

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 974 Dec. 2000

台風9918号による虹ヶ浜海岸の高潮災害

| | | | |
|---|---|---|---|
| 柳 | 嶋 | 慎 | 一 |
| 加 | 藤 | 一 | 正 |
| 岩 | 渕 | 哲 | 治 |
| 猿 | 田 | 光 | 隆 |
| 平 | 戸 | 誠 | 一 |
| 堀 | | 謙 | 郎 |
| | | | 吾 |

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

台風9918号高潮災害関連 Dec. 2000

- No. 969 台風9918号による西日本沿岸の波浪と潮位の出現特性
- No. 970 波浪推算法による台風9918号の異常波浪の再現計算
- No. 971 台風9918号による高潮の現地調査と追算
- No. 972 台風9918号による越波災害に関する一考察
- No. 973 台風9918号による護岸の被災とその対策に関する
水理模型実験
- No. 974 台風9918号による虹ヶ浜海岸の高潮災害

運輸省港湾技術研究所



目 次

| | |
|-----------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. はじめに | 4 |
| 2. 虹ヶ浜海岸の概要および調査内容 | 4 |
| 2.1 虹ヶ浜海岸の概要 | 4 |
| 2.2 調査内容 | 5 |
| 3. 台風来襲時の気象・海象条件 | 5 |
| 3.1 風, 気圧, 雨量 | 5 |
| 3.2 潮位 | 6 |
| 3.3 波浪 | 6 |
| 4. 地形変化の実態 | 6 |
| 4.1 波の遡上 | 6 |
| 4.2 断面地形変化 | 8 |
| 4.3 植栽, 防風垣の効果 | 8 |
| 4.4 土砂収支 | 10 |
| 5. 今後の高潮防護方法に対する示唆 | 11 |
| 6. 透水層の防災効果 | 12 |
| 6.1 後浜天端高の検討 | 12 |
| 6.2 後浜背後地の浸水 | 12 |
| 6.3 地下水位制御 | 13 |
| 6.4 侵食減少効果 | 14 |
| 7. おわりに | 14 |
| 謝辞 | 14 |
| 参考文献 | 15 |
| 付録 | 16 |
| 付録A 虹ヶ浜海岸の汀線変化 | 16 |
| 付録B 地下水位の変動 | 19 |
| 付録C 改良仮想勾配法による遡上高さの計算 | 20 |
| 付録D 天端植栽 | 21 |
| 付録E 地形変化 | 22 |
| 付録F 松枯れについて | 23 |

Storm surge disasters due to Typhoon No.9918 at the Nijigahama Coast

Shin-ichi YANAGISHIMA*
Kazumasa KATOH**
Tetsuji IWABUCHI***
Mitsutaka SARUTA****
Seiichiro HIRATO*****
Kengo HORI*****

Synopsis

The importance of grasping the actual conditions of beach change during a storm surge has been recognized. Until now, however, such a field survey or a research is not carried out, because it is generally impossible to have topographic data concerning to the beach topography before an attack of storm surge. On September 24, 1999, the typhoon No.9918 attacked and induced the huge storm surge at the coasts in the west of Japan. Fortunately, the monitoring surveys of beach process have been being conducted periodically on the Nijigahama Coast, Yamaguchi prefecture, since 1995, and the topographic data of beach on the day of two weeks before the storm surge have been obtained. Then, just after the storm surge, we surveyed the beach topography and the elevations of inundation traces from a viewpoint of beach deformation. By comparing the pre-storm data and the post-storm ones, the actual condition of beach changes during the storm surge. The main conclusions are as follows;

- (1) The waves run up beyond the back-shore, of which profile is convex upward, inducing the inundation in the rear area during the high water level.
- (2) The up-rush of sea water took the sand from the foreshore and transported it to the rear area.
- (3) The back-shore covered with vegetation stood up to the overflow with keeping its profile, while the back-shore without vegetation was eroded about 40 cm in elevation.

Key Words: typhoon No.9918, storm surge, beach profile change, wave run-up, vegetation

* Senior Research Engineer, Marine Environment Division

** Director of Hydraulic Engineering Division

*** Yokohama Research and Design Office, The Second District Port Construction Bureau, Ministry of Transport

**** Tokyo Airport Construction Office, The Second District Port Construction Bureau, Ministry of Transport

***** TETRA CO., Ltd.

***** NIPPON STEEL METAL PRODUCTS CO., LTD.

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-445012 Fax : +81-468-419812 e-mail : yanagishima@cc.phri.go.jp

台風 9918 号による虹ヶ浜海岸の高潮災害

柳 嶋 慎 一*
加 藤 一 正**
岩 淵 哲 治***
猿 田 光 隆****
平 戸 誠一郎*****
堀 謙 吾*****

要 旨

高潮時の海浜地形変化の実態を把握することの重要性は認識されていたものの、今までこのような調査は行われていない。それは、高潮の発生を予測できないため、高潮来襲直前の地形データを取得できないことに起因している。瀬戸内海に面する山口県光市虹ヶ浜海岸では、1999年9月24日台風9918号によって海岸侵食、浸水被害が発生した。虹ヶ浜海岸では、1995年から砂浜の地形、地下水位等の調査が継続的に行われており、台風9918号来襲2週間前の地形データが得られていた。

そこで、高潮災害直後に海浜の変形の観点で現地踏査を行い、その結果をもとに高潮時の地形変化の実態を明らかにした。

得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 波の遡上高は原地盤高を僅かに越えており後浜の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に堆積した。
- (3) 後浜天端に繁茂する植物は、後浜の侵食を防ぐことができる。一方、植物が少なかった後浜は侵食され天端高が0.4m低下した。

キーワード：台風9918号、高潮、地形変化、波の遡上、植生

* 海洋環境部主任研究官

** 水工部長

*** 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所

**** 運輸省第二港湾建設局東京空港工事事務所

***** 株式会社テトラ

***** 日鐵建材工業株式会社

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 運輸省港湾技術研究所

電話：0468-44-5012 Fax：0468-41-9812 e-mail：yanagishima@cc.phri.go.jp

1. はじめに

高潮時には、潮位が高い状態で高波浪が砂浜に直接入射するため、通常は波の到達することのない後浜を含めた広い範囲に渡って地形変化が生じる可能性があり、その実態を把握することは重要である。しかし、高潮による災害調査は、構造物の被災状況、浸水状況について今まで数多く実施されているにもかかわらず、高潮時の地形変化に注目した調査は行われていない。それは、一つには、高潮の発生を事前に予測できないため、高潮来襲直前の地形データを取得できないことに起因している。

瀬戸内海に面する山口県光市虹ヶ浜海岸では、1999年9月に来襲した台風9918号によって海岸侵食、浸水被害が発生した。虹ヶ浜海岸では、1995年から砂浜の地形、地下水水位等の調査が継続的に行われており(細貝ら, 1997)、台風9918号来襲2週間前の地形データが得られていた。

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現地踏査を行い、その結果をもとに高潮時の地形変化の実態について検討した。

2. 虹ヶ浜海岸の概要および調査内容

2.1 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2.5kmの砂浜海岸である(図-1, 写真-A.1)。この海岸は、1962年から1998年に撮影された8枚の航空写真から汀線変化を調べたところ安定した海岸であることが分かった(付録A参照)。虹ヶ浜海岸のうち、西の河原川から東側の海岸は、天端高+7.0mの階段護岸の整備が1971年から始ま

り1990年に完了していた。

今回の調査対象である西の河原川(図-2)から西側の1.6km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。

虹ヶ浜海岸西側の後浜天端高は部分的に低く、1991年の台風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、徳山下松山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採択されたのが、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

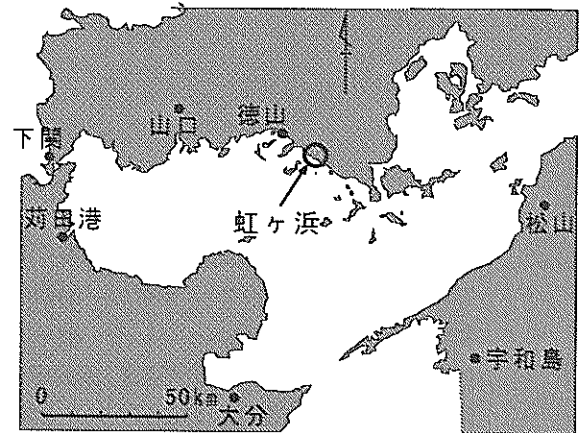


図-1 調査対象地域

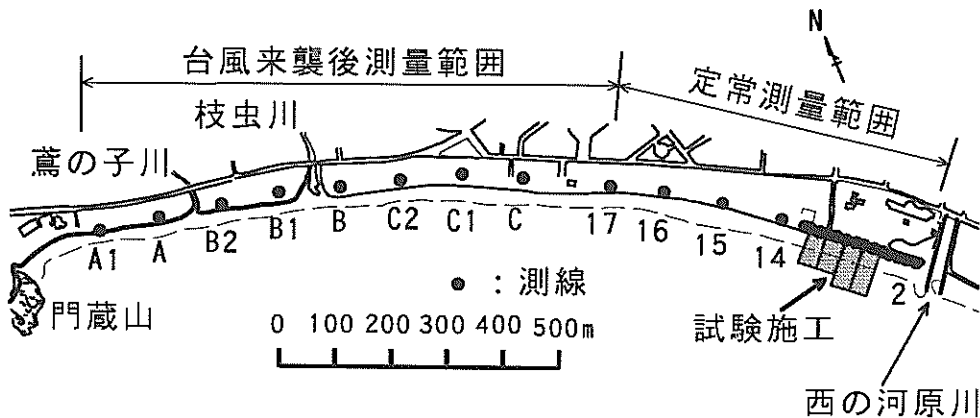


図-2 試験施工区域および測線

安定化のために透水層工法を用いる方法である。

後浜天端の嵩上げおよび透水層は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30mである(図-3)。

図-4は、嵩上げた海浜断面形状を示している。後浜天端高は、後述するとおり計画高潮位で、30年確率波の遡上を考慮し、+6.5m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0.9mである。

前浜勾配は、原地盤の後浜勾配と同様である1/10にした。後浜を嵩上げし、前浜勾配を原地盤と同じにすると結果として浜全体を嵩上げしなければならなくなる。施工にあたって地元住民から出された条件は「他から砂を持って来てはならない」という厳しいものであった。この条件を満たすために、透水層を2mとして、埋設時に発生する砂を嵩上げに利用することにした。この2mという層厚は、波崎海岸で現地実験を継続している透水層の層厚20cmの10倍もの厚さである(柳嶋ら, 1995)。透水性は若干低下するが層厚が大きいので透水流量は確保できると判断したことから、透水材として石材を用いた。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した(柳嶋ら, 1999)。

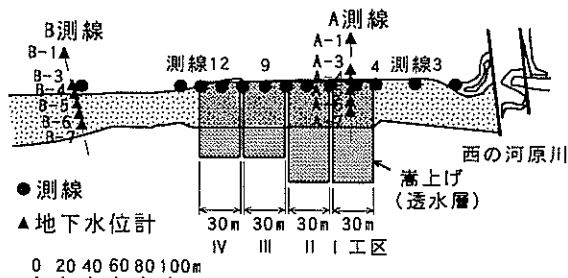


図-3 嵩上げ海浜および地下水位計位置(図-4参照)

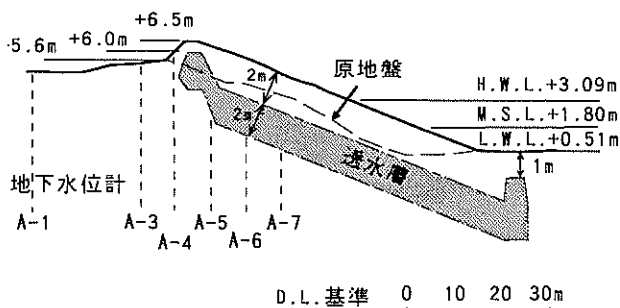


図-4 嵩上げ断面

2.2 調査内容

調査は、表-1に示す調査日、調査内容について実施した。測線2から17(図-2, 定常測量範囲)の断面地形は台風来襲の前(9月10日)および後(9月27日)に測量し、測線17よりも西側の測線の断面地形は台風来襲後(10月10, 12日)に測量した。

地下水位は、天端を嵩上げた範囲(以後嵩上げ海浜と呼ぶ)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。

3. 台風来襲時の気象・海象条件

3.1 風, 気圧, 雨量

図-5は、台風9918号の1時間毎の中心位置を示している。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58km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。

表-1 調査日および調査内容

| 調査年月日 | 調査内容 |
|-------------|-----------------------|
| 1999年8月2日 | 植生調査 |
| 1999年8月28日 | 植生調査 |
| 1999年9月10日 | 地形測量(定常測量範囲) |
| 1999年9月24日 | 遡上痕跡調査, 浸水調査 |
| 1999年9月27日 | 地形測量(定常測量範囲), 遡上痕跡高測量 |
| 1999年10月10日 | 地形測量(台風来襲後測量範囲) |
| 1999年10月12日 | 現地踏査, 砂堆積厚調査 |
| 1999年11月30日 | 遡上痕跡高測量, 松枯れ調査 |
| 2000年7月27日 | 松枯れ調査 |

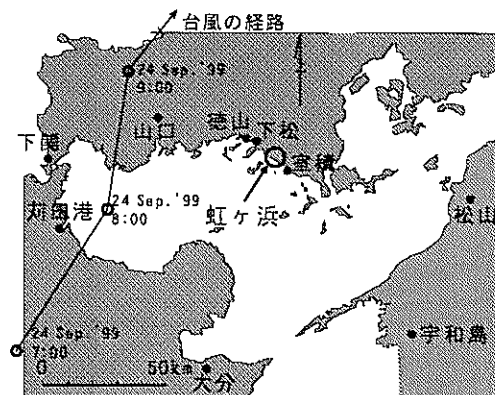


図-5 台風経路図

図-6は虹ヶ浜の西14kmにある徳山港において観測された風向・風速を上段に、徳山港の気圧と下松市アメダス観測地点の雨量を下段に示している。風速は台風が最接近した8時30分頃に20m/sで最大になり、その後減少し、10時には10m/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分に最低で973hPaであった。雨量は、24日9時に26mmで最大になり、13時以降は0になっている。その後、雨は10月26日までほとんど降っていない。

3.2 潮位

虹ヶ浜の現地試験サイトでは潮位観測を実施していなかった。そこで、以下のように推定した。

潮位変化のない状態で実施した実験結果によると、透水層があると地下水水位の上昇がなく、海域の平均水位とほぼ同じ地下水水位となる(片山ら, 1992)。虹ヶ浜では約3mの潮差がある。この場合でも潮位が+2.5m以上のときには、透水層内の地下水水位と潮位は同レベルとなる(付録B参照)。

以上のことから、地下水水位を潮位とみなした。なお、干潮時に地下水水位が下がらない(図-7)のは、海水面が地下水水位計位置(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水位が遅れて応答するためである。

図-7は、虹ヶ浜における潮位(透水層内の地下水計データ, A-5)を太線で、徳山港の天文潮位を破線で示している。台風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0.3m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量分が含まれるためと考えられる。

虹ヶ浜の潮位は、24日6時頃から徳山港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。最大値は+4.56mで9時20分に生じ、この時の高潮偏差は、1.94mであった。つまり、今回の台風は、高潮偏差のピークと満潮とがほぼ重なっていた。

3.3 波浪

波浪の観測は、虹ヶ浜から東へ5kmの室積海岸にあるフィッシングパーク光の棧橋に取り付けた空中発射型超音波高計によって行っていた。しかし、台風が来襲した24日8時頃の停電および、高波浪によって波高検出器に波の

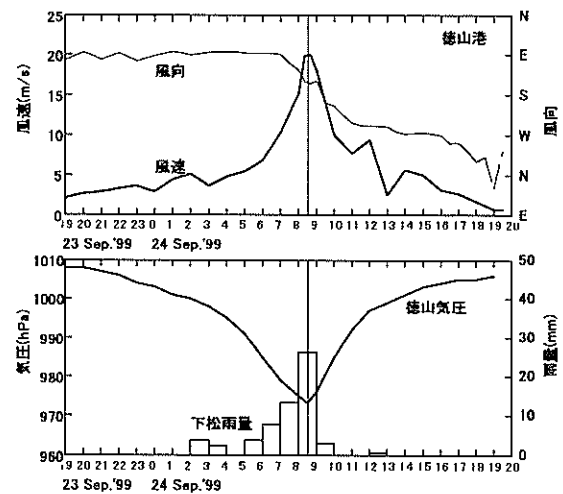


図-6 台風来襲時の風向・風速, 気圧, 雨量

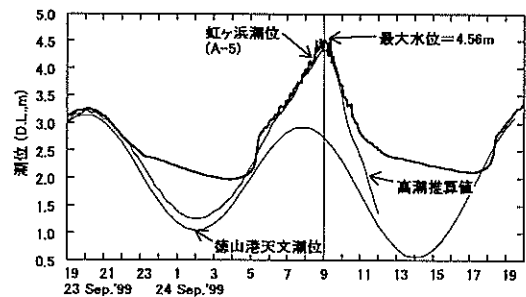


図-7 台風来襲時の潮位

しぶきがかかり故障したため、8時以降データは欠測となった。そこで、波浪は、山口県が実施した波浪推算結果(山口県周南港湾管理事務所他, 2000)のうち、虹ヶ浜付近を別途出力してもらい使用した。

図-8は、虹ヶ浜における換算沖波波高(●印)と周期(△)の変化を示している。換算沖波波高は、8時30分の2.3mから急に増大し、9時には3.31mになっている。その後、10時に波高は3.38mで最大になり、12時までほとんど減少しない。周期は、7時から12時まで6.5~7sの範囲でほとんど変化せず、9時には6.8sであった。

4. 地形変化の実態

4.1 波の遡上

図-9は、台風来襲前の地盤高および遡上高の沿岸方向分

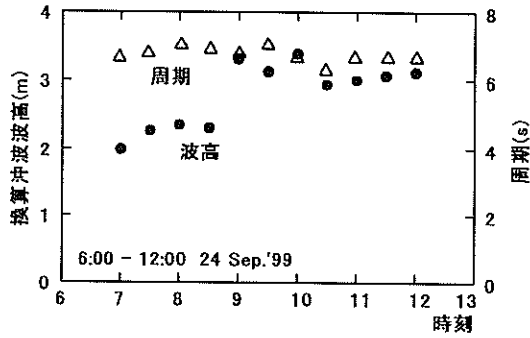


図-8 虹ヶ浜における推算波浪の変化

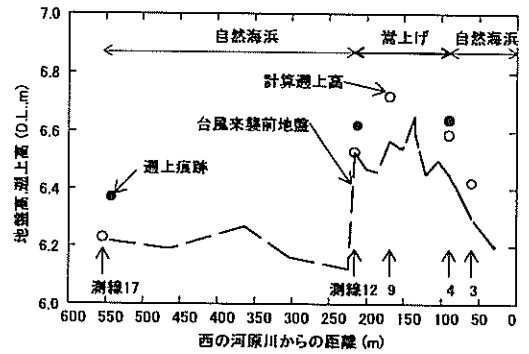


図-9 地盤高および遡上高の沿岸方向分布

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。

測線4の痕跡高は9月27日の断面地形測量の際に測定した。測線12付近防風垣前面の遡上痕跡（写真-1）は、堆積した砂が乾燥するとともに風により運び去られ、最高地点が低下したため直接測定することは不可能であった。そこで、写真-1に写っている砂の堆積最高地点と横方向に入っている防風垣の竹の上端が一致していることから11月30日に横方向に入っている竹の上端を測定し遡上痕跡高を推定した。測線17の痕跡高は11月30日に測定した。この地点は松林内であったため、風の影響を受け難く台風通過直後の痕跡高が維持されていたと考えられる。3箇所の遡上痕跡高の測定結果を図-9中に●印で示す。

嵩上げ海浜付近の痕跡高は2ヶ所とも+6.6mであり、自然海浜の+6.4mよりも高くなっている。この遡上高さの違いを調べるために断面地形を比較した。

図-10は嵩上げ工事を行う前の、1987年の嵩上げ海浜および自然海浜の断面地形を示している。この時から嵩上げ海浜の前浜勾配は自然海浜よりも急になっている。

図-11は台風来襲直前の断面地形を嵩上げ海浜と自然海浜に分け、重ね合わせた結果を示している。自然海浜の平均前浜勾配は1/10.5であるのに対し、嵩上げ海浜は1/7.2であり、嵩上げ海浜の勾配が急になっている。つまり、嵩上げ海浜の遡上高が高いのは、前浜勾配が自然海浜よりも嵩上げ海浜のほうが急なためと考えられる。例えば、遡上に関する Hunt の式（土木学会編，1999）

$$\frac{R}{H} = \frac{a \cdot \tan \alpha}{\sqrt{H/L}} \quad (1)$$



写真-1 測線12付近の遡上痕跡（1999年9月24日）

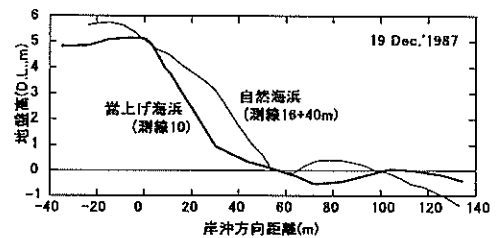


図-10 1987年の断面地形（1987年12月19日測量）

を参照すると、無次元遡上高は $\tan \alpha$ に比例し、したがって、急勾配な海浜ほど遡上高が高くなる。

ただし、嵩上げ海浜の前浜勾配は、図-10に示すとおり、砂浜を嵩上げする前から自然海浜よりも急であり、砂浜の嵩上げ、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（土木学会編，1999）で遡上高を計算した（付録C参照）。ここで、地形は台風来襲前のデータを、換算沖波は山口県が実施し

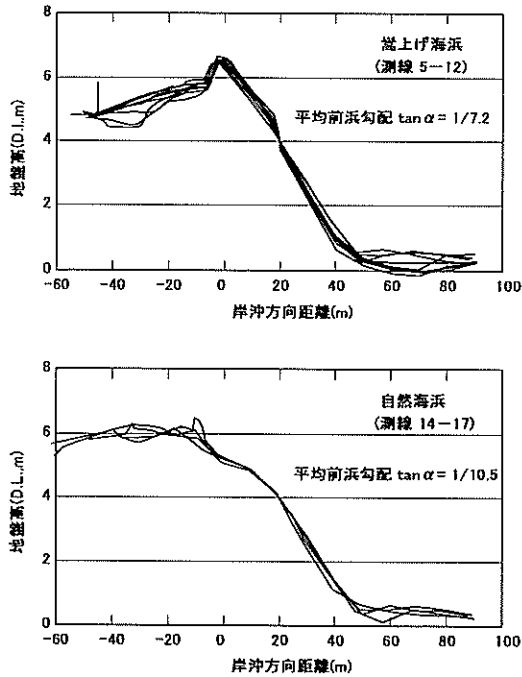


図-11 高潮来襲前の断面地形の重ね合わせ (1999年9月10日測量)

た波浪推算結果 (山口県周南港湾管理事務所他, 2000) の9時の波浪推算値 ($H_o' = 3.31\text{m}$, $T = 6.8\text{s}$) を、潮位は8時50分の値 (+4.54m) 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-9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。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。なお、この遡上高では、天端高+7.0mの階段護岸が整備されていた西の河原川から東側の海岸では越流が生じない。事実、護岸天端付近に砂は堆積していなかったし、護岸天端背後の植物はなぎ倒されていなかった。

4.2 断面地形変化

図-12は台風来襲前後の断面地形変化を示している。測線3は嵩上げ海浜と自然海浜のすりつけ位置に、測線4, 9, 12は嵩上げ海浜上、測線17は自然海浜にある (図-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、最大高潮偏差のピークが満潮時に重なり、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.

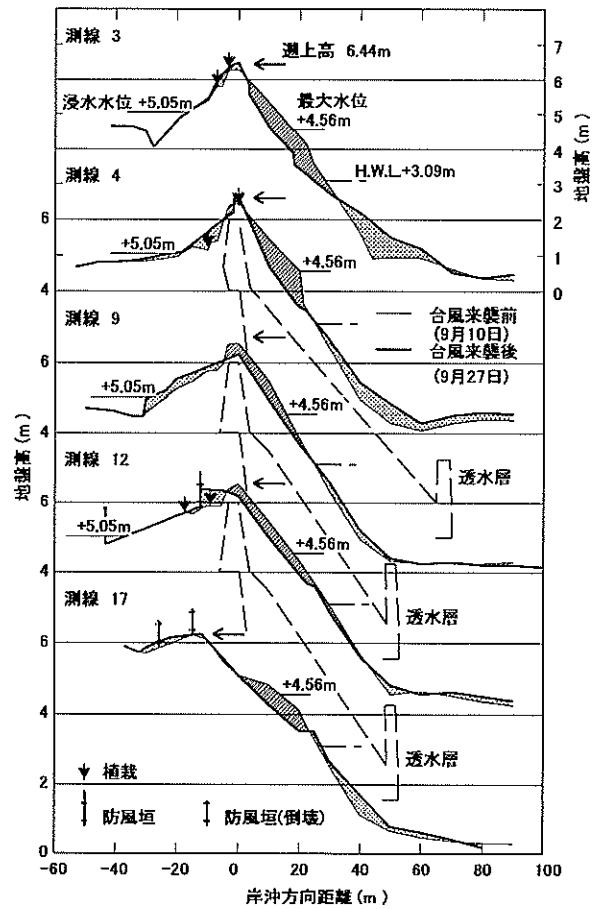


図-12 断面地形変化

よりも低い部分には台風来襲前、西の河原川の落筋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ある。遡上高は台風来襲前の地盤高よりも僅かに高い。このため、遡上し越流した海水によって後浜天端が侵食された測線 (測線9, 12) と侵食されない測線 (測線3, 4, 17) がある。侵食された測線の後浜天端の砂は背後に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い。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、後浜背後に設置されていた竹製の防風垣が越流を阻止したためと考えられる。

4.3 植栽, 防風垣の効果

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、むしろ堆積が生じた。

後浜は嵩上げの結果凸状の形になっている。この後浜天

端を維持するため、I、II工区においてハマゴウ、コウボウムギを植え付け地盤処理方法の違いによる生育状況の差を調べるための植栽試験を実施していた（付録D参照）。

写真-2は、台風来襲前の8月に植栽試験範囲内にある測線4付近を撮影したものである。この範囲は3年前の1996年7月に植栽された。人が立っている付近は砂の中にパーク堆肥保水材を入れた範囲で、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。つまり、砂で嵩上げた後浜天端に植物を根付かせるためには保水材が必要であることが分かる。

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-13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。したがって、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。



写真-2 台風来襲前の後浜天端（1999年8月28日）



写真-3 台風通過直後の後浜天端（1999年9月24日）

ハマゴウ、幼松が密生していた嵩上げ海浜よりも西側の自然海浜の後浜も、波および越流による侵食を受け難かった（付録写真-E.1, E.2, 図-E.2）。

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た（写真-4）。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孔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（写真-5、付録F参照）。

図-13は嵩上げ海浜付近について最高地盤高の沿岸方向分布を台風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、そのままか逆に堆積し0.05~0.2m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（1999年8月）に幼木を植栽したばかりの測線8から12の範囲（写真-6）は全て侵食された。

図-14は台風来襲前に植物が繁茂していたところを示し



写真-4 防風垣前面の砂の堆積（1999年9月24日）



写真-5 防風垣内の状況（1999年10月12日）

ている。植物は、後浜天端の3箇所と防風垣前面（写真-6）で繁茂していた。

図-15 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、測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原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。植物が繁茂した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。

堆積厚が最も大きいのは防風垣前面（東側端から 2.3m）で、0.84m であった。この地点で堆積厚が大きくなったのは、それよりも西側の防風垣前面にハマゴウが繁茂していたため（写真-6）西側への流れが阻止されたためと考えられる。

通常、草丈が大きい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。

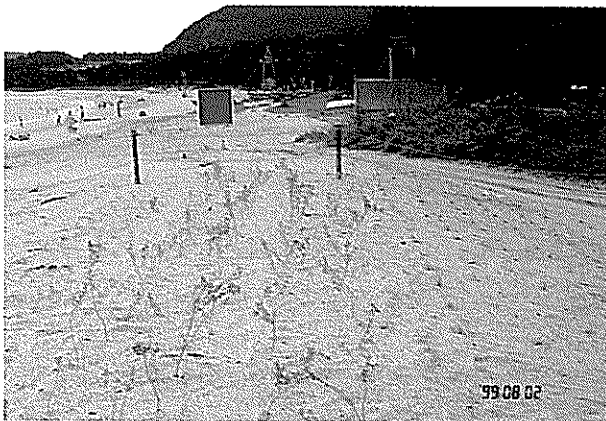


写真-6 植栽直後の後浜天端と防風垣前に繁茂したハマゴウ (1999年8月2日)

4.4 土砂収支

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-15 に示す、入射波向きは東寄りであったことと、10月10日の地形測量および10月12日の現地踏査の際、嵩上げ海浜付近の前浜勾配はほぼ同様である（写真-7）のに対

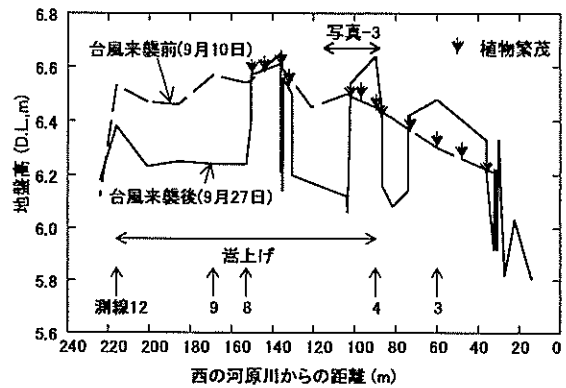


図-13 透水層埋設範囲最高地盤高の変化

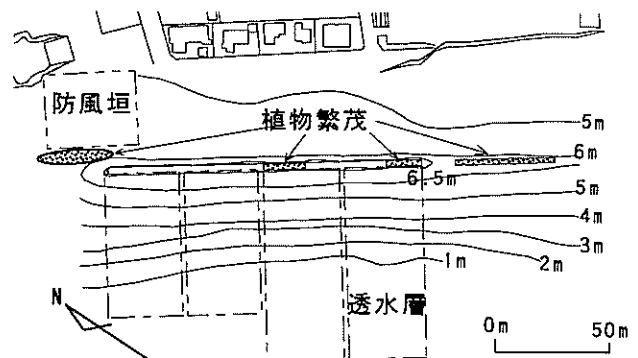


図-14 台風来襲前の植物が繁茂していた場所

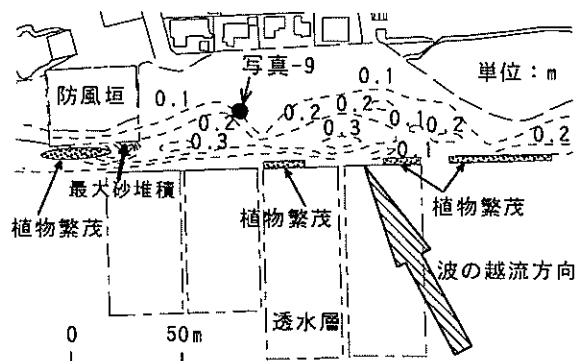


図-15 堆積砂の平面分布

し、西側の測線ほど（図-2, C→B→A）H.W.L.付近に大きなこぶのような地形（バーム）が形成され始めており、（図-16, 写真-8）、そこに砂の供給があったと判断されるからである。



写真-7 勾配の一樣な測線7の前浜(1999年10月12日)



写真-8 測線 B2 付近の前浜に形成されたバーム (1999年10月12日)

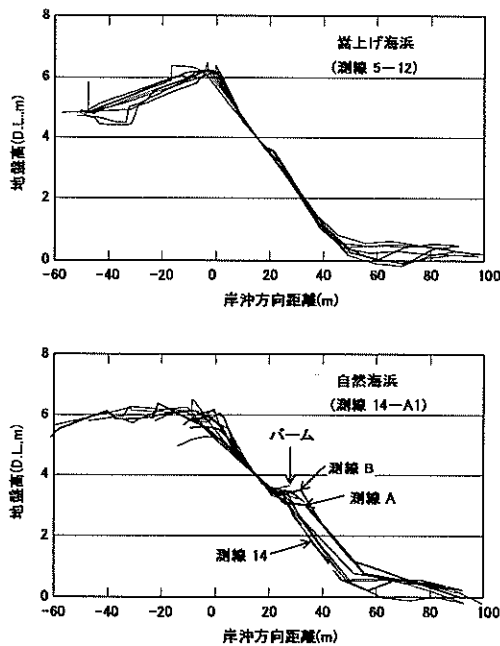


図-16 台風通過2週間後の断面地形 (1999年10月10日, 10月12日測量)

5. 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要因の一つは、高潮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（この状態は基本的に短い）が考えられる。

図-17は、測線9における遡上高を改良仮想勾配法によって30分毎に計算した結果を●印で、この測線の台風来襲前後の最高地盤高を破線および実線で示している。

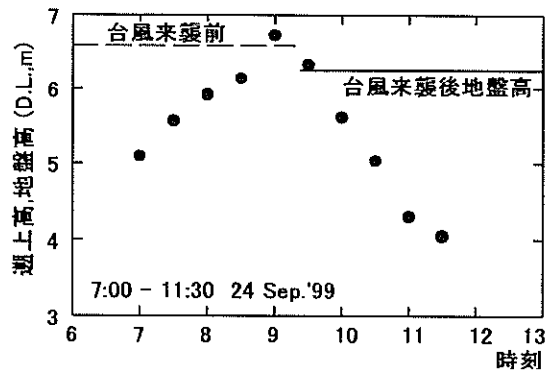


図-17 遡上高の変化 (測線9)

遡上高が後浜天端（台風来襲前）を越え始めたのは、9時頃である。そして、9時30分に遡上高は、台風来襲後の地盤高（侵食された）とほぼ同様になっている。従って、計算による遡上高が遡上痕跡よりも低めになっていること（図-9）を考慮しても、測線9において波が後浜を越流していたのは、1時間以内と推察される。

図-18は、測線12における遡上高計算結果を示している。この測線において、波の遡上高の最大値は台風来襲前の地盤高にほぼ一致している。従って、側線12において越流の生じていた時間は、測線9以上に短かかったと考えられる。

もう一つの要因は、沖波が有する大きなエネルギーは、砕波、遡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。そこで、後浜天端における流れによる力を計算した。後浜天端における越流流速は、相田の津波先端条件を示す次式（土木学会編、1985）

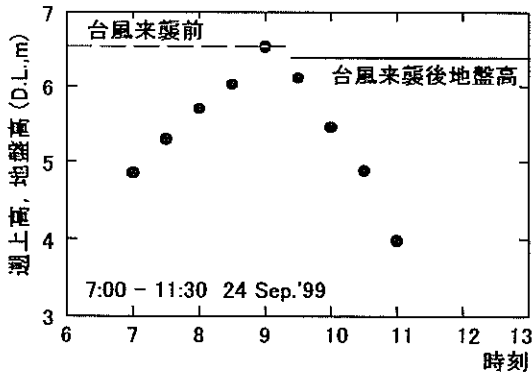


図-18 遡上高の変化 (測線 12)

$$q = C_D H \sqrt{gH} \quad (2)$$

で計算した。ここで、 q は流量、 C_D は0.5~2.0の定数、 H は先端部での地表面上の津波の厚さである。計算では、 C_D は1.25とし、 H は写真-1に示した最大遡上痕跡高とその地点の最高地盤高の差(0.12m)とした。

流れによる力は次式(土木学会編, 1999)

$$F = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot AV^2 \quad (3)$$

で計算した。ここで、 ρ_w は海水の密度、 A は面積、 V は流速であり、(2)式から得られた後浜における流速1.36m/sを用いた。流れによる力は1,902 N/m²であった。

一方、越流の生じた9時の波浪条件を用い、水深10m地点の水面付近の波力を合田式(土木学会編, 1999)によって計算したところ、37,669 N/m²であった。後浜における流れによる力は、沖の波力の約1/20に減少している。

今回の高潮において、後浜天端がソフトな構造物によって防護できた結果は、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。

6. 透水層の防災効果

6.1 後浜天端高の検討

今回の台風による遡上高さは、嵩上げ海浜、自然海浜とも地盤高を僅かに越えていた。図-4に示す嵩上げ断面の天端高は、30年確率波($H_o' = 2.82\text{m}$, $T = 6.5\text{s}$)、計画高潮位(+5.20m)を用い、サベージの透水性を考慮した遡上高算定式(本間監修, 1985)によって計算された+6.24m(表-2)に余裕を加え+6.5mに決定された。

試みに、今回の遡上痕跡高とほぼ一致した改良仮想勾配法を用い、後浜天端嵩上げ時の設計条件(30年確率波($H_o' = 2.82\text{m}$, $T = 6.5\text{s}$)、計画高潮位(+5.20m))での遡上高さを計算したところ、+7.23mとなった(表-2)。つまり、嵩上げ天端高設計の際に使用したサベージの式による遡上高は、1m程過小評価になっていたことを示している。

6.2 後浜背後地の浸水

写真-9は、測線9背後(図-15中の●印)の砂の堆積状況を示している。堆積した砂表面の勾配は一樣ではなく後浜背後から続く緩い勾配から急勾配に変わり、原地盤にすり付いている。勾配変曲点の地盤高は、写真-10に示す付近の物置小屋に残っていた最大浸水痕跡(+5.05m)とほぼ同様な+5mであった。勾配の急な斜面は水中で砂が堆積したため形成されたものと考えられる。従って、越流に伴う後浜背後への大量な砂の移動・堆積は後浜背後の浸水水位が最大になった後で生じたと推察される。

齋藤隆山口大学名誉教授が9月29日に嵩上げ海浜背後にある光市西部住宅介護支援センター(図-19中●印)の職員から聴取した台風通過時の状況をまとめると以下のようになり、その状況を図-19に示す。

- ① 海水の越流が始まる前に東側から西の河原川あるいは排水の詰まりによる水が溜まりだした。この東からの流入(図-19中の←印)は連続的で海水の越流量よりも明らかに多かった。
- ② 海水の越流は9頃から始まり、9時30分頃最もひどかった。海水の越流は周期的あるいは間欠的であった。

表-2 遡上高の比較

| 対象 | 波浪 | | 潮位 | 遡上高 | | |
|-------------------|--------|-------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| | H_o' | T | | サベージの式 | 改良仮想勾配法 | 実測 |
| 台風 9918 号 (推算) | 3.31 m | 6.8 s | 4.54 m (実測) | D.L.+5.42 m | D.L.+6.53 m | D.L.+6.62 m |
| 設計時 (確率波) | 2.82 m | 6.5 s | 5.2 m (計画) | D.L.+6.24 m | D.L.+7.23 m | |

以上のヒアリング結果も、西の河原川からの水によって背後地は浸水し、浸水水位が最大になってから海水の越流にともなう砂の移動、堆積が生じたことを示している。

西の河原川河口では水門の建設工事中であり、右岸側河川護岸の天端高さは、+5mになっていた。そのため、海岸の水位が高潮によって高くなった（最大+4.56m）うえに、波浪が重なり川を遡った海水と、降雨による陸側からの排水が混じり合って右岸側河川護岸を越えて浸水したもと考えられる。

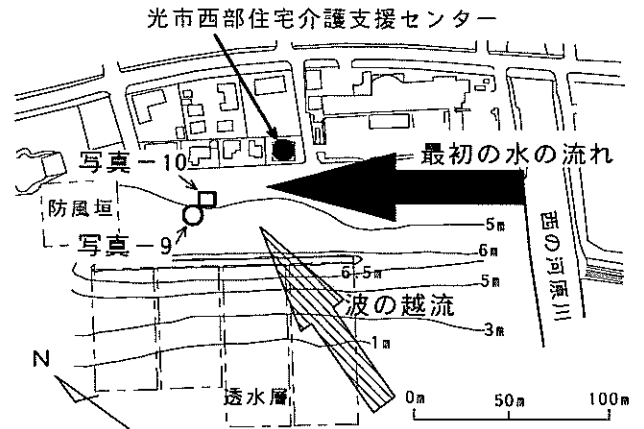


図-19 後浜背後地への浸水状況



写真-9 測線 9 背後の砂の堆積状況(1999年9月25日)

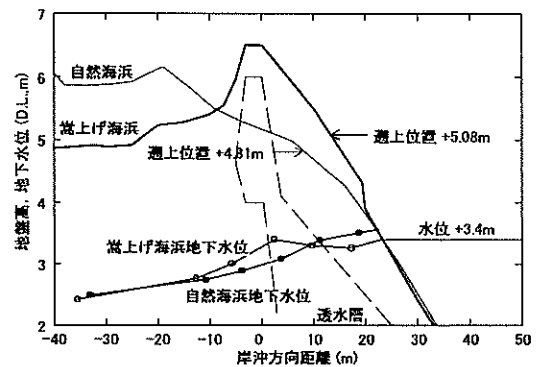


図-20 地下水位の岸沖分布 (9月24日, 7時)



写真-10 浸水痕跡の残った物置小屋 (1999年9月24日)

6.3 地下水位制御

地下水位は、台風 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（嵩上げ海浜内、A-5）以外は欠測となった。図-20 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によって計算した遡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遡上により透水層を埋設した嵩上げ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、嵩上げ海浜の地下水位は、図-7 に示すとおり極大時に +4.56m 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 (+5.05m) よりも 0.5m 低い (図-12)。つまり、透水層によって嵩上げ海浜の地下水位は制御されていたことが分かる。

細貝ら (1997) が虹ヶ浜海岸でおこなった樹齢 18 年以上の黒松 (5 本) の根系調査によると、直根先端の高さは +3.1~4.6m であった。今回測定された最大水位 (+4.56m)、浸水水位 (+5.05m) から判断すると、大きな松の根は一時的に海水に浸かっていたことになる。

村井ら (1992) は、黒松は 1 日程度、海水が地表面に滯海水しても枯死することはないが、8~10 日の滯海水で 50%近い枯死率になると述べている。そこで、次に後浜背後の地下水位の低下状況を調べた。

図-7 において、干潮時の地下水位は砂の透水係数が小さ

いため天文潮位に遅れて応答し、かつ最低地下水位も干潮時潮位よりも1m以上高い。地下水位が遅れて応答し始めた時から最低になるまでの間(5時間)の地下水位低下量は台風来襲前(9月23日23時~24日4時)と、台風来襲後(24日12時~17時)で異なり、後の方が少ない。これは、降雨と高潮に伴う越流によって後浜背後地の地下水位が上昇し、排水される地下水が増えたためである。

そこで、台風来襲前後の干潮時の地下水位低下速度(=干潮時地下水位低下量/5時間)を調べ、その結果を降雨量とともに図-21に示す。

地下水位低下速度は、台風が来襲した24日午後には急激に減少するものの、25日午後には戻っている。つまり、透水層を埋設した海浜の上昇した地下水位は、1日で通常の水位まで下がることが分かる。これは、柳嶋ら(1991)が波崎の自然海浜において調査した結果(0.3m/10日)に比べかなり早く、上昇した背後の地下水位を透水層によって速やかに低下でき、松の枯死を防げることを示している。

6.4 侵食減少効果

図-12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の透水層を埋設した嵩上げ海浜の方が少ない。しかし、嵩上げ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、自然海浜よりも嵩上げ海浜の遡上高さが高かったため(図-9)、測線9のように後浜天端が侵食され、その結果嵩上げ海浜の侵食が多めに生じたものと考えられる。

ところで、嵩上げ海浜後浜天端に植物が繁茂し、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+6.2m(図-13)にとどまっており、施工前(図-4, +5.6m)までは低下していない。もし、透水層を埋設する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。

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(+6.5m)は、遡上高よりも僅かに低く、波の遡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) 後浜天端に繁茂する植物は、後浜の侵食を防ぐことができる。一方、植物が少なかった後浜は侵食され天端高が0.4m低下した。
- (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。
- (5) 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。

本研究は運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所、株式会社テトラ、日鐵建材工業株式会社、運輸省港湾技術研究所で実施している共同研究(ドレーン層を用いた砂浜安定化の施工法の開発に関する研究)の一環としておこなったものである。

(2000年8月31日受付)

謝辞

現地踏査の際には、山口県土木建築部港湾課牧元雅彦元海岸係長、同港湾課海岸係田中泰三元技師、山口県周南港湾管理事務所施設課藤江耕二主任、日本港湾コンサルタント細貝正治氏のご協力をいただいた。齋藤隆山口大学名誉教授からは、台風通過時のヒアリング資料を、山口県土木建築部港湾課海岸係中嶋行彦技師からは現地写真を、藤江耕二氏からは、地形測量結果、波浪推算結果、徳山港気象・海象観測データ、細貝正治氏、日本港湾コンサルタント久積知之氏からは現地写真を提供していただいた。気象庁からは、下松アメダスデータ(雨量)を提供していただいた。当所水工部河合弘泰主任研究官からは、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。

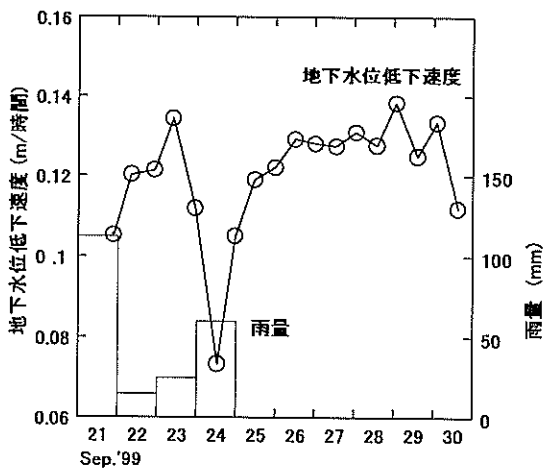


図-21 地下水位低下速度の変化

参考文献

- 片山 忠・黒川 誠・柳嶋慎一・加藤一正・長谷川巖(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 (1985) : 水理公式集, pp.576.
- 土木学会編 (1999) : 水理公式集, pp.526-527, pp.531., pp.540.
- 細貝正治・澤田晴彦・若崎 賞・斎藤 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, 東京大学出版会,
pp.98-99.
- 村井 宏・石井政幸・遠藤治郎・只木良也編 (1992) : 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, pp.443-444.
- 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.
- 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.
- 山口県周南港湾管理事務所・(株) 日本港湾コンサルタント (2000) : 徳山下松港災害復旧調査設計工事に伴う波浪解析業務委託報告書, 165p.

付録A 虹ヶ浜海岸の汀線変化

写真-A.1は1962年5月の虹ヶ浜海岸の航空写真である。この時、虹ヶ浜海岸の護岸は全く整備されていない。写真上部の島田川河口に大きな砂州が東に向かって(写真上方)伸びている。海岸線の海側には白く見える浅瀬が存在し、この浅瀬は、島田川河口前で幅広く、写真下方の門蔵山に向かって狭くなっている。浅瀬は他の航空写真においても確認された。このことから、虹ヶ浜海岸は島田川からの供給土砂によって維持されていることが分かる。

門蔵山から鳶の子川間の後浜背後には松林が見られる。枝虫川から東へ500mの範囲は、防風垣設置と幼松植林後間もない様子がかうかえる。それよりも東側海岸の後浜背後には、松の木はほとんど見あたらない。

写真-A.2は、1988年9月の航空写真である。この時には、島田川河口右岸から650mの階段護岸が整備されている。西の河原川から西側の海岸後浜は、ほぼ密な松林で覆われている。

写真-A.3は、1992年11月の航空写真である。この時、西の河原川から東側は全て階段護岸が整備されていた。

台風9119号による波の遡上、越流によって海岸背後の松が枯れたため、松林はまばらになっている。

表-A.1に示す8回分の航空写真を用い、図-A.1に示す測線の汀線位置(M.S.L.)を比較した。なお、潮位による補正は、前浜勾配を1/10と仮定して行った。

図-A.2～A.6に汀線の経年変化を示す。

虹ヶ浜海岸の汀線は、以下の範囲、期間に大きく変化しているけれど、それ以外は26年で20m程度前進した堆積性の安定した海岸である。

①測線G

島田川河口付近のため砂州の侵食により汀線は後退し、護岸の整備によって前進した。



写真-A.1 1962年の虹ヶ浜海岸

表-A.1 解析に使用した航空写真

| 番号 | 撮影年月日 | 撮影時刻 |
|----|--------------|--------|
| 1 | 1962年, 5月19日 | 12時53分 |
| 2 | 1964年, 7月5日 | 11時04分 |
| 3 | 1970年, 5月18日 | 11時25分 |
| 4 | 1975年, 1月31日 | 10時32分 |
| 5 | 1981年, 12月4日 | 11時27分 |
| 6 | 1988年, 9月1日 | 8時46分 |
| 7 | 1992年, 11月2日 | 10時04分 |
| 8 | 1998年, 5月15日 | 13時23分 |

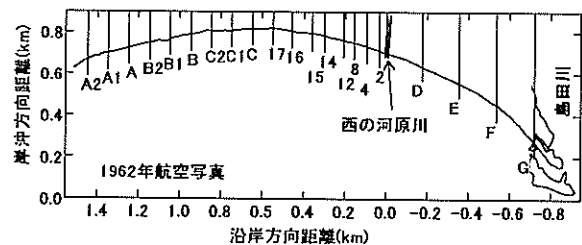


図-A.1 航空写真解析の測線



写真-A.2 1988年の虹ヶ浜海岸



写真-A.3 1992年の虹ヶ浜海岸

②測線F~D (1981~1998年)

階段護岸の整備および、透水層海浜から砂が移動したため汀線前進。

③測線2~12 (1964~1970年)

西の河原川付近の地盤高が低く、砂を盛り上げたため汀線が前進したと推測される(資料無し)。

④測線2~4 (1988~1992年)

③と同様。

⑤測線4~14 (1992~1998年)

砂による嵩上げ(透水層埋設)のため汀線前進。

⑥測線B1~A1 (1970年~1975年)

台風7119号によって東側から砂が運ばれたためと考えられる汀線の前進(この時測線2, 4の汀線は後退)。

⑦測線B1~A1 (1988~1992年)

台風9119号によって東側から砂が運ばれたものと考えられる汀線の前進。

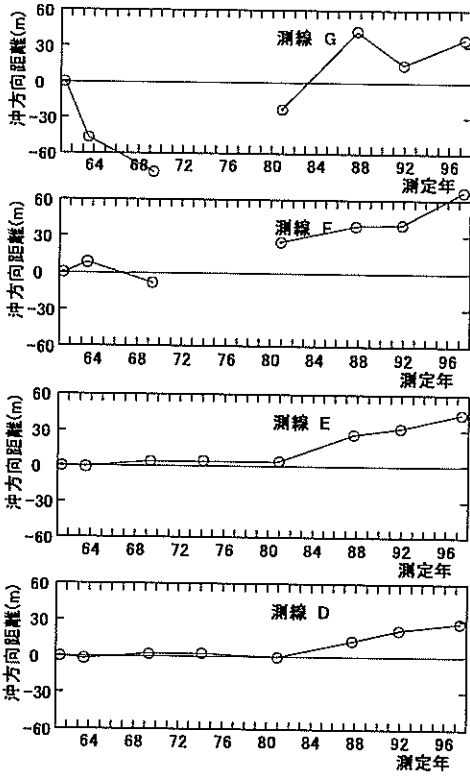


図-A.2 汀線変化 (測線G~D)

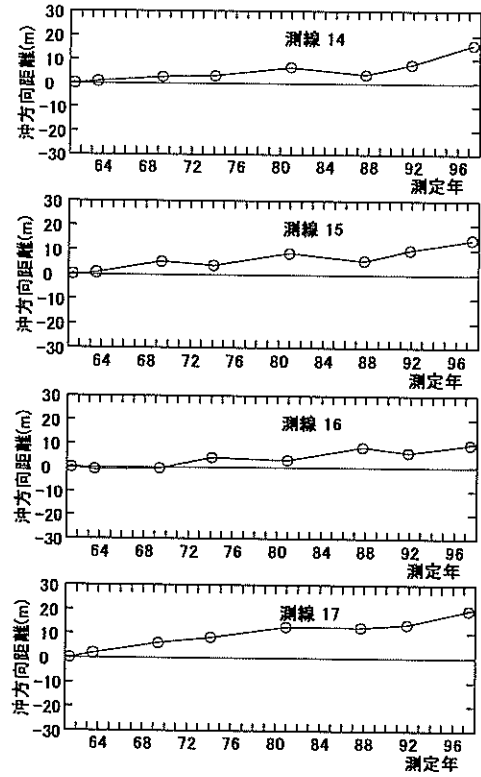


図-A.4 汀線変化 (測線14~17)

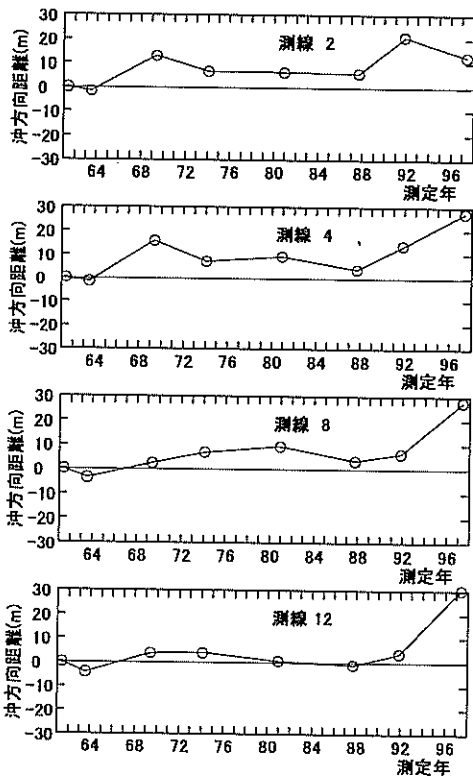


図-A.3 汀線変化 (測線2~12)

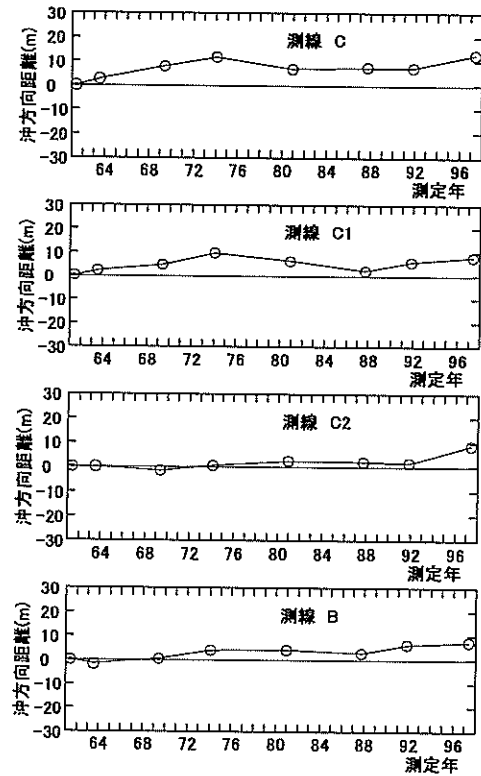


図-A.5 汀線変化 (測線C~B)

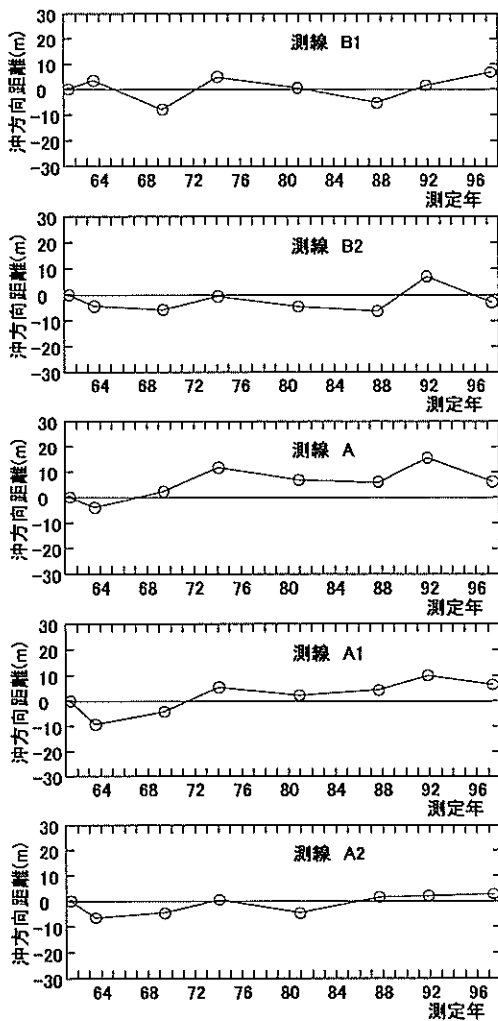


図-A.6 汀線変化 (測線B1~A2)

付録 B 地下水位の変動

図-B.1は、1999年9月22日の10分毎の天文潮位と自然海浜の地下水位の関係を示している。

地下水位は、いずれの地点も天文潮位に遅れて応答し、1日の地下水位変化量は最も海側の測点B-7で大きく、最も陸側の測点B-1で小さい。

図-B.2は、同じ日の天文潮位と透水層埋設海浜の地下水位の関係を示している。

透水層から最も離れた測点A-1は、自然海浜 (B-1) と同様な変化をしているけれど、それ以外の地点の地下水位は透水層埋設によって、満潮時に自然海浜よりも高く、干潮時に自然海浜よりも低くなっている。

透水層内の測点A-5, A-6, A-7の地下水位は、水位が+2.5m以上になると完全に天文潮位に一致する。

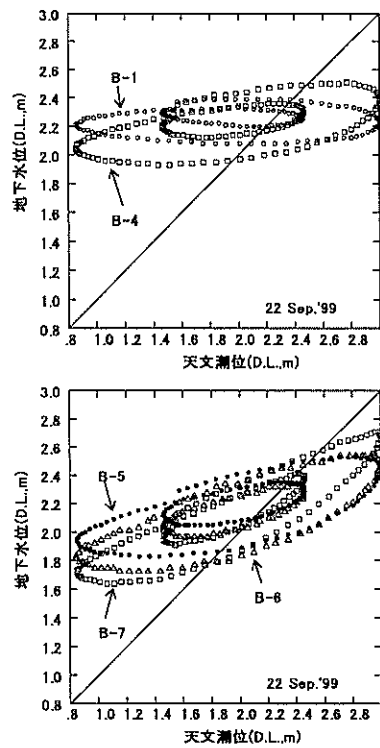


図-B.1 天文潮位と地下水位の関係 (自然海浜)

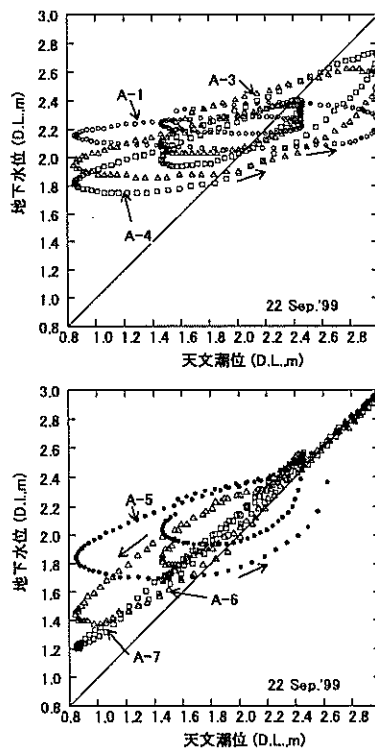


図-B.2 天文潮位と地下水位の関係 (透水層埋設海浜)

付録C 改良仮想勾配法による遡上高さの計算

測線3における改良仮想勾配法による遡上高さの計算方法を以下に示す。ここで沖合の海底勾配は1987年の測量結果から1/60とする。

- ① 9時の換算沖波波高3.31m, 周期6.8s, 波形勾配0.046の条件での碎波水深 h_b は, 合田の碎波水深算定図から4.9mを得る。また, 平均水位の算定図から汀線における波による水位上昇量 $\Delta\eta$ は0.33mを得る。
- ② 潮位 η は+4.54m (波による水位上昇量を含む)であるので碎波が始まる水深は, $4.9\text{m}-4.54\text{m}=-0.36\text{m}$ となる。
- ③ 遡上高を平均水面 (+4.54m-0.33m=+4.21m) から $R'=2.21\text{m}$ と仮定し, 図-C.1に示す測線3の断面地形において, 碎波の始まる-0.36mから遡上地点(4.21+2.21=+6.42m)までの断面積Aを計算すると, 261.4m^2 になる。
- ④ 仮想勾配(図中破線) $\cot\alpha$ を計算すると11.3になる。
- ⑤ 改良仮想勾配法による打ち上げ高の算定図から, $R/Ho'=0.67$ を得る。
- ⑥ $R=3.31\times 0.67=2.218\text{m}$ となる。
- ⑦ 計算した遡上高 R と仮定した遡上高 R' と一致する。
- ⑧ 従って, 遡上高さ R_L は, $4.21\text{m}+2.21\text{m}=6.42\text{m}$ を得る。同様に計算した測線4, 9, 12,17の断面地形および遡上高さを, 図-C.2, C.3, C.4, C.5に示す。

測線9および12における30分毎の遡上高の計算結果を表-C.1, C.2に示す。

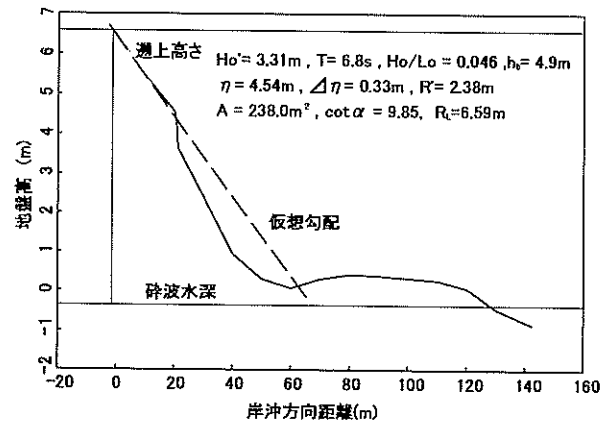


図-C.2 遡上高算定図 (測線4)

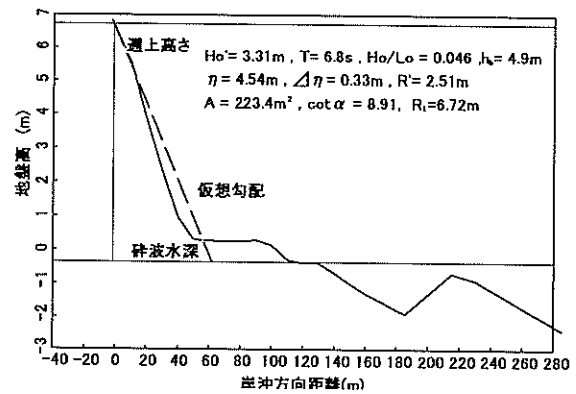


図-C.3 遡上高算定図 (測線9)

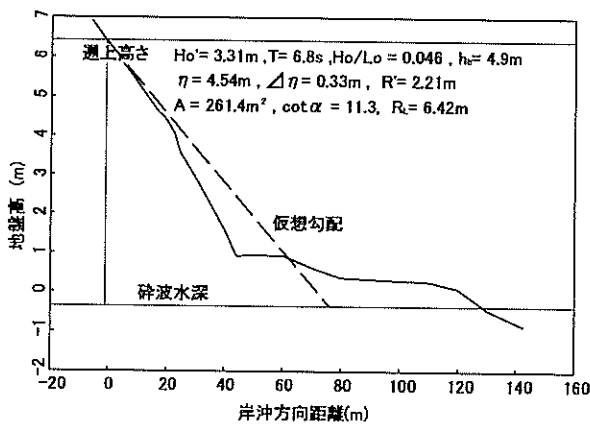


図-C.1 遡上高算定図 (測線3)

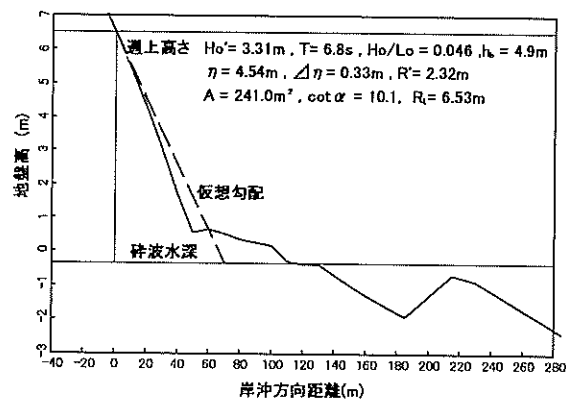


図-C.4 遡上高算定図 (測線12)

表-C.1 遡上高の計算結果 (測線9)

| 時刻 | Ho' (m) | T (s) | η (m) | R (m) | R_L (m) |
|-------|-----------|---------|------------|---------|-----------|
| 07:00 | 1.99 | 6.7 | 3.40 | 1.89 | 5.09 |
| 07:30 | 2.26 | 6.8 | 3.69 | 2.10 | 5.56 |
| 08:00 | 2.35 | 7.0 | 3.99 | 2.16 | 5.91 |
| 08:30 | 2.30 | 6.9 | 4.29 | 2.07 | 6.13 |
| 09:00 | 3.31 | 6.8 | 4.54 | 2.51 | 6.72 |
| 09:30 | 3.13 | 7.0 | 4.22 | 2.41 | 6.32 |
| 10:00 | 3.38 | 6.6 | 3.69 | 2.26 | 5.61 |
| 10:30 | 2.94 | 6.3 | 3.35 | 1.97 | 5.03 |
| 11:00 | 3.00 | 6.6 | 2.84 | 1.77 | 4.31 |

表-C.2 遡上高の計算結果 (測線12)

| 時刻 | Ho' (m) | T (s) | η (m) | R (m) | R_L (m) |
|-------|-----------|---------|------------|---------|-----------|
| 07:00 | 1.99 | 6.7 | 3.40 | 1.65 | 4.85 |
| 07:30 | 2.26 | 6.8 | 3.69 | 1.83 | 5.29 |
| 08:00 | 2.35 | 7.0 | 3.99 | 1.95 | 5.70 |
| 08:30 | 2.30 | 6.9 | 4.29 | 1.96 | 6.02 |
| 09:00 | 3.31 | 6.8 | 4.54 | 2.32 | 6.53 |
| 09:30 | 3.13 | 7.0 | 4.22 | 2.20 | 6.11 |
| 10:00 | 3.38 | 6.6 | 3.69 | 2.10 | 5.45 |
| 10:30 | 2.94 | 6.3 | 3.35 | 1.82 | 4.88 |
| 11:00 | 3.00 | 6.6 | 2.84 | 1.68 | 3.98 |

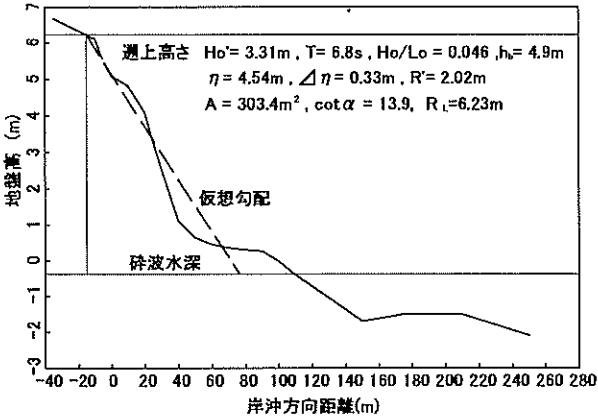


図-C.5 遡上高算定図 (測線17)

付録D 天端植栽

後浜天端植栽の詳細を図-D.1に示す。

I, II工区は、1996年7月に植栽した。この時には、地盤の処理方法として、パーク堆肥保水材の有無および砂面固化処理の有無について試験した。

コウボウムギは、海側法面から陸側法面までの10mの範囲に植え付けている。そして、陸側法肩から海側へ1.5mの範囲の後浜天端にはハマゴウも植えている。

III, IV工区は、I, II工区の植物の生育状況を踏まえ、1999年7月から8月に植栽した。この時には、パーク堆肥保水材に加え、パーライト保水材も試験した。

植えた植物は、I, II工区と同様である。

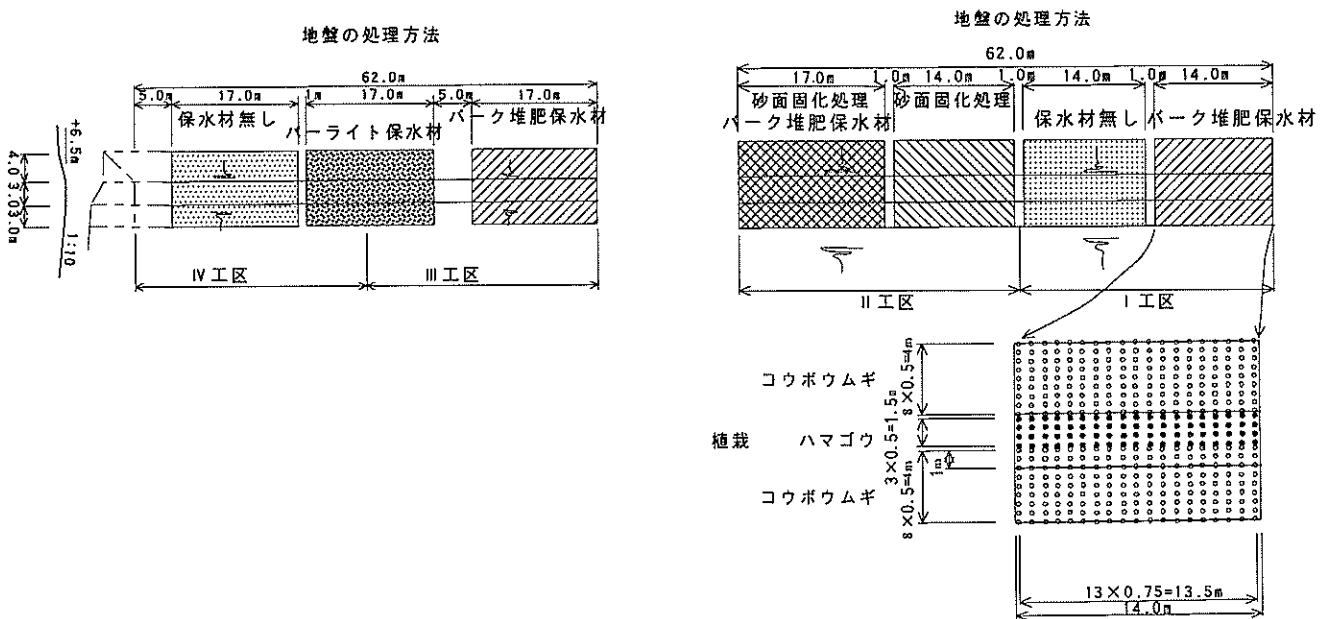


図-D.1 天端植栽の詳細

付録E 地形変化

図-E.1, E.2に全測線の台風来襲前後の断面地形変化を示す。なお、測線CからA1の台風来襲後の断面地形は、1999年10月10日または、12日に測量し、台風来襲前の後浜付近地盤高は、台風来襲後の地盤高から砂の堆積厚を減じて求めた。

写真-E.1は、密生したハマゴウによって護られた測線C付近の後浜である。

写真-E.2は、密生した幼松によって護られた測線C2と測線B間の後浜である。

図-E.3は、全測線における台風通過前後の最高地盤高の変化を示している。

透水層埋設海浜においては、後浜天端に植物が繁茂していた測線以外、後浜天端が侵食され地盤高は低下している。一方、自然海浜においては、最も西側のA1測線で地盤高の変化が無かったものの、それ以外の測線は全て越流によって運ばれた砂の堆積によって最高地盤高は高くなっている。枝虫川付近の2測線を除くと、台風通過後の最高地盤高は、概ね6.0~6.2mの範囲にあり、均一になってきている。

図中には透水層埋設工事前の原地盤高を△印で示している。侵食された測線においてもその地盤高は、工事前の地盤高よりも高い。

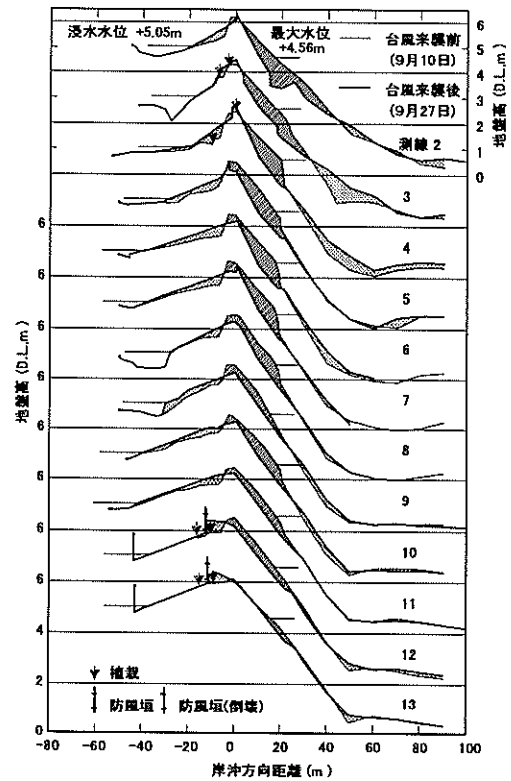


図-E.1 断面地形変化(測線2~13)



写真-E.1 ハマゴウによって護られた後浜 (1999年, 9月25日, 測線C付近)



写真-E.2 幼松によって護られた後浜 (1999年, 9月25日, 測線C2とBの間)

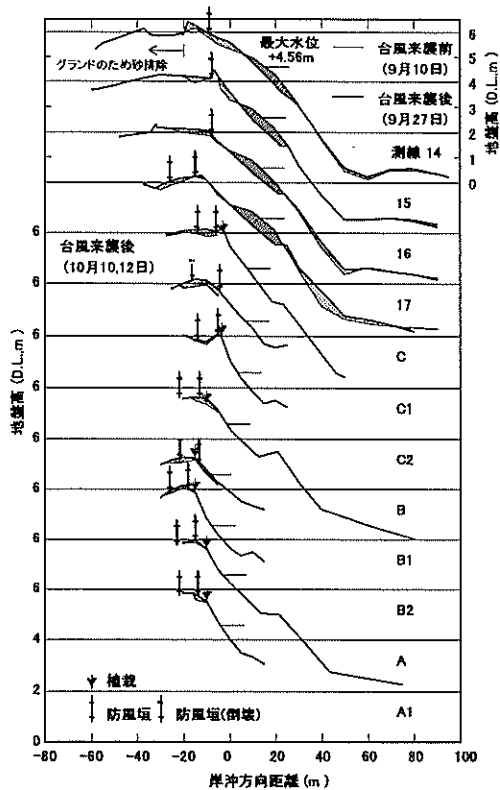


図-E.2 断面地形変化(測線14~A1)

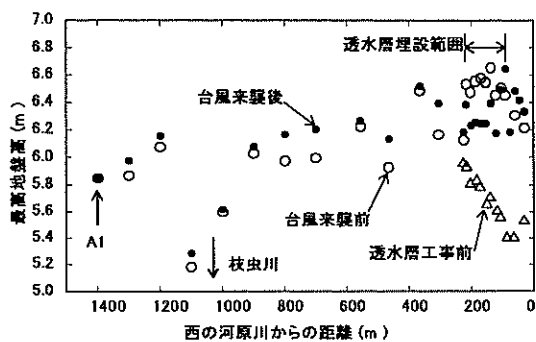


図-E.3 最高地盤高の変化

付録F 松枯れについて

写真-F.1は、台風通過直後に測線17付近後浜の幼松を撮影したものである。この地点には、古い防風垣が存在していたが、波の越流によって倒壊し無くなった。

幼松は、波の越流によって陸側に倒されているけれど、まだ枯れていない。

写真-F.2は、写真-F.1とほぼ同位置における台風通過18

日後の幼松の状況である。地盤から高さ1mまでの範囲の松の葉が茶色に枯れている。ただし、写真右側の木は、地盤から高さ1mまでの範囲は枯れているものの、それよりも上部は緑のままで枯れていない。

村井ら(1992)は黒松の枯死は、強風時の飛砂や針葉相互の接触による傷から、塩素が葉内に侵入して発生し、葉に傷がない場合は被害を受けにくいと述べている。つまり、この地点においては、波の越流と飛沫は地盤から高さ1mの範囲で生じていたと考えられる。

写真-F.3は、1999年11月30日に撮影した黒松である。写真奥の透水層を埋設した海浜背後の松は全く枯れていない。写真中央(測線14付近)から手前側の松は枯れて茶色くなっており、その状況は、手前側ほど高い所まで及んでいる。

写真-F.4は、同じ日に撮影した測線Cから西側の黒松である。幼松は全て茶色く枯れており、大きな松も梢端まで枯れている。この二枚の写真から虹ヶ浜海岸の黒松は、西側



写真-F.1 台風通過直後の幼松(1999年9月24日、測線17付近)



写真-F.2 枯れた幼松(1999年10月12日、測線17付近)

ほど枯れており、且つ西側ほど高い所まで枯れたことが分かる。

図-F.1は、台風通過の際、風速が強かった時間帯の風向を破線で示している。西の河原川から測線14付近までの範囲の海岸線は、風向とほぼ平行になっている。また、測線Cまでの海岸は、光港の防波堤の遮蔽域になっている。測線14から西側に行くほど海岸線と風向のなす角度は大きくなっている。以上のことから、①飛沫は透水層埋設範囲背後へは飛んでこず、②測線14付近から西側ほど多かった。また、③西側ほど海岸線と風向のなす角度が大きいため前浜勾配の影響を受け、飛沫が上方に拡散した。

写真-F.3, F.4に示す松枯れは、①～③に示す原因によって発生したものと考えられる。なお、3.1項で述べた、台風来襲後約1ヶ月間雨が降らなかったことも松枯れ発生の一因と考えられる。もし、台風通過後に大量の雨が降っていたら、針葉に付着した塩分が洗い流されるからである。

写真-F.5は、2000年7月27日に撮影した透水層埋設海浜

付近の海岸である。後浜背後の松は台風通過直後と同様に青々としている。

写真-F.6は、同じ日に撮影した枝虫川付近の海岸である。後浜背後と道路との間に大きな松はほとんど見あたらない。これは、枯れた松を伐採したためである。なお、伐採にいたった原因の詳細は不明である。

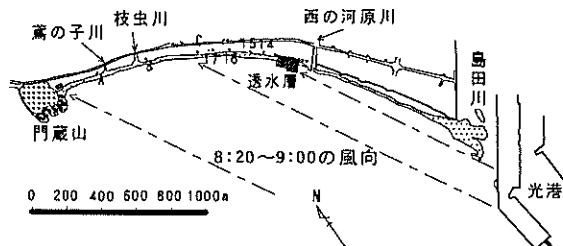


図-F.1 風速最強時間帯の風向



写真-F.3 測線16から東側の黒松(1999年11月30日)



写真-F.5 透水層埋設範囲付近の松林(2000年7月27日)



写真-F.4 測線Cから西側の黒松(1999年11月30日)

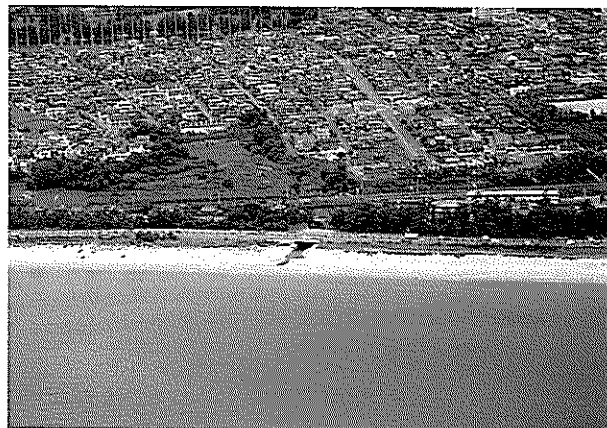


写真-F.6 枝虫川付近の松林(2000年7月27日)

港湾技研資料 台風9918号高潮災害関連

No.969~974

2000.12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 昭和情報プロセス(株)

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (2000) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。