

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1091

December 2004

後浜地形変化におよぼす植物の影響に関する現地調査

柳嶋 慎一

独立行政法人 港湾空港技術研究所
Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	9
2. 調査方法	9
3. 後浜地盤高および植生の長期的変化	9
3.1 自然の後浜	9
3.2 人の手の加わった後浜	12
4. 後浜の裸地化の検討	14
5. 対策工およびその後の地形変化	16
5.1 対策工1	16
5.2 対策工2	19
5.3 植物の再生の可能性	21
6. おわりに	21
謝辞	22
参考文献	22
付録A	23
付録B	26
付録C	30
付録D	34
付録E	35

Field Measurement of the Effect of Vegetation on Beach Profile Change In the Backshore

Shin-ichi YANAGISHIMA*

Synopsis

Field measurements on vegetation and beach profile in the backshore at the Hasaki coast where the landward wind was predominant showed that accumulation occurred continually in the backshore with vegetation, whereas erosion occurred without vegetation. In the backshore with vegetation, a strong wind with a speed over 20 m/s exposed the root of vegetation, killed the vegetation, and generated small bare areas. The elevation in the bare areas got higher with landward winds with a speed of 12 to 15 m/s, and got lower with seaward winds. The small bare areas were expanded by the next strong wind, combined with neighboring ones, and developed to large ones. Field examinations of the countermeasures against erosion in the backshore caused by wind showed that covering the ground with straws and planting American dunegrasses was most effective. However, even without countermeasures, when vegetation did not experience the strong wind for more than a year and was not damaged by an extraordinarily high temperature, the vegetation naturally recovered and protected the backshore.

Key Words: backshore,vegetation,beach profile change,aeolian sand transport,enlargement of bare ground,shore protection,field measurement

* Senior Research Engineer,Marine Environment and Engineering Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5045 Fax : +81-46-841-9812 e-mail:yanagishima@pari.go.jp

後浜地形変化におよぼす植物の影響に関する現地調査

柳嶋 慎一*

要 旨

現地調査を行い、植生と地形変化との関係を調べた。その結果、植生がある後浜の地盤高は上昇するのに対し、広い範囲で植生が無くなった後浜の地盤高は低下した。植物が存在する後浜でも20m/s以上の強風が長時間継続した時に、植物の根が露出し枯れ始め、スポット状の裸地が生じる。スポット状裸地の地盤高は、12～15m/s程度の海風で上昇、陸風で下降する変動を繰り返す。そして、更に強風が吹くと、幾つかのスポット状裸地が繋がることにより広範囲な裸地へと進行した。裸地化した範囲は1994年から2003年の間に調査対象地域の8%から24%に広がった。

次に、後浜を保全するための対策工を試験施工しその効果を比較検討した結果、ハマニンニク植栽に敷き藁を併用する方法が適すると判断された。また、強風が1年以上発生せず猛暑でなければ、植生は自然に再生されることが明らかとなった。

キーワード：後浜、植生、地形変化、飛砂、裸地化、海岸保全、現地調査

* 海洋・水工部、主任研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5045 Fax：046-841-9812 e-mail:yanagishima@pari.go.jp

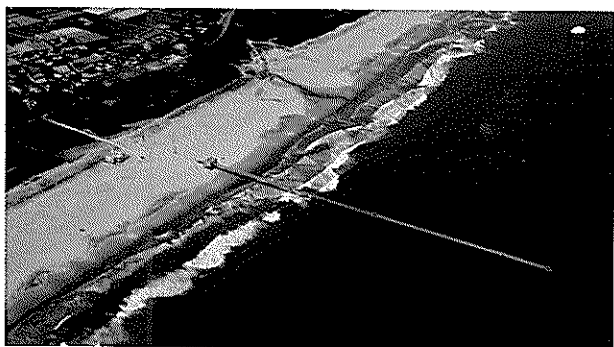


写真-1 波崎海洋研究施設

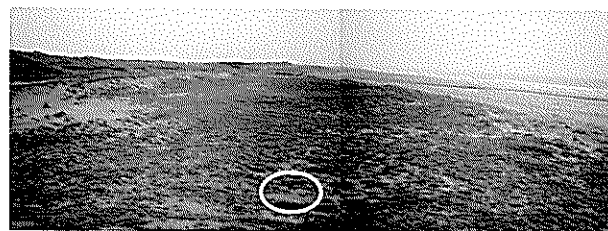


写真-4 B地点付近の植生 (1995年7月)

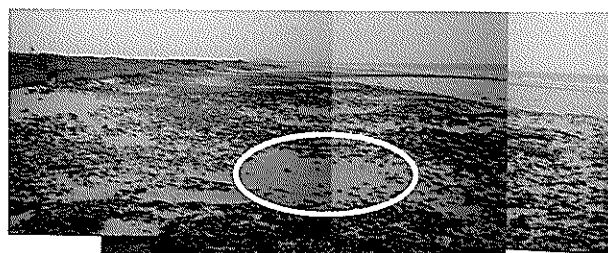


写真-5 広がったスポット状裸地 (1996年5月)



写真-2 コウボウムギ



写真-6 A地点付近の後浜の植物 (1995年8月16日)

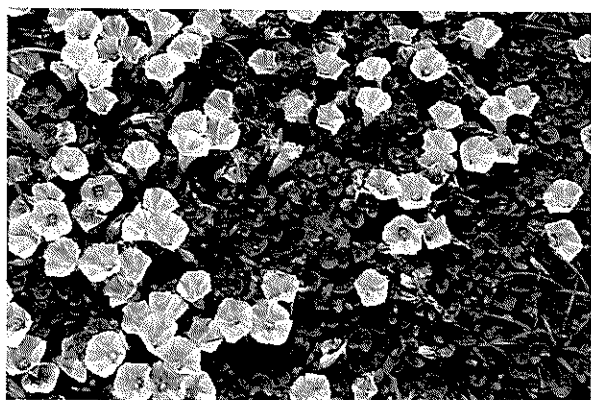


写真-3 ハマヒルガオ



写真-7 ハマニンニクの風下側に生じた砂の堆積

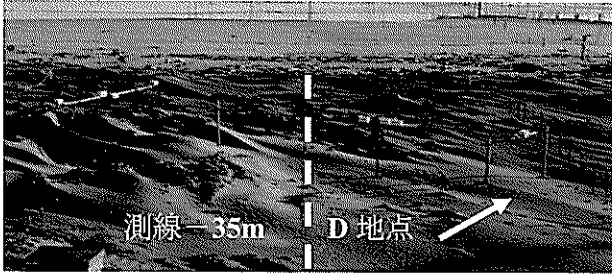


写真-8 マツバギク植栽部分から伸びる尾根状の砂の堆積

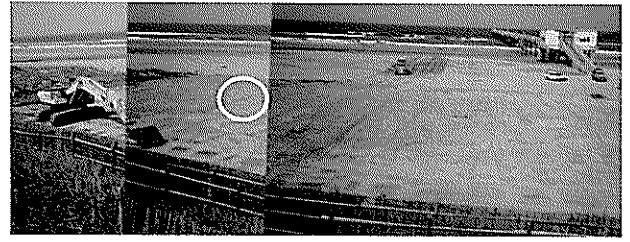


写真-12 作業用地のため整地された後浜(○印C地点)

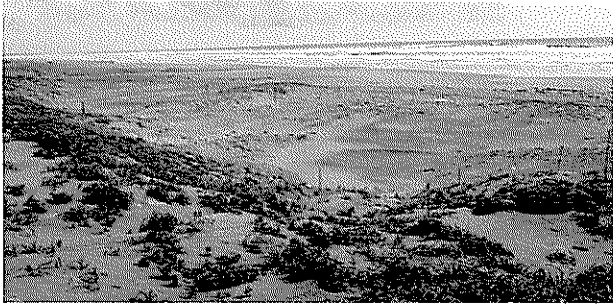


写真-9 広範囲で裸地化した後浜 (2002年6月)

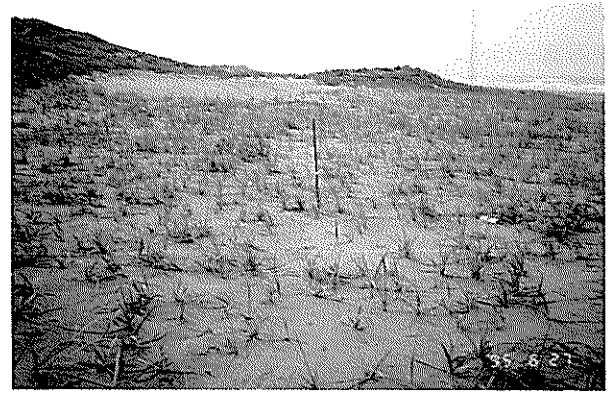


写真-13 新葉の出たハマニンニク (1995年6月27日)



写真-10 ハマニンニク

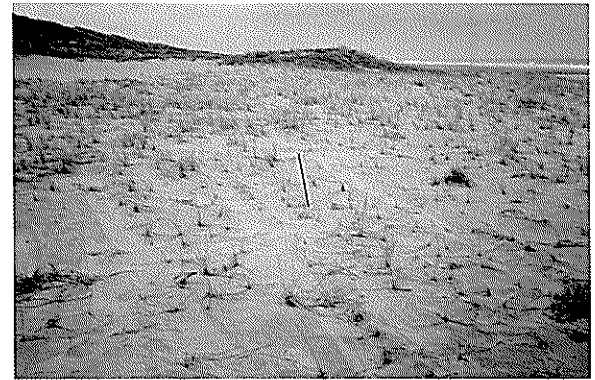


写真-14 枯れたハマニンニク (1995年9月6日)



写真-11 植物の存在するC地点付近 (1994年7月, ○印C地点)

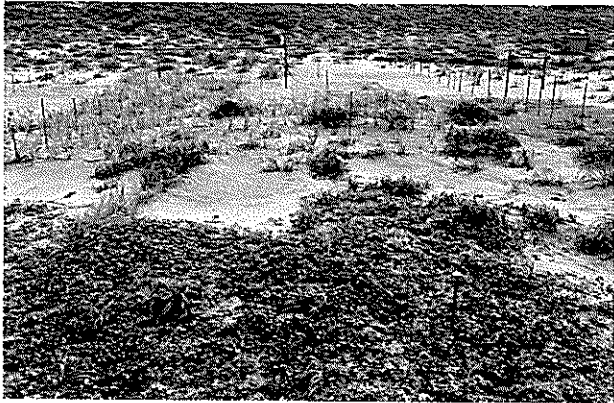


写真-15 繁茂するハマヒルガオ (2003年6月)



写真-18 HORS付近砂丘陸側斜面に自生するマツバギク (1998年5月)

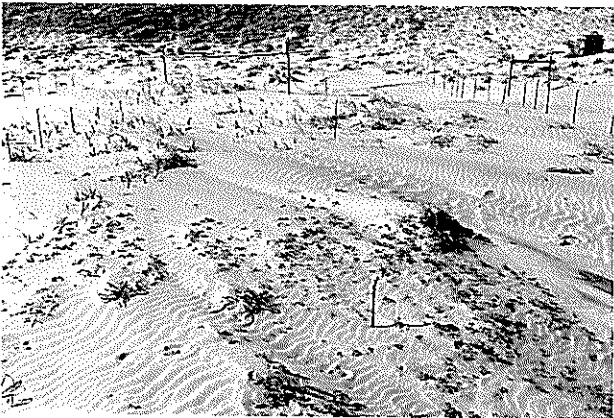


写真-16 枯れたハマヒルガオ (2003年11月)

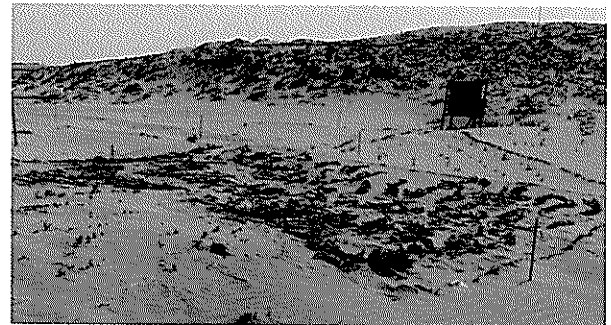


写真-19 マツバギクの植え付け

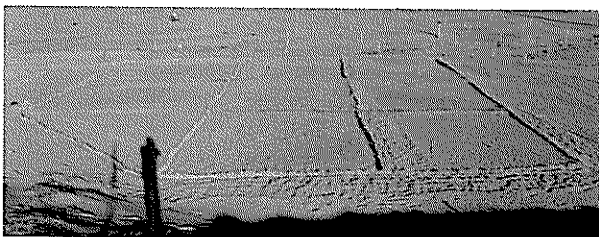


写真-17 藁柵の設置



写真-20 ハマニンニク苗の植え付け



写真-21 敷き藁の設置



写真-24 対策後1年経過した後浜(2004年5月)



写真-22 マツバギク植栽範囲に出現した植物

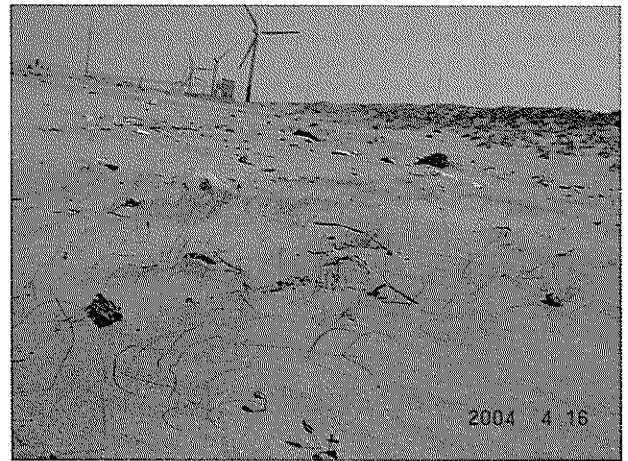


写真-25 裸地に芽生えた実生の新芽(2004年4月)



写真-23 追加対策工(2003年3月)



写真-26 枯れた実生の新芽(2004年6月)

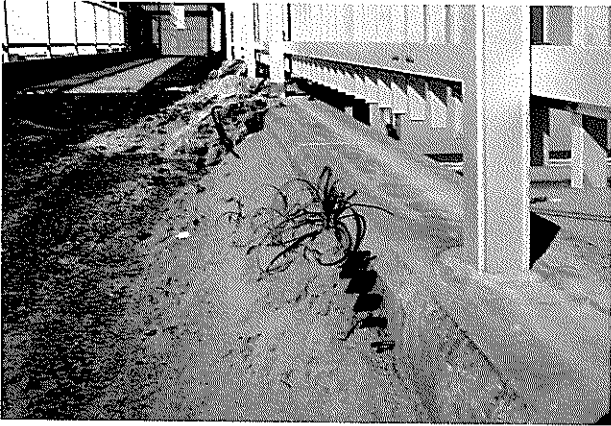


写真-27 観測栈橋斜路に育ったコウボウムギ

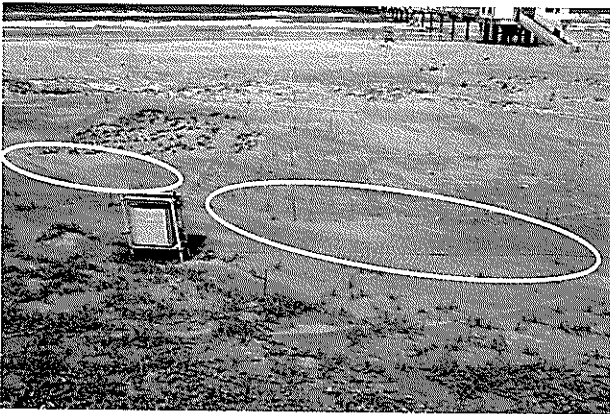


写真-28 対策直後の後浜（2001年6月）



写真-29 植物の増えた後浜（2004年6月）

1. はじめに

後浜は、前浜が侵食された時に背後地を波から護るとい
う防災上の重要な機能を有している。また、護岸と異
なり砂浜とその背後地との生態系の連続性を阻害し
ない。従って、環境に配慮した海岸整備においては
その積極的な導入が望まれる。

後浜は波の影響を余り受けないものの、風による
砂移動によって変形する。そして後浜には、植物が
存在しており、これらの植物と地形変化の関係が明
らかになってきている。

栗山・望月 (1997)、栗山ら (2001) は、茨城県
波崎海岸での4年間の調査から、海浜植物には、飛
砂発生抑制、飛砂の捕捉効果のあることを明らか
にした。加藤ら (1997) も、鹿島灘および九十九
里海岸において1年間の現地調査を行い、砂草が、
飛砂の捕捉や飛砂発生抑制に効果のあることを示
した。有働・武若 (2001) は、茨城県角折海岸
における2年間の調査から、後浜の植物被覆度が
大きいほど後浜が堆積することを示した。また、
加藤・佐藤 (1998) は、九十九里小松海岸にお
いて調査を行い、裸地と植物群落間での遷移が1
年の間に生じていることを示し、春夏期に生じた
裸地化の理由の一つは高波浪の遡上であると述
べている。

自然状態の後浜において、植物の消滅した範囲
が広がる“裸地化”が生じると後浜を保全する
上で問題になると考えられる。

そこで本研究では、現地調査を行い植物分布
と地形変化との関係などを調べるにより植物が
消滅する機構を検討するとともに後浜における
裸地化の実態を検討した。次に後浜を保全す
るため、植栽等による対策を試験施工しその
効果について比較検討した。

2. 調査方法

調査は、茨城県波崎町の鹿島灘に面した砂
浜海岸にある波崎海洋研究施設(以後 HORS と呼
ぶ、図-1、写真-1)で行った。1987年8月
から2003年12月まで、1月に1回程度
HORS を中心に沿岸方向400m、砂丘付け
根から海側に215mの範囲を沿岸方向間
隔40m、岸沖方向間隔5mの地形測量
を実施した。さらに、植生に注目した後
浜の写真撮影を随時実施した。

調査範囲の中央に、HORS 棧橋および砂
丘付近に研究棟が建設されている。そ
こで、当海岸の卓越風向であるN~NE
方向の風(付録C参照)が構造物の影
響を受け難いと判断される沿岸方向
距離 $x = -200 \sim 0$ m の範囲(図-

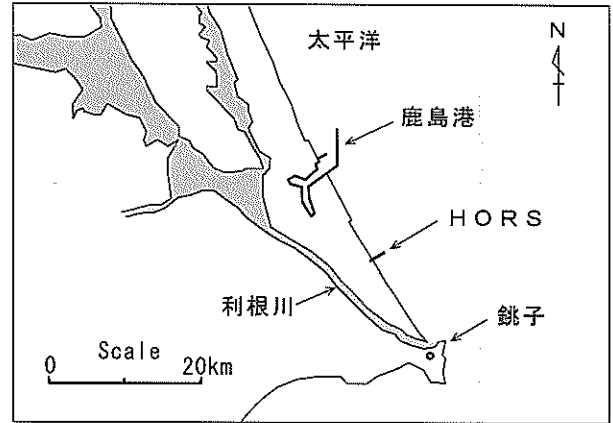


図-1 調査位置図

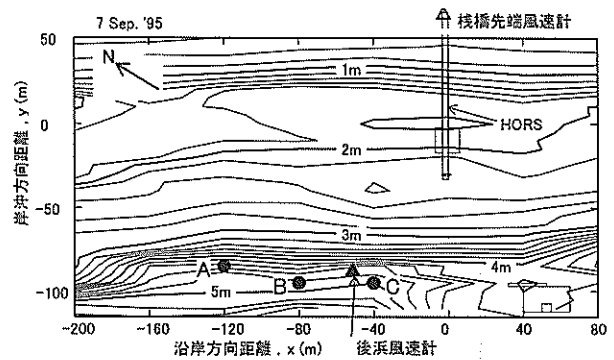


図-2 調査地地形図 (1995年9月測量)

2) を解析対象とした。

風向・風速は、汀線から385m沖の棧橋先端(D.L.+10m)に取り付けた風速計(△印)を用い、毎正時に10分間平均値を測定した。なお、風速計の故障により欠測した場合は、栗山ら(2001)の方法で、銚子气象台における観測結果を基にHORSの値を推定した。

2002年1月から5月の間は、超音波式風速計、2003年2月から12月の間は、プロペラ式風速計を地盤上0.5mの位置の後浜に設置し(▲印)棧橋先端と後浜での風速の関係を調べた。

波の遡上高さは、鹿島港で観測された有義波高・有義波周期および汀線付近の棧橋に取り付けた波高計によって得られた平均水位および長周期波の波高を用い、加藤ら(1989)のHORSにおける経験式によって計算した。

3. 後浜地盤高および植生の長期的変化

3.1 自然の後浜

図-3は、後浜のA, B地点(図-2, ●印)における地盤高の変化(付録A参照)を示している。

A地点(沿岸方向距離, $x=-120\text{m}$, 岸沖方向距離 $y=-85\text{m}$)の地盤高は、1987年から2003年まで、上昇を続け、16年間で約2.5m高くなっている(0.16m/年)。ただし、2003年の後半地盤高は下降ぎみになっている。一方、B地点($x=-80\text{m}, y=-95\text{m}$)の地盤高は、1987年から1996年までの間、1992年、1993年に上昇速度が鈍るものの、上昇し9年間に1m高くなっている(0.11m/年)。1997年から2000年の間、地盤高は秋から初冬に急激な上昇、冬から夏への緩やかな下降を繰り返している。この間で夏季の地盤高の極小値はほとんど変わらない。しかし、初冬の地盤高の極大値は年々上昇している。そして、2001年以降、B地点の地盤高は低下している(-0.14m/年)。

A地点の後浜には、1987年から2003年までコウボウムギ(写真-2, 6), ハマヒルガオ(写真-3)が存在した。B地点付近の後浜には、1989年より1995年までコウボウムギ, ハマヒルガオが存在した(写真-4)。ただし、植物は均一でかつ密に生えているわけではなく、写真中に○印で示すような小さなスポット状の裸地が幾つも存在していることが分かる。写真に写っている目標物を基準にスポット状裸地の岸沖方向幅を算定すると、1995年は、1.7mであった。そして、写真-5に示す1996年5月には、B地点付近のスポット状裸地幅は6.9mに広がるとともに、1995年の写真に比べ後浜全域で白く見える部分(裸地)が多くなっている。その後、スポット状裸地の幅が広がるとともに2001年以降には、B地点の卓越風向風上側になる範囲も広く裸地化した。

つまり、植物が存在すると後浜の地盤高は上昇し、広い範囲で植物が消滅(裸地化)すると下降する関係のあることが分かる。これは、植生のある後浜の地盤高は、

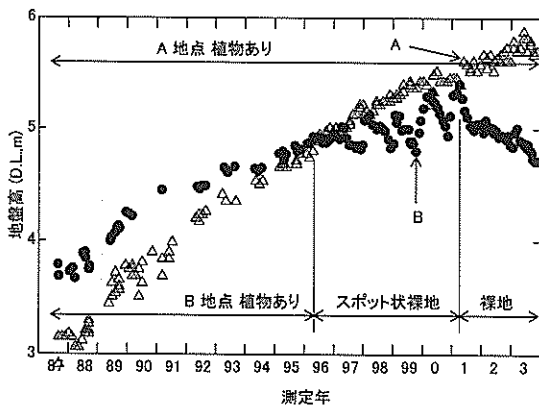


図-3 A, B地点の地盤高, 植生の経年変化

植生により砂が捕捉されるため高くなる。そして、砂の堆積に伴ってコウボウムギ等の地下茎が垂直上方に伸び、葉は地表に現れる性質(鈴木, 1974)により、地盤高の上昇は継続するものと考えられる。しかし、何らかの原因で広い範囲で植生が無くなると(原因は後述する)、それまで堆積していた範囲も侵食が生じる。

植生の無い後浜は飛砂の供給源になり、砂が運び去られるため地盤高は低下する。そして、植物の種子が後浜に定着し、実生の芽が出たとしても飛砂による砂の移動のため根がすぐに露出し、枯死する。このような過程で、後浜の侵食が継続するものと推察される。

ところで、沿岸方向に40mしか離れていないにもかかわらず、A地点とB地点において、地盤高の変化は異なっている。そこで、この違いを考察する。

図-4は、1995年9月7日に測量したA, B地点付近の後浜の詳細地形を示したものである。図中には波崎海岸の強風卓越風向を矢印で示してある。後浜は、+4.8mから+5.2mの等高線の間隔が広くなり平坦な地形になっている。そして、A地点は+4.8mの等高線が海側に凸になった位置にあり、B地点は逆に凹んだ位置にある。

赤木(1991)は、「砂丘においては、一度、植生がなくなって風が通ると少しだけ低い谷の地形となり、いっそう風の通り道となり、植生が覆うよりも侵食が進むために、ますます谷が発達する」と述べている。卓越風向から判断すると、B地点付近は風の通り道になり凹んだ地形になったものと考えられる。風の通り道であるために、B地点では岸沖方向幅1.7mのスポット状裸地が存在した(写真-4, ○印)ものと考えられる。

写真-6は、A地点付近の後浜を1995年8月16日に撮影したものである。A地点では、1m四方の枠内にコウボウムギが密生(被覆率70%)しているのが分かる。強風が吹いた後の1995年9月25日に被覆率を再度測定した

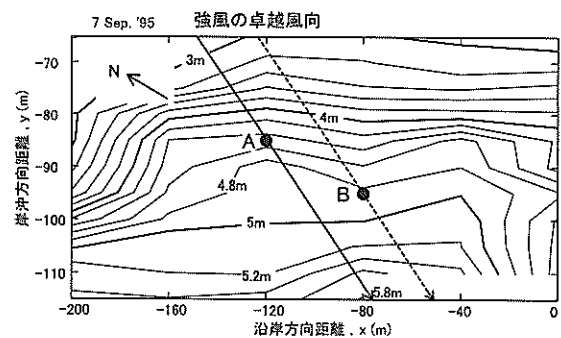


図-4 A, B地点の詳細図(1995年9月7日)

ところ 70%で変わらず、その後も植物は枯れなかった。つまり、A 地点は、①風の通り道になっていないので、②植物が密に生え、③スポット状裸地の発生および裸地化が生じず、④地盤高は上昇を続けたものと考えられる。

次に、B 地点にスポット状裸地が生じた時の地盤高の季節的な変動を検討するため、B 地点と似た環境である D 地点（図-5）に超音波式砂面計を設置し、地盤高の変化を調べた。砂面計設置地点を含め周囲 5m の範囲に植物は存在しないけれど、卓越風向風上側 9m の地点にマツバギクが植栽されている。

図-6 は、D 地点の地盤高の変化を示している。地盤高は、10月から4月の間の短期間に急激に上昇し、5月から9月に緩やかに下降している。また、10月頃の地盤高は、2002、2003年とも 5.1m であるけれど、5月頃の地盤高は 2003年のほうが 0.15m 高くなっている。これらの変化は、図-3 に示した B 地点の季節的な変動とよく似ている。

写真-7 は、12m/s の風が 4 時間連続した後のハマニンニク付近を撮影したものである。ハマニンニクの風下側に白い砂が堆積しており、もともと植物の存在しない範囲でも堆積が生ずることが分かる。

D 地点の地盤高が上昇するのは、図-7 に示す風速が 12~15m/s 程度の卓越風（N~NNE、海風）が吹いた時であり、卓越風向の風上側にあるマツバギク植栽範囲での飛砂の堆積が風下側の D 地点へ尾根状に伸びたためである（写真-8）。そして、マツバギク植栽範囲の地盤高は年々高くなっているため（図-31 参照）、D 地点の年間極大地盤高は、2002年よりも 2003年5月のほうが高くなったのである。一方、地盤高が下降するのは、図-8 に示す陸風が発生した時に一致し、D 地点に植物が存在しないため、風によって砂が運び去られるためである。従って、スポット状裸地の地盤高の変動は、①秋から初冬に多い卓越風（海風）は、図-2 に示す広い前浜から供給された飛砂をスポット状裸地に吹き溜まり状に堆積させ、②冬から夏に多い北西風、南風は、砂丘背後からの風（陸風）であり、飛砂の供給が無い場合、スポット状裸地に堆積した砂を海側に運び去る、ために生ずるものと考えられる。

ところで、図-8 に①で示す時には、陸風が吹いていないにもかかわらず、地盤高が下降している。下降したのは、この時 20m/s 以上の海風が 11 時間（極大風速 24.8m/s、N）連続して吹いた（図-7 に①で示す）ため、砂が運び去られたためと考えられる。

図-9 は、コウボウムギが生えている E 地点（図-5 参照）の地盤高変化と棧橋先端風速の変化を示している。

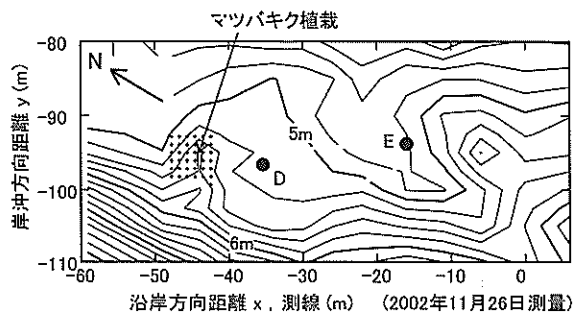


図-5 砂面計設置地点詳細図 (D, E 地点)

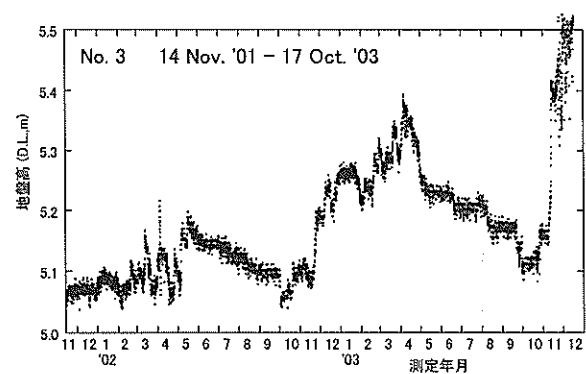


図-6 D 地点の地盤高の変化

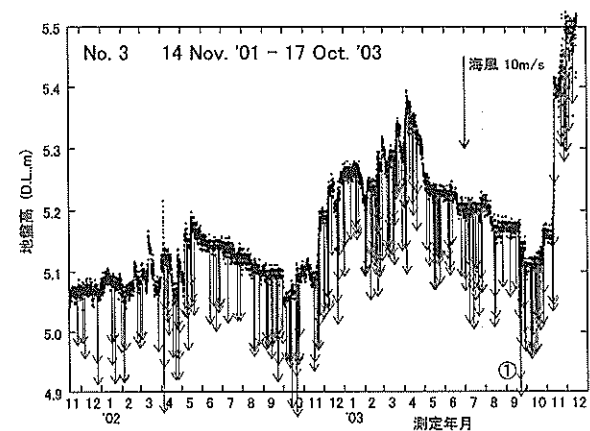


図-7 D 地点の地盤高変化と海風の発生時期

地盤高は、風速が 10m/s を越えると上昇を始め、19m/s 程度でピークになり、風速が 20m/s を越えると逆に下降している。そして、風速が 20m/s を下回ると地盤高は変化しなくなる。このことから、植物の存在する後浜も長時間に渡り強風が吹くと砂が運び去られ、植物の根が露

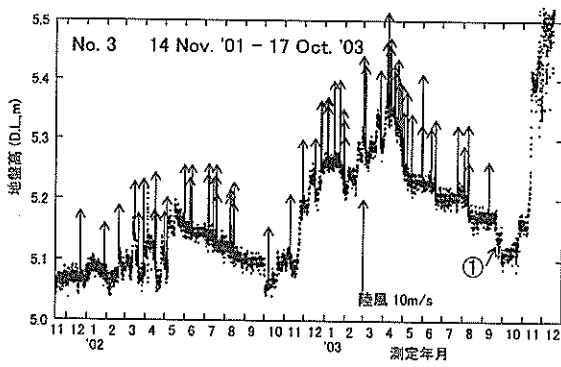


図-8 D地点地盤高変化と陸風の発生時期

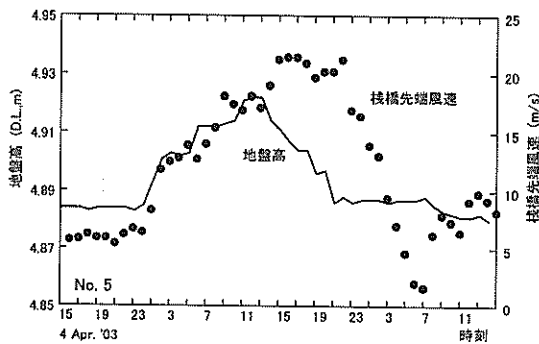


図-9 E地点の地盤高と枝橋先端風速の経時変化

出し、枯れてしまう可能性がある。そこで、荒天時毎に発達期から減衰期までの間の風速 20m/s 以上の風の積算風速を調べその結果を、A 地点の地盤高変化とともに図-10 下段に示す。17年の調査期間中 20m/s 以上の風(強風)は、32回発生した(付録B参照)。しかし、1987年、1988年、1990年、1997年、2000年に強風は発生していない。

強風は、A地点のスポット状裸地幅が6.9mに広がる1年前の1995年9月(NNE, 極大 29.2m/s)に発生している。この風により、もともと小さなスポット状裸地があったA地点(写真-4)の砂が運び去られ、植物の根が露出し、枯れ始めたものと推察される。そして、1996年9月の陸風(NW, 極大 31.3m/s)、1998年3月の海風(N, 極大 23m/s)で植物が更に枯れ、スポット状裸地の面積は広がり、2001年1月の2回の海風(N, 極大 23.6m/s)によってA地点の卓越風向風上側(N~NNE方向)の広い範囲の植物が消滅した(写真-9)ものと考えられる。

1992年に2回発生した強風と地形変化の関係については、4章で述べることにする。

3.2 人の手の加わった後浜

図-11は、C地点(図-2参照)の、後浜地盤高の経年変化および植生の有無を示したものである。

地盤高は、1987年から上昇を続け、1995年9月に極大(+5.2m)になっている(0.24m/年)。ところが、1995年9月以降地盤高は低下の一途をたどり、2000年12月には+4.6mまで低下した(-0.12m/年)。しかし、2000年12月以降地盤高は、5章で示す対策工により1995年9月頃の高さと同一になり、2002年後半から少し上昇している。

C地点の後浜においては、1987年からコウボウムギ、ハマヒルガオ、ハマニンク(写真-10)が生えていた(写真-11)。しかし、1995年9月以降2001年3月まで植物が消滅した。その経緯は、以下のとおりである。

1994年7月に透水層埋設による海浜安定化工法(柳嶋ら、2003)の作業用地にするため、C地点の後浜付近(沿

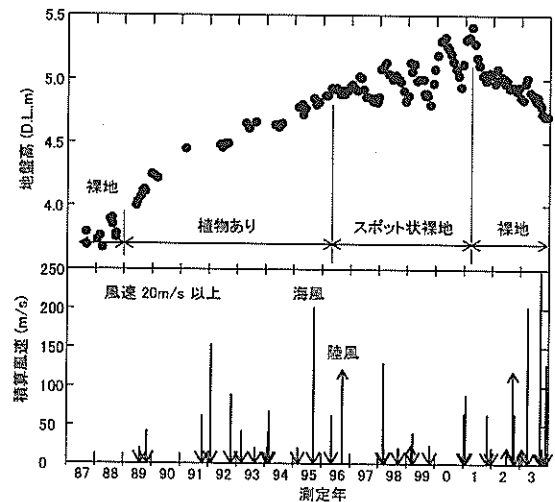


図-10 B地点の地盤高変化と強風積算風速の変化

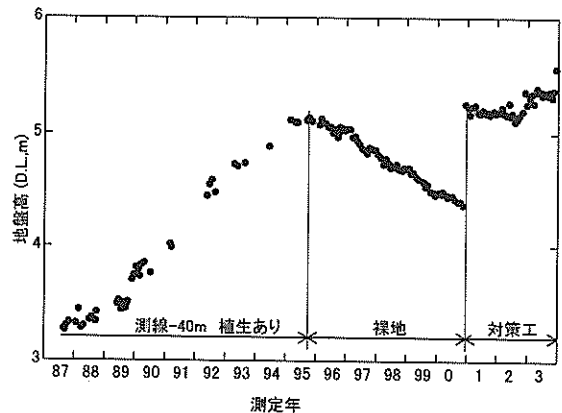


図-11 C地点の地盤高および植生の経年変化

岸方向 40m, 岸沖方向 20m の範囲) を整地した (写真-12)。この際に、後浜に存在した植生は全て除去された。

工事完了後の 11 月にハマニンニク苗を沿岸, 岸沖方向とも 0.2m 間隔, 深さ 0.1m で植栽した。翌 1995 年 6 月にはハマニンニクの新しい葉が見られた (写真-13) ものの, 9 月には, 全て枯れてしまった (写真-14)。ただしこの時に, もともと生えていた周囲のコウボウムギ等は枯れずに残った。

ここで, 1995 年にハマニンニクが枯れた原因を考察する。風速 15m/s 以上の風は, 6 月 27 日から 9 月 6 日の間に生じていない。また, 波も穏やかで, 後浜への波の遡上もこの期間発生しなかった。

図-12 は, 銚子における 1995 年の日最高気温および平均日最高気温 (1991~2003 年の平均) の変化を示している。

7 月 15~21 日, 8 月 30~9 月 10 日の最高気温は平均値とほぼ同様である。しかし, 7 月 23 日から 8 月 28 日までの間は, 平均値に比べ 3~5℃高く, 30℃を越えた日が 16 日あった。加えてこの期間の銚子の雨量は, 8 月 10 日 5mm, 8 月 22 日 4.5mm のみであった。このように高温が続き, 雨量が少ない場合は後浜の植物に悪影響を与える可能性がある。そこで, 2003 年 6 月から 10 月の期間後浜において, 気温 (地上+0.5m) および地温 (-0.1m, -0.5m) の測定を実施した。

図-13 は, 銚子における 2003 年の日最高気温および平均日最高気温の変化を示している。この年は, 冷夏であり, 平均気温を下回る日が多く 30℃を越えたのは 8 月 5 日の 1 回だけであった。

図-14 は, 銚子と後浜における日最高気温の関係を示している。銚子気温が 25℃よりも低い時には, 両者は一致する。しかし, 25℃を越えると後浜気温の方が銚子気温よりも 3~6℃高くなっている。

図-15 は, 日最高後浜気温と日最高地温 (上段:-0.1m, 下段:-0.5m) の関係を示している。地表面下 0.5m の地温は, 気温の日周期的な変化の影響を受けていないことがわかる。一方, 地表面下 0.1m の地温は, 気温の変化に対応し, ほとんどのデータが気温よりも高く, 40℃を越える時も生じている。

このことから, 銚子気温が 30℃を越える日が連続した 1995 年の地表面下 0.1m の地温は 40℃を超え, さらにそのような高温の状態が継続した可能性がある。

村井ら (1992) は, 大部分の植物は樹体温が 45~55℃になると高温障害を起こすと述べている。従って, 1994 年 11 月に植栽 (深さ: 0.1m) 後 8 ヶ月しか経過しておらず, 根が十分に成長していなかったため, 高温障害が起

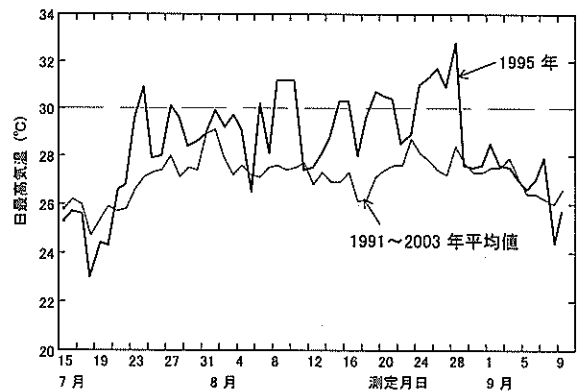


図-12 日最高気温の変化 (1995 年, 銚子)

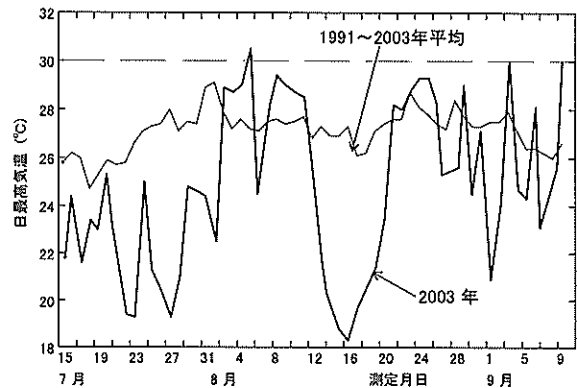


図-13 日最高気温の変化 (2003 年, 銚子)

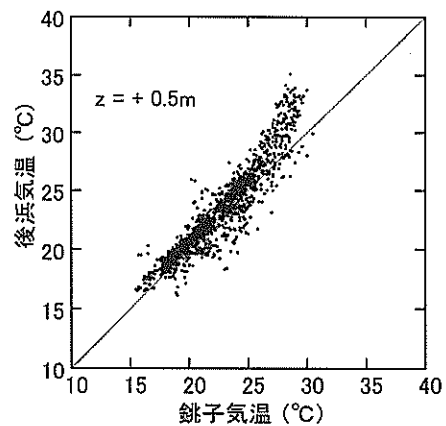


図-14 銚子と後浜における日最高気温の関係 (2003 年 7 月 15 日~9 月 10 日)

き, ハマニンニクは枯れたものと考えられる。

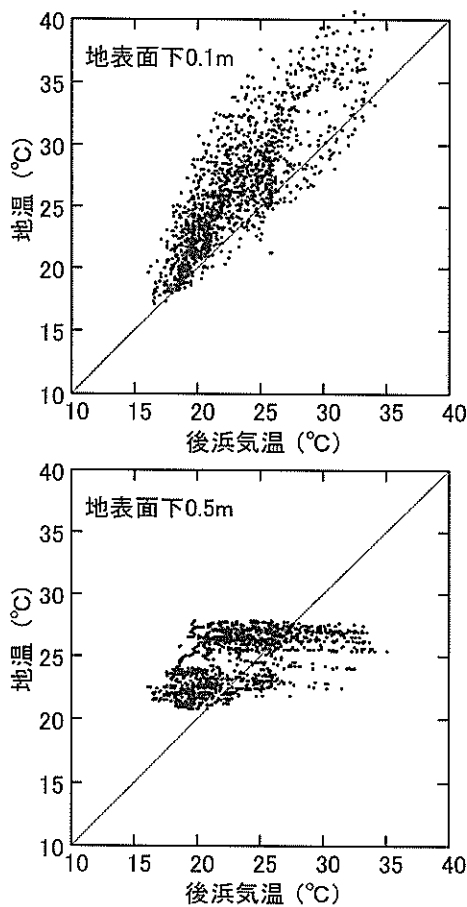


図-15 日最高後浜気温と日最高地温の関係
(2003年7月15日～9月10日)

4. 後浜の裸地化の検討

これまでの検討により、植物の有無と後浜地形変化の間には以下の関係が存在することが分かった。

- ① 植物の存在する地点の後浜地盤高は上昇する。
- ② 植物のない(裸地)地点の地盤高は下降する。
- ③ スポット状裸地においても1年間の変化に限ると陸風が卓越する期間に地盤高は下降する。

これらを基に調査範囲内の全ての測点について、裸地であるかどうかの判定を試みる。全地点について年毎に地盤高の変化率を最小二乗法によって計算し、地盤高変化率が正の地点は植物あり、負の地点は裸地と判定した。なお、砂丘近くの範囲のデータが少ない1992年以前は計算対象から外し、1年間のデータ数の少ない1993、1994年は2年分のデータを用いて変化率を計算した。

図-16, 17, 18, 19はそれぞれ1993～1994年, 1997年, 1998年, 2003年の地盤高変化率の平面分布を示して

いる。

図-16に示す1993～1994年の変化率が負になっている範囲(裸地)は、 $x=-160\text{m}\sim-120\text{m}$, $y=-105\text{m}$ と $x=-200\text{m}$, $y=-100\text{m}$ に分布している。この範囲は、1992年の強風による影響が残ったものと考えられる。しかし、それ以外の広い範囲で、変化率が正になっている。これは、1992年の強風の影響が広域に及ばなかったためか、図-10に示すように1993年, 1994年の積算風速が小さいことから植物の再生が生じた可能性もある。なお、変化率が負になっている $x=-200\text{m}$, $y=-80\sim-65\text{m}$ の範囲は、 $x=-250\text{m}$ 付近にある小河川の滞筋が変化することに伴い、後浜の侵食が生じたものである。

図-17に示す1997年には、1993～1994年に生じていた裸地は消滅し、 $x=-200\text{m}$, $y=-110\text{m}$ と $x=-120\sim-80\text{m}$, $y=-100\sim-90\text{m}$ を結ぶ図-17中に矢印で示す方向に沿って新たな裸地が生じている。このような裸地の分布になったのは、矢印の方向にほぼ平行な風向きである1996年9月(NW, 極大31.3m/s)の陸風によって植物が枯れ始めたためと考えられる。なお、 $x=-40\text{m}\sim 0\text{m}$, $y=-85\text{m}\sim-105\text{m}$ の範囲は3.2節で述べた人為的な理由により裸地化したものである。

1998年になると広い範囲が裸地化している。ただし、海側の $y=-80\text{m}\sim-65\text{m}$ の帯状の部分は1998年1月に波の遡上により侵食され、 $x=-40\text{m}\sim 0\text{m}$, $y=80\text{m}\sim-115\text{m}$ の部分は前述した人為的な原因により裸地化した。これらの範囲を除外すると裸地化したのは、図-18中に矢印で示す方向に沿った部分である。このような分布になったのは、1997年に生じた2箇所($x=-200\sim-160\text{m}$, $y=-110\text{m}$ および $x=-120\sim-80\text{m}$, $y=-95\text{m}\sim-100\text{m}$) スポット状裸地どうしが1998年3月の強風によって繋がったためと考えられる。

図-19に示す2003年になると、海側の帯状の部分と $x=-200\text{m}$, $y=-100\sim-80\text{m}$ および $x=-200\sim-120\text{m}$ の砂丘沿いの部分は植物が存在するようになった。さらに、人為的な原因で裸地となった $x=-40\text{m}\sim 0\text{m}$, $y=-85\text{m}\sim-105\text{m}$ の範囲も5章で述べる対策工の効果が現れ、植物が生えてきている。しかし、卓越風向にほぼ等しい、図中に二本の矢印で示す方向に沿って裸地が広がっている(写真-9参照)。この裸地の広がり原因として考えられるのは、砂丘の沿岸方向への不陸である。砂丘の高さは $x=-120\sim-70\text{m}$ の範囲と $x=-40\sim-20\text{m}$ の範囲は+10.1～+10.5mで高くなっている。しかし、 $x=-70\sim-50\text{m}$ の範囲の砂丘高は+9.8mであり、 $x=-120\text{m}$ よりも北側も+9.4m以下になっている(付録E参照)。つまり、砂丘の低い部分を風が集中して通り抜けたため図-19に示す

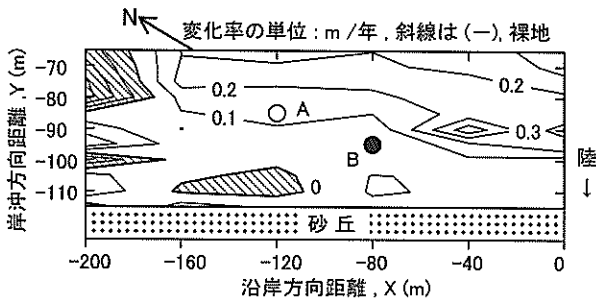


図-16 裸地の平面分布 (1993年~1994年)

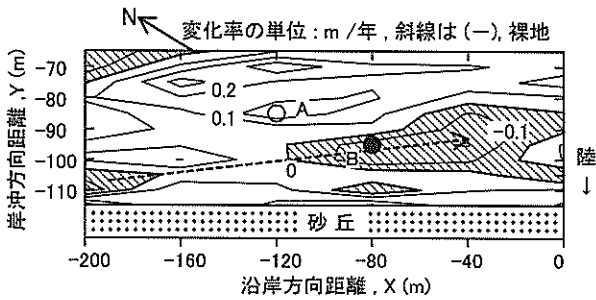


図-17 裸地の平面分布 (1997年)

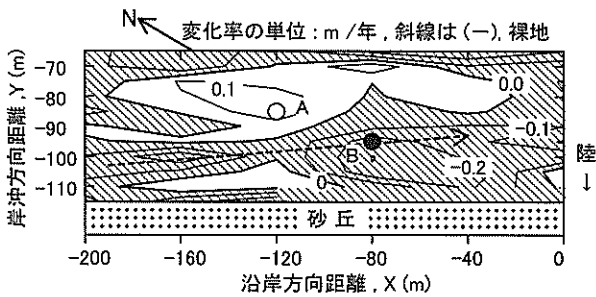


図-18 裸地の平面分布 (1998年)

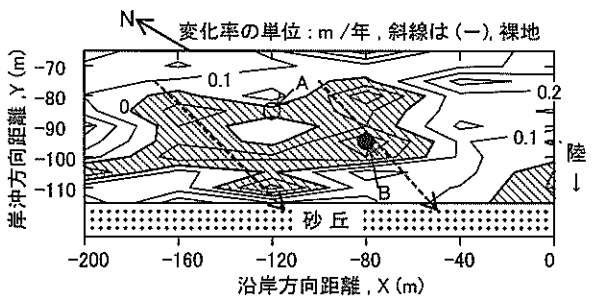


図-19 裸地の平面分布 (2003年)

ような裸地パターンになったものと考えられる。

図-20は全調査地点に占める裸地の割合(裸地率)と20m/s以上の積算風速の発生を示している。なお、波の遡上によって地盤が侵食し裸地化した地点と人為的な原因により裸地化した地点を除いた自然の後浜の裸地率を示している。

裸地率は、1993~1994年に8%であったけれど、その後増減を繰り返しつつ、2003年には24%になっている。2003年12月に実測した裸地率を▲印で示すが、この値は地盤高の変化率から求めた裸地率とほぼ一致している。また、実測した裸地化地点は、計算から求めた地点とほぼ一致していた。

1999年から2000年に裸地率が低下しているのは、1999年から2000年の積算風速が非常に小さかったため植物が再生したものと考えられる。一方、1997年~1998年、2000年~2001年に顕著な裸地化が生じている。これは、1998年3月と2001年1月の2回の強風が原因と考えられる。しかし、積算風速が1998年3月よりも大きな、1995年9月、2003年4月と9月の後で顕著な裸地化は生じていない。そこで、この違いの原因を検討する。

まず、考えられるのは、植物のライフサイクルである。コウボウムギの葉は4月頃に新葉が現れ成長し、10月頃に枯れるものの、地表面に張り付いた状態で冬を越す。ハマヒルガオの葉は4月頃に新葉が現れるけれど(写真-15)11月頃には枯れ(写真-16)その後消滅する。そして、冬期に地表面上に現れているものは全なくなる。そうすると、冬期に枯れた状態でも葉のあるコウボウムギが存在した場所に比べハマヒルガオが生えていた範囲

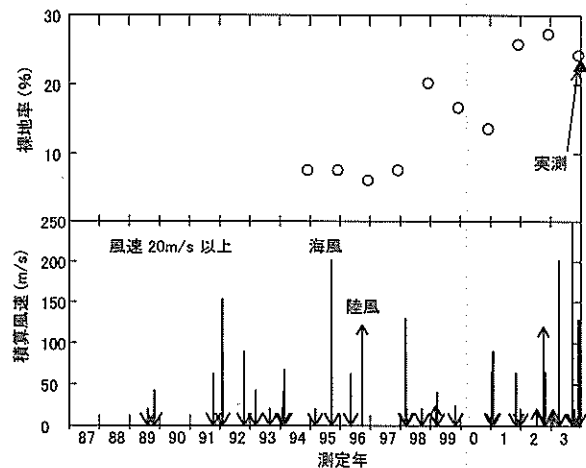


図-20 裸地率と積算風速の変化

の砂が運ばれ易くなっているものと考えられる。いずれにしても、冬期は、夏季にくらべ植物の飛砂捕捉効果、飛砂発生抑止効果が著しく低下し、砂が運び去られるため根が露出し、その結果植物は消滅し易くなるものと考えられる。そうすると、冬期に強風が連続する日本海側の海岸において、植生のみで後浜を保全するのは難しいと考えられる。

次に、棧橋先端風速と後浜での風速との関係を調べることにした。

図-21は、強風が長時間継続した2003年4月5日(△)と9月22日(○, ●)の棧橋先端風速と後浜風速との関係を示したものである。データは、風速低減率(後浜風速/棧橋先端風速)0.6を示す破線の周りにばらついていて、そして、4月に比べ9月の方が後浜における風速は遅くなっている。このこの原因の一つは、繁茂した植物により風速が減少したものと考えられる。

そこで、図-22に示す後浜2地点(F,G)の地盤上0.5mで風速を測定し棧橋先端の風速と比較した。F地点は5章で述べる対策工の一つであるマツバギク植栽範囲のうち地盤高の最も高い(地盤高+5.70m)部分である。G地点は藁を敷いた地点(地盤高+4.75m)である。両地点とも卓越風向風上側にコウボウムギ、ハマヒルガオが自生している。

図-23は、棧橋先端風速に対する後浜の風速の変化を示したものである。両地点とも2月から6月に向かって後浜の風速は減少し、9月頃から逆に増加している。この期間、F,G地点とも地盤高はほとんど変化しなかった。従って、風速測定地点風上側(海側)の繁茂した植物によって粗度が大きくなり、後浜の風速は5月から8月までの間低減したものと考えられる。G地点よりもF地点の風速低減が少ないのは、G地点よりもF地点の測定位置の標高が高いためである。

図-21において、9月のデータのうち棧橋先端風速が19m/sよりも速い範囲で後浜風速が遅くなっているのは、図-24に示す前浜断面形状も影響している可能性がある。4月4日の断面地形はほぼ一様勾配になっている。これに対し、9月19日の前浜には顕著なバームが形成されており、バームが侵食を受けるまで(図-20中●印)は、バームによって風の乱れが生じ後浜の風速が低減していたものと考えられる。

5. 対策工およびその後の地形変化

5.1 対策工1

図-25は、3.2節において述べたC地点付近後浜の侵

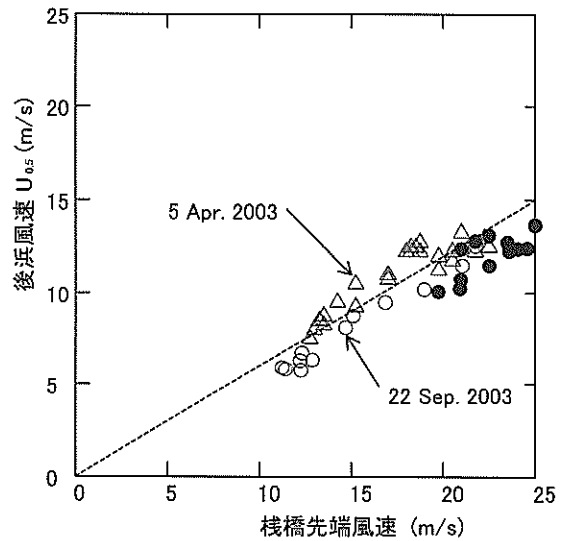


図-21 棧橋先端風速と後浜風速の関係

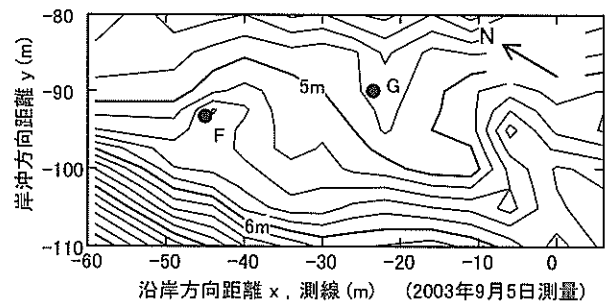


図-22 風速計設置位置

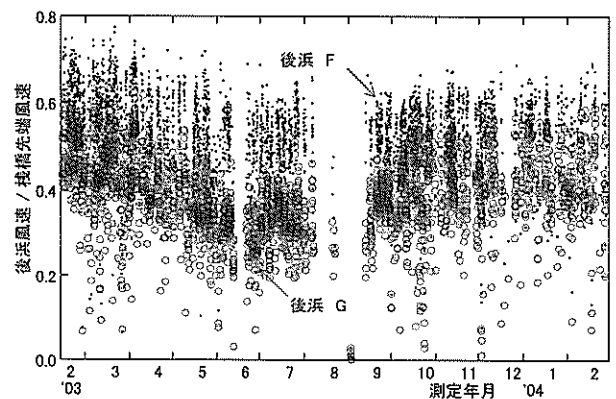


図-23 後浜における風速低減率の変化

食が最も進んだ2000年11月15日の等高線を示したものである。沿岸方向距離(x) -50~-10mの範囲の+5mの

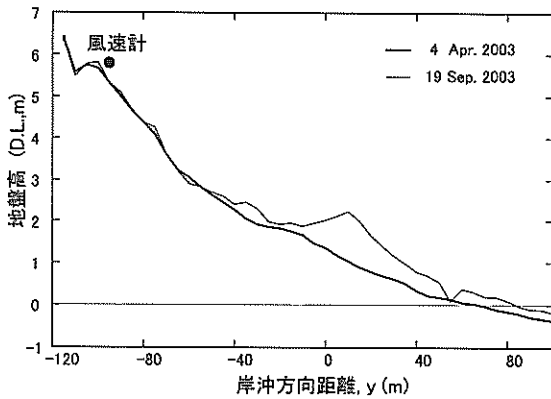


図-24 風速測定時の断面地形

コンターが陸側に大きく凹んでおり、後浜の広い範囲で一様に侵食が生じたことが分かる。

C 地点付近の侵食された後浜を保全するため、以下に示す対策工(図-26)を実施した。

- ① 陸側に凹んでいた+5mのコンター(図-25)を海岸線とほぼ平行になるよう、砂を搬入した(2000年12月)。なお、2001年2月に以下に示す藁柵内の地盤高の低下が生じたため、砂を再度搬入した。
- ② 稲藁を用い、幅2cm、砂面からの高さ0.1m、根入れ0.2mの稲藁柵を5m間隔で格子状に設置した(写真-17, 2000年12月)。
- ③ HORSの砂丘陸側斜面の一部に自生し(写真-18)、空港着陸帯のグラウンドカバープランツとして使用されているマツバギク(高橋ら, 2001)を港湾空港技術研究所構内(横須賀市)から藁柵内に移植した(2001年4月)。この時、長さ1m程度のマツバギクを2本/m²の密度で、根は深さ0.1mで植え付けた(写真-19)。
- ④ 波崎海岸の後浜に自生するハマニンニクの苗(長さ20cm)を藁柵内および柵外に沿岸・岸沖方向とも0.5m間隔、深さ0.1mで植え付けた(写真-20, 2001年5月)。
ハマニンニクを選定したのは、苗が何時でも入手可能で、かつ安価であるためである。
- ⑤ 藁柵内のマツバギク、ハマニンニクおよび柵外のハマニンニクを植栽した範囲に藁を敷いた(0.4kg/m², 写真-21, 図中斜線部, 2001年4, 5月)。
- ⑥ x=-21m~-10mの範囲は、砂を搬入したのみとした(対策無し)。

マツバギクは植え付け後枯れることなく成長している。

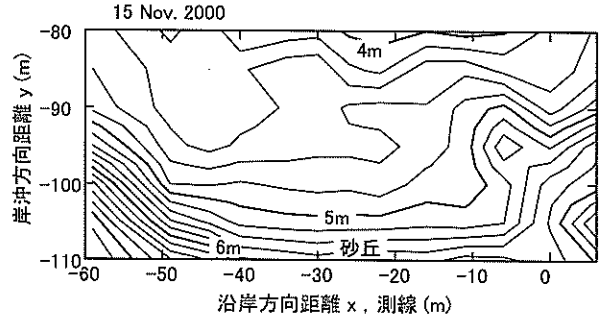


図-25 侵食の進んだ後浜(2000年11月15日)

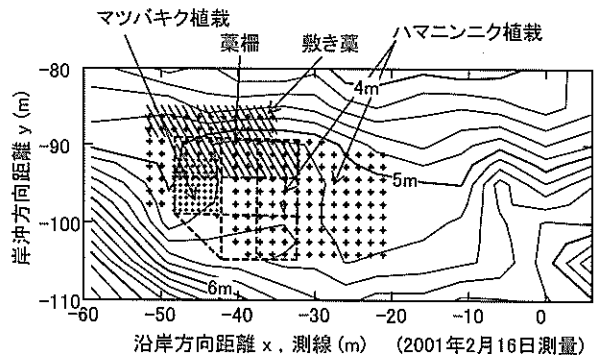


図-26 対策工の詳細(地形は2001年2月16日)

ただし、最初に植栽した範囲の外側にマツバギクは伸びていかなかった。一方、ハマニンニクは、2001年7月末にそのほとんどが枯れ始めた。

図-27は2001年の銚子における日最高気温の変化を示している。銚子気温は7月初めから25日までの間、平均値に比べ常に高く、30℃を越えた日が9日生じている。また、25日以降8月末までに30℃を越える日が6日生じている。つまり、ハマニンニクが枯れた原因の一つは、気温が高かったため高温障害が起きたためと考えられる。

2001年10月に調べたところ、敷き藁と併用した範囲のハマニンニクは、23%(最大42%)残ったけれど、敷き藁をしなかった範囲は11%(最大15%)しか残らなかった。また、対策無しの範囲に植物は、全く生えてこなかった。

1994年および2001年に植栽したハマニンニクが夏季に枯れてしまったことから、植栽間もない期間に気温が30℃を越える状態が続く時には、散水等を行い高温障害が生じないように対策を講ずる必要がある。

対策後の詳細な地形変化を把握するため、2000年12月から2003年12月まで、沿岸方向の測量間隔を4~10mとし、図-26に示した範囲を2週間~1月間隔で測量した。また、藁柵内に位置する測線-35、-40、-45mは、岸

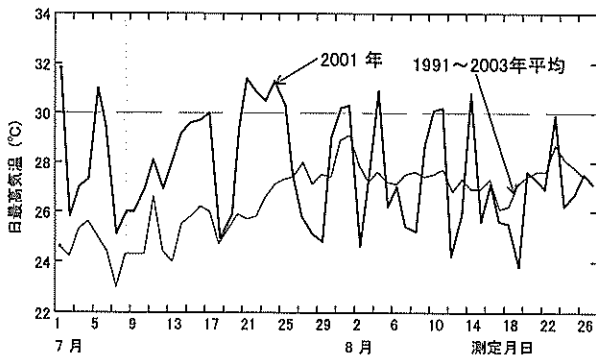


図-27 日最高気温の変化 (2001年)

沖方向間隔 1m での測量を実施した。

図-28 は、2000年12月15日から2002年12月10日までの地形変化量 (斜線部は侵食) を示している。調査期間中に最も堆積したのはマツバギクを植栽した部分 (図-26 参照) で、地盤高は 0.6m 高くなっている。そして、藁柵内のほとんどが堆積し、その範囲は砂丘まで広がっている。また、図-25 に示した +5m のコンターよりも低く、勾配が急になっていた最も海側の範囲も 0.1~0.4m 堆積している。これに対し、ハマニンニクを植栽しただけの範囲と対策無しの範囲の侵食が大きく (0.5m) なっている。なお、 $x=-6m$ 、 $y=-100m$ 付近の侵食は、もともと小山状に盛り上げてあった搬入砂が侵食を受けたものである。

図-29 は、2001年4月13日から12月20日までの測線-35m の断面地形変化を示したものである。 $y=-88m$ の藁柵位置の地盤高は低くなっているものの、それ以外の敷き藁をした範囲の地形変化は少ない。ハマニンニクを植栽しただけの藁柵内は、地盤高が徐々に低くなり侵食が進んでいる。そして、2001年9月に地盤高は 0.1m 低下していた。当初、ハマニンニクの根は深さ 0.1m で植えており、この時点で根が露出し、枯れたのである。その後、ハマニンニクの消滅した藁柵内の地盤高はさらに低下している。従って、今回試験した藁柵 (高さ 0.1m、5m 間隔) のみで後浜を維持するのは不可能であることがわかる。

藁柵外の $y=-108m$ から砂丘側は、少しずつ堆積が進んでいる。

図-30 は、測線-45m の断面地形変化を示したものである。ハマニンニク植栽に加え敷き藁をした範囲の地形はほとんど変化していない。つまり、敷き藁には地形変化を少なくする効果のあることが分かる。これは、敷き藁によって粗度が大きくなり砂の移動を抑制したためと

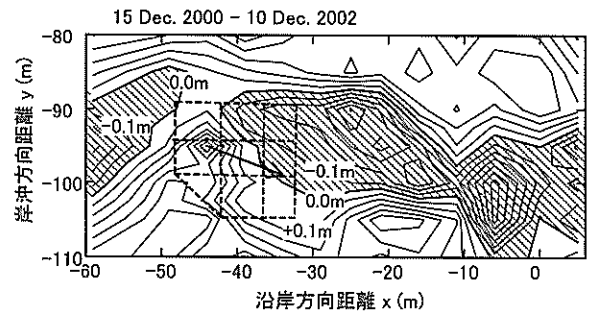


図-28 2000年12月15日から2002年12月10日までの地形変化量 (コンターは 0.1m 毎, 斜線は侵食)

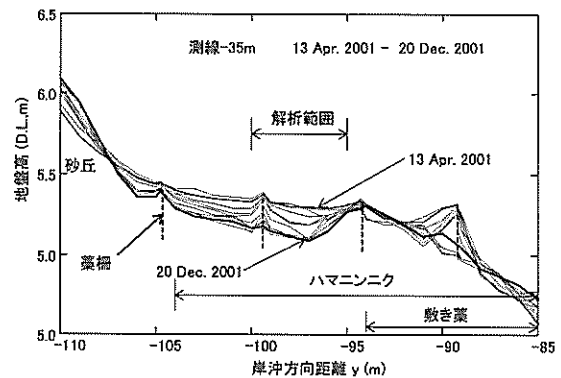


図-29 測線-35m の断面地形変化

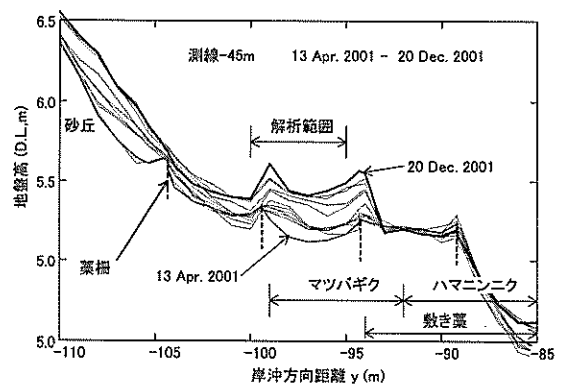


図-30 測線-45m の断面地形変化

考えられる。ところで、図に示した敷き藁をした範囲のハマニンニクは2001年10月に42%生き残っていた。このようにたくさんのハマニンニクが生き残ったのは、敷き藁によって地温の上昇が抑えられ高温障害が起り難かったことと、地形変化が少なかったことが原因と考えられる。ただし、地盤高がほとんど変化していないこと

から、この程度のハマニク密度 (4本/m²) では、砂を捕捉するまでには至らないことも明らかである。

一方、マツバギクを植栽した範囲から砂丘側は全て堆積しており、特にマツバギクを植栽した範囲の堆積量が多い。マツバギクは、地盤の上昇に伴って上方に成長し、一時的に飛砂によって砂中に埋まってもすぐに砂面上に葉を現した。さらに、マツバギクの葉は、肉厚で密生しているため、砂を捕捉する能力が高いものと考えられる。次に、地形変化の大きい y=-95~100m (図-29, 30 に示す解析範囲および対策無しの側線-16m) の平均地盤高を調べ、2000年12月の地盤高を基準とした変化量を図-31に示す。

対策無しの測線-16mにおいて、地盤高は、2001年11月までに0.3m低下し、その後緩やかに0.1m低下した。ハマニクを植栽した測線-35mの地盤高は、1年8ヶ月間で緩やかに0.3m低下している。ただし、2002年5月および12月に急激な堆積が生じた。これは、図-30に示した測線-45mのマツバギク植栽範囲に生じた堆積が尾根状に測線-35mまでおよんだためである(写真-8参照)。対策無しの測線に比べ侵食が緩やかになっているのは、藁柵の影響と考えられる。というのは、図-29において、藁柵のある y=-94m 付近の地形変化が少ないからである。これに対し、マツバギクを植栽した測線-45mの地盤高は、1年8ヶ月の間に0.4m高くなっている。地盤高は、4~6月、10~12月に急激に高くなり、それ以外の期間の変化量は少ない。

図-32は、測量日間における15m/s~18m/sの風速の積算値の変化を示したものである。図-31に示した測線-45mの地盤高変化と見比べると、低気圧、台風の通過に伴い海からの風が吹く、4~6月、10~12月にマツバギクを植栽した範囲の地盤高が高くなっていることが分かる。

ハマニク、コウボウムギなどは、9月頃から枯れていく(栗山ら, 2001)のに対し、マツバギクは年間を通じ常緑であるため10~12月でも堆積が生じるものと考えられる。

写真-22は、植栽から3年経過したマツバギク植栽範囲を撮影したものである。マツバギクを植栽した範囲の地盤高は均一に高くなるわけではなく、マツバギクが繁茂する範囲で、小山状に高くなっている。そして、マツバギクの植栽により安定した地盤に、もともと存在しなかったハマニク、ハマヒルガオ、コウボウムギが生え、共存しているのが分かる。しかし、マツバギクは外来種であり、マツバギクの植栽により後浜の生態系に悪影響をおよぼす可能性がある。従って、マツバギクの導入に際しては、十分配慮する必要がある。

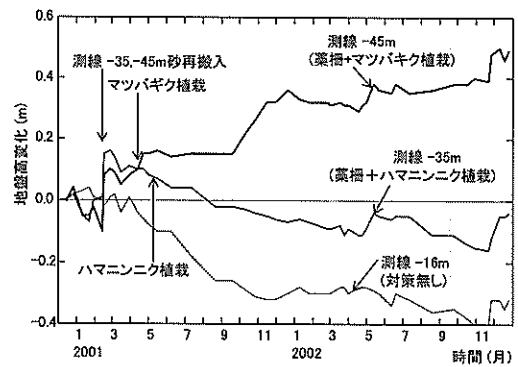


図-31 対策後の地盤高変化

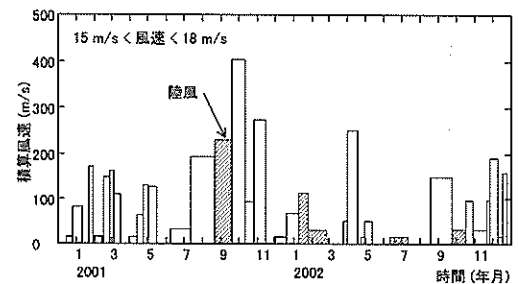


図-32 調査期間毎の積算風速の変化

後浜へマツバギクを導入する手段の一つとして、面的に植栽するのではなく、藁柵の代わりに線的に植栽し、早期に地盤を安定させ、コウボウムギ等が自然に生えてくるのを促す方法が考えられる。

なお、マツバギクは気温が0℃近くなり、強風が続くと風当たりの強い範囲の葉が枯れてしまう。これは、葉に含まれる水分が凍るためと考えられる。

5.2 対策工2

2001年に植栽したハマニクのほとんどが枯れてしまい、ハマニクによる砂浜安定効果の確認が十分に出来なかった。そこで、対策工を実施しなかったため地盤高が低下している範囲に以下に示す追加対策(図-33)を実施した。

- ① 沿岸方向、岸沖方向とも0.2m間隔でハマニク苗を深さ0.1mで植え付けた(2003年3月, 図中横線, 写真-23手前)。
- ② 岸方向、岸沖方向とも0.2m間隔でハマニク苗を深さ0.1mで植え付けるとともに藁を敷いた(0.4kg/m², 2003年3月, 図中ドット, 写真-23左奥)

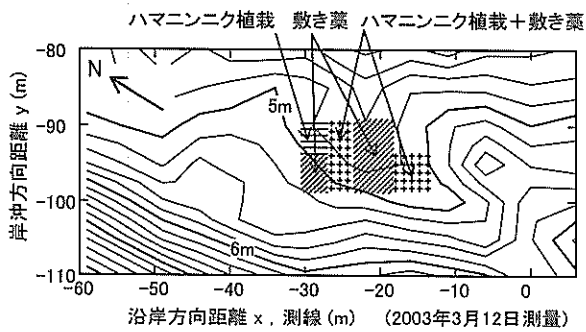


図-33 追加対策工の詳細

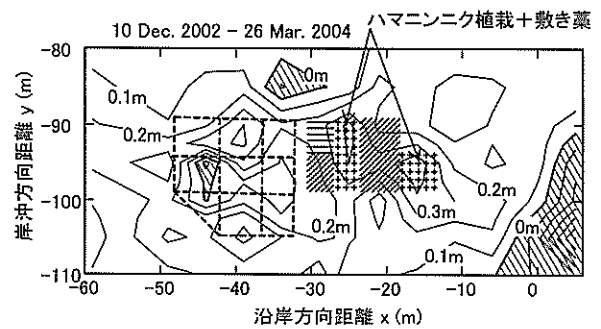


図-34 2002年12月から2004年3月までの地盤高変化
(コンターは0.1m間隔, 斜線は侵食)

③ 敷き藁のみ (0.4kg/m², 2003年3月, 図中斜線, 写真-23右奥).

ハマニクは, 植え付け後順調に生育し, 1年が経過した2004年3月の時点でもほぼ100%残っている. これは, 図-13に示したとおり, 2003年は冷夏で高温障害が起きなかったためと考えられる.

図-34は, 2002年12月から2004年3月までの間の地盤高変化を示している. 僅かに侵食しているのは, マツバギク植栽範囲 (x=-45m, y=-95m) と x=-35m, y=-85m, x=-5~5m, y=-90~-110mの範囲であり, それ以外のほとんどの部分が堆積している. 堆積量が多いのは, 破線で示す藁柵を設置した範囲 (+0.4m) と追加対策でハマニク植栽に敷き藁を併用した範囲 (+0.4m) である. 敷き藁のみの範囲 (斜線部) も地盤高は上昇している. これは, 卓越風向風上側にある植物が存在する範囲における堆積の影響が風下側に及んだためである.

次に, 追加対策工を実施した側線の詳細な地形変化を調べた. y=-95~-100mの平均地盤高を計算し, 2000年12月を基準とした変化量を図-35に示す.

地盤高は, 何も対策を実施しなかった2003年3月まで, 低下の一途をたどっている. しかし, ハマニク植栽と敷き藁を併用した測線-27m, -16mは, 追加対策実施後の2003年4月初めと12月に急激に地盤高が上昇している. そして, 両測線とも地盤高は, 調査を開始した2000年12月よりも高くなった.

写真-24は, 追加対策を行った範囲を2004年5月に撮影したものである. ハマニク植栽と敷き藁を併用した範囲の地盤は, ほぼ一様に上昇しているのが分かる.

敷き藁のみの測線-22mの地盤高は, 2003年4月にはほとんど変化していないけれど, 2003年12月初めの地盤高変化量は, 測線-27m, -16mよりも大きくなっている.

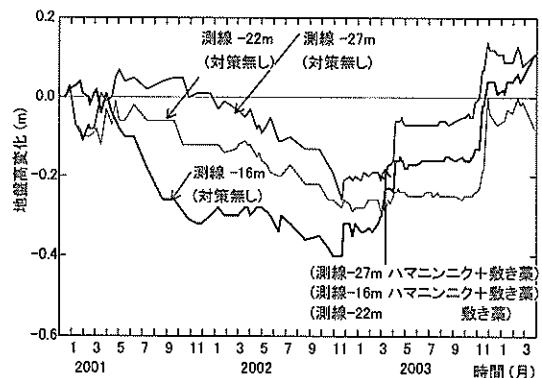


図-35 地盤高変化

これは, 卓越風向風上側の測線-27mにおいて生じた堆積が測線-22mにも及んだためである. そして, この時の地盤高は, 2000年12月の調査開始時の高さと同様になっている. ただし, 堆積が生じていない範囲の風下側にあたる敷き藁のみの部分 (写真-24の手前左側) の地盤高は, 敷き藁が表面に現れていることから, 追加対策を実施した時のまま変化していないことが分かる.

以上に示した対策工の結果から判断すると, 後浜を保全するのに適した方法は, 以下のとおりである.

- ① ハマニク植栽に敷き藁を併用.
- ② 敷き藁.
- ③ マツバギクの線的な植栽.

ここで, ①は地盤高の上昇という直接的な効果が得られる方法であるのに対し, ②, ③は, 植物が自然に生えてくるのを期待する, 間接的な方法と言える.

さらに, 対策工を実施する上で以下の点に注意する必要がある.

- ① 植栽する範囲は, 対象海岸における年数回来襲する波の遡上高さ以上とする.

- ② 植栽を実施する時期は、気温が低く、強風が少ない、3～4月が望ましい。
- ③ 植栽後、30℃を越える気温が継続すると予想される時には、散水等を行い高温障害が生じないようにする。

5.3 植物の再生の可能性

4章において、継続する強風が発生しない時には、植物が再生する可能性を示唆した。

写真-25は、2004年4月に $x=-160\text{m}$, $y=-95\text{m}$ 付近の裸地に芽生えた実生のコウボウムギを撮影したものである。おびただしい数のコウボウムギとハマヒルガオが確認できる。このことから、後浜の砂中にはたくさんの植物の種子が埋まっており、種の維持を図っていることが分かる。しかし、実生のコウボウムギの実は地表面下数mmの深さにあり、強い風が吹くとすぐに露出する。

写真-26は、写真-25の範囲を2ヶ月後の2004年6月に撮影したものである。コウボウムギの新芽は全て枯れてしまい、わずかにハマヒルガオの新芽が残っているにすぎない。新芽が出た後に風の弱い状況が継続していれば、枯れずに生き残ったかもしれない。一方、砂面が安定してさえいれば実生のコウボウムギはどんな場所でも育つ。

写真-27は、HORS観測桟橋への斜路内隅に育ったコウボウムギを撮影したものである。この部分の砂は、2000年から2002年にかけて、穏やかな海象が継続し、斜路脇に大量の飛砂が堆積した時(柳嶋ら, 2003)に溜まった。砂は高さ10cm、幅30cm、長さ2mの三角柱状でアスファルトの上に溜まっている。この場所は、斜路本体の遮蔽域になるため、砂面は安定しているものの、水分は降雨しか期待できない。

コウボウムギの実生の芽が出たのは、2003年春で、1年経過した2004年6月には地下茎から伸びた新しい株も育っている。この場所でコウボウムギが育ったのは、砂面が安定していたことに加え、2003年が冷夏であったためと考えられる。

写真-28は、5.1節で述べた対策工を試験施工した直後(2001年6月)の後浜である。白線で囲んだ範囲は、対策をしていないため白っぽく地面が見えている。

写真-29は、3年が経過した2004年6月の後浜を撮影したものである。白線で囲んだ2001年に植物がなかった範囲は、コウボウムギで被われている。これらのコウボウムギは実生で育ったのではない。白線の範囲および砂丘斜面の地盤高は図-28, 34に示すとおり上昇している。そのため、写真-28の白線で囲んだ範囲よりも陸側(砂

丘斜面)に生えていたコウボウムギの地下茎が伸びて育ったものと考えられる。

これらのことから、後浜が①継続して堆積傾向にあること、または②侵食せず安定した砂面であること、③植物に高温障害が生じないこと、の条件が整えば、コウボウムギなどの植物は自然に再生するものと考えられる。

6. おわりに

得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 植物の存在する後浜の地盤高は、0.1～0.3m/年のスピードで上昇する。
- (2) 後浜の植物は、5時間以上継続する20m/s以上の強風により根が露出し枯れ、スポット状裸地が生じるものと考えられる。
- (3) スポット状裸地の地盤高は、12～15m/s程度の海風で上昇、陸風で下降する変動を繰り返す。
- (4) 後浜の裸地化は、幾つかのスポット状裸地どうしが繋がるようにして進行し、その範囲は1994年から2003年の間に調査対象地域の8%から24%に広がった。裸地化した後浜の地盤高は、0.12m/年のスピードで下降する。
- (5) 長時間継続する強風が1年以上発生せず高温障害が生じなければ、裸地化した後浜に植物は再生する。
- (6) 敷き藁には、地形変化を少なくする効果とともに、地温の上昇を抑える効果があるものと考えられる。
- (7) マツバギクは、短期間で飛砂を捕捉する効果に優れている。
- (8) 後浜を保全する上で望ましい対策工は、ハマニンニク植栽に敷き藁を併用する方法である。
- (9) 植栽後間もない期間は、高温障害を起こさないように散水等の養生が必要である。

(2004年8月9日受付)

謝辞

最後に、本研究のとりまとめにあたっては、栗山善昭漂砂研究室長、内山雄介主任研究官から有益な助言を頂いた。貴重な後浜の調査データおよび植生の写真を、栗山善昭漂砂研究室長から提供していただいた。銚子の風向・風速、気温、雨量データは、気象庁から提供していただいた。鹿島港の波浪データは、国土交通省関東地方整備局鹿島港湾空港事務所および当所海洋・水工部海象情報研究室から提供していただいた。後浜の測量においては、元漂砂研究室上岡 智志氏（現 中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所）、(株) エコーの山田貴裕氏、伊東啓勝氏のご協力を、汀線測量においては、漂砂研究室メンバーの協力をいただいた。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 赤木三郎 (1991) : 砂丘のひみつ, 青木書店, pp. 83-85.
- 有働恵子・武若 聡 (2001) : 後浜の地形変動に関する研究, 土木学会論文集, No. 677/II-55, pp. 175-187.
- 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.
- 加藤史訓・佐藤慎司・田中茂信・笠井雅広 (1997) : 砂浜海岸における植生の地形変化に及ぼす影響に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1151-1155.
- 加藤史訓・佐藤慎司 (1998) : 砂浜海岸の植生群落と地形変化の現地調査, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 666-670.
- 栗山善昭・中島 剛・上堂菌孝一・望月徳雄 (2001) : 後浜から砂丘前面にかけての植生が地形変化に及ぼす影響に関する現地観測と植生を考慮した飛砂量の数値計算, 港研報告, 第40巻, 第1号, pp. 47-80.
- 栗山善昭・望月徳雄 (1997) : 後浜から砂丘前面にかけての地形変化と植生, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 681-685.
- 鈴木 清 (1974) : 海岸砂地固定植物としてのコウボウムギ (*Carex kobomugi* Ohwi) の利用に関する研究, 神奈川県林業試験場研究報告, 第2号, pp. 1-27.
- 高橋 修・八谷好高・坪川将丈・松崎和博・阿部 寛 (2001) : 建設残土地盤上の空港着陸帯の植生技術に関する研究, 国総研資料 第8号, 39p.
- 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. 447-451.
- 柳嶋慎一・上岡智志 (2003) : 植物が後浜地形変化におよぼす影響に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 621-625.
- 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.

付録A 後浜地盤高変化

図-A.1~A.6に測線毎の断面地形重ね合わせを示す。

図中のA,Bは、本文中に示した地盤高変化図の位置を示している。

図-A.7~A.18に調査期間中の後浜地盤高変化を示す。

図中、xは沿岸方向の位置を、yは岸沖方向の位置を示している。

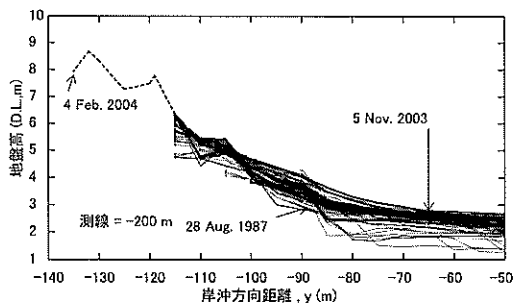


図-A.1 測線-200mの断面地形重ね合わせ

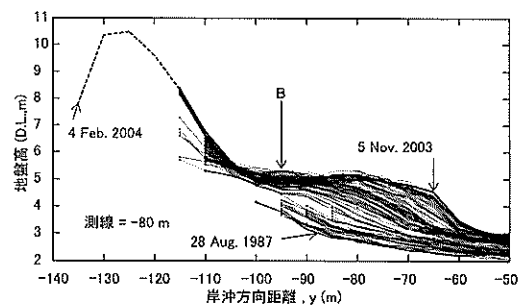


図-A.4 測線-80mの断面地形重ね合わせ

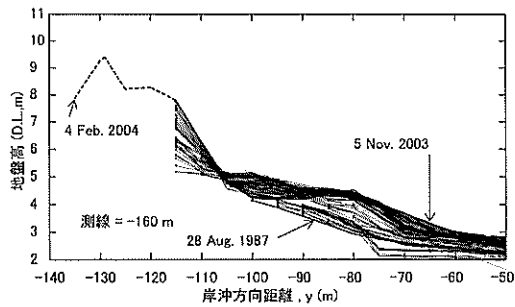


図-A.2 測線-160mの断面地形重ね合わせ

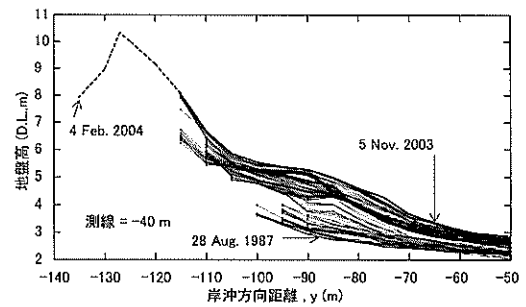


図-A.5 測線-40mの断面地形重ね合わせ

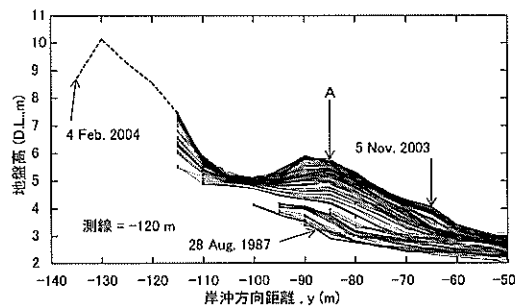


図-A.3 測線-120mの断面地形重ね合わせ

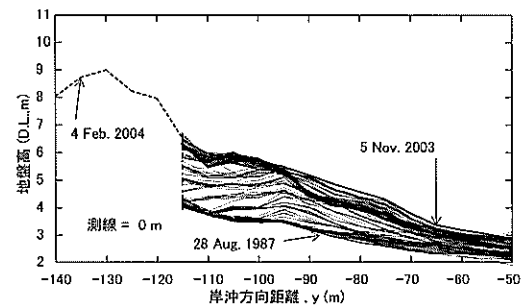


図-A.6 測線0mの断面地形重ね合わせ

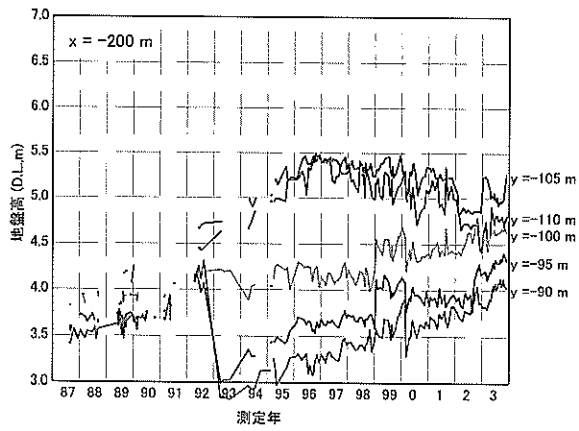


図-A.7 測線-200mにおける地盤高変化(1)

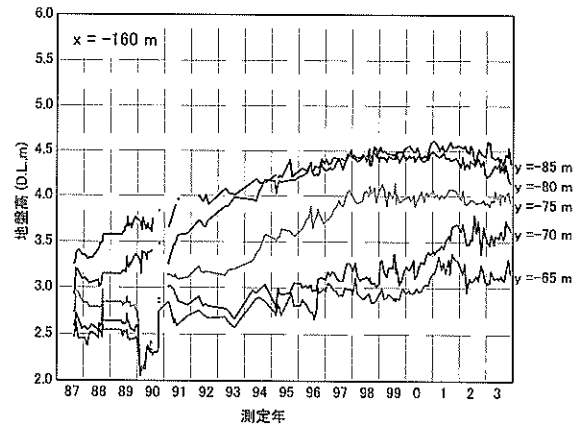


図-A.10 測線-160mにおける地盤高変化(1)

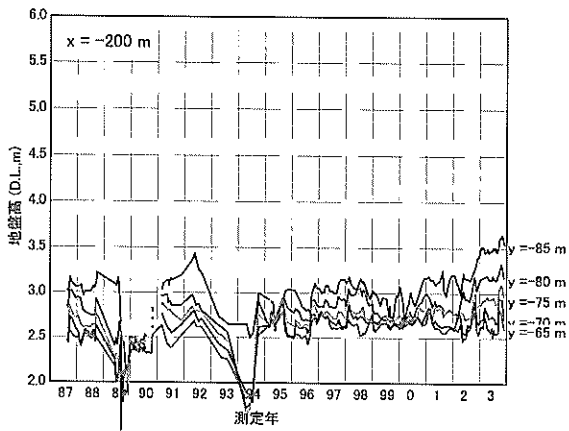


図-A.8 測線-200mにおける地盤高変化(2)

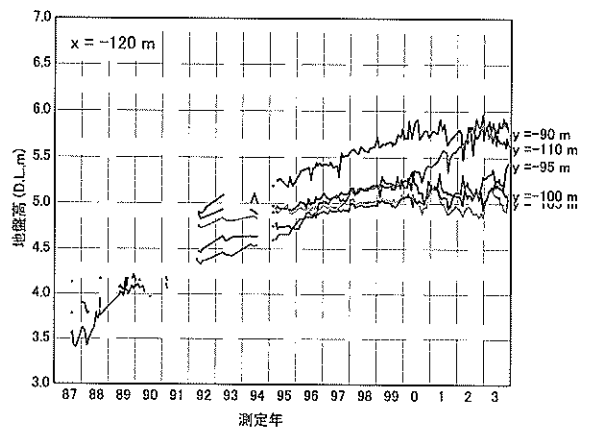


図-A.11 測線-120mにおける地盤高変化(1)

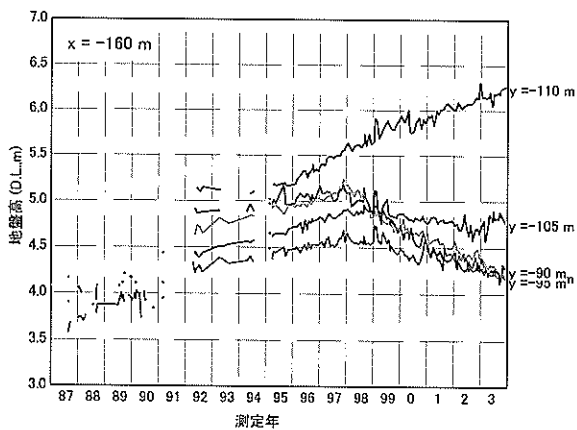


図-A.9 測線-160mにおける地盤高変化(1)

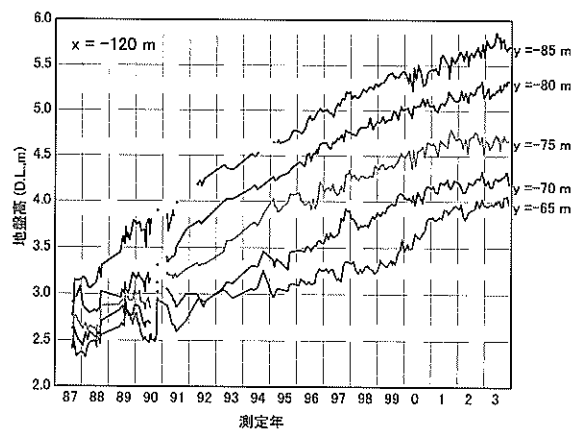


図-A.12 測線-120mにおける地盤高変化(2)

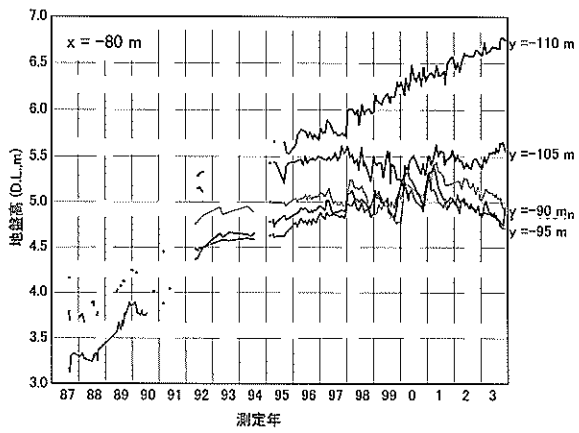


図-A.13 測線-80mにおける地盤高変化(1)

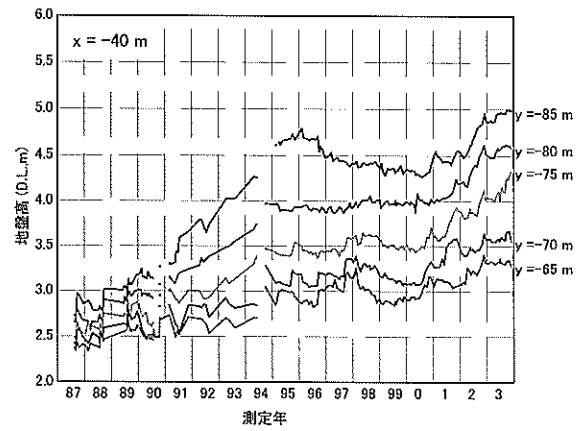


図-A.16 測線-40mにおける地盤高変化(2)

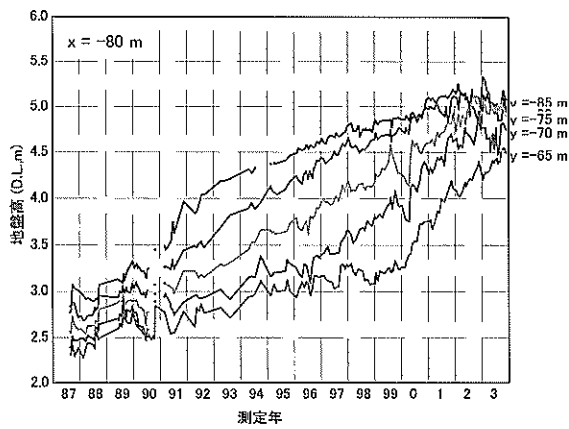


図-A.14 測線-80mにおける地盤高変化(2)

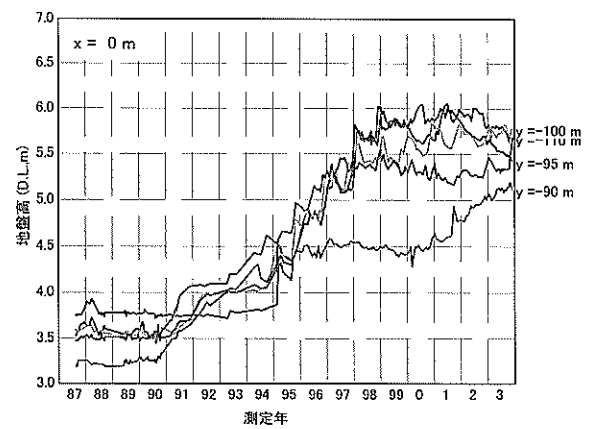


図-A.17 測線 0mにおける地盤高変化(1)

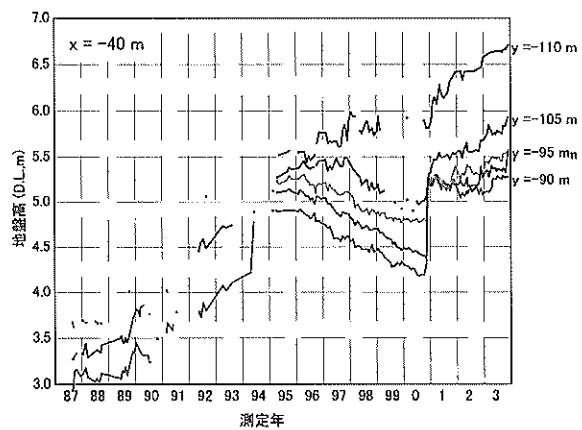


図-A.15 測線-40mにおける地盤高変化(1)

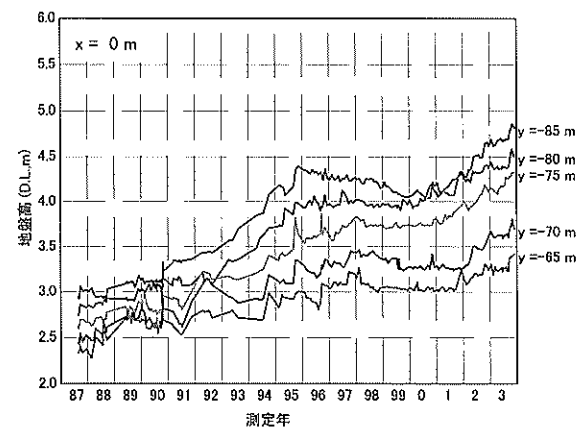


図-A.18 測線 0mにおける地盤高変化(2)

付録B 強風時の風

図-B.1~B.33に20m/s以上の強風時の栈橋先端風速および銚子における雨量の変化を示す。図中のアルファベットは、風向を示している。

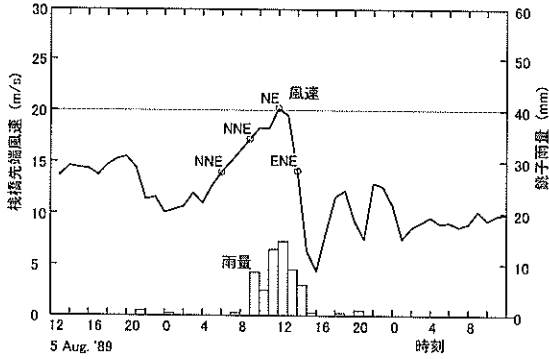


図-B.1 1989年8月6日の強風

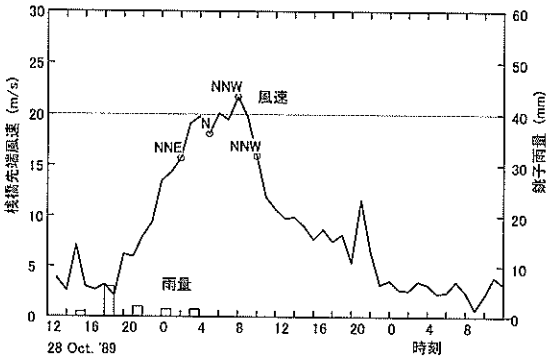


図-B.2 1989年10月29日の強風

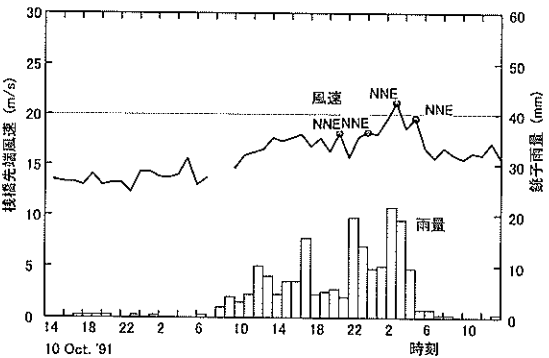


図-B.3 1991年10月11日~13日の強風(1)

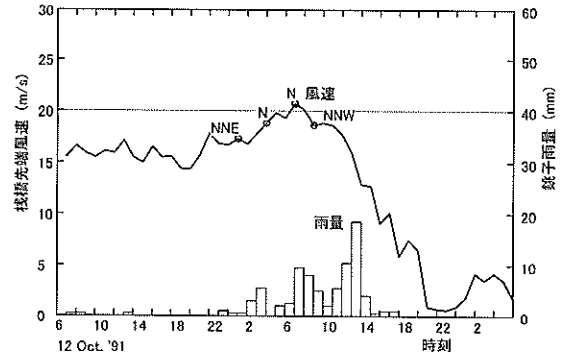


図-B.4 1991年10月11日~13日の強風(2)

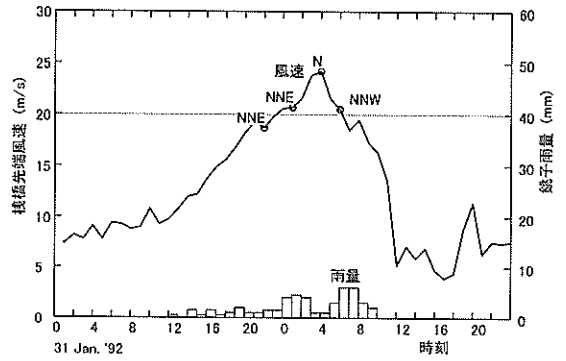


図-B.5 1992年2月1日の強風

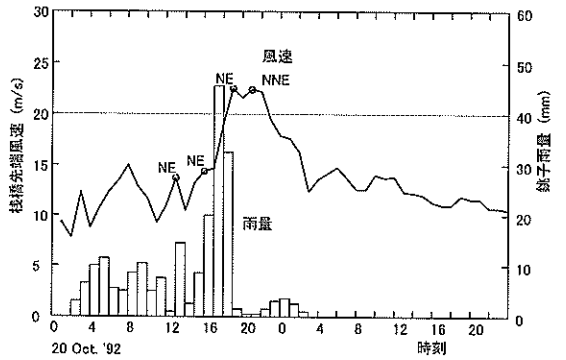


図-B.6 1992年10月20日の強風

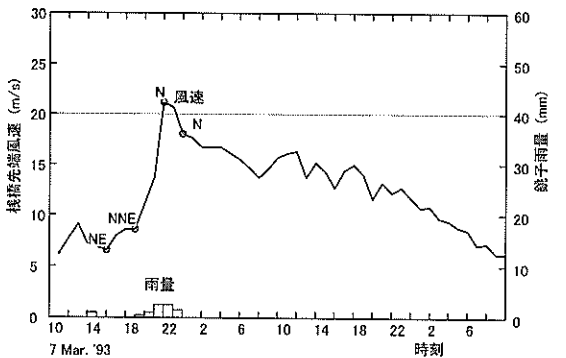


図-B.7 1993年3月7日の強風

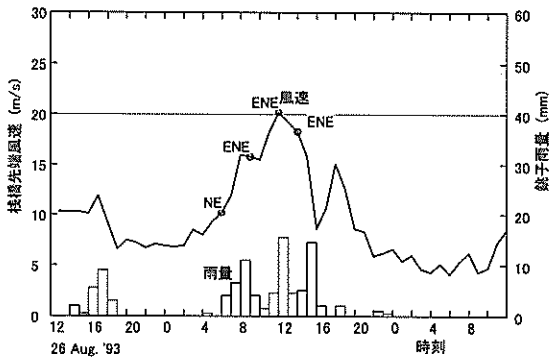


図-B.8 1993年8月27日の強風

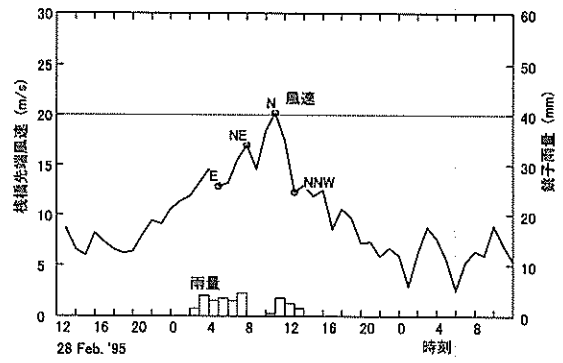


図-B.12 1995年3月1日の強風

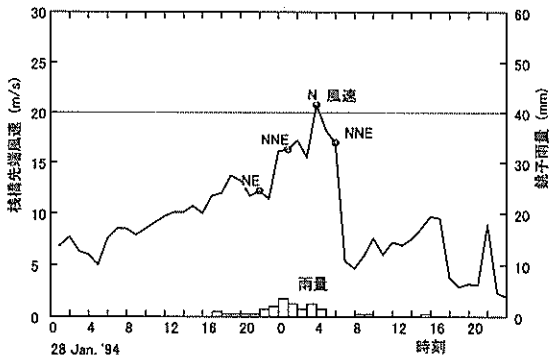


図-B.9 1994年1月29日の強風

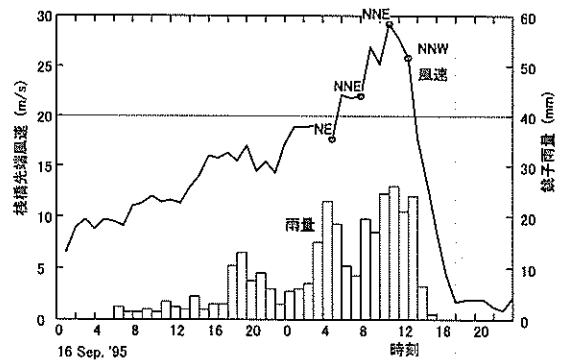


図-B.13 1995年9月17日の強風

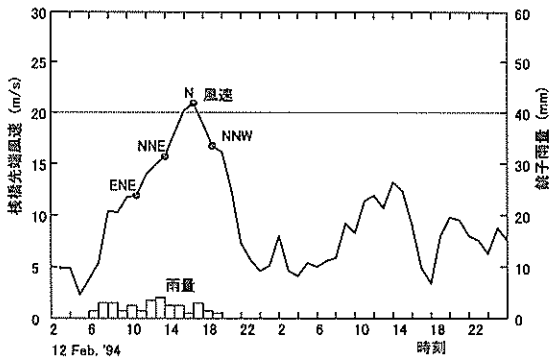


図-B.10 1994年2月12日の強風

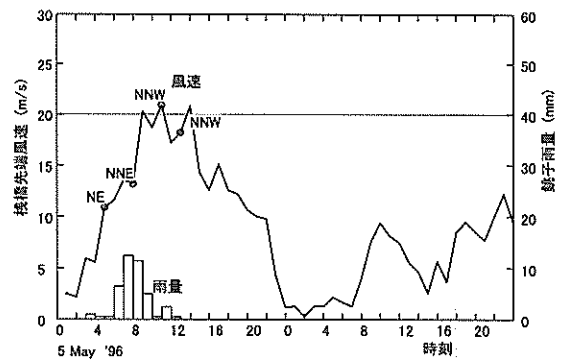


図-B.14 1996年5月5日の強風

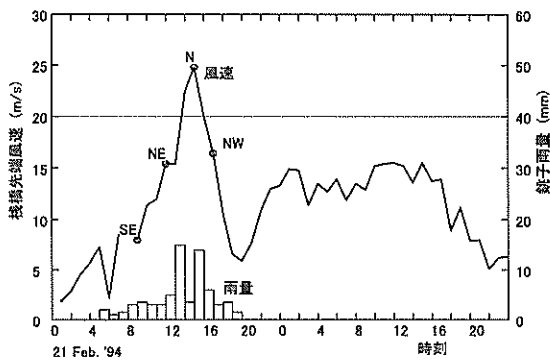


図-B.11 1994年2月21日の強風

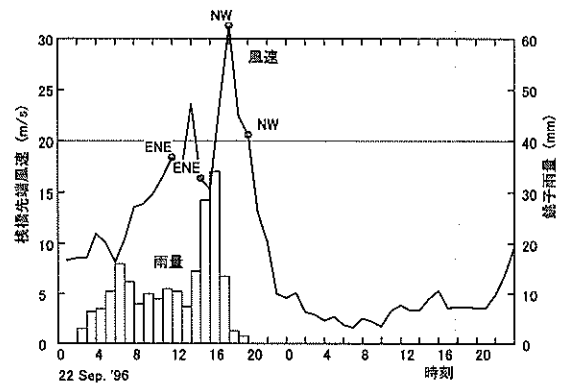


図-B.15 1996年9月22日の強風

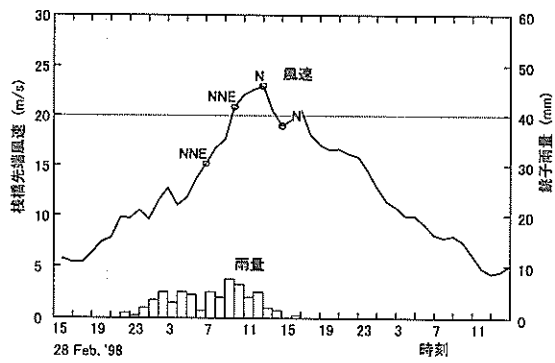


図-B.16 1998年3月1日の強風

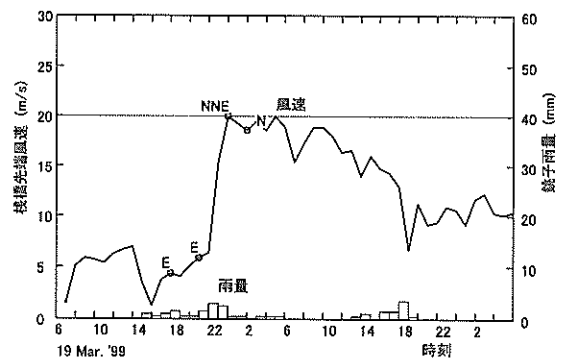


図-B.20 1999年3月19日の強風

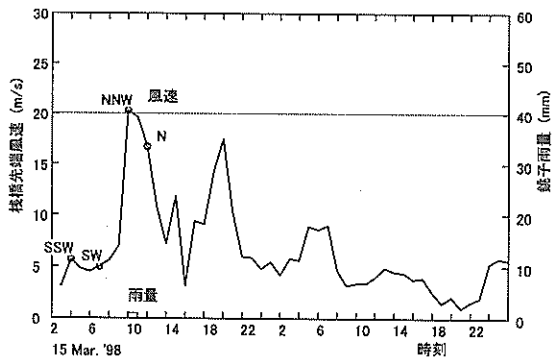


図-B.17 1998年3月15日の強風

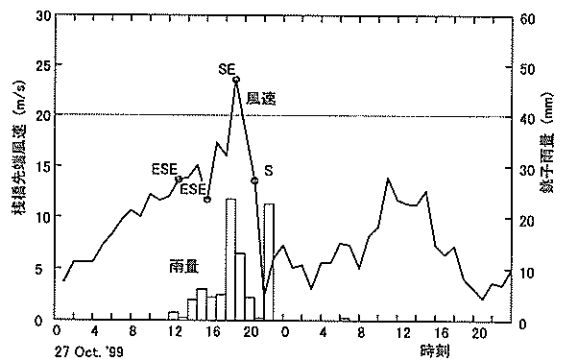


図-B.21 1999年10月27日の強風

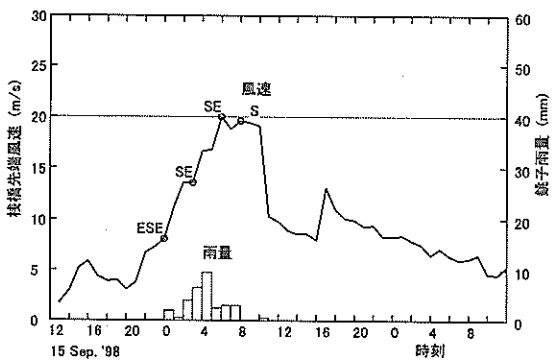


図-B.18 1998年9月16日の強風

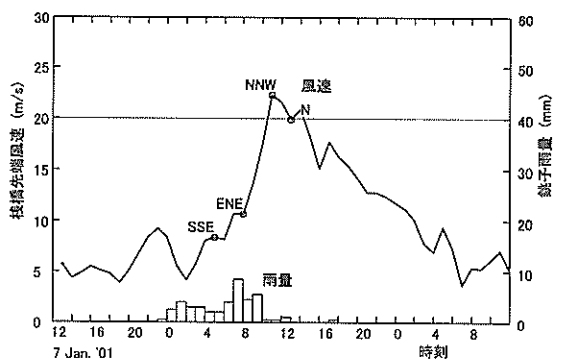


図-B.22 2001年1月8日の強風

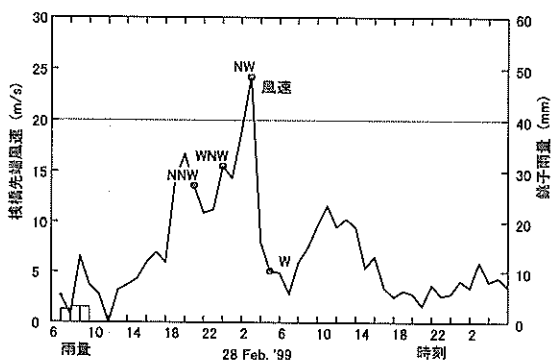


図-B.19 1999年2月28日の強風

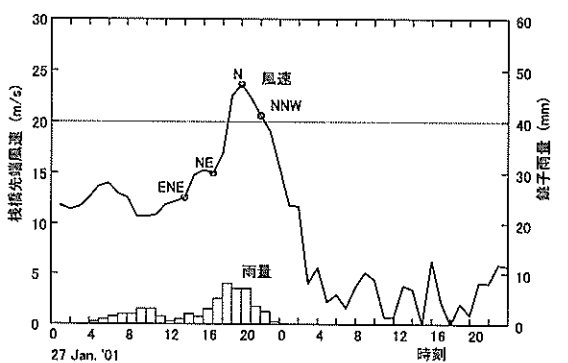


図-B.23 2001年1月27日の強風

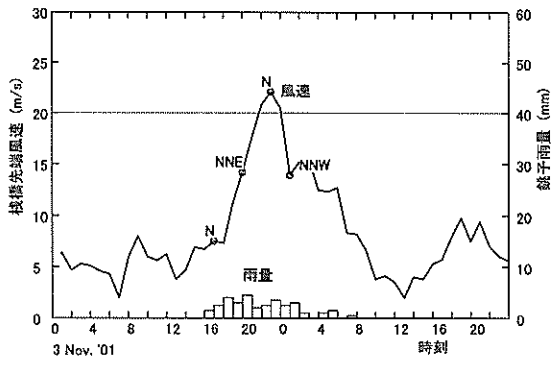


図-B.24 2001年11月3日の強風

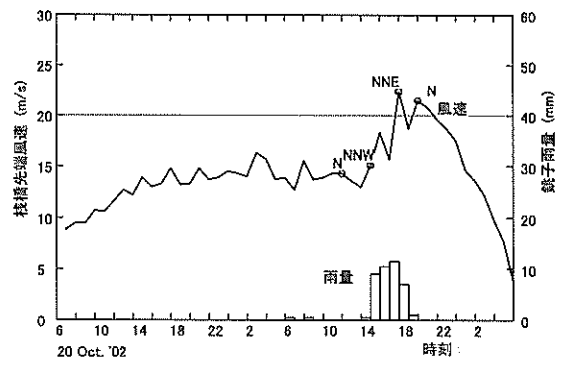


図-B.28 2002年10月21日の強風

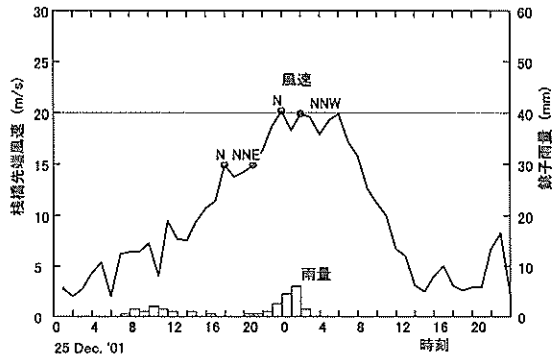


図-B.25 2001年12月25日の強風

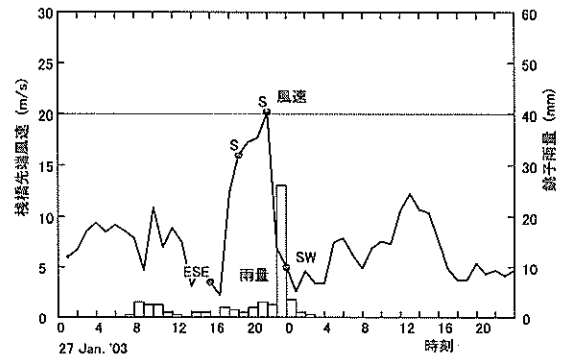


図-B.29 2003年1月27日の強風

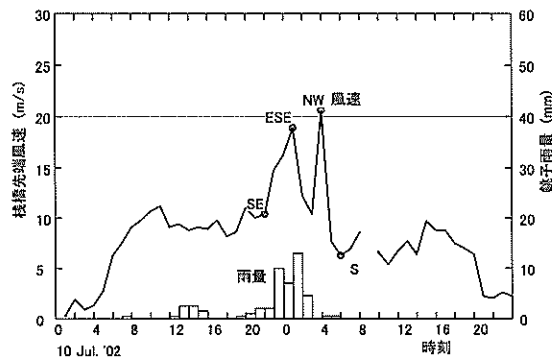


図-B.26 2002年7月11日の強風

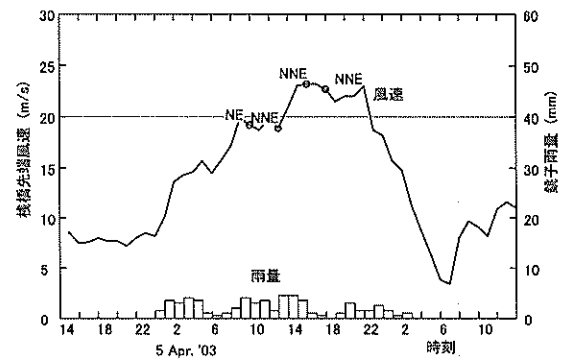


図-B.30 2003年4月5日の強風

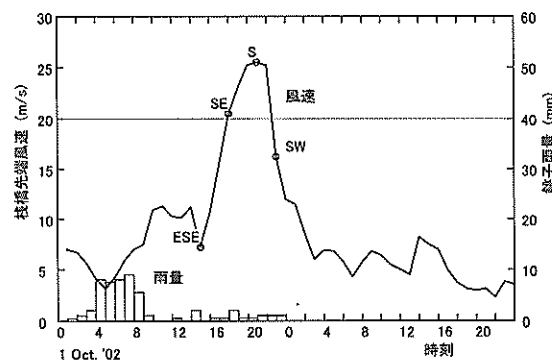


図-B.27 2002年10月1日の強風

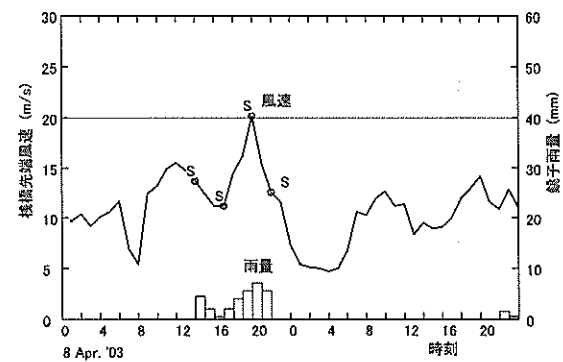


図-B.31 2003年4月8日の強風

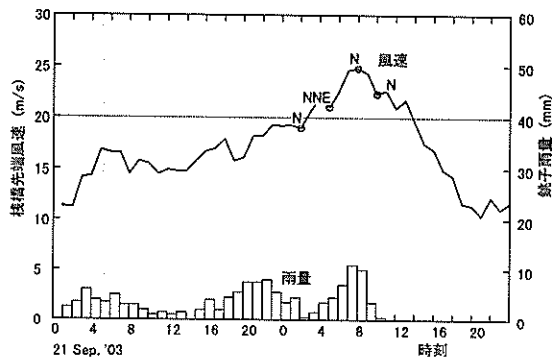


図-B.32 2003年9月22日の強風

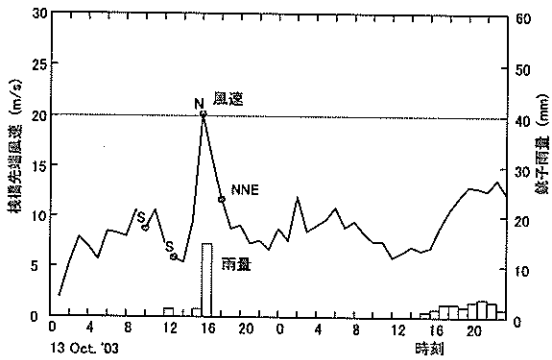


図-B.33 2003年10月13日の強風

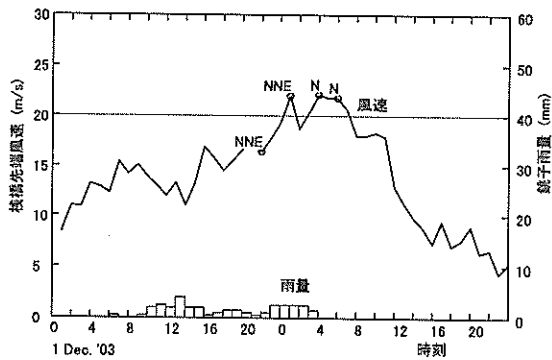


図-B.34 2003年12月2日の

付録C 調査期間中の風速発生頻度

図-C.1~C.17に年毎(1月~12月)の風向別風速発生頻度を示す。波崎海洋研究施設における卓越風向は、N~NE(海からの風)およびS,SSW(陸からの風)であり、強風は、N~NE方向で多く発生する。冬期には、季節風によるNNW, NW(陸からの風)方向の風が多く生じる。

1994, 1995, 1999年は、N~NE方向の風の発生頻度が少なくなっている。

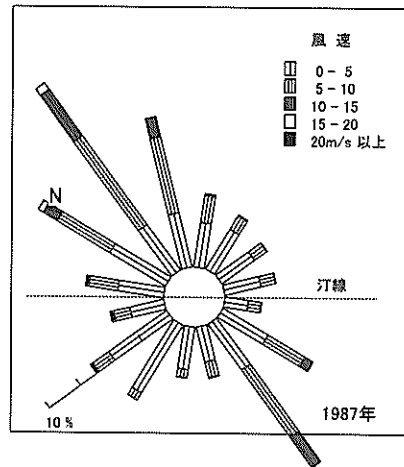


図-C.1 1987年の風向別風速発生頻度

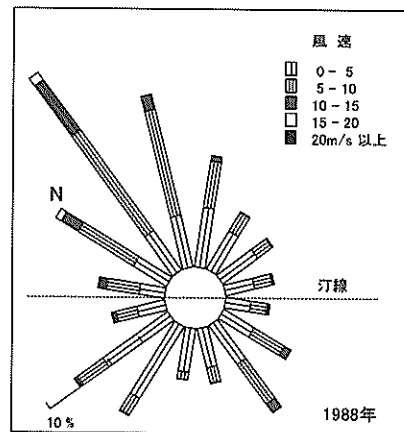


図-C.2 1988年の風向別風速発生頻度

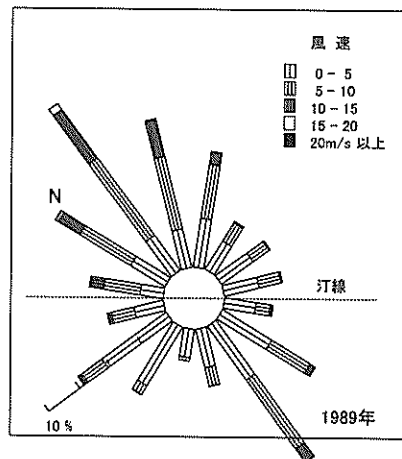


図-C.3 1989年の風向別風速発生頻度

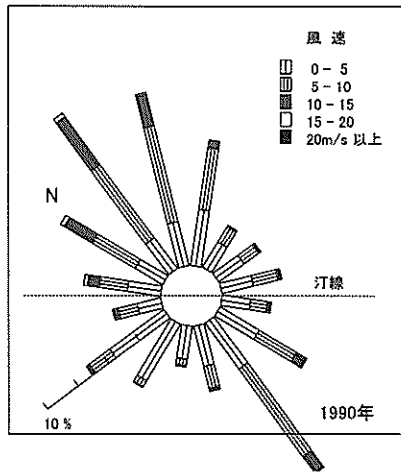


図-C.4 1990年の風向別風速発生頻度

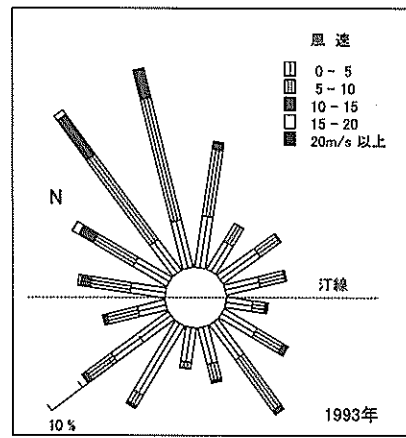


図-C.7 1993年の風向別風速発生頻度

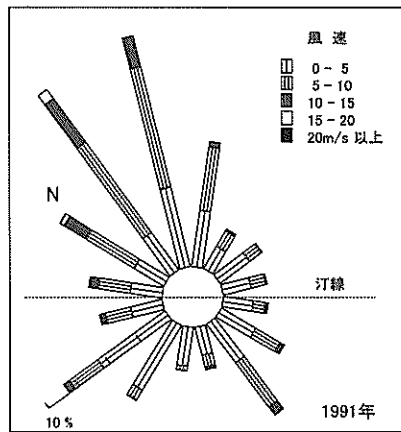


図-C.5 1991年の風向別風速発生頻度

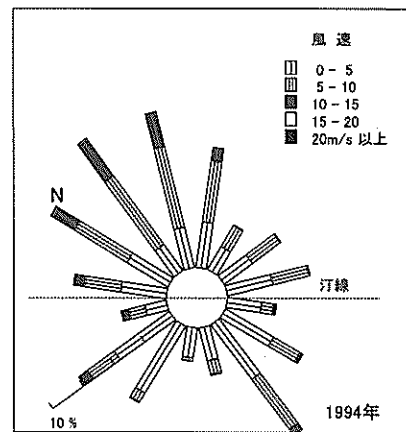


図-C.8 1994年の風向別風速発生頻度

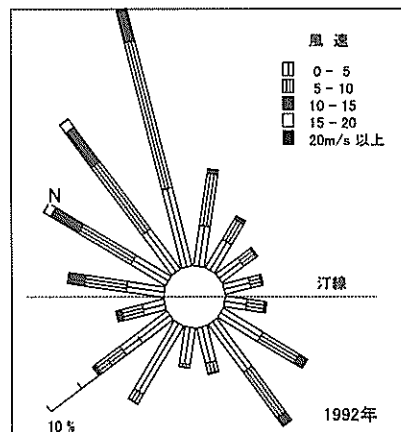


図-C.6 1992年の風向別風速発生頻度

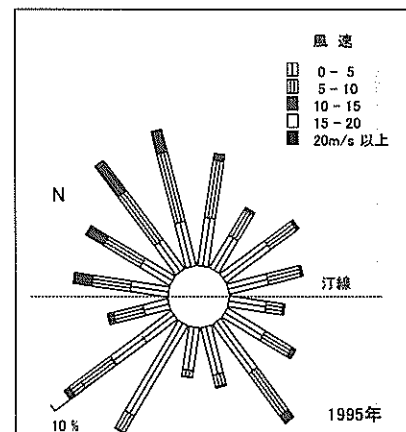


図-C.9 1995年の風向別風速発生頻度

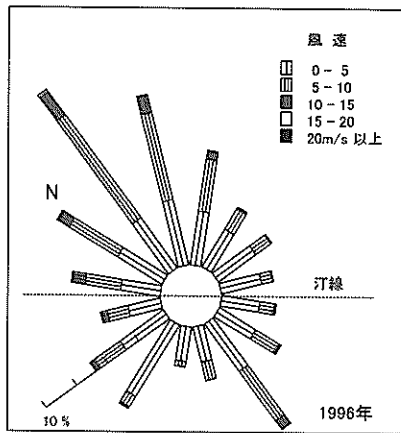


図-C.10 1996年の風向別風速発生頻度

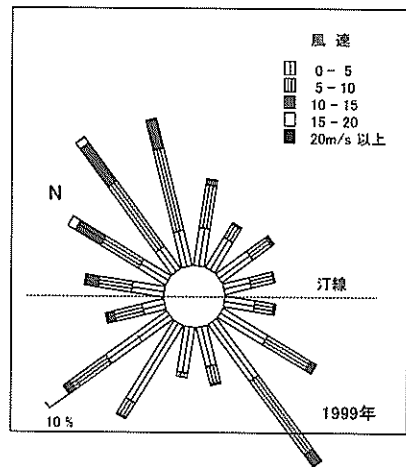


図-C.13 1999年の風向別風速発生頻度

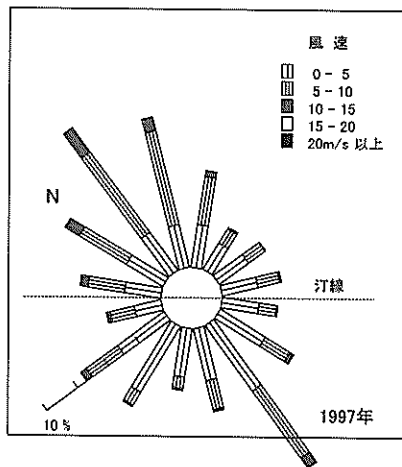


図-C.11 1997年の風向別風速発生頻度

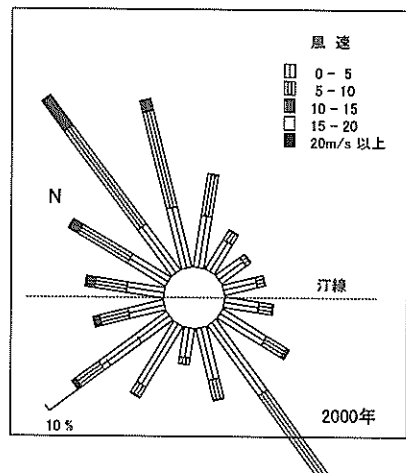


図-C.14 2000年の風向別風速発生頻度

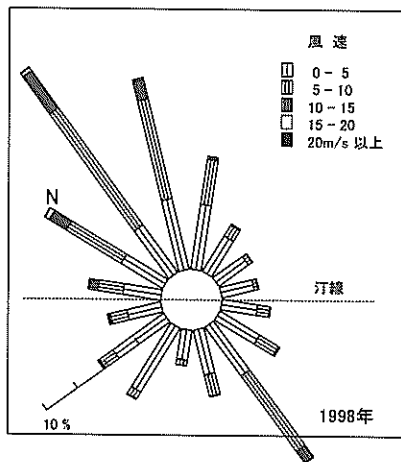


図-C.12 1998年の風向別風速発生頻度

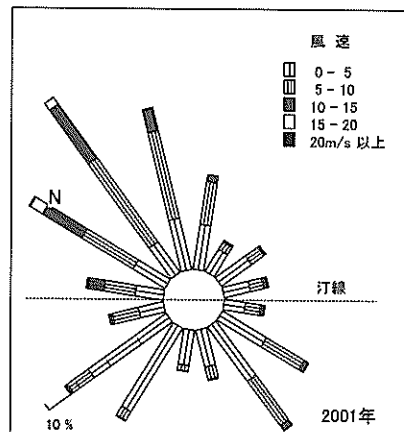


図-C.15 2001年の風向別風速発生頻度

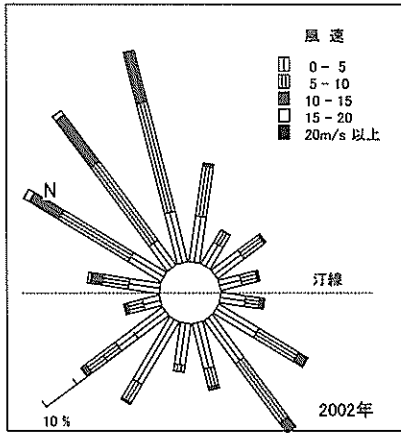


図-C.16 2002年の風向別風速発生頻度

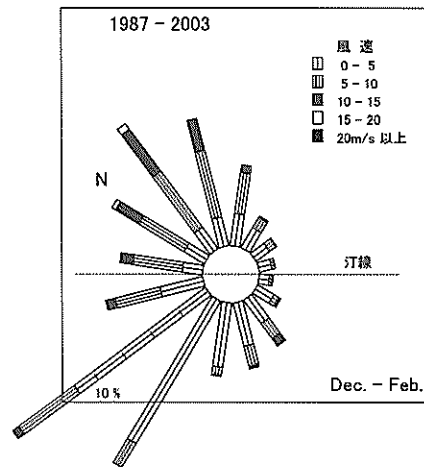


図-C.18 冬の風向別風速発生頻度

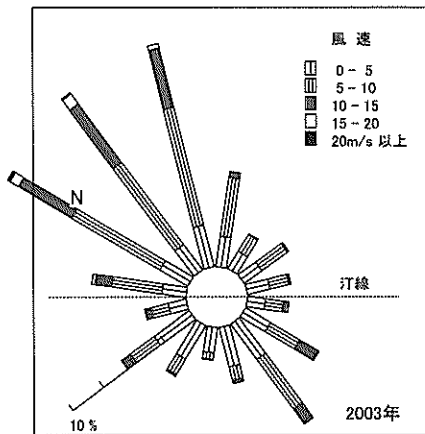


図-C.17 2003年の風向別風速発生頻度

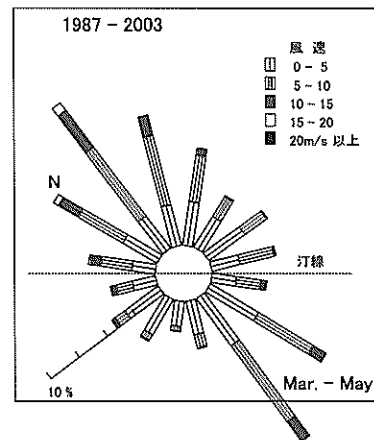


図-C.19 春の風向別風速発生頻度

図-C.18～C.21は、季節毎の風向別風速発生頻度を示している。冬は、季節風であるWNW～Wの頻度が高い。しかし、強風の発生は少ない。春および夏は、N～NE、S～SSW方向の風が多い。秋は、台風、低気圧の通過に伴う、N～NEの頻度が高い。

図-C.22は、NNW～NEまでの北寄りの海風の風速別発生頻度を示している。図-C.23は、ENE～SEまでの南寄りの海風の風速別発生頻度を示している。

南寄りの海風の発生回数は、北寄りの海風の発生回数に比べ少なく約1/10である。

北寄りの海風の内、風速15m/s～20m/sの風の発生頻度は、1994年～1997年および2000年に他の年の半分以下になっている。

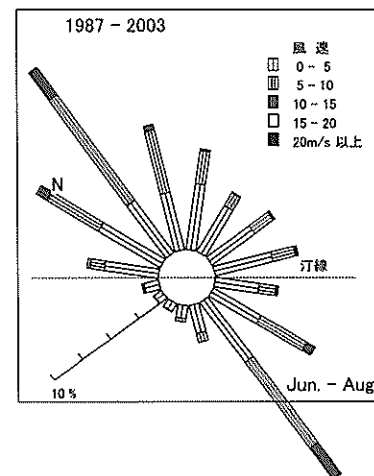


図-C.20 夏の風向別風速発生頻度

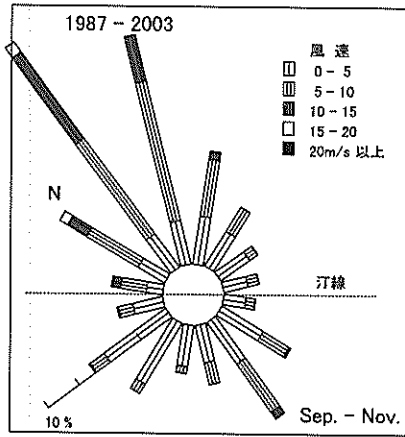


図-C.21 秋の風向別風速発生頻度

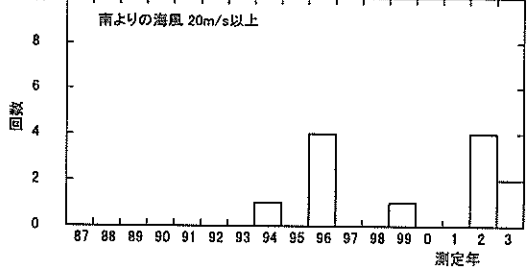
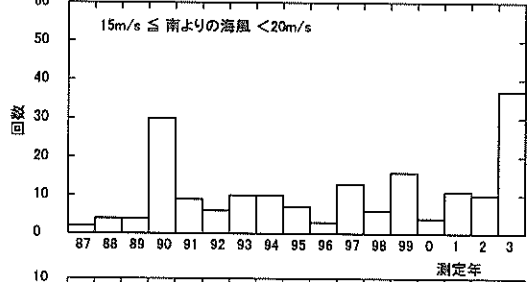
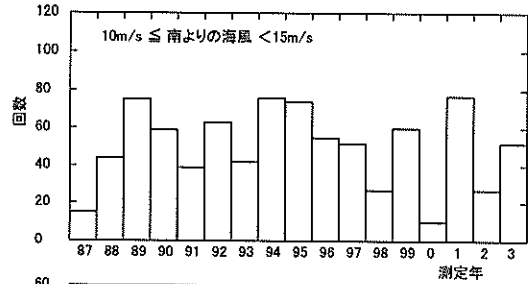


図-C.23 南よりの海風の風速別発生頻度

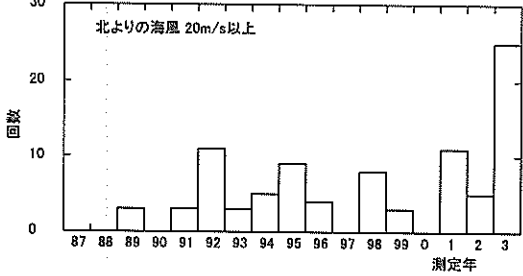
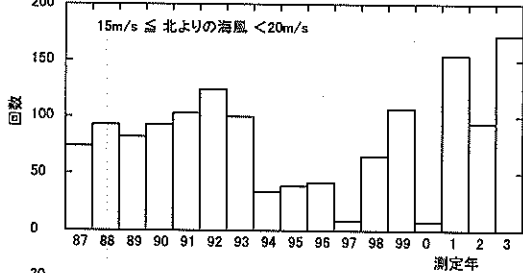
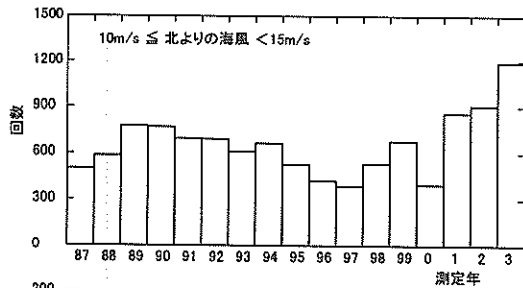


図-C.22 北より海風の風速別発生頻度

付録D 棧橋先端と後浜風速との関係

図-D.1は、2002年1月25日から5月7日までの棧橋先端の風速と後浜における地盤上0.5mの風速 ($U_{0.5}$) の関係を調べ、16方位別の風速低減率 (= 後浜風速/棧橋先端風速) を示したものである。

海からの風向 (NNE~SE) の低減率は、風向 E を除き 0.6 である。E 方向の低減率が 0.5 以下になっているのは、図-2 に示す後浜における風速計設置位置が、HORS 棧橋への進入斜路および高床式の建物の遮蔽域になったためと考えられる。上記以外の風向は、砂丘、後浜の地形の影響を受け、低減率は 0.4~0.5 で小さくなっている。なお、調査期間が5月初めまでであるので、風速計設置位置の海側にある植生の影響は少ないものと考えられる。

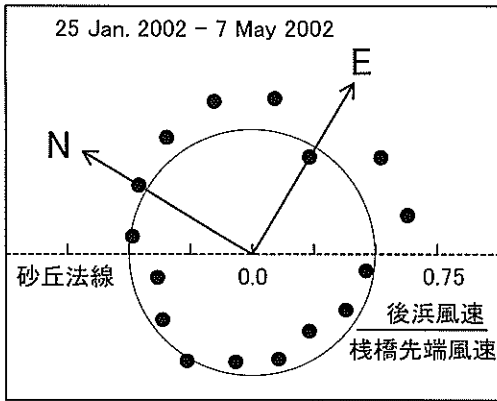


図-D.1 棧橋先端風速と後浜風速の関係

付録 E 調査範囲の航空写真

図-E.1 は、調査範囲の航空写真および等高線図である。

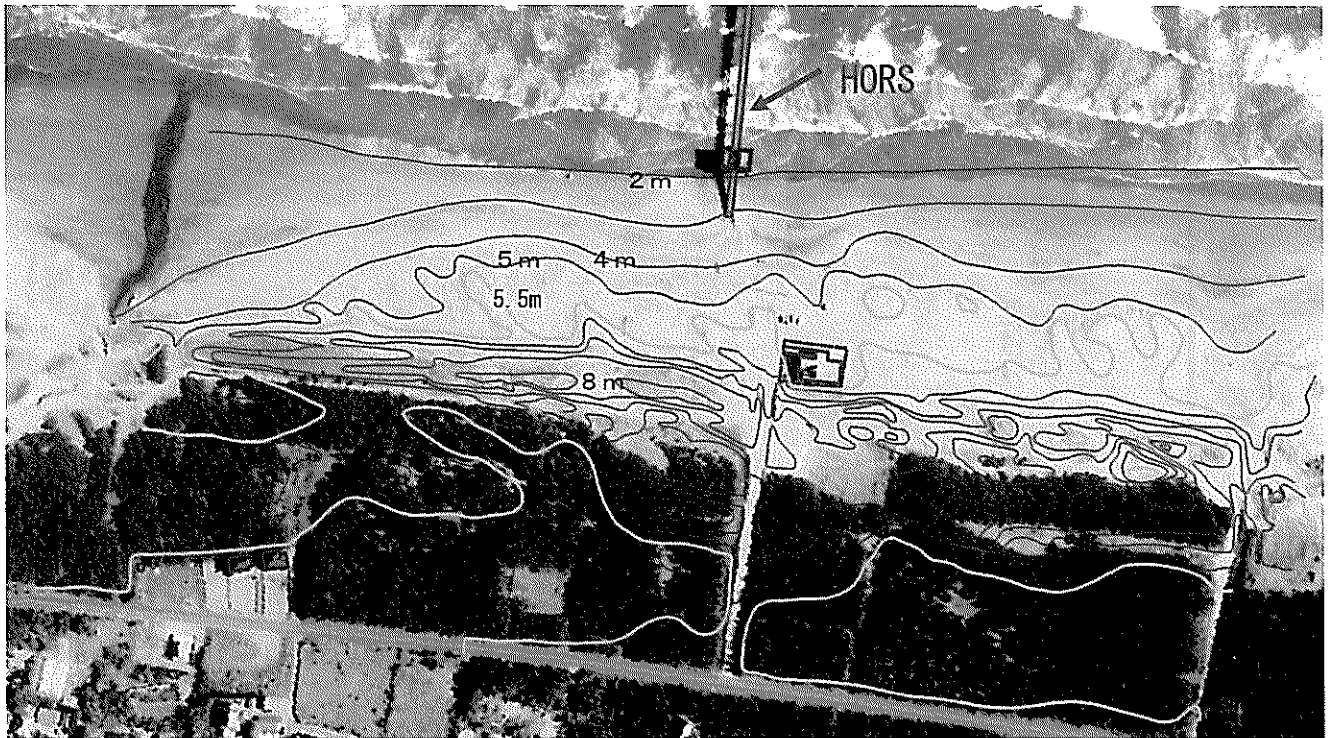


図-E.1 調査範囲の航空写真および等高線 (2002年10月31日撮影)

港湾空港技術研究所資料 No. 1091

2004. 12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2004) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事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。