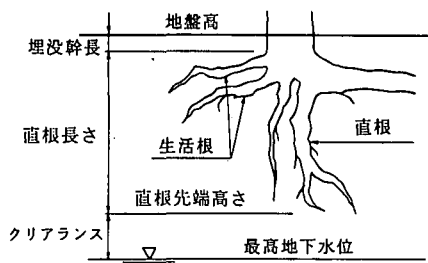


図-8 根系の名称と定義

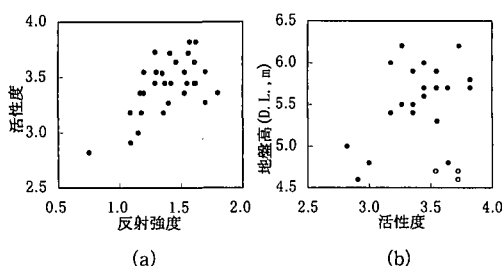


図-9 黒松の活性度と赤外線反射強度、地盤高の関係

表-2 根系の状況

	1	2	3	4	5
推定樹齢(年)	21	23	18	31	35
地盤高(m)	+5.5	+5.9	+6.2	+5.6	+6.1
埋設幹長(m)	0.9	0.3	0.1	0.1	0.0
直根長さ(m)	1.5	1.2	1.5	2.0	2.5
直根先端高さ(m)	+3.1	+4.4	+4.6	+3.5	+3.6
クリアランス(m)	0.6	1.9	2.1	1.0	1.1

1994年11月～1996年2月の間に、測線Aの測点1で観測した地下水位の平均値はD.L. +2.20 mである。地下水位が高いのは降雨の多い5～9月であり、その間の平均値および最高値は、それぞれD.L. +2.27 m, D.L. +2.50 mであった。これら値のうち、最高値を用いてクリアランス(図-8参照)を計算した結果も、表-2に示した。

さて、透水層を埋設した後、測線Aの測点2では地下水位のピーク値が3 cm増加した。測点2は、透水層埋設範囲の背後15 mのところに位置しており(図-2参照)、また透水層埋設範囲の沿岸方向幅は30 mであるために、この測点の地下水位には、平面的な影響(サイドからの地下水の流入およびその逆)が含まれている(透水

層の影響が弱くなっている)。したがって、透水層を沿岸方向に広い範囲に埋設した場合には、ピーク水位の上昇量はさらに大きくなる。透水層埋設範囲内に位置する測点5の上昇量が30 cmであることを考慮に入れると、上昇したとしても表-2に示したクリアランスと比較すると、少ないであろうと考えられる。台風時には、ほとんどの所で地下水位が下がるので、現状並かむしろ良くなる。

5. おわりに

沿岸方向30 mの幅で埋設した透水層の効果(影響)は、以下のとおりである。

- 前浜に沿岸方向30 mの幅で埋設した透水層の影響は、背後30 m地点(測点1)まで及んでいる。
- 通常時においては、後浜・前浜ともに、地下水位の変動幅が大きくなり、水位のピーク値は大きくなる。
- 台風時においては、後浜・前浜ともに、自然海浜に比べて常に地下水位が下がっている。
- 後浜のピーク地下水位の上昇は、黒松の生育に影響を及ぼすことはない。

最後に、黒松の活性度調査では塩見隆行元山口女子大学教授のご協力を賜り、現地調査・データの整理では日本港湾コンサルタント・田島佳征氏に手伝っていただいた。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 片山 忠・黒川 誠・柳嶋慎一・加藤一正・長谷川 徹(1992): 透水層設置による前浜地下水位の制御, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 871-875.
- 佐藤勝弘・P. G. Pena-Santana・金 圭漢・竹内聖一(1995): 透水層埋設による前浜付近の波浪, 浸透流予測計算, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 731-735.
- 佐藤勝弘・妻夫木一秀・野口雄二・岩佐直人(1996): 透水層埋設による地下水位低下に関する3次元予測計算, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 656-660.
- 塩見雅樹・戸引 勲・松川文彦・津川昭博・長谷川 徹(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.
- 村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編集(1992): 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, 513 p.
- 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・金澤 寛・平井宜典・加藤一正・望月徳雄(1996): ストライプ状透水層の前浜地形変化に及ぼす三次元的効果, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 661-665.