

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

柳 嶋 慎 一* ・ 金 澤 寛** ・ 平 井 宜 典***
加 藤 一 正**** ・ 望 月 徳 雄*****

1. はじめに

浜に遡上した後に浸透した海水を、砂浜の中に埋設した透水層によって沖に自然排水し、前浜の侵食を減少させる新しい砂浜保全工法に関する模型実験が塩見ら(1995)によって行われ、地下水位の低下、前浜侵食の減少効果が確認されている。また、柳嶋ら(1995)は、現地調査を行い、地下水位の低下、前浜侵食の時間遅れを確認した。ただし、幅 7.6 m の透水層沿岸方向両サイドに止水矢板を打設した状態(二次元的)での調査であった。

そこで、今回は止水矢板をはずした三次元的な状況での調査を行った。これは、透水層を面的に埋設するのではなく、工費を軽減するために沿岸方向へストライプ状に埋設する場合のストライプ間隔について検討するためのデータを測得することを目的としている。調査では、前浜地形と地下水位の平面分布を測定し、沿岸方向への透水層の影響範囲を把握する観点で、前浜地形と地下水位との相互の関係についてデータ解析を行った。

2. 調査方法

調査は、茨城県の鹿島灘に面する砂浜海岸にある波崎海洋研究施設(図-1、以後 HORS と呼ぶ)でおこなっている。本論文では台風第 9512 号の来襲した 1995 年 9 月 16 日から通過後までを解析の対象とした。

透水層は、図-2 に示す前浜から後浜にかけての 88 m、幅 7.6 m の範囲に、現地盤から 1~2 m の深さに設置してある(詳細は、柳嶋ら、1995 参照)。

以下の項目について測定をおこなった。

a) 汀線付近(岸沖方向距離 22 m)と排水口位置での水面変動を観測棧橋上に取り付けた超音波式波高計によって連続測定した(図-2)。水位については、観測データを平均して求めた。また、毎正時をはさむ 20 分間の

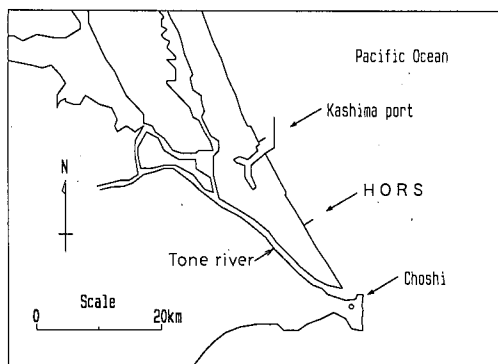


図-1 調査位置図

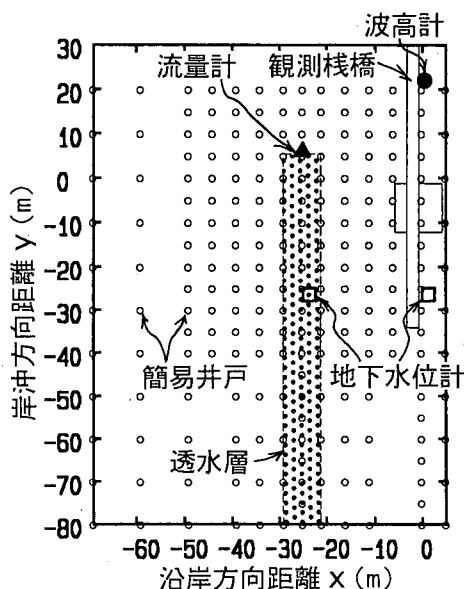


図-2 調査範囲および計測器の配置

データについてスペクトル解析を行い、その結果得られた周波数スペクトルを用いて、その 0 次モーメントから長周期波の波高 H_L を求めた(加藤ら、1989)。

b) 透水層断面内の 1 地点(岸沖方向距離 -25 m)およびその地点から沿岸方向に 25 m 離れた自然海浜で内

* 正会員 運輸省港湾技術研究所海洋環境部主任研究官
** 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所長
*** 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所調査課長
**** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部漂砂研究室長
***** 運輸省第五港湾建設局清水港工事事務所

径 12.5 cm の塩ビパイプを砂浜に打ち込み、パイプ内に設置した水位計によって地下水位を連続測定した。

c) 排水管外側に取り付けた超音波流量計によって排水パイプ内の流量を連続測定した。

d) 鹿島港に設置された超音波式波高計によって偶数正時をはさむ 20 分間の波形を測定し、有義波高・周期を計算した。なお、鹿島港のデータが欠測の場合は、常陸那珂港の波浪を用いて波高・周期を推算した。

e) 鹿嶋アメダス観測点と銚子気象台で 1 時間ごとに観測されたデータを平均して雨量とした。

f) 地下水位と前浜地形の平面分布については、図-2 に示す範囲の○印の地点で、静穏時には 1 日 1 回、荒天時には 3 ～ 7 時間毎に測定した。地下水位の測定には、内径 40 mm のパイプを砂浜に打ち込んだ簡易井戸に、メジャー付きのフロートを挿入する方法を用いた。

3. 前浜地形の急激な侵食

図-3 の上段は、調査時の有義波高・周期を、中段は汀線における長周期波の波高を、下段は雨量の経時変化を示している。なお、汀線付近の長周期波の波高が 9 月 17 日 7 時まで無いのは、波高計位置の地盤高が高く、データが得られなかったためである。

有義波高は、9 月 16 日 20 時ごろから大きくなりはじめ、台風が最も HORS に接近した 17 日 14 時に有義波高は、6.0 m で極大になった。その後、波高は減少し、18 日 6 時には 2 m になっている。有義波周期は、波高の増大に伴って 7 s から 10 s 前後になり、波高減少後もほとんど変わらない。

長周期波の波高は、9 月 17 日 7 時頃から急激に増大し、バームの侵食が生じた。そして 15 時には、長周期波の波高は、1.8 m に達している。この長周期波の波高は、HORS で観測を開始 (1987 年) して以来最大である。

雨量は、17 日 3 時、10 時に 20 mm/hour を越えている。合計雨量は、17 日 14 時までの 31 時間で 303 mm に達した。

図-4 は、急激な侵食が始まる直前 (17 日 7 時) の前浜

地形を示したものである。岸沖方向距離 $y=0\text{ m} \sim -50\text{ m}$ の範囲にバーム上の平坦部が形成されており、 $y=0\text{ m}$ から沖側は勾配が急になっている。また、2.2 m のコンターラインは透水層部分で沖に張り出している。図-5 は、侵食後 (17 日 14 時) の前浜地形であり、 $y=-40\text{ m}$

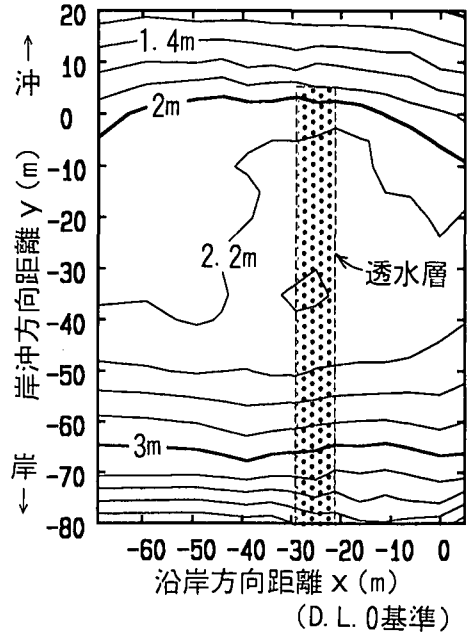


図-4 侵食前の前浜地形 (9 月 17 日, 7 時)

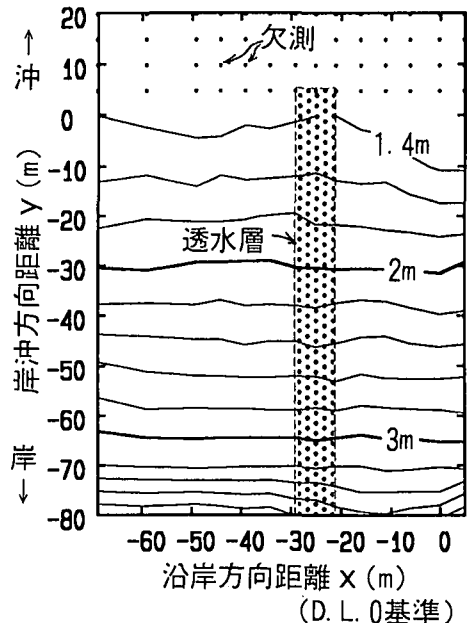


図-5 侵食後の前浜地形 (9 月 17 日, 14 時)

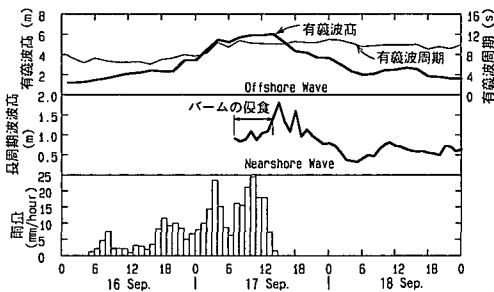


図-3 台風第 9512 号通過時の波浪、雨量の変化

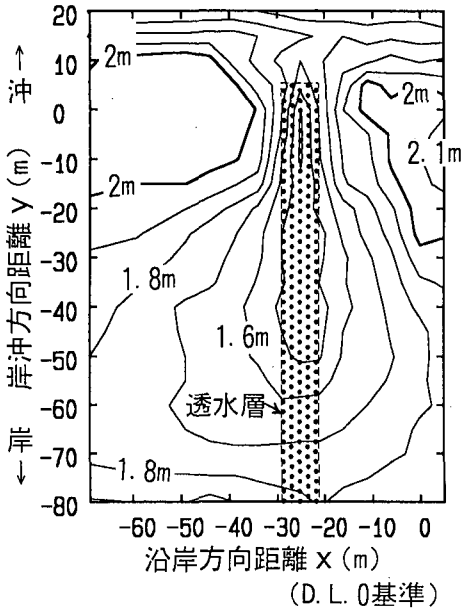


図-6 台風来襲前の地下水位 (9月16日, 16時)

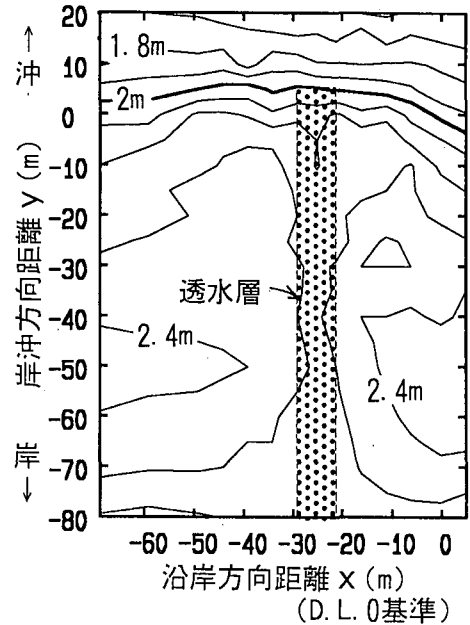


図-7 侵食が始まる前の地下水位 (9月17日, 7時)

よりも沖側の測定範囲は一樣に侵食され、 $y = -40$ m から -70 m の範囲は、僅かに堆積が生じた。 $y = -70$ m よりも岸側の範囲は、ほとんど変化していない。その結果、前浜勾配は、全域にわたり $1/40$ になった。

なお、図-4と5の地形測量の間隔が7時間になったのは、台風の接近に伴い風速が大きくなり(17日11時：極大平均風速 29.2 m/s)、汀線付近の長周期波の遡上も大きくて、生命の危険が生じ、観測を中断せざるを得なかったためである。

図-6は、台風来襲前の16日16時の地下水位の平面分布である。時々波がバーム頂部に遡上していたため $y = 0$ m 付近の地下水位が沿岸方向に連なって高くなっている。しかし、 $y = 0$ m の透水層埋設部分では逆に最も地下水位が低くなっている。 $y = -20$ m より岸側の地下水位は、波の遡上がないため、透水層から離れるに従って緩やかに高くなっている。

図-7は、前浜地形の侵食が始まる直前(17日7時：図-4の地形にほぼ対応)の地下水位の平面分布を示している。この測量時には、 $y = -55$ m まで波の遡上が及んでいた。地下水位は、 $y = -50$ m 付近で極大となり $y = -50$ m より岸側では低い。図-4の前浜地形と地下水位をくらべるとこの時点で、 $y = -50$ m より沖側の砂の中は飽和状態になっていることが分かる。透水層埋設部の地下水位は周囲の自然海浜に比べ $0.1 \sim 0.2$ m 低くなっているにすぎない。急激な侵食が終了した17日14時の測量時でも、透水層による十分な地下水位低下は見られなかった。このことは、二次元的な状況の際に、波の遡上

が最大の時でも、自然海浜部に比べ、透水層断面の地下水位が約 0.8 m 低くなっていた状況(柳嶋ら, 1995)と大きく異なっている。この原因として、以下の2項目が考えられる。①止水矢板を取り除いていたために、両サイドから地下水が流入した。②排水口の鉛直部分に細かな砂が堆積し、排水能力が低下していた。このうち、②については、このときの排水パイプ内の流量が水位差から判断して少なかったこと、11月3日の波が穏やかなときに排水口の鉛直部分の排水パイプ約 3 m 区間に細かな砂が詰まっていたことを確認したこと等から推察したものである。また、汀線から $y = -50$ m まで範囲の砂中が飽和状態になっていたことは、降雨量が多く、かつ継続時間が長かったためと考えられる。というのは、柳嶋ら(1993)の結果をもとに、観測雨量を用いて雨による地下水位の上昇を試算してみると、地下水位は1時間で 0.5 m 上昇するという結果になったからである。

観測の中断があったため、透水層による侵食の時間遅れは観測できなかった。ただし、観測が可能であったとしても図-7に示すように透水層埋設範囲の地下水位も自然海浜と同様に高くなっていたので、透水層による侵食の時間遅れはほとんどなかったと推察される。

4. 前浜の堆積過程

急激な侵食は9月18日に終了し、その後25日までの間に顕著なバームの形成が見られた。

図-8は、9月25日の前浜地形を示したものである。図-5に示した侵食直後の前浜地形に比べ、 1.4 m $\sim$ 2.2

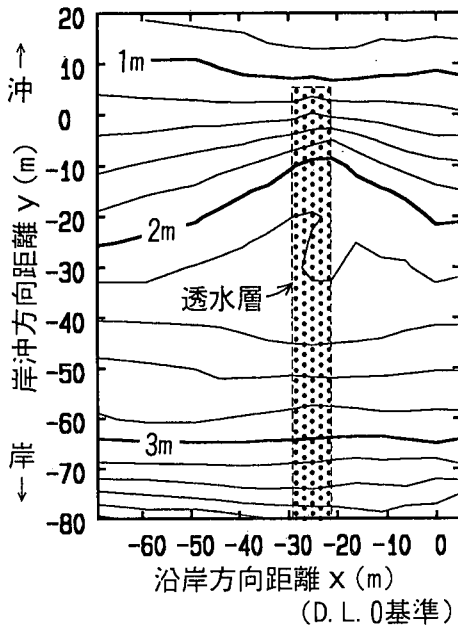


図-8 透水層を中心に堆積した前浜地形 (9月25日)

mのコンターラインは、透水層埋設部で最も海側に張り出し、透水層の両側30mの範囲でバームが形成されていることが分かる。一方、1mよりも低いコンターラインは、透水層埋設部付近で岸側に入り込んでいる。つまり前浜勾配は急になっている。

図-9は、堆積過程の間の沖波有義波と汀線付近の長周期波の波高および加藤ら(1989)の方法で計算した遡上レベルである。断続的に測定された長周期波の波高は概ね1mであり、この期間継続している。そして、遡上レベルは2.2m程度である。図-8で分かるようにほぼ2.2mのレベルのところの地形がフラットでありバームが形成されているところである。つまり、バームの形成されたレベルは波の遡上レベルに対応しているのである。なお、この堆積過程の期間はすでに排水口近くの排水管内に砂がたまり、排水能力が低下していたと推定されるにもかかわらず、透水層付近の地形の回復(バームの形成)が速やかに生じたのは、1mという比較的大きな長周期波の波高が1週間に渡って継続したためと考えられる。というのは、長周期波の場合、遡上の時間間隔が長いので砂面近くの砂中が不飽和状態になるに十分な時間が自然海浜にくらべ透水層埋設範囲の方が期待できるからである。もっとも、排水管内に砂が堆積していなければ、さらに短時間で透水層埋設部を中心にバームが形成されたと思われる。

次に、18日から25日の間に測定した7回の地下水位および前浜地形変化の相互の関係を調べるために、地下水位と地形データをまとめて、三次元の経験的固有関数

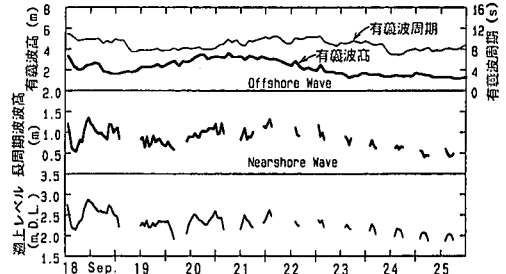


図-9 堆積過程の波浪、遡上レベル経時変化

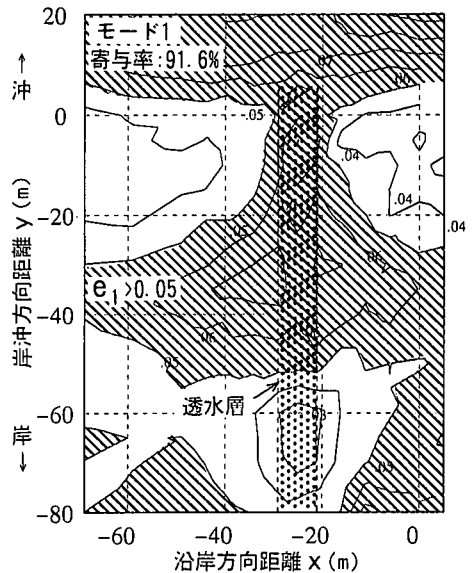


図-10(a) 固有関数の分布 (モード1, 地下水位)

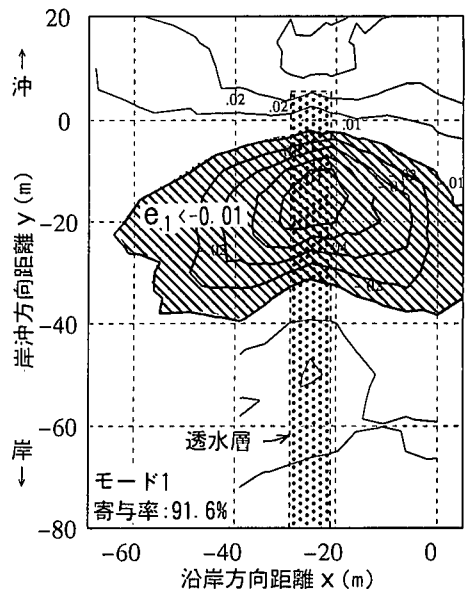


図-10(b) 固有関数の分布 (モード1, 前浜地形)

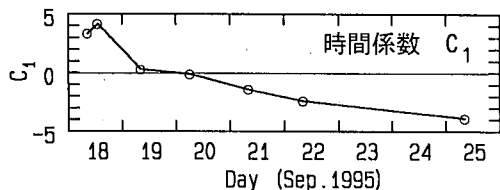


図-11 時間係数の経時変化 (モード1)

解析 (加藤ら; 1984) を行った。ただし、地下水位と前浜地形は、それぞれの地点のそれぞれの平均値を基準に再定義した。なお、次元、変化量の異なるデータをまとめて経験的固有関数解析するためには、各物理量を基準化する必要がある (加藤ら; 1981)。しかし、対象とした地下水位と前浜地形の次元は同じであり、変化量も同程度であるので、データを基準化せずにそのまま使用した。

図-10(a), (b) は、モード1 (寄与率 91.6%) の固有関数を、地下水位と前浜地形に分離して示したものである。そして、この時間係数を図-11 に示した。

地下水位の固有関数 (図-10(a)) は、全域で正である。特に、図中に斜線で示す範囲の固有関数値が大きい。一方、前浜地形の固有関数 (図-10(b)) は、透水層の両側に 30 m の範囲が負の値になっている。このことと、時間係数が直線的に正から負に減少していることを併せて考えると、まず地下水位は全体に徐々に低下したことが分かる。これは 18 日以降、降雨がなかったためと汀線付近の wave set-up 量が少なくなったためである。また、 $y = -40$ m 付近で特に地下水位の低下が大きいのは、この付近までの波の遡上がだんだん少なくなったためである。一方、前浜地形は $y = -20$ m 付近で顕著な堆積が進んだことになる。その結果として、透水層を中心に左右約 30 m の範囲にバームが形成された (図-8 参照)。これが、帯状に埋設された透水層の影響範囲といえる。なお、 $y = 0$ m より沖側は、固有関数値が正になっていて、徐々にわずかに侵食されたことを意味し、図-8 で述べたようにこの範囲が急勾配になったことと対応する。

地下水位の固有関数値が大きい範囲 (地下水位の低下が大きい範囲: $y = -35$ m 付近) と前浜地形の固有関数値が正の範囲 (図中斜線部: $y = -18$ m 付近) を比較すると、前者が約 17 m 岸側にある。このズレは、地下水位の低下が大きいところには波が遡上しにくくなっていたこと、逆に堆積箇所ではそれだけ海水の浸透量が多く結果として地下水位があまり低下しなかったために生じた

考えられる。

5. おわりに

現地に埋設した幅 7.6 m、長さ 88 m、厚さ 0.2 m の透水層の主要な効果は以下のとおりである。

① 透水層埋設部を中心に波の遡上レベルのところにバームを形成するように堆積が生じた。

② 幅 7.6 m の透水層の地下水位低下および前浜堆積促進効果は、沿岸両方向約 30 m の範囲までおよぶ。

③ 透水層の効果による地下水位の低下範囲よりも前浜の堆積範囲は約 17 m 沖側にずれている。

本調査で得られたのは 1 つの帯状透水層の効果である。このデータをもとにして別途開発中の数値シミュレーションモデル (佐藤ら, 1996) を用いて、複数列の透水層を埋設 (ストライプ状) したときの効果を検討する予定である。

最後に、本調査は、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所、(株)テトラ、日鐵建材工業(株)および当所の共同研究で実施したものである。調査においては、共同研究メンバーおよび(株)三国屋サルベージの協力を得た。なお、鹿島港の波浪データは、鹿島港工事事務所、当所海象調査研究室のご協力をいただいた。また、雨量データは、水戸地方気象台、銚子地方気象台から提供していただいた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 加藤一正・田中則男・灘岡和夫 (1981): 前浜の二次元的地形変化と潮位・波について, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 207-211.
- 加藤一正・吉松 晃 (1984): 三次元の経験的固有関数による深淺図解析法, 港湾技術研究所報告, 第 23 巻, 第 2 号, pp. 27-47.
- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良 (1989): 荒天時のバーム地形の侵食, 長周期波に注目した現地観測, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 354-358.
- 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 巻投稿中
- 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.
- 柳嶋慎一・加藤一正・福田真人 (1993): 現地海岸における前浜地下水位の変動特性, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 411-415.
- 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.