

# 虹ヶ浜海岸における台風第 9918 号による高潮災害

柳 嶋 慎 一\*      ・加 藤 一 正\*\*      ・藤 江 耕 二\*\*\* ・岩 渕 哲 治\*\*\*\*  
猿 田 光 隆\*\*\*\*\* ・平 戸 誠 一 郎\*\*\*\*\* ・堀 謙 吾\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

瀬戸内海に面する山口県光市虹ヶ浜海岸では、1991 年 9 月に台風第 9119 号による高潮被害を受けており、その対策として後浜の嵩上げと砂浜を護るための透水層埋設による海浜安定化工法が 1995 年から試験施工された。そして、透水層工法の効果を確認するために地形・地下水位等の追跡調査が継続されている(細貝ら, 1997)。ところが、1999 年 9 月に来襲した台風第 9918 号によって虹ヶ浜海岸では再び海岸侵食、浸水被害が発生した。

そこで、高潮災害直後に従来のような構造物の被災と浸水高調査ではなく、海浜の変形の観点で行った現地踏査結果をもとに高潮時の地形変化の実態および透水層工法の防災効果を明らかにするとともに今後の高潮防護方法について検討した。

## 2. 虹ヶ浜海岸の概要および調査方法

### (1) 虹ヶ浜海岸の概要

虹ヶ浜は、山口県の東南部に位置し周防灘に面した延長約 2.5 km の砂浜海岸である(図-1)、このうち今回の調査対象である、西の河原川(図-2)から西側の 1.6 km の範囲は、瀬戸内海国立公園第 2 種特別地域に属する自然海浜で、砂浜背後には黒松林が広がっている。

虹ヶ浜海岸の後浜天端高は部分的に低く、1991 年の台風第 9119 号の際には、大きな高潮浸水被害を受けた。

そこで、西側海岸の高潮対策を検討するために、徳山下松港虹ヶ浜海岸整備計画調査委員会が 1993 年に山口県によって設けられた。この海岸は、国立公園内に属するため沖の海面上に現れる消波構造物を施工することができない、と同時に漁業関係者からも構造物建設の同意が得られそうもなかった。一方、後浜に階段護岸を建設



図-1 調査位置および台風経路

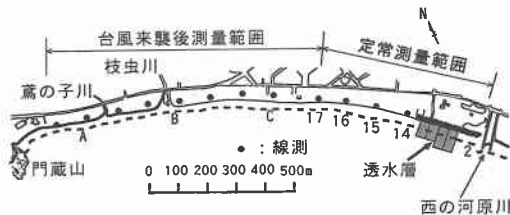


図-2 調査範囲および側観

して天端高をあげることは、背後にある松原と浜が固い構造物で分断されるという理由で、地元住民の支持を得られなかった。このような状況のなかで委員会において考え出されたのが、砂によって後浜天端を嵩上げするとともに、盛り上げた砂の安定化のために透水層工法を用いる方法である。

透水層は 1995 年から 1998 年に西の河原川付近から西に向かって I～IV の工区に分け順次試験施工されており、それぞれの区域の沿岸方向幅は 30 m である(図-3)。

図-4 は、透水層工法の断面形状を示している。後浜天端高は、後述するとおり波の遡上を考慮し、+6.5 m に決定された。図中には、原地盤を破線で示しており、後浜の嵩上げ高は約 0.9 m である。

前浜勾配は、原地盤の前浜勾配と同様な 1/10 にした。

透水層は、砂浜の嵩上げが目的であることから、その

\* 正会員      運輸省港湾技術研究所海洋環境部    主任研究官  
\*\* 正会員    工博      運輸省港湾技術研究所水工部長  
\*\*\*      山口県周南港湾管理事務所施設課主任  
\*\*\*\*      運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所調査課長  
\*\*\*\*\*      運輸省第二港湾建設局東京空港工事事務所工事課  
\*\*\*\*\*      (株)テトラ    土木本部土木技術部課長  
\*\*\*\*\*      日鐵建材工業(株)土木開発技術部係長  
\*\*\*\*\*      正会員

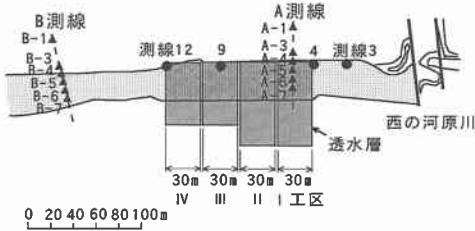


図-3 透水層および地下水位計位置

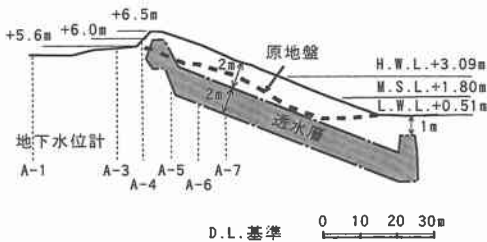


図-4 透水層断面

厚さを 2m にし、厚さを確保するため石材を用いた。散乱を防ぐため石材を網状袋に詰め透水層にしている。そして、その沖側端は台形状に盛り上げ排水口にし、砂のクイックサンド状態を利用して排水することになっている(柳嶋ら, 1999)。

## (2) 調査方法

地下水位は、透水層埋設範囲(以後透水層海浜と呼ぶ)内の A 測線上の 6 地点(図-3, 4 参照)および、A 測線から西側へ 200m 離れた自然海浜の B 測線上の 6 地点において地下水位計によって連続観測している。しかし、台風第 9918 号が来襲した 9 月 24 日 8 時頃に停電したことや、波浪によって浜上に設置した地下水位計のアンプが破損したため、自記式のセンサー(透水層内、A-5)以外は欠測となった。

## 3. 台風来襲時の気象・海象条件

### (1) 風、気圧

台風第 9918 号の 1 時間毎の中心位置を図-1 中に示してある。虹ヶ浜に最も台風が接近したのは、9 月 24 日 8 時～9 時の間で、台風は虹ヶ浜の西 58 km の山口宇部空港付近に再上陸し、その後北上し 9 時 30 分頃には日本海に抜けている。虹ヶ浜の西 14 km にある徳山港において、風速は台風が最接近した 8 時 30 分頃に 20 m/s で極大になり、その後急激に減少し、10 時には 10 m/s 以下になった。風向は E 方向から S, W 方向に変わり、最も風の強かった時間帯は SSE 方向であった。徳山における気圧は、8 時 30 分に 973 hPa であった。

### (2) 潮位

透水層内の地下水位は潮位に一致する(片山ら, 1992)

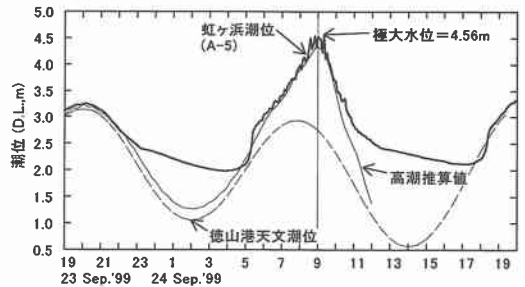


図-5 台風来襲時の潮位

ことから、地下水位データを潮位とみなした。

図-5 は、虹ヶ浜における潮位(透水層内の地下水位データ、A-5)を太線で、徳山港の天文潮位を破線で示している。図中で干潮時に地下水位が下がらないのは、海水面が地下水位計位置(図-4)の透水層下端よりも下がった時に、砂の透水係数が透水層よりも小さいため地下水位が遅れて応答するためである。

潮位は、24 日 6 時頃から天文潮位に比べ高くなり、満潮を過ぎた 9 時頃に最も高くなっている。極大値は +4.56 m で 9 時 20 分に生じ、この時の潮位偏差は、1.94 m であった。つまり、今回の台風は、潮位偏差のピークと満潮とがほぼ重なっていた。

図中には台風第 9918 号について計算した光地点(虹ヶ浜沖)の高潮偏差値に徳山港天文潮位を加えた高潮推算値を細線で示している((河合ら, 2000)に別途出力してもらった)。実測値は、高さ、ピークの発生時刻とも推算値に良く一致している。ただし、8 時から 9 時 20 分までの間の実測値は推算値よりも 0.3 m ほど高い。これは、実測値には推算値では計算されていない波による水位上昇分が含まれるためと考えられる。

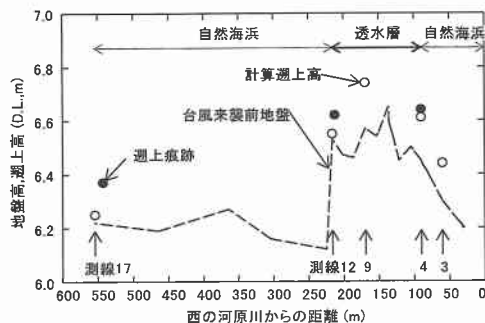
### (3) 波の遡上

図-6 は、台風来襲前の地盤高および遡上高の沿岸方向分布を示している。

遡上高さは、侵食の際、侵食部よりも高い位置に僅かに生ずる砂の堆積痕跡(加藤ら, 1989)から推定することができる。台風が通過した日の午後に撮影した写真の中に遡上痕跡と判断される箇所があり、その高さを後日測定した。その結果を図-6 中に●印で示す。

透水層海浜付近の痕跡高は 2ヶ所とも +6.6 m であり、自然海浜では +6.4 m であった。透水層海浜の遡上高が高いのは、前浜勾配が自然海浜よりも透水層海浜のほうが急なためと考えられる。ただし、透水層海浜の前浜勾配は、透水層を設置する以前から自然海浜よりも急であり、透水層の設置により遡上高が高くなったのではない。

遡上痕跡高を確認するため、改良仮想勾配法(土工学



図一六 地盤高および遡上高の沿岸方向分布

会, 1999) で遡上高を計算した。ここで, 換算沖波は 9 時の波浪推算値 ( $H_o' = 3.31 \text{ m}$ ,  $T = 6.8 \text{ s}$ ) を, 潮位は極大値 (+4.56 m) を用いた。計算では, 後浜を越えて海浜がさらに高くまで連続していると仮定した。遡上高の計算結果を図一6中に○印で示す。

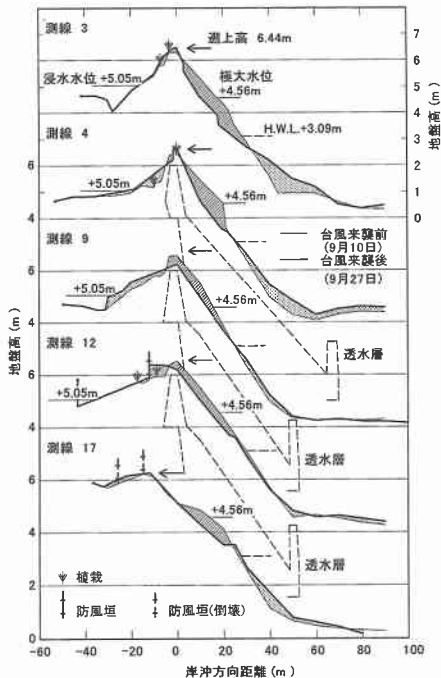
計算遡上高は, 遡上痕跡高よりも低めではあるがほぼ一致しており, 改良仮想勾配法で本海岸の遡上高さを評価できるといえる。試みに, 改良仮想勾配法で透水層の設計条件 (30 年確率波 ( $H_o' = 2.82 \text{ m}$ ,  $T = 6.5 \text{ s}$ ), 計画高潮位 (+5.20 m)) での波の遡上高さを計算したところ, 必要天端高が +7.23 m となった。かつての設計に使用したサベージの透水性を考慮した (本間, 1985) 遡上高の算定結果 (+6.24 m) が過小評価になっていたことを示す。

図一6において, 遡上痕跡高と台風来襲前地盤高を比較すると, 全域において越流が生じていたことが分かる。

#### 4. 地形変化の実態

図一7は台風来襲前後の断面地形変化を示している。測線 3, 17 は自然海浜上, 測線 4, 9, 12 は透水層海浜上にある (図一2, 3 参照)。いずれの測線とも, 侵食は H. W. L. よりも高い前浜に生じ, それよりも低い部分は測線 3, 4 を除きほとんど変化していない。高い位置が侵食したのは, 高潮が満潮時に重なり, 水位が高い状態で, 大きな波が前浜に直接作用したためである。一方, 測線 3, 4 の H. W. L. よりも低い部分には台風来襲前, 西の河原川の滞溺がこの位置付近にあったため, もともと地盤が低く, そこに堆積が生じたものである。

図中には計算遡上高を矢印で示している。遡上高は台風来襲前の地盤高よりも高い。そのため遡上し越流した海水によって後浜背後に砂が運ばれ堆積している。特に, 計算遡上高が最も高かった測線 9 では砂がたくさん堆積している。一方, 計算遡上高が最低の測線 17 での砂の堆積は少なくなっている。これは, 波の遡上が少なかったことと, 最終的には倒壊したものの, 設置されていた竹



図一七 断面地形変化

製の防風垣が越流を阻止したためと考えられる。

測線 12 では新しい竹製の防風垣が倒壊せずに残り, その海側に砂がトラップされている (写真一1)。防風垣内に砂の堆積はほとんど認められず, また海水だけの越流を示すような洗堀も見あたらなかった。防風垣内の松の幼木は倒れておらず, その後も枯れもしなかった。

後浜天端付近に植物が存在していた測線 3, 4 では後浜は侵食されず, むしろ堆積が生じている。

写真一2は, 台風来襲前の 8 月に測線 4 付近を撮影したものである。後浜は嵩上げの結果凸状の形になっている。そこで, 後浜天端を維持するため, ハマゴウ, コウボウムギを植え付け, 植栽試験実施中であった。写真の範囲は 1996 年 7 月に植栽された。人が立っている付近は



写真一1 防風垣前面の砂の堆積 (1999 年 9 月 24 日)



写真-2 台風来襲前の後浜天端（1999年8月）

砂の中に保水材を試験的に入れた範囲で、ハマゴウに加え雑草が繁茂している。一方、その手前の保水材を入れなかった範囲は、地表面に僅かに草が生えている程度で、砂が見えている。

写真-3は、台風通過直後の24日午後、写真-2と同様の範囲を撮影したものである（図-8で位置を参照）。天端付近の植物は海水の越流によって陸側になぎ倒されてはいるけれど存在し、後浜も護られている。ところが、写真手前側の後浜は、侵食され天端高が低下している。つまり、この2枚の写真から植物が繁茂していた部分の後浜は侵食され難く、植物がほとんど無い場所の後浜は越流により侵食され易いことが分かる。

図-8は透水層海浜付近について最高地盤高の沿岸方向分布を高潮の前後について示したものである。図中には植物が繁茂していた部分にマークを付け示してある。この図から植物が繁茂していた部分の地盤高は、そのまま逆に堆積し高くなっているのが分かる。しかし、植物が少なかった範囲は侵食され、地盤高は0.2～0.4m下がっている。特に台風来襲の1月前に植栽したばかりの側線8から12の範囲は全て侵食されている。

図-9は、越流にともなって背後地に堆積した砂の層厚をコンターで示したものである。堆積厚は、側線毎に岸沖方向間隔5mで掘削し、表面から砂の色が黒く変わる在来地盤までをメジャーで測定した。図には、波浪推算結果と植物が倒された方向から推定した波の越流方向を矢印で示している。砂の堆積は後浜天端から50m離れた民家付近までの広い範囲に及んでいる。ただし、堆積厚が0.2m以上の範囲は、後浜天端から25mの範囲内である。植物が繁茂し後浜天端が維持された区域背後の砂の堆積は少なく、植物が少なく後浜天端が侵食された区域背後への砂の堆積は多くなっている。

通常、草丈が大きいくほど地中の根はしっかりと張り、写真-2に示すとおり枝葉も密になっている。従って、繁茂した植物には根による侵食防止効果と、枝葉による越流抑制効果を期待できることが分かる。



写真-3 台風通過直後の後浜天端（1999年9月24日）

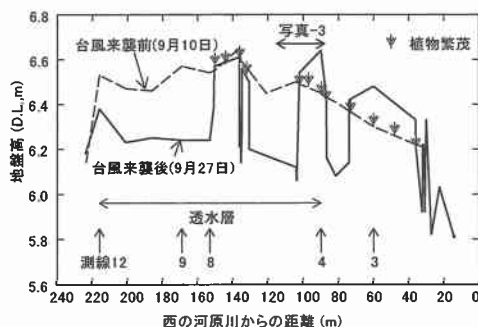


図-8 透水層埋設範囲最高地盤高の変化

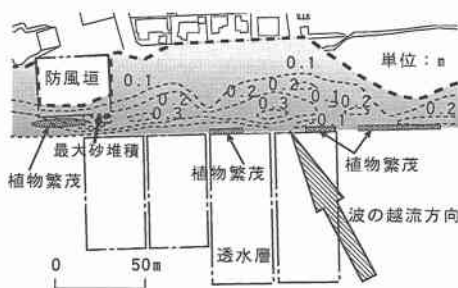
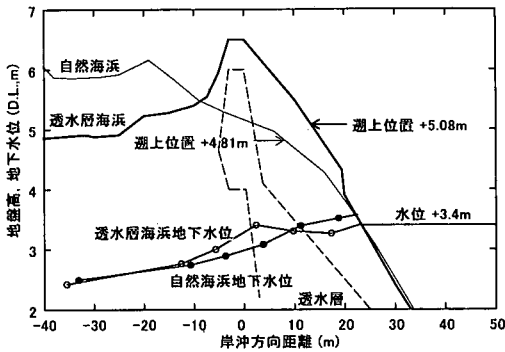


図-9 堆積砂の平面分布

堆積土量の計算を行ったところ、侵食された前浜および後浜の砂の37%が後浜背後に運ばれたことになった。残りの砂は沿岸沿いに西側に運ばれたと考えられる。というのは図-9に示す、入射波向きは東寄りであったことと、10月12日の現地踏査の際、西側の測線ほど（図-2、C→B→A）H. W. L. 付近に大きなバームが形成され始めており、そこに砂の供給があったと判断されるからである。

## 5. 透水層の防災効果

図-10は、データが欠測する直前（24日7時）の地下水位の岸沖分布を示している。図中には改良仮想勾配法



図一10 地下水位の岸沖分布 (9月24日, 7時)

によって計算した潮上高さを矢印で示している。汀線付近の自然海浜地下水位は波の潮上により透水層海浜よりも高くなっている。そして、後浜を越流した9時頃の自然海浜の地下水位はさらに上昇し、飽和状態に近づいていたものと推察される。一方、透水層海浜の地下水位は、図一5に示すとおり極大時に+4.56 mであり、透水層背後にある物置小屋の痕跡から測定した浸水高(+5.05 m)よりも0.5 m低い(図一7)。つまり、透水層によって地下水位は制御されていたことが分かる。

図一7に示す断面地形変化において、詳細に見ると侵食量は自然海浜の測線3よりも、測線4, 9, 12の透水層海浜の方が少ない。しかし、透水層海浜と自然海浜の地形変化の違いは明確に現れていない。これは、高潮によって水位が急激に上昇し、海岸の水位と砂浜背後の浸水水位との差が小さく透水層の効果を発揮出来なかったことが原因の一つである。さらに、自然海浜よりも透水層海浜の潮上高さが高かったため(図一6)、測線9, 12のように後浜天端が侵食され、その結果透水層海浜の侵食が多めに生じたものと考えられる。ところで、透水層後浜天端に植物が繁茂し、天端が維持されていた区域背後の砂の堆積は少ない(図一9)ことを考慮すると、後浜天端全延長に渡り植物が繁茂し天端が維持されていれば、今回の台風においても越流量は少なくなり背後地の浸水水位も低く抑えられたものと考えられる。なお、侵食されたとはいえ、そのレベルは+6.2 m(図一8)にとどまっており、施工前(図一4, +5.6 m)までは低下していない。もし、この工法を施工していなければ被害はもっと大きかったと推察される。

## 6. 今後の高潮防護方法に対する示唆

虹ヶ浜海岸の後浜に設置されていた一見弱そうに見える竹製の防風垣や繁茂した植物は、侵食防止、越流の阻止等の防災機能をもっていることが分かった。このようなソフトな構造物によって防護できたのは、潮位偏差のピークと満潮が重なるという最悪状態の継続時間が短

かったことと(この状態は基本的に短い)、沖波が有する大きなエネルギーは、碎波、潮上の過程でその大部分が失われ、後浜には極めて小さいエネルギーしか到達しなかったためであると考えられる。この結果は、これからの高潮対策に関連した海岸保全で積極的に考慮されなければならない。というのは、高い位置についてはソフトな構造物による保全が可能であることを示唆しているからであり、2000年4月より施行されている改訂海岸法の下での海岸保全を実現する一つの可能性を示しているからである。ソフトな構造物による天端の処理技術に関する研究を行うことが強く望まれる。

## 7. おわりに

得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 虹ヶ浜海岸の後浜天端高(+6.5 m)は、潮上高よりも僅かに低く、波の潮上に対し天端高不足であった。
- (2) 満潮時付近の3時間内に台風が通過したため、H. W. L. 以上の前浜および後浜が侵食し、その砂の一部は背後の松林内に堆積した。
- (3) 砂浜背後の浸水水位と極大水位の差が小さかったため、透水層の防災効果は明確に現れなかった。
- (4) 高潮に対する後浜の防護は、防災に主眼をおいた従来の固い構造物ばかりでなく、環境、利用面にも配慮できる竹製の防風垣のような構造物も可能である。

最後に、(株)日本港湾コンサルタント細貝正治氏には現地踏査の際協力していただくとともに、現地写真を提供していただいた。当所水工部河合弘泰主任研究官には、高潮推算結果を提供していただいた。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 蔵 (1992): 透水層埋設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.
- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上和良 (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.
- 河合弘泰・平石哲也・佐藤孝夫・大川郁夫 (2000): 台風9918号による九州沿岸と瀬戸内海西部の高潮の特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 321-325.
- 土木学会編 (1999): 水理公式集, pp. 526-527.
- 細貝正治・澤田晴彦・若崎 貴・斉藤 隆・加藤一正 (1997): 海浜感潮域の地下水位と透水層設置後の影響について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 671-675.
- 本間仁監修 (1985): 海岸環境工学, pp. 98-99.
- 柳嶋慎一・加藤一正・荒田昌潔・松本 茂・平戸誠一郎・堀 謙吾 (1999): 透水層工法における排水口土被りと排水流量の関係, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 721-725.